

Математическое моделирование движения руки и поведенческих движений

Егоров Кирилл Юлианович¹, Востриков Иван Васильевич²

¹ Кафедра системного анализа, e-mail: kireku@gmail.ru

² Кафедра системного анализа, e-mail: ivan_vostrikov@cs.msu.ru

Модель оптимального управления биологическим движением обеспечивает отправную точку для описания наблюдаемого повседневного поведения и может быть использована для конструирования интеллектуальных систем замены поврежденных частей тела.

В работе методом Эйлера–Лагранжа [1] построены уравнения движения планарной модели руки человека «плечо-предплечье» как бисекционного маятника:

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + L(\theta, \dot{\theta}),$$

где θ — вектор углов сочленений, $M(\theta)$ — положительно определенная матрица инерции, $L(\theta, \dot{\theta})$ — вектор центростремительных и корелисовых сил, τ — вектор крутящих моментов, которыми можно управлять.

Для данной модели решается задача на достижение цели, в которой рука должна начать движение с некоторого исходного положения и двигаться к цели за указанный интервал времени T . При этом движение должно происходить с минимальными затратами энергии. Есть веские основания полагать, что минимизация энергетических затрат имеет прямое отношение к нейронному контролю движения [2]. Затраты учитываются интегрально-квадратичным критерием, минимизирующий скорость изменения крутящего момента [3]:

$$V_{energy} = \frac{1}{2} \int_0^T \|\dot{\tau}\|^2 dt.$$

Большинство современных моделей оптимальности имеют серьезное ограничение — они основаны на линейно-квадратичном гауссовом формализме [4], в то время как в действительности биомеханические системы сильно нелинейны. Данное ограничение решается методом дифференциального динамического программирования [5], позволяющего итеративно проводить линеаризацию системы вокруг референсной траектории с целью вычисления локально оптимального закона управления с обратной связью.

Исходное референсное управление предлагается выбирать путем преобразования исходной динамики к линейной [6], применяя подходы линейного управления. Затем градиентным методом [7] итеративно строится поправка на референсное управление до достижения заданной точности ε .

Для данной задачи было реализовано программное обеспечение для поиска целевого управления и моделирования оптимальной траектории для заданных начальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Колюбин С. А. Динамика робототехнических систем // Учебное пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2017. — 117 с.
- [2] E. Todorov, M. Jordan. Optimal feedback control as a theory of motor coordination // Nature Neuroscience, Vol.5, No.11, 1226-1235, 2002.
- [3] Y. Uno, M. Kawato, R. Suzuki. Formation and control of optimal trajectory in human multijoint arm movement — minimum torque-change model // Biological Cybernetics 61, 89-101, 1989.
- [4] B.D.O. Anderson, J.B. Moore. Optimal Control: Linear Quadratic Methods // Prentice Hall, Upper Saddle River, 1990.
- [5] D. H. Jacobson. Differential dynamic programming methods for determining optimal control of non-linear systems // University of London, 1967.
- [6] E. Guechi, S. Bouzoualegh, Y. Zennir, S. Blažič. MPC Control and LQ Optimal Control of A Two-Link Robot Arm: A Comparative Study // Machines 6, no. 3: 37, 2018.
- [7] A. Babazadeh, N. Sadati. Optimal control of multiple-arm robotic systems using gradient method // IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, pp. 312-317 vol.1, 2004.