

СЕГМЕНТАЦИЯ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНИВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

© 2008 А.В. Куприянов

Институт систем обработки изображений РАН

Цель данной работы – исследование эффективности признаков, основанных на мерах текстурной энергии, в задаче текстурной сегментации изображений. Предложен алгоритм формирования пространства признаков на основе мер текстурной энергии. Текстурные признаки используются для сегментации изображений диагностических кристаллограмм. На тестовых текстурных изображениях проводится оценка качества сегментации, исследуется эффективность признаков в задаче текстурной сегментации.

Текстура, признаки текстурной энергии, изображения кристаллограмм, текстурная сегментация

Введение

Предметом исследования данной работы является решение задачи текстурной сегментации изображений на основе реализации самоорганизующегося метода кластеризации пространства признаков. Для формирования пространства локальных статистических признаков предлагается использовать меры текстурной энергии.

Примером текстурных изображений являются фотографические изображения кристаллов, называемые кристаллограммами

(рис. 1). Образующийся при кристаллизации текстурный рисунок биологических жидкостей зависит от состояния организма. Малейшие нарушения, связанные с болезнью, приводят к изменению химического состава биологических жидкостей. Патологические явления нарушают саморегуляцию обмена веществ, одновременно с нарушением функций происходит структурная перестройка в биологических средах организма, что вызывает изменения кристаллизации компонентов сложных систем.

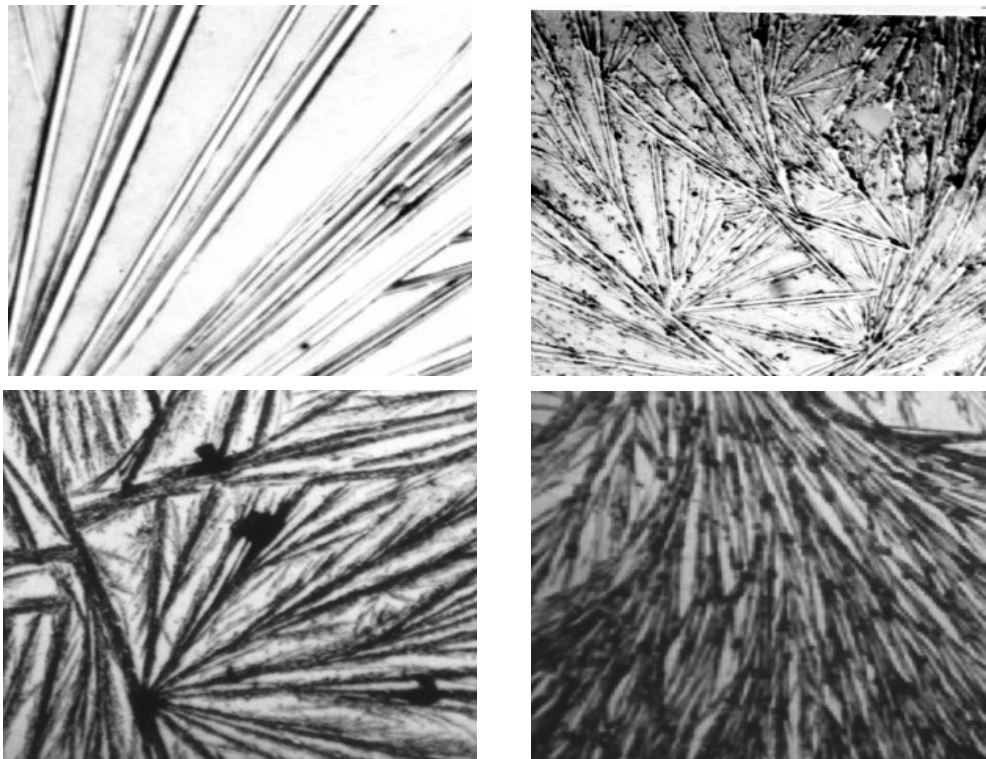


Рис. 1. Примеры кристаллограмм слезной жидкости человека

На данный момент большинство этапов кристаллографического исследования осуществляется человеком. Автоматизированный анализ является более объективным и дает возможность получать не только качественные, но и количественные оценки структурных изменений кристалла, основанные на перцепционных свойствах изображения [1].

Текстурные методы анализа изображений формируют основание для распознавания и классификации объектов на основе выделения текстурных признаков. В [2] оценивается пять различных методов формирования признаков: метод автокорреляции, метод предельной частоты, метод длины примитива, а также методы, основанные на матрицах вероятностного распределения [3] и мерах текстурной энергии [4]. Результаты, представленные в работе [2], показывают, что последние два метода приводят к лучшим результатам.

1. Статистические признаки, основанные на мерах текстурной энергии

В данной работе рассматриваются признаки, получаемые на основе мер текстурной энергии, поскольку результаты ряда работ, в частности [1], свидетельствуют о том, что текстурные признаки, сформированные на основе мер текстурной энергии и матриц вероятностного распределения яркости, показывают наилучшую разделимость классов.

В работе [4] показано, что некоторые градиентные операторы, такие, как лапласиан и оператор Собела, подчеркивают основную микроструктуру текстуры изображения. Это утверждение было положено в основу схемы формирования признаков, заключающейся в использовании набора фильтров, которые получают из ряда базовых векторов.

Базовые векторы, являющиеся детекторами уровня, границы и пятна, определяются следующим образом:

$$\mathbf{l} = (1, 2, 1), \mathbf{e} = (-1, 0, 1), \mathbf{s} = (1, -2, 1).$$

При попарной свертке этих векторов друг с другом получается набор векторов: детектор уровня, краевой детектор, детектор пятна, детекторы волны, ряби и так далее.

Затем полученные векторы перемножаются таким образом, чтобы их произведения представляли собой квадратные матрицы. Полученные матрицы будут использоваться в качестве масок. К исходному изображению $f(m, n)$ поочередно применяются полученные T масок. Результатом будет множество полутоновых изображений

$$\bar{f}_t(m, n), \quad t = \overline{1, T}, \quad 0 \leq m < M, \quad 0 \leq n < N,$$

на основе которых строятся текстурные признаки.

Следующим этапом вычислений является нелинейная обработка изображений $\bar{f}_t(m, n)$, заключающаяся в замене каждого значения интенсивности яркости отсчета суммой абсолютных значений интенсивности соседних отсчетов, ограниченных окном размера $W \times W$:

$$\%_t(m, n) = \sum_{i=-W/2}^{W/2} \sum_{j=-W/2}^{W/2} |\bar{f}_t(m-i, n-j)|,$$

$$t = \overline{1, T}.$$

Также возможен альтернативный нелинейный фильтр:

$$\%_t(m, n) = \sqrt{\sum_{i=-W/2}^{W/2} \sum_{j=-W/2}^{W/2} (\bar{f}_t(m-i, n-j))^2},$$

$$t = \overline{1, T}.$$

Таким образом, формируется признаковое пространство размерности T , где (m, n) -элемент матрицы \bar{f}_t , $t = \overline{1, T}$ есть значение соответствующего признака отсчета с координатами (m, n) исходного изображения.

Преобразование

$$f(m, n) \rightarrow \%_t(m, n), \quad t = \overline{1, T}$$

называется «преобразованием текстурной энергии» [4].

Всего в работе было сформировано 25 фильтров (примеры масок размера 5×5 приведены на рис. 2).

$$\begin{aligned}
(\mathbf{1} * \mathbf{1})^T (\mathbf{1} * \mathbf{1}) &= \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix}, \\
(\mathbf{1} * \mathbf{e})^T (\mathbf{e} * \mathbf{s}) &= \begin{pmatrix} -1 & 2 & 0 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & 0 & -4 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -4 & 0 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 0 & 2 & -1 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Рис. 2. Маски размера 5×5 для применения фильтров

2. Сегментация текстурных изображений

Текстурная сегментация представляет собой сложную задачу, так как заранее нельзя сказать, какие именно типы текстур имеются на изображении, сколько различных текстур и какие области содержат эти текстуры. Для решения такой задачи необходим метод, позволяющий вынести решение о степени схожести двух текстур (как правило, находящихся в смежных областях).

Существует два общих подхода к представлению о текстурной сегментации, равно как и к способам решения задачи сегментации:

- 1) подход, заключающийся в разделении областей с различными текстурами;
- 2) подход, основанный на выделении границ различных текстур.

В первом подходе требуется обнаружить области, имеющие однородные текстуры. Принадлежность каждого отсчета изображения определенной области считается в зависимости от значения текстурного признака. Этот подход обладает одним несомненным достоинством по сравнению со вторым: после разделения поля изображения на области с одинаковыми текстурами задача выделения границ становится тривиальной.

Принцип работы методов сегментации на основе подхода, предусматривающего выделение границ текстур, состоит в поиске различий текстурных свойств на участке стыка текстур. Таким образом, границы определяются там, где текстурная информация изображения принимает разнородный характер. Однако границы могут прерываться,

иметь разломы. В этом случае две области с различными текстурами не разделяются как смежные области.

В данной работе был выбран первый подход. Сегментация изображения осуществлялась с помощью процедуры кластеризации пространства текстурных признаков, основанных на мерах текстурной энергии. Для проведения кластеризации пространства текстурных признаков был выбран алгоритм ISODATA [5].

3. Результаты экспериментальных исследований

При проведении экспериментов доступны 40 различных текстурных изображений. Изображения представляют натурные снимки из альбома [6]. Для сравнительного анализа текстурных характеристик и исследований качества сегментации из данного набора текстурных изображений формируются новые изображения заранее известным способом. Эти изображения состояются из двух и трех различных текстур по шаблонам таким образом, чтобы площади областей различных текстур на изображении были равны. На рис. 3 показаны примеры тестовых изображений с обозначением разных текстур (текстуры обозначены согласно названиям снимков из альбома [6]).

На рис. 4 представлены иллюстрации пространства признаков. Для того чтобы визуализировать каждое пространство признаков, основанных соответственно на моментах и мерах текстурной энергии, их размерности были сокращены до 3. Сокращение размерности осуществлялось путем выбора трех признаков с минимальным значением дисперсии.

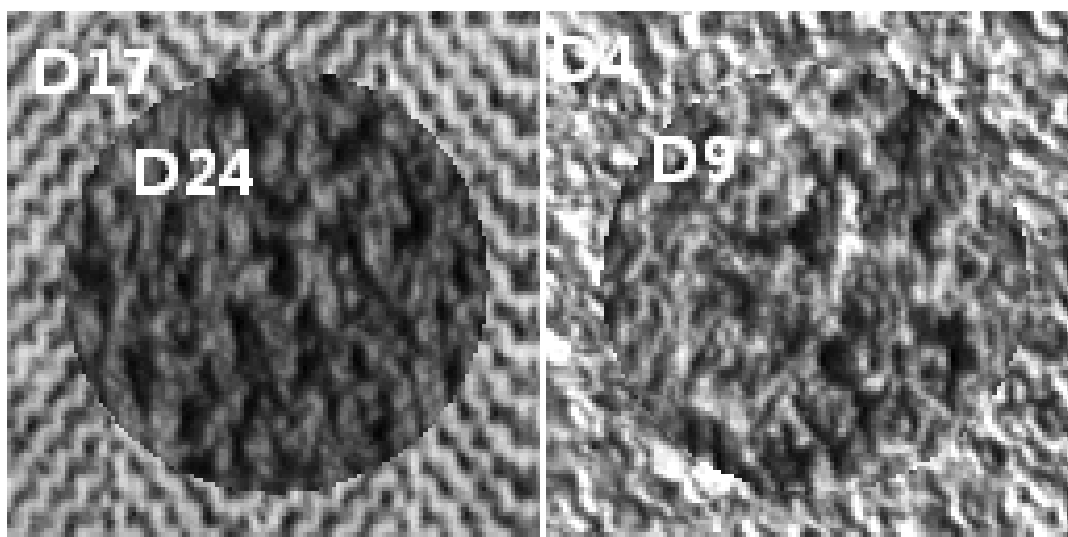


Рис. 3. Примеры формирования тестовых изображений

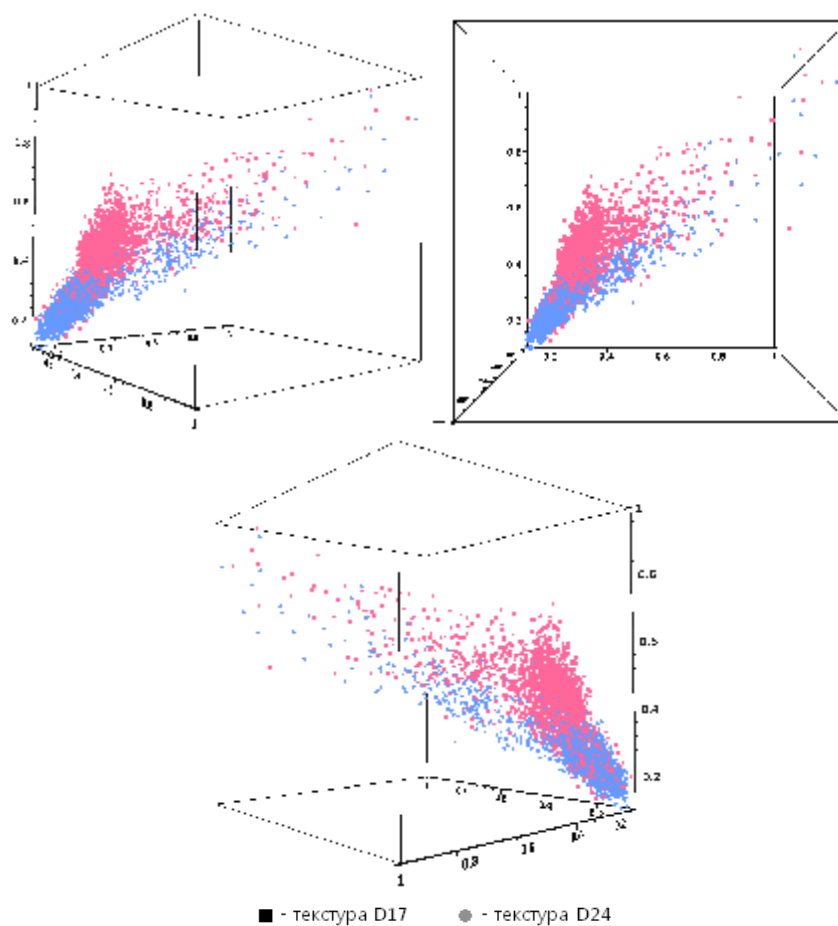


Рис. 4. Положение объектов в пространстве признаков, рассчитанных на основе мер текстурной энергии

После проведения процедуры кластеризации признакового пространства рассчитывалась ошибка. Ошибка сегментации с использованием признаков, полученных на основе мер текстурной энергии, – 12,42%. Для

сравнительных исследований использовались признаки, основанные на моментах. Ошибка сегментации с использованием признаков, вычисленных на основе моментов, составляет 19,06%. Таким образом, для данной пары тек-

стур признаки, основанные на мерах текстурной энергии, показывают лучшее разделение в пространстве признаков.

Зависимость ошибки сегментации от уровня шума для текстурных изображений показана на рис. 5.

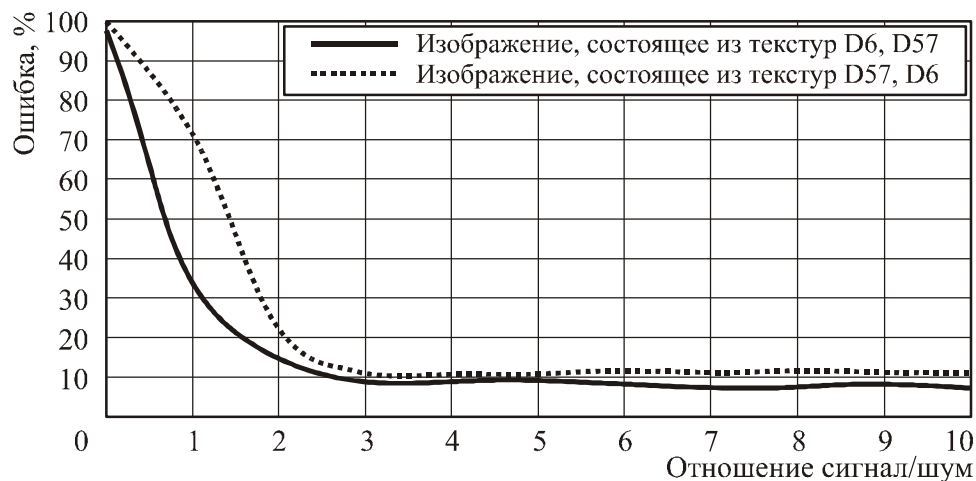


Рис. 5. Зависимость ошибки сегментации от уровня шума

Для данных примеров тестовых изображений метод формирования текстурных признаков оказывается неустойчивым к шуму при значении отношения сигнал/шум $d^2 < 3$, что ограничивает сферу областей дальнейшего применения метода.

Также были проведены исследования качества сегментации в зависимости от размеров фильтров обработки. Данные тесты показали, что для качественного решения задачи сегментации изображений различных классов необходимо подбирать индивидуальные параметры фильтрации. Этот факт не позволяет выбрать универсальный набор параметров, подходящий для любых видов изображений.

При исследовании ошибки сегментации в зависимости от размеров исходного изображения было установлено, что разработанный метод получения текстурных признаков согласуется с особенностями восприятия человека. Результаты показали разделение визуально отличающихся текстур с малым значением ошибки сегментации, в отличие от схожих текстур.

Заключение

В завершение рассмотрим, как действует шум на текстурные характеристики,

выделенные на изображениях кристаллограмм слезной жидкости человека (рис. 6).

Метод позволил выделить центры кристаллизации на кристаллограммах слезной жидкости. При сравнении результатов сегментации для текстурных изображений и диагностических кристаллограмм было заключено, что признаки, являющиеся эффективными для одного класса текстур, не всегда являются эффективными для другого. Объясняется это тем, что кристаллограммы более похожи между собой, чем натурные изображения различных текстур.

На основе разработанного метода была реализована опытная компьютерная система диагностического анализа кристаллограмм. Внедрение этой системы в медицинскую практику может расширить возможности существующих медицинских методик и позволит автоматизировать диагностику.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRNE), программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» и грантов РФФИ № 06-07-08006-офи и № 07-08-96611.

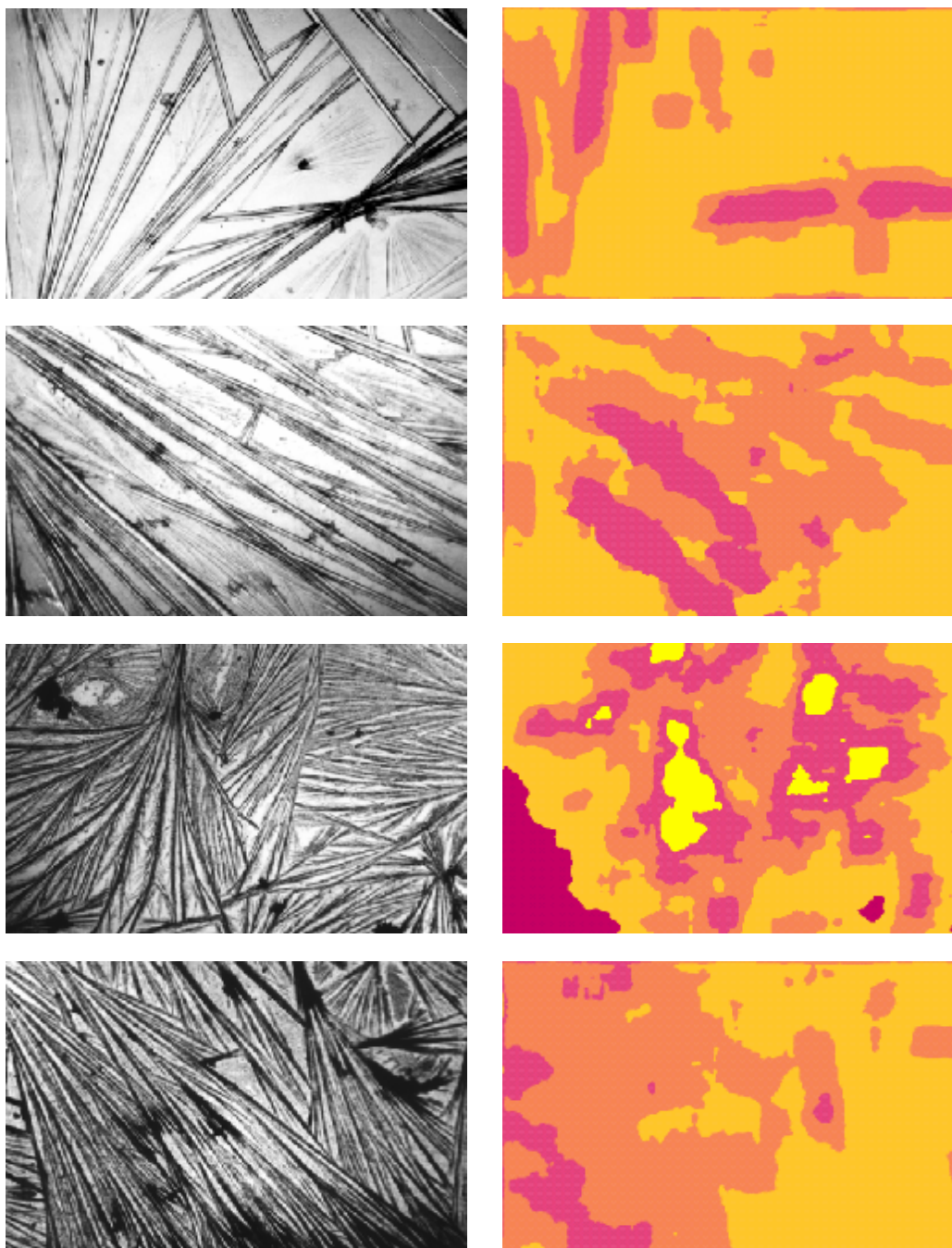


Рис. 6. Результаты сегментации изображений кристаллограмм

Библиографический список

1. **Ильясова, Н.Ю.** Классификация кристаллограмм с использованием методов статистического анализа текстурных изображений / Н.Ю. Ильясова, А.В. Куприянов, А.Г. Храмов // Компьютерная оптика. – 2000. – № 20. – С. 122-127.

2. **Sharma, M.** Evaluation of texture methods for image analysis / M. Sharma, M.

Markou, S. Singh // Pattern Recognition Letters. – 1980.

3. **Haralick, R.M.** Textural features for image classification / R.M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. – 1973. – V.3. – P. 610-621.

4. **Laws, K.I.** Rapid Texture Identification / K.I. Laws // SPIE, 1980. – Vol. 238. – P. 376-380.

5. **Ту, Дж.** Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 411 с.

6. **Brodatz, P.** Textures: A Photographic Album for Artists and Designers / P. Brodatz – New York: Dover, 1966.

Сведения об авторе

Куприянов Александр Викторович, Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия. Кандидат технических наук. Старший научный сотрудник лаборатории лазерных измерений. Опубликовано свыше 50 работ в отечественных и зарубежных изданиях. Область научных интересов - обработка биомедицинских изображений, текстурный анализ, локальные и спектральные преобразования, биометрическая идентификация.