

КОГНИТИВНАЯ НАУКА В МОСКВЕ 2015

**КОГНИТИВНАЯ НАУКА
В МОСКВЕ: НОВЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

**МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ**



2015

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман

ISBN 978-5-4465-0705-4



9 785446 507054 >

УЧИТЕСЬ ЖДАТЬ! УСЛОВНО-НЕГАТИВНАЯ ВОЛНА ПОМОЖЕТ ОТДАВАТЬ КОМАНДЫ ВЗГЛЯДОМ?⁵⁷

Шишкин С.Л. *, Свиринов Е.П., Нуждин Ю.О., Федорова А.А.,
Трофимов А.Г., Слободской-Плюснин Я.Ю., Васильевская А.М.,
Величковский Б.М.

sergshishkin@mail.ru

НИЦ «Курчатовский институт»

Аннотация. Испытуемые играли в компьютерную игру с помощью удлиненных (не менее 500 мс) фиксаций взгляда, регистрируемых айтрекером. Интервал от 200 до 500 мс после начала таких «управляющих» фиксаций и спонтанных фиксаций длительностью не менее 500 мс (совершаемых в периоды, когда управление игрой было отключено) использовался для выделения из электроэнцефалограммы (ЭЭГ) признаков, характеризующих каждую фиксацию. Статистический классификатор обеспечил отнесение фиксаций к управляющим или спонтанным со средней специфичностью .90 и чувствительностью .19. Результаты свидетельствуют о возможности использования условно-негативной волны, развивающейся в период фиксаций взгляда при ожидании срабатывания интерфейса, в разработке интерфейсов глаз — мозг — компьютер нового поколения, в т.ч. предназначенных для тренировки внимания.

Ключевые слова: интерфейсы мозг-компьютер, условно-негативная волна, управление с помощью взгляда, внимание, ожидание

Введение

Условно-негативная волна (УНВ) представляет собой негативное отклонение потенциала, которое развивается в ЭЭГ в промежутке между двумя стимулами, первый из которых является предупредительным, а второй предполагает моторный ответ или мысленную реакцию. УНВ связывают, в частности, с вниманием особого рода, связанным с подготовкой к действию (*preparatory attention* — Тессе, 1972).

Недавно УНВ со специфической топографией (фокус в теменной области) была обнаружена во время фиксаций взгляда, используемых для управления с помощью айтрекинга (видеоокулографии), и была показана возможность с ее помощью отличать их от спонтанных (зрительных) фиксаций, что необходимо для эффективного управления с помощью взгляда (Protzak et al., 2013). По-видимому, развитие УНВ во время управляющих фиксаций могло быть связано либо непосредственно с

⁵⁷Работа поддержана грантом Российского научного фонда (проект № 14-28-00234).

ожиданием срабатывания интерфейса, либо с подготовкой к переходу к следующему этапу выполнения задания после его срабатывания. В этих исследованиях управление можно было осуществлять лишь с помощью длительной (1000 мс) фиксации взгляда в единственной позиции экрана. Оставалось неясным, сохранится ли возможность использовать УНВ как маркер управления, во-первых, при более быстром срабатывании интерфейса, а во-вторых, при использовании интерфейса для более содержательного и разнообразного управления.

В нашем исследовании мы проверили возможность классифицировать управляющие и спонтанные фиксации взгляда с использованием УНВ в ситуации, когда интерфейс использовался для сравнительно сложной деятельности — для игры в компьютерную игру с помощью одного лишь взгляда (без помощи рук), а интерфейс срабатывал при превышении короткого порога длительности фиксации — 500 мс. Экспериментальная парадигма и компоненты интерфейса были разработаны таким образом, чтобы в случае подтверждения возможности успешно классифицировать фиксации в этих условиях на следующем этапе работы перейти непосредственно к использованию УНВ-маркера фиксации в составе гибридного интерфейса глаз — мозг — компьютер (ИГМК).

Методика

Для проведения экспериментов на основе известной компьютерной игры «Линии» была разработана игра «*EyeLines*», в которой игрок представляет цветные «шарики», периодически появляющиеся на поле размером 7×7 ячеек (17×17°), с помощью фиксации взгляда. Чтобы сделать ход в этой игре, необходимо зафиксировать взгляд сначала на находящейся слева или справа от игрового поля отдельной клетке («кнопке»), затем на одном из шариков и, наконец, на свободной клетке, куда он должен быть перемещен. Взгляд отслеживался с помощью айтрекера *EyeLink 1000 Plus (SR Research, Канада)* в условиях стабилизации положения головы с помощью упора. Фиксации определялись управляющей игрой программой с использованием пространственного («дисперсионного») критерия. Позицией взгляда во время фиксации считалась медиана значений по координатам *x* и *y*. Проводились, как правило, четыре или шесть игр продолжительностью по 5 минут, перед каждой из которых айтрекер калибровался по 9 точкам.

При превышении порога длительности фиксации 500 мс в «*EyeLines*» происходит срабатывание интерфейса и выполнение действия в зависимости от позиции взгляда и от предыдущих действий. Возможны следующие действия: появление шарика в боковой ячейке, означающее «включение управления» шариками на игровом поле; выделение шарика (он обводился рамкой); перенос выделенного шарика в свободную ячейку.

ку; сообщение об ошибке в случае нарушения правил (например, при попытке переместить шарик в ячейку, путь к которой преграждают другие шарики). Интерфейс не реагирует на фиксации, если управление не «включено»: это обеспечивает испытуемому возможность свободно рассматривать поле, не опасаясь срабатывания интерфейса при продолжительных спонтанных фиксациях. В пилотных экспериментах испытуемые, однако, нередко проявляли склонность к быстрому реагированию на появление на поле новых шариков, которые было легко заметить благодаря периферическому зрению. Это давало возможность испытуемым на протяжении большей части игры не тратить время на разглядывание игрового поля, и в результате нам не удавалось зарегистрировать достаточное для анализа, настройки и тестирования ЭЭГ-классификатора количество продолжительных спонтанных фиксаций. Чтобы решить эту проблему, во-первых, испытуемым было рекомендовано не стремиться быстро делать ходы, а обращать больше внимания на выбор наиболее удачных из возможных ходов, а во-вторых, «кнопку» удаляли с экрана на 10 с через каждые 4–8 ходов (испытуемому рекомендовалось использовать это время для внимательного разглядывания позиции на игровом поле и продумывания возможных последующих ходов).

В течение каждой игры производилась регистрация ЭЭГ в 15 отведениях с помощью электроэнцефалографа *actiCHamp* (*BrainProducts*, Германия). В ЭЭГ выделялись эпохи, привязанные к моментам начала фиксаций, длительность которых превышала порог. Эпохи усреднялись отдельно по фиксациям на «кнопке», на шарике при включенной «кнопке» и на пустой ячейке при включенной «кнопке» («целевые» эпохи, соответствующие управляющим фиксациям), а также при фиксациях на шарике до включения «кнопки» («нецелевые» эпохи, соответствующие спонтанным фиксациям; превышающие порог длительности фиксации на свободных ячейках до включения «кнопки» наблюдались крайне редко).

Для оценки возможности распознавания управляющих фиксаций в онлайн-режиме с помощью УНВ мы провели моделирование работы классификатора по разделению двух классов эпох ЭЭГ: целевых и нецелевых. Мы выбрали интервал, начинающийся с 200 мс, что исключало попадание в него прочих компонентов ЭЭГ и артефактов. Чтобы не использовать в моделировании работы классификатора данные, которые не могли быть доступны до завершения фиксации, правая граница интервала была совмещена с порогом фиксации. После снижения частоты оцифровки ЭЭГ до 20 Гц значения из выделенного интервала были объединены по всем каналам в единый вектор признаков. Для классификации использовался линейный дискриминантный анализ со «шринкажной» (*shrinkage*) регуляризацией. Порог детекции управляющих фиксаций под-

бирался таким, чтобы ее специфичность была приблизительно равна .9 (мы исходили из предположения, что частота ложных срабатываний существенно выше .1 в случае использования детектора в реальном гибридном интерфейсе могла бы приводить к значительной фрустрации). Специфичность и чувствительность оценивалась с помощью 5-fold-кроссвалидации.

Результаты

В усредненных целевых эпохах всех типов, как правило, выявлялось медленное негативное отклонение с симметричным распределением потенциала по скальпу, амплитуда которого достигала максимума приблизительно через 200 мс после срабатывания интерфейса и затем начинала быстро снижаться. Детальный анализ ЭЭГ, однако, был затруднен наличием вблизи начала фиксации артефактов, связанных с саккадами, потенциалов, предположительно связанных с подготовкой саккады, и фиксационных потенциалов. Для более корректного анализа мы в настоящее время проводим серию экспериментов с регистрацией ЭЭГ в большем числе отведений, чтобы обеспечить разделение УНВ и остальных компонентов сигнала.

Результаты оценки показателей детекции управляющих фиксаций приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты детекции управляющих фиксаций в оффлайн-анализе. Число эпох указано до разбиения на тренировочную и тестовую выборки. Специфичность – доля эпох, классифицированных как нецелевые, среди всех нецелевых эпох. Чувствительность – доля эпох, классифицированных как целевые, среди всех целевых эпох.

Испытуемый	Число целевых эпох	Число нецелевых эпох	Специфичность	Чувствительность
1	416	149	0.89	0.21
2	333	164	0.91	0.12
3	484	207	0.90	0.13
4	319	157	0.90	0.13
5	531	110	0.96	0.20
6	327	149	0.92	0.24
7	279	148	0.90	0.20
8	788	80	0.84	0.27
9	365	171	0.92	0.25
<i>M±SD</i>	427±158	148±36	0.90±0.03	0.19±0.06

Обсуждение

Исследование показало, что УНВ может быть обнаружена на фоне сравнительно коротких и потому необременительных фиксаций взгляда, используемых для реального управления компьютерной программой. Впервые удалось осуществить с помощью ЭЭГ-маркеров классификацию управляющих фиксаций взгляда, регистрируемых в процессе реального управления компьютером, и спонтанных фиксаций. В то же время очевидно, что при приемлемом уровне специфичности детекции управления (0.9 и выше) текущая версия модели ИГМК неизбежно будет срабатывать чрезмерно редко (полученное среднее значение чувствительности 0.19 соответствует пропуску 81 % управляющих фиксаций!).

Тем не менее в настоящее время мы начали эксперименты с онлайн-версией ИГМК, в основном аналогичные описанным выше, но включающие применение классификатора в онлайн-режиме к ЭЭГ, получаемой во время фиксаций взгляда. Для того чтобы исключить фрустрацию из-за чрезвычайно частого несрабатывания интерфейса, мы обеспечили детекцию команды при отсутствии срабатывания классификатора, когда длительность фиксации достигает дополнительного «длинного» порога (1000 с). Мы предполагаем, что более высокая комфортность срабатывания при достижении «короткого» порога обеспечит положительное подкрепление, которое может привести к увеличению амплитуды УНВ в процессе использования интерфейса. Признаки включения механизма оперантного обусловливания УНВ ранее уже наблюдались в процессе длительной экспериментальной эксплуатации одного из наиболее ранних ИМК (Neumann et al., 2003). Повышение амплитуды УНВ могло бы значительно повысить точность срабатывания ИГМК.

Можно также предположить, что такая парадигма ИГМК с двумя порогами длительности для управляющих фиксаций создаст условия для эффективного тренинга той разновидности внимания, которая, по-видимому, проявляется в УНВ и связана с ожиданием подходящего момента для выполнения следующего действия.

Литература

- Neumann N., Kübler A., Kaiser J., Hinterberger T., Birbaumer N.* Conscious perception of brain states: mental strategies for brain--computer communication // *Neuropsychologia*. 2003. Vol. 41. No. 8. P. 1028–1036. doi: 10.1016/S0028-3932(02)00298-1
- Protzak J., Ihme K., Zander T.O.* A passive brain-computer interface for supporting gaze-based human-machine interaction // *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods, Tools, and Interaction Techniques for eInclusion* Springer, 2013. С. 662–671. doi: 10.1007/978-3-642-39188-0_71

Tecce J.J. Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man // Psychological bulletin. 1972. Vol. 77. No. 2. P. 73–108. doi: 10.1037/h0032177

Learn Waiting! Contingent Negative Variation May Help You to Use Your Eye-Gaze for Control

Shishkin S.L. *, Svirin E.P. , Fedorova A.A., Trofimov A.G., Slobodskoy-Plusnin J.Y., Vasilyevskaya A.M., Velichkovsky B.M.

sergshishkin@mail.ru

NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia

Abstract. Participants played a computer game with 500 ms or longer gaze fixations, detected by an eye tracker. Electroencephalogram (EEG) features were extracted between 200 to 500 ms relative to the fixation start. A statistical classifier identified fixations as “control” or “spontaneous” (those that were observed when the game control was off) with 90% specificity and 19% sensitivity, on average. The results demonstrate that the contingent negative variation developed within gaze fixations under expectation of interface feedback may be useful for development of the new generation of eye-brain-computer interfaces. In particular, such interfaces might be useful for attention training.

Keywords: brain-computer interfaces, contingent negative variation, gaze-based control, attention, expectation