

УДК 629.5.051.5

В.И. Богданов, проф., д-р техн. наук; С.А. Подпорин, асс.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: Sergio@homa.net.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Предлагается новый метод оптимизации параметров судового ПИД-регулятора с помощью генетического алгоритма.

Несмотря на большое количество разработок и предлагаемых решений в области автоматизации управления курсом судна, на большинстве судов используется традиционный принцип ПИД-регулирования (регулирования по трем каналам: пропорциональному, интегральному, дифференциальному), многократно проверенный временем. Однако настройка ПИД-регулятора (в дальнейшем – регулятора) является нетривиальной задачей, правильное решение которой обеспечивает уменьшение числа необходимых переключений руля и приводит к существенной экономии топлива.

Существует большое число методов настройки регулятора[1], таких, как правило Циглера-Никольса (Ziegler-Nichols), правило Козна-Куна (Cohen-Coon), методы релейной настройки, методы оптимизации и другие. Однако на практике настройка производится чаще всего вручную, в связи с чем ее результаты не всегда удовлетворительны и во многом зависят от опыта и компетенции оператора. Часто исходные заводские настройки регулятора в процессе эксплуатации не меняются вообще, т. е. необходим адаптивный алгоритм, позволяющий производить донастройку регулятора в процессе эксплуатации.

Автоматическая подстройка регуляторов большинства используемых адаптивных авторулевых осуществляется следующими методами [2]:

- 1) используется матрица заранее заданных значений параметров регулятора для определенных режимов плавания судна;
- 2) используются стандартные алгоритмы оптимизации (метод прямого поиска, метод градиентного спуска);

В первом случае неизбежна погрешность из-за неполного соответствия режима плавания судна заранее установленным значениям матрицы. Во втором случае при использовании стандартных методов оптимизации можно столкнуться с проблемами застревания на локальном оптимуме (градиентный метод) и слишком долгого времени поиска (метод прямого поиска).

В настоящее время с развитием микропроцессорной техники появилась возможность программно реализовывать сложные алгоритмы опти-

мизации и управления судовыми системами. Настоящая статья имеет следующие цели:

- рассмотреть идею применения более совершенного и популярного ныне генетического алгоритма для решения задач настройки судового регулятора;
- с помощью математического моделирования проанализировать работу системы автоматического управления (САУ) курсом на примере конкретного судна и построить переходный процесс системы;
- по виду переходного процесса оценить качество работы настроенного генетическим методом регулятора.

Задачей настройки судового регулятора является обеспечение робастности управления, включающей следующие критерии:

- должное качество управления (минимальное перерегулирование, минимальное время регулирования и отсутствие колебаний в системе);
- грубость системы (при изменении параметров регулятора в определенных допустимых диапазонах качество управления не должно существенно меняться и система должна оставаться устойчивой);
- управляемость системы.

Генетические алгоритмы (ГА) – адаптивные методы поиска [3], которые в последнее время широко используются для решения задач функциональной оптимизации. Они основаны на генетических процессах биологических организмов: биологические популяции развиваются в течение нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора по принципу выживания наиболее приспособленного.

ГА работают с совокупностью особей – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы. Каждая особь оценивается мерой ее "приспособленности" к положительному решению поставленной задачи. Наиболее приспособленные особи получают возможность "воспроизводить" потомство с помощью "перекрестного скрещивания" (кроссовера) с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от родителей. Наименее приспособленные особи с меньшей вероятностью смогут воспроизвести потомство и со временем будут постепенно исчезать из популяции в процессе эволюции.

Так и создается новая популяция допустимых решений, выбирая лучших представителей предыдущего поколения, скрещивая их и получая

множество новых особей. Новое поколение содержит более высокое соотношение и качество характеристик по сравнению с членами предыдущего поколения. Таким образом, из поколения в поколение хорошие характеристики распространяются по всей популяции. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге, популяция будет сходиться к оптимальному решению задачи.

В рассматриваемом случае выбирается начальная популяция из N хромосом. Каждой хромосоме случайным образом присваивается комбинация из трех генов (трех коэффициентов ПИД-регулятора, соответствующих трем каналам управления). Гены (значения коэффициентов) выбираются из заранее установленных диапазонов. Далее каждая хромосома оце-

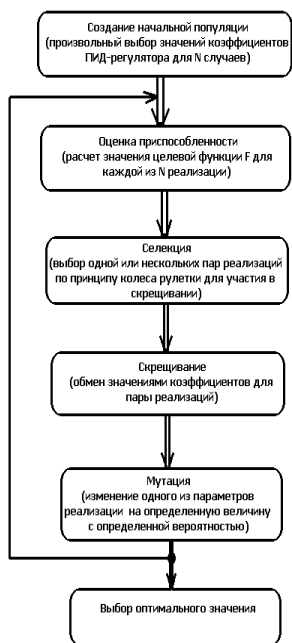


Рисунок 1 – Схема генетического алгоритма для решения задачи оптимизации параметров судового регулятора

нивается с точки зрения приспособленности. Критерием приспособленности является значение целевой функции (1).

$$F(K, T_d, T_i) = \frac{1}{J(K, T_d, T_i)}, \quad (1)$$

где $J(K, T_d, T_i)$ – квадратичный интеграл ошибки при подаче на вход системы единичного ступенчатого воздействия:

$$J(K, T_d, T_i) = \int_0^{\infty} e^2(t) dt.$$

Здесь $e(t)$ – изменение ошибки во времени.

Чем выше значение функции F хромосомы, тем больше вероятность ее участия в кроссовере при создании следующей популяции. Чтобы избежать застревания алгоритма на локальном оптимуме, в алгоритм введена операция мутации: с определенной вероятностью в каждом поколении происходит изменение гена на величину Δ . Таким образом, генетический алгоритм сочетает в себе достоинства двух основных методов оптимизации: градиентного спуска и прямого поиска. Схема генетического алгоритма изображена на рисунке 1.

Для анализа качества системы управления курсом судна, представленной на рисунке 2, было взято судно со следующими параметрами: длина наибольшая 171 м, ширина наибольшая 23,17 м, осадка 8 м, водоизмещение 17800 м³, скорость 18 узлов. На рисунке 2: X – задающее воздействие, Y – выходная величина системы (курс судна), f – внешние возмущающие воздействия. В качестве регулятора был взят ПИД-регулятор серийного типа с фильтром по производной и дополнительным фильтром для компенсации высокочастотных колебаний пера руля.

$$W_{pid}(s) = K \cdot \frac{1 + T_i s}{T_i s} \cdot \frac{1 + T_d s}{1 + T_L s} \cdot \frac{1}{1 + T_f s},$$

где K – коэффициент усиления по пропорциональному каналу, T_i – постоянная времени интегрального канала, T_d – постоянная времени дифференциального канала, T_L – постоянная времени фильтра по производной, T_f – постоянная времени фильтра высокочастотных колебаний руля.

Коэффициенты K , T_i , T_d регулятора настраивались программно с помощью генетического алгоритма. Передаточные функции рулевой машины и

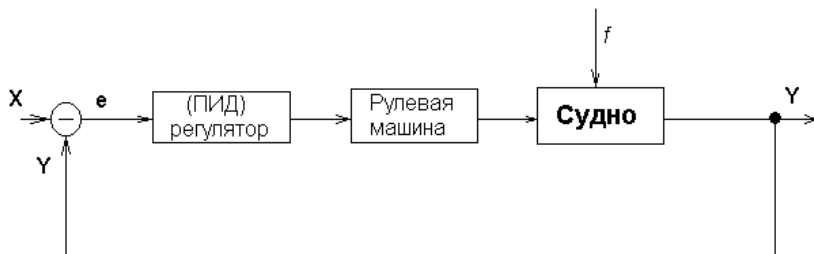


Рисунок 2 – Система управления курсом судна

судна как гидродинамического звена были получены с использованием математического моделирования. В качестве математической модели гидродинамического звена была взята модель второго порядка [4] с передаточной функцией по управляющему воздействию.

$$W_{ship}(s) = \frac{K_{hd}(1 + T_0s)}{s(1 + T_1s + T_2s^2)},$$

где K_{hd} – коэффициент усиления гидродинамического звена; T_0, T_1, T_2 – постоянные времени гидродинамического звена. В качестве упрощенной модели рулевого привода было взято звено с запаздыванием.

$$W_{sg}(s) = \frac{K_{sg}}{T_{sg}s + 1},$$

где K_{sg} и T_{sg} – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени рулевой машины.

В вычислительной среде MathCAD была получена передаточная функция замкнутой системы и построены графики переходных процессов. О качестве системы можно судить, подавая на вход единичное ступенчатое воздействие. При этом предполагается, что система линейная и к ней применим принцип суперпозиции. График полученного переходного процесса показан на рисунке 3.

Параметры качества полученного переходного процесса:

- перерегулирование 4,7 %;
- время регулирования 75 секунд;

$f(t)$

Рисунок 3 – Переходный процесс системы при подаче единичного скачка на вход

t, c

– колебательность – отсутствует.

В процессе испытаний проводились также исследования на грубость системы как по вариации внутренних параметров (K, T_i, T_d), так и по вариации внешних возмущающих воздействий в рамках известных ограничений.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Исследуемая система робастна, поскольку сохраняет устойчивость и достаточно хорошее качество при изменении параметров в определенных допустимых диапазонах.
2. При оптимальной настройке ПИД-регулятора для конкретных условий плавания система управления курсом судна показывает высокие показатели качества (отсутствующее перерегулирование и колебательность), что позволяет существенно сократить необходимое число переключений руля и сэкономить топливо.
3. Генетический алгоритм является мощным и эффективным методом оптимизации параметров сложных систем управления. В современных адаптивных авторулевых ГА может быть использован для подстройки параметров регулятора в реальном времени при изменяющихся условиях плавания.

Перспективой дальнейшей исследований является применение систем искусственного интеллекта (нейросетей и нечеткой логики) для решения задач управления судна на курсе и создание нечеткого ПИД-регулятора, в котором основным методом оптимизации параметров являлся бы генетический алгоритм.

Библиографический список

1. Astrom K.J. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning / K.J. Astrom, T. Hagglund. — NC: ISA, 1995. — 408 p.
2. Березин С.А. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.А. Березин, Б.А. Тетюев. — Л.: Судостроение, 1990. — 256 с.
3. Gen M. Genetic Algorithms & Engineering Optimization / M. Gen, R. Cheng. — N.Y.: John Wiley, 2000. — 512 p.
4. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы / И.Р. Фрейдзон. — Л.: Судостроение, 1967. — 572 с.

Поступила в редакцию 4.03.2004 г.