

12, декабрь 2015

УДК 616.8-005

**Обзор, анализ и разработка технологий, основанных на распознавании
мозговой активности для социальной реабилитации пациентов с
цереброваскулярными заболеваниями**

Калюкина А.Ю., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Биомедицинские технические системы»*

*Научный руководитель: Аполлонова И.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Биомедицинские технические системы»*

apollonova-i@bmstu.ru

Освещение медико-технической стороны имеющихся аналогов

Чтение мыслей (iBrain)

Группа ученых под руководством сотрудников Калифорнийского университета в Беркли разработала способ распознавания слов, мысленно произносимых пациентами, по их энцефалограммам. Для своих экспериментов исследователи имплантировали электроды в мозг 15 испытуемым, проходившим хирургические операции по удалению опухолей или лечению эпилепсии. Электроды были размещены в верхней височной извилине — эта зона помимо прочего отвечает за преобразование слышимых звуков в слова. Ученые воспроизводили аудиозаписи различных слов и одновременно снимали энцефалограммы. Затем с помощью компьютерного моделирования различным картинкам активности мозга были поставлены в соответствие звуки и слова. После этого пациентам предлагали выбрать слово из набора предложенных и мысленно произнести его - компьютер верно отгадывал, какие именно слова выбирались. Затем с помощью той же модели ученые смогли «разобрать» некоторые слова в потоке мыслей пациентов по энцефалограмме.

Микроэлектроды(microECoG)

Учёные из университетов Юты (U of U) и Вашингтона (UW) расширили примитивный словарь из «да» и «нет» до 10 слов. В дополнение к указанным выше это

«горячо», «холодно», «голод», «жажда», «здравствуйте», «до свидания», «больше» и «меньше».

Физическое проникновение под черепную коробку способно дать исследователям больше информации. Важно, что для своего опыта учёные использовали ранее созданный в университете Юты «бережный» массив микроэлектродов (microECoG) для электрокортикографии. Эти устройства не проникают в мозг, а лежат на его поверхности и чувствуют потенциал поля, формируемого нейронами. Они намного меньше использовавшихся ранее и отстоят друг от друга на расстоянии всего в один миллиметр, что позволяет регистрировать сигналы с более высокой избирательностью.

Исследователи поместили два массива по 16 таких микроэлектродов (квадратики 4 х 4) в две зоны мозга. Первая - лицевая моторная кора, управляющая движениями рта, губ, языка, в общем - мышц, участвующих в речи. Вторая - зона Вернике, связанная с восприятием и распознаванием слов (она работает при произнесении их самим человеком). В течение четырёх дней подряд с больным проводили по часу занятий. Пациент произносил по указке учёных одно из десяти слов, каждое от 31 до 96 раз. Изучив набор импульсов, авторы эксперимента установили для каждого слова наиболее репрезентативный рисунок активных электродов. А чтобы проверить догадки, провели несколько тестов на угадывание слов. Считывание с массива из моторной коры в соответствии с ранее опознанными наборами «индивидуальных» для каждого слова электродов позволило верно определять эти самые слова в 85 % случаев. Работа только с зоной Вернике дала лишь 76 % точности.

BrainGate

Нейрофизиологи из Брауновского университета в Провиденсе (США) завершили с успехом испытания специальной системы, обеспечивающей связь между мозгом и компьютером, которая дала возможность двум пациентам с парализованными конечностями управлять новой, искусственной конечностью – кибер-рукой, при помощи силы мысли. В частности, они могли таким образом пить кофе из бутылки или перемещать курсор мыши по экрану при работе с компьютером, как сообщается в статье, которая была опубликована в журнале Nature. Исследователи разработали сначала специальные кремниевые микроэлектроды, приспособились вживлять их в нервную систему приматов, получив в итоге важную информацию о действии нервных клеток мозга во время движения руки в трехмерном пространстве, а также при исполнении разных действий.

Далее ученые организовали эксперимент с участием двух добровольцев-паралитиков, полностью утративших способность движения конечностями после инсульта мозгового ствола. Специалисты поместили в центр движения мозга участников разработанные ранее электроды, подключив к ним механическую руку и провели ряд аналогичных экспериментов.

После калибровки руки и интерфейса добровольцы научились без труда двигать механической рукой, представляя себе, что они двигают своей рукой или сжимают кулак. Спустя несколько дней тренировок паралитики смогли исполнять действия сложного уровня: находить и сжимать шарики из пеностирола, водить курсором по экрану компьютера и пить кофе из бутылки.

VisualImageReconstruction

Группа японских специалистов из лаборатории вычислительной неврологии Международного института передовых телекоммуникационных исследований (ATR Computational Neuroscience Laboratories), разработала способ преобразования мыслей в визуальную информацию, которую можно отобразить на мониторе компьютера.

Когда человек смотрит на какой-либо предмет, свет, отраженный от него, попадает на сетчатку и преобразуется в электрический сигнал, который передается по зрительному нерву в соответствующую зону коры головного мозга. Представители ATR заявили, что этот эксперимент стал первым в мире опытом искусственной визуализации зрительного сигнала на основе анализа мозговой активности.

Не вводя в мозг какие-либо электроды, экспериментаторы научились достаточно четко определять — что видел испытуемый человек. Хотя предъявляемые его взору изображения пока еще черно-белые и содержат всего сотню довольно крупных пикселей (применялось изображение 10 x 10). Технология основана на анализе электрических сигналов, поступающих в головной мозг от сетчатки глаза. Для распознавания в мозге зрительных образов применялась функциональная магнитно-резонансная томография (fMRI). Томограф показывает изменение в кровотоке через определенные зоны коры, связанные с активностью тех или иных групп нейронов. Чтобы обучить машину, экспериментаторы показывали испытуемым 440 «стопиксельных» изображений (сгенерированных случайным образом), в течение шесть секунд каждое (с 6-секундными паузами). Томограф исправно поставлял компьютеру рисунки активности групп нейронов в зрительной коре (причем - в трехмерном пространстве). Затем последовала еще серия изображений, но уже не со случайным шумом, а с простыми геометрическими фигурами

или отдельными буквами. После такого обучения программа нашла корреляцию между пикселями на тестовом изображении и включающимися нейронами. То есть, получив сигнал с томографа, программа разбивала гипотетическое поле 10 x 10 пикселей (которое ей предстояло заполнить) на перекрывающиеся зоны разного размера (1 x 1 пиксель, 1 x 2 пикселя, 2 x 1, 2 x 2 и так далее). Затем, пользуясь своими шаблонами, она определяла, какова вероятность, что данная группа пикселей белая, черная или является комбинацией двух этих цветов.

MPT

Пациента подключают к датчикам установки магнитно-резонансной томограммы и задают ему какой-либо вопрос. Ответом «да» или «нет» служит активность той или иной области головного мозга. Специалисты научили пациента «напрягать» отдельные отделы полушарий, при помощи простых мыслительных процессов. На примере определенного больного, они договорились, что когда он желает сказать «да», он будет представлять себя, идущего по родному дому (активизируется парагиппокампальная извилина), если «нет», то играющего в теннис (активна премоторная кора мозга). Задающие вопрос родственники или учёные, следят за показателями мониторов, где чётко видно, к какому отделу мозга приливает кровь, во время размышлений пациента.

Конкретизированные данные анализа медико-технической стороны имеющихся аналогов приведены в таблицах 1-2

Таблица 1

Итоги

№	Метод	Функции	Характеристики
1	iBrain	Распознавание слов, мысленно произносимых пациентами, по их энцефалограммам	Быстродействие, несовершенство, отсутствие прототипов
2	microECoG	Сопоставление регистрируемых импульсов базовому набору слов	Быстродействие, несовершенство, отсутствие прототипов
3	BrainGate	Управление механизированной конечностью	Быстродействие, многофункциональность, несовершенство, отсутствие прототипов
4	Visual Image Reconstruction	Искусственная визуализация зрительного сигнала на основе анализа мозговой активности.	Высокая точность, отсутствие прототипов, большая стоимость и громоздкость

5	MPT	Формулирование ответа «да»/«нет» по приливам крови к различным отделам мозга	Готовность к использованию, безопасность, большая стоимость и громоздкость, ограниченная функциональность
---	-----	--	---

Таблица 2

Недостатки иностранных аналогов существующих приборов

№	Метод	Недостатки
1	iBrain	Инвазивность, невысокий уровень распознавания слов
2	microECoG	Примитивный набор слов, бесперспективность использования зоны Вернике
3	BrainGate	Заращение электродов
4	Visual Image Reconsruction	Малое разрешение, громоздкость и дороговизна FMRI
5	MPT	Ограниченная функциональность, громоздкость и дороговизна

Основные проблемы медицинской стороны:

1. Отсутствие общей теории о биологических причинах возникновения электромагнитных импульсов в коре головного мозга и связанных с ними ритмов ЭЭГ.
2. Недостаточность информации относительно физических характеристик различных регистрируемых ритмов ЭЭГ (в основном, частотные и амплитудные характеристики).
3. Индивидуальные особенности строения и функционирования отделов коры головного мозга пациентов.
4. Условие неизменности текущего состояния головного мозга.

Основные проблемы технической стороны:

1. Точность методов корреляционного и спектрального анализа регистрируемых процессов.
2. Качество работы сегментационных алгоритмов, предполагающих наличие очень четких переходов между сегментами.
3. Некомпетентная работа статистических процедур в условиях нестационарности сигнала ЭЭГ.

4. Необходимость точного определения источника регистрируемого сигнала ЭЭГ.

5. Исключение сигналов, имеющих случайный характер, "зашумленность" ЭЭГ-сигнала случайными изменениями.

Необходимость и полезность развития данных технологий:

Развитие данных технологий способно открыть новую отрасль и направления в нейрохирургии, биоинженерии, нейропротезировании и социальной реабилитации больных с поражениями нервной системы вследствие травмы или болезни. Эксперименты по визуализации мыслей позволят восстанавливать динамические зрительные образы, которые возникают в мозгу человека, а также экспортировать их на экран электронного устройства. Таким образом, может быть реализована двусторонняя нейро-компьютерная связь, которая поможет в социальной реабилитации и взаимодействии с окружающим миром пациентов с частичной и полной парализацией тела.

Список литературы

1. Pasley B.N., David S.V., Mesgarani N., Flinker A., Shamma S.A. Reconstructing Speech from Human Auditory Cortex // PLoS Biology journal. 2012. Vol. 10. P. 1–13. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001251.
2. Kellis S.S., House P.A, Thomson K.E., Brown R., Greger B. Human neocortical electrical activity recorded on nonpenetratingmicrowire arrays: applicability for neuroprostheses // Neurosurgical Focus. 2009. Vol. 27. P. E9. DOI: 10.3171/2009.4.FOCUS0974.
3. Popular science portal Glob-News. Режим доступа: <http://glob-news.ru/technika/629-sozdana-sistema-upravleniya-kiber-rukoy-pri-pomoschi-sily-mysli.html> (дата обращения: 18.03.2014).
4. Miyawaki Y., Uchida H., Yamashita O., Sato M., Morito Y., Tanabe H.C., Sadato N., Kamitani Y. Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders // Neuron. 2008. Vol. 60, P. 915-929. DOI: 0.1016/j.neuron.2008.11.004.