

СООТНОШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНЫХ НАСТРОЕК ЗРИТЕЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА¹

© 2010 г. В. В. Бабенко*, П. Н. Ермаков**, М. А. Божинская***

**Доктор биологических наук, профессор кафедры психофизиологии
и клинической психологии, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону;
e-mail: bvv@psyf.rsu.ru*

***Член-корреспондент РАО, доктор биологических наук,
зав. кафедрой психофизиологии и клинической психологии, там же;
e-mail: paver@rsu.ru*

****Аспирант, там же*

Результаты исследований последних лет указывают на существование преаттентивного механизма пространственного группирования зрительной информации, образованного фильтрами второго порядка. Цель исследования – определить правило объединения выходов фильтров первого порядка на фильтрах второго порядка. Для решения поставленной задачи использовали шахматные текстуры, составленные из Габоровских элементов. Это позволило избежать артефактов, характерных для “шумовых” текстур. Определяли пороговую амплитуду модуляции контраста, ориентации или пространственной частоты при разном отношении частот огибающей и несущей. Установлено, что порог обнаружения модуляции минимален при определенном отношении частот. При изменении частоты несущей оптимальное отношение остается неизменным. Это указывает на то, что группирование фильтров первого порядка на механизмах второго порядка подчиняется определенному универсальному правилу.

Ключевые слова: преаттентивное зрение, пространственное группирование, текстуры, модуляция.

Рассматривая зрительную сцену, мы последовательно направляем свое внимание на находящиеся там объекты. Субъективно это выглядит именно так. Однако понятно, что внимание направляется не на реальные объекты внешнего мира, а на результаты предварительной обработки видимой сцены. Эта предобработка происходит в сетчатке, НКТ и стриарной коре (возможно и дальше), автоматизирована и осуществляется параллельно по всему полю зрения. То есть можно сказать, что “прожектор внимания” последовательно направляется не на реальный, а на “преаттентивный мир”. Чтобы понять, как организован процесс зрительного восприятия, что представляют собой когнитивные информационные блоки, передаваемые вниманием на уровень опознания, важно понять, что представляет собой этот преаттентивный мир.

Известно, что параллельная обработка начинается с разбиения сцены на множество локальных

фрагментов, каждый из которых анализируется в значительной степени независимо [4, 17, 25]. В результате выделяются так называемые примитивы – элементарные признаки изображений. Если говорить о пространственных признаках, то речь в данном случае может идти о локализации градиентов яркости, их ориентации и пространственной частоте.

Затем из этих примитивов зрительная система должна “собрать” отдельные объекты. Но как это происходит? В литературе проблема пространственного объединения локальной информации получила название “проблема связывания” (*the binding problem*).

Если параллельная обработка завершается выделением примитивов, то преаттентивный мир предстает в виде достаточного хаотичного сочетания никак не связанных локальных сигналов. В этом случае именно избирательное внимание “склеивает” примитивы в единые образы. Но тогда внимание должно заранее “знать”, что и с чем склеивать, ведь соседние признаки могут принадлежать как одному объекту, так и разным. Можно

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ (проект № 08-06-00754а).

предположить, что зрительная система, опираясь на контекст, “выдвигает гипотезы”, а внимание их проверяет, формируя различные варианты пространственных соединений [5, 24, 26]. Но тогда как объяснить, что выделение объектов из фона происходит еще до их узнавания [11, 31]? Как объяснить, что человек с врожденной катарактой обоих глаз после ее удаления сразу приобретает способность выделять отдельные объекты, еще будучи неспособным их узнавать?

Возможно, что параллельная обработка не завершается выделением локальных признаков, а включает также и некий механизм их пространственного группирования. Во всяком случае, автоматическое формирование некоторых когерентных форм вполне реально. Об этом заявляли еще гештальт-психологи. Именно наличие такого претентивного механизма группирования может объяснить эффекты латеральных взаимодействий [1, 27], способность человека разделять текстуры [13, 21, 23] и обнаруживать их градиенты [3, 18, 28], оценивать общий размер и ориентацию объектов [16, 22], воспринимать иллюзорные контуры [12, 29], корректно оценивать движение [9, 10, 30] и т.д.

Для объяснения организации такого механизма была предложена двустадийная модель, в которой фильтры первого порядка избирательны к ориентации и пространственной частоте изменения яркости (простые нейроны стриарной коры), а фильтры второго порядка (постстриарные сложные нейроны) избирательны к пространственным модуляциям простых признаков [6, 9, 15, 30]. Это свойство приобретается ими благодаря объединению выходов фильтров первого порядка. Чтобы функционально разделить эти две стадии фильтрации, между ними была включена нелинейность, в частности выпрямление (*rectification*).

Сегодня факт существования претентивного пространственного группирования можно считать доказанным [2, 7, 8]. Теперь важно понять каково правило объединения фильтров первого порядка на фильтрах второго порядка. Логично предположить, что если речь идет о параллельном автоматическом группировании, то алгоритм такого пространственного объединения информации должен быть универсальным, т.е. подчиняться единому правилу. Подтвердить это предположение можно, доказав существование определенной связи пространственных настроек фильтров первого и второго порядка.

Попытки установить такую связь ранее уже предпринимались, однако они не дали одно-

значного результата. Что касается модуляции контраста, то отношение масштабов описания на уровне фильтров первого и второго порядка по одним данным составляет 3–4 [14], а по другим – 8–16 [28]. Для модуляции ориентации эта величина достигает уже 40–50 [19], а для модуляции пространственной частоты данные отсутствуют.

Одной из возможных причин разноречивости результатов может являться то, что в большинстве работ в качестве несущей использовался бинарный шум, который затем модулировался по контрасту, ориентации или пространственной частоте. Даже будучи отфильтрованным по определенной полосе частот, шум имеет все еще весьма широкий спектр, что затрудняет установление искомой взаимосвязи. Кроме того, использование шума в качестве несущей чревато появлением неконтролируемых артефактов (эффекты нелинейности соседних пикселей, артефакты скопления), которые способны существенно исказить результат.

Для успешного решения данного вопроса необходимо было подобрать такую несущую, которая имела бы узкий частотный спектр и исключала появление указанных артефактов. Мы решили эту задачу, используя в качестве несущей шахматную текстуру, сформированную из габоровских микропаттернов.

Таким образом, в своем исследовании мы исходили из следующих *гипотез*:

- 1) объединение фильтров первого порядка на фильтрах второго порядка подчиняется определенному алгоритму;
- 2) этот алгоритм носит универсальный характер для фильтров с разной пространственной настройкой.

Целью нашего исследования было установление универсального правила, по которому реализуется пространственное объединение локальной зрительной информации.

Для достижения указанной цели решались следующие *задачи*:

- 1) определение оптимального отношения частоты несущей, стимулирующей фильтры первого порядка, и огибающей, воздействующей на фильтры второго порядка (эксперимент 1);
- 2) доказательство универсальности правила объединения на разных пространственных частотах (эксперимент 2).

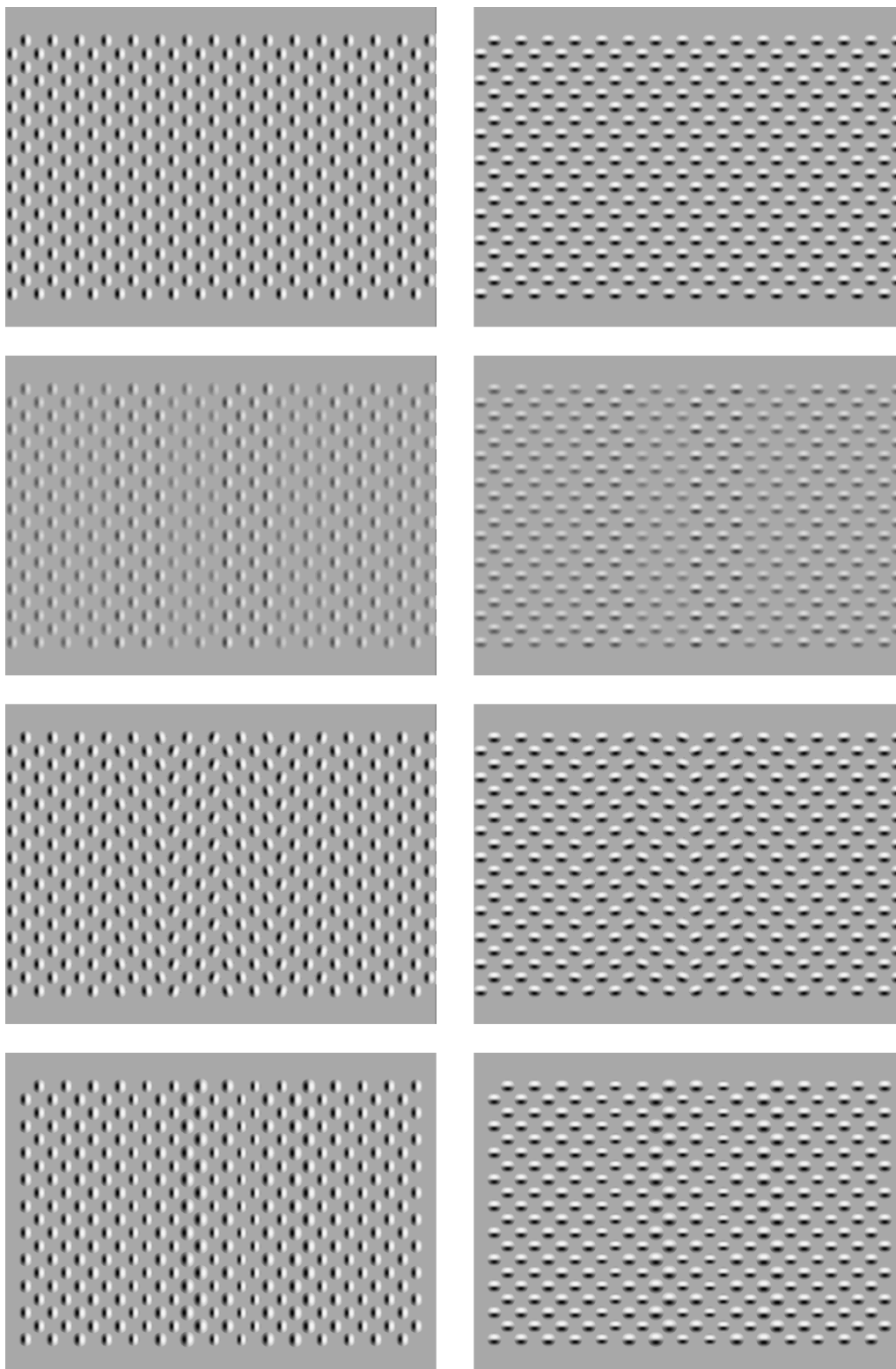


Рис. 1. Примеры использованных текстур. 1 ряд – исходные текстуры, 2 ряд – текстуры, модулированные по контрасту, 3 – по ориентации, 4 – по пространственной частоте. Слева элементы ориентированы вертикально, справа – горизонтально.

МЕТОДИКА

Аппаратура. Основу экспериментальной установки составлял персональный компьютер с процессором *AMD Athlon 1000* МГц, видеокартой *Nvidia GeForce 440 Mx* и монитором *LG Flatron 775FT* с диагональю 15". Размеры экрана в пикселях 1024x768. Частота кадровой развертки устанавливалась на уровне 85 Гц. Применялся режим, позволяющий использовать 256 градаций яркости. Средняя яркость экрана была постоянной и составляла 160 кд/м². Фоновая освещенность в экспериментальном помещении поддерживалась на уровне 30–40 люкс. Испытуемый располагался в кресле перед монитором. Расстояние от глаз до экрана составляло 115 см.

Стимуляция. Для решения поставленной задачи были использованы текстуры, состоящие из габоровских микропаттернов (рис. 1). Благодаря шахматному расположению элементов, частотный спектр исходной текстуры был близок к спектру этой же текстуры, модулированной по контрасту. Тем самым исключалось влияние на результат так называемых *side-band* компонентов, появляющихся при модуляции синусоидальной решетки и шума. При этом частотный спектр несущей оставался постоянным (полная ширина составляла 2.3 октавы на половине максимальной амплитуды).

Исходный паттерн, заполняющий весь экран монитора, модулировался вдоль ширины экрана по контрасту, ориентации или пространственной частоте. Модуляция задавалась синусоидальной функцией (с нулевой точкой в центре экрана), промодулированной полуволной косинусоиды (для устранения краевых эффектов). Отношения пространственной частоты модуляции (огигающая) к исходной пространственной частоте (несущая) были подобраны таким образом, чтобы в разных стимулах составлять 1/32, 1/16, 1/8, 1/4 и 1/2.

Процедура. Для определения пороговой амплитуды модуляции использовали метод постоянных раздражителей. В задачу испытуемого входило определить, присутствует ли модуляция в предъявленном изображении и сообщить о своем решении ("да"/"нет") нажатием соответствующей клавиши. Каждое итоговое значение функции вероятности правильных ответов получено в результате усреднения 400 проб.

Исследование включало два эксперимента. В первом частота несущей составляла 2.3 цикл/град, а во втором была увеличена вдвое – до 4.6 цикл/град. В свою очередь, каждый эксперимент состоял из трех серий.

В *первой серии* был синусоидально модулирован контраст микропаттернов. Исходная величина контраста при этом принималась равной 0.5. Амплитуда модуляции варьировала в диапазоне от 0 до заданного максимального значения с шагом 0.5 дБ. Максимальная амплитуда модуляции принималась равной размаху от 0.35 до 0.71 условных единиц.

Во *второй серии* модулировалась ориентация микропаттернов. Размах модуляции изменялся в диапазоне от 0 до ± 32 град от исходной ориентации с шагом 0.5 дБ.

В *третьей серии* модулировалась пространственная частота паттерна. Амплитуда модуляции варьировала в диапазоне от 0 до заданного максимального значения с шагом 0.1 дБ. Максимальная амплитуда модуляции принималась равной размаху от 0.79 до 2.89 цикл/град.

Показатели и переменные. Для каждого типа модуляции строили индивидуальные зависимости вероятности обнаружения модуляции от ее амплитуды (психометрическую кривую). Для каждой кривой определяли значение амплитуды модуляции, при котором вероятность правильных ответов была на уровне 50%. Затем для каждого испытуемого строили индивидуальные зависимости пороговой амплитуды модуляции от соотношения частот огибающей и несущей. Результаты получены для случаев, когда ось модуляции параллельна и перпендикулярна исходной ориентации элементов текстуры.

Участники исследования. В экспериментах приняли участие пять испытуемых мужского и женского пола с нормальным зрением. Уровень образования – от неполного высшего до высшего. Возрастной диапазон составил от 20 до 50 лет. Испытуемые БМА и БОА участвовали во всех экспериментальных сериях. БАВ принял участие в первой серии, БВВ – во второй, а ПМН – в третьей. Таким образом, в каждой серии участвовало по три испытуемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперимент 1.

Модуляция контраста. В первой серии экспериментов в качестве модулируемого параметра текстуры выступал контраст микропаттернов. Полученные результаты показаны на рис. 2а. На представленных графиках значения, полученные для соотношения частот 1/2, отделены от основной функции, поскольку при этом соотношении пространственное объединение исключено, и задача решается с помощью локальных механизмов.

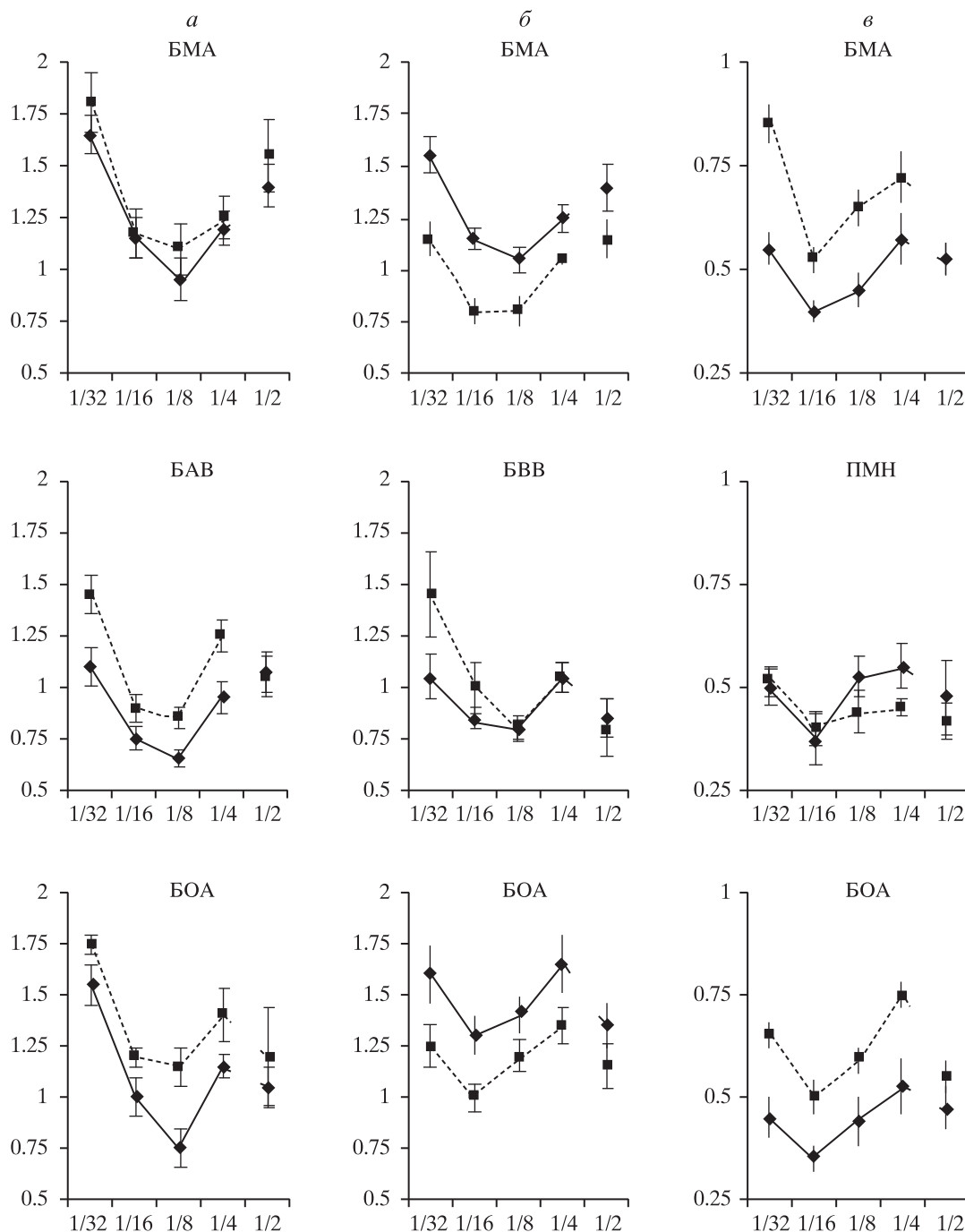


Рис. 2. Зависимость пороговой модуляции от соотношения частот огибающей и несущей. Здесь и далее: колонка *а* – модуляция контраста, *б* – модуляция ориентации, *в* – модуляция пространственной частоты. Сплошная линия – ось модуляции и ориентация элементов текстуры перпендикулярны, пунктир – параллельны. Ось абсцисс – отношение частот огибающей и несущей. Ось ординат – пороговая амплитуда модуляции (дБ).

Первое, что следует констатировать, это наличие выраженного оптимума полученной функции. У всех испытуемых пороговая амплитуда модуляции контраста минимальна при отношении частот огибающей и несущей, равном 1/8. Однако у испытуемых БАВ и БОА оптимум выражен более

четко, чем у БМА. У последнего он как бы несколько растянут, захватывая соседние значения на оси абсцисс.

Второе, что следует отметить, это сходство функций, полученных при разном соотношении осей микропаттернов и модуляции. При этом мо-

дуляция контраста обнаруживается в целом легче при взаимоперпендикулярном расположении осей.

Таким образом, при обнаружении модуляции контраста имеет место определенное отношение частот огибающей и несущей, при котором порог обнаружения минимален; это отношение равно $1/8$.

Модуляция ориентации. Во второй экспериментальной серии модулировалась ориентация микропаттернов. Результаты представлены на рис. 2б. Как и в первой серии, полученные функции демонстрируют наличие оптимума. Однако в данном случае он несколько смещен по оси абсцисс влево. У испытуемого БОА он приходится на $1/16$, в то время как у двух других испытуемых оптимум располагается между $1/16$ и $1/8$.

Как и при модуляции контраста, в случае с ориентацией характер выявленных функций не зависит от соотношения осей микропаттернов и модуляции. Однако, в отличие от предыдущей серии, модуляция ориентации обнаруживается легче при совпадении осей.

Таким образом, при обнаружении модуляции ориентации также имеется определенное отношение частот огибающей и несущей, при котором порог минимален. Оптимум находится между значениями $1/16$ и $1/8$.

Модуляция пространственной частоты. В третьей серии экспериментов исследовалась способность обнаруживать модуляцию пространственной частоты. Полученные результаты представлены на рис. 2в. Как и в предыдущих сериях, все полученные функции демонстрируют наличие оптимума. При этом он еще более смещен влево по оси абсцисс. У всех испытуемых пороговая амплитуда модуляции пространственной частоты минимальна при отношении частот $1/16$.

И вновь характер полученных функций не зависит от соотношения осей микропаттернов и модуляции. И аналогично случаю с модуляцией контраста (в отличие от модуляции ориентации), легче обнаруживается модуляция, ось которой перпендикулярна ориентации элементов текстуры.

Таким образом, обнаружение модуляции пространственной частоты существенно облегчается, когда частота несущей в 16 раз превышает частоту огибающей.

Обобщая полученные результаты, можно констатировать, что обнаружение модуляции текстуры значимо облегчается при определен-

ном отношении частот огибающей и несущей. Однако оптимальное соотношение различно при модуляции разных параметров. При модуляции контраста оптимум приходится на $1/8$, модуляции ориентации – примерно на $1/12$, а при модуляции пространственной частоты – на $1/16$. Отличается также и относительная чувствительность к модуляциям, ориентированным параллельно или перпендикулярно ориентации микропаттернов. Так, при модуляции контраста и пространственной частоты чувствительность выше при взаимоперпендикулярном соотношении их осей, а при модуляции ориентации – при параллельном.

Эксперимент 2.

Напомним, что эксперимент 2 полностью повторял эксперимент 1 с той лишь разницей, что пространственная частота несущей была увеличена вдвое. Это исследование было призвано определить, является ли установленное в первом эксперименте оптимальное соотношение частотных настроек фильтров первого и второго порядка универсальным для разных пространственно-частотных шкал. На рис. 3 частично представлены полученные результаты. Видно, что выявленные зависимости сохраняются при изменении пространственной частоты несущей. Оптимумы функций при этом приходятся на одни и те же отношения частот.

Таким образом, получено доказательство универсальности правил пространственного группирования фильтров первого порядка с разной пространственно-частотной настройкой.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В созданных нами изображениях отдельные элементы текстуры воздействуют на зрительные механизмы, которые принято относить к фильтрам первого порядка. Модуляция контраста, ориентации или пространственной частоты призвана активировать соответствующие механизмы второго порядка. Изменение частоты огибающей меняет пространственный диапазон, на котором возможно объединение фильтров первого порядка.

Мы обнаружили, что существует оптимальное отношение частот огибающей и несущей, при котором порог обнаружения модуляции минимален. Более того, это соотношение сохраняется при изменении пространственной частоты несущей. Все это указывает на наличие определенного универсального правила преаттентивного пространственного группирования фильтров перво-

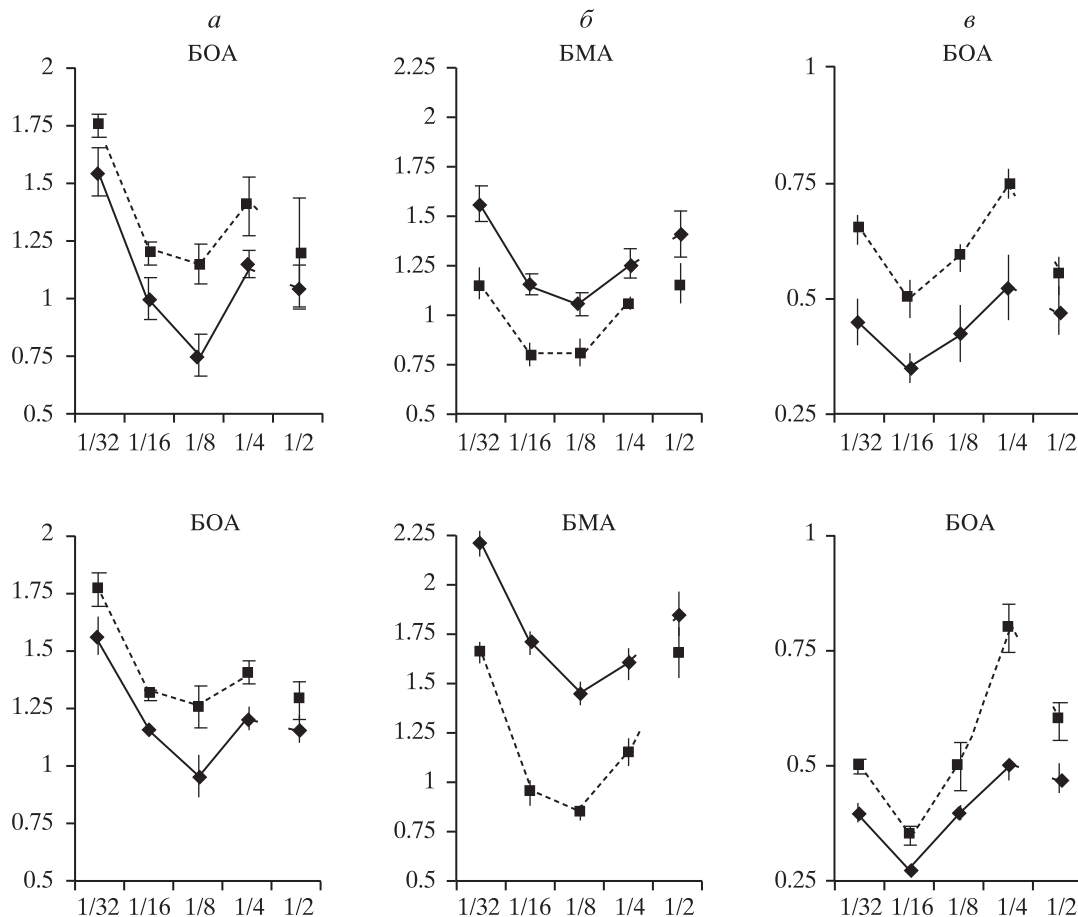


Рис. 3. Примеры зависимостей пороговой модуляции от соотношения частот огибающей и несущей при разной пространственной частоте несущей. Верхний ряд – частота несущей 2.3 цикл/град (из рис. 2), нижний ряд – 4.6 цикл/град.

го порядка: чем выше частотная настройка этих фильтров, тем меньше пространственный интервал, на котором происходит объединение локальной информации. Это может объясняться тем, что механизмами второго порядка объединяется вполне определенное число соседних фильтров первого порядка. А поскольку с ростом частотной настройки фильтра его размер уменьшается, то уменьшается и пространственный интервал, на котором происходит объединение локальной информации. Другими словами, размер фильтров второго порядка пропорционален масштабу механизмов, формирующих их вход.

Интересно, что оптимальное отношение огибающей и несущей не зависит от того, параллельны или взаимоперпендикулярны ось модуляции и ориентация элементов текстуры. Такой результат можно интерпретировать двояко. Возможно, что группирование предполагает объединение фильтров всех ориентаций. Однако этот вариант представляется маловероятным, поскольку зада-

ча разделения областей требует, чтобы фильтры второго порядка были ориентационно-специфичными. Более вероятен второй вариант: группируются фильтры с одинаковой ориентационной настройкой. При этом предпочитаемая ориентация на уровне фильтров первого и второго порядков совпадает, или взаимно перпендикулярна. Конечно, нельзя исключить и другие варианты ориентационных соотношений, хотя наши данные не дают возможности ответить на этот вопрос.

Таким образом, правило преаттентивного пространственного группирования локальной информации предполагает, что происходит объединение выходов определенного числа соседних фильтров первого порядка, имеющих общую ориентационную и пространственно-частотную настройку.

Однако это правило имеет свои особенности для каждого из механизмов, призванных обнаруживать модуляцию контраста, ориентации или пространственной частоты. Эти особенности состоят в разной величине пространственного

интервала, внутри которого происходит объединение фильтров первого порядка. Если механизм обнаружения модуляции контраста образован выходами примерно 8 соседних фильтров, то для обнаружения модуляции ориентации их уже примерно 12, а для пространственной частоты – 16.

Сразу же оговоримся, что речь до сих пор шла об организации лишь одиночного субполя механизма второго порядка. Сам же механизм имеет, очевидно, оппонентную организацию. Именно благодаря такой организации и может обеспечиваться чувствительность к модуляции текстур. Однако сегодня у нас нет сведений о том, из какого числа субполей сконструированы фильтры второго порядка. Возможно, таких субполей два или три. Соответственно и число объединяемых фильтров первого порядка увеличится пропорционально числу субполей.

Полученные нами данные об особенностях группирования при обнаружении модуляций разного типа вновь поднимают вопрос о специфичности механизмов второго порядка. Традиционные двустадийные модели преаттентивного зрения постулируют их неспецифичность, когда фильтры второго порядка активируются независимо от того, какой параметр текстуры модулируется. Однако этот постулат однажды уже был подвергнут сомнению [20]. Наши результаты вновь свидетельствуют о том, что этот вопрос требует решения.

Каков же смысл жесткого универсального объединения локальных сигналов? Как это согласуется с многообразием организации входной информации? Во-первых, это, скорее всего, далеко не последний этап пространственного объединения. И механизм внимания способен более гибко группировать механизмы второго порядка. Во-вторых, существуют задачи, предшествующие идентификации, но не решаемые фильтрами первого порядка. Какие же возможности предоставляет универсально организованное пространственное группирование?

Благодаря механизмам второго порядка, оппонентным по ориентации, мы способны разделять многие текстуры. Механизмы, оппонентные по пространственной частоте, позволяют получать информацию о глубине. Оппонентность по контрасту дает возможность сегментировать поле зрения и выделять объекты из фона. При этом универсальность группирования на разных пространственных шкалах делает этот механизм инвариантным к размеру изображения: приближение к объекту или удаление от него не приводит к искажениям в восприятии.

ВЫВОДЫ

1. Пространственное группирование локальной зрительной информации подчиняется универсальному правилу: чем выше пространственная частота входного сигнала, тем меньше пространственный интервал, на котором происходит объединение информации. Объединяются выходы фиксированного числа фильтров первого порядка, имеющих общую частотную и ориентационную настройку.

2. Масштабы описания на уровне фильтров первого и второго порядка при восприятии модуляции контраста соотносятся примерно как 8 к 1, при восприятии модуляции ориентации – примерно как 12 к 1, а при восприятии модуляции пространственной частоты – как 16 к 1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабенко В.В.* Зрительные механизмы, избирательные к общей протяженности периодического паттерна // Физиология человека. 1999. Т. 25. № 2. С. 30–35.
2. *Бабенко В.В.* Механизмы зрительной сегментации: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Ростов н/Д, 2001.
3. *Бабенко В.В., Кульба С.Н., Божинская М.А.* Зрительный поиск модулированных текстур // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. № 4. С. 259–264.
4. *Глезер В.Д.* Зрительное опознание и его нейрофизиологические механизмы. Л.: Наука, 1975.
5. *Кирвялис Д., Ванагас В.* Функциональная организация зрительного анализатора формы изображений // Биофизика зрения (Проблемы зрительного восприятия). Вильнюс: Изд-во Вильнюсского ун-та, 1973. С. 5–52.
6. *Babenko V.V.* Model of form discrimination channel // Neuronet'90. The international symposium on neural networks and neural computing. Prague, 1990. P. 27–29.
7. *Bozhinskaya M.A., Babenko V.V.* Visual search of the second order stimuli // Perception. 2006. V. 35. Suppl. P. 161.
8. *Carrasco M., Ponte D., Rechea C., Sampedro M.J.* "Transient structures": the effects of practice and distractor grouping on within-dimension conjunction searches // Perception and Psychophysics. 1998. V. 60. № 7. P. 1243–1258.
9. *Chubb C., Sperling G.* Drift-balanced random stimuli: a general basis for studying non-Fourier motion perception // Journ. of the Optical Society of America (A). 1988. V. 5. P. 1986–2007.

10. *Derrington A.M., Badcock D.R.* Two-stage analysis of the motion of 2-dimensional patterns. What is the first stage? // *Vision Research*. 1992. V. 22. P. 691–698.
11. *Driver J., Baylis G.C., Rafal R.D.* Preserved figure-ground segregation and symmetry perception in visual neglect // *Nature*. 1992. V. 360. № 6399. P. 73–75.
12. *Field D.J., Hayes A., Hess R.F.* Contour integration by the human visual system: Evidence for a local "Association field" // *Vision Research*. 1993. V. 33. P. 173–193.
13. *Fogel I., Sagi D.* Gabor filters as texture discriminators // *Biological Cybernetics*. 1989. V. 61. P. 103–113.
14. *Graham N.* Complex channels early local nonlinearities, normalization in texture segregation // *Computational models of visual processing* / Eds. M. Landy, J.A. Movshon. Cambridge, MA: MIT Press, 1994. P. 273–290.
15. *Graham N., Beck J., Sutter A.* Nonlinear processes in spatial-frequency channel models of perceived texture segregation: effects of sign and amount of contrast // *Vision Research*. 1992. V. 32. № 4. P. 719–743.
16. *Hess R.F., Hayes A.* The coding of spatial position by the human visual system: effects of spatial scale and retinal eccentricity // *Vision Research*. 1994. V. 34. № 5. P. 625–643.
17. *Hubel D.H., Wiesel T.N.* Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex // *Journ. of Psychology*. 1962. V. 160. № 1. P. 106–154.
18. *Kingdom F.A., Keeble D.R.* A linear systems approach to the detection of both abrupt and smooth spatial variations in orientation-defined textures // *Vision Research*. 1996. V. 36. № 3. P. 409–420.
19. *Kingdom F.A., Keeble D., Moulden B.* Sensitivity to orientation modulation in micropattern-based textures // *Vision Research*. 1995. V. 35. № 1. P. 79–91.
20. *Kingdom F.A.A., Prins N., Hayes A.* Mechanism independence for texture-modulation detection is consistent with a filter-rectify-filter mechanism // *Visual Neuroscience*. 2003. V. 20. P. 65–76.
21. *Landy M.S.* Second-order contrast discrimination // *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 1996. V. 37. № 3. P. 5243.
22. *Levi D.M., Waugh S.J.* Position acuity with opposite-contrast polarity features: evidence for a nonlinear collector mechanism for position acuity? // *Vision Research*. 1996. V. 36. № 4. P. 573–588.
23. *Malik J., Perona P.* Preattentive texture discrimination with early vision mechanisms // *Journ. of the Optical Society of America (A)*. 1990. V. 7. № 5. P. 923–932.
24. *Nasanen R.E., Kukkonen H.T., Rovamo J.M.* A window model for spatial integration in human pattern discrimination // *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 1995. V. 36. № 9. P. 1855–1862.
25. *Neisser U.* *Cognitive Psychology*. N.Y.: Appleton Century Cross, 1967.
26. *Pomplun M.* Saccadic selectivity in complex visual search displays // *Vision Research*. 2006. V. 46. № 12. P. 1886–1900.
27. *Sagi D., Hochstein S.* Lateral inhibition between spatially adjacent spatial frequency channels? // *Perception and Psychophysics*. 1985. V. 37. P. 315–322.
28. *Sutter A., Sperling G., Chubb C.* Measuring the spatial frequency selectivity of second-order texture mechanisms // *Vision Research*. 1995. V. 35. № 7. P. 915–924.
29. *Wilson H.R., Richards W.A.* Curvature and separation discrimination at texture boundaries // *Journ. of the Optical Society of America (A)*. 1992. V. 9. № 10. P. 1653–1662.
30. *Wilson H.R., Ferrara V.P., Yo C.* A psychophysically motivated model for two-dimensional motion perception // *Visual Neuroscience*. 1992. V. 9. P. 79–97.
31. *Wolfe J.M., Oliva A., Horowitz T.S., Butcher S.J., Bompas A.* Segmentation of objects from backgrounds in visual search tasks // *Vision Research*. 2002. V. 42. № 28. P. 2985–3004.

RELATIONSHIP BETWEEN THE SPATIAL-FREQUENCY TUNINGS OF THE FIRST- AND THE SECOND-ORDER VISUAL FILTERS

V. V. Babenko*, P. N. Ermakov, M. A. Bozhinskaya*****

**Sc.D. (biology), professor, psychophysiology and clinical psychology chair, Southern Federal University, Rostov-on-Don;*

***Corresponding member of RAE, Sc.D. (biology), head of psychophysiology and clinical psychology chair, the same place;*

****Post-graduate student, the same place*

Recent researches have denoted the existence of preattentive mechanism of spatial grouping of visual information produced by the second-order filters. This study aims to determine the rule of integration of the first-order filters on the second-order ones. For this purpose, chess textures derived from Gabor's elements were applied, which excluded those artifacts that are essential for the "noise" textures. The threshold amplitude of modulation of contrast, orientation or spatial frequencies for different frequency ratios of envelope and carrier was determined. The threshold of modulation detecting was found to be minimal at certain frequencies' ratio. The optimal ratio remains constant while the carrier's frequency is changing. This proves that the grouping of the first order filters on the second order ones conforms to a certain universal rule.

Key words: preattentive vision, spatial grouping, textures, modulation.