

ПРИНЦИП ДЕКОМПОЗИЦИИ В УПРАВЛЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ.*

Е.С. Пятницкий (ИПУ РАН, Москва)

Рассматриваются задачи управления механическими системами в условиях структурной, параметрической, силовой и информационной неопределенности. В независимых обобщенных координатах $q = (q_i)_{i=1}^n$ система описывается уравнениями Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i(q, \dot{q}, t) + u_i(t), i = \overline{1, n}; |u_i(t)| \leq h_i, |Q_i(q, \dot{q}, t)| \leq a_i \quad (1)$$

Предполагается, что коэффициенты $a_{ik}(q, \mu)$ выражения для кинетической энергии T

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n a_{ik}(q, \mu), \lambda_1 \sum_{i=1}^n \dot{q}_i^2 \leq T \leq \lambda_2 \sum_{i=1}^n \dot{q}_i^2, 0 < \lambda_1 \leq \lambda_2 < \infty \quad (2)$$

являются неизвестными функциями координат q и параметров μ , т.е. управление осуществляется в условиях структурной и параметрической неопределенности описания объекта. Неравенства для T в (2) выполняются для *любой* механической системы и не являются каким-либо ограничением. Относительно возмущающих обобщенных сил $Q_i(q, \dot{q}, t)$ предполагается, что известна лишь область (в частности параллелепипед $|Q_i| \leq a_i$), в которой принимает значения вектор Q , а его зависимость от переменных состояния $q, \dot{q}$ неизвестна, т.е. в описании системы имеется силовая неопределенность. В этих условиях требуется найти допустимое управление, под действием которого в условиях неопределенности система движется в соответствии с заданной программой

$$q_i = q_i^*(t), \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 01-01-00350

с учетом информационной неопределенности, т.е. при условии, что известны лишь *знаки* ошибок управления

$$\Theta_i = q_i - q_i^*(t), \quad \dot{\Theta}_i = \dot{q}_i - \dot{q}_i^*(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

а не какие-либо их количественные величины или оценки ошибок $\Theta_i, \dot{\Theta}_i$. В сформулированной задаче речь идет об управлении не одной механической системой, а совокупностью систем, которая характеризуется параметрами $\{\lambda_1, \lambda_2, a_i, h_i\}$. Описанную совокупность систем вида (1) будем называть *черным ящиком механической природы*. Решение задачи управления черным ящиком механической природы означает, что решена задача управления всей совокупностью систем. Черный ящик будем называть полностью управляемым, если полностью управляема каждая система совокупности.

Теорема 1. Черный ящик механической природы является полностью управляемым в том и только в том случае, если выполнены условия

$$a_i < h_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (5)$$

Теорема 2. Пусть выполнены условия полной управляемости (5). Пусть также программное движение (3) реализуемо. Тогда управление

$$u_i = -h_i \text{sign} \dot{\Theta}_i, \quad i = \overline{1, n} \quad (6)$$

через конечное время переходного процесса обеспечивает движение черного ящика (1) в режиме декомпозиции

$$\dot{q}_i = \dot{q}_i^*(t), \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

т.е. в режиме полной автоматической компенсации динамического взаимовлияния между степенями свободы и неконтролируемых возмущений.

Теорема 1 показывает, что управление (1) превращает черный ящик механической природы в идеальный повторитель сигналов по скорости.

Теорема 3. Пусть выполнены условия полной управляемости (5). Пусть также программное движение (3) реализуемо. Тогда управление

$$u_i = -k_{1i} \text{sign} \Theta_i - k_{2i} \text{sign} \dot{\Theta}_i, \quad i = \overline{1, n}$$

обеспечивает асимптотическую устойчивость программного движения при условиях

$$k_{1i} > k_{2i} + a_i, \quad k_{2i} > a_i, \quad i = \overline{1, n}$$

Л и т е р а т у р а

1. *Pyatnitskiy E.S.* Design of hierarchical control systems for mechanical and electromechanical plants with the aid of decomposition, I, II. Automation and Remote Control, v.50, 1,2. 64- 72, 175-186 (1989)
2. *Pyatnitskiy E.S.* A decoupling principle in control of mechanical systems, Reports of the Russian Academy of Sciences, v. 300, 2, 300-303 (1988)
3. *Pyatnitskiy E.S.* (Keynote Lecture). New principle in dynamics of multiarm robot manipulators. Applications to the control of multi-joint human movements, International Society of Biomechanics, XIV-th Congress, Paris, France (1993)
4. *Pyatnitskiy E.S.* Lyapunov functions method in the problem of nonlinear control system design (control of black-box of mechanical nature), Proc. 2nd world congress of nonlinear analysts, v. 30, 5, 2867-2872 (1997)