

6. Дьельсан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах. Применение для обработки сигналов // Москва: Наука, 1982. – 424с.
7. Балакирев М.К., Гилинский И.А. Волны в пьезокристаллах // Новосибирск: Наука, 1982. – 237с.
8. Белый В.Н., Войтенко И.Г., Кулак Г.В. и др. // ЖТФ. 1989. Т. 59, В. 5, С. 82-85.

УДК 57.087:576.08

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПАТОЛОГИИ КЛЕТКИ

Иванов Н.Н., Фролкова А.С.

БГУИР, г. Минск

ВВЕДЕНИЕ

Геометрические моменты изображения представляют собой интегралы от функции изображения в пространстве. Моменты малых порядков связаны с глобальными свойствами изображения, обычно используются для определения позиции, масштаба изображения.

Инварианты моментов являются линейными комбинациями геометрических моментов, которые используются для определения угла поворота объекта.

В общем случае, характеристики, получаемые с помощью применения моментных инвариантов, не достаточно точны: они чувствительны к шуму.

Из теоремы единственности моментов, характеристики изображения можно точно определить геометрическими моментами всех порядков. При сравнении моментов Фурье-Меллина и моментов Цернике, последние описывают изображение более качественно, а моменты Фурье-Меллина имеют более высокую производительность.

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Заболевания, поражающие клетки ткани, могут быть визуализированы либо в форме цитологических изменений морфологии клеток, либо сдвигами распределения разных типов клеток. Количественный состав и морфология клеток являются достаточно достоверными показателями заболевания.

Анализ изображений клеток для диагностики раковых опухолей базируется на исследовании следующих параметров:

- морфологические – размер и форма клеток;
- денсометрические – интегральная плотность клетки;
- фрактальные – относительная связность, анализ клеточного ядра;
- топологические – взаимное расположение структур.

В работе проводится анализ патологии с помощью исследования текстурных параметров клетки. Данными для анализа являются микрофотографии раковых клеток HeLa. Клетка не сохраняет свою позицию в колонии клеток, при визуальном исследовании может использоваться различная аппаратура, поэтому следует рассматривать методы текстурного анализа инвариантные по отношению к классическим аберрациям, таким как поворот, дефокусировка, масштабирование и т.п.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ

Представление в виде коэффициентов разложения по ортогональному базису полиномов Цернике

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

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

На практике широко применяется не прямоугольная (x, y) , а полярная (ρ, φ) система координат. Координаты точки в этих системах координат связаны соотношениями:

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

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

Полиномы Цернике определяются следующим соотношением:

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

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

n_i и m_i определяются номером i следующим образом:

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

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

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

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

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

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

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:

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

Комбинация кругового преобразования Фурье и радиального преобразования

Меллина от функции изображения $f(r, \theta)$ позволяет определить в полярной системе координат моменты Фурье-Меллина (МФМ)

$$F_{nm} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi^1} f(r, \theta) e^{-im\theta} r^n r dr d\theta$$

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – круговой порядок гармоник преобразования Фурье; $n \geq 0$ – порядок радиально го преобразования Меллина.

Ортогональные моменты Фурье-Меллина задаются соотношением

$$OF_{nm} = \frac{1}{2\pi a_n} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi^1} f(r, \theta) Q_n(r) e^{-im\theta} r dr d\theta$$

где $f(r, \theta)$ – интенсивность изображения, представленная в полярной системе координат.

ОМФМ можно рассматривать как обобщенный случай моментов Цернике благодаря соотношению:

$$rQ_n(r^2) = R_{2n+1,1}(r) \\ R_{nm}(r) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} (-1)^s \frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n-m}{2}-s\right)! \left(\frac{n+m}{2}-s\right)!} r^{n-2s}$$

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Патология клетки, в данном случае рассматривалась как изменение формы и текстуры клетки. Различия текстурных параметров (изменение численных значений полиномов Цернике и моментов Фурье - Меллина) может рассматриваться как признак патологии.

Анализ клеток был произведен полиномами Цернике до 5-го порядка. На рис 1 представлены значения полиномов в виде графика.

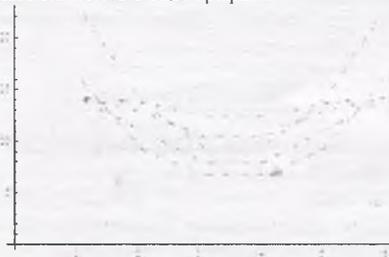


Рисунок 1. Значения полиномов Цернике (--- здоровые клетки, - - - пораженные клетки)

На рисунке (рис 2) показана сравнительная характеристика значений моментов Фурье – Меллина для здоровых и пораженных клеток.

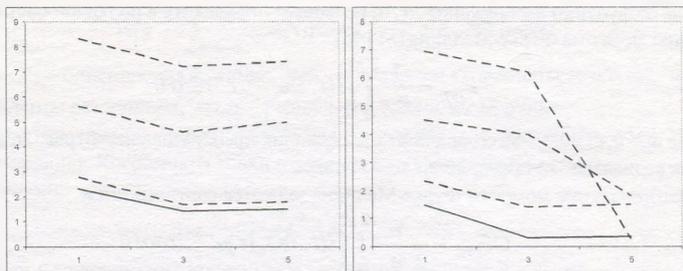


Рис. 2. Значения моментов Фурье-Меллина
 (--- здоровые клетки, - - пораженные клетки)

Сравнение значений на рисунке показывает, что для распознавания патологии требуется применение статистических методов. Планируется провести эти исследования в ближайшем будущем.

На основе проведенных экспериментов можно сделать вывод, что моменты Цернике позволяют проводить более надежный анализ патологии клеток.

ВЫВОДЫ

Данная работа основана на фотографических материалах лаборатории БГУ. Результаты, полученные в ходе исследования можно сформулировать следующим образом:

1. Установлено, что моментные функции на основе интегральных преобразований являются информативными признаками изображения.
2. Реализованы и экспериментально проверены алгоритмы вычисления ортогональных моментов Фурье-Меллина и Цернике.
3. Экспериментально подтверждена эффективность использования моментов Цернике.

Список литературы

1. *Cheng J., et al. Joint Tracking of Cell Morphology and Motion. / J. Cheng, Heidelberg: Springer, 2009. – 396 p.*
2. *Pratt W. Digital image processing. / W. Pratt, New York: Wiley, 2007. – 807 p.*
3. *Jahne B. Digital Image processing. / B. Jahne, Berlin: Springer, 2005. – 607 p.*

УДК 62-503.5:53.089.6

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ
 И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**
 Какоиченко С.Ю., Комиссаров С.Г., Мачихо Д.В., Мозжаров С.Е., Сакевич В.Н.
 ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск

Интерактивная доска – это устройство, использующееся с проектором и компьютером. С помощью проектора изображение с компьютера выводится на нее как на обычный экран. Используя электронный маркер (специальный карандаш, которым пишут на электронных досках), можно не отходя от ИД управлять компьютерными