

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент^{1,2}

Осинов В.А.¹⁾, Шапошников Д.Г.²⁾, Колтунова Т.И.³⁾,
Подладчикова Л.Н.⁴⁾

НИИ нейрокибернетики им. А.Б. Когана Южного федерального университета (Россия, Ростов-на-Дону)

¹⁾vlad_os@list.ru, ²⁾dima@nisms.krinc.ru, ³⁾t.koltunova@gmail.com,
⁴⁾lnp@nisms.krinc.ru

Аннотация. При имитационном моделировании обнаружена зависимость площади области сканирования и количества последовательных 1°-х смещений входного окна модели от его структуры и весового коэффициента значимости первичных признаков изображений (ориентированных сегментов). Анализ результатов психофизических тестов показал, что пространственно-временные характеристики топологии осмотра, тестируемые при моделировании, достаточно тонко отражают специфику решаемой зрительной задачи и свойства изображения. Обсуждается возможность применения полученных результатов для детального количественного сопоставления данных психофизического эксперимента и моделирования.

1. Введение

Известно, что механизмы зрительного внимания включают много компонент (от сенсорных до когнитивных), взаимодействующих между собой [1-3]. Наряду с различными экспериментальными методами, математическое моделирование является важным инструментом исследования механизмов осмотра изображений [4-8]. В ряде работ отмечается [9, 10], что создание реалистичной модели, позволяющей анализировать вклад факторов различного типа и механизмов разного уровня, остается актуальным. Ранее в наших исследованиях [11-14] был разработан комплексный подход к формализации известных и собственных экспериментальных результатов с помощью исследовательской математической модели такого рода, основанный на тесном взаимодействии психофизического эксперимента и моделирования. В концептуальном плане разрабатываемый подход исходит из идей Д. Марра [15], теории активного зрительного восприятия [16, 17], идей и результатов А.Л. Ярбуса [3], “Scanpath Theory” [7] и гипотезы “What-Where” [18].

Ранее [11] в общем виде была предложена следующая функция притяжения взгляда и формирования траектории осмотра изображения:

¹ Работа поддержана грантами РФФИ № 11-01-00750а и РГНФ № 09-06-95218 а/Ф, № 11-06-00704а.

² Статья публикуется в авторской редакции

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент

$$F(x, y, h) = \sum_{i=1}^n k_i f_i(x, y) + V(Q(x, y), r_F(x, y), r_P(x, y)) + C \cdot Fix(x, y, h) \quad (1)$$

где:

$f_i(x, y)$ – набор карт признаков, которые формируются в результате обработки изображения с помощью стандартных методов (двухмерное преобразование Фурье, выделение локальных градиентов яркости и т.д.);

k_i – нормировочные коэффициенты для каждой карты признаков;

$V(Q, r_F, r_P)$ – интегральное описание структуры поля зрения, определяемое по данным психофизических тестов для конкретного испытуемого и включающее несколько компонент:

$Q(x, y)$ – карта особенностей структуры поля зрения (острота сенсорной настройки, локальная пространственная неоднородность [6], функциональные и морфологические скотомы и т.п.);

$r_F(x, y)$ – размер (форма) центральной части поля зрения;

$r_P(x, y)$ – размер (форма) периферической части поля зрения;

C – коэффициент, отражающий характер текущей зрительной задачи (свободный осмотр, поиск заданных фрагментов и т.д.);

$Fix(x, y, h)$ – компонент, который динамически формируется по результатам обработки фрагментов при предыдущих фиксациях входного окна и может быть описан как множество координат последовательных фиксаций или как их взвешенная сумма.

Для детализации компонент этой функции и адекватного сопоставления результатов эксперимента и моделирования необходимы количественные данные о различных параметрах, в частности, о топологии области осмотра изображений. Эти сведения важны в связи с тем, что, как известно, общая геометрия траектории осмотра зависит от типа изображения [7], а ее детали – от мотивации (инструкции) испытуемого [3].

Целью данной работы является исследование с помощью имитационного моделирования зависимости топологии осмотра изображений от значимости первичных признаков (ориентированных перепадов яркости), представляющих один из компонентов $f_i(x, y)$, и параметра $V(Q, r_F, r_P)$ пространственно-неоднородного (фовеального) входного окна модели, имитирующего [14] структуру поля зрения человека. Кроме того, рассматриваются результаты анализа характеристик топологии глазных движений, зарегистрированных в психофизических тестах при просмотре текстурных изображений, в сравнении с более сложными изображениями. В последнем случае использованы результаты психофизических тестов, проведенных ранее [11, 12]. При анализе результатов имитационного моделирования и эксперимента, в основном, применяются одни и те же характеристики топологии осмотра, что позволяет проводить их адекватное сопоставление. Предварительные результаты данного исследования представлены в [19].

2. Зависимость характеристик топологии осмотра изображений от параметров входного окна модели

Алгоритмы и методы. В данном исследовании входное окно базовой модели формирования траекторий осмотра изображений было модифицировано (Рис. 1).

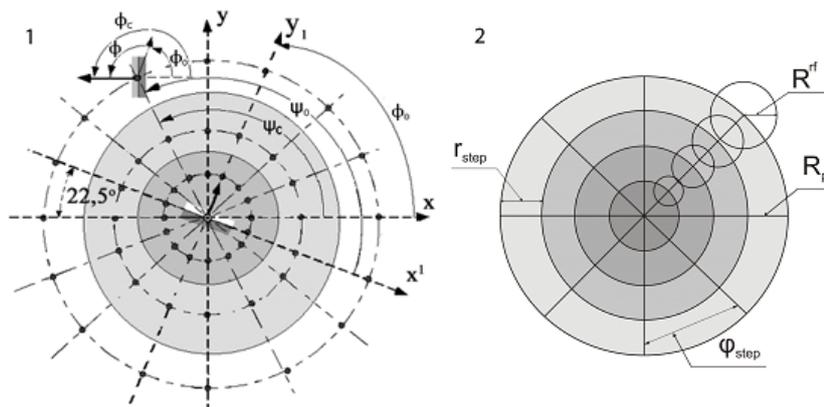


Рис. 1. Схема пространственно-неоднородного входного окна в базовой исследовательской модели [11-14] формирования траекторий осмотра (1) и использованного в данной работе (2). Обозначения в (1): Oxy – абсолютная система координат; Ox^1y^1 – относительная система координат (относительно ориентации сегмента, детектированного в фовеальной (центральной) части входного окна; ϕ_0 – ориентация центрального сегмента по отношению к оси x ; ϕ_c и ϕ – абсолютная и относительная ориентации сегмента, детектированного на периферии входного окна; ψ_c и ψ – угловое расположение данного периферического узла в абсолютной и относительной системах координат. Обозначения в (2): R_p – размер входного окна; R^{rf} – размер контекстной области каждого узла входного окна; r_{step} и ϕ_{step} – параметры концентрической и радиальной структуры входного окна.

Структура входного окна состоит из узлов, расположенных на пересечении $m = R_p/r_{step}$ концентрических окружностей и $l = 360/\phi_{step}$ радиальных линий. В программе, разработанной для проведения вычислительных экспериментов, значения m и l могли варьироваться в зависимости от размера входного окна R_p и степени его детализации, определяемой двумя параметрами – шаг угла разбиения ϕ_{step} и шаг разбиения по расстоянию от центра окна r_{step} .

Каждый узел входного окна описывается плотностью признаков ρ_{ij} , выделенных в его контекстной области, радиус которой R^{rf} увеличивается от центра к периферии окна с шагом r_{step} .

$$\rho_{ij} = \frac{1}{\pi(R_{ij}^{rf})^2} \sum_{x,y \in R_{ij}^{rf}} w_{xy}, \text{ где } w = \begin{cases} k_f, & \text{если признак детектирован} \\ 0, & \text{если признак не детектирован} \end{cases} \quad (2)$$

x, y – координаты точек, принадлежащих контекстной области с радиусом R^{rf} i, j -го узла входного окна; k_f – весовой коэффициент, определяющий значимость детектированного первичного признака.

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент

Для получения количественных характеристик областей сканирования («осмотра») изображений с помощью пространственно-неоднородного входного окна модели было проведено несколько видов анализа результатов имитационных экспериментов. В частности, для определения площади областей осмотра использовался метод, основанный на алгоритме заливки областей изображений [20]. В разработанной программе каждая точка фиксации входного окна (Рис. 2,а) соединялась отрезками со всеми остальными при условии, что получаемый отрезок не длиннее трети ширины изображения (Рис. 2, б). Все участки изображения, расположенные вне очерченной фигуры (области осмотра), рассматривались как ее фон (Рис. 2, в). На последнем этапе определялась площадь области осмотра (Рис. 2, г) путем вычитания площади не очерченной области из площади всего изображения.

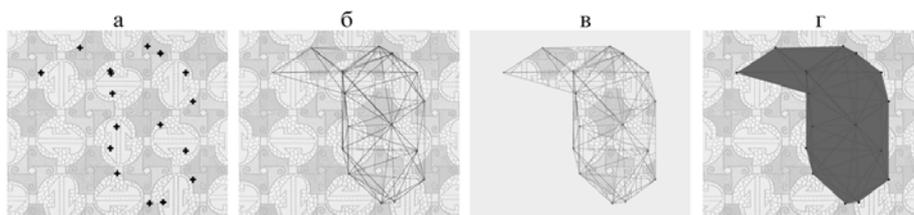


Рис. 2. Схема определения площади осмотра изображения с помощью пространственно-неоднородного входного окна модели: а – расположение точек фиксации входного окна в одном из имитационных экспериментов; б – результат работы алгоритма соединения точек фиксации; в – определение площади изображения вне очерченной фигуры (маркирована серым цветом) ; г – определение площади области осмотра (маркирована темным цветом).

В имитационных экспериментах обнаружено, что смещения входного окна в различных фрагментах траекторий сканирования изображений могли быть на расстоянии от $0,1^\circ$ до 8° . Причем, в большинстве случаев (например, в 86% тестов с изменением k_f) смещения входного окна происходили не более, чем на 1° от текущей точки его фиксации (в терминах биологического зрения – в пределах фовеальной области). В силу этого в качестве еще одной количественной характеристики топологии осмотра в каждой траектории определялось количество групп последовательных 1° -х смещений входного окна модели. Наличие группы определялось в том случае, если она включала 3 и более 1° -х смещений. Такие смещения рассматриваются как аналог микросаккад, которые могут отражать доминирование механизмов фокального внимания [2]. Рассчитывалось также среднее количество фиксаций в таких группах при варьировании значений параметров входного окна.

Результаты вычислительных экспериментов. При имитационном моделировании были использованы четыре текстурных изображения, имеющие характерные различия в яркости, уровне контраста, наборе структурных элементов и ориентированных сегментов (Рис. 3). В частности, из гистограмм, представляющих вероятность каждой из ориентаций (шаг $22,5^\circ$) сегментов, видно, что в изображениях «1» и «4» в той или иной степени преобладают вертикально и горизонтально ориентированные локальные сегменты с

различным направлением контраста, в то время как в изображениях «2» и «3» представлены и сегменты, ориентированные под углом 45° .

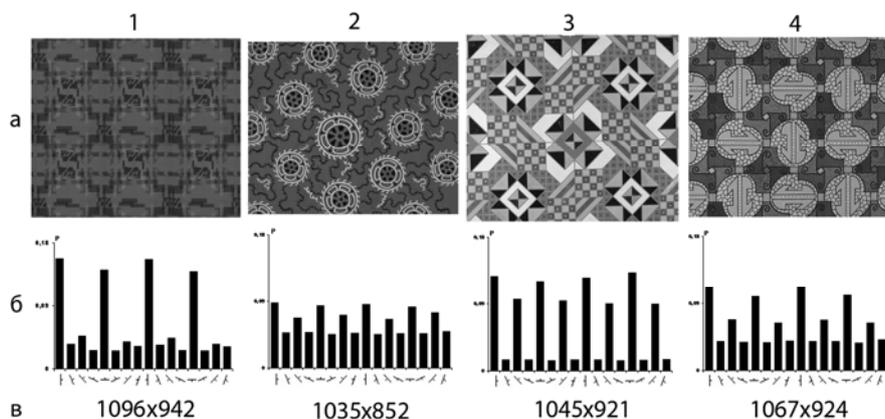


Рис. 3. Тестовые текстурные изображения (а); гистограммы распределения ориентированных сегментов, идентифицированных, как и ранее [11 - 14], в контекстной области каждого пикселя изображения; под гистограммами представлена ориентация сегментов (б) и размер изображения в пикселях (в).

В вычислительных экспериментах анализировалось влияние ряда параметров входного окна модели на пространственные характеристики сканирования («осмотра») изображений с его помощью. В каждом тесте с тем или иным значением варьируемых параметров количество точек фиксации входного окна было одним и тем же ($n = 200$) и центр изображений являлся начальной точкой «осмотра». В первой серии экспериментов изменялся шаг угла разбиения входного окна φ_{step} (см. Рис. 1, 2) в диапазоне от 4° до 90° при фиксированных других его параметрах. Обнаружено, что при разной степени детализации угловой структуры входного окна варьировались расположение и площадь областей сканирования (Рис. 4, I; Таблица 1). В частности, при увеличении степени детализации входного окна (значения φ_{step}) от 72° к 18° площадь «осмотра» уменьшалась в 1,5 раза; напротив, количество групп последовательных 1° -х смещений входного окна в траектории сканирования, а также количество смещений в таких группах увеличивалось – в 1,9 и 1,7 раза, соответственно.

Во второй серии имитационных экспериментов оценивалось влияние локальных признаков изображения (ориентированные перепады яркости). Весовой коэффициент значимости первичных признаков k_f изменялся в диапазоне от 5 до 60. Этот диапазон и фиксированные значения других параметров входного окна были определены в предварительных экспериментах. В частности, R_p был равен 16° , количество концентрических окружностей – 20, φ_{step} – 90° . Из Таблицы 1 видно, что при увеличении k_f резко уменьшается площадь области сканирования изображения с помощью входного окна и, напротив, в траекториях сканирования увеличивается количество групп

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент

последовательных 1° -х смещений входного окна и количество смещений в таких группах.

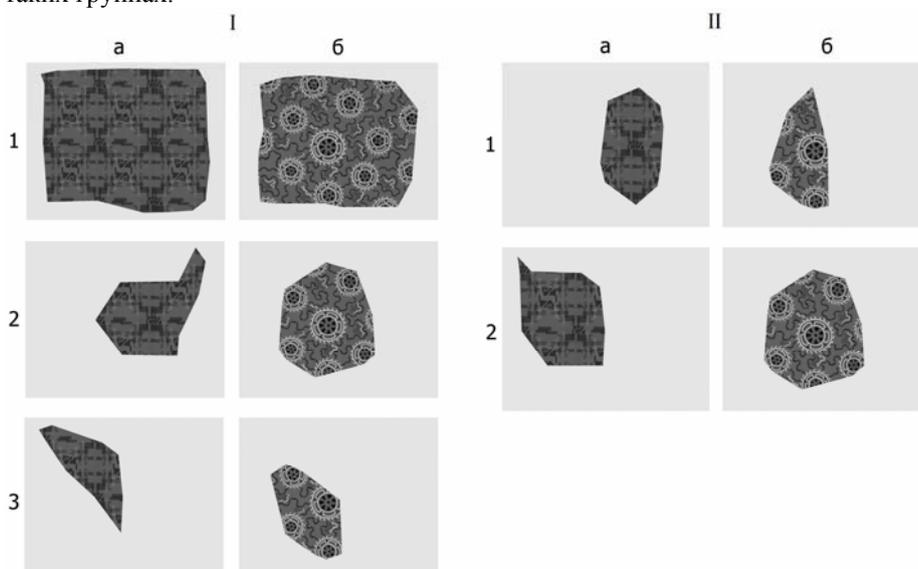


Рис. 4. Примеры (а, б) динамики расположения и площади области сканирования изображений при изменении угла разбиения входного окна Φ_{step} (I; (1) – 72° , (2) – 9° , (3) – 6°) и размера входного окна R_p (II; (1) – 4° , (2) – 8°).

Таблица 1. Динамика площади сканирования изображений и количества последовательных 1° -х смещений при изменении параметров входного окна модели.

Характеристика	Параметры входного окна					
	Угол разбиения Φ_{step}			Весовой коэффициент значимости признаков k_f		
	72°	36°	18°	5	40	60
Площадь области сканирования, в % от площади изображения	44	31	30	63	29	17
Количество групп последовательных 1° -х смещений, в % от общего числа смещений в траектории	35	58	65	22	73	75
Среднее количество 1° -х смещений в группах	5,7	9,4	9,7	3,0	9,4	12,9

Осинов В.А., Шапошников Д.Г., Колтунова Т.И.,
Подладчикова Л.Н.

В третьей серии экспериментов анализировалась динамика модельных траекторий при изменении размера входного окна R_p при фиксированных значениях параметров φ_{step} и k_f (90° и 40 , соответственно). Значения R_p выбирались эквивалентными 8° , 12° и 16° поля зрения человека (с учетом методических условий наших психофизических тестов). Обнаружено, при увеличении размера входного окна (см. Рис. 4, II) с 8° до 16° площадь области сканирования изображения увеличивается (в среднем для всех изображений в 1.5 раза). Аналогичным образом в траекториях сканирования уменьшается количество групп последовательных 1° -х смещений входного окна и количество смещений в таких группах.

3. Динамика характеристик осмотра изображений человеком

Методика. При проведении психофизических тестов для регистрации движений глаз использовалась система SMI iViewX Hi-Speed 1250 и те же текстурные изображения (см. Рис. 2), что и при имитационном моделировании. Условия эксперимента, за исключением типа изображений, - те же, что и ранее [11, 12]. В экспериментах участвовали трое испытуемых; каждый тест заканчивался по решению испытуемых. Для сравнения были проанализированы результаты ранее проведенных экспериментов [11, 12], в которых в качестве тестовых применялись более сложные изображения, а именно, - три картины из монографии А.Л. Ярбуса [3]: «Не ждали» И.Е. Репина; «В лесу графини Мордвиновой» И.И. Шишкина; «Березовая роща» И.И. Левитана. Тесты с более сложными изображениями были проведены на 12 испытуемых с двумя видами инструкций - «свободный осмотр», «поиск измененных фрагментов изображений».

Результаты психофизических тестов. При анализе результатов психофизических определялись следующие количественные характеристики траекторий осмотра изображений: количество групп 1° -х саккад от общего числа саккад в траектории (N); площадь области осмотра (S); расстояние между центрами масс этих областей и центром изображения (R). При осмотре текстурных изображений обнаружено, что: а) диапазон вариаций N составил от 22% до 45%; б) S варьировалась от 31% до 56% площади изображений (диапазон вариаций при просмотре сложных изображений - от 3% до 75%); в) R изменялось от $0,59^\circ$ до $1,75^\circ$ (диапазон вариаций при просмотре сложных изображений - от $0,42^\circ$ до $8,42^\circ$). Обнаружено также, что при просмотре сложных изображений величины S и R зависели от типа теста (в среднем, больше в тестах поиска, чем осмотра: $53 \pm 2\%$ против $37 \pm 3\%$; $4,20 \pm 0,31^\circ$ против $2,74 \pm 0,28^\circ$).

Кроме того, для количественного сравнения траекторий осмотра в качестве пространственно-временной характеристики их текущих элементов (Рис. 5) определялась длительность фиксации t_i и величина угла φ_i , образуемого двумя саккадами (предшествующей данной фиксации и следующей за ней). Формировалось единое описание каждой точки фиксации траектории:

$$X_i = \varphi_i \cdot 7 + t_i \quad . \quad (3)$$

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент

Подклассы \mathcal{G}_i и T_i значений φ_i и t_i определяются из Таблицы 2, всего формируются 49 классов значений X_i . На основании полученного описания каждой точки фиксации формировалось распределение частот конкретных значений X_i , в каждой из траекторий осмотра.

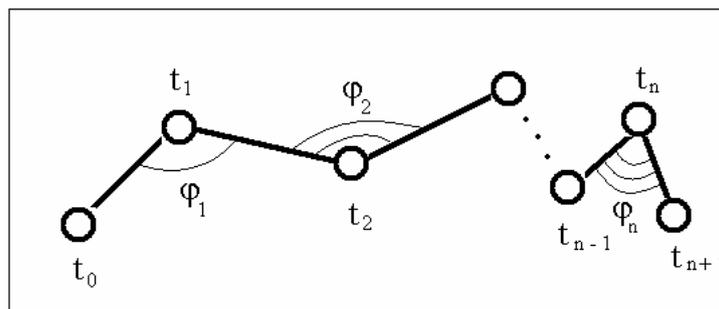


Рис. 5. Схема формирования описания траекторий осмотра на основе пространственно-временных характеристик ее локальных элементов. Кругами обозначены точки фиксации, линиями – саккады. t_i – длительность фиксации (мсек) в данной точке, φ_i – угол между двумя саккадами ($^\circ$).

Таблица 2. Значения подклассов параметров, характеризующих локальные элементы траекторий осмотра изображений.

Номер подкласса (T_i) по длительности фиксации	Номер подкласса (\mathcal{G}_i) по углу между соседними саккадами
0 (0-99 мс)	0 (0-15 $^\circ$)
1 (100-299 мс)	1 (15-45 $^\circ$)
2 (300-499 мс)	2 (45-75 $^\circ$)
3 (500-699 мс)	3 (75-105 $^\circ$)
4 (700-899 мс)	4 (105-135 $^\circ$)
5 (900-1099 мс)	5 (135-165 $^\circ$)
6 (1100 и более мс)	6 (165-180 $^\circ$)

Сравнение таких описаний показало возможность количественной оценки различий между траекториями осмотра (Рис. 6). Коэффициент корреляции Пирсона r между распределениями параметра X_i у различных испытуемых варьировал для текстурных изображений в относительно небольшом диапазоне (диапазон вариаций r от +0,52 до +0,82).

Для более сложных изображений диапазон вариаций коэффициента корреляции r между распределениями параметра X_i был значительно шире (r варьировался от +0,15 до +0,81). При этом у одних и тех же испытуемых различие между распределениями параметра X_i более выражено в условиях свободного осмотра по сравнению с тестом поиска измененных фрагментов тех же изображений. Рис. 7 иллюстрирует это для двух испытуемых в условиях свободного осмотра ($r = +0,17$) и в тесте поиска ($r = +0,53$).

Осинов В.А., Шапошников Д.Г., Колтунова Т.И.,
Подладчикова Л.Н.

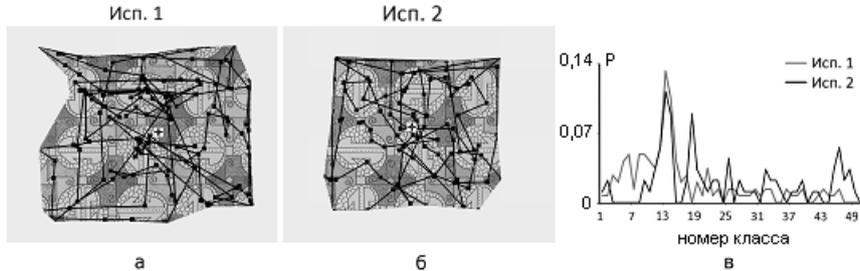


Рис. 6. Области осмотра изображения у двух испытуемых (а, б) и распределение параметра $X_i(v)$. \blacksquare маркирует положение центра масс области осмотра, $r = +0,52$.

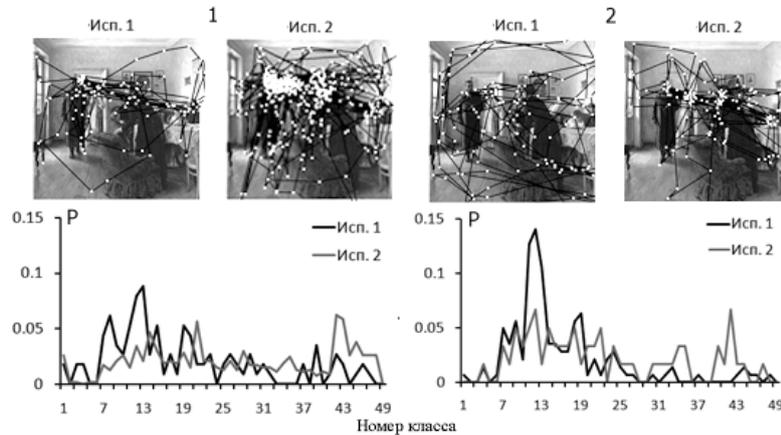


Рис. 7. Распределение параметра X_i у исп.1 и исп. 2. в тесте свободного осмотра (1) и поиска измененных фрагментов (2).

4. Заключение

Проведенный анализ результатов психофизических экспериментов показал, что ряд количественных характеристик топологии осмотра, выбранных на основании данных имитационного моделирования, достаточно тонко отражает специфику решаемой зрительной задачи и свойства изображений. В частности, вариативность всех характеристик топологии осмотра сложных изображений превышает таковую при просмотре простых текстурных изображений. Аналогичное различие обнаружено между тестами свободного осмотра и поиска измененных фрагментов тех же изображений. Эти результаты указывают на то, что индивидуальные различия испытуемых в стратегии осмотра, определяемые, по-видимому, механизмами зрительного восприятия высокого уровня, нивелируются при просмотре простых изображений и при решении задачи поиска измененных фрагментов изображений. Сопоставление с результатами имитационного моделирования при изменении параметров входного окна позволяет предположить, что при решении этих зрительных задач доминирует пространственное зрительное внимание [2], основной вклад в

Динамика пространственно-временных характеристик осмотра изображений: модель и эксперимент

формирование которого вносят механизмы первичного сенсорного уровня.

Наряду с площадью сканирования (осмотра), существенный интерес в плане сопоставления результатов имитационного моделирования и психофизического эксперимента представляют две другие характеристики топологии осмотра, протестированные в данной работе. Одна из них – интегральный параметр X_i , объединяющий длительность текущей фиксации и ее пространственные отношения с предшествующей и последующей фиксациями взгляда; вторая – последовательность 1°-х смещений входного окна (микросаккад). Обе эти характеристики (и их модификации в перспективе) описывают текущие фрагменты траектории осмотра и могут быть использованы как дополнительные компоненты в функции притяжения взгляда и формирования траектории осмотра изображений в формуле (1). Предполагается, что детализация протестированных характеристик позволит объективно оценивать вклад механизмов пространственного и фокального внимания и получить количественные критерии оценки зрительной задачи, решаемой в текущем периоде осмотра изображения. В частности, резкое уменьшение площади осмотра, коррелирующее с аналогичным увеличением количества последовательных 1°-х саккад, может свидетельствовать о преобладании механизмов фокального внимания в текущем фрагменте траектории осмотра изображения. Кроме того, обнаруженная в вычислительных экспериментах выраженная динамика 1°-х смещений входного окна открывает возможность моделирования микросаккад во время фиксации взгляда человека [21].

Некоторые результаты, полученные при имитационном моделировании, могут быть сопоставлены с известными сведениями психофизических исследований. В частности, динамика площади области осмотра текстурных изображений, обнаруженная при изменении размера входного окна модели, коррелирует с данными об особенностях осмотра сложных изображений человеком при ограничении поля зрения [22]. Такая корреляция позволяет предположить, что существенный вклад в феномены, описанные в цитированной работе, вносят механизмы первичного сенсорного уровня.

Литература

1. Барабанщиков В.А. Окуломоторные структуры восприятия. - М: Издательство "Институт психологии РАН", 1997.
2. Величковский Б.М. Успехи когнитивных наук. // В мире науки 12, 87–93 (2003).
3. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. - М.: Наука, 1965.
4. Oliva A., Torralba A., Castelano M.S., Henderson J. Top-down control of visual attention in object detection // In Proc. Int. Conf. on Image Processing (ICIP) 1, 253-256 (2003).
5. Wolfe J.M., Birnkrant R.S., Kuanar M.A., Horowitz T.S. Visual search for transparency and opacity: attentional guidance by cue combination? // J. Vision. №5, 257-274 (2005).
6. Navalpakkam V., Itti L. Modeling the influence of task on attention // Vision Research 45, 205-231 (2005).
7. Privitera C.M., Stark L. Scanpath theory, attention and image processing algorithms for prediction of human eye fixations // Neurobiology of Attention. Elsevier, Academic, 296-299 (2005).

Осинов В.А., Шапошников Д.Г., Колтунова Т.И.,
Подладчикова Л.Н.

8. Zelinsky G.J. Specifying the components of attention in a visual search task // *Neurobiology of Attention*. Elsevier, Academic, 395-400 (2005).
9. Nuthmann A., Smith T.J., Engbert R., Henderson J.M. CRISP: a computational model of fixation durations in scene viewing // *Psychological Review* 117, №2, 382-405 (2010).
10. Walther D.B., Koch C. Attention in hierarchical models of object recognition // *Progress in Brain Research*. Elsevier, 165, 57-78 (2007).
11. Podladchikova L.N., Shaposhnikov D.G., Tikidgji-Hamburyan A.V., Koltunova T.I., Tikidgji-Hamburyan R.A., Gusakova V.I., Golovan A.V. Model-based approach to study the mechanisms of complex image viewing // *J. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)* 18. №2, 114-121 (2009).
12. Podladchikova L.N., Shaposhnikov D.G., Koltunova T.I., Dyachenko A.V., Gusakova V.I. Temporal dynamics of fixation duration, saccade amplitude, and viewing trajectory // *J. of Integrative Neuroscience* 8. №4, 487-501 (2009).
13. Подладчикова Л.Н., Колтунова Т.И., Белова Е.И., Тикиджи-Хамбурьян Р.А., Ищенко И.А., Шапошников Д.Г. Нейроинформационный подход к исследованию нейронных и системных механизмов зрительного восприятия // В мат-х 13-ой всерос. н.-т. конф. "Нейроинформатика 2011": Лекции по нейроинформатике. М.: НИЯУ МИФИ. 185-217 (2011).
14. 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, 663-670 (2005).
15. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. - Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987.
16. Aloimonus J. Weiss I., Bandyopadhyay A. Active vision // *Proc. of Int. Joint Conf. on Computer Vision* 35-54 (1987).
17. Bajcsy R. Active perception // *Proc. of the IEEE* 76, 996-1005 (1988).
18. Ungerleider L.G., Mishkin M. Two cortical visual systems. // In: Ingle D.J., Goodale, M.A., and Mansfield, R. J. W. (Eds). *Analysis of Visual Behavior*. Cambridge. MA: MIT Press. 549-586 (1982).
19. Осинов В.А., Шапошников Д.Г., Колтунова Т.И., Подладчикова Л.Н. 2012. Динамика пространственных характеристик осмотра изображений при вариации параметров входного окна модели // В мат-х 14-ой всерос. н.-т. конф. «Нейроинформатика-2012». М.: НИЯУ МИФИ, часть 2, 154-161 (2012).
20. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. - Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
21. Hafed Z.M., Clark J.J. Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts // *Vision Research* 42(22), 2533-2545 (2002).
22. Рожкова Г.И., Ярбус А.Л. Особенности восприятия человеком объектов в условиях работы ограниченных центральных участков сетчатки // *Физиология человека* 3, № 6, 1119-1127 (1977).

Статья поступила 30 ноября 2011 г.
После доработки 1 марта 2012 г.