

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ – КОМПЬЮТЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Дорошенко И.В.

Научный руководитель: Фокин А.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Doroshenko89.Irina@yandex.ru

Интерфейс мозг-компьютер (ИМК) подразумевает под собой анализ состояния активности головного мозга человека тем или иным способом, выявление информативных сигналов и формирование команд управления на основе собранной информации. Подобные интерфейсы, могут применяться для обеспечения взаимодействия с окружающим миром полностью парализованных людей (с так называемым locked-in синдромом), пациентам с тяжелыми формами церебрального паралича, пациенты с тяжелыми инсультами и травмами.

Современные разработки в этой области нацелены на широкий спектр применения — от определения степени усталости водителей и летчиков до измерения умственной нагрузки и стрессоустойчивости учащихся. Не только вождение инвалидами колясок, но и коррекция утраченного зрения, эффективное управление биопротезированными конечностями, все это становится возможным по мере развития нейрокомпьютерного интерфейса.

Все проекты интерфейсов мозг-компьютер можно условно поделить на интерфейсы для ввода (восстановление или замена поврежденных органов чувств) и вывода (управление протезами и другими устройствами). Еще один важный критерий, по которому можно разделить существующие разработки, - степень инвазивности, то есть, необходимость хирургического вмешательства. Во всех случаях прямого ввода данных необходимо производить операцию по вживлению в мозг или нервную ткань электродов. В случае вывода можно обойтись внешними датчиками для съема информации об активности головного мозга: например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Впрочем, ЭЭГ - инструмент достаточно ненадежный, поскольку кости черепа достаточно сильно ослабляют электроэнцефалографический сигнал и получить можно только очень сильно обобщенную информацию. В случае вживления электродов можно снимать данные непосредственно с нужных мозговых центров (например, двигательных), но такая операция связана с риском осложнений.

В университетах мира разрабатываются разные способы реализации ИМК, основанные на разных методах снятия сигнала. От метода зависят пространственное и временное разрешения получаемой информации о состоянии мозга. К существующим методам измерения сигналов относятся: электроэнцефалография,

магнитоэнцефалография (MEG), инфракрасная спектроскопия (NIRS), электрокортикография (ECOG), запись локальных потенциалов поля (LFP), запись с набора микроэлектродов (MEA), запись с микроэлектродов (ME), функциональная магниторезонансная томография (fMRI).

Существующие методы организации ИМК используют информацию либо об собственной электрической активности головного мозга (ЭКГ и т.п.), либо измеряют уровень оксигенации крови в различных областях головного мозга, (известно что активность нейронов в определенной области мозга влияет на кровенаполнения близлежащих тканей). Второй способ используется в фМРТ.

Нами предлагается разработка нового способа организации ИМК на основе электроимпедансных измерений.

Можно предположить, активность нейронов в определенной области головного мозга должна приводить к изменению сопротивления тканей в этих участках. Различные виды когнитивной деятельности должны приводить к активизации различных областей. Так как кровь имеет меньшее сопротивление, чем ткани мозга, то можно предположить возможность обнаружения областей активности головного мозга.

Существует метод, который позволяет проводить реконструирование изображения распределения сопротивления в биообъекте – Электроимпедансная томография (ЭИТ).

Этот метод позволяет проводить реконструкцию распределения проводимости внутри объекта на основе результатов электрических измерений на поверхности.

Если каждый электрод имеет площадь S , m^2 , контактное сопротивление R_c , Ом и через него проходит ток I , А, то полная модель измерения в электроимпедансной томографии выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \nabla(\sigma \nabla \varphi) &= 0; \\ V_{e1} &= \varphi + R_{e1} + \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n}; \\ I_1 &= \int \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n} ds; \\ V_{e2} &= \varphi + R_{c2} + \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n}; \\ I_2 &= - \int \sigma \frac{\partial \varphi}{\partial n} ds; \\ I_1 + I_2 &= 0; \end{aligned} \quad (1)$$

где σ – удельная проводимость, См/м, V_e – напряжение на электроде относительно нуля, вольт, потенциал электрического поля. Нижние индексы относятся к номеру электрода в паре. Для

измерительных электродов модель будет такой же, но ток I будет равен нулю, соответственно, подинтегральные выражения в (1) тоже будут равны нулю.[1]

Выражение (1) – это постановка прямой задачи электроимпедансной томографии – позволяющее найти распределение потенциала электрического поля при заданном распределении проводимости и расположении электродов, подводящих ток.

Для решения прямой задачи необходимо разработка модельного распределения проводимости исследуемого объекта. Сама задача решается численными методами.

Разработанная нами структурная схема для ИМК на основе ЭИТ представлена на рисунке 1.

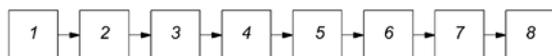


рис.1. Структурная схема

Структурная схема включает в себя:

- 1- Задающий источник тока [2].
- 2- Электроды через которые подается задающий ток.
- 3- Биологический объект
- 4- Измерительные электроды
- 5- Предварительный усилитель сигнала
- 6- Выпрямитель-демодулятор
- 7- АЦП и цифровой фильтр
- 8- Компьютер

Для воздействия на биологический объект требуется источник гармонического тока (частота 100 кГц, амплитуда тока 1мА), электроды через которые подается ток, а также электроды которые принимают измеряют результирующее напряжение на поверхности объекта. После предварительного усиления и демодуляции значения измеренного напряжения поступают на АЦП и передаются для анализа на компьютер. Зная распределение напряжения на электродах и задающих ток, с помощью известных методов ЭИТ можно восстановить картину сопротивления внутри объекта.

На данном этапе была разработана и рассчитана электрическая принципиальная схема устройства и проведено моделирование системы в программе Proteus Professional для проверки расчетов. Основной проблемой является то что необходимо регистрировать очень маленькие изменения сопротивления на фоне большого основного (базовое сопротивление около 1кОм, теоритическое изменение этого сопротивления менее 1 ома). Кроме того необходимо учитывать множество факторов могут влиять на результат измерения, и приводящих к погрешности измерения.

Дальнейшая работа предлагает постановку экспериментов по выявления изменений проводимости в процессе активности головного мозга. На первом этапе предполагается

зафиксировать реакцию мозга на предъявления аудио и визуальных стимулов.

Существующие неинвазивные методы организации ИМК требуют либо дорогой и громоздкой аппаратуры (ФМРТ), либо не позволяют выделить участки активности головного мозга. Например, ИМК на основе измерений ЭЭГ как правило формирует команды на основе различения альфа и бета ритмов активности головного мозга.

По сравнению с фМРТ метод потенциально позволяет проводить визуализацию активности головного мозга гораздо более дешевыми и компактными средствами. Хотя разрешающая способность получаемых изображений конечно на несколько порядков меньше.

В цикл ВСИ входят следующие фазы: измерение, обработка, извлечение маркеров, прогнозирование, формирование выходного сигнала. Выходным сигналом может быть управление внешним устройством, набор символов, аудио сигнал и т.д. Технически для создания интерфейса на базе ЭИТ требуется разработка оборудования для снятия сигнала с возможностью подключения к персональному компьютеру и разработка программного обеспечения, производящего фазы обработки, извлечения маркеров, прогнозирования и формирования выходного сигнала.

Список литературы:

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С., Усов В.Ю., Плотников М.П., Уманский О.С. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во «НТЛ», 2004. 192 с.
2. Источник тока для электроимпедансной томографии. Фокин А.В., Бразовский К.С. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 4. С. 99-101.