



## Автоматизация процесса определения референтных линий на рентгенографических медицинских изображениях

*Аль Темими А.М.С., Пилиди В.С.*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Разработана методика автоматизации процесса нахождения референтных линий и углов на медицинских рентгенографических изображениях. Созданный программный продукт продемонстрировал высокую эффективность предложенной схемы анализа.  
**Ключевые слова:** обработка изображений, анализ медицинских рентгенографических изображений, референтные линии и углы, анализ коленного сустава

### Введение

Распространенность методов рентгенографического исследования в медицине связана с их достаточно высокой информативностью, простотой получения и распространенностью соответствующей аппаратуры. Среди диагностических приложений рентгенографии особое место занимает рентгенологическое исследование костей и суставов. Эффективность такого исследования обусловлена достаточно высокой оптической плотностью этих тканей в сравнении с окружающими мягкими тканями, обеспечивая приемлемые контрастность и четкость получаемого изображения без применения рентгеноконтрастных веществ.

Метод так называемых *референтных линий и углов* (см. [1–4] и цитируемую там литературу) разработан для определения отклонений от анатомической нормы и планирования реконструктивных операций. Более точно, для выявления деформаций нижних конечностей вводятся понятия референтных линий и углов, разделяемые на "анатомические" и "механические". В норме референтные линии должны пересекаться между собой в определенных точках и под определенными углами. При наличии показателей, отличных от принятых за норму, судят о наличии той или иной деформации. На рис. 1 [1, с.9] представлены референтные линии и углы во фронтальной и са-

гиттальной (перпендикулярной фронтальной) плоскостях, обычно подлежащие рассмотрению при изменении формы ног. Указаны анатомические углы с допустимым диапазоном углов, которые укладываются в пределы нормы.

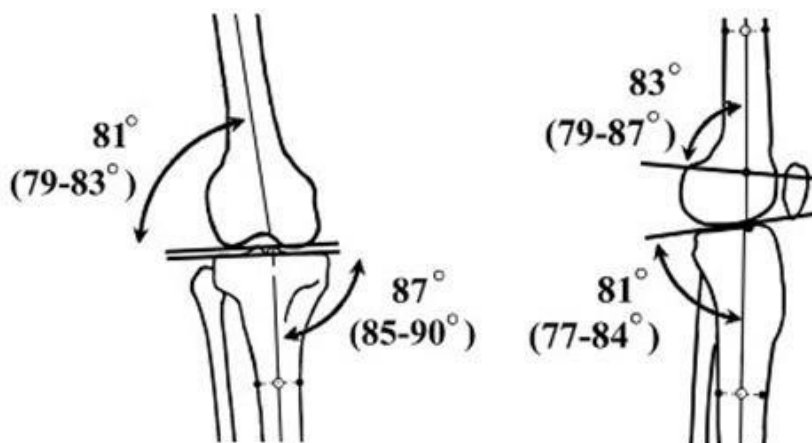


Рис. 1. – Проекция анатомических осей суставов во фронтальной (слева) и сагиттальной (справа) плоскостях. Указаны пределы нормы для анатомических углов

Построение референтных линий производится по центральным точкам коленного сустава и наиболее выступающим точкам по краям бедренной кости, и точкам, расположенным в центре суставных поверхностей (см. рис. 2 [1]).

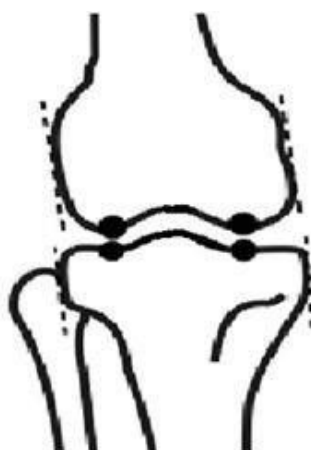


Рис. 2. – Крайние точки для ориентации линий

В настоящей работе представлена схема алгоритма автоматизированного определения границ областей и построения референтных углов и линий



между дистальным отделом бедренной кости и проксимальным отделом большеберцовой кости. Программная реализация алгоритма дает значительное увеличение эффективности диагностики.

### Постановка задачи

Требуется найти значения референтных углов между дистальным отделом бедренной кости и проксимальным отделом большеберцовой кости, для чего необходимо определить суставные линии каждой кости и их анатомические линии. При написании программы использовалась библиотека обработки изображений с открытым исходным кодом – OpenCV 2.4.

### Предварительная обработка изображения

Первым шагом является применение к исходному изображению детектор границ Кэнни [5, 6]. Требуется выделить локальные максимумы как границы и подавить любые значения пикселей, которые не считаются границей. После применения детектора границ это позволяет получить тонкую линию в изображении.

Для устранения разрывов полученные границы объединяются при помощи операции дилатации [6, с. 755]. Кроме того, производится отбрасывание самых малых по длине контуров. Для оставшихся контуров рассчитываются центры масс, которые в дальнейшем являются маркерами для алгоритма водораздела.

Следующим шагом является применение алгоритма сегментации по водоразделам [6 с.881] (см. также [8, 9]).

Алгоритм водораздела работает с полутоновым изображением.

Пусть  $P = \{(i, j) : 0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1\}$  - прямоугольник в  $\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ , параметризующий точки изображения размеров  $m \times n$ ,  $f: P \rightarrow \mathbb{Z}$  — функция, задающая полутоновое изображение. При сегментации указанным методом изображения моделируется заполнение «местности» - изображения водой.

---

При этом образуются «бассейны». Как правило, алгоритм считает "бассейнами" даже самые незначительные объекты, что приводит к чрезмерной сегментации изображения, особенно для изображений с шумами, какими, в частности, являются медицинские рентгенографические изображения. Поэтому перед сегментированием для корректности процесса убирается лишний «шум» с изображения путем усреднения соседних точек и применения морфологической операции размыкания [6, с.759].

После применения алгоритма сегментации из полученных областей выбирают те, которые содержат «точки интереса».

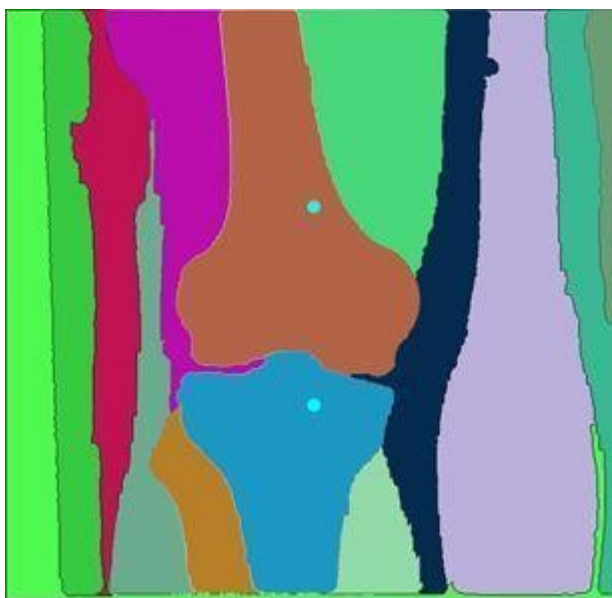


Рис. 3. – Результат применения алгоритма водораздела

Точки интереса представляют собой две точки, которые должны лежать в пределах контуров костей при отцентрированной снимке. Следующим шагом является применение операции эрозии, в результате чего удаляются достаточно малые объекты.

Для межсуставного пространства применяется дополнительная обработка. Это связано с необходимостью более детального анализа этой области для уточнения контура сустава. Схема анализа подобна приведенным выше схемам: детектор Кенни, операция водораздела. Оставшиеся контуры после-

довательно подвергаются операциям дилатации, эрозии, замыкания [7] для устранения погрешностей, объединения и отделения контуров друг от друга.

ЗАМЕЧАНИЕ. Другие эффективные методы обработки изображений обсуждаются в статье [10].

### Построение референтных линий и углов

Суставная линия бедренной кости находится по описывающему контур, прямоугольнику, нижняя грань которого будет задавать суставную линию. Для построения суставной линии большеберцовой кости находятся описывающие каждый контур прямоугольники, и средняя линия их пересечения (рис. 4).

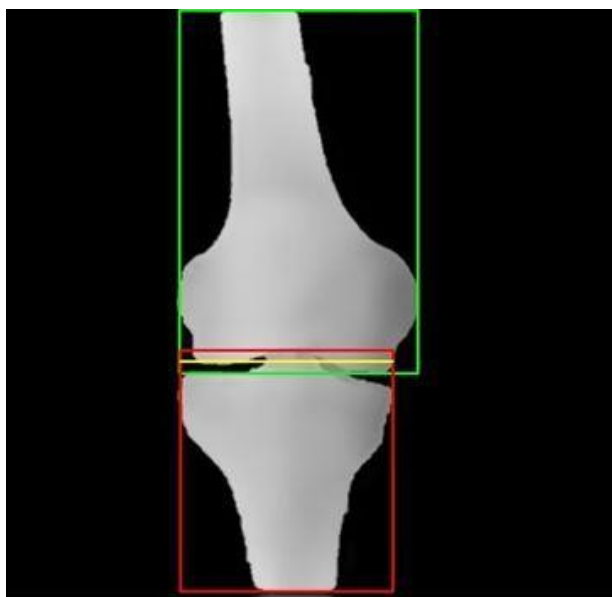


Рис. 4. – Прямоугольники, описывающие контуры костей

Для получения анатомических линий каждый контур разделяется пополам, и для каждой из полученных частей вычисляется центр масс. Пара центров масс задает анатомическую линию.

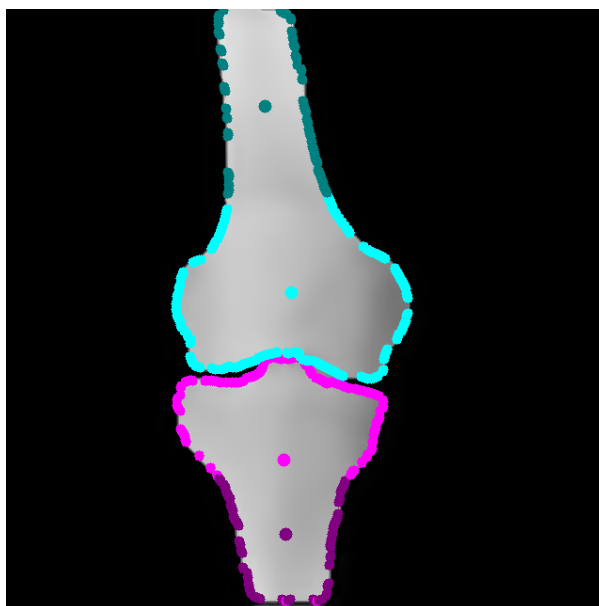


Рис. 5. – Центры масс контуров, по которым находятся анатомические линии

Найденные углы между анатомическими и суставными линиями позволяют выявить патологические изменения в коленных суставах, если они не укладываются в пороговые значения нормы.

В программе предусмотрена также возможность ручной корректировки контура, для повышения точности определения границ, в случае некорректной работы алгоритма или плохого качества, обрабатываемого изображения.

### **Эксперимент**

Для эксперимента было отобрано несколько рентгенографических изображений коленного сустава во фронтальной плоскости. Результаты их обработки разработанной по приведенному выше алгоритму программой показаны на рис. 6.

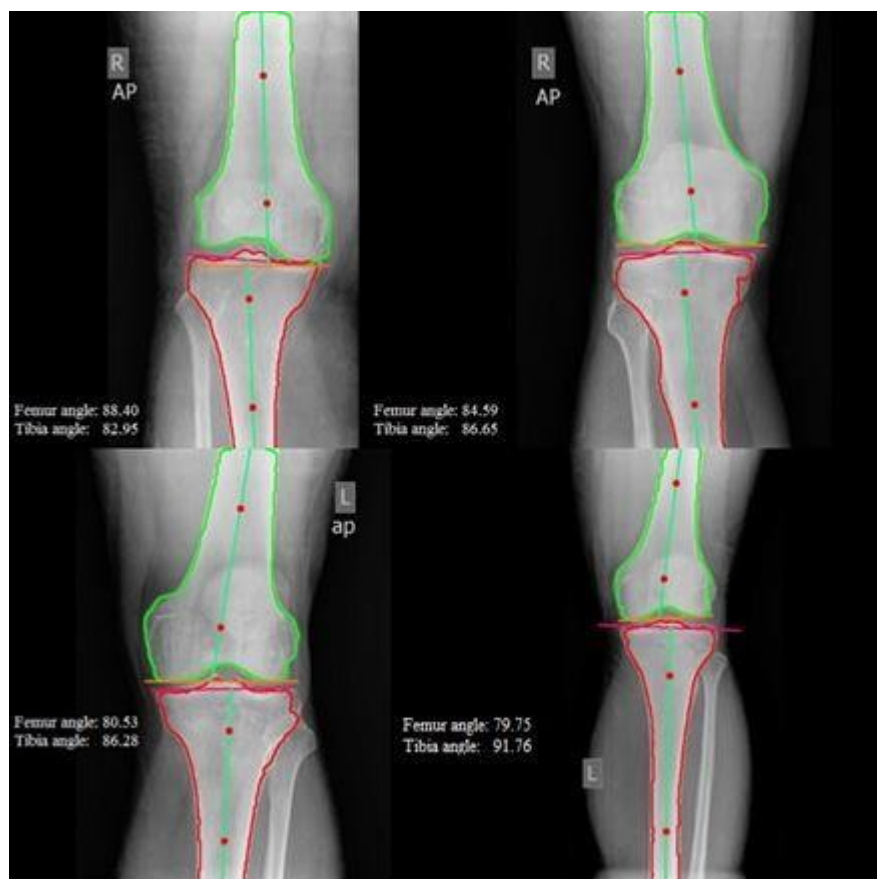


Рис. 6. – Референтные линии и углы проксимального и дистального отделов

### Реализация

Было протестировано две группы пациентов, в составе каждой из которых было 15 человек. Первая группа из X-RAY Institute, Baghdad Medical city была протестирована на рентгеновском устройстве AGFADX-D 400. В результате чего, в 11 случаях эксперимент был проведен успешно, в 4 нет. Вторая группа испытуемых из IDC.PHILIPS Ortho&Spine Center в Багдаде была проверена с помощью устройства Shimadzu. Результатами данного эксперимента стали 14 успешных случаев детектирования границ и 1 неудачное. В реализации данного подхода существенна зависимость результатов от четкости и качества выбранного изображения.

### Заключение



Автоматическое построение линий позволяет оценить состояние пациента с помощью ряда известных параметров, характеризующих углы наклона. Это дает возможность существенно сократить время, затрачиваемое на анализ рентгенографического снимка, и произвести его оценку в том случае, когда рентгенолог не может поставить диагноз однозначно.

Применяемый метод может служить предварительным диагностическим инструментом при проведении операций остеотомии для улучшения функций опорно-двигательного аппарата.

Проведенное исследование примыкает к серии многочисленных работ (см., напр., [9]), посвященных методам медицинской диагностики, комбинирующих аппаратные средства и компьютерную обработку получаемой информации.

Авторы выражают благодарность специалистам из Ирака – Аль-Абайечи Синану Аднану (Medicine Iraqi Board of Orthopedic Surgery) и Бассаму Фалеху Хасану (Medicine Arabic Board of Diagnostic Radiology) за предоставленные рентгенологические материалы и полезное обсуждение работы.

### Литература

1. Соломин Л.Н., Щепкина Е.А. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей: пособие для врачей. – 2010. СПб. : РНИИТО им. Р.Р. Вредена. 46 с.
2. Соломин Л.Н., Кулеш П.Н. Анализ показателей референтных линий и углов при изменении формы ног с использованием чрескостного остеосинтеза (предварительное сообщение) // Травматология и ортопедия России. 2011. № 2(60). С. 62-69.
3. Paley D. Principles of deformity correction. N.-Y.: Springer-Verlag, 2005. 806 p.





4. Кулеш П.Н., Соломин Л.Н. Коррекция формы ног по эстетическим показаниям (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2013, №2. С. 117-123.

5. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection IEEE // Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1986.pp. 659-663.

6. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2005. 1072 с.

7. Огнев И.В., Сидорова Н.А. Обработка изображений методами математической морфологии в ассоциативной осцилляторной среде // Технические науки. Информатика и вычислительная техника. 2007. № 4. С. 87-97.

8. Meyer F. Color image segmentation// IEE International Conference on Image Processing and its Applications. Maastricht. The Netherlands. 1995. pp. 303-306.

9. Строев В.М., Альмас Г.Ф. Многоспектральный оптический метод формирования и обработки изображений низкоконтрастных образований при априорной неопределённости параметров кожи // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 URL [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2018](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2018).

10. Воронин В.В., Сизякин Р.А., Гапон Н.В., Франц В.А., Колосов А.Ю. Алгоритм реконструкции изображений на основе анализа локальных бинарных окрестностей // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857).

### References

1. Solomin L.N., Shhepkina E.A. Opredelenie referentnyh linij i uglov dlinnyh trubchatyh kostej: posobie dlja vrachej [Determining reference lines and angles of the long bones: a manual for physicians]. SPb.: RNIITO im. R.R. Vredena, 2010. 46 p.

2. Solomin L.N., Kulesh P.N. Travmatologija i ortopedija Rossii. 2011. №2 (60). pp. 62-69.

---



3. Paley D. Principles of deformity correction. N.-Y.: Springer-Verlag, 2005. 806 p.
4. Kulesh P.N., Solomin L.N. Genij ortopedii. 2013, №2. pp. 117-123.
5. Canny J. A. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, № 6. pp. 679-698.
6. Gonzales R., Woods R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij [Digital Image Processing]. M., Tehnosfera. 2005. 1072 p.
7. Ognev I.V., Sidorova N.A. Tehnicheskie nauki. Informatika i vychislitel'naja tehnika. 2007. № 4. pp. 87-97
8. Meyer F. IEE International Conference on Image Processing and its Applications. Maastricht, The Netherlands. 1995. pp. 303-306.
9. Stroev V.M., Al'mas G.F. Inženernyj vestnik Dona (Rus), № 4, 2013 g. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2018](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2018).
10. Voronin V.V., Sizjakin R.A., Gapon N.V., Franc V.A., Kolosov A. Ju. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1857).