

УДК 681.513.8

А.А. Дьяченко

**САМООРГАНИЗУЮЩИЙСЯ ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОМ**

Предложен новый метод синтеза самоорганизующегося регулятора, основанный на экстраполяции. Самоорганизующийся оптимальный регулятор позволяет изменять свою структуру, тем самым подстраиваться под объект управления. При этом организуется оптимальное, с точки зрения функционала обобщенной работы, управление.

Самоорганизация; оптимальное управление; регулятор; экстраполяция.

А.А. Dyachenko

**THE SELF-ORGANIZATION OPTIMAL REGULATOR FOR SERVO-MOTOR
CONTROL**

The new method of synthesis a self-organization regulator, based on extrapolation is offered. The self-organization optimal regulator allows changing the structure, thereby to be arranged under object of control. Control will thus be organized optimal from the point of view functional the generalized work.

Self-organization; optimal control; regulator; extrapolation.

На сегодняшний день проблема адаптивного управления по-прежнему продолжает оставаться открытой и актуальной. Было предложено много методов решения этой проблемы и здесь предложен один из них.

Актуальность адаптивных систем управления подогревается и тем, что повсюду применяются модульные методы проектирования систем управления, а это значит, что они должны быть унифицированы, при этом остается мало времени для моделирования и идентификации процессов управления. Поэтому наиболее эффективными здесь были бы адаптивные (самоорганизующиеся) регуляторы.

В работе рассматривается адаптивный регулятор (АР) нового класса, предложенный академиком А.А. Красовским [1]. Регулятор включает в себя два компонента, адаптивный самоорганизующийся наблюдатель и оптимальное (субоптимальное) управление. В качестве наблюдателя используется циклический фильтр Калмана-Бьюси (ФКБ), а в качестве алгоритма управления используется принцип минимума функционала обобщенной работы (ФОР).

В основе работы всех алгоритмов регулятора лежит экстраполяция. В данной работе применялась Тейлоровская экстраполяция, хотя в некоторых работах А.А. Красовского упоминалось и о других формулах экстраполяции как более эффективных, в частности биномиальная экстраполяция [2].

Рассмотрим алгоритмы дискретного самоорганизующегося оптимального регулятора с экстраполяцией (СОРЭ). В дискретном СОРЭ время разбивается на циклы $t_{ц}$, а циклы в свою очередь разбивается на шаги $\Delta t_{ш}$, в одном цикле m шагов. Поэтому непрерывное время t представляется в таком виде $t = \nu t_{ц} + k \Delta t_{ш}$, где ν – номер цикла, k – номер шага. Для упрощения записи будем использовать запись $t = \nu + k$.

В СОРЭ на циклах t_y модель объекта представляется в виде цепочки интеграторов соединенных последовательно. Поэтому непрерывная модель в переменных состояния записывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ &\dots \\ \dot{x}_n &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

а для дискретной системы модель будет записываться в рекуррентной форме

$$x[k+1] = \Phi[1]x[k], \quad (2)$$

где

$$\Phi[k] = \begin{bmatrix} 1 & k\Delta t_{uu} & \dots & \frac{(k\Delta t_{uu})^{n-1}}{(n-1)!} \\ 0 & 1 & \dots & \frac{(k\Delta t_{uu})^{n-2}}{(n-2)!} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} - \text{фундаментальная матрица.}$$

Циклический ФКБ для такого объекта будет представлен в следующем виде. Одношаговое предсказание \hat{x} :

$$\hat{x}[k+1|k] = \Phi[1]\hat{x}[k].$$

Вычисление $\hat{x}[k+1]$:

$$\hat{x}[k+1] = \hat{x}[k+1|k] + K[k+1](z[k+1] - \hat{x}_1[k+1|k]), \quad (3)$$

$$z[k+1] = x_3[k+1] - y[k],$$

где K – векторный коэффициент усиления, z – ошибка рассогласования, x_3 – задающее воздействие, y – выходная величина.

Одношаговое предсказание ковариационной матрицы ошибок оценивания:

$$P[k+1|k] = \Phi[1]P[k]\Phi^T[1], \quad (4)$$

$$K[k+1] = \frac{1}{P_{11}[k+1|k] + \sigma_{\mathcal{D}}^2} \begin{bmatrix} P_{11}[k+1|k] \\ \vdots \\ P_{1r}[k+1|k] \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$P[k+1] = P[k+1|k] - K[k+1][P_{11}[k+1|k] \dots P_{1r}[k+1|k]]. \quad (6)$$

Затем оценки \hat{x} от всех ФКБ в конце цикла t_y экстраполируются на один цикл t_y по формуле

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_1[m] + \hat{x}_2[m]t_u + \dots + \frac{\hat{x}_r[m]}{(r-1)!} t_u^{r-1}. \quad (7)$$

В начале следующего цикла вычисляется порядок предполагаемой модели объекта, посредством вычисления нормы $|z - \hat{x}_1|$ для всех r порядков \hat{x}_1 , экстраполированных на цикл t_u . Порядок выбирается тот, для которого экстраполированное значение дает наименьшую норму.

Затем, на ускоренном времени, происходит вычисление оптимального времени экстраполяции для квадратичного ФОР [1]. При определении оптимального времени участвуют наблюдаемые переменные того ФКБ, порядок которого был выбран в результате минимизации нормы. Ускоренное время задается следующим образом: δt_u – длительность ускоренного шага, при этом $\Delta t_u = \chi \delta t_u$, где χ – количество ускоренных шагов δt_u в шаге Δt_u , причем $\chi = m$. Номера шагов ускоренного времени будем обозначать $\mu = 0, 1, 2, \dots$. Для квадратичного ФОР оптимальное время экстраполяции целесообразно искать по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \hat{x}_1[\mu] &= \hat{x}_1[0] + \hat{x}_2[0]\mu\delta t_u + \dots + \frac{\hat{x}_r[0]}{(r-1)!} (\mu\delta t_u)^{r-1}, \\ \dot{\hat{x}}_1[\mu] &= \hat{x}_2[0] + \hat{x}_3[0]\mu\delta t_u + \dots + \frac{\hat{x}_r[0]}{(r-2)!} (\mu\delta t_u)^{r-2}, \\ \ddot{\hat{x}}_1[\mu] &= \hat{x}_3[0] + \hat{x}_4[0]\mu\delta t_u + \dots + \frac{\hat{x}_r[0]}{(r-3)!} (\mu\delta t_u)^{r-3}. \end{aligned} \quad (8)$$

Найденные $\hat{x}_1[\mu]$, $\dot{\hat{x}}_1[\mu]$ и $\ddot{\hat{x}}_1[\mu]$ подставим в следующие выражения:

$$\begin{aligned} \dot{I}_\Gamma[\mu] &= \hat{x}_1[\mu](\beta\dot{\hat{x}}_1[\mu] + 2\dot{\hat{x}}_1[\mu]), \\ \ddot{I}_\Gamma[\mu] &= 2\dot{\hat{x}}_1^2[\mu] + 2\hat{x}_1[\mu](\beta\ddot{\hat{x}}_1[\mu] + \ddot{\hat{x}}_1[\mu]), \\ \dot{I}_\Gamma[\mu] &\approx 0, \quad \ddot{I}_\Gamma[\mu] > 0. \end{aligned} \quad (9)$$

По результатам сравнения (9) выбирается μ_\ominus , которое наилучшим образом удовлетворяет этому условию.

Оптимальное управление для $\nu + 1$ -го цикла для квадратичного ФОР определяется по формуле

$$\begin{aligned} u[\nu + 1] &= 2k_1 \left[(1 + \beta\mu_\ominus\Delta t_u)\hat{x}_1[k] + (1 + \frac{1}{2}\beta\mu_\ominus\Delta t_u)\hat{x}_2[k]\mu_\ominus\Delta t_u + \dots \right. \\ &\quad \left. \dots + \frac{1}{(r-1)!} (1 + \frac{1}{r}\beta\mu_\ominus\Delta t_u)\hat{x}_r[k]\mu_\ominus^{r-1}\Delta t_u^{r-1} \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

В качестве объекта управления взят двигатель постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) с математической моделью в переменных состояния в векторно-матричной форме

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -a_{11} & -a_{12} & 0 \\ a_{21} & -a_{22} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u, \quad (11)$$

$$y = [0 \ 0 \ 1]x,$$

где a_{ij} , b_k – коэффициенты, связанные с различными параметрами двигателя.

На рис. 1 изображена упрощенная структурная схема системы управления, где под блоком «СОРЭ» подразумевается вся структура СОРЭ со всеми алгоритмами, входящими в его состав.

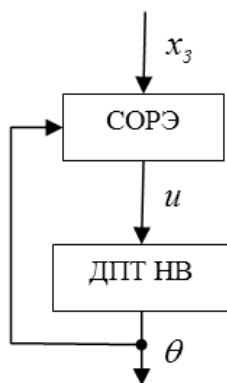


Рис. 1. Упрощенная структура системы управления с СОРЭ

На рис. 2 (а, б и в) приведены переменные состояния ДПТ НВ и их оценки \hat{x} , для первой, второй и третьей переменной состояния соответственно, рассчитанные в циклическом ФКБ на одном цикле. Вектор начальных условий для каждого цикла брался равным $\hat{x}[0] = 0,002$.

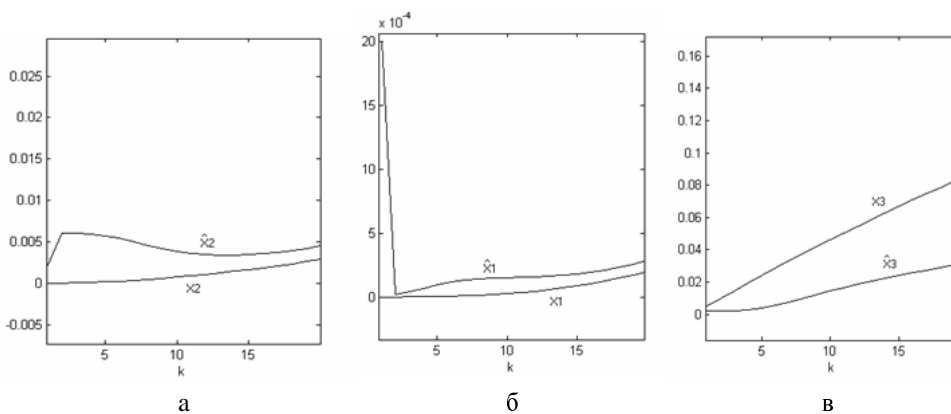


Рис. 2. Переменные состояния x_i и их оценки \hat{x}_i , а – для первой, б – для второй и в – для третьей переменных состояния

Порядок модели объекта, который оценивался в регуляторе, точно совпадал с реальным порядком математической модели.

Результаты моделирования выходной величины приведены на рис. 3. На графике представлена величина θ – угол поворота выходного вала. На вход системы управления подавалось единичное ступенчатое воздействие. Время моделирования измеряется в циклах. Длительность одного цикла составляет 0,1 с, а длительность одного шага 0,005 с. Соответственно число шагов в цикле 20. Длительность циклов и длительность шагов можно задавать любыми, только чтобы они удовлетворяли определенным условиям, которые излагаются в [1].

На вид переходного процесса значительно влияют параметры k_1 и σ_d . В частности, с увеличением k_1 увеличивается колебательность переходных процессов.

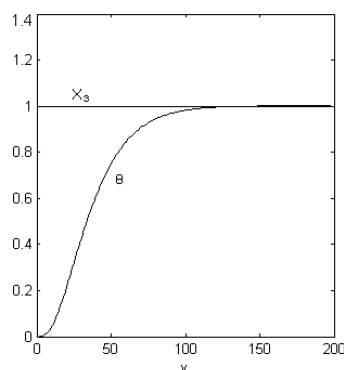


Рис. 3. Переходной процесс θ и задающее воздействие x_3

В целом можно отметить, что данный подход по проектированию самоорганизующихся оптимальных регуляторов может применяться для проектирования различных систем автоматического управления, особенно тех, для которых нужен высокий уровень адаптации и устойчивости к внешним нагрузкам и возмущениям. Например, к таким системам относятся мобильные роботы и транспортные системы. Подобный прототип мобильного робота с ДПТ создан в НИИ МВС ЮФУ. Применение вышеизложенных алгоритмов оптимального управления позволит снизить энергозатраты источников питания, что позволит дольше эксплуатировать робот без зарядки аккумуляторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красовский А.А. Адаптивный оптимальный регулятор с переменными порядком наблюдателя и временем экстраполяции // *АиТ*. – 1994. – № 11. – С. 97-112.
2. Красовский А.А. Теория самоорганизующегося оптимального регулятора биномиального типа в детерминировано-стохастическом приближении. // *АиТ*. – 1999. – № 5. – С. 97-113.
3. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Гайдук А.Р. Математические основы теории систем автоматического управления. – М.: Испо-Сервис, 2002.

Дьяченко Александр Александрович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: aleks@mvs.tsure.ru

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Dyachenko Alexandr Alexandrovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: aleks@mvs.tsure.ru

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.

УДК 681.326.5 – 181.48:629.113

М.И. Монченко

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РУЛЕВЫМ МЕХАНИЗМОМ АВТОМОБИЛЯ

Рассмотрена математическая модель рулевого управления с электромеханическим усилителем руля, получено уравнение «вход-выход» объекта управления, осуществлен синтез двумерного устройства управления, обеспечивающего первый порядок астатизма и требуемое время регулирования для реализации на микроконтроллере, проведено моделирование переходных процессов.

Электромеханический усилитель; устройство управления.

M.I. Monchenko, A.R. Gaiduk

MICROPROCESSOR SYSTEM OF AUTOMOBILE STEERING GEAR CONTROL

The mathematical model of steering with an electromechanical booster is analyzed. The «input-output» equation is deduced. The synthesis of two-dimensional control device, providing the first order floating and required regulating time, is made to be realized on the basis of microcontroller. The modeling of the transition process is made.

Electromechanical steering booster; two-dimensional control device.

В работе рассматривается безредукторный усилитель рулевой колонки, состоящий из рулевого механизма со встроенным электродвигателем и соединяющего их упругого стержня – торсиона (рис. 1) [1].



Рис. 1. Общий вид электроусилителя руля

Функциональная схема рулевого управления с ЭМУР показана на рис. 2. Работа рассматриваемого рулевого управления протекает следующим образом. Водитель, прикладывая усилие к рулевому колесу, заставляет торсион скручиваться на некоторый угол. Система управления измеряет это угловое рассогласование и ЭМУР формирует вспомогательный момент на валу рулевого механизма. Благодаря