

УДК 62.50

Б.А. Скороход, профессор, д-р техн. наук, И.В. Гусаков, аспирант*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: b.skorohod@mail.ru***ПОСТРОЕНИЕ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ROBOTINO***Рассматривается задача идентификации динамической модели мобильного робота.***Ключевые слова:** *идентификация, динамическая модель, прогноз.*

Введение. Задача конструирования управления, обеспечивающего движение мобильных роботов (МР) вдоль заданной траектории, является одной из основных, возникающих при их разработке. В предположении, что скорости вращения валов двигателей идеально следуют входным сигналам, наличии датчиков обладающих высокой точностью, отсутствии скольжения колес, решение задачи управления может быть получено на основе только уравнений кинематики. Вместе с тем, неучёт влияния динамики может ограничивать возможности МР в реальных ситуациях [1–3].

Известен ряд подходов к построению динамических моделей объектов, среди которых исторически первыми были методы, основанные на использовании физической модели объекта. Такие методы приводят к удовлетворительным результатам, если объект исследования представляет собой достаточно простую систему. С усложнением объекта растет сложность математической модели и затраты, требуемые для ее идентификации.

Цель работы – исследование альтернативного подхода, который опирается на методы, основанные на идее «черного ящика»: считается, что физически система устроена неизвестным образом. Путем подачи на вход некоторых специально подобранных сигналов и измерения полученных выходов производится набор массива вход-выходных данных, который в последующем используется для идентификации математической модели объекта, тип которой выбирает на свое усмотрение исследователь.

Данная работа является продолжением исследований, описанных в [4].

1. Конструктивные особенности робота, описание эксперимента и визуализация экспериментальных данных. МР представляет собой автономное подвижное устройство с тремя колесами типа «omnidirectional» [5]. Движение робота по поверхности осуществляется за счет вращения валов трех двигателей постоянного тока, оси которых расположены под углом 120° друг к другу. Обороты вала каждого двигателя передаются через ременную передачу с редуктором 1:16 на ось каждого колеса. Благодаря такой конструкции МР может перемещаться во всех направлениях на плоскости, с возможностью поворота вокруг своей оси. Для стабилизации скорости вращения вала каждого из 3-х двигателей робота используются встроенные аппаратно пропорционально – интегрально – дифференциальные регуляторы, коэффициенты которых программно были установлены равными: $K_p = 200$; $K_i = 20$; $K_d = 1$. Кроме того, измерения угловых скоростей вращения валов двигателей осуществляется с помощью инкрементных тахометров, имеющих определённую разрешающую способность 27 (об/мин). Управление роботом, может осуществлялось дистанционно по каналу беспроводной связи WLAN с использованием программного обеспечения установленного на удалённом компьютере. Для управления роботом в [4] была написана программа на языке C++, использующая классы с набором методов для связи и обмена данными. Встроенная операционная система (ОС) Linux получает команды от внешней программы, обрабатывает и передаёт их на исполнительные механизмы, а затем возвращает управление обратно компьютеру.

Для построения модели на каждый из 3-х входов системы подавались тестовые сигналы, представляющие собой белый шум с интенсивностью σ^2 . Интенсивности шумов были выбраны по правилу «3-х сигма», чтобы обеспечить изменение скоростей вращения двигателей в диапазонах $\omega_i^r(t) \in [-\omega_{\max}^r, \omega_{\max}^r]$, $i = \overline{1,3}$ об/мин. Кроме того, сгенерированный входной сигнал, был предварительно пропущен через фильтр низких частот Батерворда с найденной ранее полосой пропускания для МР 8 Гц. С целью увеличения частоты съема данных, такт дискретности Δt работы системы не фиксировался заранее, а определялся в зависимости от времени обработки задающих воздействий ОС робота. Каждый такт представлял собой 3 последовательные команды задания и измерения скоростей вращения валов двигателей. При этом засекалось время начала и окончания каждого такта.

На рисунке 1 показан фрагмент входных и соответствующих им выходных угловых скоростей для одного из двигателей. Хорошо видны различия между входами и выходами, обусловленные запаздыванием, динамикой объекта и возможным влиянием нелинейностей.

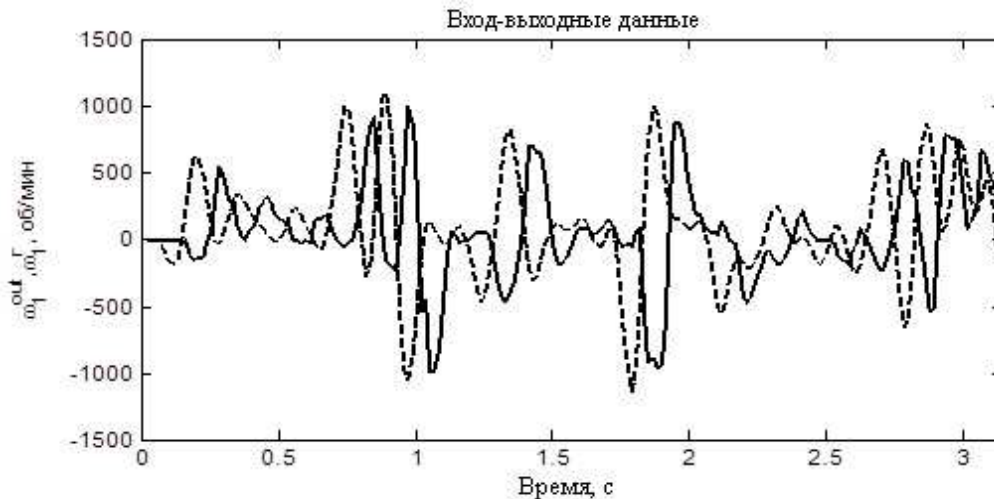


Рисунок 1 – Фрагмент вход-выходных данных для идентификации,
 $\omega_2^{out}(t)$ изображена сплошной линией, $\omega_2^r(t)$ – пунктиром

2. Линейные модели. В качестве входных воздействий, использовались задаваемые угловые скорости:

$$\omega^r(t_i) = (\omega_1^r(t), \omega_2^r(t), \omega_3^r(t))^T,$$

а выходных – измеренные их значения

$$\omega^{out}(t) = (\omega_1^{out}(t), \omega_2^{out}(t), \omega_3^{out}(t))^T.$$

При этом экспериментально было установлено, что модели Robotino можно строить независимо по каждому входу и выходу.

Для описания зависимостей между задающими и измеренными значениями угловых скоростей двигателей использовались модели авторегрессии – скользящего среднего (АРСС)

$$y(t) + a_1 y(t-T) + \dots + a_q y(t-qT) = b_1 u(t-kT) + \dots + b_l u(t-(k+l)T) + w(t), \quad (1)$$

где $u(t) \in R$, $y(t) \in R$ – входное и выходное воздействия, соответственно; $w(t)$ – центрированный белый шум; $a_i, i = 1, 2, \dots, q$, $b_j, j = 1, 2, \dots, l$, k – параметры модели, подлежащие оценке по экспериментальным данным.

Оценки неизвестных параметров $a_i, i = 1, 2, \dots, q$, $b_j, j = 1, 2, \dots, l$, были получены из условия минимума суммы квадратов невязок между измеренными значениями выходов $y(t_i), i = 1, 2, \dots, N$ и выходами модели $\hat{y}(t_i), i = 1, 2, \dots, N$, для выбранных подбором значений параметров q, l, k .

На этапе предварительной обработки удалялись тренды во входных и выходных сигналах. Адекватность, построенных моделей проверялась с помощью оценки коэффициентов детерминации

$$R^2 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2}{\sum_{i=1}^N (y(i) - \tilde{y})^2} \right) \cdot 100\%,$$

для каждого выхода и по статистическим свойствам остатков и их корреляций с входными воздействиями. Здесь $\hat{y}(i)$ – значение, предсказанное моделью, $\tilde{y}$ – оценка среднего значения, полученная по выборке.

Точность аппроксимации данных моделью оценивалась по величине среднеквадратической ошибки

$$RMSE = \left(1/N \sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2 \right)^{1/2}.$$

Идентификация модели проводилась по выборке из 1000 точек для каждого входа и выхода. Все данные были разделены на три части – обучающую (700 точек) и две тестирующие (по 150 точек). Первые две использовались для построения модели, а третья – для ее тестирования. Для получения измерений в равноотстоящие моменты времени, вход-выходные данные были линейно проинтерполированы с фиксированным тактом 0,0156 с, совпадающим с медианой распределения Δt . Порядки na , nb , nk выбирались из условия обеспечения адекватности модели и сравнения

коэффициента детерминации, для конкурирующих ARX-моделей с диапазонами возможных значений $na = \overline{1,3}$; $nb = \overline{1,3}$; $nk = \overline{1,7}$.

На рисунках 2, 3 приведены результаты моделирования, построенных моделей с параметрами $[na, nb, nk]$: $[3, 2, 7]$, $[3, 2, 5]$, $[1, 3, 6]$ для каждого из двигателей. На рисунке 2 показаны экспериментальные значения угловых скоростей (непрерывные кривые) и прогнозы, найденные по моделям (звездочки), по третьей, неиспользованной, при построении модели части выборки. При этом RMSE прогноза получились 100,1, 100,5, 79,1 об/мин для каждого из двигателей. На рисунке 3 изображены корреляционные функции остатков и взаимные корреляционные функции входов с остатками. Коэффициенты детерминации при прогнозе на 1 шаг составили в процентах: 85, 84 и 81.

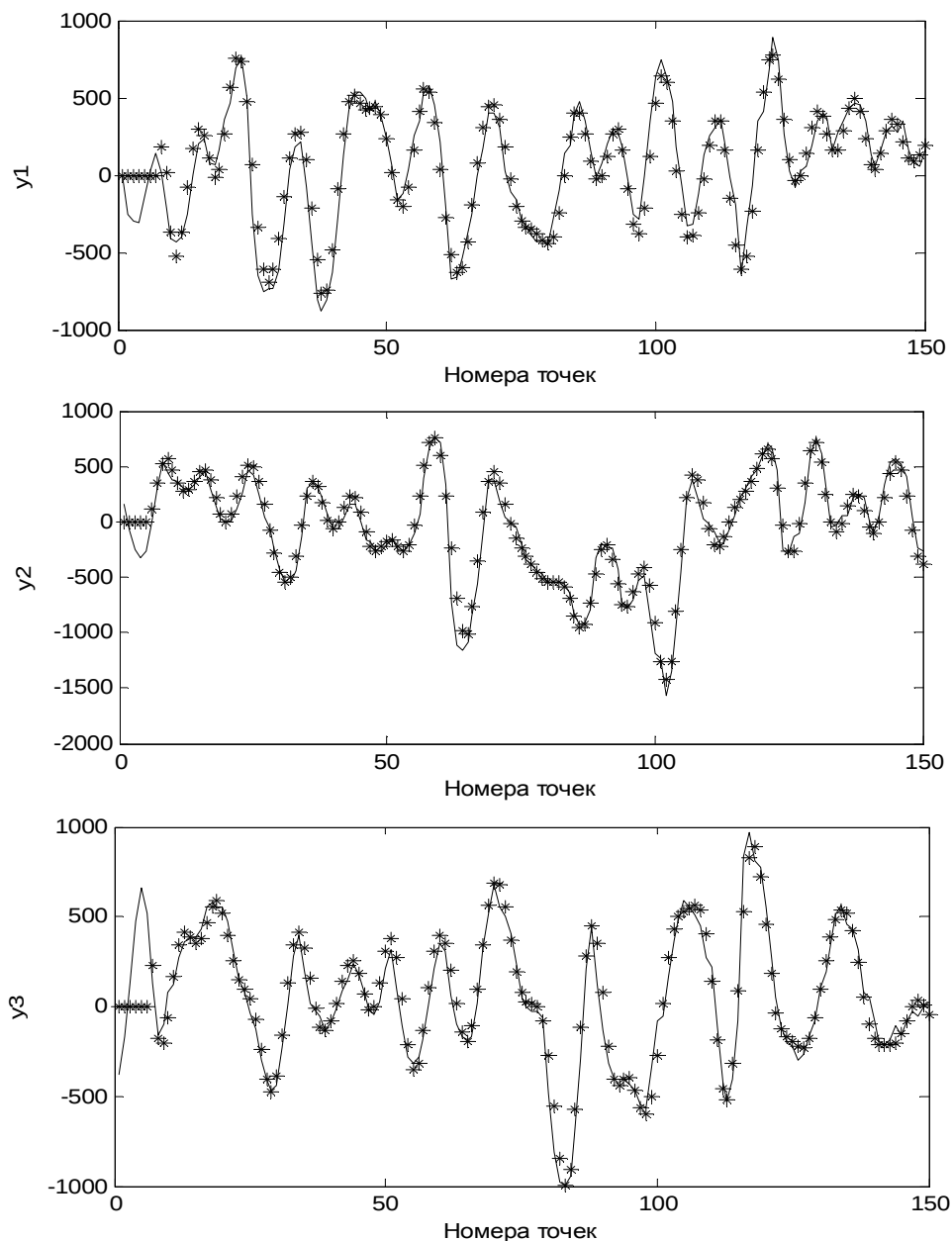


Рисунок 2 – Прогнозы выходов системы $y(t)$ в об/мин

Выводы. Проведённые исследования показывают, что найденная динамическая линейная модель Robotino адекватно обрабатывает задающие входные воздействия, но при этом среднеквадратические ошибки прогноза выходов достаточно велики. Поэтому для увеличения точности, планируется использовать нелинейные модели на основе нейронных сетей и нечёткой логики. Кроме того, перспективами дальнейших исследований является использование полученных моделей для проектирования систем управления движением МР в реальном времени, с возможностью работы в критических режимах.

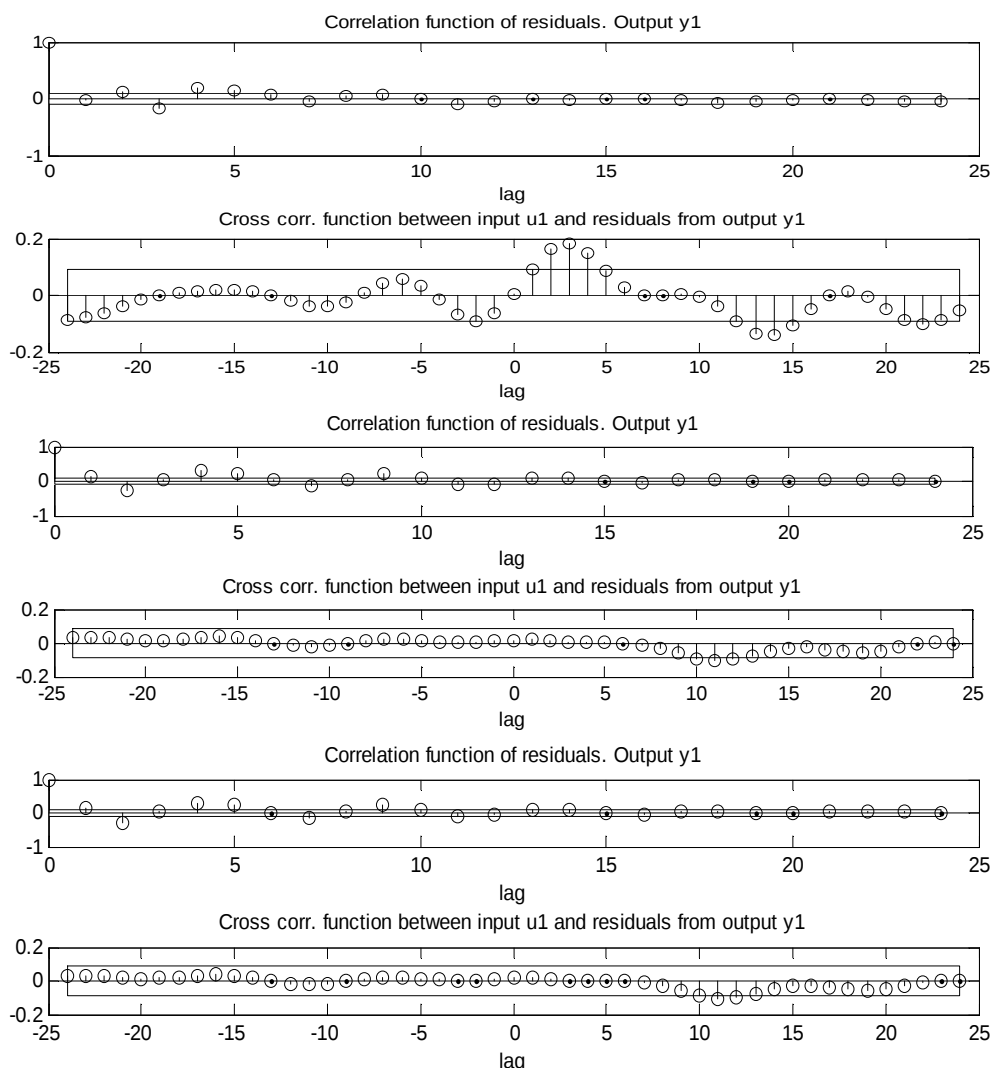


Рисунок 3 – Корреляционные функции остатков и взаимные корреляционные функции входов с остатками

Бібліографічний список використаної літератури

1. Conceigao O.S. Architecture Control and Model Identification of a Omni-Directional Mobile Robot / O.S. Conceigao, A.P. Moreira, P.J. Costa // Artificial intelligence: materials science and technology conference of the Portuguese – 2005, Portugal, 12–14 september 2005 year. — Portugal, 2005. — P. 247–251.
2. Xiang Li. Motion control of an omnidirectional mobile robot / Xiang Li, Zel Andreas // Intelligent control systems and optimization: materials of international conference on informatics in control, automation and robotics ICINCO – 2007, France, 29–31 july 2007 year. — France, 2007. — P. 125–132.
3. Программно-техническое описание учебного комплекса Robotino [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые данные (5 253 116 bytes). — Festo Didactic GmbH & Co. KG, 2007. — Режим доступа: <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/education-and-research-robots-robotino/robotino-workbook.htm>.

Поступила в редакцию 30.01.2013 г.

Скороход Б.А., Гусаков І.В. Побудова за експериментальними даними динамічних моделей Robotino

Розглянуто задачу ідентифікації динамічної моделі мобільного робота.

Ключові слова: ідентифікація, динамічна модель, прогноз.

Skorohod B.A., Gusakov I.V. Formation of the dynamic Robotino models based on experimental data

We consider the problem of identifying a dynamic model of the mobile robot.

Keywords: identification, dynamic model, forecast.