

УДК 004.932.2; 303.732.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ФОРМЫ ГРАНИЦ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЖИВЫХ КЛЕТОК

Лисица Е.В.¹, Яцков Н.Н.¹, Апанасович Т.В.², Ри Х.², Апанасович В.В.¹

¹ УО «Белорусский государственный университет», г. Минск

² Центр Джефферсона по исследованию раковых заболеваний, Филадельфия
Научный руководитель – Апанасович В.В., д. ф.-м. н., профессор

Введение

Биологические микроматрицы срезов тканей и клеток, исследуемые с использованием метода люминесцентной микроскопии, являются одним из наиболее быстроразвивающихся экспериментальных направлений современной науки. Эффективность микроматриц обусловлена возможностью оперативного получения огромного количества биологической информации на клеточном уровне в ходе клинических и медико-лабораторных исследований [1].

Цифровая обработка изображений живых клеток включает этапы сегментации и локализации объектов-клеток [2]. Учет параметров индивидуальных объектов позволяет более точно идентифицировать раковые клетки различных стадий, а также выделить области неоднородностей на изображениях. Одна из основных групп параметров, характеризующих признаки клеточных объектов, – параметры формы. Например, площадь, эксцентриситет, выпуклость, заполнение и т.д. [2]. Однако данные коэффициенты отражают в основном только геометрическую сторону объекта (сжатость, выпуклость и т.д.) и не позволяют описать степень (не)однородности границы объекта [2]. Учет характеристик (не)однородности границ клеток позволит более точно выделять биологические объекты на изображениях, а также значительно упростит последующую статистическую обработку полученной информации.

В работе предложен метод оценки формы границ сегментированных объектов по люминесцентным изображениям живых клеток. В основе метода лежит оценка степени однородности границ объектов. На первом этапе работы метода вводится набор индивидуальных клеточных систем координат для каждого сегментированного объекта изображения. На втором этапе выполняется оценка степени однородности границ объектов на основе меры коэффициента корреляции Пирсона. Для репрезентативного набора экспериментальных клеток [3], выполнено сравнение разработанной оценки с наиболее широко используемыми параметрами, такими как эксцентриситет и выпуклость.

Клеточная система координат

Центр клеточной системы координат – геометрический центр масс. В качестве оси OX выбрана прямая, проходящая через центр ядра и максимально удаленную точку границы клетки. Ось OY – прямая, перпендикулярная оси OX , проходящая через центр ядра. Координатой пикселя является угол отклонения α от оси OX и расстояние до центра R (рис. 1).

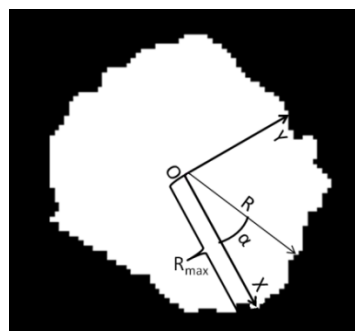
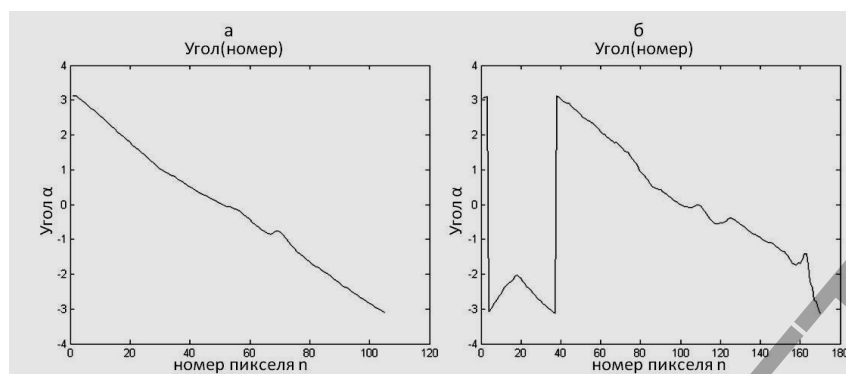


Рисунок 1 – Клеточная система координат

Для выпуклых объектов характерна линейная зависимость угла α от номера пикселя n . (см. Рисунок 2а), что нехарактерно для клеток с вогнутыми контурами границ 2б.



а) выпуклый объект б) вогнутый объект

Рисунок 2 – Примеры зависимости угла α от номера пикселя n

Следует отметить, что регистрируемая функциональная характеристика представляет собой набор натуральных значений в декартовой системе координат. Однако для последующего анализа практичнее использовать полярную систему координат, в которой переменная может принимать иррациональные значения.

Коэффициент корреляции

Для оценки линейной связи угла α и номера пикселя n используется коэффициент корреляции Пирсона $r_{n\alpha}$.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

где x и y – исследуемые случайные величины. Коэффициент корреляции характеризует степень линейной зависимости между переменными и принимает значения от -1 до 1. Предполагается, что выпуклые округлые клетки будут иметь значение параметра близким к 1, а клеткам с экспериментальным искажением (характеризуемые выпуклостью своих границ) будет соответствовать коэффициент корреляции, значительно меньший 1.

Результаты

В таблице 1 представлены результаты расчета коэффициентов корреляции, эксцентриситета и выпуклости для девяти различных клеток, примеры которых расположены на рисунке 3.

$$K = b/a, \quad (2)$$

где a и b большая и малая полуоси ограничивающего эллипса

$$S = Area/ConvexArea, \quad (3)$$

где $Area$ – площадь объекта и $ConvexArea$ – площадь ограничивающего прямоугольника.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции, эксцентриситета и выпуклости для девяти клеток, маски которых представлены на рисунке 3

Номер клетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_{n\alpha}$	0.97	0.96	0.95	0.05	0.99	0.53	0.99	0.08	0.99
Эксцентриситет	0.82	0.81	0.78	0.78	0.75	0.62	0.50	0.68	0.64
Выпуклость	0.76	0.86	0.7523	0.78	0.93	0.63	0.95	0.32	0.99

Из результатов, представленных на рисунке 3 и в таблице 1, действительно следует, что коэффициент корреляции $r_{n\alpha}$ наиболее точно отражает степень гладкости / однородности границ объекта. Так, для объектов, содержащих большое количество выпуклостей

на границах, он принимает значения в пределах от 0 до 0.6. В случае, когда у объекта наблюдаются незначительные отклонения в форме, не искажающие его структурную форму, коэффициент принимает значения, близкие к 1.

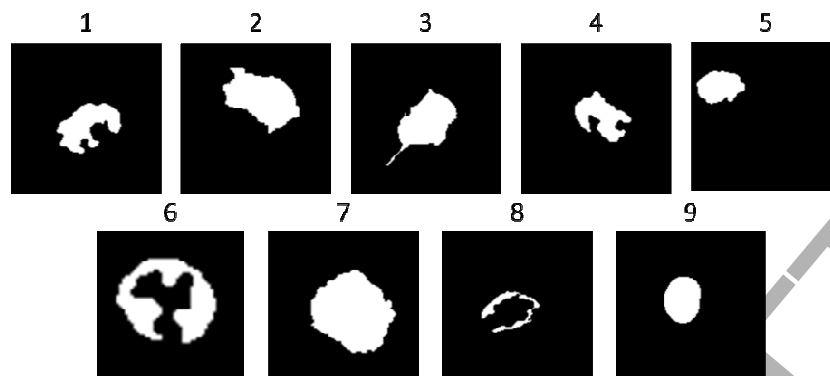


Рисунок 3 – Маски клеток

Выводы

Разработан метод оценки формы границ сегментированных клеток. В основе метода лежит оценка степени однородности границ объектов на основе коэффициента корреляции Пирсона. Коэффициент корреляции позволяет значительно точнее оценить степень искаженности границ объектов, чем параметры эксцентриситета и выпуклости, а также использовать элементы корреляционного анализа для проверки статистических гипотез об однородности границ клеток.

Список цитированных источников

1. Carpenter, A.E. et al. CellProfiler: image analysis software for identifying and quantifying cell phenotypes // *Genome Biology*. – 2006. – №7. – С.100.1-100.10.
2. Гонсалес, Р. *Обработка изображений в среде MATLAB* / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – С.421-425, 436-443.
3. Lisitsa, Y. Fully-automated segmentation of tumor nuclei in cancer tissue images / Y. Lisitsa, M. Yatskou, V. Apanasovich, R. Hallgeir, T. Apanasovich. – *PRIP*. – 2011. – С.116-120.

УДК 004.682

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА АРЕНДНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Магуйло В.С., Аверина И.Н.

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

На каждом предприятии в целях оптимального управления ведется необходимый управленческий учет. При этом предприятие самостоятельно вырабатывает форму ведения управленческого учета и средства ее автоматизации, так как организация управленческого учета по законодательству Республики Беларусь не регламентирована жесткими стандартами и нормативными актами. Управленческий учет – это внутренний учет, главными критериями которого являются объективность и полезность получаемой информации. Управленческий учет основывается, как правило, на данных бухгалтерского учета, которые аккумулированы в предназначенной для этого базе данных. Поэтому целесообразно включение задач управленческого учета в базу данных бухгалтерского учета, формируя тем самым на предприятии единую базу данных для учета и управления.