

УДК 004.932

М. В. Телегина, кандидат технических наук, доцент
И. М. Янников, кандидат технических наук, доцент
В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор
Н. В. Козловская, кандидат биологических наук, доцент
Т. Л. Зубко
Ижевский государственный технический университет

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ БИООБЪЕКТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Показана необходимость автоматизации определения параметров биообъектов при мониторинге зон влияния потенциально опасных объектов. Описана предложенная экстентная модель кластера для определения степени повреждения по цветному изображению биообъекта. Дан пример программной реализации.

Ключевые слова: биоиндикаторы, цветовые характеристики, экстенция кластера, сегментация

Мониторинг зоны влияния потенциально опасных объектов (ПОО) как комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния окружающей природной среды включает в себя мониторинг воздуха, почвы, воды, донных отложений, а также флоры и фауны. Существуют различные подходы к классификации экологического мониторинга: по характеру решаемых задач, по уровням организации, по природным средам, за которыми ведутся наблюдения, и т. д. Экологический мониторинг включает как геофизические, так и биологические аспекты, что определяет широкий спектр методов и приемов исследований, используемых при его осуществлении.

Поскольку сообщества живых организмов замыкают на себя все процессы, протекающие в экосистеме, ключевым компонентом мониторинга окружающей среды является мониторинг состояния биосферы, или биологический мониторинг, под которым понимают систему наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биотических компонентах, вызванных факторами антропогенного происхождения и проявляемых на организменном, популяционном или экосистемном уровнях.

Мониторинг флоры и фауны в зоне влияния ПОО – это оценка и контроль влияния объекта на окружающую природную среду с использованием биологических объектов-индикаторов. Мониторинг данного типа включает в себя:

- общий контроль состояния объектов флоры и фауны в зоне влияния ПОО;
- оценку фоновое (доэксплуатационное) состояние природных экосистем;
- оценку текущих изменений состояния окружающей природной среды в зоне влияния ПОО в ходе эксплуатации объекта с применением методов биологической индикации;
- прогноз дальнейшего изменения состояния окружающей природной среды под влиянием объекта;
- тестирование результатов биомониторинга посредством сравнения с другими видами мониторинга окружающей среды (почва, вода).

Задача подсистемы мониторинга биоты: адаптация и развитие методической базы эколого-аналитического контроля, обеспечение деятельности по развитию в регионе системы контроля объектов, оказывающих влияние на окружающую среду. Оценка и контроль влияния объекта на окружающую среду с использованием биологических объектов-индикаторов невозможны без определения параметров биообъектов [1]. Данные биомониторинга должны архивироваться не только в табличном и цифровом виде, но и в виде фотографий, иллюстраций и карт.

Различают регистрирующие и накапливающие биоиндикаторы. Регистрирующая биоиндикация позволяет судить о воздействии факторов среды по состоянию особей вида или популяции, а биоиндикация по аккумуляции использует свойство растений и животных накапливать те или иные химические вещества. Внешний вид: аномалии, асимметричность, хлороз, некроз, сухoverшинность и другие повреждения тканей биоиндикаторов – зависят от изменения окружающей среды и на сегодняшний день оцениваются визуально (на глазок) и, следовательно, в большой степени недостоверно. Автоматизация определения параметров биообъектов по их изображениям поможет ускорить процесс обработки данных биомониторинга, повысив при этом достоверность результатов и, как следствие, ускорит оценку экологической ситуации в зоне влияния ПОО и принятие необходимых управленческих решений.

Для решения задачи автоматизации определения повреждений биообъектов необходимо рассмотреть особенности реальных изображений. Для идеальных графических изображений значения кластеров цветовых компонент в цветовом пространстве RGB концентрируются в точке, местоположение которой в цветовом пространстве определено математическим ожиданием цвета изображения. Графическая определенность нарушается в силу воздействия нелинейных искажений цветоносовой шкалы, которые переназначают значения графической характеристики в соответствии с некоторой характеристикой цветопередачи. Пространственно-частотные искажения представляют собой переходы в пространстве цветовых компонент от координат одного цветового вектора к другому. Воздействие шумов и помех приводит к тому, что реальные изображения имеют некоторый разброс характеристик значений цветовых компонент кластеров. На рис. 1 представлены три цвета C_1 , C_2 , C_3 в пространстве цветовых компонент. Для случая биообъекта кластер зеленого цвета будет иметь наибольший размер, зависящий от среднеквадратических отклонений (СКО) компонент RGB.

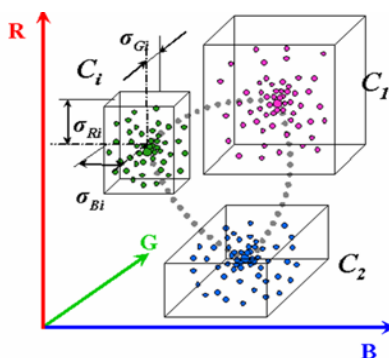


Рис. 1. Кластеры в пространстве цветовых компонент

Наиболее критической процедурой автоматизации анализа изображений является сегментация, поскольку ее результаты влияют в дальнейшем на все последующие действия, связанные с анализом изображений [2]. Цветные изображения биообъектов для анализа имеют полутона и плавные переходы от одного цвета к другому, имеют множество оттенков одного цвета и не только зеленого как основного. По существу для определения степени повреждения объекта нужно вычислить процент поврежденной ткани (некроза, покраснение, пожелтение и т. п.) относительно всего биообъекта.

Среди работ автоматизации обработки изображений наиболее близки работы по цветовой сегментации, т. е. преобразованию сложного цветного изображения в отдельные цветовые компоненты (слои), которые могут быть распознаны как дискретные знаки и т. п. [3].

В работе [4] в качестве количественной меры различия между цветами использован цветовой контраст, определяемый как расстояние между точками, соответствующими цветам в пространстве цветовых компонент. Однако реальные изображения, в частности фотоизображения и изображения, полученные со сканера, подвергаются воздействию искажающих факторов, таких как ограничение пространственного разрешения и воздействие шумов и помех, обусловленных процессами формирования и передачи изображения, а также неравномерность распределения цветового окраса биообъектов [5, 6, 7].

Для определения принадлежности пикселей изображения цветам кластеров использована разработанная кластерная модель, которая описывает экстенд кластера как габаритный прямоугольный гиперпараллелепипед, ребра которого параллельны координатным осям пространства RGB. Таким образом, кластер представляет собой своеобразный параллелепипед в цветовом пространстве RGB, в объеме которого распределены значения цветовых компонент одного цвета изображения (рис. 1). Расположение кластеров i -го цвета в пространстве цветовых компонент зависит от средних значений цветовой компоненты R_i , G_i и B_i (координаты центра кластера), а размеры определены величинами среднеквадратических отклонений σ_{R_i} , σ_{G_i} , σ_{B_i} [8, 9].

В общем виде алгоритм расчета степени повреждения биообъектов можно представить в виде схемы (рис. 2).

После ввода изображения биообъекта происходит задание цветовых характеристик самого объекта и его повреждений. Предусмотрена возможность выбора из базы данных характеристик, использованных в предыдущих расчетах. Интерактивная сегментация подразумевает ввод пользователем необходимых данных непосредственно в процессе работы. Обычно на вход алгоритма поступает исходное изображение и дополнительная информация: примерные границы объекта и указание пикселей, обязательно принадлежащих объекту (фону) [10, 11]. В нашем случае предварительно задаются цветовые характеристики анализируемых фрагментов (опорные фрагменты) – фрагменты исходного изображения, определенного цвета, выделенного пользователем, максимальной величины, необходимой для прямого измерения характеристик совокупности пикселей. Характеристики распределения цветовых компонент опорных фрагментов (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение) являются характеристиками кластеров в пространстве цветовых компонент.

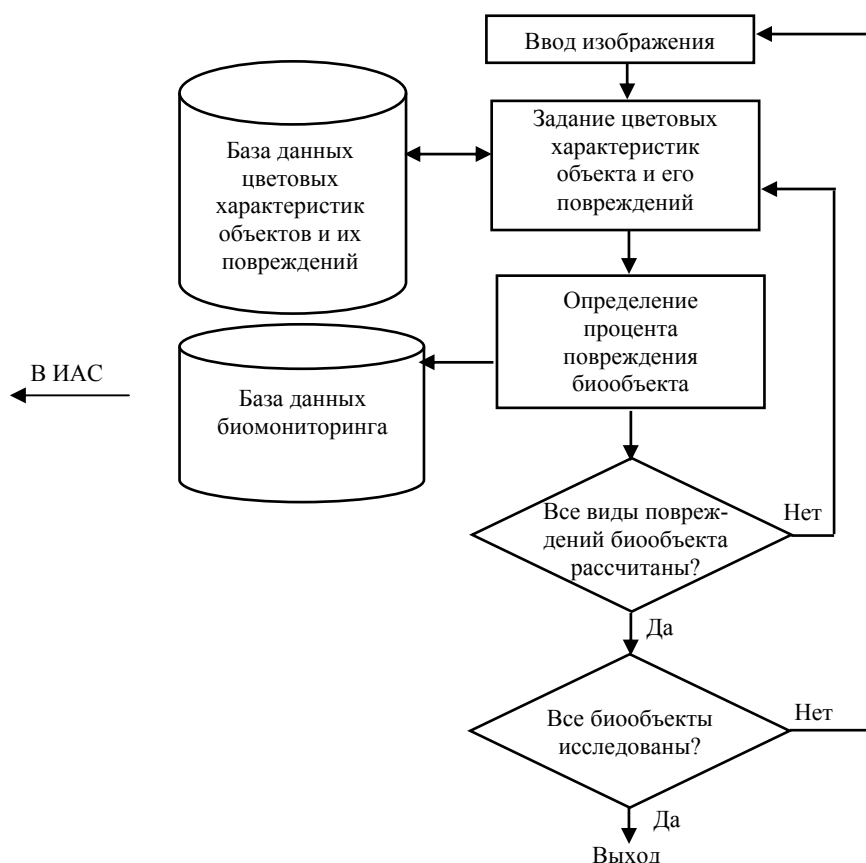


Рис. 2. Схема расчета степени повреждения биообъектов

После определения степени повреждения биообъекта данные записываются в базу данных биомониторинга, а затем данные биомониторинга передаются в информационно-аналитический центр (ИАЦ) экологического мониторинга ПОО. База данных биомониторинга является одной из составных частей информационно-аналитической системы (ИАС) обработки данных биомониторинга и включает логический вывод по изменению регламента биомониторинга, анализ ситуации, прогноз сценариев, классификацию и выбор управленческих решений. Именно на основании данных биомониторинга осуществляется изменение регламента измерений параметров биообъектов, формулируется решение о переходе к оперативному мониторингу, которое может быть принято как на основании данных диагностического мониторинга, так и по другим данным системы производственного экологического мониторинга ПОО [12].

Программно реализованы процедуры определения усредненного значения опорного фрагмента по каждому цвету и среднеквадратического отклонения от усредненного значения опорного фрагмента по каждому цвету. Описание процедур приведено в таблице.

Описание процедур

<p>Определение усредненно-го значения опорного фрагмента по каждому цвету</p>	<p>Определение среднеквадратического отклонения от усредненного значения опорного фрагмента по каждому цвету</p>	<p>Определение количества пикселей аномального цвета объекта и его составляющих для экстенда кластера, ограниченного 3σ</p>
<p><i>Процедура EqualColor</i> $SR:=0$ $SG:=0$ $SB:=0$ <i>Выполнить</i> Для $I:=0$ до n Для $J:=0$ до m <i>Выполнить</i> $SR:=SR+R_{[i,j]}$ $SG:=SG+G_{[i,j]}$ $SB:=SB+B_{[i,j]}$ Конеч $R_{cp}:=SR/(n*m)$ $G_{cp}:=SG/(n*m)$ $B_{cp}:=SB/(n*m)$ Конеч</p>	<p><i>Процедура FindSigma</i> Для $I:=0$ до n Для $J:=0$ до m <i>Выполнить</i> $\sigma_R:=\sqrt{(R_{[i,j]}-R_{cp})^2/(n*m)}$ $\sigma_G:=\sqrt{(G_{[i,j]}-G_{cp})^2/(n*m)}$ $\sigma_B:=\sqrt{(B_{[i,j]}-B_{cp})^2/(n*m)}$ Конеч</p>	<p><i>Процедура GetCurrAreaCount</i> <i>Выполнить</i> $CurCCount:=0$ Для $I:=0$ до $BitWidth-1$ Для $J:=0$ до $BitHeight-1$ <i>Выполнить</i> Если $ACurrColor <> CurrBackColor$, то Если $(CurR = SR + 3\sigma_R)$ и $(CurG = SG + 3\sigma_G)$ и $(CurB = SB + 3\sigma_B)$, то <i>Выполнить</i> Если $rbyellow:=true$ then begin $Lbyellow:=CurClyelow$ Если $rbRed:=true$ then begin $LbRed:=CurCRed$ Если $rbblack:=true$ then begin $Lbblack:=Curblack$ $ACurrColor:=CurrAreaColor$ $CurCCount:=CurCCount+1$ $ACurrColor:=clRed$ Конеч</p>
<p>Примечание: $\sigma_R, \sigma_G, \sigma_B$ – это среднеквадратические отклонения; R_{cp}, G_{cp}, B_{cp} – это средние значения цветовых компонент опорных фрагментов (центр кластера); N, m – это длина и ширина опорного фрагмента; $R_{[i,j]}$ – это значение текущего пиксела</p>		

Определение количества пикселей аномального цвета объекта и его составляющих для экстенда кластера, ограниченного 3σ , и анализ характеристик изображений с различным количеством цветов показали, что сходство или различие цветовых координат в цветовом пространстве на уровне 3 СКО определить трудно, а иногда и невозможно. Кластеры многих цветов, ограниченные размером 1-2 СКО, будут достаточно далеки друг от друга, и у пикселей изображения, имеющих цвет со значениями, не принадлежащими ни одному из кластеров, трудно определить цвет.

Чтобы однозначно определить, какому цвету принадлежит тот или иной пиксел изображения, необходимо задаться условием непересечения этих кластеров в пространстве RGB. Предлагается определить принадлежность каждого пиксела изображения заданным кластерам за счет определения их близости к центрам кластеров, нормированных по значениям размеров экстенда. Общее решающее правило определения принадлежности пиксела кластеру имеет следующий вид:

$$r(c_1, c_2, \dots, c_n) = \arg \min_{i=1, N} \max \left(\frac{c_1 - c_{1i}}{h_{1i}}, \frac{c_2 - c_{2i}}{h_{2i}}, \dots, \frac{c_n - c_{ni}}{h_{ni}} \right),$$

где i – индекс кластера; c_1, c_2, \dots, c_n – значения параметров текущей точки; N – количество анализируемых параметров изображения; $c_{1i}, c_{2i}, \dots, c_{ni}$ – средние значения параметров i -го кластера; $h_{1i}, h_{2i}, \dots, h_{ni}$ – размер экстенда, ограничивающего i -й кластер.

Пример программной реализации определения характеристик биообъекта приведен на рис. 3 и 4. Для сегментации выделялись области здоровой и поврежденной ткани биообъекта, а также фон изображения. Рассчитанный процент повреждения (некроза) биообъекта 14,59 %.

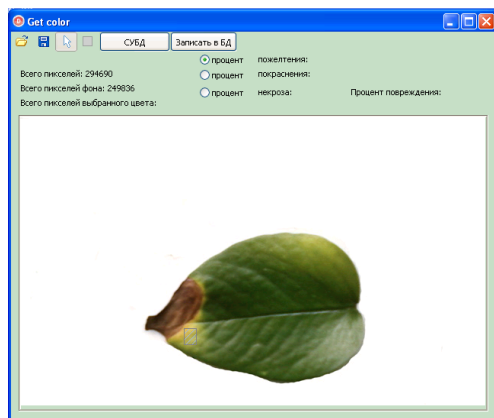


Рис. 3. Главное окно системы определения степени повреждения биообъекта

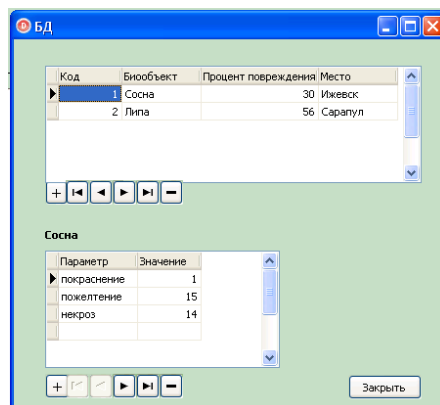


Рис. 4. Сохранение результатов расчета в базу данных

В качестве перспективных направлений развития данной задачи можно выделить следующие:

- анализ нескольких видов повреждений объектов;
- автоматизация определения характеристик фона;

- сохранение цветовых характеристик отдельных повреждений биообъектов в базе данных для анализа других видов биоиндикаторов;
- определение мест локализации повреждений (край листа, середина, очаговые поражения), которые могут указывать на тип действующего на биоиндикатор вещества.

Необходимо отметить, что предложенная методика определения степени повреждения биообъектов по их фотоизображениям способствует увеличению производительности труда экологов и достоверности анализа состояния биообъектов.

Разработанная на основе кластерного анализа цветовых компонент методика позволяет формировать взаимозависимую цветотоновую шкалу и сохранять изображения в оттенках серого с возможностью восстановления цветовых компонент.

Использование данной методики позволит значительно ускорить процесс обработки материалов исследований, повысив при этом достоверность результатов.

Библиографические ссылки

1. Методы и системы обработки данных биомониторинга потенциально опасных объектов : монография / И. М. Янников [и др.] – Самара : Изд-во Самар. аэрокосм. ун-та, 2011. – 200 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. : в 2 кн. Кн. 1. – М. : Мир, 1982. – 312 с.
3. Цветовая сегментация сложных графических документов / О. А. Башкиров [и др.] // Методы и средства обработки сложной графической информации : тез. VI Всерос. конф. – Н. Новгород, 2001. – С. 140.
4. Никоноров А. В., Попов С. Б., Фурсов В. А. Принцип согласованности оценок в задаче идентификации. Алгоритмы параллельной реализации // Высокопроизводительные вычисления и технологии : тез. Всерос. конф. – Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2003. – С. 332.
5. Телегина М. В., Мурынов А. И. Структурно-цветовой анализ графических изображений на основе динамической экстенстной модели кластера // Известия института математики и информатики. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ. – 2006. – № 2. – С. 197–200.
6. Телегина М. В. Применение нормализованного описания кластера для компенсации искажений и помех графических изображений // Информационно-вычислительные технологии и их приложения : сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : РИО ПГСХА, 2006. – С. 292–295.
7. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.
8. Телегина М. В., Мурынов А. И. Структурно-цветовой анализ графических изображений на основе динамической экстенстной модели кластера.
9. Телегина М. В. Применение нормализованного описания кластера для компенсации искажений и помех графических изображений.
10. Там же.
11. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.
12. Янников И. М., Телегина М. В. Экспертно-аналитическая система биомониторинга объекта уничтожения химического оружия // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (AIS'08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2008). В 4 т. – М. : Физматлит, 2008. – Т. 2. – С. 14–16.

M. V. Telegina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

I. M. Yannikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

V. A. Alekseev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

N. V. Kozlovskaja, Candidate of Science (Biology), Associate Professor, Izhevsk State Technical University

T. L. Zubko, Izhevsk State Technical University

Processing of Images of Biological Objects for Ecological Monitoring Problems

Necessity for parameters definition automation of bio objects at monitoring of potentially dangerous objects is shown. The offered extent model of cluster for damage rate definition by the bio object colour image is described. The example of the program realization is presented.

Keywords: bioindicators, colour characteristics, cluster extent, segmentation

Получено: 18.11.11

УДК 532.3, 519.6, 519.635.8

В. А. Тенев, доктор физико-математических наук, профессор

Е. В. Ветчанин, аспирант

Ижевский государственный технический университет

УПРАВЛЯЕМОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА В ЖИДКОСТИ ПРИ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Проведено численное решение задачи о движении тела с переменной геометрией масс в вязкой жидкости. Для схемы возвратно-поступательного перемещения внутренней материальной точки поставлена задача управления движением тела по заданной траектории. Получены результаты решения задачи оптимального управления генетическим алгоритмом.

Ключевые слова: движение тела, переменная геометрия масс, оптимальное управление, генетические алгоритмы

Введение

Рассматриваемая задача имеет название «жук на плоту» («bug on a raft») [1]. Тело массой M имеет жесткие границы. Внутри тела перемещается одна или несколько материальных точек с массами m_k . Если материальная точка («жук») движется возвратно-поступательно, то в невязкой жидкости тело будет совершать колебательное движение относительно центра масс. Если траекторию материальной точки задать по какому-либо закону, то возможно перемещение тела на любое расстояние даже в идеальной жидкости. Как установлено в работах [2, 3], тело должно иметь несимметричные коэффициенты присоединенных масс. Для симметричного тела траектория движения за счет переменной геометрии масс в идеальной жидкости будет замкнутой. В вязкой жидкости движущееся тело имеет силу сопротивления, зависящую от скорости движения, и траектория симметричного тела может стать незамкнутой [4]. В вязкой жидкости также возможно и неограниченное перемещение тела при возвратно-поступательном движении внутренней точки. В этом случае появляется задача управления движением тела для обеспечения требуемой траектории движения.

Уравнения движения

Рассмотрим плоское движение тела, имеющего форму круглого цилиндра с одной внутренней точкой. Тело имеет материальную оболочку неизменной формы