

УДК 510

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМ В СЛОЖНЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОНЕЧЕТКИХ КОМПЛЕКСОВ

М.П. Шестаков (*mshtv@mail.ru*)
ФГУ ЦСП, Москва

А.А. Кашеев (*alkash_87@mail.ru*)
МАТИ, ООО «Интеллект и инновации», Москва

Цель работы состояла в разработке нейро-нечеткой системы для изучения функций управления движениями человека. Система позволяет обосновать теоретические предположения о механизмах обучения управлению на примере следящих движений.

Введение

Обучение движениям человека можно рассматривать как целенаправленный и систематически осуществляемый процесс создания, совершенствования и реализации моторных программ определенного класса двигательных действий на основе целостных образов, хранимых в памяти. Моторные программы являются информационными системами сигналов, свидетельствующих о динамике объекта управления, условиях внешней среды и состоянии самой системы управления.

Создание моторных программ – это создание моделей, описывающих внутренний и внешний мир относительно системы управления, а также модель «потребного будущего» [Бернштейн, 1990].

Противоречие в обучении движениям состоит в том, что моторная программа не может быть создана без самого движения, движения не существует без наличия этой программы. При этом программа должна быть по возможности «правильной», соответствовать желаемому.

Решением противоречия является изменение элементарной моторной программы с последующим ее развитием в сторону усложнения.

Элементарная программа должна изначально иметь составляющие, близкие к тем, которые будут определять правильность выполнения этого движения в будущем.

Наибольшие теоретические трудности возникают здесь при попытке объяснения психической причинности управления (каким образом психическое явление, которому нельзя приписывать физические свойства – массу, энергию и т.п., способно служить причиной телесных изменений?) [Дубровский, 2007].

Субъективный образ является топологическим, не имеющий размерности, но привязанный памятью к ситуации и решению поставленной задачи. Субъективный образ опирается на объективную информацию, получаемую по афферентным путям. Формирование субъективного образа удобно рассматривать как моделирование объективной реальности. Совокупность субъективных образов образует субъективную реальность – модель объективной реальности, выстроенную в доступном субъекту аспекте.

Решение двигательной задачи осуществляется по эфферентным путям и является абсолютно метрическим. Что и является на сегодняшний день сложной проблемой для организации экспериментальных работ.

Двигательное действие в нашей работе рассматривается как информационный процесс. Информация является связующим элементом между физиологическим и психологическим аспектами при выполнении произвольного движения.

На входе – информация о текущем состоянии объекта, на выходе – модельное представление в виде графического представления целесообразного преобразующего воздействия субъекта действия на объект.

Началом действия следует считать момент встречи субъективных и объективных векторов, замыкания оперативной связи между ними.

Действие начинается не тем, что его объект оказывается в некотором текущем состоянии, а тем, что его субъект приступает для достижения цели к приему информации о состоянии, в каком находится подлежащий преобразованию объект. Соответственно, действие завершается не тем, что его объект преобразован, а тем, что субъект получает ожидаемую информацию о результате оказанного им преобразующего воздействия на объект.

Двигательное действие как информационный процесс представляет собой некоторую упорядоченную последовательность операций над «входной» информацией, в результате которой информация, переходя из одного вида в другой, в конце концов принимает форму целесообразного воздействия на объект. Эта совокупность операций может

рассматриваться как информационный алгоритм предметного действия и может быть соответственно формализован.

Целью настоящего исследования состояла в разработке нейро-нечеткой системы для изучения функций управления движениями человека.

1. Методика исследования

При апробации разрабатываемого подхода проведены экспериментальные работы. В качестве двигательного задания нами было выбрано выполнение движения на месте при стоянии стабилметрической платформе, заключающееся в синхронном отслеживании перемещении маркера общего центра давления испытуемого относительно задающего круговую траекторию маркера на экране компьютера. Работа по тестированию состояния системы управления движениями включает в себя проведение оценки системы управления движениями с использованием биомеханического стенда на основе инструментальной методики – стабиланализатор компьютерный «Стабилан-01» с биологической обратной связью (ОКБ «Ритм», г. Таганрог). Модуль пробы с эвольвентой предназначен для проведения стабิโลграфической пробы, в процессе записи которой пациент должен двигаться по кривой, называемой "эвольвента". Траектория эвольвенты представляет собой раскручивающуюся кривую из центра до определенной амплитуды, несколько кругов по амплитуде, а затем сворачивание в центр (рис. 1).

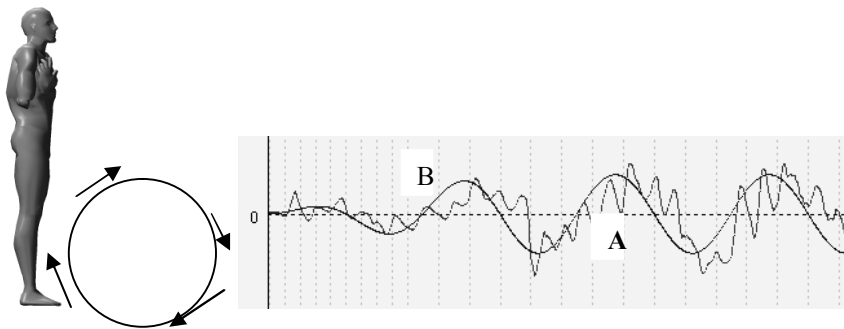


Рис. 1. Пример записи развертки во фронтальной плоскости круга. А – движение ОЦД испытуемого, В – заданная траектория

Испытуемый должен удерживать маркер А общего центра давления на маркере В задающего круговую траекторию. Маркер В движется сначала по раскручивающейся эвольвенте в выбранном направлении, затем движется заданное количество кругов без изменения

амплитуды и в конце движется по сворачивающейся эвольвенте в центр. Анализируется суммарная и средняя ошибки слежения испытуемого по каждому направлению (во фронтальной и сагиттальной плоскости).

2. Описание программы

Программа состоит из четырех логических блоков:

- основной блок программ – реализует функционал программы и связывает остальные блоки программы;
- графический интерфейс – реализует возможность удобной настройки различных параметров программы пользователю;
- блок для обработки данных с СОМ-Порта – обрабатывает данные с внешнего устройства, подключенного через СОМ-порт, позволяющие проводить тестирование на платформе;
- блок адаптивной нейро-нечеткой системы – реализует полный функционал для обработки данных в программе с помощью гибридной сети.

Все кроме основного блока реализована в .dll (Dynamic link library) – динамически подключаемые библиотеки. Это осуществляет гибкое связывание компонентов программы на этапе выполнения, что в свою очередь оптимизирует используемые ресурсы системы, необходимые для работы программы.

Основной блок реализован как исполняемый файл.

Все слои системы инициализируются в определенном порядке. В некоторых функциях используются их перегруженные варианты. Это обеспечивает возможность обработки различных типов входных данных.

Один тип входных данных реализует возможность обработки ошибок, которые делает испытуемый, ошибаясь по амплитуде, другой тип данных используется, когда обрабатываются данные с ошибкой по времени.

Таким образом, при обработке ошибок по амплитуде в систему необходимо вводить данные о радиусе траектории, по которой движется эталонный маркер.

При инициализации системы основные параметры загружаются из файла настроек.

Данные, записываемые программой, хранятся в определенных папках (индивидуальных для каждого испытуемого) в текстовых файлах в заданном формате, что позволяет сохранять все необходимые для дальнейшей обработки параметры и дает возможность также просматривать эти данные без дополнительного программного обеспечения.

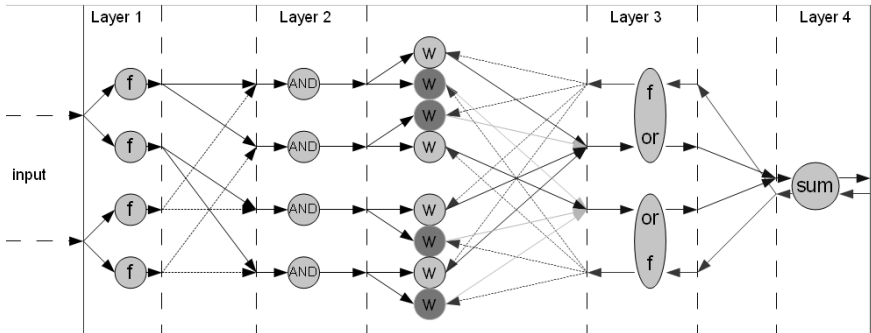


Рис 2. Принципиальная схема нейро-нечеткой системы

На рис. 2 изображена принципиальная схема устройства адаптивной нейро-нечеткой системы. Система состоит из 4-х вычислительных слоев и 3-х слоев связей. В каждом слое нейронов находится переменная (в зависимости от количества входов и выходов) число элементов.

Для обучения используется алгоритм обратного распространения ошибки (Back-Propagation Algorithm), который позволяет достигать заданного качества обучения многослойных сетей.

Функций каждого слоя:

Слой 1 - представляет функции принадлежности, реализованные как радиально базисные нейроны.

Слой 2 - моделирует И-условия правил, в нем содержится полный набор правил, которые в дальнейшем редактируются и выводятся.

Слой 3 - представляет собой ИЛИ - комбинацию. В режиме обучения слой настраивает параметры функций принадлежности в третьем слое. В рабочем режиме формирует значения выхода, объединяя правила.

Слой 4 - в рабочем режиме осуществляет дефаззификацию, нормализацию и вывод системы; а в режиме обучения – это дополнительный вход, позволяющий настроить функцию принадлежности выходной переменной.

В связи с недостатками существующих реализаций была написана своя реализация адаптивной нейро-нечеткой системы.

Реализации программы для проведения тестирования и модуля адаптивной нейро-нечеткой системы написаны под операционную систему Microsoft Windows XP SP2 или выше, с установленными пакетами Microsoft .Net Framework 3.5 или выше, и Microsoft DirectX 9.0 или выше.

Для написания программы была выбрана технология .Net и язык программирования C#, который позволяет на высоком программном

уровне строить как пользовательские приложения, так и технические библиотеки.

Общий ход работы программы:

Испытуемый встает на платформу и делает пробное количество кругов. После прохождения определенного количества кругов происходит запись координат стабиллограммы.

В программе определяется сектор, в котором испытуемый совершил наибольшее количество ошибок при движении. И дальше будет происходить обработка данных этого сектора.

По полученной выборке нейро-нечеткая система начинает генерацию своей структуры, т.е. генерирует полный набор правил и выбирает используемые, затем дообучается по этой же выборке, в которой несколько точек упорядоченного набора координат это входной параметр, а следующие за ними соответствующие точки стабиллограммы - выходной.

Если обучаемость – не достигает нужного, заданного априори, качества, то повторяется цикл приема, обработки данных и дообучения системы.

На выходе получается набор «правил» описывающий характерные ошибки пациента в данном тестовом упражнении.

После окончания тестирования у оператора есть возможность просмотреть график траектории движения испытуемого в конкретном тесте.

Окно просмотра графического отображения траектории выглядит следующим образом:

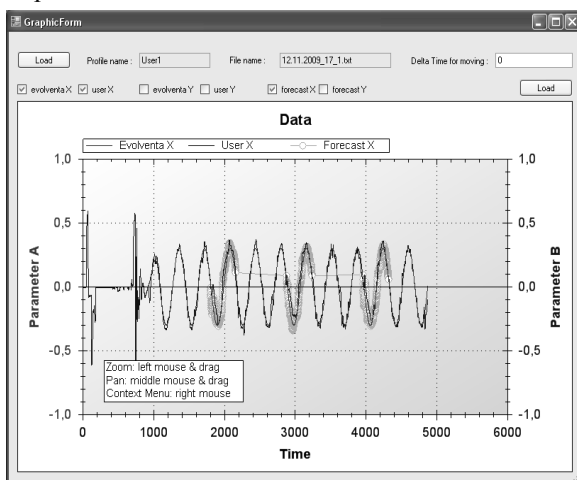


Рис 3. Окно для отображения графиков программы

Заключение

В работе экспериментально показана связь между биомеханическими показателями и формированием субъективного образа планируемого результата движения.

В эксперименте использовался стабилметрический комплекс с биологической обратной связью, который позволил выявить группы испытуемых с характерными закономерностями в ошибках движения, а также набора правил, позволяющим проводить по ним обучение испытуемых.

Анализ результатов показывает, что предлагаемый подход позволяет определять характерные особенности выполнения конкретных движений, так называемый «почерк». «Почерк» движения в нашем случае понимается как определение характерных для каждого испытуемого проявлений при выполнении стандартных произвольных движений, фиксируемых внешним наблюдателем с помощью объективных средств регистрации и позволяющих идентифицировать этого испытуемого.

Разработка модели, представленная в данной работе, позволяет обосновать теоретические предположения о механизмах обучения управлению целенаправленными движениями человека на примере следящих движений. Рассмотренный подход может быть реализован при подготовке спортсменов различных видов спорта, в особенности сложно-координационных, требующих повышенных требований к технике выполнения упражнений, а также в области восстановительной и спортивной медицины.

Список литературы

- [**Бернштейн Н.А.**] Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. – М.: Наука, 1990.
- [**Дубровский Д.И.**] Дубровский Д.И. Сознание, мозг, искусственный интеллект. – М.: ИД Стратегия-Центр, 2007.