

КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕГУЛЯТОРАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫМИ НА ОСНОВЕ УКОРОЧЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

Аннотация: В статье рассмотрен подход использования укороченной модели объекта для построения на его базе укороченных фильтров переменных состояния и регуляторов на их основе. Построение укороченной модели производится на основе построения амплитудно-фазо-частотных характеристик и последующего отбрасывания составляющих в высокочастотной области спектра пропускания для обеспечения наилучших показателей качества синтеза укороченной модели в низкочастотном спектре пропускания. На основе полученной укороченной модели объекта синтезированы укороченный фильтр Калмана, улучшенный укороченный фильтр переменных состояния и укороченные регуляторы с использованием в их контуре разработанных укороченных фильтров переменных состояния. Для оценки эффективности предложенного подхода используются интегральные критерии качества. В статье приведены результаты экспериментальных исследований предложенных подходов, которые подтверждают эффективность разработанного укороченного регулятора.

Ключевые слова: переменные состояния, оценки переменных состояния, синтез, укороченная модель, логарифмические амплитудно-частотные характеристики, фильтр переменных состояния, регулятор, оптимальное управление, интегральный критерий качества, эффективность.

В работах авторов обосновано, что калмановский подход фильтрации из-за неучета влияния рассогласований начальных условий объекта и фильтра приводит к неоптимальным оценкам переменных состояния (ПС), а значит и к неоптимальным регуляторам. Показано также, что на основе соответствующего дополнения винеровского подхода фильтрации возможен синтез более эффективных фильтров ПС, чем калмановские. Очевидно, что на основе более эффективных фильтров ПС могут быть синтезированы более эффективные регуляторы.

Во многих случаях для решения задач управления, в том числе и оптимального, используются критерии качества, которые сформулированы на основе неполного вектора ПС. В статье показано, что эффективные регуляторы могут быть синтезированы на основе укороченных фильтров ПС. И в этих случаях следует ожидать, что на основе более эффективных укороченных фильтров могут быть построены более эффективные укороченные регуляторы.

Для синтеза укороченных фильтров и регуляторов используются укороченные модели объекта управления. Эффективность укороченных фильтров, а значит и регуляторов, построенных на их основе, будет напрямую зависеть от степени корректности синтеза укороченной модели объекта управления. Как правило, формулировки задач управления на основе укороченного вектора ПС осуществляется с учетом обеспечения

наилучших показателей качества в низкочастотной части спектра пропускания объекта.

С учетом вышеуказанного для построения укороченных моделей $W_l(\beta)$ объектов управления $W_n(\alpha)$ (где $n, l < n, \alpha, \beta$ – соответственно порядок объекта, порядок укороченной модели, параметры модели объекта и укороченной модели) используется частотный аппарат, а именно аппарат амплитудно-логарифмических частотных характеристик $L(\omega)$. Известно, что он позволяет легко определить структуру модели объекта управления. При интегральных критериях качества этот аппарат логичен, так как сам частотный аппарат носит интегральный характер.

После определения структуры укороченных моделей $W_l(\beta)$ задача ее синтеза превращается в параметрическую, где параметры β в работе определяются на основе интегрального критерия близости моделей $W_l(\beta)$ и $W_n(\alpha)$.

В статье процедура синтеза структуры укороченной модели $W_l(\beta)$ демонстрируется для объекта 3-го порядка. При этом порядок укороченной модели выбран равный двум. Эта процедура графически продемонстрирована на Рис.1., где $L(\omega)$ – логарифмическая амплитудно-частотная характеристика объекта, $L^{\Pi}(\omega)$ – ее приближенная логарифмическая амплитудно-частотная характеристика, $L_M^{\Pi}(\omega)$ – приближенная логарифмическая амплитудно-частотная характеристика укороченной модели, $L_M(\omega)$ – полученная логарифмическая амплитудно-частотная характеристика укороченной модели.

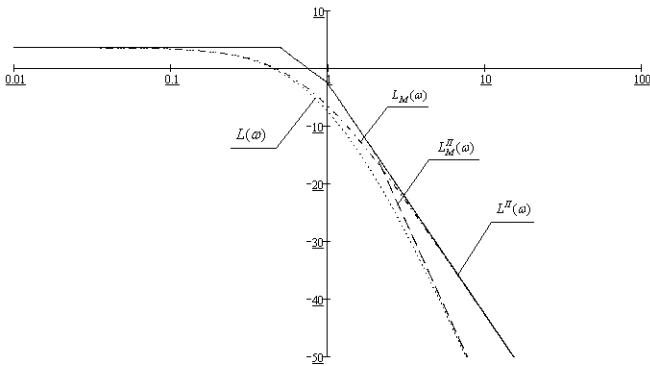


Рис. 1 – Частотные характеристики объекта управления

Оценки вектора $\beta^* = [\beta_1^*, \beta_2^*, \beta_3^*]^T$ параметров укороченной модели определены следующим образом:

$$\beta^* = \arg \left\{ \frac{\min_{\beta_1, \beta_2, \beta_3}}{\int_{0.1}^8 [W(\omega) - W_M(\omega, \beta_1, \beta_2, \beta_3)]^2 d\omega} \right\} \quad (1)$$

Для решения задачи синтеза оптимальных фильтров и регуляторов используется векторно-матричный аппарат.

В качестве объекта выбран объект 3-го порядка, векторно-матричная модель которого имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -3.5 & -3.5 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.5 \end{bmatrix} u(t), \\ y(t) &= [1 \ 0 \ 0] x(t) \end{aligned} \quad (2)$$

В результате укороченная модель объекта (2) имеет вид (3):

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.5 & -1.5 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} u(t), \\ y(t) &= [1 \ 0] x(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Управление исходного объекта с помощью полного регулятора будет иметь вид (4), а с помощью укороченного(5).

$$u(t) = - [0.535 \ 0.915 \ 0.435] x(t) \quad (4)$$

$$u(t) = - [0.847 \ 1.216 \ 0] x(t) \quad (5)$$

Для оценки эффективности предложенного подхода были использованы следующие меры:

$$I = \int_0^{\infty} [(x_y)^T Q x_y + R(u)^2(t)] dt, \quad I_u = \int_0^{\infty} R(u)^2(t) dt, \quad \alpha = \frac{I^K}{I^Y}, \quad \alpha_u = \frac{I_u^K}{I_u^Y},$$

где K – индекс калмановского решения, Y – предложенного решения.

Структурная схема системы управления имеет следующий вид:

Оптимальный укороченный фильтр ПС синтезирован на основе разработанного авторами метода синтеза оптимальных фильтров с использованием винеровской постановки задачи фильтрации и компенсации влияния рассогласования $\varepsilon(0) = [x_1(0) - \hat{x}_{M1}(0), x_2(0) - \hat{x}_{M2}(0)]^T$ начальных условий первых двух ПС объекта и ПС укороченного фильтра.

В качестве задачи управления состоянием выбрана стандартная квадратичная задача по переменным состояния и управлению динамических объектов при наличии помех.

Эффективность предложенного подхода была экспериментально подтверждена на основе его компьютерного моделирования. При этом в качестве объекта управления был выбран скалярный по управлению линейный динамический объект 3-го порядка при неизвестных начальных условиях переменных состояния объекта, белых помехах с интенсивностями $Q_w = 0,3$ помехи w на входе объекта и $R_v = 0,3$ помехи v на выходе измерителя. Рассогласование начальных условий переменных

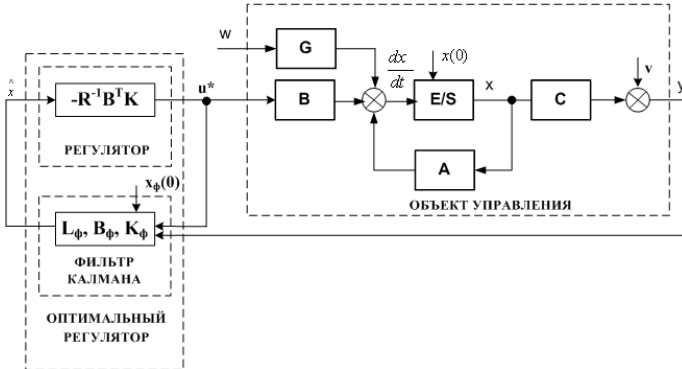


Рис. 2 – Структурная схема системы управления с использованием полного фильтра и регулятора

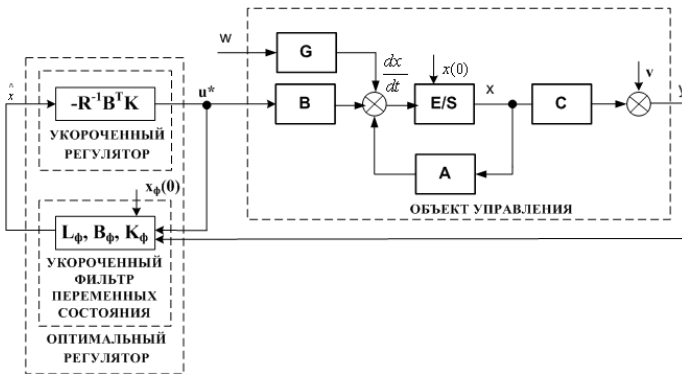


Рис. 3 – Структурная схема системы управления с использованием укороченного фильтра и регулятора

состояния объекта и фильтра были выбраны из равномерного распределения с дисперсией $\sigma_{x(0)} = 3$. Объем N экспериментальных выборок был выбран равным 20.

На рисунке 10 приведен интегральный критерий качества I , а на рисунке 11 – критерий качества по управлению I_u .

Полученные результаты экспериментальных исследований доказывают высокую эффективность предложенного подхода оптимального управления на основе укороченных регуляторов и укороченных фильтров, синтезированных на основе укороченных моделей объектов и улучшенного винеровского подхода фильтрации с учетом компенсации влияния рассогласования начальных условий переменных состояния объекта и фильтра.

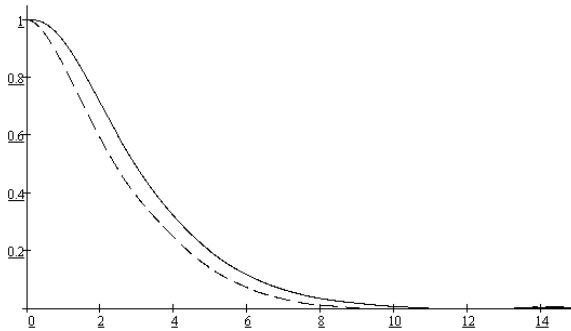


Рис. 4 – Первая переменная состояния исходного и укороченного объектов (сплошная и пунктирная линии соответственно)

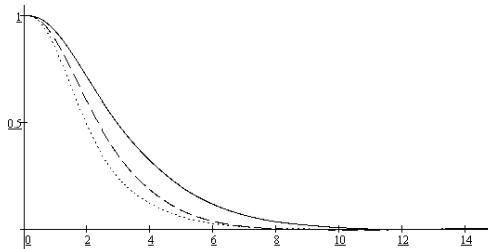


Рис. 5 – Первая переменная состояния исходного объекта, с управлением на основе регулятора полного и укороченного векторов ПС (сплошная, пунктирная и точечная линии соответственно)

Литература

1. А.Г.Кикун, Е.Ю.Рева. Улучшение винеровской фильтрации переменных состояния // Адаптивные системы автоматического управления.-2007.- 10 (30).
2. А.Г.Кикун, Е.Ю.Рева, В.Ю.Шейко. Решение задачи оптимального управления линейными объектами при квадратических критериях качества // Адаптивные системы автоматического управления.- 2007.- 11 (31).

Отримано 02.03.2011 р.

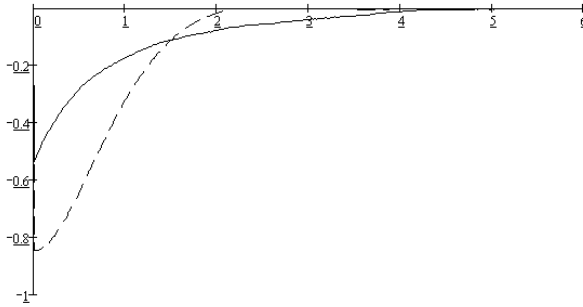


Рис. 6 – Графики управления на основе регулятора полного и укороченного векторов ПС (сплошная и пунктирная линии соответственно)

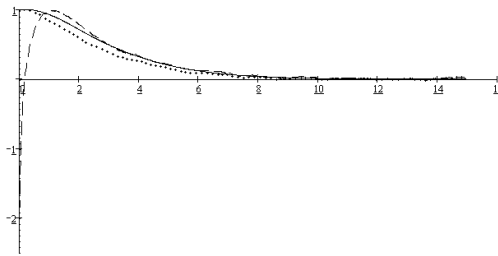


Рис. 7 – Графики первой ПС, ее калмановской и улучшенной укороченной оценки (сплошная, пунктирная и точечная линии соответственно)

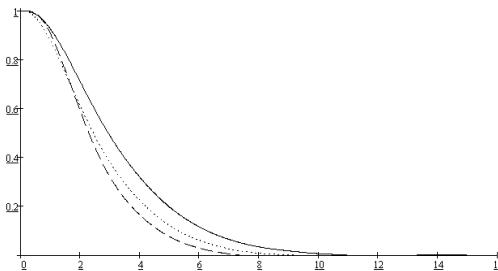


Рис. 8 – Первая переменная состояния исходного объекта, с управлением на основе регулятора калмановского и укороченного улучшенного векторов оценок ПС (сплошная, пунктирная и точечная линии соответственно)

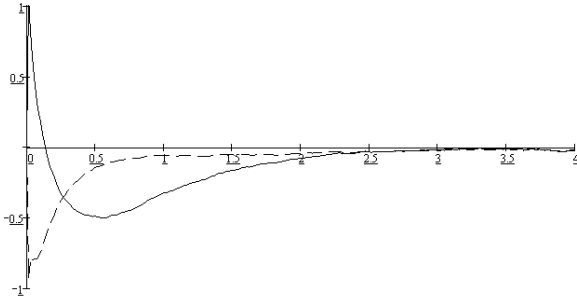


Рис. 9 – Графики управления на основе регулятора калмановского и укороченного улучшенного векторов оценок ПС (сплошная и пунктирная линии соответственно)

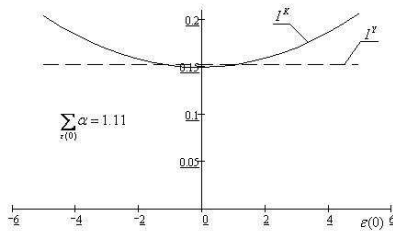


Рис. 10 – Графики зависимости J от рассогласования начальных условий $\varepsilon(0)$.

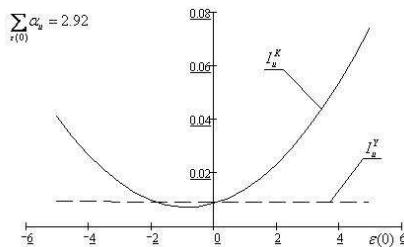


Рис. 11 – Графики зависимости J_u от рассогласования начальных условий $\varepsilon(0)$.