

## СИСТЕМА КЛАССИФИКАЦИИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ВОДРОСЛЕЙ РОДА CHLORELLA

© 2010 А.Р. Исхаков, М.Р. Богданов, А.В. Богданова

Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, г. Уфа

Поступила в редакцию 11.05.2010

Разработана программа интеллектуальной классификации микроскопических водорослей рода *Chlorella*. Восстановление изображения проводилось с помощью модуля Image Processing Toolbox программы Matlab. Для классификации водорослей были разработаны производственные правила.

Ключевые слова: *род Chlorella, производственные правила, интеллектуальная классификация микроводорослей*

Определение видового состава водорослей – сложная задача, которая решается с использованием традиционных трудоемких методов микроскопии, руководствуясь морфологическими признаками, или же с использованием современных дорогих методов молекулярной генетики [1]. Развитие вычислительной техники и алгоритмов распознавания образов позволяет упростить многие рутинные операции при классификации микрообъектов. Распознавания образов относится к классу интеллектуальных задач. При этом не существует универсального алгоритма распознавания микроскопических объектов. Обычно предлагаемые решения имеют относительно узкую область применения, например, подсчет и классификацию форменных элементов крови или сперматозоидов. Обычно задачи классификации решаются в два этапа. Вначале производится предварительная обработка изображения. На этом этапе изображение очищается от шумов, повышается контрастность и т.д. На втором этапе в изображении выделяются объекты и классифицируются в соответствии с определенными правилами.

С 1998 по 2002 гг. осуществлялся проект автоматической классификации водорослей ADIAC (Automatic Diatom Identification and Classification) [4, 5]. В рамках проведенных исследований была разработана система анализа изображений 37 видов диатомовых водорослей. Система осуществляла распознавание видов на основе топологических и структурных признаков. Точность распознавания составляла 96-97% на выборке из 800 изображений. Алгоритм классификации включал в себя структурные, детерминированные и вероятностные методы распознавания, а также методы дифференциальной геометрии [4, 5]. Область применения программы

ограничена группой диатомовых водорослей. Современные микровизоры имеют средства предварительной обработки изображений [6, 7]. Например, приборы серии  $\mu$ Vizo®-100, выпускаемые ЛОМО, позволяют подсчитывать количество микрообъектов, измерять их геометрические характеристики, создавать эффект рельефного контрастирования. Для более сложных задач, таких как, таксономия микроскопических водорослей, можно использовать специализированное программное обеспечение, например, ImageExpert, Gauge, Sample, MicroHardness 2, Pro 3 и др. Для успешного распознавания микроводорослей соответствующее программное обеспечение должно включать, на наш взгляд, средства импорта и экспорта формализованных описаний признаков, характерных для различных таксономических групп этих организмов. Эти описания создаются экспертами-альгологами и могут в дальнейшем редактироваться. Желательно, чтобы программное обеспечение не зависело также от конструкции конкретного микровизора [3, 8]. В настоящей работе предлагается метод автоматической классификации водорослей рода *Chlorella*.

**Экспериментальная часть.** В своей работе мы использовали графические изображения в формате bmp (рис. 1.), полученные с помощью микровизора серии  $\mu$ Vizo®-100 (ООО «ЛОМО-ФОТОНИКА» (г. Санкт-Петербург) [6]. Как уже описывалось выше, работа по классификации водорослей включает в себя два этапа: 1) предварительная подготовка изображения и 2) собственно распознавание. Рассмотрим эти этапы подробнее.

**Восстановление изображения и повышение уровня информативности.** Выбранные изображения были обработаны в среде Matlab с помощью модуля Image Processing Toolbox. Для улучшения качества изображения и повышения информативности его содержания мы обработали изображение с помощью линейных фильтров усреднения, Гаусса, Лапласа, Лапласа-Гаусса, Собеля, Превита. При этом увеличение информативности по отношению к исходному

Исхаков Алмаз Раилевич, преподаватель кафедры программирования и вычислительной математики. E-mail: intellab@mail.ru

Богданов Марат Робертович, кандидат биологических наук, доцент кафедры информатики. E-mail: bogdanov\_marat@mail.ru

Богданова Альбина Вилевна, преподаватель кафедры ботаники. E-mail: albina\_bogdanova@mail.ru

составило 30,3%, 45,8%, 39,9%, 41,3%, 37,8% и 38,8% соответственно. Далее, мы использовали методы выравнивания гистограмм, изменения яркости палитры, медианная фильтрация, ранговая фильтрация, адаптивная фильтрация Винера, блочные фильтры. Это позволило повысить информативность на 23,1%, 36,2%, 34,5%, 43,2% и 46,7% соответственно. После фильтрации шумов и улучшения качества цветные изображения были конвертированы в монохромные с помощью преобразования изображений im2bw по регулируемому порогу. Порог бинаризации не является постоянным и зависит от ряда показателей: распределения яркости, содержимого изображения, резкости локальных участков и т.д.

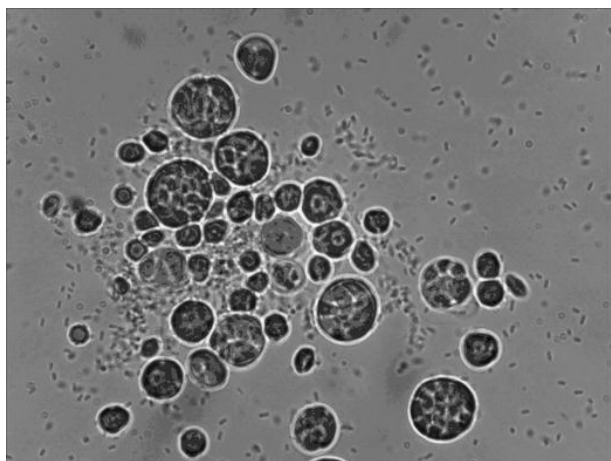


Рис. 1. Микрофотография водорослей *Chlorella trebouxioides*.

#### Выбор и алгоритмизация признаков.

Основываясь на источниках [2, 3] отметим, что наиболее подходящей кандидатурой для создания программного обеспечения для микровизора является интеллектуальная система, способная решить задачу на уровне логических умозаключений. Такая система должна уметь осуществлять поиск рассматриваемых признаков на изображении, давать оценку наблюдаемой ситуации и принимать решение об отнесении водорослей к известным классам. Решение о выборе того или иного признака остается за экспертом. Прimitивные признаки удобно реализовать в виде простейших алгоритмов. Более сложные признаки легко создавать на базе примитивных признаков по описанию исследователя или генерировать их с использованием генетических алгоритмов. На рис. 2 представлена архитектура интеллектуальной системы таксономии микроскопических водорослей для рода *Chlorella*. Блоки  $D_j$  представляют простейшие признаки, а выходы из подсистем Level – сложные признаки на изображении, которые формируются на базе простейших. Так как сложные признаки тоже могут представлять собой алгоритмы или математические выражения, то применение аппарата эволюционного моделирования для их генерации является удобным инструментом. Сгенерированные таким образом особи можно будет

оценить на базе фреймовых моделей, которые можно разработать на основе тех же самых описаний эксперта.

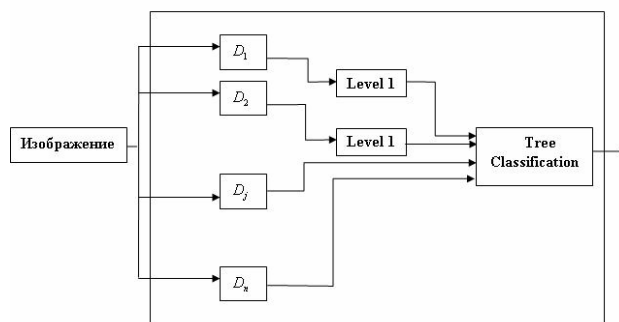


Рис. 2. Архитектура системы распознавания

**Технология классификации.** Принятие решения удобно основывать на продукционных правилах или деревьях классификации. Условия правил можно будет описать через примитивные и сложные признаки, представленные алгоритмами. Тогда распознавание будет представлять выбор нужного продукционного правила в качестве гипотезы с некоторой мерой доверия, проверку его условной части через запуск алгоритмов, описывающих antecedent и принятие решения согласно этому правилу об отнесении содержимого изображения к классу, указанному в консеквенте продукции. В таксономии микроскопических водорослей в случае морфологического подхода эксперт обычно опирается на уже существующие таблицы определения видов и родов. Они же представляют знания эксперта-альголога и формализованы в виде деревьев классификации или деревьев-решений. Ниже приведем дерево классификации для определения вида *Chlorella* из [1] в виде продукционных правил.

**ЕСЛИ** (автоспоры обычно образуются в четном числе) **И** (имеется периноид) **И** (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) **И** (хлоропласт сплошной) **И** (хлоропласт незамкнутый, поясковидный, реже чашевидный), **ТО** результат – *Chlorella vulgaris*.

**ЕСЛИ** (автоспоры обычно образуются в четном числе) **И** (имеется периноид) **И** (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) **И** (хлоропласт сплошной) **И** (хлоропласт незамкнутый, поясковидный, реже чашевидный) **И** (зрелые клетки шаровидные) **И** (автоспоры и молодые клетки неправильно-эллипсоидные или эллипсоидные), **ТО** результат – *Chlorella f. vulgaris*.

**ЕСЛИ** (автоспоры обычно образуются в четном числе) **И** (имеется периноид) **И** (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) **И** (хлоропласт сплошной) **И** (хлоропласт незамкнутый, поясковидный, реже чашевидный) **И** (зрелые клетки шаровидные) **И** (автоспоры тетраэдрические или неправильно-шаровидные, молодые клетки шаровидные) **И** (клетки 3,3-7,8 мкм в диам.), **ТО** результат – *Chlorella f. globosa*.

ЕСЛИ (автоспоры обычно образуются в четном числе) И (имеется периноид) И (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) И (хлоропласт сплошной) И (хлоропласт незамкнутый, поясковидный, реже чашевидный) И (зрелые клетки шаровидные) И (автоспоры тетраэдрические или неправильно-шаровидные, молодые клетки шаровидные) И (клетки 1,7-3,3 мкм в диам.), ТО результат – *Chlorella f. minuscula*.

ЕСЛИ (автоспоры обычно образуются в четном числе) И (имеется периноид) И (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) И (хлоропласт сплошной) И (хлоропласт незамкнутый, поясковидный, реже чашевидный) И (зрелые клетки эллипсоидные), ТО результат – *Chlorella suboblonga*.

ЕСЛИ (автоспоры обычно образуются в четном числе) И (имеется периноид) И (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) И (хлоропласт сплошной) И (хлоропласт полый, шаровидный, с узким щелевидным отверстием), ТО результат – *Chlorella kessleri*.

ЕСЛИ (автоспоры обычно образуются в четном числе) И (имеется периноид) И (крахмальная обертка состоит из 2-4 скорлупок) И (хлоропласт с 3-4, реже 5 лопастями), ТО результат – *Chlorella lobophora*.

ЕСЛИ (автоспоры обычно образуются в четном числе) И (имеется периноид) И (крахмальная обертка периноида из отдельных мелких зернышек) И (клетки шаровидные), ТО результат – *Chlorella mirabilis*.

**Выводы:** условия рассматриваемых продукций сложные как в смысле количества, так и в смысле их разнотипности. Если для некоторых из них нужно подсчитать количество некоторых структурных элементов, то в других мы имеем дело с определением морфологических параметров сложно различимых частей в их центральной проекции. Другого вида сложность образуют модальности вычисляемых признаков – от детерминированных и структурных до логических в классическом и нечетком представлениях. Разработав алгоритмическое обеспечение, которое используется для поиска и подтверждения тех или иных признаков, находящихся в условиях продукций в виде высказываний, можно

работать на уровне правил. Например, рассмотрим первое правило. Для него необходимо разработать алгоритмы поиска таких структурных элементов микроскопических водорослей, как автоспоры, пиреноид, крахмальная обертка и хлоропласт. Следовательно, требуется описание их геометрии на уровне либо структурных признаков, либо снова выделить набор признаков для их распознавания по совокупности характеристик, однозначно их идентифицирующих. Следующий этап заключается в создании процедур поиска нужных данных на изображении микроскопических водорослей. Для этих алгоритмов ставятся определенные цели, сформулированные высказываниями в условиях правил. Применять знания в выше приведенной форме не эффективно, ибо будут наблюдаться случаи, когда необходимо будет проверять некоторые подусловия несколько раз. Для устранения лишних проверок можно продукционные правила объединить в дерево классификации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Андреева, В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales). – СПб: Наука, 1998.
2. Горелик, А.Л. Методы распознавания: учебное пособие для вузов – 4-е изд., исправ / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М.: Высш. шк., 2004.
3. Форсайт, Д. Компьютерное зрение: современный подход.: пер. с англ / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
4. du Buf, H. et al. Diatom identification: a Double Challenge Called ADIAC // Proc. 10-th Int. Conf. on Image Analysis and Processing (Sept. 27-29, Venice). – Venice, 1999. – P. 734-739.
5. du Buf, H. Automatic Diatom Identification / H. du Buf, M.M. Bayer // Series in Machine Perception and Artificial Intelligence. – Singapore: World Scientific Publishing Co., 2002. – Vol. 51. – 316 p.
6. <http://www.mtpk-lomo.ru>
7. [www.leica-microsystems.com](http://www.leica-microsystems.com)
8. <http://www.nexsys.ru>

### SYSTEM OF MICROSCOPIC ALGAE OF GENUS CHLORELLA CLASSIFICATION

© 2010 A.R. Iskhakov, M.R. Bogdanov, A.V. Bogdanova  
Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla, Ufa

The program of intellectual classification of microscopic algae of genus *Chlorella* is developed. Restoration of the image was spent by means of module Image Processing Toolbox of program Matlab. For classification of algae have been developed productivity rules.

Key words: genus *Chlorella*, productivity rules, intellectual classification of microalgae

Almaz Iskhakov, Teacher at the Department of Programming and Calculus Mathematics. E-mail: [intellab@mail.ru](mailto:intellab@mail.ru)  
Marat Bogdanov, Candidate of Biology, Associate Professor at the Department of Informatics. E-mail: [bogdanov\\_marat@mail.ru](mailto:bogdanov_marat@mail.ru)  
Albina Bogdanova, Teacher at the Botany Department. E-mail: [albina\\_bogdanova@mail.ru](mailto:albina_bogdanova@mail.ru)