

УДК 621.396

А.П. Преображенский
**АНАЛИЗ РАДИОПОКРЫТИЯ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

Воронежский институт высоких технологий

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с улучшением радиопокрытия в системах связи. Предлагается свести данную задачу к геометрической – анализировать, принадлежит ли данная точка многоугольнику, где многоугольником аппроксимируется зона покрытия определенной базовой станции. Рассмотрено несколько алгоритмов. В методе трассировки лучей выпускаем луч из заданных точек в определенных направлениях, и проводится подсчет, сколько раз лучом происходит пересечение ребер у многоугольника. Также рассмотрен тригонометрический алгоритм, когда из точки проводим лучи ко всем вершинам многоугольников. Делается анализ числа оборотов, которое осуществляется ориентированной границей многоугольника вокруг определенной точки.

Ключевые слова: связь, радиопокрытие, алгоритм, базовая станция, полигон, аппроксимация.

На настоящий момент о мобильной связи можно говорить как неотъемлемой части в жизни современных людей [1]. Проблемы фиксированной связи отходят на второй план, а актуальность мобильности с каждым днем увеличивается [2, 3].

Вопросы обеспечения эффективной работы сетей связаны с серьезными техническими проблемами.

Проведение структурной оптимизации сетей осуществляется для того, чтобы получить оптимальную, если говорить о радиопокрытии, конфигурации сетей (для схем расположения базовых станций (БС) и того, как ориентированы сектора).

В качестве основных критериев, на основе которых есть возможности проведения оптимизации радиопокрытия можно отметить зону обслуживания и емкость сети [4, 5].

Зоны радиопокрытий зависят от совокупности факторов: параметры приемников, рельеф местностей, особенности плотности в городской застройке, характеристики излучения в объектах контроля и др. Если мы исходим из того, что делается структурная оптимизация радиопокрытия, то в качестве главного критерия мы будем рассматривать минимальное число БС с тем, чтобы обеспечить качественную связь.

При рассмотрении проблемы радиопокрытия, помимо того, что существуют определенные электродинамические методы [6, 7], мы предлагаем свести задачу к геометрической – проводить анализ, принадлежит ли данная точка многоугольнику, где многоугольником аппроксимируется зона покрытия определенной БС.

Задачи, связанные с поиском многоугольника, который содержит заданную точку, являются достаточно распространенными в таких системах, в которых поверхность моделируют на основе наборов графических примитивов: в системах 3D моделирования и проектирования, компьютерных играх и т.д. При определении, к какому многоугольнику принадлежит точка, требуется определять, входит ли точка в анализируемый многоугольник.

Во многих случаях универсальные алгоритмы являются довольно сложными при реализации, и они весьма медленно функционируют, их используют в тех случаях, когда мы не обладаем информацией о многоугольнике.

Для тех условий, когда мы имеем соответствующую информацию, используем специализированные алгоритмы [8]. Но даже если мы имеем быстрые алгоритмы, позволяющие определять принадлежность точек многоугольнику, то они не всегда приводят к приемлемому времени работы, если рассматриваются сотни многоугольников. Важно найти подход, который дал бы возможность исключения из поиска значительную их часть, однако при этом не должно быть зависимости от вида многоугольника, должна быть простота в реализации и быстрота в работе.

Один из стандартных способов, предназначенных для определения принадлежности точек произвольным простым многоугольникам, состоит в следующем.

Мы выпускаем луч из данной точки в произвольных направлениях (например, в положительном направлении горизонтальной оси), и проводим подсчет сколько раз лучом пересекаются рёбра у многоугольника. При этом достаточно пройти относительно цикла по рёбрам многоугольников и увидеть, есть ли пересечение лучом каждого ребра.

В том случае, когда число пересечений является нечётным, то принимается решение, что точка находится во внутренней области многоугольника, если чётным — то во внешней области.

Это базируется на элементарных наблюдениях, что когда мы движемся по лучу, то при каждом пересечении границ точка попеременным образом оказывается то внутри, то снаружи многоугольников. Алгоритм называют *crossing number (count) algorithm* или *even-odd rule* [9].

Для указанного алгоритма появляется затруднение, когда вырожденный случай, если лучом пересекается вершина многоугольника. Для того, чтобы преодолеть это затруднение мы можем полагать, что такие вершины многоугольника находятся на бесконечно малую величину выше (или ниже) прямой луча, то есть мы не имеем указанного пересечения. В

результате, идет зачитывание пересечения луча с ребром, тогда, когда один из концов в ребре находится строго ниже, чем луч, а другой конец находится выше или располагается на луче. Указанный алгоритм функционирует за время $O(N)$ в случае N -угольника.

Когда мы строим алгоритм на базе такой идеи, то мы исходим из двух особенностей. Прежде всего, для того, чтобы решить задачу, мы можем взять любой луч, который начинается в анализируемой точке. В этой связи в случае простого подхода сделаем выбор правого горизонтального луча, который начинается в анализируемой точке и он направлен вправо параллельным образом к положительной полуоси x .

Далее, тот порядок, в котором располагаются ребра, которые пересекаются лучом является безразличным, необходимо принимать во внимание только парность (по четному или нечетному количеству) в их общем числе. То есть, вместо того, чтобы моделировать движение вдоль луча в алгоритме мы можем сделать определение всех пересечений ребер в любом порядке, при определении четности, когда мы будем осуществлять продвижение.

В качестве простейшего решения может быть применен обход границы полигона при переключении бита четности для каждого обнаружении ребра, которое пересекается лучом.

В качестве другого способа при решении проблемы может быть рассмотрен тригонометрический алгоритм. Его основная идея заключается в том, что из точки проводим лучи ко всем вершинам многоугольников.

По каждой паре вершин проводится вычисление разности углов лучей, которые проведены из точки. Потом проводится суммирование разностей. Точка будет лежать вне многоугольника, в случае, когда такая сумма будет равной нулю.

В указанном алгоритме требуется большое количество вычислений обратных тригонометрических функций, в этой связи для многоугольников, имеющих большое количество вершин его выполнение будет очень долгим [10].

Следующий способ может быть описан таким образом: из точки проводим отрезки ко всем вершинам многоугольников, потом делается подсчет суммы получившихся треугольников.

Такая сумма точным образом будет совпадать с площадью исходного многоугольника, когда точка будет располагаться внутри рассматриваемой фигуры. В качестве недостатка этого алгоритма мы можем отметить то, что если многоугольник имеет произвольную форму, то расчет площади будет весьма непростой проблемой, которая будет заметным образом усложнять реализацию.

Однако, для случаев, когда рассматриваются простые многоугольники, такой метод будет являться довольно эффективным [11].

В случае сложных многоугольников используют метод триангуляции, то есть осуществляется разбиение многоугольников на составляющие их треугольники.

Анализ показывает, что треугольник представляет собой достаточно удобную фигуру для того, чтобы проверить вхождение в него точки. Проверка того, попадает ли точка в многоугольник, осуществляется на основе информации о том, входит ли точка в хотя бы один из образовавшихся треугольников.

Но процедуру триангуляции нельзя считать простой задачей, в этой связи к таким способам прибегают только для случаев, когда многоугольник будет довольно сложным для других алгоритмов [11].

Если многоугольник выпуклый, то есть еще один довольно эффективный алгоритм. Он базируется на том, что происходит сравнение положения точки и ребер фигур.

Для выпуклого многоугольника любая точка, которая находится во внутренней области, будет располагаться с одной стороны от каждого ребра. С левой или с правой стороны – это определяется обходом движения (по ходу часовой стрелки или против).

Сделаем анализ числа оборотов, которое осуществляется ориентированной границей многоугольника вокруг определенной точки. С точки зрения алгебраической топологии такое число называют индекс точки относительно кривой. Его можно вычислить таким образом. Пусть луч идет из точки в произвольном направлении, проведем рассмотрение ребер, которые им пересекаются.

Для каждого пересечения будет присвоено число +1 или -1, это определяется тем, каким образом ребро делает пересечение луча - по часовой стрелке или наоборот. Указанные два случая мы можем различать по тому, какой знак в скалярном произведении между направляющим вектором в ребре и нормалью к направляющему вектору луча.

При суммировании рассматриваемых величин мы получаем индекс точки относительно кривой. При этом сумма будет иметь положительный знак или отрицательный, в зависимости от того, какая ориентация границы. В том случае, когда она не является равной нулю, то мы будем полагать, что точка располагается во внутренней области многоугольника, иначе - во внешней области.

Указанный алгоритм называют nonzero winding rule [12]. В случае, когда многоугольники простые такой способ функционирует таким же образом, как и подход, базирующийся на том, что подсчитывается количество пересечений [13].

В способе, связанном с определением числа оборотов происходит определение принадлежности точки многоугольника, на основе анализа того, сколько раз происходит оборотов полигона вокруг точки.

Точка не будет лежать внутри полигона, только, когда число оборотов будет равно нулю.

Если непрерывную кривую мы определяем при помощи точек $F(t)=F(x(t), y(t))$, где $0 \leq t \leq 1$.

Выберем точку H , которая не лежит на кривой, тогда можно определить единичный вектор $e(H,t)=f(H,t)/|f(H,t)|$, где $f(H,t)=F(t)-H$. Если рассматривать полярные координаты, то $E(H)(t)=(\cos\varphi(t), \sin\varphi(t))$, где $\varphi(t)$ – является положительным поворотом против часовой стрелки, измеряется в радианах.

В тех случаях, когда кривая F является полигоном, имеющим вершины S_0, S_1, \dots, S_n , мы можем записать сумму углов:

$$\sigma(H,t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^n \varphi_i = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^n \arccos \left(\frac{(S_i - H)(S_{i+1} - H)}{|(S_i - H)||S_{i+1} - H|} \right)$$

Метод учета оборотов может быть оптимизирован. Оптимизация может быть осуществлена в рамках алгоритма Вейлера — Азертонна [14], Алгоритма Коэна – Сазерленда [15], Алгоритма Кируса – Бека [16].

Существует алгоритм, в который входят простые арифметические операции.

Происходит последовательная нумерация вершин от 1 до n . Вершину, которая имеет условный номер 1 соединяем отрезками с другими вершинами. При этом происходит образование $(n-2)$ треугольников имеющих вершины $\{1, (i-1), i\}$, где $3 \leq i \leq n$.

Осуществляют проверку того, принадлежит ли заданная точка хотя бы одному среди рассматриваемых треугольников.

В тех случаях, когда точка не будет принадлежать ни одному из треугольников, можно сделать вывод, что она не будет принадлежать и многоугольнику.

В противном случае такое разбиение многоугольника по треугольникам и осуществление проверок принадлежности заданных точек треугольникам будет выполняться для вершин с последующими номерами - до того, как выполнятся одно из следующих условий:

- Удалось найти разбиение, для которого в котором точка не будет принадлежать ни одному из треугольников, и мы можем сделать вывод, что точка не находится в многоугольнике;
- Осуществлен перебор всех вершин, и мы делаем вывод, что точка находится в многоугольнике.

Исследователи выделяют весьма быстрый алгоритм, в котором происходит подсчёт числа пересечений лучей, исходящих из заданной точки в направлении горизонтальной оси, со сторонами многоугольника. В тех случаях, когда число является четным, точка не лежит в многоугольнике.

Существуют программные средства, позволяющие рациональным образом расставлять БС, среди них отмечают программный пакет RPS-2 (Radio Planning System) [17]. То, насколько качественным будет получаемый результат, определяется тем, насколько точно при процессах планирования учитываются особенности местности, характеристики аппаратуры, возможные помехи и другие факторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канавин С. В. Перспективы применения систем мобильного широкополосного доступа в сетях подвижной радиосвязи на основе стандартов mobile WIMAX и LTE / С. В. Канавин, А. С. Лукьянов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 79-82.
2. Баранов А.В. Проблемы функционирования mesh-сетей / А.В.Баранов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 49-50.
3. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В.Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
4. Мишин Я.А. О системах автоматизированного проектирования в беспроводных сетях / Я.А.Мишин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 153-156.
5. Головинов С.О. Проблемы управления системами мобильной связи / С.О.Головинов, А.А.Хромых // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 13-14.
6. Ерасов С.В. Оптимизационные процессы в электродинамических задачах / С.В.Ерасов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 20-26.
7. Максимова А. А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А. А. Максимова, А. Г. Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 16. С. 53-56.
8. Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++ / М.Ласло // БИНОМ, 1997. - 304 с.

9. Robert Cimikowski Algorithms for the fixed linear crossing number problem / Cimikowski Robert // Discrete Applied Mathematics, Volume 122, Issues 1-3, 15 October 2002, Pp. 93-115.
10. Шикин Е.В. Начала компьютерной графики. / Е.В.Шикин //М.: ДИАЛОГ - МИФИ, 2000. - 374 с.
11. Скворцов А.В. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. / А.В.Скворцов // Т.: Издательство Томского университета, 2006. - 167 с.
12. https://root.cern.ch/TaligentDocs/TaligentOnline/DocumentRoot/1.0/Docs/books/GS/GS_61.html.
13. <http://compgraph.tpu.ru/Oglavlenie.htm>.
14. Appel A. The Notion of Quantitative invisibility and the Machine Rendering of Solids / A.Appel // Proceedings ACM National Conference (1967), pp. 387-393.
15. Robert F. Sproull Sutherland A clipping divider / Robert F. Sproull, E.Ivan // AFIPS Joint Computer Conferences : Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference. - New York: ACM, 1968. - Т. I. - С. 765-775.
16. <http://cs1.bradley.edu/public/jcm/cs535CyrusBeck.html>
17. <http://www.rps2.ru/product.php>.

A. P. Preobrazhensky

THE ANALYSIS OF THE COVERAGE IN COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON GEOMETRICAL ALGORITHMS

Voronezh Institute of High Technologies

This paper discusses the issues related to improvement of radio coverage in the communication systems. It is proposed to reduce this problem to geometric to analyze whether a given point to the polygon, where the polygon represents the coverage area of certain base station. We consider several algorithms. In the method of ray tracing produced by a ray of given points in certain directions and counting the number of times the beam is the intersection of edges of the polygon. Also considered trigonometric algorithm when the points hold the rays for all the vertices of the polygons. The analysis rpm which is oriented boundary of the polygon around a point.

Keywords: communication, radio coverage, algorithm, base station, polygon, approximation.

REFERENCES

1. Kanavin S. V. Perspektivy primeneniya sistem mobil'nogo shirokopolosnogo dostupa v setyakh podvizhnoy radiosvyazi na osnove standartov mobile WIMAX i LTE / S. V. Kanavin, A. S. Luk'yanov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. № 16. S. 79-82.

2. Baranov A.V. Problemy funktsionirovaniya mesh-setey / A.V.Baranov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. № 9. S. 49-50.
3. Miloshenko O.V. Metody otsenki kharakteristik rasprostraneniya radiovoln v sistemakh podvizhnoy radiosvyazi / O.V.Miloshenko // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. № 9. S. 60-62.
4. Mishin Ya.A. O sistemakh avtomatizirovannogo proektirovaniya v besprovodnykh setyakh / Ya.A.Mishin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. № 10. S. 153-156.
5. Golovinov S.O. Problemy upravleniya sistemami mobil'noy svyazi / S.O.Golovinov, A.A.Khromykh // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. № 9. S. 13-14.
6. Erasov S.V. Optimizatsionnye protsessy v elektrodinamicheskikh zadachakh / S.V.Erasov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2013. № 10. S. 20-26.
7. Maksimova A. A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A. A. Maksimova, A. G. Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. № 16. S. 53-56.
8. Laslo M. Vychislitel'naya geometriya i komp'yuternaya grafika na C++ / M.Laslo // BINOM, 1997. - 304 s.
9. Robert Cimikowski Algorithms for the fixed linear crossing number problem / Cimikowski Robert // Discrete Applied Mathematics, Volume 122, Issues 1-3, 15 October 2002, Pp. 93-115.
10. Shikin E.V. Nachala komp'yuternoy grafiki. / E.V.Shikin //M.: DIALOG - MIFI, 2000. - 374 s.
11. Skvortsov A.V. Algoritmy postroeniya i analiza triangulyatsii. / A.V.Skvortsov // T.: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, 2006. - 167 s.
12. https://root.cern.ch/TaligentDocs/TaligentOnline/DocumentRoot/1.0/Docs/books/GS/GS_61.html.
13. <http://compgraph.tpu.ru/Oglavlenie.htm>.
14. Appel A. The Notion of Quantitative invisibility and the Machine Rendering of Solids / A.Appel // Proceedings ACM National Conference (1967), pp. 387-393.
15. Robert F. Sproull Sutherland A clipping divider / Robert F. Sproull, E.Ivan // AFIPS Joint Computer Conferences : Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference. - New York: ACM, 1968. - T. I. - S. 765-775.
16. <http://cs1.bradley.edu/public/jcm/cs535CyrusBeck.html>
17. <http://www.rps2.ru/product.php>.