

УДК 004.932.2+004.932.72'1

Т.В. Мартыненко (канд. техн. наук, доц.), Д.Е. Лабинская (студент)
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: mart@mail8.dgtu.donetsk.ua, ksddon@mail.ru

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕНТГЕНОГРАММ

Выполнен анализ применения существующих методов контурной сегментации к цифровым полутоновым изображениям рентгенограмм. Проанализированы меры оценок качества результатов выделения контура. Модификация методики оценки качества выделения контура учитывает характеристики чувствительности и специфичности. На основе предложенной оценки выбран метод Канни для определения контура на изображениях рентгенограмм.

Ключевые слова: изображение рентгенограммы, методы контурной сегментации, цифровая обработка изображений, методы количественной оценки, выделение границ.

Общая постановка проблемы

Переломы различной степени тяжести были и остаются довольно частым явлением. Каждая операция должна быть всегда заранее спланирована таким образом, чтобы хирургическое лечение перелома было проведено в наименее травматичной манере для пациента.

Зачастую при переломах наблюдается смещение осколков кости и для лечения предполагается произвести репозицию осколков — сопоставление фрагментов кости после перелома и их прочная фиксация при помощи различных фиксирующих конструкций: стержней, пластин, винтов, спиц и т.д. Для наиболее эффективного сращения осколков необходимо выбрать, с какой стороны крепить фиксаторы, чтобы обеспечить полную иммобилизацию фрагментов кости, а также предотвратить их возможное смещение в дальнейшем. Чтобы выполнить это, важно учитывать направление и силу тяги мышц, которые крепятся к осколкам.

Таким образом, возникает необходимость разработать автоматизированную компьютерную систему обработки рентгенограмм переломов, которая обеспечит нахождение направления смещения осколков кости при планировании операций. Для реализации этого нужно выполнить следующие этапы:

- 1) выделить контуры объектов;
- 2) определить их количество;
- 3) определить локализацию каждого осколка;
- 4) найти набор мышц, которые крепятся к осколкам;
- 5) определить направление смещения каждого осколка.

Первоначальной задачей при обработке изображений рентгенограмм переломов является наиболее точное выделение контуров объектов — фрагментов кости.

Постановка задачи исследования

Задан набор цифровых полутоновых рентгенографических изображений A_i , $i \in \{1, \dots, N\}$. Для каждого A_i на базе экспертной оценки специалиста-травматолога сформировано бинарное изображение G_i (GT-образ).

Необходимо определить метод обработки изображений F , преобразующий исходные изображения A_i в бинарные изображения $O_i = F(A_i)$. При этом, различие между изображением O_i , сформированными методом F , и G_i , предоставленными экспертом, должно быть минимальным, т.е. необходимо найти:

$$F = \arg \min_F \sum_{i=1}^N \Delta(F(A_i), G_i), \quad (1)$$

$$\Delta(F(A_i), G_i) = \Delta(O_i, G_i), \quad (2)$$

где Δ — мера отличия между двумя изображениями.

Поскольку от меры Δ зависит результат выбора метода контурной сегментации, то необходимо подобрать такую оценку, чтобы $\Delta(O_i, G_i)$ было минимальным.

Решение задач и результаты исследований

Многообразие методов контурной сегментации в традиционном представлении разделяется на градиентные и пороговые. Основным недостатком пороговых методов является необходимость подбора порогового уровня яркости для получения приемлемого результата обработки изображения. В отличие от пороговых, градиентные методы осуществляют поиск граничных точек путем анализа функции градиента яркости изображения [1, 3].

Среди методов контурной сегментации наибольшее распространение получили методы, основанные на различных дискретных приближениях двумерного градиента:

$$\nabla A = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial A}{\partial x} \\ \frac{\partial A}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где (x, y) точка изображения A .

Модуль градиента, характеризующий скорость изменения функции A в точке (x, y) , определяется как:

$$\nabla A = |\nabla A| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}. \quad (4)$$

Направление вектора градиента:

$$\alpha(x, y) = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (5)$$

Для оценки величины градиента изображения применяются центральные разности:

$$G_x(x, y) = -\frac{1}{2} \cdot A(x-1, y) + 0 \cdot A(x, y) + \frac{1}{2} \cdot A(x+1, y), \quad (6)$$

$$G_y(x, y) = -\frac{1}{2} \cdot A(x, y-1) + 0 \cdot A(x, y) + \frac{1}{2} \cdot A(x, y+1), \quad (7)$$

которые соответствуют применению к изображению фильтров вида:

$$G_x = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot A \quad \text{and} \quad G_y = \begin{bmatrix} +\frac{1}{2} \\ 0 \\ -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot A. \quad (8)$$

Оператор Собеля основывается на следующих фильтрах:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \cdot A \quad \text{and} \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \cdot A \quad (9)$$

Оператор Прюитта использует два ядра 3×3 , свёртывая исходное изображение для вычисления приближённых значений производных: одно по горизонтали и одно по вертикали:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \cdot A \quad \text{and} \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \cdot A \quad (10)$$

Перекрёстный оператор Робертса вычисляет сумму квадратов разниц между диагонально смежными пикселями, что выполняется сверткой изображения с двумя ядрами:

$$G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot A \quad \text{and} \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot A \quad (11)$$

Оператор Канны использует следующий многоступенчатый алгоритм:

1. Сглаживание — размытие изображения для удаления шума.
2. Поиск градиентов.
3. Подавление не-максимумов (только локальные максимумы отмечаются как границы).
4. Двойная пороговая фильтрация.
5. Трассировка области неоднозначности. Итоговые границы определяются путём подавления всех краёв, несвязанных с определенными (сильными) границами.

В методе Кирша используется двумерная апертура 3×3 следующего вида:

$$\begin{bmatrix} A_0 & A_1 & A_2 \\ A_7 & F & A_3 \\ A_6 & A_5 & A_4 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

На первом этапе находятся значения переменных S_i и T_i :

$$S_i = A_i + A_{i(+1)} + A_{i(+2)}, \quad (13)$$

$$T_i = A_{i(+3)} + A_{i(+4)} + A_{i(+5)} + A_{i(+6)} + A_{i(+7)}, \quad (14)$$

где $i \in \overline{0,7}$; оператор (+) — сложение по модулю 8.

Далее необходимо найти максимальное значения модуля разности:

$$F = \max_{i \in \overline{0,7}} (|5 \cdot S_i - 3 \cdot T_i|) \quad (15)$$

Наиболее распространенным способом оценки результатов контурной сегментации является визуальный. При получении контура он оценивается на замкнутость и отсутствие «ложных границ». Однако, данный способ не позволяет автоматизировать выбор наиболее точного метода.

Анализ литературных источников [2] позволяет выделить основные типы характеристик качества выделения границ:

1. Доля T правильно выделенных граничных пикселей $E^{(O_i)}$ изображения A_i ($T \rightarrow \max$);

2. Степень локализации L , которая определяет близость выделенных пикселей $E^{(O)}$ к соответствующим им на GT-изображении $E^{(G)}$ ($L \rightarrow \max$).

В зависимости от типа характеристик качества выделения границ, меры различия методов контурной сегментации, подразделяют на меры оценки качества выделения границ и меры оценки локализации.

Примем $\#A$ за мощность множества A и определим набор исследуемых мер оценки качества выделения границ.

1. Ошибка первого рода — отношение неправильно выделенных граничных пикселей к общему числу пикселей, не являющихся граничными:

$$\alpha(O, G) = \frac{\#(O \setminus G)}{\#(A \setminus G)} \quad (16)$$

2. Ошибка второго рода определяется как отношение невыделенных граничных пикселей к общему числу граничных пикселей:

$$\beta(O, G) = \frac{\#(G \setminus O)}{\#G} \quad (17)$$

3. Специфичность — отношение выделенных не граничных пикселей к общему числу не граничных пикселей GT-образа:

$$SP(O, G) = \frac{\#(\overline{G} \cap \overline{O})}{\#\overline{G}} \quad (18)$$

4. Чувствительность — отношение правильно выделенных граничных пикселей к общему числу граничных пикселей GT-образа:

$$SV(O, G) = \frac{\#(G \cap O)}{\#G} \quad (19)$$

Следует отметить, что величины α и β являются ошибками, то есть их значение должно стремиться к минимуму. Поскольку SP и SV являются количественными характеристиками правильности построения контура, то их значения должны стремиться к максимуму.

Для проведения экспериментальных исследований был отобран набор оцифрованных рентгенографических изображений, полученный на базе отделения Донецкой областной травматологии. Размер каждого изображения из набора данных (формат jpeg) равен 204x296 точек, при глубине цвета 8 бит на пиксель. Результаты исследования оценок качества контура (16–19) при применении различных методов контурной сегментации к изображениям рентгенограмм сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Анализ качества контурной сегментации изображений рентгенограмм

Мера \ Метод	α	β	SP	SV
Кирша	0,9363	0	1	0,0673
Канни	0,0543	0,3974	0,6026	0,9460
Собея	0,0523	0,4155	0,5845	0,9479
Прюитга	0,0490	0,4204	0,5796	0,9512
Робертса	0,0677	0,3952	0,6048	0,9326

Результаты применения контурной сегментации представлены на рисунках 1.б, 1.в, 1.г, 1.д, 1.е.

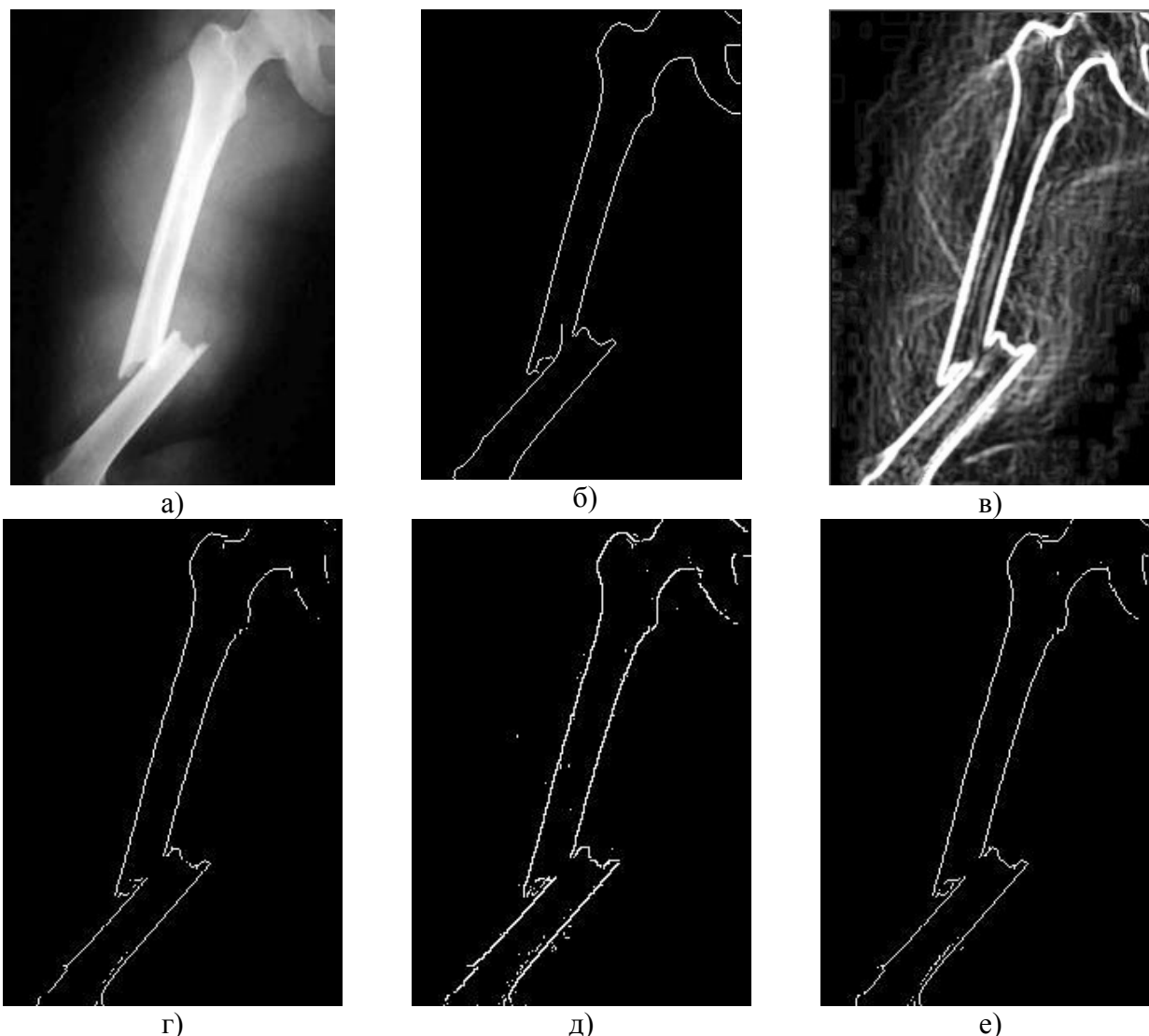


Рисунок 1 — Пример применения контурной сегментации к рентгенографическим изображениям: а) исходное изображение; б) метод Канни; в) метод Кирша; г) метод Прюитта; д) метод Роберста; е) метод Собеля.

В результате анализа табличных данных установлено, что величина α взаимосвязана с величиной SV , а β с SP и $SP+\beta=1$ ($SV+\alpha=1$). Следовательно, величины α и β в оценивании результатов контурной сегментации можно отбросить.

Для проверки результатов оценки контурной сегментации (рис.1), проведем дополнительный визуальный анализ. При этом будем учитывать количество разрывов контуров, дополнительные помехи, точность контурных линий по сравнению с идеальным контуром. Результаты оценки выражаются коэффициентом $k \in [0; 1]$ и приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение оценок контурной сегментации изображений рентгенограмм

Метод / Оценка	Кирша	Канни	Собеля	Прюитта	Робертса
k	0	1	0,6	0,5	0,7
γ	0,5334	0,7743	0,7662	0,7654	0,7687

Для получения соответствия между результатами визуальной оценки и значениями SV и SP , приведенными в таблице 1, предлагается использовать среднее арифметическое значений этих оценок:

$$\gamma(O, G) = \text{avg}(SP(O, G), SV(O, G)). \quad (20)$$

Это обусловлено тем, что при максимальных значениях данных мер, теоретически результат обработки должен быть наилучшим. Результаты оценки изображений (рис.1) приведены в таблице 2. Наибольшее значение γ получилось в методе Канны, то есть можно сделать вывод, что данным метод наилучшим образом подходит для выделения контуров на рентгенограмме.

Выводы

1. Проведен анализ методов контурной сегментации для изображений рентгенограмм. На основе полученных результатов сделан вывод о необходимости применения метода Канны.

2. В результате анализа оценок качества контурной сегментации была выявлена необходимость разработки комплексной оценки, учитывающей основные характеристики контура.

3. Проведенные эксперименты показали, что модификация методики оценки качества контурной сегментации соответствует визуальной.

Список использованной литературы

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. — М.: Техносфера, 2006. — 616 с.
2. Некоторые вопросы количественной оценки производительности детекторов границ / [И.В. Грибков, А.В. Захаров, П.П. Кольцов и др.] // Программные продукты и системы. - 2011. - №4.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. — М.: Мир, 1982. — 312 с.

Надійшла до редакції:
18.01.2012 р.

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

T.V. Martynenko, D.E. Labinskaya. Modification of the methodology for assessing the quality of the radiograph contour image segmentation. Existing methods of image's contour segmentation are analyzed for digital halftone radiographs. The quality measures of selection circuit results are analyzed. Modification of selection circuit quality assessment methodic, which takes into account the characteristics of sensitivity and specificity, is developed. The Canny method is selected on the base of the proposed assessment to determine the contour on radiograph's images.

Key words: X-ray images, contour segmentation methods, digital image processing, quantification methods, the selection boundaries.

Т.В. Мартиненко., Д.Є. Лабінська. Модифікація методики оцінки якості контурної сегментації зображень рентгенограм. Виконано аналіз застосування існуючих методів контурної сегментації до цифрових напівтонових зображень рентгенограм. Проаналізовано заходи оцінок якості результатів виділення контуру. Модифікація методики оцінки якості виділення контуру враховує характеристики чутливості і специфічності. На основі запропонованої оцінки обрано метод Канні для визначення контуру на зображеннях рентгенограм.

Ключові слова: зображення рентгенограм, методи контурної сегментації, цифрова обробка зображень, методи кількісної оцінки, виділення контурів.

© Мартыненко Т.В., Лабинская Д.Е., 2012