

**Л.Н. ПОДЛАДЧИКОВА¹, Д.Г. ШАПОШНИКОВ¹,
А.В. ТИКИДЖИ-ХАМБУРЬЯН²,
Т.И. КОЛТУНОВА², Г.Г. БОНДАРЬ¹,
В.И. ГУСАКОВА¹, А.В. ГОЛОВАНЬ¹**

¹НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону

²Факультет психологии Южного федерального университета
lnp@nisms.krinc.ru

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАНИЗМОВ ОСМОТРА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Описан комплексный подход к изучению механизмов осмотра изображений и первые результаты его реализации. Выбор наиболее информативных областей (НИО) проведен по результатам психофизических тестов с высокоточной регистрацией движений глаз. На трех тестовых изображениях определены НИО как области с максимальной плотностью фиксаций взгляда всех испытуемых (n=5). Индивидуальные траектории осмотра (n=25) классифицированы на три основных типа по последовательности фиксаций и их плотности в НИО.

1. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с пионерских работ А.Л.Ярбуса [1] известно, что выбор НИО изображений для фиксации взгляда и детального анализа с помощью механизмов фовеального зрения зависит от множества факторов, взаимодействующих между собой [2-7]. Принимая во внимание неполноту и противоречивость известных экспериментальных данных, математические модели рассматриваются как важный инструмент исследования механизмов осмотра изображений [8-15]. В обзоре [13] отмечается, что создание реалистической модели, позволяющей анализировать вклад факторов различного типа и механизмов разного уровня при выборе НИО, остается актуальным.

В данной работе представлено описание комплексного подхода, основанного на тесном взаимодействии психофизического эксперимента и моделирования и первые результаты его реализации.

2. ПОДХОД И МЕТОДЫ

Общий подход. Разрабатываемый комплексный подход (Рис. 1) включает: (а) выбор опубликованных данных с детальным протоколом эксперимента; (б) разработку компьютерной модели, воспроизводящей результаты конкретного эксперимента; (в) анализ локальных признаков в различных частях изображений; (г) модификацию изображений и проведение собственных психофизических тестов; (д) реализацию пунктов (б) и (в) по результатам повторных экспериментов; (е) определение функции притяжения взгляда путем сопоставления результатов эксперимента и моделирования. Как и ранее [16-18], основное внимание уделяется количественному анализу траекторий осмотра и локальных признаков с помощью входного окна, имитирующего структуру поля зрения человека.

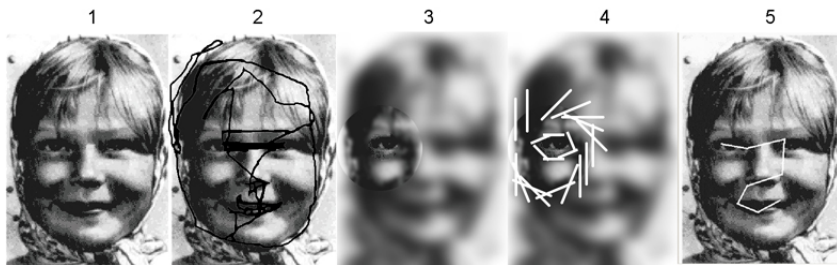


Рис. 1. Пример реализации комплексного подхода к формализации психофизических данных. (1) исходное изображение - $Im1$; (2) траектория осмотра по результатам А.Л Ярбуса [1]; (3) модификация фрагментов изображения; (4) анализ признаков в окрестностях точки фиксации взгляда; (5) траектория «осмотра» - перевода входного окна с помощью функции притяжения «взгляда».

Методы моделирования. Программная реализация исследовательской модели включает входной модуль, модуль определения признаков и их комбинаций и модуль анализа и формирования траекторий осмотра изображений. В модели каждая произвольная точка входного изображения описывается набором признаков, идентифицированных в ее окрестностях в соответствующих областях входного окна. Матрицы свертки признаков в центральной, пара- и периферической областях окна имели различные размерности. Возможно получение 48 карт признаков. В программе реализовано несколько алгоритмов [16-18] для функции

притяжения при переводе «взгляда» от одной точки фиксации к следующей и формирования траекторий «осмотра».

Экспериментальные методы. В психофизических тестах использовалась система регистрации и анализа движений глаз iView X Hi-Speed 1250. В качестве тестовых выбраны изображения, для которых иллюстрации в монографии А.Л. Ярбуса [1] могут быть количественно проанализированы, а именно, картины: «Волжаночка» С. Фридлянда - Im1; «Не ждали» И.Е. Репина - Im2; И.И. Шишкина "В лесу графини Мордвиновой" - Im3; И.И. Левитана "Березовая роща" - Im 4. Основные тесты проведены на 5 испытуемых при осмотре Im2 - Im4 с тремя видами инструкций - "свободный осмотр", "осмотр объектов", "оценка отношений между объектами". Из анализа были исключены тесты или их фрагменты с выраженным трендом, морганиями, саккадами малой величины (меньше 0.2°), а также редкие события.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПСИХОФИЗИЧЕСКИХ ТЕСТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Идентификация НИО. До проведения собственных психофизических тестов были проанализированы результаты А.Л. Ярбуса [1] при осмотре Im2 (Рис.2). Количественный анализ распределения точек фиксации взгляда на одном из рисунков, представленном в монографии, с помощью алгоритма группирования, основанного на методе ближайшего соседа, позволил выделить НИО как области концентрации точек фиксации взгляда (Рис. 2, I).

Для получения количественных оценок, которые не могли быть извлечены из данных А.Л. Ярбуса, была проведена серия собственных психофизических тестов с теми же изображениями (Рис.3). Видно, что НИО, идентифицированные по результатам экспериментов с использованием системы iView X Hi-Speed 1250 при осмотре Im2, во многом сходны с результатами А.Л. Ярбуса (ср. Рис. 2, I и Рис. 3, А).

Классификация траекторий осмотра изображений. При визуальном анализе иллюстраций в монографии А.Л. Ярбуса [1] выделено три типа траекторий осмотра (Рис. 2, II). На качественном уровне определен ряд их признаков: для осматривающего типа, помимо широкого распределения точек фиксации на изображении, характерна их относительно низкая концентрация в НИО; двум другим типам траекторий присуща высокая плотность фиксаций в НИО, но они отличаются друг от друга частотой перехода от одной НИО к другой.

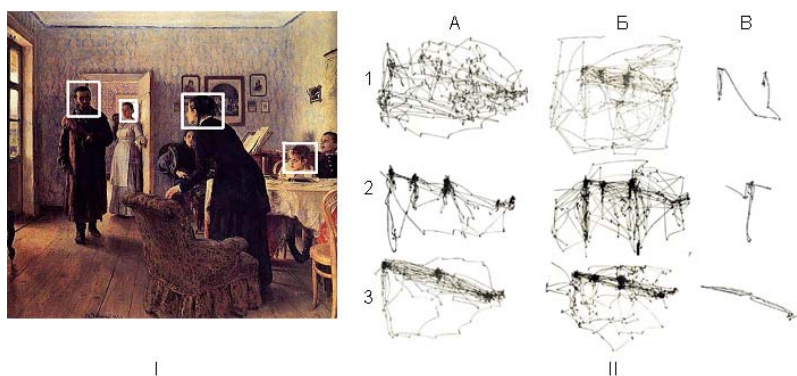


Рис. 2. Результаты анализа иллюстраций, представленных в монографии А.Л. Ярбуса [1]. Данные выбраны из рисунков №№ 109, 107, 111. (I) НИО, выделенные с помощью алгоритма группирования точек фиксации взгляда; (II) три типа траекторий (1-3) в разных сериях экспериментов (А–В): (1) осматривающий; (2) объектно-последовательный; (3) объектно-возвратный.

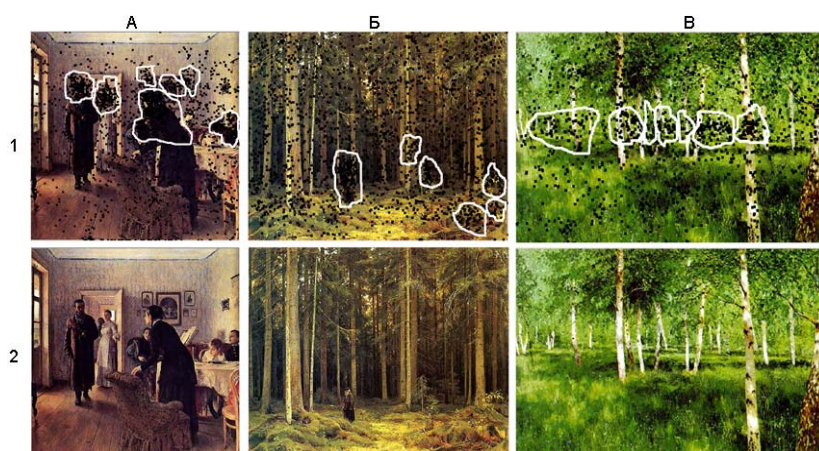


Рис. 3. НИО, выделенные с помощью алгоритма группирования точек фиксации взгляда по результатам экспериментов с использованием системы iView X Hi-Speed 1250 (1). В каждом из трех случаев использованы накопленные результаты всех тестов (n=15) при осмотре изображений Im2, Im3, Im4, соответственно.

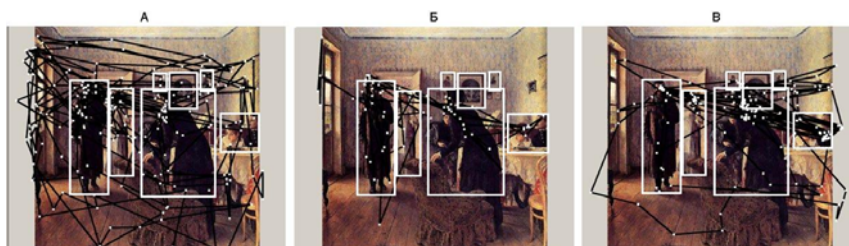


Рис. 4. Примеры траекторий при просмотре изображения Im 2, обнаруженные в тестах с использованием системы iView X Hi-Speed 1250 (А), (Б), (В) - траектории осматривающего, объектно-последовательного и объектно-возвратного типов. Объекты, в пределах которых идентифицированы НИО, очерчены прямоугольниками.

Частота двусторонних переходов (возвратов) меньше в случае объектно-последовательных траекторий по сравнению с объектно-возвратными. Аналогичные типы траекторий осмотра наблюдались в тестах с использованием системы iView X Hi-Speed 1250 (ср. Рис. 2, II и Рис. 4)

Количественные критерии для классификации траекторий были получены на выборке ($n=150$) искусственных траекторий, разделенных на три типа экспериментатором. При генерации искусственных траекторий осмотра Im2 каждая следующая точка фиксации определялась следующим образом: по случайному закону выбирались величина скачка между фиксациями (в диапазоне от величины фовеальной области поля зрения человека до парафовеальной) и угол смещения. В выбранной по пространственным координатам точке оценивалась функция притяжения, определяемая принадлежностью данной точки к значимым объектам. Изменяя коэффициент притяжения и радиус зоны «внимания», было возможно получить траектории осматривающего, последовательного и возвратного типов. С помощью этого алгоритма была создана база искусственных траекторий, изменяющихся от полностью хаотичных движений до строго объектно-ориентированных.

Каждая искусственная траектория характеризовалась 3 параметрами – количество фиксаций внутри объекта, переходов внутри объектов и меж объектных переходов. Обнаружено, что разделение траекторий осмотра на две группы – осматривающий тип и объектно-ориентированные типы - достигается с помощью оценки отношения количества точек, сгруппированных внутри объектов к количеству всех точек фиксации, зарегистрированных в процессе осмотра. В частности, в траекториях

осматривающего типа менее 0.5 точек фиксации располагается внутри объектов; для объектно-ориентированных траекторий это отношение было равно, в среднем, 0.85. Для разделения объектно-ориентированных траекторий на последовательный и возвратный типы оценивалось количество переходов внутри одного объекта и количество переходов, в которых следующая точка фиксации находится вне данного объекта. Для объектно-последовательного типа траекторий отношение последовательных и возвратных переходов было 10, для объектно-возвратного – 0.2.

Для классификации траекторий осмотра, обнаруженных в экспериментах, отобраны 25 тестов, в которых было около 100 последовательных типичных саккад и фиксаций взгляда. Обнаружено, что процедура определения типа траекторий и выбранные количественные оценки обеспечивают точность классификации с вероятностью ($p=0.92$), близкой к таковой для квалифицированного экспериментатора.

В наших тестах, как и в экспериментах А.Л. Ярбуса, замечена зависимость структуры траекторий от начальной установки испытуемых. Так, в тестах с инструкцией «свободный осмотр» преобладали траектории осматривающего типа, в то время как в тестах с инструкцией «осмотр объектов» - траектории объектно-последовательного типа. Между этими двумя тестами обнаруживается и тенденция к различию длительности фиксаций и величины саккад (382.01 ± 82.96 мс против 550.93 ± 162.76 мс; $2.11^\circ \pm 0.36^\circ$ против $1.44^\circ \pm 0.36^\circ$, соответственно).

Анализ первичных признаков и их комбинаций во фрагментах изображений, различавшихся по плотности точек фиксации показал, что по большинству первичных признаков различия между ними отсутствуют или обнаруживается слабый тренд. Вместе с тем, для некоторых признаков области с максимальной концентрацией фиксаций существенно отличаются от областей с их минимумом (Рис. 5, ср. колонку (1) и (4)).

Поиск модифицированных фрагментов изображений. В другой серии психофизических тестов испытуемым предлагалось найти измененные (размытые) локальные фрагменты изображения Im2. Такие фрагменты располагались в областях изображения, различающихся по плотности фиксаций в первой серии тестов. В ходе теста оценивалось время поиска модифицированных фрагментов и вероятность их пропуска. Сводные результаты по всем испытуемым ($n=12$) представлены на Рис. 6. Видно, что вероятность игнорирования измененных фрагментов изображения в процессе поиска выше при их расположении в областях с

минимальной плотностью фиксации в первой серии тестов. Кроме того, время поиска таких фрагментов возрастает от точки (1) к точке (3).

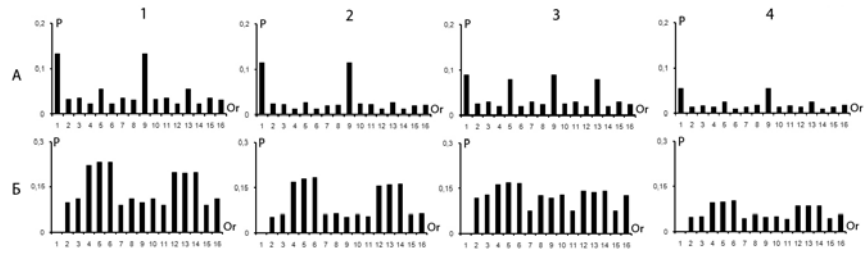


Рис. 5. Гистограммы распределения ориентаций отдельных линейных сегментов (А) и их угловых комбинаций (Б) в четырех фрагментах изображения Im2, различающихся по плотности точек фиксации взгляда.

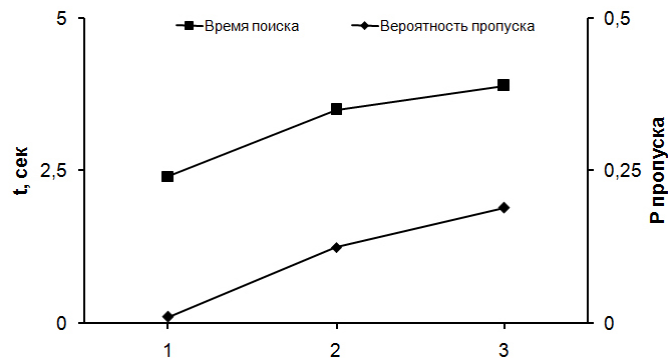


Рис. 6. Время поиска модифицированных фрагментов на изображении Im2 и вероятность их пропуска в областях изображения, различающихся по плотности точек фиксации взгляда в первой серии тестов (1 - 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первые результаты реализации комплексного подхода к изучению механизмов осмотра изображений состоят в следующем: в психофизических тестах с высокоточной регистрацией движений глаз получены результаты, коррелирующие в ряде отношений с данными А.Л. Ярбуса [1] при просмотре тех же изображений; по плотности точек

фиксации взгляда и их последовательности идентифицировано три основных типа траекторий осмотра и получены количественные критерии их классификации; реализовано несколько алгоритмов функции притяжения взгляда, с помощью которых были получены траектории осмотра, аналогичные обнаруженным в эксперименте; наборы некоторых первичных признаков существенно различны во фрагментах, различающихся по плотности фиксаций; области с высокой плотностью фиксаций нередко имеют наибольшее разнообразие признаков.

Важный результат состоит в идентификации трех типов траекторий осмотра изображений, которые могут отражать доминирование различных механизмов зрительного восприятия [3]: пространственное зрительное внимание, фокальное внимание и оценка семантических отношений объектов. С помощью оценки структуры траекторий осмотра возможна объективная оценка вклада этих механизмов на разных этапах зрительного восприятия. Доминирование тех или иных механизмов может коррелировать также с параметрами движений глаз и длительностью фиксаций, которые могут быть измерены. Очевидно, что свойства изображений существенно влияют на эти параметры, что требует разработки критериев описания и классификации изображений.

Предполагается, что изложенный подход и разработанная исследовательская модель позволят в перспективе преодолеть ограничения при обобщении и формализации психофизических данных и получить количественные оценки вклада различных «детерминант» [2] в переключение взгляда.

Список литературы

1. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. - М.: Наука, 1965. - 166с.
2. Барабанщиков В.А. Окуломоторные структуры восприятия. – М: Издательство «Институт психологии РАН», 1997. - 384 с.
3. Величковский Б.М. Успехи когнитивных наук. // В мире науки. - 2003. – 12. – с.87-93.
4. Гиппенрейтер Ю.Б. Движения глаз в деятельности человека. - 2004. - <http://virtualcoglab.cs.msu.su/Gippenreiter>
5. Hayhoe M., Ballard D. Eye Movements in Natural Behavior. // Trends in Cognitive Science. – 2005. - v.9. – 4. – p.188-193.
6. Rajashekar U., Van der Linde I., Bolik A.C., Cormack L.K. Foveated analysis of image features at fixations. // Vision Research. – 2007 – 47. - p.3160-3172.
7. Rehder B., A. Hoffman. Eye tracking and selective attention in category learning. // Cognitive Psychology. – 2005. - 51 p.1–41.

8. Henderson J.M., Falk R., Minut S., Dyer F.C., Mahadevan S. Gaze Control for Face Learning and Recognition by Humans and Machines. // Technical Report, Michigan State University Eye Movement Laboratory, 2000. – v.4. – p.1-14.
9. Navalpakkam V., Itti L. Modeling the Influence of Task on Attention. // Vis. Res. – 2005. – v.45. – p.205-231.
10. Noton D. and Stark L. Scanpaths in Eye Movements During Pattern Recognition. // Science. - 1971. - v.171. - p.72-75.
11. Privitera C.M., Stark L. Scanpath Theory, Attention and Image Processing Algorithms for Prediction of Human Eye Fixations. // Neurobiology of Attention, Elsevier, Academic. – 2005. - p. 663-670.
12. Treisman, A.M., and Gelade, G. A Feature Integration Theory of Attention. // Cog.Psychol. - 1980. – 12. – p.97-136.
13. Walther D.B., Koch C. Attention in Hierarchical Models of Object Recognition. // Prog. in Brain Res. – Elsevier, 2007. - v.165. – p.57-78.
14. Wolfe J.M., Birnkrant R.S., Kunar M.A., Horowitz T.S. Visual Search for Transparency and Opacity: Attentional Guidance by Cue Combination? // J. Vision. – 2005. – 5. – p.257-274.
15. Zelinsky G.J. Specifying the Components of Attention in a Visual Search Task. // Neurobiology of Attention. – Elsevier, 2005. – p.395-400.
16. Гусакова В.И., Шапошников Д.Г., Подладчикова Л.Н. Возможные механизмы осмотра изображений: модель и эксперимент. // Мат. I Всерос. н.-т. конф. Нейроинформатика-99. – Москва: 1999. – 2. – с.148-154.
17. Rybak I., Gusakova V., Golovan A., Podladchikova L., Shevtsova N. Attention-Guided Recognition Based on "What"; and "Where" Representations: A Behavioral Model. // Neurobiology of Attention, Elsevier, Academic. – 2005. - p. 663 670.
18. Rybak I.A., Gusakova V.I, Golovan A.V., Podladchikova L.N., Shevtsova N.A. A Model of Attention-guided Visual Perception and Recognition. // Vision Research, Special Issue on Models of Recognition. – 1998. - v.35. - 15/16. – p.2387-2400.