

И.М.Заболоцкий (асп., ЦНИИ РТК), Е.И.Юревич, д.т.н., проф.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ, ОСНОВАННОЙ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

В последнее время нейросетевое управление становится широко распространенным средством для многих технологических и промышленных приложений. Искусственные нейронные сети широко распространены во многих областях и применяются для решения разнообразных задач. Применяющиеся в системах управления техническими объектами модели нейронных сетей имеют мало общего со своими биологическими прототипами. Поэтому представляет интерес изучение и перенесение в технику принципов работы естественных нейронных структур и систем управления ими движением биологических объектов. Предполагается, что система управления, основанная на естественных нейронных структурах, будет иметь лучшие характеристики, чем существующие системы управления.

В настоящей работе представлена нейронная структура, управляющая парой мышц-антагонистов. Была промоделирована естественная нейронная структура, составляющая систему управления движением биологического объекта посредством активности мотонейронов на сегментарном уровне в замкнутых контурах циркуляции импульсных потоков и последующей активации афферентных систем мышечных рецепторов. Компьютерное моделирование позволило воспроизвести нейронные структуры значительной сложности и исследовать механизмы функционирования целостной системы управления движениями. Изучение нейронных механизмов реализации двигательной функции предполагается проводить поэтапно от свойств мышц и рецепторов до механизмов сегментарного уровня управления активностью мотонейронов. Данная работа посвящена первому этапу: рассмотрено управление мышечным сокращением. За основу моделирования была взята схема кольцевой структуры возвратного торможения через клетки Реншоу и кольца регуляции по афферентным волокнам. Для удобства анализа было решено ограничиться рассмотрением управления сокращением одной парой мышц-антагонистов.

Система управления сокращением мышцами содержит аналоги рецепторных образований веретена и сухожильного органа Гольджи, аналоги афферентных нейронов, передающих информацию от мышечных рецепторов растяжения, аналоги мотонейронов, возбуждающих и тормозных интернейронов в афферентных путях от собственных мышц и их антагонистов, а также аналоги мышц, сокращение которых влияет на положение конечности. Таким образом, на двигательный нейрон уже в такой простой схеме действует не менее семи возбуждающих и тормозных входов, передающих информацию от различных рецепторных систем по нисходящим трактам. Каждый из указанных входов представляет сложно организованную синаптическую сеть на дендритах и теле нейрона. Схема связей значительно усложняется, если представить параллельную сеть нейронов, управляющую сокращением только одной мышцы, а с учетом внутрисегментарных и перекрестных связей становится необозримой. Моделирование, в частности физическое, должно способствовать выявлению закономерностей поведения связанных групп нервных клеток, реализующих определенные функции управления, и служит для понимания принципов организации нейронных структур живых организмов.

В качестве объекта исследования была взята нейронная сеть, состоящая из двух мотонейронов, двух клеток Реншоу, восьми возбуждающих и шести афферентных нейронов. Нейронная сеть посредством мотонейронов включена в контур управления мышцами, которые, в свою очередь, управляют движением конечности. Для проверки адекватности

построенной нейронной сети биологическому прототипу была разработана модель биологической мышцы. Описание модели мышцы – тема для отдельной публикации и в рамках данной работы не рассматривалось. Фундаментальным отличием построенной модели от известных является ее соответствие реальной биологической системе, участвующей в управлении движением. Предложенная модель может использоваться как объект при исследовании нейрональных механизмов управления мышечным сокращением и для изучения биофизических факторов, меняющих характеристики сокращения работающей мышцы.

Реализуемое на модели поведение отдельных элементов и системы в целом является результатом решения дифференциальных уравнений, описывающих механизмы биологических процессов, лежащих в основе наблюдаемого поведения. Входные и выходные параметры модели непосредственно сопоставляются с данными нейрофизиологических исследований, с тем, чтобы обеспечить правильность отображения процессов, происходящих в биологических структурах и заложенных в модель значениями параметров. Были проведены исследования на построенной модели. На вход подавались дискретные импульсы с единичной амплитудой и длительностью 1 мс. С выхода снимались значения активной и пассивной сил, усилие, развиваемое мышцей и изменение длины волокна, под действием груза. Полученные результаты совпали с биологическими данными.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Берштейн Н.А. Физиология движений и активность. М., 1990. 258 с.
2. Бурданов В.С. Системная организация управления движениями. Влад., 1974. 358 с.
3. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: теория и практика. М., 2001. 418 с.
4. Лукьяница Л.А. Олейничко Л.Г. Торшин А.Д. Искусственные нейронные сети и управление сложными техническими системами. Материалы семинаров под редакцией Э.В.Попова – М.: ЦРДЗ, 1995. 176 с.