

## CUBE ルーティングプロトコルにおける空間分割方法\*

3G-05

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科†  
高橋 将 桧垣 博章‡ §

## 1 背景と目的

ノート型 PC、PDA、自律ロボットなどの移動コンピュータからなるモバイルネットワーク環境が構築されている。モバイルネットワークは、移動コンピュータが基地局と通信し、パケットのルーティングは固定ネットワークのルータによってなされるインフラストラクチャネットワークと、移動コンピュータのみからなり、移動コンピュータ自身がパケットのルーティングを行なうアドホックネットワークとに分類される。現在、アドホックネットワークでのパケット配送は IEEE802.11 などの無線 LAN プロトコルによって実現されている。ここでは、10mW の送信電力を用い、100m 程度の無線信号到達距離を実現している。したがって、パケットの配送経路を決定する際には、移動コンピュータの位置の高低差を考慮せず、2次元平面上でルーティングがなされる。しかし、移動コンピュータは限られたバッテリー容量で稼働するため、通信の省電力化が求められる。Bluetooth [1] では、1mW の送信電力しかないが、10m 程度の無線信号到達距離しか実現することはできない。このようなマイクロセルをベースとしたネットワークにおけるルーティングにおいては、移動コンピュータの位置の高低差を考慮する必要がある。3次元空間を対象としたアドホックルーティング手法として、2次元平面を対象とした GPSR (Greedy and Perimeter Stateless Routing) [2] を拡張した手法 [3] が提案されている。これは 3次元空間へ拡張した greedy プロトコルであり、デッドエンドによるパケット到達率の低下を避けることができない。これに対し、論文 [4] では、2次元平面上で送信元から送信先までの経路が存在する場合は 100% の到達を実現できる GFG ルーティングプロトコル [5] を 3次元空間に拡張した GCG ルーティングプロトコルを提案している。

本論文では、GCG ルーティングプロトコルの構成要素である CUBE ルーティングプロトコルを実現するために必要な「立体を構成しない面」の決定問題について述べる。

## 2 GFG ルーティングプロトコル

従来の 2次元平面上でのルーティングプロトコルは、フラッディングに基づくプロトコルと GPS 等で得られた送信先コンピュータの位置情報を用いたプロトコルに分類される。前者には、DSR [6] などのプロトコルがあり、多数の経路探索パケットのコピーが無線ネットワーク上を配送される。一方、後者は移動コンピュータの位置情報を得るためのハードウェアが必要となるが、パケットがコピーされず、ネットワークに対する負荷が小

さい。2次元平面上で後者を実現する GFG ルーティングは、greedy プロトコルと FACE プロトコルを組み合わせることで実現されている。

## 2.1 greedy プロトコル

greedy プロトコルでは、各移動コンピュータは、送信先コンピュータの位置情報と無線信号到達範囲内にあるすべてのコンピュータ (隣接コンピュータ) の位置情報を持つ。これらの情報から、最も送信先コンピュータに近い隣接コンピュータにパケットを転送する。ただし、次ホップを決定できないデッドエンドにより、パケットの配送に失敗することがある。

## 2.2 FACE プロトコル

図 1 に示すように、移動コンピュータをノード、直接通信可能な 2つのノードの接続をリンクとするグラフにおいて、どの面を通過するかという情報に基づいてパケットを配送するのが FACE プロトコルである。ここでは、送信元 S から送信先 D へパケットを配送するためには、線分 SD が交わる面  $F1(SM_1M_4M_2)$ 、 $F2(M_1M_4M_8M_9M_7M_6)$ 、 $F3(M_4M_5M_9DM_{10}M_8)$  を順にたどるようにルーティングすればよい。ここでは、GPS

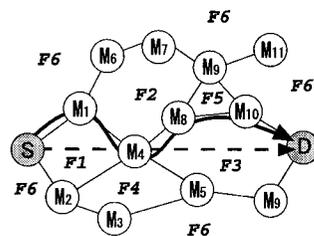


図 1: FACE プロトコル

等で得た S と D の位置情報を S が保持している。また、各移動コンピュータは隣接コンピュータの位置情報を保持しているが、ネットワーク全体の情報を持つことはできない。したがって、自身も含めてどの移動ノードがどの面の頂点であるかを知ることができない。そこで、次の 2つを実現することが必要となる。

- (1) 現在注目している面のすべての頂点を通過するようにパケットを配送する。
- (2) 現在注目している面から次に注目すべき面への切替えを実現する。
- (3) (1) と (2) をパケットが D に到達するまで繰り返す。

## 2.3 GFG ルーティングプロトコル (図 2)

このプロトコルでは、通常は greedy プロトコルを用いてメッセージを配送する。ただし、移動コンピュータ  $m_i$  でデッドエンドとなったならば、FACE プロトコル

\*CUBE Routing Protocol with Gabriel Graph

†Tokyo Denki University

‡Susumu Takahashi and Hiroaki Higaki

§{susumu, hig}@higlab.k.dendai.ac.jp

を適用して、 $m_i$  よりも D に近い他の移動コンピュータ  $m_j$  まで配送する。 $m_j$  からは、greedy アルゴリズムを用いる。これにより、到達率が 100% であり、最短経路と比較してホップ数が大きく増加しないパケットの配送が実現できる。

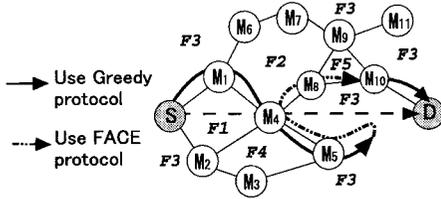


図 2: GFG ルーティングプロトコル

### 3 GCG ルーティングプロトコル

GFG ルーティングプロトコルを 3 次元空間へと拡張した GCG (Greedy-CUBE-Greedy) ルーティングプロトコル [図 3] が提案されている [4]。CUBE ルーティン

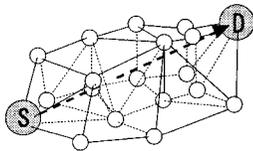


図 3: GCG プロトコル

グでは、線分 SD と交わる立体に沿って順にパケットが配送される。そこで、どのようにこれらの立体を構成するかが問題である。

FACE プロトコルでは、すべての面の集合  $F = \{F_i\}$  について、以下を満たさなければならない。

- $\bigcup_i F_i = R^2$  (面の集合全体で平面全体が被覆される)
- $\forall_i, \forall_j F_i \cap F_j = \phi$  (任意の 2 面に共通部分がない)

この問題を解決するために、FACE プロトコルでは Gabriel Graph [7] (以下 GG) を用いる。GG とは、ある母点の組において、その 2 母点間の組の距離を直径とする円内に他の母点がないとき、母点の組を結んで描くグラフのことである。ここで、図 4 の面  $M_1M_4M_5M_6$  に注目する。辺  $M_4M_6$  と辺  $M_1M_5$  は交差している。GG

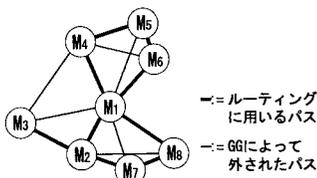


図 4: FACE プロトコルにおいて GG を利用した場合

を用いることで辺  $M_4M_6$  と辺  $M_1M_5$  はパケットの配送経路から除外され、辺  $M_1M_4, M_4M_5, M_5M_6, M_6M_1$  から

なる面  $M_1M_4M_5M_6$  として扱える。このように、GG により FACE プロトコルにおける問題点は解決できる。

同様に CUBE プロトコルでは、すべての立体の集合  $C = \{C_i\}$  について以下を満たさなければならない。

- $\bigcup_i C_i = R^3$  (立体の集合全体で空間全体が被覆される)
- $\forall_i, \forall_j C_i \cap C_j = \phi$  (任意の 2 つの立体に共通部分がない)

しかし、図 5 のように、 $M_1M_2M_4M_5$  からなる立体と  $M_1M_3M_4M_5$  からなる立体は、共通部分を含む。こ

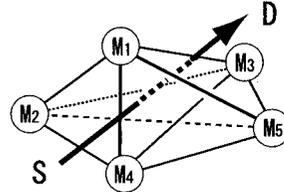


図 5: GCG ルーティングプロトコル

こで、FACE プロトコルでは GG を用い任意の 2 面の共通部分を取り除いていた。同様に、CUBE プロトコルにおいて、共通部分を含まない立体を構成するために「立体を構成しない面」を発見しなければならない。

### 4 まとめと今後の課題

本論文では、GCG ルーティングプロトコルの構成要素である CUBE プロトコルにおいて、任意の 2 つの立体の共通部分を含まないために、「立体を構成しない面」として扱う必要があることを提案した。今後は CUBE プロトコルにおいて、「立体を構成しない面」を発見するアルゴリズムを考案し、CUBE プロトコルの設計を行なう。

### 参考文献

- [1] "Specification of the Bluetooth System," [http://www.bluetooth.com/developer/specification/Bluetooth\\_11.Specifications\\_Book.pdf](http://www.bluetooth.com/developer/specification/Bluetooth_11.Specifications_Book.pdf).
- [2] Karp, B. and Kung, H.T., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless," Proc. of The Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 243-254 (2000).
- [3] 山崎, 瀬崎, "多様なノードを考慮した三次元地理的経路制御手法の提案," 信学技報, Vol.101, No.492, pp. 109-115 (2001).
- [4] 高橋, 森田, 桧垣, "マイクロセルネットワークのための GCG ルーティングプロトコル," 情報処理学会第 63 回全国大会論文集, No.3, pp. 287-288 (2001).
- [5] Datta, S., Stojmenovic, I. and Wu, J., "Internal node and shortcut based routing with guaranteed delivery in wireless networks," Proc. of IEEE International Conference on Distributed Computing and Systems, pp. 461-466 (2001).
- [6] Johnson, D.B., Maltz, D.A., Hu, Y.C., and Jetcheva, J.G., "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-04.txt (2000).
- [7] Gabriel, K.R. and Sokal, R.R., "A new statistical approach to geographic variation analysis," Systematic Zoology, Vol.18, pp. 259-278 (1969).