



## **Выводы**

Хотя беспроводные медицинские приложения были успешно реализованы не только в исследованиях, но и на практике, все еще есть много проблем для разработчиков и исследователей. Потенциал беспроводной технологии в медицинской области не может быть полностью использован, если указанные проблемы не решены, что потребовало долгосрочных усилий исследователей и инвесторов.

## **Литература**

1. Ниято Д. Хоссиан Е; «Широкополосный беспроводной доступ на основе IEEE 802.16 / WiMAX и его применение для служб телемедицины / электронного здравоохранения», IEEE Wireless Communications, февраль 2007 г.
2. Евгений Ших, Владимир Бычковский, Дороти Кертис и Джон Гуттаг, «Демо-версия: непрерывный медицинский мониторинг с использованием беспроводных микросенсоров», SenSys'04, 3-5 ноября 2004 г., Балтимор, Мэриленд

А.С. Широканев, Н.Ю. Ильясова

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАССТАНОВКИ КОАГУЛЯТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЕ ГЛАЗНОГО ДНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ КОАГУЛЯЦИИ**

(Институт систем обработки изображений РАН)

### **Введение**

Сахарный диабет является самым опасным и распространённым эндокринным заболеванием во всём мире. При диабете происходит изменение кровеносных сосудов сетчатки, которое приводит к нарушению обеспечения сосудов сетчатки кислородом. Такое состояние зрительной системы ведёт к появлению диабетической ретинопатии (ДРП). Лазерная коагуляция сетчатки является главным инструментом терапии ДРП [1,2].

В ходе лазерного лечения происходит нанесение серии дозированных микроожогов – лазерокоагулятов, в зоне отёка на сетчатке. Наложение коагулятов происходит либо по одному, либо серией коагулятов, расположенных в виде заданной фигуры правильной формы – паттерна, либо с предварительным планированием расположения коагулятов с последующим наложением полученного плана на изображение глазного дна [3] (рис. 1). Наиболее предпочтительно оптимальное расположение коагулятов, что подразумевает нахождение их в зоне отёка на максимально равных друг от друга расстояниях и исключения попадания их на сосуды.

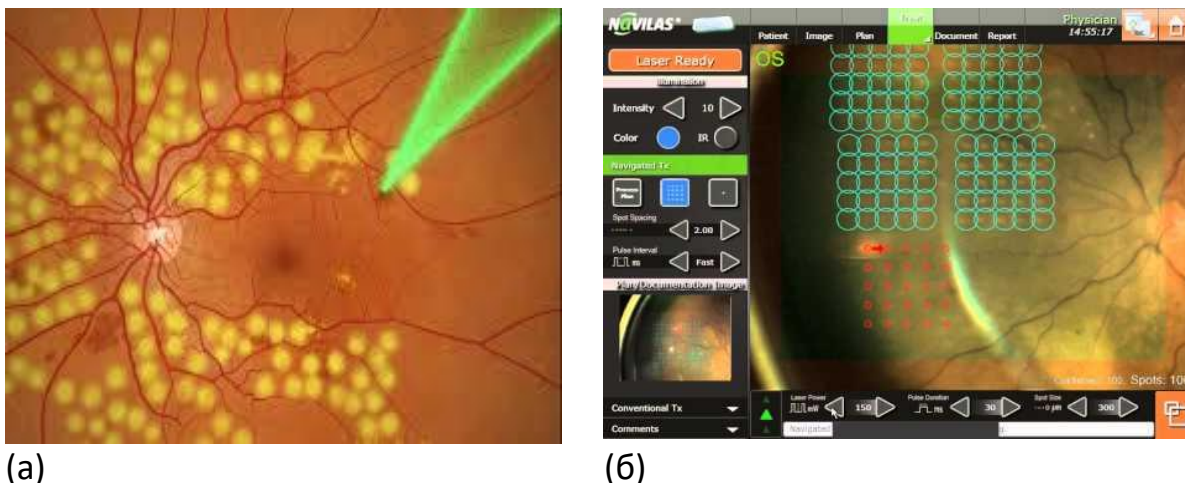


Рис. 1. Примеры наложения коагулятов при проведении лазерной операции (а), примеры паттернов программного средства NAVILAS (б)

## 1 Описание технологии расстановки коагулятов на изображении глазного дна

Расстановка коагулятов на глазное дно представляет собой технологию, которая на первом этапе сегментирует изображение, а на втором осуществляет оптимальную расстановку коагулятов в область интереса. На изображении глазного дна выделяются четыре основных класса объектов: экссудаты, толстые сосуды, тонкие сосуды и здоровые участки. Область макулярного отёка определяется скоплением зон экссудации. При проведении лазерной терапии врачи запрещают накладывать коагуляты на толстые сосуды и не рекомендуют затрагивать здоровые участки и тонкие сосуды, так как из-за этого снижается эффективность проведения лазерной операции.

Сегментацию изображения глазного дна предлагается проводить на основе вычисления текстурных признаков [4]. Для того чтобы провести более точную сегментацию в работе [5] была предложена технология формирования набора эффективных признаков на основе анализа текстурных свойств указанных классов изображений с использованием дискриминантного анализа.

Выделение областей интереса осуществляется на основе принятия решения о принадлежности фрагментированных зон к одному из 4 указанных выше классов объектов: экссудаты, толстые сосуды, тонкие сосуды и здоровые участки. Фрагментация проводилась путём разделения изображения на блоки квадратной формы, классификация которых осуществлялась на основе технологии представленной в [5].

На втором этапе решается задача расстановки коагулятов, другими словами задача заполнения кругами одинакового радиуса области интереса [6]. Для решения данной задачи необходимо сначала выделить потенциальные центры кругов, то есть осуществить бинарную обработку изображения, исключив точки, которые не могут быть центрами кругов. Проверка принадлежности точки круга области интереса осуществляется операцией импликации:  $m_{kl} \rightarrow f_{ij}$ . Изображение потенциальных центров формируется следующим образом:



$c_{ij} = \Lambda \Lambda \left[ m_{kl} \rightarrow f_{i-r+k, j-r+l} \right]$ . Сформированное изображение  $c_{ij}$  представляет собой изображение потенциальных центров кругов.

В полученное бинарное изображение необходимо расставить максимальное количество точек так, чтобы расстояние между любыми двумя точками было не меньше заданного. В настоящей работе были предложены 7 вариантов алгоритмов, каждый из которых характеризуется определённой картой – способом размещения коагулятов: случайная карта, квадратная карта, гексагональная карта, упорядоченная карта, волновая карта, граничная карта, адаптивная граничная карта (рис. 2).

## 2 Результаты исследования алгоритмов расстановки коагулятов на изображение глазного дна

Детальное исследование сегментации проводилось в работах [5, 7]. Было показано, что для сегментации изображения глазного дна достаточно использовать окно размером 12. При данном значении ошибка кластеризации не превышает 2,5%. Наилучшим способом сегментации изображения глазного дна является использование попарного отбора признаков с поворотом и расстояния Махаланобиса. Визуальная экспертная оценка подтвердила данное утверждение [5].

Качество расстановки коагулятов сложно оценить эксперту, поэтому рекомендуется вычислять некоторые характеристики расставленных коагулятов.

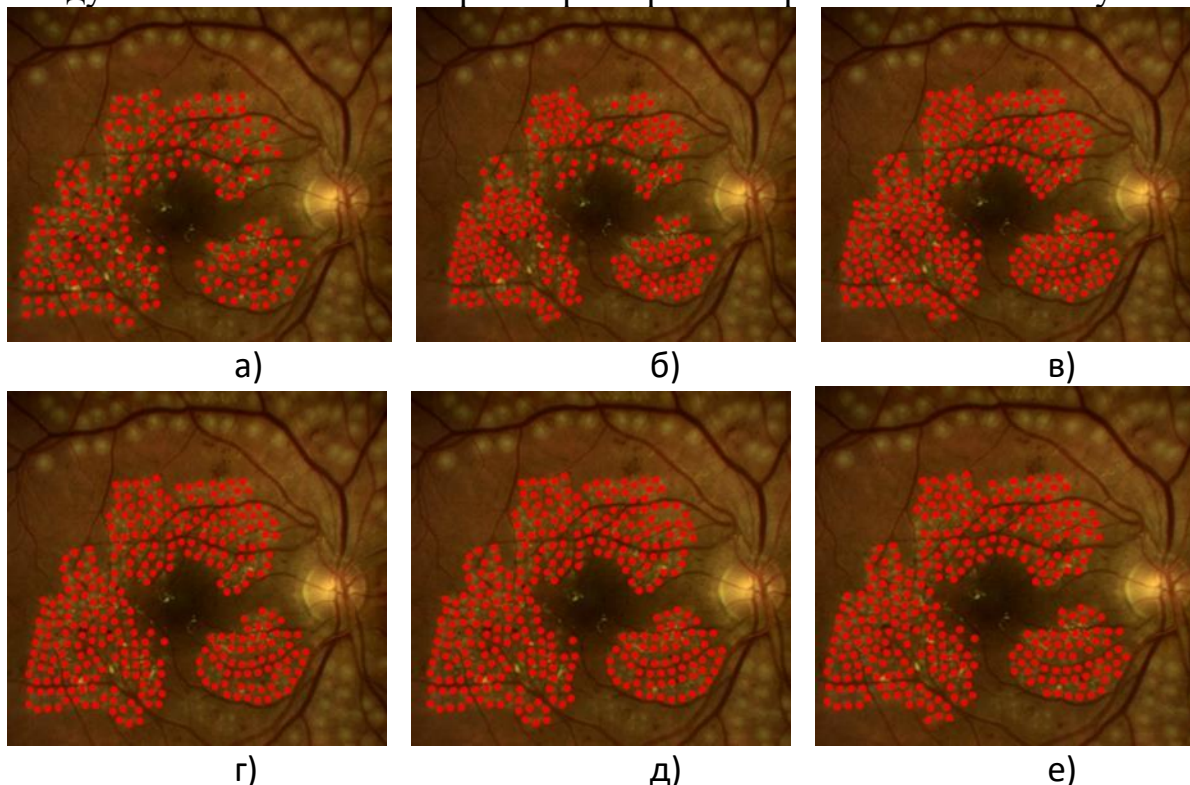


Рис. 2. Результаты работы алгоритмов заполнения коагулятами глазного дна: а) случайная карта, б) гексагональная карта, в) упорядоченная карта, г) волновая карта, д) граничная карта, е) адаптивная граничная карта



Будем считать расстояния от каждого коагулята до ближайшего реализации случайной величины. Тогда анализу подвергается непосредственно случайная величина. Наиболее подходящими характеристиками качества алгоритма расстановки коагулятов являются дисперсия минимальных расстояний, медиана и количество коагулятов (табл. 1).

Табл. 1. Характеристики работы алгоритмов заполнения коагулятами области интереса

Карта	Дисперсия	Медиана	Количество
Случайная	6,32	31,62	223
Квадратная	6,09	30,00	220
Гексагональная	7,68	30,00	248
Волновая	0,95	30,08	311
Граничная	0,90	30,08	305
Адаптивная граничная	0,70	30,07	315
Упорядоченная	0,19	30,08	312

Показательной характеристикой качества работы алгоритма является дисперсия, характеризующая степень разброса расстояний между коагулятами. Алгоритмы, основанные на выборе оптимальной сетки (гексагональная и кубическая карты), приводят к достаточно большой дисперсии. Наименьшую дисперсию обеспечивают алгоритмы, основанные на «нерегулярном» заполнении области коагулятами (волновая, граничная, адаптивно граничная, упорядоченная карты). По данному критерию наилучшим алгоритмом является алгоритм, основанный на упорядоченной карте. Следует отметить, что алгоритм, основанный на упорядоченной карте, обладает самой низкой вычислительной сложностью. Однако по количеству упакованных кругов адаптивно граничная карта обгоняет упорядоченную. Такой эффект объясняется сложностью выделенной области интереса. Поэтому важно обращать внимание также на покрытую кругами площадь или количество упакованных кругов.

Следует отметить, что в «регулярных» алгоритмах подавляюще большей частотой обладает минимальное расстояние. Данный факт сильно коррелирует с медианой. Поэтому степень «регулярности» позволяет отражать критерий «медиана».

### **Заключение**

В результате проведенного исследования алгоритмов расстановки коагулятов сделан вывод, что наилучшими характеристиками, описывающими карту коагулятов, являются дисперсия, медиана и количество коагулятов. В связи со сложностью формы вычисляемой области интереса количество расставленных коагулятов может оказаться более показательной характеристикой по сравнению с дисперсией.

По критерию «дисперсия» алгоритм, основанный на упорядоченной карте, является наилучшим. Но наибольшей площадью покрытия коагулятами зоны интереса обладает адаптивно граничная карта. Медиана позволяет отличать



регулярный алгоритм от нерегулярного, что определённым образом также влияет на эффективность лазерной коагуляции.

### Литература

1. Дога, А.В. Современные аспекты диагностики и лечения диабетического макулярного отека / А.В. Дога, Г.Ф. Качалина, Е.К. Педанова, Д.А. Буряков // ФГБУ Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, Москва, 2014. – Т. 4. – С. 51-59.
2. Issa, P.C. Macular telangiectasia type 2 / P.C. Issa, M.C. Gilliesb, E.Y. Chewc, A.C. Birdd, Tjebo F.C. Heerena, T. Petod, F.G. Holza, Hendrik P.N. Scholl // Progress in Retinal and Eye Research, 2013. – Vol. 34. – P. 49–77.
3. Kernt, M. Navigated focal retinal laser therapy using the NAVILAS® system for diabetic macula edema / Cheuteu R., Liegl R.G., et al. // Ophthalmologie, 2012. – Vol. 109. – P. 692-700.
4. Fukunaga, K. Introduction to statistical pattern recognition. New York and London: Academic Press, 1972. – 369 p.
5. Ilyasova, N., Paringer, R., Kupriyanov, A. Regions of interest in a fundus image selection technique using the discriminative analysis methods. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2016. – No.9972. – P. 408-417.
6. Ilyasova, N. Coagulate map formation algorithms for laser eye treatment / N. Ilyasova, D. Kirsh, R. Paringer, A. Kupriyanov, A. Shirokanev // IEEE Xplore, 2017. – P. 1-5.
7. Ilyasova N. A smart feature selection technique for object localization in ocular fundus images with the aid of color subspaces / N. Ilyasova, R. Paringer, A. Shirokanev, A. Kupriyanov, N. Ushakova // Procedia Engineering, 2017. – Vol. 201. – P. 736-745.

Э.А.Эшбоев, Ф.Г.Клычева

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

(Каршинский государственный университет)

В этой статье рассматривается проблема построения математической модели оценки здоровья населения будет решена с использованием линейной зависимости между описательными характеристиками объекта. Допустим нам необходимо оценить развитие народонаселения определённого региона в течение определенного промежутка времени  $T_2 - T_1$  (лет). Для этого вводится понятие индекс здоровья населения – ИЗН, который определяется по обобщённым показателям. Чтобы определить его необходимо учитывать следующие факторы: