

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСУДОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ГЛАЗНОГО ДНА НА ОСНОВЕ МАТРИЦ ВИДИМОСТИ КРИВЫХ

© 2008 М.А. Ананьин^{1,2}, Н.Ю. Ильясова^{1,2}

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет,
² Институт систем обработки изображений РАН

Описан подход, позволяющий модифицировать геометрические признаки таким образом, чтобы учесть морфологические особенности древовидных структур. В качестве примеров диагностических признаков будут использованы: 1) прямолинейность Pr и извитость I . После ввода изображение глазного дна подвергается обработке с целью получения центральных линий сосудов. Полученное дискретное представление центральной линии сосуда является исходными данными: $\{\mathbf{x}_i\}_{i=1}^N$.

Обработка изображений, сосуды, глазное дно, морфология, признаки, геометрические характеристики, средняя линия

Разбиение кривых на лепестки и оценивание геометрических параметров. Основа морфологического анализа – разбиение центральной линии на части (морфемы) с последующим оцениванием геометрических характеристик этих частей и расчётом на основе полученных значений морфологических признаков центральной линии в целом.

Будем называть *лепестками* области, ограниченные кривой между двумя соседними точками разбиения и отрезком, соединяющим эти две точки. Пример разбиения кривой представлен на рис. 1а. Области, соответствующие лепесткам, представлены серым.

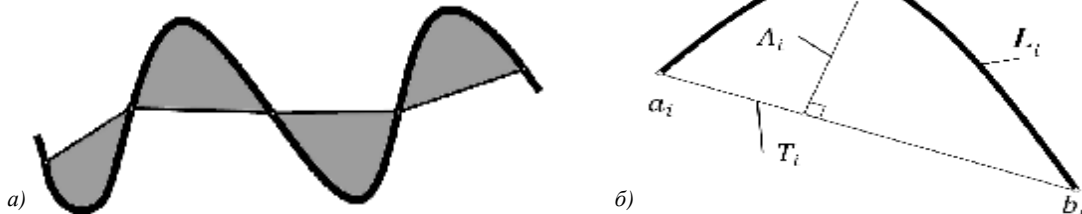


Рис. 1. Пример разбиения кривой на лепестки (а);
пример лепестка центральной линии (б)

В случае дискретного представления центральной линии сосуда удобно использовать последовательности $\{H_k\}_{k=1}^N$ и $\{E_k\}_{k=1}^N$ – соответственно номера начальных и конечных точек лепестков в дискретном представлении центральной линии сосуда.

Для построения морфологических признаков используется ряд геометрических характеристик (рис. 1б): T_i – полупериод i -го лепестка, A_i – амплитуда, L_i – длина дуги и S_i – площадь. Также используются величины $\bar{T}_i^0 = \pi S_i / 2A_i$ и $\bar{A}_i^0 = \pi S_i / 2T_i$.

Оценивание признаков. На основе геометрических параметров лепестков формируются новые признаки $Pr_1, Pr_2, I_{11}, I_{12}, I_{21}$ и I_{22} , первые два из которых характеризуют прямолинейность, а остальные – извитость. Эти признаки вычисляются по формулам $Pr_n = \bar{L}_v / \bar{T}_v$; $I_{mn} = \pi \bar{A}_m / \bar{T}_n$, где $m, n \in \{1, 2\}$, \bar{L}_v – средняя длина дуги лепестков; \bar{T}_1 и \bar{T}_2 – средние полупериоды лепестков; а \bar{A}_1 и \bar{A}_2 – средние амплитуды лепестков. Перечисленные величины могут быть вычислены на основе оценивания геометрических ха-

рактических лепестков по следующим формулам:

$$\bar{L}_v = \frac{1}{K-2} \sum_{i=2}^{K-1} L_i; \bar{T}_1 = \frac{1}{K-2} \sum_{i=2}^{K-1} T_i;$$

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{K-2} \sum_{i=2}^{K-1} A_i; \bar{T}_2 = \frac{1}{K-2} \sum_{i=2}^{K-1} T_i^{\%};$$

$$\bar{A}_2 = \frac{1}{K-2} \sum_{i=2}^{K-1} A_i^{\%}.$$

Первый и последний лепестки кривой отбрасываются для достижения инвариантности, значения по остальным лепесткам усредняются, что позволяет достичь устойчивости к шумам и ряду других искажений. Отметим, что для гармонических кривых, взятых на отрезке, кратном полупериоду, значения новых признаков совпадают со значениями ранее описанных признаков, то есть $I = I_{11} = I_{12} = I_{21} = I_{22}$ и $Pr = Pr_1 = Pr_2$.

Матрица видимости. Опишем подход к разбиению на лепестки, основанный на анализе матриц видимости кривой. Под *матрицей видимости* кривой подразумевается симметричная квадратная матрица (a_{ij}) , состоящая из нулей и единиц, являющаяся индикатором взаимной видимости точек на дискретном представлении кривой. Точки с номерами i и j считаются взаимно видимыми $a_{ij} = a_{ji} = 1$, если отрезок, соединяющий точки $\overset{\mathbf{I}}{x}_i$ и $\overset{\mathbf{I}}{x}_j$, не пересекается ни с одним из отрезков, соединяющих соседние точки $\overset{\mathbf{I}}{x}_{i+1}$ и $\overset{\mathbf{I}}{x}_{i+2}$, $\overset{\mathbf{I}}{x}_{i+2}$ и $\overset{\mathbf{I}}{x}_{i+3}$, ..., $\overset{\mathbf{I}}{x}_{j-2}$ и $\overset{\mathbf{I}}{x}_{j-1}$. В случае, если пересечение существует, точки с номерами i и j будем считать взаимно невидимыми $a_{ij} = a_{ji} = 0$. Опишем предложенный способ разбиения центральной линии сосуда на лепестки, основанный на матрице видимости. Рассмотрим последовательности взаимно видимых точек кривой. На матрице видимости эта последовательность отображается в квадрат, состоящий из единиц, диагональ которого лежит на главной диагонали матрицы видимости. То есть, если H – номер первой точки в последовательности взаимно видимых точек, а E – номер последней, должно выполняться тождество

$$\sum_{i=H}^E \sum_{j=H}^E a_{ij} \equiv (E - H + 1)^2. \text{ Как критерий разбиения}$$

кривой на лепестки будем использовать такое разбиение кривой на множество последовательностей взаимно видимых точек, что любые две из этих последовательностей имеют не более одной общей точки и суммарная площадь квадратов, соответствующих этим последовательностям на матрице видимости, максимальна. То есть условием разбиения кривой на лепестки будет

$$\sum_{k=1}^{\hat{K}} (\hat{E}_k - \hat{H}_k + 1)^2 \xrightarrow{\hat{K}=1..N; \{\hat{E}_k\}; \{\hat{H}_k\}} \max;$$

$$1 \leq \hat{H}_1 \leq \hat{E}_1 < \hat{H}_2 \leq \hat{E}_2 < \mathbf{K} < \hat{H}_k \leq \hat{E}_k \leq N,$$

где максимизация функционала ведётся по всевозможным \hat{K} – количеству всевозможных последовательностей взаимно видимых точек, $\{\hat{H}_k\}_{k=1}^{\hat{K}}$ и $\{\hat{E}_k\}_{k=1}^{\hat{K}}$ – соответственно начальные и конечные точки последовательностей взаимно видимых точек.

Метод морфологического анализа древовидных структур сосудов позволяет определять диагностические параметры с большей точностью.

Благодарность

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

Библиографический список

1. **Jomier, J.** Quantification of Retinopathy of Prematurity via Vessel Segmentation [текст] / J. Jomier, D.K. Wallace, S.R. Aylward // Proceedings of MICCAI 2003. – LNCS 2879. – P. 620-626.
2. **Osareh, A.** Classification and Localisation of Diabetic-Related Eye Disease [текст] / A. Osareh [and others] // ECCV 2002. – LNCS 2353. – P. 502-516.
3. **Корепанов, А.О.** Метод выделения центральных линий кровеносных сосудов на диагностических изображениях [текст] / А.О. Корепанов, П.М. Чикулаев, Н.Ю. Ильясова // Компьютерная оптика. – 2006. – №29. – С.146-151.

Сведения об авторах

Ананьин Михаил Александрович, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, аспирант. Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия. Стажер-исследователь лаборатории лазерных измерений. Опубликовано 16 работ в отечественных и зарубежных изданиях. Область научных интересов – анализ многоцветных цифровых биомедицинских изображений, методы оценивания морфологических характеристик объектов.

Ильцова Наталья Юрьевна, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева, кандидат технических наук, доцент. Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия. Старший научный сотрудник лаборатории лазерных измерений. Опубликовано свыше 70 работ в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе одна монография (в соавторстве). Область научных интересов - обработка изображений, распознавание образов, обнаружение объектов, разработка программно-аппаратных комплексов биомедицинского назначения.