

## 簡易型携帯電話システムにおける 基地局の配置問題と計算幾何学

田村裕\*, 仙石正和\*\*, 篠田庄司\*\*\*

(平成8年10月29日受理)

Location Problems of Base Stations in a Mobile Communication System and  
Computational Geometry

Hiroshi TAMURA\*, Masakazu SENGOKU\*\*, Shoji SHINODA\*\*\*

The demand for mobile communication services is rapidly increasing, because the mobile communication service is synonymy of an ideal communication style realizing communication in anytime, anywhere and with anyone. There exist various problems to which computational geometry and graph & network theory is applicable in mobile communication services. For example, it is well-known that Coloring algorithms of graphs are applicable in channel assignment algorithms in cellular systems. In this paper, we solve location problems of base stations in a mobile communication system like PHS (Personal Handy-phone System) using results of computational geometry.

Key words: mobile communication, base station, computational geometry, Voronoi diagram

### 1. はじめに

携帯電話, 自動車電話等移動通信サービスは近年すばらしい伸びをみせている。これは, 移動通信は理想的なコミュニケーションである「いつでも, どこでも, 誰とでも」を実現できるようなものであることが, 一因であるとも考えられる。移動通信におけるいくつかの問題は, 計算幾何学やグラフ理論が応用できる<sup>1),2)</sup>。よく知られた例では, セルラ移動通信系におけるチャネル割当問題にグラフの彩色問題が応用できることである。

本文では, PHSのような簡易型携帯電話システムにおける基地局の配置問題を計算幾何学における問題としてとらえ, 解法を与える。このように移動通信における諸問題を, 計算幾何学やグラフ理論を用いた定式化を行い, 解法をさぐることは, 計算幾何学やグラフ理論における結果を適用することが可能となり, また, 異なる

---

\* 情報電子工学科 助教授(Dept. of Information and Electronics Engineering, Associate Professor)

\*\* 新潟大学工学部情報工学科(Faculty of Engineering, Niigata University)

\*\*\* 中央大学理工学部電気・電子工学科(Faculty of Science and Engineering, Chuo University)

分野の研究者が問題に取り組むことで新たな展開が期待できる。

なお、計算幾何学やグラフ理論における用語記号は文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

## 2. 基地局の配置と計算幾何学

簡易型の携帯電話システムのひとつであるPHS(Personal Handy-phone System)<sup>4),5)</sup>では、基地局は、主として、公衆電話ボックス、電柱やビルの屋上にたてられ、(携帯電話、自動車電話に比べて)建設は容易である。そのため、ある地域でサービスを開始する場合、初期の段階では、容易に設置可能な場所に基地局を配置し、サービスを始めることも考えられる。このような場合は、最初からその地域のすべての地点で移動局からの通信が可能であることは保証されない。

通信可能であるかどうかは、建物やアンテナ高などいろいろな状況によって決まってくるが、ここでは簡単のため、「移動局が通信可能であるとは、基地局との距離がある一定値 $C$ 以下であることである」と仮定する。このような仮定のもとでは、その地域内に通信可能でない地点があるかどうかは、以下の様な計算幾何学の手法を用いて判定可能である。

場合A：地域の中心部(配置された基地局からなる凸包内)において、通信不可能な地点の有無を判定する。

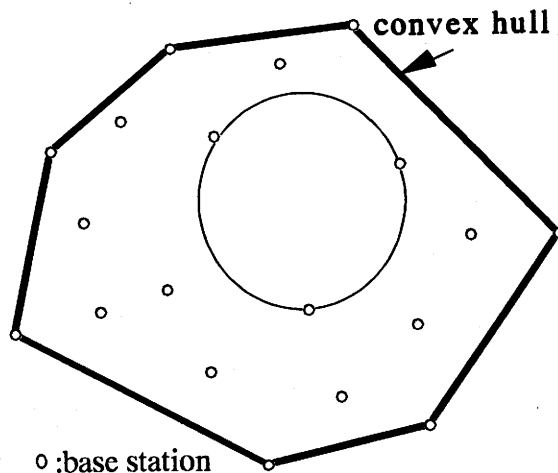


Fig.1 Large empty circle.

この場合、基地局を点で表わしたときの、最大空円問題に帰着可能である(図1)。最大空円の半径が $C$ 以下であればすべての地点で通信可能である。 $C$ より大き

ければ、最大空円の中心が通信不可能な地点である。この問題は、 $O(n \log n)$ で解けることが知られている<sup>3)</sup> ( $n$ は、基地局の数)。

**場合B:** 地域内すべてで通信不可能な地点の有無を判定する。  
 なお、その地域の境界は $m$ 角形( $m < n$ )で、凸であると仮定する (図2(a))。

この場合、ボロノイ図<sup>3)</sup>を構成することで、効率よく解くことができる。平面上に母点と呼ばれる点が分布しているとすると、ボロノイ図は、平面を母点を一つずつ含む領域に分割したもので、各領域内の点は、その領域に含まれる母点に最も距離が小さくなっている。ボロノイ図は、従来より多くの分野で用いられている実用上重要な概念である。移動通信の分野でも、セルラシステムにおけるセル構成法に用いた研究がある<sup>9)</sup>。

次に、判定のための手順を示す。

- 1) 基地局を母点とし、ボロノイ図を構成する(図2(b)).
- 2) 地域の $m$ 角形の境界と、ボロノイ図の領域の境界との交点を算出する。
- 3)  $x_1, \dots, x_i$ を2)で算出した交点と $m$ 角形の頂点とする(図2(c)).
- (一般には、 $t=O(nm)$ だが、境界の $m$ 角形が凸なので、 $t=O(n+m)$ 程度)
- 4) 各 $x_i$ から最近の基地局との距離を算出し、これらの中での最大値を $D$ とする。
- 5) 場合Aと同じように凸包内の最大空円の半径 $R$ を求める(図2(d)).
- 6)  $D$ と $R$ がともに、 $C$ 以下であれば、すべての地点で通信可能。

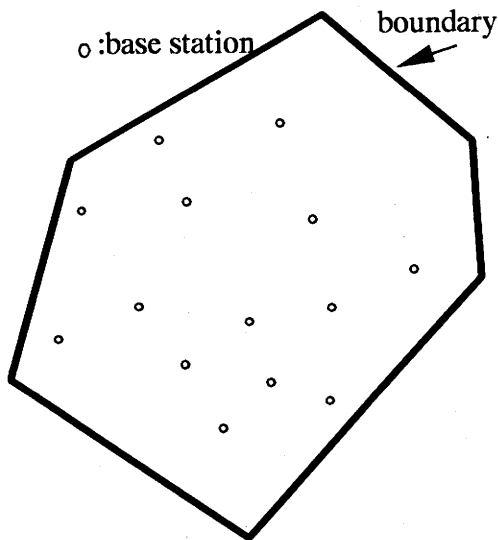


Fig.2(a) An area.

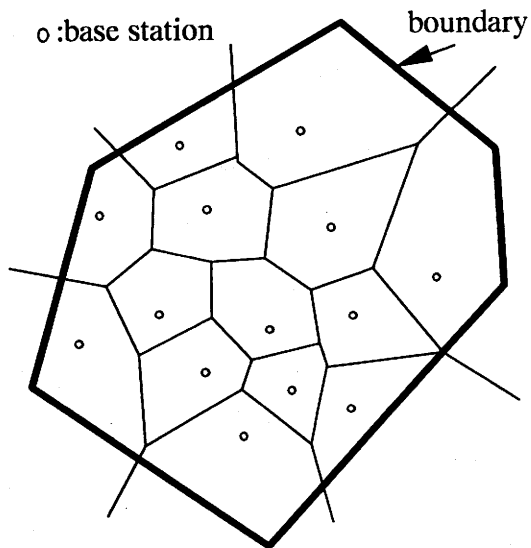


Fig.2(b) The Voronoi Diagram.

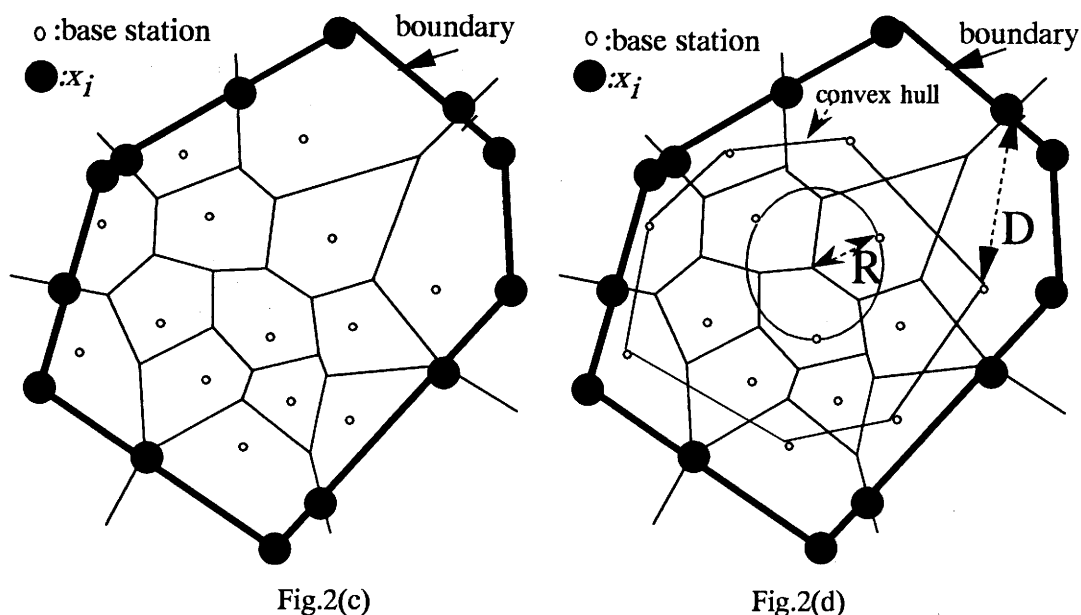


Fig.2 Explanation for Case B.

$C < D$ であれば、最近の基地局までの距離が $D$ となるような $x_i$ が通信不可能な地点。また、 $C < R$ であれば、最大空円の中心が通信不可能な地点である。

計算の手間は、1) が、 $O(n \log n)^3$ 。2) のところで、まず $m$ 角形の頂点のボロノイ図における位置決定をし( $O(n \log n)^7$ )、それから交点を求めるのであれば、 $O(n)$ で可能である。この場合、4) の最近の基地局までの距離の算出もボロノイ図における位置が決定しているので、 $O(n)$ で可能となり、全体でも $O(n \log n)$ となる。

### 3. 複数の基地局との通信可能な配置

簡易携帯型の電話システムの種類によっては、使用可能なチャネル数（キャリア数）より、ひとつの基地局が同時に扱えるチャネル数が少ない場合がある。この場合、サービスを行う地域内の各地点で、複数の基地局と通信可能とするような基地局の配置が考えられる。前章と同じ仮定を用いれば、「地域内の任意の点に対して、距離が $C$ 以下の基地局がある一定個数（ $k$ 個）以上存在するか？」という問題となる。この問題は、基地局を母点とした高次のボロノイ図<sup>3)</sup>を求めることで、解くことができる。

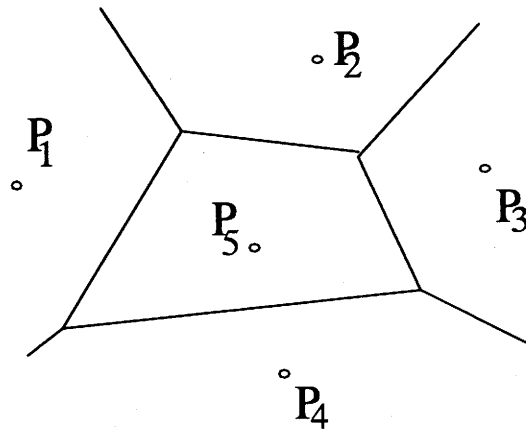


Fig.3(a) The Voronoi diagram .

例えば、図3(a)のボロノイ図に対して、2次のボロノイ図は図3(b)のようになる。図3(b)において、実線が2次のボロノイ図の領域の境界を表わしている。例えば、{1,2}で示される領域内の点は、最も近い母点が $P_1$ で次が $P_2$ か、或いは、最も近い母点が $P_2$ で次が $P_1$ のどちらかである。このような $k$ 次のボロノイ図に関して、前章で提案した手順を用いることで、上記の問題を解くことができる。

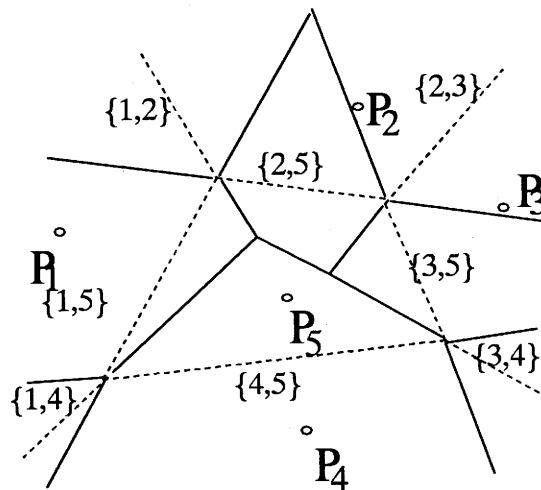


Fig.3(b) The Voronoi diagram of order 2.

#### 4. おわりに

本文では、簡易型携帯電話システムにおける基地局配置の問題を計算幾何学における問題としてとらえ、解法を示した。本文では、非常に単純化されたモデル化で

あったが、実際には、障害物があったり、送信電力が基地局によって異なる場合がある。より現実に近づいたモデル化が必要であろう。また、本文であげた以外にも多くの計算幾何学やグラフ理論の新しい応用例があると思われる。移動体通信に携わる研究者のみならず、計算幾何学やグラフ理論の研究者が、これらの問題に積極的に取り組むことで、新たな成果が期待できる。

### 参考文献

- 1) Sengoku M., Tamura H., Shinoda S. and Abe T.: "Development in Graph- and/or Network-Theoretic Research of Cellular Mobile Communication Channel Assignment Problems," IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E77-A, No.7 pp.1117-1124, July 1994.
- 2) Sengoku M. et al. (eds.): "Special Section on Networks and Mobile Communications," IEICE Trans. Fundamentals., E75-A, 12, pp.1611-1726 (Dec.1992).
- 3) Preparata F.P. and Shamos M.I.: "Computational Geometry -An Introduction," Springer-Verlag, 1988.
- 4) Ogawa K., Kohiyama K. and Kobayashi T.: "Towards the Personal Communication Era - A Proposal of Radio Access Concept from Japan," International Journal of Wireless Information Networks, Vol.1, No.1, 1994.
- 5) Kobayashi T.: "Development of Personal Handy-phone System," ITS'94, p.64, 1994.
- 6) 石井勝, 田村裕, 仙石正和, 山口芳雄: "セルラー移動通信系におけるボロノイ図を用いたセル構成法に関する一考察," 電子情報通信学会技術報告, CAS93-62, 1993.
- 7) Kirkpatrick D.: "Optimal Search in the Planar Subdivision," SIAM J. on Computing, Vol.12, No.1, pp.28-35, 1983.