

УДК 681.513.685

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ МНОГОМАССОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ
А. Е. Казурова

Запорожский национальный технический университет

ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина. E-mail: akazurova@gmail.com

Рассматривается процесс управления перемещением неизвестного груза двухзвенным роботом посредством робастного комбинированного компенсатора, состоящего из наблюдателя вектора состояния и неопределенности системы управления и регулятора. В качестве измерителей используются только датчики углов поворота звеньев робота. Компьютерное моделирование подтвердило робастность и высокую точность рассматриваемого управления.

Ключевые слова: высокоточное позиционное управление, многомассовый объект, робастность, наблюдатель.

РОБАСТНЕ КЕРУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНИМИ БАГАТОМАСОВИМИ ОБ'ЄКТАМИ
А. Є. Казурова

Запорізький національний технічний університет

вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна. E-mail: akazurova@gmail.com

Розглядається процес керування переміщенням невідомого вантажа дволанковим роботом за допомогою робастного комбінованого компенсатора, що складається із спостережника вектора стану та невизначеності системи керування та регулятора. Як вимірювачі використовуються тільки датчики кутів повороту ланок робота. Комп'ютерне моделювання підтвердило робастність та високу точність керування, що розглядається.

Ключові слова: високоточне позиційне керування, багатомасовий об'єкт, робастність, спостережник.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Все системы управления (СУ) в той или иной степени являются неопределенными. Неопределенности могут быть: структурными, связанными с наличием паразитной динамики; параметрическими; координатными; экзогенными, определяемыми внешними воздействиями на СУ. Перечисленные неопределенности ухудшают точность СУ и могут привести к потере их работоспособности. Самым радикальным методом обеспечения высокой точности, вплоть до инвариантности, является применение комбинированных СУ с наблюдателем вектора неопределенности [1–3].

Целью данной работы является обеспечение высокой точности и быстродействия управления объектом с помощью компенсатора, состоящего из наблюдателей координат вектора состояния и неопределенностей и комбинированного регулятора.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Пусть объект управления (ОУ) с датчиками описан уравнениями [3]:

$$M(x, t)\ddot{x} + R(x, \dot{x}, t)\dot{x} + k(x, t) = Bu + B'h(t); \quad (1)$$

$$R = R_1 + R_2; \quad y = Cx + Hf,$$

где $(x^T, \dot{x}^T)^T$, u , y , h – векторы состояния, управления, измерения и внешних воздействий; k – вектор потенциальных сил; M, R_1, R_2 – матрицы инерции, диссипативных, кориолисовых и центробежных сил. Номинальная модель принимается в виде:

$$M_0\ddot{x} + R_0\dot{x} + K_0x = B_0u + Gf; \quad f = f(x, \dot{x}, \ddot{x}, u, t), \quad (2)$$

где $M_0 = M_0^T > 0$, $M_0M_0^{-1} = E$ и все матрицы являются известными и постоянными; вектор f – вектор неопределенности, составленный из возмущений, действующих на номинальный объект, и погрешностей датчиков. За счет вектора f матрицы M_0, R_0 и K_0 можно формировать произвольным образом вплоть

до того, что сделать матрицу M_0 диагональной, а матрицы R_0 и K_0 – вообще нулевыми. В этом случае будет осуществлена декомпозиция всей системы на отдельные уравнения, связанные между собой только через f .

В качестве примера рассмотрим один из самых сложных ОУ – робот. На рис. 1 схематично изображен двухзвенный робот, где α_1 – угол отклонения первого звена от оси Ox ; α_2 – угол отклонения второго звена от продольной оси первого звена (положительные отклонения – против часовой стрелки); l_1, l_2 – длины соответствующих звеньев; l_{21}, l_{22} – расстояния от центра масс второго звена с грузом до концов звена (систему “второе звено–груз” для краткости в дальнейшем будем называть “вторым звеном”); g_1, g_2 – гравитационные силы, действующие на соответствующие звенья.

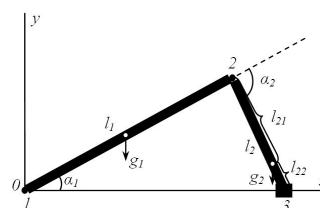


Рисунок 1 – Кинематическая схема двухзвенного робота

Задача заключается в построении компенсатора, обеспечивающего перемещение между двумя точками груза 3 по оси Ox с заданной скоростью \dot{x}_p (рис. 2) при измерении только углов поворота в шарнирах. Неопределенными в системе являются масса (вес), момент инерции и координаты центра тяжести второго звена и управляющие моменты. Для обеспечения управления решена кинематическая задача вычисления программных углов поворо-

та в шарнирах из условия заданного перемещения груза. Движение груза 3 по оси Ox задается уравнением $x = x_0 + \dot{x}_p t$.

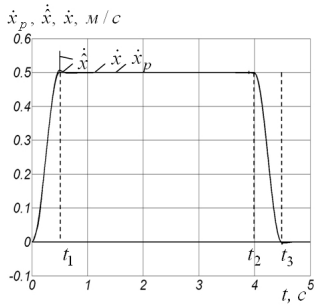


Рисунок 2 – Сопоставление программной скорости \dot{x}_p , истинной \dot{x} и оценки $\hat{\dot{x}}$

Составлены уравнения движения робота в виде:

$$I_{01}\ddot{\alpha}_1 = m_{\alpha 10} + f_1; \quad I_{02}\ddot{\alpha}_2 = m_{\alpha 20} + f_2, \quad (3)$$

где неопределенности f_1 и f_2 :

$$\begin{aligned} f_1 = & m_{\alpha 1\delta} + m_{11} + m_{12} - [(I_2 + m_2(l_{21}^2 + l_{22}^2))\ddot{\alpha}_1 + \\ & + 2m_2 l_{21} \cos(\alpha_2)\ddot{\alpha}_2 - 2m_2 l_{21} \sin(\alpha_2)\dot{\alpha}_2 \dot{\alpha}_1 + \\ & + (I_2 + m_2 l_{21}^2)\ddot{\alpha}_2 + m_2 l_{21} \cos(\alpha_2)\ddot{\alpha}_2 - m_2 l_{21} \sin(\alpha_2)\dot{\alpha}_2^2]; \quad (4) \\ f_2 = & -I_{\delta 2}\ddot{\alpha}_2 + m_{\alpha 2\delta} + m_{22} - [m_2 l_{21}^2 \ddot{\alpha}_2 + (I_2 + m_2 l_{21}^2)\ddot{\alpha}_1 + \\ & + m_2 l_{21} \cos(\alpha_2)\ddot{\alpha}_1 + m_2 l_{21} \sin(\alpha_2)\dot{\alpha}_1^2]. \end{aligned}$$

Здесь m_1 – масса первого звена; m_2 – масса второго звена с грузом; $I_1=I_{01}$ – момент инерции первого звена относительно шарнира 1; $I_2=I_{02}+I_{\delta 2}$ – момент инерции второго звена относительно его центра масс; $m_{\alpha 1\delta}=m_{\alpha 10}+m_{\alpha 1\delta}$, $m_{\alpha 2\delta}=m_{\alpha 20}+m_{\alpha 2\delta}$ – моменты со стороны приводов, действующие на первое и второе звенья (индекс «0» указывает на известные номинальные значения параметров, индекс « δ » – на их неизвестные отклонения); m_{11}, m_{12} – моменты сил веса g_1, g_2 , действующие на первое звено; m_{22} – момент силы веса g_2 , приложенный ко второму звену.

Таким образом, в неопределенности собраны неточности формирования управляющих воздействий, гравитационные силы и моменты, неточности знания моментов инерции звеньев, а также нелинейности модели робота и перекрестные динамические связи между звеньями. Скалярные уравнения (3) взаимосвязаны только через неопределенности f_1, f_2 . Для полной декомпозиции законов управления представим их в виде:

$$\begin{aligned} m_{\alpha 10} = & m_{01} - \hat{f}_1, \quad m_{01} = -k_{11}(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_{1p}) - k_{12}(\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_{1p}) + I_{01}\ddot{\alpha}_{1p}, \\ m_{\alpha 20} = & m_{02} - \hat{f}_2, \quad m_{02} = -k_{21}(\dot{\alpha}_2 - \dot{\alpha}_{2p}) - k_{22}(\dot{\alpha}_2 - \dot{\alpha}_{2p}) + I_{02}\ddot{\alpha}_{2p}, \end{aligned} \quad (5)$$

где \hat{f}_1, \hat{f}_2 – оценки неопределенностей, предназначенные для компенсации их влияния, а составляющие m_{01}, m_{02} формируют желаемый вид переходного процесса, символом “^” обозначены оценки соответствующих переменных. Для оценки скоростей и неопределенностей использовались редуцированные

наблюдатели, синтезированные в виде [4]:

$$\dot{\hat{\alpha}}_1 = z_{\alpha 1} - l_{\alpha 1}\alpha_1, \quad \hat{f}_1 = z_{f1} - l_{f1}\alpha_1, \quad \dot{z}_{f1} = l_{f1}(z_{\alpha 1} - l_{\alpha 1}\alpha_1); \quad (6)$$

$$\dot{z}_{\alpha 1} = I_{01}^{-1}(z_{f1} - l_{f1}\alpha_1) + l_{\alpha 1}(z_{\alpha 1} - l_{\alpha 1}\alpha_1) + I_{01}^{-1}m_{\alpha 10}; \quad (7)$$

$$\dot{\hat{\alpha}}_2 = z_{\alpha 2} - l_{\alpha 2}\alpha_2, \quad \hat{f}_2 = z_{f2} - l_{f2}\alpha_2, \quad \dot{z}_{f2} = l_{f2}(z_{\alpha 2} - l_{\alpha 2}\alpha_2); \quad (8)$$

$$\dot{z}_{\alpha 2} = I_{02}^{-1}(z_{f2} - l_{f2}\alpha_2) + l_{\alpha 2}(z_{\alpha 2} - l_{\alpha 2}\alpha_2) + I_{02}^{-1}m_{\alpha 20}, \quad (9)$$

где $l_{\alpha 1}, l_{\alpha 2}, l_{f1}, l_{f2}$ – коэффициенты передачи наблюдателей.

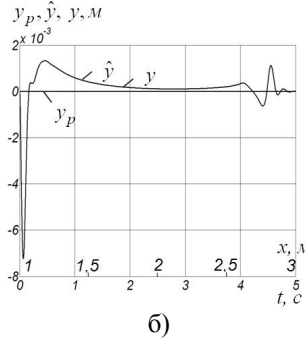
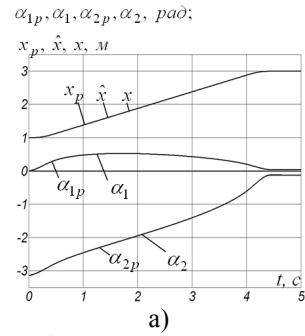


Рисунок 3 – Сопоставление программных значений переменных $\alpha_{1p}, \alpha_{2p}, x_p, y_p$, их истинных значений α_1, α_2, x, y и оценок $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{x}, \hat{y}$

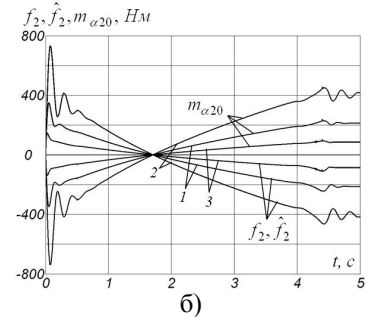
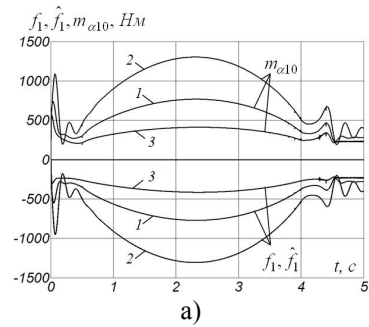


Рисунок 4 – Графики неопределенностей f_1, f_2 , их оценок \hat{f}_1, \hat{f}_2 и моментов двигателя $m_{\alpha 10}, m_{\alpha 20}$ при различных вариантах сочетаний неопределенностей

Таким образом, при описанном формировании неопределенностей, точной их оценке с помощью наблюдателей, применении комбинированного управления (5) уравнения движения робота распадутся на независимые линейные уравнения второго порядка.

Моделировались три случая: 1) с номинальными параметрами; 2) с максимальными массами и моментами инерции при минимальной крутизне моментных характеристик двигателей; 3) обратный второму случаю. Результаты моделирования представлены на рис. 2–4. На всех рисунках оценки практически совпадают с оцениваемыми переменными.

ВЫВОДЫ. В работе показано, что применение комбинированного метода управления с наблюдателем неопределенности позволяет расщепить полную задачу управления неопределенным нелинейным нестационарным многомассовым ОУ с жесткими связями, который описывается матричным дифференциальным уравнением второго порядка, на независимое управление каждым звеном и гарантирует

полную компенсацию неопределенности и заданные показатели качества переходных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапенко Е.М. Сравнительная оценка робастных систем управления с различными типами наблюдателей // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1995. – № 1. – С. 109–116.
2. Потапенко Е.М. Робастные комбинированные системы управления с наблюдателями // Проблемы управления и информатики. – 1995. – № 2. – С. 36–44.
3. Потапенко Е.М., Казурова А.Е. Высокоточное управление неопределенными многосвязными объектами. Часть 1. Синтез и анализ алгоритмов управления // Кибернетика и вычислительная техника. – 2007. – Вып. 155. – С. 58–71.
4. Потапенко Е.М., Казурова А.Е. Обобщение результатов исследований робастных комбинированных систем управления с наблюдателями вектора неопределенности // Механика та машинобудування. – 2008. – № 1. – С. 223–233.

ROBUST CONTROL OF UNCERTAIN MULTIMASS OBJECTS

A. Kazurova

Zaporizhzhya National Technical University

ul. Zhukovskogo, 64, Zaporozhye, 69063, Ukraine. E-mail: akazurova@gmail.com

Position control process of unknown payload by two-link robot by means of the robust combined compensator consisting of state vector and control system uncertainty observer and regulator is considered. The robot link rotation angle sensors are used as the only measuring devices. Computer simulation confirms the robustness and high-precision of considered control.

Key words: high-precision position control, multimass object, robustness, observer.

REFERENCES

1. Potapenko E.M. Comparative estimation of robust control systems with various types of observers // *A Journ. of RAS. The theory and control systems*. – 1995. – № 1. – PP. 109–116. [in Russian]
2. Potapenko E.M. The robust combined control systems with observers // *Problems of control and computer science*. – 1995. – № 2. – PP. 36–44. [in Russian]
3. Potapenko E.M., Kazurova A.E. High-precision control of uncertain multilinked objects. Part 1. Synthesis and analysis of control algorithms // *Cybernetics and computer engineering*. – 2007. – № 155. – PP. 58–71. [in Russian]
4. Potapenko E.M., Kazurova A.E. Generalization of research results of the robust combined control systems with uncertainty vector observers // *Mechanics and Engineering*. – 2008. – № 1. – PP. 223–233. [in Russian]

Стаття надійшла 18.06.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Шамардіною В.Н.