

ИМИТАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

А.И. Новгородцев, канд. техн. наук, доцент;

Б.К. Лопатченко, канд. техн. наук, доцент

Сумский государственный университет, г. Сумы

Предложен имитационный эксперимент по исследованию замкнутой стохастической системы управления и получены результаты по улучшению качества управления объектами с переменными параметрами.

Ключевые слова: стохастическая система, ковариационная матрица, весовая матрица.

Запропонований імітаційний експеримент з дослідження замкненої стохастичної системи управління і отримані результати щодо поліпшення якості управління об'єктами із змінними параметрами.

Ключові слова: стохастична система, коваріаційна матриця, вагова матриця.

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные в современной технической литературе всесторонние исследования нестационарных объектов управления, а также алгоритмов оценки состояний объектов в параметрическом и фазовом пространствах и алгоритмов оптимального управления позволяют перейти к экспериментальному исследованию замкнутой стохастической системы управления.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одними из прямых и косвенных оценок качества переходных процессов в нелинейных системах автоматического управления являются степень устойчивости и точность регулирования. Система автоматического управления будет тем более быстродействующей, чем большей степенью устойчивости она обладает. Поэтому остается актуальной проблема качественного управления нестационарными объектами.

Цель исследования – получения результатов, характеризующих качество процесса управления и точность оценки управления.

Задачей исследования является следующее:

- выбор оптимальных значений коэффициентов весовых симметричных матриц, шумов объекта управления и канала измерения;
- проверка обеспечения синтезированной системы заданных требований по точности управления;
- сравнение оптимальных (без ограничений) и субоптимальных (с ограничениями) управлений.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Стохастический объект управления, представленный в дискретной форме, имеет вид:

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= \Phi_{k+1,k} X_k + \Gamma_{k+1,k} U_k + G_{k+1,k} f_k, \\ Y_k &= H_k X_k + V_k, \end{aligned} \quad (1)$$

где X_k – вектор состояния;

U_k – вектор управления;

y_k – вектор выхода;
 f_k – вектор возмущений;
 V_k – вектор шумов измерений выходов;
 Φ, Γ, G, H – матрицы связей соответствующих размерностей.

Предполагается, что начальное состояние системы (1) представляет гауссовский случайный n -вектор с конечным математическим ожиданием

$$E[X_0] = \overline{X_0}$$

и ковариационной матрицей

$$P_0 = E \left[\left(X_0 - \overline{X_0} \right) \left(X_0 - \overline{X_0} \right)^T \right].$$

Векторные дискретные процессы f_k, V_k предполагаются некорреляционными гауссовскими случайными последовательностями со следующими статическими характеристиками:

$$E[f_k] = m_k, E[V_k] = 0, \quad (2)$$

$$E[V_i V_k^T] = R_k \delta_{ik}, E[(f_i - m_i)(f_k - m_k)] = \Theta \delta_{ik},$$

где R_k – положительно определенная, а Θ – положительно полуопределенная симметрические матрицы, характеризующие интенсивности шумов измерений и возмущений.

На управление наложены ограничения вида

$$-C \leq U \leq C, \quad (3)$$

где C – заданный 1-мерный вектор.

Требуется определить физически реализуемый закон управления, который обеспечивает устойчивость замкнутой системы и минимизирует критерий качества

$$J = E \left[\sum_{k=0}^{N-1} \left(X_{k+1}^T V_{k+1} X_{k+1} + \xi U_k^T W_k U_k \right) \right], \quad (4)$$

где N – количество интервалов дискретности процесса управления;

$\xi > 0$ – скаляр;

V, W – симметричные весовые матрицы.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Решение задачи, полученное методом динамического программирования в работе [1], имеет вид

$$U_k^* = L_k \hat{X}_{k/k} + M_k m_k + N_k q_{k+1}, \quad (5)$$

где матрицы L_k, M_k, N_k , характеризующие коэффициенты усиления по каналам замкнутых и разомкнутых связей системы, определяются:

$$\begin{aligned}
L_k &= -\left(\Gamma_{k+1,k}^T S_{k+1} \Gamma_{k+1,k} + \xi W_k\right)^{-1} \Gamma_{k+1,k} S_{k+1} \Phi_{k+1,k}, \\
M_k &= -\left(\Gamma_{k+1,k}^T S_{k+1} \Gamma_{k+1,k} + \xi W_k\right)^{-1} \Gamma_{k+1,k}^T S_{k+1} G_{k+1,k}, \\
N_k &= -\left(\Gamma_{k+1,k}^T S_{k+1} \Gamma_{k+1,k} + \xi W_k\right)^{-1} \Gamma_{k+1,k}^T, \\
S_k &= \Phi_{k+1,k}^T S_{k+1} \left(\Phi_{k+1,k} + \Gamma_{k+1,k} L_k\right) + V_k, S_N = V_N, \\
q_k &= \Phi_{k+1,k}^T S_{k+1} \left(G_{k+1,k} + \Gamma_{k+1,k} M_k\right) m_k + \left(\Phi_{k+1,k}^T S_{k+1} \Gamma_{k+1,k} L_k + \Phi_{k+1,k}^T\right) q_{k+1}, q_N = 0.
\end{aligned}$$

Из (5) следует, что оптимальное управление объектами рассматриваемого класса требует определения оптимальной оценки $\hat{X}_{k/k}$ вектора состояния объекта. Эта оценка может быть получена на основании алгоритма оценивания

$$\hat{X}_{k+1/k+1} = \hat{X}_{k+1/k} + K_{k+1} \left(y_{k+1} - H_{k+1} \hat{X}_{k+1/k} \right), \quad (6)$$

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Phi_{k+1/k} X_{k/k} + \Gamma_{k+1,k} U_k + G_{k+1,k} m_k, \hat{X}_{0/0}, \quad (7)$$

$$K_{k+1/k+1} = P_{k+1/k} H_{k+1}^T \left(H_{k+1} P_{k+1/k} H_{k+1}^T + R_{k+1} \right)^{-1}, \quad (8)$$

$$P_{k+1/k} = \Phi_{k+1/k} P_{k/k} \Phi_{k+1}^T + G_{k+1,k} \Theta_K G_{k+1,k}^T + \Gamma_{k+1,k} Q_k \Gamma_{k+1,k}^T, \quad (9)$$

$$P_{k+1/k+1} = \left(I - K_{k+1} H_{k+1} \right) P_{k+1/k}, P_{0/0}, \quad (10)$$

где $\hat{X}_{k+1/k+1}$ - оценка вектора X_{k+1} ;

$\hat{X}_{k+1/k}$ - прогноз оценки на $(k+1)$ -м шаге при k измерениях выхода;

$K_{k+1/k+1}$ - весовая матрица;

$P_{k+1/k}$ - ковариационная матрица ошибок прогноза оценок;

I - единичная матрица.

Отметим, что вычисление матриц L_k , M_k , N_k в формуле (5) производится в обратном времени, причем для их расчета необходимо задаться величиной ξ и весовыми матрицами V_k в критерии качества. Вычислительные значения элементов этих матриц запоминаются в запоминающем устройстве, а затем при управлении в реальном масштабе времени умножаются на текущие оценки вектора состояния $\hat{X}_{k/k}$ и математическое ожидание возмущений m_k . При реализации алгоритма оценивания необходимы априорные сведения о ковариационных матрицах шумов и возмущений (матрицы Θ_k , P_k), оценка начального состояния объекта $\hat{X}_{0/0}$ и ковариационная матрица ошибки оценки начального состояния $P_{0/0}$.

Структурная схема моделирования приведена на рисунке 1. Она состоит из модели объекта, модели сервопривода (СП), блока оценки

управления и генераторов случайных чисел с единичной дисперсией. Ковариационные матрицы априорных данных и вектор начального состояния принимались такими:

$$P_{0/0} = \text{diag}[111\text{м}^2; 2,78\text{м}^2 / \text{сек}^2; 0,01\text{рад}^2; 0,001\text{рад}^2 / \text{сек}^2; 0,001\text{м}^2; 0,01\text{м}^2; 0,01\text{м}^2 / \text{сек}^2; 0,001\text{м}^2; 0,01\text{м}^2 / \text{сек}^2],$$

$$R = \text{diag}[11\text{м}^2; 0,0278\text{м}^2 / \text{сек}^2; 0,001\text{м}^2; 0,01\text{м}^2 / \text{сек}^2],$$

$$\Theta = \text{diag}[0,4 \cdot 10^{-1}; 0,49 \cdot 10^{-4}]; \quad \ominus = 0,225 \cdot 10^{-3} \text{рад}^2,$$

$$X_0 = [100\text{м}; 5\text{м} / \text{сек}; 0,3\text{рад}; 0,1\text{рад} / \text{сек}; 0,3\text{м} / \text{сек}; 0,1\text{м}; 0,3\text{м} / \text{сек}; 0,1\text{м}],$$

$$X_{0/0} = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]^T.$$

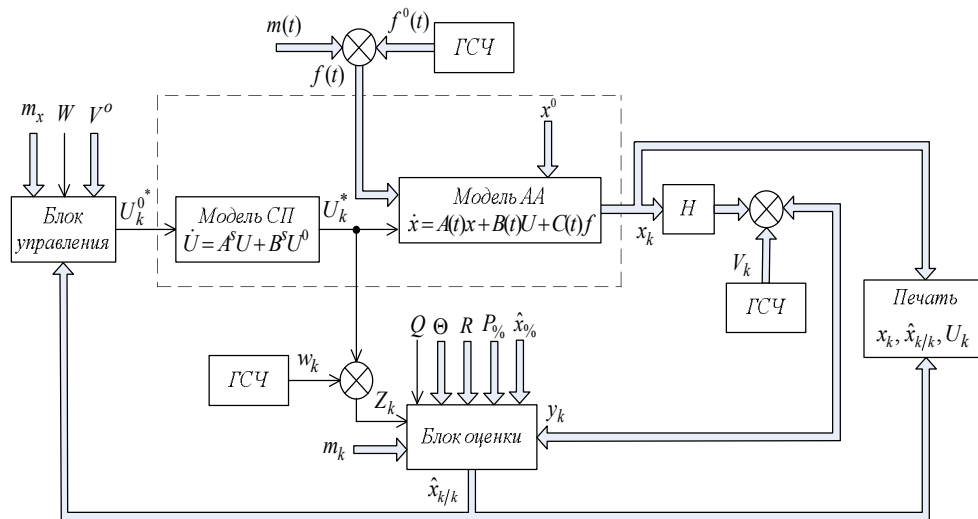


Рисунок 1 – Структурная схема моделирования оптимальной стохастической системы управления

Шумы измерений управляющего сигнала U и выходных переменных лежали в пределах $\pm 10\%$ от истинных значений. Интервал дискретности был принят $T=0,2$ сек. На управление накладывались ограничения $|U_k| \leq 0,6$ рад.

Научная новизна – в результате экспериментального моделирования при оценке состояний нестационарных объектов получены результаты по улучшению качества управления этими объектами.

Практическая значимость:

1 Наилучшее качество процесса управления, оценки, как подтверждают результаты моделирования, обеспечивается при значении весовых матриц $W=10^5$, $V=[10; 100; 1000; 100; 1; 0,1; 1, 0,1]$.

2 Синтезированная система обеспечивает заданную точность оценки и управления. Точная оценка при управлении отмечается через 2-3 сек, а заданная точность функционирования - через 15-20 сек после начала функционирования ($t=120$ сек).

3 Минимальное значение критерия качества при субоптимальном управлении на 5-10% больше, чем при оптимальном. Это обусловлено превышенным управляющим сигналом принятых ограничений в начале переходного процесса.

НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Предложенная модель эксперимента может быть применена и к более сложным стохастическим объектам управления, если их представить в дискретной форме.

SUMMARY

SIMULATION EXPERIMENT WITH PURPOSE OF ESTIMATING CONTROL OBJECTS WITH VARIABLE PARAMETERS

A.I. Novgorodsev, B.K. Lopatchenko
Sumy State University, Sumy

A simulation experiment is offered on research of the closed stochastic system of control and results are got on the improvement of quality of control objects with variable parameters.

Key words: *stochastic system, covariance matrix, variance-covariance matrix.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новгородцев А.И. Оптимизация управления нестационарными объектами на основе динамического программирования / А.И. Новгородцев, Б.К. Лопатченко, С.В. Доценко // Вісник Сумського державного університету. – 2006. - №10. - С. 20-23.
2. Александров Е.Е. Автоматизированное проектирование динамических систем. – К.: УМКВО, 1989. - 140с.

Поступила в редакцию 16 ноября 2009 г.