

1. ВВЕДЕНИЕ.

Несмотря на то, что исследованию роли глазных движений в зрительном восприятии посвящено большое число работ [3,5,7,9,12,14,17], выполненных с помощью психофизических и нейрофизиологических методов, вопрос о базовых механизмах переключения взгляда и их иерархии в настоящее время не решен. В большей степени это относится к центральным механизмам взаимодействия зрительных и глазодвигательных процессов. Однако и свойства зрительного сигнала, определяющие переключение взгляда, особенно при осмотре сложных изображений и сцен, изучены недостаточно. В большинстве случаев приводятся лишь качественные оценки вклада того или другого фактора. Известные факты и представления о свойствах стимула, определяющих переключение взгляда, в общем виде можно представить следующим образом: приоритетные фрагменты, выбираемые среди прочих для перевода взгляда, определяются [5] как наиболее информативные; наряду с фактами о том, что предпочтение при переводе взгляда отдается фрагментам изображения с максимальной яркостью, максимальным контрастом и объектам большой величины показано также, что для активации перевода взгляда периферический стимул должен располагаться на определенном расстоянии от фовеального стимула [5,12].

Таким образом, имеющиеся данные и представления о механизмах перевода взгляда неполны, что не позволяет представить их иерархию и формализовать для использования в системах искусственного зрения [6,8,10,13-18]. Такие системы могут являться одним из инструментов для исследования механизмов зрительного восприятия путем разработки реалистических моделей, проведения имитационных экспериментов, формулировки предсказаний и последующей их проверки в психофизических экспериментах.

В соответствии с этим подходом ранее была разработана фовеальная модель активного зрительного восприятия и распознавания.[1,13,15]. Модель основана на ряде нейрофизиологических и психофизических данных и представлений, в частности, на теории Д. Нотона и Л. Старка о кольце чередующихся сенсорных и моторных признаков, формирующихся при осмотре изображений [11]. Сопоставление траекторий осмотра изображений, формируемых оператором и полученных с помощью автоматического алгоритма, дало возможность исследовать и формализовать критерии выбора

фрагментов изображения для последовательных фиксаций "окна обработки" [1,13]. На основании результатов имитационных экспериментов на модели был сделан ряд предположений о возможных свойствах биологического прототипа, в частности:

1. Предпочтительный перевод взгляда на фрагменты изображений на периферии поля зрения, которые содержат пересечения ориентированных линейных сегментов.
2. Наличие критической разности между ориентациями линейных сегментов, предъявляемых в фовеальном (в текущей точке фиксации) и в периферическом полях зрения, которое активирует переключение взгляда на данный фрагмент изображения.
3. Наличие дискретных особых микрообластей в поле зрения, которые могут быть центрами притяжения взгляда (или, напротив, игнорируются) при выборе следующей точки фиксации.

Целью данной работы была разработка методики и программно-аппаратного комплекса для проведения психофизических экспериментов направленных на проверку приведенных предположений. Разработанный программно-аппаратный комплекс дает возможность проведения исследований в нескольких направлениях:

1. Определение конфигурации поля зрения.
2. Определение особых областей в различных частях поля зрения по остроте зрения, пороговой чувствительности и ориентационной избирательности.
3. Определение параметров ориентированных линейных сегментов на периферии поля зрения, активирующих перевод взгляда.

2. МЕТОДИКА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2.1 Общая характеристика методики.

Программное обеспечение для проведения психофизических экспериментов реализовано на IBM PC/AT в операционной среде MS-DOS версия 6.20. Разработанное программное обеспечение дает возможность тестирования всех квадрантов и получения полной карты поля зрения. Предварительные результаты, представленные в этой работе, получены, в основном, на нижнем назальном квадранте поля зрения при монокулярном тестировании правого глаза. Дисплей помещен на подвижную платформу, которая может перемещаться в различных направлениях, для обеспечения

ортогональности между осью глаза и дисплеем. Во всех экспериментах расстояние между экраном и глазом было 30 см. В течении всего тестирования глаз испытуемого фиксировался на фовеальном стимуле и исследовалась чувствительность различных частей поля зрения. Перед началом экспериментов взаимное расположение экрана и упора для подбородка регулировалось в соответствии с индивидуальными параметрами испытуемого, давалась инструкция и проводились обучающие эксперименты. Использовались движущиеся и стационарные стимулы различной формы (точки, пятна, ориентированные сегменты), размера (от 0.1° до 1°), яркости (от 3 до 10 условных единиц) и ориентации ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$). В необходимых случаях яркость стимулов при изменении других параметров регулировалась в соответствии с законом Рико. Фоновая освещенность устанавливалась в мезонической области. В большинстве случаев длительность эксперимента составляла не более 20 минут. В последующих разделах описаны особенности разработанных методик для проведения психофизических экспериментов в различных направлениях и предварительные результаты, полученные с помощью разработанного программно-аппаратного комплекса.

2.2 Определение конфигурации поля зрения.

Целью проведения экспериментов в этом направлении является оценка изменения конфигурации поля зрения при изменении типа тестирующих стимулов (пятна различного диаметра, ориентированные линейные сегменты и пр.). Результаты этой серии дадут возможность пересчитывать данные, полученные в других сериях экспериментов из системы абсолютных координат (градусы поля зрения) в систему относительных координат, учитывающую расстояния между границей поля зрения и точкой фиксации взгляда у конкретных испытуемых при выбранных параметрах фиксационного и тестирующего стимулов. Такой анализ обеспечивает большее корректное обобщение результатов, получаемых при различных видах стимулов и у различных испытуемых. В частности, введение системы относительных координат для характеристики поля зрения позволит получить сводную карту расположения особых микрообластей по остроте зрения, пороговой чувствительности и ориентационной избирательности.

На рис. 1 представлена карта нижнего назального квадранта поля зрения испытуемого S. при предъявлении светлых пятен 2-х яркостей. Видно, что, несмотря на незначительное “сжатие” поля зрения при пятне меньшей яркости, его конфигурация сходна при обоих видах стимулов. Аналогичные

результаты получены на 5 испытуемых. Напротив, при изменении формы стимула конфигурация поля зрения изменялась.

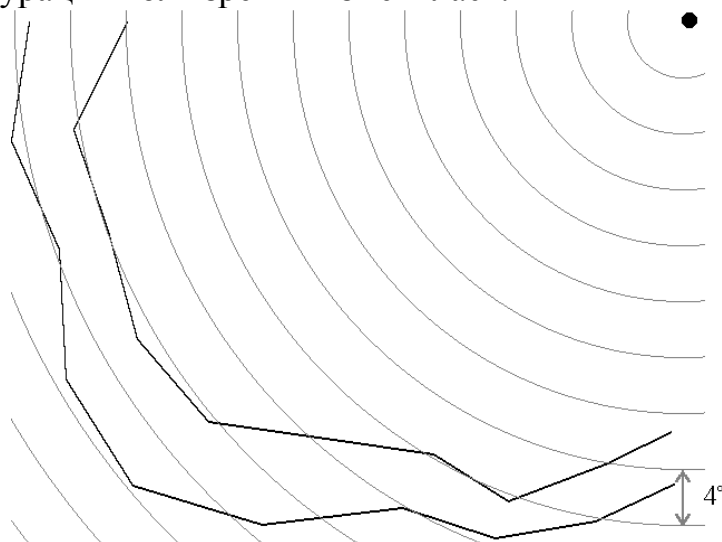


Рис. 1. Конфигурация поля зрения при различных тестирующих стимулах.

2.3 Определение особых микрообластей в поле зрения.

Целью проведения этих экспериментов является поиск особых микрообластей по остроте зрения, яркостному порогу восприятия и точности определения ориентации линейных сегментов. Такие микрообласти в периферическом поле могут иметь более высокие оцениваемые параметры зрительного восприятия (в некотором смысле аналогично таковым в фовеальном поле зрения) или, напротив, являться зонами, в которых зрительный анализ не выражен (функциональные микроскотомы). По-видимому, расположение таких микрообластей может вносить определенный вклад в формирование последовательности точек фиксации взгляда.

Необходимым компонентом проведения поисковых исследований в этом направлении является детальное сканирование поля зрения. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет проводить эксперименты по выявлению особых микрообластей с произвольно устанавливаемыми параметрами тестирующих стимулов и шагом сканирования, производить компьютерную обработку и визуализацию результатов экспериментов.

При тестировании разрешающей способности в различных частях поля зрения определялось критическое расстояние между стимулами, при котором испытуемый начинал видеть два объекта. Все время тестирования испытуемый фиксировал взгляд на фовеальном стимуле. Момент восприятия

двух объектов регистрировался нажатием определенной клавиши на клавиатуре компьютера. В проведенных экспериментах в качестве тестирующих использовались ориентированные линейные сегменты ($0.5^\circ \times 1.8^\circ$) и пятна диаметром 0.2° . Результаты, полученные с помощью этих двух стимулов у каждого из 4 испытуемых, сходны и согласуются с известными данными [3,5] об экспоненциальном характере динамики остроты зрения в направлении от фовеальной области к периферии поля зрения. Особые микрообласти по показателю остроты зрения в предварительных экспериментах не обнаружены. Полученные данные об остроте зрения использовались также как вспомогательные при проведении других серий для определения оптимальных размеров стимулов, предъявляемых в различных частях поля зрения (с учетом индивидуальных особенностей испытуемых).

Пороговая чувствительность в различных частях поля зрения тестировалась пятнами различной яркости (диаметр 0.3°). В областях поля зрения, отстоящих друг от друга на 2° , предъявлялся стимул в течение 500 мс. Стимул двигался из периферической области в фовеальную. При обнаружении стимула в каждой позиции поля зрения испытуемые отчитывались нажатием соответствующей клавиши. Каждый испытуемый дважды тестировался при предъявлении стимулов одной и той же яркости. Затем данные для стимулов одинаковой яркости усреднялись. В предварительных экспериментах этой серии тестировано 5 испытуемых. В качестве примера на рис. 2 представлены результаты, полученные на одном и том же испытуемом при предъявлении пятен различной яркости. Видно, что количество микрообластей с низким порогом чувствительности резко увеличивается с уменьшением яркости, однако положение некоторых таких областей постоянна и не зависит от яркости стимула.

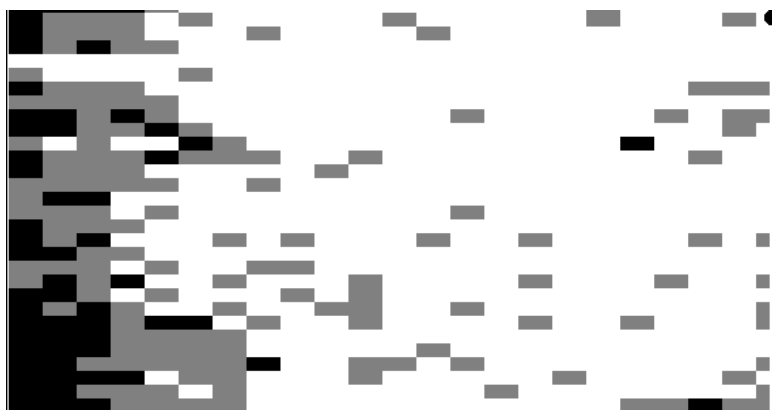


Рис. 2. Карта микрообластей с низким порогом яркостной чувствительности.

Исп. I.

■ - отсутствие ответа при обеих яркостях пятна;

□ - отсутствие ответа при одной из яркостей.

В экспериментах с определением остроты ориентационной избирательности в частях поля зрения, отстоящих друг от друга на 2° , в течение 500 мс предъявлялись линейные сегменты с ориентацией 00Ошибка! Источник ссылки не найден., 450Ошибка! Источник ссылки не найден., 900Ошибка! Источник ссылки не найден., 1350Ошибка! Источник ссылки не найден. относительно вертикальной оси. Ориентация линейных сегментов в последовательных точках поля зрения задавалась в случайном порядке. Ответ испытуемого о том, какова субъективная оценка ориентации предъявляемого сегмента регистрировался нажатием соответствующей клавиши и записывался в файл в четырех градациях. Предварительные результаты указывают на наличие особых микрообластей и по ориентационной избирательности.

2.4. Определение параметров ориентированных линейных сегментов на периферии поля зрения, активирующих перевод взгляда.

Эти исследования направлены на оценку приоритета ориентационной "семантики" [2] периферических стимулов для активации перевода взгляда. Для их проведения разработана следующая методика. В начале эксперимента испытуемый фиксирует взгляд на линейном сегменте с произвольно задаваемыми размерами, яркостью и ориентацией. После некоторого периода предъявления изолированного "фовеального" стимула, на экране дисплея одновременно появляются два периферических тестовых стимула, параметры которых также устанавливаются произвольно. Затем тестирующие стимулы маскируются и испытуемый должен перевести взгляд (или отдать предпочтение) на один из периферических стимулов. В проведенных экспериментах периферические стимулы предъявлялись в течении 200 мс, маскирующие - 10 мс.

На 7 испытуемых было поставлено две серии экспериментов. В первой из них периферические стимулы представлены полосами, ориентация которых коллинеарна или ортогональна ориентации "фовеальной" полосы; во второй серии использовались ортогональные линейные сегменты и кресты (рис. 3). Проведены два варианта контрольных экспериментов с изменением позиции разных периферических стимулов и предъявлением в различных

позициях одинаковых стимулов (рис. 3 б,в). Кроме того, тестирование каждого испытуемого по одной и той же схеме экспериментов проведено не менее 7 раз.

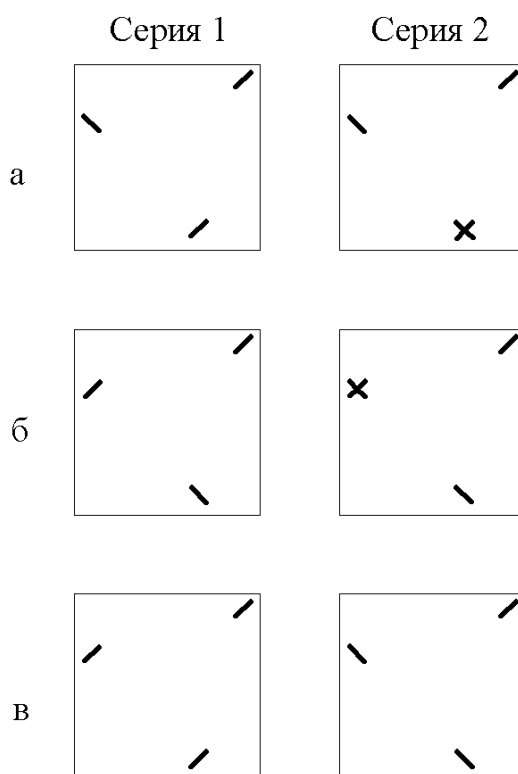


Рис. 3. Схема двух серий экспериментов.

Сводные результаты двух серий экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка свойств периферических стимулов, предпочтительных для перевода взгляда.

Номер серии эксперимента	Предпочтительные стимулы	Количество тестов	
		общее, n	предпочтительность данного типа, %
1	ортогональные полосы	121	59.5
2	кресты	132	68.9

Из таблицы 1 видно, что существует приоритет в выборе периферических стимулов для перевода взгляда: в большинстве случаев испытуемые

переводили взгляд на пересечения ориентированных сегментов (кресты) и на полосы, ориентация которых ортогональна фовеальным сегментам.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Описанные в данной работе методика и программно-аппаратный комплекс для проведения психофизических экспериментов, направленных на исследование механизмов выбора точек фиксации взгляда, предоставляет следующие возможности:

1. определение размеров и конфигурации поля зрения при использовании различных тестовых стимулов;
2. определение пространственной динамики остроты зрения, пороговой чувствительности и ориентационной избирательности с произвольно задаваемыми параметрами стимулов;
3. определение свойств периферических стимулов (с произвольно устанавливаемыми параметрами), активирующих перевод взгляда;
4. обработка и визуализация результатов экспериментов.

Разработанный программно-аппаратный комплекс был тестирован при проведении нескольких серий предварительных психофизических экспериментов, направленных на проверку ряда предположений [1,13]. Эти эксперименты показали, что при предъявлении двух стимулов на периферии поля зрения взгляд переводится предпочтительно на пересечения линейных сегментов и на полосы, ориентация которых ортогональна ориентации стимула, предъявляемого в фовеальном поле зрения. Кроме того, в периферическом поле зрения выявлены особые микрообласти, которые резко отличаются по пороговой чувствительности от соседних областей. Эти факты могут быть рассмотрены в первом приближении, как подтверждение приведенных во “Введении” предположений. Однако для детальной верификации этих предположений необходимо проведение основных серий экспериментов с более широкой вариацией параметров фовеальных и периферических стимулов, тестированием различных квадрантов поля зрения, регистрацией движений глаз и т.д. Разработанный программно-аппаратный комплекс обеспечивает такие возможности. Вместе с тем, полученные количественные данные (см. табл.) могут быть использованы для оптимизации параметров алгоритма автоматического

формирования траектории осмотра изображений на этапе запоминания в разработанной ранее модели [1,13,15].

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Гусакова, И.А. Рыбак, Л.Н. Подладчикова, А.В. Головань, Н.А. Шевцова. Инвариантное представление и распознавание объектов с помощью “окна внимания” и специфической траектории осмотра. Радиофизика, изв. ВУЗов, т. XXXVII, № 9, 1994, сс. 1173-1182.
2. Марр Д. Зрение. М. Радио и связь, 1987, 400с.
3. Подвигин Н.Ф., Макаров Ф.Н., Шелепин Ю.Е. Элементы структурно-функциональной организации зрительно-глазодвигательной системы. Л.: Наука. 1986. 252С.
4. Шапошников Д.Г. Разработка программного обеспечения для проведения психофизических экспериментов по исследованию механизмов выбора точек фиксации взгляда. Дипл. работа, РГУ, 1997, 37 с.
5. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука. 1965. 166С.
6. Bandera C., Scott, P. Machine vision for pursuit. The foveal alternative. Journal of Electronic Defense. 1991. vol. 14. № 10. pp. 61-66.
7. Bolle R.M., Califano A., Kjeldsen R. Data and model driven foveation. IBM Tech. Report. 1989. pp.1-27.
8. Burt P.J. Smart sensing within a pyramid vision machine., In: Proc. of the IEEE. 1988, vol.76. pp. 1006-1015.
9. Epelboim J., Steinman R.M., Knowler E., Edwards M., Pizlo Z., Erkelens C.J., Collewyn H. The Function of Visual Search and Memory in Sequential Looking Tasks. Vision Res. Vol. 35, No. 23/24, pp. 3401-3422, 1995.
10. Hecht-Nielsen R. and Zhou Y.T. VARTAC: A Foveal Active Vision ART System, Neural Networks, v.4, 1995, pp.1309-1321.
11. Noton D. and Stark L. Scanpaths in eye movements during pattern recognition. Science. 1971. vol.171. pp.72-75.
12. Orban G.A. Neuronal operations in the visual cortex. In: Studies of brain function. Berlin-Heidelberg, N-Y, Tokyo. 1984.

13. Podladchikova L.N., Gusakova V.I., Shaposhnikov D.G., Faure A., Golovan A.V. and Shevtsova N.A. "MARR: Active vision model". In "Intelligent Robots and Computer Vision XIV: Algorithms, Techniques, Active Vision, and Materials Handling", D.P. Casasent, Editor, Proc.SPIE, 3208, pp.418-425 (1997).
14. Rao R. P. N., Zelinsky G.J, Hayhoe M.M. & Ballard D.N. (1997) Eye movements in visual cognition: A computational study. Technical Report 97.1. University of Rochester.
15. Rybak I.A., Gusakova V.I., Golovan A.V., Podladchikova L.N., and Shevtsova N.A. A Model of Attention-Guided Invariant Visual Recognition. Vision Research, Special Issue on Models of Recognition, 1997 (in press.).
16. Schwartz E. Algorithms and hardware for the Application of Space-variant Active Vision to High Performance Machine Vision., In Proc.of international conference Vision, Recognition, Action: Neural Models of Mind and Machine. Boston, May 29-31, 1997.
17. Wolfe J.M. Guided Search 2.0, A revised model of visual search. Psychonomic Bulletin & Review. 1994, 1 (2), pp. 202-238.
18. Zeevi Y.Y. and Ginosar R. Neural Computers for Foveating Vision Systems. In R.Eckmiller, editor, Advanced Neural Computers, Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland, 1990, pp. 323-330.