

УДК 004.93

А.М. Ахметшин, Л.Г. Ахметшина, И.М. Мацюк
**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МЕТОД
РЕЗОНАНСНО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ
СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Аннотация. Предложен новый метод обработки изображений, который обеспечивает возможность получения высокой детализации и чувствительности визуального анализа слабоконтрастных областей на неоднородном фоне по сравнению с традиционными методами обработки.

Ключевые слова: слабоконтрастные изображения, мультиспектральные изображения, чувствительность визуального анализа, оконные преобразования, резонансно-пространственное отображение

Постановка проблемы. Возросшая мощность современных компьютеров позволяет эффективно использовать данные, представленные в виде изображений, а расширяющаяся сфера их применения требует необходимости создания новых подходов и технологий обработки. Многоплановость и разнообразие решаемых задач обуславливает отсутствие универсального подхода, несмотря на то, что некоторые стандартные методы и специализированные методики применяются практически во всех технических приложениях.

Разработка методов обработки изображений требует учета специфики зрительной системы человека. Неудовлетворительное психофизиологическое визуальное восприятие плавных слабоконтрастных перепадов яркости на неоднородном фоне связано с действием следующих законов:

1. не воспринимаются перепады яркости, меньшие отношения Вебера ($\approx 2\%$ среднем диапазоне яркостей);
2. отклик зрительной системы близок к логарифмическому закону, и обладает меньшей чувствительностью восприятия в области низких и высоких частот, по сравнению с чувствительностью на средних частотах;

© Ахметшин А.М., Ахметшина Л.Г., Мацюк И.М., 2009

3. малый диапазон одновременно различаемых уровней яркостей (всего 10-20), по сравнению со всем возможно воспринимаемым диапазоном.

В связи с вышеперечисленным, на первый план выдвигается необходимость разработки математических методов обработки изображений, обеспечивающих перераспределение уровней яркостей для возможности выявления аномалий, «объектов интереса» человеком, осуществляющим их анализ.

В работе [1] был разработан интерференционный метод повышения визуального качества слабоконтрастных изображений $I(x, y)$, который использовал модуляционно-яркостное преобразование вида

$$\bar{A}(x, y) = \exp[j\pi I(x, y) / \lambda] = \operatorname{Re}\{\bar{A}(x, y)\} + j \operatorname{Im}\{\bar{A}(x, y)\} \quad (1)$$

где λ – длина волны виртуального когерентного оптического излучения. Особенностью данного подхода является переход в комплексную плоскость, позволяющий перейти от «яркостной модуляции» анализируемого выражения к его «фазовой (угловой) модуляции», что открывает возможность проведения аналогий с наиболее чувствительными методами оптических измерений – интерферометрия, эллипсометрия, голография [2].

В работе [3] был предложен метод резонансно-пространственного отображения (МРПО) для анализа слабоконтрастных изображений, направленный на решение двух, частично взаимоисключающих задач:

1) высокая чувствительность к обнаружению и сегментации малоразмерных аномальных низкоконтрастных участков;

2) стабильность к влиянию структурных шумов.

Задача выделения слабоконтрастных объектов неизвестной формы и местоположения на фоне измерительных и структурных помех возможна на основе использования нескольких, различных по своей сущности, методов анализа.

Целью работы является демонстрация информационных возможностей нового высокочувствительного метода, сочетающего стабильность, свойственную МРПО, с высокой и управляемой чувствительностью, свойственной интерференционным методам измерений.

Основная часть. Новый метод может быть применен для анализа обычных 2-D, цветных и мультиспектральных слабоконтрастных изображений. В последнем случае анализируемый ансамбль должен быть сжат до трех изображений, например, на основе применения метода главных компонент [4]. Пояснение сущности и особенностей применения метода, с физической точки зрения, наиболее целесообразно провести на примере цветного (трехпараметрового) изображения. В этом случае, при решении задачи можно использовать прямую виртуальную аналогию с теорией слоистых структур.

Коэффициент отражения однослойной структуры толщиной d для оптического излучения с длиной волны λ характеризуется выражением [5]

$$R(\lambda) = \frac{R_{01} + R_{12} \exp(j2\pi d \sqrt{\varepsilon_1} / \lambda)}{1 + R_{01} R_{12} \exp(j2\pi d \sqrt{\varepsilon_1} / \lambda)}, \quad (2)$$

где R_{ij} – коэффициенты Френеля, характеризуемые соотношениями трех значений диэлектрических проницаемостей ε_i ($i = 0,1,2$), например,

$$R_{01} = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\varepsilon_0 + \varepsilon_1}, \quad (3)$$

в предположении, что ε_i не зависит от значения λ .

При рассмотрении выражения (2) с позиции теории цифровой фильтрации [6] (λ изменяется дискретно), можно заключить, что оно представляет собой передаточную (т.е. комплексную) функцию рекурсивного цифрового фильтра. Как известно [5], его резонансные свойства обусловлены интерференцией переотраженных волн. Наличие экспоненциального члена в выражении (2), с математической точки зрения, совпадает с модуляционно-яркостным преобразованием (1) и позволяет провести виртуальную аналогию между новым методом и теорией слоистых структур.

Обозначим компоненты RGB изображения через I_1 , I_2 и I_3 . Производя замену $R_{01} = I_1$, $R_{12} = I_2$, $d\sqrt{\varepsilon_1} = I_3$ можно синтезировать новое изображение с использованием выражения

$$R_1(\lambda) = \frac{I_1 + I_2 \exp(j2\pi I_3 / \lambda)}{1 + I_1 I_2 \exp(j2\pi I_3 / \lambda)}, \quad (4)$$

для которого перечисленные выше особенности обуславливают название «интерференционное резонансно-пространственное отображение».

Использование различной последовательности с ансамбле I_i -х изображений позволяет получить три варианта значений $R_i(\lambda)$, что открывает возможность синтеза нового цветного изображения на их основе. Эксперименты показали, что значение параметра преобразования λ определяется соотношением $\lambda \approx 1.1(I_{\max} - I_{\min})$, где I_{\max}, I_{\min} максимальное и минимальное значения яркостей в зоне возможного интереса, однако возможен и адаптивный вариант выбора λ при использовании методов «оконной» обработки [7].

На рис. 1 представлен результат обработки трехпараметрового ЯМР изображения на основе нового метода. Из рассмотрения рис. 1 а и рис. 1 б видно, что он позволил выделить невидимые на исходных изображениях области интереса (например, стрелкой отмечена патология печени).

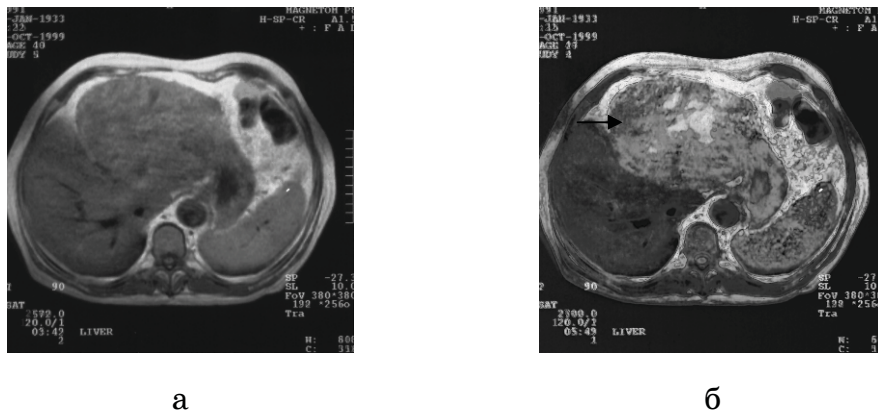


Рисунок 1 - ЯМР медицинское изображение: а – оригинал; б – синтез $|R(\lambda = 0.27)|$ (оба изображения цветные и конвертированы к градациям серого)

Сложность применения нового метода для обработки практически важных 2-D слабоконтрастных изображений заключается в том, что из исходного изображения необходимо синтезировать три. Для решения этой задачи возможны различные подходы, нами был использован метод, впервые предложенный в [8] и заключающийся в следующем.

При использовании модуляционного преобразования (1), синтезированное изображение $A(x, y)$ для достаточно малого значения λ можно представить в виде аналога двумерной проекции трехмерного векторного поля A , что позволяет естественным способом ввести и векторное поле его ротора [9]

$$\text{rot } \mathbf{R} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \mathbf{k}. \quad (5)$$

Выражение (5) является справедливым, если частные производные $A(x, y)$ являются непрерывными, что, безусловно, выполняется для классов изображений, являющихся предметом исследования. Поскольку компонента A_z является неизвестной, то в выражении (5) может быть определена лишь третья компонента $\text{rot } \mathbf{R}$

$$A_z(x, y) = R_z = \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right), \quad (6)$$

которую можно рассматривать в качестве дополнительного информативного параметра, ортогонального составляющим R_x и R_y . Таким образом, мы получаем три необходимые ортогональные компоненты, которые можно использовать для компьютерного синтеза в рамках описанного метода.

Сопоставление результатов обработки маммограммы (рис. 2 а) известными и широко распространенными методами эквализации гистограмм и градиентного отображения (рис. 2 б и в, соответственно) и новым методом (рис. 2 г) демонстрирует более высокую чувствительность последнего к выделению и детализации слабоконтрастных участков. В данном случае в качестве значения I_3 в выражении (4) рассматривался модуль $A_z(x, y)$.

На рис. 3 а приведено оптическое микроскопическое изображение, которое можно отнести к разряду фазоконтрастных из-за крайне незначительного перепада диапазона яркостей. Новый метод позволил повысить качество и чувствительность визуального анализа.

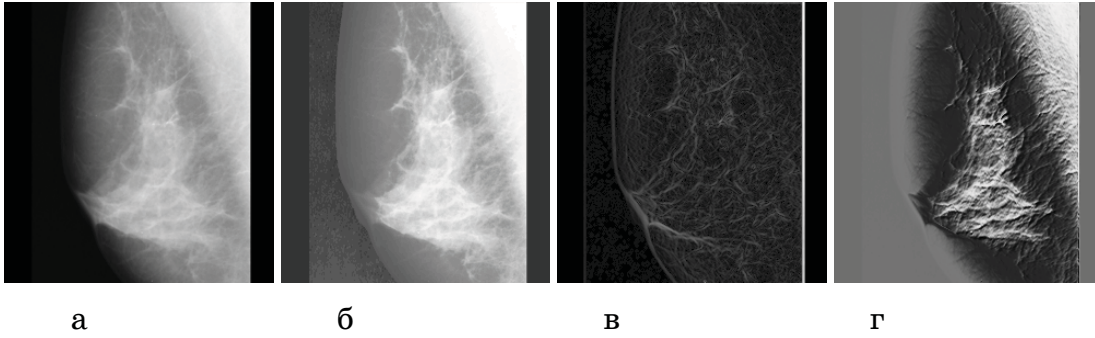


Рисунок 2 - Обработка маммограммы: а – оригинал; б – метод эквализации гистограммы; в – модуль градиента; г – модуль $|R(\lambda = 0.67)|$

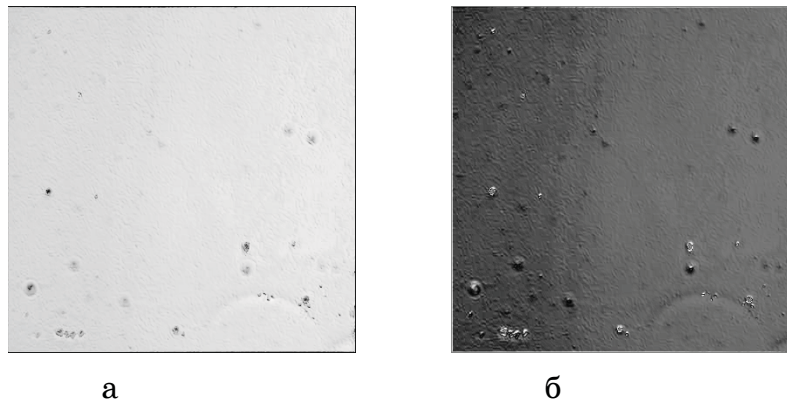


Рисунок 3 - Оптическое микробиологическое изображение: а – оригинал; б – результат синтеза $|R(\lambda = 0.67)|$

Выводы

1. Базируясь на проведении аналогии коэффициента отражения слоистой структуры с многопараметровым изображением и используя модуляционное преобразование для перехода в плоскость комплексных яркостей, возможна реализация интерференционного метода резонансно-пространственного отображения на основе математической модели виртуального рекурсивного цифрового фильтра.

2. Предложенный вариант интерференционного МРПО обеспечивает более высокую детализацию и чувствительность визуального анализа по сравнению с традиционными методами обработки слабоконтрастных изображений.

3. Новый интерференционный вариант МРПО может быть применен к анализу как обычных, так и многопараметровых

изображений и имеет потенциал дальнейшего увеличения его информативных возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметшина Л.Г. Информационные возможности модуляционного преобразования при сегментации мультиспектральных изображений // Системні технології. – 2004. – № 6. – С. 122-127.
2. Афанасьев В.А. Оптические измерения. – М.: Высшая школа, 1988. – 228 с.
3. Ахметшин А.М., Ахметшина Л.Г. Повышение чувствительности анализа низкоконтрастных изображений на основе метода резонансно-пространственного отображения // Вестник ХГТУ. 2003. – №19. – С. 14- 17.
4. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение: современный подход. – М.;– С.-П.; – К: Вильямс, 2004. – 926 с.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах.– М.: Наука, 1973. – 343 с.
6. Кулханек О. Введение в цифровую фильтрацию в геофизике / Кулханек О.; [пер. с англ. А.А. Богданова]. – М.: Недра, 1981. – 198 с.
7. Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. Адаптивный интерференционный метод повышения яркостного разрешения низкоконтрастных изображений // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2007. № 27. – С. 202- 207.
8. Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. Повышение чувствительности анализа низкоконтрастных изображений на основе комбинации метода модуляционного преобразования и теории векторных полей // Вестник ХГТУ. –2007. –№ 28. – С. 22 - 26.
9. Арнольд В.И. Математические методы классической механики/ – М.: Наука, 1989. – 472 с.

Получено 13.09.2009г.