

Фархадов В.Г., Байрамова И.П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ

В статье рассмотрен вопрос повышения качества функционирования подводных роботов за счёт обеспечения оптимальности по быстродействию в подсистемах позиционного управления соответствующими приводами; для решения этой задачи в качестве задачи параметрической оптимизации использован инструментальный пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD – Blockset) в составе Matlab; показана функциональная структура идентификатора; построены динамические характеристики идентификатора и переходные характеристики системы при определенных параметрах.

Таким образом, математическая модель, составленная в аспекте параметрической оптимизации с использованием принципа идентификации в рамках инструментального пакета Nonlinear Control Design Blockset в составе Matlab, позволяет повысить качество функционирования подводных роботов за счёт обеспечения оптимальности по быстродействию в подсистемах позиционного управления соответствующими приводами.

Ключевые слова. *Электродвигатель, подводный робот, идентификатор, моделирование, движение.*

Введение. Кардинальным вопросом при разработке и эксплуатации подводного робота является вопрос о движении: каким должно быть движение, как оно должно адаптироваться при изменении обстановки и какими должны быть основные системы робота, способные обеспечить такое движение.

Важное значение для выполнения этих задач, имеют широкое внедрение промышленных роботов (ПР). ПР находят все более широкое внедрение в судостроение при выполнении работ, которые нецелесообразно автоматизировать традиционными средствами.

Производительность роботов, а значит и их быстродействие, повышается благодаря применению более качественных системы управления приводов.

Для подводных роботов манипулирования изделиями в качестве приводов все большее распространение получают электродвигатели. В тоже время высокие требования к точности позиционирования и быстродействию роботов заставляют искать оригинальное решение в разработке оптимальной системы управления двигателями ПР.

Основная часть. Принцип максимума [1] сводит исходную задачу оптимального управления к решению двухточечной краевой задачи. Вычислительные трудности решения подобных задач хорошо известны.

Аналогичная проблема возникает и при переводе некоторого объекта $\dot{x}(t) = f(x, u, t)$ из $x(0) = x_0(0)$ в $x(T) = 0$ за минимальное время. Для линейного объекта

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu, |u| \leq 1,$$

оптимальное по быстродействию управление

$$u = -\text{sign}(B^T p(t)).$$

Вектор сопряженных переменных $p(t)$ удовлетворяет уравнению

$$\dot{p}(t) = -A^T p(t), p(0) = p_0 = ? \quad (1)$$

Задача состоит в определении значения $p_0 = p_0^*$, обеспечивающего перевод системы из заданного начального состояния $x(0) = x_0$ в начало координат $x(T) = x_T = 0$ за минимальное время $T = T_{\min}$.

Если p_0^* найден, то определение $p(t)$ не представляет особого труда - следует решить задачу Коши для системы (1).

Многие вычислительные алгоритмы решения этой задачи основаны на итеративном решении дифференциального уравнения Neishtadta [2,3].

В представленной работе эта задача рассмотрена как задача параметрической оптимизации и для ее решения использован инструментальный пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD – Blockset) в составе Matlab [4].

В качестве оптимизируемой функции выбрана функция:

$$\theta(p_0) = \begin{cases} t, & \text{если } h(p_0, t) > 0, \\ t_* = \text{const}, & \text{если } h(p_0, t) \leq 0 \end{cases}.$$

Сигнал, соответствующий астрономическому времени t , снимается с выхода интегратора с единичным входом и управляется функцией $h(p_0, t)$.

Используя результаты Neishtadta монотонную функцию $h(p_0, t)$ формируем следующим образом:

$$\begin{aligned} x_0^T p_0^{(0)} &\geq 0, \\ \dot{p}(t) &= -A^T p(t), p(0) = p_0^{(0)}, \\ u &= -\text{sign}[B^T p(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}(t) &= (e^{-A^T t})^T B u, z_0 = 0; \\ h(p_0, t) &= p_0^T [z(t)] + x_0. \end{aligned} \quad (4)$$

Равенство $h(p_0^{(k)}, t) = 0$ в каждой итерации $k=0,1,2,\dots$ определяет функцию $\theta(p_0^{(k)}) = t_*^{(k)}$, значение которой находится в интервале $[0, T_{\min}]$. Оптимальное решение: $T_{\min} = \max\{t_*^{(k)}\}$.

В принципе, определение $\max \theta(p_0)$ может производиться любым вычислительным методом оптимизации.

Функция (2) реализована на основе If Blocs [4]. Блоки (3) и (4) реализованы в пакете Simulink. Переходная матрица $\exp(-A^T t)$ вычисляется на основе решения матричного дифференциального уравнения

$$\dot{\eta} = -A^T \eta, \quad \eta_0 = I, \quad (5)$$

где $\eta = (\eta_{ij})$ - $n \times n$ матрица, I – единичная матрица.

Блок (5) также реализуется на пакете Simulink.

Правильность решения контролируется нормой $F(t) = \|x(t)\|$. При $t_* = t_{\max}$ норма $F(t_{\max}) = 0 \Rightarrow x(t_{\max}) = x(T_{\min}) = 0$. Кроме того, $z(T_{\min}) = -x_0$ также может явиться контрольным

соотношением. Успех решения зависит от выбора конфигурации допустимой области Ω . При этом следует соблюдать следующие правила. Форма Ω выбирается таким образом, чтобы горизонтальная ветвь $t_*^{(k)} = \text{const}$ функции (2) от итерации к итерации с увеличением $t_*^{(k)}$ приближалась ко второй части коридора (рис. 3). Если процесс вычислений завершается после вхождения ветви $t_*^{(k)} = \text{const}$ в этот коридор, то это не означает, что optimum найден, т.е. $\text{grad}[t_*(p_0^{(k)})] = 0$ - это «естественное» прерывание. В такой ситуации следует коридор продвигать вверх таким образом, чтобы в момент завершения вычислений прямая $t_*^{(k)} = \text{const}$ оставалась в малой внешней окрестности этого коридора (рис. 3).

На рис.1 показана функциональная структура идентификатора.

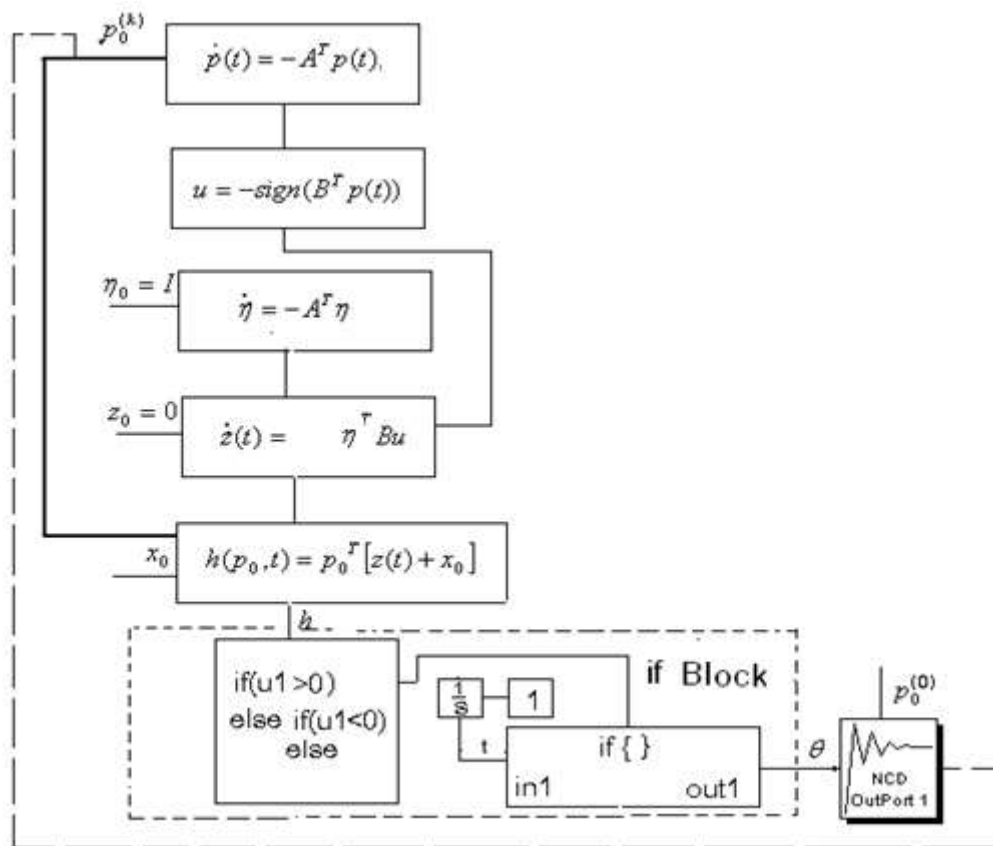


Рисунок 1 – Функциональная структура идентификатора

В качестве примера рассмотрим идентификацию p_0 , в оптимальной по быстродействию задаче управления двойным интегратором: $\dot{x}_1 = x_2, \dot{x}_2 = u, y = x_1$.

Здесь $n=2$,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, -A^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$u = -\text{sign}[p_2(t)] .$$

На рис.2 показаны динамические характеристики идентификатора для $x_0 = (1,1)^T$, $p_0^{(0)} = (1,1)^T$, соответствующие последней итерации.

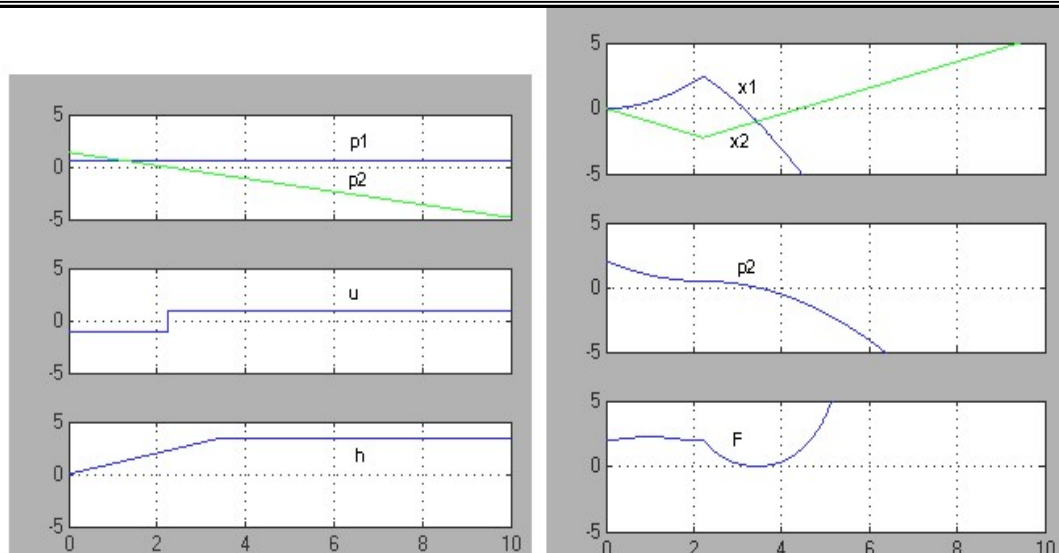


Рисунок 2 – Динамические характеристики идентификатора

Для ряда начальных значений x_0 , получены следующие значения p_0 :

$$X_0 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow P_0 = \begin{pmatrix} 1.3704, & 0.6159 \\ -1.3704, & -0.6159 \\ 1.0000, & 1.0000 \\ 1.2657, & 0.74146 \end{pmatrix}$$

На рис.3 показана конфигурация допустимой области Ω , реализованной в NCD – Blockset для $x_0 = (1,1)^T$, $p_0^{(0)} = (1,1)^T$.

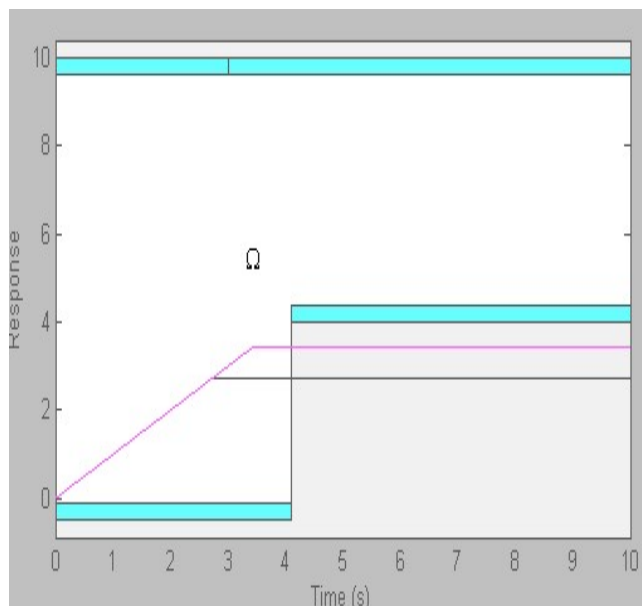


Рисунок 3 – Конфигурация допустимой области Ω

В задаче стабилизации $y(T_{\min}) = g$ значение $p_0 = (p_{10}, p_{20})^T$ определяется для $x_0 = (g, 0)^T$.

Кроме того, для установления системы в начале координат необходимо обеспечивать управление стабилизирующим значением $u = 0$. Это достигается в области $F(t) \leq \delta$, где $\delta = 0.01$ малая величина.

На рис.4 представлена схема симуляции системы управления двойным интегратором.

На рис.5 показаны переходные характеристики системы при $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$.

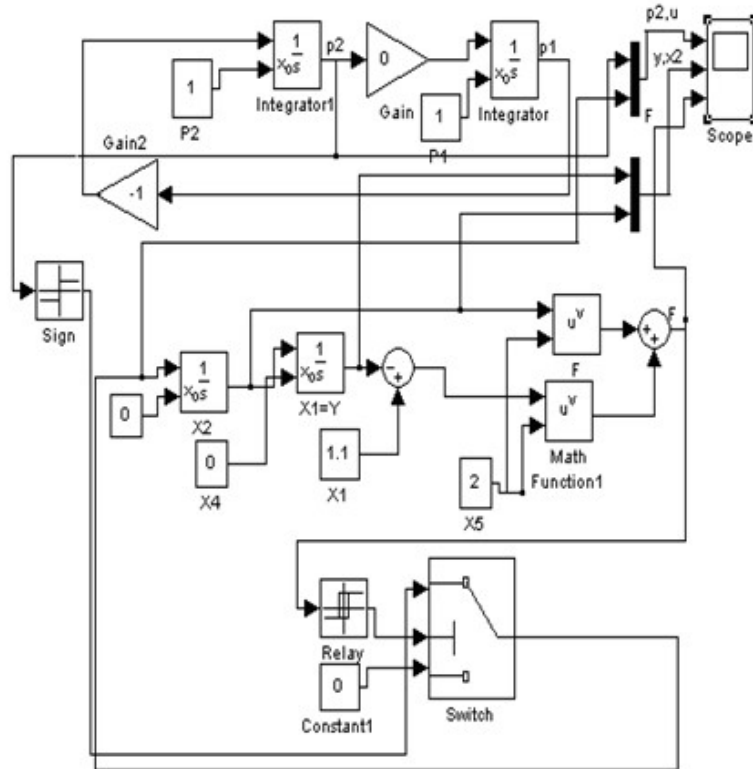


Рисунок 4 – Схема симуляции системы управления двойным интегратором

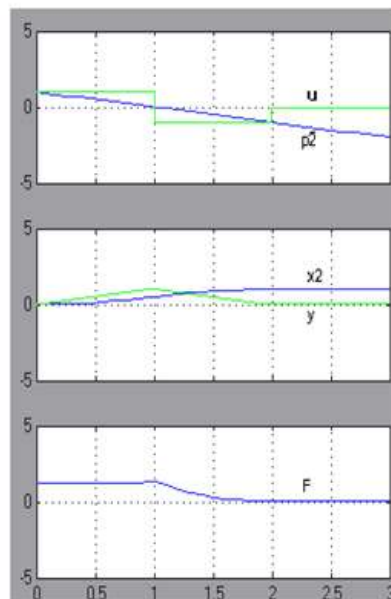


Рисунок 5 – Переходные характеристики системы при $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$

Вывод. Таким образом, математическая модель, составленная в аспекте параметрической оптимизации с использованием принципа идентификации в рамках

інструментального пакета Nonlinear Control Design Blockset (NCD – Blockset) в складі Matlab, дозволяє підвищити якість функціонування підводних роботів за рахунок забезпечення оптимальності по швидкодії в підсистемах позиційного управління відповідними приводами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1969.
2. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. Москва, Наука, 1969, с.139-156.
3. Гноенский Л.С., Каменский Г.А., Эльсгольц Л.Э. Математические основы теории управляемых систем. Москва: Наука, 1969, с.418-429.
4. Hoffman J. Matlab and Simulink.-Bonn: Addison-Wesley-Longman, 1998.

Farkhadov V.G., Bayramova I.P.

THE SIMULATION OF OPTIMAL FOR QUICK-SPEED SYSTEMS OF CONTROL OF UNDERWATER ROBOTS

The article is analyzed the question of improving the performance of underwater robots by providing the optimality for the speed in the subsystems of the position control of the respective drives; To solve this problem, the tool package Nonlinear Control Design Blockset (NCD -Block set) as a part of Matlab is used as a parametric optimization problem; the functional structure of the identifier is shown; The dynamic characteristics of the identifier and the transient characteristics of the system are constructed for $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$.

Thus, the mathematical model, compiled in the aspect of parametric optimization using the identification principle within the Nonlinear Control Design Blockset toolkit in Matlab, allows to improve the quality of the operation of underwater robots by ensuring optimality of the speed in the subsystems of position control by the corresponding drives.

Key words. Electric engine, underwater robot, identifier, simulation, movement.

Фархад В.Г., Байрамова І.П.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ШВИДКОДІЄЮ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПІДВОДНИХ РОБОТІВ

У статті розглянуто питання підвищення якості функціонування підводних роботів за рахунок забезпечення оптимальності за швидкодією в підсистемах позиційного управління відповідними приводами; для вирішення цього завдання як завдання параметричної оптимізації використаний інструментальний пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD - Blockset) в складі Matlab; показана функціональна структура ідентифікатора; побудовані динамічні характеристики ідентифікатора і перехідні характеристики системи при певних параметрах.

Таким чином, математична модель, складена в аспекті параметричної оптимізації з використанням принципу ідентифікації в рамках інструментального пакету Nonlinear Control Design Blockset в складі Matlab, дозволяє підвищити якість функціонування підводних роботів за рахунок забезпечення оптимальності за швидкодією в підсистемах позиційного управління відповідними приводами.

Ключові слова: електродвигун, підводний робот, ідентифікатор, моделювання, рух.