

РАСПОЗНАВАНИЕ ПАТОЛОГИИ КЛЕТКИ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛОЖЕНИЯ В ОРТОГОНАЛЬНЫЙ РЯД ЦЕРНИКЕ

Н.Н. Иванов, А.С. Фролова, С.В. Глушен

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
кафедра электронных вычислительных машин

П. Бровки 2, г. Минск, Беларусь

телефон(ы): + 375295103565; e-mail: sanechka_86@tut.by

В докладе рассматривается проблема распознавания патологии клетки. В качестве метода решения используется преобразованный полином Цернике. Рассмотрен алгоритм распознавания, разработанный на базе данного метода, и анализ его работы.

Ключевые слова – полиномы Цернике, патология клетки, текстура.

1 ВВЕДЕНИЕ

Анализ текстуры – фундаментальная проблема в обработке изображения, машинном представлении и их использовании, например, при объектном распознавании, дистанционном воздействии, восстановлении изображения на основе его содержимого и так далее. Эта тема активно исследуется, но ощутимое развитие она приобретает только в последние годы.

На разных снимках одна и та же клетка не может быть представлена в одинаковых положениях. В связи с этим необходимо рассматривать методы текстурного анализа, инвариантного к изменению угла поворота и масштабирования изображений. Одним из таких методов является метод основанный на использовании полиномиальных функции Цернике.

Большинство клеток представляют собой эллипс, что

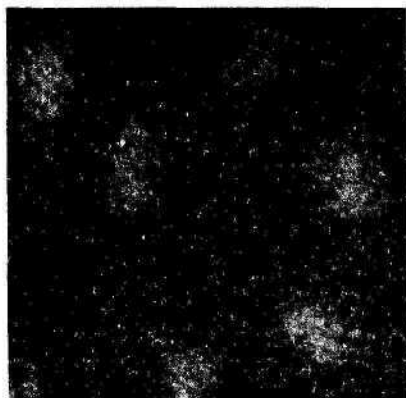


Рис.1. Фотография здоровых клеток

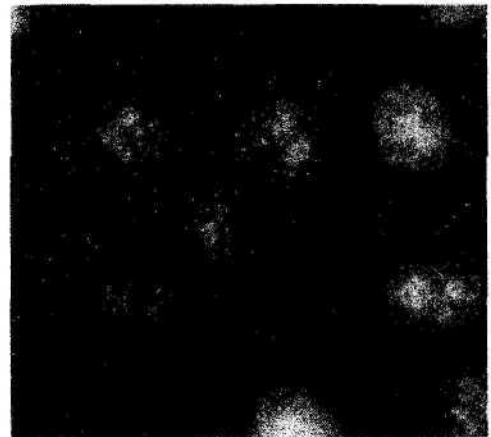


Рис.2. Фотография зараженных клеток

затрудняет использование полиномов Цернике, основанных на множестве ортогональных функций с угловыми гармониками в окрестности радиуса r_0 .

Так как полиномы Цернике используют круг единичного радиуса $x^2 + y^2 \leq 1$ как область вычисления, то каждое изображение подвергалось предобработке, с целью повышения качества распознавания. Предобработка состояла из этапов:

1. Уменьшения влияния помех.
2. Ограничение клетки окружностью.
2. Увеличения резкости изображения.

Для вычисления полиномов Цернике диапазон изображения должен быть приведен к окружности единичного радиуса с его центром в середине изображения. Участки изображения не попадающие в исследуемую область не анализируются.

2 АЛГОРИТМ

На сегодняшний день можно выделить два основных способа описания поверхностей (волновых фронтов):

1. Представление в виде коэффициентов разложения по степенному базису:

$$W(x, y) = \sum_i \sum_j \omega_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

где x, y – прямоугольные координаты точки, ω_{ij} – коэффициенты разложения.

2. Представление в виде коэффициентов разложения по ортогональному базису полиномов Цернике

$$W(\rho, \varphi) = \sum_{n=0}^p \sum_{m=0}^n c_{nm} R_n^m(\rho) \cos(m\varphi) + \sum_{n=1}^p \sum_{m=1}^n S_{nm} R_n^m(\rho) \sin(m\varphi) \quad (2)$$

где $W(\rho, \varphi)$ – описываемая функция, ρ и φ – полярные координаты точки, c_{nm} и S_{nm} – коэффициенты разложения, $R_n^m(\rho)$ – радиальные полиномы Цернике.

Оба способа представления можно обобщить выражением:

$$W(x, y) = \sum_i c_i \alpha_i(x, y) \quad (3)$$

где $W(x, y)$ – описываемая функция (функция деформации поверхности, волновой фронт), c_i – коэффициенты разложения функции $W(x, y)$ по базисным функциям $\alpha_i(x, y)$.

При использовании представления (3) предполагается, что описываемая функция $W(x, y)$ ведет себя достаточно гладко и используемые базисные функции являются хорошим приближением для реальной (описываемой) функции. Такой подход значительно облегчает анализ $W(x, y)$ (особенно в случае ортогонального базиса) – каждый коэффициент c_i (или группа из нескольких коэффициентов) описывает составляющую, соответствующую базисной функции $\alpha_i(x, y)$. Причем каждый коэффициент c_i однозначно определяет поведение типа $\alpha_i(x, y)$ на всей области определения $W(x, y)$. Таким образом, с помощью выражения (3) достигается глобальное описание функции. Чем менее гладко ведет себя описываемая функция, тем больший набор базисных функций $\alpha_i(x, y)$ требуется использовать.

Оптические детали, как правило, имеют границу в виде круга. Поэтому на практике широко применяется не прямоугольная (x, y) , а полярная (ρ, φ) система координат. Координаты точки в этих системах координат связаны соотношениями:

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \cos \varphi = \frac{y}{\rho} \quad (4)$$

Причем в канонических координатах $\rho \in [0, 1]$.

В одномерном случае задача приближения заданной таблицей чисел $(x_i, f(x_i)), i = \overline{0, N}$ функции $f(x)$ с той или иной точностью на отрезке $[a, b]$ действительной оси, является хорошо известной [10]. Классическим методом решения является построение интерполяционного многочлена Лагранжа, определяемого равенством:

$$L_N(x) = \sum_{i=0}^N f(x_i) \frac{\omega_N(x)}{(x - x_i) \omega'_N(x)},$$

$$\omega_N(x) = \prod_{i=0}^N (x - x_i)$$

Однако возможности применения подобного подхода на практике весьма ограничены. Существуют гладкие, сколь угодно дифференцируемые функции, для которых на отрезке $[-1, 1]$ увеличение узлов интерполяции приводит к росту ошибки:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \max_{-1 \leq x \leq 1} |f(x) - L_N(x)| = \infty$$

Иногда подобные трудности удается преодолеть путем специального выбора узлов интерполяции или за счет перехода к каким-либо обобщенным многочленам.

Полиномы Цернике наиболее предпочтительны в анализе изменения структуры клетки ввиду того, что они представляют классические aberrации: наклоны, дефокусировку и т.д., – и ортогональны на круге $\rho \leq 1$, $\varphi \in [0, 2\pi]$.

В выражении (2) коэффициенты полиномов записаны с использованием нумерации по двум индексам. Однако при вычислениях удобнее пользоваться одноиндексной нумерацией, которая принята в стандарте ISO.

Полиномы Цернике определяются следующим соотношением:

$$Z_i(\rho, \varphi) = \begin{cases} \sqrt{n_i + 1} \cdot R_{n_i}^{m_i}(\rho) \cdot \sqrt{2} \cos(m_i \varphi), & (-1)^{m_i} > 0, m_i > 0 \\ \sqrt{n_i + 1} \cdot R_{n_i}^{m_i}(\rho) \cdot \sqrt{2} \sin(m_i \varphi), & (-1)^{m_i} < 0, m_i > 0 \\ \sqrt{n_i + 1} \cdot R_{n_i}^0(\rho), & m_i = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$R_n^m = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} (-1)^s \cdot \frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n-m}{2} - s\right)! \left(\frac{n+m}{2} - s\right)!} \cdot \rho^{n-2s}$$

n_i и m_i определяются номером i следующим образом:

$$n_i = \min \left\{ k \geq 0 : \frac{(k+1)(k+2)}{2} \geq i \right\},$$

$$m_i = \min \left\{ k \geq 0 : (-1)^k = (-1)^{n_i}, k \geq i-1 - \frac{n_i(n_i+1)}{2} \right\}, \quad (7)$$

$0 \leq m \leq n$; $(n-m)$ – четное. Число полиномов до радиальной степени n включительно равно $(n+1)(n+2)/2$. Радиальные составляющие R_n^m связаны рекуррентными соотношениями:

$$(n+m)R_n^m(\rho) - 2n\rho R_{n-1}^{m-1}(\rho) + (n-m)R_{n-2}^m(\rho) = 0 \quad (8)$$

Определенные таким образом полиномы Цернике ортогональны на единичном круге и нормированы на π :

$$\int_0^1 \int_0^{2\pi} Z_i(\rho, \varphi) Z_j(\rho, \varphi) \rho d\rho d\varphi = \pi \delta_{ij} \quad (9)$$

где δ_{ij} – функция Кронекера, равная единице при $i = j$ и нулю в противном случае. Система полиномов Цернике полна. Полиномы за исключением первого ($i = 0$) центрированы, т.е. их среднее на единичном круге равно нулю:

$$\int_0^1 \int_0^{2\pi} Z_i(\rho, \varphi) d\rho d\varphi = \pi \delta_{i0}. \quad (10)$$

В разложении функции поверхности (волновой аберрации)

$$W(\rho, \varphi) = \sum_i c_i \cdot Z_i(\rho, \varphi) \quad (11)$$

c_0 указывает общее смещение относительно плоскости круга, c_1 и c_2 – наклоны по y и x , c_3 – сферичность ("дефокусировку") и т.д.

Полиномы Цернике обладают очень важным, с вычислительной точки зрения, свойством периодичности, благодаря которому при восстановлении выборки значений описываемой функции удастся избежать проведения трудоемкого вычисления значений радиальных полиномов, косинусов и синусов кратных углов во всех точках клетки. Достаточно вычислить их значения в одной области, а в остальных частях клетки выборка функции деформации волнового фронта формируется из уже вычисленных данных.

3 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ клеток был произведен полиномами Цернике до 5-го порядка. Патология клетки, в данном случае рассматривалась как изменение формы и текстуры клетки.

Следовательно, изменение численных значений полиномов Цернике является признаком патологии.

Результаты анализа клеток при помощи полиномов Цернике приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

ПОЛУЧЕННЫЕ РАСЧЕТЫ

Полином	Значение
Z[1,1]	27.1829
Z[3,-5]	1.2139x1010
Z[3,-3]	24.9399
Z[3,-1]	20.5905
Z[3,3]	24.9399
Z[1,-5]	7.99372x1010
Z[1,-3]	209817
Z[1,-1]	14.8102
Z[1,1]	14.8102
Z[3,-5]	1.99845x1010
Z[3,-3]	14.378
Z[3,-1]	14.4534
Z[3,1]	14.4534
Z[3,3]	14.378
Z[5,-5]	14.0649
Z[5,-3]	13.5839
Z[5,-1]	12.2777
Z[5,1]	12.2777
Z[5,3]	13.5839
Z[5,5]	14.0649
Z[1,-5]	3.03946x1010
Z[1,-3]	557882
Z[1,-1]	3.07367
Z[1,1]	3.07367
Z[3,-5]	7.59868x1010
Z[3,-3]	2.92179
Z[3,-1]	2.72858
Z[3,1]	2.72858
Z[3,3]	2.92179
Z[5,-5]	2.59672
Z[5,-3]	1.41391
Z[5,-1]	0.230149
Z[5,1]	0.230149
Z[5,3]	1.41391
Z[5,5]	2.59672

Так как при анализе были использованы данные разных временных участков, была определена динамика изменения текстуры клеток.

На рисунке 3 показана динамика изменения структуры клетки через определенные промежутки времени:

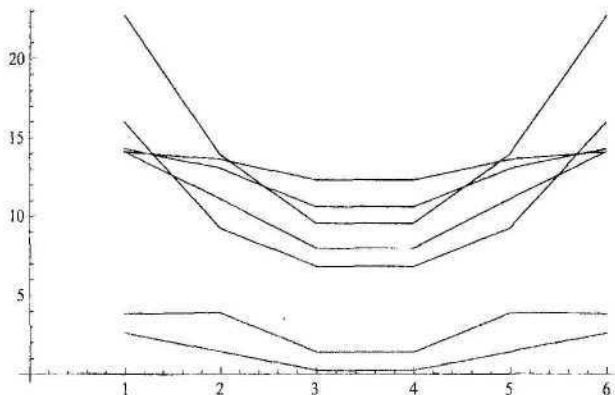


Рис.3. Динамика изменения результатов

Из данного графика видно, что при длительном внешнем воздействии на клетки патологии более заметны и даже при маленьких порядках полиномов могут быть обнаружены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе исследований был произведен анализ изменения структуры клетки с помощью полиномов Цернике. Данный способ был выбран из-за инвариантности метода к классическим абберациям, таким как наклон, изменение масштаба, поворот и т.д. С помощью данного метода возможно определить изменение текстуры клетки, а следовательно и ее патологии.

В дальнейшем будет произведен анализ изменения структуры клетки с помощью псевдо-Ценике моментов и Фурье-Меллина. Псевдо-Цернике моменты получены из обычных Цернике моментов, но они менее чувствительны к изображению шумов. Инварианты Фурье-Меллина позволяют заменить поворот на циклический сдвиг, что позволяет достичь высокой корреляции между образами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rapid and sensitive neurotoxicity test based on the morphological changes of PC12 cells with simple computer-assisted image analysis / Y. Sakai, R. Shoji [и др.] // Journal of Bioscience and Bioengineering, Издание 1, 2000. – С. 20–24. – 2005. – № 1. – С. 74–81.
- [2] Cell image area as a tool for neuronal classification / D. Ristanović, N. Milošević, I. Popov [и др.] // Journal of Neuroscience Methods, Издание 2, 2009. – С. 272–278.
- [3] Digital image analysis of self-similar cell profiles / T. Nonnenmacher, G. Baumann, A. Barth, [и др.] // International Journal of Bio-Medical Computing, № 37 – Издание 2, 1994. – С. 131–138.
- [4] Специальные разделы прикладной математики / В.А. Зверев, Т.В. Точилина // Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – Гл. 3. – С. 87–103.