

## 適応型移動体通信におけるプロトコル選択方式

田中 理恵子<sup>†</sup> 塚本 昌彦<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> シャープ株式会社 技術本部 ソフトウェア研究所

<sup>‡</sup> シャープ株式会社 技術本部 情報技術研究所

### 概要

コンピュータネットワークにおいて、移動体の通信をサポートすると同時に、限られたネットワーク資源を効率よく使用するためには、パケット送信頻度、移動体の移動頻度あるいはネットワークポロジューといったネットワーク構成要素に応じて、パケットをフォワードする方式および移動体の移動を通知する方式を切替える、適応型の移動体通信プロトコルが有効であると考えられる。本稿では、そのようなプロトコルにおいて、ネットワーク全体のトラフィックを低減するために、フォワード方式と移動通知方式を適応的に切替えるための選択指針について述べる。

## Protocol Selection Strategies on Adaptive Mobile Communication

Rieko TANAKA<sup>†</sup> Masahiko TSUKAMOTO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Software Research Laboratories

<sup>‡</sup> Information Technology Research Laboratories

SHARP Corporation

{rieko, tuka}@shpcsl.sharp.co.jp

### Abstract

The adaptive protocol for mobile communication can improve the efficiency of network resource utilization. The protocol has two major function to support mobile communication; migration notification function and packet forwarding function. Each function has several sub-protocols and the adaptive protocols can select one sub-protocol for each function according to diverse network configuration (e.g., network topology, migration frequency). In this paper, we discuss the criteria for selecting sub-protocol in terms of the reduction of total traffic.

## 1 はじめに

OSI や TCP/IP などのネットワーク環境下で、移動体、つまり移動可能なホストをサポートするためのプロトコルとして、これまでにいくつかの研究がなされている [1][2][7][8][9][10]。これらの多くは、移動体通信において最も重要な問題である所在地と識別子のマッピングを解決することを主眼としている。しかし、移動体通信にはその他にも、前述の問題を解決するために、ルータや移動体の間で交換される制御パケットや、最短経路を通るとは限らないデータパケットによって、総トラフィックが増加し、ネットワーク資源の使用効率が低下するなどの問題が存在することが指摘されている [4]。これらの問題を解決するプロトコルとして、筆者らは *Default Forwarding Protocol* を提案した [5]。さらに、移動体の移動の頻度、パケット送受信の頻度やネットワークトポロジーの変化といった実際のネットワークの運用条件に応じて、ネットワーク資源を効率的に使用するためには、ネットワーク環境を特徴づけるこれらの要因に従って、移動の通知方式とパケットのフォワード方式を切替える戦略が有効であること示し、適応型移動体プロトコルを提案した [6]。

適応型移動体プロトコルでは、移動体をサポートするために必要な基本機能を、移動体の所在を他のルータに通知することと、移動体あてにパケットをフォワードすることの二つと考え、それぞれの機能について複数の方式を定義している。このようにすることで、ルータは移動体の移動検出時あるいは移動体あてのデータパケット受信時に、いくつかの選択肢の中から適応的に挙動を選ぶことができ、全体としてネットワーク資源の使用効率を高めることが可能となるものと考えられる。

しかし、このプロトコルを実際にネットワーク上で運用するためには、各方式を切替えるための具体的な指針が必要となる。そこで本稿では、これらの方式を切替えるための選択基準を、解析的な結果に基づいて示す。

以下、まず 2 章で、適応型移動体プロトコルの概要について述べる。次に、3 章でプロトコルの選択基準を示して評価を行い、最後に 4 章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

## 2 適応型移動体プロトコル

適応型移動体プロトコルでは、ルータは各移動ホストごとにデフォルト、カレント、デフォルトかつカレント、ノーマルの 4 つの状態があり、その状態ごとに異なる役割を持つ。

デフォルトルータは、移動体の存在を他のルータに知らせる。これは同時に、自局がその移動体のデフォルトルータであることを知らせることになる。カレント

ルータから、移動体の現在位置の通知を受信すると移動体情報として保持する。カレントルータとは、移動体と同じ LAN 上に存在しているか、ポイントツーポイントで接続されていて、直接、移動体と通信可能なルータのことである。カレントルータの役割は移動体あてのデータパケットを受信し、移動体あてに送信することである。また、デフォルトルータに移動体の現在位置を通知することもある。デフォルトルータとカレントルータが一致する場合もあり、この場合をデフォルトかつカレントルータと呼ぶ。デフォルトかつカレントルータはデフォルトルータとカレントルータの両方の性格を持つが、移動体と直接通信可能であるため、移動体情報を保持する必要がない。ノーマルルータは、移動体に関し、特別な役割を持たないルータのことである。ノーマルルータは、移動体の現在位置をキャッシュに持つことができ、これによって余分なデータホップを減らすことが可能である。

ルータは上記の各状態に応じて、移動通知の方式とパケットのフォワード方式を選択する。移動通知方式は、移動体ごとに、パケットフォワード方式は、パケットごとに選択することが可能である。

ルータは、移動体が移動により、新たに隣接したことを検出すると、次の 3 種類の移動通知のためのサブプロトコルのうちの 1 つを選択する。

**BN (Broadcast Notification)** ルータは同じネットワーク中のすべてのルータに移動体の存在を知らせるパケットをブロードキャストする。

**NN (No Notification)** データ通信時には BQ あるいは BF が使用されることを期待してルータは何も行わない。

**DN (Default Notification)** DF あるいは DQ に備えて、デフォルトルータに通知パケットを送信する。

通常は、移動体が移動してくると、カレントルータとなり、上記 3 プロトコルのいずれもが選択可能である。しかし、デフォルトルータが存在しないときは、DN を選択できない。また、自局がその移動体のデフォルトルータであった場合は、DN をする必要がない。

移動体あてのデータパケットを受信したときは、次の 4 種類のフォワードのためのサブプロトコルのうちの 1 つを選択する。

**DF (Default Forwarding)** デフォルトルータにデータをフォワードする。

**DQ (Default Query)** デフォルトルータに移動ホストの現在位置を問い合わせ、得られた結果に基づいてデータパケットをフォワードする。

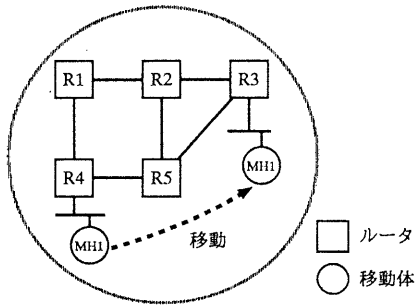


図 1: ネットワークの構成例

**BF (Broadcast Forwarding)** すべてのルータにデータパケットをブロードキャストする。カレントルータ以外は、受信したデータパケットを廃棄する。

**BQ (Broadcast Query)** すべてのルータに移動ホストの現在位置を問い合わせ、得られた応答に従ってデータパケットをフォワードする。

デフォルトルータがネットワーク内に存在しないときは、DF、DQ を選択することはできない。また、デフォルトルータが常に最新の移動体情報を保持しているとは限らない。このような場合、あるルータが DF または DQ を選択すると、そのルータがデフォルトルータか、もしくはそのどちらかによってデータパケットをフォワードされたルータのいずれかが BF または BQ を行う必要がある。

ここで、本プロトコルの動作例を図 1 を用いて示す。

1. 移動体 MH1 がルータ R4 と同一 LAN 上に接続されているとき、R4 は BN によって、MH1 が存在することと、自局が MH1 のデフォルトルータであることを他のすべてのルータに通知する。
2. MH1 がルータ R3 の LAN に移動したとする。このとき、R3 は 3 種類の移動通知方式のいずれを選択してもよい。仮に DN を選択したとすると、R4 は MH1 の現在位置を知り、移動体情報として保持する。
3. このとき、ルータ R2 が MH1 へのデータパケットを受信したとする。R2 は DF、DQ、BF、BQ のいずれのフォワード方式を選択してもよい。DQ を選択すれば、R2 から R4 へ MH1 の現在位置を問い合わせるパケットが送信される。R4 は、この問いに対する応答パケットに MH1 の移動体情報を設定して R2 に送信する。

4. R2 は、問い合わせの結果得られた、MH1 の現在位置へパケットをフォワードする。

5. 2 で、MH1 が移動してきたときに、R3 は DN ではなく NN を選択することも可能である。このときは、R4 は MH1 の移動体情報を保持しないことになるが、デフォルトルータのまま BN を定期的に繰り返してもよい。

6. 先ほどと同様に、R2 が MH1 へのデータパケットを受信したとする。そして、DF を選択し、そのパケットをデフォルトルータである R4 にフォワードしたとする。

7. R4 はデフォルトルータであるが、MH1 の移動体情報がないため、パケットをフォワードすることができない。このとき、R4 は BF または BQ のいずれかを選択する。BF を選択した場合、パケットはすべてのルータへとフォワードされる。このパケットを受信したルータのうち、MH1 が同じ LAN 上にある R3 のみが MH1 へ送信し、他のルータは廃棄する。

8. BQ を選択した場合、MH1 の所在を問い合わせるパケットが R4 から他のすべてのルータへブロードキャストされる。この問い合わせには、カレントルータである R3 が応答する。その結果、R4 が MH1 へのパケットを R3 へフォワードすることが可能となる。

9. R4 がデフォルトルータであるにもかかわらず、MH1 の現在位置がわからない状態が続くと、MH1 へ他の移動体やホストからパケット送信されるたびに、R4 が BF または BQ を行うことになり、効率が悪くなる。このようなときは、カレントルータである R3 が BN を行い、MH1 の所在を他のルータに知らせ、自局が MH1 のデフォルトルータになることができる。

10. その後、他のルータは、MH1 へのパケットを DF を選択した場合、R3 にフォワードすることができ、ルーティングの効率が高まる。

### 3 プロトコル選択の基準

本章では、ネットワーク資源の使用効率を高めることを、トータルトラフィックを低減することと捉え、この観点から、各プロトコルのコストの見積もりを行い、プロトコルの切替えのための指針を示す。従って、コストは、トラフィック (パケットサイズ × 距離) で評価する。距離は、ルータ間の距離つまりリンク数で測る。以下ではまず、フォワード方式の選択指針の一例を与え、次に、移動通知方式の選択指針の一例を与える。

### 3.1 フォワード方式の選択指針

移動体 MHa に関して, Ra がカレントルータ, Rb がデフォルトルータであるとする. Ra が MHa へのデータパケットを受信した時を考える. このとき Ra は, DF, DQ, BF, BQ の 4 つのサブプロトコルから 1 つを選択しなければならない. 本節ではその指針について議論する.

まず, 各サブプロトコルのコストを求めるために, 以下のネットワークパラメータを定義する.

R: ルータの集合.

N: ルータの総数.

N': ブロードキャストフォワードにかかるホップ数. ツリーを用いて重複なく伝達するなら  $N-1$  となる. ここではこれを定数とみなす.

D: Ra-Rb 間の距離.

$C(x)$ : ルータ  $x$  からルータ  $y (y \in R - \{x\})$  への平均距離.

$C'(x)$ : ルータ  $x$  からルータ  $y (y \in R - \{Ra, Rb, x\})$  への平均距離.

H: Rb からルータ  $y (y \in R - \{Ra\})$  への平均距離.

c: 問い合わせなどに使う制御パケットの平均サイズ. ここではこれを定数とみなす.

d: 受信したデータパケットの平均サイズ. ここではこれを定数とみなす.

y:  $d/c$ .

Ra は, 選択したサブプロトコルによって生じるトラヒックを見積もるために, デフォルトルータである Rb の動作やその成功率などに関して, 次のパラメータを予測するものとする.

$\alpha$ : Rb が, Ra から MHa へのデータパケットを受信したときに, BF, BQ ではなく DF を選択して, カレントルータにフォワードする確率. あるいは, Ra がアドレスを問い合わせたときに, カレントルータのアドレスを答える確率. つまり, Rb が, 自局の移動体情報が正しいと信じている確率である. ここでは, 両者の確率は等しいとみなす. Ra はこの値を, 例えば, Rb が BN を行ってから経過した時間などから推定する.

$\beta$ : Rb が  $\alpha$  の確率で, 自局の移動体情報が正しいと信じてデータパケットをカレントルータへフォワードした場合または Ra からの DQ への応答をした場合に, その情報が正しい確率. つまり, 正しくカ

レントルータを把握している確率であるとも言える. 統計情報などがある場合にはそれを用いて算定する.

まず, 一般にルータ  $x$  が BF または BQ のどちらかを選ばなければならない場合を考える. BF, BQ のコストはそれぞれ以下のように見積もることができる.

$$\begin{aligned} \text{BF: } & N'd \\ \text{BQ: } & (N' + C(Ra))c + C(Ra)d \end{aligned}$$

従って, BQ より BF の方がコストが低いのは,

$$y < \frac{N' + C(x)}{N' - C(x)}$$

の場合である. この条件を **BF 条件** と呼ぶ. ルータ  $x$  について BF 条件が成立することを  $\text{BF}(x)$  と記す. 以下の議論においては, ルータはこの条件に従って, BF または BQ を選択するものと仮定する.

次に, Ra, Rb がパケットをブロードキャストするのにかかるコストを  $Ba, Bb$  とし, Ra, Rb 以外のルータがブロードキャストするのにかかるコストを  $B_{\text{AVE}}$  とすると, Ra が DF, DQ, BF, BQ を行うコストの見積もりはそれぞれ以下の通りとなる.

$$\begin{aligned} \text{DF: } & \alpha\beta(D + H)d + \alpha(1 - \beta)((D + H)d + B_{\text{AVE}}) + (1 - \alpha)(Dd + Bb) \\ \text{DQ: } & \alpha\beta(2Dc + C(Ra)d) + \alpha(1 - \beta)(2Dc + C(Ra)d + B_{\text{AVE}}) + (1 - \alpha)(2Dc + Ba) \\ \text{BF: } & N'd \\ \text{BQ: } & (N' + C(Ra))c + C(Ra)d \end{aligned}$$

ここで, BF 条件を満たすルータの数を  $n_1$  (ただし, ルータ Ra, Rb は除く) とすると,  $B_{\text{AVE}}$  と  $Ba, Bb$  は次の式によって与えられる.

$$\begin{aligned} B_{\text{AVE}} &= \frac{1}{N-2} \{n_1 N'd + (N-2-n_1)N'c \\ &\quad + (c+d) \sum_{x \neq Ra \wedge x \neq Rb \wedge \neg \text{BF}(x)} C'(x)\} \\ Ba &= \begin{cases} N'd & (\text{BF}(Ra)) \\ (N' + C(Ra))c + C(Ra)d & (\neg \text{BF}(Ra)) \end{cases} \\ Bb &= \begin{cases} N'd & (\text{BF}(Rb)) \\ (N' + C'(Rb))c + C'(Rb)d & (\neg \text{BF}(Rb)) \end{cases} \end{aligned}$$

上記の式より, ルータ Ra は  $y, \alpha, \beta$  に従って最適なサブプロトコルを動的に選ぶことができる. 他のパラメータはルータのネットワークポロジによって決定される.

例えば, 図 2 のような 3 グリッドポロジを考える. 図中の四角はルータを, 実線はリンクを表す. ルータ Rb が MHa のデフォルトルータであり, ルータ Ra が

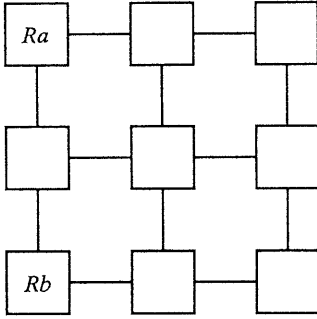


図 2: 3 グリッドのネットワークトポロジー

MHa へのデータパケットをフォワードする場合のコストを考える。この場合、 $D = 2, H = 2, C(Ra) = 9/4, N' = 8$  となる。ここで、 $\beta = 3/4$  と仮定すると、 $\alpha, y$  に応じて最適なサブプロトコルは、図 3 のように表される。

この図は次のような各サブプロトコルの直観的特性をよく表している。

- データパケットのサイズが大きい場合には、問い合わせを使用する BQ, DQ の方がフォワードを使用する BF, DF より効率がよい。そうでない場合は、フォワードを使用する手法の方が問い合わせを使用する手法より効率がよい。
- デフォルトルータの移動体情報を信用できる場合には、DF, DQ を使用する方がよい。そうでない場合は BF, BQ を使用する方がよい。

### 3.2 移動通知方式の選択指針

ルータ Ra が、移動体 MHa が移動し自局に隣接したことを検出したとする。また、Rb が MHa のデフォルトルータであるとする。このとき、Ra は BN, DN, NN の 3 つのサブプロトコルのうちから 1 つを選択しなければならない。本節では、その指針について議論する。

移動通知プロトコルの選択によって、その後のパケットフォワードに伴うコストが変わるため、各移動通知プロトコルのコストの解析は、パケットフォワードコストを含めて見積もる必要がある。しかし、フォワード方式の選択は各ルータがローカルに行うため、解析は複雑である。そこで、解析を容易にするために、

- Ra が BN を選択すれば、他のルータは MHa へのデータパケットのフォワードに DF を、
- Ra が DN を選択すれば、他のルータは MHa へのデータパケットのフォワードに DF を、

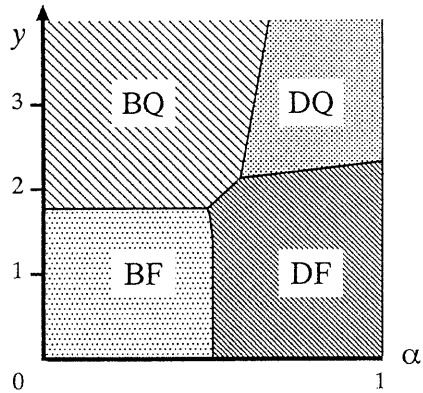


図 3: 3 グリッドネットワークトポロジーにおける最適フォワードプロトコル

- Ra が NN を選択すれば、他のルータは MHa へのデータパケットのフォワードに BF を

選択するものとする。このような仮定をおかないさらに正確な解析を行うことは今後の課題である。

前節での定義に加え、下記のネットワークパラメータを定義する。

$N''$  ブロードキャスト通知にかかるホップ数。IS-IS プロトコル<sup>[3]</sup>の LSP (Link State PDU) を使用する場合にはリンク数となる。ツリーを用いて重複なく伝達する場合は  $N-1$  となる。ここではこれを定数とみなす。

以下の解析は、MHa がルータ Ra に隣接している期間中のトラヒックの総量を見積もるものである。Ra は以下のパラメータを予測するものとする。

$\lambda$ : MHa のパケット送信頻度 (指数分布とする)

$\mu$ : MHa の移動頻度 (指数分布とする)

BN に伴う総コストは次のように表される。

$$N''c + \frac{\lambda}{\mu} C(Ra)d.$$

DN に伴う総コストは次のように表される。

$$Dc + \frac{\lambda}{\mu} (H + D)d.$$

NN に伴う総コストは次のように表される。

$$\frac{\lambda}{\mu} N'd.$$

ここで、 $x = \mu/\lambda$  とおくと BN が DN よりも効率がよいのは、

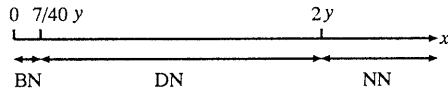


図 4: 3 グリッドネットワークトポロジーにおける最適移動通知プロトコル

$$x < \frac{H + D - C(Ra)}{N'' - D}y$$

のとき, DN が NN よりも効率がよいのは,

$$x < \frac{N' - (H + D)}{D}y$$

のとき, BN が NN よりも効率がよいのは,

$$x < \frac{N' - C(Ra)}{N''}y$$

のときである。

例えば, 前述の 3 グリッドトポロジーの例では,  $N'' = 12$ (BN として IS-IS プロトコルの LSP と同じブロードキャスト方式を採用した場合) となり, 最適となるプロトコルは以下の通りである。

- $0 < x < \frac{7}{40}y$  ならば, BN
- $\frac{7}{40}y < x < 2y$  ならば, DN
- $2y < x$  ならば, NN.

この結果(図 4)は, 次のような各プロトコルの直観的特性をよく表している。

- 通信が頻繁で, 移動が頻繁でない場合は BN がよい。
- 移動が頻繁で, 通信が頻繁でない場合は NN がよい。
- 両者の中間の場合は DN がよい。

#### 4 おわりに

本稿では, 適応型移動体プロトコルにおけるフォワード方式と移動通知方式それぞれのサブプロトコルのコストの見積もりを行い, ネットワーク全体のトラヒックを低減するという視点でのプロトコル選択方式を示した。コストをトラヒック量で捉える上で必要なパラメータを定義し, それらを用いて, グリッド型のトポロジーの場合を例にとり, 具体的な選択指針を示した。各サブプロトコルの定量的な解析により, 下記の結果が得られた。1) デフォルトルータの信頼度が高いときは, デフォルトベースのプロトコルを選択し, 2) デフォルト

ルータの信頼度が低い時は, ブロードキャストベースのプロトコルを選択するのがよい。また, 3) パケットサイズが大きい時は, フォワードベースのプロトコルを選択し, 4) パケットサイズが小さい時は問合せベースのプロトコルを選択するのがよい。

#### 謝辞

本研究の機会を与えて下さったシャープ(株)河田亨取締役, ソフトウェア研究所小松純一副所長, 情報技術研究所大崎幹雄所長, 千葉徹第 1 研究部長に深謝の意を表す。

#### 参考文献

- [1] Carlberg, K. G. : A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems, *Proc. MILCOM* (1992).
- [2] Ioannidis, J., Duchamp, D. and Maguire Jr., G.Q.: *IP-based Protocols for Mobile Internetworking*, *Proc. ACM-SIGCOMM* (1991).
- [3] ISO : 10589 Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service(ISO 8473) (1992).
- [4] 田中理恵子, 塚本昌彦: エリア内エンドシステム移動のための OSI ベースのルーティングプロトコル, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集 (1993).
- [5] Tanaka, R. and Tsukamoto, M.: A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area, *Proc. IEEE-International Conference on Network Protocols* (1993).
- [6] 田中理恵子, 塚本昌彦: 適応型移動体通信プロトコル, 情処研報 DPS 65-1 (1994).
- [7] Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M. : A Network Architecture Providing Host Migration Transparency, *Proc. ACM-SIGCOMM* (1991).
- [8] 塚本昌彦, 田中理恵子: デフォルトアドレスと寿命値パラメータを用いた広域移動体通信のためのルーティングプロトコル, 情処研報 DPS 58-3 (1992).
- [9] 塚本昌彦, 田中理恵子, 津森靖: CLNP ネットワークにおけるエリア内での移動体サポート, 情処研報 DPS 61-30 (1993).
- [10] Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: *Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding, 1993 Winter USENIX* (1993).