

セルラ移動通信系における計算幾何学とグラフ理論の役割

仙石正和*、田村裕**、篠田庄司***

*新潟大学工学部情報工学科
〒950-21 新潟市五十嵐2の町8050
e-mail:sengoku@info.eng.niigata-u.ac.jp**新潟工科大学情報電子工学科
〒945-11 柏崎市藤橋1719***中央大学理工学部電気・電子工学科
〒112 文京区春日町1-13-27

Abstract: 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。この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。よく知られた例では、セルラ移動通信系におけるチャンネル割り当て問題にグラフの彩色問題が応用できることである。本報告では、この他のいくつかの応用例をあげる。

Roles of Computational Geometry & Graph Theory in Cellular Mobile Communications

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

* Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-21 Japan

** Dept. of Information and Electronics Engineering,

Niigata Institute of Technology, Kashiwazaki, 945-11 Japan

*** Faculty of Science and Engineering, Chuo University, Tokyo, 112 Japan

Abstract: 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 show some examples of new applications of computational geometry and graph theory to cellular mobile communications.

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。この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[1],[2]。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り当て問題にグラフの彩色問題が応用できることである。本報告では、この他のいくつかの応用例をあげる。

本報告のようにセルラ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[3],[4],[5]を参照されたい。

2. セルラCDMAシステムとネットワークフロー問題

CDMAとは、移動通信におけるアクセス方式のひとつであり、Code Division Multiplex Access (符号分割多重アクセス)の略である。CDMAは、各ユーザが互いに直交した拡散符号を用いて通信を行うものであり、秘話性等のメリットから近年注目されている。セルラCDMAシステム[6]とは、サービスエリアを多くのセルに分割し、各セルごとに、制御を行うものである。セルラCDMAシステムにおいては、制御上の観点から、各セルあたりの移動局が一定数以下の方がよい場合がある。このとき、あるセルに所属する移動局が多ければ、その中のいくつかの移動局を他のセルにまかせ、逆に少なければ、いくつかの移動局を新たにそのセルが引き受けることが考えられる。

今、各セルで扱える移動局の数が C_1 以下であると仮定したとき、以下のような無向フローネットワーク N を構成し、各セルに属する移動局の数を調整する。 N の点集合は、 $\{b_1, \dots, b_p, m_1, \dots, m_q, s, t\}$ (ただし、 b_1, \dots, b_p は、 p 個の各基地局、 m_1, \dots, m_q は、 q 個の各移動局に対応し、 s は、source、 t はsinkを表わす。)であり、点対 (x, y) が N の辺となるのは、

i) $x=s$ and $y=b_i$

ii) $x=m_j$ and $y=t$

iii) $x=b_i, y=m_j$ かつ、移動局 m_j が、基地局 b_i と通信可能である。

の何れかの場合である。また辺の重みは、i)の場合 C_1 、他の場合は、1とする。

N の定義からすべての移動局が通信可能であることと、 N における s から t への最大フロー値が q であることは同値である。ここで、辺 (b_i, m_j) のフロー値が1であることは基地局 b_i に移動局 m_j が割り当てられることを意味する。

一般に基地局のほうが、移動局より少ない、つまり $p < q$ であるので、 N の点数は $2q$ 程度である。よって、 s から t への最大フロー値を求める手間は、 q の3乗程度である。

例えば、図1.aで、 $C_1=3$ とすると、無向フローネットワークは図1.bとなる。 s から t への最大フロー値は $9(=q)$ であるので、すべての移動局が通信することが可能である。

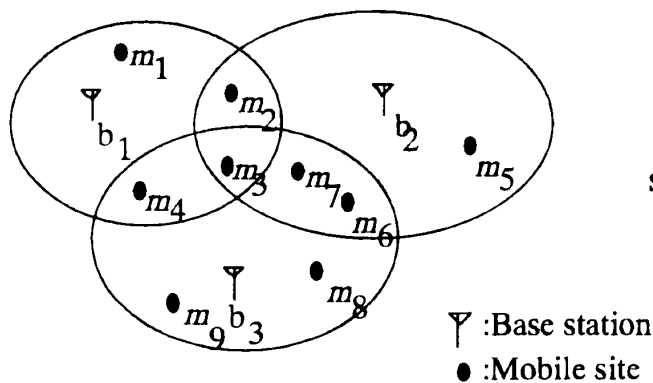


図1.(a) セルラCDMAシステム

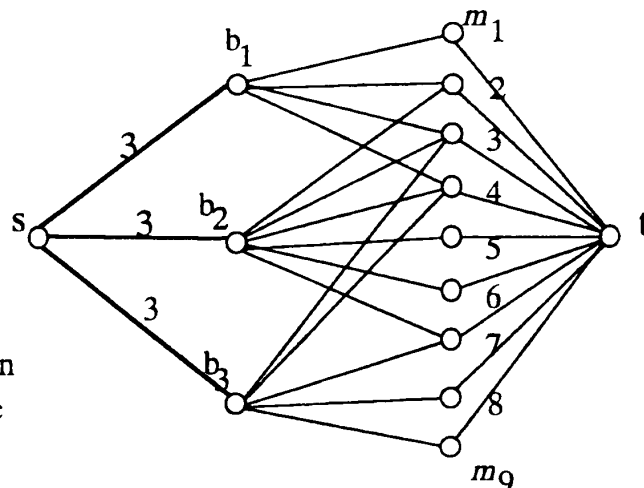


図2.(b) フローネットワークN

3. 基地局の配置と計算幾何学

PHS(Personal Handy-phone System)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場所で通信可能であることは保証されない。通信可能であることは、基地局との距離がある一定値 C_2 以下であることであると仮定すると、その地域内のすべての場所で通信可能かどうかは以下の様に計算幾何学的手法を用いて判定可能である。

場合A：配置された基地局の凸包内のみで、通信可能かどうかを判定する。

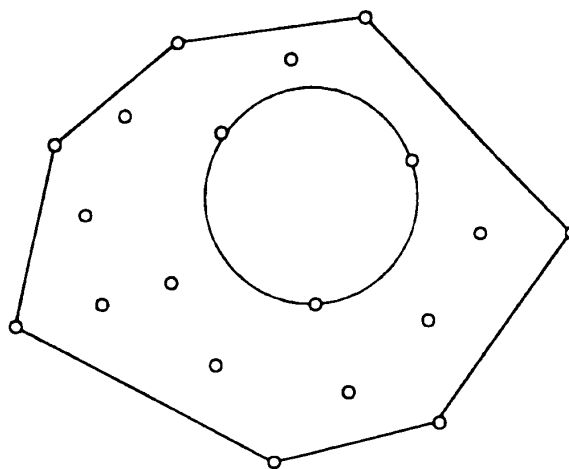


図2. 最大空円

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2）。最大空円の半径が C_2 以下であればよい。 C_2 より大きければ、最大空円の中心が通信不可能な場所である。ポロノイ図[4]を用いれば、この問題は、 $O(N \log N)$ で解ける[4]（ N は、基地局の数）。

場合B：地域内（その地域の境界は m 角形であるとする）すべてで通信可能かどうかを判定する。

この場合、以下の手順で判定可能である。

- 1) 基地局を点とし、ポロノイ図を構成する。
- 2) 地域の m 角形の境界と、ポロノイ辺の交点を算出する。
- 3) x_1, \dots, x_t を2)で算出した交点と m 角形の頂点とする。
（一般には、 $t=O(nm)$ だが、境界が凸なら $t=O(n+m)$ 程度）
- 4) 各 x_i から最近の基地局の距離を算出し、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。
- 6) D と R がともに、 C_2 以下であれば、すべての場所で通信可能。
 $C_2 < D$ 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 が通信不可能な場所。また、 $C_2 < R$ であれば、最大空円の中心が通信不可能な場所。

また、PHSシステムによっては、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、サービスエリア内の各点で複数の基地局と通信可能とすることが考えられる。前述の仮定を用いれば、「サービスエリア内の任意の点からの距離が C_2 以下の基地局がある一定個数（ k 個）以上あるか？」という問題となる。

この問題は、基地局を点としたポロノイ図の k 次の細分（高次のポロノイ図[4])を求めることで、解くことができる。

4. 位置登録エリアとグラフの分割問題

セルラシステムでは、移動局を呼び出す呼の軽減をはかるため、サービスエリアをいくつかの位置登録エリアに分割する必要がある。通常位置登録エリアは、いくつかのセルの集まりからなるが、位置登録エリアを多く（つまり、位置登録エリアに属するセルの数を少なく）しすぎてしまうと、移動局が隣接位置登録エリアに移動したときの位置登録の回数が増えてしまい、このためのトラヒックが増大する。したがって、

- ・位置登録エリア内の移動局の数はある一定値 C_3 以下。
- ・隣接する位置登録エリアから入ってくる移動局の数は一定値 C_4 以下。

となるようにサービスエリアを分割するのは、位置登録エリアのひとつの設定法であろう。これは、以下の様なグラフの点集合の分割問題に帰着できる[9]。無向グラフ G において、

- 点は各セルを表わし、
- 辺は、結んだ2点が隣接セルであることを表わす、
- 点重みは、そのセルに属する移動局の数を表わし、

辺重みは、隣接セル間を移動する移動局の数を表わす、ものとする。この時に、

問題「以下の条件を満足する点集合の分割 $\{V_1, \dots, V_k\}$ が存在するか？

- 1) 各 V_i に対し、 V_i に属する点の重みの和が C_3 以下。
- 2) 各 V_i に対し、 V_i から出ていく辺の重みの和が C_4 以下。」

例えば、図3.aの様なサービスエリアで、 $C_3=50, C_4=40$ とすると、図3.bの様な分割が可能である。

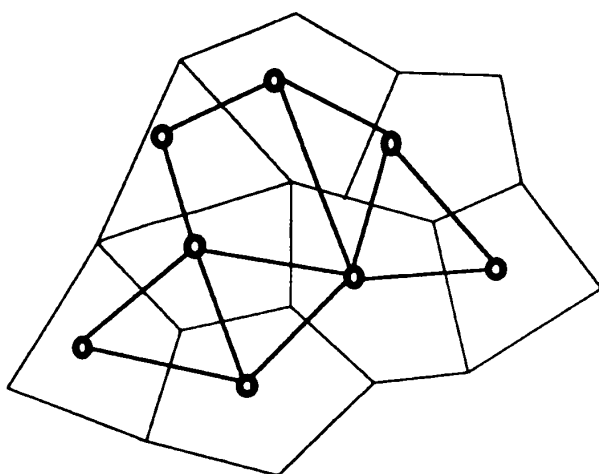


図3.(a) セル構造とグラフG

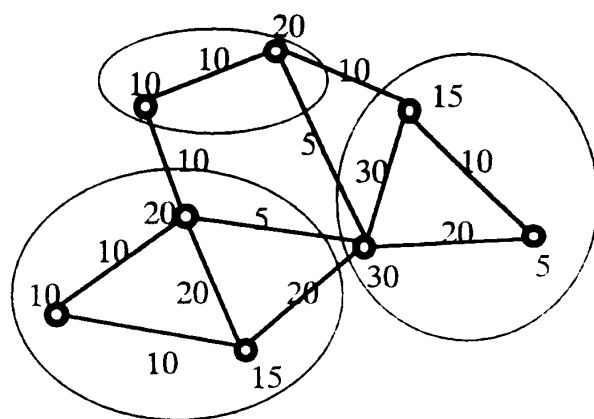


図3.(b) グラフの分割

5. おわりに

本報告では、セルラ移動通信系のいくつかの問題への計算幾何学やグラフ理論の新しい応用について述べた。結果的に、計算幾何学やグラフ理論の結果を用いて解ける問題もあったが、定式化のみのもものもあり、これらは今後の課題である。本報告であげた以外にも多くの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であろう。

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] Behzad M., Chartrand G. and Foster L.L.:"Graphs & Digraphs", Prindle, Weber & Schmidt

- (1979).
- [4] Preparata F.P. and Shamos M.I.: "Computational Geometry -An Introduction," Springer-Verlag, 1988.
 - [5] Berge C.: "Graphs", North-Holland (1985).
 - [6] Lee W.C.Y. : "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.40, No.3, pp.291-302, 1992.
 - [7] 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.
 - [8] Kobayashi T.: "Development of Personal Handy-phone System," ITS'94, p.64, 1994.
 - [9] Horikawa T., Tamura H., Sengoku M. and Shinoda S. : "A study of location registration with graph theory in mobile communication systems," Technical Report of IEICE, CAS95-83, 1995.