

Исследование восприятия графической информации в области периферийного зрения человека

В.Э. Янчус¹, А.Е. Хейфиц¹, Е.В. Борович¹

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 1, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

Аннотация

В статье описана разработанная и опробованная коллективом авторов методика проведения экспериментального исследования восприятия графических данных (пиктограмм) в области периферийного зрения человека. Разработанная методика входит в цикл исследований по изучению графических средств отображения информации. Методика предназначена для выявления эффективного способа отображения визуальной информации. Изучение восприятия информации периферийным зрением может расширить продуктивную зону отображения информации в графическом интерфейсе. В работе использованы системы удаленного управления с применением технологии ай-трекинга. Наблюдение параметра шаблона рассматривания проводится с помощью экспериментальной установки с использованием ай-трекингового оборудования, фиксирующего глазодвигательную активность. В статье описан метод подготовки стимульного материала, методика направлена на исследование различных факторов, таких как фактор цветового решения, размера пиктограммы и расстояния от центра. Для создания качественного стимульного материала был использован программный модуль, генерирующий стимулы определенным образом. Для обработки результатов эксперимента используются методы математической статистики. Разработанная методика была апробирована на ограниченной группе. Эксперимент прошло 55 человек в возрасте от 18 до 25 лет. Набор осуществлялся по определенным критериям: гендерное различие, образование, художественная подготовка. Полученные в результате проведения эксперимента данные выявили статистически значимое влияние факторов цвета пиктограмм и удаленности их от центра стимула. Методика реализована и апробирована в лаборатории Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Ключевые слова

Визуальное восприятие, Область периферийного зрения, Графический интерфейс, Ай-Трекинг, Стимульный материал, Статистический анализ.

Study of the Perception of Graphic Information in the Human Peripheral Vision

V.E. Yanchus¹, A.E. Kheifits¹, E.V. Borevich¹

¹Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Polytechnicheskaya, 29, St.Petersburg, 19525, Russia

Abstract

The article describes the methodology developed and tested by a team of authors for conducting an experimental study of the perception of graphic data (pictograms) in the field of human peripheral vision. The developed technique is included in the cycle of research on the study of graphical means of displaying information. The technique is designed to identify an effective way to display visual information. The study of the perception of information by peripheral vision can expand the productive zone of displaying information in a graphical interface. The work used remote control

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: victorimor@mail.ru (В.Э. Янчус); antoni.t-h@mail.ru (А.Е. Хейфиц); plasma5210@mail.ru (Е.В. Борович)

ORCID: 0000-0001-7220-0819 (В.Э. Янчус); 0000-0002-8780-8277 (А.Е. Хейфиц); 0000-0001-6263-3901 (Е.В. Борович)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

systems using eye-tracking technology. Observation of the viewing pattern parameter is carried out using an experimental setup using eye-tracking equipment that records oculomotor activity. The article describes the method of preparing stimulus material, the technique is aimed at studying various factors, such as the factor of color solution, icon size and distance from the center. To create high-quality stimulus material, a software module was used that generates stimuli in a certain way. Methods of mathematical statistics are used to process the results of the experiment. The developed technique was tested on a limited group. The experiment was 55 people aged 18 to 25 years. The recruitment was carried out according to certain criteria: gender difference, education, artistic training. The data obtained as a result of the experiment revealed a statistically significant influence of the color factors of pictograms and their distance from the center of the stimulus. The technique was implemented and tested in the laboratory of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

Keywords

Visual perception, Peripheral vision, Graphical interface, Eye Tracking, Stimulus material, Statistical analysis.

1. Введение

Современный уровень технологических средств позволяет почти полностью автоматизировать рабочие места операторов, контролирующих состояние сложных технических систем с динамически меняющимся состоянием. При управлении динамической системой в реальном времени оператор, принимающий решение, вынужден длительное время наблюдать за массивом одновременно меняющихся параметров, что приводит к высокой степени утомляемости и высоким психическим нагрузкам [1]. Установлено, что нагрузка на оператора существенно снижается, если информация об отклонениях и аномальных ситуациях дается в графическом виде и в виде анимационных диаграмм. В отличие от текстового представления данных, графический способ визуализации предлагает более эффективный подход к анализу многочисленных записей в журнале телеметрии [2].

Информационно-управляющее поле современных летательных аппаратов оперирует большим количеством данных. В связи с этим, являются актуальными исследования их визуализации, эргономической оценке и разработки эффективного интерфейса, позволяющего оптимизировать информационную загруженность пилота и, как следствие, улучшить его ситуационную осведомленность [3].

Проводится анализ современных решений в области построения перспективной кабины пилотов с использованием функции управления взглядом, на основе которого делается вывод о целесообразности применения функции управления взглядом [4]. Управление с использованием сенсорных дисплеев и пультов также постепенно входит в информационно-управляющее поле кабины самолетов деловой авиации и транспортной категории [5].

Пользовательский интерфейс, сложные механические системы, в которых человек становится оператором, должен проектироваться, полагаясь на обновленные принципы взаимодействия оператора с компьютерной системой. Это является сложной проблемой, несмотря на эффективные методы адаптации оператора к искусственной среде [6]. Систематизация информации в графическом виде (инфографика), упрощает ее восприятие и позволяет оператору-человеку эффективно считывать информацию о состоянии объекта наблюдения [7].

Зрение человека – самый информативный канал получения информации [8], изучение восприятия информации периферийным зрением может расширить эффективную зону отображения информации в графическом интерфейсе.

2. Теоретическая модель

Графические данные, которые могут называться пиктограммами и инфографикой, внедренные в информационные носители, имеют большое значение для пользователя. Как часть техники, отображение данных зависит от способности человека разработать техническую модель и

систему отображения информации из внешнего мира. В таком формате, техника и отображение данных является средством. Последующее качественное считывание данных во многом зависит от способности пользователя получать обратную информацию от самой техники и интерфейса. Это расширение границ работы между оператором и механическим устройством, построение этого улучшения зависит от сбора данных после экспериментов, в которых человек выступает подопытным и решает определенные задачи. Считывание и анализ этих данных позволит улучшить управление, восприятие и передачу информации [9].

В одном из экспериментов был проведен анализ чтения визуальной информации без явной смысловой нагрузки. Исследования проводились с применением технологии ай-трекинга. Представленная в статье методика показала свою эффективность и позволила получить определенные результаты [10]. В следующем эксперименте была установлена статистически значимая зависимость времени рассматривания стимула от условия стилизации изображения [11]. В следующей статье определена функциональность инфографики и указывается оптимальный формат для использования данного средства как инструмента [12]. Продуманность технической эстетики инфографических материалов помогает человеку научиться считывать информацию в сложных условиях [13,14].

Интерфейс управления [15] использует монитор, который ограничивает обзор, тем самым сужая область восприятия информации до своих рамок. Устройство отображения, за счет вычислительной системы, может масштабировать визуальную информацию для улучшения восприятия ее оператором. При уменьшении или увеличении объекта важен баланс точности восприятия объектов наблюдения и их количества. Увеличивая масштаб – увеличивается различимость, но уменьшается количество изображенных объектов. При уменьшении масштаба – возникает опасность не идентифицировать объект в виду его мелких размеров и, как результат, неспособности оператора его различить на экране. Кроме этого, существует разрешающая способность средства отображения, которая определяет минимально различимый объект, состоящий из точек растрового изображения.

3. Экспериментальная установка

Проведение экспериментального исследования в области ближней периферии, которая составляет около 30°, складывается из расстояния испытуемого от монитора (60 см) и размера монитора (64x40 см), (рисунок 1).

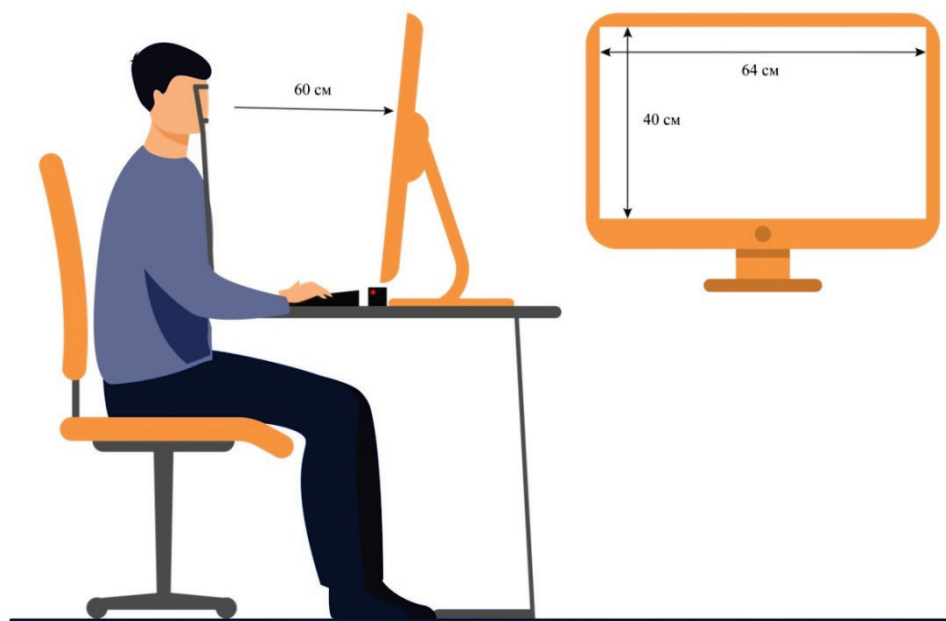


Рисунок 1 – Схема расположения экрана испытуемого в эксперименте

Технические возможности аппаратного комплекса SMIREД 250 [11] и стимульного материала являются еще одной опорной точкой, определяющей расстояние в 30°. Стимульный материал (рисунок 2) спроектирован с учетом попадания элементов слайда, пиктограмм, в зону ближней периферии (рисунок 3). Размер стимулов составляет 1920x1080px.



Рисунок 2 – Удаленность пиктограмм от центра стимула

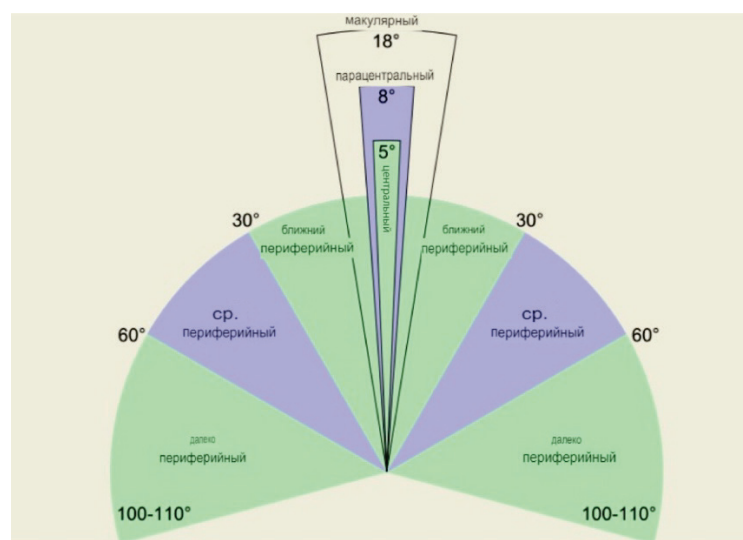


Рисунок 3 – Зоны зрения человеческого глаза

Нахождение пиктограмм в обзоре угла зрения испытуемого позволяет исследовать в данном эксперименте влияние трех факторов: размера, цвета, удаленности. Данные факторы обуславливают проектирование и создание стимульного материала:

- подбор цвета выполнен в соответствии с теорией Геринга – чёрно-белый канал и цветные каналы: красно-зеленый, жёлто-синий [8];
- разработаны удобочитаемые за счет формы пиктограммы [16];
- расстояние от центра фокусировки в стимулах составил $\pm 15^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 25^\circ$, что равно расстоянию в 300 px, 570 px, 840 px от центра монитора.

Для заполнения стимулов пиктограммами случайным образом был создан набор изображений из 6 иконок, расположенных по окружности и равноудалённых от центральной иконки. Всего разработано двенадцать (рисунок 4) пиктограмм, которые легли в основу заполнения стимулов. На рисунке 5 показан пример стимульного материала. Для заполнения стимулов пиктограммами был использован программный модуль, разработанный на языке Processing. Всего подготовлено 54 стимула.

Перед испытуемым в эксперименте ставилась следующая задача: посмотреть в центр стимула, запомнить находящуюся там пиктограмму, затем, найти идентичную пиктограмму на окружности вне центра стимула и отметить ее наведением курсора мыши и нажатием левой кнопки мыши. Координаты нажатия кнопки компьютерной мыши фиксируется в базе эксперимента, после чего происходит переход к следующему стимулу. Все испытуемые были проинструктированы о поставленной задаче перед прохождением эксперимента. Время для решения поставленной задачи было неограниченно.

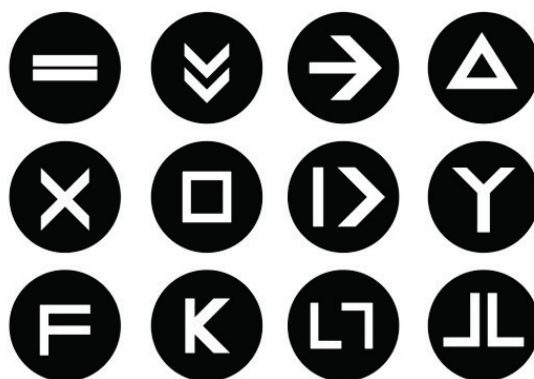


Рисунок 4 – Набор пиктограмм, используемых в эксперименте

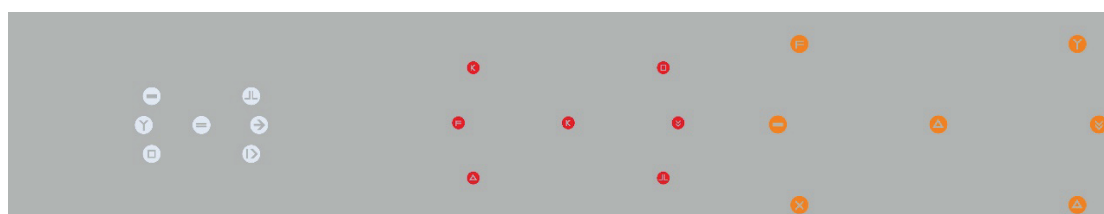


Рисунок 5 – Пример стимульного материала

4. Анализ результатов эксперимента

В эксперименте участвовало 55 человек от 18 до 25 лет из числа студентов Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Набор в группы осуществлялся по определенным признакам: гендер, образование, художественная подготовка. Результаты 15-ти испытуемых были исключены из выборки из-за некачественной калибровки экспериментальной установки, связанной с техническими возможностями системы SMIREД 250.

Анализировались параметрические данные шаблона рассматривания 30ти испытуемых. Было собрано 15866 фиксаций и 22195 саккад. Статистическая обработка результатов эксперимента производилась посредством дисперсионного анализа [10]. Анализировались следующие параметры шаблона рассматривания: время наблюдения стимула (time), средняя длительность фиксаций при наблюдении одного стимула, среднее количество фиксаций при наблюдении одного стимула, средняя длительность саккад и среднее количество саккад при наблюдении одного стимула, максимальная амплитуда саккад при наблюдении одного стимула. Задачей анализа было выявить влияние факторов размера пиктограмм, их расстояния от центра и цвета пиктограмм, а также факторов художественной подготовки испытуемых (наличие / отсутствие), типа образования (гуманитарное / техническое) и гендерного признака (мужчины / женщины). Уровень значимости p-value для принятия гипотезы был выбран 0,05 [17]. Значения p-value, полученные в результате выполнения вычислительной процедуры ANOVA представлены в таблице 1.

Статистический анализ выявил статистически значимую зависимость времени рассматривания стимула испытуемым от всех факторов, кроме художественной подготовки.

Фактор цвета принимает следующие значения:

- R - Красный (#ED1E2E);
- G - Зелёный (#019C59);
- B - Синий (#1C68B1);
- O - Оранжевый (#F68522);
- K - Чёрный (#000000);
- W - Светло-серый (#E0E7F5).

Таблица1 –Вычисленные значения p-value.

Красным выделены значения, позволяющие принять гипотезу о влиянии фактора	
Фактор	p-value
Цвет	0.000003
Размер	0.000001
Удалённость от центра	0.000001
Гендер	0.000352
Образование	0.001502
Художественная подготовка	0.110483

Значения фактора размера пиктограммы:

- Первый элемент
- Второй элемент
- Третий элемент
- маленький 42px;
- средний 66px;
- большой 93px.

Значения фактора расстояния от пиктограмм до центра стимула:

- Rad 300 – расположены близко к центру (радиус 300px);
- Rad 570 – среднеудалены (радиус 570px);
- Rad 840 – далеко от центра (радиус 840px).

Более детальный анализ позволяет выявить некоторые особенности при решении испытуемыми поставленной в эксперименте задачи.

Анализ графика плотности распределения времени рассматривания стимула испытуемым в зависимости от фактора цвета и фактора размера пиктограмм (рисунок 6) позволяет сделать наблюдение, что время рассматривания изменяется нелинейно при линейном росте размера пиктограммы. Для восприятия пиктограмм среднего и большого размера испытуемым требуется приблизительно одинаковое время, исключение составляет картина для пиктограмм выполненных в синем и зеленом цвете.

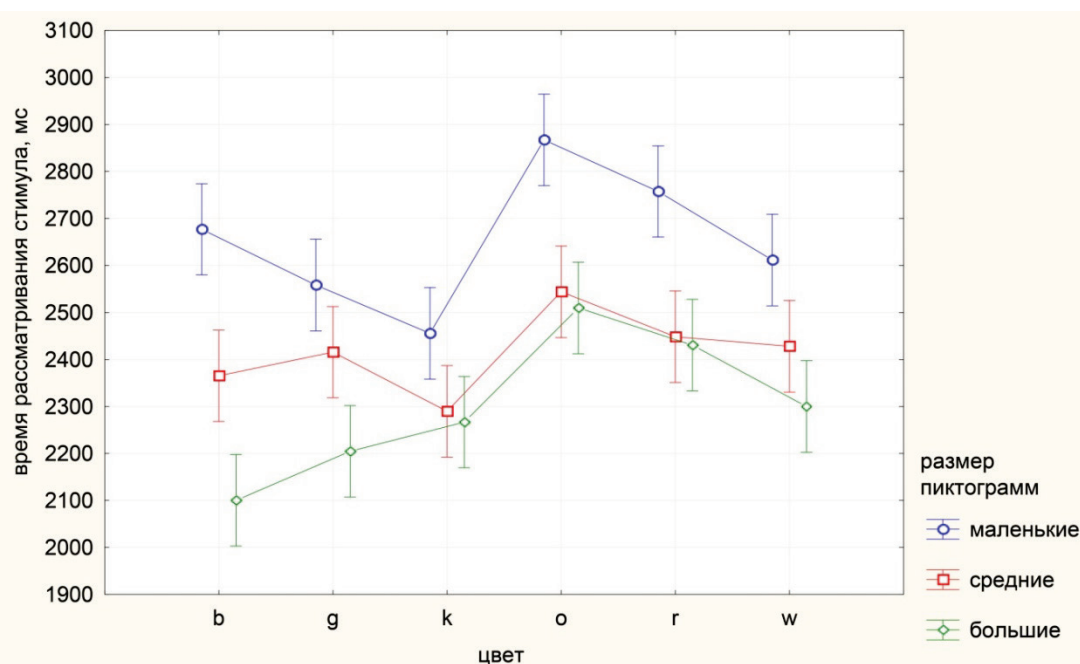


Рисунок 6 – График плотности распределения времени рассматривания стимула испытуемым в зависимости от цвета и размера пиктограммы

Анализируя зависимость времени рассматривания стимула испытуемым с добавлением фактора расстояния до центра (рисунок 7), можно найти подтверждение вышеуказанному наблюдению. Однако средний размер пиктограмм хуже воспринимается при расположении пиктограмм далеко от центра. Для больших пиктограмм существуют явные различия на ближнем и дальнем расстоянии от центра. Причем, в отличие от среднего размера пиктограмм наблюдается постепенный рост времени решения задачи с увеличением расстояния от центра.

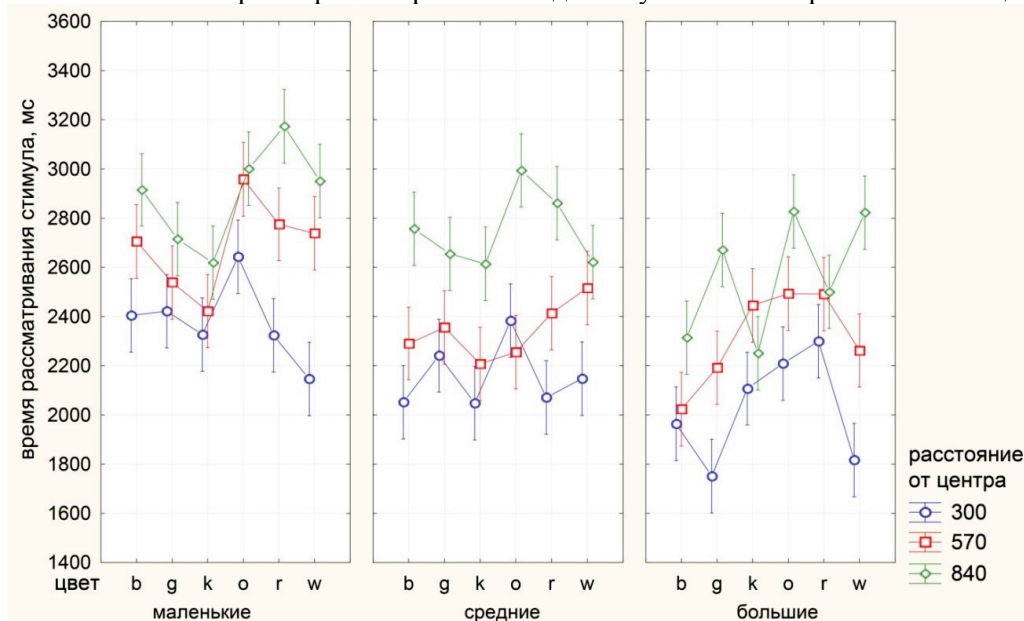


Рисунок 7 – График плотности распределения времени рассматривания стимула испытуемым в зависимости от цвета, размера пиктограммы и удаленности ее от центра

Анализируя параметр «средняя амплитуда саккад», можно сделать следующие наблюдения. На рисунке 8 представлены графики плотности распределения средней амплитуды саккад в зависимости от фактора цвета пиктограммы, расстояния от центра и гендерного признака.

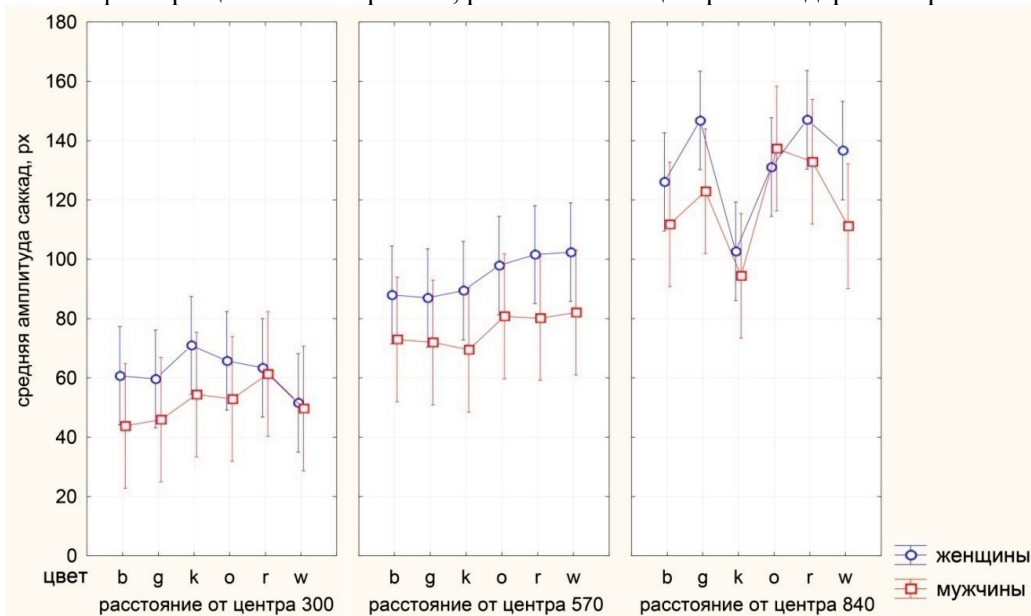


Рисунок 8 – График плотности распределения средней амплитуды саккад (в пикселях), при рассматривании стимула испытуемым в зависимости от цвета пиктограммы, расстояния от центра и гендерного признака

У испытуемых мужчин средняя амплитуда саккад, как правило, меньше, кроме случая с наиболее удаленными от центра пиктограммами (рисунок 8). В этом случае, средняя амплитуда саккад у мужчин также меньше, но в отличие от малого и среднего удаления от центра статистической значимости не наблюдается.

Анализ среднего количества фиксаций при рассматривании одного стимула (рисунок 9 и рисунок 10) позволяет сделать некоторые выводы по поводу влияния фактора цвета пиктограммы на решение испытуемым задачи эксперимента.

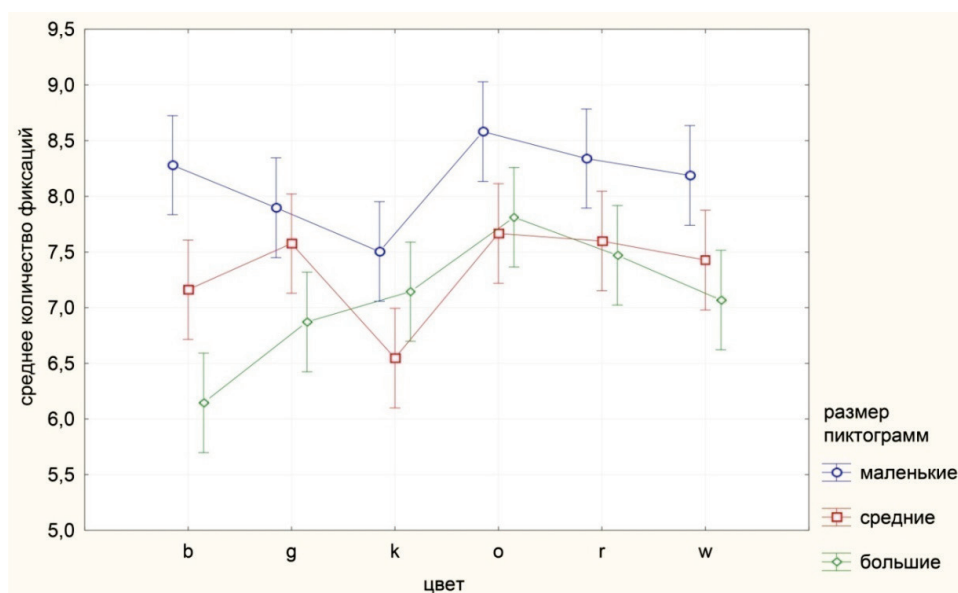


Рисунок 9 – График плотности распределения среднего количества фиксаций, при рассматривании стимула испытуемым в зависимости от цвета и размера пиктограммы

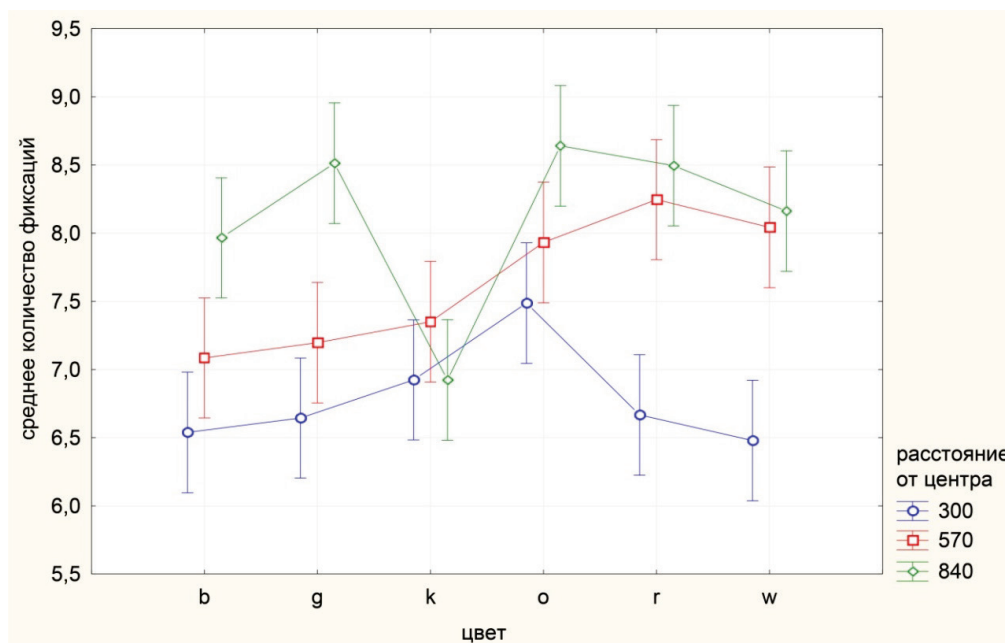


Рисунок 10 – График плотности распределения среднего количества фиксаций, при рассматривании стимула испытуемым в зависимости от цвета пиктограммы и расстояния от центра

Черный цвет позволяет испытуемым идентифицировать пиктограмму эффективнее, в особенности на дальнем расстоянии от центра. Синий и зеленый цвет пиктограмм требуют меньшего количества фиксаций на близком расстоянии от центра.

5. Выводы

Существует статистически значимое влияние цвета на идентификацию пиктограммы в стимульном материале.

Гендерный признак имеет статистически значимое влияние на параметры шаблона рассматривания стимульного материала.

Факторы размера пиктограммы и расстояние от центра стимула имеют статистически значимое влияние на скорость идентификации пиктограммы.

Следует учесть, что количество испытуемых в эксперименте не является достаточным для достоверных выводов. Однако, можно выдвинуть определенные гипотезы:

Существует оптимальный угловой размер, при котором идентификация пиктограммы в области периферийного зрения происходит быстрее по времени.

У мужчин средняя амплитуда саккад при рассматривании стимула, меньше, что может говорить о более эффективном алгоритме решения задачи идентификации и меньшей нагрузке на зрительную систему.

При выборе цвета пиктограммы при разработке графических интерфейсов следует выбирать ахроматические цвета, больше используя черно-белый контраст.

6. Список источников

- [1] Емельянова Ю. Г., Фраленко. В. П. Методы когнитивно-графического представления информации для эффективного мониторинга сложных технических систем // Программные системы: теория и приложения. 2018, № 4(39). С. 117–158.
- [2] Бурдаев М. Н., Хачумов В. М. Использование методов когнитивной графики в учебном процессе космонавтов // Материалы XXXII общественно-научных чтений, посвященных памяти Ю.А. Гагарина (Гагаринский сборник). 2005, С. 218–225.
- [3] Методика субъективных оценок информационно-управляющего поля кабины пилотов / И.И. Грешников, Г.А. Лаврова, Т.Д. Сальников, В.И. Златомрежев, Г.В. Сергеева // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2020. № 3. С. 18–25.
- [4] Грешников И.И. Внедрение функции управления взглядом в информационно-управляющее поле кабины пилотов // Информационные технологии. 2021, № 8. С. 445–448.
- [5] Грешников И.И., Златомрежев. В.И. Использование передовых технологий для оптимизации информационно-управляющего поля кабины перспективного самолёта // Нейрокомпьютеры и их применение. 2020, № 18. С. 66–69.
- [6] Сергеев С.Ф. Виртуальные тренажеры: проблемы теории и методологии проектирования // Биотехносфера. 2010, № 2. С. 15–20.
- [7] Сергеев С.Ф. Интеллектуальные симбионты организованных техногенных средств управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013, № 9. С. 30–36.
- [8] Юрьев Ф.И. Цветовая образность информации. Том второй. Гармония сфер.: Издательство, 2007. 327 с.
- [9] Сергеев С.Ф. Санкт-Петербургское отделение Научного совета по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований РАН в 2020 году. // Философские науки. 2021, № 64. С. 149–154.
- [10] Орлов П. А., Лаптев В. В., Иванов В. М. К вопросу о применении систем ай-трекинга // Информатика, телекоммуникации и управление. 2014. № 5. С. 82–92.
- [11] E., Mescheryakov S., Yanchus V. Computer Eye-Tracking Model to Investigate Influence of the Viewer's Perception of the Graphic Information // graphicon. 2021. P. 720–728.
- [12] Bruce, N., Tsotsos, J. Saliency Based on Information Maximization // . Adv. Neural Inf. Process Syst. 2005, № 18.
- [13] Bundesen C. A theory of visual attention // Psychol Rev. 1990, № 97. P. 523–47.
- [14] Carmi R., Хачумов Itti L. The role of memory in guiding attention during natural vision // Journal of vision. 2006, № 6(9). P. 898–914.

- [15] Сергеев С.Ф. Методологический базис проектирования симбиотических сред тренажеров мехатронных и робототехнических систем Мехатроника, автоматизация, управление. 2017, № 18. С. 824–828.
- [16] Милад М.М., Барабанщиков. В.А. Методы окулографии в исследовании познавательных процессов и деятельности. М.: ИПРАН, 1994. 87 с.
- [17] Гланц С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ. М.: Практика, 1999. 459 с.