

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ КЕРАТИНОЦИТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ И КОЛИЧЕСТВЕННОГО РОСТА КЛЕТОК

Каира В.В.

Донецкий национальный технический Университет, кафедра
Автоматизированных систем управления

Рассмотрены фрактальный, спектральный, вейвлет и статистический подходы получения признаков изображения. Проведен анализ результатов классификации признаков различных классов изображений кератиноцитов. Предложен спектральный метод получения признаков изображений для использования в компьютерной системе оценки качества и прогнозирования сроков созревания кератиноцитов.

Введение. В работе [1] была поставлена задача разработки компьютерной системы прогнозирования сроков созревания кератиноцитов, клеток кожи, выращиваемых в специализированных медицинских лабораториях для пересадки пациентам на пораженные ожогами или болезнями участки кожных покровов. Согласно [1] компьютерная система должна включать подсистему контроля качества выращиваемой культуры. Входом данной подсистемы являются снимки участков культурального матраса с клетками, выходом – процентное заполнение матраса жизнеспособными клетками. Правильный выбор наиболее информативных признаков изображения способен увеличить точность классификации снимков в подсистеме контроля качества выращиваемой культуры.

Постановка задачи. После съемки изображения матраса снимок поступает на вход подсистемы контроля качества выращиваемой культуры (рис. 1). С выхода блока предварительной обработки изображение подается на блок выделения признаков изображения.

В этом блоке необходимо выработать множество информативных признаков изображения, по которым с помощью

классификатора возможно сформировать значение, соответствующее визуальному процентному заполнению снимка живыми клетками.

Получение такого признака с помощью анализа гистограммы яркостей изображения либо контурного препарата изображения [2] не представляется возможным, т.к. яркость внутреннего заполнения клеток на изображении часто соответствует яркости фона и невозможно утверждать о принадлежности оконтуренного участка фону или клетке.

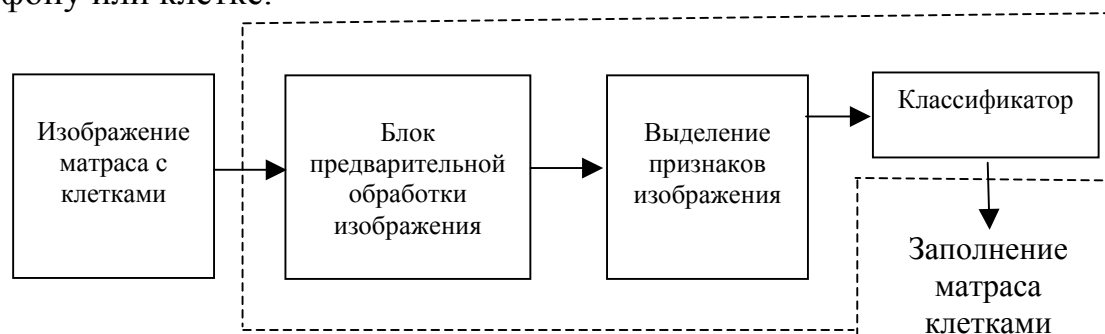


Рис. 1 - Структура подсистемы контроля качества выращиваемой культуры

С помощью детекторов границ изображения возможно получить контуры клеток, однако они неотличимы от ярких участков снимков (соответствующих изначально посеянным группам клеток, прикрепившимся к культуральному матрасу и начинающим делиться и расти). Поэтому основной задачей при реализации подсистемы контроля качества выращиваемой культуры является выбор математического метода формирования признака заполнения изображения живыми клетками и его классификации. Анализируемые снимки произведены с помощью микроскопа на увеличении $\times 100$ с разрешением 512×512 пикселей в 256 градациях серого.

Решение задачи. Признаки изображения должны обладать инвариантностью к повороту и незначительным изменениям масштаба. В работе [3,4] предложен подход к классификации текстуры изображения, основанный на анализе коэффициентов вейвлет разложения. Для обеспечения инвариантности к повороту предварительно предлагается использовать логарифмически-полярное преобразование изображения. После логарифмически-полярного преобразования изображение подлежит вейвлет декомпозиции C и является входным изображением на уровне разложения $q=0$, т.е. C^0_0 .

Для проведения эксперимента в работе был использован вейвлет Добеши 10-го порядка. После декомпозиции для отдельного уровня разложения каждого изображения вычислялась мера энергии:

$$(2)$$

Признаком изображения принимался упорядоченный по убыванию вектор значений $e_m, m=1, \dots, 96$ – вейвлет сигнатура.

В литературе встречается метод классификации текстур и медицинских изображений с помощью фрактальной размерности [5]. Для вычисления фрактальной размерности необходимо положить, что наблюдаемое серое изображение $I(x,y), x=0, \dots, N, y=0, \dots, M$, представляет собой фрактальную броуновскую поверхность; x и y – координаты пикселей изображения, N и M – размеры изображения. Тогда согласно закону дисперсии и стационарности [5], вытекающему из гауссовости приращений, должно выполняться отношение:

$$E(|I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|) \propto \sqrt{|x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|} \quad (3)$$

где $E(|I(x_2, y_2) - I(x_1, y_1)|)$ – математическое ожидание изменения яркости, H – фрактальный параметр.

Другой часто используемый подход извлечения статистических характеристик текстуры базируется на вычислении матрицы совместной встречаемости (матрицы смежностей, GLCM) [2]. Обозначив эту матрицу $S(i, j, d, \theta)$, где i и j – яркости соседних точек на изображении, расположенных на расстоянии d друг от друга, при угле θ . Матрицы содержат информацию характеризующую текстуру. По матрице совместной встречаемости вычисляется около двадцати различных признаков, в данной работе использована энергия:

$$(4)$$

В [1] предлагается судить о заполнении изображения матраса изображениями клеток, анализируя двумерный спектр снимка [2]. Такой подход инвариантен к изменению средней яркости изображения. Для изображения $I(x,y)$ размером $N \times M$ спектр определяется как

$$(5)$$

где x и y – координаты пикселей изображения, $F(w_x, w_y)$ – спектр изображения, w_x и w_y – частоты, $n_x = 0, \dots, N-1, n_y = 0, \dots, M-1$.

На практике при анализе комплексной функции $F(w_x, w_y)$ целесообразно принимать во внимание модуль её значения:

(6)

Функция модуля спектра инвариантна к сдвигу [2], для обеспечения инвариантности к вращению применяется радиальная функция признаков:

(7)

где $\theta = \arctg(w_y/w_x)$ и $\rho^2 = w_x^2 + w_y^2$.

Результаты. С целью проверки возможностей предложенных подходов анализа изображения матраса по классификации процентного заполнения клетками были реализованы программы в среде программирования Borland C++ Builder 6. Для классификации радиальных функций признаков и вейвлет сигнатур использовался простой и достаточно точный метод классификации – классификатор на основе Евклидовых расстояний [6]. Экспертами было определено 3 класса изображений культурального матраса (рис.2):

- 1) изображения матраса, с низким уровнем заполнения клетками;
- 2) изображения матраса, с средним уровнем заполнения клетками;
- 3) изображения матраса, с полным заполнением клетками.

Для формирования эталонных точек классов были выбраны десять эталонных снимков каждого из классов. Статистическая обработка результатов работы методов была выполнена в программе MS Excel 2003. Для каждого из снимков были получены следующие характеристики: фрактальная размерность, энергия текстуры, радиальная функция признаков Фурье, 96-значный вектор признаков вейвлет разложения. При выбранном уровне значимости $\alpha=0,001$ для каждого из классов были сформированы доверительные интервалы. Для Евклидова расстояния вейвлет сигнатур невозможно сформировать доверительные интервалы для второго и третьего эталонных классов, различия между ними не значимы даже при уровне значимости $\alpha=0,05$. Согласно [6], при использовании классификатора на основе Евклидовых расстояний целесообразно использовать следующий алгоритм классификации без построения доверительных интервалов:

1. Сформировать точки, соответствующие эталонным классам.
2. Проверить Евклидово расстояние тестируемой точки до каждой из точек, представляющей эталонный класс.

3. Отнести тестируемую точку к классу, Евклидово расстояние до эталонной которого минимально.

Была выполнена классификация 30 снимков, по 10 снимков в каждом из классов. Обобщенные результаты точности классификации снимков кератиноцитов с использованием предложенных методов выделения признаков изображений приведены в табл. 2.

Выводы. В исследовании был выполнен анализ возможного применения в компьютерных системах прогнозирования сроков созревания кератиноцитов нескольких методов выделения признаков изображения, таких как фрактальный (использующий фрактальную размерность), статистический (использующий признаки матрицы смежности), частотный (использующий радиальный признак Фурье-спектра), вейвлет (использующий предварительное полярное преобразование).

Таблица 2

Показатели точности классификации для различных методов

	Точность при построении доверительных интервалов с $\alpha=0,001$	Точность при использовании классификатора на основе Евклидовых расстояний
Энергия	77%	-
Фрактальная размерность	80%	-
Радиальный Фурье признак	83%	87%
Вейвлет сигнатура	56%	80%

Сравнительный анализ методов показал, что для компьютерных систем прогнозирования сроков созревания кератиноцитов наиболее целесообразным является использование метода радиального признака Фурье. Показано, что использование классификатора способно увеличить точность распознавания снимков кератиноцитов.

В направлении дальнейшего развития исследования предполагается разработка классификатора, что позволит использовать большее число классов изображений без значительного снижения точности, например классификатор на основе аппарата нейронных сетей.

Литература

1. Адамов В.Г., Каира В.В. Компьютерная система прогнозирования сроков созревания кератиноцитов // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – Київ: Міжнародний науково-навчальний центр

- інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України, 3 вип., 2006.
2. Pratt William K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. — John Wiley & Sons Inc., 2001, 735 p.
 3. Chi-Man Pun, Moon-Chuen Lee. Log-polar wavelet energy signatures for rotation and scale invariant texture classification // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol.25, no.5, May 2003, pp. 590-603.
 4. Меркулова Е.В. Создание модели процесса определения жизнеспособности культивируемых фибробластов для автоматизированной системы // Вестник Херсонского Государственного технического университета. - Херсон: ХГТУ.- 2004 г. -№ 1(19).
 5. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. Москва: Постмаркет, 2000, — 352 с.
 6. Bow Sing-Tze. Pattern Recognition and Image Preprocessing, Second Edition, Revised and Expanded. — Marcel Dekker Inc., New York-Basel. 2002, 698p.

Получено 22.05.2007