

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ОСМОТРА СЛОЖНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Л.Н. Подладчикова¹, Д.Г. Шапошников¹, Т.И. Колтунова², А.В. Теремязева²,
В.И. Гусакова¹

¹ НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана ЮФУ, Ростов-на-Дону

² Факультет психологии ЮФУ

SCANPATH TEMPORAL DYNAMICS WHILE VIEWING THE COMPLEX IMAGES.

Podladchikova L.N., Shaposhnikov D.G., Koltunova T.I., Teremyazeva A.V., Gusakova V. I.

Prospective goal of our study is quantitative estimation of contribution for various factors and mechanisms during image viewing by means of model-based approach [1]. In this paper, temporal dynamics of eye movement parameters and images viewing scanpath for each subjects (n =12) during performance of free viewing of initial images (n=3) and search for their modified fragments are presented. The whole image viewing scanpaths (n=56) and their temporal fragments (n=272) were classified into three basic types (i.e. "viewing", "object-consequent", and "object-returned" scanpaths). It was shown that eye movements parameters and scanpath type are varied at different stages both for viewing and search. Excluding initial and final test periods, temporal pattern of eye movement parameters dynamics is varied and depends on subject, task, and task peculiarities.

Введение

Принимая во внимание неполноту и противоречивость экспериментальных данных [2-9], математическое моделирование рассматривается как важный инструмент исследования механизмов осмотра изображений [1, 10-14]. В настоящее время разработка модели, позволяющей оценить вклад механизмов того или иного уровня на разных этапах зрительного восприятия, и формулировать предположения, доступные экспериментальной проверке, остается актуальной [1, 13, 14].

Во многих работах отмечается значимое изменение длительности фиксации и величины саккад на самых ранних этапах тестирования и их относительная стабильность на последующих [5, 8, 9]. Однако динамика стратегии осмотра изображений практически не рассматривается [5, 8, 15]. Вместе с тем, данные о временной динамике областей интереса и структуры траектории позволят объективно оценить

специфику зрительной задачи, решаемой на разных этапах осмотра, поскольку топология траектории является атрибутом данного изображения [10], а ее детали зависят от мотивации (инструкции) испытуемого [2]. В данной работе представлены результаты анализа временной динамики стратегии осмотра сложных изображений.

Подход и методы

Разрабатываемый подход (Рис. 1) включает: выбор опубликованных данных с детальным протоколом эксперимента; разработку модели, воспроизводящей результаты конкретного эксперимента; фовеальный анализ локальных признаков в точке фиксации взгляда; модификацию изображений и проведение психофизических тестов; разработку многопараметрической функции притяжения взгляда [1]. Для регистрации движений глаз использовалась система iView X Hi-Speed 1250. В качестве тестовых выбраны 3 изображения из [2]: картины «Не ждали» И.Е. Репина (Im1); И.И. Шишкина «В лесу графини Мордвиновой» (Im2); И.И. Левитана «Березовая роща» (Im 3). Тесты проведены на 12 испытуемых с двумя видами инструкций: «свободный осмотр» и «поиск измененных фрагментов». Размер модифицированных фрагментов - 1.2° . Каждый тест заканчивался по решению испытуемых («изображение осмотрено» или «все фрагменты найдены»), регистрировался отчет испытуемых после теста. При обработке данных порог скорости саккад - $100^{\circ}/\text{сек}$. Из анализа были исключены: фрагменты с морганиями; фиксации, расположенные вне изображения; саккады более 50° .



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

Результаты и обсуждение

Динамика параметров глазных движений. В каждом тесте ($n=72$) длительность фиксаций (ДФ) и амплитуда саккад (АС) варьировались в процессе теста. В большинстве тестов (около 80%) коэффициент вариации ДФ был несколько больше, чем АС (в среднем, 94% и 75%). Для ДФ выявлены аналогичные различия между тестами осмотра и поиска (104% и 85%).

Для детального анализа временной динамики осмотра изображений каждый тест был разбит на последовательные фрагменты по 30 фиксаций. В 34 тестах получено 4 и более таких фрагментов (в среднем, 8). В каждом фрагменте определялись средняя ДФ и АС, наиболее информативные области (НИО) как области концентрации фиксаций и тип траектории осмотра. В 25 из 34 тестов обнаружена динамика ДФ и АС от фрагмента к фрагменту, развитие которой во времени зависело от типа теста, особенностей испытуемого и изображения.

Выявлены две общие черты динамики ДФ и АС: (1) увеличение ДФ во втором временном фрагменте теста и ее уменьшение в последнем (когда испытуемые принимали решение закончить тест); АС имеет противоположный тренд динамики (Таблица); (2) независимо от порядкового номера во фрагментах с минимальной ДФ (в среднем, 397.90 ± 5.88 мс) АС была больше (в среднем, 4.15 ± 0.09^0), чем во фрагментах с максимальной ДФ (в среднем, 575 ± 10.62 мс и 3.10 ± 0.03^0). Эти результаты согласуются

с известными данными о динамике ДФ и АС на самых первых этапах тестирования и об отрицательной корреляции длительности предшествующей фиксации и амплитуды последующей саккады [5, 9, 15]. Очевидно, детальное исследование этого феномена в эксперименте и разработка алгоритмов на его основе позволит получить функциональные маркеры моментов переключения зрительного внимания от пространственного к фокальному и наоборот.

Таблица. Временная динамика параметров глазных движений.

Номер фрагмента	ДФ, мс	АС, градусы
Первый	468.67 ± 4.23	4.00 ± 0.02
Второй	570.50 ± 5.31	3.42 ± 0.02
Последний	403.82 ± 2.96	4.39 ± 0.05

Характеристика НИО. С помощью алгоритма, разработанного ранее [1], НИО обнаружены как при осмотре, так и при поиске. Количество НИО было меньшим при осмотре, чем при поиске (в среднем, 5 и 8) и они располагались более равномерно на изображении (Рис. 2). Кроме того, НИО, детектируемые в обоих тестах, имели более высокую плотность фиксаций при осмотре, чем при поиске. Пространственное расположение НИО зависело от типа изображения: на Im1 они приурочены к центральным фигурам картины (Рис. 3), на Im2, Im3 – в основном, к переднему плану.

По результатам 33 тестов, количество фиксаций в которых было не менее 60-ти и идентифицировано 2 и более НИО, был проведен анализ ДФ в НИО и вне них. Лишь в пяти тестах ДФ во всех НИО была большей, чем вне этих областей изображений, в остальных случаях она была больше или меньше (134 и 94 из 228 детектированных НИО, соответственно). Превышение ДФ в первой группе варьировалось от десятков миллисекунд (минимальное значение – 15 мс) до секунд (максимальное – 1600 мс). Оказалось, что для этой группы ДФ в НИО, лежащих в пределах объектов на Im1 и Im2,

акцентированных в отчете испытуемых, было больше, чем во второстепенных объектах (в среднем, 478.94 ± 14.22 мс и 113.65 ± 6.19 мс, соответственно).

Детализация этих данных в перспективе позволит объяснить известное [16] несоответствие НИО, детектируемых по плотности и длительности фиксации и разработать алгоритмы для ранжирования НИО и объектов на изображении по их семантической значимости.

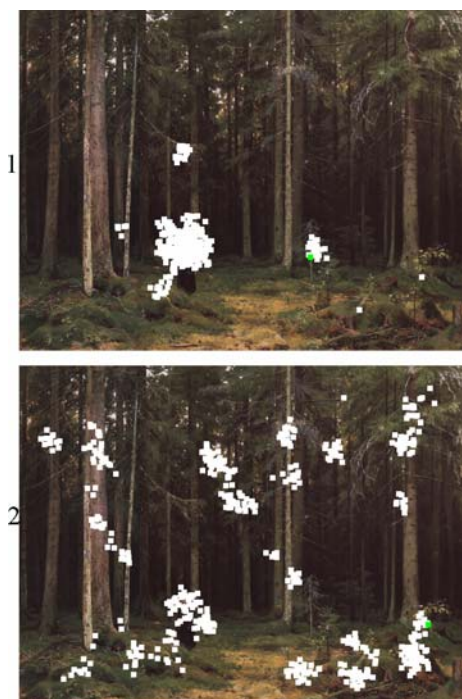


Рис. 2. Распределения областей концентрации точек фиксации взгляда при свободном осмотре Im2 (1) и поиске измененных фрагментов (2). Представлены суммарные данные по 12-и испытуемым с проживанием по плотности точек фиксации.

Динамика траекторий осмотра.

Траектории осмотра за все время каждого из тестов и их последовательных фрагментов ($n=272$) классифицировались с помощью разработанного ранее алгоритма [1] на три основных типа: осматривающий (сканирующий), объектно-последовательный и объектно-возвратный. Обнаружено, что нередко тип траектории осмотра изменяется в процессе тестирования (Рис. 3). Развитие динамики типа траектории во времени зависело от расположения НИО, типа теста (осмотр или поиск) и особенностей испытуемого. Общей чертой динамики было некоторое преобладание траекторий осматривающего

типа в первом и последнем фрагментах теста (69% и 62%), в отличие от доминирования объектно-ориентированных траекторий во втором временном фрагменте (60%), что коррелирует с динамикой ДФ в этих фрагментах (см. Таблицу).

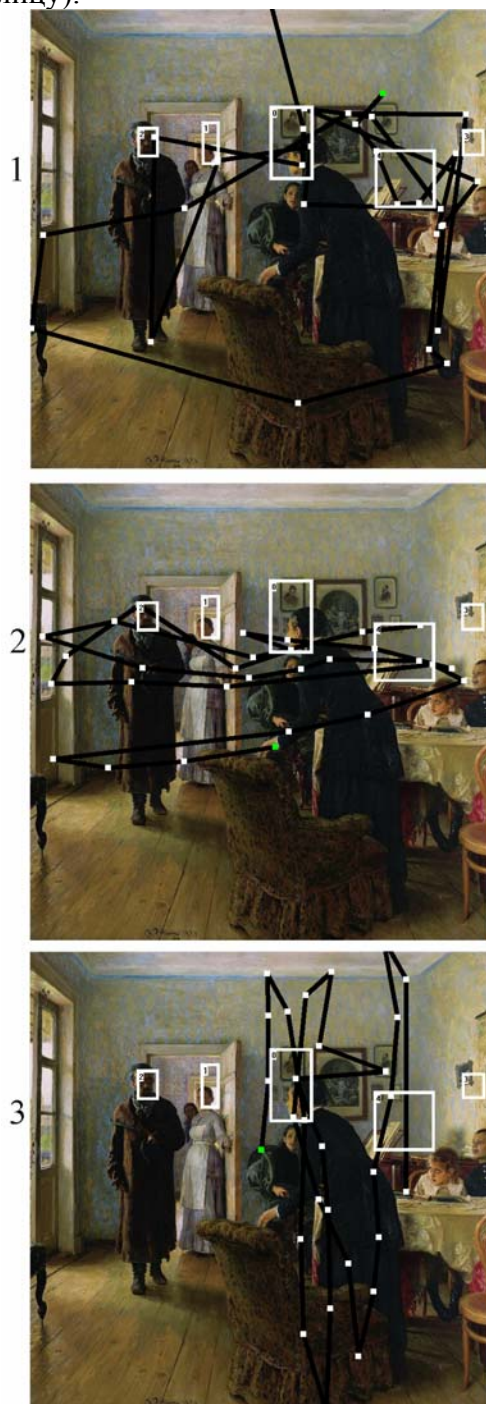


Рис. 3. Пример динамики структуры траектории осмотра на последовательных этапах тестирования. Белые прямоугольники – НИО, детектированные по результатам всего теста. Испытуемый А1.

Детальный визуальный анализ траекторий разного типа показал, что каждый из них содержит элементы другого типа. Кроме того, у испытуемых с

преобладанием фокального зрительного внимания (выраженный акцент на НИО на всех этапах осмотра и поиска) нередко встречаются элементы траекторий типа розеток. Напротив, у испытуемых с доминированием пространственного внимания на всех этапах присутствуют элементы сканирования (локального или глобального). Разработка алгоритмов идентификации элементов траекторий и стратегии осмотра и поиска позволит получить их более формализованное описание.

Заключение

Представленные результаты исследования временной динамики параметров глазных движений свидетельствуют о ряде корреляций между длительностью фиксаций, амплитудой саккад и топологией траекторий осмотра изображений. Предполагается, что детализация этих корреляций и разработка новых алгоритмов анализа экспериментальных данных позволят: (1) объективно оценить вклад механизмов пространственного и фокального зрительного внимания на разных этапах осмотра; (2) получить критерии оценки зрительной задачи, решаемой в текущий момент времени; (3) формализовать данные для разработки адекватной функции притяжения взгляда в модели.

Работа поддержана грантом РГНФ 09-06-95218 а/Ф.

References

1. Podladchikova L.N. et al. Model-based approach to study of mechanisms of complex image viewing. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics), 2009, Vol. 18, No. 2, pp. 114–121. Allerton Press, Inc.
2. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. - М.: Наука, 1965. - 166с.
3. Величковский Б.М. Успехи когнитивных наук. // В мире науки. - 2003. - 12. - с.87-93.
4. Torralba A. et al. Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search. // Psychol. Rev. - 2006. - v.113. No.4, pp. 766-786.
5. Over E.A.B. et al. Coarse-to-fine eye movement strategy in visual search. // J. Vis. Res. 2007. 47. pp. 2272-2280.
6. Henderson J.M. Human gaze control during real-world scene perception. // Trends in Cogn. Scie. 2003. Vol.7. No 11. pp.498-504.
7. Hayhoe M., Ballard D. Eye movements in natural behavior. // Trends in Cogn. Scie., Vol.9, No 4, 2005, pp. 188-193.
8. Liversedge S.P., Findlay J.M. Saccadic eye movements and cognition. // Trends in Cogn. Scie. 2000. Vol.4. No 1. pp.6-14.
9. Unema P.J.A. et al. Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration. // Vis. Cogn., 2005, 12(3), 473-494.
10. Privitera, C.M., Stark, L., Scanpath theory, attention and image processing algorithms for prediction of human eye fixations. // Neurobiology of Attention, Elsevier, Academic, 2005, pp.663-670.
11. Rybak I. et al. Attention-guided recognition based on "What"; and "Where" representations: a behavioral model. // Neurobiology of Attention, Elsevier, Academic, 2005, pp.663-670.
12. Foulsham T., Underwood G. What can saliency models predict about eye movements? Spatial and sequential aspects of fixations during encoding and recognition. // J.Vision.-2008.- 8(2).6. p.1-14.
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. Zelinsky G.J. Specifying the components of attention in a visual search Task. // Neurobiology of Attention. – Elsevier, Academic, 2005. – p.395-400.
15. Sogo H., Takeda Y. Effect previously fixated locations on saccade trajectory during free visual search. Vis. Res., 46 (2006), 3831-3844.
16. Sutcliffe A., Namoune A. Investigating user attention and interest in websites. INTERACT 2007, LNCS 4662, Part 1, pp. 88-101, 2007.