

Непрерывный скелет бинарного растрового изображения

The Continuous Skeleton of The Digital Binary Image

Местецкий Леонид Моисеевич,
Тверской государственный университет

Dr. Leonid M. Mestetskiy
Tver State university, Tver, Russia

E-mail: mest@kemar.msk.ru

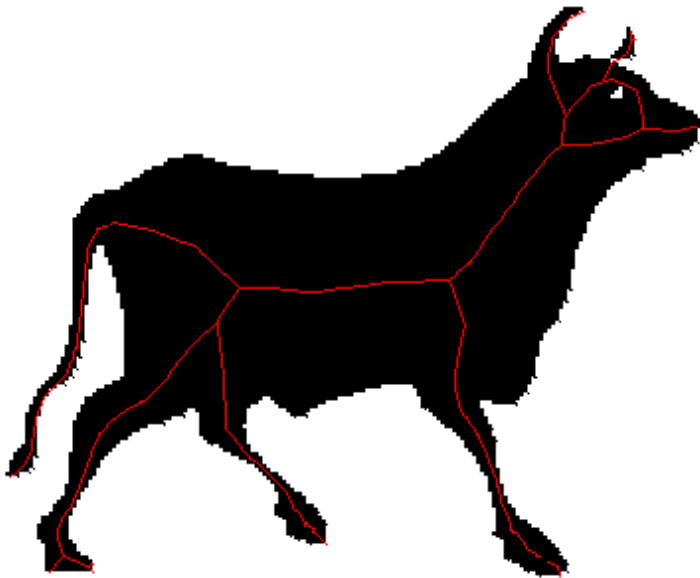
1. Бинарные растровые изображения Digital Binary Images (Binary Bitmaps)



Аннотация
Рассматривается задача построения неупорядоченной матрицы для растрового бинарного изображения. Формулируется метод вычисления разности двух задач: аппроксимации исходного растрового образа на точечной области с неупорядоченной границей (аппроксимация) и построения неупорядоченной матрицы на точечной области (аппроксимация). Формулируется алгоритм и описаны методы решения, разности задач для изображения произвольной сложности.

- *Бинарное растровое изображение* - матрица из черных и белых точек, в которой объект задается черными точками растра, а фон - белыми точками.
- The Binary Bitmap is the matrix consisting of black and white points (black objects at the white background)

2. Скелет бинарного растрового изображения Binary Bitmap's Skeleton



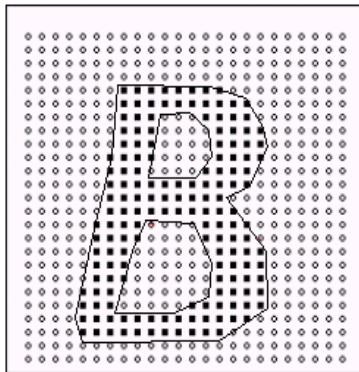
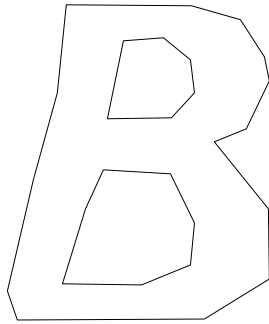
- Отсутствует математически корректное *определение*
- Отсутствуют универсальные эффективные *алгоритмы*
- The correct mathematical *definition* doesn't exist
- Correct and efficient *algorithms* don't exist

3. Предлагаемый подход к решению The proposed approach to the solution

- Определение *непрерывного* скелета для *дискретного* изображения.
- Аппроксимация растрового бинарного изображения *полигональной областью* с непрерывной границей (задача *оконтуривания*)
- Построение *непрерывного скелета* полигональной области (задача *скелетизации*)
- To define the *continuous* skeleton for the binary bitmap
- To approximate the binary bitmap by the *polygonal region* with the continuous boundary (the *contourization* problem)
- To compute the *continuous skeleton* for the polygonal region (the *skeletonization* problem)

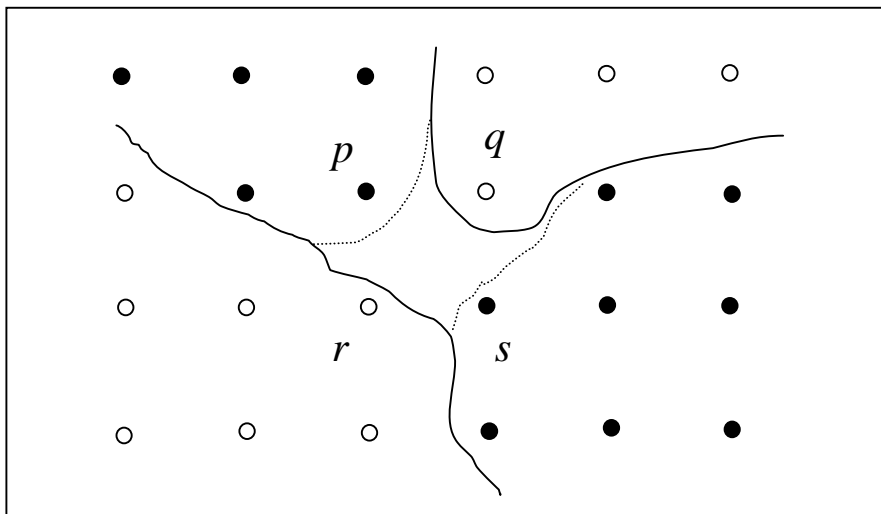
4. Аппроксимация полигональной областью

The approximation by the polygonal region



- *Полигональной областью* называется ограниченная область, граница которой описывается конечным числом непересекающихся простых полигонов.
- Полигональная область *аппроксимирует* растровое бинарное изображение, если при наложении все черные точки растра не лежат вне области, а все белые точки растра не лежат внутри области.
- Существует *единственная* аппроксимирующая область, имеющая минимальный суммарный *периметр* граничных полигонов.
- *The polygonal region* is a region with the polygonal boundary
- The polygonal region *approximates* the binary bitmap if black bitmap's points don't belong to the region's exterior and white points don't belong to the region's interior
- The polygonal region with minimum perimeter *exists*

5. Смежность точек растра Adjacent points of the binary bitmap



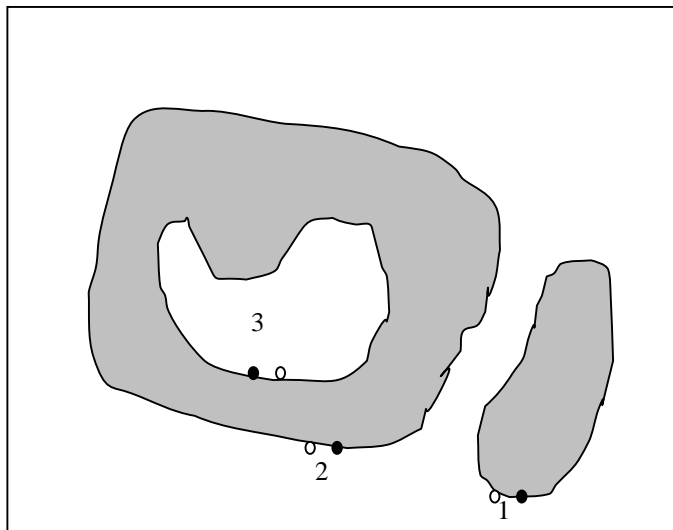
• Пары (p,q) , (q,s) , (s,r) , (p,r) , (p,s) - смежные, а пара (q,r) - несмежная.

Couples (p,q) , (q,s) , (s,r) , (p,r) , (p,s) are adjacent, but the couple (q,r) isn't adjacent.

- На множестве точек растра вводится “несимметричное” отношение смежности:
- для черной точки соседями являются все 8-смежные точки,
- для белой точки соседями являются все 4-смежные точки.
- Introduce the asymmetrical adjacent relation:
- The black point has 8-adjacent neighbors
- The white point has 4-adjacent neighbors

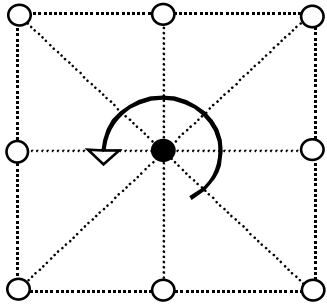
6. Поиск границы бинарного растрового изображения The search of the binary image's boundary

- Граничной точкой на растре называется точка, имеющая смежную точку другого цвета.
- Поиск границы - задача обнаружения одной пары смежных разноцветных точек для каждого граничного контура.
- Поиск граничных пар выполняется построчным сканированием изображения.

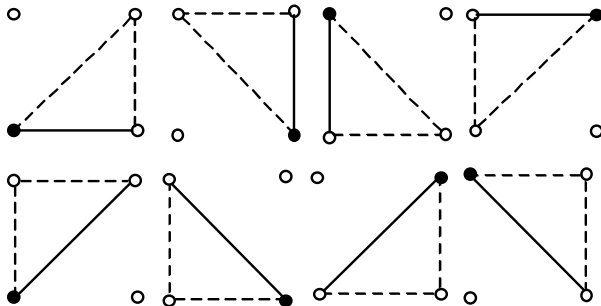


- The boundary point is a point having the adjacent point of another color
- The search boundary problem: find couples of different adjacent points for all contours
- The search of the boundary realizes by row scanning

7. Прослеживание границы изображения Bitmap's boundary tracing



- Следящей парой называется текущая пара разноцветных смежных точек растра.
- Для следящей пары задается *направление перемещения* (прослеживания границы).
- Выбор *пробной точки* при различных положениях следящей пары:
 (p, q) - следящая пара (tracing couple),
 $p = (p_x, p_y)$ - черная точка (black point),
 $q = (q_x, q_y)$ - белая точки (white point),
 $r = (r_x, r_y)$ - пробная точка (test point).



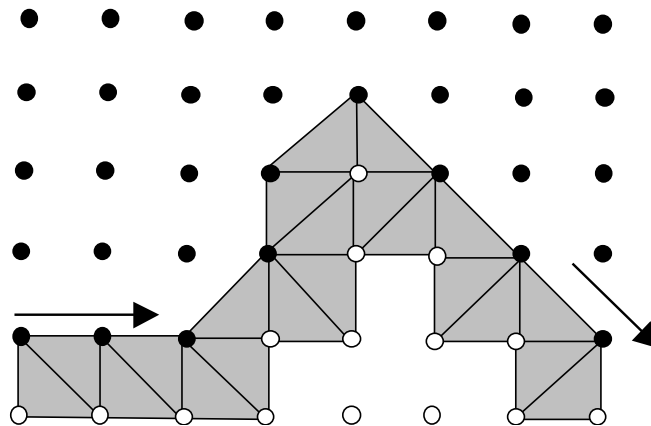
1) (p, q) - вертикальная или горизонтальная
(vertical or horizontal)

$$r_x = q_x + p_y - q_y, \quad r_y = q_y + q_x - p_x.$$

2) (p, q) - диагональная (diagonal)

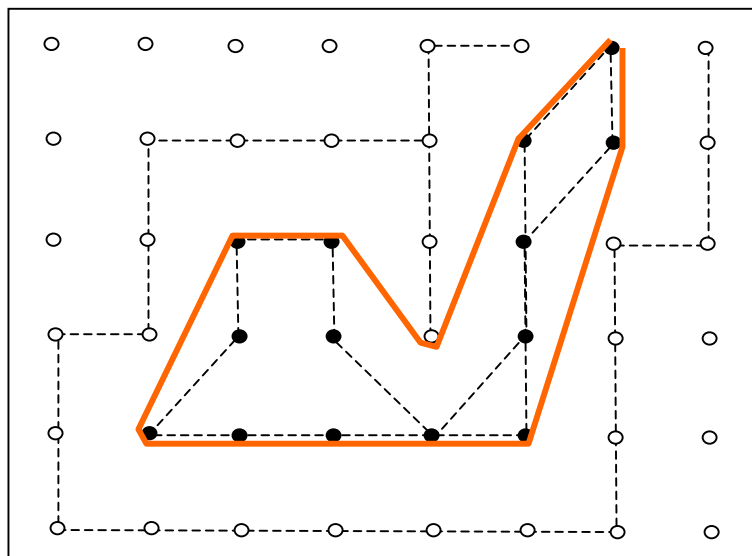
$$r_x = (p_x + q_x + p_y - q_y) / 2, \quad r_y = (p_y + q_y - p_x + q_x) / 2.$$

8. Граничный коридор растрового изображения The boundary corridor of the binary bitmap



- Перемещение следящей пары позволяет выделить все граничные точки, соответствующие одному граничному контуру.
- Процесс прослеживания завершается, когда следящая пара вернется в исходное положение.
- Граничный коридор образуется последовательностью положений треугольника, “перекатывающегося” вдоль границы.

9. Вытягивание границы внутри коридора Stretching of the boundary within the corridor

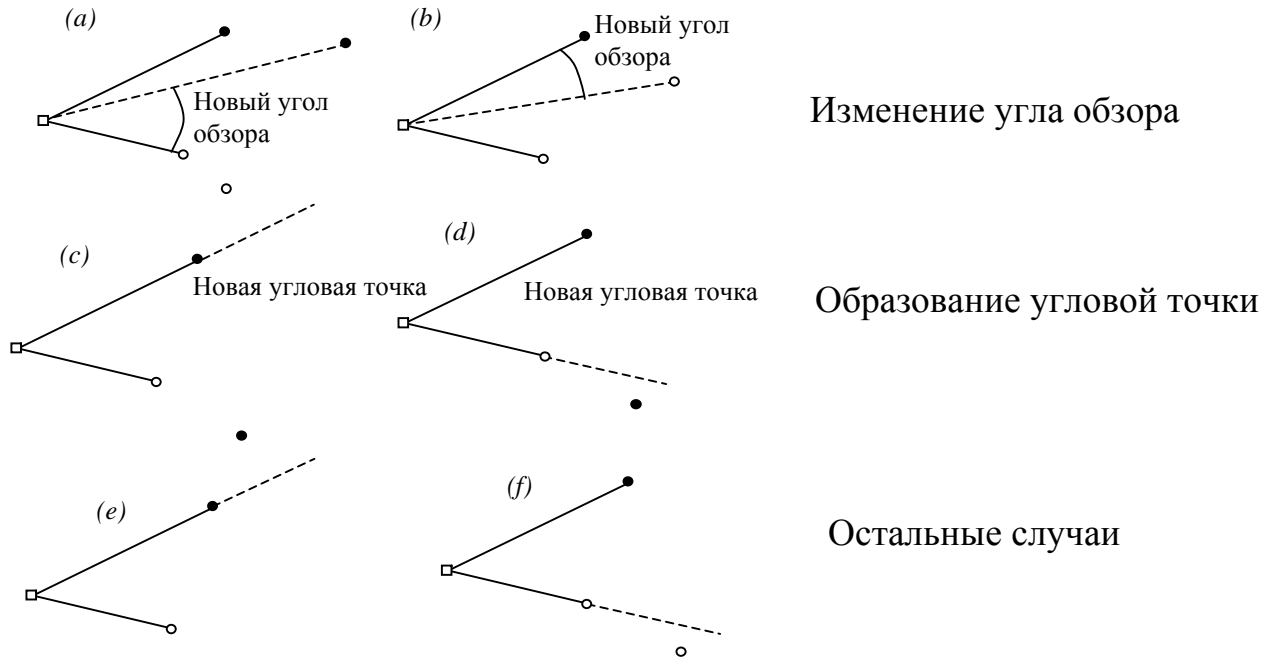


- Строится полигон минимального периметра, лежащий внутри коридора и разделяющий разноцветные стороны коридора.
- Вершины полигона минимального периметра содержатся среди множества граничных точек коридора (угловые точки).

10. Полигон минимального периметра

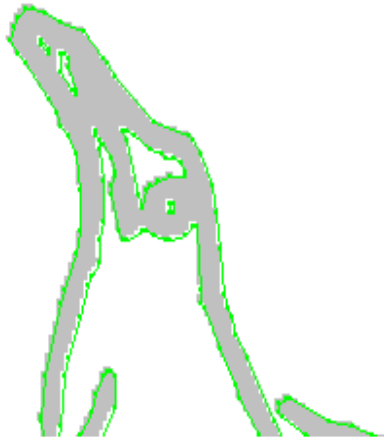
Minimum perimeter polygon

- В начальном положении следящей пары вторая точка является угловой.
- Две последовательные угловые точки в полигоне минимального периметра должны соединяться отрезком прямой линии, целиком лежащим внутри коридора
- Очередная угловая точка лежит “в прямой видимости” от предыдущей внутри коридора



11. Примеры решения задачи оконтуривания

Application of the contouring algorithm

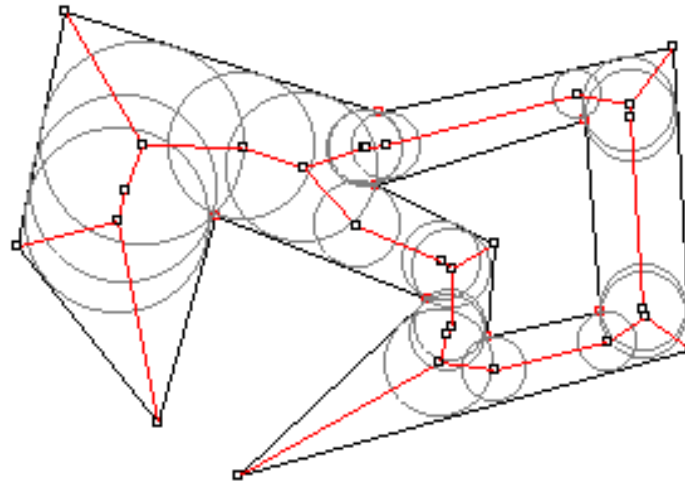


Автоматизация

*Рассматривается задача
непрерывного сканирования для ра-
бочего изображения. Труд-
нодоступные элементы решаются с помощью*

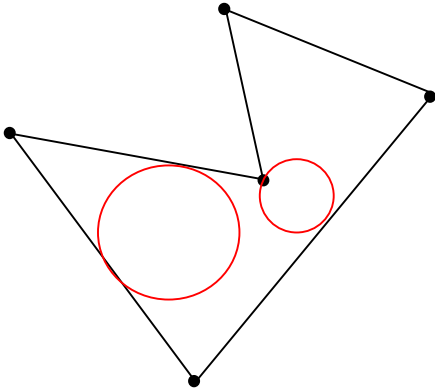
12. Скелет полигональной области The polygonal region's skeleton

- *Скелетом* полигональной области называется геометрическое место точек имеющих не менее двух ближайших точек на границе области.
- The skeleton is the set of points such that have at least two closest points at the region's boundary

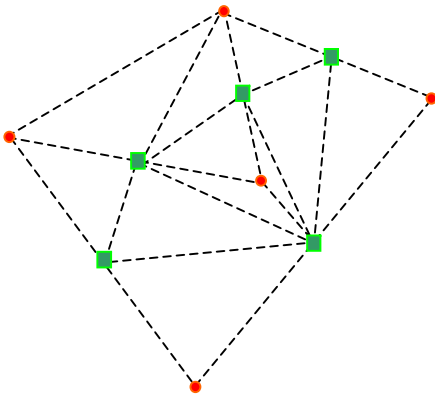


13. Множество сайтов и отношение смежности

The set of sites and the neighborhood



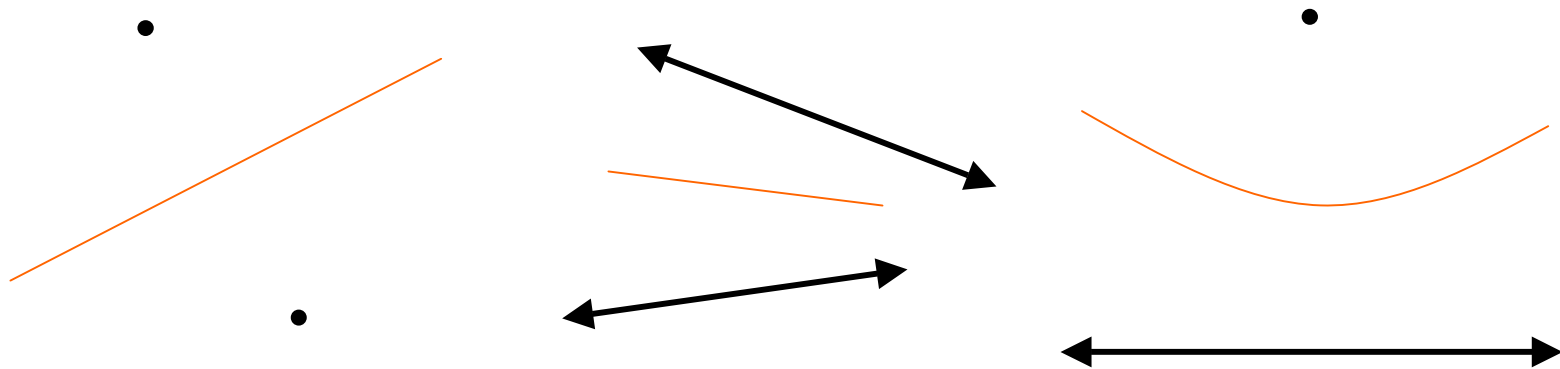
- *Сайтом* называется множество точек, состоящее либо из одной точки (*сайт-точка*), либо из внутренних точек отрезка прямой (*сайт-сегмент*).
- Два сайта называются *смежными*, если существует пустой круг, касающийся их обоих и не касающийся других сайтов в коллекции.
- Отношение смежности на множестве сайтов задает *граф смежности сайтов*, называемый *обобщенной триангуляцией Делоне*.



- The set of sites consists of polygon's vertex and open segments
- Two sites are adjacent if the clearance circle touches them and doesn't touch another sites
- The adjacent relation defines the neighborhood graph called generalized Delaunay triangulation

14. Связь скелета и обобщенной триангуляции Делоне

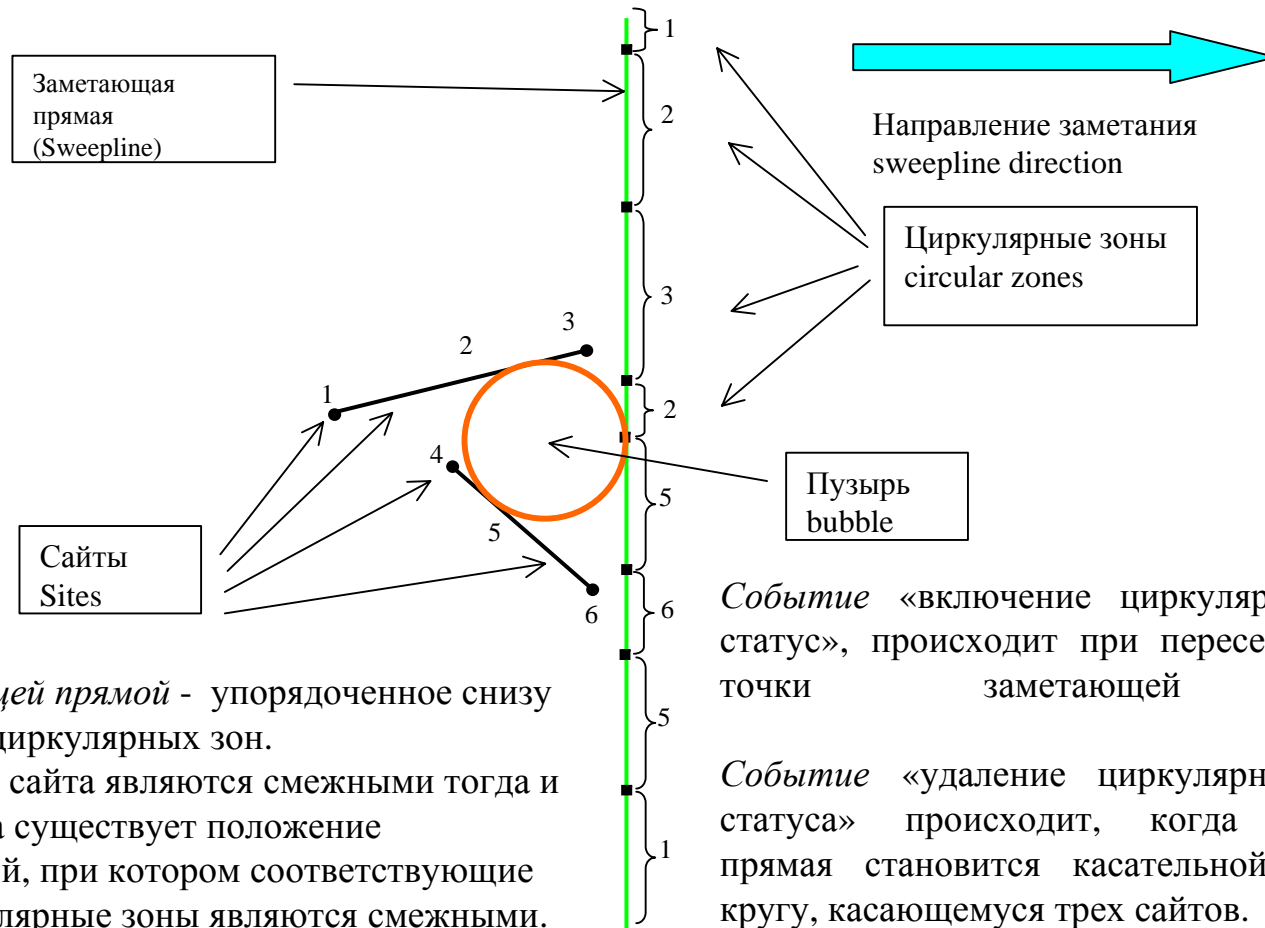
The skeleton and generalized Delaunay triangulation



- Серединные оси неинцидентных пар смежных сайтов образуют скелет полигональной области.
- Вывод: для построения скелета полигональной области достаточно найти все пары смежных сайтов (обобщенную триангуляцию Делоне)
- Medial axes of adjacent sites forms the skeleton of the region
- The skeleton can be constructed using the generalized Delaunay triangulation

15. Построение обобщенной триангуляции Делоне методом плоского заметания

Sweepline method for generalized Delaunay triangulation



Статус заметающей прямой - упорядоченное снизу вверх множество циркулярных зон.

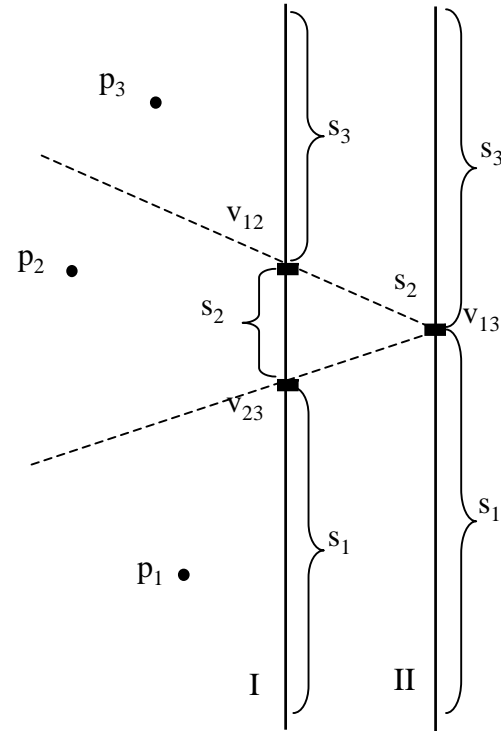
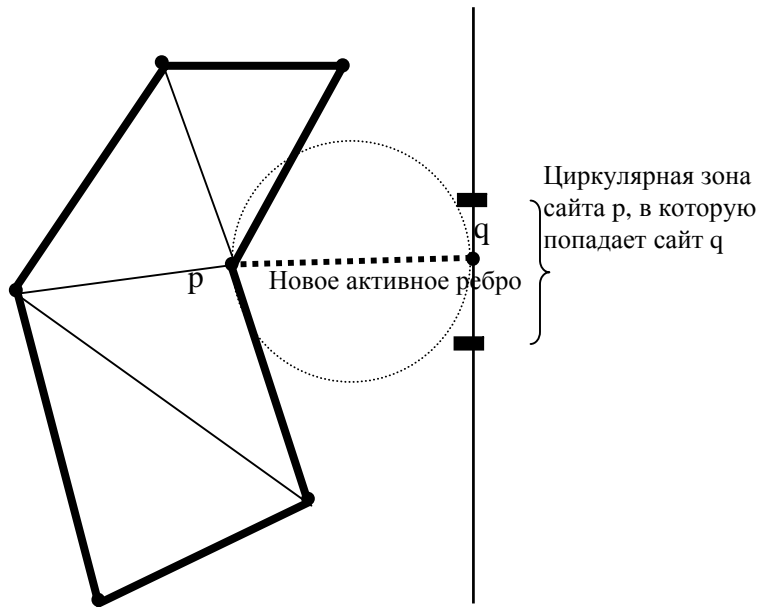
Утверждение. Два сайта являются смежными тогда и только тогда, когда существует положение заметающей прямой, при котором соответствующие этим сайтам циркулярные зоны являются смежными.

Событие «включение циркулярной зоны в статус», происходит при пересечении сайта-точки заметающей прямой.

Событие «удаление циркулярной зоны из статуса» происходит, когда заметающая прямая становится касательной к пустому кругу, касающемуся трех сайтов.

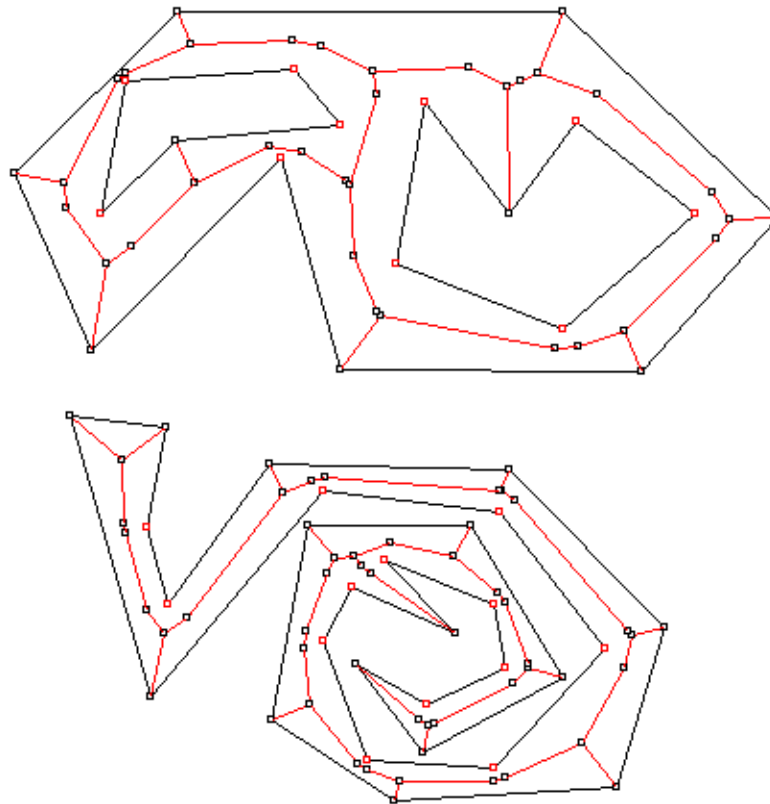
16. Изменение статуса заметающей линии The change of the sweepline's status

Контур активных ребер

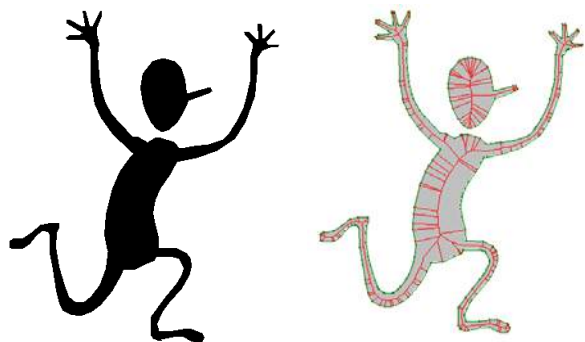


- Включение и исключение циркулярной зоны в статус с образованием новых пар смежных сайтов.
- Include and delete the circular zone to status and form of new adjacent sites

17. Примеры скелетизации полигональных областей Skeletons of polygonal regions (examples)



18. Примеры скелетизации растровых изображений Skeletons of binary bitmaps (examples)



Размер изображения - 461 x 450
Полигонов - 2
Вершин полигонов - 310
Ребер скелета - 614
Время оконтуривания - 0.11 сек
Время скелетизации - 0.06 сек

GraphiCon'98

GraphiCon'98

Размер изображения - 700 x 176
Полигонов - 22
Вершин полигонов - 613
Ребер скелета - 1199
Время оконтуривания - 0.10 сек
Время скелетизации - 0.17 сек