

Анализ видеотреков головы человека при формировании идеомоторных команд в системе человек-машина

М. И. Полонский, Д. Ю. Савелов, МАОУ ДО Технополис, г. Сургут
Научный руководитель: к.биол.н. Ю. Г. Бурькин, Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»
Научный руководитель: к.тех.н. А. А. Егоров, БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Сургутский государственный университет»

Нейрокомпьютерные интерфейсы, позволяющие мысленно управлять устройствами, признаны стать новым способом взаимодействия человека с компьютером. На взгляд авторов проекта, сегодня одним из недостатков нейроинтерфейсов является потребность в непосредственном контакте человека с регистрирующими приборами для передачи управляющих команд. Такие устройства ограничивают движения, не отличаются высокой точностью и чувствительностью. Альтернативные решения основаны на методах компьютерного зрения и распознавания образов. Так, поиск способа бесконтактной регистрации физиологических реакций организма человека, служащих надёжным признаком для идентификации мысленно сформированных команд, является **актуальным** направлением научных исследований.

Из области сенсорной физиологии известно, что мышечные реакции, которые носят непроизвольный характер, зависят от того, что человек видит и представляет. Была выдвинута **гипотеза**, согласно которой при восприятии оптокинетических (вызывающих движения глаз) стимулов и мысленном воспроизведении траектории их движения возникают психомоторные паттерны (определённые двигательные реакции), которые могут быть зарегистрированы видеокамерой по положению головы в пространстве. В то же время отслеживание движений головы позволит распознавать входные (зрительные и представляемые) стимулы, вызывающие реакцию мышц шеи.

Цель работы: используя технологии видеорегистрации и анализа треков головы человека, идентифицировать психомоторные паттерны, возникающие при зрительной стимуляции и формировании идеомоторных команд.

Объект и методы исследования. В исследованиях приняло участие 45 человек, средний возраст которых составил 16 ± 3 лет. Испытуемый располагался неподвижно перед монитором в положении сидя, на расстоянии 0,5 м до глаз от web-камеры, с помощью которой производилась видеорегистрация положения его головы. Обследуемому последовательно предъявлялись 4 оптокинетических стимула (ОКСт): движение чёрного круга радиусом 30 пикселей на белом фоне по траектории синусоиды; по горизонтальной оси; по вертикальной оси; по кругу против часовой стрелки. Каждый стимул предъявлялся по 30 с, после чего оставался белый фон, на котором испытуемый мысленно формировал траекторию ранее наблюдаемого движения виртуального объекта также в течение 30 с.

В нашей программе на Python по обработке записанных видеофайлов координаты положения лица человека в трёхмерном пространстве, определённые классификатором каскадов Хаара (Haar cascade classifier), передавались CSRT-трекеру (оба инструмента из библиотеки OpenCV). Затем классификатор продолжал применяться в области, выделяемой трекером, увеличенной на 20 % по сравнению с исходно заданной для надёжности. Координаты, полученные от классификатора и трекера, записывались в текстовые файлы как X^C , Y^C , Z^C , X^T , Y^T , Z^T на каждый оптокинетический стимул и на каждое воспроизведение траектории его движения (всего 8 файлов).

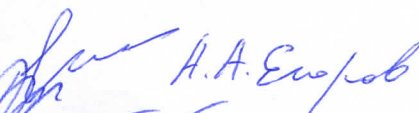

После понижения размерности с 6 до 2 с помощью алгоритма t-SNE (библиотеки Scikit-Learn) были выделены группы из 8 точек на каждого обследуемого, где 4 соответствовали одному из состояний, возникающих при предъявлении и оставшиеся 4 при мысленном воспроизведении траектории движения четырёх ОКСт. Расстояние между первыми и последними рассчитывалось по отдельности. За точку отсчёта в обоих случаях принималась первая, соответствующая предъявлению ОКСт, движущегося по синусоиде и его мысленному воспроизведению. Таким образом, было получено по три расстояния между четырьмя точками, которые сравнивались с помощью программы Statistica 6 для определения наиболее удалённых точек. Для проверки нулевой гипотезы применялся ранговый дисперсионный анализ. Так как нулевая гипотеза была опровергнута ($p < 0,001$), нами было произведено попарное сравнение трёх расстояний для визуального восприятия и мысленного воспроизведения с помощью критерия Вилкоксона.

Анализ результатов показывает, что наиболее выраженные различия при предъявлении визуальных стимулов обнаруживаются между расстоянием от начальной точки, соответствующей предъявлению ОКСт, движущегося по синусоиде до точки, соответствующей предъявлению ОКСт, движущегося по горизонтальной оси ($Me (V25; V75)$, $n=45$) 2,60 (0,85; 7,40)) и расстоянием между начальной точкой и ОКСт, движущимся по кругу (4,53 (2,01; 11,80), $p=0,002$). Также достоверны различия при сравнении состояний, соответствующих предъявлению вертикально движущихся ОКСт (4,11 (1,48; 11,16)) и, движущихся по кругу (4,53 (2,01; 11,80), $p=0,011$). Между предъявлением горизонтально и вертикально движущихся ОКСт различий не обнаружено. Аналогичная закономерность выявлена при мысленном воспроизведении ранее наблюдаемых траекторий движения ОКСт с той разницей, что статистически достоверные различия обнаружены только при сравнении расстояний между точками, соответствующими представлению траекторий движения ОКСт по синусоиде и горизонтали (2,96 (0,81; 7,12)), синусоиде и кругу (5,13 (2,10; 12,37), $p=0,021$).

Выводы:

1. Статистически достоверные различия при сравнении расстояний в евклидовом пространстве от точки, соответствующей предъявлению контрастного изображения, движущегося по сигмоидальной траектории, до точек, соответствующих горизонтальной и круговой, а также вертикальной и круговой траекториям, позволяют использовать эти стимулы для человеко-машинного взаимодействия в режиме восприятия человеком зрительной информации.

2. Различие расстояний от точки, соответствующей мысленному представлению изображения, движущегося по сигмоидальной траектории, до точек, соответствующих горизонтальной и круговой траекториям, позволяют использовать эти образы для человеко-машинного взаимодействия в режиме идеомоторного представления.

Научный руководитель:  А.А. Еролов
Научный руководитель:  Ю.Г. Бурдаков

Автор:  Д.Ю. Савинов

Автор:  М.И. Положкий