

Санкт-Петербургский Государственный
Университет

Математико-механический факультет

Кафедра системного программирования

Создание дискретизирующего
фильтра для обработки
электроокулограмм. Повышение
точности определения амплитуды
сигнала

Курсовая работа студентки 445 группы

Храмцовой Елены Александровны

Научный руководитель доцент Д.Р. Белов

Санкт-Петербург
2009

1 Введение

Глазное яблоко представляет собой электрический диполь - сетчатка заряжена отрицательно относительно роговицы. Поэтому при поворотах глазного яблока от кожи в районе глаз регистрируются броски потенциала. Это происходит при скачкообразных смещениях взора (саккадах), при глазном треморе для дезадаптации фоторецепторов (микросаккадах), при медленном смещении взора при визуальном слежении или наклонах головы, а также при морганиях. Знак отклонения зависит от расположения электрода и от направления поворота глаз, а амплитуда - от угла поворота.

Углы поворота левого и правого глаза при этом неодинаковы, движения обоих глаз начинаются и заканчиваются несинхронно и имеют разную временную динамику. Кроме того, эта динамика, по некоторым данным, весьма индивидуальна и зависит от пола испытуемого, психологических характеристик, от межполушарного доминирования и т.д. При достаточном числе электродов и определённых настройках имеется принципиальная возможность решить такую задачу: по наблюдающейся динамической картине глазных потенциалов можно определить направление и угол поворота глазных яблок, т.е. описать траекторию смещений взора испытуемого.

Помимо фундаментального значения для исследования системы взора данная задача имеет прикладную направленность. Если вести вычисления в режиме реального времени, можно использовать движения глаз для управления компьютером или любым другим внешним устройством. Для этого достаточно при рассматривании экрана помещать компьютерный курсор (или его имитацию) в расчётную точку направления взора. Это фактически будет означать

управление позицией курсора при помощи взора – курсор там, куда человек смотрит. Данная разработка относится к быстро развивающемуся классу устройств, называемых нейро-компьютерными интерфейсами. Исследование, таким образом, находится на стыке собственно нейрофизиологии и компьютерных технологий.

Известные на сегодняшний день методы регистрации произвольных движений глаз, характерных, в частности, для нистагма, основаны на использовании методов электроокулографии или фотоэлектрической нистагмографии. В настоящее время активно исследуется возможность регистрации и анализа движения глаза методами бесконтактной компьютерной видеодиагностики с целью описания патологии и мониторинга. В состав комплекса входят видеокамеры, регистрирующие угловое смещение глаза в глазнице. В одних случаях они фиксируются в специальном держателе для обеспечения неподвижности относительно глазницы, в других случаях камеры закреплены на столе. Видеоизображение движущегося зрачка вводится в компьютер и анализируется при помощи специальных программ.

По сравнению с перечисленными методиками данная методика имеет как недостатки (наклейка электродов), так и преимущества (большая свобода движений головой).

Регистрация электроокулограммы производится следующим образом. Вокруг глаз испытуемого располагаются 4 электрода. Два электрода служат для отслеживания движений левого глаза (один из них предназначался для измерения поворотов глазного яблока в сагиттальной плоскости, т.е. для оценки вертикальной составляющей смещений взора, а второй – для измерения поворотов обоих глаз в

горизонтальной плоскости, т.е. для оценки горизонтальной (или боковой) составляющей смещений взора)и два – для отслеживания движений правого глаза. ЭОГ регистрируется относительно объединённых ушных электродов. Два заземляющих электрода располагаются на щеках.

2 Постановка задачи

Задача состоит в обработке сигнала, поступающего с электродов и прошедшего через усилитель, а именно - в выделении саккад из общего шума и по возможности точном определении местоположения взора. Обработка сигнала должна производиться в режиме он-лайн, то есть при построении результирующего сигнала невозможно использовать информацию о последующем поведении исходного сигнала. Имеется набор фильтров: стандартные фильтры - Сглаживающее окно, фильтр высоких частот, и реализованный специально для этой задачи комплексный фильтр С.Ф.Колодяжного, включающий в себя фильтр Баттерворта, экспоненциальный фильтр и "детектор ступеней". Именно последний отвечает за распознавание саккад. Проблема состоит в том, что в такой реализации курсор начинает двигаться только после того, как оператор закончит движение глазами, что неприемлемо, если позиционировать систему как систему управления компьютером - скорость реакции системы должна быть настолько высокой, чтобы человек не успевал почувствовать ее бездействие. Задача состоит в том, чтобы создать дискретизирующий фильтр на основе "детектора ступеней" со следующими свойствами. На вход такого фильтра должны поступать четыре сигнала ЭОГ(по количеству электродов), подвергнутые фильтрации при помощи динамического сглаживающего

экспоненциального фильтра, убирающего высокочастотный "дребезг" то есть по массив из четырех значений разности потенциалов в данный момент времени. Результатом работы дискретизирующего фильтра должны стать графики с исключенными шумами, ложными саккадами (в соответствующие временные промежутки значение функции должно стать нулевым); остальные возмущения должны быть преобразованы к такому виду, что их передний фронт представлял бы ступенчатую монотонную кусочно-линейную функцию с регулируемой длиной ступеней (горизонтальных участков), скорость роста которой зависит от резкости движения глаз, задний фронт игнорируется (сводился на ноль), и экстремум на таком участке графика определяется углом поворота глазных яблок. Важнейшим требованием к фильтру является необходимость его работы в режиме реального времени, то есть по ходу формирования ЭОГ и фильтрации ее экспоненциальным фильтром (который также функционирует он-лайн). Далее, отфильтрованные таким образом сигналы должны анализироваться следующим узлом системы на предмет взаимного расположения ступеней в рамках каждого ненулевого участка графиков. После этого на основе полученных результатов в режиме реального времени устанавливается амплитуда и направление движения взора испытуемого и курсор перемещается в нужное положение сторону, либо запускается обработка события моргания.

3 Решение

Для решения задачи использовалась среда разработки C++ Builder. Очень много времени было потрачено на то, чтобы разобраться в

довольно большой системе(4500 строк), написанной профессиональным физиологом. Алгоритм фильтрации основан на последовательном анализе значений разности потенциалов и на основе текущих и предыдущих значений отнесение состояния сигнала к одной из нескольких групп. Основными группами являются: затухание сигнала (в этом случае на выход выдается нулевое значение), увеличение или уменьшение разности потенциалов (эти состояния характеризуют движение взгляда в ту или иную сторону в горизонтальной или вертикальной плоскости; в этом случае график приводится к ступенчатому виду), появление нового импульса (это обозначает начало саккадического движения, на этом этапе производится подготовительная работа). Приведение графика к ступенчатому виду осуществляется с помощью циклического буфера, в который помещаются исходные значения в предыдущие моменты времени, что позволяет в нужный момент распознать начало ступени (высота ступени будет равна текущему значению) и определенному настройками числу следующих придать это значение. Далее опять начинается новая ступень. При таком подходе скорость роста ступенчатой функции действительно зависит от резкости изменения разности потенциалов, а экстремум на соответствующем участке - от угла поворота глазных яблок. (Сами параметры резкости броска потенциалов и амплитуды движения глазных яблок, очевидно, определяют вид исходных графиков ЭОГ). Работа над этим алгоритмом велась совместно с Медведевым Алексеем (математико-механический факультет СПбГУ, 445 группа). Также мною был предложен другой вариант дискретизации - просто разбиение большой саккады на несколько маленьких, это естественно бы вписалось в уже имеющуюся систему и, на мой взгляд, вообще логичнее.

Но при таком подходе мы сможем обнаружить конец саккады позже, чем при описанном выше, поэтому решено было работать над "ступенчатой" дискретизацией. Очень важно было обеспечить повышенную точность определения экстремума участка графика, соответствующего саккаде. С большой вероятностью при описанном выше механизме длина ступени уложится в ненулевой участок графика нецелое число раз. В таком случае теряется некоторая часть амплитуды, потери могут быть весьма существенными при большой длине ступеней или при большом угле наклона графика. Сохранение амплитуды достигается за счет удлинения саккады на единицу, что в сравнении с длиной саккады (100 - 200 отсчетов) неощутимо. Существенной трудностью в разработке также послужила необходимость работы фильтра в режиме реального времени, это требование исключало возможность использования для анализа и изменения текущего значения следующих ним значений. Стоит отметить, что без этих требований можно было бы находить момент начала затухания импульса (при этом следующие значения функции в рамках текущего этапа затухания сводятся к нулю), а далее проводить обратный просмотр саккады, фильтруя его уже в соответствии со всеми настройками и требованиями. Он-лайнность фильтра обеспечил Алексей Медведев.

4 Результаты работы

Был разработан фильтр на платформе Borland C++ Builder 6. Его работа описана выше.

В качестве недостатков работы фильтра можно выделить не всегда точное срабатывание механизма классификации состояния

сигнала, из-за чего иногда может происходить срабатывание режима затухания импульса в момент, когда движение взгляда еще не закончилось. Этот эффект наблюдается, когда изменения графика достаточно плавные, и система принимает шум за изменение направления сигнала. Стоит отметить, что с описанным эффектом можно бороться как на уровне модернизации самого алгоритма фильтра, так и на уровне интеллектуального отрабатывания следующего узла системы, восстанавливающего движения глаз, который мог бы не фиксировать падения на ноль возмущения в таких случаях. В данный момент происходит внедрение его в систему: разработка узлов, отвечающих за распознавание движений глаз человека на основе работы дискретизирующего фильтра, а так же создание общего интерфейса программного проекта, позволяющего в итоге получить органичный продукт, обеспечивающий комплексную работу всех компонентов и предоставляющий человеку возможность освободить свои руки от манипуляции мышью при управлении компьютером. Также ищутся пути повышения точности работы системы, которая все еще оставляет желать лучшего. Задача "управление компьютером при помощи глаз или "глазной интерфейс заявлена в качестве практического занятия для студентов факультета Психологии в составе большого практикума по психофизиологии. По теме "Использование биопотенциалов для связи с внешними устройствами" ("Брайн-интерфейс") будет одна лекция и это практическое занятие в качестве примера. Этот межфакультетский курс планируется запустить в 2009-2010 учебном году.