

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ



УДК 612.821

Научная статья

<https://doi.org/10.23947/2658-7165-2023-6-3-59-68>



Вклад в управление экзогенным вниманием зрительных признаков второго порядка при решении задачи опознания

Евгений Г. Родионов , Денис В. Явна , Виталий В. Бабенко

Южный федеральный университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42

✉ ew.rodionov@gmail.com

Аннотация

Введение. Известно, что целями экзогенного внимания являются наиболее информативные области зрительной сцены. Результаты последних научных работ указывают на ведущую роль в решении различных зрительных задач признаков второго порядка — пространственных неоднородностей градиентов яркости. Однако вопрос о приоритетности для внимания тех или иных пространственных неоднородностей изучен недостаточно.

Цель. Определение, в какой степени пространственные модуляции разной размерности приоритетны для экзогенного внимания наблюдателя при решении задачи зрительного опознания.

Материалы и методы. С помощью компьютерной модели зрительных фильтров второго порядка из полутонных изображений объектов естественной и искусственной природы была удалена вся информация, кроме модуляций определенной размерности. В эксперименте 1 за внимание конкурировали изображения разной размерности модуляций, но с равным частотным наполнением. В эксперименте 2 все три изображения, конкурировавшие за внимание, были представлены одной размерностью модуляций, но с разным частотным наполнением. В качестве показателя привлечения внимания был использован первый после появления стимула перевод взгляда испытуемого. В исследовании приняли участие 75 испытуемых в возрасте от 19 до 23 лет с нормальным или скорректированным до нормы зрением. Для определения статистической значимости полученных результатов использовался критерий χ^2 .

Результаты исследования. Было обнаружено, что среди изображений разной размерности модуляций внимание чаще привлекали модуляции контраста и ориентации. В случае же, когда за внимание конкурировали модуляции одной размерности, приоритетность изображений падала с ростом пространственной частоты несущей.

Обсуждение и заключение. Полученный результат объясняется тем, что в конкуренции за экзогенное внимание преимущество остаётся за областями с большей амплитудой модуляции градиентов яркости.

Ключевые слова: пространственные модуляции, фильтры второго порядка, движения глаз, конкуренция за внимание, зрительное опознание

Для цитирования. Родионов, Е. Г., Явна, Д. В., Бабенко, В. В. (2023). Вклад в управление экзогенным вниманием зрительных признаков второго порядка при решении задачи опознания. *Инновационная наука: психология, педагогика, дефектология*, 6(3), 59–68. <https://doi.org/10.23947/2658-7165-2023-6-3-59-68>

Contribution of Second-Order Visual Clues to the Management of Exogenous Attention in Solving the Identification Problem

Eugeny G. Rodionov , Denis V. Yavna , Vitali V. Babenko 

Southern Federal University, 105/42, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ ew.rodionov@gmail.com

Abstract

Introduction. It is known that the goals of exogenous attention are the most informative areas of the visual field. The results of recent scientific papers indicate a leading role in solving various visual problems of second-order clues — spatial inhomogeneities of brightness gradients. However, the question of the priority for the attention of particular spatial inhomogeneities has not been sufficiently studied.

Purpose. To set the extent to which spatial modulations of different dimensions are prioritized for the observer's exogenous attention when solving the problem of visual identification.

Materials and Methods. With the help of a computer model of second-order visual filters, all information was removed from halftone images of objects of natural and artificial origins, except for modulations of a particular dimension. In experiment 1, images of different modulation dimensions competed for attention but with equal frequency content. In experiment 2, all three images competing for attention were represented by the same modulation dimension but with different frequency content. As an indicator of attracting attention, the first translation of the subject's gaze after the appearance of the stimulus was used. The study involved 75 subjects aged 19 to 23 with normal or adjusted-to-normal vision. The criterion χ^2 was used to determine the statistical significance of the results obtained.

Results. It was found that among images of different dimensions of modulations, contrast and orientation modulations attracted attention more often. In the case when modulations of the same dimension competed for attention, the priority of images fell with an increase in the spatial frequency of the carrier.

Discussion and Conclusion. The result obtained is explained by the fact that in the competition for exogenous attention, the advantage remains for areas with a larger amplitude of modulation of brightness gradients.

Keywords: spatial modulations, second-order filters, eye movements, competition for attention, visual identification

For citation. Rodionov, E. G., Yavna, D. V., Babenko, V. V. (2023). Contribution of second-order visual clues to the management of exogenous attention in solving the identification problem. *Innovative Science: psychology, pedagogy, defectology*, 6(3), 59–68. <https://doi.org/10.23947/2658-7165-2023-6-3-59-68>

Введение

Процессы экзогенного внимания позволяют мозгу эффективно обрабатывать информацию, выделяя в зрительной сцене наиболее информативные области. Установлено, что процессы экзогенного ориентирования управляются «снизу», т. е. зависят от физических характеристик зрительной сцены (Theeuwes, 2010). Считается, что экзогенное внимание отбирает для дальнейшей обработки определенные области зрительной сцены, и эти области могут конкурировать между собой. Очевидно, что наиболее информативными областями зрительной сцены являются области неоднородностей. Долгое время считалось, что такие неоднородности должны быть представлены градиентами яркости разной ориентации и пространственной частоты, поскольку стриарные нейроны зрительной коры выделяют именно эти признаки (Hubel & Wiesel, 1962; Jones & Palmer, 1987). Однако вскоре стало ясно, что, наряду с локальными признаками, зрительная система выделяет также и пространственные неоднородности, представленные модуляциями градиентов яркости (Sutter et al., 1989; Zhou et al., 2015; Victor et al., 2017). Такие неоднородности могут иметь разную размерность.

Под термином «размерность» подразумевается модулируемый параметр локальных параметров изображения. Так, можно выделить три размерности: модуляции контраста, ориентации и пространственной частоты градиентов яркости. Было установлено, что в экстрастриарных зонах зрительной коры функционируют специальные клетки, чувствительные к такого рода неоднородностям (Albright, 1992; Mareschal & Baker, 1998). Открытие этих клеток на нейрофизиологическом уровне подтвердило идею, согласно которой в зрительной системе функционируют т. н. фильтры второго порядка, группирующие ответы фильтров первого порядка — простых стриарных нейронов — на относительно крупных участках поля зрения (Sutter et al., 1989; Babenko & Ermakov, 2015).

Как показывают результаты ряда исследований, пространственные неоднородности могут привлекать внимание наблюдателя (‘t Hart et al., 2013; He et al., 2020). Однако вопрос о том, каков вклад в управление экзогенным вниманием каждой из размерностей модуляций, изучен недостаточно. Кроме того, открытым остается вопрос о распределении приоритетов в зависимости от пространственной частоты объединяемых градиентов яркости. В недавних исследованиях Бабенко с соавт. (2020) было установлено, что при решении задач обнаружения и различения приоритет внимания отводится модуляциям контраста и ориентации (Бабенко и Явна, 2018). В этих же работах было показано, что приоритетность для внимания снижается с ростом пространственной частоты изображений.

Целью нашей текущей работы было определить, в какой степени пространственные модуляции разной размерности приоритетны для экзогенного внимания наблюдателя при решении задачи зрительного опознания. Для достижения поставленной цели мы использовали полутоновые изображения объектов естественной и искусственной природы, обработанные компьютерной моделью зрительных фильтров второго порядка (Бабенко и Явна, 2018).

Материалы и методы

Испытуемые. В исследовании приняли участие 75 человек в возрасте от 19 до 23 лет с нормальным или скорректированным до нормы зрением.

Аппаратура. Для регистрации движений глаз был использован трекер RED-m SensoMotoric Instruments GmbH (SMI). Демонстрация стимулов осуществлялась на дисплее ViewSonic VX2263Smhl с разрешением 1920 на 1080. Процедура предъявления стимулов была организована в программе SMI Experiment Center 3.6.

Стимулы. Для организации ситуации конкуренции за внимание различных пространственных модуляций градиентов яркости мы использовали изображения, составленные из модуляций контраста, ориентации и пространственной частоты. Используя компьютерную модель зрительных фильтров второго порядка (Бабенко и Явна, 2018), мы обработали приведённые к единому размеру полутоновые изображения ста объектов естественной и искусственной природы. В результате обработки из этих изображений была удалена вся информация, кроме той, что описывала модуляции определённой размерности. Области, описывающие модуляции контраста, ориентации и пространственной частоты, были последовательно выделены в каждом из трёх частотных диапазонов: 2, 4 и 8 циклов на угловой градус. Из полученных изображений создавались стимулы.

Создание стимулов производилось следующим образом. Для формирования стимулов первого эксперимента, на серый фон помещались 3 изображения разной размерности, но равные по пространственной частоте объединяемых градиентов яркости. Стимулы, использованные во втором эксперименте, были представлены тремя изображениями одной определённой размерности, но с разным частотным наполнением (2, 4 и 8 цикл./град). Каждое изображение имело одинаковый размер — 3,7 угл. град. Пример того, как обрабатывалось исходное изображение для стимулов настоящего эксперимента, представлен на рисунке 1.

Дизайн. Исследование включало два эксперимента. В первом за внимание испытуемого конкурировали три изображения, каждое из которых было составлено из модуляции одной размерности в каждом из трёх диапазонов пространственных частот: на рисунке 1 такие изображения обозначены буквой С. Во втором — изображения, составленные из модуляции одной и той же размерности, но с разным частотным наполнением — 2, 4 и 8 цикла/градус соответственно.

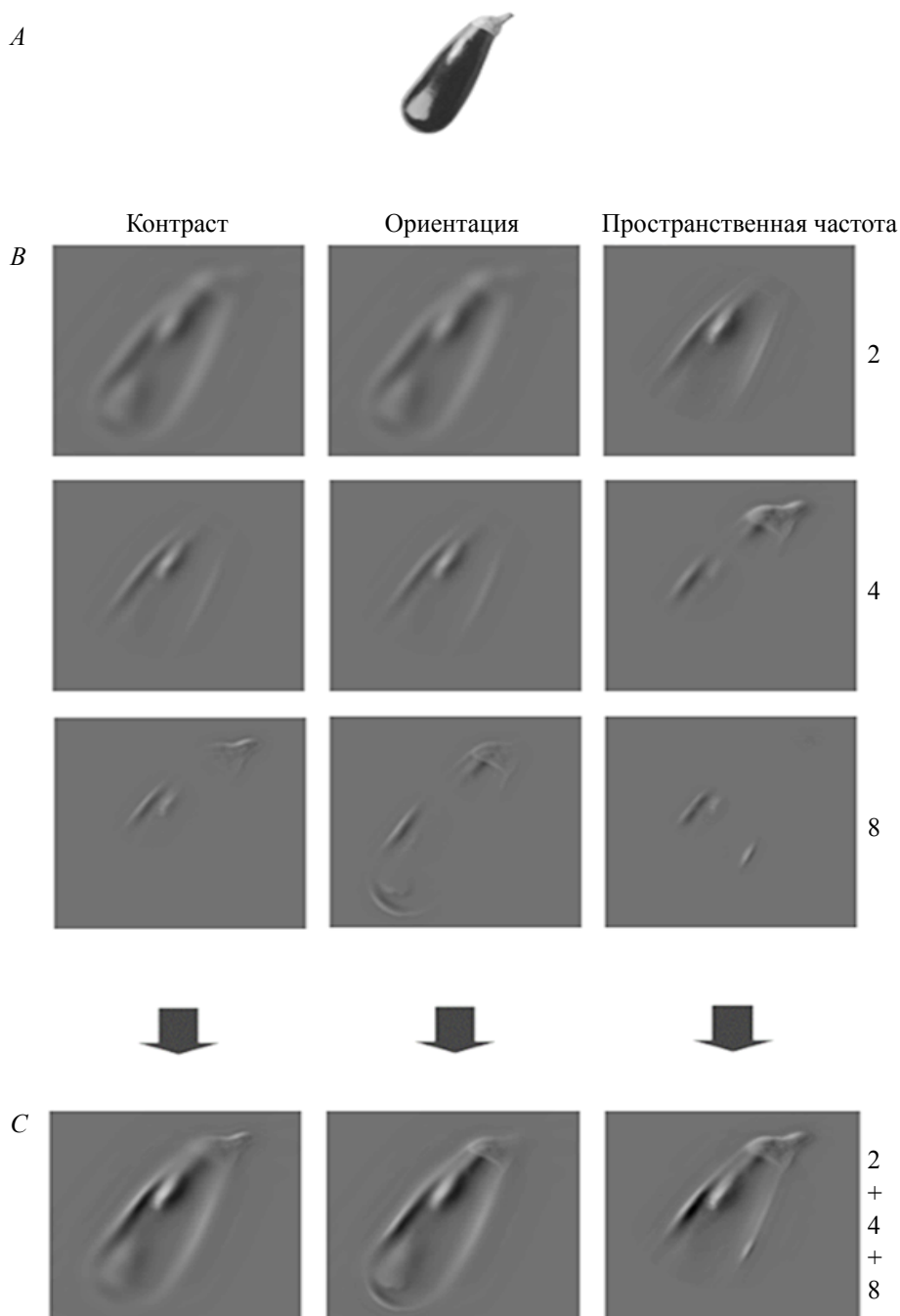
Процедура. Перед предъявлением каждого нового стимула в центре экрана появлялось изображение одного из объектов, содержащихся в будущем стимуле, но не подвергнутое обработке компьютерной моделью зрительных фильтров второго порядка (рис. 1, под буквой «А»). Это изображение являлось эталоном для опознания, и следующий за ним стимул всегда содержал обработанную версию данного изображения. Эталонное изображение предъявлялось в течение одной секунды, затем следовала пауза в полсекунды, в течение которой в центре экрана загоралось черное перекрестие, после чего на одну секунду предъявлялся стимул. Испытуемый получал инструкцию фиксировать взгляд на перекрестии всякий раз, когда оно появляется на экране. Как только перекрестие исчезало, испытуемый видел на экране стимул и мог свободно осматривать его. Задача испытуемого заключалась в том, чтобы найти среди изображений, содержащихся в стимуле, эталонный объект, предъявленный перед стимулом, и сообщить его местоположение ориентируясь на циферблат часов. Перед началом первого эксперимента испытуемый проходил тренировочную серию, состоящую из десяти проб.

Обработка. Анализ фиксаций взора осуществлялся с помощью программы SMI IDF Event Detector 3.0.20. Учитывались только саккады с латентным периодом более 150 мс. Из анализа исключались пробы, в которых

взгляд не был фиксирован по центру экрана в момент предъявления стимула. Для каждой пробы определялось, какое из изображений стимула стало целью первого перевода взора испытуемого. Затем для каждого испытуемого вычислялось процентное соотношение первых переводов взора на изображения, содержащиеся в стимуле. Для определения статистической значимости полученных результатов использовался критерий χ^2 .

Рисунок 1

Пример изображений для формирования стимулов



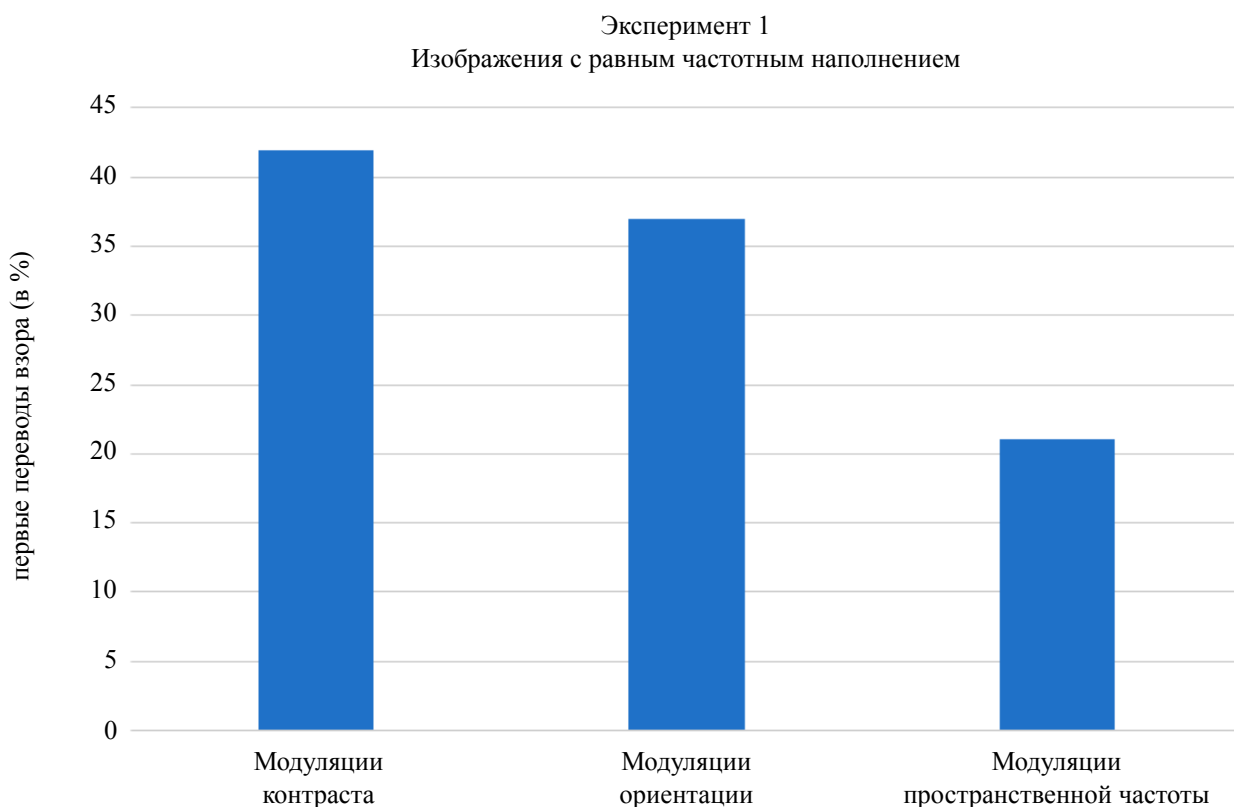
Примечание. *A* — изображение до обработки компьютерной моделью зрительных фильтров второго порядка; *B* — изображения, полученные с помощью компьютерной модели, составленные из областей максимумов модуляций (подписи сверху), выделенных в каждом из частотных диапазонов (подписи справа); *C* — изображения, составленные из областей максимумов модуляций в каждом из частотных диапазонов. Справа указаны частотные характеристики изображений в цикл./град.

Результаты исследования

Эксперимент 1. Гистограммы, отражающие обнаруженные различия, представлены на рисунке 2. Наивысший приоритет в данной задаче получила модуляция контраста — первый перевод взора на такие изображения осуществлялся с вероятностью 42 %. В 37 % случаев приоритет оставался за модуляциями ориентации. На изображения, составленные из модуляций пространственной частоты, приходилось не более 22 % первых переводов взора. Различия оказались значимы на уровне $p < 0,001$ ($\chi^2 = 223,47$). На рисунке 3 представлено изображение одного из стимулов эксперимента с указанием точек фиксации первых переводов взоров испытуемых.

Рисунок 2

Результаты статистического сравнения распределения первых фиксаций взора для эксперимента 1

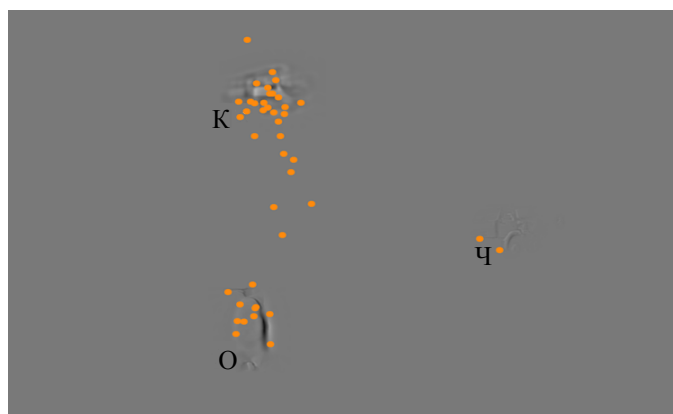


Примечание. По вертикали указаны проценты, отражающие суммарное количество первых переводов взора для всех испытуемых. По горизонтали — размерности модуляций, из которых были составлены изображения.

Таким образом, приоритет внимания для каждой из пространственных модуляций распределен неравномерно. При решении задачи зрительного опознания первый перевод взора чаще приходится на изображения, сформированные из модуляций контраста и ориентации, реже — модуляций пространственной частоты.

Рисунок 3

Стимул, предъявляемый в эксперименте 1



Примечание. Буквами К, О и Ч обозначены изображения, представленные модуляциями контраста, ориентации и пространственной частоты соответственно. Точками указаны фиксации взора испытуемых после первого перевода взора. В реальных стимулах буквенные обозначения и указатели точек фиксаций отсутствовали.

Эксперимент 2. Данный эксперимент состоял из трех серий, в каждой из которых за внимание конкурировали изображения, составленные из одной определенной модуляции, но с разным частотным наполнением. В качестве показателя смещения внимания был использован первый после предъявления стимула перевод взора испытуемого.

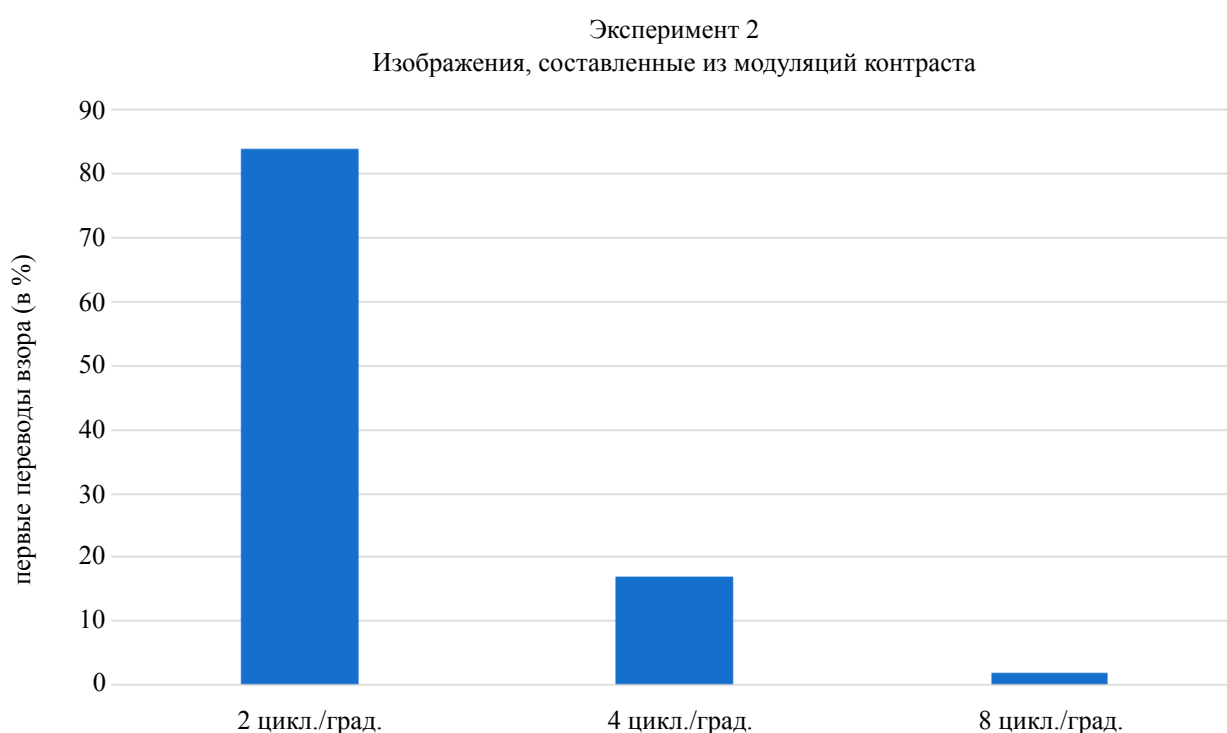
Серия 1. В ситуации конкуренции за внимание изображений, сформированных из модуляций контраста разной пространственной частоты, первый перевод взора чаще приходился на изображения с низкой пространственной частотой несущей. Повышение пространственной частоты снижало вероятность привлечения внимания такими изображениями (рис. 4). Различия оказались значимы на уровне $p < 0,001$ ($\chi^2 = 4055,54$).

Серия 2. В данной серии за внимание конкурировали изображения, представленные модуляциями ориентации разной пространственной частоты. Распределение первых переводов взора на настоящем этапе оказалось схожим с наблюдаемым в серии 1. Здесь также значительно чаще внимание привлекали стимулы, имевшие наименьшую пространственную частоту — 2 цикл./град. С увеличением пространственной частоты вероятность привлечения внимания снижалась (рис. 5). Различия оказались значимы на уровне $p < 0,001$ ($\chi^2 = 2072,59$).

Серия 3. Когда все три изображения стимула были представлены модуляциями пространственной частоты, наблюдалась отмеченная в предыдущих сериях эксперимента тенденция. С повышением пространственной частоты несущей вероятность первого перевода взора на такие изображения снижалась (Рис. 6). Различия оказались значимы на уровне $p < 0,001$ ($\chi^2 = 2995,09$).

Рисунок 4

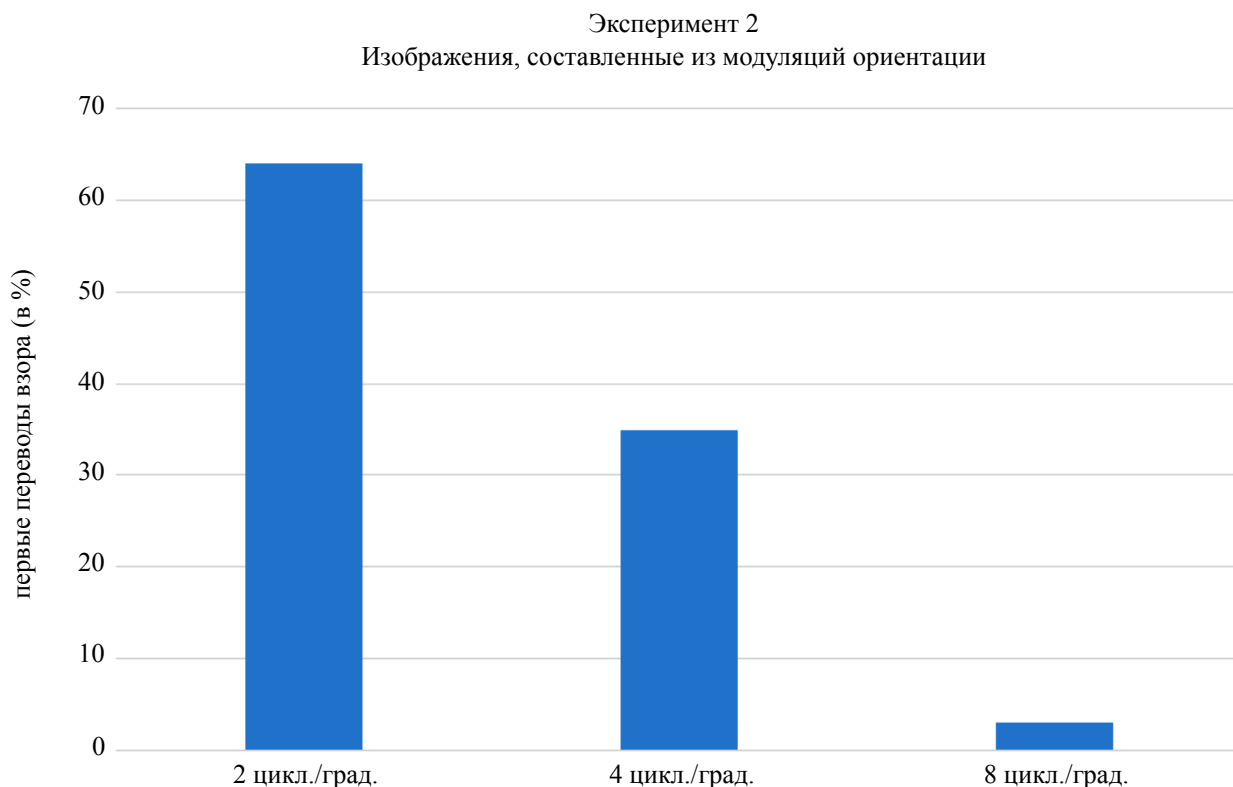
Результаты статистического сравнения первых фиксаций взора для серии 1 эксперимента 2



Примечание. По вертикали указаны проценты, отражающие суммарное количество первых переводов взора для всех испытуемых. По горизонтали — пространственная частота изображений.

Рисунок 5

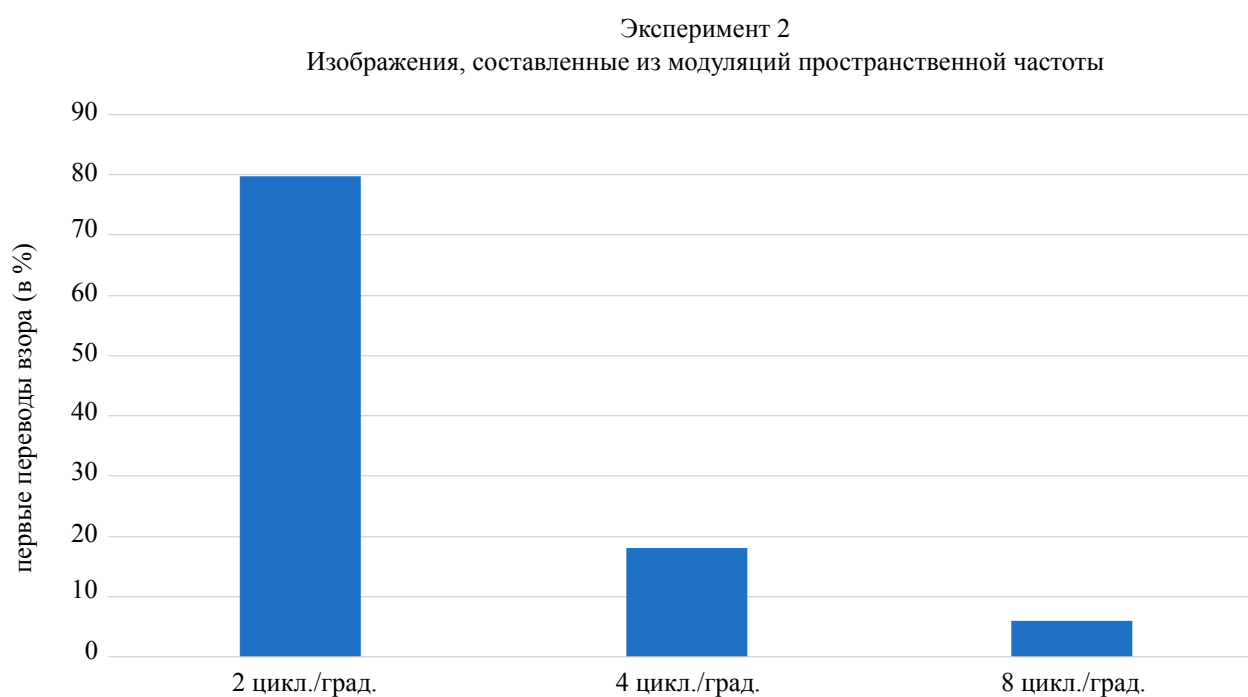
Результаты статистического сравнения первых фиксаций взора для серии 2 эксперимента 2



Примечание. По вертикали указаны проценты, отражающие суммарное количество первых переводов взора для всех испытуемых. По горизонтали — пространственная частота изображений.

Рисунок 6

Результаты статистического сравнения первых фиксаций взора для серии 3 эксперимента 2



Примечание. По вертикали указаны проценты, отражающие суммарное количество первых переводов взора для всех испытуемых. По горизонтали — пространственная частота изображений.

Таким образом, результаты эксперимента 2 в задаче опознания показали, что внимание чаще привлекалось к изображениям, составленным из низкой пространственной частоты. С увеличением пространственной частоты изображения становились менее приоритетными для первого перевода взора. Это оказалось справедливым для каждой из представленных модуляций.

Обсуждение и заключение

Целью настоящего исследования выступало определение, в какой степени пространственные модуляции разной размерности приоритетны для экзогенного внимания наблюдателя при решении задачи зрительного опознания.

Естественные изображения обычно содержат области всех трёх пространственных модуляций. Одновременное присутствие каждой из модуляций создает ситуацию конкуренции за внимание этих областей между собой. Для решения проблемы восходящего контроля вниманием необходимо конкретизировать распределение приоритетности пространственных модуляций в решении зрительных задач. Чтобы осуществить это, мы создали ситуацию конкуренции за внимание модуляций контраста, ориентации и пространственной частоты.

В первой серии экспериментов, исключив из изображений привычных объектов естественной и искусственной природы все области, кроме областей максимума амплитуд перечисленных модуляций, и приведя полученные изображения к единому размеру, мы получили изображения, отличающиеся либо размерностью модуляций, либо пространственной частотой модулированных градиентов яркости. Затем мы поместили по одному изображению, содержащему области пространственных модуляций контраста, ориентации или пространственной частоты, на равном удалении от центра и друг от друга: благодаря размеру изображений (3,7 угл. град.) и радиусу условной окружности, на которой они располагались (5,75 угл. град.), адекватное решение задач посредством периферического зрения было невозможно. Кроме того, испытуемый осматривал сцену в условиях ограниченного времени и не мог использовать какую-либо заранее определённую тактику осмотра. Это ставило во главу угла восходящие влияния физических свойств зрительной сцены.

Надежным показателем смещения внимания традиционно считается перевод взора (Барабанщиков и Жегалло, 2013). Именно смещение перевода взора испытуемых было использовано нами в качестве надежного показателя смещения внимания. Другая проблема, требующая нашего принципиального решения, заключалась в отделении восходящего управления вниманием от нисходящего (Theeuwes et al., 1999). Известно, что непроизвольное управление вниманием характерно только для самых ранних саккад (Donk & van Zoest, 2008). Направление же самого первого перевода взора определяется автоматически (Theeuwes et al., 1999). Поскольку нас интересовало экзогенное управление вниманием, продуцируемое именно физическими характеристиками зрительной сцены, в своих экспериментах мы учитывали только первый после предъявления стимула перевод взора.

Оказалось, что пространственные модуляции в разной степени привлекают экзогенное внимание в зависимости от размерности. Внимание в большей степени привлекалось модуляциями контраста и ориентации, в меньшей — модуляциями пространственной частоты. Когда же стимул для осмотра включал изображения, составленные из областей наибольших амплитуд одной модуляции, конкурентоспособность изображений в борьбе за внимание снижалась по мере увеличения пространственной частоты.

Чем могут быть объяснены полученные нами результаты? Модуляции, выделенные компьютерной моделью зрительных фильтров второго порядка, оказались неравнозначными по амплитуде. Мы обнаружили, что амплитуда модуляций контраста и ориентации выше, чем амплитуда модуляций пространственной частоты. Для изображений, отличающихся по пространственной частоте несущей, также характерна определенная тенденция: чем ниже пространственная частота, тем выше амплитуда модуляции вне зависимости от размерности. Согласно результатам нашего исследования, с увеличением пространственной частоты модуляций снижается их привлекательность для экзогенного внимания. Таким образом, можно предположить, что привлекательность изображений для экзогенного внимания зависит от амплитуды пространственных модуляций градиентов яркости: чем выше амплитуда, тем больший приоритет такое изображение имеет для экзогенного внимания.

Список литературы

- Бабенко, В. В., и Явна, Д. В. (2018). Конкуренция за внимание пространственных модуляций градиентов яркости. *Российский психологический журнал*, 15(3), 160–189.
- Бабенко, В. В., Явна, Д. В., и Родионов, Е. Г. (2020). Вклад различных пространственных модуляций градиентов яркости в управление зрительным вниманием. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, 70(2), 182–192. <https://doi.org/10.31857/S0044467720020033>

- Барабанщиков, В. А., и Жегалло, А. В. (2014). *Айтрекинг: методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике*. Когито-Центр.
- Albright, T. D. (1992). Form-cue invariant motion processing in primate visual cortex. *Science*, 255(5048), 1141–1143. <https://doi.org/10.1126/science.1546317>
- Babenko, V., & Ermakov, P. (2015). Specificity of brain reactions to second-order visual stimuli. *Visual Neuroscience*, 32, E011. <https://doi.org/10.1017/S0952523815000085>
- Donk, M., & van Zoest, W. (2008). Effects of salience are short-lived. *Psychological Science*, 19(7), 733–739. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02149.x>
- He, N., Fang, L., & Plaza, A. (2020). Hybrid first and second order attention Unet for building segmentation in remote sensing images. *Science China Information Sciences*, 63, 140305. <http://doi.org/10.1007/s11432-019-2791-7>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology*, 160(1), 106–154. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1962.sp006837>
- Jones, J. P., & Palmer, L. A. (1987). An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex. *Journal of Neurophysiology*, 58(6), 1233–1258. <https://doi.org/10.1152/jn.1987.58.6.1233>
- Mareschal, I., & Baker, C. L. (1998). Temporal and spatial response to second-order stimuli in cat area 18. *Journal of Neurophysiology*, 80(6), 2811–2823. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.6.2811>
- Sutter, A., Beck, J., & Graham, N. (1989). Contrast and spatial variables in texture segregation: Testing a simple spatial-frequency channels model. *Perception & Psychophysics*, 46, 312–332. <https://doi.org/10.3758/BF03204985>
- 't Hart, B. M., Schmidt, H. C., Klein-Harmeyer, I., & Einhäuser, W. (2013). Attention in natural scenes: Contrast affects rapid visual processing and fixations alike. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 368(1628), 20130067. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0067>
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., Irwin, D. E., & Zelinsky, G. J. (1999). Influence of attentional capture on oculomotor control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25(6), 1595–1608. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.25.6.1595>
- Victor, J. D., Conte, M. M., & Chubb, C. F. (2017). Textures as probes of visual processing. *Annual Review of Vision Science*, 3, 275–296. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-102016-061316>
- Zhou, J., Yan, F., Lu, Z.-L., Zhou, Y., Xi, J., & Huang, C.-B. (2015). Broad bandwidth of perceptual learning in second-order contrast modulation detection. *Journal of Vision*, 15(2), 20.

References

- Babenko, V. V. & Yavna, D. V. (2018). Competition for Attention Among Spatial Modulations of Brightness Gradients. *Russian Psychological Journal*, 15(3), 160–189. (In Russ.).
- Babenko, V. V., Yavna, D. V., & Rodionov, E. G. (2020). Contribution of different spatial modulations of brightness gradients to the control of visual attention. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I. P. Pavlova*, 70(2), 182–192. <https://doi.org/10.31857/S0044467720020033> (In Russ.).
- Barabanshikov V. A. & Zhegallo A. V. (2014). *Eyetracking: Methods for registering eye movements in psychological research and practice*. Kogito-Center Publishing House. (In Russ.).
- Albright, T. D. (1992). Form-cue invariant motion processing in primate visual cortex. *Science*, 255(5048), 1141–1143. <https://doi.org/10.1126/science.1546317>
- Babenko, V., & Ermakov, P. (2015). Specificity of brain reactions to second-order visual stimuli. *Visual Neuroscience*, 32, E011. <https://doi.org/10.1017/S0952523815000085>
- Donk, M., & van Zoest, W. (2008). Effects of salience are short-lived. *Psychological Science*, 19(7), 733–739. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02149.x>
- He, N., Fang, L., & Plaza, A. (2020). Hybrid first and second order attention Unet for building segmentation in remote sensing images. *Science China Information Sciences*, 63, 140305. <http://doi.org/10.1007/s11432-019-2791-7>
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of Physiology*, 160(1), 106–154. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1962.sp006837>
- Jones, J. P., & Palmer, L. A. (1987). An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex. *Journal of Neurophysiology*, 58(6), 1233–1258. <https://doi.org/10.1152/jn.1987.58.6.1233>

- Mareschal, I., & Baker, C. L. (1998). Temporal and spatial response to second-order stimuli in cat area 18. *Journal of Neurophysiology*, 80(6), 2811–2823. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.6.2811>
- Sutter, A., Beck, J., & Graham, N. (1989). Contrast and spatial variables in texture segregation: Testing a simple spatial-frequency channels model. *Perception & Psychophysics*, 46, 312–332. <https://doi.org/10.3758/BF03204985>
- ‘t Hart, B. M., Schmidt, H. C., Klein-Harmeyer, I., & Einhäuser, W. (2013). Attention in natural scenes: Contrast affects rapid visual processing and fixations alike. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 368(1628), 20130067. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0067>
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., Irwin, D. E., & Zelinsky, G. J. (1999). Influence of attentional capture on oculomotor control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 25(6), 1595–1608. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.25.6.1595>
- Victor, J. D., Conte, M. M., & Chubb, C. F. (2017). Textures as probes of visual processing. *Annual Review of Vision Science*, 3, 275–296. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-102016-061316>
- Zhou, J., Yan, F., Lu, Z-L., Zhou, Y., Xi, J., & Huang, C-B. (2015). Broad bandwidth of perceptual learning in second-order contrast modulation detection. *Journal of Vision*, 15(2), 20.

Об авторах:

Родионов Евгений Геннадьевич, преподаватель, Южный федеральный университет (344006, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42), [ScopusID](#), [ORCID](#), ew.rodionov@gmail.com

Явна Денис Викторович, кандидат психологических наук, доцент, Южный федеральный университет (344006, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), [ORCID](#), yavna@fortran.su

Бабенко Виталий Вадимович, доктор биологических наук, профессор, Южный федеральный университет (344006, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), [ORCID](#), babenko@sfedu.ru

Поступила в редакцию 15.05.2023

Поступила после рецензирования 01.06.2023

Принята к публикации 02.06.2023

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Rodionov Eugeni G., Lecturer, Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, RF), [ScopusID](#), [ORCID](#), ew.rodionov@gmail.com

Yavna Denis V., Cand. Sci. (Psychology), Associate Professor, Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, RF), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), [ORCID](#), yavna@fortran.su

Babenko Vitali V., Dr. Sci. (Biology), Professor, Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, RF), [ScopusID](#), [ResearcherID](#), [ORCID](#), babenko@sfedu.ru

Received 15.05.2023

Revised 01.06.2023

Accepted 02.06.2023

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.