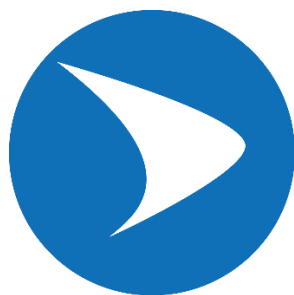


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»**



**СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2022

**Материалы VIII Всероссийской научно-технической
конференции молодых ученых, аспирантов и студентов
(г. Севастополь, 21 апреля 2022 г.)**



К О Н Ф Е Р Е Н Ц И Я

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ, УПРАВЛЕНИЕ
И МЕХАТРОНИКА**

**Севастополь
2022**

УДК 681.5
ББК 32.81:20.1
И 73

Научный редактор – В.А. Крамарь, д-р техн. наук, профессор СевГУ

Соорганизаторы конференции: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, Россия), Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток, Россия), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (г. Москва, Россия), Омский государственный технический университет (г. Омск, Россия), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (г. Санкт-Петербург, Россия).

Редакционная коллегия:

А.А. Кабанов, канд. техн. наук, доцент, СевГУ

В.В. Альчаков, канд. техн. наук, доцент, СевГУ

В сборнике содержатся материалы докладов, которые рассматривают теоретические и практические вопросы, связанные с проблемами автоматического управления техническими объектами и технологическими процессами. Стиль и орфография приведены в авторской редакции.

И 73 Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2022: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 21 апреля 2022 г. / МОН РФ, СевГУ [науч. ред. Крамарь В.А.] – Севастополь: [Изд-во СевГУ], 2022 – 212 с.

УДК 681.5
ББК 32.81:20.1
© СевГУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. Калмыков В.А. Построение уравнения регрессии в рамках методологии расчета трудоемкости постройки судостроительного объекта	5
2. Ляшко А.Д., Фатеев С.И., Скороход Б.А. Разработка и исследование алгоритмов стабилизации подводных аппаратов по видеоизображениям	9
3. Голбан В.О., Мирянова В.Н. Решение обратной задачи кинематики при помощи алгоритма оптимизации роя частиц	14
4. Осадченко А.Е., Ковязин Б.С. Автоматизированная система прогнозирования аварийных режимов климатического оборудования серверных помещений	19
5. Осадченко А.Е., Якушенко Е.Д. Автоматизированная система контроля тепловых параметров помещений «Умного дома»	24
6. Козырев В.Г. Управление остановом электропривода на базе применения метода SDC	30
7. Андрейчук А.В., Комлева А.Н., Альчаков В.В. Аппаратная реализация и принцип работы робота «Бабочка»	36
8. Калько А.Н., Альчаков В.В. Реализация подхода «Programming by demonstration» для обучения антропоморфного робота	40
9. Завьялов И.А., Шушляпин Е.А. Управление антропоморфным манипулятором с использованием двухэтапного метода конечного состояния	44
10. Тен Е., Олейников В.С., Обнаружение и классификация подводных объектов с помощью нейросетевых алгоритмов	49
11. Грушун А.И., Грушун Т.А., Дмитригин Е.В. Алгоритм оценки на ЭВМ качества электропривода промышленного робота	54
12. Грушун А.И., Тимохин Н.Д. Алгоритм параметрического анализа на ЭВМ степени устойчивости электропривода промышленного робота	61
13. Гета Д.А., Иршко Ю.А., Майстришин М.М. Совершенствование емкостного датчика уровня с помощью компенсационного элемента	67
14. Гомонюк А.Д., Першин С.В. Разработка кинематической схемы портативного станка для плазменной резки	71
15. Мезина М.А., Донго А.В., Рахматуллина И.И., Чикин В.Г. Анализ функционирования и разработка схемы системы отслеживания взгляда	74
16. Рудаков М.Ю., Майстришин М.М. Роботизированный технологический комплекс селективной сборки	78
17. Салиенко А.В., Майстришин М.М. Режимы управления сервоприводом в трехкоординатной мехатронной системе	83
18. Заморёнов И.М., Епова А.М., Скитяев Д.И., Майстришин М.М. Разработка программы управления станцией непрерывных процессов и создание математической модели	88
19. Цыганкова В.М., Вайнер В., Волкова Ю.М., Бочко Д.Н., Карташов Л.Е. Трихоплакс для бионики. Разработка технической части микроробота «Трихобот» ..	92
20. Корнилов Д.А., Липко И.Ю. Программа маршрутизации и мониторинга роботов автоматизированного склада на основе алгоритма A*	98
21. Дементьев К.В., Липко И.Ю. Алгоритм расчета динамических параметров подводных манипуляционных роботов	101
22. Лядский Д., Молчанов А., Черкашин Е., Смирнов П.К., Куклин Е.В., Потехин В.В. Разработка и производство обучающих сетевых интеллектуальных систем управления	106

23. Полевик Д.Д., Липко И.Ю. Программа мониторинга и управления климатическими камерами	116
24. Заикин Я.В., Кабанов А.А. Разработка симуляционной среды моделирования движения подводного аппарата	119
25. Ткаченко М.Р., Крамарь В.А. Наблюдение за траекторией движения манипулятора	124
26. Безусов А.С., Заморёнов И.М., Заморёнова Д.В. Многопараметрическая автоматизированная система контроля вала	128
27. Дикун А.В., Светиков С.Е., Шушляпин Е.А. Моделирование управления манипулятором антропоморфного робота с учетом динамики приводов шарниров суставов	130
28. Музыкантов А.Д., Карапетьян В.А. Синтез и моделирование САУ АНПА в вертикальной плоскости	137
29. Фомичев В.С., Козырев В.Г. Программная реализация адаптивной полиномиальной фильтрации сигнала в расширенном диапазоне амплитуд	142
30. Парамонова А.С., Жиялков П.В. Итеративный алгоритм ближайших точек для визуализации облака 3D точек	147
31. Абкеримов Т.В., Якунин Р.Д., Крамарь В.А. Аппаратная система подводного интернета вещей	151
32. Голод К.Д., Крамарь В.А. Разработка симулятора для моделирования движения мини беспилотного аппарата	158
33. Кузьменко В.В., Скороход Б.А. Разработка алгоритмов монокулярной визуальной одометрии для задач мобильной робототехники	162
34. Гладышев М.Д., Тамков П.И., Вильданов Э.М., Кондюков А.А., Алиагаев А.Р. Применение алгоритмов контурного контраста в работе ТНПА «SMELCOM ROV»	166
35. Ермаков И.А., Димин М.Э., Воробьева А.В., Кабанов А.А. Разработка и моделирование экспериментального тнпа с шестью степенями свободы	171
36. Куликова Я.А., Карапетьян В.А. Синтез СФЕ с компенсацией межканальных связей	177
37. Жиялков П.В., Фатеев С.И. Повышение качества результатов кластеризации облака 3D точек, полученного с помощью системы технического стереозрения	182
38. Швец А.Э. Оценка ориентации автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) на основе сети датчиков давления	185
39. Леонов А.А., Дикун А.В., Петропелюк Ю.П., Альчаков В.В. Применение методов интеллектуальной обработки данных для выявления аномалий в реальном масштабе времени	190
40. Бондарь А.О. Скороход Б.А. Построение кинематической схемы управления хирургического робота	196
41. Володин А.Н., Панасенко В.В., Хорошев В.А. Анализ и перспективы развития автономных обитаемых подводных аппаратов	198
42. Голубцов Д.Л., Викулин А.И., Медведь И.В. Конструктивно-технические особенности устройства многофакторных средств поражения	205

УДК: 629.12, 338.45

Калмыков В.А., студент кафедры «Инновационное судостроение и технологии освоения шельфа, АО ЦКБ «Коралл»

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

vickalmykov@gmail.com

ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИИ В РАМКАХ МЕТОДОЛОГИИ РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ ПОСТРОЙКИ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Гражданское судостроение в России – системообразующая отрасль промышленности, которая характеризуется производством высокотехнологичной продукции и как следствие – присущей ей высокой долей добавленной стоимости.

От функционирования отрасли гражданского судостроения зависит целая совокупность других отраслей и сфер социально-экономической деятельности (1 рабочее место в судостроении обеспечивает до 7 рабочих мест в смежных отраслях [1]). Взаимозависимость отраслей приводит в действие различные мультипликативные механизмы, стимулирующих работу и развитие всей группы, что в итоге формализуется в виде дополнительного вклада в совокупный ВВП страны.

Важным элементом широкой области производственных процессов, развивающихся на протяжении жизненного цикла судостроительного объекта, является оценка стоимости его изготовления. От точности выполнения таких оценок зависит выбор экономической модели проекта, поиск и утверждение потенциальных поставщиков и подрядчиков, планирование и учет рисков, принятие взвешенных управленческих решений в части бюджетирования и финансирования проекта.

Одной из наиболее значимых статей расходов на изготовление судостроительного объекта являются трудовые затраты, рассчитываемые через производство ставок заработной платы на трудоемкость работ. Под трудоемкостью в судостроении понимается экономический показатель, характеризующий расход рабочего времени на изготовление единицы продукции или выполнение определенной операции.

Основа современной теории и практики расчета трудоемкости изготовления судостроительной продукции была сформирована в советский период. Начало было положено в 1965 г. с отказом от территориальной системы управления промышленностью и возвращением к отраслевой системе [2].

Нормативно-методологический инструментарий был выстроен таким образом, что общепромышленные нормативы дополнялись одним или более отраслевым документом общего назначения – инструкцией или методикой,

позволявшим уточнить и детализировать вышестоящие документы отраслевой спецификой. Далее отраслевые документы в свою очередь имели под собой совокупность нормативно-методических документов частного характера по видам и составу затрат (методики, нормативы, прейскуранты, справочные таблицы и т.д.).

Такая система ценообразования была неразрывно «завязана» на плановой экономике, позволявшей обеспечить централизованность процессов получения, обработки и дальнейшего управления всей необходимой для вышеупомянутого нормативно-методического аппарата информацией. В связи с этим удавалось обеспечивать сбор статистики, регулярную исследовательскую работу в этой области, обновление всей унифицированной нормативно-методической документации и ее повсеместное распространение для дальнейшего использования.

С 1992 г. в связи с переходом к рыночной системе хозяйствования прекращается функционирование выстроенной плановой нормативно-методологической системы, отраслевые документы оставляются без внимания, прекращается систематический централизованный сбор информации и корректировка нормативов. Одним из последних отраслевых документов, подготовленным в 1993 году и оставшимся актуальным по сей день, стала «Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) на предприятиях судостроительной отрасли Российской Федерации».

Сегодня мы наблюдаем ситуацию, когда специалисты продолжают пользоваться методиками и нормативами прежней советской эпохи, поскольку на современном этапе их заменить нечем, а те или иные инструкции, подготавливаемые и выпускаемые крупнейшими заказчиками и исполнителями, либо слишком узкие в своем применении и не отражают отраслевую специфику, либо сделаны по кальке с тех же советских образцов.

Рассмотрим детальнее методологический аппарат расчета трудоемкости, созданный советскими судостроителями, и продолжающий сохранять свою применимость по сегодняшний день.

Базой для расчета трудоемкости выступает нагрузка масс (совокупность всех масс, составляющих водоизмещение судна). Для расчета массы объекта группируются по следующему перечню укрупненных работ: обработка деталей корпуса, предварительная сборка конструкций корпуса, формирование корпуса на стапеле, трубомонтажные работы, механомонтажные работы, достроечные работы, испытания, работы машиностроительной части. Электромонтажные работы определяются в соответствии с другим нормативом и не рассматриваются в рамках данной статьи.

В общем виде трудоемкость постройки судна или иного объекта определяется по формуле:

$$T = K_T * K_N * \sum_{i=1}^n Y_i * X_i * K_i,$$

где

T – трудоемкость постройки судна или иного объекта, чел.-ч.;

K_T – коэффициент, учитывающий снижение постройки судна или иного объекта за счет внедрения прогрессивных технологических процессов и организации производства;

K_N – коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости в зависимости от годового выпуска судов, серийности;

Y_i – норматив удельной трудоемкости на тонну водоизмещения порожнем без жидких грузов и балласта (для соответствующего вида работ), чел.-ч./т;

X_i – водоизмещение порожнем без жидких грузов и балласта, т;

K_i – поправочный коэффициент, отражающий конструктивные и технологические особенности операций для каждого вида работы.

Величина норматива удельной трудоемкости для соответствующего вида работ, согласно таблицам отраслевой методики, является статистической оценкой, формализуемой в виде уравнения регрессии (пример – Рис. 1). Представленные в документе уравнения регрессии рассчитывались на основе статистики, которая к настоящему времени могла утратить актуальность.

Заключение. Исходя из вышеизложенного, представляется актуальным в дальнейшем продолжить исследование в этой области в части актуализации уравнений регрессии на базе современной статистики постройки судостроительных объектов на российских предприятиях.

Список использованных источников

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013-2030 годы». Утверждена постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 №304.
2. Об изменении системы органов управления промышленностью и преобразовании некоторых других органов государственного управления: Закон от 2 октября 1965 г. // Ведомости Верховного Совета СССР. 1965 г. № 39
3. РД5Р.ГКЛИ.0502-184-94, Руководящий документ. Трудоемкость постройки судов. Нормативы. ЦНИИТС, 1994
4. Ваучский А.Н., Маковий Н.Ф. Отраслевая система ценообразования в кораблестроении: потребности и перспективы // Судостроение. – 2015. – №1.
5. Дрбоглав А.М., Платов В.Я. О нормировании труда на судостроительных предприятиях // Судостроение. – 2014. – №2 (813).
6. Инструкция по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) на предприятиях судостроительной отрасли Российской Федерации, ЦНИИ «РУМБ», 1993 год.

Вид работ															
По судну в целом		Обработка деталей корпуса		Предварительная сборка		Формирование корпуса		Трубомонтажные работы		Механомонтажные работы		Достроечные работы		Испытания	
Диапазоны значений масс конструктивно-технологических групп, т															
2000<X<10000		1000<X<5000		1000<X<5000		1000<X<5000		50<X<300		100<X<1000		2000<X<10000		2000<X<10000	
Формулы															
Y = -53,996 lnX + +553,28		Y = 9,1 - 0,0006X		Y = 38,6 - 0,0036X		Y = -12,068 lnX + +120,71		Y = 455,5 - 0,7105X		Y = 66,9 – 0,0343X		Y = 25,9 - 0,0013X		Y = -1,65 lnX + +17,603	
Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость	Масса порож- нем, т	Удель- ная трудо- емкость
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
2000	142,86	1000	8,50	1000	35,00	1000	37,35	50	419,98	100	63,47	2000	23,30	2000	5,06
2500	130,81	1250	8,35	1250	34,10	1250	34,65	60	412,87	150	61,76	2500	22,65	2500	4,69
3000	120,97	1500	8,20	1500	33,20	1500	32,45	70	405,77	200	60,04	3000	22,00	3000	4,39
3500	112,64	1750	8,05	1750	32,30	1750	30,59	80	398,66	250	58,33	3500	21,35	3500	4,14
4000	105,43	2000	7,90	2000	31,40	2000	28,98	90	391,56	300	56,61	4000	20,70	4000	3,92
4500	99,07	2250	7,75	2250	30,50	2250	27,56	100	384,45	350	54,90	4500	20,05	4500	3,72
5000	93,39	2500	7,60	2500	29,60	2500	26,29	110	377,35	400	53,18	5000	19,40	5000	3,55
5500	88,24	2750	7,45	2750	28,70	2750	25,14	120	370,24	450	51,47	5500	18,75	5500	3,39
6000	83,54	3000	7,30	3000	27,80	3000	24,09	130	363,14	500	49,75	6000	18,10	6000	3,25
6500	79,22	3250	7,15	3250	26,90	3250	23,12	140	356,03	550	48,04	6500	17,45	6500	3,12
7000	75,22	3500	7,00	3500	26,00	3500	22,23	150	348,93	600	46,32	7000	16,80	7000	2,99
7500	71,49	3750	6,85	3750	25,10	3750	21,40	160	341,82	650	44,61	7500	16,15	7500	2,88
8000	68,01	4000	6,70	4000	24,20	4000	20,62	170	334,72	700	42,89	8000	15,50	8000	2,77
8500	64,73	4250	6,55	4250	23,30	4250	19,89	180	327,61	750	41,18	8500	14,85	8500	2,67
9000	61,65	4500	6,40	4500	22,40	4500	19,20	190	320,51	800	39,46	9000	14,20	9000	2,58
9500	58,73	4750	6,25	4750	21,50	4750	18,54	200	313,40	850	37,75	9500	13,55	9500	2,49
10000	55,96	5000	6,10	5000	20,60	5000	17,92	210	306,30	900	36,03	10000	12,90	10000	2,41
								220	299,19	950	34,32				
								230	292,09	1000	32,60				
								240	284,98						
								250	277,88						
								260	270,77						
								270	263,67						
								280	256,56						
								290	249,46						
								300	242,35						
													</		

Рис. 1. - Норма удельной трудоемкости постройки сухогрузных судов общего назначения водоизмещением порожнем 2000-10000 т., чел.-ч/т
Источник: РД5Р.ГКЛИ.0502-184-94, Руководящий документ. Трудоемкость постройки судов. Нормативы. ЦНИИТС, 1994

УДК 681.5.017

Ляшко А.Д., студент кафедры ИУТС

Фатеев С.И., м.н.с ИУТС

Скороход Б.А., д.н.т., профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

lyasko.sasha@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПО ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯМ

В настоящее время разработка системы стабилизации подводных аппаратов (ПА) в окрестности объектов интереса на морском дне при помощи различных датчиков является актуальной задачей [1, 2]. Использование подобных систем позволяет упростить проведение таких операций как: замена деталей подводного оборудования, наблюдение за трубопроводами, обеспечение водолазных и спасательных работ, осмотр кабелей, глубоководных исследований и т.д. В качестве датчиков, передающих информацию об окружающем пространстве, местоположении и ориентации объекта применяются оптические, акустические, лазерные датчики. В работе рассматривается задача видео стабилизации ПА.

Визуальное сервоуправление (Visual Servoing) представляет собой методы, которые используют информацию, извлеченную в реальном времени с помощью видеокамеры для управления объектами [3]. Известны два принципиально разных подхода к визуальному сервоуправлению:

- на основе оценки положения камеры относительно объекта в пространстве (PBVS);

- на основе оценки признаков объектов интереса на изображениях (IBVS).

На рисунках 1, 2 показаны функциональные схемы обоих методов

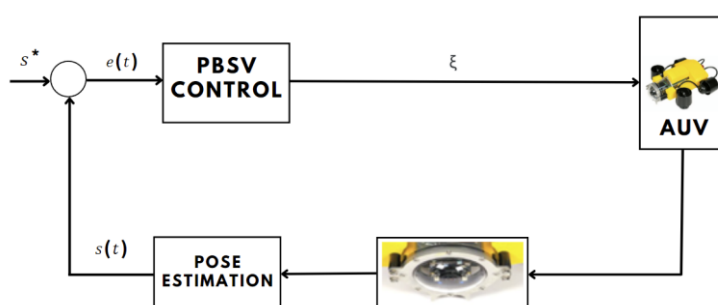


Рис. 1. – Функциональная схема стабилизации на основе определения положения объекта (PBVS)

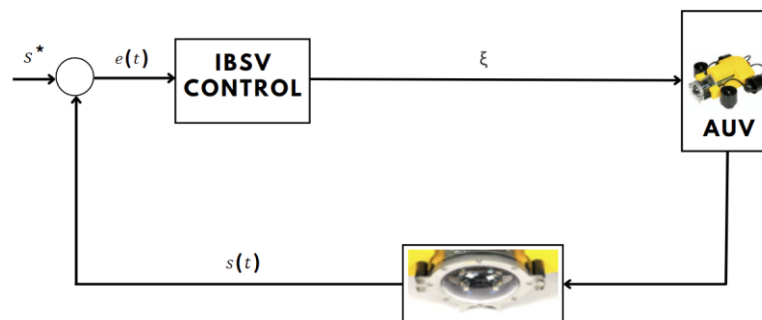


Рис. 2. – Функциональная схема стабилизации на основе изображений объекта (IBVS)

В настоящей работе рассматривается построение системы стабилизации ПА на основе IBVS с использованием симулятора. Идея метода заключается в минимизации ошибки $e(t)$, которая определяется как:

$$e(t) = s^* - s(t)$$

где s^* – k желаемых координат характерных точек объекта, выраженных в пиксельных единицах, $s(t)$ – k текущих координат характерных точек объекта, найденных на изображении.

Для 3D-точки с координатами $P = (X, Y, Z)$, в системе координат камеры, которая проецируется на изображение как 2D-точка с координатами $p = (x, y)$, соответственно имеем

$$\begin{cases} x = \frac{X}{Z} = (u - u_0)/p_x \\ y = \frac{Y}{Z} = (v - v_0)/p_y \end{cases},$$

где u, v – координаты точки изображения, выраженные в пиксельных единицах, u_0, v_0 – координаты главной точки камеры, p_x, p_y – отношение между фокусным расстоянием и размером пикселя. Рассмотрим движение камеры закрепленной на подводном аппарате $V = (v, w)$. Скорость точки относительной системы координат камеры в векторном виде определяется выражением

$$\dot{P} = -w * P - V.$$

Переписывая его в скалярной форме, получим

$$\begin{aligned} \dot{X} &= Yw_z Z - w_y - v_x \\ \dot{Y} &= Zw_x - Xw_z - v_y \\ \dot{Z} &= Xw_y - Yw_x - v_z \end{aligned} \quad (1)$$

Перспективная проекция для нормализованных координат плоскости изображения и их производные имеют вид

$$x = \frac{X}{Z}, y = \frac{Y}{Z}$$

$$\dot{x} = \frac{\dot{X}Z - X\dot{Z}}{Z^2}, \dot{y} = \frac{\dot{Y}Z - Y\dot{Z}}{Z^2} \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), находим

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} -1/Z & 0 & x/Z & xy & -(1+x^2) & y \\ 0 & -1/Z & y/Z & 1+y^2 & -xy & -x \end{bmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix}$$

где J - матрица взаимосвязи скоростей перемещения подводного аппарата с жестко закрепленной на нем камерой и скоростей движения точек, связанных с объектом, в нормализованных координатах изображения. Матрица якобиана не зависит от мировых координат X или Y , только от координат плоскости изображения (u, v) . Первые три столбца зависят от глубины точки Z , и это отражает тот факт, что для камеры скорость плоскости изображения обратно пропорциональна глубине. Чтобы из ошибки между желаемыми координатами точки объекта и текущими получить скорости перемещения подводного аппарата, используют следующие уравнение

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ w_x \\ w_y \\ w_z \end{pmatrix} = -\lambda \cdot J^+ \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix}$$

где J^+ – псевдообратная матрица, λ – коэффициент перехода от скоростей движения точек, связанных с объектом, к их смещениям.

Описанный способ управления был отработан в симуляторе бассейна ПА, имеющим два движителя для перемещения вперед/назад, два движителя на подъём/погружение и один движитель для смещения вбок. Также на борту ПА имеются две камеры. Одна вперед смотрящая камера и одна донная камера, размер изображения камер 360X240 пикселей. В сцене, показанной на рисунке 3, был расположен объект - зелёная круглая пластина, который наблюдался донной камерой ПА.



Рис. 3. – Сцена симулятора для отработки работы алгоритма.

Задача заключается в стабилизации ПА, таким образом чтобы проекция центра пластины на изображение находилась в центре изображения с координатами (160, 120) при условии воздействия сил течения на ПА.

Были реализованы два способа управления:

- по линейной продольной и угловой курсовой скоростям ПА;
- по линейной продольной и поперечной скоростям ПА.

Соотношения для управляющих воздействий в первом и втором случае определяются выражениями

$$\begin{pmatrix} v_x \\ w_z \end{pmatrix} = -\lambda \cdot \begin{pmatrix} -\frac{1}{z} & y \\ 0 & -x \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = -\lambda \cdot \begin{pmatrix} -1/Z & 0 \\ 0 & -1/Z \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix},$$

где u, v – линейные продольная, поперечная скорости ПА, соответственно, r – угловая курсовая скорость ПА, φ – курсовой угол. Кроме управляющего воздействия на вход команды управления двигателями ПА, отвечающими за линейные продольное и поперечное перемещение, подавались u_c, v_c – скорости течения соответственно.

Результаты работы алгоритма стабилизации изображены на рисунках 4 и 5. Скорость течения менялась от 2 до 16% от скорости ПА, время моделирования было задано 25 секунд. Видно, что оба варианта управления приводят ПА в окрестность точки пространства, в которой проекция центра пластины на изображение расположен в центре изображения. В таблицах 1 и 2 указаны значения ошибок в конечный момент времени положения проекции центра пластины на изображение относительно центра изображения при управлении ПА первым и вторым способами соответственно.

Табл. 1. Значение ошибки в конечный момент времени при управлении по первому способу

	$\lambda = 100$, скорость течения – 2%	$\lambda = 150$, скорость течения – 2%	$\lambda = 200$, скорость течения – 2%	$\lambda = 150$, скорость течения – 8%	$\lambda = 150$, скорость течения – 16%
$e_x, pixel$	13	2	-4	-15	26
$e_y, pixel$	-8	-4	-5	-2	0

Табл. 2. – Значение ошибки в конечный момент времени при управлении по второму способу

	$\lambda = 450$, скорость течения – 2%	$\lambda = 500$, скорость течения – 2%	$\lambda = 550$, скорость течения – 2%	$\lambda = 500$, скорость течения – 8%	$\lambda = 500$, скорость течения – 16%
$e_x, pixel$	-3	-2	-2	-8	22
$e_y, pixel$	-8	-7	-6	-15	6

Заключение. Результаты моделирования показывают, что управления по линейной продольной и угловой курсовой скоростям ПА и линейной продольной и поперечной скоростям ПА дают примерно одинаковые результаты. В дальнейшем предполагается опробовать описанные алгоритмы на реальном объекте.

Список использованных источников

1. Asgeir J. Sørensen Dynamic Positioning Control Systems for Ships and Underwater Vehicles. January 2014 DOI: 10.1007/978-1-4471-5102-9_122-1. In book: Encyclopedia of Systems and Control.
2. Костенко В.В., Павин А.М. Автоматическое позиционирование необитаемого подводного аппарата над объектами морского дна с использованием фотоизображений // Подводные исследования и робототехника. 2014. №17. С. 39-16.
3. François Chaumette and Seth Hutchinson. Visual servoing and visual tracking. In Bruno Siciliano and Oussama Khatib, editors, Springer Handbook of Robotics, pages 563–583. Springer Verlag, Berlin, Germany, 2008.

УДК 681.5.013

Голбан В.О., студент кафедры ИУТС

Мирянова В.Н., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

vnmiryanova@sevsu.ru

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РОЯ ЧАСТИЦ

Решение обратной задачи кинематики (ОЗК) является одной из важнейших задач в робототехнике. В данной работе решение ОЗК было реализовано с помощью одного из оптимизационных алгоритмов, называемых методом роя частиц или алгоритмом оптимизации роя частиц [4]. Он был выбран в связи с относительной простотой, возможностями избежать сингулярностей и решения ОЗК избыточных манипуляторов.

В качестве модели использовался шестизвенный манипулятор, являющийся частью антропоморфного торсового робота SAR-401, а в частности его левая рука (рис. 1). Для решения ОЗК необходимо предварительно решить прямую задачу кинематики (ПЗК) этого манипулятора.



Рис. 1. – Манипулятор

Решение ПЗК

ПЗК заключается в расчете координат положения и ориентации системы координат, связанной со схватом или рабочим инструментом, при заданном наборе обобщенных координат манипулятора.

Для решения ПЗК определяются параметры Денавита-Хартенберга [1] (Д-Х) данного манипулятора, приведённые в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры Д-Х

Для этой же цели создана функция в среде Matlab, описывающаяся выражением (3), работающая так, что при вводе набора суставных углов, на выходе получается матрица позы.

Звено, i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	0.2	0	$-\frac{\pi}{2}$
2	$\theta_2 - \frac{\pi}{2}$	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
3	$\theta_3 - \frac{\pi}{2}$	- 0.3	0	$-\frac{\pi}{2}$
4	$\theta_4 + \pi$	0	0	$-\frac{\pi}{2}$
5	$\theta_5 - \pi$	- 0.3	0	$-\frac{\pi}{2}$
6	$\theta_6 + \frac{\pi}{2}$	0	-0.15	0

$$A_i = A_{z,\theta_i} A_{z,d_i} A_{x,\alpha_i} A_{x,\alpha_i} = \begin{bmatrix} R_{z,\theta_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & p_{di} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & p_{ai} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{x,\alpha_i} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} c_{\alpha_i} & s_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$${}^0A_6 = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 = \begin{pmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$f([\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_d]) = \begin{pmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Решение ОЗК

В алгоритме оптимизации роя частиц (ОРЧ) каждая частица несет два важных вектора: *P* (position) и *V* (velocity), в популяционной итерации. Вектор *P* – это местоположение в пространстве поиска; кроме того, он представляет собой решение задачи. Вектор *V* содержит информацию о размере шага и направлении движения. Каждая частица обновляет эти два вектора по следующим формулам:

$$V(i) = w * V(i) + c1 * rand * (pbest - P) + c2 * rand * (gbest - P) \quad (4)$$

$$P(i) = P(i) + V(i) \quad (5)$$

где *i* – метка частиц;

w – вес инерции, определяющий, насколько скорость наследуется от предыдущего поколения;

c1 – фактор когнитивного обучения;

c2 – фактор социального обучения, оба в общем случае являются константами;

rand – случайные числа между [0,1];

pbest – значение наилучшего положения *i*-й частицы в истории за всё время;

gbest – значение глобального наилучшего решения.

В этом алгоритме для оценки пригодности каждой частицы используется функция приспособляемости или, иначе, фитнес, представленная в виде:

$$f(i) = fitness(P_i), \quad (6)$$

где *P(i)* – это положение частицы.

Основной процесс выполнения ОРЧ заключается в следующем:

Шаг 1. Установка параметров и инициализация популяции первого поколения.

Шаг 2. Вычисление пригодность каждой частицы и обновите *pbest* и *gbest*.

Шаг 3. Определение, было ли выполнено условие прекращения.

Шаг 4. Если итерация продолжается, обновить *V* и *P* с помощью уравнений (4) и (5), вернуться к шагу 2, в противном случае вернуть *gbest* и соответствующие *P*.

По сути, ОЗК преобразуется в задачу оптимизации, функции приспособляемости (фитнес) которая решается с помощью алгоритма ОРЧ.

На рис. 2 необходимая и текущая позы описываются двумя матрицами. Когда две позы близки, элементы матриц примерно одинаковы, поэтому фитнес i -й частицы может быть рассчитан по уравнению (7). Чем он меньше, тем лучше решение, полученное от соответствующей частицы.

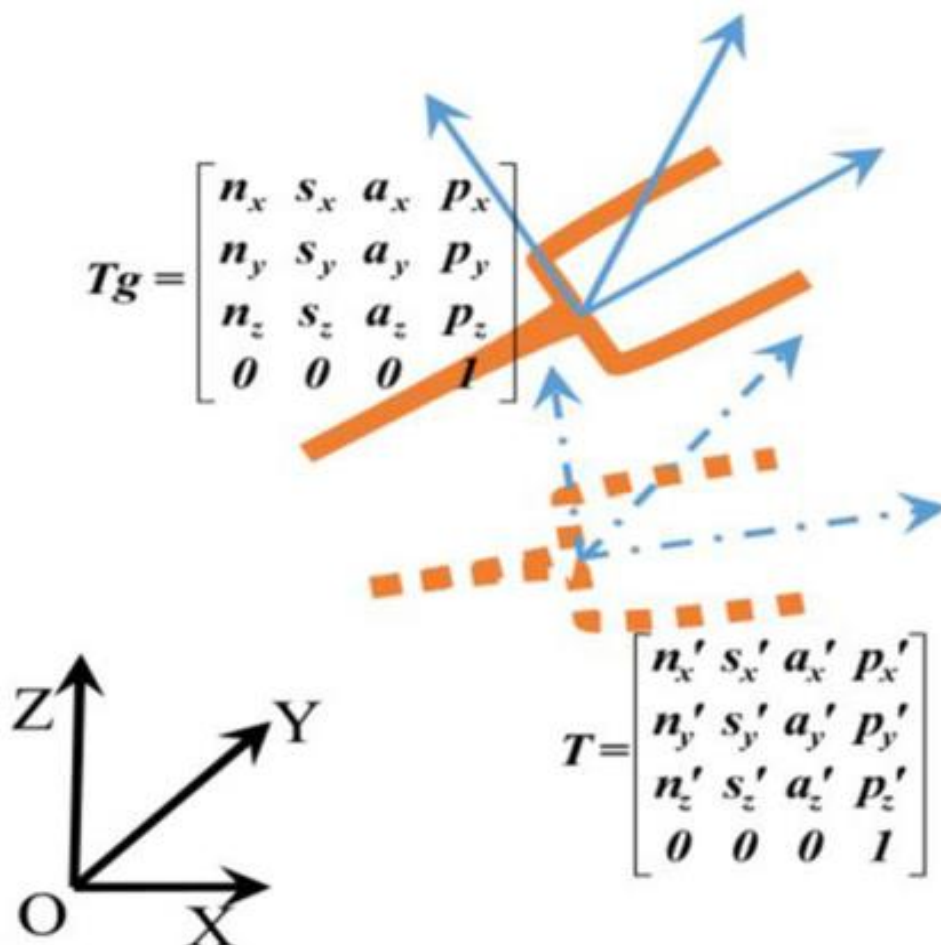


Рис. 2. – Расхождение поз

$$f(i) = \sqrt{\sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^4 (T_{gmn} - T_{mn})^2}, \quad (7)$$

где T_g - матрица положения схвата 4x4, T - матрица положения 4x4, вычисленная по информации i -й частицы. m и n представляют собой строку и столбец матрицы, соответственно.

Цель ОЗК - подобрать набор шарниров для заданной позы. Поэтому P шестизвенного манипулятора можно выразить следующим образом:

$$P = (\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \theta_5 \theta_6). \quad (8)$$

Подставив P в функцию (3), можно получить матрицу поз; затем по уравнению (7) можно вычислить пригодность P .

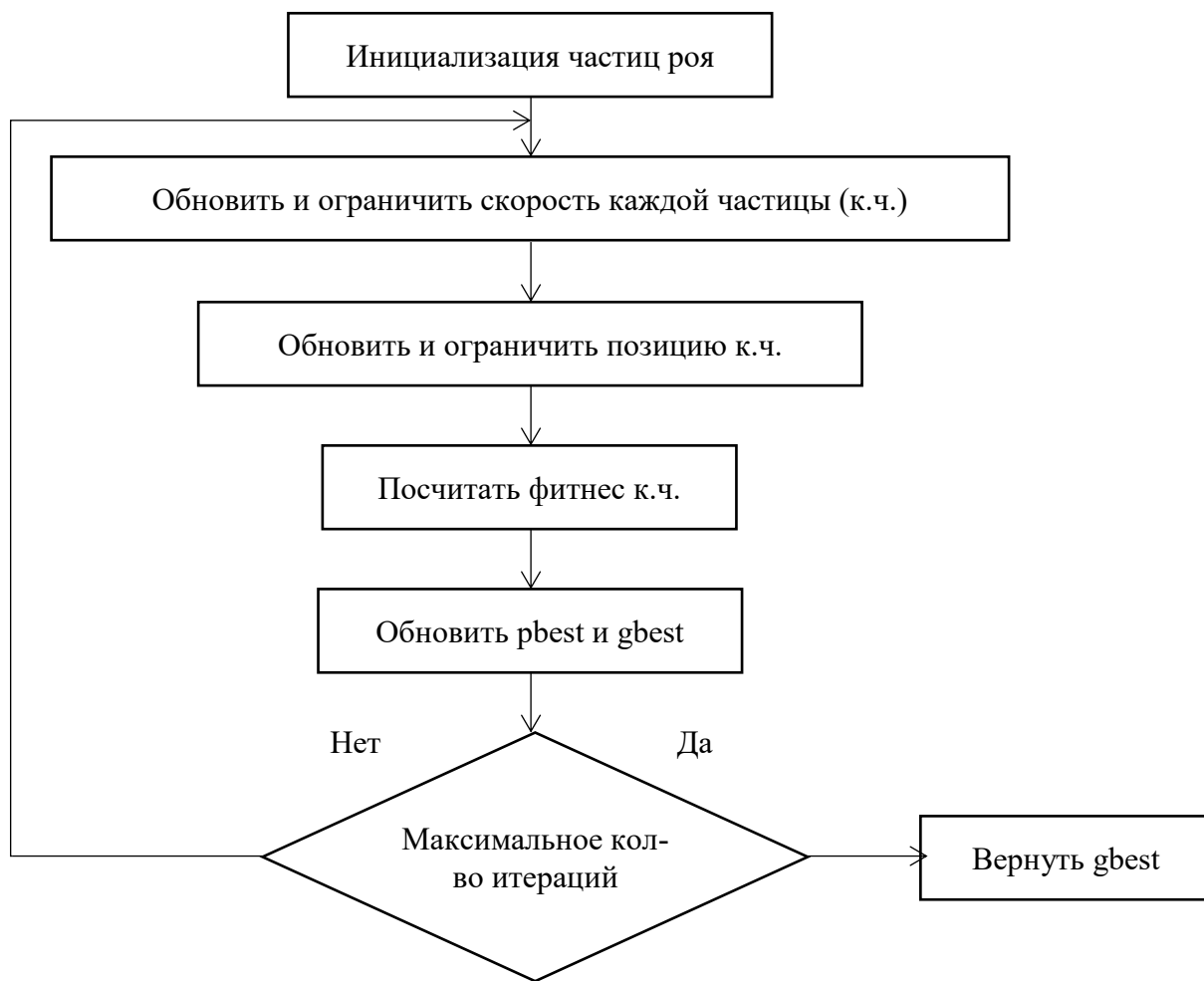


Рис. 3. – Блок схема алгоритма.

Таблица 2 – Результаты работы алгоритма

Углы заданные/углы полученные						Фитнес	Время с	Ошибка положения мм
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6			
-45	20	90	-45	45	- 15	0.0111	2.273587	10.8317
41.017	22.607	81.452	-39.537	-34.983	20			
0	0	0	0	0	0	5.2124e-05	0.969433	0.0041
0	0	4.123	0	- 4.123	0			
-100	80	80	-80	-80	17	0.0018	1.966273	1.66
-101.98	79.96	78.129	-79.952	-80.368	17.02			
-100	45	80	-90	0	20	0.0051	2.01	11.3877
-120	44.045	79.82	-90	-14.251	6.115			
-90	30	0	-90	-90	0	6.9900e-05	0.608641	0.0148
-89.997	30.004	0	-90	-90	0.003			
33.3	55.5	22.2	-66.6	-44.4	4.4	9.8443e-05	1.746003	0.0963
33.311	55.526	22.161	- 66.567	- 44.368	4.427			

Заключение

В работе алгоритм оптимизации роя частиц был успешно использован для получения точных конфигураций суставов для желаемого положения и ориентации шестизвенного манипулятора.

Подход к решению ОЗК на основе прямой кинематики может быть использован во всех роботах-манипуляторах. Хотя параметры Д-Х различны, структура матрицы позы идентична. Следовательно, решение ОЗК для различных многофункциональных манипуляторов может быть завершено с помощью предложенной функции приспособляемости.

В некоторых литературных источниках положение схвата является единственной целью, и функция менее сложная. Поэтому получение точных решений становится проще. Тогда как предложенный в данной работе алгоритм может точно находить решения, когда целями являются и положение, и ориентация.

В дальнейшем работа будет направлена на улучшение алгоритма так, чтобы он мог контролировать положение локтя и обходить препятствия.

Список использованных источников

1. J. Denavit, R.S. Hartenbergh, A Kinematic Notation for Lowe-Pair Mechanisms Based on Matrices / *Journal of Applied Mechanics*, - June 1955. pp. 215-221. doi:10.1115/1.4011045
2. Deng, H., Xie, C. An improved particle swarm optimization algorithm for inverse kinematics solution of multi-DOF serial robotic manipulators / *Soft Computing* 25, 13695–13708 (2021).
3. Peter Corke. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms In MATLAB, Second Edition (Springer Tracts in Advanced Robotics, 118) 2nd ed. - 2017 Edition.
4. J. Kennedy, R. Eberhart. Particle swarm optimization / *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks* - 1995, pp. 1942-1948 vol.4, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.

УДК 681.518.5

Осадченко А.Е., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС**Ковязин Б.С.**, студент кафедры ИУТС*Севастопольский государственный университет**г. Севастополь, Россия**aeosadchenko@sevsu.ru*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СЕРВЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Предлагается решение по применению системы мониторинга тепловых параметров и прогнозирования аварийных ситуаций климатического оборудования в серверных помещениях, что позволит снизить затраты на охлаждение и повысить надежность работы вычислительной техники. При проектировании серверных помещений, большое внимание уделяется проблеме создания оптимальных условий по поддержанию необходимой температуры и влажности в помещении. Производители серверного оборудования гарантируют его стабильную работу в определенном диапазоне температур. В настоящее время наиболее часто применяется выделенная система охлаждения – прецизионные кондиционеры для регулировки температуры, влажности и очистке воздуха от пыли. Одной из проблем является применение кондиционеров зимой. При низких температурах происходит замерзание масла компрессора. Полиэфирные масла, используемые вместе с фреоном R410, не лишены данных проблем и при низких температурах могут застывать, при этом кинетическая вязкость и смазывающие свойства их ухудшаются [1].

Большое значение для надежности работы системы охлаждения имеет расположение и длина теплотрассы, которая соединяет внешний блок находящейся снаружи здания и охлаждаемое серверное помещение. При значительной длине теплотрассы и недостаточной её теплозащите может возникать уменьшение пропускной способности, вследствие замерзания паров воды. Результатом является снижение производительности системы охлаждения. В большинстве случаев проблема решается установкой дублирующей системы охлаждения, которая включается при выходе температуры воздуха в серверном помещении за допустимые пределы.

Проблемой в этом случае является работа основной системы охлаждения в аварийном режиме в течении длительного времени, что может привести к выходу её из строя. Кроме того, возникают нежелательные колебания температуры, в серверном помещении которые отрицательно сказываются на работе охлаждаемого оборудования.

Автоматизированная система прогнозирования аварийных режимов отслеживает начало снижения производительности системы охлаждения серверного помещения и оперативно оповещает обслуживающий персонал посредством сообщений через сетевые коммуникации, а также может заблаговременно включить резервную систему охлаждения. Так как предполагается расположение

серверного помещения внутри здания, то кондиционный теплоперенос сквозь стены и поток тепла вследствие инфильтрации через двери сравнительно невелики, из-за небольшой разницы температур между охлаждаемым и смежными помещениями.

С учетом этого допущения уравнение энергетического баланса температуры воздуха в помещении может быть описано формулой

$$m_a c_a \frac{dT_i}{dt} = Q_{\text{оборуд}} + Q_{\text{вент}} - Q_{\text{охл}}$$

где m_a – масса воздуха кг; c_a – удельная теплоёмкость воздуха Дж/кг*К; $Q_{\text{кон}}$ – конвекционный теплоперенос; $Q_{\text{оборуд}}$ – тепловыделение от охлаждаемого оборудования; $Q_{\text{вент}}$ – теплоподача от естественной вентиляции; $Q_{\text{охл}}$ – забор тепла от системы охлаждения.

Тепловыделение охлаждаемого оборудования практически полностью зависит от потребляемой электроэнергии. Это позволяет, отслеживая изменения температуры в помещении и величину энергопотребления оборудования отследить начало аварийной ситуации в системе охлаждения серверного помещения.

Был произведен эксперимент, целью которого было обнаружение нештатной ситуации в системе охлаждения серверного помещения по изменению температуры воздуха и потребляемой электрической мощности оборудования. Измерение электрической мощности, потребляемой оборудованием, производилось средствами источника бесперебойного электропитания APC Smart-UPS SRT 3000VA RM 208/230V IEC[2], охлаждение помещения производилось при помощи сплит-системы фирмы Haier модели HSU-12HTL103/R2[3].

Расположение оборудования и системы охлаждения воздуха при проведении экспериментов проиллюстрирован на рис. 1.

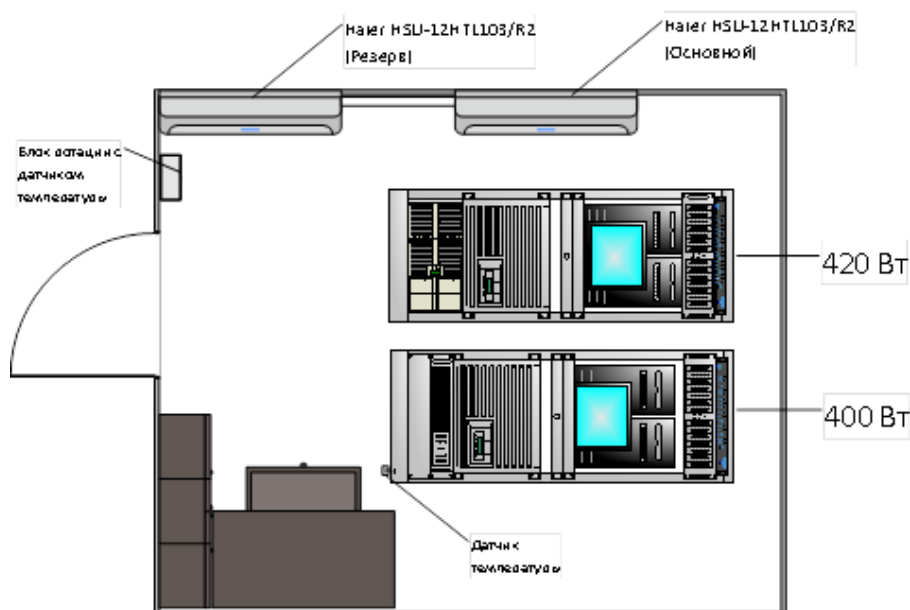


Рис. 1. – Схема серверного помещения с расположением стоек и сплит-системы

Размеры серверного помещения, в котором производились эксперименты: длина – 5 м, ширина – 4 м, высота – 2,5 м.

Система сбора информации изготовлена на основе одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 model B[4] внешний вид которого иллюстрирует рис. 2.

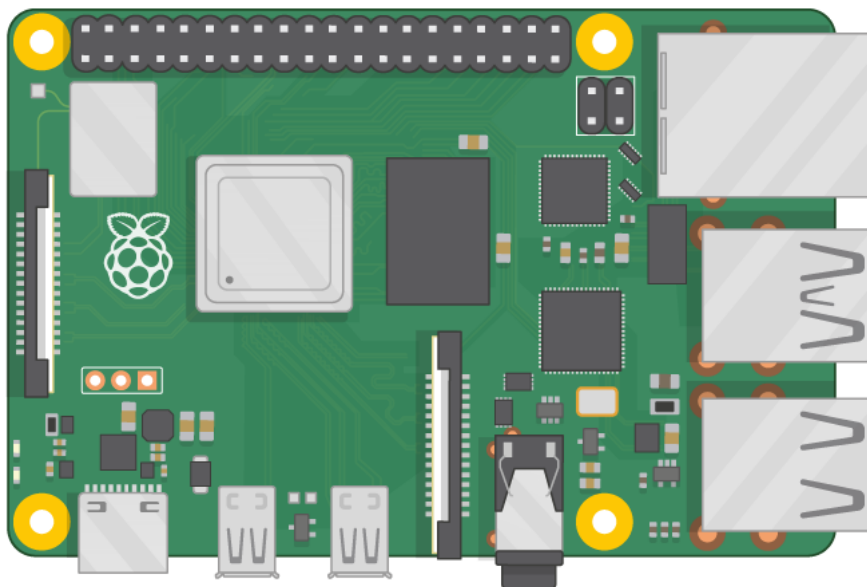


Рис. 2. – Плата Raspberry Pi 4 model B

Выбор данной модели был обусловлен наличием интерфейса для подключения датчиков температуры ds18b20[5], большим объемом ОЗУ(4ГБ), позволяющим размещать в нем временные ряды и достаточно высокой производительностью процессора Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz, которая достаточна для анализа временных рядов

Большим достоинством данного компьютера является наличие сетевых интерфейсов Ethernet (RJ-45) и Wi-Fi, а также системного программного обеспечения, позволяющего организовать доступ к файловой системе и удаленное управление.

Установленная на таких компьютерах операционная система Raspbian основана на Debian GNU/Linux и предоставляет пользователям возможность работы с датчиками температуры через интерфейс 1-Wire при помощи подгружаемых модулей w1-gpio и w1-therm и языка C.

Для сбора информации от датчиков температуры была написана программа на языке C, которая последовательно считывает информацию с датчика ds18b20 и посредством сетевого интерфейса производит прием данных от источника бесперебойного питания с периодом 60 с.

Эксперимент длился 2600 минут при начальной температуре воздуха в помещении 20°C. Графики температуры воздуха в помещении(красная линия) и мощности, потребляемой оборудованием (синяя линия) проиллюстрированы на рис. 3.

Измерения показали, что потребляемая оборудованием электрическая мощность изменялась в небольших пределах(820-850 Вт).

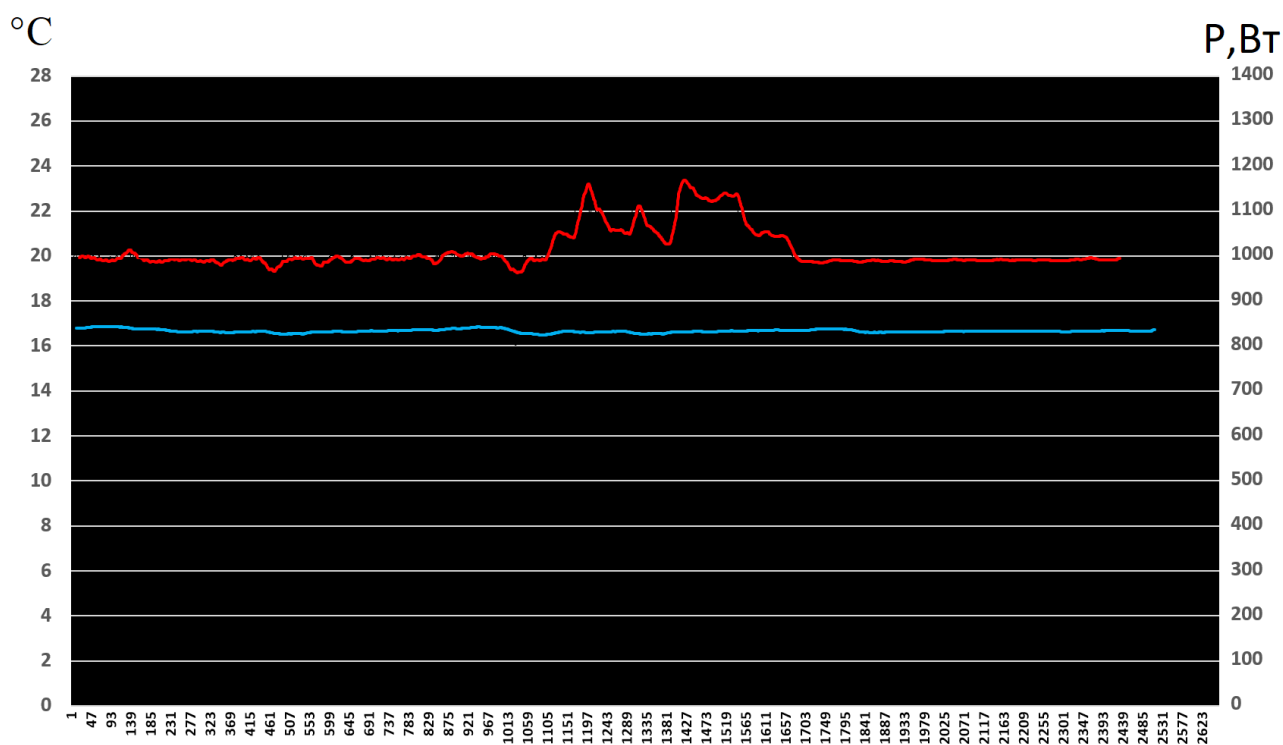


Рис. 3. – Графики температуры воздуха и потребляемой мощности

Рост температуры, начиная с 1150 минуты эксперимента показывает начало аварийной ситуации в системе охлаждения серверного помещения. Вследствие замерзания паров воды в теплотрассе, работа кондиционера становится нестабильной, а температура воздуха меняется в диапазоне 19,7 °C– 23,7 °C. На 1500 минуте эксперимента был включен резервный кондиционер, работа которого привела к нормализации температуры воздуха.

Заключение. Анализ графиков температуры и потребляемой мощности позволяет сделать вывод о возможности прогнозирования аварийной ситуации при помощи отслеживания температуры и измерения потребляемой мощности. При возникновении неисправности кондиционера происходит увеличение температуры на 1 °C за время не более 30 минут при неизменной потребляемой мощности, что позволяет системе прогнозирования предупредить обслуживающий персонал о возможности аварийной ситуации и произвести включение резервной системы оборудования.

Список использованных источников

1. Бабакин Б.С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем /Бабакин Б.С./ Монография. - Рязань: Узорочье, 2003. - 470 с., ISBN 5-85057-490-5.
2. Ресурсы для сплит-системы Haier HSU-12HTL103\R2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://haier-rus.ru/product/hsu-12htl103-r2-in-hsu-12htl103-r2-out/>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).
3. Ресурсы для источника бесперебойного питания APC Smart-UPS SRT 3000VA RM 208/230V IEC [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.apc.com/shop/ee/en/products/APC-Smart-UPS-SRT-3000VA-RM-208-230V-IEC/P-SRT3000RMXLW-IEC>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).
4. Ресурсы для Raspberry Pi 4 model B [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).
5. Ресурсы для DS18S20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58558/DALLAS/DS18S20.html>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).

УДК 681.518.5

Осадченко А.Е., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС

Якушенко Е.Д., студент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

aeosadchenko@sevsu.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ «УМНОГО ДОМА»

Возрастающие затраты на отопление и недостаточная эффективность управления тепловыми параметрами помещений в стандартных системах управления климатическим оборудованием определяют необходимость разработки инновационных методов оптимизации теплоснабжения, использующих преимущества технологий «Умный дом». Предлагается автоматизированная система контроля теплоснабжения помещений “умного дома” для снижения финансовых затрат при сохранении комфортного теплового режима. Система должна обеспечивать получение детализированной информации с датчиков температуры, ее интерпретацию и выбор режима управления климатическим оборудованием, а также оповещения пользователя о возможной аварийной ситуации.

Современные системы управления климатическим оборудованием часто не учитывают особенности конкретных помещений. При их разработке в основном уделяется внимание качеству поддержания параметров жизнедеятельности и не рассматриваются вопросы изменения характеристик самого помещения, например, при открывании окон для проветривания. Также влияние на работу климатического оборудования может оказывать расположение различных объектов в комнате. Отсутствие своевременной реакции системы управления климатом помещения на изменение его характеристик может приводить к повышенным расходам энергии.

Была поставлена задача, построить автоматизированную систему контроля тепловых параметров помещений, которая будет определять изменение их характеристик и выбирать режим работы климатического оборудования с целью уменьшения энергопотребления.

Для решения данной задачи предлагается проводить измерения скорости изменения температуры воздуха в помещении в некоторых режимах, которые возникают наиболее часто. Параметры для конкретного помещения должны определяться в автоматическом режиме перед началом эксплуатации или при существенном изменении его характеристик. В процессе эксплуатации система контроля, используя информацию от температурных датчиков, будет определять один из нескольких режимов работы климатического оборудования, и оповещать пользователей, с целью уменьшения энергозатрат и предотвращения аварийных ситуаций в системе теплоснабжения.

Математическое описание тепловых систем зданий является сложной задачей из-за наличия нелинейностей и неопределенностей, таких как коэффициенты конвективной теплоотдачи, свойства материалов, а также необходимости

учета влияния внешних погодных условий и радиации, режимов освещения здания, работы оборудования жизнеобеспечения, присутствия людей[1]. В [1] приведено уравнение энергетического баланса температуры воздуха в помещении

$$m_a c_a \frac{dT_i}{dt} = Q_{\text{кон}} + Q_{\text{вн}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{ст}} \pm Q_{\text{ви}}$$

где m_a – масса воздуха кг; c_a – удельная теплоёмкость воздуха Дж/кг*К; $Q_{\text{кон}}$ – конвекционный теплоперенос; $Q_{\text{вн}}$ – внутренний нагрев; $Q_{\text{вент}}$ – теплоподача от естественной вентиляции; $Q_{\text{инф}}$ – поток тепла вследствие инфильтрации; $Q_{\text{ст}}$ – кондуктивный теплообмен сквозь стены; $Q_{\text{ви}}$ – теплопередача от внутренних источников тепла.

В большинстве случаев для жилых помещений поток тепла вследствие инфильтрации, значительно меньше, чем от естественной вентиляции (при отсутствии системы рекуперации).

В зимнее время при значительной разнице температур снаружи и внутри помещения $Q_{\text{вн}}$, $Q_{\text{вент}}$, $Q_{\text{ст}}$ вносят наибольший вклад в энергетический баланс.

Величины теплопередачи от вентиляции и кондуктивного теплообмена сквозь стены пропорциональны разности температур воздуха внутри помещения и окружающей среды. Теплопередача от внутренних источников тепла обеспечивается электронагревателями.

Для проверки возможности определения режимов работы системы контроля, были произведены эксперименты, в процессе которых измерялась температура воздуха внутри помещения и снаружи при различных тепловых характеристиках помещения.

Второй датчик, измеряющий температуру воздуха снаружи дома, закреплен на внешней стене. Рис. 1 иллюстрирует расположение обогревателя и системы сбора информации от датчика температуры в помещении жилого дома при проведении экспериментов.

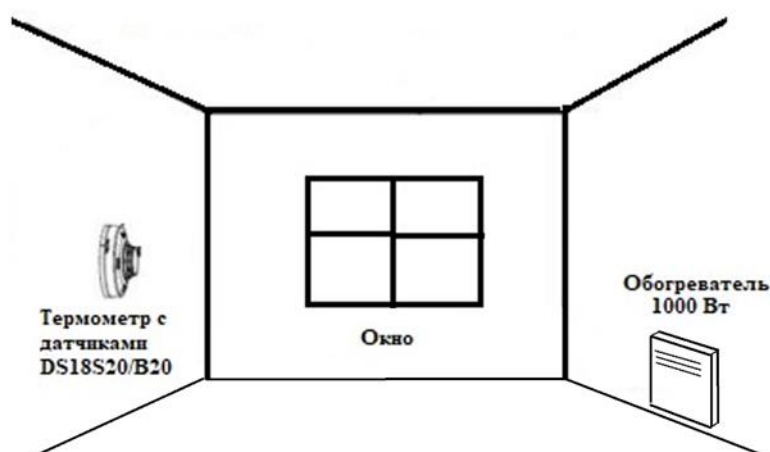


Рис. 1. – Схема расположение термометра и обогревателя в помещении

Выбор данной модели был обусловлен наличием интерфейса для подключения датчиков температуры ds18b20[3], большим объемом ОЗУ (1ГБ), позволяющим размещать в нем необходимые объёмы данных и высокой производительностью процессора Cortex-A53 (ARM v8), которая достаточна для анализа временных рядов.

Установленная на таких компьютерах операционная система Raspbian основана на Debian GNU/Linux и предоставляет пользователям возможность работы с датчиками температуры через интерфейс 1-Wire, при помощи подгружаемых модулей `w1-gpio` и `w1-therm` и языка C.

Для сбора информации от датчиков температуры была написана программа на языке C, которая последовательно считывает информацию с 2 датчиков ds18b20 и производит запись информации во внутреннюю память платы Raspberry Pi 3 с периодом 60 с.

Первый эксперимент длился 900 минут и производился при закрытом окне и двери в помещении, что обеспечивало минимальную утечку тепла от проветривания. Температура воздуха в помещении при постоянно включенном обогревателе установилась в 20°C. Температура поверхности стены в непосредственной близости от датчика была равна 15 °C.

26

Рис. 3 иллюстрирует изменение температур воздуха в помещении (красная линия) и на улице (синяя линия) при отключении обогревателя.

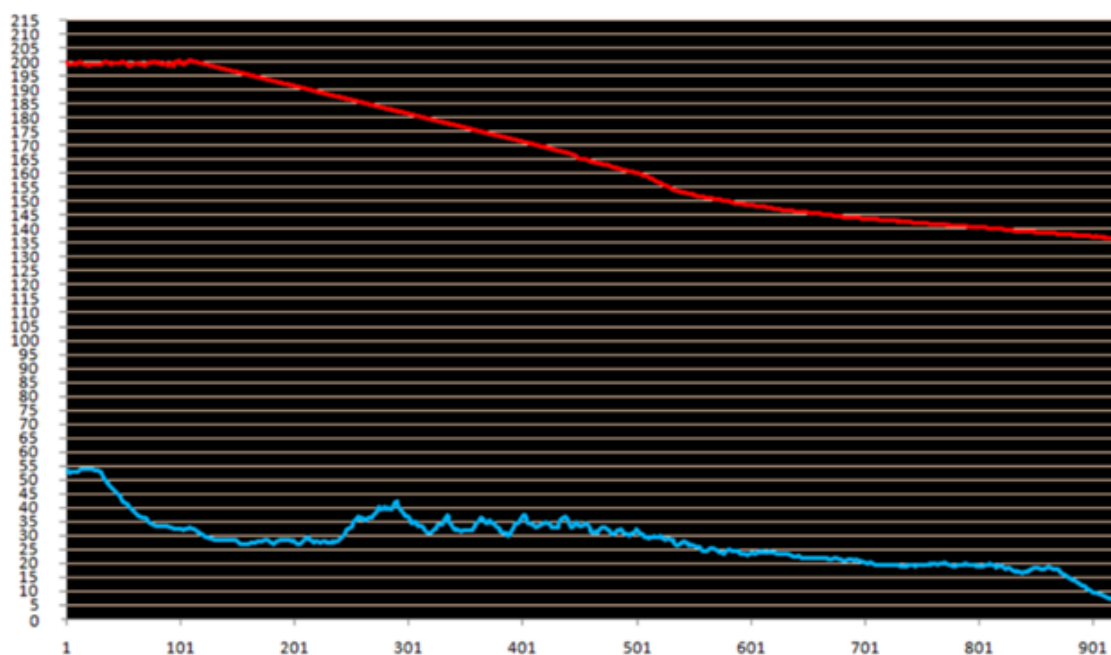


Рис. 2. – Плата Raspberry Pi 3 model B

Заметно снижение скорости изменения температуры воздуха в помещении при приближении её к температуре стен, которые имеют значительно большую теплоемкость.

Переходный процесс, показанный на рис. 3, демонстрирует аварийный режим работы климатического оборудования при выходе из строя нагревателя или его выключения.

Средняя скорость понижения температуры воздуха в начале эксперимента была равна 0,01 °C в минуту, в конце эксперимента 0,005 °C в минуту. Температура окружающей среды во время активной фазы эксперимента изменялась в диапазоне 2 – 4 °C, а разница температур между улицей и комнатой изначально составляла 16,6 °C.

Второй эксперимент длился 120 минут и производился при постоянно включенном обогревателе. Температура воздуха в помещении, как и в первом эксперименте, установилась в 20 °C. На 12 минуте эксперимента производилось открывание окна, и отслеживался переходный процесс установки температуры воздуха, на 42 минуте окно закрывалось.

Рис. 4 иллюстрирует изменение температур воздуха в помещении (красная линия) и на улице (синяя линия) при открывании окна и работающим обогревателе.

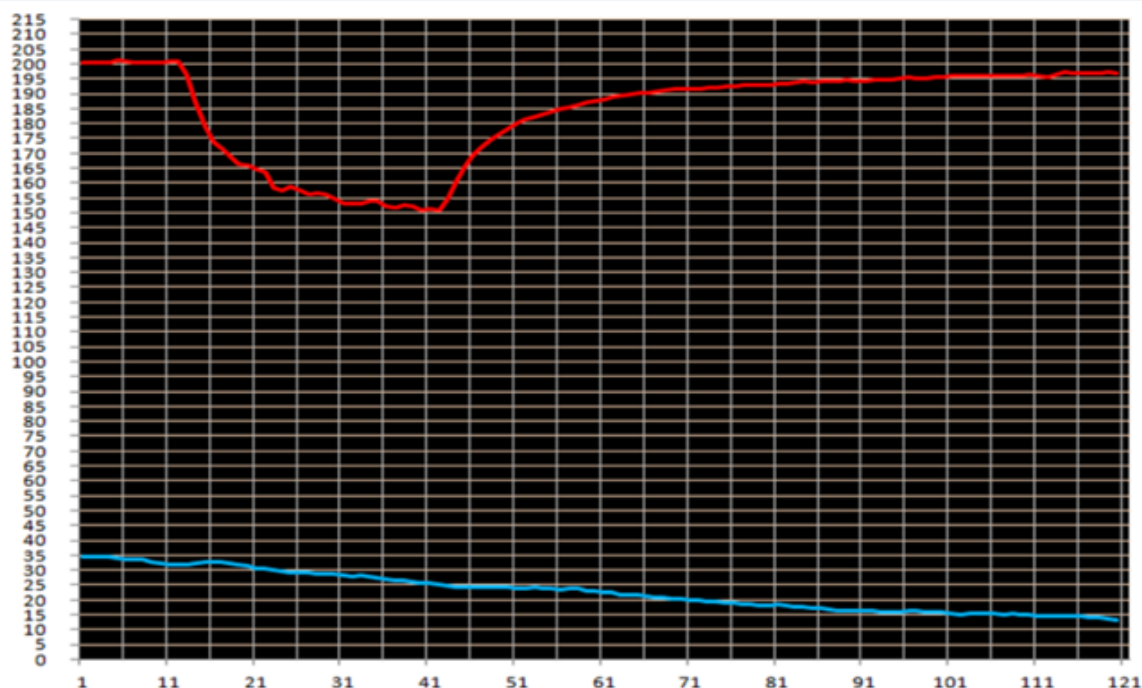


Рис. 4. – График переходного процесса при открывании окна

Температура окружающей среды во время активной фазы эксперимента изменялась в диапазоне $1,5 - 3,3$ °C, а разница температур между улицей и комнатой изначально составляла $16,8$ °C.

Из графика температуры воздуха в помещении следует, что за 10 минут после открывания окна температура уменьшалась со средней скоростью $0,4$ °C в минуту. Таким образом, при практически одинаковой разнице между температурами комнаты и улицы в двух экспериментах, скорость понижения температуры при открытом окне и включенном обогревателе в 40 раз больше, чем при закрытом окне и выключенном обогревателе.

Закрывание окна на 42 минуте эксперимента привело к росту температуры помещения, причем температура воздуха стремиться к значению, которое было до начала эксперимента (20 °C). График температуры воздуха в помещении, близок к экспоненциальному, при постоянной времени 8 минут.

Проведенные эксперименты позволяют выделить три режима работы климатического оборудования, которые могут быть определены автоматизированной системой контроля тепловых параметров помещения “умного дома”.

Первый режим – отключение системы теплоснабжения пользователем или выход её из строя. Невысокая скорость изменения температуры в этом режиме позволяет надежно определить его в течении 20 – 30 минут.

Второй режим – проветривание помещения в холодную погоду или незапланированное открытие окна. При высокой скорости изменения температуры этот режим может быть определен за 3 – 5 минут.

Третий режим – закрытие ранее открытого окна, также надежно может быть определен за 3 – 5 минут.

Заключение. Находя отношение скорости изменения температуры, к разнице температур в помещении и на улице при различных условиях возможно получить характеристики для конкретного помещения, которые позволяют интерпретировать режим работы климатического оборудования при дальнейшем использовании системы контроля тепловых параметров.

Список использованных источников

1. Али Иссам. Моделирование тепловых режимов эксплуатации зданий с использованием систем MATLAB/Simulink / Али Иссам // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 1(149). – С. 95-99.
2. Ресурсы для Raspberry Pi 3 model B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).
3. Ресурсы для DS18S20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58558/DALLAS/DS18S20.html>, свободный. (дата обращения: 28.03.22).

УДК 517.72

Козырев В.Г., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

vldr.kzrv@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ ОСТАНОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА SDC

Исследуется возможность построения закона управления скоростью электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения путем применения метода SDC. Особенность задачи состоит в нелинейном характере динамики электропривода. Известные методы аналитического конструирования регуляторов в этом случае не пригодны. Моделирование показало, что метод SDC приводит к закону управления, обеспечивающему равномерное и быстрое уменьшение скорости привода вплоть до его останова за заданное время.

Введение. Производственные процессы, связанные с эксплуатацией оборудования, оснащенного электрическими двигателями, требуют периодического останова. Однако после отключения питающего напряжения от электродвигателей их роторы продолжают вращение по инерции и останавливаются только через определенный промежуток времени. Такой останов электродвигателя называется свободным выбегом.

Для электродвигателей, работающих с частыми пусками-остановами, останов способом свободного выбега не подходит. Чтобы сократить время, необходимое для полного останова вращения ротора, применяется принудительное торможение. Торможение электродвигателей постоянного тока традиционно осуществляется противовключением и динамическим способом. Однако эти способы также не дают достаточно быстрого торможения, необходимого для многих исполнительных элементов систем автоматики.

За последние двадцать лет произошли качественные изменения в структуре электропривода, связанные в первую очередь с переходом на новую элементную базу построения как силового канала (IGBT-транзисторы, интеллектуальные силовые модули IPM), так и канала управления – высокопроизводительные микроконтроллерные системы прямого цифрового управления оборудованием. Указанные тенденции открыли широкие возможности управления электроприводами, опирающиеся на современные теоретические методы оптимизации, позволяющие строить гибкие алгоритмы управления нелинейными объектами.

К числу перспективных и быстро развивающихся методов синтеза нелинейных систем управления относится SDC-метод, основные идеи которого сформулированы в середине 90-х годов прошлого века [1-3]. В настоящей работе метод SDC применяется для исследования электропривода постоянного тока с последовательным возбуждением двигателя, динамика которого описывается

нелинейными уравнениями. В работе построен закон терминального управления скоростью электропривода, осуществляющий плавный останов ЭП – равномерный и быстрый перевод его скорости из произвольного текущего значения в нулевое.

Электромеханическое уравнение электропривода. Электропривод содержит в своем составе электродвигатель постоянного тока (ДПТ), редуктор и тахогенератор. В ДПТ с последовательным возбуждением обмотка возбуждения и якорная обмотка соединены последовательно, как показано на рис.1.

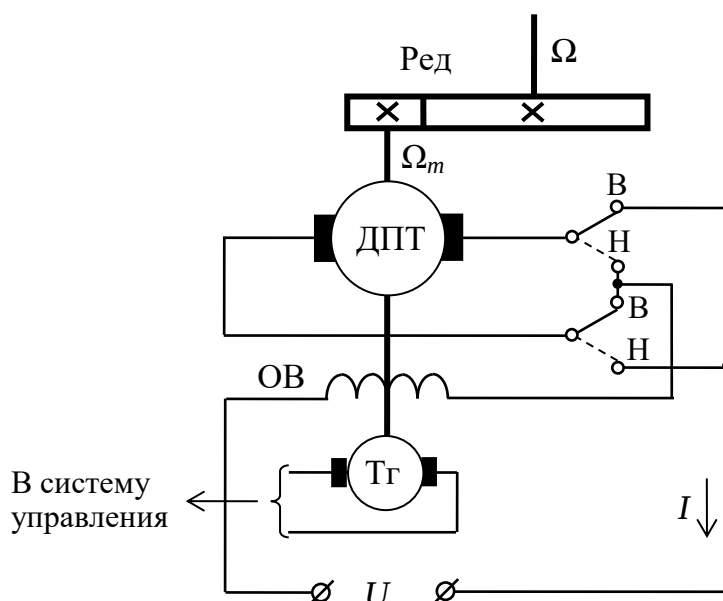


Рис.1. – Схема электропривода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения.

Направление магнитного момента: В – вперед, Н – назад.

Электромеханическое уравнение ЭП имеет вид

$$\frac{d\Omega}{dt} = -\frac{C_{fr}}{J}\Omega \pm \frac{c_m k_e k_r}{J(R_a + R_e + c_m k_e k_r \Omega)^2} U^2 - \frac{1}{J} M_{load},$$

или, в терминах переменной состояния $x = \Omega$ (скорости вращения выходного вала ЭП) и управления $u = U^2$ (квадрата электрического напряжения на обмотках),

$$\frac{dx}{dt} = a(x)x + b(x)u + c, \quad (1)$$

где $a(x)$ и $b(x)$ – переменные коэффициенты-функции состояния x :

$$a(x) = -C_{fr}(x)/J = a_0 + a_1 \cdot x, \quad a_0 = C_{fr0}/J, \quad a_1 = C_{fr1}/J,$$

$$b(x) = \pm \frac{c_m k_e k_r}{J(R_a + R_e + c_m k_e k_r x)^2} = \pm \frac{b_1}{(b_2 + b_3 x)^2}, \quad b_1 = c_m k_e k_r / J, \quad b_2 = R_a + R_e,$$

$b_3 = c_m k_e k_r$; $c = -M_{load} / J$; верхний знак («+») соответствует прямому вращению (вращающий магнитный момент положительный), нижний («-») – обратному (момент отрицательный).

В этих выражениях физические параметры имеют следующий смысл: U – электрическое напряжение, приложенное к цепи обмоток ДПТ; I – электрический ток в цепи обмоток; R_a и L_a – активное сопротивление и индуктивность якорной обмотки; R_e и L_e – активное сопротивление и индуктивность обмотки возбуждения; k_r – коэффициент передачи редуктора; $\Omega = \Omega_m / k_r$ и Ω_m – угловые скорости вращения выходного вала ЭП и вала двигателя; J – приведенный момент инерции вала ЭП; $c_m = c_e$ – коэффициенты момента и эдс; k_e – коэффициент магнитного потока возбуждения; C_{fr0} и C_{fr1} – коэффициенты вязкого трения; M_{load} – механический момент нагрузки на валу ЭП.

Формулировка задачи. Необходимо найти замкнутый закон управления состоянием x вида $u = -g \cdot x$, переводящий объект из произвольного начального состояния $x(t_0) = x^0$ в нулевое $x(t_f) = x^f = 0$ или в его малую окрестность $x(t_f) = x^f \approx 0$ за конечное заданное время $t_0 \leq t \leq t_f$, осуществляя таким образом останов ЭП.

Метод решения. Объект, рассматриваемый в настоящей работе, содержит аддитивно входящее управление и коэффициенты, зависящие от состояния, и представлен нелинейным скалярным уравнением (1). В подобных условиях обычно удается применить SDC-метод, эффективность которого подтверждается многими исследованиями.

Для решения задачи методом SDC введем функционал

$$I[u(\cdot)] = \frac{1}{\lambda_f} f \cdot x^2(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [q(x)x^2(t) + r(x)u^2(t)]dt, \quad (2)$$

где $\lambda_f > 0$ – малый параметр; f – постоянный коэффициент; $q(x)$ и $r(x)$ – коэффициенты-функции состояния x . Штрафной коэффициент f / λ_f обеспечивает малость терминальной ошибки управления $x(t_f)$, а коэффициенты $q(x)$ и $r(x)$ дополнительно – качество переходного процесса на промежутке $t_0 \leq t \leq t_f$.

Построение управления. Следуя методу SDC [2] запишем вид закона управления исходя из условия минимизации функционала (2), проводимой при «замораживании» зависящих от состояния коэффициентов:

$$u(x, t) = -r^{-1}(x)b(x)k(x, t)x. \quad (3)$$

Здесь скалярная функция $k(x, t)$ есть решение дифференциального уравнения Риккати

$$\dot{k}(x, t) \equiv \frac{\partial k(x, t)}{\partial t} = -2a(x)k(x, t) + s(x)k^2(x, t) - q(x), \quad (4)$$

с конечным условием $k(x, t_f) = f / \lambda_f$, при этом $s(x) = b^2(x)r^{-1}(x) > 0$.

Согласно [2] функция $k(x, t)$ определяется из последовательности уравнений:

алгебраическое уравнение Риккати

$$-2a(x)k_s(x) + s(x)k_s^2(x) - q(x) = 0,$$

для которого берется положительный корень

$$k_s(x) = \frac{a(x) + \sqrt{a^2(x) + s(x)q(x)}}{s(x)} > 0;$$

алгебраическое уравнение Ляпунова

$$2a_c(x)p_s(x) - s(x) = 0,$$

где $a_c(x) = a(x) - s(x)p_s(x) = -\sqrt{a^2(x) + s(x)q(x)} < 0$, с отрицательным корнем

$$p_s(x) = \frac{s(x)}{2a_c(x)} < 0;$$

дифференциальное уравнение Ляпунова

$$\dot{p}(x, t) \equiv \frac{\partial p(x, t)}{\partial t} = 2a_c(x)p(x, t) - s(x)$$

с решением

$$p(x, t) = [p^f - p_s(x)]e^{2a_c(t-t_f)} + p_s(x),$$

где

$$p^f = p^f(x, \lambda_f) = p(x, t_f, \lambda_f) = \frac{\lambda_f}{f - \lambda_f k_s(x)}.$$

Тогда решение исходного дифференциального уравнения Риккати (4) есть

$$k(x, t) = p^{-1}(x, t) + k_s(x). \quad (5)$$

В силу положительности p^f при малых λ_f

$$p(x, t) = [p^f - p_s(x)]e^{2a_c(t-t_f)} + p_s(x) = -p_s(x)[e^{2a_c(t-t_f)} - 1] + p^f e^{2a_c(t-t_f)} > 0.$$

Значит, $p^{-1}(x, t) > 0$ существует при всех x, t и малых λ_f .

SDC-управляемая траектория. Объединяя полученные результаты, запишем модель замкнутой системы управления с обратной связью в виде уравнений (1) и (3). Она описывает изменение скорости вращения вала электропривода $x = \Omega$ под действием управления $u = U^2$, формируемого в зависимости от скорости x и времени t . С учетом соотношения $u = U^2$ находим также выражение для напряжения обмотки, которое должно формироваться контроллером:

$$U = \sqrt{u} = g(x, t) \cdot \sqrt{x},$$

где $g(x, t) = \sqrt{r^{-1}(x)b(x)k(x, t)}$ – коэффициент усиления цепи обратной связи по напряжению U .

Моделирование. Произведем расчет останова выходного вала ЭП с электродвигателем типа 2ПФ132ЛГУХЛ4. Параметры электродвигателя и редуктора: номинальные мощность и напряжение двигателя $P_{\text{ном}} = 2.8$ кВт и $U_{\text{ном}} = 110$ В, номинальная и максимальная частота вращения $n_{\text{ном}} = 750$ об/мин и $n_{\text{max}} = 3750$

об/мин ($\Omega_{m_nom} = n_{nom} 2\pi / 60 = 78.54$ рад/с, $\Omega_{m_max} = n_{max} 2\pi / 60 = 392.7$ рад/с),
 $R_a = 0.269$ Ом, $L_a = 5.7 \cdot 10^{-3}$ Гн, $R_e = 25$ Ом, $L_e = 6.339$ Гн, $k_T = 100$, $J_m = 0.048$ кг·м², $J_T = 0.0096$ кг·м², $c_m = 181$ В·с/рад.

Останов вала ЭП соответствует наложению на уравнение (1) граничных условий

$$\Omega(t_0) = \Omega_0, \Omega(t_f) = \Omega_f = 0. \quad (6)$$

Возьмем для определенности $\Omega_0 = 1$ рад/с.

Веса интегрального функционала $f = 1$, $q = 1$, $r = 5 \cdot 10^{-5}$, при этом λ_f подыскивается достаточно малым для достижения терминального условия (6).

Численно интегрируя дифференциальное уравнение (1) при управляющем воздействии (3) и заданном начальном условии (6), найдем процесс управления ЭП. Результаты расчетов представлены на рис.2 и 3.

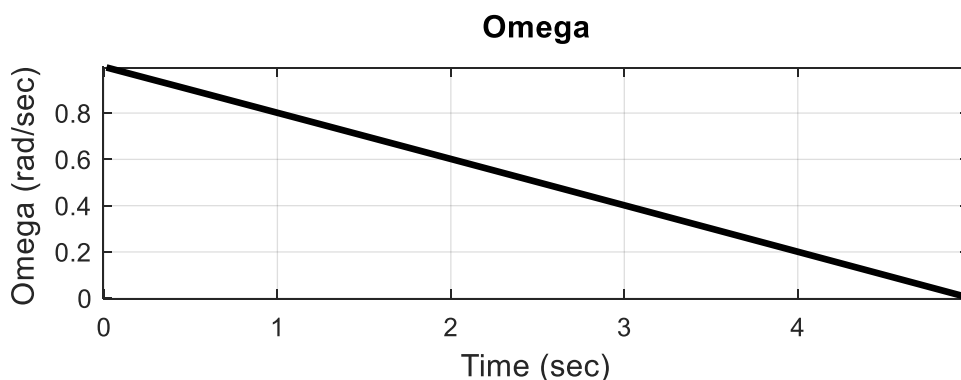


Рис.2. – Угловая скорость Ω выходного вала ЭП при останове.

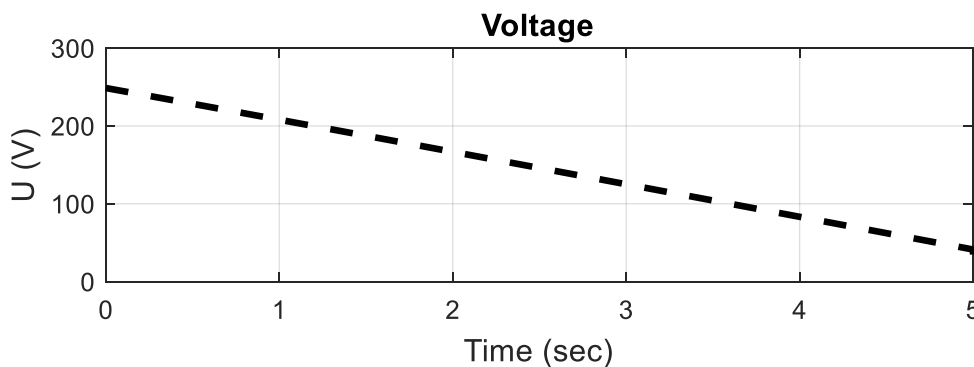


Рис.3. – Электрическое напряжение двигателя U при останове.

Из графика изменения угловой скорости выходного вала ЭП во времени на рис.2 понятно, что поставленная задача выполнена. При помощи найденного управления осуществляется плавный останов вала за требуемое время 5 сек при начальной скорости вала ЭП $\Omega_0 = 1$ рад/с (при этом скорость вала ДПТ 955 об/мин). Управляющее напряжение U на обмотке электродвигателя изменяется в допустимых технических пределах, что видно из графика на рис.3.

Представленный на рис.4 коэффициент усиления обратной связи g в зависимости от времени изменяется в приемлемых границах, возрастая, что вообще присуще терминальным системам, к концу процесса управления.

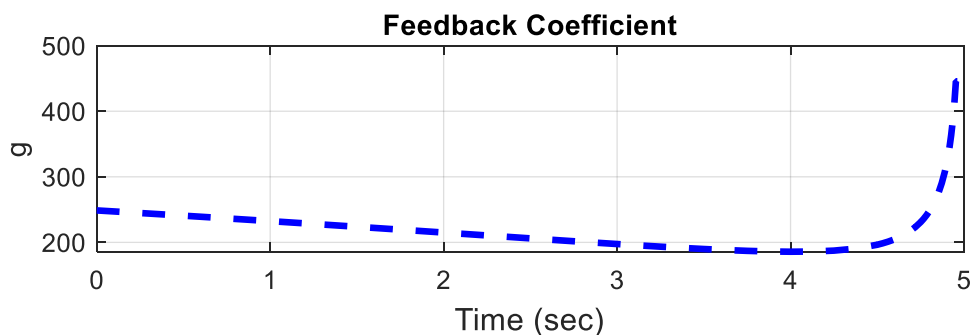


Рис.4. – Коэффициент усиления обратной связи g в функции времени.

Качество управления во всех случаях отвечает нормативным инженерным требованиям.

Заключение. Построен закон терминального управления электроприводом с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения. Электропривод описывается нелинейным скалярным уравнением с коэффициентами, зависящими от переменной состояния. Для решения задачи применен метод синтеза, основанный на SDC-подходе. Полученный с его помощью закон управления обеспечивает останов электропривода в течение заданного времени при благоприятном ходе переходного процесса останова. Форма обратной связи закона способствует преодолению возмущающего эффекта от возможных неконтролируемых нагрузок на валу.

Одновременно показано, что при увеличении коэффициента штрафа на терминальную ошибку в функционале качества ее значение стремится к нулю.

Проведенное исследование свидетельствует о достаточной эффективности метода SDC при синтезе замкнутого регулятора нелинейного объекта.

Техническая реализация закона управления в цифровой форме может быть осуществлена путем использования простого встроенного микроконтроллера и не представляет особой трудности.

Список использованных источников

1. Cimen T. State-dependent Riccati equation (SDRE) control: a survey. Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 2008, pp. 3761-3775.
2. A. Khamis, D.S. Naidu. Nonlinear Optimal Tracking Using Finite-Horizon State Dependent Riccati Equation (SDRE). Recent Advances in Electrical Engineering. 4th International Conference on Circuits, Systems, Control, Signals (CSCS '13), At Valencia, Spain. 2013, August. pp. 37-42.
3. Дмитриев М.Г., Макаров Д.А. Гладкий нелинейный регулятор в слабо нелинейной системе управления с коэффициентами, зависящими от состояния. Труды ИСА РАН, Том 64. 4/2014. – с.53-58.

УДК 681.5

Андрейчук А.В., студент кафедры ИУТС

Комлева А.Н., студент кафедры ИУТС

Альчаков В.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РОБОТА «БАБОЧКА»

Введение. Идея набора концептуальных экспериментов и дизайна мехатронного устройства, была предложена в конце 90х годов прошлого века двумя американскими учеными Кевином Линчем (Kevin Lynch) и Мэттью Мэйсоном (Matthew T. Mason), работающих в то время в Carnegie Mellon University. Предполагалось, что установка позволит разработать и продемонстрировать новые подходы и решения сложной задачи динамического манипулирования (манипулирования предметами без удерживающего контакта), которые легко выполняются человеком, но сложны для роботов. Они же предложили и название робота, подчеркивая форму его руки, по которой по замыслу должен был перекатываться объект (диск или шар), имитируя подобное управляемое перекатывание, происходящее по руке человека.

Отличительной особенностью данного робота является наличие одной или нескольких степеней свободы системы, поведение которых не могут быть напрямую сформированы за счет привода. Эти дополнительные (пассивные) переменные естественно появляются при описании податливости внешней среды, с которой контактирует робот, или при описании внутренней динамики объекта в его руке. В большинстве приложений присутствие пассивных степеней свободы существенно усложняет задачи как поиска реализуемых движений, так и их стабилизации.

В данной статье рассматривается аппаратная составляющая робота «Бабочка» и принцип его работы.

1. Аппаратная составляющая и принцип работы робота. Аппаратное устройство включает в себя измерительные системы с высоким разрешением, позволяющие как строить сложные и высокоточные системы управления электрическим приводом, так и, при помощи технического зрения, распознавать и анализировать движение внешних объектов в реальном времени. По мимо этого, устройство имеет распределенную систему вычислений и открытую архитектуру системы управления, необходимые для разработки, апробации и доводки сложных алгоритмов планирования движений системы и их робастной стабилизации.



Рис. 1. – Составляющие робота «Бабочка»

1. Мотор постоянного тока Maxon-RE-50-370354

Номинальная мощность, Вт	200
Номинальное напряжение, В	24
Номинальное число оборотов, об/мин	5680
Номинальный крутящий момент (макс. продолжительный крутящий момент), мНм	405
Номинальная сила тока (макс. продолжительная сила тока), А	10,8
Макс. КПД, %	94
Масса, г	1100

2. Энкодер Scancon SCH50F

Диаметр:	50 mm
Резервация:	До 8192 ppr
Полый вал:	6 мм и 8 мм
Температура:	-40° С по 85° С (рабочая)
IP защита:	65 (66 и 67 опционально)

3. Maxon Motor Controller ESCON50/5

Класс мощности	250Вт
Максимальный выходной ток	15А
Минимальное напряжение питания	10В DC
Максимальное напряжение питания	50В DC

4. Компьютер BeagleBone Black

Тип процессора	ARM 3358 cortex-a8
Частота процессора	1 ГГц

Оперативная память	512 мб
Графический процессор	power sgx530
Поддерживаемые операционные системы	linux, android
Установленные интерфейсы	hdmi-d, lcd, ether., usb, deb., i/o, jtag

5. Компьютер Intel NUC

Процессор	Intel Core i3 4010U 1700 МГц
Видеокарта	Intel HD 4400
Оперативная память	DDR3L 1600 МГц
Интерфейс накопителей	SATA 2
Мощность блока питания	65 W
Интерфейсы периферии	jack 3.5, USB 2.0 x 2, USB 3.0 x 4
Видео интерфейсы	mini DisplayPort, mini HDMI
Вид доступа в интернет	Ethernet
Скорость сетевого адаптера	1000 Мбит/с

6. Камера Basler acA1300-200uc

Тип затвора	Global Shutter
Тип сенсора	CMOS
Размер сенсора (оптический)	1/2"
Размер сенсора (мм)	6.14 x 4.92
Разрешение	VGA
Размер пикселя	4.8 μm x 4.8 μm
Частота кадров в секунду (fps)	203



Рис. 2. – Робот «Бабочка» в сборе

2. Принцип работы. Закон управления роботом рассчитывается на компьютере NUC с дискретизацией по времени 1мс. Компьютер BeagleBone предназначен для считывания положения вала мотора с энкодера, расчета скорости вращения вала мотора, отправки данных о положении и скорости вала мотора в компьютер NUC, так же компьютер BeagleBone получает управляющий сигнал (крутящий момент) от NUC и отправляет этот управляющий сигнал на контроллер двигателя Maxon EPOS2.

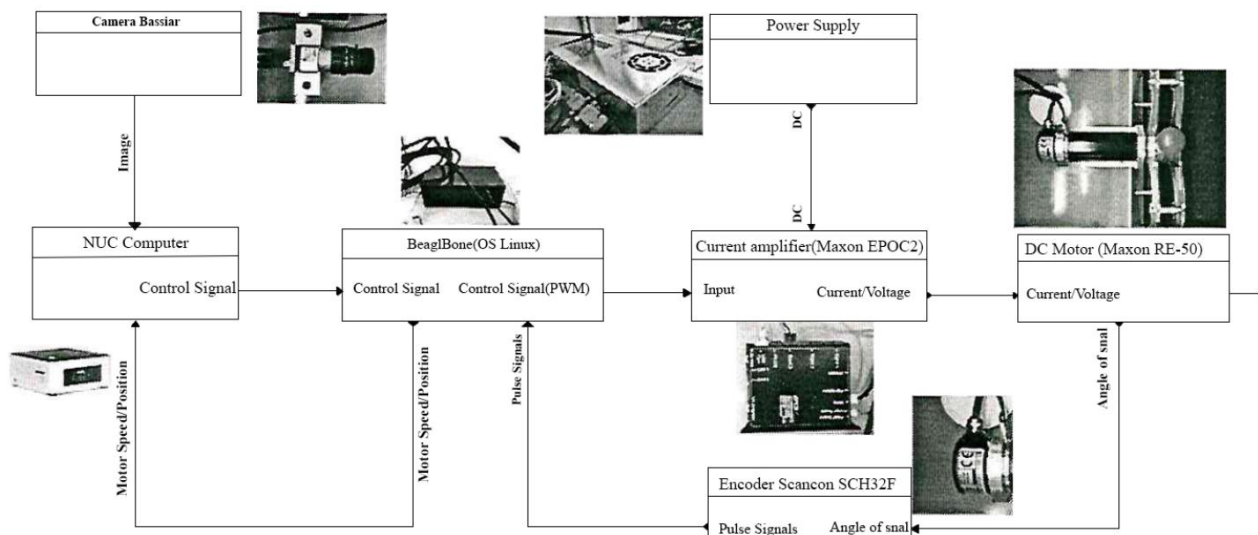


Рис. 3. – Схема работы робота «Бабочка»

Заключение. В рамках данной статьи была исследована аппаратная часть робота «Бабочка» и принцип его работы. Ценность данного робота в том в том, что исследование лабораторного комплекса позволит на практике отрабатывать задачи динамического манипулирования (манипулирование объектом без удерживающего контакта). Данные знания могут быть использованы при решении задач сервисной и промышленной робототехники, в которых необходимо управление движением робота в контакте с внешней средой или объектом манипулирования.

Список использованных источников

1. K. M. Lynch and M. T. Mason. 'Dynamic underactuated nonprehensile manipulation,' in the Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 1996. IROS
2. K.M. Lynch, N. Shiroma, H. Arai, K. Tanie. 'The roles of shape and motion in dynamic manipulation: the butterfly example,' in the Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1998.
3. <http://robotics-edu.ru/> - онлайн-курс «Неполноприводные механические системы. Современные методы планирования, представления, обучения и управления движением

УДК 681.5

Калько А.Н., студент кафедры ИУТС

Альчаков В.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет,
г. Севастополь, Россия

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА PROGRAMMING BY DEMONSTRATION ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

При разработке сложных роботизированных систем и комплексов, выполняющих сложные операции манипуляторами обязательным становится использование манипуляторов с большим количеством степеней свободы. При этом все большее распространение получают роботизированные комплексы антропоморфного типа, т.е. комплексы, конструктив которых в значительной степени схож со строением человека. Первые эксперименты по обучению были опробованы на робототехническом комплексе класса SAR-400, который использовался в качестве прототипа подводной руки-манипулятора антропоморфного типа.

Разрабатываемый роботизированный комплекс предназначен для работы в двух режимах. Первый из них – копирующий режим. В этом режиме оператор системы одевает специальный копирующий костюм и систему компьютерного зрения, которые позволяют в точности воспроизводить действия оператора роботизированным комплексом, при этом обеспечивая оператора системы информацией о состоянии окружающей среды, расположении исполнительных устройств и инструментов в реальном масштабе времени (рис. 1).



Рис. 1. – Копирующий режим работы комплекса SAR-400

Данный режим работы позволяет выполнять практически любые операции, которые может выполнить человек – оператор системы. Однако недостатком системы является необходимость использования копирующего костюма и нахождение оператора в радиусе доступности связи с робототехническим комплексом. При работе на больших глубинах такой режим работы потребует использования батискафа сопровождения.

Второй режим работы подразумевает использование комплекса в полностью автоматическом режиме. Вероятнее всего, на первом этапе, в таком режиме могут быть выполнены только простейшие сварочные или ремонтные операции, тем не менее, продолжительность работы в данном случае будет ограничена только автономностью устройства (зарядом батарей). Для такого режима функционирования, с учетом антропоморфных свойств манипулятора, построение системы управления становится возможным с помощью метода, который носит название Programming By Demonstration (PbD). Данный метод подразумевает обучение системы новым движениям или новому поведению на основе демонстрации учителем необходимых действий для решения поставленной задачи.

Подход PbD обеспечивает естественный способ программирования роботов, показывая желаемое решение задачи. Также можно отметить, что PbD – это приложение имитационного обучения, означающее, что робот должен имитировать демонстрируемое движение, сначала интерпретируя демонстрацию, а затем воспроизводя ее согласно своему собственному сценарию действий.

Для реализации подхода PbD была поставлена задача построения базы знаний типовых движений. Оператор-учитель с помощью копирующего костюма воспроизводил определенные программы движения для выполнения простейших операций (например, захват инструмента). Движения оператора оцифровывались с помощью набора датчиков и аналого-цифровых преобразователей и полученные данные заносились в базу данных (рис. 2). При этом одна и та же операция воспроизводилась несколько раз (до 20-30 раз) для того чтобы исключить ошибочные движения или ложные сигналы АЦП.

Собранные в реальном масштабе времени данные, подвергались дополнительной постобработке, в результате которой к ним применялись адаптированные алгоритмы усреднения, позволяющих минимизировать ошибки сглаживания и отсекающих сигналы АЦП, идентифицированные как ложные срабатывания (рис. 3).

Полученные таким образом данные, использовались в дальнейшем как эталонные движения и воспроизводились робототехническим комплексом – данные из базы эталонных движений пересчитывались в управляющие сигналы, которые подавались на исполнительные устройства с заданным тактом дискретизации. Применение такого подхода позволяет минимизировать затраты на поиск и расчет алгоритма управления, а также позволяет построить траектории движения узлов манипулятора так, как будто это результат движения человеческой руки, тем самым повышая эргономику выполняемой операции.

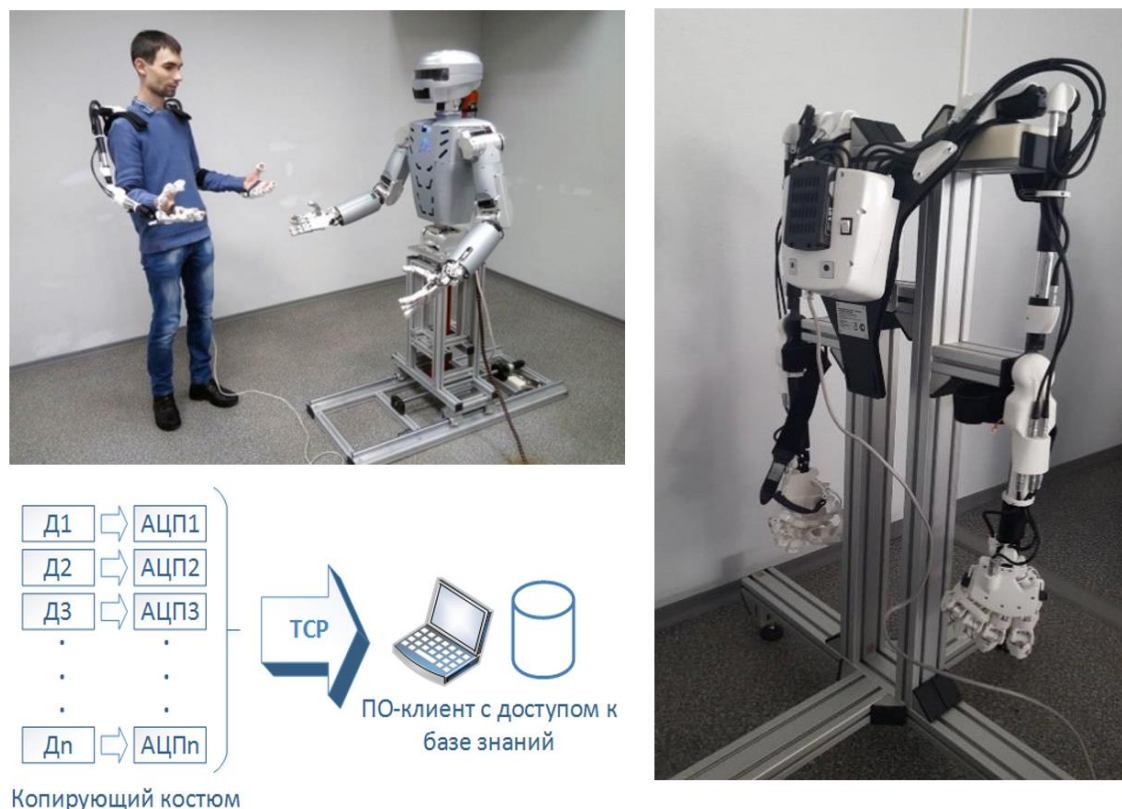


Рис. 2. – Концепция использования подхода PbD для построения базы знаний

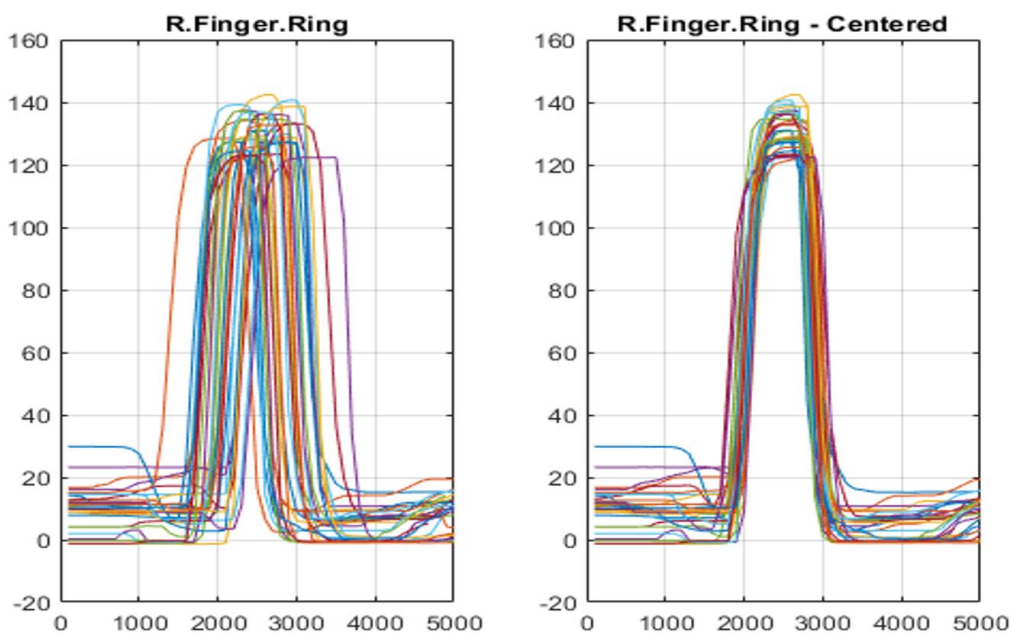


Рис. 3. – Концепция использования подхода PbD для построения базы знаний

Характер полученных временных зависимостей изменения углов поворота исполнительных двигателей манипулятора во времени позволил сделать предположения о возможности описания экспериментальных траекторий с помощью полиномиальных представлений (рис. 4).

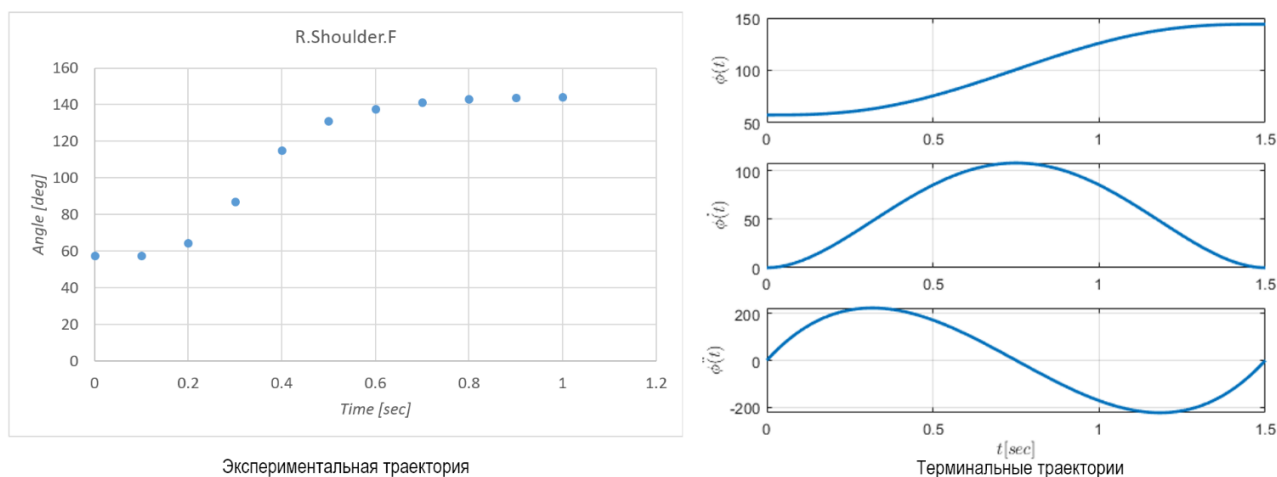


Рис. 4. – Экспериментальная и терминальная траектории узловых точек манипулятора

Такой подход, во-первых, позволит значительно сэкономить место для хранения эталонных траекторий движения в базе (вместо нескольких сотен точек достаточно сохранить только 3-5 коэффициентов полинома). Т.е. для хранения типовых траекторий можно будет использовать бортовую систему робототехнического комплекса, а не внешний управляющий компьютер. Во-вторых, позволит на основе полученных демонстрационных движений разработать программы терминального управления (такой вид управления, который позволяет перевести систему из некоторого начального заданного положения в заданное конечное за заданный промежуток времени – терминальное время). При этом для описания терминальных полиномиальных траекторий используются достаточно простые, с вычислительной точки зрения выражения, а коэффициенты терминальных полиномов могут быть найдены с помощью простых алгебраических соотношений.

Заключение. Известный подход Programming By Demonstration использован для обучения робота манипулятора антропоморфного типа. Полученные экспериментальные траектории обработаны с помощью специализированного алгоритма, в результате чего была построена база знаний, данные которой использовались для обучения искусственной нейронной сети. Применение алгоритмов терминального управления позволило обеспечить точное приведение исполнительного органа манипулятора в заданную точку траектории за заданный интервал времени.

Список использованных источников

1. Крамарь, В. А. Построение траектории движения многозвеного манипулятора на основе подхода "Programming by Demonstration" / В. А. Крамарь, В. В. Альчаков, А. А. Кабанов // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. – 2021. – Т. 5. – № 1. – С. 254-263. – EDN RNAOPA.
2. Kramar, V. A. The methodology of training an underwater robot control system for operator actions / V. A. Kramar, V. V. Alchakov // Journal of Physics: Conference Series : 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry, ITBI 2020, Novosibirsk, 06–08 апреля 2020 года. – BRISTOL, ENGLAND: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012116. – DOI 10.1088/1742-6596/1661/1/012116. – EDN ZIMLUD.

УДК 681.5

Завьялов И.А., студент кафедры ИУТС

Шушляпин Е.А., докт. техн. наук, профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

bu6@bk.ru

УПРАВЛЕНИЕ АНТРОПОМОРФНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЭТАПНОГО МЕТОДА КОНЕЧНОГО СОСТОЯНИЯ

Цель работы. Результаты исследований, представленные в данной работе, связаны с задачей приведения конечного эффектора (центра схвата) антропоморфного манипулятора в заданное положение за заданное время с помощью двухэтапного метода конечного состояния [1].

Постановка задачи управления. Для применения метода конечного состояния, прежде всего, сформулируем терминальный критерий, отображающий подход эффектора к некоторому заданному моменту t_f к заданному положению.

Определим вначале матрицу:

$$\Delta(t_f) = \prod_{i=1}^6 A_i(\theta_i(t_f)) - T(\vec{n}_n^*, \vec{o}_n^*, \vec{a}_n^*, \vec{p}_n^*), \quad (1)$$

размерностью (4×4) , являющейся по смыслу конечной ошибкой эффектора.

В (1) матрицы A_i являются матрицами преобразования Денавита-Хартенберга [2]

$$A_i(\theta_i) = \begin{pmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & r_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & r_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{xi} & o_{xi} & a_{xi} & p_{xi} \\ n_{yi} & o_{yi} & a_{yi} & p_{yi} \\ n_{zi} & o_{zi} & a_{zi} & p_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где C, S обозначены соответственно косинусы и синусы углов поворота i -го сочленения θ_i ; d_i, r_i, α_i – другие линейные и угловой параметры [2].

Матрица T является целевой матрицей, задающей угловое положение конечного эффектора манипулятора (девять верхних левых элементов) и евклидовы координаты конечного положения эффектора (последний столбец).

Для применения метода конечного состояния [1], предназначенного для терминального управления нелинейными динамическими системами, сформулируем на основе (1) терминальный критерий на основе вектора-столбца δ в виде:

$$\delta = \begin{bmatrix} \Delta_{11}, \Delta_{12}, \Delta_{13}, \Delta_{14}, \Delta_{21}, \Delta_{22}, \Delta_{23}, \Delta_{24}, \Delta_{31}, \dots \\ \Delta_{32}, \Delta_{33}, \Delta_{34}, \Delta_{41}, \Delta_{42}, \Delta_{43}, \Delta_{44} \end{bmatrix}^T, \quad (2)$$

Тогда искомый критерий будет иметь вид:

$$J(\theta(t_f)) = \delta(\theta(t_f))^T F \delta(\theta(t_f)) = \sum_{j=1}^{16} F_j \delta_j^2(\theta(t_f)) \rightarrow J^*, \quad (3)$$

где

$$F = \begin{pmatrix} F_1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & F_{16} \end{pmatrix} - \text{диагональная матрица весовых коэффициентов критерия};$$

J^* – желаемое значение критерия.

При точном приведении робота к $T(\vec{n}_n^*, \vec{o}_n^*, \vec{a}_n^*, \vec{p}_n^*)$ значение J^* равно нулю.

Критерий (3), по виду квадратичный, на самом деле нелинейный более сложного вида, ввиду трансцендентных зависимостей $A_i(\theta)$.

В критерии (1), (3) необходимо также задать матрицу $T(\vec{n}_n^*, \vec{o}_n^*, \vec{a}_n^*, \vec{p}_n^*)$, которая определяется через заданные конечные ориентацию и положения руки АМ. Динамическая модель приводов манипулятора может быть принята в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_i}{dt} &= \omega_i \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{1}{J_i(\theta)} (M_{di} - M_{ci}). \end{aligned} \quad (4)$$

В уравнениях (4) ω_i – угловая скорость ротора привода i – й кинематической пары; $J(\theta)$ – приведенный момент инерции для i – й пары; M_{di} и M_{ci} – соответственно моменты движущих сил и сопротивления i – й пары. В случае приводов, реализованных на электродвигателях постоянного тока с постоянным возбуждением, без учета быстрых процессов в его обмотках, можно принять для малых угловых скоростей:

$$\begin{aligned} M_{di} &= k_{di} U_{Ai}, \\ M_{ci} &= k_{ci} \omega_i + M_{gi}(\theta). \end{aligned}$$

В последних выражениях k_{di}, k_{ci} – параметры, зависящие от номера пары, конструкции двигателя и сопротивления внешней среды i – й пары. Составляющие момента сопротивления – от вязкого трения $k_{ci} \omega_i$ и от веса $M_{gi}(\theta)$ тех частей АМ, которые вращает данный электропривод. В данном случае управляющими воздействиями являются якорные напряжения U_{Ai} . Имея в виду, что угловые скорости ω_i являются одновременно компонентами МКС-управления u_i , выразим искомые управления U_{Ai} через $\omega_i \equiv u_i$. Получаем:

$$U_{Ai} = \frac{1}{k_{di}} \left(J_i(\theta) \frac{du_i}{dt} + k_{ci} u_i + M_{gi}(\theta) \right), \quad (5)$$

где угловые ускорения $\frac{du_i}{dt}$, могут быть измерены.

Решение задачи двухэтапным методом конечного состояния

Для решения задачи (3, 4) воспользуемся методом конечного состояния [1], предназначенной для задач вида:

$$\begin{aligned} J &= J(z(t_f)) \rightarrow J^*, \\ \frac{dz(t)}{dt} &= \Phi(t, z(t)) + B(t, z(t)) \cdot u(t), \\ t &\in [t_0, t_f], z(t_0) = z^0, \end{aligned} \quad (6)$$

где z – вектор состояния; $J(z(t_f))$ – непрерывная и дифференцируемая целевая функция терминального критерия с заданным значением J^* ; Φ и B – в общем случае нелинейные функции времени t и текущего состояния $z(t)$; $z(t_0)$ заданное начальное состояние. При этом Φ – дифференцируемая функция.

В рассматриваемом методе управление рассчитывается по выражениям:

$$\begin{aligned} u(t, z(t)) &= G^+ \cdot f_J, \\ G^+ &= G^T (GG^T)^{-1}, \\ G &= \left. \frac{\partial J(z)}{\partial z} \right|_{z=\hat{z}(t_f, t, z(t))} \cdot W(t_f, t, z(t)) B(t, z(t)), \end{aligned} \quad (7)$$

где $f_J = (J^* - J(\hat{z}(t_f, t, z(t))))/T_u$ – правая часть дифференциального уравнения $\frac{dJ}{dt} = \frac{J^* - J}{T_u}$, которое задает желаемое экспоненциальное с постоянной времени T_u приближение критериальной функции $J(\hat{z}(t_f, t, z(t)))$ времени t к значению J^* , что имеет место при достаточно малом $T_u \ll t_f$.

В выражениях (7) используются переменные конечного состояния (ПКС) $\hat{z}$ и нелинейная переходная матрица (ПМ) W . М. Алексеева [3] W , определяемая совместной системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{z}(\vartheta, t, z(t))}{d\vartheta} &= \Phi(\vartheta, \hat{z}), \\ \frac{dW(\vartheta, t, z(t))}{d\vartheta} &= \left. \frac{\partial \Phi(\vartheta, z)}{\partial z} \right|_{z=\hat{z}(\vartheta, t, z(t))} \cdot W, \\ \vartheta &\in [t, t_f], \hat{z}(t, t, z(t)) = z(t), W(t, t, z(t)) = I, \end{aligned} \quad (8)$$

где I – единичная матрица.

Непосредственное применение (7, 8) к задаче (3, 4) с управлением U_{Ai} приводит к сложным вычислениям, связанных с необходимостью многократного интегрирования дифференциальных уравнений (8). Поэтому предлагается решать данную задачу с помощью двухэтапной процедуры [4]: на первом этапе определяются угловые скорости $u_i \equiv \dot{\theta}_i$ на основе модели манипулятора без учета динамики приводов:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_i(t)}{dt} &= u_i, i = 1, \dots, 6, \\ t \in [t_0, t_f], \theta_i(t_0) &= \theta_i^0. \end{aligned} \quad (9)$$

На втором этапе определяются управляющие якорные напряжения U_{Ai} по выражениям (5).

Как следует из постановки задачи (3, 9), здесь вектор состояния $z \equiv \theta$, матрица $\Phi = 0$, а матрица B – единичная. Для случая можно провести ряд упрощений вычислительных процедур метода конечного состояния. В итоге имеем следующие выражения для составляющих управления u :

$$\begin{aligned} \hat{z}(\vartheta, t, z(t)) &= z(t) \equiv \theta(t), W(\vartheta, t, z(t)) = I \quad \forall t \in [t, t_f] \\ J(z(t)) &= J(\theta(t)) = \sum_{j=1}^{12} F_j \delta_j^2(\theta(t)), \\ G &= \frac{\partial \sum_{j=1}^{12} F_j \delta_j^2(\theta(t))}{\partial \theta} \bigg|_{\theta=\theta(t)} \cdot I \cdot I \equiv \frac{\partial \sum_{j=1}^{12} F_j \delta_j^2(\theta(t))}{\partial \theta} \bigg|_{\theta=\theta(t)} = \\ &= 2 \sum_{j=1}^{12} F_j \delta_j(\theta(t)) \frac{\partial \delta_j(\theta(t))}{\partial \theta}. \end{aligned} \quad (10)$$

При получении выражения для матрицы G размерности (6×1) (число 6 – от числа кинематических пар) учтено, что матрицы W и B – единичные (обозначены I), вектор переменных конечного состояния $\hat{z}$ равен текущим значениям вектора состояния, в данном случае $\theta(t)$, из-за $\Phi = 0$ (см. (8)).

Таким образом:

$$G_i = 2 \sum_{j=1}^{12} F_j \delta_j(\theta(t)) \frac{\partial \delta_j(\theta(t))}{\partial \theta_i}, i = 1, \dots, 6. \quad (11)$$

В итоге получаем: $\frac{\partial \delta_j}{\partial \theta_i} = \frac{\partial \Delta_{ji}}{\partial \theta_i}$, где

$$\frac{\partial \Delta(t)}{\partial \theta_i} = \frac{\partial}{\partial \theta_i} \left(\prod_{l=1}^6 A_l(\theta_l(t)) \right) =$$

$$= A_1(\theta_1) \times \dots \times A_{i-1}(\theta_{i-1}) \times \frac{\partial A_i(\theta_i)}{\partial \theta_i} \times A_{i+1}(\theta_{i+1}) \times \dots \times A_6(\theta_6).$$

Заключение. В работе приведены динамическая модель и алгоритм управления антропоморфным трехзвенным манипулятором с вращающимися звеньями с помощью двухэтапного метода конечного состояния. Особенность задачи состояла в том, что известный вид статической модели манипулятора, построенной на основе преобразования Денавита-Хартенберга, использован в терминальном критерии, а модель его динамики построена на основе переменных состояния в виде углов поворота сочленений. При этом правыми частями указанной модели являются угловые скорости. Для такой модели использованный метод конечного состояния дает аналитические выражения для угловых скоростей такие, что за заданное время конечный эффектор манипулятора приводится к заданному положению и ориентацией. Это составляет содержание первого этапа двухэтапного метода. Второй этап заключается в расчете управляющих напряжений на электроприводах сочленений. Соответствующие выражения получены из упрощенной модели привода.

Использованный подход позволяет применять метод в случае использования других типов приводов, например, гидроприводов.

Список использованных источников

1. Шушляпин Е.А. Управление нелинейными системами на основе прогноза конечного состояния неуправляемого движения // Севастополь: СевНТУ, 2012. 282 с.
2. Denavit J., Hartenberg R.S. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices // Transactions ASME Journal of Applied Mechanics. 23, 1955. pp. 215 – 221.
3. Алексеев В.М. Об одной оценке возмущений обыкновенных дифференциальных уравнений // Вестн. Москов. ун-та. Сер.1. Математика, механика. 1961. №2. С.28 – 36.
4. Балабанов А.Н., Безуглая А.Е., Шушляпин Е.А. Управление манипулятором подводного робота // Труды СПИИРАН. No 6 (2021). С. 1307-1332.

УДК 681.5.013

Тен Е., студент высшей школы киберфизических систем и управления
Олейников В.С., старший преподаватель высшей школы киберфизических систем и управления (научный руководитель)

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

г. Санкт-Петербург, Россия

ten.e@edu.spbstu.ru

ОБНАРУЖЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

На данный момент подводные телеуправляемые аппараты используются в очень широком спектре военных и исследовательских задач, но в последние дни тенденции идут в сторону автономных. Одним из важных преимуществ автономных телеуправляемых аппаратов является неограниченный радиус действия, вследствие отсутствия кабеля и надводного судна, которое занимается обслуживанием. Такие роботы подходят для задач исследования морской среды и небольших водоёмов, а также для обнаружения подводного мусора, затонувших кораблей, археологических объектов.

Важной задачей является создание системы технического зрения для автономного аппарата, в которой должны быть учтены различные факторы подводной среды, такие как искажения света, различная флора и фауна, изменение формы и положения объекта. Кроме того, необходимо учитывать особенности различных типов дна, например, на скалистой или каменистой поверхности распознавать проще, нежели на илистом или песчаном дне. Система основывается на классификации, сегментации и обнаружении объектов с помощью нейронных сетей, что позволяет превосходить по эффективности классические методы. Критериями качества работы алгоритма будут являться скорость выполнения и точность нахождения, так как все работы проходят в режиме реального времени. На сегодняшний день работы ведутся активные исследования в области устойчивости нейросетевых алгоритмов в изменчивой подводной среде. В отличие от гидролокаторов оптические системы низкие стоимость и энергозатраты, простоту в эксплуатации и подключении. Гидроакустические приборы являются более эффективными для начальной разведки на большом расстоянии, по мере приближения к исследуемому объекту оптические системы дают наиболее полный набор информации. Поэтому наиболее эффективным решением является использование оптической системы для изучения объекта, который был найден гидроакустическими приборами. Далее будут рассмотрены современные работы, которые не требовали дорогостоящих и сложных выборов, а методы не нуждаются в колоссальных вычислительных мощностях, так как на автономном роботе будет отдано предпочтение менее энергозатратным средствам, в силу ограниченности размеров автономного подводного аппарата.

Создание нейросетевого алгоритма обнаружения подводных объектов и проверка устойчивости его работы является главной задачей, которая делится на

несколько этапов. В первый входит создание обучающего набора с размеченными фотографиями подводных объектов, а также его аугментация. Затем с помощью модели нейронной сети разрабатывается система технического зрения. После этого, оценивается точность работы алгоритма на тестовых данных.

На данный момент существует не так много работ, направленных на ту разработку алгоритмов, которая бы корректно обнаруживала и классифицировала предметы в подводной среде, в частности наблюдается недостаточная обобщающая способность, но она разрешима путем расширения набора обучающих изображений, полученных в различных условиях. Стоит отметить, большинство архитектур показывают хорошие результаты, например YOLO или Mask-RCNN, но имеют очень низкую производительность на слабых процессорах мобильных подводных роботов.

Нейронные сети, вследствие простоты идей, которые лежат в их основе, решают довольно широкий круг задач, они обрели высокую популярность на сегодняшний день. Наибольшее распространение получили свёрточные нейронные сети, потому что позволяют выделять локальные признаки и уменьшать количество обучаемых параметров, что значительно уменьшает сложность вычислительного графа. А слой подвыборки помогает избегать переобучения и выделять наиболее важные локальные признаки. Процесс функционирования свёрточной нейронной сети описывается с помощью слоев, они же и являются её структурными элементами. Каждое изображение на входе из нашей тестовой выборки проходит через серию свёрточных слоев (Kernels), подвыборочных и полносвязных слоев (FC), а на выходе изображения будут классифицироваться с помощью функции Softmax (рис.1) для классификации объектов с вероятностью от 0 до 1

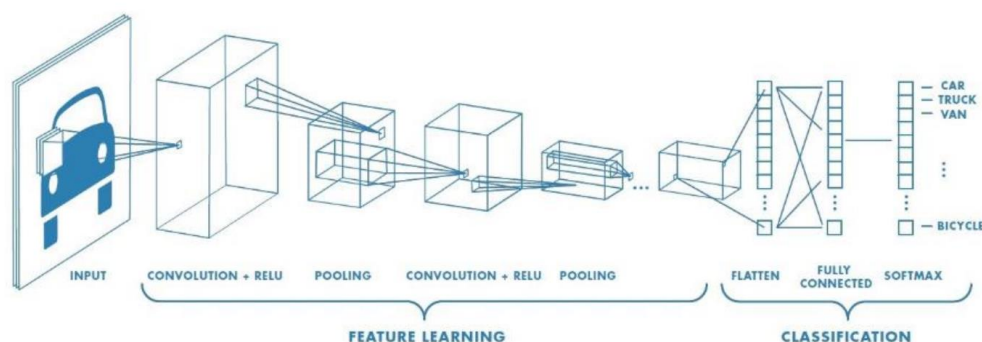


Рис. 1. – Структурная схема свёрточной нейронной сети

Свёрточный слой необходим для извлечения элементов из входного изображения. Свёртка (рис.2) сохраняет связь между пикселями и выделяет необходимые элементы и признаки используя маленькие квадраты входных данных, такая математическая операция принимает на вход маленькие квадраты входных данных. Обычно к ним относится матрица изображения, фильтр и ядро.

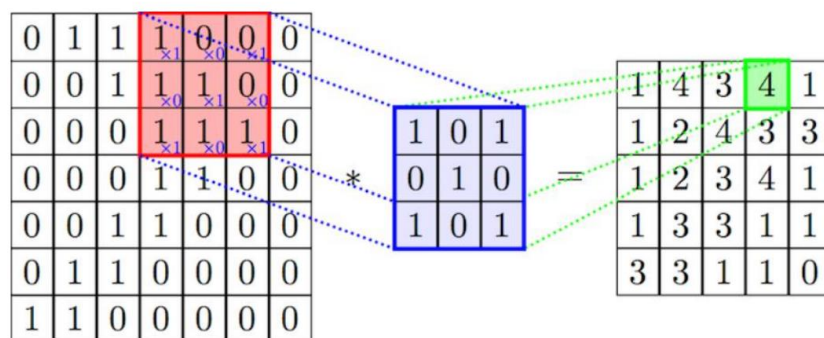
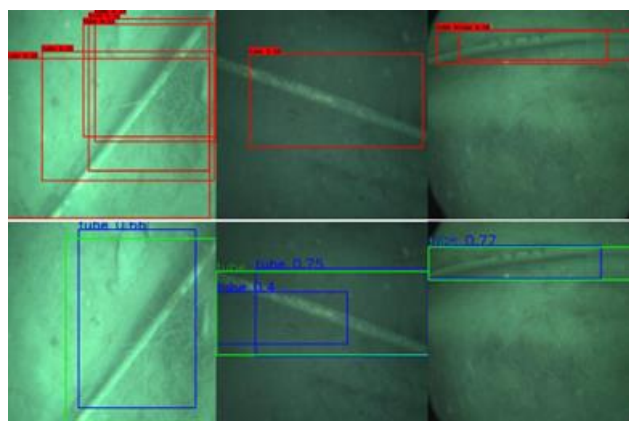


Рис. 2. – Операция свертки

Для обучения модели использовался один набор из 245 кадров труб, извлеченных из видеопотока, полученного с помощью подводного аппарата. Они были размечены двумя способами: трубы выделялись целиком. Так как изображений было немного, они предварительно подверглись аугментации, были отзеркалены относительно вертикальной и горизонтальной осей. По итогу в обучающий набор вошло 735 изображений. Для оценки моделей нейронных сетей под водой использовались *tiny YOLO v3* и *squeezeDet*. Для оценки работы нейронных сетей в условиях подводной среды выбраны архитектуры *tiny YOLO v3* и *squeezeDet*. Обе модели дообучались, при этом для *squeezeDet* использовались веса, полученные путем обучения на наборе данных KITTI, а для *Tiny YOLO* – на наборе данных COCO. Для начала обе модели обучались на изображениях с разрешениями 480x480 и 640x480 пикселей, потом, было замечено, что обе модели плохо детектируют вертикальные трубы, так что каждое исходное изображение было повернуто на 90 градусов. В результате, обучающий набор увеличился до 980 изображений. Результаты представлены в таблице 1, на рисунке 3 (*squeezeDet*) и на рисунке 4 (*tiny YOLO*) для порогового значения пересечения фактической разметки и предсказания (IoU), равного 0,6.

Рис. 3. – Результаты детектирования: сверху – *tiny YOLO*, снизу – *squeezeDet*

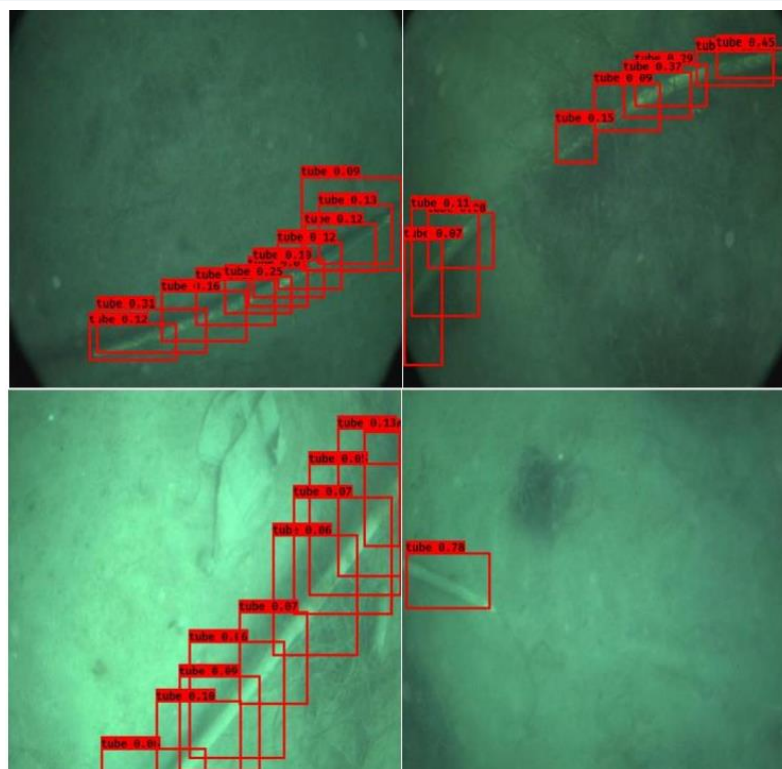


Рис. 4. – Кусочное детектирование объекта

Табл. 1. Результаты сравнения tiny YOLO and squeezeDet

Название эксперимента	Значение mAP
squeezeDet 480x480	0,34
squeezeDet 640x480	0,37
squeezeDet 480x480 с поворотом труб на 90	0,68
tiny YOLO 480x480	0,68
tiny YOLO 640x480	0,62
tiny YOLO 480x480 с поворотом труб на 90	0,68

Из данной таблицы можно сделать вывод, что модель tiny YOLO, выдает более стабильные результаты в отличии от squeezeDet, но на большой выборке изображений, полученных с видео, их значения mAP сравнялись. Также было детектировано большое количество ложных срабатываний, но в данной выборке некоторые объекты похожи на трубы и даже для человека сложно было определить, что за объект находится на изображении.

В целом можно сделать выводы, что squeezeDet и tiny YOLO хорошо справляются с детектированием подводных объектов, несмотря на то, что их тяжело распознавать в воде из-за мутности и засветов, коэффициент оказался равным 0,68 для цельных труб и mAP, равный 0,47 для сегментной разметки труб. Однако squeezeDet является более приспособленной реализацией на мобильных автономных роботов. Но помимо правильных срабатываний существуют и некоторая часть ложных, которая должна быть отфильтрована.

Заключение. В ходе работы рассмотрены существующие исследования, которые направлены на создание системы технического зрения для обнаружения и классификации подводных объектов на автономных роботах. При этом значительной проблемой, как отмечают большинство авторов и как отметил я в ходе данной работы, является недостаток обучающих изображений и создание новых наборов, размеченных изображений, несет ценность для дальнейших исследований. Также в ходе работы приведено описание устройства нейронных сетей Tiny-YOLO v3 и SqueezeNet и оценено качество их работы для задачи детектирования труб. Обе сети показывают сопоставимые друг с другом результаты для данной задачи, однако SqueezeNet имеет меньший размер и большую скорость, что необходимо для мобильных аппаратов. Показано, что сегментная разметка длинных объектов может быть применима для того, чтобы увеличивать количество обучающих данных. И что размер кадра также влияет на точность работы. Актуальными направлениями развития данной работы являются:

- а) увеличение размера обучающего набора данных и увеличение разнообразия условий, в которых они получены, возможно с помощью создания виртуальных подводных сцен, с целью увеличения качества работы и уменьшения переобучения;
- б) обучение многоклассового детектора;
- в) изменение параметров существующих нейронных сетей, с целью нахождения оптимальных для задачи детекции подводных объектов.

Список использованных источников

1. Власенко В.М. Разработка нейросетевого алгоритма для классификации и обнаружения объектов подводной среды: ВКР / Власенко В.М. – М.: Наука, 2019. – 39 с.: ил.
2. Michael Fulton, Jungseok Hong, Md Jahidul Islam, Junaed Sattar Robotic Detection of Marine Litter Using Deep Visual Detection Models // arXiv preprint arxiv: 1804.01079, 2018.
3. Dhruv Rathi, Sushant Jain, Dr. S. Indu Underwater Fish Species Classification using Convolutional Neural Network and Deep Learning // arXiv preprint arxiv: 1805.10106, 2018
4. J. Redmon and A. Farhadi. YOLO9000: Better, Faster, Stronger // arXiv preprint arXiv:1612.08242, 2016.

УДК 681.5.03

Грушун А.И., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС

Грушун Т.А., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС

Дмитрягин Е.В., студент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

gai_gta@mail.ru

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НА ЭВМ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

При синтезе регулятора САУ электропривода промышленного робота (ЭП ПР), когда требуется определить влияние значений каких-либо варьируемых параметров на устойчивость, строят область (области) устойчивости в пространстве этих варьируемых параметров. В дальнейшем, при необходимости, внутри полученной области строят подобласть качества с требуемыми (гарантированными) характеристиками, к которым относятся и прямые показатели качества – время регулирования и перерегулирование. То есть, как при анализе, так и при синтезе системы управления, одного факта устойчивости недостаточно. Необходимо еще оценить качество ее работы, то есть, насколько выполняются те или иные специализированные показатели (например, время регулирования, перерегулирование, показатель колебательности и т.п.) или критерии. Система, которая является устойчивой, на практике может быть непригодной для решения конкретных задач автоматического управления, так как ее показатели качества не удовлетворяют требованиям этих задач [1, 2].

ЭП ПР представляет собой комплекс приводов, каждый из которых является системой подчиненного регулирования и управляет определенной степенью подвижности (звеном) робота. Рассмотрим типовую систему управления следящим электроприводом робота-манипулятора. Аналогичными электроприводами снабжены роботы “Kuka” (Германия), “Сфера” и др. Функциональная схема ЭП ПР приведена на рис. 1.

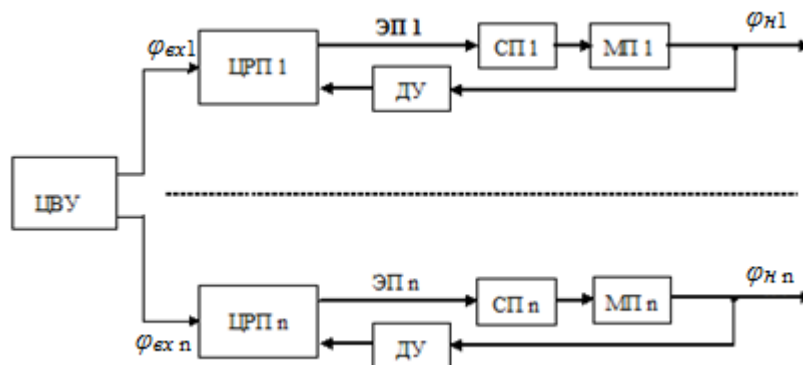


Рис. 1. – Функциональная схема ЭП ПР

Промышленный робот представляет собой комплект конструктивных модулей. Каждый модуль – это законченный машинный агрегат, содержащий механизмы, обеспечивающие одну или несколько степеней подвижности робота. Компоновка модульного робота содержит необходимое количество конструктивных модулей и обеспечивает необходимые движения «рук» робота. В такой компоновке может быть до восьми независимых электроприводов (ЭП 1 – ЭП 8).

Каждый электропривод основных движений робота – следящий, постоянного тока, с обратной связью по положению и по скорости. Все n электроприводов ЭП 1 – ЭП n (рис. 1) управляются от общего центрального вычислительного устройства (ЦВУ), которое решает траекторные задачи движения робота и выдает управляющие сигналы на цифровые регуляторы положения (ЦРП 1 – ЦРП n) отдельных приводов. Цифровые регуляторы положения управляют сервоприводами (СП 1 – СП n) и механическими передачами (МП 1 – МП n) в соответствии с сигналами от ЦВУ и датчиков угла (ДУ).

Структурная схема системы управления отдельным ЭП ПР показана на рис. 2. Она соответствует линеаризованной модели системы, в которой нелинейности типа “зона нечувствительности” двигателя, “насыщение” преобразователя и усилителей и “люфт” механических передач не учитываются.

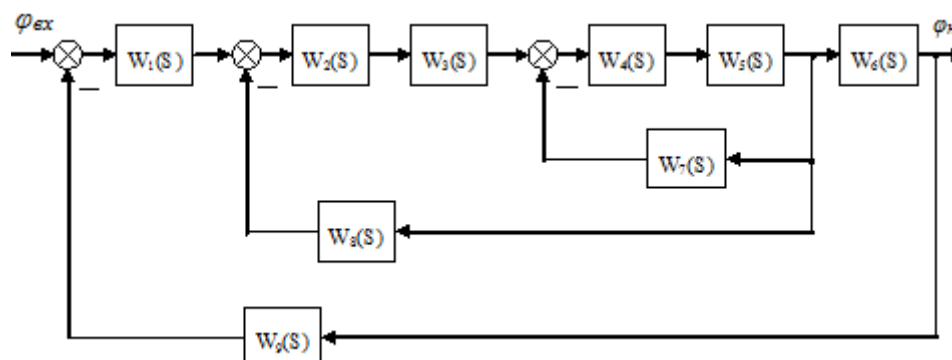


Рис. 2. Структурная схема следящей системы ЭП ПР

На рис. 2: $W_1(s) = \frac{k_1}{T_1 \cdot s + 1}$ – передаточная функция (ПФ) параболического регулятора положения; $W_2(s)$ – ПФ ПИ-регулятора; $W_3(s)$ – ПФ тиристорного преобразователя; $W_4(s)$, $W_5(s)$, $W_7(s)$ – ПФ двигателя постоянного тока; $W_6(s)$ – ПФ механической передачи; $W_8(s)$ – ПФ измерителя скорости; $W_9(s)$ – ПФ измерителя угла; φ_n – угол поворота звена робота; $\varphi_{вх}$ – заданный угол поворота звена робота.

Будем рассматривать построение области с гарантированным перерегулированием по параметру k_1 настройки параболического регулятора положения. Областью с гарантированным перерегулированием является область, внутри которой перерегулирование не превышает требуемого значения. Таким образом, рассматривается случай линейной зависимости от одного варьируемого параметра, назовем его α , числителя и знаменателя передаточной функции замкнутой САУ ЭП ПР. Такая передаточная функция имеет вид:

$$\Phi(s) = \frac{c(s) + \alpha v(s)}{a(s) + \alpha b(s)}, \quad (1)$$

где $c(s)$, $v(s)$, $a(s)$, $b(s)$ - полиномы с вещественными коэффициентами.

Прямые показатели качества САУ определяются только для устойчивых систем, поэтому на первом этапе строим области (интервалы) устойчивости в пространстве параметра α . Для этого применим метод, описанный в [5].

По передаточной функции (1) запишем характеристический полином замкнутой САУ:

$$D(s) = a(s) + \alpha b(s), \quad (2)$$

Решение данной задачи удовлетворяет уравнению:

$$\operatorname{Im}\{-a(j\omega)/b(j\omega)\} = 0.$$

Подставим в полином (2) вместо s мнимую переменную $j\omega$ и выделим варьируемый параметр:

$$\alpha(j\omega) = -a(j\omega)/b(j\omega). \quad (3)$$

Представим (3) в виде

$$\alpha(j\omega) = \frac{r(\omega)}{z(\omega)} + j \cdot \frac{m(\omega)}{z(\omega)} \quad (4)$$

где $r(\omega)$, $m(\omega)$ и $z(\omega)$ – полиномы с вещественными коэффициентами.

Для выделения интервалов устойчивости и неустойчивости САУ по параметру α вычислим вещественные неотрицательные корни и их кратности полиномов числителя и знаменателя мнимой части выражения (4).

Для определения границ интервалов осуществим перебор корней полинома числителя $m(\omega)$ и сравним очередные корни числителя с корнями полинома знаменателя $z(\omega)$. Исключаем совпадающие корни с учетом их кратности. Оставшиеся после исключения корни полинома $m(\omega)$, которые являются частотами пересечения годографа D -разбиения с вещественной осью, подставляем в действительную часть выражения (4) и определяем границы интервалов «претендентов» на устойчивость. Упорядочиваем полученные границы варьируемого параметра α по возрастанию, добавляем к ним нижнюю и верхнюю предельные границы (соответствующие $\alpha=-\infty$ и $\alpha=+\infty$) и формируем сами интервалы «претенденты» на устойчивость.

Далее, для каждого интервала определяем устойчивость характеристического полинома $D(s) = a(s) + \alpha_c b(s)$, где α_c – среднее значение интервала, с помощью любого алгебраического критерия устойчивости (например, Рауса). Если полином $D(s)$ устойчив, то и весь интервал изменения параметра является интервалом устойчивости САУ.

После этого этапа строим искомые подобласти (интервалы) гарантированного перерегулирования в пространстве параметра α внутри полученных интервалов устойчивости.

Сначала рассмотрим, как алгебраическим методом (без непосредственного построения ВЧХ) определить перерегулирование при некотором фиксированном значении α из интервала устойчивости, полученного на первом этапе.

Подставив такое α в передаточную функцию (1), можно записать ее в виде

$$\Phi(s) = \frac{B(s)}{A(s)}, \quad (5)$$

где $B(s) = \sum_{i=0}^m b_{m-i} s^i$ и $A(s) = \sum_{i=0}^n a_{n-i} s^i$.

Как было сказано выше, в основу рассматриваемого метода анализа прямых показателей качества положена методика приближенной оценки вида переходного процесса по ВЧХ замкнутой устойчивой САУ [6]. На основании расчетов переходных процессов по ВЧХ В.В.Солодовников предложил оценивать показатели качества – перерегулирование σ и время регулирования t_p в зависимости от величины максимума ВЧХ P_{max} , заданной на интервале положительности ω_n [1, 6].

ВЧХ на интервале положительности разбивается на две трапеции, как это показано на рис. 1. Далее определяются частоты в точках излома аппроксимирующих прямых, по которым находятся следующие параметры: $\chi = \omega_d / \omega_0$ – основной коэффициент наклона; $\chi_a = \omega_a / \omega_b$ – дополнительный коэффициент наклона; $\lambda = \omega_b / \omega_0$ – коэффициент формы. В зависимости от этих параметров были составлены две номограммы [3, 6]: номограмма А – для $\chi \leq 0.8$; $\chi_a \geq 0.4$; $\lambda \geq 0.5$ (рис. 3) и номограмма В – для $\chi \leq 0.8$; $\chi_a \leq 0.4$; $0.1 \leq \lambda \leq 0.5$. Исследования показали, что номограмма А соответствует САУ, имеющим астатизм первого порядка, а номограмма В – статическим системам [6]. Пользуясь этими номограммами и, зная P_{max} и частоту положительности ω_n можно найти $\sigma = f(P_{max})$ и $t_p = k\pi / \omega_n$. Номограммы В.В.Солодовникова легко программируются на ЭВМ, так как имеют близкий к линейному характер изменения (рис. 4).

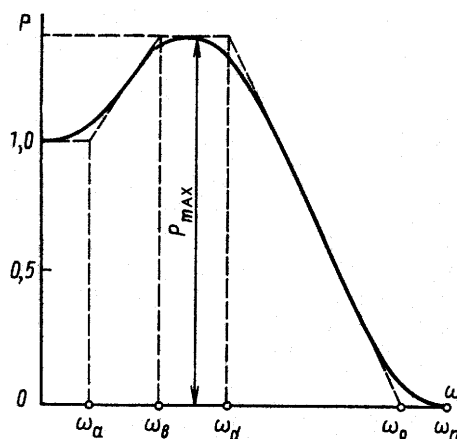


Рис. 3 – Разбиение вещественной частотной характеристики на две трапеции

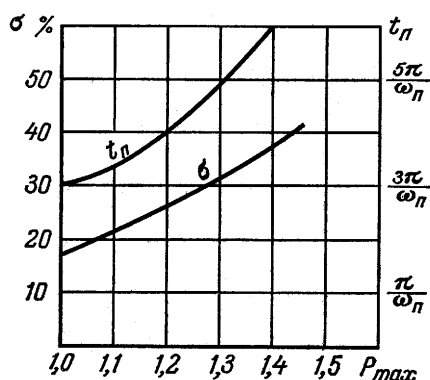


Рис. 4 – Номограмма В.В.Солодовникова

Во многих практических случаях ВЧХ имеет, кроме положительного, отрицательный экстремум P_{min} . Такая характеристика в первом приближении может быть аппроксимирована тремя трапециями [2]. Отрицательная часть ВЧХ влияет на перерегулирование, увеличивая его на величину [1]

$$\Delta\sigma \leq 0.3P_{min}. \quad (6)$$

Выражение для построения ВЧХ $P(\omega)$ имеет вид:

$$P(\omega) = \operatorname{Re}(\Phi(j\omega)).$$

Заменив в (5) s на $j\omega$, получим

$$\begin{aligned} \Phi(j\omega) &= \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i(j\omega)^{m-i}}{\sum_{i=0}^n a_i(j\omega)^{n-i}} = \frac{c_1(\omega) + jc_2(\omega)}{z_1(\omega) + jz_2(\omega)} = \\ &= \frac{c_1(\omega)z_1(\omega) + c_2(\omega)z_2(\omega)}{z_1^2(\omega) + z_2^2(\omega)} + j \frac{c_2(\omega)z_1(\omega) - c_1(\omega)z_2(\omega)}{z_1^2(\omega) + z_2^2(\omega)} = \\ &= \frac{C_u(\omega)}{Z(\omega)} + j \frac{C_v(\omega)}{Z(\omega)}, \end{aligned}$$

где $c_1(\omega)$, $c_2(\omega)$, $z_1(\omega)$, $z_2(\omega)$, $C_u(\omega)$, $C_v(\omega)$, $Z(\omega)$ – полиномы с вещественными коэффициентами.

Тогда выражение для построения ВЧХ примет вид

$$P(\omega) = \frac{C_u(\omega)}{Z(\omega)},$$

а для вычисления ее экстремумов необходимо решить уравнение:

$$\begin{aligned} \frac{d\left(\frac{C_u(\omega)}{Z(\omega)}\right)}{d\omega} &= 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \frac{C'_u(\omega)Z(\omega) - Z'(\omega)C_u(\omega)}{Z^2(\omega)} &= 0. \end{aligned}$$

Очевидно, что положительные вещественные корни алгебраического уравнения

$$C'_u(\omega)Z(\omega) - Z'(\omega)C_u(\omega) = 0 \quad (7)$$

будут соответствовать частотам ω , на которых производная $\frac{dP(\omega)}{d\omega}$ обращается в 0, т.е. частотам экстремумов.

Если уравнение (7) не имеет положительных вещественных решений, то перерегулирование σ в такой САУ не превышает 18% [1].

Если уравнение (7) имеет один положительный вещественный корень ω_1 , то необходимо осуществить проверку условия

$$P(\omega_1) = \frac{C_u(\omega_1)}{Z(\omega_1)} < 0.$$

При выполнении этого условия значение $P_{max}=P(0)$, $P_{min}=P(\omega_1)$, а перерегулирование, полученное по номограмме, увеличивается согласно (6). В противном случае значение $P_{max}=P(\omega_1)$, а $P_{min}=0$.

Если уравнение (7) имеет два и более положительных вещественных корня $\omega_1 < \omega_2 < \dots$, то необходимо осуществить проверку условия

$$P(\omega_1) = \frac{C_u(\omega_1)}{Z(\omega_1)} > 0.$$

При выполнении этого условия значение $P_{\max}=P(\omega_1)$, $P_{\min}=P(\omega_2)$, а перерегулирование, полученное по номограмме увеличивается согласно (6). В противном случае значение $P_{\max}=P(0)$, $P_{\min}=P(\omega_1)$, а перерегулирование, полученное по номограмме также увеличивается согласно (6).

Для построения в пространстве варьируемого параметра α областей (интервалов) гарантированного перерегулирования с заданной точностью был разработан алгоритм, основанный на методе половинного деления [4]. Рассмотрим этот алгоритм для одного интервала устойчивости, полученного на первом этапе.

Шаг 1. Задаем максимально допустимое для данной САУ значение перерегулирования $\sigma_{\max}$, начальное значение варьируемого параметра α_n (α_n – левая граница интервала устойчивости), конечное значение варьируемого параметра α_p (α_p – правая граница интервала устойчивости), количество точек поиска u (значение u должно быть достаточно большим), шаг изменения варьируемого параметра (шаг поиска) $h_\alpha = (\alpha_p - \alpha_n)/u$ и l ($0 < l < h_\alpha$) – требуемую точность вычисления значения границы параметра α .

Обозначим границы искомым интервалов как G_s^m , где s – номер интервала, а m – номер границы интервала (для левой границы он равен 1, для правой он равен 2).

Задаем $\alpha = \alpha_n$. Вычисляем при заданном α значение перерегулирования σ . Выполняем проверку: если $\sigma \leq \sigma_{\max}$, то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$.

Задаем $d_1 = d$.

Положим $m=1$, $s=1$.

Выполняем проверку: если $d_1=0$, то $G_s^m = \alpha$ и $m=2$.

Шаг 2. Задаем новое значение $\alpha = \alpha + h_\alpha$.

Выполняем проверку: если $\alpha > \alpha_p + h_\alpha/2$, процесс определения подынтервалов гарантированного перерегулирования на данном интервале устойчивости завершается. При этом, если $d_1=0$ и $d_2=0$, то $m=2$ и $G_s^m = \alpha - h_\alpha$.

Шаг 3. Вычисляем при этом α значение перерегулирования σ . Выполняем проверку: если $\sigma \leq \sigma_{\max}$, то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$. Задаем $d_2 = d$.

Шаг 4. Выполняем проверку:

- а) если $d_1=1$ и $d_2=1$, то переходим к шагу 2;
- б) если $d_1=0$ и $d_2=0$, то переходим к шагу 2;
- в) если $d_1=0$, а $d_2=1$, то переходим к шагу 5;
- г) если $d_1=1$ и $d_2=0$, то переходим к шагу 5;

Шаг 5. Задаем начальный интервал неопределенности $L_0 = [c, b]$, где $b = \alpha$ а $c = \alpha - h_\alpha$. Задаем $d_4 = d_2$.

Шаг 6. Вычисляем $y = \frac{b-c}{2} + c$. Вычисляем при $\alpha=y$ значение перерегулирования σ . Выполняем проверку: если $\sigma \leq \sigma_{\max}$, то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$. Задаем $d_3=d$.

Шаг 7. Выполняем проверку:

- а) если $d_3=0$, $d_1=0$, а $d_2=1$, то положим $c=y$, $d_1=d_3$ и переходим к шагу 8;
- б) если $d_3=0$, $d_1=1$, а $d_2=0$, то положим $b=y$, $d_2=d_3$ и переходим к шагу 8;
- с) если $d_3=1$, $d_1=0$, а $d_2=1$, то положим $b=y$, $d_2=d_3$ и переходим к шагу 8;
- д) если $d_3=1$, $d_1=1$, а $d_2=0$, то положим $c=y$, $d_1=d_3$.

Шаг 8. Выполняем проверку:

- а) если $b-c \leq l$, процесс поиска очередной границы G завершается.

В качестве решения можно взять значение α в середине последнего интервала: $G_s^m = \frac{b-c}{2} + c$. Если $m=2$, то положим $m=1$, $d_1=d_4$, $s=s+1$ и переходим к шагу 2, иначе переходим к шагу 9.

- б) если $b-c > l$, переходим к шагу 6.

Шаг 9. Положим $d_1=d_4$, $m=2$ и переходим к шагу 2.

Заключение. Предлагаемый в статье алгоритм позволяет полностью автоматизировать построение областей гарантированного перерегулирования в пространстве параметра настройки параболического регулятора ЭП ПР.

Список использованных источников

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1972.
2. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1980.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978.
4. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В.Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Высш. шк., 2005.-544 с.
5. Пряшников Ф.Д. Проблема применения репрезентативных множеств в задачах построения областей устойчивости и качества динамических систем управления / Ф.Д. Пряшников, А.И. Грушун, Т.А. Грушун // Динамические системы. – К.: Лыбидь, 1994. – №13 – С.16 – 20.
6. Солодовников В.В. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / М.А.Айзерман, Г.А.Бендриков, А.А.Воронов: Под ред. В.В.Солодовникова. – М.: Машиностроение, 1967. – Кн.1. – 769 с.
7. Топчиев Ю.М. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования / Ю.М. Топчиев. – М.: Машиностроение, 1989. – 751 с.

УДК 681.5.03

Грушун А.И., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС

Тимохин Н.Д., студент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

gai_gta@mail.ru

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА ЭВМ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

При синтезе регулятора САУ электропривода промышленного робота (ЭП ПР), когда требуется определить влияние каких-либо варьируемых параметров на устойчивость, строят область устойчивости системы в пространстве этих варьируемых параметров. В дальнейшем, внутри полученной области, строят подобласть качества с требуемыми (гарантированными) характеристиками, к которым относится и степень устойчивости. Система, которая является устойчивой, на практике может быть непригодной для решения конкретных задач автоматического управления, так как ее степень (запас) устойчивости не удовлетворяют требованиям этих задач [1, 2, 3].

ЭП ПР представляет собой комплекс приводов, каждый из которых является системой подчиненного регулирования и управляет определенной степенью подвижности (звеном) робота. Рассмотрим типовую систему управления следящим электроприводом робота-манипулятора. Аналогичными электроприводами снабжены роботы “Кука” (Германия), “Сфера” и др. Функциональная схема ЭП ПР приведена на рис. 1.

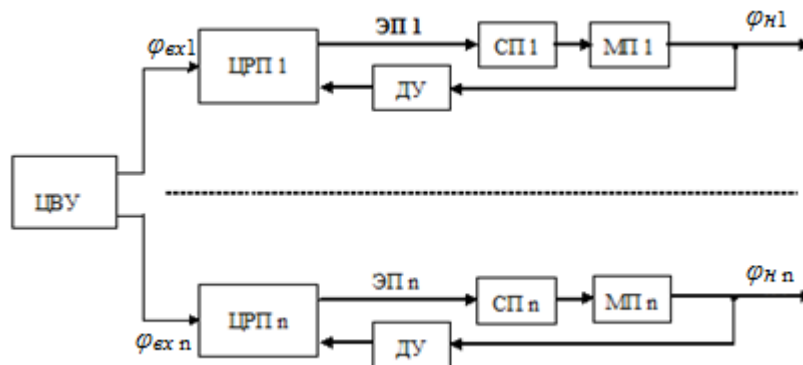


Рис. 1. Функциональная схема ЭП ПР

Промышленный робот представляет собой комплект конструктивных модулей. Каждый модуль – это законченный машинный агрегат, содержащий механизмы, обеспечивающие одну или несколько степеней подвижности робота. Компоновка модульного робота содержит необходимое количество конструктивных модулей и обеспечивает необходимые движения «рук» робота. В такой компоновке может быть до восьми независимых электроприводов (ЭП 1 – ЭП 8).

Каждый электропривод основных движений робота – следящий, постоянного тока, с обратной связью по положению и по скорости. Все n электроприводов ЭП 1 – ЭП n (рис. 1) управляются от общего центрального вычислительного устройства (ЦВУ), которое решает траекторные задачи движения робота и выдает управляющие сигналы на цифровые регуляторы положения (ЦРП 1 – ЦРП n) отдельных приводов. Цифровые регуляторы положения управляют сервоприводами (СП 1 – СП n) и механическими передачами (МП 1 – МП n) в соответствии с сигналами от ЦВУ и датчиков угла (ДУ).

Структурная схема системы управления отдельным ЭП ПР показана на рис. 2. Она соответствует линеаризованной модели системы, в которой нелинейности типа “зона нечувствительности” двигателя, “насыщение” преобразователя и усилителей и “люфт” механических передач не учитываются.

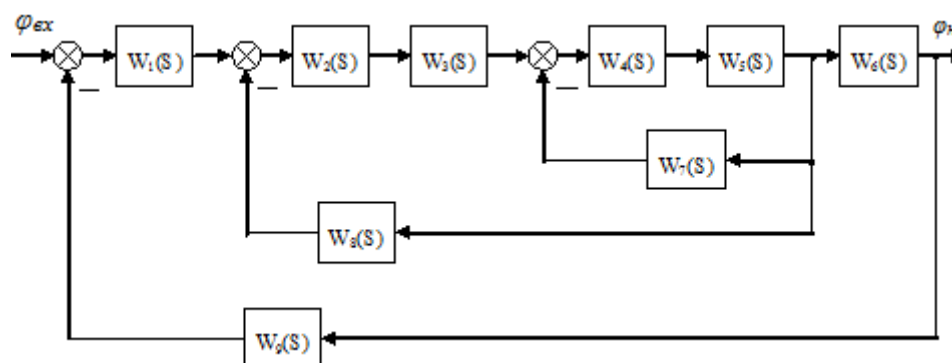


Рис. 2. Структурная схема следящей системы ЭП ПР

На рис. 2: $W_1(S) = \frac{k_1}{T_1 \cdot S + 1}$ – передаточная функция (ПФ) параболического регулятора положения; $W_2(S)$ – ПФ ПИ-регулятора; $W_3(S)$ – ПФ тиристорного преобразователя; $W_4(S)$, $W_5(S)$, $W_7(S)$ – ПФ двигателя постоянного тока; $W_6(S)$ – ПФ механической передачи; $W_8(S)$ – ПФ измерителя скорости; $W_9(S)$ – ПФ измерителя угла; φ_n – угол поворота звена робота; $\varphi_{вх}$ – заданный угол поворота звена робота.

Будем рассматривать построение области с гарантированной степенью устойчивости по параметру k_1 настройки параболического регулятора положения. Областью с гарантированной степенью устойчивости является область, внутри которой запас устойчивости не меньше требуемого. Таким образом, рассматривается случай линейной зависимости от одного варьируемого параметра, назовем его α , числителя и знаменателя передаточной функции замкнутой САУ ЭП ПР.

Тогда характеристический полином замкнутой САУ можно записать в виде:

$$D(s) = a(s) + \alpha b(s) \quad (1)$$

где $a(s)$, $b(s)$ – полиномы с вещественными коэффициентами.

Сначала рассмотрим построение областей устойчивости.

Решение данной задачи удовлетворяет уравнению:

$$\text{Im}\{-a(j\omega)/b(j\omega)\} = 0$$

Подставим в полином (1) вместо s мнимую переменную $j\omega$ и выделим варьируемый параметр:

$$\alpha(j\omega) = -a(j\omega)/b(j\omega) \quad (2)$$

Представим (2) в виде

$$\alpha(j\omega) = \frac{r(\omega)}{z(\omega)} + j \cdot \frac{m(\omega)}{z(\omega)}, \quad (3)$$

где $r(\omega)$, $m(\omega)$ и $z(\omega)$ – полиномы с вещественными коэффициентами.

Для выделения интервалов устойчивости и неустойчивости САУ по параметру α вычислим вещественные неотрицательные корни полинома числителя $m(\omega)$ мнимой части выражения (3).

Для определения границ интервалов полученные корни полинома $m(\omega)$, которые являются частотами пересечения годографа D -разбиения с вещественной осью, подставляем в действительную часть выражения (3) и определяем границы интервалов «претендентов» на устойчивость. Упорядочиваем полученные границы варьируемого параметра α по возрастанию, добавляем к ним нижнюю и верхнюю предельные границы (соответствующие $\alpha = -\infty$ и $\alpha = +\infty$) и формируем сами интервалы «претенденты» на устойчивость.

Далее, для каждого интервала определим устойчивость характеристического полинома $D(s) = \alpha_c b(s) + a(s)$, где α_c – среднее значение интервала, с помощью любого алгебраического критерия устойчивости (например, Рауса). Если полином $D(s)$ устойчив, то и весь интервал изменения параметра является интервалом устойчивости САУ.

После этого этапа строим подобласти (интервалы) гарантированного запаса устойчивости в пространстве параметра α внутри полученных интервалов устойчивости.

Сначала рассмотрим, как алгебраическим способом (без непосредственного построения частотного годографа) проанализировать запас устойчивости при некотором фиксированном значении α из интервала устойчивости, полученного ранее.

Подставив такое α в характеристический полином (1), можно записать его в виде

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n \quad (4)$$

Подставим в этот полином вместо s мнимую переменную $j\omega$. В результате получим комплексную функцию

$$D(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega). \quad (5)$$

Здесь $U(\omega) = \text{Re}D(j\omega)$ – вещественная функция Михайлова, полученная из членов $D(s)$, содержащих четные степени s , а $V(\omega) = \text{Im}D(j\omega)$ – мнимая функция Михайлова, полученная из членов $D(s)$ с нечетными степенями s .

По формуле (5), изменяя частоту ω от 0 до $+\infty$, строим годограф Михайлова в комплексной плоскости.

Критерий Михайлова формулируется так [1]: система устойчива, если годограф $D(j\omega)$, начинаясь на действительной положительной полуоси, огибает

против часовой стрелки начало координат, проходя последовательно n квадрантов, где n – порядок системы.

Очевидно, что чем дальше годограф Михайлова устойчивой системы находится от начала координат, тем ее степень устойчивости (запас устойчивости) выше. Степень устойчивости будет определяться радиусом R окружности с центром в начале координат, то есть, значение ее радиуса и будет запасом устойчивости САУ (рисунок 3). Для удовлетворения требования по запасу устойчивости годограф Михайлова не должен попадать внутрь круга или касаться его, как показано на рисунке 3.

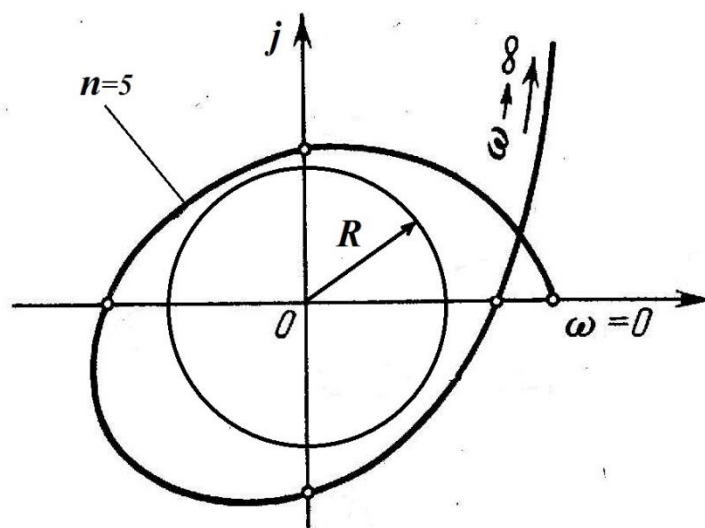


Рис. 3. Годограф Михайлова с запасом устойчивости

Будем рассматривать устойчивые системы.

Таким образом, решение задачи сводится к поиску точек пересечения или касания годографа Михайлова $D(j\omega)$ с окружностью радиуса R с центром в начале координат. При этом, если такие точки отсутствуют то САУ удовлетворяет требованиям по степени (запасу) устойчивости.

Наличие таких точек определяется наличием положительных вещественных решений алгебраического уравнения (6), которые являются частотами пересечения или касания годографа Михайлова с окружностью, определяющей степень устойчивости.

$$U^2(\omega) + V^2(\omega) = R^2, \quad (6)$$

где R – требуемый запас устойчивости САУ.

Запишем, с учетом (4), действительную $U(\omega)$ и мнимую $V(\omega)$ функции Михайлова в развернутом виде:

$$U(\omega) = a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots,$$

$$V(\omega) = \omega(a_{n-1} - a_{n-3}\omega^2 + a_{n-5}\omega^4 - \dots).$$

Подставив эти выражения в (6) получим:

$$\begin{aligned} (a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots)^2 + (a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - \dots)^2 &= R^2. \Rightarrow \\ (a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots)^2 + & \\ + (a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - \dots)^2 - R^2 &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Алгебраическое уравнение (7) полностью определяет решение задачи. То есть, отсутствие положительных вещественных корней этого уравнения говорит о том, что требование по степени (запасу) устойчивости выполняется, а их наличие – что не выполняется.

Для построения на ЭВМ в пространстве варьируемого параметра α областей (интервалов) гарантированной степени устойчивости с заданной точностью был разработан следующий алгоритм.

Шаг 1. По характеристическому полиному (1) получаем выражение (3).

Шаг 2. Вычисляем положительные вещественные корни $\omega_i, i=1, \dots, r$ полинома $m(\omega)$ выражения (3).

Шаг 3. Вычисляем значения α при всех полученных $\omega_i, i=1, \dots, r$ и упорядочиваем их по возрастанию.

Шаг 4. Проверяем устойчивость характеристического уравнения (1) по критерию Рауса внутри каждого интервала $(\alpha_i, \alpha_{i+1}), i=1, \dots, r-1$. Если проверка проходит, то исследуемый интервал является интервалом устойчивости.

Шаг 5. Исходя из технических ограничений на диапазон изменения параметра α выбираем из полученных интервалов устойчивости требуемый (α_j, α_{j+1}) .

Шаг 6. Задаем минимально допустимое для данной САУ значение запаса устойчивости $R_{\min}$, начальное значение варьируемого параметра $\alpha_n = \alpha_j$ (α_n — левая граница интервала устойчивости), конечное значение варьируемого параметра $\alpha_p = \alpha_{j+1}$ (α_p — правая граница интервала устойчивости), количество точек поиска u (значение u должно быть достаточно большим), шаг изменения варьируемого параметра (шаг поиска) $h_\alpha = (\alpha_p - \alpha_n)/u$ и l ($0 < l < h_\alpha$) — требуемую точность вычисления значения границы параметра α .

Обозначим границы искомым интервалов как G_s^m , где s — номер интервала, а m — номер границы интервала (для левой границы он равен 1, для правой он равен 2).

Задаем $\alpha = \alpha_n$. Определяем при заданном α и $R = R_{\min}$ число k положительных вещественных корней уравнения (7). Выполняем проверку: если $k=0$ ($R > R_{\min}$), то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$.

Задаем $d_1 = d$.

Положим $m=1, s=1$.

Выполняем проверку: если $d_1=0$, то $G_s^m = \alpha$ и $m=2$.

Шаг 7. Задаем новое значение $\alpha = \alpha + h_\alpha$.

Выполняем проверку: если $\alpha > \alpha_p + h_\alpha/2$, процесс определения подынтервалов гарантированного показателя колебательности на данном интервале устойчивости завершается. При этом, если $d_1=0$ и $d_2=0$, то $m=2$ и $G_s^m = \alpha - h_\alpha$.

Шаг 8. Определяем при этом α и $R = R_{\min}$ число k положительных вещественных корней уравнения (7). Выполняем проверку: если $k=0$ ($R > R_{\min}$), то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$.

Задаем $d_2 = d$.

Шаг 9. Выполняем проверку:

а) если $d_1=1$ и $d_2=1$, то переходим к шагу 7;

б) если $d_1=0$ и $d_2=0$, то переходим к шагу 7;

в) если $d_1=0$, а $d_2=1$, то переходим к шагу 9;

г) если $d_1=1$ и $d_2=0$, то переходим к шагу 9;

Шаг 10. Задаем начальный интервал неопределенности $L_0=[c, b]$, где $b=\alpha$ а $c=\alpha-h_\alpha$. Задаем $d_4=d_2$.

Шаг 11. Вычисляем $y = \frac{b-c}{2} + c$. Определяем при $\alpha=y$ и $R=R_{\min}$ число k положительных вещественных корней уравнения (7). Выполняем проверку: если $k=0$ ($R>R_{\min}$), то задаем $d=0$, иначе задаем $d=1$.
Задаем $d_3=d$.

Шаг 12. Выполняем проверку:

а) если $d_3=0$, $d_1=0$, а $d_2=1$, то положим $c=y$, $d_1=d_3$ и переходим к шагу 13;

б) если $d_3=0$, $d_1=1$, а $d_2=0$, то положим $b=y$, $d_2=d_3$ и переходим к шагу 13;

с) если $d_3=1$, $d_1=0$, а $d_2=1$, то положим $b=y$, $d_2=d_3$ и переходим к шагу 13;

д) если $d_3=1$, $d_1=1$, а $d_2=0$, то положим $c=y$, $d_1=d_3$.

Шаг 13. Выполняем проверку:

а) если $b-c \leq l$, процесс поиска очередной границы G завершается.

В качестве решения можно взять значение α в середине последнего интервала:

$G_s^m = \frac{b-c}{2} + c$. Если $m=2$, то положим $m=1$, $d_1=d_4$, $s=s+1$ и переходим к шагу 7,

иначе переходим к шагу 14.

б) если $b-c > l$, переходим к шагу 11.

Шаг 14. Положим $d_1=d_4$, $m=2$ и переходим к шагу 7.

Заключение. Предлагаемый в статье алгоритм позволяет полностью автоматизировать построение областей гарантированной степени устойчивости в пространстве параметра настройки параболического регулятора ЭП ПР.

Список использованных источников

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1972.
2. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А.А. Воронов. – М.: Энергия, 1980.
3. Юревич Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юревич. – Л.: Энергия, 1975.

УДК 621.317

Гета Д.А., студент кафедры ПСАТП

Иршко Ю.А., студент кафедры ПСАТП

Майстришин М.М., канд. техн. наук – научный руководитель

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет»

г. Севастополь, Россия

mmmaystrishin@sevsu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЕНСАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА

Точность средств контроля уровня топлива является актуальным вопросом в нефтяной, химической и других промышленности. Основными проблемами являются учет количества топлива для коммерческих целей и безопасность работы оборудования. На сегодняшний день в основном существуют следующие методы контроля уровня топлива: поплавковые, емкостные, гидростатические, акустические [1]. Основным недостатком перечисленных методов измерения – влияние на точность измерения таких параметров жидкости как давление, температура, электропроводность, плотность и т.д. Наиболее распространенным методом измерения является емкостной. Это связано с большим количеством его преимуществ: простота монтажа, отсутствие подвижных частей в части измерения, большие диапазоны температур измеряемой жидкости, небольшие габаритные размеры, сравнительно небольшая масса и искробезопасность. Однако, у емкостного типа измерения имеется значительный недостаток – влияние на точность измерения диэлектрической проницаемости. Поэтому калибровку этих датчиков необходимо производить тем топливом, которое будет использоваться в дальнейшем. А это условие далеко не всегда может быть соблюдено, из-за чего приходится каждый раз калибровать датчик под новую партию, марку и вид топлива.

Актуальность исследования обусловлено в разработке системы измерения с компенсационным элементом повышающей точность измерения. Задача исследования состоит в разработке датчика уровня топлива емкостного типа с наличием компенсационного элемента.

Принцип работы емкостного датчика основан на измерении диэлектрической проницаемости жидкости, занимаемой межэлектродное пространство. Известно, что вычисление емкости конденсатора при плоскопараллельном расположении электродов производится по формуле [2, 3]:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}; \quad (1)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, численно равная $8,8541878 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая межэлектродное пространство; S – площадь электродов конденсатора; d – расстояние (зазор) между электродами конденсатора.

Из (1) следует, что при изменении параметров ϵ , S , d меняется емкость конденсатора. В случае измерения уровня топлива емкостным датчиком, значения S , d , ϵ_0 являются постоянными величинами. Таким образом, контроль уровня жидкости основан на изменении диэлектрической проницаемости ϵ среды, заполняющей межэлектродное пространство.

Бензин и дизельное топливо обладают разной диэлектрической проницаемостью, и при одинаковом объеме показания датчика будут различными. Решением проблемы является использование дополнительно компенсационного, постоянно погруженного в жидкость, датчика, работающего совместно с основным измерительным элементом. Такой датчик является двухканальным, и его работа основана на связи данных с обоих измерительных элементов. Схема датчика представлена на рисунке 1,а, он состоит из ГТИ – генератор тактовых импульсов; П – преобразователи емкости в электрический сигнал; Δu – блок вычитания сигналов; $u_{\text{дет}}$ – импульсный детектор (преобразователь импульсного сигнала в напряжение постоянного тока).

Конструкция датчика, инвариантного к изменению ϵ , представлена на рисунке 1,б. Как большинство ёмкостных датчиков, он коаксиальный, состоит из алюминиевой трубки 6 и внутри расположенным алюминиевым стержнем 5. Дополнительно к основному датчику через диэлектрик параллельно присоединен компенсационный датчик 4. Подключается к основному через контакт герконового реле. На выходе с измерительных элементов два значения, с выключенным контактом геркона: $C_A = C_1 + C_2$, и с включенным контактом: $C_B = C_A + C_3$.

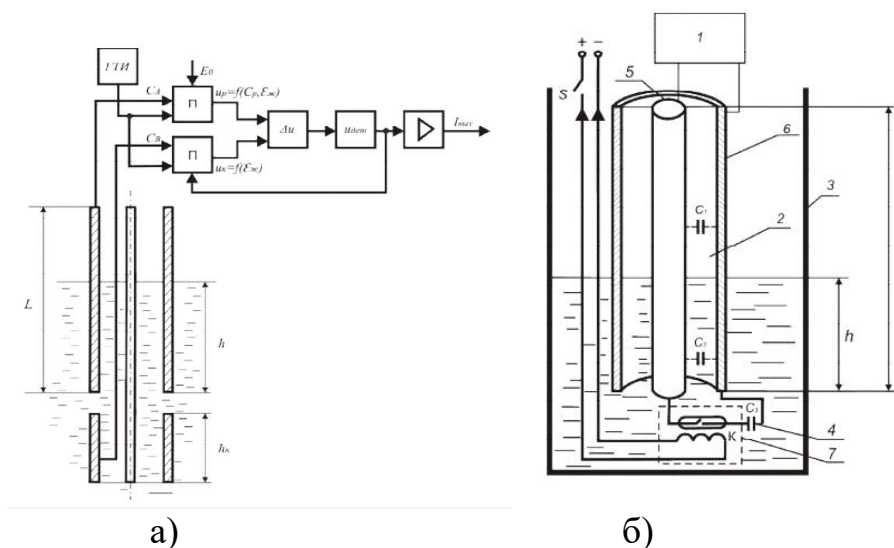


Рис. 1. – Схема датчика с компенсирующей частью

Для решения задачи измерения уровня топлива без влияния $\epsilon_{\text{ж}}$ необходимо построить математическую модель.

Эффективным методом устранения влияния возмущающих воздействий при проектировании систем измерения уровня (СИУ) топлива является использование методов построения измерительных устройств. С целью устранения влияния $\epsilon_{\text{ж}}$, как основного возмущающего воздействия, предложена структура СИУ

(рисунок 2), техническим воплощением которой является предложенная конструкция емкостного уровнемера (рисунок 1).

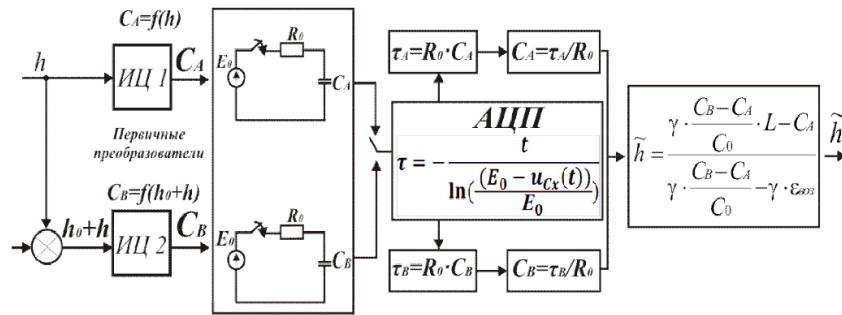


Рис.2. – Функциональная структура информационно-измерительной системы контроля уровня топлива

Основными преимуществами используемого подхода является:

- возможность устранения влияния возмущающего воздействия ($\varepsilon_{ж}$);
- возможность устранения погрешности «не идентичности» рабочего и компенсационного измерительных каналов (т.к. измерения проходят по одному и тому же каналу);
- устраняется необходимость установки дополнительного соединительного кабеля;
- предлагаемая структура соответствует основному принципу построения измерительных устройств – многоканальности.

Система уравнений первичных преобразователей, с учетом предлагаемого алгоритма расчета уровня имеет вид:

$$\begin{cases} C_A = C_{1A} + C_{2A} = \frac{C_{A0}}{L} \cdot \varepsilon_r (L - h) + \frac{C_{A0}}{L} \cdot h \cdot \varepsilon_{жс} \\ C_B = C_{1A} + C_{2A} + C_3 = \frac{C_{A0}}{L} \cdot \varepsilon_r (L - h) + \frac{C_{A0}}{L} \cdot h \cdot \varepsilon_{жс} + C_{0K} \cdot \varepsilon_{жс} \end{cases} ; \quad (2)$$

где C_{1A} – емкость незаполненной топливом части рабочего датчика; C_{2A} – емкость погруженной части в топливо рабочего датчика; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха; C_{A0} – начальная емкость рабочего датчика.

Решение (2):

$$\begin{cases} h = \frac{(C_A - C_{A0}) \cdot L}{C_{A0} \cdot (\varepsilon_{жс} - 1)} \\ C_B - C_A = C_{0K} \cdot \varepsilon_{жс} \rightarrow \varepsilon_{жс} = \frac{C_B - C_A}{C_{0K}} \end{cases} . \quad (3)$$

Решение (3), относительно h :

$$h = \frac{(C_A - C_{A0}) \cdot L}{C_{A0} \cdot \left(\frac{C_B - C_A}{C_{0K}} - 1 \right)} = \frac{(C_A - C_{A0}) \cdot L \cdot C_{0K}}{C_{A0} \cdot (C_B - C_A - C_{0K})} . \quad (4)$$

Использование датчиков такого типа имеют широкие перспективы применения и развития в различных сферах связанных с транспортной и нефтяной областью. Следующий этап исследования предполагает изготовление опытных образцов датчиков с компенсирующим элементом, и проведения опытных экспериментов с их участием.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 13196-93 Устройства автоматизации резервуарных парков. Средства измерения уровня и отбора проб нефти и нефтепродуктов. Общотехнические требования и методы испытаний. – введ. 1993 - 10 – 21. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.
2. Иванова Г. М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов / Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. - 3-е изд., стереотип. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 462 с.
3. Шарапов В. М. Емкостные датчики / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, К. В. Базило, Л. Г. Куницкая, Ж. В. Сотула. – Черкассы: Брама–Украина, 2010. – 153 с.

УДК 62.214.74

Гомонюк А.Д., студент кафедры ПС и АТП

Першин С.В., канд. техн. наук – научный руководитель

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет»

г. Севастополь, Россия

Sanyabafeo@yandex.ru

РАЗРАБОТКА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОРТАТИВНОГО СТАНКА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

На сегодняшний день плазменная резка считается одним из наиболее эффективных способов прямолинейного и фигурного раскроя металла. Она позволяет выполнять резание различных видов металлов: сталей, алюминия, меди, чугуна, титана, листового и профильного проката, осуществлять скос кромок под определенным углом.

Раскрой металла осуществляется при помощи струи раскаленной плазмы, образованной от воздействия электрической дуги на выходящий под большим давлением газ. Черные металлы и нержавейка режутся при помощи воздуха или кислорода, цветные (медь, алюминий, бронза, латунь) при помощи неактивных газов вроде аргона или водорода. Температура струи в зависимости от используемой технологии и газа достигает до 30 000° С. В результате работу по раскрою металла можно выполнить быстро и точно.

Актуальным данный вид резки является за счёт простоты и относительной дешевизны используемого оборудования.

Существующие станки, предназначенные для плазменной резки металлов, классифицируются по двум основным признакам:

1. По типу конструкции станка:
 - 1.1. Портальный тип;
 - 1.2. Консольный тип.
2. По типу используемых рабочих плоскостей:
 - 2.1. XY – тип;
 - 2.2. XYZ – тип.

Данные станки позволяют производить резку заготовок материала значительных размеров, размещая её на рабочем столе. Вес существующих установок колеблется в пределах от 300 кг. до 1,5 т., что делает их перемещение затруднительным.

Анализ спроса и предложения показал, что необходимо разработать однокоординатный портативный станок для плазменной резки заготовок, транспортировка которых затруднена. Основным преимуществом разрабатываемого модуля является возможность его транспортировки и установки на любую металлическую поверхность посредством электромагнитов.

Конструкция разрабатываемого станка представляет собой модуль, состоящий из шарико-винтовой передачи (ШВП), двух продольных направляющих,

универсальной телескопической поперечной направляющей, 2-ух электромагнитов, плазмотрона, шагового электродвигателя, кронштейнов, лазерного уровня. В основу разрабатываемого станка положен принцип использования плазменной резки, что позволяет уменьшить габариты изделия, а также использовать более простое и дешёвое оборудование.

Описание конструкции портативного станка для плазменной резки

Универсальная телескопическая направляющая выполняет функцию кронштейна, удерживающего плазмотрон. Она позволяет увеличивать рабочую зону станка до 1,5 м. На поперечной направляющей также предусмотрен универсальный кронштейн, позволяющий закреплять не только плазмотрон, но и различные сменные приводы с фрезерными, лазерными, шлифовальными головками для решения других задач.

Лазерный уровень позволяет выбрать оптимальное положение, требуемое для получения качественного шва.

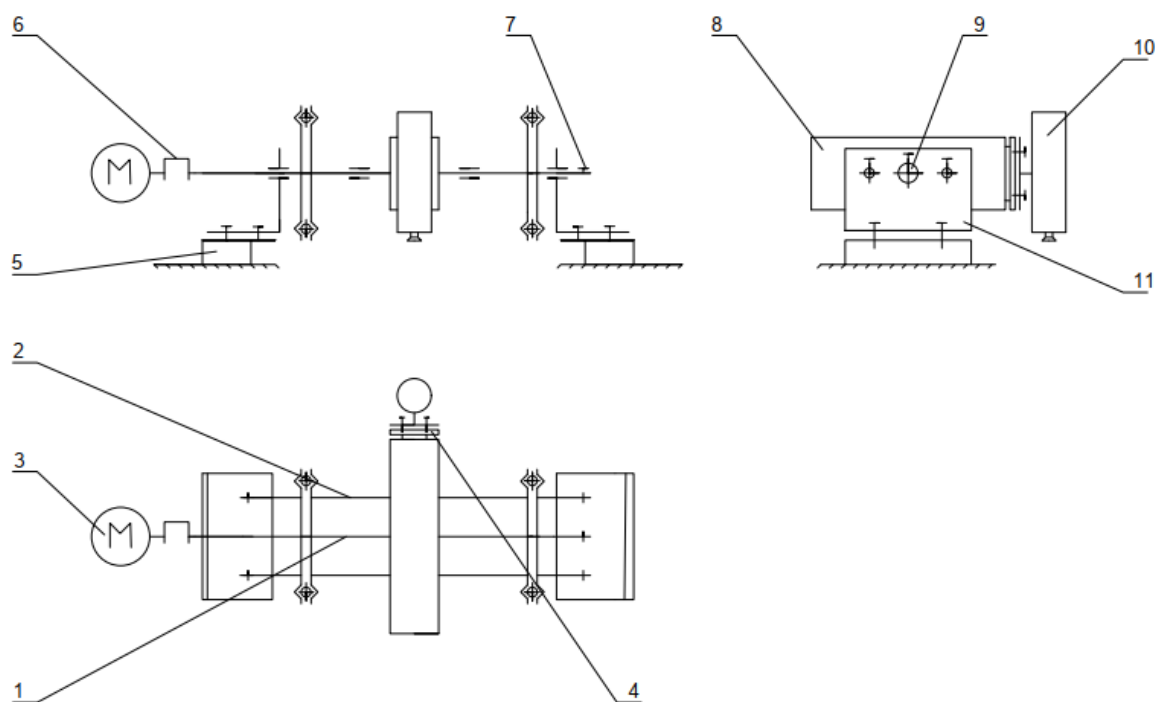


Рисунок 1 – Кинематическая схема портативного станка для плазменной резки

Шаговый двигатель (3) приводит в движение шарико-винтовую передачу (1) посредством муфты (6), вследствие чего приводится в движение каретка (8) с закреплённым на ней кронштейном (4) с плазмотроном (10). ШВП закреплена на кронштейне (11), к который жёстко соединён с электромагнитом (5). Фиксирующий винт (7), установленный во втулке (9) позволяет увеличивать длину рабочей плоскости модуля станка. Шарико-винтовая передача сопрягается с неподвижными кронштейнами (11) посредством упорных подшипников.

Приведённая схема портативного станка плазменной резки имеет большие перспективы на масштабное внедрение в промышленности. В дальнейшем планируется практическая реализация описанного выше станка на базе предложенной кинематической схемы.

Список использованной литературы

1. Плазменная резка. URL: <https://grandmetallstroy.ru/pezka> (дата обращения 26.04.2022).
2. Плазменная резка. URL: <https://www.purm.ru/pezka> (дата обращения 28.04.2022).
3. Станок плазменной резки. URL: <https://cnc-tehnologi.ru/станок> (дата обращения 27.04.2022)
4. Общая метрология / В.А. Кузнецов, Г.В. Ялунина – М. изд. стандартов, 2001. – 268с (К891; 531.7.08).
5. Проектирование и расчет погрешности измерительных устройств автоматизированных средств измерений: Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Метрология» / Разраб. А.П. Васютенко, Д.В. Заморёнова, А.И. Балакин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. – 52с.

УДК 535.8

Мезина М.А., студент кафедры ПСАТП

Донго А.В., студент кафедры ПСАТП

Рахматуллина И.И., студент кафедры ПСАТП

Чикин В.Г., студент кафедры ПСАТП

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

Mintlemon01@mail.ru

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ВЗГЛЯДА

Окулография (айтрекинг) – технология отслеживания положения глаз, также называемая технологией отслеживания линий взгляда или точек взгляда [1]. Она применяется в разных сферах, наиболее распространенной среди которых на сегодняшний день является игровая. Наиболее важным является применение айтрекинга для адаптации и реабилитации людей с ограниченными возможностями. Разработка айтрекинга открыла большие перспективы в следующих областях [1...3]. В правоохранительной деятельности: оценка факторов уязвимости стать жертвой ограбления, частичная замена детекции лжи с применением полиграфа, оперативная работа при производстве опознания, допроса, очной ставки и т.п. В медицине: реабилитация больных с поражением мозга, характеристика произвольных саккад у пациентов с тревожными расстройствами, изучение характерных особенностей движения глаз при шизофрении, восстановление заболеваний, обусловленных возрастом, реабилитация психических, детских и подростковых заболеваний. В спорте: анализ и коррекция деятельности спортсмена в ходе тренировки, сравнение особенностей глазодвигательной активности спортсменов разного уровня подготовки, обучение спортсменов мысленной тренировке, визуализации (мониторинг анализа спортсмена, представленного ему визуального образа), совмещение процедуры регистрации движения глаза с другими аппаратурными методами, а также комплексными системами виртуальной реальности. В маркетинге: анализ реакции потребителя на рекламные материалы (бенчмаркинг), тестирование площадки онлайн рекламы на предмет заметности/ восприимчивости пользователями, повышение эффективности А/В анализа.

Большинство современных систем айтрекинга можно поделить на четыре категории [2,3]: стабилизирующие голову, удаленные, мобильные (устанавливаемые на голову) и встроенные (интегрированные).

1. Отслеживание глаз со стабилизацией головы. Данные системы айтрекинга, как правило представляют собой высокоточные исследовательские системы, которые применяются в нейрофизиологии или при исследовании зрения, где комфорт участников вторичен по отношению к точности. Данные системы

фиксируют голову участника с помощью опоры для подбородка или посредством прикусной планки. Как правило, такие исследования позволяют достигать уровня точности, который невозможен при других типах айтрекинга.

2. Удаленное отслеживание глаз. Данные системы айтрекинга способны отслеживать взгляд человека, на ограниченной рабочей поверхности, которая может представлять собой монитор компьютера. Такой тип является бесконтактным. Камера, которая может быть установлена на монитор компьютера, автоматически будет подстраиваться под изменение положения головы человека.

3. Мобильное отслеживание глаз. Данные системы айтрекинга представляют собой устройство, которое позволяет отслеживать взгляд человека в реальном времени и включают в себя почти все поле зрения человека. Как правило такое устройство выглядит как очки, дополнительно оборудованные рядом камер, часть которых располагается на пути обзора и фиксирует положение глаза и сетчатки, в то время как другие камеры записывают поле зрения человека

4. Интегрированные или встроенные системы. Данные системы айтрекинга представляют собой устройства, интегрированные в другие технологии. Например, прицельные приспособления в системах хирургии глаза, системы автофокусировки фотоаппарата, основанные на положении взгляда в видоискателе и т.д. На сегодняшний день самой масштабной интеграцией являются технологии AR/VR.

В качестве бесконтактных оптических методов отслеживания положения глаз в настоящее время используются [2,3]:

- метод, основанный на улавливании отраженного инфракрасного света, который проецируется на глаз, с помощью сложной комбинации линз и светоправляемых зеркал непрерывно определяется местоположения изображений Пуркинье;

- метод отслеживания на основе видео, где используется направленная на глаза видеокамера, записывающая видеосигнал отраженного света ближнего инфракрасного (ИК) спектра и передает его в обрабатывающее программное обеспечение (система “темного зрачка”, система “светлого зрачка”).

Обзор различных по стоимости и характеристикам моделей айтрекеров, представленных на сегодняшний день на потребительском рынке, приведен в [4]. Целью данной работы разработка бюджетного аналога системы отслеживания взгляда. Разработанная по результатам анализа литературных источников функциональная схема такой системы показана на рис.1. На рис. 2 приведена типовая структурная схема айтрекера.

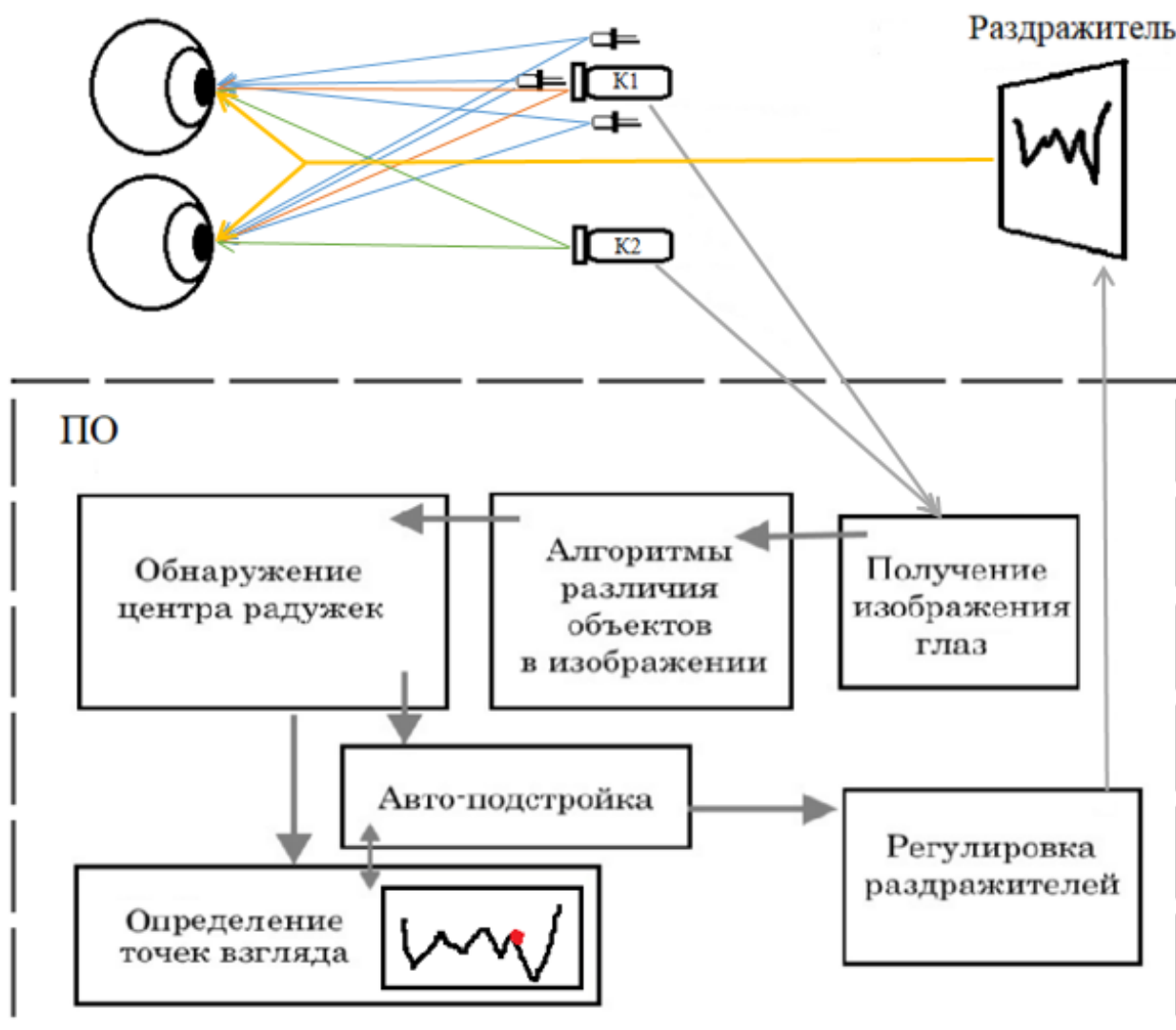


Рис. 1. Функциональная схема бюджетного айтрекера

Глаза биологического объекта направлены на раздражитель, которым может являться экран монитора компьютера. Первая камера (K1), окруженная инфракрасными светодиодами, предназначена для определения положения зрачков глаз по системе «светлого зрачка» – метод, при котором ИК-излучение располагается однонаправленно с объективом камеры, тем самым создавая эффект яркого зрачка, подобно эффекту «красных глаз», система обработки изображений будет отслеживать этот яркий зрачок. Вторая камера (K2) предназначена для определения положения головы и обширного обзора, что обуславливает уточнение результатов отслеживания. Информация, полученная с камер, обрабатывается в соответствующем программном обеспечении (ПО): алгоритмы анализируют полученное изображение глаз и определяют центры радужных оболочек. Далее, определив точки взгляда на раздражителе, происходит автоматическая подстройка курсора и конечная регулировка раздражителя даёт возможность выполнять необходимые для биологического объекта манипуляции.



Рис. 2 – Типовая структурная схема айтрекера

Прибор (рис. 2), состоящий из двух камер, подключается к персональному компьютеру (ПК) посредством USB-интерфейса. Обработка информации, полученной с камер, и ввод информации, под которым подразумеваются манипуляции с курсором (перемещение, клик), позволяющие взаимодействовать с системными и прикладными приложениями компьютера, работать с веб-браузером, осуществляется ПО.

Данная технология повышает востребованность в разработке специализированного программного обеспечения применительно к различным сферам, производители оборудования для айтрекинга выпускают ПО, направленное на обработку данных, полученных в ходе работы разработанных ими устройств (BeGaze, NYAN, Tobii Studio) [5]. Также широко используются бесплатные программы для решения частных задач при обработке данных, среди которых наиболее популярными являются Open Gaze and Mouse Analyzer (OGAMA), GazeParser, Dynamic Areas of Interest (DynAOI), EyePatterns.

Системы отслеживания взгляда становятся всё более востребованными на рынке и имеют перспективы на масштабное внедрение во многие сферы деятельности человека. В дальнейшем планируется практическая реализация обозначенного выше метода айтрекинга путем проектирования системы, построенной на базе разработанной функциональной схемы.

Список литературы

1. Фазылзянова Г.И., Балалов В.В. Айтрекинг: когнитивные технологии в визуальной культуре // Вестник российских университетов. Математика. 2014. №2. – С. 628-633.
2. COGAIN: D2.1 Survey of De-Facto Standards in Eye Tracking / Euro-pean Commission within the Sixth Framework Program. 2005. URL: wiki.cogain.org/images/1/1b/COGAIN-D2.1.pdf (дата обращения: 05.05.2021).
3. Айтрекер. URL: <https://cmi.to/айтрекинг> (дата обращения: 05.05.2021).
4. Федоров А.А. Применение айтрекинга при адаптации и реабилитации людей с ограниченными возможностями // Инновационная наука, 2019. - №4. С. 82-86.
5. Третьякова В.М., Рыбанов А.А. Анализ применения технологии Ай-трекинга // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/07/70126> (дата обращения: 05.05.2021).

УДК 62-521

Рудаков М.Ю., студент кафедры ПСАТП

Майстришин М.М., канд. техн. наук, доцент кафедры ПСАТП (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

Rudakov.mish@yandex.ru

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ

Селективная сборка используется при сборке шатунно-поршневой группы. Для автоматизации процесса сборки шатунно-поршневой группы разработан роботизированный комплекс (РТК) представленный на рисунке 1. Разрабатываемый РТК осуществляет сборку шатунно-поршневой группы с предварительным нагревом и оптимизацией селективного комплектования узла и включает в себя: 1 – магазин деталей типа поршень; 2 – магазин деталей типа поршневой палец; 3 – магазин деталей типа шатун; 4 – робот-манипулятор; 5 – нагревательное устройство; 6 – профильная плита под магазины деталей типа поршень; 7 – профильная плита под магазины деталей типа поршневой палец; 8 – профильная плита под магазины деталей типа шатун; 9 – тумба для нагревательного устройства; 10 – приспособление для запрессовки поршневых пальцев; 11 – профильная плита под приспособление для запрессовки поршневых пальцев; 12 – конвейерная лента; 13 – профильная плита под робот-манипулятор; 14 – измерительная станция для предварительного контроля.

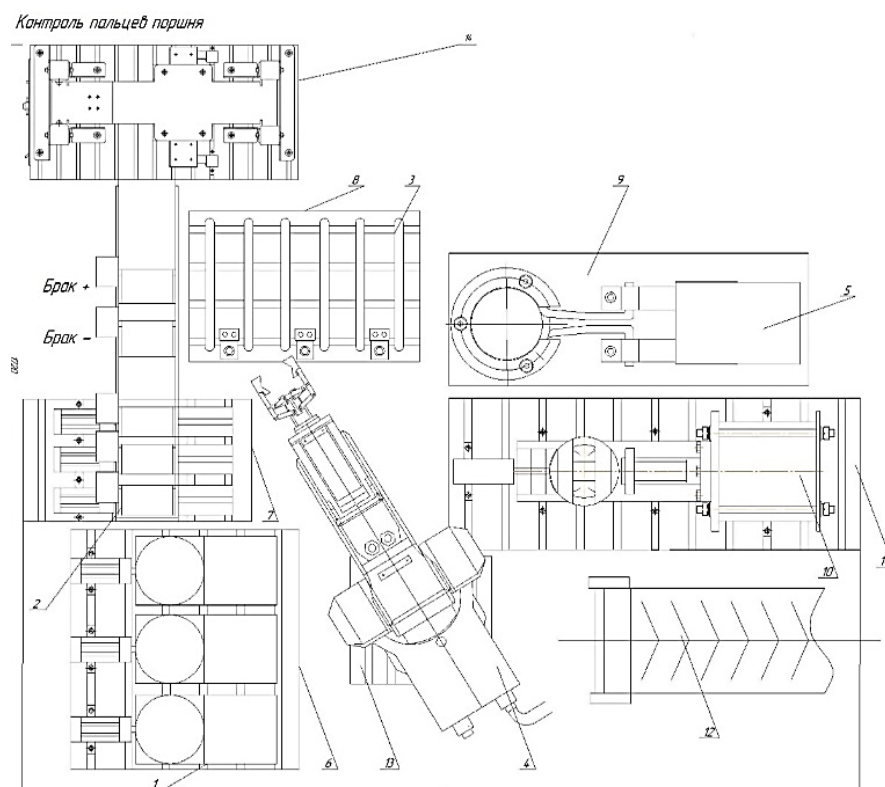


Рис. 1. – Участок селективной сборки

Цель исследования: оптимизация процесса селективной сборки, которая позволит увеличить количество собираемых комплектов.

Задача селективной сборки рассматриваемого узла – это сборки трех деталей по одному параметру. При этом две контрдетали (поршень 2 и втулка шатуна 3), которые не сопрягаются между собой, сопрягаются с деталью (поршневой палец 1). Схема комплектования показана на рисунке 2, где круг соответствует своей детали, цифра внутри – номеру детали, линия, заканчивающаяся черточкой – параметру детали.

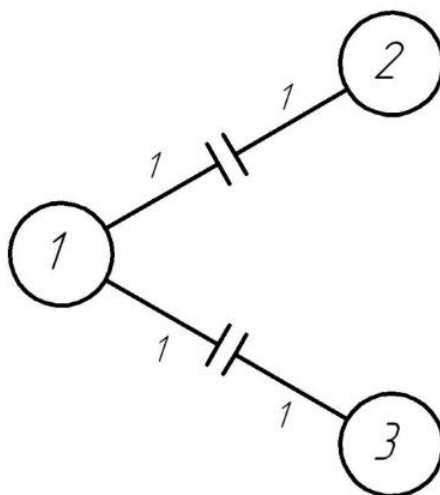


Рис. 2. – Схема комплектования узла

При оптимизации процесса селективной сборки трех однопараметрических деталей могут быть выделены две группы задач.

К первой группе относится построение оптимальной процедуры комплектования в простейшем варианте – при совпадающих симметричных плотностях распределения параметров деталей и равных групповых допусках. В этом случае искомыми являются оптимальные значения числа селективных групп и группового допуска.

Вторую группу образуют задачи оптимизации селективной сборки при несовпадающих распределениях параметров деталей и произвольных групповых допусках. В этом случае при заданном числе селективных групп необходимо выбрать константы $a_i^{(k_i)}$. Эти задачи относятся к наиболее сложным, и для их решения надо, как правило, применять численные методы.

Числа селективных групп и расширенные допуски на изготовление деталей всех типов определены условиями технологического процесса изготовления и сборки выбранного узла. Поэтому, чтобы максимально сократить объемы незавершенного производства, главной задачей исследования становится определение границ полей групповых допусков.

Для определения количества полностью укомплектованных сборочных комплектов (СК) используется формула:

$$I_{C\hat{E}} = \sum_{k=1}^3 I_{C\hat{E}}^k .$$

Одна из задач рационального выбора $a_i^{(k_i)}$ заключается в оптимальном распределении границ групп для получения максимального числа готовых СК. При этом необходимо учитывать, что значения получаемых при расчете зазоров S' и натягов N' должны удовлетворять условиям

$$S_{\min}^{(k_i)} \geq S_{\min}, S_{\max}^{(k_i)} \leq S_{\max}, N_{\min}^{(k_i)} \geq N_{\min}, N_{\max}^{(k_i)} \leq N_{\max}$$

Таким образом получаем следующую систему ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_3^{(5)} - a_1^{(4)} \leq S_{\max}; \\ a_3^{(4)} - a_1^{(5)} \geq S_{\min}; \\ a_3^{(4)} - a_1^{(3)} \leq S_{\max}; \\ a_3^{(3)} - a_1^{(4)} \geq S_{\min}; \\ a_3^{(3)} - a_1^{(2)} \leq S_{\max}; \\ a_3^{(2)} - a_1^{(3)} \geq S_{\min}; \\ a_1^{(5)} - a_2^{(4)} \leq N_{\max}; \\ a_1^{(4)} - a_2^{(5)} \geq N_{\min}; \\ a_1^{(4)} - a_2^{(3)} \leq N_{\max}; \\ a_1^{(3)} - a_2^{(4)} \geq N_{\min}; \\ a_1^{(3)} - a_2^{(2)} \leq N_{\max}; \\ a_1^{(2)} - a_2^{(3)} \geq N_{\min}; \end{array} \right.$$

Поставим задачу оптимизации в виде: определить $a_i^{(k_i)}$, доставляющие максимум функции $I_{\hat{N}\hat{E}} = f(a_i^{(k_i)})$.

Так как значения $a_i^{(k_i)}$ принимают строго определенные значения, кратные дискретностям отсчета приборов D_i , то задача оптимизации является задачей нелинейного дискретного программирования.

Будем использовать метод полного перебора всех возможных вариантов для определения максимума целевой функции при заданных ограничениях. Упрощенная блок-схема алгоритма поиска оптимального решения методом полного перебора показана на рисунке 3.

Примем $m_1 = -5$ мкм, $\sigma_1 = 2,105$ мкм; $m_2 = -8$ мкм, $\sigma_2 = 2,034$ мкм; $m_3 = 1$ мкм, $\sigma_3 = 2$ мкм.

Графические зависимости плотностей распределения $f_i(x_i)$ от переменных x_i , совмещенных по координатам $E_c x_i$ при приведенных данных показаны на рисунке 4. Значения величин $I_{\hat{N}\hat{E}}$, $a_i^{(k_i)}$, определяемые в ходе решения оптимизационной задачи при различных значениях дискретностей приборов D_i для измерения размеров x_i , сведены в таблицу 1.

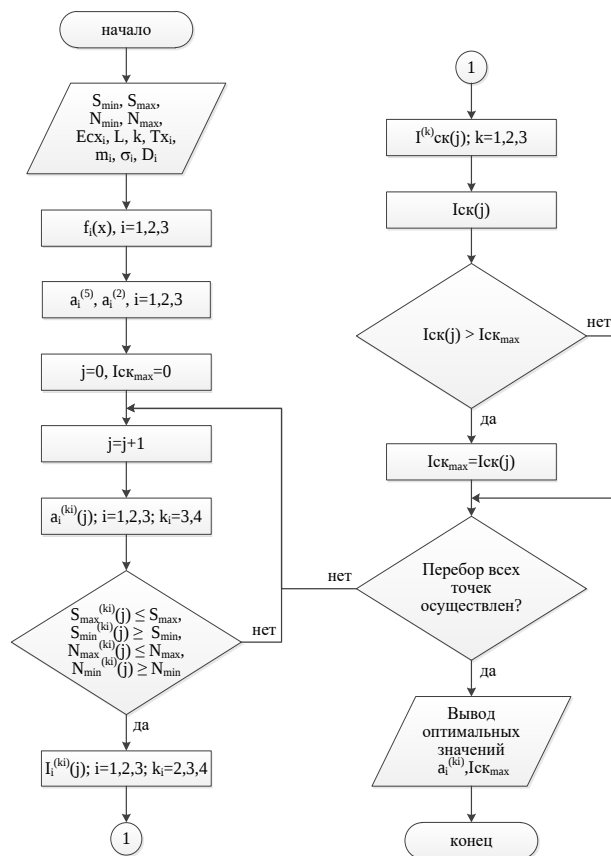


Рис. 3. – Упрощенная блок-схема алгоритма поиска оптимального решения методом полного перебора

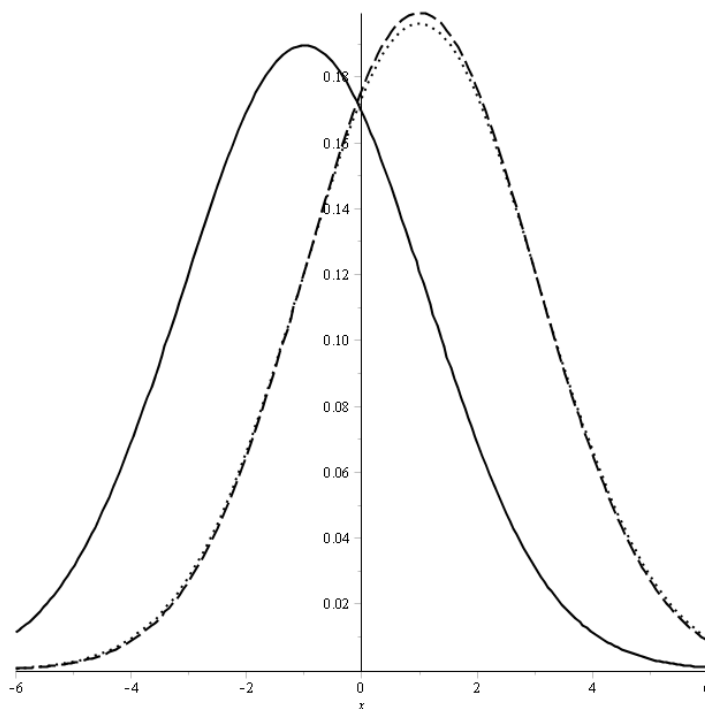


Рис. 4. – Графические зависимости плотностей распределения $f_i(x_i)$ от переменных x_i : — — палец (x_1); — поршень (x_2); - - - - втулка шатуна (x_3)

Таблица 1. – Результаты решения оптимизационной задачи

Деталь	D_i	Границы $a_i^{(k_i)}$ для групп						$I_{\hat{N}\hat{E}}$
		2		3		4		
1	1	2	-3	-3	-7	-7	-10	0,855
2	1	-3	-7	-7	-11	-11	-15	
3	1	+7	+2	+2	-2	-2	-5	
1	0,5	2	-3	-3	-7	-7	-10	0,855
2	1	-3	-7	-7	-11	-11	-15	
3	1	+7	+2	+2	-2	-2	-5	

Таким образом, решением задачи оптимального комплектования узла шатунно-поршневой группы является рациональный выбор границ селективных групп. Из результатов решения видно, что уменьшение дискретности средств измерительной техники, не всегда является целесообразным, хотя иногда дает заметный результат.

В дальнейшем будет разработана программа управления РТК и выбраны средства измерения и управления технологического процесса сборки шатунно-поршневой группы.

Список использованных источников

1. Катковник В.Я. Основы теории селективной сборки /В.Я. Катковник, А.И. Савченко. – Л.: Политехника, 1991. – 303 с.
2. Филипович О.В., Карлов А.Г., Волошина Н.А. Модель процесса однопараметрической селективной сборки сложных изделий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-protsessa-odnoparametricheskoy-selektivnoy-sborki-slozhnyh-izdeliy> (дата обращения: 01.04.2022).
3. Сердобинцев Ю.П., Рабинович Л.А., Савичев А.В. Оптимизированный выбор сборочных комплектов при многовариантных схемах размерного комплектования // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2006. Вып. 3. С. 37-39.
4. Филипович О.В., Невар Г.В., Гарматюк М.И., Заморенова Д.В. Управление параметрами селективной сборки двух деталей // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-parametrami-selektivnoy-sborki-dvuh-detaley> (дата обращения: 01.04.2022).

УДК 62-526

Салиенко А.В., студент кафедры ПСАТП

Майстришин М.М., канд. техн. наук, доцент кафедры ПСАТП (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

salienko1999@yandex.ru

РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОМ В ТРЕХКООРДИНАТНОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЕ

Целью работы является разработка 3-х координатной мехатронной системы (МС) портального типа на основе электромеханических и пневматических модулей с исследованием режимов управления основным типом привода – сервоприводом, для дальнейшего внедрения полученных результатов в проект автоматизированного комплекса установки поршневых колец на поршень шатунно-поршневой группы (ШПГ) двигателя внутреннего сгорания.

По заданным параметрам размера рабочей области мехатронной системы, а также массой перемещаемого объекта произведен расчет действующих нагрузок для систем портального типа. Из-за широкого модельного ряда шатунно-поршневых групп, форма и масса перемещаемого объекта не однозначна, захватный орган может иметь различные характеристики, поэтому в расчетах используется сосредоточенная общая масса объекта и захвата. По результатам расчетов, из каталога продукции Festo [1], были выбраны следующие приводы:

- для координаты Z: пневматический линейный модуль HMPL-12;
- для координаты Y: электромеханический линейный привод с зубчатым ремнем DGE-18-500-ZR-LV-RK-GK-KF-KG-SED;
- для координаты X: электромеханический линейный привод с зубчатым ремнем DGE-25-500-ZR-LV-RK-GK-KF-KG-SED.

Общий вид МС представлен на рис. 1. МС состоит из приводов координаты X: ведущего 3 (оснащенного сервомотором) и ведомого 1. Валы приводов координаты X соединены между собой соединительным валом 2 с упругими муфтами. Привод 4 координаты Y закреплен на подвижных каретках приводов координаты X с помощью монтажных уголков 5. На каретке привода координаты Y с помощью специальной планки 6 установлен пневматический привод 7 координаты Z. МС установлена на полу с помощью монтажных уголков 8, переходных плит 9 и крышек для монтажных уголков 10.

При конфигурировании привода координаты Y был выбран сервопривод MTR-AC-55-3S-AA, так как его характеристики допустимой осевой и радиальной нагрузке на вал удовлетворяют расчётным данным.

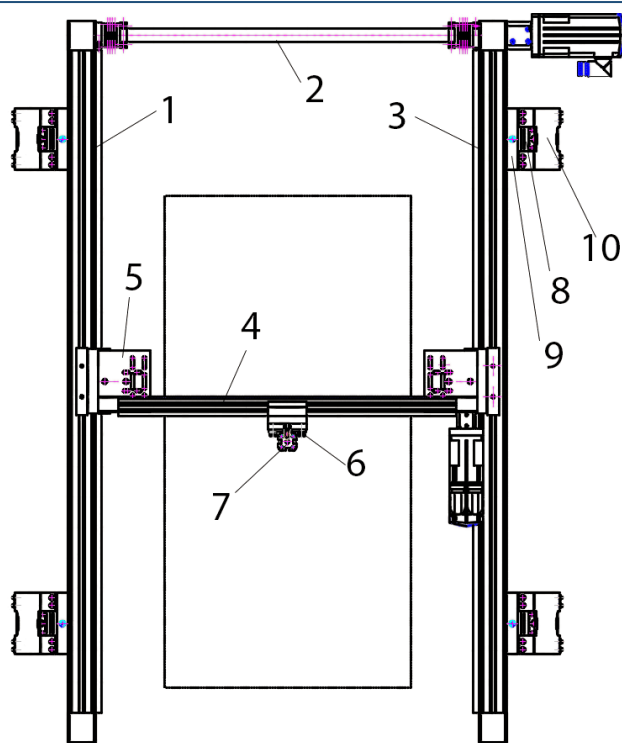


Рис. 1. – Общий вид 3-х координатной мехатронной системы портального типа
Динамика МС переменного тока описывается следующим уравнением [2]

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c, \quad (1)$$

где J и M_c – приведенные значения момента инерции и момента сопротивления; M – активный момент асинхронного двигателя, который может быть описан формулой Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S_n} + \frac{S_n}{S_{кр}}}, \quad (2)$$

где $M_{кр}$ – критический (максимальный) момент; S_n – номинальное скольжение; $S_{кр}$ – критическое скольжение.

Для получения значения $S_{кр}$ в формулу Клосса необходимо подставить значения $M_{кр}$ и S_n , которое определяется по техническим данным двигателя.

Скольжение определяется по формуле

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (3)$$

где ω_0 – синхронная частота:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (4)$$

где p – число пар полюсов двигателя; f_1 – частота питания статорных обмоток.

Для интегрирования уравнения движения запишем его в виде:

$$d\omega = \frac{M - M_c}{J} dt. \quad (5)$$

Используя выражения (1-5) динамики МС, в программной среде Matlab, были синтезированы математические модели двух режимов работы сервопривода координаты Y , для перемещения из начальной точки на величину 500 мм: двухскоростной и пропорционально-дифференциальный. Алгоритмы моделирования представлены на рис. 2.

При двухскоростном управлении основной отрезок пути (70-80%) проходит на максимальной скорости, а в конце перемещения производится переход на низкую (ползучую) скорость и на этой скорости осуществляется позиционирование. Этот способ обеспечивает достаточно высокую точность позиционирования и обеспечивает ограничение по ускорению. Наиболее широко применяется в подъёмных механизмах (краны, лифты), а также в металлорежущих станках для сокращения времени холостых ходов.

В случае пропорционально-дифференциального режима, управления заключается в том, что скорость перемещения зависит от величины перемещения. Движения начинается на максимальной скорости, а затем скорость уменьшается.

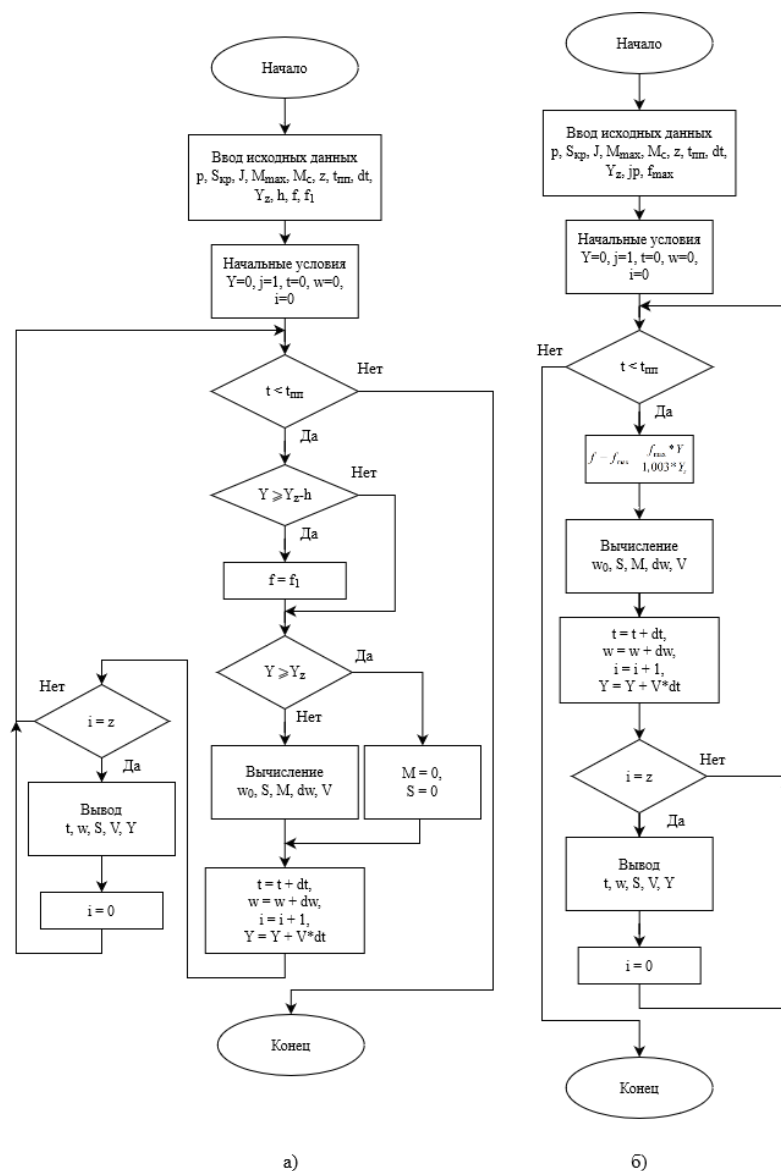


Рис.2. – Алгоритмы моделирования режима управления сервопривода: а) двухскоростного; б) пропорционально-дифференциального

Результаты моделирования, по динамическим характеристикам скорости и величины перемещения, представлены на рис. 3-4.

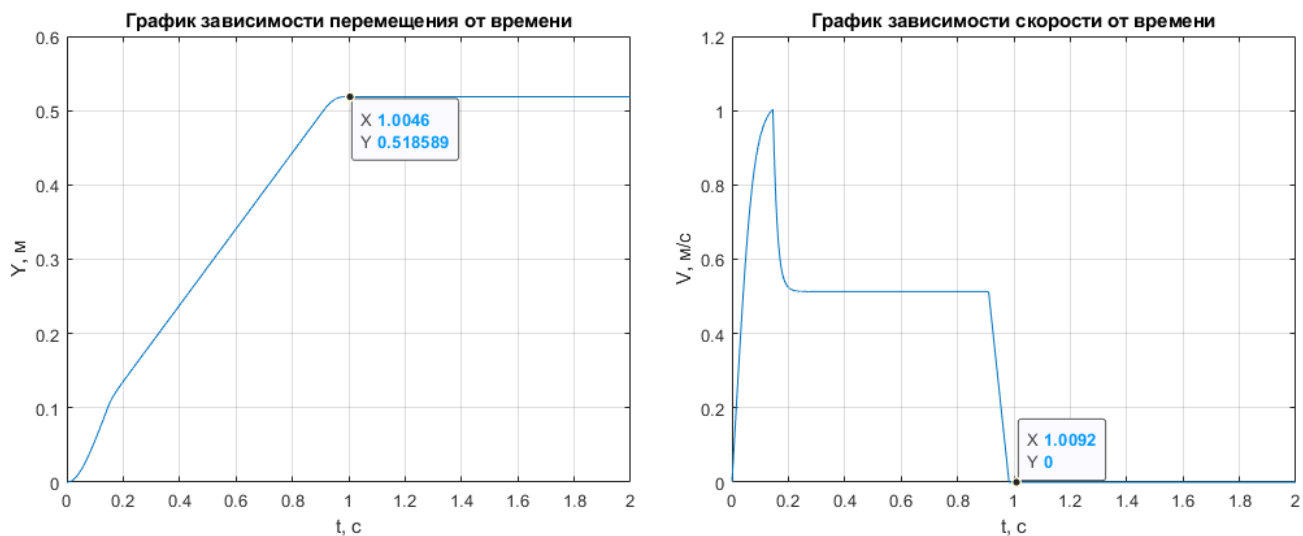


Рис.3 – Графики динамических характеристик сервопривода при двухскоростном режиме управления

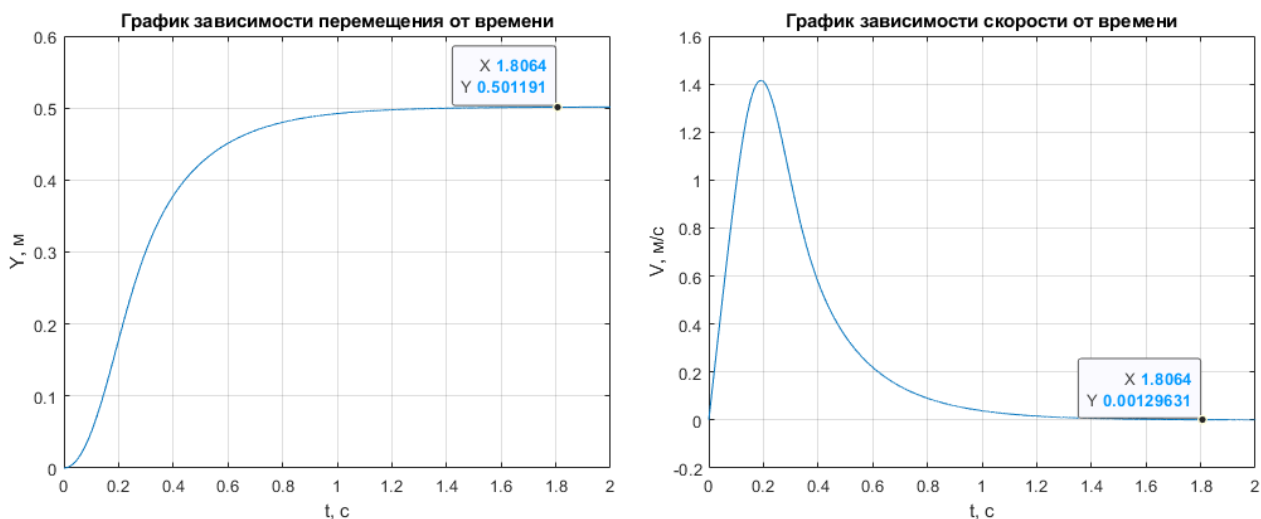


Рис.4 – Графики динамических характеристик сервопривода при пропорционально-дифференциальном режиме управления

На представленных графиках видно, что при двухскоростном режиме работы, привод приходит в указанную точку за 1 с., но имеет погрешность позиционирования 18 мм., что соответствует 3,6% от величины перемещения. Пропорционально-дифференциальный режим работы имеет большую точность позиционирования, погрешность составляет 1 мм., но имеет более низкое быстродействие и приходит в указанную точку за 1,8 с.

Заключение. По итогам работы были получены результаты моделирования режимов управления сервопривода MTR-AC-55-3S-AA на величину 500 мм., в условиях сконструированной мехатронной системы портального типа. Исходя

из результатов моделирования можно сделать вывод что, в условиях работы привода, при установке поршневых колец, точность позиционирования наиболее важна, а значит пропорционально-дифференциальный режим управления является более приемлемым. В дальнейшем планируется произвести моделирование данной системы с учетом конкретной модели ШПГ.

Список использованных источников

1. Продукция Festo. — Текст: электронный // Festo Russia : [сайт]. — URL: https://www.festo.com/cat/ru_ru/products (дата обращения: 18.03.2022).
2. Исследование и разработка трехкоординатных автоматизированных систем позиционирования: метод. указания к выполнению курсовой работы / Сост. А.Н. Круговой. – Севастополь: СевГУ, 2017.
3. Handlign technology and positioning. System Guide Volume 2 — Germany: Festo Ag & Co., 2002. — 336 с.
4. Motor controller SFC –DC. Electronic manual — Germany: Festo Ag & Co., 2005. — 203 с.
5. Коротин, А. М. Синхронные приводы / А. М. Коротин, И. И. Бербенек, Х.Давиденко,и И. — Вып. 269. — Москва : Энергия, 1967. — 80 с.

УДК 681.51

Заморёнов И.М., студент кафедры ПСАТП

Епова А.М., студент кафедры ПСАТП

Скитяев Д.И., студент кафедры ПСАТП

Майстришин М.М., канд. техн. наук – научный руководитель

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет»

г. Севастополь, Россия

mmmaystrishin@sevsu.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНЦИЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ И СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Разрабатывается программа управления станцией непрерывных процессов (рис.1), состоящей из 4 замкнутых контуров с цифровыми и аналоговыми датчиками, а также с исполнительными механизмами, что позволит управлять процессом поддержания температуры, давления, расхода и уровня жидкости в емкостях согласно заданному рецепту в ручном и полностью автоматическом режиме.



Рис.1. – Станция непрерывных процессов

Все логические функции в системе управления станции были возложены на программируемый логический контроллер S7-1500, который содержит необходимое количество дискретных и аналоговых входов/выходов, необходимых для управления станцией.

Перед разработкой управляющей программы была произведена калибровка аналоговых датчиков и гидравлического насоса, которая позволит выводить оператору реальные значения давления, расхода, уровня и температуры жидкости в системе, а также автоматически управлять насосом, тэном и клапанами, для поддержания заданных параметров жидкости.

В данный момент разработана управляющая программа на языке LD позволяющая реализовывать следующий алгоритм работы:

- при нажатии кнопки START запускается программа, которая проверяет состояние системы и при необходимости запускает насос и тэн, перегоняя жидкость по малому кругу.
- при достижении заданной температуры жидкости, соответствующие клапаны переключаются и насос перекачивает жидкость в другую емкость.
- после достижения минимального уровня жидкости в емкости, контролируемого поплавковым датчиком, ПЛК переходит в режим контурного управления уровня жидкости по значению ультразвукового датчика.

Фрагмент программы на языке LD представлен на рис. 2.

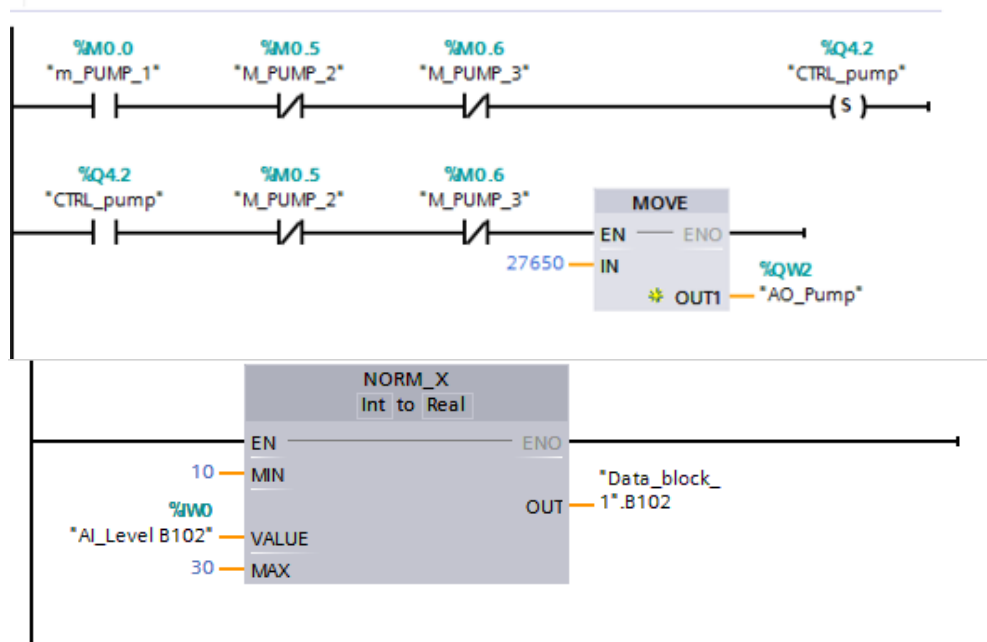


Рис. 2. – Фрагмент программы

С помощью насоса, ультразвукового датчика и гидравлических клапанов с электромагнитным управлением реализуются различные законы наполнения, опорожнения, а также поддержания определенного уровня жидкости в ёмкостях.

Разработанная программа реализует и автоматический выход из аварийных ситуаций, не допуская «сухой» запуск насоса, тэна, а также переполнение жидкости во всех открытых емкостях.

Для задания режимов работы и визуализации, а также ручного управления разработаны соответствующие экраны сенсорной панели НМІ панели TP700 Comfort, например, представленный на рис. 3.

С целью исследования различных режимов управления станции и поиска оптимальных, была поставлена задача создания математической модели станции.

На рис. 4 представлена структурная схема гидросистемы, состоящая из двух емкостей (резервной и основной), соединительных труб диаметром 0,01 м (10мм), гидравлического клапан и гидронасоса.

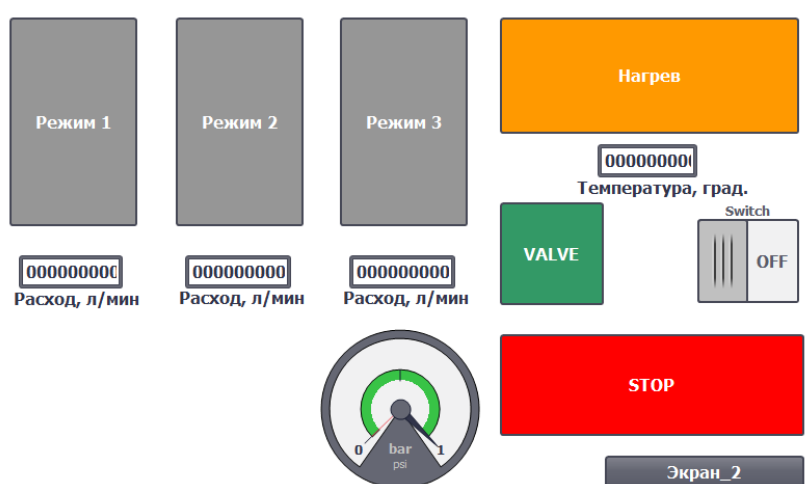


Рис. 3. – Внешний вид панели

Задачей гидросистемы является поддержание заданного уровня в основной емкости с помощью гидронасоса и гидравлического клапана, имеющего два положения – закрытое и открытое, образуя тем самым два варианта структуры.

Математическая модель составлена на основе уравнений Бернулли для неустановившегося напорного движения несжимаемой жидкости [1], которое для отдельного трубопровода, соединяющей точки i, j , имеет вид:

$$h_i + z_i = h_j + z_j + \mu_{ij} \frac{u_{ij}^2}{2g} + \alpha_0 \frac{L_{ij}}{g} \cdot \frac{du_{ij}}{dt}. \quad (1)$$



Рис. 4. – Структурная схема сетевой гидросистемы

Математическая модель гидросистемы для случая открытого вентиля и нулевых начальных скоростей потоков имеет вид:

$$\begin{aligned}\frac{du_{12}}{dt} &= \frac{g}{\alpha_0 L_{12}} \left(h_1(t) + z_1 - h_2(t) - z_2 - \frac{\mu_{12}}{2g} u_{12}^2 \right), \\ \frac{du_{64}}{dt} &= \frac{g}{\alpha_0 L_{64}} \left(h_6(t) + z_6 + K_n(t) h_4(t) - z_4 - \frac{\mu_{64}}{2g} u_{64}^2 \right), \\ \frac{du_{43}}{dt} &= \frac{g}{\alpha_0 L_{43}} \left(K_n(t) h_4(t) + z_4 - h_3(t) - z_3 - \frac{\mu_{43}}{2g} u_{43}^2 \right),\end{aligned}\quad (3)$$

$$u_{45}(t) = (Q_{64}(t) - Q_{43}(t)) / \sigma_{45} = (\sigma_{64} u_{64}(t) - \sigma_{43} u_{43}(t)) / \sigma_{45},$$

$$u_{12}(0) = u_{64}(0) = u_{43}(0) = 0.$$

Схема математической модели с открытым клапаном на трубе между точками 1 и 2, реализованна в подсистеме визуального программирования Simulink пакета Matlab, представлена на рис.5.

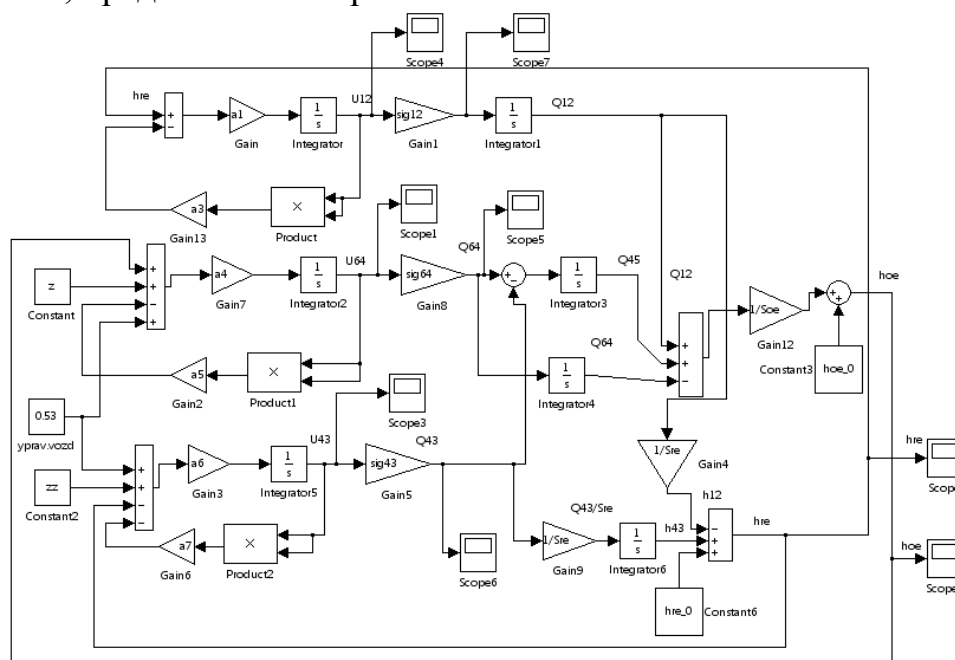


Рис.5. – Математической модель в Simulink

В дальнейшем будут произведены исследования, которые позволят оценить адекватность математической модели, ее корректировку с возможностью дальнейшего использования при исследовании режимов управления.

Список использованной литературы

1. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/Под. Ред. М.О. Штеймберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Основы теории автоматического управления. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 352 с.

УДК 62-529

Цыганкова В.М., студент кафедры ПСАТП,

Вайнер В., студент кафедры ПСАТП,

Волкова Ю.М., студент кафедры ПСАТП,

Бочко Д.Н., студент кафедры ПСАТП,

Карташов Л.Е., канд. техн. наук, доцент кафедры ПСАТП – научный руководитель

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

ministrelia.18@mail.ru

ТРИХОПЛАКС ДЛЯ БИОНИКИ. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МИКРОРОБОТА «ТРИХОБОТ»

Трихоплакс (рис. 1.) относится к типу Placozoa и считается одним из самых просто устроенных многоклеточных животных. Это пластинчатое беспозвоночное с асимметричным телом размером 0,2-2,0 мм в диаметре и толщиной 25 мкм, встречается повсеместно в тропических морях. Трихоплакс не имеет мышечных клеток и нейронов, состоит из трёх слоёв клеток (рис. 2.), прикрепляется к субстрату с помощью микроворсинок и скользит по поверхности за счёт биения ресничек вентрального эпителия и наблюдаемых ритмических сокращений дорсального эпителия под действием звёздчатых волокнистых клеток среднего слоя, изменяя форму своего тела как амёба. [1].

Установлено, что трихоплакс имеет два способа передвижения по субстрату: вращательный и поступательный. Один представляет собой довольно медленное скольжение со скоростью 0,5-2 мм/мин и обусловлен биением ресничек вентрального эпителия и наблюдаемых ритмических сокращений дорсального эпителия под действием звёздчатых волокнистых клеток среднего слоя. Другой, более быстрый способ движения, обеспечивается изменениями формы тела, напоминающими «амебоидное» [2].

Под дорсальным эпителием расположены кристаллические клетки, содержащие ромбоидные кристаллы арагонита. Проходящий через арагонит ультрафиолетовый свет вызывает его свечение красным светом, что повышает эффективность митохондрий по выработке АТФ, которая управляет кальциевыми каналами и синтезом пептидов (белков). На выходе из кристалла арагонита свет имеет ту же длину волны, что и на входе, но только распадается на обыкновенный луч и на поляризованный луч, который вращается вокруг обыкновенного луча при перемещении кристалла [3]. Наличие светочувствительных опсинов в диапазоне синего, фиолетового и зеленого света позволяет предположить, что кристаллы арагонита у трихоплакса могут выступать в качестве оптических сенсоров, которые могут позволять управлять им.



Рис. 1. Фотография трихоплакса

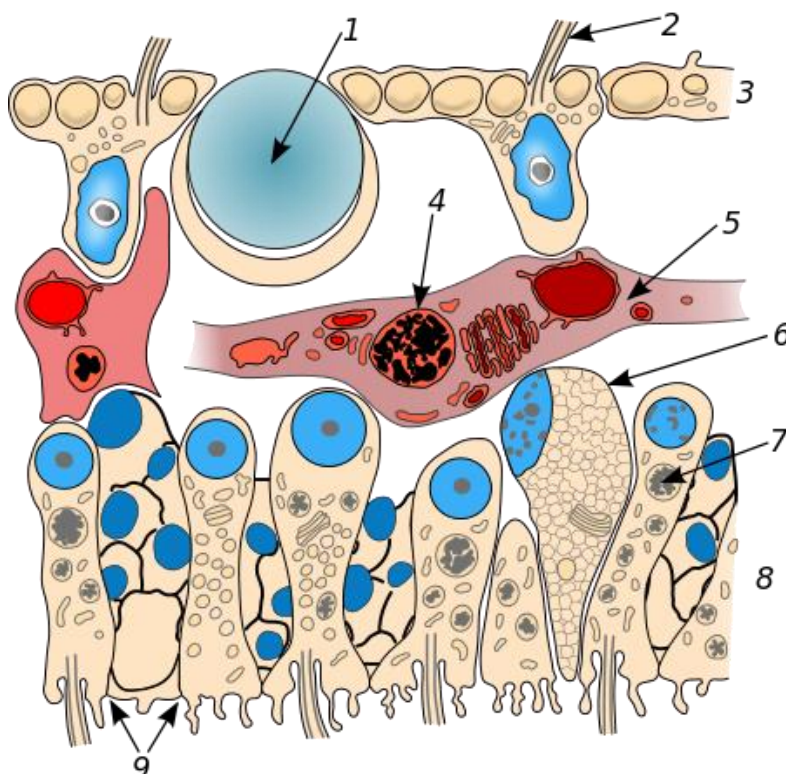


Рис. 2. Строение тела трихоплакса на поперечном срезе: 1 – кристаллическая клетка; 2 – ресничка; 3 – дорсальный слой клеток; 4 – вакуоль; 5 – волокнистый синцитий; 6 – железистая клетка; 7 – вакуоль; 8 – вентральный слой клеток; 9 – зоны межклеточных контактов

Учитывая это, были сформулированы требования к конструкции корпуса и двигателю робота «трихобота»: корпус должен иметь малые габариты; быть устойчивым при воздействии вибрации; иметь приемник и излучатель света. При этом алгоритм движения робота должен предусматривать управление двигателем с зависимостью от приемника света и моделировать реальное поведение трихоплакса и его клеток.

В основу построения «трихобота» взят принцип машинок Брайтенберга, при котором, подобно фототаксису у живых организмов, устройство, в зависимости от конструкции, двигается к источнику света или от него. Для реализации поведения отдельных клеток трихоплакса был выбран режим, при котором робот

будет двигаться к источнику света. Чтобы данный режим сработал, фоторезисторы и вибромоторы требуется подключить накрест лежащими линиями передачи, т. е. от преобладания величины сигнала левого фоторезистора, будет быстрее работать правый вибромотор; от преобладания величины сигнала правого фоторезистора, будет быстрее работать левый вибромотор. Для этого на макетной плате были расположены фоторезисторы, как элемент воспринимающий свет. В качестве источника света на плате установлен светодиод, свет от которого будет служить маячком для других роботов. Для передачи дискретных электрических импульсов, получаемых с фоторезисторов, была использована управляющая система Arduino Nano на базе микроконтроллера ATmega168 из-за ее малых габаритов и легкого способа программирования. Также на плате предусмотрены делитель напряжения для защиты мотора от поломки при работе выходного напряжения Arduino в +5В и диод для предотвращения короткого замыкания в цепи. На этапе конструирования было экспериментально определено оптимальное расположение вибромоторов для осуществления движения. Они должны находиться по правую и левую сторону от центральной оси, на одном уровне под углом равным 60° друг от друга. Корпус робота состоит из чашки петри, к которой прикреплены щетки, внутри располагается батарейка на 9В (рис. 3.).

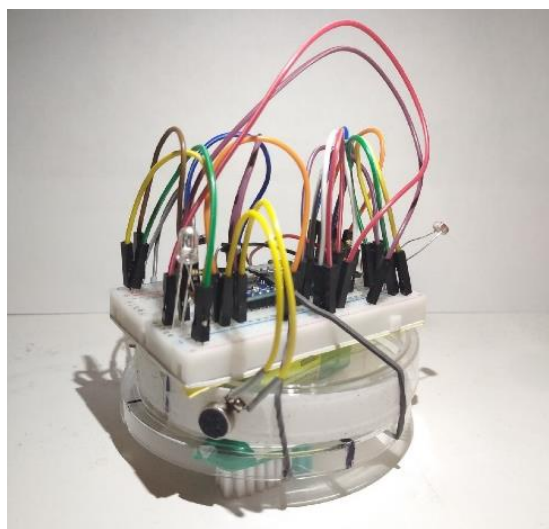


Рис. 3. Модель робота «Трихобот»

На плату Arduino Nano подается питание 9В, загорается светодиод, размещенный на противоположной от фоторезисторов стороне. К пинам A2 и A3 подключены левый и правый фоторезисторы, на них приходят последовательности дискретных электрических импульсов, величина количества которых зависит от степени освещённости. Чем больше света попадает на фоторезистор, тем больше импульсов будет передаваться далее по линии, и наоборот. На следующем шаге определяется скорость левого и правого двигателей, как соотношение яркости между двумя фотоэлементами. Когда сигналы с обоих фоторезисторов примерно равны, то сигналы через цифровые порты D9 и D10, к которым подключены вибромоторы, передают сигнал, и робот движется вперёд. Когда сигнал с одного

фоторезистора становится больше, двигатель с противоположной стороны работает быстрее, и робот поворачивает. При удалении источника света от фоторезисторов, т. е. в темноте, устройство остаётся неподвижным. Тестирование коммуникации «трихоботов» друг с другом проводится в темном помещении во избежание попадания постороннего света, способного исказить сигнал, регистрируемый фоторезистором (рис. 4.). Блок-схема алгоритма программы приведена на рис. 5. Результат движения, представленный в данной блок-схеме, не окончательный. Выявление других способов движения будут исследованы в дальнейшем.



Рис. 4. Тестирование коммуникации между роботами

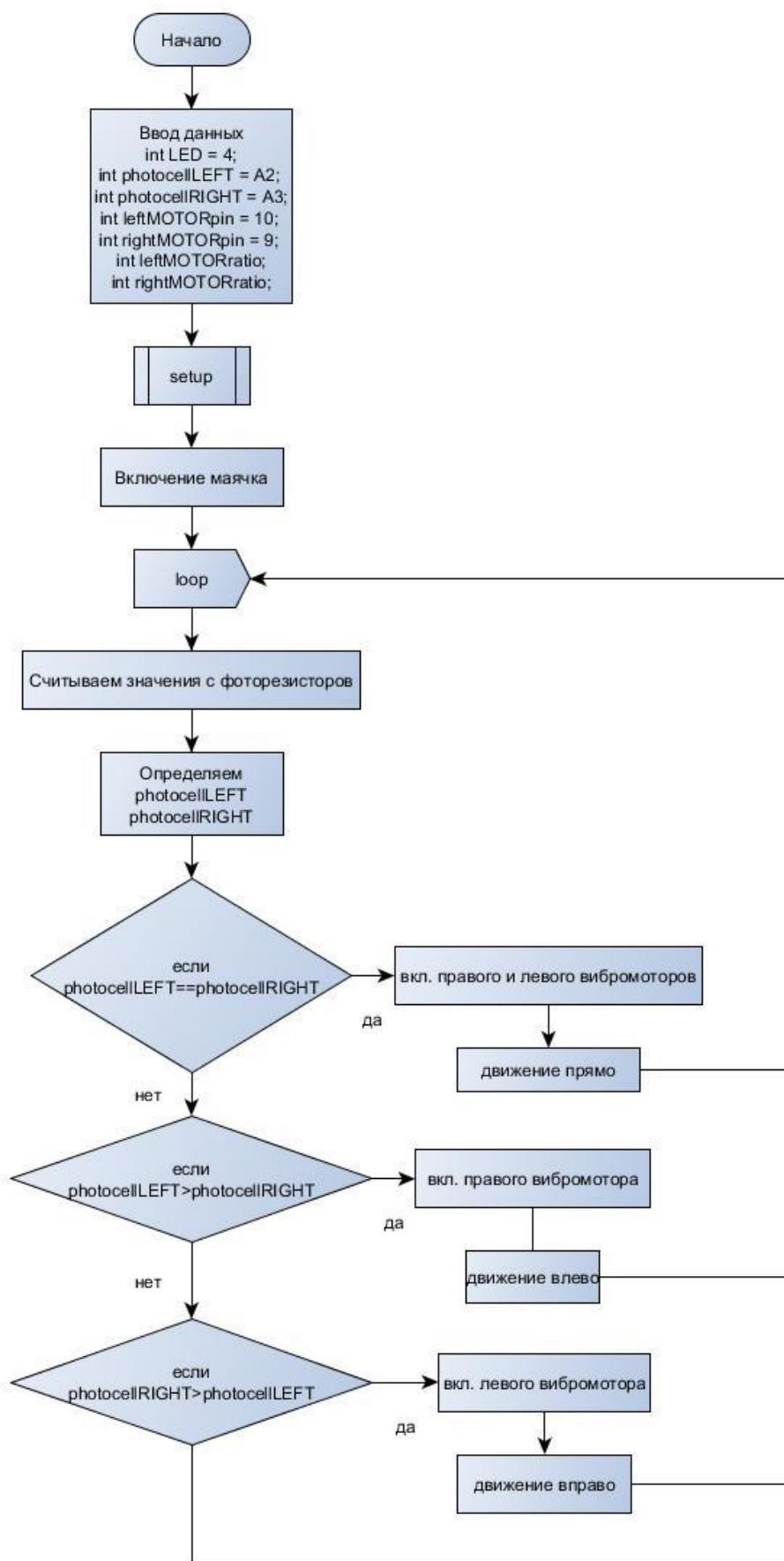


Рис. 5. Блок-схема программы

В результате тестирования коммуникации трех микророботов было определено, что «трихоботы» двигались к самому яркому маячку, при этом, в начале, движение может показаться хаотичным. Данные роевые роботы моделируют поведение трихоплаксов и реакцию их клеток на источник света. В дальнейшем планируется уменьшение габаритов «трихобота» и увеличение контроля над ним, путем доработки программного кода алгоритма, а также улучшения сенсорной системы робота.

Список литературы

1. Schulze FE. *Trichoplax adhaerens*, nov. gen., nov. spec. *Zoologischen Anzeiger*. 1883;6:92-97.
2. Серавин Л. Н., Гудков А. В., *Trichoplax adhaerens* (тип Placozoa) - одно из самых примитивных многоклеточных животных. СПб: "ТЕССА", 2005. - 69 с.
3. Daria Y. Romanova, Ivan V. Smirnov, Mikhail A. Nikitin, Andrea B. Kohn, Alisa I. Borman, Alexey Y. Malyshev, Pavel M. Balaban, Leonid L. Moroz. Sodium action potentials in placozoa: Insights into behavioral integration and evolution of nerveless animals // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2020.

УДК 681.5.013

Корнилов Д.А., студент кафедры ИУТС

Липко И.Ю., старший преподаватель кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

1.2.moy@mail.ru

ПРОГРАММА МАРШРУТИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА РОБОТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА A*

Робототехника сегодня является очень быстрорастущей сферой. Многие рутинные и однотипные задачи, для экономии человеческих и денежных ресурсов, всё чаще поручают выполнять роботам. Идея внедрить роботов для помощи, или полной замены людей на складе не нова, и уже давно используется крупными корпорациями. Однако, предлагаемые сегодня решения, требуют достаточно серьёзного переоборудования складов, дорогостоящей настройки оборудования, и как минимум одного достаточно квалифицированного программиста для дальнейшей поддержки или внесения изменений в планировку склада и соответственно маршрутов роботов. Все эти факторы существенно влияют на стоимость внедрения и поддержки данной технологии, и их применение не доступно для внедрения в средние и достаточно мелкие складские помещения. Отсюда возникает потребность в удешевлении и упрощении данной технологии. Стержнем всей системы склада является программа-маршрутизатор, способная грамотно располагать и управлять имеющимися на складе роботами.

Для реализации подобной программы лучше всего представить маршруты складского помещения в виде взвешенного графа. Причём его рёбра могут иметь произвольную длину, а узлы графа произвольное положение(а не распределены по сетке). Так же граф должен уметь динамически меняться, чтобы отсекать занятые другими роботами маршруты и строить обходные пути. Для поиска маршрутов по графу с такими параметрами хорошо подойдёт алгоритм A* (A star).

Данный алгоритм является модификацией алгоритма Дейкстры, и позволяет строить оптимальные маршруты между двумя узлами взвешенного графа. Позволяет использовать рёбра различных длин, а также узлы различных весов. Позволяет менять граф между вызовами, т.к. рассчитывает всё каждый раз заново. Учитывает направление до цели, что сказывается на его быстродействии.

Для демонстрации работы алгоритма в готовой части программы составим тестовый граф (Рис. 1). И запустим поиск всех маршрутов от всех точек.

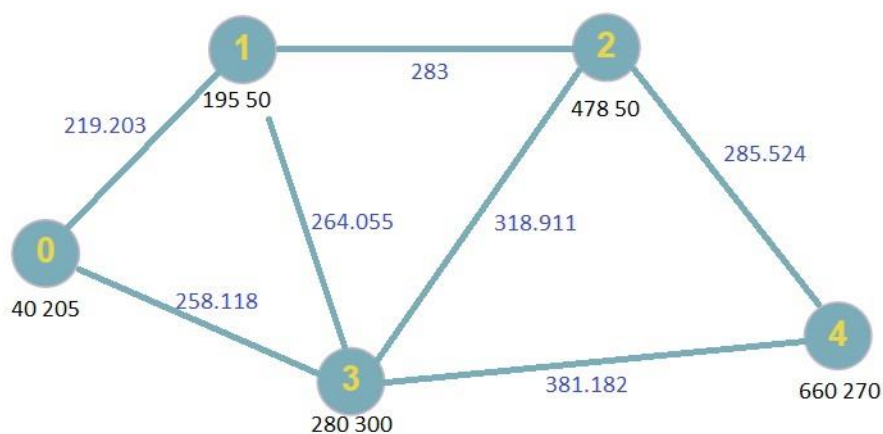


Рис. 1. – Визуализация графа для теста

Изначально программа маршрутизатор добавит в граф служебные точки для корректного предотвращения столкновений, и пронумерует их. Так же отобразит граф на экране (Рис. 2).

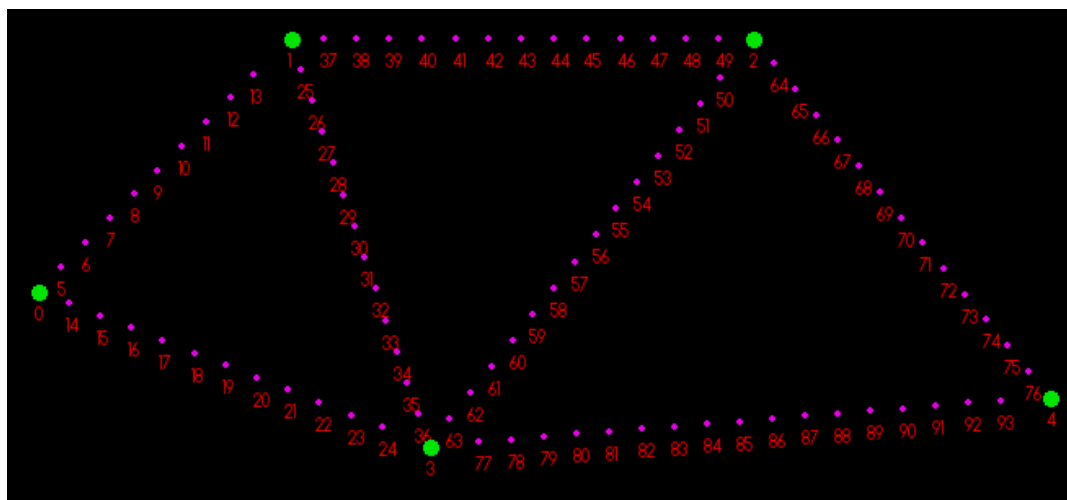


Рис. 2. – Визуализация графа со служебными точками

Теперь требуется задать начальный и конечный пункт для перемещения. После чего программа построит оптимальный маршрут, зарезервирует требуемые для маршрута рёбра, и для предотвращения столкновений сделает их односторонними (двигаться можно только в одном направлении). После чего предоставит маршрут в виде набора идентификаторов, по которому необходимо следовать для достижения цели. Результат работы программы продемонстрировано ниже на рисунке 3.

```

Run(1<==0)
1<13<12<11<10<9<8<7<6<5<0
Length = 219.223
Run(2<==0)
2<49<48<47<46<45<44<43<42<41<40<39<38<37<1<13<12<11<10<9<8<7<6<5<0
Length = 502.223
Run(3<==0)
3<24<23<22<21<20<19<18<17<16<15<14<0
Length = 258.17
Run(4<==0)
4<93<92<91<90<89<88<87<86<85<84<83<82<81<80<79<78<77<3<24<23<22<21<20<19<18<17<16<15<14<0
Length = 609.393
Run(0<==1)
****Error****
Run(2<==1)
2<49<48<47<46<45<44<43<42<41<40<39<38<37<1
Length = 283
Run(3<==1)
3<36<35<34<33<32<31<30<29<28<27<26<25<1
Length = 264.141
Run(4<==1)
4<76<75<74<73<72<71<70<69<68<67<66<65<64<2<49<48<47<46<45<44<43<42<41<40<39<38<37<1
Length = 568.553
Run(0<==2)
****Error****
Run(1<==2)
****Error****
Run(3<==2)
3<63<62<61<60<59<58<57<56<55<54<53<52<51<50<2
Length = 318.99
Run(4<==2)
4<76<75<74<73<72<71<70<69<68<67<66<65<64<2
Length = 285.553
Run(0<==3)
****Error****
Run(1<==3)
****Error****
Run(2<==3)
****Error****
Run(4<==3)
4<93<92<91<90<89<88<87<86<85<84<83<82<81<80<79<78<77<3
Length = 351.222
Run(0<==4)
****Error****
Run(1<==4)
****Error****
Run(2<==4)
****Error****
Run(3<==4)
****Error****

```

Рис 3. – Результат работы программы

Из результатов видно, что при фактически одновременном построении маршрутов некоторые из них построиться не смогли, это связано с тем, что к моменту их построения необходимые для маршрута рёбра были зарезервированы другими маршрутами. Программа это обработала, и в дальнейшем ещё раз попыбует их построить при следующем внесении изменения в граф.

Заключение. В рамках данной работы рассматривается реализация программы маршрутизатора роботами на складе написанного на языке C++. В данный момент программа уже успешно строит маршруты с учётом присутствия нескольких роботов на одном графе. В дальнейшем будет разработана система управления для следования по полученному в ходе работы программы маршруту, а также улучшен графический интерфейс программы.

Список использованных источников

1. Седжвик Р. Алгоритмы на C++ / Р. Седжвик – Вильямс, 2001. – 1056 с.: ил.

УДК 681.5.015

Дементьев К.В., студент кафедры ИУТС

Липко И.Ю., старший преподаватель кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

mash.saigon.89@gmail.com

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ

Задачи моделирования объектов в виде роботов с составной математической моделью часто возникают в инженерной практике. Широкое применение сегодня имеют разновидности манипуляционных роботов, имитирующих действия человеческих рук в процессе трудовой деятельности. Сегодня сложно представить нашу жизнь без различных роботов и область их применения крайне обширна. Люди создали верного помощника, способного не только выполнять опасные для жизни человека работы, но и освободить человечество от однообразных рутинных операций [1]. В данной работе рассматривается универсальный метод расчета динамических параметров модели подводных манипуляторов. Универсальность при этом понимается как возможность варьирования физических и геометрических параметров на входе процедуры.

Предварительно стоит отметить ряд допущений при разработке модели:

- каждое звено аппроксимируется цилиндрической формой;
- центры масс условно совпадают с центрами плавучести;
- все типы сил трения в расчет не включены;
- динамика рабочего органа и двигателей не учитываются;
- не учитываются ограничения углов поворота.

Для расчета параметров динамической модели подводного робота-манипулятора требуется выполнить ряд задач:

- определение параметров Денавита-Хартенберга (Д-Х);
- расчет матриц трансформации для каждого звена;
- поиск координат центров масс для звеньев манипулятора относительно инерциальной системы;
- вычисление Якобианов скоростей для центров масс каждого звена;
- расчет присоединенных масс для каждого звена;
- расчет тензоров инерций и матрицы инерции (включая присоединенные массы);
- определение потенциальной энергии и затем матрицы сил гравитации и плавучести;
- расчет матрицы кориолисовых и центробежных сил.

Описанные выше задачи избыточно определяют порядок алгоритма расчета динамики подводных манипуляторов. Рассмотрим каждый шаг подробнее.

Начальным этапом является расчет кинематики, здесь важно ввести ряд переменных. Положение основания робота-манипулятора описывается одним вектором для шести степеней свободы $\eta = [x \ y \ z \ \varphi \ \theta \ \psi]^T$, где первые

три элемента описывают линейное смещение платформы от начала инерциальной системы, а прочие – ее углы Эйлера.

Вне зависимости от типа звена манипулятора (вращательного или поступательного), для описания пространственного положения всех n соединений используется вектор обобщенных координат $q = [q_1 \dots q_n]^T$.

Распространенный подход в расчете кинематики манипуляторов – использование однородных матриц преобразования T_i , позволяющих хранить информацию о повороте R_i , сдвиге p_i , перспективе f_i и масштабировании m_i для i -й системы отсчета [2].

$$T_i = \begin{bmatrix} R_i & p_i \\ f_i & m_i \end{bmatrix}.$$

Получить данные матрицы возможно, зная параметры Денавита-Хартенберга. Общий вид таблицы параметров Д-Х для манипуляторов представлен ниже.

Табл. 1. Параметры Д-Х

Звено i	a_i	α_i	d_i	q_i
1	...	...	...	...
...	...	...	...	...
n	...	...	...	...

Матрицы поворота для каждого звена определяются выражениями

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos q_i & -\sin q_i \cos \alpha_i & \sin q_i \sin \alpha_i & a_i \cos q_i \\ \sin q_i & \cos q_i \cos \alpha_i & -\cos q_i \sin \alpha_i & a_i \sin q_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T_i = T_0 \prod_{k=1}^i A_k^{k-1},$$

здесь $T_0 = \text{const}$ содержит информацию о смещении и повороте η основания манипулятора:

$$T_0 = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \sin \psi \cos \theta & -\sin \theta & x \\ -\sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \sin \theta \sin \varphi & \cos \psi \cos \varphi + \sin \psi \sin \theta \sin \varphi & \sin \varphi \cos \theta & y \\ \sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \sin \theta \cos \varphi & -\cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \sin \theta \cos \varphi & \cos \varphi \cos \theta & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Теперь, зная кинематику, возможен расчет динамики. Уравнение сил и моментов для манипулятора, записанное ниже, является основой для математического моделирования.

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + D\dot{q} + g(q),$$

где $M(q)$ – матрица инерции (с учетом присоединенных масс),

$C(q, \dot{q})$ – матрица кориолисовых и центробежных сил,

D – матрица коэффициентов трения,

$g(q)$ – матрица гравитационных сил и плавучести.

Матрица гравитационных сил определяется как градиент потенциальной энергии:

$$g(q) = \left[\frac{\partial \mathcal{P}(q)}{\partial q_1} \quad \frac{\partial \mathcal{P}(q)}{\partial q_2} \quad \dots \quad \frac{\partial \mathcal{P}(q)}{\partial q_n} \right]^T,$$

где потенциальная энергия $\mathcal{P}(q)$ определяется из выражения

$$\mathcal{P}(q) = \sum_{i=1}^n [m_i [0 \quad 0 \quad g] - B_i] r_{c,i}(q),$$

здесь $g = \text{const}$ – гравитационное ускорение,

$r_{c,i}(q) \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ – вектор координат центра масс i -го звена относительно инерциальной системы координат,

m_i – масса i -го звена,

B_i – плавучесть i -го звена.

Вектор координат центров масс определяется из выражения

$$T_i(q) \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & p_{c,i} \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & r_{c,i}(q) \\ \dots & \dots \end{bmatrix},$$

где $p_{c,i} \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$ – вектор координат центра масс i -го звена в i -го системе отсчета.

Матрица инерции определяется из выражения для кинетической энергии

$$M(q) = \sum_{i=1}^n \left[\begin{array}{l} \mathcal{J}_{v_i}^T(q) \left(m_i I_{3 \times 3} + M_{A,i}^{(v)} \right) \mathcal{J}_{v_i}(q) + \\ + \mathcal{J}_{\omega_i}^T(q) R_i(q) \left(I_{O_i} + M_{A,i}^{(\omega)} \right) R_i^T(q) \mathcal{J}_{\omega_i}(q) \end{array} \right],$$

где $\mathcal{J}_{v_i}(q)$ – якобиан линейной скорости,

$\mathcal{J}_{\omega_i}(q)$ – якобиан угловой скорости,

m_i – масса i -го звена,

I_{O_i} – тензор инерции выраженный в i -й системе отсчета,

$M_{A,i}$ – матрица присоединенных масс i -го звена.

Для цилиндров тензор инерции зависит от положения относительно своей системы отсчета. Например, цилиндр, расположенный вдоль оси OX у i -системы отсчета имеет тензор

$$I_{O_i} = m_i \begin{bmatrix} r_i^2/2 & 0 & 0 \\ 0 & (3r_i^2 + l_i^2)/12 & 0 \\ 0 & 0 & (3r_i^2 + l_i^2)/12 \end{bmatrix},$$

где r_i – радиус, а l_i – длина i -го звена.

Якобианы угловых и линейных скоростей определяются следующими выражениями

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} J_{v_i}(q) \\ J_{\omega_i}(q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{i-1} \times (r_{c,i}(q) - o_{i-1}) \\ z_{i-1} \end{bmatrix} - \text{если } i\text{-е звено вращательное } (\sigma_i = 0),$$

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} J_{v_i}(q) \\ J_{\omega_i}(q) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{i-1} \\ 0_{3 \times n} \end{bmatrix} - \text{если } i\text{-е звено поступательное } (\sigma_i = 1),$$

здесь o_{i-1} – первые три элемента четвертого столбца матрицы $T_{i-1}(q)$,
 z_{i-1} – первые три элемента третьего столбца матрицы $T_{i-1}(q)$.

Согласно [3] присоединенные массы для цилиндра приближенно вычисляются как диагональная постоянная матрица, каждый элемент которой описывает тяжесть при движении под водой по определенной степени свободы. Например, цилиндр, расположенный в жидкости с плотностью ρ вдоль оси OX i -системы отсчета имеет следующую матрицу присоединенных масс

$$M_{A,i} = \begin{bmatrix} 0.1m_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pi \rho r_i^2 l_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi \rho r_i^2 l_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\pi \rho r_i^2 l_i^3}{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\pi \rho r_i^2 l_i^3}{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{A,i}^{(v)} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & M_{A,i}^{(\omega)} \end{bmatrix}.$$

Матрица кориолисовых и центробежных сил $C(q, \dot{q})$ складывается из частных производных компонентов матрицы инерции $M(q)$:

$$c_{k,j}(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial m_{k,j}(q)}{\partial q_i} + \frac{\partial m_{k,i}(q)}{\partial q_j} - \frac{\partial m_{i,j}(q)}{\partial q_k} \right) \dot{q}_i.$$

Кориолисовы и центробежные силы берутся в расчет, так как система имеет множество вращающихся объектов, они также учитываются из-за процесса вращения Земли.

Силы трения необходимы модели системы для имитации потерь энергии. Коэффициенты трения при этом являются величинами вещественными и могут быть найдены как в справочниках, так и в документации на тот или иной манипуляционный механизм. Матрица с коэффициентами сухого трения в сочленениях может быть записана в диагональной форме

$$D = \begin{bmatrix} \mu_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \mu_n \end{bmatrix},$$

где μ_i – коэффициент сухого трения в i -м сочленении.

Обобщая результаты, можно схематично изобразить преобразование входных параметров манипулятора в коэффициенты его уравнения динамики как представлено на рис. 1.

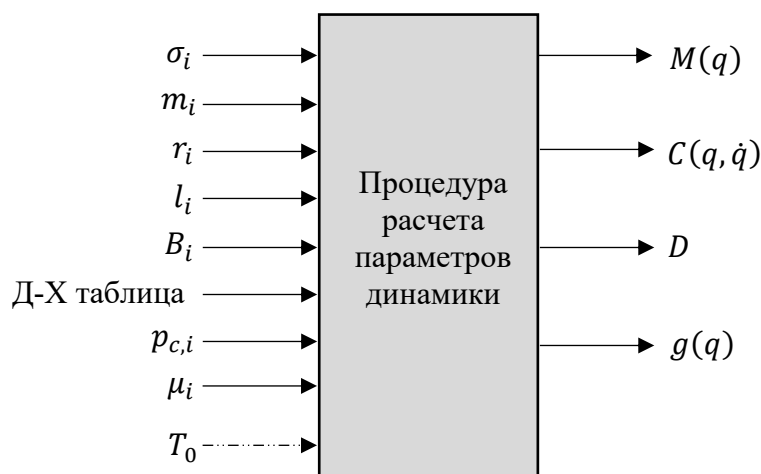


Рис. 1. Схема получения параметров динамики

Представленный метод расчета является применимым для объектов, кинематику которых возможно записать через параметры Д-Х, но результаты однозначно применимы как для моделирования движения, так и для синтеза законов оптимального управления.

Заключение. Основным результатом работы является расчетный алгоритм динамических параметров подводных манипуляционных роботов, который найдет применение при комбинировании моделей подводных аппаратов и манипуляторов.

В дальнейшем планируется добавить расчет всех возможных демпфирующих факторов, разделить координаты центров масс и плавучести, а также оптимизировать расчеты для многосвязных роботов.

Список использованных источников

1. Bruno Siciliano and Oussama Khatib. Springer Handbook of Rob. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
2. Mark W. Spong, Seth Hutchinson, and Mathukumalli Vidyasagar. Robot modeling and control. John Wiley and Sons, Hoboken (N.J.), 2006.
3. Antonelli G. Underwater Robots: Motion and Force Control of Vehicle-Manipulator Systems. – Berlin: Springer, 2005. – 265 p.

УДК 681.5.013

Лядский Д., аспирант кафедры ВШКФСУ

Молчанов А., студент кафедры ВШКФСУ

Черкашин Е., студент кафедры ВШКФСУ

Смирнов П.К., студент кафедры ВШКФСУ

Куклин Е.В., студент кафедры ВШКФСУ

Потехин В.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ВШКФСУ (научный руководитель)

Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого

г. Санкт-Петербург, Россия

danillyadskiy@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ОБУЧАЮЩИХ СЕТЕВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Введение. Промышленные автоматизированные системы управления можно условно разделить на несколько составляющих: управляющее оборудование, силовое оборудование, средства управления, средства визуализации, линии и интерфейсы для организации взаимодействия всех частей [1]. Для того чтобы студенты могли получить наилучший практический опыт, учебные стенды должны точно моделировать промышленные системы. Таким образом, для разработки универсальных сетевых интеллектуальных систем управления [2] необходимо выполнение следующих требований:

- Реализация в упрощенной форме каждого компонента системы;
- Использование промышленного оборудования;
- Масштабируемость;
- Возможность подключения различных измерительных устройств и исполнительных механизмов;
- Возможность или программное изменение системы (модифицируемость);
- Возможность дистанционного управления или настройки;
- Ведение всех видов документации (технической, программной, эксплуатационной);
- Разумная стоимость.

Задачу можно разбить на несколько этапов:

- проектирование автоматизированных систем управления,
- моделирование и изготовление основания для крепления всех элементов АСУ,
- приобретение элементов АСУ,
- монтаж,
- программирование,
- создание документации.

Основой для создания стендов послужил комплекс компании FESTO.

Инжиниринг. Проектирование автоматизированной системы управления основывается на требованиях и включает в себя разработку принципиальных электрических схем, спецификацию изделий, таблицы соединений и подключений, а также общий вид собранной системы, что в совокупности составляет техническую документацию [3]. Данный вид работ выполняется в специальных системах электротехнического проектирования [4].

Современные системы автоматизированного проектирования электротехнических схем, помимо создания чертежей и генерации таблиц, позволяют собирать систему в 3D (см. рис. 1). Это помогает оптимизировать расположение элементов на крепежном основании, улучшить эргономику системы и продумать прокладку кабелей. Приобретение навыков работы с САПР является ключевым при разработке автоматизированных систем управления, поскольку дальнейшая работа невозможна без качественной конструкторской документации.

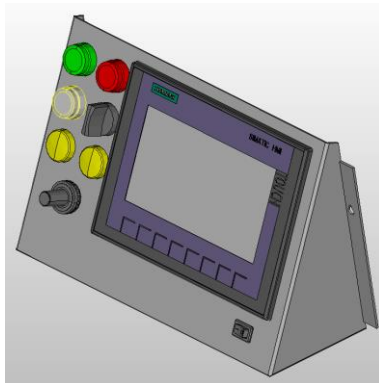


Рис. 1. – 3D модель объекта в ECAD

Ключевым и наиболее дорогостоящим элементом автоматизированной системы управления является микроконтроллерное оборудование. Управление осуществляется на базе программируемого логического контроллера с обеспечением компьютерного (программного) управления и задания параметров стенда, в том числе его автоматической работы. Программируемый логический контроллер обеспечивает расширение за счет подключения дополнительных модулей. Авторы работы использовали промышленные контроллеры компании SIEMENS, так как достаточно большое количество предприятий работают на оборудовании этой фирмы, это позволяет студентам получить опыт, максимально приближенный к реальным условиям. Программируемый логический контроллер включает в себя следующие модули:

- центральный процессор,
- карта памяти,
- модуль дискретного ввода,
- модуль дискретного вывода,
- модуль аналогового ввода,
- аналоговый выходной модуль,
- выключатель,

- источник питания,
- панель оператора НМІ,
- программное обеспечение.

Помимо микроконтроллерного оборудования, для создания стенда необходимы кабельные линии, кабель-каналы, защитные устройства, клеммы, кнопки, световые индикаторы и т.д. Номинальные параметры электрооборудования рассчитываются исходя из требований к системе и условий ее эксплуатации. Электрооборудование выбирается исходя из предложений на рынке и его стоимости.

Для оптимизации процесса мелкосерийного производства имело смысл использовать многокритериальную оптимизацию [5], что приводит к ускорению разработки однотипных систем.

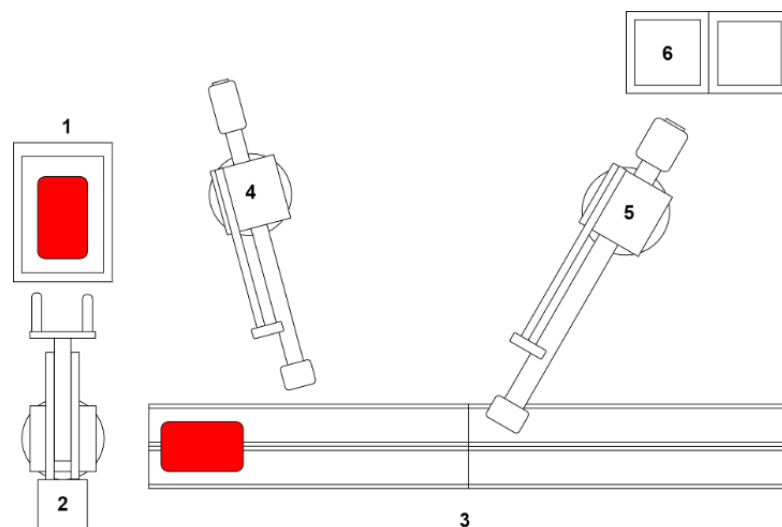


Рис. 2. – Схема расположения сборочной линии автомобиля.

В качестве примера узкоспециализированного кейса приведен макет линии сборки автомобилей на базе программируемого логического контроллера (см. рис. 2), предназначенный для решения исследовательских и образовательных задач с использованием перспективных разработок в области передовых производственных технологий, демонстрации возможностей цифрового проектирования и создания индивидуального высокотехнологичного продукта. В данном проекте авторы разработали роботизированный комплекс и автоматизированную систему управления комплексом. Используемые манипуляторы - продукция компании Fischertechnik, захват и конвейер - собственного производства.

Моделирование и производство. Построение модели корпуса панели НМІ было выполнено в системе автоматизированного проектирования AutoCAD [6]. Особое внимание было уделено требованиям к оптимальному расположению устройств ввода-вывода для обеспечения удобства использования ЧМИ оператором и эргономичности с точки зрения логистики, прокладки проводов и установки коммутационных плат. Разработка модели стенда, на котором монтируется оборудование, осуществлялась на основе аналогичных требований.

Из соображений функционального удобства изделия при транспортировке и эксплуатации [7] в качестве материала корпуса стенда был выбран алюминий

толщиной 3 мм. Окраска производилась порошковой промышленной краской серого цвета. Гравировка выполнена черным цветом по технологии запекания.

Сборка. В качестве примера выполнения сборки промышленных контроллеров и готовых изделий [8] будет рассмотрена сборка модели сборочной линии автомобилей на базе программируемого логического контроллера SIEMENS. Все работы по сборке были разделены на три основных этапа:

- сборка мобильного ПЛК,
- сборка макета сборочной линии,
- проверка работоспособности всех систем.

На рис. 3 показан готовый макет сборочной линии. Для уменьшения веса конструкции и большей четкости работы системы все кабельные соединения выполняются не внутри модельного стола, а выводятся в перфорированные кабель-каналы.

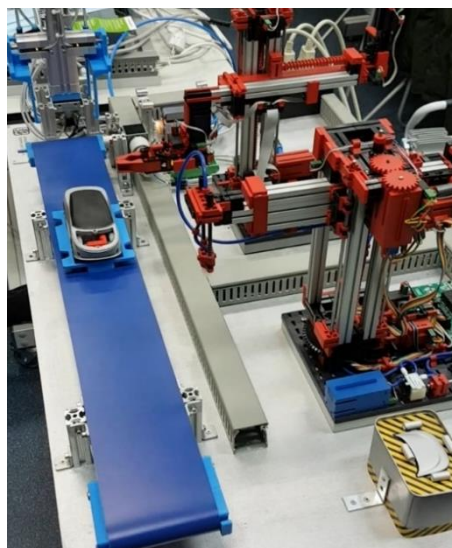


Рис. 3. – Вид на компоновку сборочной линии.

Сборка мобильного ПЛК. Поскольку одним из условий реализации проекта было обеспечение высокой мобильности, то для данного проекта было принято решение собрать ПЛК со всеми модулями на компактной подставке [9].

Это действие позволило:

- Переместить ПЛК отдельно от компоновки сборочной линии, тем самым обеспечив большую безопасность при транспортировке;
- Облегчить конструкцию конвейерной модели, тем самым позволяя транспортировать ее без применения спецтехники.

Исходя из поставленных задач, было принято решение использовать следующую конфигурацию ПЛК производителя SIEMENS:

- Блок питания ПМ 1507 24 В/3 А 6ES7322-1BH01-0AA0, питание 220В (AC) от сети,
- Контроллер SIMATIC S7-1500 CPU 1511-1 PN 6ES7511-1AG02-0AB0, питание от сети 220В (AC),

- Модуль дискретных входов INPUT 32 DI 6ES7522-1BL10-0AA0 источник питания 24В (DC) (2шт),
- Модуль дискретного вывода OUTPUT 32 DI 6ES7522-1BL10-0AA0 источник питания 24В (DC) (2 шт.).

В проекте использовались как 220 В линии переменного тока, так и 24 В линии постоянного тока. Для защиты оборудования от коротких замыканий и различных перегрузок использовались две цепи безопасности.

Первая схема - автоматический выключатель на класс В 10А, с током отключения при КЗ 6 кА. Этот переключатель будет подавать и отключать питание оборудования.

Вторая цепь представляет собой легкоплавкий предохранитель на 3 А, который допускает почти мгновенные отключения электроэнергии при неправильном использовании оборудования и обеспечивает максимальную защиту от перегрузок и коротких замыканий. Прокладка кабелей осуществлялась в перфорированных кабельных каналах. На концах кабелей забиты медные наконечники, а все соединения выполнены с помощью винтовых клемм, что обеспечивает надежную фиксацию.

Благодаря опыту проектирования микросхем [10] специально для этого проекта были разработаны и изготовлены специальные платы разъемов, расположенные на лицевой стороне подставки и закрепленные на DIN-рейке (рис. 8). Они необходимы для подключения сигнального многожильного кабеля между кабиной ПЛК и компоновкой сборочной линии.

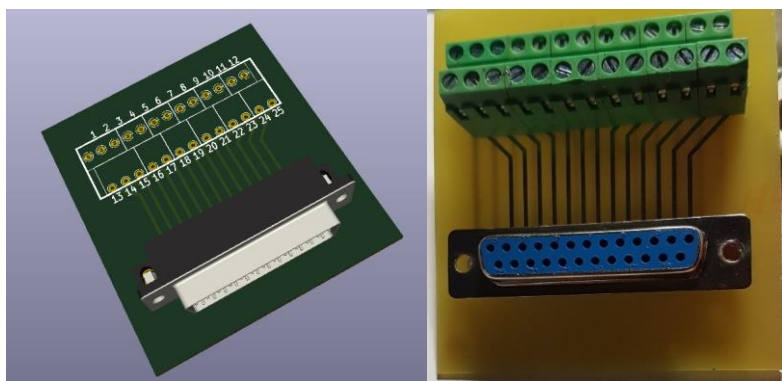


Рис. 4. – (а) Модель печатной платы. (б) Готовое изделие (печатная плата).

На одной стороне платы находятся винтовые клеммы для подключения сигнальных кабелей от входов и выходов. На обратной стороне платы находится разъем DB-Sub 25 для подключения многожильного кабеля.

Благодаря успешному применению сетевых технологий [11] было принято решение использовать коммутатор SCALANCE XB005 для удаленного управления стандом на мобильном ПЛК. В свою очередь, для наблюдения за работой станда можно использовать видеокамеру.

Сборка макета сборочной линии. Сборочная линия состоит из трех основных станций:

- конвейер с пневмоманипулятором,
- станция, имитирующая сварку,

- пневматическая станция установки деталей (капота).

Логика управления каждой станции заключается в том, что на них приходят декретные сигналы для активации тех или иных функций, а в ответ считываться сигналы с различных датчиков. Для этого на макете расположен специальный корпус, в его верхней крышке крепятся разъёмы DB-Sub 25. Во внутренней части корпуса была выполнена распайка всех кабелей на разъёмы, далее кабели были выведены через боковые отверстия в перфорированные кабель-каналы, для дальнейшей прокладки к станциям.

В этом проекте две станции применяют сжатый воздух для своей работы, однако у станции для установки деталей имеется собственный встроенный компрессор, поэтому для ее работы достаточно подать электропитание и необходимые сигналы. У второй станции необходимо использовать внешний компрессор. Для этого была выполнена установка воздушных клапанов от компании FESTO на DIN-рейки рядом со станцией, что уменьшило количество каналов.

Для обеспечения надежности и безопасности используются различные типы кабельных прокладок:

- Для разводки 220 В на линии используются многожильные медные провода сечением 1,5 мм, что позволяет многократно изменять геометрию провода, а также выполнять установку наконечников кабеля под захват;
- Для разводки 24 В кабелей используются медные долгоживущие провода сечением 1 мм;
- Разноцветные одножильные медные провода сечением 0,5 мм применяют для разводки кабелей дискретных сигналов.

Программирование ПЛК. Разработка АСУ завершается программированием микроконтроллеров. Для того чтобы поддержать первые шаги студентов в программировании ПЛК, была написана демонстрационная программа, отражающая основные направления работы. Программирование ПЛК и ЧМИ было реализовано в программном обеспечении SIEMENS - TIA Portal. Язык программирования - FBD (Functional Block Diagram). На рисунке 5 показан рабочий экран Tia Portal и часть исходного кода для ПЛК s7-1200 с аналоговым модулем:

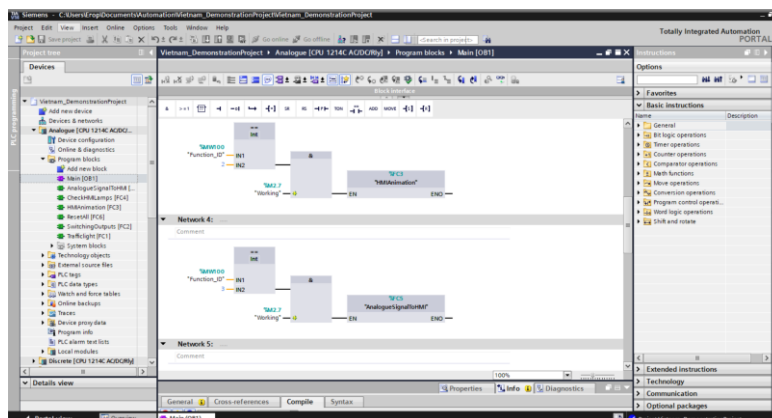


Рис. 5. – Рабочее пространство в Tia Portal

Цель программы – показать основные правила работы с программным обеспечением и оборудованием фирмы SIEMENS [12].

Программа работает в двух режимах:

1. Ручной - в ручном режиме все взаимодействия с ЧМИ осуществляются с помощью физических кнопок на панели рядом с сенсорным экраном;
2. Автоматический - в автоматическом режиме работают только кнопки сенсорного экрана.

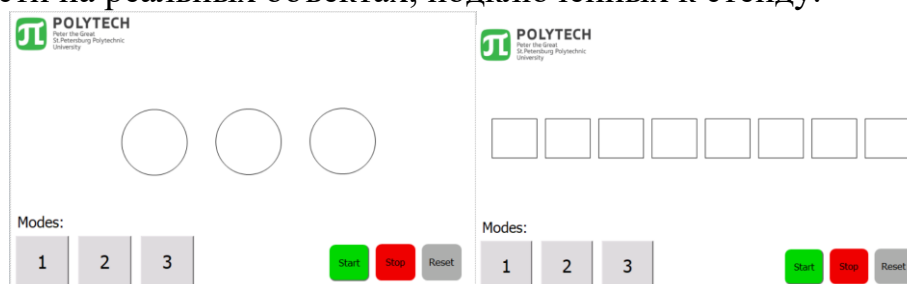
Кнопки и их назначение:

- Кнопка "Старт" запускает программу.
- Кнопка "Стоп" приостановка программы. Операция может быть продолжена нажатием кнопки Старт или сброшена нажатием кнопки Сброс.
- Кнопка "Сброс" возвращает всю программу в исходное состояние.

Функциональность программы включает в себя несколько окон (см. рис. 6):

1. Окно моделирования светофора. В этом окне, когда вы запускаете программу, выполняется программа светофора. Цвета светофора меняются каждые пять секунд.
2. Окно с визуализацией процесса зарядки. Цвета внутри прямоугольников с периодом 1 секунда заполняются слева направо. Когда загорается последний прямоугольник справа, процесс повторяется, но уже со следующим прямоугольником слева.
3. Окно с движущимися изображениями на экране. При запуске программы изображения с машинами и вертолетом перемещаются из начального положения в конечное. При достижении конечного положения процесс повторяется снова.
4. Окно регулирования напряжения с помощью потенциометра (только в случае аналогового модуля на ПЛК). Изменяя сопротивление на потенциометре, напряжение изменяется от 0 до 24 Вольт. Значение напряжения передается на экран в виде графика в режиме реального времени.

Функциональность стендов позволяет масштабировать и изменять программное обеспечение в соответствии с собственными потребностями. Это открывает широкое поле для экспериментов в области интеллектуального управления, например, применении теории автоматического управления для проектирования регуляторов и синтеза систем управления [13], а затем проверки работоспособности на реальных объектах, подключенных к стенду.



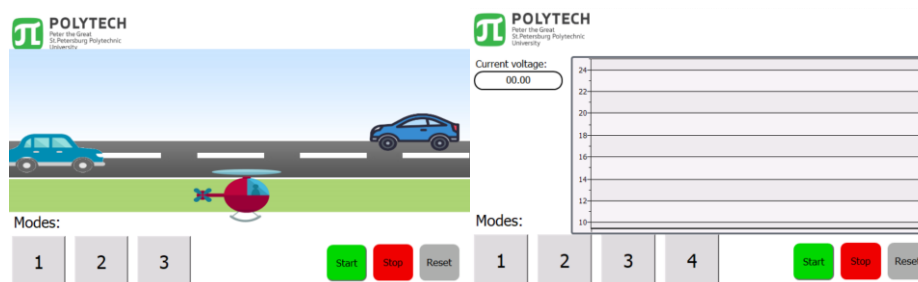


Рис. 6. – Функциональные окна демонстрационной программы

Документация PLM. Программная документация – документы, используемые при разработке программного продукта.

Техническая документация – комплект документов, используемых при проектировании, изготовлении и использовании поставляемой техники.

В состав технической документации входят:

- чертежи, спецификации;
- принципиальная схема с используемыми интерфейсами;
- документы, необходимые для осуществления ремонта поставляемой техники.

В состав программной документации входит перечисление используемых механизмов, таких как среда разработки и язык программирования, а также основные особенности работы программы.

Эксплуатационная документация – руководство для конечных пользователей. Оно описывает назначение программы и основные функции, а также в состав эксплуатационной документации входит минимальный состав технических и программных средств заданного проекта. Данная документация содержит в себе описание алгоритма работы процесса, понимание которого необходимо при эксплуатации поставляемого продукта.

Следующим шагом может стать применение и развитие существующей документации для реализации элемента жизненного цикла, так как он является существенной частью PLM. Изучение PLM необходимо для построения интеллектуального производства, структурная схема которого представлена на рисунке 7. Это связано с тем, что PLM позволяет избежать разрыва между требованиями, конструкторским составом и технологическими процессами. Позволяет осуществлять оперативное планирование, эффективное и качественное техническое обслуживание. Также разработка и внедрение PLM-систем является необходимым этапом в развитии интеллектуальных систем управления в рамках концепции Industry 4.0. Одним из лучших решений в этой области на данный момент является Siemens TeamCenter.

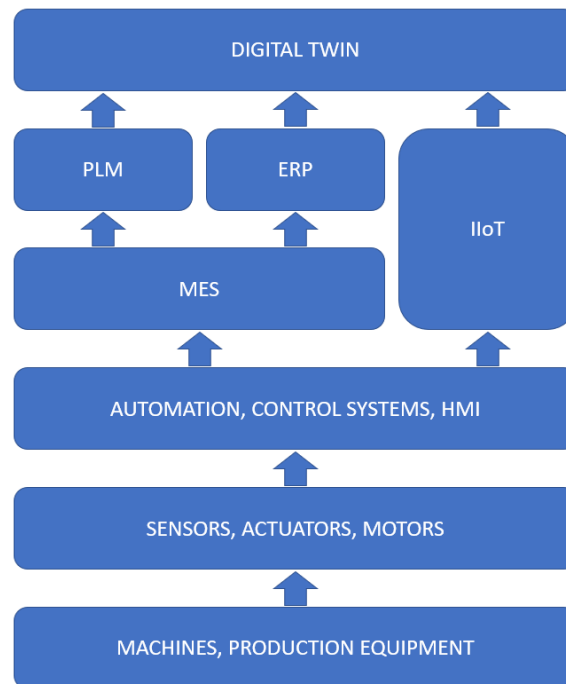


Рис. 7. – Структурная схема интеллектуального производства

Заключение. В данной работе, основываясь на требованиях к универсальным учебным стендам, авторы продемонстрировали процесс разработки интеллектуальных автоматизированных систем управления, максимально близко имитирующих промышленные системы управления. Разработанные стенды обладают достаточной гибкостью и модифицируемостью для использования в широком классе образовательных и исследовательских задач. Таким образом, поставленная задача была решена. Разработанное оборудование позволяет отрабатывать алгоритмы адаптивного управления и методы принятия решений на производстве. Собранный стенд планируется интегрировать в распределенную интеллектуальную производственную систему университета. Полученный опыт может быть применен как при совершенствовании существующих изделий, так и при производстве более сложных и комплексных систем.

Список использованных источников

1. Bassi L.: Industry 4.0: Hope, hype or revolution? In: 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), pp. 1-6. IEEE, Modena, Italy (2017).
2. Damgrave R.G.J, Lutters E.: Smart Industry Testbed. In: Procedia CIRP, pp. 387-392. Enschede, the Netherlands (2019).
3. Mantravadi, S., LI, C., & Møller, C.: Multi-agent Manufacturing Execution System (MES): Concept, architecture & ML algorithm for a smart factory case. In: Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems, pp. 477-482. ICEIS, Heraklion, Crete, Greece (2019).
4. Eplan Electric P8, <https://www.eplan-software.com/solutions/eplan-platform/eplan-electric-p8/>, last accessed 2021/02/03.
5. Khokhlovskiy, V., Oleynikov, V., Kostenko, D., Onufriev, V., Potekhin, V.: Modernisation of a Production Process Using Multicriteria Optimisation Logic and Augmented Reality. In: Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, pp.0500-0507. DAAAM International, Vienna, Austria (2019).
6. Chlebus E., Krot K.: CAD 3D models decomposition in manufacturing processes. In: Archives of Civil and Mechanical Engineering, pp. 20-29. Wroclaw, Poland (2016).
7. Woo, E.H.C., White, P., Lai C.W.K.: Ergonomics standards and guidelines for computer workstation design and the impact on users' health – a review. *Ergonomics* 59(3), 464-475 (2015).
8. Bucur P.A., Armbrust P., Hungerländer P.: On the propagation of quality requirements for mechanical assemblies in industrial manufacturing. In: *Expert Systems with Applications*. Klagenfurt, Austria (2019).
9. Ximing, L.: Configuration, Programming, Implementation, and Evaluation of Distributed Control System for a Process Simulator. Electronic Thesis and Dissertation Repository of The University of Western Ontario. Ontario, Canada (2015).
10. Bisiaux, P., Blokhina, E., Koskin, E., Siriburanon T., Galayko, D.: Design of a 1.5 GHz Low jitter DCO Ring in 28 nm CMOS Process. In: 2020 European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), pp. 1-5. IEEE, Sofia, Bulgaria (2020).
11. Katalinic, B., Eliseev, A., Breido, I., Bobryakov, A., Kabanov, A., Khomchenko, V., Potekhin, V., Stazhkov, S., Filaretov, V.: Experience of application of network technologies in engineering education. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web* 5(16), 2018.
12. Salih, H., Abdelwahab, H., Abdallah, A.: Automation design for a syrup production line using Siemens PLC S7-1200 and TIA Portal software. In: 2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), pp. 1-5. IEEE, Khartoum, Sudan (2017).

УДК 681.5.013

Полевик Д.Д., студент кафедры ИУТС

Липко И.Ю., старший преподаватель кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь Россия

ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ КАМЕРАМИ

Использование приемопередатчиков на сегодняшний день является практически неизбежным действием для каждого человека. Они получили настолько широкое применение во многих областях, что стандартизация их интерфейсов оказалась необходимой. Поэтому в современном мире представлено множество устройств, с которыми можно взаимодействовать только с помощью интерфейса RS-485. Однако, если пытаться решать более узконаправленный набор задач, то становится понятно, что не каждый из стандартных вариантов может привести к управлению всеми компонентами различных систем и их подсистем с помощью ограниченного количества оборудования. Для получения удовлетворяющего результата можно применить специализированную систему учёта и контроля параметров термического стенда.

Устройства подобного характера разнообразны по свойствам. Это достигается прежде всего созданием системы из деталей с нужными характеристиками.

Климатические камеры можно разделить на основные классы по типам регуляторов, которые в них установлены. Всего существует три основных вида:

- регулятор ON–OFF
- пропорциональный регулятор
- PID–регулятор

Основной задачей при работе с разными видами камер является унификация программного обеспечения, поскольку на данный момент соответствующее ПО отсутствует.

Так же, если представлено несколько камер, немаловажной задачей становится выбор коммутационного устройства. Существует возможность параллельного подключения камер, как по стандартному протоколу RS-485, так и с помощью интерфейса Ethernet. Схема подключения камер к управляющему компьютеру представлен на рисунке 1.

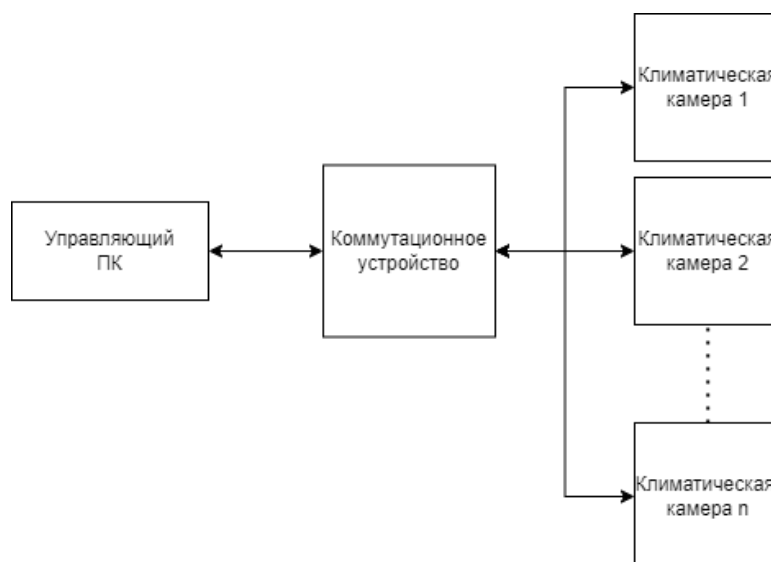


Рис.1. – Схема подключения климатических камер

Для мониторинга и управления несколькими климатическими камерами в дистанционном формате разрабатывается ПО на базе QT creator. Эта среда была выбрана исходя из того, что интерфейс управления должен быть достаточно информативным и одновременно с этим «лёгким», так же интерфейс может быть легко модифицирован по требованиям заказчика. Прототип интерфейса представлен на рисунке 2.

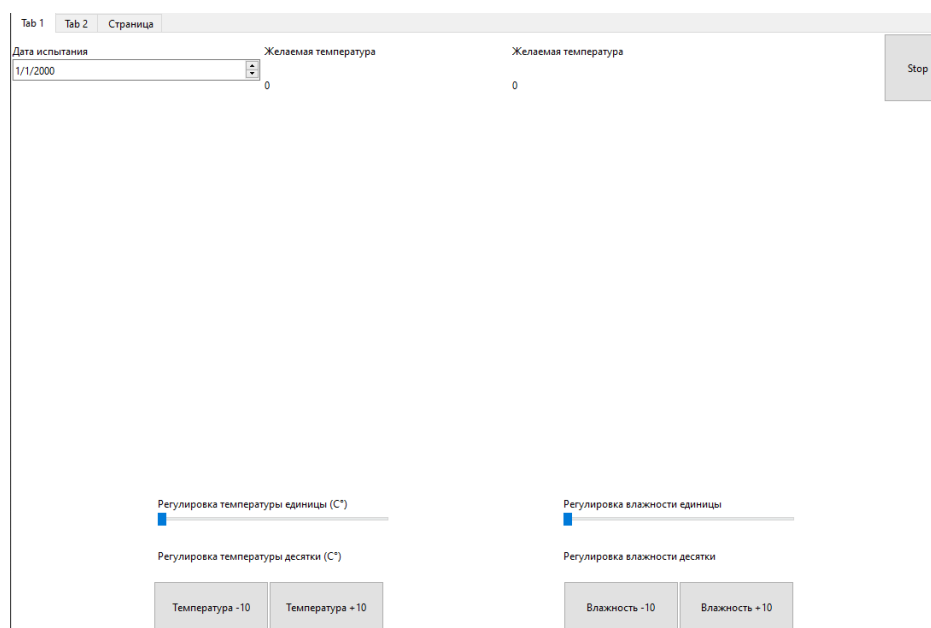


Рис. 2. – Интерфейс взаимодействия с климатическими камерами

Для вывода графиков температуры и влажности используется библиотека QCustomPlot. Данная библиотека была выбрана поскольку она подходит для отображения графиков в реальном времени и при необходимости вывода графиков на другие устройства.

При использовании нескольких климатических камер будет использоваться отдельная страница интерфейса, это позволит следить за несколькими камерами одновременно. Так же в дальнейшем планируется доработка программной части по требованиям заказчика.

Список использованных источников

1. Регулятор температуры промышленный – URL:
<https://silainteh.ru/info/regulyator-temperature>.
2. Терморегуляторы ОВЕН – URL:
https://owen.ru/catalog/izmeriteli_regulyatori/info.
3. TPM201 регулятор с универсальным входом и RS-485 – URL:
<https://owen.ru/product/trm201>.
4. TPM101 ПИД-регулятор – URL: <https://owen.ru/product/trm101>.
5. Передача данных в промышленных сетях на основе RS485 – URL:
<https://www.massflow.ru/info/peredacha-dannyh-v-promyshlennyh-setyah-na-osnove-rs485/>.
6. Интерфейс RS485 – URL:
<https://www.axwap.com/kipia/items/rs485/rs485.htm>
7. Библиотека QCustomPlot – URL: <https://www.qcustomplot.com/>

УДК 004.94

Заикин Я.В., студент кафедры ИУТС

Кабанов А.А., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

kabanov@sevsu.ru

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОЙ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Введение. В связи с активным развитием подводной робототехники и росту выполнения различных подводных работ возникают задачи создания новых и модификации существующих подводных робототехнических средств. Одними из наиболее востребованных в этой области робототехнических средств являются ТНПА осмотрового и рабочего классов, используемые для инспекционных миссий и выполнения подводно-технических работ. Примером ТНПА осмотрового класса является подводный аппарат SevROV, разработанный в Севастопольском государственном университете [1] (см. рис. 1а). Так как аппарат является достаточно дорогостоящим и относительно сложным с технической точки зрения средством, актуальным становится вопрос создания некоторой симуляционной среды, которую можно использовать как для подготовки операторов, так и для совершенствования системы управления за счет создания программ автопилотирования для выполнений определенного вида задач на заданном полигоне. В данной работе рассматривается задача создания такой симуляционной среды.

Целью исследования является изучение вопросов по созданию симуляционной среды для моделирования движения подводных объектов на примере подводного робота SevROV, а также анализ существующих решений и создание концептуальной модели симулятора.

Описание объекта симулирования

Объектом симулирования является ТНПА осмотрового класса SevROV, созданный в Севастопольском государственном университете. Внешний вид робота SevROV показан на рис. 1а, схема робота представлена на рисунке 1б.

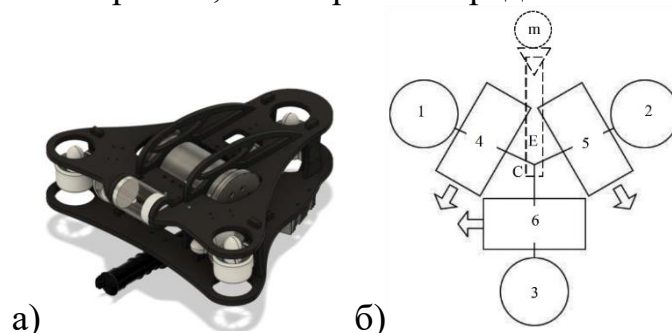


Рис. 1. – а) внешний вид ТНПА SevROV; б) схема робота SevROV

На рисунке 1б обозначено:

— 1-3 – вертикальные движители;

- 4-6 – горизонтальные движители;
- геометрический центр и центр масс аппарата (С);
- манипулятор (E);
- груз (m).

Помимо движителей и манипулятора, изображенных на схеме (рис. 1б) в состав SevROV входят:

- гермоблок электроники – содержит в себе все электронные компоненты и систему управления аппарата, к нему подключаются все внешние компоненты;
- камера – служит для передачи изображения, благодаря которому происходит управление аппаратом;
- DC-DC преобразователи – понижает ток, приходящий с базовой станции, с 48 до 12 вольт для питания электронных компонентов робота.

Концепция решения

Решение задачи симуляции движения подводного робота предлагается разбить на две составляющие: моделирование и симуляция. Последовательность операций, то есть концептуальный алгоритм работы определяется схемой, показанной на рисунке 2.

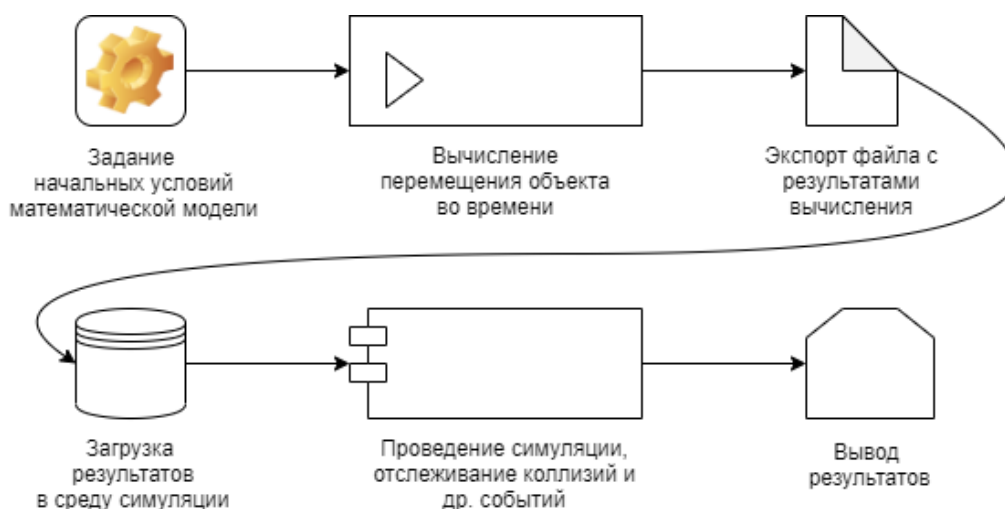


Рис. 2. – Алгоритм работы симулятора

Операции конфигурации (задание начальных условий, параметров ТНПА), вычисления и экспорта файла (или использование API Matlab) с результатами выполняется с помощью средств программы MatLab, а остальной спектр задач ложится на специальную разработанную среду симуляции (симулятор), абстрактная схема работы которого представлена на рис 4.

Итак, система моделирования должна:

- позволять задавать параметры модели робота;
- позволять формировать траекторию движения робота во временной области;
- формировать файл, состоящий из набора изменений координат и положений робота в пространстве во времени;
- экспортировать данные.

В свою очередь система симуляции должна:

- считывать данные из системы моделирования;
- проводить симуляцию;
- отслеживать коллизии;
- предлагать корректировки курса.

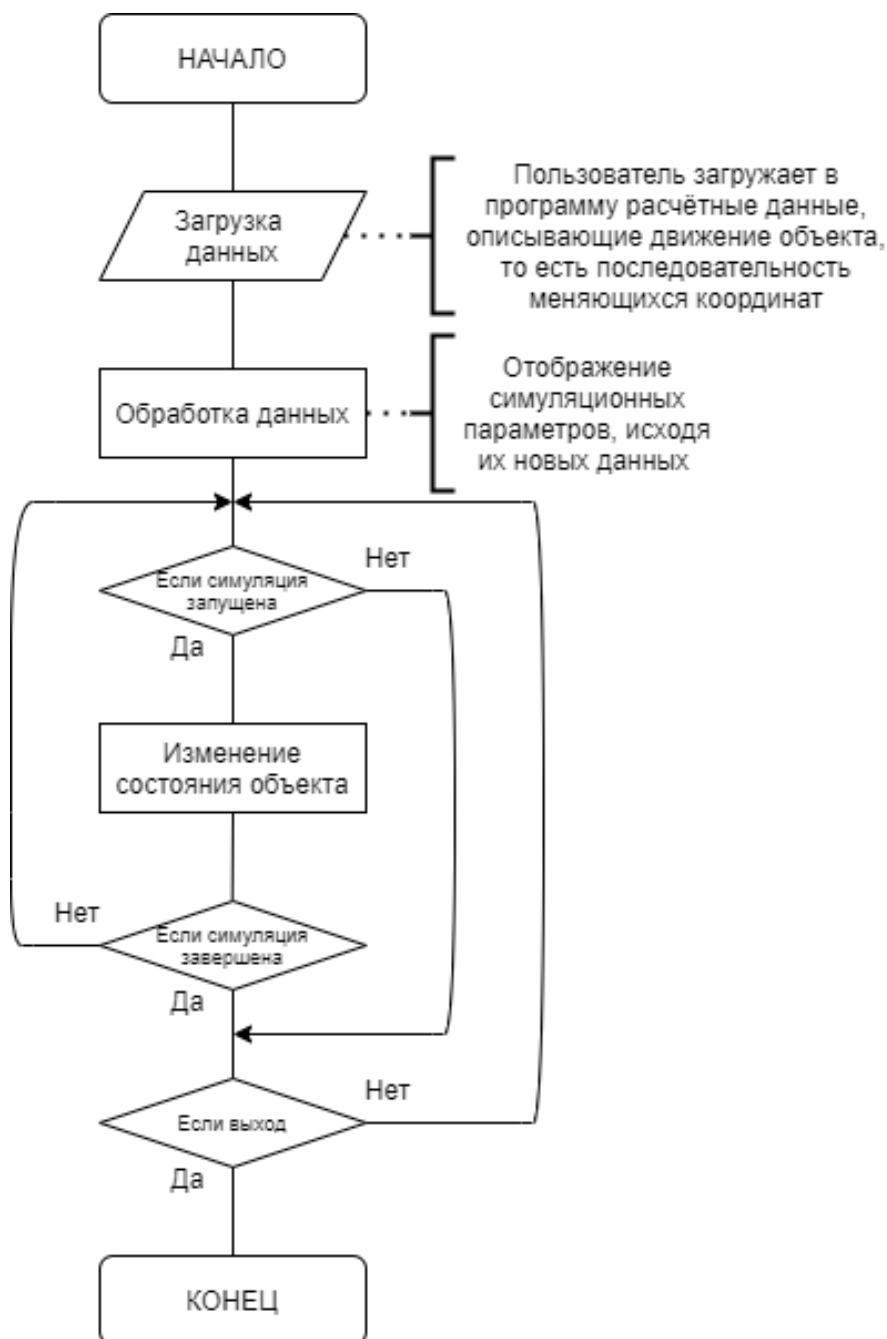


Рис. 4. – Абстрактная блок-схема работы симулятора

Средства реализации. Стек используемых технологий и средств продемонстрированы в таблице 1.

Табл. 1. Стек технологий

Технология / Средство	Место применения
Cи/Cи ++	Основной язык программирования. Применяется для организации и связной работы всего программного обеспечения, а также визуализации.
Matlab&Simulink	Интегрированная среда разработки для моделирования динамических данных математической модели робота.
HLSL	Язык программирования для написания шейдеров.
Microsoft DirectX 3D 11	Набор программного API для визуализации.
Assimp	Open-source библиотека для чтения 3Д-моделей.
ImGui	Open-source библиотека для создания графического интерфейса.
Visual Studio 2019/2022	Среда разработки.
GitHub	Средство контроля версий.

Разработка системы моделирования в Matlab&Simulink. Для системы моделирования разработан начальный вариант Simulink-модели, позволяющий проводить математическое моделирование движения подводного аппарата в пространстве, основываясь на его параметрах и управляющем входе. На рисунке 5 показана схема работы модели.

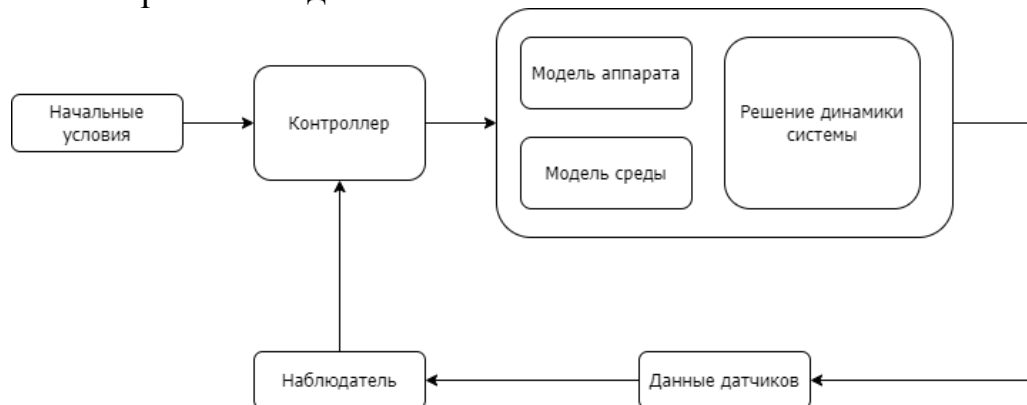


Рис. 5. – Схема работы система моделирования

Разработка симулятора

Симулятор представляет собой программу в виде исполняемого файла на компьютере.

Получив результаты моделирования в виде файлов с последовательностями изменения положения и ориентации во времени, загрузим данные в разработанную среду. Исходя из полученных данных, произойдёт отрисовка траектории движения и станет доступно проведение симуляции, как показано на рисунке 6.

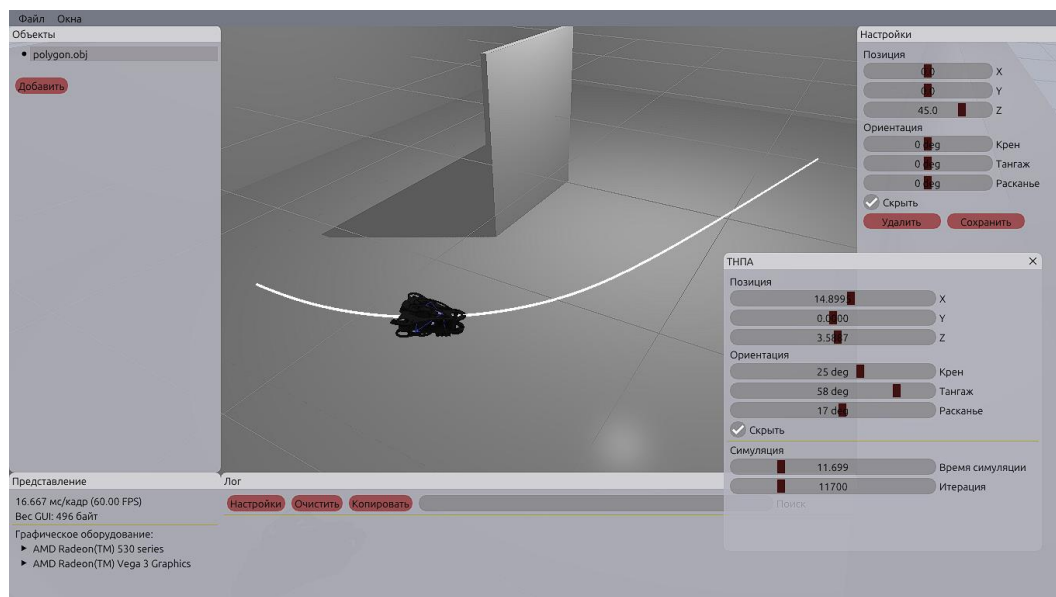


Рис. 6. – Снимок экрана главного окна симулятора

Заключение. Таким образом получилось разработать среду симуляции ТНПА. На следующих этапах планируется улучшить программу: проводить моделирование в реальном времени, изменить полигон, контролировать параметры симуляции из программы.

Список использованных источников

1. Kabanov, A.; Kramar, V.; Ermakov, I. Design and Modeling of an Experimental ROV with Six Degrees of Freedom. Drones 2021, 5, 113. <https://www.mdpi.com/2504-446X/5/4/113>
2. Antonelli, G. Underwater Robots; Springer Tracts in Advanced Robotics; Springer International Publishing: Cham, 2014; Vol. 96. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02877-4>

УДК 004.93'1

Ткаченко М. Р., студент кафедры ИУТС

Крамарь В. А., д-р наук, профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

kramarv@mail.ru

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА

Введение. Применение технического зрения предоставляет широкий спектр возможностей и позволяет существенно улучшить уже имеющиеся результаты в области систем управления и автоматизации. Приведём пример. Обратная задача кинематики состоит в расчёте обобщённых координат, обеспечивающих заданное положение и ориентацию схвата относительно абсолютной системы координат. Её решение получается исходя из идеализированной математической модели робота, которая для обеспечения большей простоты вычислений, может не учитывать некоторые параметры, например, силу трения, сопротивление среды, а также другие внешние воздействия. С учётом этого, становится необходимым иметь обратную связь – возможность проверить правильность полученного решения и выявить возможные неточности, для чего можно использовать устройства технического зрения.

Обнаружение объекта на изображении. Задача выделения желаемого движущегося объекта в видеоряде является довольно непростой. В процессе её решения может возникнуть целый ряд проблем: изменение яркости объекта на отдельных кадрах, изменение его расстояния до камеры, заслонение, возникновение шума на изображении и прочее. Учитывая это, решение подобной задачи обычно сводится к алгоритму, представленному на рисунке 1.

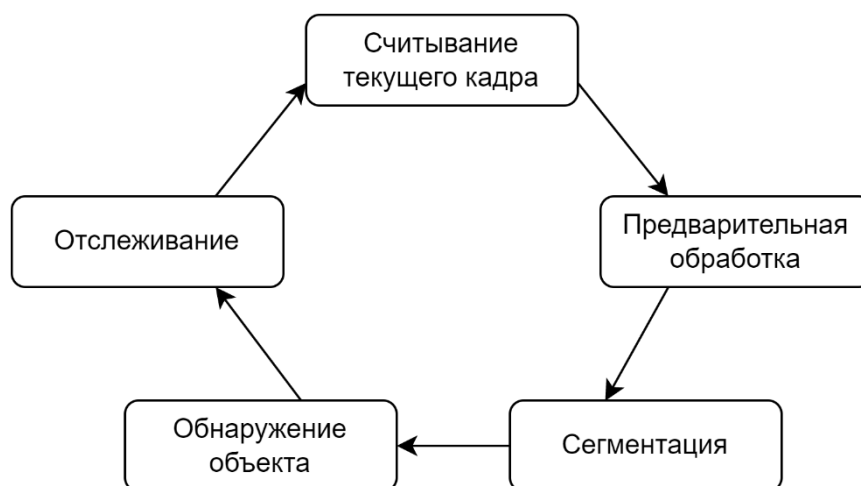


Рис. 1 – Процесс обнаружения объекта

Общий алгоритм действий таков:

- Считывание текущего кадра видеопотока.

- Предварительная обработка кадра – фильтрация, настройка резкости, контрастности, яркости изображения. Может применяться как ко всему изображению, так и к отдельной его области.

- Сегментация – это процесс обнаружения границ и выделения связанных объектов.

- Формирование переднего и заднего плана кадра на основе обнаруженных границ. Обычно передним планом считаются объекты, которые требуется отследить, а задним всё остальное.

- Отслеживание нужных объектов, которое включает в себя сбор данных, например, таких, как расстояние до заданной точки, изменение положения объекта, его формы и прочие показатели.

Методы обнаружения. Существует большое разнообразие методов, которые позволяют выделять объект на изображении, а также отслеживать его перемещение. Однако, стоит также отметить, что универсального решения не существует и всё зависит от конкретных требований задачи. Одним из способов определения положения манипулятора является использование специальных меток, которые прикрепляются к его звеньям. В роли метки может выступать некий шаблон изображения, точечный источник света или цветной маркер, который также может быть объёмным. Далее рассматривается один из самых простых методов сегментации, связанных с применением меток – *thresholding*.

Суть метода заключается в задании определённого порога или цветового диапазона в области цветовой модели HSV (или же в градациях серого), а также показателей насыщенности и яркости цвета, на основании которых создаётся двоичное (бинарное) изображение. По нему довольно легко определить границы объекта, а также его координаты. Идея применения метода показана на рис. 2.

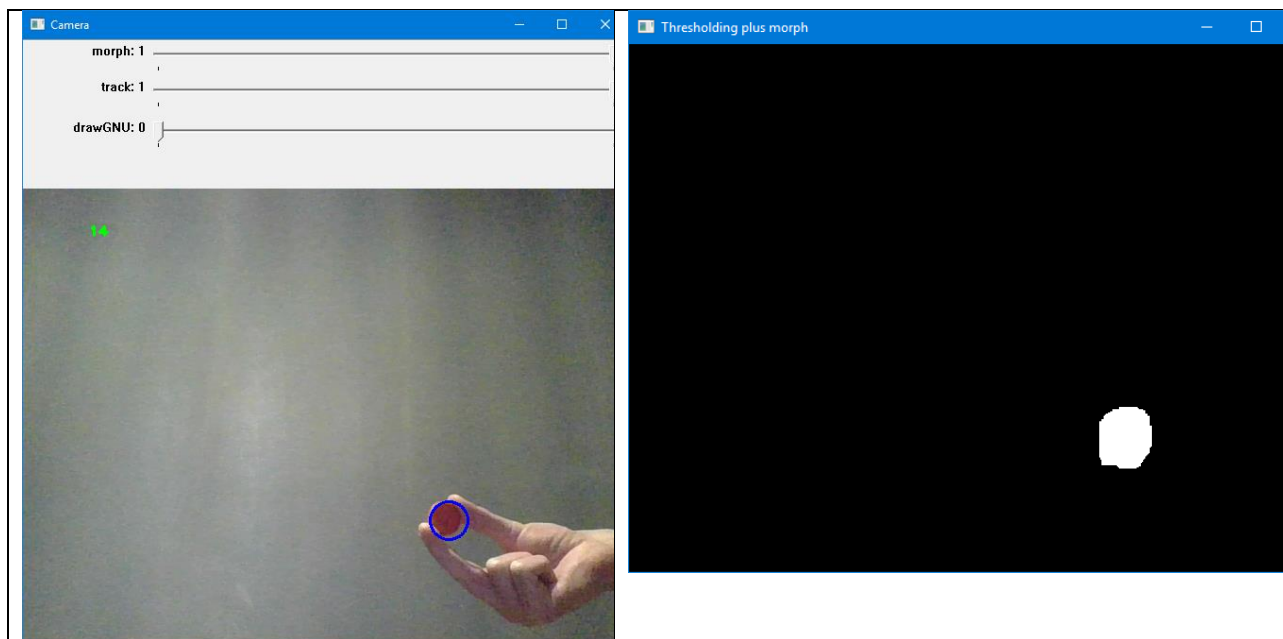


Рис. 2. – Отслеживание метки красного цвета

Для реализации метода в качестве языка программирования был использован Си/Си++, для обработки изображений применялась библиотека OpenCV.

Из преимуществ данного метода можно выделить простоту реализации, а также возможность применения в других задачах, например для управления умным домом. К недостаткам можно отнести относительно высокую зависимость от освещения.

Пересчёт координат . Получив координаты объекта на изображении необходимо затем пересчитать их к реальным координатам объекта. На рисунке 3 представлена взаимосвязь 3-х(4-х) координатных систем.

Сам объект находится в мировой системе координат (точка P на рисунке), а камера имеет свою собственную систему (оси X_c, Y_c, Z_c на рисунке). Помимо этих двух систем имеется также система изображения, которое обычно представлено в виде матрицы. Само изображение может быть представлено в виде 2-х отдельных систем – пиксельной (оси v и u , которые являются строками и столбцами матрицы соответственно) и системы координат изображения (оси x, y, z , единицей измерения которых являются миллиметры).

Учитывая вышесказанное, а также имея некоторые исходные параметры, такие как размер метки и расстояние до камеры можно получить графики перемещения объекта в реальных координатах.

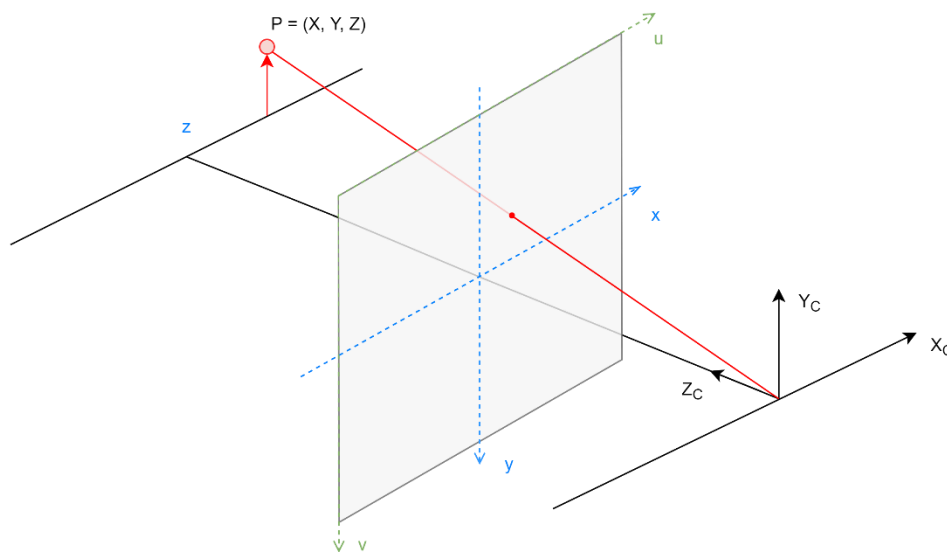


Рис. 3. – Связь систем координат

На рисунке 4 представлен график движения объекта в режиме реального времени, созданный с применением метода thresholding. Стоит отметить, что, использование лишь одной камеры накладывает существенные ограничения, в частности на точность определения координаты глубины (ось Z). Иными словами, высокую точность можно получить, если объект будет двигаться только в плоскости двух осей (x и y).

Высокую точность определения глубины при этом всё же можно достичь, если сама камера будет двигаться, то есть снимать движение объекта с разных позиций. Другим вариантом является использование использования стереосистем из двух или более камер. В данном случае возникает проблема постоянной калибровки их взаимного положения, что усложняет алгоритм.

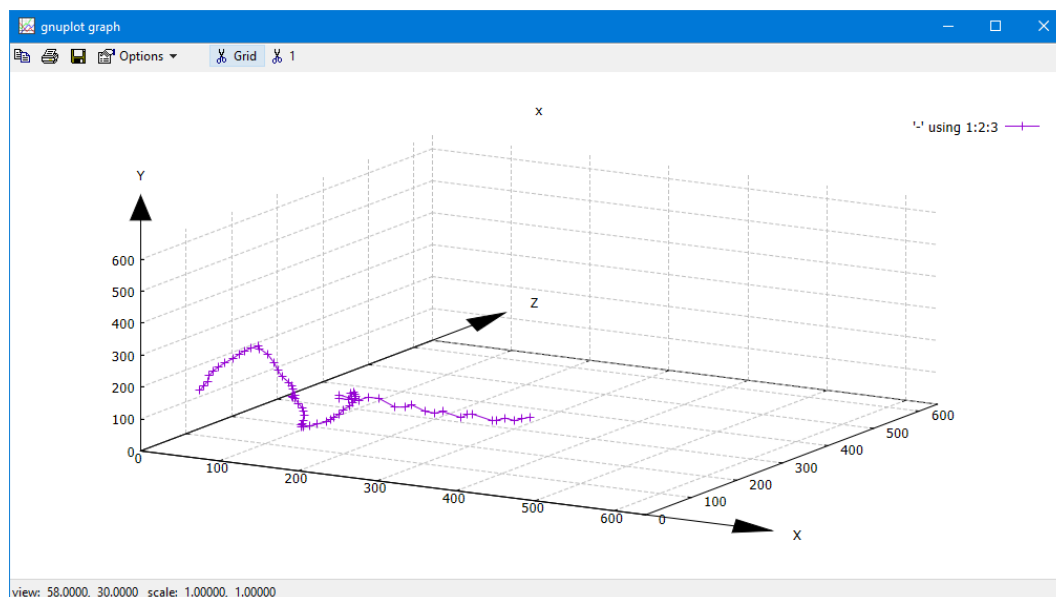


Рис. 4. – Отслеживание движения объекта в режиме реального времени

Заключение. В данной статье рассмотрены основы применения систем технического зрения на примере задачи наблюдения за траекторией манипулятора; приведены базовые алгоритмы и идеи отслеживания перемещения объекта в видеопотоке.

Список использованных источников

1. https://docs.opencv.org/4.5.4/d9/df8/tutorial_root.html
2. <https://russianblogs.com/article/22291420850/>

УДК 681.5.013

Безусов А.С., студент кафедры ПСиАТП

Заморёнов И.М., студент кафедры ПСиАТП

Заморёнова Д.В., канд. техн. наук, доцент кафедры ПСиАТП (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

dvzamoryonova@sevsu.ru

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВАЛА

Основным направлением развития приборостроения является разработка средств измерительной техники, включающих приборы для измерения механических, электрических, магнитных, тепловых, оптических и других физических величин. Измерительные приборы совместно с автоматическими управляющими и с исполнительными устройствами образуют техническую базу автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Одной из главных особенностей развития приборостроения является решение проблем повышения эффективности и качества выпускаемой продукции. Требования к точности, надежности и долговечности машин, приборов и оборудования непрерывно возрастают, при этом особое значение приобретает задача повышения качества массовых деталей и изделий, значительная часть которых выполняется на автоматических линиях. Важная роль в обеспечении высокого качества продукции автоматизированных производств принадлежит автоматическим устройствам, предназначенным для контроля размеров деталей в процессе обработки.

В данной работе рассматриваются вопросы контроля радиального биения и диаметра поверхности вала под установку зубчатого колеса.

Конструкция автоматизированной системы контроля вала представлена на рис. 1.

Автоматизированное устройство включает следующие основные узлы (рис. 1):

- измерительная станция 1 (две измерительные скобы осуществляют контроль диаметра 40 мм посадочной поверхности под зубчатое колесо и радиальное биение относительно оси вала);
- измерительная станция 2 (две измерительные скобы предназначена для контроля двух посадочных поверхностей под подшипники);
- отсчётно-командное устройство 3;
- станина 4.

Настройка измерительного устройства осуществляется по рабочему эталону, аттестованному на вертикальном оптиметре. Рабочий эталон устанавливается в центра. Размеры и форма рабочего эталона соответствуют контролируемой детали.

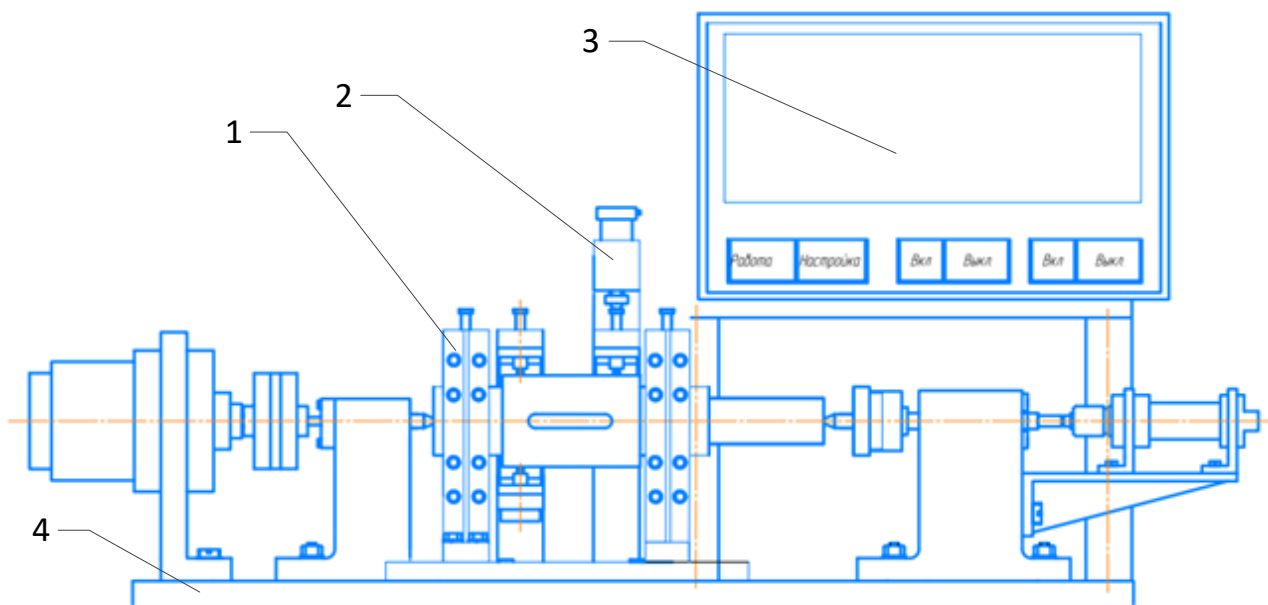


Рис. 1. – Многопараметрическая автоматизированная система контроля вала

После установки рабочего эталона и подвода измерительного устройства проверяется наличие контакта между наконечниками и измеряемой деталью. Далее вращением настроечного винта показания преобразователя на отсчетном устройстве устанавливаются в нулевое положение, затем с помощью винта показания смещаются на величину соответствующую предельным отклонениям контролируемого параметра и производится настройка срабатывания команд «Годные», «Брак +», «Брак –».

Заключение. Разработана конструкция многопараметрической автоматизированной системы контроля вала, дано её описание и приведены методика настройки и контроля параметров.

Список использованных источников

1. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. М. Высшая школа. 2001.
2. Преобразующие устройства приборов: Учебник О. М. Безвесильная, П. М. Таланчук. - К.: НМК ВО, 1993.
3. Белкин И.М., средства линейно-угловых измерений. М. Машиностроение 1987.
4. Болонкина Н.Н. Точность и производственный контроль в машиностроении. Л. Машиностроение. 1983.
5. Безвесильная О.М. «Преобразующие устройства приборов»: Учебник / Киев, 1993 г.
6. Анурьев В.И. «Справочник конструктора-машиностроителя»: В 3-х т. Т. 1 - 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И. Н. Жестковой. -М.: Машиностроение, 2001.- 920 с.

УДК 681.5

Дикун А.В., студент кафедры ИУТС

Светиков С.Е., студент кафедры ИУТС

Шушляпин Е.А., докт. техн. наук, профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

bu6@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРИВОДОВ ШАРНИРОВ СУСТАВОВ

Цель работы и постановка задачи

Результаты исследований, представленные в данной работе, связаны с задачей приведения конечного эффектора (центра схвата) антропоморфного манипулятора подводного аппарата в заданное положение за заданное время с помощью метода конечного состояния [1]. Поставлена задача исследовать алгоритм управления с учетом программной среды реализации.

Вся работа по созданию системы моделирования управления манипулятором с учетом динамики приводов была разбита на три этапа. На первом этапе разработан алгоритм вычисления управления в виде напряжений. На втором этапе разработанный алгоритм запрограммирован в визуальной среде xCos. На третьем, заключительном этапе, проведено исследование работоспособности обновленной схемы.

Разработка алгоритмов вычисления управления в виде напряжений

В данном разделе представлено решение задачи приведения в движение приводов шарниров двигателями постоянного тока (ДПТ) [2]. Управление будет вычисляться в виде напряжений, подаваемого на якоря ДПТ. В [3] приводятся основные физические соотношения для решения проблемы вычисления управляющих напряжений. Основной сложностью при этом является разработка алгоритмов вычисления углового ускорения приводов в терминах переменных, используемых в методе конечных состояний в явном виде.

Показано, что управления для ДПТ вычисляются по формуле (1):

$$U_i = \frac{1}{k_{di}} \left(J_i(u_1) \frac{du_i}{dt} + k_{ci} u_i \right), \text{ где} \quad (1)$$

J_i – это приведенный момент инерции i -той пары, $\left. \begin{matrix} k_{di} \\ k_{ci} \end{matrix} \right\}$ – конструктивные параметры, u_i – угловая скорость двигателей, $\frac{du_i}{dt}$ – угловое ускорение звеньев манипулятора, которое может быть измерено, либо, в отсутствие соответствующих измерителей, найдено по формуле:

$$\frac{du}{dt} = \left(\frac{\partial G^+}{\partial \theta} \frac{J^* - J}{T_m} - G^+ \frac{1}{T_m} G^T \right) u, \quad (2)$$

где θ_i определены ниже, T_m – регулировочный параметр.

В соответствии с двухэтапным процессом применения МКС для управления ДПТ, используются динамическая модель робота

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_i(t)}{dt} &= u_i, i = 0, \dots, 5, \\ t &\in [t_0, t_f], \theta_i(t_0) = \theta_i^0, \end{aligned}$$

где θ_i – углы поворота шарниров сочленений (всего их шесть) робота, u_i – управляющие воздействия в виде угловых ускорений. Угловые ускорения являются переменными состояния приводов ДПТ с упрощенной моделью (1). С помощью МКС могут быть легко рассчитаны u_i , что обусловлено независимостью правых частей уравнений робота от состояния θ_i . При расчетах u_i использовались формулы, показанные в приведенном в [3] тексте программы (функция mks). В формуле (2) использованы обозначения J для критерия приближения конечных значений углов поворота к заданным значениям J^* и матрицы G, G^+

(см. текст функции mks в [3]). Производная $\frac{\partial G^+}{\partial u_1}$ вычисляется по формуле:

$$\frac{\partial G^+}{\partial u_1} = \frac{\partial \left(\frac{G}{\varphi} \right)}{\partial u_1} = \frac{\varphi \frac{\partial G}{\partial u_1} - \frac{\partial \varphi}{\partial u_1} G}{\varphi^2}, \quad (3)$$

где φ – скалярная функция, равная $G^T G$.

В результате вычислений, будет получено управление системой в виде напряжений, подаваемых на якоря ДПТ системы.

Разработка алгоритмов вычисления управления в виде напряжений

Для исследования поведения манипулятора, основываясь на полученных выше вычислительных алгоритмах, в среде моделирования xCos SciLab была разработана схема, изображенная на рисунке 1:

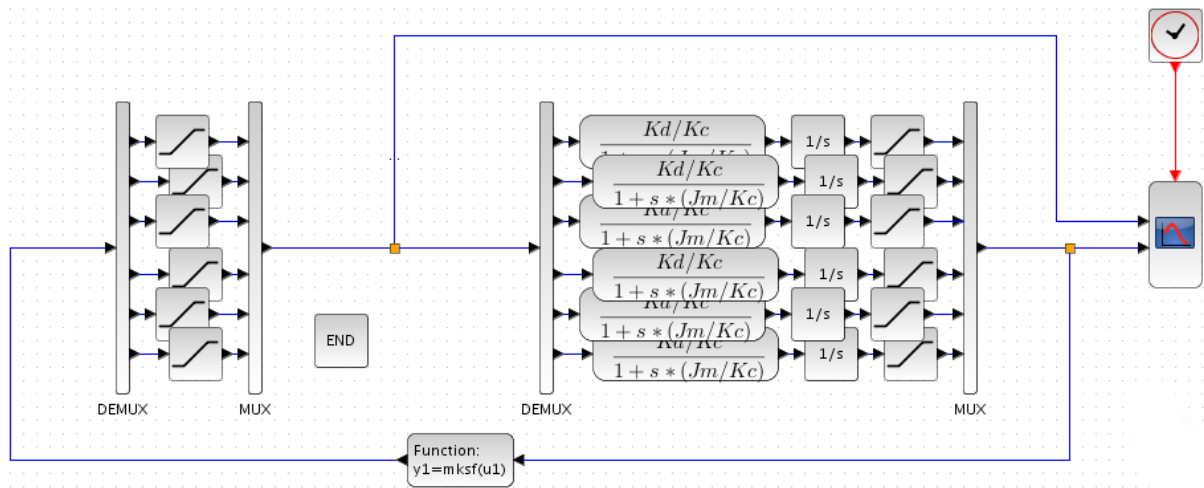


Рис. 1. Структурная схема визуального моделирования управления манипулятором с учетом динамики приводов

Двигатели постоянного тока соответствуют на схеме последовательно включенным апериодическим звеньям первого порядка, интегрирующим звеном и блоком ограничения для каждого звена манипулятора. Разделение передаточной функции ДПТ на два блока (звенья апериодическое и интегрирующее) вызвано тем, что начальное положение звена в среде моделирования xCos можно задать только в интегрирующем звене. Конструктивные параметры двигателя каждого звена можно задать в определениях апериодического звена. Ограничения по углу положений каждого звена задаются в блоках ограничений.

Напряжения U_i , подаваемые на роторы ДПТ, вычисляются в блоке, обозначенном на схеме как *function: y1=mksf(u1)*, где $y1$ – вектор вычисленных напряжений, а $u1$ – вектор углов положения φ . На вход блока подается вектор углов положения манипулятора, на выходе получается вектор напряжений ДПТ. При необходимости ограничить величины напряжений, пределы ограничений задаются в блоках ограничений.

Исследование xCos-схемы моделирования АМ с учетом динамики приводов

Для исследования работоспособности xCos-схемы управления антропоморфным манипулятором в качестве конечной точки принято положение с параметрическими координатами одной из тестовых точек Т7, первые три столбца (без последних нулевых элементов) которой задают ориентацию схвата робота, а последний столбец (без последнего единичного элемента) – конечное положение схвата в метрах:

$$T7 = \begin{bmatrix} -0.0933 & -0.9616 & 0.2581 & 0.7265 \\ 0.9728 & -0.1432 & -0.1819 & -0.0822 \\ 0.2119 & 0.2341 & 0.9488 & -0.6157 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В этом разделе рассмотрено влияние конструктивных параметров ДПТ на качество управления. На процесс влияют коэффициент передачи двигателя $Kdv = \frac{Kd}{Kc}$, постоянная времени $Tm = \frac{Jm}{Kc}$.

В качестве результатов выводятся графики изменения во времени углов положения и угловых скоростей звеньев манипулятора при управлении методом конечных состояний. На всех графиках введено следующее соответствие цветов:

- а) звено 0 – синий цвет;
- б) звено 1 – зеленый цвет;
- в) звено 2 – голубой цвет;
- г) звено 3 – красный цвет;
- д) звено 4 – пурпурный цвет;
- е) звено 5 – черный цвет;

Ниже приведены графики зависимостей $y1(t) = \theta_i(t), i = 0, \dots, 5$ и $U_i(t)$, полученные для разных значений параметров ДПТ и алгоритма управления.

Рассмотрим управление при $Jm = 2$, $Kc = 20$, $Kd = 40$. То есть, $Kdv = 2$, $Tm = 0.1$. Время управления $tf = 15$. Результат приведен на рис. 2:

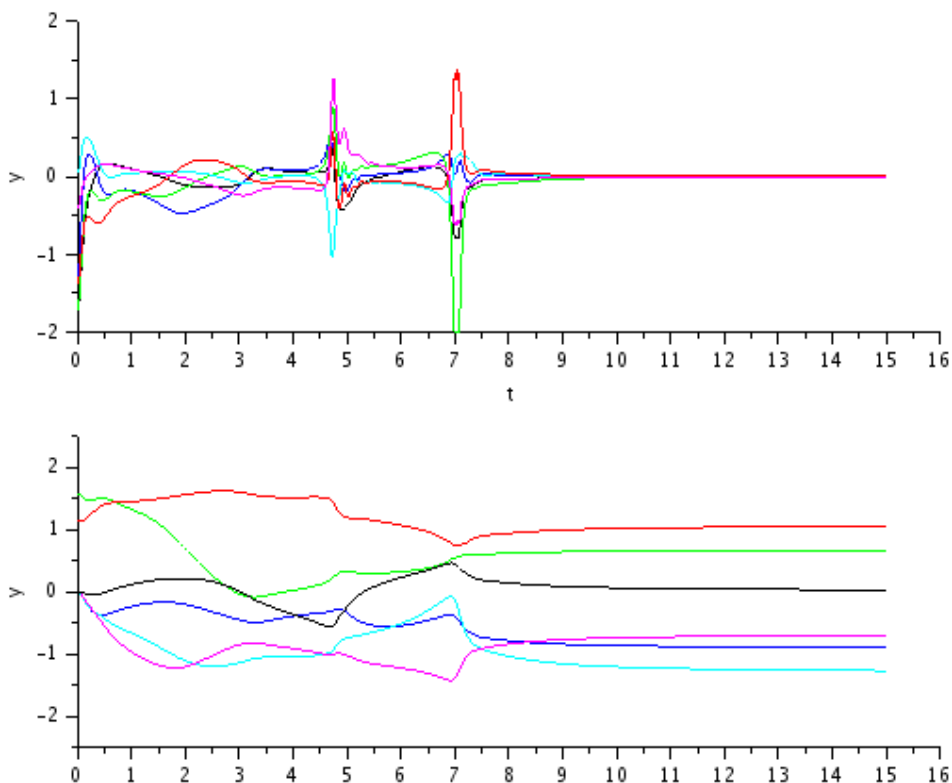


Рис. 2. График $y1(t), U(t)$ при $Tm = 0.1$

По графикам видно, что процесс достигает цели где-то к десятой секунде управления. Управление имеет несколько выбросов импульсного характера в течении процесса. Но конечная цель достигнута, хотя и за большой промежуток времени.

В следующем опыте уменьшим значение постоянной времени за счет уменьшения момента инерции Jm . Исходные значения переменных: $Jm = 1$, $Kc = 20$, $Kd = 40$, $Tm = 0.05$, $Kdv = 2$, $tf = 3$. Результат приведен на рис. 3:

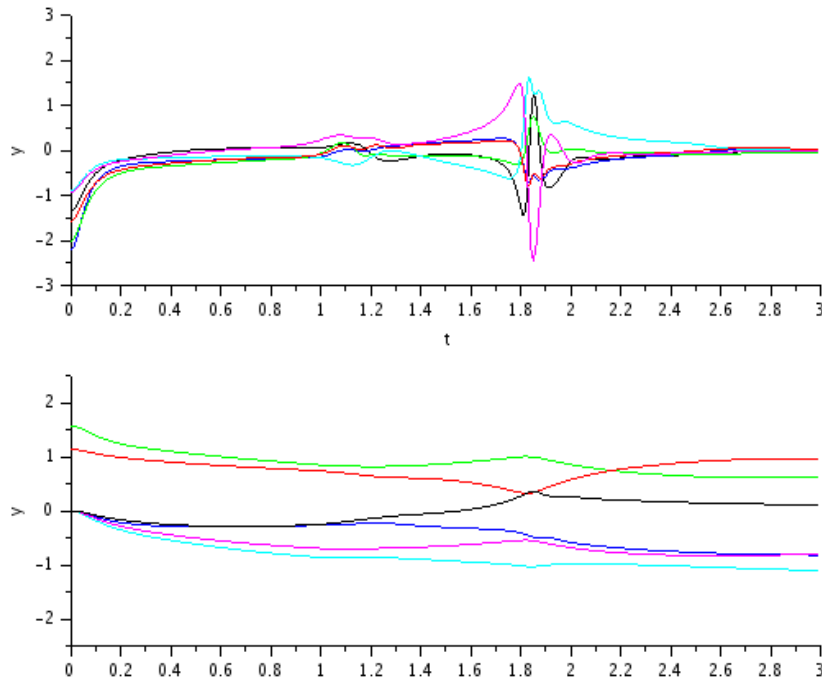
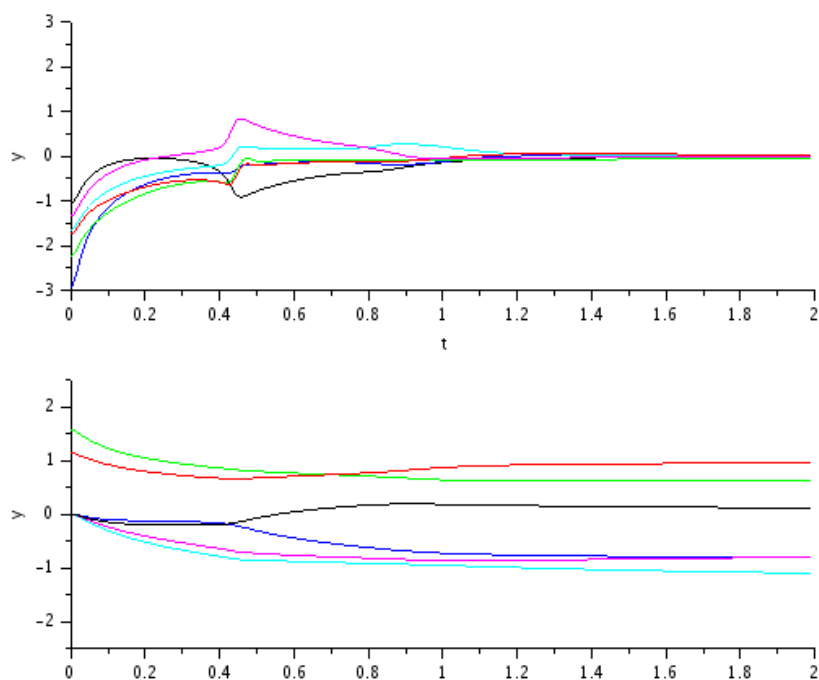


Рис. 3. График $y1(t)$, $U(t)$ при $Tm = 0.05$

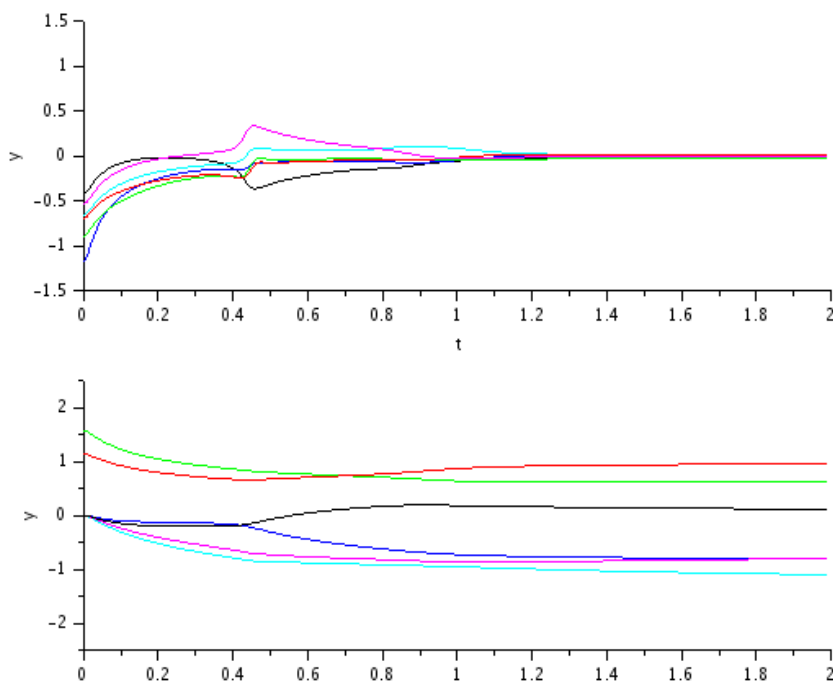
Управление достигает цели к третьей секунде процесса. Управление имеет плавный характер с одним «всплеском» напряжений, после которого координаты углов достигают заданных значений. По сравнению с предыдущим опытом качество управления заметно лучше, а время достижения цели — меньше.

Опыт №3. Еще уменьшена постоянная времени Tm , и изменены значения Kd и Kc . Исходные значения переменных: $Jm = 1$, $Kc = 100$, $Kd = 200$, $Tm = 0.01$, $Kdv = 2$, $tf = 2$. Результат приведен на рис. 4:

Рис. 4. График $y_1(t)$, $U(t)$ при $T_m = 0.01$, $K_{dv} = 2$

Управление достигает цели k за полторы секунды. Управление имеет непрерывный характер без отдельных во времени выбросов. Качество управления еще улучшилось. Уменьшилось также время достижения цели.

Опыт №4. При той же постоянной времени T_m , увеличен коэффициент передачи двигателя. Исходные значения переменных: $J_m = 1$, $K_c = 100$, $K_d = 200$, $T_m = 0.01$, $K_{dv} = 2$, $t_f = 2$. Результат приведен на рис. 5:

Рис. 5. График $y_1(t)$, $U(t)$ при $T_m = 0.01$, $K_{dv} = 2$

Картина процесса полностью аналогична предыдущему опыту. Увеличение коэффициента передачи двигателя влияет только на величину напряжений, подаваемых на роторы ДПТ.

Заключение

На основании проведенных компьютерных экспериментов можно сделать вывод, что выбранный метод управления работоспособен и позволяет достичь высокой точности позиционирования конечного эффектора манипулятора.

Разработанные алгоритмы позволяют получать управление ДПТ звеньев манипулятора сразу в виде напряжений, подаваемых на роторы двигателей. Для получения хороших результатов необходимо уменьшать нагрузку на двигатели. Это приводит к уменьшению приведенного момента инерции и, как следствие, к уменьшению механической постоянной времени двигателя, что сглаживает переходные процессы и уменьшает время достижения цели.

Список литературы

1. Шушляпин Е.А. Управление нелинейными системами на основе прогноза конечного состояния неуправляемого движения // Севастополь: СевНТУ, 2012. 282 с.
2. Передаточные функции двигателя постоянного тока [Электронный ресурс]: Режим Доступа: URL: <https://studfile.net/preview/715035/page:7/>
3. Дикун А.В. Моделирование управления манипулятором антропоморфного робота / А.В. Дикун, Л.В. Решетник, Е.А. Шушляпин // VI Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2020: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 17-19 июня 2020 г., С.86-91.

УДК 681.5.013

Музыкантов А.Д., студент кафедры ИУТС

Карапетьян В.А., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

karapetyan@sevsu.ru

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ САУ АНПА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Рассматривается задача синтеза системы автоматической стабилизации автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА) с несколькими видами регуляторов (с последующим сравнением результатов), на базе набора HighROV [1, 2] с помощью Matlab&Simulink [3]. Назначение САУ — стабилизация движения ПА в вертикальной плоскости.

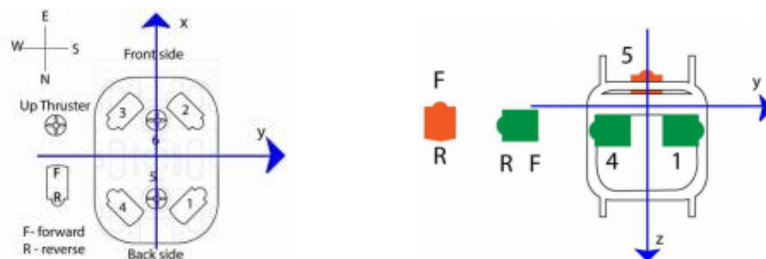


Рис.1. – Схема ПА из набора HighROV в двух проекциях

Для решения задачи синтеза системы стабилизации была проведена процедура линеаризации нелинейной математической модели объекта [2, 4]. Предварительно из общей нелинейной модели были выделены соотношения, описывающие движение объекта в вертикальной плоскости. Эти соотношения представлены в нормальной форме уравнением (1):

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1 = X \\ x_2 = Z \\ x_3 = \theta \\ x_4 = \dot{X} = V_x \\ x_5 = \dot{Z} = V_z \\ x_6 = \dot{\theta} = W_y \end{bmatrix}, \quad \frac{dx(t)}{dt} = \begin{bmatrix} O_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ -M^{-1} * C & O_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_{3 \times 3} \\ M^{-1} * \begin{bmatrix} 0,707*4 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0,06*4 & -0,12 & 0,12 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{1-4} \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где x_1 – положение вдоль оси X , x_2 – положение вдоль оси Z ,

x_3 – угол вокруг оси Y , x_4 – линейная скорость вдоль оси X ,

x_5 – линейная скорость вдоль оси Z , x_6 – угловая скорость вокруг оси Y ,

M – матрица инерции твердого тела,

C – матрица, описывающая центробежные силы и силы Кориолиса,

F_{1-4} – усилия горизонтальных двигателей (работают синхронно),

F_{5-6} – усилия вертикальных двигателей (могут работать независимо).

Линеаризация модели (1) проведена в окрестности точки покоя ПА на глубине 15 метров и при нулевом угле тангажа. Анализ полученной линейной модели показал её полную управляемость и наблюдаемость.

Для создания системы стабилизации на основе синтеза регуляторов состояния (модального и линейно–квадратичного) и модального наблюдателя линейная модель была расширена за счёт включения в прямую цепь интегрирующих звеньев. Такое расширение модели обеспечивает ей свойства астатизма, необходимого для обеспечения нулевых статических ошибок по управляемым переменным. Расширенная модель сохраняет свойство полной управляемости, что позволяют проводить синтез линейно–квадратичного и модального регуляторов.

Моделирование поведения САУ ПА с модальным наблюдателем, модальным и линейно–квадратичным регуляторами для расширенной системы проводилось в пакете Simulink. Схема моделирования приведена на рис. 2. Функционально схема позволяет отдельно проводить моделирование САУ ПА (блок TNPA) как с линейно–квадратичным регулятором (блоки Kос_LQR, Kрс_LQR), так и с модальным регулятором (блоки Kос_m, Kрс_m). Формирование текущих оценок вектора состояния объекта управления обеспечивает наличие в схеме модального наблюдателя полного порядка (блок Наблюдатель).

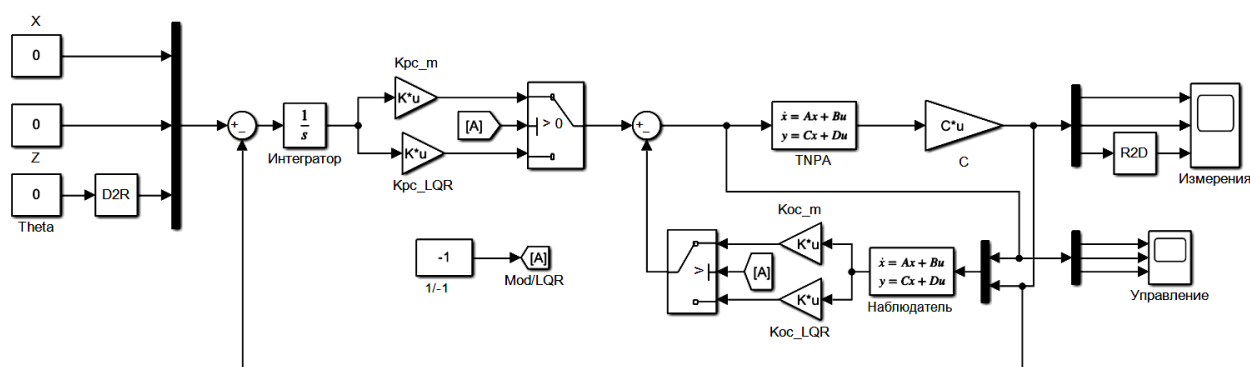


Рис.2. – Simulink-схема расширенной САУ ПА с различными типами регуляторов

Классическая структура системы стабилизации движением ПА с наличием блока ПИД-регуляторов (подсистема PID system) в прямой цепи реализована соответствующей Simulink-схемой, приведённой на рис. 3.

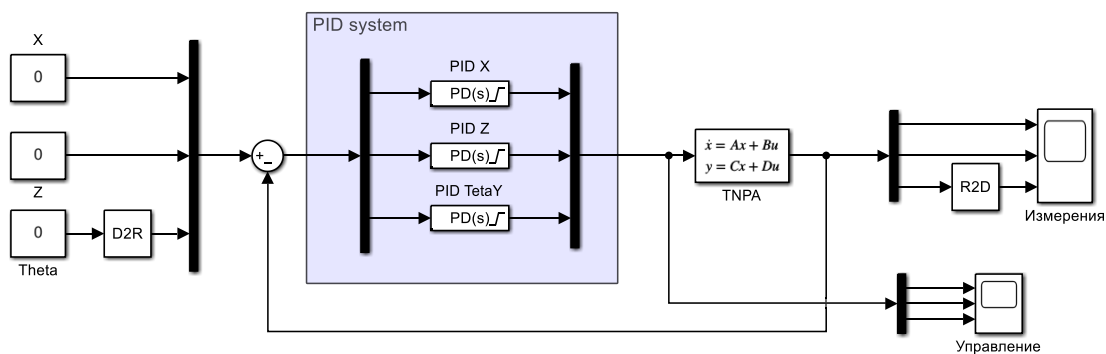


Рис.3. – Simulink-схема САУ ПА с ПИД-регуляторами

Для проверки работоспособности синтезированных САУ ПА проводились тестовые модельные эксперименты, результаты некоторых из них приведены

здесь. В качестве начального возмущенного, относительно точки линеаризации, состояния линеаризованной системы выбрано следующее: отклонение по глубине -3 метра (глубина ПА 12 метров), отклонение по тангажу 5° , отклонение по скорости погружения 0,1 м/с.

В первом случае требовалось вернуть и удерживать объект в состоянии, определяемом параметрам точки линеаризации, т.е., перевести линейный объект в нулевое состояние. Достичь желаемого результата управления предполагалось примерно за одну минуту. Графическое представление результатов этих тестов приведено на рис. 4÷8.

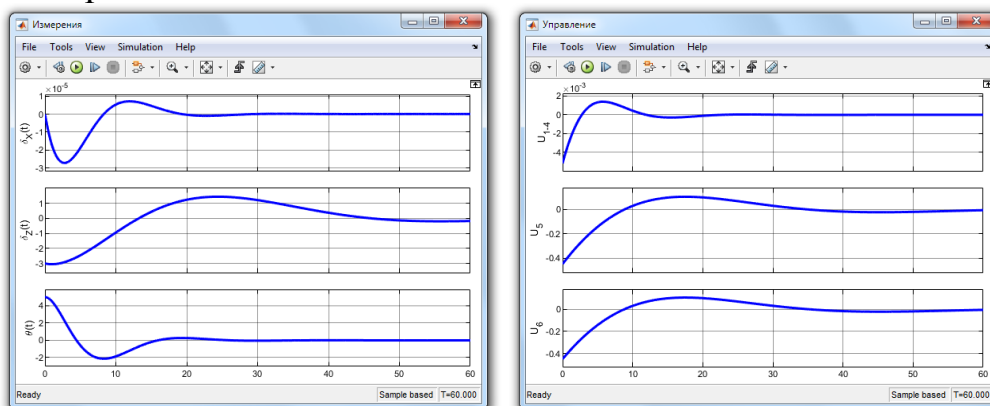


Рис.4. – САУ с ЛК-регулятором (н.у. наблюдателя $\hat{x}_0 = x_0$)

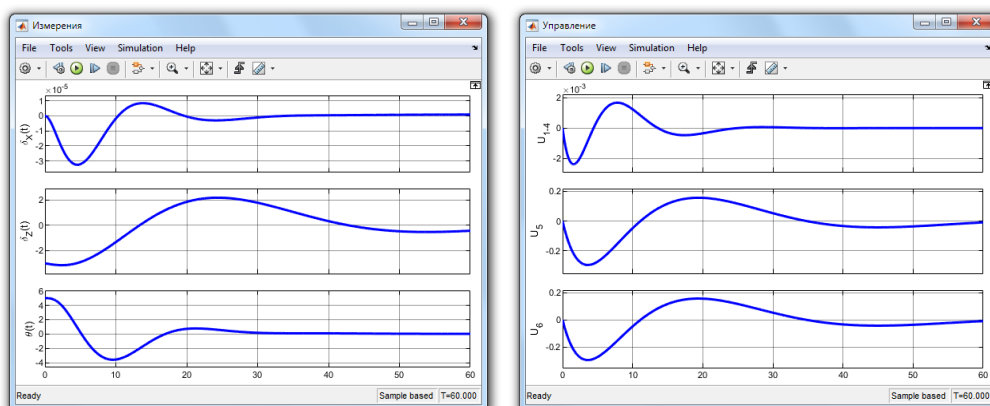


Рис.5. – САУ с ЛК-регулятором (н.у. наблюдателя $\hat{x}_0 = 0 * x_0$)

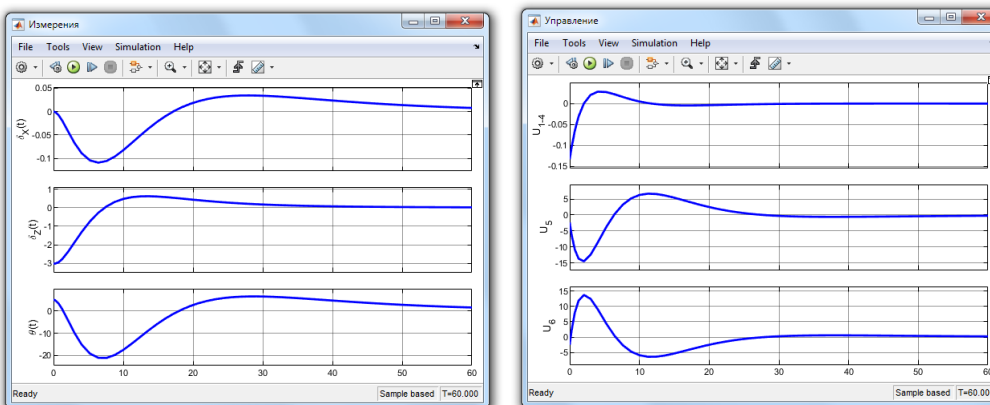
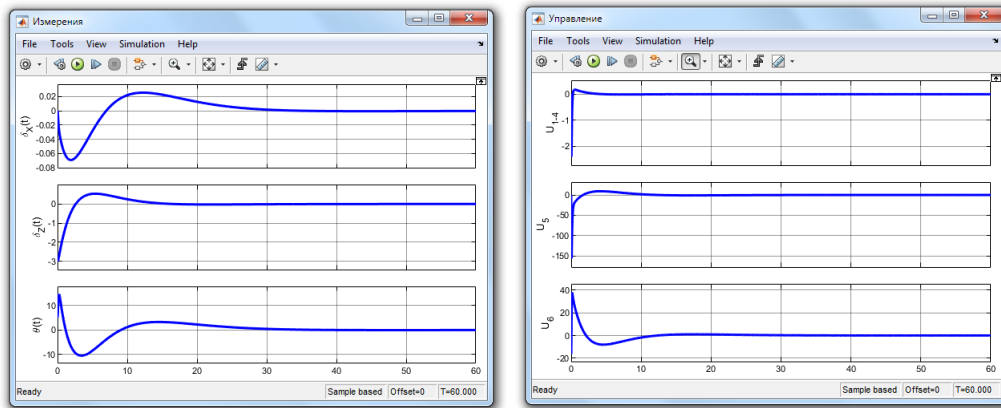


Рис.6. – САУ с модальным регулятором (н.у. наблюдателя $\hat{x}_0 = x_0$)

Рис.7. – САУ с модальным регулятором (н.у. наблюдателя $\hat{x}_0 = 0 * x_0$)

Отсутствие априорной информации о начальном состоянии линеаризованного объекта приводит к существенным затруднениям при ручной настройке параметров модальных наблюдателя и регулятора. Приемлемое поведение выходных координат (левая часть рис. 7) получено за счёт практически не реализуемых величин управляющих сигналов (правая часть рис. 7) и необходимости существенного относительного повышения быстродействия наблюдателя.

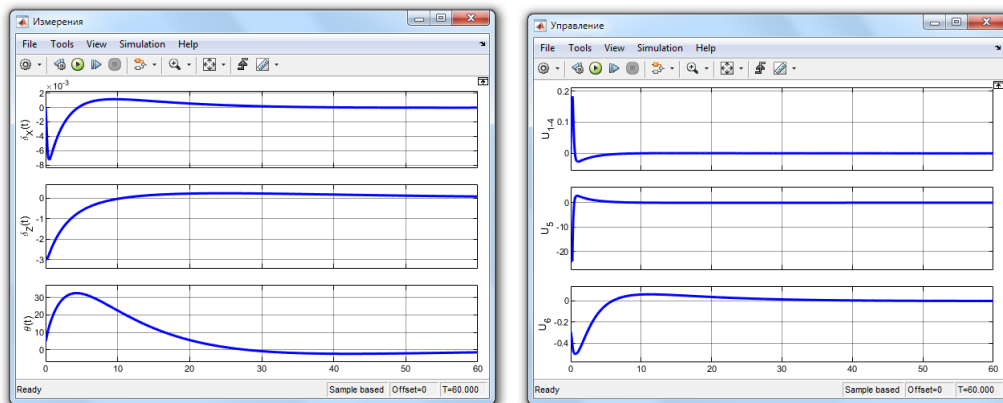


Рис.8. – САУ с блоком ПИД-регуляторов

Наличие интегрирующих свойств у модели объекта по всем каналам управляемых переменных обусловило проведение процедуры синтеза ПД-регуляторов.

Во втором случае необходимо было переместить ПА на 3 метра ниже точки покоя (в абсолютных величинах – на глубину 18 метров) и удерживать его на этой глубине в горизонтальном положении. Здесь проводилось моделирование систем стабилизации с линейно-квадратичным и регулятором и блоком ПИД-регуляторов. Графическое представление результатов этого моделирования приведено на рис. 9 и 10.

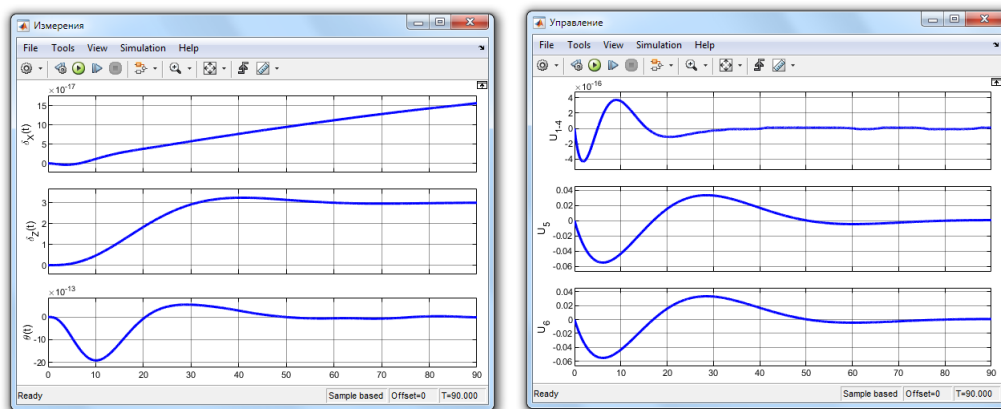


Рис.9. – САУ с ЛК-регулятором (н.у. наблюдателя $\hat{x}_0 = x_0$, погружение на 3 метра $\rightarrow$ 18м)

Первый и третий графики левого окна — нулевые константы с точностью 10^{-17} и 10^{-13} .

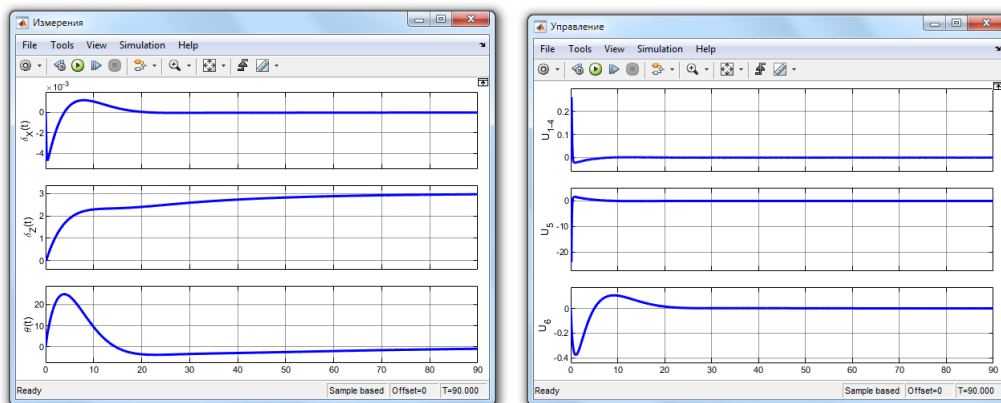


Рис.10. САУ с блоком ПИД-регуляторов (погружение на 3 метра $\rightarrow$ 18м)

Закключение. Результаты моделирования позволяют утверждать, что для рассматриваемого объекта управления и задачи стабилизации его в вертикальной плоскости в линейном приближении наиболее подходящими являются алгоритмы синтеза линейно-квадратичного регулятора с модальным наблюдателем или, в классическом варианте, синтез трёхканального блока ПИД-регуляторов. Синтез системы стабилизации на основе модальных регулятора и наблюдателя вызывает определённые затруднения, обусловленные как выбором собственно динамики регулятора и наблюдателя, так и начальным состоянием наблюдателя.

Список использованных источников

1. ООО "Центр робототехники" Набор HighROV для сборки телеуправляемого ПА. Руководство по эксплуатации. Владивосток: ООО "Центр робототехники", 2018. (PDF)
2. Линеаризация математической модели ТНПА средствами инструмента Matlab Linear Analysis Tool / Музыкантов А.Д., Карапетян В.А. //Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2020: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 17-19 июня 2020 г. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2020. – С. 99–101.
3. Simulink® Control Design™. User's Guide – The MathWorks, Inc., 2020. – 2262 p.
4. Fossen, T.I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control / T.I. Fossen. – John Wiley & Sons, 2011. – 585 p.

УДК 681.5.013

Фомичев В.С., студент кафедры ИУТС

Козырев В.Г., доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

3EBC95@mail.ru

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА В РАСШИРЕННОМ ДИАПАЗОНЕ АМПЛИТУД

Средства и алгоритмы общего применения для фильтрации сигналов на данный момент уже хорошо известны и достаточно эффективны. Однако, существует ряд задач, в которых результатов, и/или вычислительных ресурсов данных фильтров недостаточно, или предъявляются определенные требования к качеству работы фильтра при определенных свойствах сигнала.

В рамках данной статьи планируется рассмотрение программной реализации фильтрации зашумленного сигнала, полученного при считывании данных с системы определения пространственного положения кисти как элемента устройства для увеличения эффективности взаимодействия системы пользователь – ПК при решении инженерных задач, вводе данных.

В данном случае, сигнал является трехкомпонентным, где первая компонента – это исходный, незашумленный сигнал, вторая это шум, вызванный совокупностью элементов, образующих систему считывания, и третья компонента – неточность позиционирования кисти руки самого оператора. При этом, задача фильтрации для данного случая содержит как усложнения, так и упрощения.

К упрощениям можно отнести то, что вторая компонента сигнала носит в основном высокочастотный характер, при этом эквивалентная частота шумов заметно выше чем эквивалентная частота полезного сигнала.

Усложнение вводит существенная нелинейность и, даже, негармоничность полезного сигнала. С другой стороны, некоторые участки полезного сигнала, как показывает практика, наоборот, существенно линейны, либо описываются простой функцией. Однако, интервалы с различными простыми функциями имеют различную и непредсказуемую длительность.

Требуется обеспечить высокую точность как для участков сигнала с малым изменением величины со временем, так и с большим, решение задачи можно представить следующей последовательностью действий

Во-первых, необходимо получить хотя бы приближенную оценку первой(информативной) компоненты сигнала. Для этого можно применить любой

тип фильтра, к примеру, простое скользящее среднее, где выбор количества элементов следует выполнять с расчетом на то, чтобы АЧХ фильтра не затухала в области полезных эквивалентных частот сигнала. Высокая точность здесь также не требуется. По данным с эвристического скользящего среднего, можно получить грубые оценки сигнала с незначительной задержкой по тактам. Простейшая линейная скользящая экстраполяция на небольшом участке грубо отфильтрованного сигнала позволяет компенсировать отставание сигнала по отсчетам.

В результате применения данного набора действий можно получить грубые оценки полезного сигнала с минимальной потактовой задержкой. Кроме того, вычитая из зашумленного сигнала грубую оценку полезного, можно получить грубую оценку шума.

Далее, в процессе работы алгоритма, количество данных о грубой оценке шума будут увеличиваться, что позволит более точно определить его основные параметры, в частности, то, какие частоты преобладают. Для этого целесообразно использовать преобразование Фурье. Здесь стоит отметить, что распространенные «пики» для синусоидальных составляющих сигнала, большой амплитуды и неизменной частоты, не будут так ярко выражены. Это объясняется тем, что если синусоидальный сигнал неизменной частоты не проходит полного периода, то его преобразование Фурье будет иметь некоторый пик частоты с «размытыми» около него ближними частотами.

При этом, на это все начинает влиять шум, и простая отсечка значений ниже некоторой амплитуды недостаточно эффективна.

Поскольку область преобразования Фурье для шума в процессе работы программы изменяется значительно лишь в окрестности начального момента времени, а затем корректировки в ней минимальны, можно использовать комбинацию рекурсивного однозвенного фильтра и пороговую обработку, блокирующую работу фильтра в областях резкого скачка большой амплитуды. Этим действием мы сможем отделить достаточно точную частотную оценку разных компонентов шумов, аналогично разделению грубой оценки полезного сигнала и шума. Однако, данные действия приводят к повышению сложности алгоритма, что в условиях ограниченной производительности и требованиям к максимально быстрому отклику, недостаточно целесообразно. Также, убрать шум с достаточно большой точностью данным методом не представляется возможным, из-за того, что обратное преобразование для частично очищенной от шума частотной оценки полезного сигнала может допускать случай, когда шум попадет в область размытия частот около локального максимума эквивалентной частоты полезного сигнала. Это приводит к недопустимым искажениям, показанным на рисунке 1.

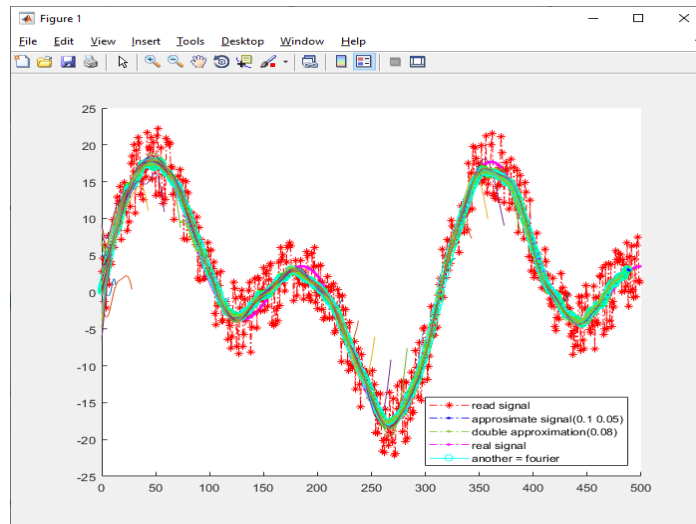


Рис. 1 – графики зашумленного, исходного сигналов, и его оценка методом преобразования Фурье с рекурсивной фильтрацией шумовых компонент

Как можем видеть, метод преобразования Фурье с высокой точностью повторяет уже ранее пройденные участки сигнала, однако вблизи новых отсчетов происходят ошибки.

Для решения поставленной ранее задачи предлагается использовать ранее полученные данные о сигнале, и оценках его компонент, но шум, в отличие от ранее рассматриваемого способа, должен детектироваться. В данном случае можно воспользоваться знанием свойств системы, для которой строится алгоритм фильтрации, а также, свойства шума.

Например, известно, что вероятность того, что функция аддитивного шума значительное количество раз подряд произведет близкие по амплитуде и знаку значения, достаточно мала. Из этого следует, что такое изменение рассматриваемого сигнала можно однозначно рассматривать как следствие влияния полезной составляющей.

Усложнив и автоматизировав данный алгоритм (дискретная производная для одного и нескольких отсчетов, установление интервала эквивалентных частот для новых отсчетов), с использованием ранее получаемых данных об оценках полезного сигнала и шума, можно с высокой вероятностью детектировать шум в рассматриваемом исходном сигнале, и исключать зашумленные отсчеты из рассмотрения.

Оставшиеся отсчеты можно использовать как источник информации для интерполяции, для восстановления исключенных отсчетов. Кроме того, если в сигнале будет слишком большое количество исключенных отсчетов, идущих подряд, возникнет задержка между считыванием данных и передачей отфильтрованного сигнала в следующие элементы системы. Для уменьшения влияния данного негативного фактора логично применить экстраполяцию.

Интерполяция и экстраполяция являются частными случаями решения уравнения регрессии. Степень результирующего полинома выбирается вручную, исходя из соответствия скорости нарастания функции, описываемой полиномом, сопоставимой или близкой к максимальной эквивалентной частоте грубой оценки полезного сигнала на участке, интервалом 1 сек. Это позволяет менять степень полинома для достижения большей эффективности экстраполяции, однако снижает эффективность интерполяции. В целом же, степень полинома варьируется от 1 (для линейной регрессии) до 3, т.к. при больших степенях интерполяция недостаточно точна (локальные перемещения наиболее точно интерполируются линейной или квадратичной регрессией), а сложность расчета увеличивается.

В результате, можно получить показанный на рисунке 2 сигнал.

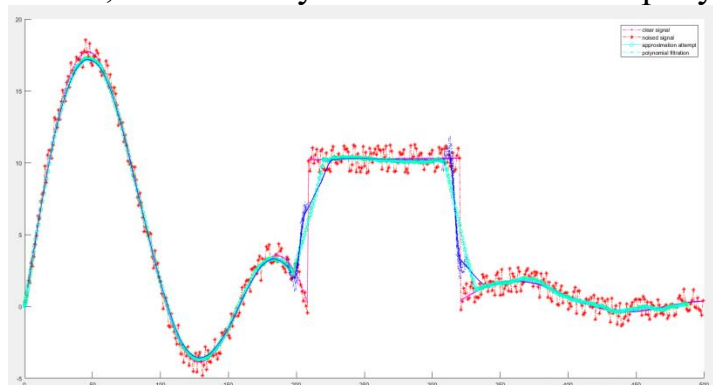


Рис. 2 – графиков исходного, зашумленного и восстановленного сигналов после фильтрации.

Такт дискретизации в данном рассмотрении заметно меньше аналогичного в реальной системе, поэтому можно видеть, что перед резким скачком сигнала, исключенные значения не дают корректно определить новые значения, а область без резких скачков интерполируется достаточно эффективно. Рассмотрим график в приближении (рисунок 3)

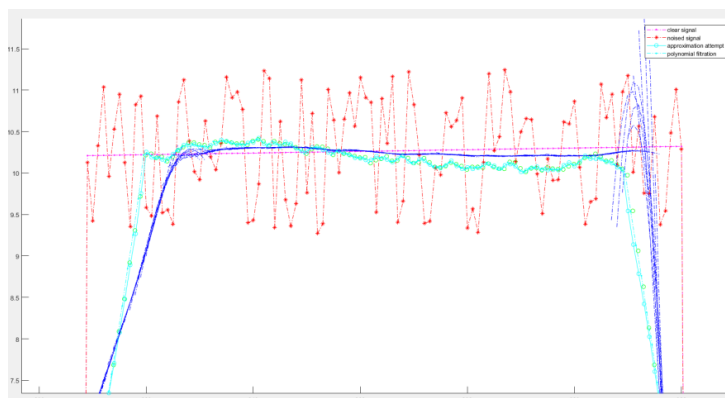


Рис. 3 – участок графиков исходного, зашумленного и восстановленного сигналов в приближении

Как можем видеть, в области незначительного изменения сигнала, приближительная точность достаточно высока. Зашумленные отсчеты в совокупности с резким скачком сильно препятствуют точной интерполяции и экстраполяции сигнала. В целом же, рассматриваемый случай имеет различия с реальным, где вторая компонента расположена преимущественно в области высоких частот, а третья компонента возможно, может быть определена и отделена от полезной составляющей сигнала более простым и эффективным способом. Кроме того, как уже было сказано ранее, такт дискретизации, и форма полезного сигнала достаточно сильно отличаются от реальной системы.

Заключение. В рамках данной работы было рассмотрено применение комбинации распространенных математических и статистических средств для решения задачи фильтрации сигнала в частном виде. При этом, использованный алгоритм позволил получить увеличение точности работы фильтра в области малых изменений сигнала, что особенно важно для точного проектирования с использованием рассмотренного во введении устройства.

Список использованных источников

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: изд 2. / А.Б. Сергиенко – Питер, 2003. – 608 с.: ил.
2. Emmanuel C. Digital signal processing: A practical approach / C. Emmanuel lfeachor, 1993

УДК 004.932.2

УДК 528.8.042.1

Парамонова А.С., студент кафедры ИУТС

Жиляков П.В., аспирант кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

ИТЕРАТИВНЫЙ АЛГОРИТМ БЛИЖАЙШИХ ТОЧЕК ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЛАКА 3D ТОЧЕК

Введение

В настоящее время происходит активное развитие подводной робототехники. Ведутся масштабные работы в области создания морских робототехнических комплексов и систем различного назначения. Особенно актуальны в последнее время разработки в области подводной автономной робототехники.

На коротких дистанциях до 10 метров при условии достаточной прозрачности воды в подводных аппаратах используют системы технической зрения (СТЗ) на основе оптических цифровых камер. Алгоритмы обработки СТЗ со стереокамерой позволяют получать облака 3D точек для каждого кадра стереокамеры. Для объединения облаков 3D точек, полученных от разных кадров, в том числе с различных ракурсов используются методы совмещения облаков 3D точек.

Обзор алгоритма

В большинстве существующих методов для сравнения двух поверхностей объектов предполагается, что для каждой точки одной поверхности есть соответствующая ей точка второй поверхности [1, 2].

Одним из базовых алгоритмов совмещения поверхностей является *итеративный алгоритм ближайших точек* (iterative closest point – ICP). Алгоритм использует итеративную процедуру минимизации среднего расстояния между двумя *облаками точек*, которые являются наборами вершин в трёхмерной системе координат (X, Y и Z) и предназначены для представления внешней поверхности объекта. Также алгоритму требуется начальная оценка *изометрического преобразования* (изменения положения или ориентации определенной фигуры, которые не меняют ни форму, ни размер) одного облака в другое, которая постепенно уточняется в процессе минимизации. Для двух заданных трёхмерных облаков точек A1 и A2 алгоритм находит наилучшее преобразование (трансформацию), переводящее преобразуемое (A2) в целевое (A1).

Один из способов использования ICP – совмещение снимков одного и того же объекта, полученных с разных ракурсов, но имеющих общие участки – области перекрытия. При этом предполагается, что в областях перекрытия находятся пары ближайших точек, расстояние между которыми меньше заданного порога. Если в список таких пар попадают «ошибочные» пары, не принадлежащие области перекрытия, это негативно сказывается на корректности работы алгоритма.

Для вычисления расстояния между точкой и облаком точек A_2 в первоначальном варианте алгоритма [1] используется метрика «точка-точка» (point-to-point distance). Метрика использует дискретные модели поверхностей.

Другой предлагаемой метрикой является «точка-плоскость» (point-to-plane distance – PPD), формула расчета которой приведена ниже. Использование данной метрики предполагает, что в каждой точке A_1 и A_2 известны нормали к поверхностям, заданным облаками точек A_1 и A_2 соответственно. Такая информация может быть задана изначально, либо вычислена через усреднение нормалей по инцидентным треугольникам при использовании триангуляционной кусочно-линейной аппроксимации поверхности.

$$E = \sum_i \|ppd(p_i, q_i, n_i)\|_2 \rightarrow 0.$$

В частности, для каждой соответствующей точки P и Q это расстояние от точки P до плоскости, определяемое точкой Q и нормалью N , расположенной в точке Q . Две точки P и Q считаются соответствующими, если при заданной текущей позиции камеры они проецируются в одном и том же пикселе.

p – точка подачи в новом облаке точек

q – i -я точка в старом облаке точек

n – нормаль в точке q в старом облаке точек

Следовательно, $ppd(...)$ может быть выражен как точечное произведение (разница между p и q) и (n):

$$\text{dot}(T_{p2q}(p) - q, n) = \text{dot}((R \cdot p + t) - q, n) = [(R \cdot p + t) - q]^T \cdot n$$

$T(p)$ – изометрическое преобразование точки p :

$$T_{p2q}(p) = (R \cdot p + t),$$

где R – вращение, t – перемещение.

T – это преобразование, которое мы ищем с помощью ИСР, его цель состоит в том, чтобы приблизить каждую точку p к соответствующей точке q с точки зрения расстояния от точки до плоскости.

Общая итеративная схема алгоритма включает следующие этапы:

1. Поиск пар ближайших точек для текущего положения A_1 и A_2 .
2. Поиск преобразования (параметров сдвигов и поворотов) облака точек A_2 , уменьшающего ошибку E с помощью метода наименьших квадратов. Если изменения ошибки E меньше определённого порогового значения, то работа алгоритма заканчивается.
3. Применение найденного на предыдущем этапе преобразования к облаку точек A_2 . Переход на этап 1.

Этапы 1–3 повторяются до тех пор, пока уменьшение ошибки превышает некоторое пороговое значение. Решением задачи является конечное положение облака точек A_2 .

Влияние «ошибочных» пар ближайших точек при использовании метрики «точка-плоскость» меньше, чем при использовании «точка-точка». Количество итераций алгоритма при использовании метрики «точка-точка» больше, так как в ней используются дискретные модели поверхностей. Недостатком метрики «точка-плоскость» является то, что она сильно зависит от начального взаимного положения $A1$ и $A2$ [3].

Одной из библиотек, с помощью которой можно реализовать ICP, является Point Cloud Library (PCL) [4]. Она содержит алгоритмы фильтрации, оценки признаков, реконструкции поверхности, 3D-регистрации, подгонки модели, распознавания объектов и сегментации. PCL Написана на C++, основываясь на следующих сторонних библиотеках: Boost, Eigen, FLANN, VTK. Является лучшим существующим решением для задачи восстановления трёхмерной поверхности объектов из облаков точек, но имеет множество сложностей при установке для работы в QT Creator.

Второй способ реализации ICP заключается в использовании специального модуля cv::viz, который предоставляет множество полезных функций для визуализации трехмерных объектов сцены. Однако этот модуль построен поверх другой библиотеки с открытым исходным кодом, поэтому для работы с этим модулем необходима установка OpenCV и VTK [5].

На основе функций рассмотренного модуля была составлена структура программы:

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ: Облака точек, полученные с помощью подводного аппарата

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ: Визуализированные совмещенные облака точек

НАЧАЛО

Назначить целевое и преобразуемое облако точек

Проредить облаков точек (понижить дискретизацию)

Задать аргументы в функцию ICP

Объединить преобразуемое и целевое облака в единую систему координат

Визуализировать совмещенные облака точек

КОНЕЦ

Заключение

Основным достоинством алгоритма ближайших точек является его простая реализация, к недостаткам можно отнести сильную зависимость от начального приближения объектов и вычислительную сложность, связанную с поиском всех пар ближайших точек, а также выбором подходящего метода реализации и с использованием соответствующей библиотеки.

Основной упор применения итеративного алгоритма ближайших точек сделан на системе технического зрения подводного аппарата. Идея заключается в том, что робот делает несколько снимков интересующего объекта или области с разных ракурсов, а на суше по полученным облакам 3D точек оператор восстанавливает подводную сцену. Так же данный вид применения алгоритма может использоваться для автономных необитаемых подводных аппаратов.

Для таких молодых наук как подводная археология особенно остро стоит вопрос с цифровым отображением подводных объектов, так как исследования проводятся водолазами, которые подвержены множеству факторов риска из-за труднодоступности, сложности условий, в которых проводятся работы. Поэтому подобный способ применения алгоритма может быть полезен для данной науки.

Список использованных источников

1. Besl P., McKay H. A method for registration of 3-d shapes // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – Vol. 14, no. 2. – Pp. 239-256.
2. Zhang Z. Iterative point matching for registration of freeform curves and surfaces // International Journal of Computer Vision. –1994. – Vol. 13, no. 2. – Pp. 119-152.
3. Gelfand N., Ikemoto L., Rusinkiewicz S., Levoy M. Geometrically Stable Sampling for the ICP Algorithm // Fourth International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling. – 2003. – Pp. 260-267.
4. PCL (Point Cloud Library) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pointclouds.org>, свободный. (дата обращения: 25.03.22).
5. Laganiere R. OpenCV 3 Computer Vision Application Programming Cookbook - Third Edition – 2017. – Pp. 474.

УДК 004.72

Абкеримов Т.В., студент кафедры ИУТС

Якунин Р.Д., студент кафедры ИУТС

Крамарь В.А., доктор наук, профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

АППАРАТНАЯ СИСТЕМА ПОДВОДНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Подводная среда не является легким сценарием для рабочей деятельности человека (ремонт и обслуживание, исследование, отбор проб), особенно когда операции должны выполняться на глубинах более 50 м. Исследования сдерживаются необходимостью разработки водонепроницаемых и компенсирующих вес устройств, защищенных от высокого давления. Несмотря на эти ограничения, диапазон подводных применений постоянно увеличивается, (например, в общей работе с умным городом, или в составе охраняющих средств в обороне страны или же автоматической обработке множественной информации от «роя» аппаратов с централизованной сети интернет). Рост количества устройств, используемых в подводной деятельности, побудил к интенсивным исследованиям в области подводных беспроводных сетей для соединения всех этих устройств. Основными видами передачи данных под водой является гидроакустическая и оптическая связь. В этой статье будут рассмотрены некоторые из моделей гидроакустических модемов, определены плюсы и минусы, а также будет проведён сравнительный анализ подводных симуляторов.

Подводные модемы. На рисунке ниже представлен базовый пример работы системы подводного интернета вещей.



Рис. 1. – Принципиальная схема системы морского интернета вещей

Есть несколько телеуправляемых, а также автономных необитаемых подводных аппаратов, двусредная точка доступа (Буй), корабль, система позиционирования, беспилотные летательные аппараты и надводная станция береговая (изображен маяком).

Каждый элемент сети собой представляет узел (Node). Все места, где можно передать информацию по воздуху, используются электромагнитные волны (Радио, спутниковая передача данных, Wi-fi), в подводной же среде в основном используют два варианта передачи данных – гидроакустическую и оптическую передачу данных. Иногда для совместных миссий используют также электромагнитные волны, но предел их дальности составляет несколько метров.

С точки зрения сетевой модели OSI, имеем очень глобальную задачу в физическом и канальном уровне – приспособление сети к нетипичной среде. Далее мы рассмотрим именно подводную передачу данных на большие расстояния.

Акустическая передача данных

Для стандартизации схем, определяющих кодирование физического уровня, которые передают информацию в общем формате для декодирования. Был предложен стандарт JANUS(Янус), он минимизирует изменения оборудования связи, для гибкого использования систем связи и акустических частот. JANUS использует акустические волны на частоте 11-12 кГц, также передатчик и приемник могут находиться на расстоянии до 27 километров. На таком расстоянии скорость передачи составляет около 100 бит/с, этого достаточно, чтобы передавать простые текстовые данные. Скорость звука в воде составляет около 1450 м/с и может меняться в зависимости от температуры. Это стоит учитывать при возникающих проблемах.

Оптическая передача данных

Система, называемая Aqua-Fi, использует комбинацию лазеров и готовые компоненты для создания беспроводного соединения. Система соответствует стандарту IEEE 802.11 (скорость 1-2 Мбит/с, частота 2,4 ГГц). Это работает, следующим способом: подводный аппарат, передающий данные, использует сигнал Wi-Fi, в качестве модема используется одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi, который преобразует беспроводной сигнал в оптический (лазерный) и посылает свой сигнал на приемник на поверхности воды. За основу принципа легла технология Li-Fi (Light Fidelity) – технология, для кодирования информации, в осветительные приборы. Скорость распространения несложно посчитать по формуле:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{299\,792\,458 \text{ м/с}}{1.33} = 225\,407\,863 \text{ м/с} \quad (1)$$

Что, в свою очередь, в порядки больше акустической передачи информации (выигрыш в скорости и объеме передачи данных), однако имеются эффекты быстрого затухания из-за межмолекулярного взаимодействия жидкости и экранирующего эффекта солёной воды, что приводит к меньшей протяженности линий в отличии от акустической передачи информации.

В следующем разделе будет приведено сравнение компаний, занимающихся созданием средств для IoUT.

Water linked – одна из лидирующих компаний в мире по производству подводных сенсоров и создания экосистемы подводного интернета вещей. Основной продукт – подводный модем Modem M64 обеспечивает надежную акустическую линию связи между двумя подводными местоположениями, где пространство, вес или мощность ограничены. Данные передаются со скоростью 64 бит/с по надежной двусторонней полудуплексной акустической линии связи с частотами 31-250 кГц.

Popoto Modem – основной род деятельности компании – акустическая передача данных, связь устройств с программным обеспечением, а также цифровая обработка данных. Основные продукты – модемы серии Popoto обеспечивает надежную передачу данных при нескольких битрейтах, начиная с 80 бит/с до 5120 бит/с на расстоянии 1-2 км. [3]

UC&NL “Лаборатория подводной связи и навигации” — российский разработчик и производитель коммерчески доступных приборов и комплексов беспроводной навигации и связи под водой, применяемых в широком спектре подводных работ как водолазами, так и ТНПА/ АНПА. Основные продукты – гидроакустический микромодем uWave. Устройство позволяет обеспечивать гидроакустическую цифровую связь между 20 абонентами в радиусе до 1000 метров со скоростью передачи 70бит/с, используя кодовый режим и режим прозрачного канала. Чрезвычайно малый размер 41 x 45 мм, низкое энергопотребление и простота использования делают uWAVE идеальным решением для управления AUV, а также передачи данных.

EvoLogics - Подводные акустические модемы EvoLogics обеспечивают полнодуплексную цифровую связь с использованием запатентованной технологии S2C (Sweep-Spread Carrier), обеспечивая отличную производительность, устойчивую к вызовам динамической подводной среды. Основные продукты – подводные акустические модемы S2C M 30/60 Подводные акустические модемы 30/60 и приемопередатчики USBL с почти полусферической диаграммой направленности преобразователя являются высокоскоростными устройствами для эффективной передачи в реверберационных водах, обеспечивая скорость передачи данных до 31,2 кбит/с в диапазоне 1000 м. [1]

Develogic Subsea Systems - немецкая компания, основанная в 2000 году с акцентом на разработку и производство индивидуальных решений для сбора данных и телеметрии "под ключ" для морского мониторинга. Основные продукты – НАМ.BASE, гидроакустический модем. Является мощной и надежной подводной системой связи. Он разработан для удовлетворения требований исследований и разведки, установленных в различных проектах подводной связи. Благодаря гибким задачам модуляции и кодирования, разнообразию доступных преобразователей в различных частотных диапазонах 40-65 кГц, высокой максимальной мощности передачи 10 кбит/с. [2]

Оптический подводный модем DeepLight - Миниатюрные энергопотребление и габариты — 100 мА, Ф40х45 мм, передача пользовательских данных со скоростью 4800 бит/с на расстояниях до 10 метров в режиме прозрачного канала

(текущая версия; планируется существенное увеличение скоростей и дистанций), диаграмма направленности — полусфера, максимальная рабочая глубина — до 1000 метров, простая интеграция при помощи последовательного интерфейса UART

Также на таблице 1 приведён сравнительный анализ устройств

Табл. 1. Сравнительный анализ устройств для IoUT. [5]

Производитель	Модем	Полоса, кГц	Потребляемая мощность, Вт	Дальность, км	Скорость передачи	Буфер данных	Максимальная глубина
Water Linked	Modem M64	31-250	2,6	0,2	64 бит/с	1 Мб	200 м
Popoto Modem	S100RP	20-40	20	1-2	80-9000 бит/с	N/A	100 м
	S1000RP	20-40	20	1-4	80-9000 бит/с	N/A	2000 м
UC&NL	uWave	10-30	1-6	1	70 бит/с	127 байт	300 м
	uWAVE Max	5-20	1-10	3	80 бит/с	127 байт	400 м
EvoLogics	S2C M 30/60	30-60	10	1	31 кбит/с	1 Мб	200 м
	18/34H	18-34	7	3,5	14 кбит/с	1 Мб	200 м
	15/27	15-27	10	6	9,2 кбит/с	1 Мб	200 м
Develogic Subsea Systems	HAM.BAS E	40-65	100	1,2	10 кбит/с	N/A	6000 м
Оптический подводный модем DeepLight	DeepLight	N/A	20-100	0,01	4800 бит/с	N/A	1000 м

Для ускорения и удешевления процесса создания ПО нашей проектной группой было решено применить к задаче симулятор подводной техники и подводной связи.

Ознакомившись с литературой и тщательно проанализировав информацию, было выделено несколько различных симуляторов. Опорными в нашем конечном выборе было 3 критерия: Открытость симулятора, наличия моделирования беспроводной передачи данных (как следствие совместная работа устройств), а также относительная простота, чтобы на изучение симулятора

не ушло больше времени, чем написание основного кода для работы системы. Применяв эти критерии, можно выделить 3 симулятора:

Первый симулятор **UUV-simulator**. Построен на базе ROS, модуля Gazebo. позволяет моделировать различные датчики, и средства связи подводных аппаратов интерфейс интегрирован в Gazebo.

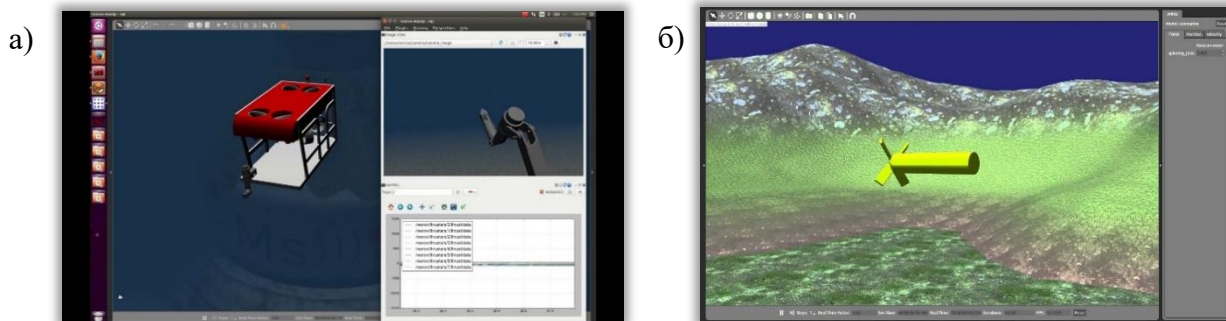


Рис. 2. Скриншоты симулятора UUV-Simulator: а) программный функционал; б) одиночная миссия анпа

HoloOcean – симулятор, являющийся модификацией к симулятору холодек, написан на C++, на движке Unreal Engine 4, имеет достаточно большой API на языке пайтон и красивую визуализацию. Но как красив бы он не был он находится в пререлизной версии, поэтому о стабильности остаётся только гадать.

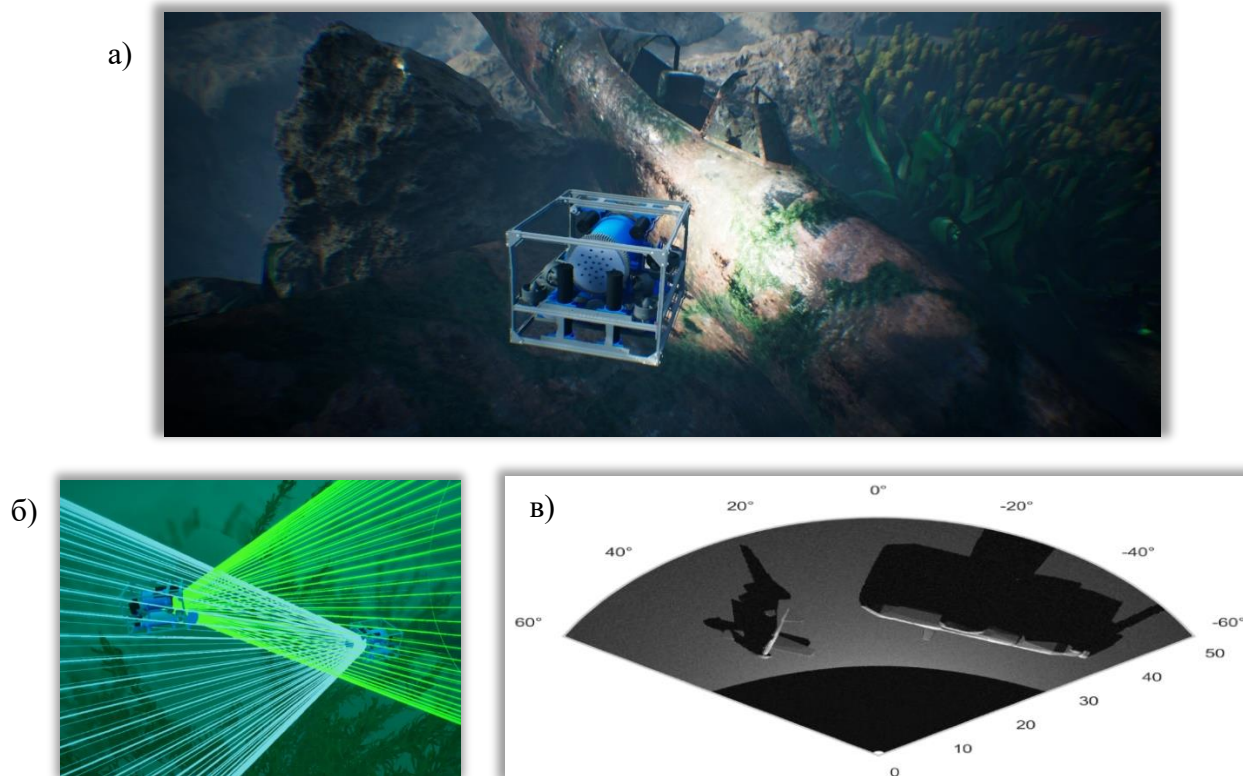


Рис. 3. Скриншоты симулятора HoloOcean: а) вид в самом симуляторе; б) коммуникация роботов в подводном пространстве; в) вид с эхолота

UWSim – передовой на данный симулятор, как и UUV simulator является отдельным модулем для ROS. На него нашлось больше всего информации, сам симулятор имеет поддержку, возможность расширения и отвечает требованиям нашей научно-исследовательской работы.

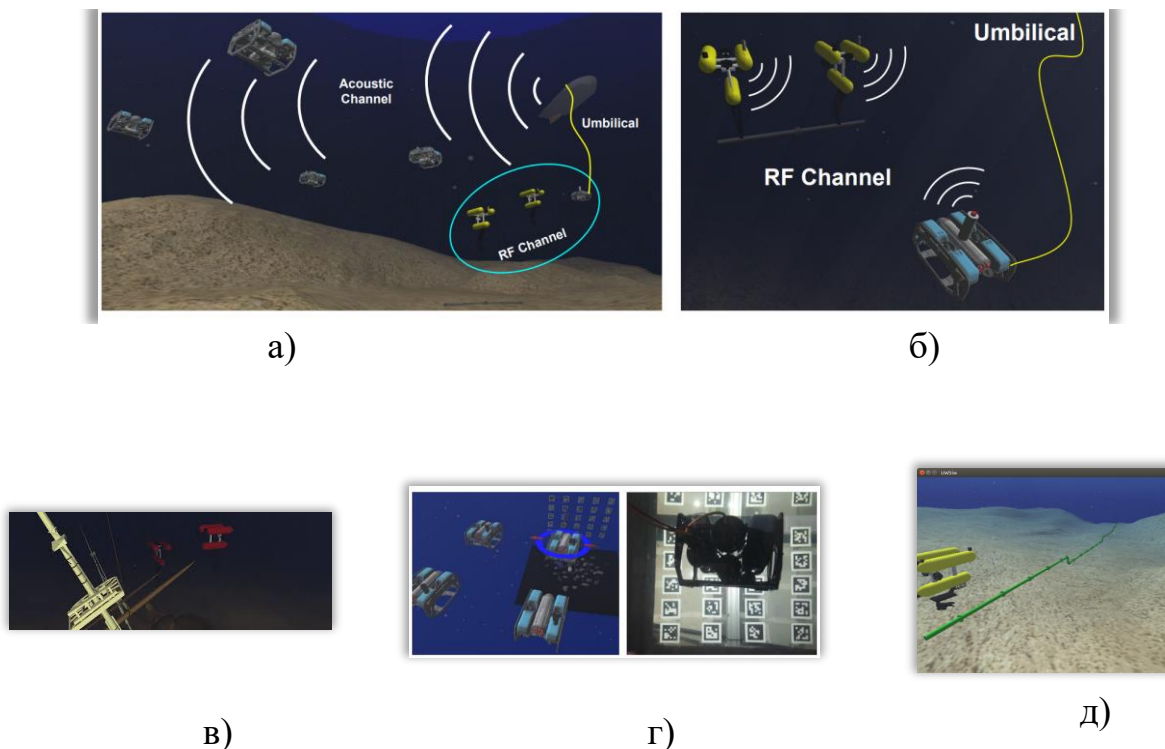


Рис. 4. Скриншоты и схемы симулятора UWSim: а)связь IoUT устройств в UWSim б)связь в UWSim в)совместная миссия у затопленного корабля г)совместная миссия связанная с распознаванием QR-кодов д)движение вдоль магистрали

Заключение. Акустический метод, подходит для передачи данных на большие расстояния и там, где другие линии передачи не работают.

Но при этом есть и существенные недостатки. Количество текстовых данных (около 90 символов) и скорость (около 100 бит/с) малы. Для передачи нужны специфические излучатели и приемники.

Оптический метод, подходит для работы на коротких расстояниях и может передавать со скоростью до 1 Мбит/с, данные размером до 1 гигабайта. Основная проблема заключается в оборудовании и правильности его работы с лазером под водой. Лучшее для лазера подходит голубой диод, у него самый низкий коэффициент поглощения в воде. Также нужно решить проблему сближения луча.

Начата работа с программным обеспечением, а также подобраны основные компоненты системы

Список использованных источников

1. Обзор ГА модемов H. S. Dol, P. Casari, T. van der Zwan, and R.Otnes, ‘Software-Defined Underwater Acoustic Modems: Historical Review and the NILUS Approach’, IEEE J. Oceanic Eng., vol. 42, no. 3, pp. 722–737, Jul. 2017, doi: 10.1109/JOE.2016.2598412.
2. H. Luo, K. Wu, R. Ruby, Y. Liang, Z. Guo, and L. M. Ni, ‘Software-Defined Architectures and Technologies for Underwater Wireless Sensor Networks: A Survey’, IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 20, no. 4, pp.2855–2888, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2842060.
3. Wireless Remote Control for Underwater Vehicles J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 736; doi:10.3390/jmse8100736. <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/10/736/pdf>
4. PERFORMANCE ASSESSMENT OF UNDERWATER ACOUSTIC MODEMS OPERATING SIMULTANEOUSLY AT DIFFERENT FREQUENCIES IN THE PRESENCE OF BACKGROUND IMPULSIVE NOISE EMITTED BY A SPARKER
5. Вершинин А.С. Экспериментальная оценка скорости передачи данных макета гидроакустического модема // Труды СПИИРАН. 2016. Вып.46. С. 40-48. УДК 621.371.3
6. D. Centelles, A. Soriano-Asensi, J. V. Martí, R. Marín, and P. J. Sanz, ‘Underwater Wireless Communications for Cooperative Robotics with UWSim-NET’, Applied Sciences, vol. 9, no. 17, p. 3526, Aug. 2019, doi: 10.3390/app9173526.
7. J. Perez, J. Sales, M. Prats, Joe V. Martí, D. Fornas, R. Martín and Pedro J.Sanz. Underwater Simulator UWSim. Benchmarking Capabilities on Autonomous Grasping, IRS Lab, Jaume I University, Castellon, Spain, The

УДК 681.5.013

Голод К.Д., студент кафедры ИУТС

Крамарь В.А., доктор техн. наук, профессор кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МИНИ БЕСПИЛОТНОГО АППАРАТА

Беспилотный летательный аппарат — летательный аппарат без экипажа на борту. БЛА могут обладать разной степенью автономности — от управляемых дистанционно до полностью автоматических. Исследование сложных объектов управления, к которым относятся БЛА обычно проводятся либо с помощью специализированных пакетов, либо с помощью симуляторов, которые позволяют визуализировать выполнение БЛА разработанных алгоритмов на основе их математических моделей. Следует различать указанные симуляторы и симуляторы для получения опыта пилотирования. Последние симуляторы являются наиболее распространенными, но они не позволяют проводить исследования по разработанным математическим моделям. подавляющее большинство распространяемых симуляторов имеет ограниченный функционал, закрытый исходный код, что не позволяет изучать существующую математическую модель БЛА, не позволяет вносить в нее изменения. Так же ПО имеет ограниченный список возможности выбора параметров БЛА, т.е. в нем нет возможности добавить свою конфигурацию БЛА.

В связи с этим, остро возникает задача построения собственных симуляторов, позволяющих моделировать собственные конфигурации БЛА и их математические модели.

Основой проектирования БЛА как и другого сложного объекта является разработка его системы управления и соответствующей архитектуры программного обеспечения.

Архитектура программного обеспечения БЛА имеет вид, представленный на рис.1

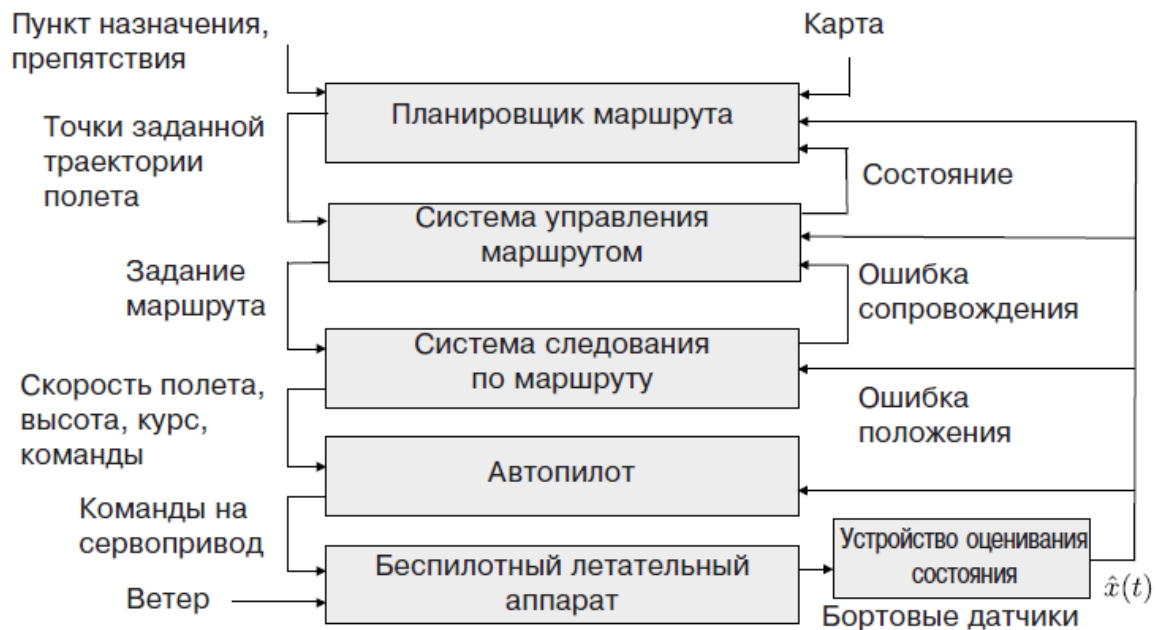


Рис. 1. – Архитектура системы

Рассмотрим возможности симуляции полета БЛА с помощью моделирования его в Matlab Simulink. В исследовании динамики летательного аппарата и его управления важно иметь возможность визуализировать движение планера. В исследовании динамики летательного аппарата и его управления важно иметь возможность визуализировать движение планера. В настоящем разделе будет описано, как в Matlab/Simulink создавать анимации.

Когда в Matlab вызывается графическая функция, такая, например, как `plot`, функция возвращает дескриптор к этому графику. Графический дескриптор аналогичен указателю в C/C++ в том смысле, что ко всем свойствам графика есть доступ через дескриптор. Например, команда Matlab

```
>> plot_handle = plot(t, sin(t))
```

возвращает указатель или дескриптор к графику $\sin(t)$. Используя дескриптор, можно изменить свойства графика, вместо того чтобы повторно использовать команду `plot`. Например, команда Matlab

```
>> set(plot_handle, 'YData', cos(t))
```

меняет график на $\cos(t)$, не перерисовывая осей, не меняя заголовка, меток и прочих объектов, которые могут быть связаны с графиком. Если график содержит рисунки нескольких объектов, то дескриптор может быть связан с каждым из них.

Можно использовать это свойство для анимации в Simulink моделирования путем повторного создания рисунка только тех частей анимации, которые меняются во времени, тем самым значительно сокращая время моделирования.

Первый шаг в анимационном процессе состоит в маркировке точек летательного аппарата и определении их координат в связанной системе координат.

Конфигурация летательного аппарата задана углами Эйлера φ , θ и ψ , которые представляют углы крена, тангажа и рысканья соответственно, а p_n, p_e, p_d представляют положение на оси, направленной на север, восток и вниз соответственно. Точки на летательном аппарате могут быть повернуты и перемещены по прямой с помощью программы Matlab.

Все вышеописанное позволяет использовать данные наработки, как ядро симуляции и основной и уникальной функцией симулятора. Симуляция в реальном времени, без подключения дополнительных библиотек и ПО.

На рисунке 2 представлена конфигурация используемого БЛА.

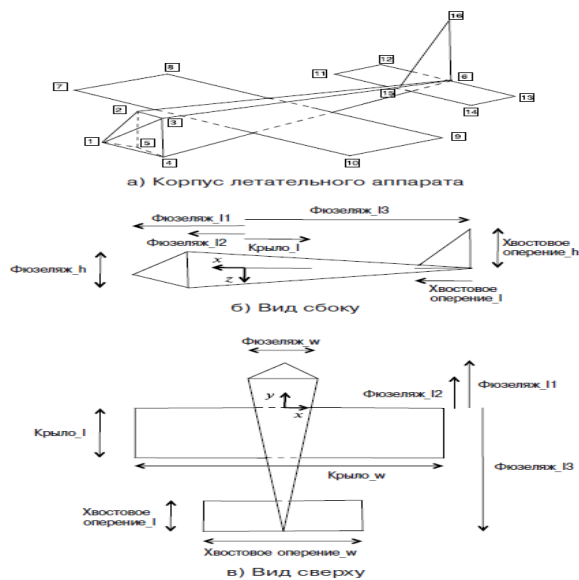


Рис. 2. – Конфигурация БЛА.

На рисунке 3 представлена графическая модель используемого БЛА в среде Simulink.

На рисунке 4 представлена Simulink схема используемого БЛА.

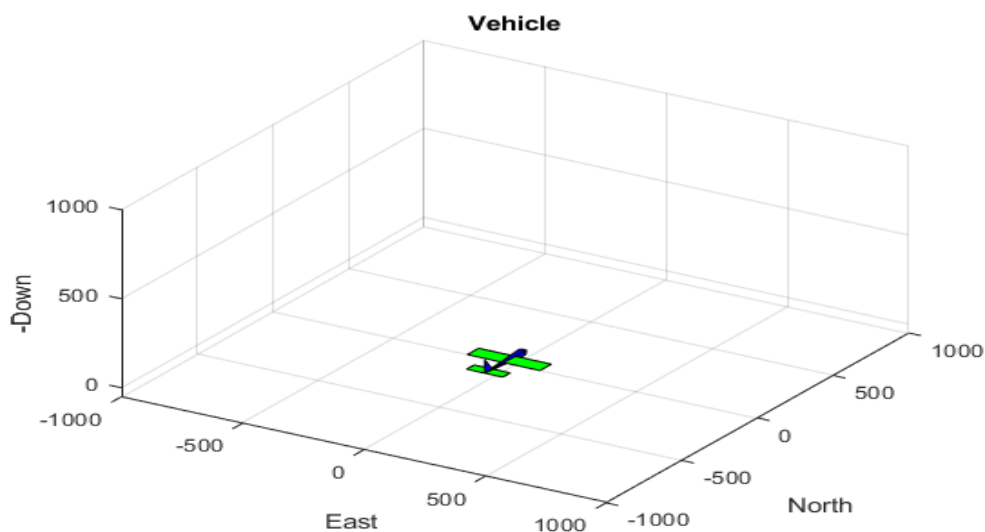


Рис. 3. – Графическая модель используемого БЛА в среде Simulink.

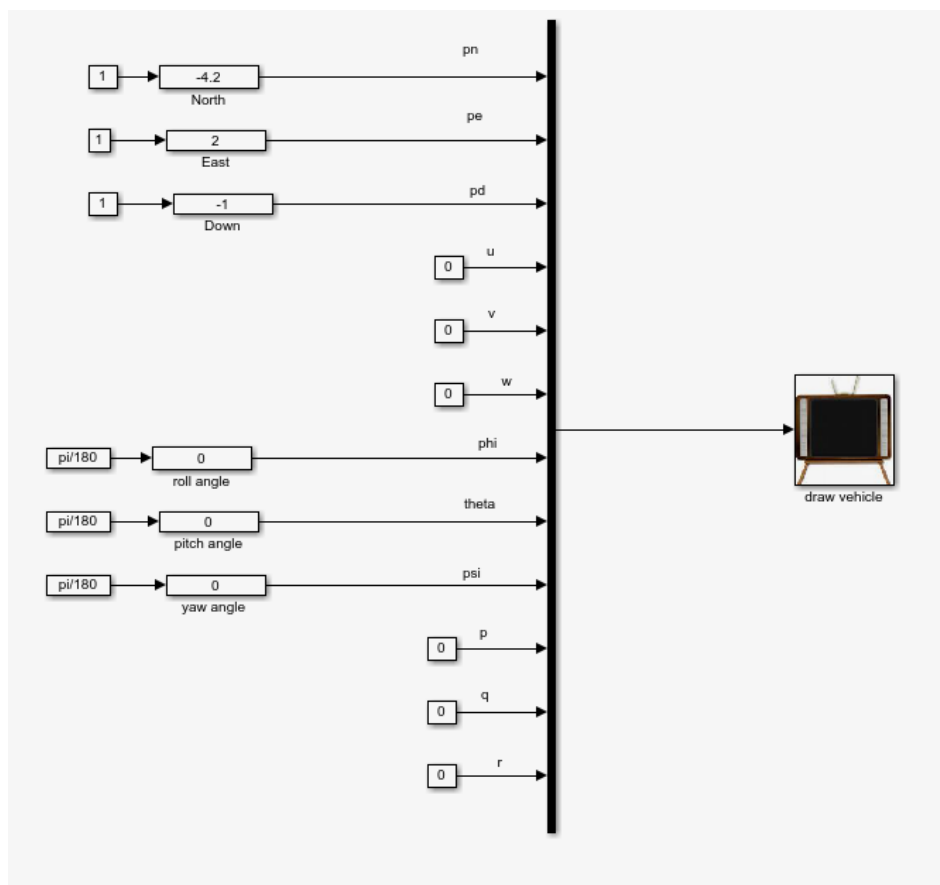


Рис. 4. – Simulink схема используемого БЛА.

Как видно на рисунке 4 на вход системы подаются 12 переменных состояния БЛА, что позволяет использовать данную схему, как ядро симулятора, т.е. добавлять любые блоки, в т.ч. математические модели для разных конфигураций БЛА, а также, блоки, описанные на рисунке 1. В будущем требуется реализовать математическую модель БЛА, блок оценки вектора состояний основанный на информации с датчиков БЛА, низкоуровневый автопилот, который позволит стабилизировать БЛА по крену и высоте.

Заключение. В конце статьи приводятся краткие результаты и выводы, а также обозначаются направления дальнейших исследований. После чего приводится список использованных источников.

Список использованных источников

1. M. Rauw, FDC 1.2 - A SIMULINK Toolbox for Flight Dynamics and Control Analysis, February 1998. Available at <http://dutchroll.sourceforge.net/fdc.html>.
2. R. C. Nelson, Flight Stability and Automatic Control. Boston, MA: McGraw-Hill, 2nd ed., 1998.
3. J.-C. Latombe, Robot Motion Planning. Dordrecht, Neth.: Kluwer Academic Publishers, 1991.

УДК 681.518.3

Кузьменко В.В., магистр

Скороход Б.А., д.т.н., профессор – научный руководитель

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

vitalivkuzmenk@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ МОНОКУЛЯРНОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

1. Постановка задачи

Задача позиционирования различных объектов в неизвестном окружении является одной из наиболее важных в области разработки интеллектуальных систем различного назначения. Известны различные подходы к ее решению. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию одного из таких подходов, основанных на комплексировании информации поступающей от монокулярной видеокамеры и датчика GPS, установленных на объекте [1, 2]. Предполагается, что относительное положение систем координат, связанных с видеокамерой и датчиком GPS известно и требуется определить линейные и угловые перемещения камеры. Алгоритмы обработки изображений позволяют оценить линейные перемещения с точностью до масштабирующего множителя и углы поворота камеры относительно их начального положения, а GPS оценить ее линейные перемещения в метрической системе координат.

2. Алгоритм визуальной монокулярной одометрии

Алгоритм обработки, поступающих изображений в задаче визуальной монокулярной одометрии включает следующие шаги:

1. Получение кадра (I_n);
2. Обнаружение ключевых точек;
3. Получение следующего кадра (I_{n+1});
4. Сопоставление наборов ключевых точек;
5. Анализ перемещения камеры (построение траектории движения камеры).
6. Преобразование линейных перемещений камеры в метрическую систему координат.

Входные данные представляют собой набор изображений - $\{I_0, \dots, I_n\}$ и 3D координаты упорядоченной последовательности координат местоположения датчика GPS. Моменты их получения синхронизированы с соответствующими моментами получения изображений.

Перемещение объекта в интервале $[n_{n-1}, n_{n-1}]$ можно описать с помощью матрицы трансформации:

$$T_{n-1,n} = \begin{bmatrix} R_{n-1,n} & t_{n-1,n} & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где $R_{n-1,n}$ – матрица поворота, $t_{n-1,n}$ – вектор смещения. Трансформацию позиций камеры в различные моменты времени можно представить в виде $\{C_0, \dots, C_n\}$, где $C_n = C_{n-1}T_n$.

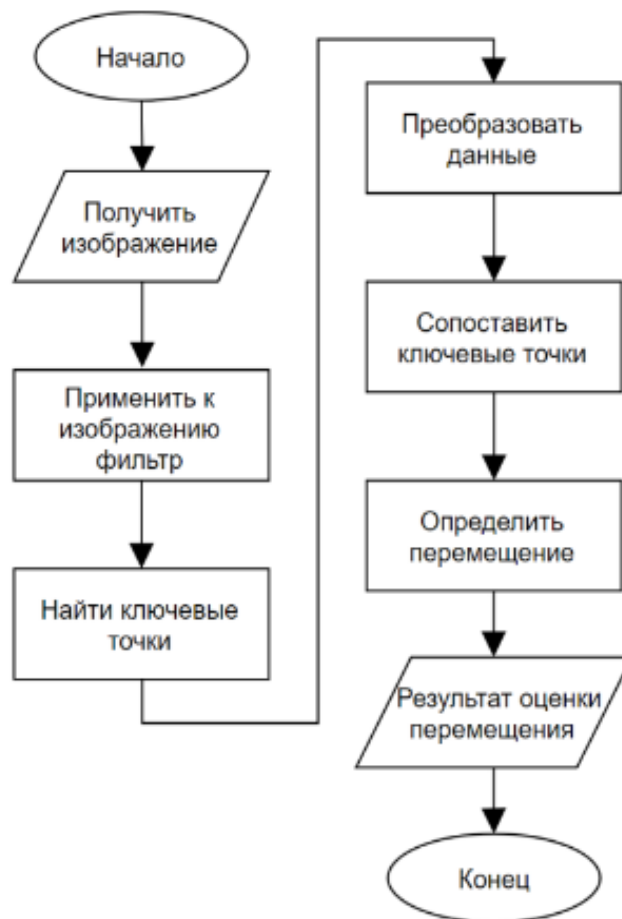


Рис.1. – Функциональная схема алгоритма

3. Моделирование на реальных данных

Для тестирования алгоритма использовались входные данные KITTI [3], которые представляют собой набор изображений с камеры и данные о фактическом передвижении автомобиля (первый кадр видеоизображения показан на рисунке 2). На рисунках 2-4 показаны изображения с обнаруженными ключевыми точками. Для оценки работы алгоритма сравниваются траектория движения объекта, которая была получена с использованием визуальной одометрии, и траектория, полученная, используя данные с системы GPS.

На рисунках 5-6 показаны траектории (фактические и построенные с помощью визуальной одометрии) движения для двух различных маршрутов. Видно, что фактическая траектория и полученная траектория отличаются и ошибка может достигать 10 м.



Рис.2. – Первый кадр из последовательности изображений



Рис.3. – Ключевые точки на первой кадре последовательности изображений



Рис.4. – Ключевые точки на последовательности кадров

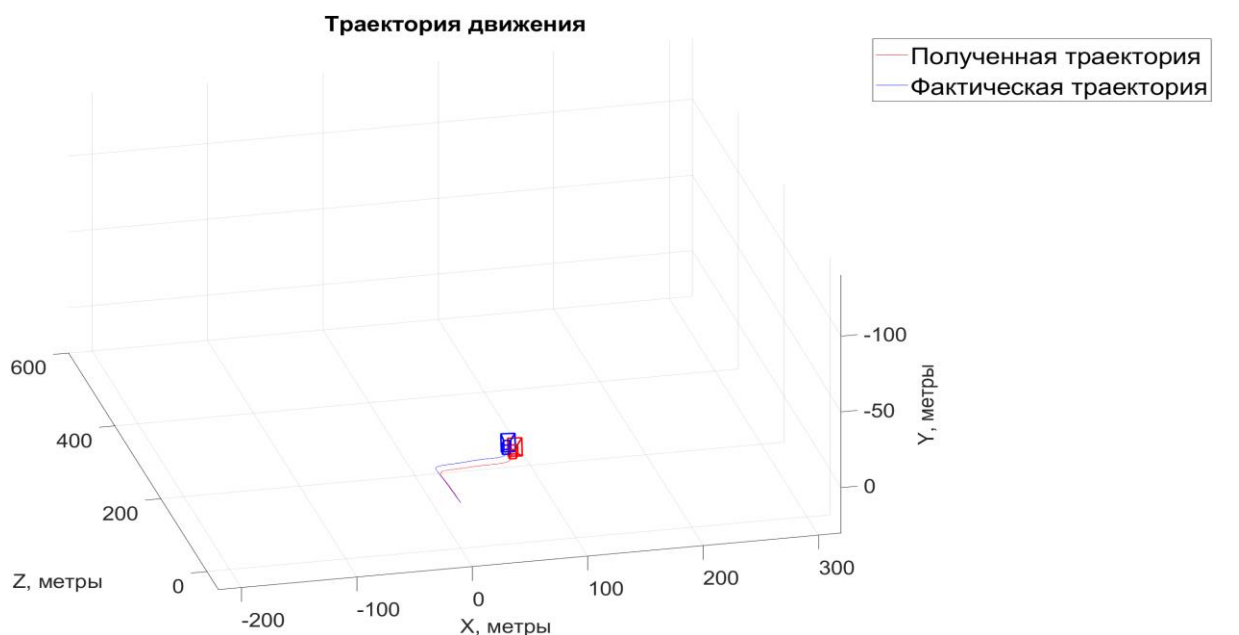


Рис.5. – Визуальное представление траекторий при моделировании

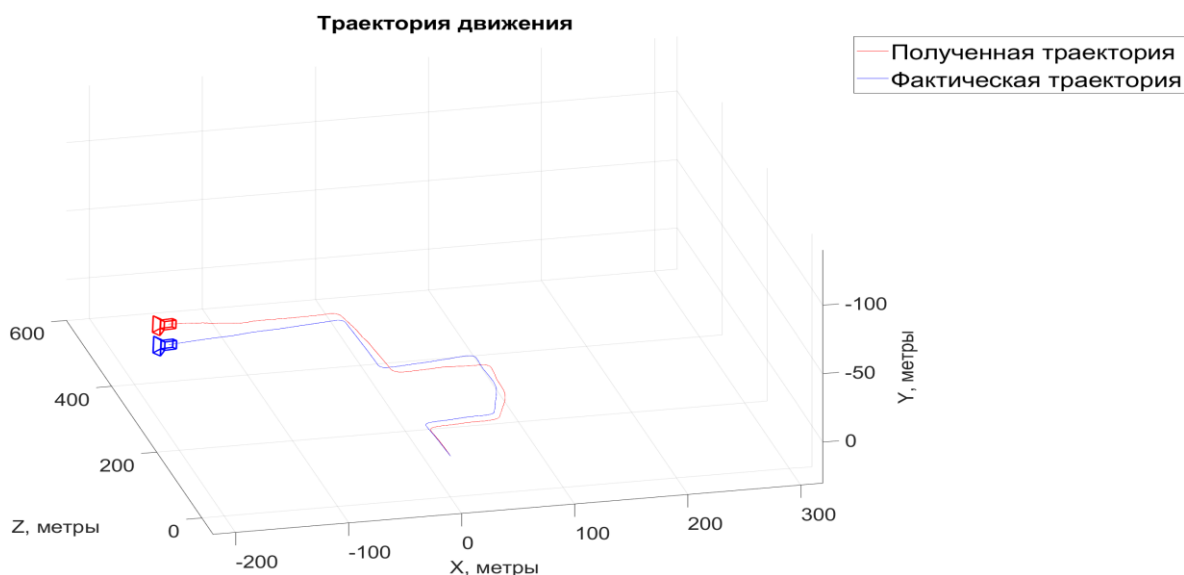


Рис.6. – Визуальное представление траекторий

Список использованных источников

1. D. Scaramuzza and F. Fraundorfer, "Visual Odometry [Tutorial]," in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 18, no. 4, pp. 80-92, Dec. 2011, doi: 10.1109/MRA.2011.943233.
2. Монокулярная визуальная одометрия [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.exponenta.ru/vision/ug/monocular-visual-odometry.html>
3. Набор входных данных «KITTI Dataset» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/>
4. Официальная документация Matlab [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mathworks.com/>

ББК: 30в6 УДК 004.4

Гладышев М.Д., младший научный сотрудник ЦКП «ПТЭиР»

Тамков П.И., младший научный сотрудник ЦКП «ПТЭиР»

Вильданов Э.М., инженер ЦКП «ПТЭиР»

Кондюков А.А., инженер ЦКП «ПТЭиР»

Алиагаев А.Р., младший научный сотрудник ЦКП «ПТЭиР» (научный руководитель)

Астраханский государственный университет

г. Астрахань, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ КОНТУРНОГО КОНТРАСТА В РАБОТЕ ТНПА «SMELCOM ROV»

В ходе создания, а также последующей эксплуатации ТНПА малого класса – «SMELCOM ROV» выявились особенности, связанные с отображением фото и видео материалов, показываемые на наземной станции управления. Особая черта заключается – в малой дистанции восприятия подводного окружения. При этом стоит учитывать, что Астраханская область имеет несколько сотен малых, больших и средних водных бассейнов на своей территории, в каждом из которых сохраняются условия малой видимости, позволяющие различать и определять лишь окружение на расстояниях от 30 до 50 см. Для повышения дистанции восприятия окружения, а также улучшения картинки, передаваемой на рабочую станцию управления, были задействованы различные программно-математические алгоритмы, затрагивающие различные аспекты и особенности обработки изображения. Но в данном случае многие методики нашли свое применение в обработке видео сигнала, поступающего с аппарата. В данной статье речь пойдет о работе с контурным контрастом изображения, в рамках работы с ТНПА малого класса.

На сегодняшний день, в качестве основных средств получения данных из-под воды, и понимания подводного окружения, в своем большинстве, является видеокамера, устанавливаемая на борту ТНПА различных классов. Но с учетом того, что существуют различные условия эксплуатации, при которых проходят подводные работы, и в большинстве из них дальность видимости может составлять до 50-60 см. (Рис. 1) в лучшем случае, то необходимы различные средства или же методы, позволяющие улучшить общую ситуацию по распознаванию подводной обстановки. В качестве одной из альтернатив, позволяющих улучшить распознавание под водой, не внося изменения в конструкцию аппарата является – внедрение различных программно-математических алгоритмов обработки видео потока изображений.

С точки зрения использования различных средств цифровой обработки получаемых потоков изображения, можно выделить следующие базовые инструменты: работа с длинной выдержкой, высокая / низкая ISO, использование нескольких вариантов фокусировки или же использование особенностей объек-

тива, все они по своему хороши в определенных ситуациях, но для использования в повседневных условиях, не слишком соответствуют необходимым требованиям, предъявляемым для использования в ТНПА различных категорий.

Пример получаемого изображения с камеры аппарата, в условиях запуска его в речных условиях, представлен на рис. 1.



Рис.1. - Изображение с камеры аппарата в речных условиях

В данной же статье пойдет речь о таком инструменте, как резкость. Резкость изображения напрямую зависит от таких параметров, как разрешающая способность используемого оптического устройства, и включающего в себя еще два типа расширения – угловое расширение – минимальная дистанция между наблюдаемыми распознаваемыми объектами, за которыми ведется обзор, и непосредственно - линейное разрешение – выражающее минимальное расстояние между наблюдаемыми различаемыми объектами. Помимо этого, необходимо не забывать о контурной резкости, которая отвечает за контрастность отображаемых объектов, вдоль границ объектов.

Для достижения требуемых результатов – обеспечение хорошей видимости на расстояниях более 1 м. в ТНПА SMELCOM ROV был применен программно-математический алгоритм, обеспечивающий обработку фото и видео материалов, поступающих на наземную станцию – прием нерезкого маскирования. В действительности он используется для увеличения резкости отображаемого изображения. Описываемый инструмент необходим для подчеркивания различных текстур и деталей отображаемых объектов. Данный алгоритм используется в работе ТНПА в качестве дополнительного средства обработки постигаемых данных.

Используемый фильтр – нерезкого маскирования (Unsharp Mask) анализирует изображение пиксел за пикселем, в связи с этим накладываются некоторые ограничения на быстродействие алгоритма в связи с техническим оснащением. Алгоритм программы отыскивает определенные уровни контраста

между соседними пикселями, воспринимаемые как края, после чего, согласно заданными параметрами, производится увеличение контраста между выбранными областями [1].

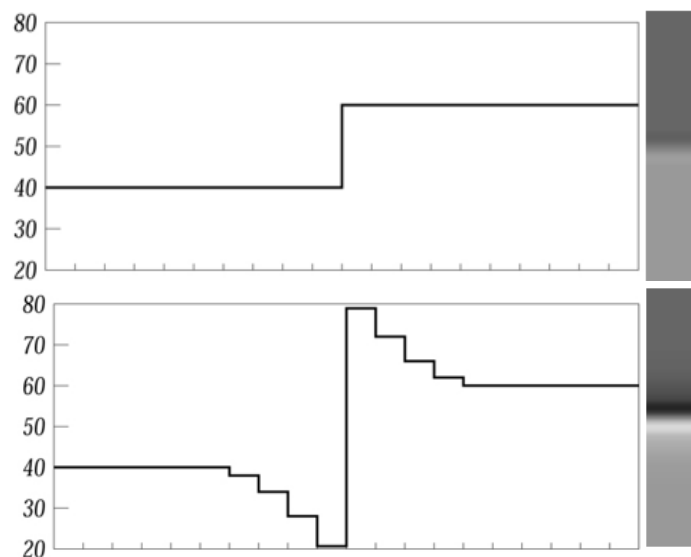


Рис. 2. - Пример повышения контурного контраста

Рассматривая же вопрос принципа работы алгоритма то, фильтр Unsharp Mask работает по следующему принципу: обозначим наше исходное изображение, как $f(x, y)$, тогда, размытая копия его рис. 3 будет являться $\bar{f}(x, y)$.



Рис. 3. – Размытая копия изображения

Отсюда можно получить следующее выражение, характерное для создания промежуточного результата работы алгоритма:

$$f(x, y) - \bar{f}(x, y) = f_m(x, y) \quad (1)$$

Выражающееся в получении изображения краёв нерезкого маскирования рис. 4. После чего необходимо проделать аналогичную операцию, но уже с участием исходного изображения, и полученного результата.

Выражается это формулой:

$$f(x, y) + f_m(x, y) = f_s(x, y) \quad (2)$$

где $f_s(x, y)$ – является итоговым результатом работы алгоритма рис. 5.

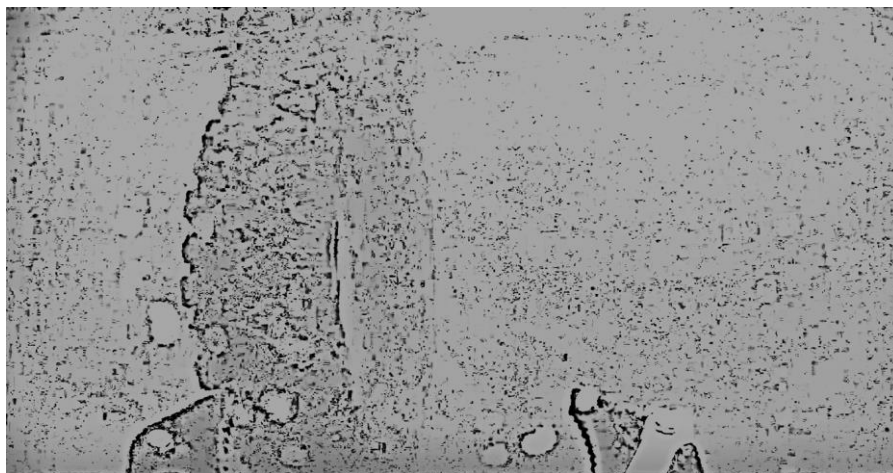


Рис. 4. - Промежуточные результат работы фильтр Unsharp Mask

Как видно из результата работы представленного алгоритма, некоторые из зон получили более явные контуры. Но в данном примере мелкодисперсные частицы, располагающиеся вблизи передней колбы, получили явно выраженный вид. Подобное исправляется вторым алгоритмом – выравнивание гистограммы изображения. После применения 2-ух последовательно идущих алгоритмов получаемое изображение становится значительно лучше на восприятие, со стороны оператора ТНПА.



Рис. 5. - Итоговый результат работы алгоритма

Список использованных источников

1. Голуб, Ю. И. Оценка контраста цифрового изображения на базе параметров распределения Вейбулла / Ю. И. Голуб, Ф. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 2. – С. 4-13.
2. Кон, В. Г. Компьютерный анализ двумерных изображений в методе фазового контраста Цернике для жестких рентгеновских лучей / В. Г. Кон, М. А. Орлов // Кристаллография. – 2012. – Т. 57. – № 5. – С. 756.
3. Бондарко, В. М. Обнаружение линий с отличающимся контрастом или ориентацией среди аналогичных изображений / В. М. Бондарко, В. Н. Чихман // Сенсорные системы. – 2007. – Т. 21. – № 1. – С. 3-9.
4. Категоризация изображений на основе цветовых контрастов / Г. И. Борзунов, А. В. Фирсов, А. Н. Новиков, В. В. Иванов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 4(394). – С. 164-167.
5. Бахрушина, Г. И. Программная реализация многоуровневого обратимого алгоритма сокрытия данных в изображениях, основанного на модификации гистограммы разностных изображений / Г. И. Бахрушина, А. Д. Князев, А. П. Бахрушин // Ученые заметки ТОГУ. – 2019. – Т. 10. – № 4. – С. 109-119
6. Троцкий, Ф. С. Алгоритм быстрого вычисления локальных гистограмм изображения на видеокарте / Ф. С. Троцкий, Б. А. Залесский // Информатика. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 49-57.
7. Турлапов Вадим Евгеньевич / Обработка изображений. / LOBACHEVSKY UNIVERSITY / Information Technology, Mathematics & Mechanics (ITMM) institute Software & Supercomputing Technology department [Электронный ресурс] / http://www.graph.unn.ru/rus/materials/CG/CG03_ImageProcessing.pdf / свободный. (дата обращения: 08.03.22).
8. "Contrast" study: comparison of nephroprotective three protocols: acetylcysteine-sodium bicarbonate-theophylline, to prevent contrast-induced nephropathy / I. M. Caglar, F. N. T. Caglar, C. Conkbayir [et al.] / Russian Journal of Cardiology. – 2014. – Vol. 19.
9. Prevention of Contrast Induced Acute Kidney Injury (CI-AKI) In Adult Patients / A. Lewington, R. Mactier, R. Hoefield [et al.] // Почки. – 2020. – Vol. 9. – No 1. – P. 58-60.

УДК 681.5.013

Ермаков И.А., студент кафедры ИУТС

Димин М.Э., студент кафедры ИУТС

Воробьева А.В., студент кафедры ИУТС

Кабанов А.А., канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

ermakovigorrov@gmail.com

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТНПА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В современном мире растет необходимость применения ресурсов, содержащихся в мировом океане. Добыча любых ресурсов, будь то минеральных или биологических, требует тщательной разведки и контроля мест добычи и запасов, а также обслуживания добывающей инфраструктуры. В связи с этим становится важным быстрое проведение исследовательских работ под водой, что возможно только с выполнением визуального осмотра с помощью технических средств. Так же согласно программе развития судостроения на 2013-2030 годы [1], России необходимо повысить конкурентоспособность судостроительной отрасли и занять ведущие позиции в освоении мирового океана, что невозможно без применения актуальных технических средств.

Одним из видов таких средств являются различного рода робототехнические комплексы: телеуправляемые и автономные необитаемые подводные аппараты (ТНПА и АНПА) обзорного класса. Такие аппараты способны проводить поиск залежей, различного рода исследования непосредственно мест вероятной добычи ресурсов, контроль других технических средств и хода добычи, а также выполнять иные работы, связанные с поиском, осмотром и исследованиями под водой.

В связи с этим есть необходимость на разработку новых аппаратов и поиск новых решений, способных повысить эффективность таких аппаратов. Одно из таких решений – снижение количества движителей. Но это ведет к уменьшению маневренности, скорости или массы полезной нагрузки.

Гипотеза разработки. Основопологающей идеей, лежавшей в начале разработки аппарата являлась идея применения распространенной в мобильной робототехнике компоновке расположения всенаправленных колес под углом 60 градусов друг к другу (т.н. Y-компоновка) (рис. 1). Такое расположение колес в мобильных роботах позволяет перемещаться роботам по всем горизонтальным осям (Y, X и ϕ) совмещая скорости (вектора сил) колес.

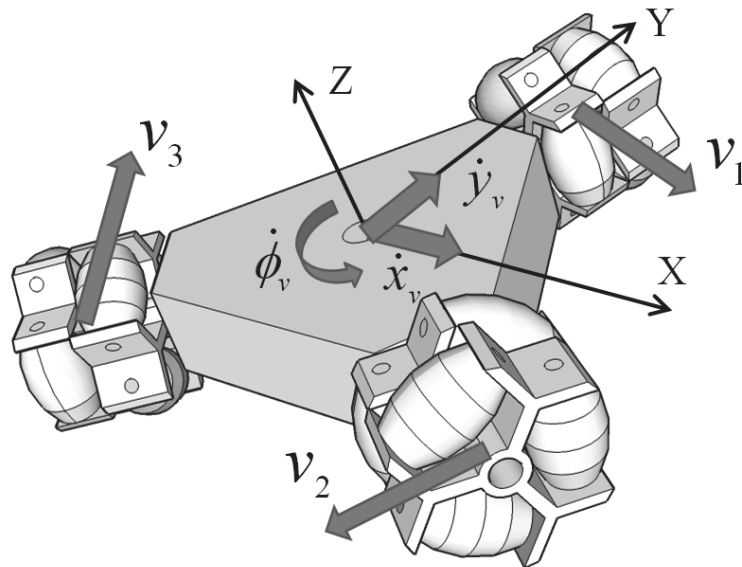


Рис. 1. – колесная база на трех всенаправленных колесах

Переложение этой идеи на подводные аппараты предполагает следующее:

- Управляемость по шести степеням свободы за счет 6 движителей расположенные двумя группами по три движителя для вертикального и горизонтального движения на трех осях, отстоящих на 120 градусов относительно друг друга (рис. 2).
- Улучшение эффективности работы с грузами на манипуляторе за счет перемещения центра тяжести из центра продольного габарита аппарата к его передней части, в которой располагается схват, работающий с грузами
- Такая компоновка является вариацией векторных компоновок, а следовательно, согласно [2], будет обладать большей отказоустойчивостью.

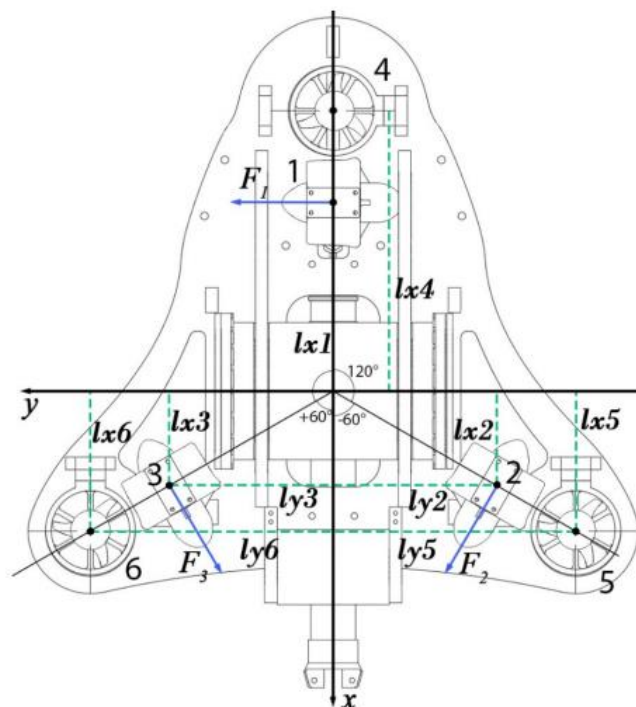


Рис. 2. – схема аппарата с предложенной компоновкой, вид сверху

Реализация. Для проверки гипотезы было решено реализовать прототип аппарата с применением Y-компоновки, так появился на свет аппарат SevROV (рис. 3).

Данный аппарат послужил практическим доказательством жизнеспособности гипотезы и доказал обе заложенные идеи, показав возможность управления по 6 степени степеням свободы и отличные показатели грузоподъемности. Аппарат мог работать с грузами до 3 килограмм при суммарном вертикальном упоре 4.5 кгс, тогда как аппараты с 4 подъемными двигателями и вертикальным упором 6 кгс исполненные по классическим схемам, могли показать грузоподъемность на уровне 1 кг в равных условиях.

Успех испытаний прототипа показал перспективность подобных аппаратов и поэтому мы решили развивать эту идею. Первым шагом стала подача патента на полезную модель ТНПА с Y-компоновкой [3]. Далее был разработан более совершенный аппарат с подобной компоновкой, способный уже работать в реальных условиях. Новая версия оснащена более мощными двигателями, цифровой камерой, системой освещения и бортовым микрокомпьютером. Данные доработки увеличили мощность аппарата, расширили его применяемость и заложили в него возможность доработки в гибридный или автономный аппарат, что совпадает с современными трендами в подводной робототехнике.

Математическая модель. Дальнейшая работа по разработке ТНПА направлена на моделирование и синтез системы управления на основе математической модели.

Процесс создания модели кинематики для нашего ТНПА изложен в [4].

В общем виде модель динамики подводного аппарата выглядит следующим образом:

$$M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau_{вв} + \tau_{гд} + \tau_{движ}, \quad (1)$$

где:

$\tau_{вв}$ – матрица сил и моментов, создаваемых внешними воздействиями,

$\tau_{гд}$ – матрица гидродинамических сил и моментов,

$\tau_{движ}$ – матрица сил и моментов двигателей,

M_{RB} – матрица массы твердого тела и инерции аппарата,

C_{RB} – матрица силы Кориолиса твердого тела.

В первую очередь нас интересуют параметры матрицы сил гидродинамики $\tau_{гд}$ так как являются самыми сложными и наиболее важными для определения динамики аппарата. Эта матрица имеет следующий вид:

$$\tau_{гд} = -M_A\dot{v} - C_A(v)v - D(|v|)v - g(\eta), \quad (2)$$

где:

M_A – матрица присоединенных масс,

C_A – матрица силы Кориолиса присоединенных масс,

$D(|v|)$ – матрица демпфирования,

$g(\eta)$ – матрица сил гидростатики.

Здесь наибольшую важность и интерес представляют матрицы M_A и $D(|v|)$, так как они имеют наибольшее влияние на всю модель динамики.

Идентификация. Для составления точной модели ТНПА необходимо идентифицировать параметры матриц M_A и $D(|v|)$. Для идентификации мы решили использовать два подхода: идентификацию аналитическими методами и идентификацию методами вычислительной гидродинамики.

Аналитические методы заключаются в том, чтобы использовать для идентификации параметров простые геометрические фигуры (призма, цилиндр), вместо аппаратов сложной формы, а затем полученные для них результаты подогнать исходя из площадей проекций на плоскости, перпендикулярные основным осям аппарата. Для идентификации этими методами, при помощи САПР, в которых разрабатывался аппарат, подготовлены матрицы моментов инерции (таб. 1) и координаты центра масс (таб. 2).

Таблица 1 – моменты инерции ТНПА

Моменты инерции относительно центра масс, г·мм ²		Моменты инерции относительно центра вращения, г·мм ²	
Ixx	3,05E+08	Ixx	3,07E+08
Ixy	-2,36E+06	Ixy	-2,38E+06
Ixz	-4,36E+06	Ixz	-3,93E+06
Iyx	-2,36E+06	Iyx	-2,38E+06
Iyy	4,60E+08	Iyy	4,63E+08
Iyz	-5,24E+06	Iyz	-5,12E+06
Izx	-4,36E+06	Izx	-3,93E+06
Izy	-5,24E+06	Izy	-5,12E+06
Izz	6,50E+08	Izz	6,50E+08

Таблица 2 – моменты инерции ТНПА

Площади проекций, мм ²		
спереди	сбоку	сверху
1,32E+05	1,22E+05	2,22E+05

Далее при помощи методов, изложенных в стандартах DNV [5] были получены значения матриц M_A и $C_A(v)$ из уравнения (2) путем аппроксимации через прямоугольную призму:

$$M_A = \begin{bmatrix} 25.32 & 0 & 0 & 0 & 8.179 & 0 \\ 0 & 24.78 & 0 & -8.179 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30.79 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.179 & 0 & 1.264 & 0 & 0 \\ 8.179 & 0 & 0 & 0 & 1.361 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.706 \end{bmatrix}$$

$$C_A(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 30.79w & -24.78v \\ 0 & 0 & 0 & -30.79w & 0 & 25.32u \\ 0 & 0 & 0 & 24.78v & -25.32u & 0 \\ 0 & 30.79w & -24.78v & 0 & 1.706r & -1.361q \\ -30.79w & 0 & 25.32u & -1.706r & 0 & 1.264q \\ 24.78v & -25.32u & 0 & 1.361q & -1.264q & 0 \end{bmatrix}$$

Методы вычислительной гидродинамики основаны на приближенном решении уравнений Навье-Стокса. Уравнения Навье-Стокса для двухмерного несжимаемого потока могут быть записаны следующим образом

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{X}{\rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

(3а)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{Y}{\rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

(3б)

где:

P – статическое давление жидкости;

t – время;

u – скорость жидкости по направлению оси x ;

v – скорость жидкости по направлению оси y ;

x – ось координат;

X – сила воздействия тела на жидкость в направлении оси x ;

y – ось координат, перпендикулярна оси x ;

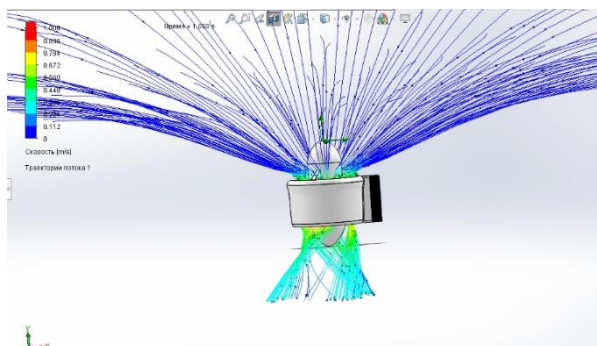
Y – сила воздействия тела на жидкость в направлении оси y ;

ρ – плотность жидкости;

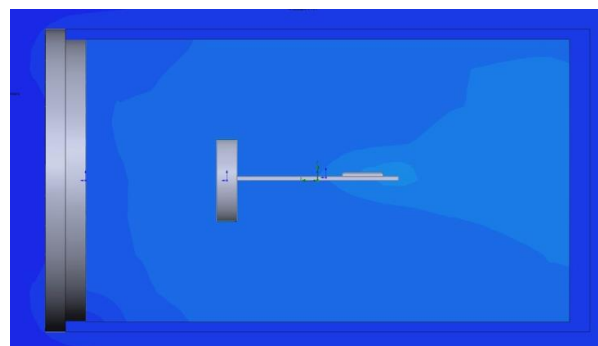
ν – кинематическая вязкость.

Из-за природы этих уравнений, вычислительная гидродинамика требует значительной вычислительной мощности. Из-за чего применение продвинутого вычислительного анализа было невозможным до недавнего времени.

На данный момент проводится работа по моделированию потоков движителей (рис. 3а), а также анализ распределения тепла, производимого электроникой в герметичном корпусе (рис. 3б)



(а)



(б)

Рис. 3 – симуляции средствами вычислительной гидродинамики

Заключение. В статье рассмотрена разработка малогабаритного и высокоманевренного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата обзорного класса. Разработанный аппарат создан с применением уникальной Y-компоновки.

В работе рассмотрены вопросы математического моделирования, а также идентификации математической модели для подводного аппарата.

Были получены некоторые параметры аналитическим путем, так же начата работа с средствами вычислительной гидродинамики.

Дальнейшая работа будет вестись по окончательной идентификации параметров математической модели методами вычислительной гидродинамики и

аналитическими методами. Затем будет производиться синтез системы управления ТНПА.

Список использованных источников

1. Минпромторг РФ // Развитие судостроения на 2013 – 2030 годы. [Электронный ресурс]. URL: http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/INFOGRAFIKA_GP_sudostroenie_small.pdf (Дата обращения 15.03.22).
2. Omerdic E., Roberts G. Thruster fault diagnosis and accommodation for open-frame underwater vehicles. Control Eng. Pract. 2004 С.1575–1598.
3. Подводный аппарат с Y-компоновкой движителей: пат. 209233 Рос. Федерация N 2021127924; заявл. 22.09.2021; опубл. 08.02.2022, Бюл. N4.
4. Kabanov A., Kramar V., Ermakov I. Design and Modeling of an Experimental ROV with Six Degrees of Freedom // Drones. 2021. Т. 5. № 4. С. 113.
5. DNV-RP-H103, 2010 Modelling and Analysis of Marine Operations, <https://exchange.dnv.com/publishing/Codes/download.asp?url=2010-04/rp-h103.pdf>, 25.09.2014.

УДК 681.5.013

Куликова Я.А., студентка кафедры ИУТС

Карапетьян В.А., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

*Севастопольский государственный университет,**г. Севастополь, Россия**karapetyan@sevsu.ru*

СИНТЕЗ САУ С КОМПЕНСАЦИЕЙ МЕЖКАНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ

Методы синтеза линейных стационарных SISO систем хорошо известны, проверены на практике и пользуются доверием проектировщиков. Чаще всего синтез таких систем основан на применении частотных и корневых методов (частотная коррекция, корневые годографы, PID-регуляторы и др.). Известно [1,2], что более 80% регуляторов в промышленных системах – это PID-регуляторы в непрерывной или дискретной реализации. Применение же классических методов синтеза для многомерных линейных стационарных (MIMO) САУ осложняется наличием статических и динамических перекрестных контуров управления. Это свойство MIMO-систем называют связностью (coupling) [3].

В MIMO-системах обычно для каждой управляемой переменной предполагается свой контур управления и отдельная компонента вектора управления. Однако взаимовлияние контуров управления в общем случае отрицательным образом сказывается на эффективности управления. Математически этот факт выражается в недиагональности матрицы передаточных функций или особых структурах матриц модели пространства состояний. Известны различные подходы, приемы, методы и алгоритмы ослабления связности (decoupling) контуров [1÷3], вплоть до идеальной компенсации взаимосвязей. Идеальная компенсация связей автоматически приводит структуру MIMO-системы управления к совокупности независимых SISO-систем, а это позволяет применять стандартные методы синтеза SISO-систем. Однако идеальной развязки каналов добиться удастся не всегда. В этом случае используются различные приемы ослабления межканальных связей. Различают также "развязывание" контуров в статических и динамических режимах работы САУ.

В задачах синтеза MIMO-систем управления широко применяются методы пространства состояний. Идея синтеза регуляторов в виде пропорциональной обратной связи по состоянию или выходу реализуется в качестве модального или LQ регулятора, часто в связке с наблюдателем. Эта же идея используется и для решения задачи компенсации взаимосвязей каналов в MIMO-системах.

Рассматривается линейный стационарный многомерный объект управления, заданный моделью пространства состояний:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad y(t) = Cx(t).$$

Предполагается, что размерности векторов управления u и выходов y совпадают. Пусть регулятор формируется в виде обратной связи по состоянию и с

предусилением в прямой цепи в форме $u(t)=Fx(t)+Gr(t)$ [3]. Здесь r – вектор задающих воздействий; матрица G – квадратная матрица предусиления; F – матрица обратных связей. Структура данной системы приведена на рис. 1.

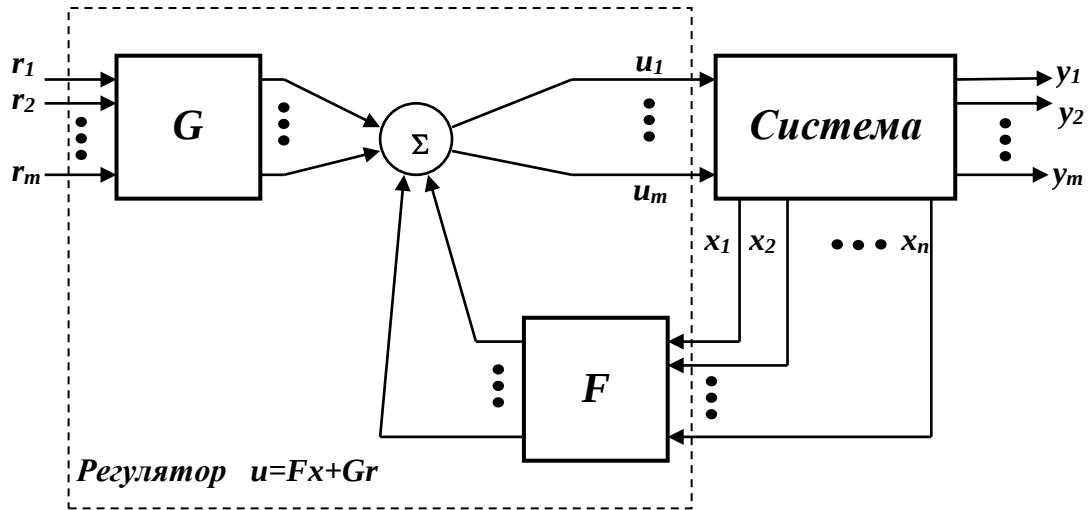


Рис. 1. – Структура системы с "развязыванием" каналов

Идеальная компенсация взаимосвязей каналов в виде $u(t)=Fx(t)+Gr(t)$ в данной системе возможна, если выбрать матрицы F и G специальным образом [3]. Сформируем квадратную матрица B^+ в виде:

$$B^+ = \begin{bmatrix} c_1 A^{d_1} B \\ c_2 A^{d_2} B \\ \dots\dots\dots \\ c_m A^{d_m} B \end{bmatrix}, \quad \text{здесь } c_i - i\text{-ая строка матрицы } C, \text{ а целые числа } d_i \text{ определяются из условий:}$$

$$d_i = \begin{cases} \min j : c_i A^j B \neq 0, & j = 0, 1, \dots, n-1; \\ n-1 & \text{если } c_i A^j B = 0 \text{ для всех } j. \end{cases}$$

В случае невырожденности матрицы B^+ реализация идеальной развязки возможна если матрица обратной связи F и матрица предусиления G находятся из следующих соотношений:

$$F = -(B^+)^{-1} A^+; \quad G = (B^+)^{-1}; \quad A^+ = colon[c_1 A^{d_1+1}, c_2 A^{d_2+1}, \dots, c_m A^{d_m+1}]. \quad (1)$$

В результате организации данной структуры регулятора матрица передаточных функций замкнутой системы $H(s)=C(sI-A-BF)^{-1}BG$ принимает диагональную форму $H(s)=diag(1/s^{d_1+1}, 1/s^{d_2+1}, \dots, 1/s^{d_m+1})$ в виде набора из m несвязанных идеальных интеграторов соответствующих порядков.

Организация внешних контуров обратных связей для каждого из этих независимых каналов позволяет, в частности, синтезировать PID-регуляторы и настраивать их параметры методами SISO-систем. Полностью развязанный квази-объект представлен на рис. 2 в виде диагональной матрицы передаточных функций из идеальных интеграторов различных порядков. Блок ПИД-регуляторов также представляет собой диагональную матрицу (рис. 2) с ПИД-регуляторами по каждому из m автономных контуров регулирования.

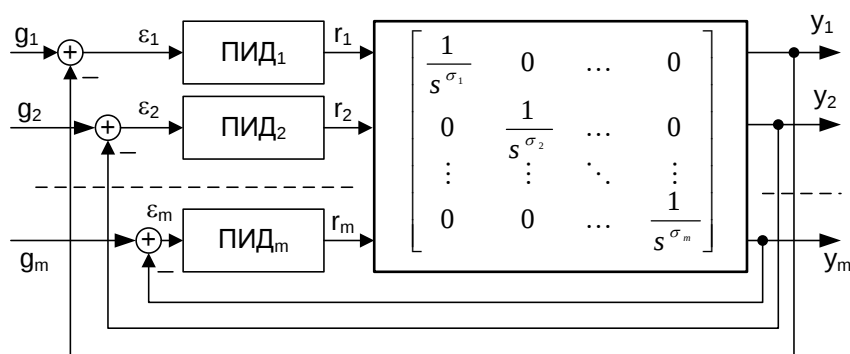


Рис. 2. – САУ с развязанным в динамике квази-объектом управления

Развязка в статике с использованием модели в пространстве состояний может выполняться несколькими способами. Один из таких способов иллюстрируется рис. 3. Здесь представлена САУ с регулятором в виде обратной связи по состоянию (матричный коэффициент K). Квадратная $m \times m$ матричная передаточная функция замкнутой системы имеет вид $\Phi(s) = C(sI - A + BK)^{-1}B$. Соотношение "вход/выход" от вектора задающего воздействия g до вектора выхода y можно записать так $y(s) = C(sI - A + BK)^{-1}B[C(-A + BK)^{-1}B]^{-1}g(s)$. В установившемся режиме при $t \rightarrow \infty$ ($s \rightarrow 0$) имеем

$$y(0) = C(0I - A + BK)^{-1}B[C(-A + BK)^{-1}B]^{-1}g(0) = g(0),$$

т.е. – полная развязка в статике.

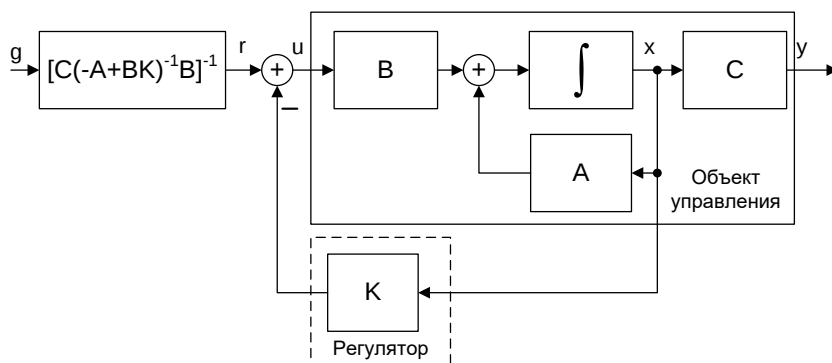


Рис. 3. – Пример схемы САУ с развязкой в статике

В документации Matlab [4] приведён пример (используется модель Simulink rc_helicopter) синтеза многоконтурного контроллера (ПИД-регулятора) в линеаризованной системе стабилизации движения вертолѐта (рис. 4). Для синтеза системы управления использованы функции slTuner и systune и инструментарий утилиты Control System Tuner. Внутренний контур управления обеспечивает статическую обратную связь по выходу для обеспечения устойчивости и развязки. Внешний контур включает в себя **PI**-регуляторы для отработки уставок по углам тангажа, крена и скорости рыскания. Настройка параметров регулятора проводится в соответствии с заданными показателями качества, в частности, по времени регулирования – менее 2 секунд и без перегулирования.

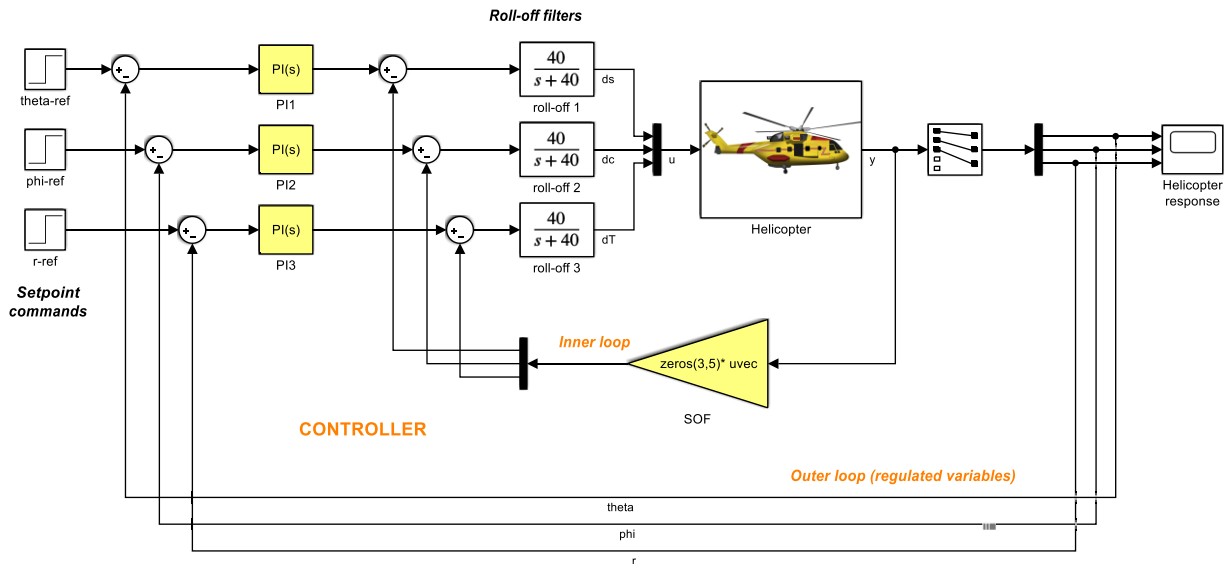


Рис. 4. – Simulink-схема системы стабилизации из документации Matlab [4]

Данная задача синтеза САУ была реализована с использованием описанного выше подхода "развязывания" в динамике. Определены минимальные значения показателей $d_1=2$, $d_2=2$, и $d_3=1$. По формулам (1) были рассчитаны матрицы F и G . Создана Matlab-программа формирования исходной и синтезированной моделей вертолѐта и квази-модели (рис. 2). Затем, применив инструментарий функции `pidtune`, определены параметры PD -регуляторов для каждого из трёх автономных каналов стабилизации управляемых переменных. Моделирование синтезированной системы проводилось в Simulink'e (рис. 5) и с помощью программы в m -файле. На рис. 6 приведены результаты моделирования системы стабилизации движением вертолѐта, полученные программным путѐм и в среде Simulink. В Simulink-схеме матрица обратной связи F и матрица в прямой цепи G реализованы блоками Gain, соответственно: $\text{inv}(B^+)$ и $\text{inv}(B^+)A^+$. Настройка PD -регуляторов определялась требованиями по качеству. Графики рис. 6 показывают выполнение требований по быстродействию – время регулирования меньше 2-х секунд, перерегулирование – 0%. Из недиагональных графиков в левой части рисунка 6 видно, что компенсация взаимовлияния каналов выполнена практически полностью.

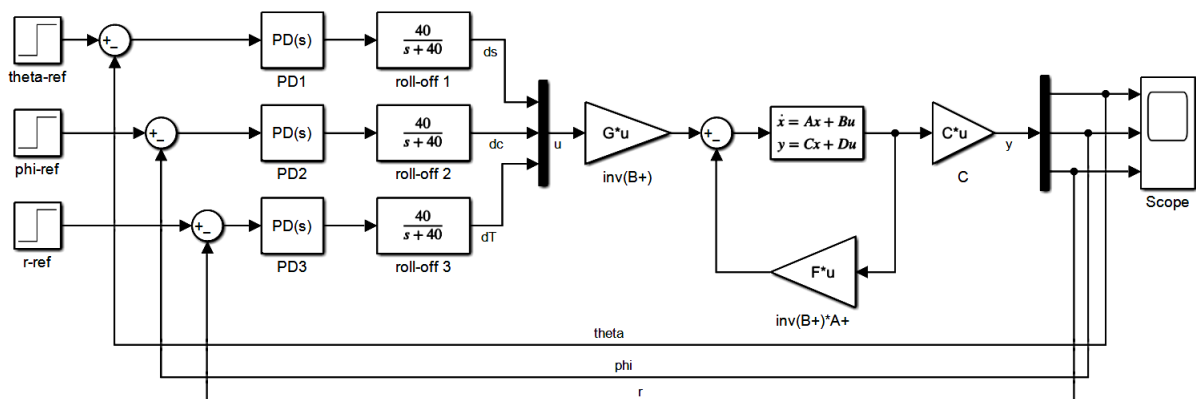


Рис. 5. – Simulink-схема системы стабилизации с "развязыванием" в динамике

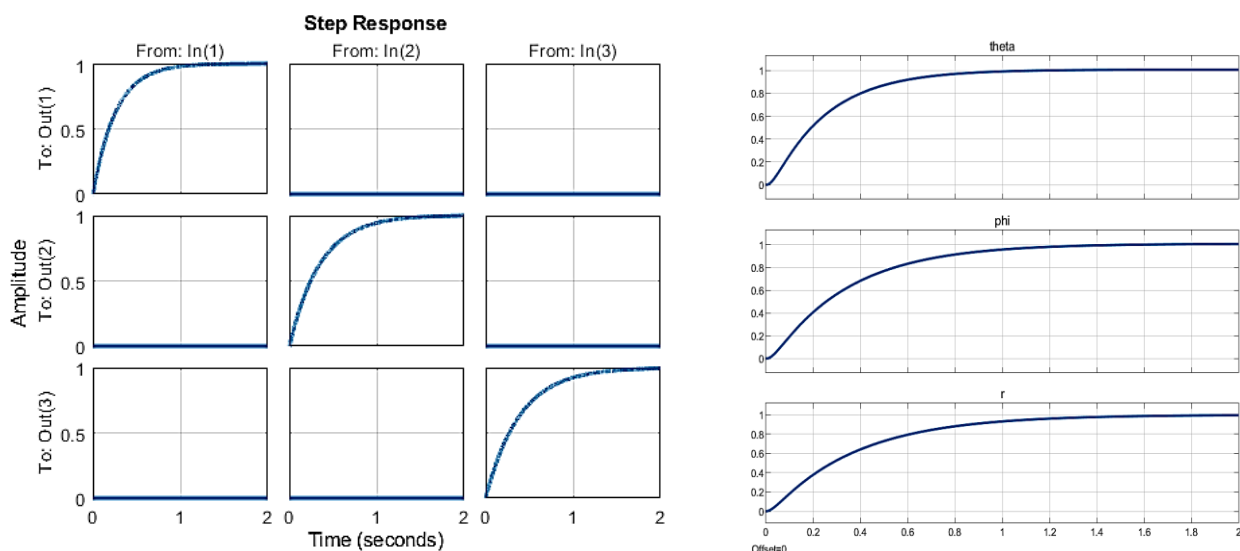


Рис. 6. – Результаты моделирования в Matlab и Simulink

Усложнение системы стабилизации в дальнейшем будет обусловлена установкой наблюдателя состояния объекта управления для обеспечения работы блока F обратной связи по состоянию.

Список использованных источников

1. Гудвин, Г. Проектирование систем управления / Г. Гудвин, С. Гребе, М. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
2. Рей, У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М.: Мир, 1983. – 386 с.
3. Wang, Q. Decoupling control / Q. Wang. – Berlin: Springer, 2003. – 369 p.
Simulink Control Design. User's Guide – The MathWorks, Inc., 2022. – 2502 p.

УДК 528.8.042.1

Жиляков П.В., аспирант кафедры ИУТС

Фатеев С.И., ассистент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

yany@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБЛАКА 3D ТОЧЕК, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СТЕРЕОЗРЕНИЯ

Системы технического стереозрения (СТС) – система технического зрения (СТЗ), использующая стереокамеру. С помощью стереокамеры легче получить облако 3D точек с координатами точек в метрической системе измерения. Для дальнейшего анализ облака 3D точек можно использовать кластеризацию, например для отсеивания выбросов (шумов, ошибок алгоритма) и определения скоплений точек (кластеров). При этом предполагается, что каждое скопление 3D точек принадлежит отдельному трёхмерному объекту.

С увеличением расстояния от СЗС облако 3D точек также с увеличением расстояния от СТЗ становится разрежение, точность определения координат уменьшается.

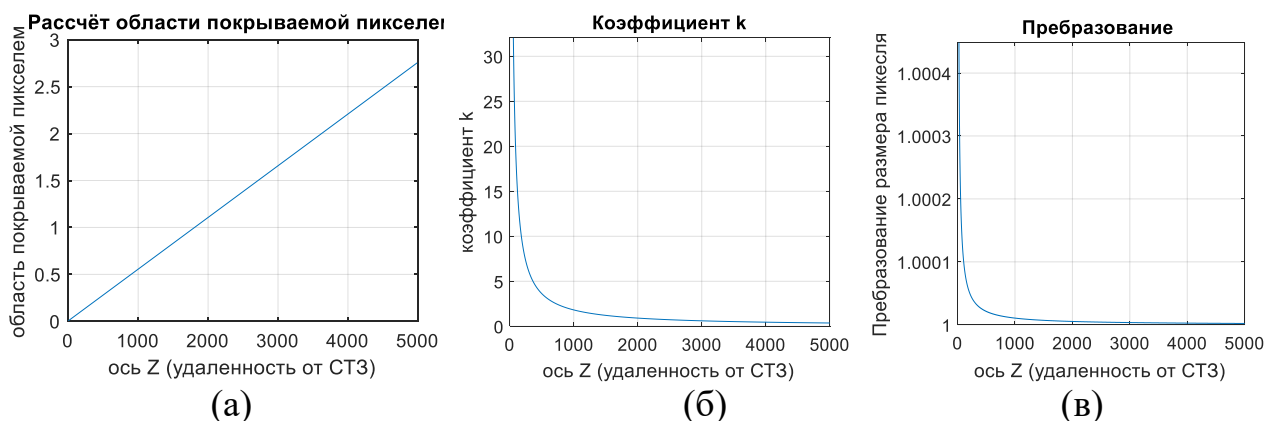


Рис.1 – (а) зависимость размера пространства, покрываемого одним пикселем (мм) от расстояния (мм) в водной среде; (б) значение коэффициента k от координаты по z (мм); (в) после преобразования размер пространства, покрываемого одним пикселем (мм) от расстояния (мм) в водной среде

Для корректной работы алгоритмов кластеризации с метрикой по евклидовому расстоянию признаку (признаком, по которому проходит кластеризация) необходимо, чтобы облако 3D точек имело одинаковую плотность. В связи с этим возникает необходимость преобразовать пространство 3D точек, в соответствии размером пространства, покрываемого одним пикселем, которое увеличивается с расстоянием до СТС и зависит от угла обзора камер СТС в водной среде (рис.1(а)).

Для преобразования пространства 3D точек используется следующий подход

$$\begin{cases} \bar{x} = kx \\ \bar{y} = ky \\ \bar{z} = kz \end{cases}, \quad k = \frac{s}{qz^m}.$$

где x, y, z – исходные 3D координаты точки в облаке точек;

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – преобразованные 3D координаты точки;

q – коэффициент, угол наклона кривой графика (рис1(а)), которые определяют исходя из параметров камер;

s, m – коэффициенты, которые определяют форму кривой преобразования (рис1(в)), обычно они равны единице $s = 1, m = 1$.

Преобразования пространства 3D точек меняет координаты 3D точек и используется только для кластеризации. Результаты кластеризации добавляются к координатам 3D точек до преобразования.

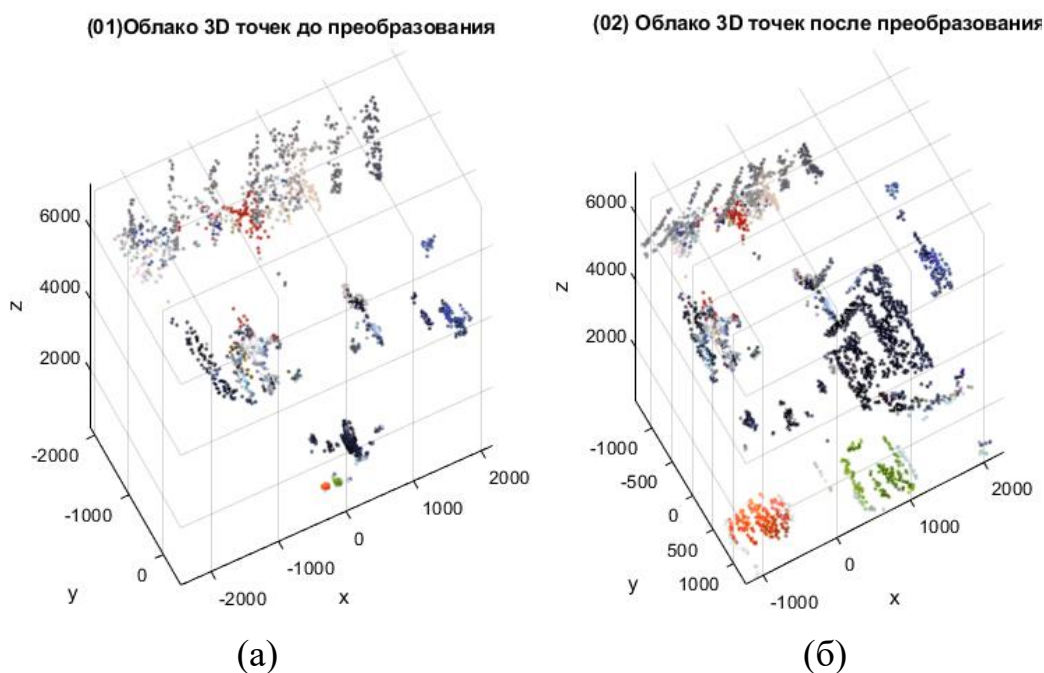


Рис.2 – Результаты преобразования 3D облака точек: (а) до и (б) после

Данное преобразование позволяет одновременно выделить кластеры как удалённых объектов (с низкой плотностью 3D точек,) так и близких объектов (с высокой плотностью 3D точек). Данное свойство является полезным при обработке потока данных от СТС в режиме реального времени.

Работа выполнена в рамках субсидии Минобрнауки России на трудоустройство выпускников 2020 года на научно-исследовательские позиции в 2021 году

Список использованных источников

1. Потапов А.С. Системы компьютерного зрения: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.

2. Мандель И. Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика. 1988. – 176 с: ил.

3. Дюран Б. и Оделл П. Кластерный анализ. Пер. с англ. Е.З. Демиденко. Под ред. А. Я. Боярского. Предисловие А.Я. Боярского. М., «Статистика», 1977.

Ester, M. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise / M. Ester, H.-P. Kregel, J. Sander, X. Xu // Third AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing. – 2015.

УДК 681.5

Швец А. Э., студент кафедры ИУТС

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

purpleheartas@gmail.com

ОЦЕНКА ОРИЕНТАЦИИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА (АНПА) НА ОСНОВЕ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Постановка задачи. Точная навигация – это ключевая способность автономного аппарата. В отличие от наземных и воздушных аппаратов, автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) не могут полагаться на популярные методы, такие как глобальные навигационные спутниковые системы или визуальная одометрия. Поэтому их навигационные системы в основном основаны на инерциальном измерительном блоке и доплеровском журнале скорости для инерциальной навигации. Информация, предоставляемая этими датчиками, объединяется инерциальной навигационной системой (ИНС) для оценки положения и ориентации. Система ориентации и определения курса (АНРС¹) может дополнять или заменять ИНС для оценки ориентации.

Оценка ориентации может быть выполнена различными методами, такими как использование инерциальной навигации, гироскопа, магнитного компаса и/или DGPS (дифференциальный GPS). Однако под водой можно использовать меньше датчиков из-за ослабления электромагнитных волн. Соответствующие датчики для подводной среды либо очень дороги, либо неточны. Например, “недорогая” микроэлектромеханическая система на основе АНРС имеет стандартную точность оценки около 10 мрад для тангажа и крена и 20 мрад для курса в статических условиях. Однако, когда аппарат маневрирует, точность может ухудшиться на два порядка из-за сложности извлечения вектора гравитации земли в результате ускорения аппарата. Распределенная сеть датчиков давления предлагает способ решить эту проблему и улучшить оценку ориентации АНРС.

Датчики давления измеряют давление окружающей среды в окрестностях АНПА. Основное преимущество датчика давления заключается в том, что он не распространяет ошибку, поскольку интеграция не требуется. Это объясняет их высокую надежность. Мы будем использовать это преимущество для ограничения дрейфа АНРС. Набор датчиков давления с известной компоновкой может быть использован для оценки положения аппарата: учитывая расположение датчиков давления и измерение глубины каждого из них, можно определить тангаж и крен.

¹ АНРС (attitude and heading reference system) – система ориентации и определения курса.

Вклад этой работы заключается в следующем:

- 1) Он демонстрирует метод оценки тангажа и крена, который может обеспечить решение как в статических, так и в динамических условиях;
- 2) Анализ ошибок, предусмотренный для этого метода, дает представление о влиянии положения аппарата и расположения датчиков на ошибку оценки. Погрешность вычисляется и моделируется при различных условиях, а также вычисляется граница Крамера-Рао (CRB2).

Формализация. Зная расположение датчиков давления, вектор измерения давления $[p_0, \dots, p_N]^T$ и положение датчиков в корпусе, можно оценить матрицу поворота к навигационной рамке, R_b^n . Координаты i -го датчика в навигационной рамке:

$$[x_i^n, y_i^n, z_i^n]^T = R_b^n [x_i^b, y_i^b, z_i^b]^T + [x_{CM}^b, y_{CM}^b, z_{CM}^b]^T, \quad (3)$$

где $[x_{CM}^b, y_{CM}^b, z_{CM}^b]^T$ – координаты центра масс. Произвольно выбрав p_0 в качестве опорного датчика и подставив его в (3), мы получим:

$$[x_i^n, y_i^n, z_i^n]^T - [x_0^n, y_0^n, z_0^n]^T = R_b^n ([x_i^b, y_i^b, z_i^b]^T - [x_0^b, y_0^b, z_0^b]^T), \quad (4)$$

где R_b^n – матрица вращения, определяемая углами Эйлера (φ, θ, ψ):

$$R_b^n \triangleq \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\varphi s\theta\psi - c\varphi s\psi & c\varphi s\theta c\psi + s\varphi s\psi \\ c\theta s\psi & s\varphi s\theta\psi + c\varphi c\psi & c\varphi s\theta s\psi - s\varphi c\psi \\ -s\theta & s\varphi c\theta & c\varphi c\theta \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $c\alpha \triangleq \cos \alpha$ и $s\alpha \triangleq \sin \alpha$.

Выбор начала координат корпуса таким образом, что $[x_0^b, y_0^b, z_0^b] = [0, 0, 0]$, третий элемент (4), становится:

$$z_i^n - z_0^n = [-\sin \theta, \sin \varphi \cos \theta, \cos \varphi \cos \theta] [x_i^b, y_i^b, z_i^b]. \quad (6)$$

Используя соотношение давления и глубины из (2), (6) можно сформулировать в терминах измерений давления:

$$\frac{p_i}{\rho g} = [x_i^b, y_i^b, z_i^b] [-\sin \theta, \sin \varphi \cos \theta, \cos \varphi \cos \theta]^T + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\omega_i}{\rho g}, \quad (7)$$

где p_i – это измерение давления i -го датчика с измерительным шумом $\omega_i \sim N(0, \sigma_i^2)$, который считается гауссовым.

Определим матрицу расположения датчиков X , как:

$$X \triangleq [x^b \ y^b \ z^b] \in R^{N \times 3}, \quad (8)$$

мы можем записать векторную форму (7) для $N+1$ датчиков в виде:

$$\frac{1}{\rho g} \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_N \end{bmatrix} = X \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \sin \varphi \cos \theta \\ \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix} + \frac{1}{\rho g} \begin{bmatrix} p_0 \\ \vdots \\ p_0 \end{bmatrix} + \frac{1}{\rho g} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для дальнейшего использования мы будем использовать следующие обозначения образцов, взятых в момент времени t_k :

$p_k \triangleq \frac{1}{\rho g} [p_1 - p_0, \dots, p_N - p_0]_{t_k}^T$ и $w \triangleq \frac{1}{\rho g} [\omega_1, \dots, \omega_N]^T$. Таким образом, (9) в момент времени t_k становится:

$$p_k = X \Theta_k + w, \quad (10)$$

² CRB (Cramér–Rao bound) – граница Крамера-Рао

где Θ_k – транспонирование последней строки матрицы вращения R_b^n :

$$\Theta_k \triangleq [-\sin \theta_{t_k}, \sin \varphi_{t_k} \cos \theta_{t_k}, \cos \varphi_{t_k} \cos \theta_{t_k}]^T, \quad (11)$$

Предлагаемый алгоритм оценки ориентации АНПА

Оценка Θ_k методом наименьших квадратов может быть достигнута с помощью:

$$\hat{\Theta}_k = (X^T X)^{-1} X^T p_k, \quad (12)$$

где оценочный вектор обозначается как $\hat{\Theta}_k \triangleq [\alpha_k, \beta_k, \gamma_k]^T$, который относится к (11) с помощью:

$$\begin{bmatrix} \alpha_k \\ \beta_k \\ \gamma_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \hat{\theta}_{t_k} \\ \sin \hat{\varphi}_{t_k} \cos \hat{\theta}_{t_k} \\ \cos \hat{\varphi}_{t_k} \cos \hat{\theta}_{t_k} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Из (13) углы крена и тангажа АНПА можно оценить как:

$$\hat{\theta}_{t_k} = -\arcsin \alpha_k \quad (14)$$

$$\hat{\varphi}_{t_k} = \arcsin\left(\frac{\beta_k}{\cos \hat{\theta}_{t_k}}\right) \quad (15)$$

или альтернативно:

$$\hat{\varphi}_{t_k} = \arccos\left(\frac{\gamma_k}{\cos \hat{\theta}_{t_k}}\right) \quad (16)$$

Анализ ошибок

Анализ границы Крамера-Рао

Нижняя граница Крамера-Рао используется для анализа теоретической эффективности этого метода. Во-первых, давайте определим информационную матрицу Фишера (ИМФ). Учитывая вектор наблюдения $y(\Lambda)$ с параметрами Λ и н.о.р³ вектор шума, ω , с $Cov(\omega) = \sigma^2 I$:

$$y = \mu(\Lambda) + \omega.$$

ИМФ задается следующим образом:

$$[I(\Lambda)]_{ij} = \frac{N}{\sigma^2} \sum_{m=1}^M \left[\frac{\partial \mu_m(\Lambda)}{\partial \Lambda(i)} \right]^T \left[\frac{\partial \mu_m(\Lambda)}{\partial \Lambda(j)} \right], \quad (17)$$

где M – количество элементов в векторе наблюдения, а N – количество наблюдений.

Учитывая ИМФ $I(\Lambda)$ вектора параметров Λ , граница Крамера-Рао несмещенной оценки $\hat{\Lambda}$ утверждает, что:

$$Var(\hat{\Lambda}(i)) \geq [I^{-1}(\Lambda)]_{ii}. \quad (18)$$

В нашем случае с $\Lambda \triangleq [\varphi, \theta]$ и (10):

$$\mu(\Lambda) = X \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \sin \varphi \cos \theta \\ \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Следовательно:

³ н.о.р. – независимые одинаково распределенные

$$\frac{\partial \mu(\Lambda)}{\partial \Lambda} \triangleq A = \begin{bmatrix} c\varphi c\theta X_{12} - s\varphi c\theta X_{13} & -c\theta X_{11} - s\varphi s\theta X_{12} - c\varphi s\theta X_{13} \\ c\varphi c\theta X_{22} - s\varphi c\theta X_{23} & -c\theta X_{21} - s\varphi s\theta X_{22} - c\varphi s\theta X_{23} \\ c\varphi c\theta X_{32} - s\varphi c\theta X_{33} & -c\theta X_{31} - s\varphi s\theta X_{32} - c\varphi s\theta X_{33} \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Обратите внимание, что:

$$A = X \begin{bmatrix} 0 & -\cos\theta \\ \cos\varphi \cos\theta & -\sin\varphi \sin\theta \\ -\sin\varphi \cos\theta & -\cos\varphi \sin\theta \end{bmatrix} \triangleq XB, \quad (21)$$

это означает, что ИМФ для Λ равна:

$$I(\Lambda) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{m=1}^M B^T X_m^T X_m B. \quad (22)$$

Аналитическая оценка ошибки

Учитывая оценку $\hat{\theta}_{t_k}$ или $\hat{\varphi}_{t_k}$, нам хотелось бы знать ошибки оценки $\delta\hat{\theta}_{t_k}, \delta\hat{\varphi}_{t_k}$ соответственно. Из (14):

$$\delta\hat{\theta}_{t_k} = \left| \frac{\delta \arcsin \alpha_k}{\delta \alpha_k} \delta \alpha_k \right| = \frac{1}{\sqrt{1-\alpha_k^2}} \delta \alpha_k. \quad (23)$$

Аналогично:

$$\delta\hat{\varphi}_{t_k} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\beta_k}{\cos\hat{\theta}_{t_k}}\right)^2}} \frac{1}{|\cos\hat{\theta}_{t_k}|} \sqrt{\delta\beta_k^2 + \beta_k^2 \tan^2\hat{\theta}_{t_k} \delta\hat{\theta}_{t_k}^2}, \quad (24)$$

$$\delta\hat{\varphi}_{t_k} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\beta_k}{\cos\hat{\theta}_{t_k}}\right)^2}} \frac{1}{|\cos\hat{\theta}_{t_k}|} \left\| \left[\beta_k \frac{\tan\hat{\theta}_{t_k}}{\sqrt{1-\alpha_k^2}} \delta\alpha, \quad \delta\beta, \quad 0 \right] \right\|_2. \quad (25)$$

Или с помощью γ :

$$\delta\hat{\varphi}_{t_k} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{\gamma_k}{\cos\hat{\theta}_{t_k}}\right)^2}} \frac{1}{|\cos\hat{\theta}_{t_k}|} \left\| \left[\gamma_k \frac{\tan\hat{\theta}_{t_k}}{\sqrt{1-\alpha_k^2}} \delta\alpha, \quad 0, \quad \delta\gamma \right] \right\|_2. \quad (26)$$

Используя (13), мы можем переписать (23) и (25)-(26) как:

$$\delta\hat{\theta}_{t_k} = \frac{1}{|\cos\hat{\theta}_{t_k}|} \delta\alpha_k, \quad (27)$$

$$\delta\hat{\varphi}_{t_k} = \frac{1}{|\cos\hat{\varphi}_{t_k} \cos\hat{\theta}_{t_k}|} \left\| [\sin\hat{\varphi}_{t_k} \tan\hat{\theta}_{t_k} \delta\alpha, \quad \delta\beta, \quad 0] \right\|_2, \quad (28)$$

$$\delta\hat{\varphi}_{t_k} = \frac{1}{|\sin\hat{\varphi}_{t_k} \cos\hat{\theta}_{t_k}|} \left\| [\cos\hat{\varphi}_{t_k} \tan\hat{\theta}_{t_k} \delta\alpha, \quad 0, \quad \delta\gamma] \right\|_2, \quad (29)$$

где, $\delta\alpha_k, \delta\beta_k$ – ошибки оценки α_k, β_k , соответственно, полученные из $\delta\hat{\Theta}_k$. Для линейной задачи наименьших квадратов, $Cov(\hat{\Theta}_k) = (X^T X)^{-1} \sigma^2$

Из (27) и (28) можно оценить ошибку оценки ориентации: $\delta\hat{\theta}_{t_k}$ расходится для $\theta \sim \pi/2$, таким образом, наша оценка будет лучше работать при меньших углах тангажа. $\delta\hat{\varphi}_{t_k}$ зависит как от $\delta\hat{\theta}_{t_k}$, так и от β_k/γ_k . Симметрия между (28) и (29) предполагает, что оценка φ_{t_k} с помощью γ_k приведет к меньшей ошибке для $\varphi > \pi/2$.

Список использованных источников

1. J. J. Leonard and A. Bahr, “Autonomous underwater vehicle navigation,” in Springer Handbook of Ocean Engineering. Cham, Switzerland: Springer, 2016, pp. 341–358;
2. J. C. Kinsey, R. M. Eustice, and L. L. Whitcomb, “A survey of underwater vehicle navigation: Recent advances and new challenges,” in Proc. IFAC Conf. Manoeuvring Control Mar. Craft, vol. 88, 2006, pp. 1–12;
3. P. D. Groves, Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems (GNSS Technology and Applications). Norwood, MA, USA: Artech House, 2008;
4. D. Titterton, J. L. Weston, and J. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, vol. 17. Edison, NJ, USA: IET, 2004.

УДК 004.932.2

Леонов А.А., студент кафедры ИУТС

Дикун А.В., студент кафедры ИУТС

Петропелюк Ю.П., студент кафедры ИУТС

Альчаков В.В., доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет,

г. Севастополь, Россия

tireks33@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

На сегодняшний день практически все технологические процессы промышленных систем имеют цифровое представление. Они работают через общий интерфейс, позволяющий им обмениваться данными в реальном времени. Для точного контроля автоматизированных процессов недостаточно иметь только лишь подходящий алгоритм управления. Данные, поступающие на вход таких систем, могут содержать ошибки, обусловленные различными факторами, такими как сбой в работе датчика или обрыв линии связи. В таком случае высокого качества управления достичь не получится, тем более в системах, работающих в режиме real-time. По этой причине разработка алгоритмов анализа и устранения ошибок данных является сегодня как никогда актуальной задачей.

В работе рассматривается реализация системы мониторинга и обработки данных датчиков технологических процессов очистного сооружения на предмет ошибок и сбоев оборудования в реальном времени при помощи специально разработанного алгоритма. Реализация такой системы основывается на применении технологии ОРС-серверов.

Анализ экстремальных значений временного ряда. Теория экстремальных значений или экстремальный стоимостный анализ (EVA) является филиалом статистики, связанной с экстремальными отклонениями от средней части вероятностных распределений. Он стремится оценить на основе заданной упорядоченной выборки заданной случайной величины вероятность событий, которые являются более экстремальными, чем любые ранее наблюдаемые.

Важно понимать, что экстремальное значение и аномалия – разные вещи. Некоторые данные можно считать аномальными, хотя они не являются выбросами за пределы средних минимальных и максимальных значений временного ряда. Однако, такие показатели могут говорить о том, что в целом или датчик начинает работать неправильно, или среда, из которой черпают измеряемую величину, неким образом медленно изменяет свое состояние или поведение.

В случае анализа временных рядов, чаще всего используют статистические инструменты для нахождения экстремальных точек, например, Z-оценку [1].

Стандартизованная оценка (z) – метрика, характеризующая удаленность Наблюдения (данные, собираемые во время исследования или эксперимента) от среднего значения генеральной совокупности (временного ряда). Иными словами, на сколько стандартные отклонения ниже или выше среднего находится наблюдение. Рассчитывается для каждого из них с помощью формулы (1):

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma}, \quad (1)$$

где Z – стандартизованная оценка, x_i – исходный элемент выборки, μ – среднее арифметическое, σ – стандартной отклонение.

Для получения стандартного отклонения воспользуемся формулой (2):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}, \quad (2)$$

где σ – стандартной отклонение, x_i – i -тый элемент выборки, $\bar{X}$ – это среднее значение выборки, n – количество элементов в выборке.

Z-оценка – это способ сравнить результаты с «нормальной» частью совокупности. Результаты тестов, опросов, показаний имеют тысячи возможных результатов и единиц измерения, что затрудняет сравнение -сравнивать некоторое значение с обширными табличными данными может быть трудозатратным (особенно если значение записано в разных системах измерения). Z-оценка может сказать вам, где это значение находится на шкале "от дефицитного до избыточного". Теперь, когда мы понимаем, что такое стандартное отклонение, не составит труда запомнить, что z-оценка – это лишь количество стандартных отклонений, на которые удалено наблюдение от среднего. Принято считать, что наблюдение выходит за пределы нормального, если абсолютное значение его z-оценки превышает около 3 (то есть меньше -3 и больше 3), подробнее на рис.1.:

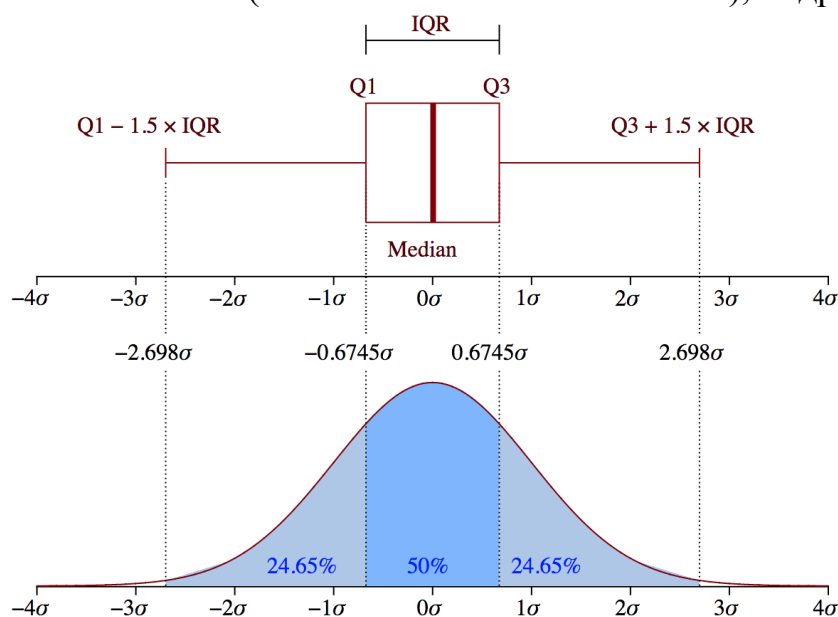


Рис.1. – Соотношение диаграммы размаха к графику стандартного распределения

Довольно сложно на простом графике качественно обозначить экстремальную точку. Так как экстремальные данные – это те точки, которые излишне отклонениями от средней части вероятностных распределений, но сами по себе они могут быть вполне естественной, не аномальной частью временного ряда. Они не обязательно должны быть за пределами максимальных и минимальных значений ряда. Именно поэтому, и довольно сложно определить простым человеческим глазом, а значит, отмечать их на простом графике с соотношением «точка: x – время, y – значение» не имеет смысла.

Для этих показаний будет использоваться диаграмма размаха, или «ящик с усами». На рисунке 2 изображена такая «коробчатая диаграмма»:

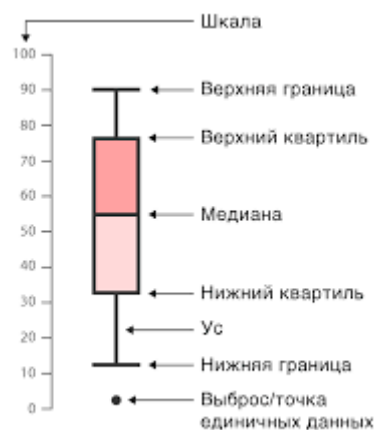


Рис. 2. – Типичная диаграмма размаха

Верхний и нижний квартили – это значения, соответствует первому и третьему квартилю (значениям, отделяющим 1/4 и 3/4 выборки). Расстояние между квартилями – это межквартильный размах (разница между большей и меньшей квартилями, данное значение показывает размах для центральных 50% данных). Прямые линии, исходящие из ящика, называются «усами» и используются для обозначения степени разброса (дисперсии) за пределами верхнего и нижнего квартилей. Верхние и нижние границы – максимальное и минимальное значение без учета выбросов. Выбросы – те самые, интересующие данные. Это могут быть как аномальные, так и экстремальные точки.

Структура данных. Для проведения исследования работы метода на реальных данных были использованы временные ряды, описывающие работу датчиков технологического процесса, в частности данные о выходах датчиков воздушного потока (допустимые границы разброса значений 0-[600;800] SCFM), концентрации кислорода (допустимая концентрация от 0 до 6 мг/л), и задвижки вентиля воздуховода (в градусах).

Эти данные были получены с сенсорной установки следующей структуры: имелось три резервуара, каждый из которых разделён на пять ячеек, причём в каждой ячейке установлен свой датчик потока воздуха, концентрации кислорода и задвижки вентиля.

Данные поступают от PLC-контроллера в реальном времени на OPC-сервер, клиентское приложение с частотой раз в секунду накапливает данные и сохраняет их в память данных, также данные отображаются в реальном масштабе

времени на НМІ. Именно эти временные ряды и исследовались на предмет аномалий, ложных срабатываний и внештатных ситуаций.

В настоящей работе для выполнения поставленных целей использовался конкретный OPC-сервер: KEPServerEX компании Kerware. Сценарий клиентского приложения – подключиться к OPC-серверу, подсоединиться к нужным сетевым узлам, оформить на них подписку. Далее будет происходить считывание и сохранение поступающих данных в мультитхранилище до тех пор, пока пользователь не даст команду остановить этот процесс. После этого, к мультитхранилищу будет применен алгоритм обработки данных. Обработка вернет список булевых флагов, которые будут сопоставлены со списком сетевых узлов. И если в обработанных данных узла будут найдены аномалии, сценарий объявит этот канал неисправным, и подписка на него разорвётся. Такой механизм позволит предотвратить выход из строя всей системы при неисправности датчика.

Эксперимент № 1: используем алгоритм на некоторой выборке показаний датчика концентрации кислорода:

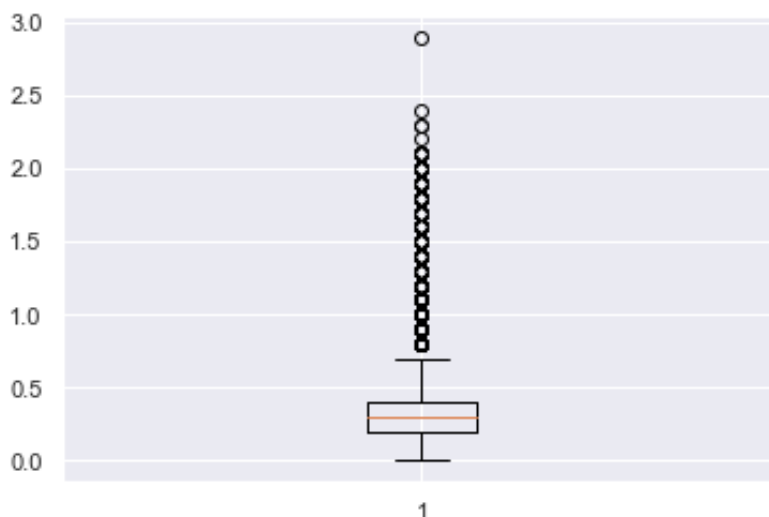


Рис. 3. – Результаты эксперимента № 1

\$ Extreme points detected!

\$ Lowest Z-score: -1.5136153373908365

\$ Highest Z-score: 10.53762231228448

Как видно на рисунке, за пределами верхней границы скопилось множество выбросов.

Эксперимент № 2: используем алгоритм на некоторой выборке показаний выхода датчика воздушного потока:

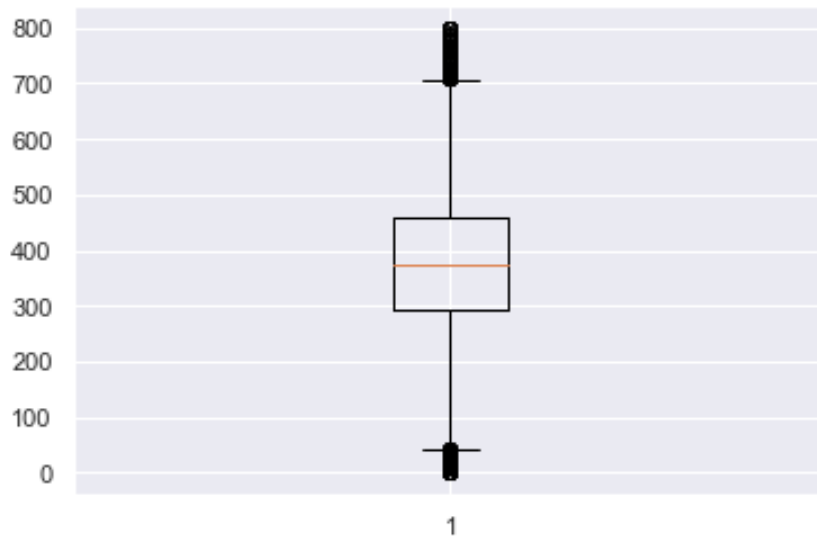


Рисунок 4 – Результаты эксперимента № 2

\$ Extreme points detected!

\$ Lowest Z-score: -3.1352085531058305

\$ Highest Z-score: 3.478454847768558

В данном опыта снова наблюдаем отображение данных за пределами верхних границ!

Эксперимент № 3: используем алгоритм на некоторой выборке показаний положения задвижки вентиля:

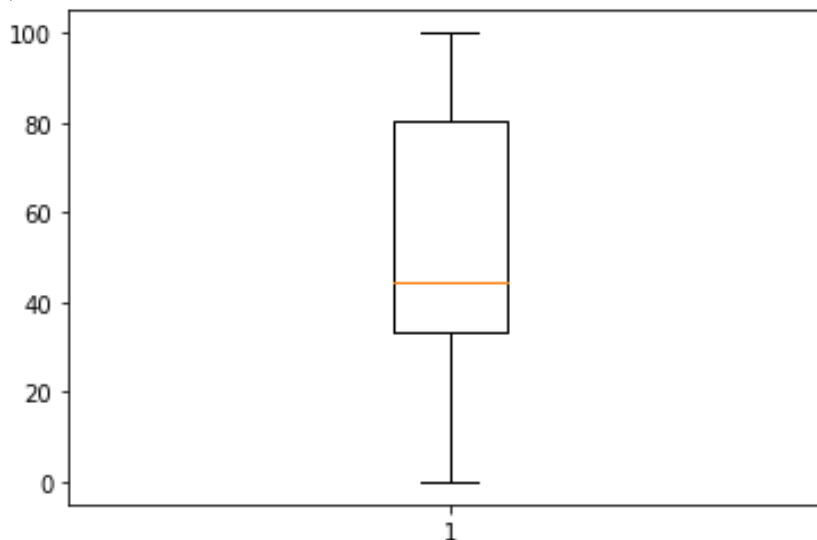


Рис. 5. – Результаты эксперимента № 3

\$ Extreme points not found!

\$ Lowest Z-score: -1.7299844152783324

\$ Highest Z-score: 1.9331499424815437

В заключительном опыте выбросы или экстремальные значения не наблюдаются!

Говоря о качестве статистического метода, стоит отметить, что хотя в выбранных рамках распределения Z-оценка может указывать на экстремальное значение точки, само по себе нормальное распределение допускает любое значение исследуемого явления. А это, в свою очередь означает, что нельзя однозначно

элементу какой-либо выборки присвоить статус аномальной точки, полагаясь лишь на стандартизированную оценку.

Заключение. В настоящей работе было сформировано решение проблемы интеллектуального анализа данных для систем реального времени при использовании технологии OPC-серверов, реализован статистический алгоритм обработки данных на основе Z-оценки и диаграммы размаха, который показал вполне достойную работоспособность и быстродействие обработки временных рядов, также он достаточно прост для понимания и использования, а также несет в себе сухую статистику, что очень важно, так как вся концепция работы несет в себе статистическую подоснову.

Изначально предполагается использование данной системы мониторинга и распознавания ошибок в данных на очистном сооружении, однако сфера её применения достаточно широка, и подходит для любых технологических процессов, использующих технологию OPC-серверов.

Список использованных источников

1. Капаца Е. Z-Score в Статистике. – Санкт-Петербург: Машинное обучение доступно, 2021. – 10 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.helenkapatsa.ru/standartizovannaia-otsienka/> (дата обращения 26.04.2021).

УДК 681.5.013

Бондарь А.О. студент кафедры ИУТС

Скороход Б.А., канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС (научный руководитель)

Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, Россия

karapetyan@sevsu.ru

ПОСТРОЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО РОБОТА

Безопасность движения транспорта является важнейшим аспектом организации перевозок и планирования работы транспортных узлов. Вызвано это высоким риском аварий в портах. В настоящее время оперативный контроль за навигационной безопасностью движения судов в акватории морских портов осуществляется специализированными предприятиями – СУДС. Их основной функцией является диспетчеризация движения в заданном районе(порту). Функционирование СУДС связано с решением целого ряда специфических задач, обеспечивающих их целевое назначение. При этом функциональным ядром СУДС являются навигационные задачи, то есть задачи, связанные с определением координат (наблюдением) обслуживаемых объектов, анализом и планированием их траекторий, интерпретацией, визуализацией информации о движении объектов и выработкой диспетчерских решений. Именно этой стороне обеспечения навигационной безопасности движения судов посвящена настоящая работа. Причиной столкновений судов является неправильная оценка ситуации вахтенным помощником и диспетчерами.



Рис. 1. – Алгоритм работы

Данный алгоритм определяет положение объекта в пространстве, используя, в качестве входных данных, изображения с камеры

Метод заключается в сегментации изображения и нахождения похожего объекта, а затем поиск похожего положения путем поиска по шаблону.

Поиск соответствия шаблонам изображений (template matching) [6], чтобы определить, есть ли заданный объект на изображении, и, если есть, где он находится на изображении

сегментация — это процесс разделения цифрового изображения на несколько сегментов (множество пикселей, также называемых суперпикселями). Цель сегментации заключается в упрощении и/или изменении представления изображения, чтобы его было проще и легче анализировать. Сегментация изображений обычно используется для того, чтобы выделить объекты и границы (линии, кривые, и т. д.) на изображениях. Более точно, сегментация изображений — это процесс присвоения таких меток каждому пикселю изображения, что пиксели с одинаковыми метками имеют общие визуальные характеристики.

Заключение. В конце статьи приводятся краткие результаты и выводы, а также обозначаются направления дальнейших исследований. После чего приводится список использованных источников.

Список использованных источников

1. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3 т. Т. 3. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 2002.
2. Гиляревский Р.С. Современная информатика: наука, технология, деятельность / Р.С. Гиляревский, Г.З. Залаев, И.И. Родионов, В.А. Цветкова; под ред. Ю.М. Арского. – М.: Информатика, 1997. – 211 с.
3. <https://www.bigdataschool.ru/wiki/machine-learning>
4. <https://neural-university.ru/neural-networks-basics>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki>

УДК 629.127

Володин А.Н., к.т.н., доцент, доцент кафедры БСФ

Панасенко В.В., преподаватель кафедры БСФ,

Хорошев В.А., капитан 2 ранга, преподаватель кафедры БСФ,

«Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова», г. Севастополь, Россия

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Неотъемлемой частью современного развития робототехники является разработка необитаемых автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) военного, научно-исследовательского назначения и комплексов на их основе. За последние два-три десятилетия в различных странах, занимающих ведущее положение в областях морских технологий, было создано значительное количество АНПА военного назначения. За этот период АНПА не только продемонстрировали свою эффективность при выполнении разведывательных, противоминных и обзорно-поисковых работ, но и открыли ряд новых важных применений. Ежегодно в мире появляется 60-70 новых проектов и «модернизационных» разработок существующих аппаратов, ориентированных не только на традиционное применение, но и на выполнение совершенно новых работ по обслуживанию различных программ.

Достижение в науке и появление новых технологий непрерывно расширяют сферу применения НПА. За последние 5-10 лет количество разработок автономных НПА выросло более чем в 2 раза. Анализ военных действий последних десятилетий позволяет сделать вывод о том, что результат ведения военных действий во многом достигается не количественной характеристикой применяемых сил, а применением той или иной стратегии ведения военных действий, основанной на использовании новых наукоемких технологий.

С учетом достигнутого уровне технологий на современном этапе АНПА способны, не подвергая риску личный состав, эффективно решать целый ряд важных задач. В их число входит: поиск, обнаружение, идентификация и уничтожение большинства типов контактных и неконтактных морских мин; ведение гидроакустической разведки; сбор гидрографической и батиметрической информации; вскрытие и обследование системы противодесантной и противоподводно-диверсионной обороны противника в районах планируемых операций; разведка подводных гидротехнических сооружений и инфраструктуры пунктов базирования; обследование корпусов кораблей (судов) и ряд других.

По мнению зарубежных специалистов, основными преимуществами АНПА перед

аппаратами других типов являются:

- отсутствие кабель-тросовой связи с судном-носителем и соответственно определяемых ею недостатков;

- способность функционировать в местах, недоступных для других типов ПА;
- скрытность функционирования;
- высокая мобильность.

С точки зрения стоимости эксплуатации использование АНПА экономичнее по сравнению с обитаемыми подводными аппаратами (ОПА) и буксируемыми НПА, ибо не требует судов-носителей, оборудованных специализированными спуско-подъемными устройствами. Последнее в свою очередь предопределяет снижение общей стоимости выполнения задачи за счет высокой степени готовности и мобильности АНПА к доставке в район выполнения работ.

По своим функциональным возможностям АНПА предназначены для выполнения следующих подводно-технических работ:

- длительное маневрирование по заданной программе в водном пространстве с одновременным проведением разнообразных гидрографических и биологических исследований;
- проведение поиска и обследования затонувших объектов;
- оборудование районов донными маяками-ответчиками;
- обследование нижней кромки ледяных полей, оценка толщины и характера ледяного покрова, подледная гидрология;
- поиск полезных ископаемых на больших глубинах и предварительное определение химического состава геологических образований;
- обследование и обслуживание подводных кабельных линий, трубопроводов и других сооружений;
- поиск и идентификация объектов с заранее заданными свойствами;
- работа в агрессивных средах;
- выполнение специальных задач в интересах ВМС, таких как разведка, противолодочная и противоминная борьба, диверсионные акции, слежение.

Современные АНПА оснащены комплексом систем и устройств, обеспечивающих самостоятельное движение аппаратов под водой. Большинство из них имеют корпус в форме торпеды с энергетической установкой, состоящей из литий-ионной аккумуляторной батареи (АБ) и гребного электродвигателя. Управление осуществляется автономно по программе, заложенной в память бортовой ЭВМ, с использованием инерциальной навигационной системы (ИНС) и доплеровского лага с периодическим уточнением (при подвсплытии) местоположения по данным космической радионавигационной системы (КРНС) "Навстар".

АНПА уже сформировались в достаточно представительный класс робототехнических средств, насчитывающий свыше 1000 различных проектов (моделей). Динамику развития АНПА в различных странах, а также основные характеристики нельзя оценивать однозначно.

ВМС США приняли программу разработки многоцелевых АНПА MRUVY (Multi Mission Reconfigurable Unmanned Undersea Vehicle), примеры приведены на рис.1. Они предназначены для применения с подводных лодок и надводных кораблей и разработаны в виде специальных модулей в габаритах

торпедных аппаратов. Кроме собственно аппаратов, элементов спуско-подъемных устройств, вспомогательного оборудования и сменного комплекта АБ в модуле располагается автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. АНПА способны обеспечивать решение широкого круга задач в интересах корабля-носителя, а это:

- ведение разведки в прибрежных районах;
- обследование акватории в заданном районе;
- обнаружение и классификация подводных объектов;
- картографирование морского дна;
- выполнение гидрографических исследований;
- участие в развертывании подводных телекоммуникационных и навигационных сетей.

1) X-Class. Аппараты представляют собой небольшие (до 3 м) БНА или БПА, которые должны обеспечивать действия групп сил спецопераций. Они могут вести разведку и обеспечивать действия корабельной ударной группировки.



REMUS (Remote Environmental Monitoring Units).

Единственный в мире подводный робот (X-Class), принимавший участие в боевых действиях в ходе Иракской войны 2003 года. БПА разработан на базе гражданского исследовательского аппарата Remus-100 фирмы Hydroid.

Решает задачи проведения **противоминной разведки** и **подводно-инспекционных работ** в условиях мелкого моря. REMUS оснащен гидролокатором бокового обзора, обладающим повышенной разрешающей способностью (5x5 см на дистанции 50 м), доплеровским лагом, приемником GPS, а также датчиками температуры и удельной электрической проводимости воды. Масса БПА - 30,8 кг, длина - 1,3 м, рабочая глубина - 150 м, автономность - до 22 часов, скорость подводного хода - 4 узла.

2) Harbor Class. БНА разрабатываются на базе стандартной 7-метровой лодки с жестким каркасом и предназначены для выполнения задач обеспечения морской безопасности, ведения разведки. Кроме того, аппарат может оснащаться различными огневыми средствами в виде боевых модулей. Скорость таких БНА, как правило, превышает 35 узлов, а автономность работы составляет около 12 часов.



Рис.1. – Морские роботы США

В США разработан АНПА ARUS, предназначенный для научных исследований, в том числе и в военных целях. АНПА с рабочей глубиной 6000 м и водоизмещением 0,5 т имеет дальность хода до 2000 км при скорости 5 уз. АНПА оснащен вперёдсмотрящим гидролокатором, гидролокатором бокового обзора (ГБО), профилографом и эхолотом (рис. 2). Корпус аппарата изготовлен из композитных материалов и металла. В качестве источника энергии на АНПА ARUS выбран дизель, работающий по замкнутому циклу, обеспечивающий мощность 5-10 кВт, вполне достаточную для обеспечения хода и работы электронного оборудования.

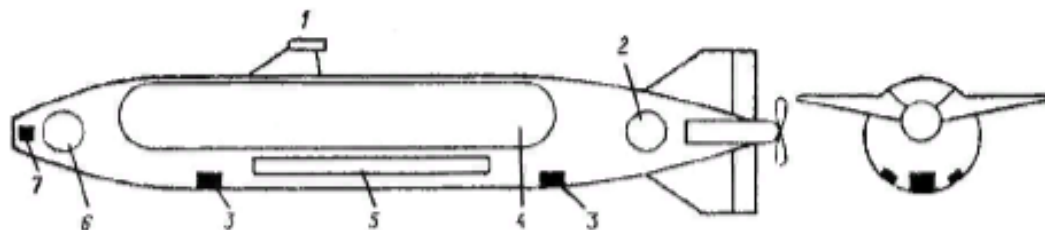


Рис.2. – АНПА ARUS.

1-электромагнитный лаг; 2,6-балластные цистерны; 3 – люк для сброса балласта/загрузки (drop weight /shot hopper); 4- рабочий объем; 5 – преобразователь ГБО; 6, 7 – ТВК и навигационная ГАС.

Система управления АНПА может работать, как по «жесткой программе», так и по полностью автономной (интеллектуальной). Аппарат может быть использован для сбора информации на маршруте в режиме программного управления. Он погружается и движется вблизи дна, всплывая через каждые несколько десятков километров, чтобы передать на ИСЗ системы GPS информацию для последующей ретрансляции ее на наземные станции и приема новой программы действий.

Кроме США активно в этом направлении работают Великобритания, Франция, Германия, Норвегия, Япония, Италия, а также Швеция.

В Великобритании специалистами фирмы "БАэ системз" создан противоминный АНПА "Талисман-М" рис.3.

Этот аппарат имеет следующие тактико-технические характеристики (ТТХ): масса 1,8 т, длина 4,8 м, ширина 2,3 м, высота 1,1 м, рабочая глубина применения до 300 м, продолжительность работы 24 ч (при поисковой скорости 5 уз), радиус действия 50 миль. У АНПА двухкорпусная конструкция в форме ската. Оба корпуса (легкий проницаемый и прочный) изготовлены из углепластика и рассчитаны на максимальную глубину погружения до 350 м. Аппарат оснащен гидроакустическими станциями (ГАС) переднего и бокового обзора (ГБО) с синтезированием апертуры антенны (ширина полосы поиска 150 м, рабочая частота 455 кГц).



Рис. 3. – АНПА типа «Талисман-М»

Во Франции разработкой подводных аппаратов разного типа и назначения (в том числе на экспорт) занимается фирма ЕСА. Противоминный аппарат "Алисмер-300" имеет следующие ТТХ: масса 600 кг, длина 3,2 м, продолжительность работы 24 ч, рабочая глубина погружения 300 м. В зависимости от решаемых задач он оснащается гидроакустической аппаратурой или средствами уничтожения морских мин (масса сменной полезной нагрузки до 120 кг). В частности, аппарат может быть оборудован ГАС переднего обзора, ГБО, видеокамерой и светильником.

Для уничтожения обнаруженных мин применяется сбрасываемый фугасный заряд или отделяемый самоходный (управляется по ВОК) модуль RECA (масса 125 кг, скорость хода 3 уз, глубина применения до 200 м), который имеет кумулятивный или фугасный заряд. Стоимость серийного образца около 1 млн долларов.

В Германии фирмой "Атлас электроник" разработан АНПА "Си Оттер" Мк 2. Он имеет следующие ТТХ: масса 1,1 т, длина 3,5 м, ширина 1 м, высота 0,5 м, глубина применения 5-600 м, продолжительность работы 24 ч (при поисковой скорости 4 уз), ширина полосы поиска 200 м.

В базовую комплектацию аппарата входят две гидроакустические станции (переднего и бокового обзора) с синтезированием апертуры антенны, при этом вторая многолучевая сканирующая. Для двусторонней связи между кораблем и ним в надводном положении задействуется линия обмена данными в УКВ-диапазоне длин волн (скорость 2 Мбит/с), а в подводном - аппаратура звукоподводной связи (рабочая частота 12 кГц).

Норвежский АНПА "Хугин-1000 МР" (рис. 4) имеет следующие тактико-технические характеристики: масса 800 кг, длина 3,85 м, диаметр корпуса 0,75 м, глубина применения 1000 м, продолжительность работы до 24 ч (при поисковой скорости 3-4 уз). Он разработан фирмой "Конгсберг" и научно-исследовательским институтом министерства обороны на базе опытового аппарата "Хугин-

1000". Входит в состав системы минной разведки HMRS тральщиков -искателей мин типа "Оксей".



Рис.4 – Норвежский АНПА «Хугин-1000»

На новом аппарате в отличие от базового образца установлено более совершенное гидроакустическое оборудование, включающее интерферометрическую станцию бокового обзора HISAS 1030 с синтезированием апертуры антенны (диапазон рабочих частот 60-120 кГц) и эхолот ЕМ 3002 с многолучевой характеристикой направленности. HISAS имеет две излучающие (длина 0,27 м, высота 0,18 м) и четыре приемные (длина 1,27 м, высота 0,11 м) антенны, установленные побортно. Такой состав бортового оборудования обеспечивает расширенные возможности АНПА. Его поисковая производительность достигает 2 км²/ч, ширина полосы поиска около 500 м при скорости хода 3 уз. В ходе морских испытаний (скорость хода аппарата 4 уз) разрешающая способность его станции бокового обзора при обнаружении донных мин, в том числе заглубленных в грунт, на дистанции 200 м составила 5 x 5 см.

Управление АНПА осуществляется автономно по программе, заложенной в память бортовой ЭВМ, с использованием ИНС и доплеровского лага (рабочие частоты 300/600 кГц) или дистанционно оператором по линии звукоподводной связи (дальность действия до 4 км).

В Швеции фирма SAAB разработала АНПА гидроакустической и минной разведки "Сапфир" со следующими тактико-техническими характеристиками: масса 1,2 т, длина корпуса 6,5 м, диаметр корпуса 0,53 м, глубина применения до 300 м, продолжительность работы 24 ч, скорость хода 3-12 уз, ширина полосы поиска 170 м. Для уничтожения донных мин аппарат транспортирует подрывной заряд, содержащий около 80 кг ВВ. Для борьбы с якорными минами предусмотрен взрывной резак, перебивающий минрепы.

Широкое разнообразие АНПА обеспечивает выполнение различного вида функций, от исследования Мирового океана до выполнения специальных задач военного назначения.

Применение перспективной робототехники в виде АНПА, которые имеют малое водоизмещение, высокую скрытность с сочетанием решения многофунк-

циональных задач, в том числе военного назначения, при этом одним из важнейших условий разработки АНПА в интересах ВМФ является их невысокая стоимость, что позволяет начать кардинальные изменения в структуре и составе военно-морских сил флотов различных государств, а так же способствует развитию и появлению новых технологий и научных направлений, таких как оптоволоконная связь, двигатели разного рода, нанотехника, новые материалы и составы, в том числе легконаполнители с малым удельным весом, микроэнергетика, робототехника.

Список использованных источников

1. Белоусов И.А. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС ведущих европейских стран. Зарубежное военное обозрение. 2016, №3, С. 79-85.
2. Дурнев И.В., Ермаков Д.С., Титков И.А. Борьба с подводными аппаратами. Армейский сборник. Журнал Министерства Обороны Российской Федерации. 17 часов 33 минуты 06 сентября 2019 года.
3. Голод О.С., Гончар А.И., Шлычек А.С. Перспективы и концепции разработки автономных необитаемых подводных аппаратов. Государственный Северо-Западный технический университет, г. Санкт-Петербург. Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье. Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану), 2007 (№ 4).
4. Геоинформационные системы военного назначения. <http://gistechnik.ru/primenenie-gis/v-silovyykh-strukturakh>.

УДК 623.451

Голубцов Д.Л., канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры БСФ**Викулин А.И.**, адъюнкт кафедры БСФ**Медведь И.В.**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры БСФ*Черноморское высшее военно - морское училище имени П.С. Нахимова, Севастополь, Россия*

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА МНОГОФАКТОРНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

Одним из приоритетных направлений по дальнейшему развитию Вооруженных Сил Российской Федерации является задача по укреплению военного потенциала сил неядерного сдерживания, прежде всего высокоточного оружия (ВТО), одним из видов которого являются противокорабельные ракеты (ПКР) [1,2].

Необходимо отметить, что военно-промышленным потенциалом по производству ПКР обладают менее 9 % стран в мире (рис. 1). Передовые позиции в этой области занимают Россия и США, так же разработкой ПКР занимаются Китай, Франция, Израиль, Япония, Иран и ряд других стран [1,2].

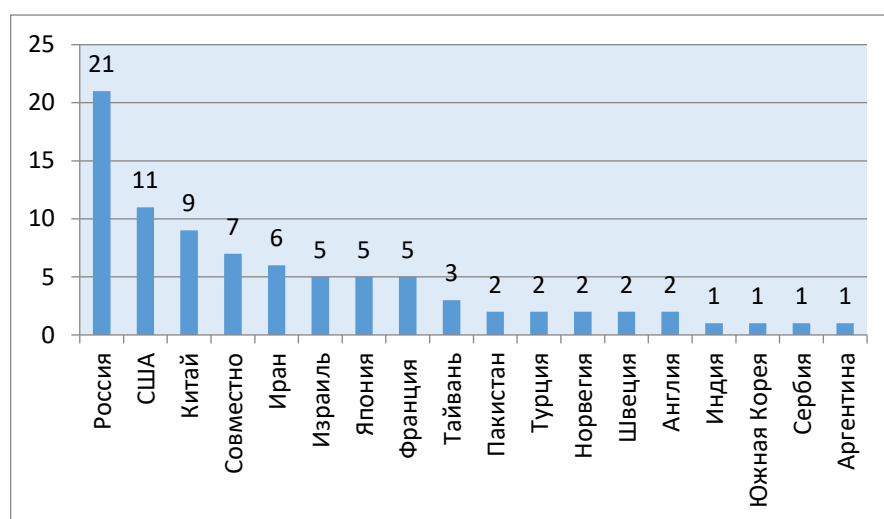


Рис.1. – Гистограмма распределения стран производителей ПКР

Тенденции развития систем вооружения ориентированы, прежде всего, на совершенствование и повышение эффективности боевого применения ВТО в обычном снаряжении, различных видов высокотехнологичного оружия, оружия на новых физических принципах, при этом особое внимание уделяется разработке боевых частей (БЧ) избирательного и направленного действия, а также боевых частей многофакторного поражающего действия (рис. 2) [2-4].

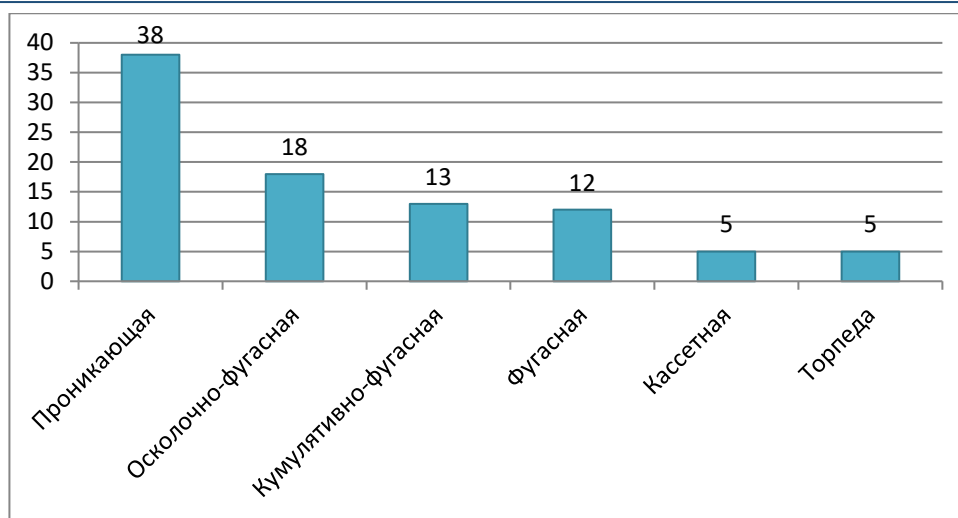


Рис. 2. – Гистограмма разработанных образцов боевых частей ПКР

Анализ боевого применения средств поражения показывает, что объектами поражения ВТО в современных локальных конфликтах и противоборствах становятся также и морские (надводные) цели, из которых оперативно-тактическими высокомобильными боевыми единицами являются авианосцы, возглавляющие авианосные ударные группы (АУГ), позволяющие быстро концентрировать значительные силы в любой области Мирового океана [5].

С точки зрения боевой эффективности ВТО в обычном снаряжении АУГ представляют собой групповой рассредоточенный подвижный объект поражения на заданной площади, состоящий из элементарных объектов (кораблей) с размещенными на них жизненно-важными агрегатами с заданной степенью защищенности (уязвимости) по отношению к различным поражающим факторам [5].

Анализ боевых возможностей и характеристик уязвимости типовых морских (надводных) целей, входящих в состав АУГ позволяет выполнить классификацию целей на легкоуязвимые цели (ЛУЦ), легкобронированные цели (ЛБЦ), бронированные цели (БЦ) и особопрочные цели (ОПЦ) для последующего морфологического и кластерного анализа [3-5].

Опыт ведения боевых действий с использованием обычных средств поражения показывает, что при действии по ЛУЦ и ЛБЦ широко используют фугасные, осколочные и зажигательные боеприпасы, а для поражения БЦ и ОПЦ необходимо использовать целевые боеприпасы: кумулятивные или ударного действия [3,6-8].

Расчет рациональных параметров боевого снаряжения, включающего БЧ и систему подрыва и гарантирующих высокую эффективность, представляет собой многомерную задачу, при решении которой необходимо учитывать характер поражаемой цели, условия встречи снаряда с целью, ожидаемую точность применения, массу БЧ и т.д. [3,6,8].

Эти требования обеспечиваются путем рационального выбора типа и массы взрывчатого вещества БЧ и выбором поражающего действия взрыва БЧ возле цели (тип БЧ).

Анализ боевых возможностей и характеристик уязвимости типовых морских (надводных) целей показывает, что основными поражающими факторами для них будут зажигательное, пробивное и иницирующее действие осколков [6-8].

В осколочных потоках большой плотности происходит совместное действие осколков по цели, при котором проявляются многофакторность поражающего действия: механическое повреждение или разрушение уязвимых элементов конструкции цели; аэроудар в закрытых объемах цели; гидроудар в топливных баках.

Потоком большой плотности считается поток, содержащий несколько десятков осколков на 1 кв.м поперечного сечения потока и попадающий в цель с одновременно [3].

Основная характеристика плотного потока из готовых осколков его удельная энергия E_n определяется из выражения [7,8].

$$E_n = \frac{mV^2}{2} \Pi, \quad (1)$$

где Π – плотность потока осколков, 1/кв.м; m – масса осколков, кг.; V – скорость встречи осколков с преградой, м/с.

Условие поражение цели наступает при $E_n \geq E_{кр}$.

Результаты проведенных экспериментальных исследований зажигательного действия свидетельствует о том, что вероятность воспламенения отсеков с топливом практически не зависит от того, куда попал осколок: в жидкую фазу (ниже уровня топлива) или в паровоздушную (выше уровня топлива). Экспериментально установлено также, что вероятность воспламенения P_B топлива при попадании осколков в топливные отсеки может быть получена из выражения [3,6,7]:

$$P_B = \begin{cases} 0 & \text{при } \chi < \chi_{min} \\ \frac{\chi - \chi_{min}}{\chi_{max} - \chi_{min}} & \text{при } \chi_{min} \leq \chi < \chi_{max} \\ 1 & \text{при } \chi_{min} \geq \chi_{max} \end{cases} \quad (2)$$

$$\chi = S_0^{\frac{1}{2}} V_c, \quad (3)$$

где χ – параметр осколка, см·м/с; S_0 – площадь мишеня осколка; м²; V_c – скорость соударения, м/с.

Необходимые для расчета значения параметров χ_{min} , χ_{max} приводятся в таблицах уязвимости отсеков воздушных целей. Так для цели типа стратегического бомбардировщика, необходимые для зажигания топлива значения $\chi_{min} = 1800$ см · м/с, $\chi_{max} = 3000$ см · м/с. Для многоцелевых самолетов $\chi_{min} = 1400$ см · м/с, $\chi_{max} = 2500$ см · м/с. Для взрыва паров топлива в баках тех же воздушных целей требуются меньшие значения χ [7].

Из графика вероятности воспламенения при различной массе осколка q (рис. 3) видно, что для воспламенения уязвимых зон цели, содержащих горючие компоненты (топливные баки, ракетные твердотопливные двигатели и т. п.), необходимы высокие скорости осколков.

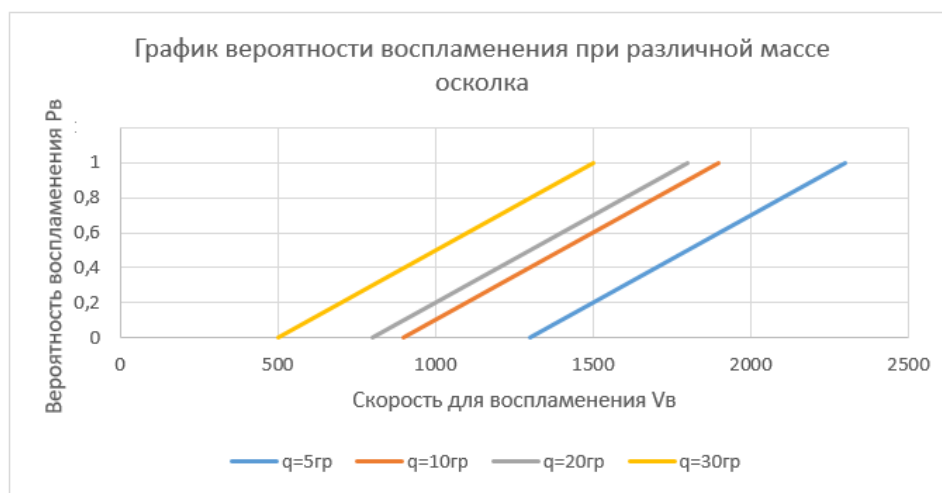


Рис. 3. – График вероятности воспламенения при различной массе осколка

Таким образом вероятность воспламенения P_b топлива при попадании в отсек с топливом может быть повышена за счет увеличения начальных скоростей разлета осколков и площади мишени осколка.

Пробивное действие осколков определяется вероятностью пробития $P_{пр}$ преграды (стенки реактивного двигателя, корпуса боевой части, отсека с топливом) из выражения [6-8].

$$P_{пр} = \begin{cases} 1, \text{ если } V^* \leq V; \\ 0, \text{ если } V^* > V \end{cases}, \quad (4)$$

где V^* – скорость осколка, при которой обеспечивается пробитие преграды, м/с; V – скорость встречи осколка с преградой, м/с.

На рис. 4 представлена зависимость изменения вероятности взрывного горения $P_{вг}$ от массы осколка q .

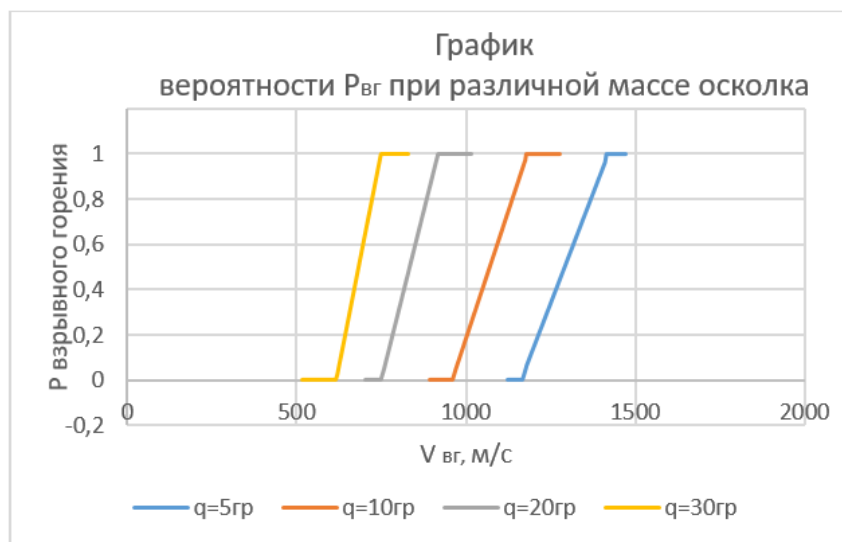


Рис. 4 – График вероятности взрывного горения при различной массе осколка q

Иницирующее действие по отсекам с взрывчатым веществом (например, БЧ ракет, боевая нагрузка самолетов) определяется вероятностью инициирования $P_{и}$. Условия инициирования необходимо рассчитывать по верхнему пороговому уровню, т.е. по режиму детонации, при котором происходит безусловное поражение цели. Формула Якобса-Росланда, которая позволяет получить критическую скорость осколков [3,7]:

$$V_{и} = (A + B) \cdot (1 + k) \cdot \left(1 + C \cdot \frac{b}{d}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{d \cdot 1}}, \quad (5)$$

где A, B – коэффициенты, определенные в экспериментах с плоской ударяющей поверхностью осколка (для флегматизированного октогена $A=2,05$ и $B=0$); C – коэффициент, учитывающий влияние экрана (оболочки) (для танталового экрана $C=1,86$, а для композиции алюминий-полиуретан-поликарбонат $C=2,96$); k – коэффициент формы (для осколка со сферическим торцом $k=1$, с плоским $k=0$); b – толщина экрана, мм; d – диаметр поражающего элемента, мм.

Тогда $P_{и}$ определяется из выражения [3,6,7]:

$$P_{и} = \begin{cases} 1, & \text{если } V_{и} < V_{соуд}; \\ 0, & \text{если } V_{и} \geq V_{соуд}, \end{cases} \quad (6)$$

где $V_{и}$ – скорость инициирования, м/с; $V_{соуд}$ – скорость соударения, м/с.

Коэффициент наполнения БЧ взрывчатым веществом для фугасно-кумулятивных БЧ составляет 0,5 – 0,7.

В табл. 1 представлены тактико-технические характеристики образцов ПКР с БЧ осколочного действия [1-3].

Табл. 1. Тактико-технические характеристики ПКР с осколочными БЧ

Наименование ракеты (год разработки)	Масса БЧ, кг	Масса ВВ, кг	Диаметр, мм	Коэффициент наполнения БЧ ВВ
Россия				
X-66 (1968)	103	51	275	0,5
X-23(1974)	108	75	275	0,7
Израиль				
AGM-142(1989)	340	-	530	-
Швеция				
RBS-15 Mk3(2004)	200	-	500	-

Основными представителями класса ПКР с БЧ проникающего типа являются ПКР «Garpoon», «Tomahawk» (США), «Exocet» (Франция), «Kormoran» (Германия), «Gabriel» (Израиль), «Атакующий орел» (Китай), «Гранит», «Оникс», «Калибр» (Россия).

По результатам проводимых исследований, направленных на повышение эффективности боевого применения и расширение боевых возможностей перспективных многофакторных и многоцелевых средств поражения получены патенты на изобретения и полезные модели (№ 2716237 от 22.09.2017 года «Зрачок», №179760 от 17.10.2017 г. «Боевая часть на основе взрывомагнитного кумулятивного генератора», № 191879 от 17.06.2019 г. «Комбинированная боевая часть на основе взрывомагнитных генераторов СВЧ-излучения», №193124 от 12.07.2019 г. «Универсальная кумулятивная мина», № 206148 от 02.04.2021г. «Осколко-зажигательный снаряд»).

Заключение. Таким образом, разработка БЧ многофакторного поражающего действия является приоритетным направлением, реализация которого обеспечивает повышение эффективности средств поражения за счет расширения их боевых возможностей и унифицированности, и может рассматриваться как один из аспектов перспективной концепции формирования ВТО в обычном снаряжении.

Список использованных источников

1. Меньшиков В.Л. Крылатые ракеты вооруженных сил иностранных государств: монография. Часть 1 (Общие сведения. США). / В.Л. Меньшиков, В.М. Клименко, А.В. Ефремов, С.Ю. Зеленцов, В.Э. Косолапов, А.А. Котяшичев, С.В. Рязанов, М.М. Тимонин. – Череповец: РИО ВВИУРЭ, 2019. – 630 с.
2. Селиванов В.В. Боеприпасы: Учебное пособие, т. 1/ В.В. Селиванов, А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов, и др. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 505 с.
3. Селиванов В.В. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / В.В. Селиванов, А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
4. Селиванов В.В. О развитии боевого снаряжения крылатых ракет/ В.В. Селиванов, В.А. Марков, А.Ф. Овчинников, В.И. Пусев //Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2014.Выпуск 4 с. 17 – 29.

5. Голубцов, Д.Л. Морфологический и кластерный анализ характеристик уязвимости типовых морских объектов от воздействия физически разнородных поражающих факторов / Д.Л. Голубцов, В.В. Козлов // Сборник материалов (доклады и статьи) 1-й научно – практической конференции ЧВВМУ им. П.С. Нахимова «Актуальные проблемы развития и эксплуатации ракетно-артиллерийского, специального вооружения и морской техники». – Севастополь, 2017. – С. 98.
6. Козлов, В. В. Оценка эффективности многофакторного поля поражения с учетом действия зажигательных элементов/ В. В. Козлов, А. В. Васильев, А. А. Демченко, А. И. Чуприн // Вестник Иж. ГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. т. 23, № 1 – с. 54 – 64.
7. Козлов В.В. Системный анализ многофакторного поля поражения объектов с горюче-насыщенными материалами [текст]: монография / В.В. Козлов, Н.П. Кузнецов. – Пермь: ПВИ ВВ МВД, 2009. – 199 с.
8. Знаменский Е.А. Действие средств поражения и боеприпасов: справочное пособие / Е.А. Знаменский; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2010. – 95 с.

Научное издание

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ,
УПРАВЛЕНИЕ И МЕХАТРОНИКА – 2022**

Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Севастополь, 21 апреля 2022 г.)

Ответственный за выпуск

В.А. Крамарь, проф., д-р. техн. наук

Компьютерная верстка – В.В. Альчаков

Объем электронного издания 10 Мб на 1 CD

Юридический адрес: 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33.

Почтовый адрес: 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33.

Редакция, издатель, изготовитель – Севастопольский государственный университет (СевГУ)

© СевГУ, 2022