

Исследование и математическое моделирование бионических принципов идентификации изображений микроскопических биологических объектов

Е.А. Корчевская*, В.М. Мироненко**

**Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»*

***Учреждение образования «Витебская ордена “Знак Почета” государственная академия ветеринарной медицины»*

В основе представленного подхода для распознавания микроскопических биологических объектов лежит разработка вычислительных алгоритмов и моделей, имитирующих принципы работы реальных зрительных систем (бионический подход). Основным преимуществом подобного подхода является резкое уменьшение объема обрабатываемой информации за счет того, что детально описываются только информативные фрагменты изображения.

Цель исследования – разработка и исследование бионических алгоритмов и методов идентификации, классификации, а также создание модели распознавания образов и применение ее в задачах инвариантного распознавания изображений микроскопических биологических объектов.

Материал и методы. Объектом исследования являются цветные цифровые изображения ооцитов эймерий крупного рогатого скота. Основные методы: математического и имитационного моделирования, нейронные сети.

Результаты и их обсуждение. Авторами разработана математическая модель бионических принципов распознавания микроскопических биологических объектов, основанная на определении наиболее информативных областей и искусственных нейронных сетях.

Заключение. В рамках бионической концепции создана модель распознавания микроскопических биологических объектов (распознавание на уровне 16%–67%, зависит от вида эймерий), основанная на форме внешнего контура.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, генетические алгоритмы, ооциты эймерий крупного рогатого скота, бионическая концепция.

Study and Mathematical Modeling of Bionic Principles of Image Identification of Microscopic Biological Objects

E.A. Korchevskaya*, V.M. Mironenko**

**Educational establishment «Vitebsk State P.M.Masherov University»*

*** Educational establishment «Vitebsk Order of Sign of Honor State Academy of Veterinary Medicine»*

In the basis of the presented approach for identifying microscopic biological objects is the development of calculation algorithms and models which imitate principles of work of real sight systems (bionic approach). The main advantage of such approach is sharp reduction of the volume of the processed information by detailed description of only informative fragments of the image.

The aim of the research is development and study of bionic algorithms and methods of identification, classification and creation of the model of identification of images and its application in problems of invariant identification of images of microscopic biological objects.

Material and methods. The object of the research is color digital images of cattle oocyte of ameri. Basic methods of the research are methods of mathematical and imitational modeling, neuron networks.

Findings and their discussion. The authors worked out a mathematical model of bionic principles of identification of microscopic biological objects, which is based on the identification of most informative areas and artificial neuron networks.

В настоящее время при решении задач распознавания изображений интенсивно развивается подход, основанный на разработке вычислительных алгоритмов, имитирующих принципы работы реальных зрительных систем (бионический подход), который рассматривается как наиболее перспективный. В рамках бионического

подхода особое внимание уделяется созданию алгоритмов и методов определения наиболее информативных областей изображений для детальной обработки как аналогов биологических механизмов выбора перцептуально важных фрагментов при осмотре изображений [1–2]. Очевидно, что детальная обработка не всего изображе-

ния, а отдельных его фрагментов может существенно уменьшить вычислительные затраты и увеличить эффективность распознавания. Особенности предлагаемого подхода состоят в следующем: тесная связь модельных [3], нейрофизиологических [4] и психофизических [5] исследований; использование бионических принципов для увеличения эффективности распознавания и минимизации вычислительных процедур; применение в качестве первичных одних и тех же локальных признаков и их комбинаций, выделение которых не требует сложных вычислений [6]; использование модели нейронной сети.

Целью работы является разработка и исследование бионических алгоритмов и методов идентификации, классификации, а также создание модели распознавания образов и применение ее в задачах инвариантного распознавания изображений микроскопических биологических объектов.

В процессе работы решались следующие задачи:

1. Разработка алгоритмов идентификации и контекстного описания наиболее информативных областей изображений микроскопических биологических объектов.

2. Создание оригинальной модели инвариантного распознавания паразитологических объектов, основанной на специфичном описании наиболее информативных областей в виде признаковых векторов.

3. Адаптация нейронной сети в рамках бионического подхода и обучение ее с помощью генетических алгоритмов.

Материал и методы. В биологических объектах первичная обработка информации осуществляется в сетчатке глаза на шести уровнях [7–8]. Часть функций зрительной системы (первый, второй уровни) берут на себя видеокамеры, которые, как правило, используются в системах распознавания объектов. Третий–шестой уровни моделируются нейронной сетью. Полученное с видеокамеры изображение объекта преобразуется в контурное, что позволяет значительно сократить объем необходимой для классификации информации.

Процесс преобразования цветных изображений паразитологических объектов в контур и построение вектора признаков описаны авторами в работе [9]. Предполагается, что контур содержит всю необходимую информацию о форме объекта. Внутренние точки объекта во внимание не принимаются. Это ограничивает область применимости алгоритмов контурного анализа, но рассмотрение только контуров позволяет перейти от двумерного пространства изображения к пространству контуров, и тем самым снизить вычис-

лительную и алгоритмическую сложность. Контурный анализ позволяет эффективно решать основные проблемы распознавания образов – перенос, поворот и изменение масштаба изображения объекта. Методы контурного анализа инвариантны к этим преобразованиям.

Пороговая сегментация является одним из самых простых и быстрых методов сегментации. Основная проблема данного процесса заключается в вычислении порога, определяющего разбиение функции яркости на два или более уровня яркости. Рациональный выбор порога позволяет свести шумы и помехи, возникающие в реальных условиях, к минимуму. Порог может быть постоянным и адаптивным (изменяющимся в пространстве и времени). В первом случае он устанавливается заранее в виде некоторого определенного значения, не зависящего от свойств анализируемого изображения, и является постоянным по всему изображению. Во втором случае порог формируется в результате некоторой обработки исходного изображения и задается только для фрагмента изображения. Порог, постоянный по всему изображению, обычно определяют из гистограммы уровней яркости изображения. Это удобно, если объект и шум имеют разную интенсивность. Для получения бинарного изображения возможно применение нескольких порогов. Пороговые значения могут интерактивно задаваться пользователем и автоматически определяться с помощью анализа гистограммы полутоновой величины, некоторых статистических методов или посредством задания определенных параметров.

Примером применения полуавтоматических методов является выбор значений порогов по среднему значению яркости и стандартному отклонению. Наиболее популярный полуавтоматический метод – определение порогов по процентному соотношению, где пользователь задает процент площади, занимаемой объектами. Процент соответствует границе этой площади.

Очень распространены методы перебора порогов, при которых вычисляется оптимальный по определенным условиям. Самый распространенный среди них – метод Отсу. Его цель состоит в том, чтобы выбрать порог, который минимизирует отношение объединенной дисперсии к дисперсии между классами, определяемыми разбиением гистограммы на пороги.

Результаты и их обсуждение. На рис. представлен контур микроскопического биологического объекта, полученный методом Отсу.

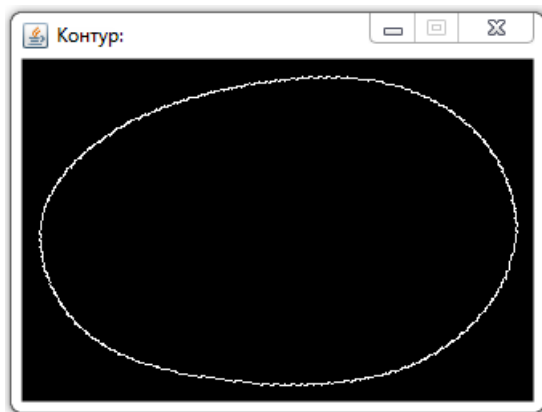


Рис. Контур объекта.

В работе предложены следующие инвариантные идентификационные показатели: «отношение ширины объекта к длине», «произведение отношений длины объекта к ширине и наибольшего к наименьшему радиусу кривизны полюсов объектов», «компактность», «отношение действительных и мнимых частей коэффициентов ряда Фурье», «некруглость формы», «энергия изгиба», «отношение главных моментов» и другие. Разработанные коэффициенты являются инвариантными относительно сдвига, поворота, масштабирования, сдвига начальной точки.

Механизмом распознавания образов в высших слоях неокортекса мозга человека является модель сравнения с эталоном. Данная модель обладает тем достоинством, что внешний образ сравнивается со всеми возможными эталонами одновременно. В процессе сравнения одновременно активируется некоторая часть эталонов, и тот, который реагирует на данный образ наиболее активно, и есть искомый объект. В то же время модель имеет существенный недостаток, связанный с тем, что при изменении освещения, ориентации или размеров внешнего образа относительно эталона распознавания не произойдет. Эталон – внутреннее представление образа распознаваемого объекта, запомненного ранее в различных положениях. Следовательно, если распознаваемое изображение объекта приводить к стандартному освещению, размеру и точно совмещать с эталоном, то модель работает безукоризненно, учитывая, что при зрительном восприятии и концентрации внимания на объекте видеoinформация проецируется в центральную ямку сетчатки. При этом изображение приводится к стандартной освещенности, стандартному размеру центральной ямки глаза. Кроме того, осуществляется сканирование изображения с целью выявления наиболее информативных обла-

стей и, возможно, фиксации и сравнения расстояний между ними, при этом можно уверенно предположить, что зрительная система использует модель сравнения с эталоном.

Метод сравнения с эталоном активно применяется зрительной системой человека. В пользу данного предположения также свидетельствует и тот факт, что при рассмотрении (распознавании) изображения, например, очень сильно искаженной или перевернутой буквы или другого образа, встречающегося впервые, мы долго, с разных сторон, под разными углами зрения крутим его в руках. Но если мы узнали этот образ, то всегда в дальнейшем узнаем его легко, т.е. можно предположить, что искаженный образ сформировал новый эталон или был найден близкий эталон и зафиксированы связи, отвечающие за распознавание искаженного образа. Конечно, процесс обработки информации в слоях неокортекса не сводится только к сравнению объекта с эталоном. Этот процесс значительно сложнее. В нем на различных уровнях биологической нейронной сети осуществляются обработка, анализ, синтез и сравнение информации.

В работе [10] исследована возможность применения различных архитектур нейронных сетей к задаче распознавания паразитологических объектов. Установлено, что нейронные сети могут быть использованы для идентификации ооцист эймерий крупного рогатого скота. Эффективность протестированных нейронных сетей (сеть Кохонена, Хемминга, многослойный персептрон и сеть с адаптивным резонансом) зависит от вида эймерий и колеблется в пределах 21,21–100%.

Рассмотрим возможность использования генетических алгоритмов для обучения нейронной сети архитектуры многослойный персептрон [11]. Генетические алгоритмы – это одно из направлений исследований в области искусствен-

ного интеллекта, занимающееся созданием упрощенных моделей эволюции живых организмов для решения задач оптимизации.

Генетические алгоритмы для подстройки весов скрытых и выходных слоев используются следующим образом. Каждая хромосома (решение) представляет собой вектор из весовых коэффициентов. Хромосома $a=(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$ состоит из генов a_i , которые могут иметь числовые значения. Популяцией называют набор хромосом (решений). Начальная популяция в представленной работе выбирается случайно, значения весов лежат в промежутке $[-1.0; 1.0]$. Для обучения сети к начальной популяции применяются простые операции: селекция, скрещивание, мутация, в результате чего генерируются новые популяции.

У генетического алгоритма есть такое свойство, как вероятность. Т.е. операторы селекция, скрещивание и мутации не обязательно применяются ко всем хромосомам. Вероятность данных операций устанавливается экспериментально.

Этапы генетического алгоритма:

1. Создать популяцию хромосом, в генах которых будет произвольная информация.
2. Посчитать приспособленность популяции.
3. Выбрать из популяции особь А.
4. С вероятностью скрещивания P1 выбрать особь В и применить оператор кроссовера, результирующую особь занести в новую популяцию.
5. С вероятностью мутации P2 выполнить мутацию произвольной особи, результирующую особь занести в новую популяцию.

6. Выполнить предыдущие операции 10 раз, где 10 $\geq$ размера популяции, соответствующей признаковому пространству [9].

7. Создать новую популяцию из лучших особей существующей и только что сформированной популяции.

8. Перейти к следующей эпохе.

9. Если результат работы удовлетворителен, то остановка алгоритма, иначе – переход к шагу 2.

Для выбора оптимальных настроек генетического алгоритма были проведены исследования, результаты которых представлены в табл. Следует отметить, что существует множество вариаций настроек, однако для исследования были выбраны наиболее распространенные конфигурации. Для настроек генетического алгоритма были выбраны несколько вариантов:

1. Веса многослойного персептрона кодируются двоичным кодом, использован односточный кроссовер, при мутации инвертируется один ген.
2. Веса многослойного персептрона кодируются кодом Грея, применен односточный кроссовер, мутирует один ген.
3. Веса многослойного персептрона кодируются кодом Грея, двухточечный кроссовер, мутирует один ген.
4. Веса многослойного персептрона кодируются кодом Грея, двухточечный кроссовер, мутирует несколько генов.

Проведя анализ табл., можно выявить наиболее эффективную настройку генетического алгоритма для решения поставленной задачи.

Таблица

Результаты классификации

Название группы образов	Верно классифицированных (%)			
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
<i>E. alabamensis</i>	0	16	33	16
<i>E. auburnensis</i>	20	20	20	40
<i>E. bovis</i>	10	30	30	50
<i>E. brasiliensis</i>	16	16	16	33
<i>E. bukidnonesis</i>	14	14	28	57
<i>E. canadensis</i>	20	0	40	60
<i>E. cylindrica</i>	9	9	27	27
<i>E. ellipsoidalis</i>	14	28	0	28
<i>Fasciola</i>	16	50	50	67
<i>E. subspherica</i>	0	25	25	25
<i>E. wyomingensis</i>	0	16	16	25
<i>E. zuernii</i>	25	25	50	50

Представленный в работе метод имеет множество модификаций и сильно зависит от параметров. Зачастую небольшое изменение одного из них может привести к неожиданному улучшению или же ухудшению результатов. Следует отметить, что применение генетических алгоритмов оправдано лишь в тех случаях, когда для поставленной задачи нет подходящего специального алгоритма решения. Это связано с большими вычислительными затратами и сложностями в подборе верных параметров.

Заключение. В рамках бионической концепции разработана модель распознавания микроскопических биологических объектов (распознавание на уровне 16–67%, зависит от вида эймерий), основанная на форме внешнего контура. В основе представленного подхода лежит создание вычислительных алгоритмов и моделей, имитирующих принципы работы реальных зрительных систем. Основным их преимуществом по сравнению со стандартными методами является резкое уменьшение объема обрабатываемой информации за счет того, что детально описываются только информативные фрагменты изображения.

ЛИТЕРАТУРА

- Hjelmas, E. Face Detection: A Survey / E. Hjelmas, B.L. Kee // Computer Vision and Image Understanding. – 2001. – Vol. 83. – P. 236–274.
- Huang, J. Eye Detection Using Optimal Wavelet Packets and Radial Basis Functions (RBFs) / J. Huang, H. Wechsler // Int. J. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 1999. – Vol. 13, № 7. – P. 1009–1026.
- Ковалевский, В.А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений / В.А. Ковалевский. – М.: Наука, 1976. – 328 с.
- Salvucci, D.D. A model of eye movements and visual attention / D.D. Salvucci // Proc. of the Int. Conf. on Cognitive Modeling. Veenendaal. – The Netherlands: Universal Press, 2000. – P. 252–259.
- Takacs, B. A Dynamic and Multiresolution Model of Visual Attention and its Application to Facial Landmark Detection / B. Takacs, H. Wechsler // Computer Vision and Image Understanding. – 1998. – Vol. 70, № 1. – P. 63–73.
- Шапошников, Д.Г. Исследование и моделирование бионических принципов идентификации и контекстного описания изображений: автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Ростов на/Д, 2002. – 19 с.
- Ярбус, А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения / А.Л. Ярбус. – М.: Наука, 1965.
- Ященко, В.А. К вопросу восприятия и распознавания образов в системах искусственного интеллекта / В.А. Ященко // Математичні машини і системи. – 2012. – № 1. – С. 16–27.
- Корчевская, Е.А. Разработка признакового пространства для распознавания паразитологических объектов / Е.А. Корчевская, В.М. Мироненко // Компьютерная биология: материалы Первой междунар. науч.-техн. конф., 7–9 дек. 2011 г. / РФФИ, Пушкинский науч. центр РАН, МО и Н РФ, Пушкинский гос. естественно-научный ин-т. – 2011. – С. 40–41.
- Мироненко, В.М. Использование нейронных сетей для идентификации ооцист эймерий крупного рогатого скота / В.М. Мироненко, Е.А. Корчевская // Весн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2014. – № 2(80). – С. 54–59.
- Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика // Еврика [Электронный ресурс] / Ф. Уоссермен, пер. на рус. яз.; Ю.А. Зуев, В.А. Точенов. – 1992. – Режим доступа: <http://evrika.tsi.lv/index.php?name=texts&file=show&f=410>. – Дата доступа: 20.02.2014.

REFERENCES

- Hjelmas, E. Face Detection: A Survey/ Hjelmas E., Kee B. Low // Computer Vision and Image Understanding. 2001. – Vol. 83. – P. 236–274.
- Huang, J. Eye Detection Using Optimal Wavelet Packets and Radial Basis Functions (RBFs)/ Huang J., Wechsler H. // Int. J. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. 1999. – Vol. 13, № 7. – P. 1009–1026.
- Kovalevski V.A. *Metodi optimalnikh reshenii v raspoznavanii izobrazhenii* [Methods of Optimal Solutions in Identification of Images], M.: Nauka, 1976, 328 p.
- Salvucci, D. D. A model of eye movements and visual attention / Salvucci D. D. // Proc. of the Int. Conf. on Cognitive Modeling. Veenendaal, The Netherlands: Universal Press, 2000. – P. 252–259.
- Takacs B.A Dynamic and Multiresolution Model of Visual Attention and its Application to Facial Landmark Detection/ Takacs B., Wechsler H. // Computer Vision and Image Understanding. 1998. – Vol. 70, № 1. – P. 63–73.
- Shaposhnikov D.G. *Issledovaniye i modelirovaniye bionicheskikh printsipov identifikatsii i kontekstnogo opisaniya izobrazhenii: Avtoref. ... dis. k-ta tekhn. nauk* [Study and Modeling of Bionic Principles of Identification and Contextual Description of Images: Summary of PhD Thesis], Rostov-na-Donu, 2002, 19 p.
- Yarbus A. L. *Rol dvizhenii glas v protsesse zreniya* [Role of Eye Movements in Eyesight], M.: Nauka, 1965.
- Yashchenko V.A. *Matematichni mashini i sistemi* [Mathematical Machines and Systems], 2012, № 1, pp. 16–27.
- Korchevskaya E.A., Mironenko V.M. *Kompyuternaya biologiya: materiali pervoi mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii 7–9 dekabria 2011, RFFI, Pushchinski nauchni tsentr RAN, MOiN RF, Pushchinski gosudarstvenni yestestvenno-nauchni institute* [Computer Biology: Materials of the First International Scientific and Technical Conference, December 7–9, 2011, RFFI, Pushchin Research Center of RASc, Pushchin State Natural Science Institute], 2011, pp. 40–41.
- Mironenko V.M., Korchevskaya E.A. *Vesnik Vitebskaga dzharzhavnaga universiteta* [Newsletter of Vitebsk State University], 2014, № 2(80), pp. 54–59.
- Wosserman F. *Neurocomputer Technology: Theory and Practice* <http://evrika.tsi.lv/index.php?name=texts&file=show&f=410>.

Поступила в редакцию 10.10.2014

Адрес для корреспонденции: korchevskaya.elena@tut.by – Корчевская Е.А.