

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ ЭЭГ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МОЗГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. В. Бакалов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 14.04.2008 г.

Аннотация. В работе рассмотрена структура программного комплекса позволяющего выделять паттерны из сигналов ЭЭГ, а также строить и исследовать модели состояний и процессов головного мозга на основе паттернов. Приводится описание подхода к параметризации паттернов и способа построения моделей состояний и процессов мозга на их основе.

Ключевые слова: ЭЭГ сигналы, модели состояний, параметризация паттернов.

Abstract. This paper covers the structure of a software suite which allows for pattern recognition of the EEG signals, and for construction and analysis of the pattern based model of cerebration states and processes. Pattern parametrization approach and pattern based model construction method used in the software suite are described.

Key words: EEG signals, model of cerebration states, pattern parametrization approach.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование процессов мозговой деятельности является важным направлением в современной науке. Среди известных способов получения временной картины изменений потенциалов в различных точках мозга, которые обеспечивают различный уровень детализации представления процессов мозговой деятельности, наиболее распространенным является метод электроэнцефалографии (ЭЭГ).

Данные, получаемые в ходе снятия ЭЭГ, представляют собой набор сигналов, число которых зависит от целей эксперимента. Информация о процессах мозговой деятельности представлена в сигналах каналов ЭЭГ в виде различных всплесков и отклонений от уровня сигнала в спокойном состоянии [1]. *Определенным состояниям и процессам в головном мозге могут быть поставлены в соответствие их отображения в энцефалограмме — паттерны.*

Выделение паттернов различных процессов и состояний, построение модели их взаимосвязей в процессе мозговой деятельности, изучение свойств модели, а также ее проверка в ходе экспериментов, могут дать информацию о процессах происходящих в мозге человека.

1. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

В настоящей работе рассмотрена структура программного комплекса, позволяющего строить и исследовать модели процессов мозговой деятельности на основе паттернов содержащихся в ЭЭГ

Программный комплекс включает в себя три модуля верхнего уровня (рис. 1):

1. модуль получения ЭЭГ, ее хранения, и предоставления к ней произвольного доступа;
2. модуль выделения, хранения и сравнения паттернов содержащихся в ЭЭГ;
3. модуль построения моделей процессов и их проверки.

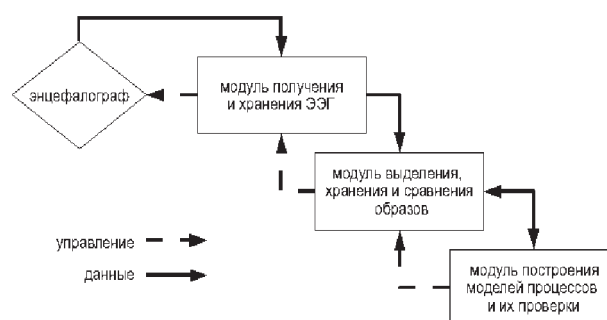


Рис. 1. Общая схема системы

2. МОДУЛЬ ПОЛУЧЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ЭЭГ

Модуль получения ЭЭГ, ее хранения, и предоставления к ней произвольного доступа работает через соответствующее API непосредственно с электроэнцефалографом, подключаемым к персональному компьютеру по шине USB. Помимо функций управления прибором, модуль включает в себя подсистему снятия ЭЭГ в реальном времени, подсистему хранения полученной информации, и подсистему обеспечивающую функциональность прозрачного доступа к информации ЭЭГ, независимо от того поступает ли она напрямую с прибора или уже была сохранена на диск (рис. 2).

Подсистема снятия ЭЭГ включает в себя механизм управления прибором и механизм передачи потока данных с устройства в подсистему хранения ЭЭГ.

Механизм управления прибором включает в себя сервисные функции позволяющие настроить устройство на конкретный режим работы и произвести запись данных. Предоставляется возможность выбора числа каналов записи (от одного до двадцати одного), реализующаяся через выбор схемы размещения электродов на голове человека. После выбора каналов производится настройка частоты дискретизации для сеанса записи и выбирается порог чувствительности по амплитуде сигнала. Предоставляется возможность включения автоматической установки временных маркеров для записи данных с заданным интервалом. Команды управления процессом записи (начало, пауза, конец паузы, остановка) активируются только после установки всех необходимых параметров (каналы записи, частота дискретизации, чувствительность). Поддерживается установка параметров

по умолчанию. Подсистема реализуется в виде программного класса.

Данные передаваемые с устройства накапливаются в буфере механизма передачи потока данных с устройства в подсистему хранения ЭЭГ. По мере заполнения буфера, происходит сброс данных в подсистему хранения. Для предотвращения потерь данных реализуется пул буферов. После заполнения активный буфер переводится в очередь ожидающих записи, а активным становится первый из свободных в пуле. Размер пула буферов может настраиваться. В случае переполнения пула буферов запись автоматически останавливается.

Для обеспечения доступа к данным в реальном времени в режиме записи поддерживается отображение активного буфера и цепочки заполненных буферов в окне произвольного доступа к данным. Механизмы подсистемы реализуются в виде программных классов.

Подсистема хранения ЭЭГ обеспечивает запись буферизованного потока данных поступающего с устройства в выходной файл. Каждому новому файлу присваивается идентификатор в соответствии с заданными для записи параметрами.

Помимо записи данных подсистема хранения также отвечает и за загрузку данных из файла. Загрузка данных осуществляется в отдельном программном потоке и может выполняться параллельно с записью. Данная функциональность используется для обработки уже записанного фрагмента, без остановки текущей записи.

Для поддержки обработки ранее сохраненных записей ЭЭГ предоставляется механизм выбора записи и ее загрузки. Интерфейс работы с сохраненной записью аналогичен интерфейсу работы с активной записью. Таким образом механизм работы с данными унифицирован и возможна эмуляция эксперимента по ранее записанным данным.

Каждый раз загружаемые данные передаются в окно произвольного доступа к данным. Для ускорения перемещения окна или изменения его размера поддерживается механизм предзагрузки, т.е. в буфере накапливается некоторый объем данных по обе стороны от окна. В случае если окно перемещается по потоку данных синхронно с записью, то буферизуются только ранее записанные данные. Подсистема реализуется в виде программного класса.

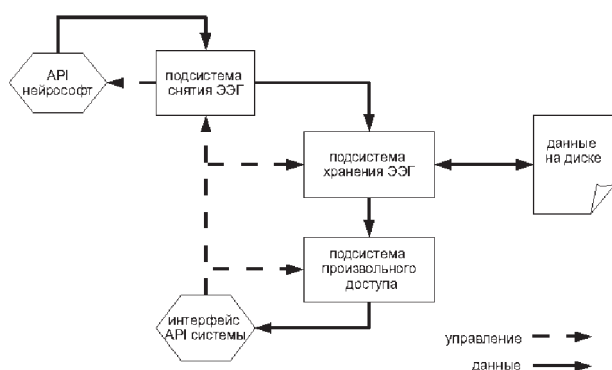


Рис. 2. Модуль получения и хранения ЭЭГ

Реализация окна произвольного доступа к данным и операций с ним входит в подсистему произвольного доступа. Все операции манипуляций над окном (режим бегущего окна, произвольное перемещение, изменение размеров) представляют собой методы программного класса, которым реализуется подсистема произвольного доступа.

Вызовы всех операций предоставляемых модулем получения ЭЭГ, ее хранения, и предоставления к ней произвольного доступа, осуществляются через программный интерфейс реализованный в этом модуле.

3. МОДУЛЬ ВЫДЕЛЕНИЯ, СРАВНЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ ПАТЕРНОВ

Модуль выделения, хранения и сравнения паттернов содержащихся в ЭЭГ (рис. 3), включает в себя как основной компонент подсистему анализа, которая в соответствии с заданными настройками выделяет паттерны состояний мозга из сигналов ЭЭГ. Выделенные паттерны сохраняются для дальнейшего использования при моделировании. Дополнительно, для паттернов определяются пороги допустимых отклонений при сравнении в процессе прогонки моделей в ходе экспериментов.

Паттерны выделяются из сигнала ЭЭГ двумя способами.

Первый способ — ручное выделение. В этом режиме образы выделяются оператором проводящим анализ записи ЭЭГ. Пользователь отмечает маркерами начало и конец фрагмента сигнала соответствующего паттерну в выбранном канале записи ЭЭГ. Для выделенного паттерна параметры могут быть заданы как вручную, так и вычислены автоматически. При необходимости вычисленные параметры могут быть скорректированы вручную.

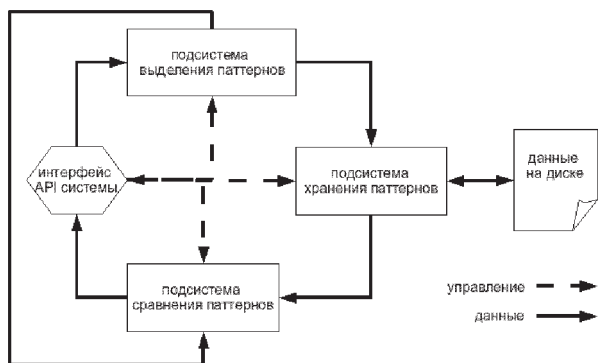


Рис. 3. Модуль выделения, сравнения и хранения паттернов

Второй способ — автоматическое выделение паттернов, которое производится на основе анализа амплитуды колебаний в сигнале. С этой целью задается определенный порог амплитуды, превышение которого означает наличие паттерна на участке сигнала в соответствующем канале. Амплитуды отсчитываются относительно соседних экстремальных точек. Возможен отсчет амплитуд относительно заданной оси нулевого отсчета.

Для удаления шумов и очистки сигналов включены различные методы фильтрации, в том числе и на основе вейвлет преобразований [2].

Для исключения интерпретации артефактов сигнала в качестве паттернов предполагается фильтрация по длине паттерна и максимальной частоте и амплитуде сигнала в паттерне.

Выделенные паттерны передаются в подсистему хранения. Паттерн хранится в виде объекта, который содержит в себе собственно исходный фрагмент сигнала ЭЭГ (длина, набор точек), информацию о связи паттерна с состоянием мозга, критерии сравнения (допустимые отклонения), а также метод реализующий операцию сравнения паттернов. Причем, метод сравнения возвращает результат в виде вероятности схожести паттернов.

Параметры паттерна могут задаваться как в ручном, так и в автоматическом или комбинированном режиме. Одним из параметров паттерна является его вес — значимость паттерна в цепочке (последовательности паттернов). Данный параметр может определяться только пользователем на основе его экспертной оценки. Другие параметры включают в себя допустимые значения отклонений (по частоте, амплитуде, длине и т.д.), связи паттерна с контекстом (рядом с какими паттернами находился в контексте записи ЭЭГ, в каком канале, в каких каналах может встречаться), а также метрику паттерна. Метрика паттерна представляет собой комплексную оценку вычисляемую на основе его параметров, позволяющую осуществлять сравнение различных паттернов. В общем виде метрика паттерна — многомерный вектор компонентами которого являются его различные параметры. Наиболее значимыми из них являются спектральные характеристики паттерна вычисленные с использованием преобразования Фурье и вейвлет преобразования [3].

Выделенные паттерны с заполненными характеристиками и вычисленными параметрами передаются в подсистему хранения паттернов. Хранилище паттернов представляет собой ассоциативный массив ключами которого являются метрики паттернов.

Подсистема хранения позволяет осуществлять доступ к паттернам на основе их метрик, функций сравнения метрик, а так же путем последовательного перебора.

Фактический механизм хранения паттернов представляет собой базу данных, и в качестве конечного хранилища используется СУБД.

Подсистема сравнения реализует операции сопоставления паттернов различными способами:

- сравнение по простым характеристикам (простое сравнение — первичный отсев)
- сравнение по спектру (спектр Фурье, вейвлет спектры)
- сравнение по метрике (вычисление метрики и сравнение с учетом допустимых отклонений)

Все подсистемы модуля выделения, хранения и сравнения паттернов реализованы в виде программных классов. Вызовы всех операций предоставляемых модулем осуществляются через программный интерфейс реализованный в этом модуле.

4. МОДУЛЬ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ И ИХ ПРОВЕРКИ

Модуль построения моделей процессов и их проверки состоит из нескольких подсистем, которые обеспечивают как создание и настройку модели, так и ее проверку в ходе эксперимента (рис. 4).

Подсистема построения моделей реализует функциональность построения связей между паттернами и построение цепочек из них, кото-

рые и представляют собой модели исследуемых процессов и состояний мозга.

Цепочка реализуется в виде набора последовательностей паттернов. Количество последовательностей в наборе соответствует количеству анализируемых каналов ЭЭГ. Последовательность паттернов, помимо собственно элементов, содержит информацию о допустимых временных интервалах между ними, указания о возможности пропуска элемента в последовательности, или наоборот наличия дополнительного элемента на временном интервале. В общем случае элементами новых цепочек паттернов могут быть не только отдельные паттерны, но и уже сохраненные цепочки из них.

Итоговые созданные цепочки являются моделями процессов и состояний мозга. Созданные цепочки сохраняются для дальнейшего использования в ходе экспериментов в подсистеме хранения моделей. Фактический механизм хранения моделей представляет собой базу данных, и в качестве конечного хранилища используется СУБД.

Для сравнения цепочек паттернов предназначена подсистема проверки моделей. Сравнение производится с учетом всех допустимых отклонений параметров сохраненных цепочек и паттернов. В результате автоматического анализа данных из снимаемой ЭЭГ выводится результат, отображающий степень схожести встреченных цепочек паттернов, например, с выбранным экспериментатором набором моделей.

Все подсистемы модуля построения моделей и их проверки реализованы в виде программных классов. Вызовы всех операций предоставляемых модулем осуществляются через программный интерфейс реализованный в этом модуле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассматриваемая система предоставляет исследователю набор инструментов для выделения и параметризации паттернов из ЭЭГ, построения и экспериментальной проверки моделей процессов мозговой деятельности на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Koichi Nagata Pattern Recognition of EEG Signals During Motor Imagery / Koichi Nagata, Makoto Mihara, Tomonari Yamaguchi, etc. // SICE-ICASE International Joint Conference 2006, Oct. 18—21, Bexco, Busan, Korea. — 2006. — P. 5169—5173.

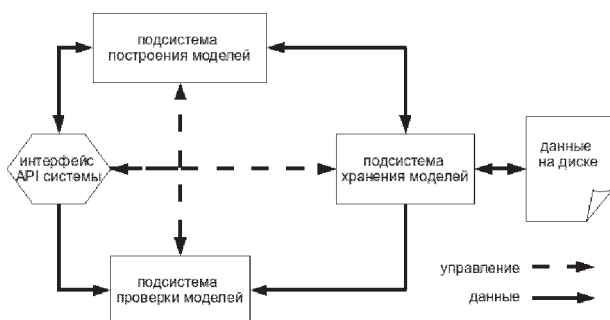


Рис. 4. Модуль построения моделей и их проверки

2. *Астафьева Н.М.* Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева. // Успехи физических наук. — 1996. — Том 166, № 11. — С. 1145—1170.

3. *Дремин И.М.* Вейвлеты и их использование / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // Успехи физических наук. — 2001. — Т. 171, № 5. — С. 465—501.

Бакалов Иван Владимирович — преподаватель кафедры ПОиАИС, факультет прикладной математики, информатики и механики, Воронежский государственный университет. Тел. (4732) 208-337. E-mail: ivan.bakalov@gmail.com.

Bakalov Ivan Vladimirovich — Assistant, of the dept. of the Software and Information System Administration, Voronezh State University. Tel. (4732) 208-337. E-mail: ivan.bakalov@gmail.com.