

С.Ф. Сергеев,
А.И. Губанов,
Д.Ю. Кириллов

Глазодвигательная активность оператора радиолокационной станции при работе с групповыми целями

Технологии компьютерной окулографии (айтрекинг) позволяют эффективно исследовать работу глазодвигательной системы человека в операторской деятельности в системе человек-машина. Полученные таким образом данные помогают повысить эффективность системы, особенно в условиях экстремальной деятельности, связанной с vitalным стрессом и эмоциональным напряжением при высокой цене ошибки. В рамках процесса эргономического проектирования интерфейса радиолокационного комплекса обнаружения и сопровождения, рассматриваются особенности работы глазодвигательной системы человека при работе с групповыми целями.

Ключевые слова: айтрекинг, информационный стресс, окулография, пользовательский интерфейс радиолокационной системы, эргономическое исследование.

S.F. Sergeev,
A.I. Gubanov,
D.Yu. Kirillov

Radar operator's oculomotor activity at working with group targets

Computer oculography (eye-tracking) technologies make it possible to effectively study the work of the human oculomotor system in the operator's activity in the man-machine system. The data obtained in this way helps to increase the system efficiency, especially in conditions of extreme activities associated with vital and emotional stress at a high cost of error. Within the process of the interface ergonomic design of the radar complex for detecting and tracking, the features of the human oculomotor system are considered when working with group targets.

Keywords: eye tracking, information stress, oculography, radar user interface, ergonomic research.

Введение

Современный уровень развития технологий активного противодействия значительно усложняет задачу радиолокационного обнаружения целей в системах противовоздушной обороны. Появление новых типов летающих объектов, например, дронов способных менять скорость и направление движения, прячущихся за наземными объектами, заставляет нас не только улучшать технические характеристики радиолокационных станций, но и решать проблемы создания более эффективного пользовательского интерфейса, с которым работают операторы, снижая возможность и вероятность ошибок опознания и идентификации [1].

В настоящем исследовании поставлена задача натурального моделирования режимов работы пользовательского интерфейса радиолокационной станции (РЛС) обнаружения динамических групповых с целью исследования осо-

бенностей глазодвигательных реакций оператора в процессе реализации алгоритмов поиска, опознания и идентификации целей. Выдвинута гипотеза о существовании динамической, непрерывно меняющей свою конфигурацию зоны перцепции в процессе слежения за визуальной обстановкой в интерфейсе радиолокационной системы.

Рассматривались вопросы отслеживания разнокачественных целей при визуальном одинаковом их представлении на экране РЛС, что часто вызывает проблемы с их идентификацией и оценкой опасности для защищаемого объекта. Сложность опознания заключается и в том, что цели могут появляться и исчезать на экране индикатора случайным образом меняя направление и траекторию движения.

Глазодвигательная активность оператора может служить источником информативных показателей, свидетельствующих об эффективности работы контуров психической регуляции человека при выполнении операторской

деятельности в задачах слежения и идентификации [2]. Показана связь глазодвигательной активности с процессами интеллектуального симбиоза в интеллектуальных системах, когнитивными и стилевыми особенностями человека [3–7]. Направление взора человека никогда не остается постоянным. Даже при относительно неподвижном положении глаз происходят микродвижения разделяемые на тремор, дрейф, микросаккады и функциональный нистагм [8].

Тремор – мелкие частые колебания глаз со средней амплитудой – 20"–40", с частотой до 250–270 Гц. Ось глаза описывает эллипс подобные фигуры. Тремор отражает естественный, не поддающийся произвольному контролю, двигательный фон окуломоторной активности.

Дрейф – медленные плавные микродвижения; в ходе фиксации объекта. Дрейф создает благоприятные условия для приема и переработки визуальной информации.

Микросаккады – быстрые движения глаз продолжительностью 10–20 мс в диапазоне амплитуд 2'–50'. Обслуживают устойчивые зрительные фиксации объекта в поле зрения.

Макросаккады – резкие изменения позиции глаза, отличающиеся высокой скоростью и точностью. Амплитуда варьирует в диапазоне от 40–50 угловых минут до 50–60°, но в естественных условиях восприятия не превышает 20°. Средняя частота саккадических движений составляет 2–3 Гц. Как правило, они совершаются по кратчайшей прямой между точками фиксации.

Саккады возникают при смене точек фиксации и обычно носят произвольный характер. В момент совершения саккады складываются наименее благоприятные условия для получения оптической информации. Возможны нарушения процессов слежения и сопровождения.

Прослеживающие движения – плавные перемещения глаз, возникающие при движении объектов в поле зрения. Они обеспечивают сохранение изображения фиксируемого объекта в зоне наилучшего видения.

Вергентные движения – обеспечивают сведение (конвергенция) или разведение (дивергенция) оптических осей глаз. Они включены в процесс стереоскопического зрения, обеспечивая необходимое соответствие проекций объекта на сетчатках обоих глаз.

Нистагм – устойчивая динамическая окуломоторная структура, включающая чередование саккад и плавных прослеживающих

движений. Амплитуда, частота и форма нистагма широко варьируют в пределах параметров базовых видов движений и зависят от его природы.

Торсионные движения – вращение глаз относительно оптической оси. Амплитуда ограничена 10°. Основное назначение – частичная компенсация наклонов головы относительно гравитационной вертикали. С макродвижениями глаз связана динамика раскрытия зрачка. Помимо адаптации к условиям освещения, величина раскрытия зрачка может быть связана с дополнительной зрительной нагрузкой или с субъективной значимостью рассматриваемого изображения.

Полипараметрическая регистрация показателей движений глаз оператора РЛС в их связи с показателями деятельности в процессе ее совершения возможна при использовании технологий компьютерного айтрекинга (eye tracker) [9].

Системы айтрекинга обеспечивают возможность неинвазивно с высокой точностью измерять положение и проводить анализ движения глаз с определением направления взора. Основаны на фундаментальном принципе отслеживания отражений от роговицы инфракрасного излучения, невидимого для человеческого глаза.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые исследована глазодвигательная активность оператора в пользовательском интерфейсе оператора РЛС включающем групповые мобильные цели, движущиеся по случайному закону и с периодами организованного поведения.

Оборудование и процедура экспериментального исследования

Для проведения исследования использован айтрекер *RED 250* фирмы *SMI* [10], укомплектованный программным обеспечением *Be Gaze 2* [11], встроенные функции которого позволяют создавать эксперименты, идущие по заданному сценарию, с последующей обработкой полученных результатов. Программное обеспечение позволяет представить данные в виде интуитивно понятном человеку. К стандартным формам представления информации в айтрекинге относят:

- *траектории движения взгляда (Scan Path)* – отображают последовательность движений глаз при рассматривании изображения;
- *тепловые карты (Heat Map)* – документируют зоны длительной или многократной

фиксации взгляда;

– *туманные маски (Focus Map)* или фокус-карты. Затенена часть стимульного материала, которая не попадает в поле зрения пользователя.

Стимульным материалом для эксперимента (разработано Губановым А. И.) послужил набор 30 секундных видеороликов, разделенных на 3 группы:

1) На экране появлялись и исчезали цели в виде 5 типов различных геометрических фигур (один видеоролик). Испытуемый должен был назвать фигуру и щелкнуть на ней мышью. Исследовалась глазодвигательная картина при обнаружении новых для испытуемого стимулов.

2) На имитируемом интерфейсе РЛС появлялись фигуры, представляющие собой геометрические объекты с различной степенью интереса (семь видеороликов). Задачей испытуемого было как можно быстрее в соответствии с инструкцией находить определенные фигуры (например, треугольники) и щелкать на них мышью. Исследовались процессы опознания и идентификации ожидаемого подвижного объекта, а также насколько успешно и безошибочно происходит дифференциация динамических объектов различной формы.

3) Представлена реальная рабочая картина в гипотетическом интерфейсе оператора РЛС (два ролика). Испытуемый должен был определять опасные объекты, движущиеся по направлению к радиолокационной станции (центру индикатора), и щелкать на них мышью. Данная часть эксперимента позволяет увидеть, как испытуемый будет справляться с задачей при высокой информационной нагрузке (слежение за множеством объектов) и как быстро испытуемый будет находить «опасные» объекты после их появления.

В эксперименте приняли участие 25 человек в возрасте от 18 до 50 лет мужского и женского пола с высшим образованием. Испытуемые не имели опыта работы с системами радиолокационного представления информации и не решали ранее задачи опознания и идентификации мобильных объектов.

Выводы и обсуждение

В *первой части* исследования получены следующие данные:

1. При появлении объекта заданной инструкцией формы глазодвигательная система человека, центры обработки информации и памяти формируют алгоритм опознания, ко-

торый отражен в конкретной форме траектории движения глаза с точками фиксации на элементах алгоритма, имеющих интерес для когнитивной системы оператора.

2. Траектория движения глаза охватывает интересующий объект со всех сторон, и формирует траекторию в виде фрейма с динамической границей. Фрейм показывает, как происходило опознание объекта. Более плотные фреймы характеризуют объекты, которые испытуемый пытался опознать в течение длительного времени, в то время как разреженные фреймы отвечают за быстрое опознание.

3. Иногда объекты опознаются периферическим зрением, не попадая в зону апперцепции (это можно увидеть в туманных картах). Объекты, не находящиеся в зоне внимания не видны на экране. Чаще всего таким образом определяется объект в виде треугольника.

4. Встречаются переключения между зонами перцепции и апперцепции (выход взгляда испытуемого за поле эксперимента). Определяется доминирующим у человека полушарием, уходя в направление противоположное доминирующему полушарию.

Во *второй части* исследования нас интересовало, как быстро человек определяет, соответствие наблюдаемой фигуры заданному в задании эталону, что можно определить по времени образования фрейма вокруг этой фигуры, а также его плотности. Высокая плотность – длительное определение объекта, низкая плотность – быстрое.

Важно отметить, что площадь фрейма во время определения формы движущейся фигуры больше, поскольку человек предвосхищает движение объекта, обращая внимание также на зоны, в которых он должен оказаться в будущем. В остальном наблюдаются те же паттерны, что и в предыдущей части исследования.

В *третьей части* воспроизводилась реальная картина, наблюдаемая в радиолокационном интерфейсе. При появлении множества объектов оператор старается их группировать и классифицировать, сопровождая периферическим зрением. Строятся гипотезы их движения, формируется область ясного видения в зоне этих гипотез.

Наблюдается смена стратегий при переходе от малого количества объектов (до 4-х объектов) к большому (более 4-х объектов). Оператор старается уследить за возможно большей площадью, что негативно сказывается на скорости реакции и количестве ошибок. Судя по всему, человек способен контролировать не

более четырех движущихся объектов одновременно, остальные даже не появляются в зоне апперцепции.

Демонстрируются в основном две стратегии отслеживания целей:

1) Менее эффективная – оператор пытается постоянно держать в зоне апперцепции все рабочее поле индикатора РЛС, следя за каждым отдельным объектом. Характеризуется низкой скоростью обнаружения новых объектов и большим количеством ошибок.

2) Более эффективная – поддержание оператором зоны апперцепции в наиболее контекстно важной части поля (в центре), реагируя на объекты, которые могут оказаться опасными (движутся быстро или в направлении центра индикатора РЛС). Характеризуется более высокой скоростью и точностью об-

наружения и сопровождение опасных объектов.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить информацию о работе глазодвигательной системы оператора в процессе поиска и сопровождения групповых целей, отображаемых на индикаторе РЛС в реальной деятельности. Исследованы зоны апперцепции, которыми являются динамическими индивидуальными контекстно-зависимыми образованиями, демонстрирующими направление и распределение внимания человека-оператора. Объекты, попадающие в эти зоны, включены, видимы и опознаваемы в субъективной картине оператора, в то время как объекты вне ее, человеку не доступны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлушенко, М. И. Национальная и глобальная безопасность. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития: науч. изд. / М. И. Павлушенко, Г. М. Евстафьев, И. К. Макаренко. - М.: Права человека, 2005. – 612 с.

2. Зинченко, Т. П. Опознание и кодирование / Т. П. Зинченко. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 183 с.

3. Сергеев, С. Ф. Интеллектуальные симбионты на базе полярных представителей когнитивного стиля «импульсивность-рефлексивность» в задачах информационного поиска / С. Ф. Сергеев, А. И. Губанов // Айттрекинг в психологической науке и практике / под ред. В. А. Барабанщикова. - М., 2015. - С. 133–140.

4. Сергеев, С. Ф. Окулографические индикаторы когнитивных стилей в интеллектуальном техносимбиозе / С. Ф. Сергеев // Десятая Всероссийская мультikonференция по проблемам управления: материалы 10-й Всероссийской мультikonференции (с. Дивноморское, Геленджик, Россия, 11–16 сентября 2017 г.): в 3 т. / [редкол.: И. А. Каляев (отв. ред.) и др.]. - Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. - С. 153–156.

5. Сергеев, С. Ф. Особенности глазодвигательной активности полярных представителей когнитивного стиля «полезависимость-полenezависимость» в задачах информационного поиска / С. Ф. Сергеев, М. С. Чевискина // Ананьевские чтения – 2016: Психология: вчера, сегодня, завтра: материалы международной научной конференции, 25–29 октября 2016 г., в 2-х томах. Том 2. / отв. ред. А. В. Шаболтас, Н. В. Гришина, С. В. Медников, Д. Н. Волков. - СПб.: Айсинг, 2016. - С. 100–101.

6. Цвиркун, К. Я. Окулография полюсов диапазона когнитивной эквивалентности / К. Я. Цвиркун, С. Ф. Сергеев // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. - 2018. - № 1 (86). - С. 52–56.

7. Дунаенко, С. С. Инженерно-психологическое про-

REFERENCES

1. Pavlushenko M.I., Evstafiev G.M., Makarenko I.K. National and Global Security. Unmanned Aerial Vehicles: History, Application, Threat of Proliferation and Development Prospects. Moscow, Prava cheloveka, 2005, 612 p.

2. Zinchenko T.P. Identification and Coding. Leningrad, Publishing house of Leningrad University, 1981, 183 p.

3. Sergeev S.F., Gubanov A.I. Intelligent Symbionts Based on Polar Representatives of the Cognitive Style “Impulsiveness-Reflexivity” in Information Retrieval Tasks. In: Barabanshchikov V.A. (eds) Eyetracking in Psychological Science and Practice, Moscow, 2015, pp. 133-140.

4. Sergeev S.F. Oculographic Indicators of Cognitive Styles in Intelligent Technosymbiosis. Proceedings of 10th All-Russian Multiconference on Management Problems in 3 volumes. Kalyaev I.A (eds), September, 11-16. Rostov-on-Don; Taganrog, Publishing house “SFedU”, 2017, pp. 153-156.

5. Sergeev S.F., Chevishkina M.S. Features of Eye Movement Activity of Polar Representatives of the Cognitive Style “Field dependence-Field Independence” in the Information Retrieval Tasks. Proceedings of the International Scientific Conference “Anan'evskie chteniya – 2016: Psychology: Yesterday, Today, Tomorrow” in 2 volumes”. Shaboltas A.V., Grishina, N.V., Mednikov, S.V., Volkov, D.N. (eds), October, 25-29. Saint-Petersburg, Aising, 2016, vol. 2, pp. 100-101.

6. Tsvirkun K. Ya., Sergeev S.F. Oculography of the Poles Range of Cognitive Equivalence. *Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki* [Human Factor: Problems of Psychology and Ergonomics], 2018, vol. 1, no. 86, p. 52-56.

7. Dunaenko S.S., Sergeev S.F. Engineering and Psycholog-

- ектирование интеллектуальных прицельных комплексов / С. С. Дунаенко, С. Ф. Сергеев // Труды III Международной конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2018) (Россия, Санкт-Петербург, 4–7 июля 2018 г.). СПб. - С. 99–106.
8. **Барабанщиков, В. А.** Регистрация и анализ направленности взгляда человека / В. А. Барабанщиков, А. В. Жегалло. - М.: ИПРАН, 2013. - 316 с.
9. **Salvucci, D.** Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols / D. Salvucci, J. Goldberg // Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium New York: ACM Press, 2000.- P. 71-78
10. **iView X System** Manual. Ver. 2.8. March 2014.
11. **BeGaze 2.4** Manual. Ver. 2.4. February 2010.
- ical Design of Intelligent Sighting Systems. Proceedings of the 3d International Conference “The human factor in complex technical systems and environments: Ergo-2018”, July, 4-7. St. Petersburg, 2018, pp. 99-106.
8. **Barabanshchikov V.A., Zhegallo A.V.** Registration and Analysis of the Human Gaze Direction. Moscow, Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2013, 316 p.
9. **Salvucci D., Goldberg J.** Identifying Fixations and Saccades in Eye-tracking Protocols. Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium, New York, ACM Press, 2000, pp. 71-78.
10. **iView X System** Manual. Ver. 2.8, March 2014.
11. **BeGaze 2.4** Manual. Ver. 2.4, February 2010.

Ссылка для цитирования:

Сергеев, С. Ф.. Глазодвигательная активность оператора радиолокационной станции при работе с групповыми целями / С. Ф. Сергеев, А. И. Губанов, Д. Ю. Кириллов // Эргодизайн. – 2021. - №4 (14). – С. 283-287. DOI: 10.30987/2658-4026-2021-4-283-287.

Сведения об авторах:

Сергеев Сергей Федорович

доктор психологических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, заведующий лабораторией «Эргономика сложных систем» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
E-mail: ssfpost@mail.ru

Губанов Андрей Иванович

руководитель группы по разработке интерфейсов, Wargaming Saint Petersburg (студия ООО «Леста»)

Кириллов Даниил Юрьевич

выпускник Санкт-Петербургского государственного университета, кафедра информационных систем в искусстве и гуманитарных науках

Abstracts:

S.F. Sergeev

Doctor of Psychology, Professor of Saint Petersburg State University, Head of the Laboratory “Ergonomics of Complex Systems” of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
E-mail: ssfpost@mail.ru

A.I. Gubanov

Head of the Interface Development Group, Wargaming Saint Petersburg (Studio “Lesta”, LLC)

D.Yu. Kirillov

Graduate of Saint Petersburg State University, Department “Information Systems in Art and Humanities”

Статья поступила в редколлегию 02.07.2021 г.

Рецензент: к.т.н., доцент Брянского государственного технического университета

Член редакционной коллегии журнала «Эргодизайн» Подвесовский А.Г.

Принята к публикации после доработок 22.07.2021 г.