

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin
(editors)

Natural and Artificial Intelligence

ITHEA

SOFIA

2010

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin (ed.)

Natural and Artificial Intelligence

ITHEA®

Sofia, Bulgaria, 2010

ISBN 978-954-16-0043-9

First edition

Recommended for publication by The Scientific Council of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA

This book is engraved in prof. Zinovy Lvovich Rabinovich memory. He was a great Ukrainian scientist, co-founder of ITHEA International Scientific Society (ITHEA ISS). To do homage to the remarkable world-known scientific leader and teacher this book is published in Russian language and is concerned to some of the main areas of interest of Prof. Rabinovich.

The book is opened by the last paper of Prof. Rabinovich specially written for ITHEA ISS. Further the book maintains articles on actual problems of natural and artificial intelligence, information interaction and corresponded intelligent technologies, expert systems, robotics, classification, business intelligence; etc. In more details, the papers are concerned in: conceptual problems of the natural and artificial intelligent systems: structures and functions of the human memory, ontological models of knowledge representation, knowledge extraction from the natural language texts; network technologies; evolution and perspectives of development of the mechatronics and robotics; visual communication by gestures and movements, psychology of vision and information technologies of computer vision, image processing; object classification using qualitative characteristics; methods for comparing of alternatives and their ranging in the procedures of expert knowledge processing; ecology of programming – a new trend in the software engineering; decision support systems for economics and banking; systems for automated support of disaster risk management; and etc.

It is represented that book articles will be interesting for experts in the field of information technologies as well as for practical users.

General Sponsor: Consortium FOI Bulgaria (www.foibg.com).

Printed in Bulgaria

Copyright © 2010 All rights reserved

© 2010 ITHEA® – Publisher; Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. www.ithea.org; e-mail: info@foibg.com

© 2010 Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin – Editors

© 2010 Ina Markova – Technical editor

© 2010 For all authors in the book.

© ITHEA is a registered trade mark of FOI-COMMERCE Co.

ISBN 978-954-16-0043-9

C/o Jusautor, Sofia, 2010

ПЕРЕМЕННАЯ РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Владимир Калмыков

Abstract *The vision physiology investigations and computer vision information technologies creation objectively are the interconnected areas of human activity. One of principle differences between the vision and the computer vision is the variable sizes of the receptive fields excitation zones. Using the systemology analysis of the neurophysiology sources the new model of the neuron operation is offered. The variable resolving ability to be used the new tasks of visual information processing can be solved.*

Keywords: *переменная разрешающая способность, нейрон, рецептивные поля, визуальная информация, распознавание*

ACM Classification Keywords: *I.5.1 Models, I.3.5 Computational Geometry and Object Modeling.*

Введение

Исследования в области физиологии зрительного восприятия и создания информационных технологий автоматической обработки визуальной информации (иначе говоря, технического – компьютерного зрения) объективно являются взаимосвязанными областями человеческой деятельности. Действительно, предметом обеих научных дисциплин является исследование механизмов зрительного восприятия. Если предметом физиологии зрения является исследование процессов зрительного восприятия человека и животных, то одним из предметов компьютерных наук является создание и исследование средств технического зрения. Прогресс в одной из этих областей должен был бы инициировать прогресс в другой области.

К научным направлениям из области нейрофизиологии, непосредственно определяющим развитие понимания процессов зрительного восприятия, по-видимому, относятся:

- клеточная и молекулярная биология нейрона;
- синаптическая передача сигналов;
- преобразование зрительной информации в сетчатке глаза;
- преобразование информации нейронными структурами (в частности, в латеральном колленчатом теле, зрительной коре).

В области компьютерных наук при создании систем технического зрения и средств обработки визуальной информации основные решения определяются следующими научными направлениями:

- вычислительная геометрия;
- дискретная топология;
- распознавание образов и обработка изображений;
- нейросетевые технологии.

К сожалению взаимного междисциплинарного обмена результатами не происходит, по-видимому, из-за очень слабого взаимодействия между специалистами, представляющими разные научные направления, которое, в свою очередь, определяется существенно различными методами, характерными для перечисленных научных направлений.

Многие известные исследователи в области распознавания образов и обработки изображений вообще не упоминают о системе зрительного восприятия как о естественном прототипе технического зрения [1], [2].

Другие авторы используют в качестве прототипов упрощенные модели [3], в которых не отображены важные, уже известные элементы механизмов зрительного восприятия.

Если "от машины требуется чтение рукописного текста или расшифровка биомедицинских фотографий, ... приходится иметь дело с гораздо более сложными задачами их интерпретации.

Та видимая легкость, с которой животные и даже насекомые справляются с задачами восприятия, одновременно и ободряет, и обескураживает. Психологические и физиологические исследования дали ряд интересных результатов, касающихся процессов восприятия животными. Тем не менее, этого пока недостаточно для воспроизведения процессов восприятия с помощью ЭВМ. Особую привлекательность этому вопросу придает и то обстоятельство, что восприятие есть нечто известное по опыту каждому, а вместе с тем на деле никем не понятное. Бесплодными оказываются и попытки исследования сущности восприятия посредством самоанализа из-за того, что, по-видимому, большинство обычных процессов восприятия протекает подсознательно. Парадоксально, что все мы хорошо владеем восприятием, но никто из нас не знает о нем достаточно." [5]

Одно из отличий зрительного восприятия от технического зрения

Обычно предполагается [2], что исходное изображение, подлежащее обработке, задано в аналоговой форме. Как правило, изображение ограничено прямоугольником приемлемых для обработки размеров. Рассматриваемое исходное изображение обязательно должно полностью помещаться в этом прямоугольнике и, по возможности, заполнять его.

Первой из операций, которую выполняют над обрабатываемым изображением, является дискретизация и квантование, причем следующие параметры системы технического зрения выбираются обычно из практических соображений:

- разрешающая способность – количество дискретных, обычно, квадратных элементов изображения – пикселей – помещающихся в одной единице длины (дюйме, сантиметре) и, соответственно, некоторый размер изображения в пикселях;
- множество значений яркости, которое может принимать каждый пиксел для каждого из принятых базовых цветов (градации серого, RGB и т.п.).

Предполагается, что разрешающая способность системы технического зрения наилучшим образом соответствует классу обрабатываемых изображений. При этом не возникают ненужные подробности при слишком большой разрешающей способности (например, не искажаются контурные линии объектов) и не пропадают существенные детали объектов при слишком малой разрешающей способности. Точно также и вид функции квантования и количество градаций яркости должны соответствовать обрабатываемым изображениям в смысле возможности отображения существенных деталей объектов.

Таким образом изображение можно представить в виде двумерного массива $V(N,M)$ шириной N и высотой M , причем каждому элементу этого массива $v(n,m)$ соответствует либо значение яркости элемента изображения – пиксела с координатами n,m для однотонного изображения, либо значения яркостей базовых цветов, например, красного, синего, зеленого для цветного изображения. Этот массив можно рассматривать в виде вектора или матрицы, в зависимости от выбранного для обработки математического аппарата.



а) фон нейтральный;

б) фон – прямоугольная решетка

Рис.1 Примеры произвольного текста



а)

б)

Рис.2 Тексты с произвольно наложенной решеткой, цвет линий которой совпадает с цветом фона.

Тексты а) и б) отличаются толщиной линий решетки.

Разработано и успешно применяются большое количество методов и алгоритмов для обработки изображений, представленных в виде вектора или матрицы. Большинство этих методов успешно применяются для обработки полутоновых изображений, если удачно выбраны параметры дискретизации и квантования для данного класса изображений. В то же время необходимо отметить следующее. При обработке изображений методами статистического распознавания, например, при определении меры сходства двух изображений как $f(V_1, V_2)$, используются значения яркостей всех пикселей, образующих изображение. Однако пиксели в поле изображения обычно относятся либо к объекту, либо к фону. В таком случае результат обработки зависит не только от значений яркости пикселей интересующего объекта, но и от значений яркости пикселей фона, что во многих случаях неприемлемо. В качестве примера можно привести изображение произвольного текста на однотонном фоне и на фоне некоторой произвольной решетки (рис.1). Текст на рис. 1а может быть распознан как статистическими, так и структурными методами распознавания. Такой же текст, но наложенный на произвольную решетку (рис.1б) представляет, с точки зрения распознавания, гораздо более сложную задачу. В случае попытки использования статистических методов результат вычисления сходства с эталонными изображениями будет искажен за счет наличия в поле изображения пикселей, относящихся к фону, отображающих произвольно наложенную решетку, причем пространственное расположение линий решетки меняется от изображения к изображению. В случае же попытки использования структурных методов на изображениях вида 1б невозможно получить контуры объектов. Вместо контуров объектов будут выделены контуры клеток решетки. В настоящее время внимание специалистов привлекают задачи распознавания текстур,

частным случаем которых является и наложенная на текст решетка. Однако методы распознавания текстур, как правило, значительно превосходят по сложности задачи распознавания текста, лиц и т.п., что затрудняет или исключает возможность их применения при решении подобных задач. Похожая, но несколько другая ситуация возникает при произвольном наложении на текст решетки цвета, совпадающего с цветом фона – рис.2. В данном случае при использовании статистических методов результат вычисления сходства с эталонными изображениями будет искажен за счет наличия в поле изображения пикселей, относящихся к объектам, отображающих произвольно наложенную решетку, причем пространственное расположение линий решетки, как и ранее, меняется от изображения к изображению. Так же как и для рис. 1б попытки использования структурных методов на изображениях вида рис. 2 невозможно получить контуры объектов – вместо контуров объектов будут выделены контуры клеток решетки.

В то же время зрение человека справляется с подобными задачами совершенно незаметно для нас, по-видимому, на подсознательном уровне.

Зрение– изменение размеров зон возбуждения рецептивных полей

В данном и следующем разделах приводятся известные сведения из области нейрофизиологии, необходимые для дальнейшего рассмотрения.

Как известно [6], визуальная информация в зрительной системе проецируется на сетчатку (рис.3). В рецепторах – колбочках и палочках происходит преобразование визуальной информации в электрические сигналы, которые, после некоторой предварительной обработки в слоях горизонтальных, биполярных и амакриновых клеток, поступают в ганглиозные клетки. Электрические сигналы ганглиозных клеток поступают в наружное коленчатое тело (НКТ). Наружное коленчатое тело также является парным слоистым органом – входящие в него нейроны образуют 6 слоев, где происходит сравнение (сопоставление) сигналов левого и правого глаз, выделение некоторых первичных признаков изображения, которые используются, в частности, при управлении глазодвигательными мышцами. Сигналы нейронов НКТ поступают в первичную зрительную кору головного мозга.

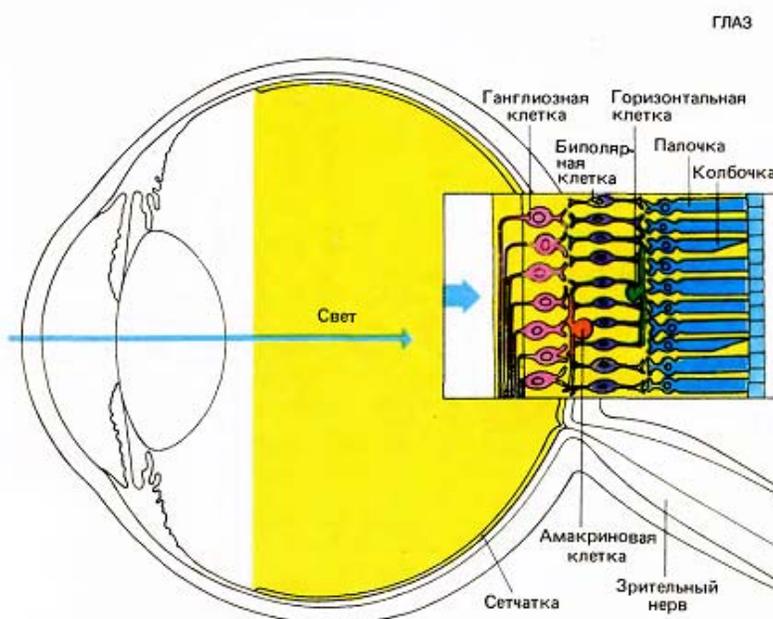


Рис.3

Относительное расположение трех слоев сетчатки внутри глаза.

Прежде чем свет достигнет палочек и колбочек, он проходит через слои ганглиозных, биполярных клеток.

На каждую ганглиозную клетку сетчатки поступают сигналы некоторого количества рецепторов. Эти рецепторы называют рецептивным полем данной ганглиозной клетки [6]. Каждый рецептор может быть связан с несколькими ганглиозными клетками. Рецептивные поля ганглиозных клеток имеют форму круга. Рецептивные поля соседних ганглиозных клеток перекрываются (рис.4 Хьюбел).

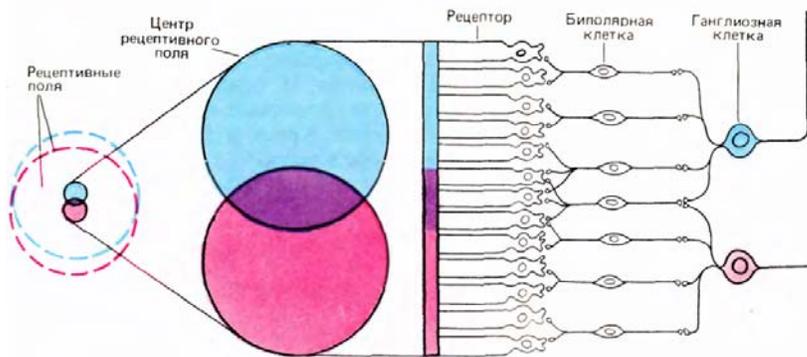
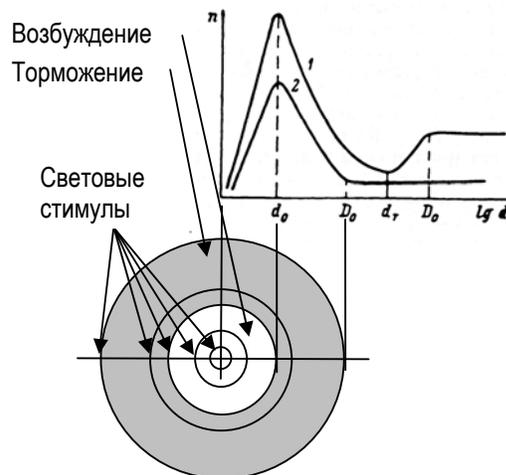


Рис.4.
Рецептивные поля соседних нейронов перекрываются

По аналогии с ганглиозными клетками, которые (опосредованно) связаны с рецепторами, совокупность связей, сигналов, нервных волокон нейронов, приходящих на данный нейрон, называют рецептивным полем данного нейрона. Учитывая, что геометрические соотношения по отношению к сетчатке в последующих слоях НКТ, сохраняются, рецептивные поля нейронов НКТ также имеют форму круга. Центральная часть рецептивных полей называется зоной возбуждения, периферийная часть (кольцо вокруг центральной части) – зоной торможения (рис.5). При подаче светового стимула на зону возбуждения рецептивного поля нейрона, генерируется определенное количество импульсов. Чем больше стимул, тем большее количество импульсов будет сгенерировано. Если размер светового стимула превысит диаметр зоны возбуждения, занимая часть зоны торможения, количество импульсов будет уменьшаться.



n – количество импульсов в ответе на стимул данного диаметра;
 d_0 – диаметр зоны возбуждения
 D_0 – диаметр зоны торможения
 1,2 – графики реакций нейронов различных типов

Рис.5 Реакция нейрона на стимулы различных размеров

Зрительная система человека работает в режиме следующих друг за другом зрительных актов. Зрительный акт длится примерно 150 мс. После чего происходит саккада – подергивание глазодвигательных мышц, в результате чего изображение на сетчатке смещается и начинается следующий зрительный акт.

В результате исследований размеров зон возбуждения рецептивных полей было установлено [7], что размер их не остается постоянным в течение зрительного акта. Если в начале зрительного акта этот размер имеет максимальное значение, то к концу зрительного акта уменьшается до минимально возможного – в случае ганглиозной клетки – это 1-2 рецептора. Таким образом, можно считать, что для зрительной системы существует **максимальная разрешающая способность**, определяемая количеством рецепторов в центральной части поля зрения и изменяемая в течение зрительного акта, **переменная разрешающая способность**, определяемая размером возбуждающей зоны рецептивного поля нейрона.

Этот механизм зрительного восприятия, имеет отношение к рассматриваемой проблеме распознавания изображений на неоднородном фоне.

Открытое [7] и исследованное явление изменения зон возбуждения нейронов зрительной системы не дает, однако, ответа на вопрос о механизме изменения диаметров зон возбуждения, что является очень существенным для возможной технической или программной реализации. Где и как реализуется этот механизм: в самом нейроне или в особых структурных свойствах нейронов, образующих его рецептивные поля.

Ответ на этот вопрос дает рассмотрение функционирования нейрона – основного структурного элемента зрительной системы. Вначале приведем традиционное представление о функционировании нейрона [6],[8].

Функционирование нейрона

Информационными входами нейрона являются сигналы, получаемые от других нейронов через межклеточные соединения *синапсы* – химически опосредованная передача с электрической развязкой или через каналы в соприкасающихся мембранах, которые соединяют внутриклеточное содержимое двух клеток – электрическая передача. Для специализированных нейронов – фоторецепторов информационными входами являются элементы, содержащие родопсин – вещество, чувствительное к свету.

Информационным выходом нейрона является серия импульсов – спайков в случае выполнения условий его возбуждения импульсами или потенциалами, поступающими по информационным входам.

Тело нейрона имеет характерную клеткам форму с внешней оболочкой – клеточной *мембраной* (рис. 6). От тела клетки отходит главный отросток – *аксон* – нервное волокно, передающее сигналы другим нейронам. Вблизи своего окончания аксон обычно разделяется на ветви, концы которых очень близко подходят к телам или дендритам других нервных клеток, но не соприкасаются с ними вплотную. В этих областях – синапсах, информация передается от одной нервной клетки, *пресинаптической*, к следующей – *постсинаптической*. Информацию от других нейронов каждый данный нейрон получает через *дендриты* и мембрану. Нервная клетка омывается солевым раствором и содержит его внутри. В число солей входят хлористый натрий, хлористый калий, хлористый кальций и ряд других солей. Большинство молекул соли диссоциировано, так что жидкости внутри и снаружи клетки содержат ионы хлора, калия, натрия и кальция (Cl^- , K^+ , Na^+ и Ca^{2+}).

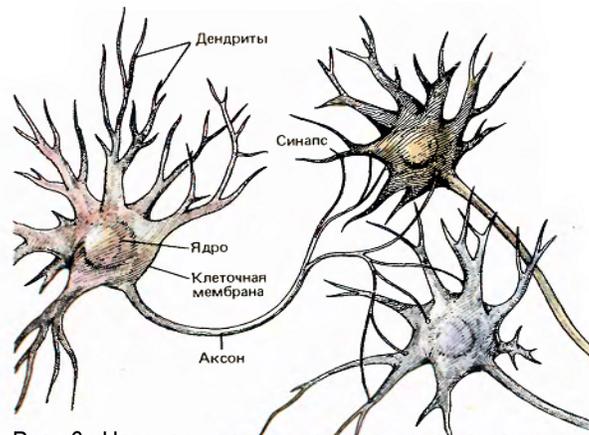


Рис. 6. Нервная клетка – это её тело, ограниченное клеточной мембраной, содержащее ядро и другие органеллы, аксон, передающий импульсы от клетки, и дендриты, к которым приходят импульсы от других

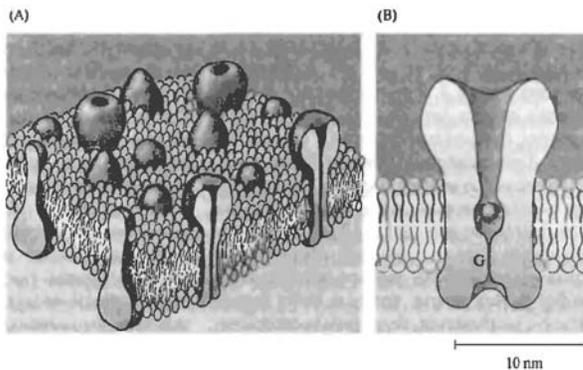


Рис. 7. Клеточная мембрана и ионный канал. (А) Клеточные мембраны состоят из жидкой фазы липидов и встроенных в липиды белковых молекул. Пронизывающие мембрану (трансмембранные) белки образуют ионные каналы. (В) Схематичное представление ионного канала с центральной водной порой и

Мембрана нервной клетки состоит из жирового слоя. Она содержит "отверстия", через которые ионы веществ могут переходить с одной её стороны на другую. Можно выделить три типа таких отверстий. Первые – это белковые молекулы в форме трубок, насквозь пронизывающих жировое вещество мембраны. В других случаях это не просто трубки, а миниатюрные белковые механизмы – *насосы*, которые способны избирательно перемещать ионы одного из типов из или внутрь клетки за счет энергии, которую клетка получает в процессе окисления глюкозы. Третьи – *ионные каналы*, – это «клапаны», которые могут открываться и закрываться под влиянием определенных видов воздействий. Некоторые из них изменяют свое состояние под влиянием мембранного потенциала, другие открываются или закрываются при наличии определенных веществ во внутренней и/или наружной жидкости.

В состоянии покоя электрические потенциалы внутри и снаружи клетки различаются на величину 30 – 100 мВ причем плюс находится снаружи.

В состоянии возбуждения импульсы – быстрые изменения мембранного потенциала вызваны движением ионов через клеточную мембрану. Направленное внутрь клетки движение положительно заряженных ионов натрия снижает общий отрицательный заряд мембраны или, другими словами, вызывает деполяризацию. Наоборот, результатом движения положительно заряженных ионов калия из клетки

является рост общего отрицательного заряда, то есть гиперполяризация. Гиперполяризация может быть обусловлена также движением внутрь клетки отрицательно заряженных ионов хлора.

Импульсы в нейроне возникают в точке аксона, близкой к месту его соединения с телом клетки; они передаются вдоль аксона, удаляясь от тела клетки, и доходят до области концевых разветвлений. Из окончаний аксона информация передается через синапсы следующей клетке или клеткам.

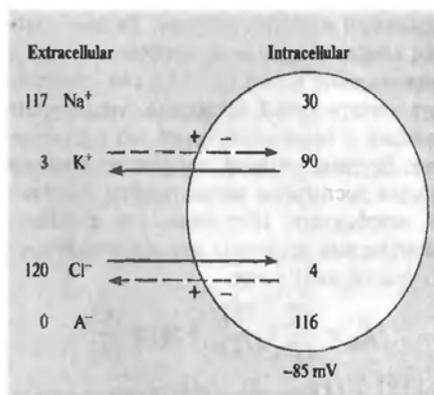


Рис. 8. Распределение ионов в идеальной клетке. Мембрана проницаема для K^+ и Cl^- , но непроницаема для Na^+ и внутриклеточных анионов (A^-). Концентрационный градиент ионов калия способствует выходу этих ионов из клетки (черная стрелка); градиент потенциала стремится перенести ионы калия внутрь клетки (серая стрелка). В состоянии покоя эти две силы уравновешивают друг друга. Концентрационный и электрический градиенты для хлора имеют противоположные направления. Ионные концентрации выражены в миллимолях (ммоль).

Информация передается в виде импульсов. Частота импульсов варьирует от одного в каждые несколько секунд или еще ниже до максимума около тысячи в секунду.

Поддержание мембранного потенциала покоя показано на модели идеальной клетки, показанной на рис. 8. В этой клетке содержатся ионы калия, натрия и хлора, а также крупные анионы. Клетка помещена в раствор, содержащий ионы хлора, натрия и калия. Концентрации ионов внутри и снаружи клетки и мембранный потенциал характерны для клеток лягушки. Клеточная мембрана в состоянии покоя проницаема для ионов калия и хлора, но не для натрия и внутриклеточных анионов. Стабильное состояние клетки обеспечивается выполнением условий:

1. Как внутриклеточная, так и внеклеточная среды должны быть электрически нейтральными.
2. Клетка должна находиться в осмотическом равновесии.
3. Суммарный заряд каждого отдельно взятого иона, переносимый через мембраны клетки, должен равняться нулю.

На рис. 8 показано, что ионы находятся в положении обратной пропорциональности: ионы калия более концентрированы внутри клетки, а ионы хлора снаружи. Хотя мембрана клетки проницаема для ионов калия, эти ионы не диффундируют из клетки наружу. Если бы ионы калия покидали клетку, то снаружи накапливался положительный

заряд, а внутри клетки образовался бы избыток отрицательного заряда. Возникший таким образом электрический потенциал при достижении определенного уровня привел бы к полному прекращению переноса. При этом равновесном потенциале для калия (E_K) электрический градиент полностью уравновешивает градиент химический, в результате чего движение ионов прекращается. Для данной модели соотношение концентраций хлора, которое, как и для калия, равно 1 : 30, и хлорный равновесный потенциал равен также -85 мВ. Как и в случае с калием, мембранный потенциал в точности уравновешивает стремление ионов хлора двигаться в направлении их концентрационного градиента, т. е. *внутри* клетки. То есть сколь угодно долго сохраняется динамическое равновесие.

Под возбуждением нейрона понимают генерацию нейроном импульса – потенциала действия. Основная роль в возбуждении принадлежит другому типу ионных каналов, при открытии которых ионы натрия устремляются в клетку. Благодаря постоянной работе насосных каналов концентрация натриевых ионов вне клетки примерно в 50 раз больше, чем в клетке, поэтому при открытии натриевых каналов ионы

натрия устремляются в клетку, а ионы калия через открытые калиевые каналы начинают выходить из клетки. Для каждого типа ионов – натрия и калия – имеется свой собственный тип ионного канала. Движение ионов по этим каналам происходит по концентрационным градиентам, т.е. из места высокой концентрации в место с более низкой концентрацией.

В покоем нейроне натриевые каналы мембраны закрыты и на мембране, как это уже описывалось выше, регистрируется потенциал покоя порядка -70 мВ (минус – внутри нейрона). Если потенциал мембраны деполяризовать (уменьшить поляризацию мембраны) примерно на 10 мВ, натриевый ионный канал открывается (рис. 9). Действительно, в канале имеется своеобразная заслонка, которая реагирует на потенциал мембраны, открывая этот канал при достижении потенциала определенной величины.

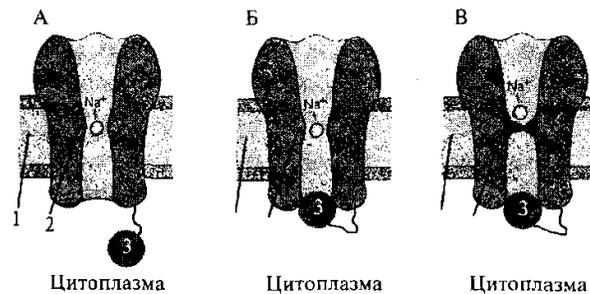


Рис. 9. Работа натриевого потенциалзависимого канала.

А – канал открыт; Б – канал инактивирован; В – канал инактивирован и закрыт; 1 – мембрана; 2 – потенциалзависимый канал; 3 – инактивирующая частица.

Такой канал называется *потенциалзависимым*. Как только канал открывается, в цитоплазму нейрона по концентрационному градиенту устремляются из межклеточной среды ионы натрия. Другими словами, через мембрану будет протекать входящий ток ионов натрия, который будет смещать потенциал мембраны в сторону *деполяризации*, т. е. уменьшать поляризацию мембраны. Чем больше ионов натрия войдет в цитоплазму нейрона, тем больше его мембрана деполяризуется. Потенциал на мембране будет увеличиваться, открывая все большее количество натриевых каналов. Потенциал будет расти до тех пор, пока не станет равным примерно $+55$ мВ. Этот потенциал называют *натриевым равновесным потенциалом*. Учитывая, что в покое мембрана имела потенциал -70 мВ, то абсолютная амплитуда потенциала составит величину около 125 мВ. После того как потенциал на мембране достигнет своего максимального значения $+55$ мВ, натриевый ионный канал со стороны, обращенной в цитоплазму, закупоривается специальной белковой молекулой. Это так называемая «натриевая инактивация» (см. рис. 9); она наступает примерно через $0,5-1$ мс и не зависит от потенциала на мембране. Мембрана становится непроницаемой для натриевых ионов. Возвращение потенциала мембраны к исходному состоянию – состоянию покоя, осуществляется выходом ионов калия через открытые калиевые каналы. В клетке в состоянии покоя соотношение концентраций ионов калия внутри и вне клетки составляет $30:1$, поэтому при открывании калиевых каналов эти ионы покидают нейрон. В результате этих процессов мембрана нейрона возвращается к состоянию покоя (-70 мВ) и нейрон готовится к следующему акту возбуждения.

Таким образом, выражением возбуждения нейрона является генерация на мембране нейрона импульса – *потенциала действия*. Его длительность в нервных клетках составляет величину около $1/1000$ (1 мс). Описанная последовательность событий [9] приведена на рис. 10.

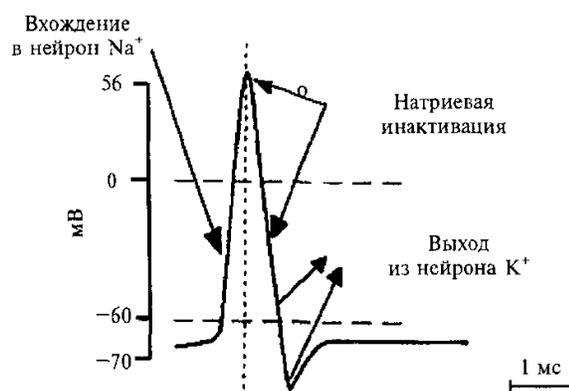


Рис. 10 Схема событий при возбуждении нейрона.

Первичная деполяризация мембраны — до 10 мВ происходит следующим образом. Возбуждение передается от одной клетки к другой через синапс. При возникновении в *пресинаптической* клетке электрический сигнала, или *импульса* последний перемещается по аксону к его синаптическим окончаниям. В каждом окончании в результате этого импульса открываются кальциевые каналы. Из каждого окончания под воздействием ионов кальция в узкий (0,02 мкм) заполненный жидкостью промежуток, отделяющий одну клетку от другой, — *синаптическую цель* — высвобождается химическое вещество *медиатор*, которое диффундирует ко второй — *постсинаптической* — клетке и воспринимается специальной белковой молекулой — *рецептором*. Под влиянием рецепторов открываются связанные с ними ионные, в данном случае, натриевые каналы и участок мембраны этой второй клетки деполяризуется. Если количество возбуждающих сигналов достаточно для открытия потенциалзависимых натриевых каналов, происходит процесс возбуждения нейрона, описанный выше.

Механизм изменения размеров зон возбуждения рецептивных полей

Если рассмотреть описанные процессы с позиций системологии, то такое описание не является полным. Действительно, почему то совсем не описано поведение и влияние ионов хлора в процессе генерации потенциала действия, которые активно участвуют в сохранении состояния покоя. Кроме того, не рассматривается функционирование возбужденного нейрона при генерации серии спайков, в процессе зрительного акта.

Под воздействием постсинаптического потенциала возбуждающих рецепторов, (а также при отсутствии воздействия тормозных рецепторов) начинают открываться потенциалзависимые натриевые каналы, нарастает натриевый ток и увеличивается деполяризация, в результате чего открывается еще больше натриевых каналов и внутриклеточный потенциал мембраны возрастает вплоть до величины натриевого равновесного потенциала.

Во время нарастания натриевого тока и увеличивающейся деполяризации ионы хлора поступают через поры по концентрационному градиенту и при уменьшении противодействующего электрического потенциала. Кроме того, наступает момент (возможно, это момент максимального значения потенциала), когда не могут не открыться потенциалзависимые хлорные каналы, которые также пропускают внутрь клетки ионы хлора. После достижения максимального значения уровня деполяризации начинается процесс выхода ионов калия и натрия, которые возвращают потенциал мембраны к исходному состоянию.

Однако за счет поступления ионов хлора потенциал покоя при генерации каждого следующего импульса смещается на некоторую величину в сторону гиперполяризации (рис.11).

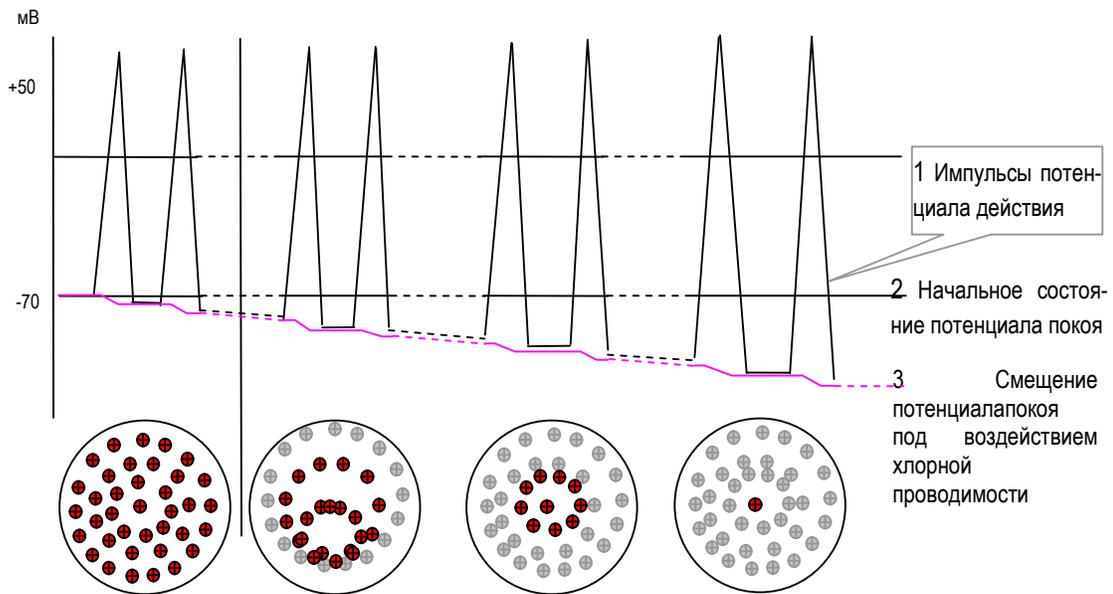


Рис.11 Изменение зоны возбуждения рецептивного поля

”В крупных ... нейронах возбудимость различных участков мембраны неодинакова. В области начального сегмента нервной клетки (аксонного холмика и начальной ... части аксона) имеется низкопороговая зона, мембрана которой обладает в несколько раз более высокой возбудимостью, чем на других участках клетки (порог возбудимости мембраны начального сегмента равен 10 мв, а порог возбудимости соматодендритической мембраны — 20—30 мв).“ [9]. Под «возбудимостью различных участков мембраны» имеется в виду порог открывания потенциалзависимых натриевых каналов, который увеличивается по мере удаления от аксонного холмика.

Итак, после каждого очередного (n-го) импульса потенциала действия происходит смещение потенциала покоя в сторону гиперполяризации. В результате в начале следующего (n+1-го) импульса потенциалзависимые натриевые каналы, которые имеют наибольший порог открывания (наиболее удалены от аксонного холмика), перестают открываться под воздействием постсинаптического потенциала возбуждающих рецепторов, находящихся в зоне расположения этих натриевых каналов. Это значит, что потенциал порога открывания упомянутых натриевых каналов больше, чем исходный потенциал покоя плюс смещение. То есть некоторая часть потенциалзависимых натриевых каналов уже не могут участвовать в накоплении заряда для генерации n+1-го импульса.

Можно также предположить, что расстояние возбуждающего рецептора от аксонного холмика соответствует расстоянию в поле зрения от соответствующей данному рецептору точки до центра рецептивного поля. Так что «неучастие» некоторого количества возбуждающих рецепторов в процессе генерации соответствует уменьшению зоны возбуждения рецептивного поля. С другой стороны, чем меньше потенциалзависимых натриевых каналов открывается при генерации очередного импульса, тем большее время необходимо для накопления заряда, достаточного чтобы этот импульс сформировался. Видимо, поэтому частота генерации импульсов со временем уменьшается.

Наличие такого, хотя и непроверенного экспериментально механизма уменьшения зон возбуждения нейронов зрительной системы во время зрительного акта полностью соответствует и подтверждает результаты, полученные в работе [7] с использованием метода временных срезов.

Таким образом, в процессе зрительного восприятия, точнее, одного зрительного акта, в зрительной системе существует последовательно информация о наблюдаемом изображении с различной разрешающей способностью, вначале низкой, затем все возрастающей и достигающей максимального значения к концу зрительного акта.

Демонстрационный эксперимент с использованием программы FineReader

Возвратимся к вопросу о том, почему изображения знаков на рис. 1а, 1б, 2а, 2б воспринимаются зрительной системой человека практически одинаково уверенно, одновременно с распознаванием фона, в то время как для современных средств обработки визуальной информации задача распознавания изображений, таких как рис. 1б, 2а, 2б, неразрешима, при этом рис. 1а распознается уверенно. Можно предположить, что именно обработка наблюдаемых изображений с низкой разрешающей способностью в начале зрительного акта дает возможность уверенного зрительного восприятия изображений знаков на различном фоне. Если это так, тогда можно предположить, что если некоторая программа распознавания текстов успешно обрабатывает изображения знаков (рис. 1а), отсканированные с низкой разрешающей способностью, то она также успешно обрабатывает и изображения (рис. 1б, 2а, 2б), отсканированные с такой же – низкой разрешающей способностью.

Проведем простой демонстрационный эксперимент с широко известной программой обработки и распознавания текстов FineReader. В качестве исходных используем изображения на рис. 1, 2 с разрешением соответственно 1а – 896x264, 1б – 895x275, 2а – 899x276, 2б – 892x262. Выбрана не имеющая смысла последовательность знаков А65Н7, чтобы исключить влияние использования словарей на результат распознавания. Результат распознавания исходных изображений: рис. 1а – успешно, остальные – отказ от распознавания по причине невозможности найти (определить) объект в поле изображения.

На рис. 12 представлены те же самые изображения, причем дискретизация выполнена с существенно меньшим разрешением. Результат распознавания всех этих изображений – успешно.



Рис. 12 Изображения рис. 1, 2: дискретизация выполнена при низком разрешении.

Заклучение

1. Проведенный системологический анализ работы нейронов зрительной системы позволил уточнить функционирование нейрона во время генерации потенциала действия и, в дополнение к ранее открытому явлению [7] уменьшения зон возбуждения рецептивных полей зрительной системы, обнаружить механизм, реализующий это явление.

2. Можно считать, что для зрительной системы существует **максимальная разрешающая способность**, определяемая количеством рецепторов в центральной части поля зрения и изменяемая в течение зрительного акта, **переменная разрешающая способность**, определяемая размером возбуждающей зоны рецептивного поля нейрона.

3. Результат проведенного простого демонстрационного эксперимента позволяет сделать обоснованное предположение, что восприятие – распознавание изображений в зрительной системе происходит на всех этапах зрительного акта, в том числе и на начальном этапе, когда изображение "расфокусировано", но зато и мешающие факторы, как например, в рассмотренном случае, в виде текстурных помех не оказывают влияния. Использование этого результата в средствах обработки визуальной информации позволяет совершенно естественным образом достигнуть инвариантности относительно масштаба объектов, выполнять распознавание объекта на фоне, искаженном высокочастотными помехами, также выполнять распознавание объектов, например, письменных знаков, элементы которых представляют мозаику или образованы элементами различных текстур.

Библиография

- [1] М.Шлезингер, В.Главач Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. –Київ: Наукова думка, 2004. – 535с.
- [2] Т.Павлидис Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М Радио и связь 1986г. 400с
- [3] У.Прэтт Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.—М.: Мир, 1982.— Кн.1—312 с, ил.
- [4] Р. Гонсалес, Р.Вудс Цифровая обработка изображений М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
- [5] Richard O. Duda, Peter E. Hart Pattern classifications and scene analysis New York, London, Sydney, Toronto, A Wiley-Interface Publication, 1973. – 507 с.
- [6] David H. Hubel Eye, brain, and vision New York : Scientific American Library : Distributed by W.H. Freeman, 1988.—240p.
- [7] Н.Ф.Подвигин Динамические свойства нейронных структур зрительной системы Ленинград: Наука, 1979. –158 с. :
- [8] John G. Nichols, A. Robert Martin, Bruce G. Wallace, Paul A. Fuchs From Neuron to Brain Sunderland, Massachusetts USA: Sinauer Associates, Inc., 2001. – 672 p. : ill.
- [9] Физиология человека: Учебник для институтов физической культуры / Под ред. Н.В.Зимкина.- М.: Физкультура и спорт, 1975.- 496 с.

Authors' Information



Vladimir Kalmykov - senior researcher, candidate of engineering sciences, Institute of problems of mathematical machines and systems, prosp. akad. Glushkova 42, 03680, Kiev 187, Ukraine; e-mail: vl.kalmykov@gmail.com , kvq@immisp.kiev.ua