

OSI エリア内での移動体通信のための デフォルトフォワーディングプロトコル

田中 理恵子^{†,*} 塚本 昌彦^{††}

本稿では、OSI 環境を実現するエリア内で、移動体、つまり、移動可能なコンピュータを効率よくサポートするプロトコルとしてデフォルトフォワーディングプロトコル (DFP) を提案する。移動体が実際に隣接する IS (Intermediate System) であるカレント隣接 IS と、IS-IS プロトコルのレベル 1 リンク状態 PDU (Protocol Data Unit) でその移動体に隣接していることをエリア内で報告するデフォルト隣接 IS を区別することにより、頻繁な移動に対して発生する制御 PDU の量を低減できることを示す。本プロトコルは、1. ES の拡張を必要とせず、2. エリア内で既存の機器との混在が容易であり、しかも、3. 他のエリアに影響を及ぼさないような運用が可能であるという点において有用性が高いと考える。

Default Forwarding Protocol for Mobile Communication within an OSI Area

RIEKO TANAKA^{†,*} and MASAHICO TSUKAMOTO^{††}

In this paper, we propose DFP (Default Forwarding Protocol) for efficient support of ESs (End Systems) that are capable of moving within an area. By differentiating the notions of the *current NIS* (*Neighbor IS*), the IS (Intermediate System) by which a mobile really neighbors, and the *default NIS*, the IS which reports the mobile to be a neighbor in its Level 1 Link State PDUs (Protocol Data Units) of IS-IS protocol, it is possible to reduce the number of NPDUs (Network PDUs) which are used to inform control information arising from frequent migration. The proposing protocol is considered to be useful because of the following features: First, ESs do not need any extension. Second, it is possible for existing systems to intercommunicate with other ESs and ISs applied our protocol in an area. And last, the use of the protocol in a certain area does not affect the other areas in existing CLNP (ConnectionLess-mode Network Protocol) networks.

1. はじめに

コンピュータの小型化や無線通信技術の発達により、移動体通信、つまり移動可能なコンピュータの間の通信を可能とする新しいアーキテクチャの必要性が高まっている。既存のコンピュータネットワークにおいて移動体をサポートする場合における主要な問題点として二種類を挙げることができる。

第一の問題点は、システム識別とアドレス変換の問題である。OSI や TCP/IP などのプロトコルにおい

ては、ネットワークアドレスがシステムの識別子であるが、通常は所在地を示すものとして用いられる。そのため、システムが他のネットワークへ移動するとネットワークアドレスを変える必要がある。ところが、ネットワークアドレスは識別子であるため、他のシステムからは同一相手として認識できなくなり、通信をそのまま継続することができない。したがって、システムの所在地とは独立に識別子を割り振る枠組、さらにその識別子から現在の所在地を得る枠組が求められる。

第二の問題点は、トラヒック量の問題である。第一の問題点を解決するために、システムが移動したときに移動の発生を通知したり、データ PDU (Protocol Data Unit) を中継するときにシステムの現在地を問い合わせたりするなどの制御 PDU が使用される。これらの制御 PDU をブロードキャストすると、多数のシステムが同時に移動したり、移動の頻度が高い場合、トラ

[†] シャープ株式会社技術本部ソフトウェア研究所
Software Research Laboratories, Corporate Research and Development Group, Sharp Corporation

^{††} シャープ株式会社技術本部情報技術研究所
Information Technology Research Laboratories, Corporate Research and Development Group, Sharp Corporation

* 現在、株式会社 ATR 通信システム研究所
Presently with ATR Communication Systems Research Laboratories

ヒックが増加しネットワークの輻輳を招く恐れがある。一方、制御 PDU のブロードキャストを回避すると、データ PDU のフォワーディング時に最短経路を通るとは限らなくなり、トータルトラヒックの増加の要因となる。そのため、トラヒック量を低減する効率のよい移動体管理方法が必要である。

このような問題点を有した移動体通信の研究は、主に、広く普及しているコンピュータネットワークであるインターネットにて行われてきており、IP をベースにした移動体対応のプロトコルが提案されている^{5), 12), 14)}。しかし、IP は、IP アドレスと呼ばれるネットワークアドレスの長さが 32 ビットしかないため、アドレスの枯渇が問題となっており、IP に代わる新しいネットワーク層プロトコルが求められている。その一つの候補として、アドレス長が最大 20 オクテットある、OSI の CLNP (ConnectionLess-mode Network Protocol)⁶⁾ を IP の代わりに用いることが検討されている¹⁾。また、インターネットでの経路制御には、これまで主に RIP²⁾ が用いられてきたが、ネットワーク規模の拡大に対処し切れないため、OSPF¹⁰⁾ への移行が始まっている。このようにインターネットは、それ自体が、プロトコルの見直しを迫られている現状にある。これに対して、OSI では、莫大な数のシステムを収容できるアドレス空間を持った CLNP と、それを利用したネットワークにおける経路制御プロトコルとして、OSPF と同じリンク状態型の IS-IS プロトコル⁹⁾ が既に定義されている。また、インターネットにはない、システムの存在を動的に確認するためのプロトコルとして ES-IS プロトコル^{7), 8)} も定義されており、将来の大規模ネットワークの基盤技術として有望であると考えられる。したがって、OSI 環境を実現するエリア（以下エリアという）内でシステムの移動をサポートすることが重要となる。

移動体通信をサポートする上での上述の二つの問題のうち、本論文で扱うエリア内でのシステム移動では、第一の問題点が生じない。これは、システムのネットワークアドレスが、エリアに付与されるエリアアドレスと、エリア内で一意なシステム識別子から構成されるため、システムがエリア内を移動する場合はネットワークアドレスが変わらないためである。したがって、エリア内での移動体通信をサポートする場合の問題点は第二の問題点に絞られる。ところが、従来の研究^{2), 5), 12), 14)} では、おもに第一の問題点に焦点が当てられてきており、第二の問題点は十分検討されてい

ない。例えば、トラヒック量を増加させる一番の要因はブロードキャストを用いることであるが、システムの移動を通知する²⁾、現在地を問い合わせる⁵⁾、システム識別子から現在地を導くためのテーブルの古いエントリを削除する¹²⁾などの目的で、制御 PDU をブロードキャストするという手法が用いられている。そのため、トラヒック量の問題を解決することが重要となるエリア内での移動体通信に、これらのプロトコルをそのまま適用することはできない。

また、OSI の既存のルーティングプロトコルである IS-IS プロトコルによって、エリア内での移動体通信をサポートすることは可能であるが、移動の通知をブロードキャストするため、トラヒック量の問題を解決することができない。

そこで、本論文では、エリア内において、移動体通信を効率よくサポートするためのプロトコル、デフォルトフォワーディングプロトコル (DFP)¹¹⁾ を提案する。DFP では、塚本ら¹³⁾ が提案した、識別子として使用するデフォルトアドレスと現在地を示すカレントアドレスの組によって移動体を管理する手法を、中間システム (IS: Intermediate System) に適用し、デフォルト隣接 IS とカレント隣接 IS の二つの IS の組によって移動体を管理する。移動を通知する制御 PDU は、カレント隣接 IS がデフォルト隣接 IS に送信するだけとし、ブロードキャストを用いない。また、移動体に関する情報、すなわちデフォルト隣接 IS とカレント隣接 IS の組を他の IS がキャッシュに保持することで、データ PDU のフォワーディングの効率を上げる。さらに、この情報が古くなったときには、削除するための制御 PDU を用いることなく更新するためのルールを導入する。このような手法を採用することで、移動体通信を効率よくサポートできることを示す。

以下、2 章でまず、エリア内における移動体サポートの方法とその問題点について述べる。次に、3 章で、プロトコルの詳細について述べ、4 章で評価を行う。

2. 既存の IS-IS プロトコルによる移動体通信サポートの問題点

本章では、IS-IS プロトコルによるエリア内移動対応の概略とその問題点について述べる。

OSI のコネクションレス型ネットワーク層プロトコルである CLNP を用いたネットワークにおいて、システムの所在および経路を動的に管理するルーティ

ングプロトコルとして、ES-IS プロトコルと IS-IS プロトコルがある。

ES-IS プロトコルは、アプリケーションが動作し、通信の主体となるシステムであるエンドシステム (ES) と、ES が送受信する NPDU (Network PDU) を中継するシステムである IS が保持タイムを付与したハロー PDU を定期的に出すことにより、互いの存在を確認するプロトコルである。ES および IS は、互いの存在を確認できるとき、隣接関係にあるという。ES が送信するハロー PDU を ES ハロー (ESH) と呼ぶ。

IS-IS プロトコルは、IS 間でリンク状態 PDU (LSP) を交換しあい、互いの接続形態の情報を得ることにより、ネットワークトポロジの完全マップを作成し、そのマップをもとにルーティングを行うプロトコルである。LSP は定期的に発行されるほか、隣接関係に変化があった時にも発行される。IS-IS プロトコルでは、ルーティングドメインをエリアと呼ぶサブドメインに分割し、エリア内のルーティングにかかわる IS をレベル 1 IS、レベル 1 IS が送信する LSP をレベル 1 LSP と呼ぶ。

ここで例を用いて、ES 移動時の IS-IS プロトコル動作の概要を示す。

図 1 はエリアの一例である。円は ES を、四角はレベル 1 IS を表している。実線はレベル 1 回線、破線矢印は ES の移動を示す。

1) ES1 は IS5 の隣接として立ち上がると ESH を

送信する。IS5 はそれを受信すると、ES1 のシステム識別子を含むレベル 1 LSP をエリア内の他の IS にブロードキャストして、ES1 が自局に隣接していることを知らせる。これによって、エリア内の他の IS が ES1 への NPDU を受信すると、IS5 の方へフォワードする。

- 2) ES1 が移動して IS2 の隣接となると、IS2 は ES1 の送信する ESH を受信してそれを知り、レベル 1 LSP で ES1 が自局に隣接していることをエリア内の他の IS に知らせる。ES1 は、ESH の保持タイムが切れないような間隔で、IS2 へ ESH を送信しつづける。一方、ES1 の ESH の保持タイムが切れるか、保持タイムが 0 の ESH を受信した IS5 は、ES1 が隣接していないことを検出する。そこで、ES1 のシステム識別子を含まないレベル 1 LSP をブロードキャストして、ES1 が自局に隣接していないことをエリア内の他の IS に知らせる。この結果、ES1 への NPDU は、IS5 ではなく IS2 へフォワードされるようになる。

この例の場合のように、一つの ES がまれに移動する場合は、IS-IS プロトコルで対応することが可能である。しかし、一つの ES の一度の移動で、移動前と移動後の二つの隣接 IS から LSP が発行され、エリア内全体に広められる。ES の数や移動回数が増えるとそれとともなって交換される LSP の数が増加し、ネットワークの輻輳を招く恐れがある。つまり、IS-IS プロトコルは、一時的な移動の集中に対するロバスト性がないと言える。

多数の ES が一斉に移動するようなエリアの例として、無線によるキャンパスネットワークが挙げられる。キャンパス内では、携帯機器を所持した多数の学生が、授業の時間に合わせて一斉に移動することが考えられる。このような場合、学生が通過した無線ゾーンを管理する各 IS から LSP が一斉にキャンパスネットワーク全体に送信されることになるので、トラフィック量が急増し、ネットワークの輻輳を招くことになる。したがって、長い時間での平均的な移動が、通信の回数に比べてそれほど多くないような場合であっても、上述のように、移動が集中するようなネットワークにおいては、移動によって発生するトラフィック量を低減することが重要な課題となる。そこで、本稿では、1 章で述べたトラフィック量の問題を解決し、多数の ES の一時的な移動の集中に対してロバストなプロトコルとして、DFP を提案する。

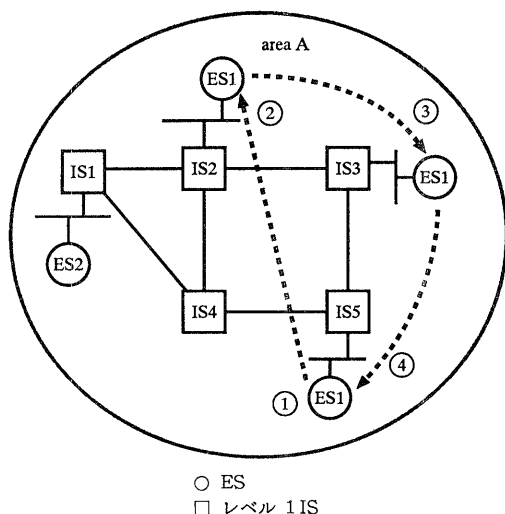


図 1 エリアの例

Fig. 1 Example of OSI area.

3. デフォルトフォワーディングプロトコル (DFP)

3.1 プロトコルの状態遷移

DFP は、エリア内において、効率よく移動体をサポートするプロトコルであり、IS-IS プロトコルを拡張するものである。PDU の交換のために CLNP も一部拡張する。本節では、IS-IS プロトコルの拡張部分のうち、IS の状態の拡張について論じる。DFP では、デフォルト隣接 IS とカレント隣接 IS という状態を導入し、この二つの IS によって移動体を管理する。

IS-IS プロトコルにおいては、IS は、各 ES との隣接関係の有無により、次の二つの状態のいずれかにあるとみなせる。

- ノーマル状態—ES との隣接関係がない。この状態の IS を、ノーマル IS と呼ぶ。
- 隣接状態—ES との隣接関係がある。この状態の IS を、隣接 IS と呼ぶ。

隣接 IS の主な役割には、次の二つがある。

- 1) ES の存在を検知し、その ES が送信元またはあて先となる NPDU を扱うこと。
- 2) 自局の ES あての NPDU を他の IS が正しく中継できるように、その ES の存在を、ES のシステム識別子を含んだ LSP で他の IS に通知すること。

2) において、ある ES の隣接 IS は、その ES が隣接システムでなくなったときにも、LSP を送出しなければならない。このときは、その ES のシステム識別子を含まない LSP を送信する。そして、ノーマル状態に移る。このように、IS は隣接状態にある間だけでなく、隣接状態からノーマル状態へ移るときも LSP を送出する必要がある。

DFP では、隣接状態を、さらに

- デフォルト隣接状態
- カレント隣接状態
- デフォルトかつカレント隣接状態

の三つの状態に分ける。これは、隣接状態とノーマル状態間の遷移を抑制し、余分な LSP の生成を削減するためである。図 2 は、DFP における IS の状態遷移図である。

デフォルト隣接状態の IS (これをデフォルト隣接 IS と呼ぶ) は、先述の二つの役割のうち、2) の役割、つまり LSP の生成を行う。これに対しカレント隣接

状態の IS (カレント隣接 IS) は 1) の役割、つまり ES に実際に隣接し NPDU を直接送受信する役割を果たす。デフォルト隣接 IS は ES が移動しても変わらず、その ES のシステム識別子を含む LSP を定期的に生成し、広め続ける。カレント隣接 IS は ES の移動のたびに変わり、ES が隣接していることをデフォルト隣接 IS に通知するが、隣接システムでなくなったことは通知しない。

デフォルトかつカレント隣接状態の IS (デフォルトかつカレント隣接 IS) は、両方の役割を果たす。つまり、IS-IS プロトコルにおける隣接 IS と同様な働きをし、他の IS からはデフォルト隣接 IS に見える。

ノーマル IS は、ES あての NPDU を受信するとデフォルト隣接 IS へフォワードする。NPDU はデフォルト隣接 IS からカレント隣接 IS へフォワードされ、その後あて先 ES へ到着する。

デフォルト隣接 IS は、常に、カレント隣接 IS がどれであるかを管理する必要がある。そのため、カレント隣接 IS は ES に関して組

〈ES のアドレス、カレント隣接 IS のアドレス〉で表される ES 情報をデフォルト隣接 IS へ送信し、デフォルト隣接 IS はその情報を ES 情報ベースに保持する。ES 情報ベースは NPDU のフォワーディングの際に参照される。

3.2 PDU フォーマット

DFP は、ES 情報の交換や NPDU の転送のために、IS-IS プロトコルならびに CLNP の PDU を拡張したものを使用する。図 3 に、NPDU のフォーマットを示す。NPDU は先頭から固定部、アドレス部、セグメンテーション部、オプション部、データ部の順

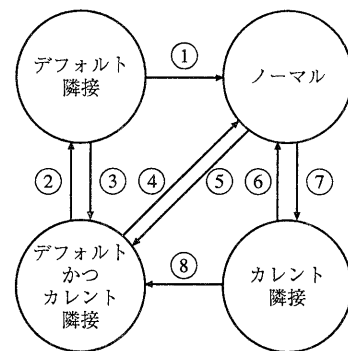


図 2 IS の状態遷移図

Fig. 2 State transition diagram of IS.

で構成される。このうち、DFP で使用するのは、アドレス部とオプション部である。

以下の5種類のPDUのうち、エリア内MIS通知PDUはIS-ISプロトコルのレベル1LSPのオプションを追加したものであり、その他はCLNPのNPDUのオプションを追加して実現する。

エリア内移動通知 PDU カレント隣接 IS がデフォルト隣接 IS に、ES が隣接したことを知らせるのに使用する。あて先アドレスにはデフォルト隣接 IS を、送信元アドレスには自局を設定する。オプション部には ES 情報を設定する。

エリア内移動確認 PDU エリア内移動通知 PDU を受信したデフォルト隣接 IS がカレント隣接 IS に Ack を返すのに用いる。オプション部にはエリア内移動通知 PDU に含まれていた値をそのまま設定する。

エリア内転送 PDU IS が NPDU を他の IS にフォワードするのに使用する。あて先アドレスにはあて先 IS を、送信元アドレスには自局を設定する。本来のあて先 ES のアドレスと送信元 ES のアドレスはオプションフィールドに設定する。

エリア内情報付き PDU カレント隣接 IS が ES 情

報をエリア内の他の IS に知らせるために使用する。ES が送信する NPDU のオプションフィールドに、ES 情報を付加して送信する。エリア内情報付き PDU を付与する IS はいつでもこの機能を停止できることが望ましい。エリア内情報付き PDU を受信したときは、同じエリア内の IS が送信したものの可否かの確認が必要である。

エリア内 MIS 通知 PDU レベル 1 LSP のオプションフィールドで自局のタイプを通知する。パラメタ値が *SupportDFP* であるときは、DFP をサポートしていることを示す。

3.3 プロトコルの基本動作

本節では、DFP の基本動作例を示す。図1のエリアAにDFPを適用した場合を考える。

(1) **ES の起動に伴う LSP の生成と通知**: IS5 は ES1 が新たに隣接したことを知ると (図1①), ES1 のシステム識別子を含むレベル 1 LSP を生成してエリア内の他の IS に広め、デフォルト隣接 IS となる。

(2) **移動通知と NPDU フォワーディング**:

- 1) ES1 が移動して IS2 に隣接すると (図1②), IS2 は ES1 のカレント隣接 IS になり、デフォルト隣接 IS である IS5 あてにエリア内移動通知 PDU を送る。
- 2) IS5 は ES1 のカレント隣接 IS が IS2 であることを知り、その情報を自局が保持する ES 情報ベースに書き込むとともに、エリア内移動通知 PDU に対するエリア内移動確認 PDU を IS2 に返す。
- 3) この際、IS1 が ES2 から ES1 あての NPDU を受信したとする。IS1 はこの NPDU を ES1 のデフォルト隣接 IS である IS5 あてにフォワードする。
- 4) IS5 は、受信した NPDU をエリア内転送 PDU に変換してカレント隣接 IS である IS2 にフォワードする。
- 5) IS2 はエリア内転送 PDU を発信時の NPDU に戻した後、ES1 に渡す。

(3) **キャッシング**: 上記の例において、IS2 から IS5 へ送信されたエリア内移動通知 PDU を IS4 がキャッシングして通信効率を上げることが可能である。

- 1) IS4 が、IS2 から IS5 へ送信されたエリア内移動通知 PDU に含まれていた ES 情報をキャッシングする。
- 2) ES1 あての NPDU を受信した IS4 は、保持

		octet
固定部	ネットワーク層プロトコル識別子	1
	長さ指示子	2
	バージョン, プロトコル ID 拡張	3
	寿命値	4
	フラグ タイプ	5
	セグメント長	6, 7
	チェックサム	8, 9
アドレス部	あて先アドレス長指示子	10
	あて先アドレス	11 m-1
	送信元アドレス長指示子	m
	送信元アドレス	m+1 n-1
セグメン	データユニット識別子	n, n+1
テーション部	セグメントオフセット	n+2, n+3
	トータル長	n+4, n+5
オプション部	オプション	n+6 p
データ部	データ	p+1 z

図 3 NPDU フォーマット
Fig. 3 NPDU format.

する ES 情報に基づいて、NPDU からエリア内転送 PDU を作成し、カレント隣接 IS である IS2 へフォワードする。

(4) 古くなったキャッシュの削除: ES1 がさらに移動して IS3 に隣接したとする (図1③)。

- 1) IS3 はカレント隣接 IS となり、IS5 にエリア内移動通知 PDU を送る。
- 2) IS1 が ES1 あての NPDU を受信すると、IS5 へフォワードする。
- 3) その途中、IS4 において NPDU はエリア内転送 PDU に変更され IS2 へとフォワードされる。
- 4) しかし IS2 はすでにカレント隣接 IS ではなくなっているのでエリア内転送 PDU のあて先をデフォルト隣接 IS である IS5 に書き換えて IS5 へとフォワードする。
- 5) IS2 からエリア内転送 PDU を受信した IS4 は、保持している ES 情報が古くなっていることを検出し、ES 情報ベースから削除する。そして IS5 へフォワードする。
- 6) IS5 はカレント隣接 IS である IS3 へフォワードする。

このようにして NPDU は古いキャッシュが残っている場合でも、正しくあて先へ配送される。キャッシュの新旧を判断するルールについては、3.4 節で述べる。

(5) ES 情報の拡散: カレント隣接 IS は、任意の NPDU に ES 情報を付与して、エリア内の他の IS に知らせることができる。

- 1) ES1 が ES2 あての NPDU を IS3 に送信する。
- 2) IS3 はその NPDU に ES 情報を付加してエリア内情報付き PDU に変えて IS1 へとフォワードする。
- 3) IS1 はエリア内情報付き PDU に含まれていた ES 情報をキャッシュし ES 情報ベースに保持する。そして発信時の NPDU に戻して ES2 へ送信する。
- 4) このとき、途中の IS2 が ES 情報をキャッシュしてもよい。

このようにしてカレント隣接 IS の情報をエリア内に広めることができ、それとともなって通信の効率を上げることが可能となる。

(6) 既存 IS との協調動作: DFP を実装している

IS は、DFP を実装していない IS と協調して動作することが可能である。つまり、エリア内の IS がすべて DFP を実装している必要はない。DFP を実装している IS は、互いにエリア内 MIS 通知 PDU を交換することによって、DFP を実装していることを他局に通知しておく。その結果、エリア内の他のどの IS が DFP をサポートしている IS であるかを知っている。例えば、前記の移動例で IS3 が DFP を実装していなかったとする。

- 1) ES1 が IS3 に隣接すると (図1の③)、IS3 は LSP をエリア内に広め、ES1 が隣接していることを報告し始める。
- 2) IS3 からの LSP を受信すると IS5 はデフォルト隣接 IS 状態からノーマル IS 状態へ遷移する。
- 3) ES1 が移動して IS5 に隣接すると (図1④)、IS5 は ES1 のデフォルトかつカレント隣接 IS となり、新たに LSP を送信し始める。このとき IS5 が、IS3 にエリア内移動通知 PDU を送らないのは、IS3 が DFP をサポートしていないことを知っているからである。
- 4) IS3 は ES1 のシステム識別子を含まない LSP を新たに生成してエリア内に広める。
- 5) この結果、ES1 あての NPDU はデフォルトかつカレント隣接 IS である IS5 へフォワードされるようになる。

3.4 IS の機能

本節では、DFP で拡張した IS の機能について、3.1 節で述べた状態ごとに記す。

(1) デフォルト隣接 IS の場合 ES のデフォルト隣接 IS は以下の動作を行う。

- 1) 他の IS からエリア内移動通知 PDU を受信すると、即座にエリア内移動確認 PDU を返し、それに含まれる ES 情報を ES 情報ベースに保持する。
- 2) ES あての NPDU を受け取ると、エリア内転送 PDU を作成し、カレント隣接 IS にフォワードする。ES 情報を保持していない場合は NPDU を廃棄する。
- 3) 他の IS が送信した LSP に、ES のシステム識別子が含まれていたときは、ES のシステム識別子を含まない LSP を新たに送信してノーマル IS 状態に遷移する (図2④)。
- 4) あるいは、メモリの枯渇など自局の都合によってデフォルト隣接 IS であることをやめノーマル

IS 状態に移移してもよい (④)。

- 5) 自局が保持する ES 情報ベースには、カレント隣接 IS として登録されている IS からエリア内転送 PDU を受信すると、ES 情報を削除しノーマル IS 状態に移移する (①)。
- 6) ES が自局に隣接するとデフォルトかつカレント隣接 IS 状態に移移する (③)。
- 7) 常に ES のシステム識別子を含む LSP を送信し、エリア内の他の IS に ES の存在を知らせておく。
- 8) 他の状態に入るときは、ES 情報ベースから ES 情報を削除する。
- 5) の動作は、ES が二つ以上の IS を瞬時に移動し、そのときのエリア内移動通知 PDU のデフォルト隣接 IS への到着順序が入れ替わった場合の対処として必要である。

(2) カレント隣接 IS の場合 カレント隣接 IS は以下の動作を行う。

- 1) ES 情報は保持しない。
- 2) デフォルト隣接 IS であって ES が隣接したことを知らせるエリア内移動通知 PDU を送る。一定時間待ってもデフォルト隣接 IS からエリア内移動確認 PDU が返ってこない場合は、エリア内移動通知 PDU の再送を行う。
- 3) 2) において、一定回数の再送を行ってもエリア内移動確認 PDU が返ってこないときは、デフォルトかつカレント隣接 IS 状態に移移する (図 2 ⑧)。
- 4) すでにデフォルト隣接 IS がいる場合でも、デフォルトかつカレント隣接 IS 状態に移移してよい (⑧)。このことにより、ES への NPDU が直接フォワードされるようになり、ルーティングの効率が上がる。
- 5) ESH のタイマが切れるとノーマル IS 状態に移移する (⑥)。
- 6) 自局へのエリア内転送 PDU を受信すると、元の NPDU を作成して ES に転送する。
- 7) 他の IS へのエリア内転送 PDU を受信し、それに含まれる NPDU の先 ES が隣接している場合は元の NPDU を再構成して隣接 ES に転送する。また、デフォルト隣接 IS へ転送される通常の NPDU を受信したときも、隣接 ES に渡す。これらの動作をカレント隣接 IS のインターセプトと呼ぶ。

- 8) 任意の NPDU に、隣接している ES の情報を付加したエリア内情報付き PDU を作成し、送信してもよい。

(3) デフォルトかつカレント隣接 IS の場合 デフォルトかつカレント隣接 IS は、デフォルト隣接 IS の 7) の動作とカレント隣接 IS の 6), 7), 8) の動作に加えて以下の動作を行う。

- 1) ES が移動して他の IS に隣接すると、デフォルト隣接 IS 状態に移移する (図 2 ②)。
- 2) ESH のタイマが切れるまでに、エリア内移動確認 PDU を受信しなかったときは、ES のシステム識別子を含まない LSP を送信して、ノーマル IS 状態に移移する (④)。
- 3) ES が移動して他の IS に隣接した場合、デフォルト隣接 IS 状態に移移せずノーマル IS 状態に移移してもよい (④)。ただし、この状態移行は IS-IS プロトコルの場合と同じであり、トラヒック増加の原因となりうる。

(4) ノーマル IS の場合 ノーマル IS は以下の動作を行う。

- 1) ノーマル IS は新しく ES が隣接し、かつその ES を報告している IS がいない場合にデフォルトかつカレント隣接 IS 状態に移移する (図 2 ⑤)。
- 2) ノーマル IS は新しく ES が隣接し、かつその ES を報告している IS がいる場合にはカレント隣接 IS 状態に移移する (⑦)。
- 3) 自局へのエリア内転送 PDU を受信したときは、アドレスをデフォルト隣接 IS またはデフォルトかつカレント隣接 IS に書き換えて送信する。
- 4) 他の IS が出す ES 情報をキャッシングしてもよい。またその情報に基づき、NPDU からエリア内転送 PDU を作成しフォワードしてもよい。ただしキャッシングするのは、該当する ES 情報を保持していないとき、あるいは、次の新旧判断条件にしたがって、受信した ES 情報が、保持する ES 情報より新しいと判断できる場合に限る。

新旧判断条件 次のいずれかの場合に、保持する ES 情報よりも受信した ES 情報の方が新しいと考える。

- (a) 受信した PDU が、エリア内移動通知 PDU、エリア内移動確認 PDU、エリア内

情報付き PDU のいずれかである。

- (b) 受信した PDU が、エリア内転送 PDU であり、送信元がデフォルト隣接 IS である。
 - (c) 受信した PDU が、エリア内転送 PDU であり、送信元が保持する ES 情報のカレント隣接 IS に一致する。
- 5) 3), 4) のいずれでもないときは、エリア内転送 PDU のあて先に従ってフォワードし、保持する ES 情報によるあて先の書き換えを行わない。この場合には、キャッシングは行わない。
- 6) 自局の都合で ES 情報ベースから ES 情報を削除してよい。
- 7) ES が移動して DFP をサポートしていない IS の隣接となったときは、ES 情報を削除する。

前述のような新旧判断条件は、以下の理由を考慮して導入した。

- IS 間で交換される ES 情報は、タイムスタンプやシーケンス番号など新旧を判断するための情報を含んでいないこと。
- タイムスタンプを用いるためにはエリア内の IS の時計を合わせる必要があるが、そのためのプロトコルは標準化されていないこと。
- ES には特別な動作を強要しないという前提条件をつけたため、シーケンス番号を付与するとすれば IS が行わねばならないが、適切な番号を付与するのは難しいこと。

従来から研究が進められている、CLNP での広域移動に対応するために提案されているプロトコル¹³⁾では、キャッシュ情報の削除に関して、移動通知に寿命値パラメタを付与し、これにより IS が ES 情報を保持すべき時間を判断できるようにしている。しかし、今回提案する DFP では従来の研究にある寿命値を用いず、削除するタイミングも各 IS の判断にまかせ、IS は適宜 ES 情報を削除してもよいとしている。この点については4章で詳しく論じる。

4. 評価

4.1 制御トラヒックとデータトラヒック

DFP と IS-IS プロトコルのトラヒック量の比較を行う。ここでは IS の負荷の大部分が PDU のヘッダ解析にあり、いくつの IS を通過してきたかが重要になるため、隣接システム間の距離を1ホップとして、トラヒック量の比較をホップ数をパラメタとして検討することとした。

エリア内の IS の集合を $\mathcal{I}$ 、レベル1回線数を C とする。 $i_1, i_2 \in \mathcal{I}$ 間の距離を $d(i_1, i_2)$ 、平均 IS 間距離

$$H = \sum_{i_1 \in \mathcal{I}} \sum_{i_2 \in \mathcal{I}} d(i_1, i_2) / |\mathcal{I}|^2$$

とおく。これは任意の二つの IS 間（同じ IS かどうかの場合を含む）の最短距離の平均である。通信トラヒック、移動をエリア内に限定し、各々、平均値 λ, μ の指数分布、通信の送信先、移動先はランダムとする。伝搬遅延や LSP 送信のタイムインタバルは考慮せず、制御情報は即座に伝わるものと仮定する。このとき、DFP、および IS-IS プロトコルを用いた場合に、一つの ES に関して1回のデータ通信に伴う PDU ホップ数、ならびに1回の移動に伴う制御 PDU ホップ数の平均値は表1で表される。IS-IS プロトコルでは、LSP が移動前と移動後の二つの IS から送出され、それがエリア内のすべての回線上を流れるため、移動時のトラヒックが $2C$ となる。PDU をフォワードするときは、送信元 ES が隣接する IS からあて先 ES が隣接する IS まで、最短経路を通るため、 H となる。これに対し、DFP では、移動時にはカレント隣接 IS からデフォルト隣接 IS へエリア内移動通知 PDU が送信され、それに対する確認として、デフォルト隣接 IS からカレント隣接 IS へエリア内移動確認 PDU が送信されるため、 $2H$ のトラヒックとなる。通信時は、PDU がいったんデフォルト隣接 IS へフォワードされた後、カレント隣接 IS へフォワードされるため、 $2H$ となる。

ただし、通信時の値は、DFP、IS-IS プロトコルとも、ES と IS の間のホップを含まないものとする。これは、両者とも同じ2ホップのトラヒックであるため、比較を容易にするためである。さらに、DFP の場合はキャッシングおよびインターセプトの効果を考慮していない。この表から、制御 PDU に関しては DFP の方が、データ PDU に関しては IS-IS プロトコルの方が効率が良いことがわかる。特に、 C の値が増えるほど、つまり通信路の多重度を上げるほど、 H の値は一般に小さくなり、制御 PDU 量に関しては、IS-IS プロトコルに対する DFP の優位性が増すことになる。また、データ PDU 量に関しては IS-IS プ

表1 PDU ホップ数比較
Table 1 PDU hop count comparison.

	IS-IS	DFP
移動時	$2C$	$2H$
通信時	H	$2H$

ロトコルと DFP の差は少なくなる。キャッシングおよびインターセプトの効果により、この差は実際にはさらに少なくなると考えられる。ただし、これらの効果はネットワークトポロジやルート選択に関わるため、解析は容易ではない。

そこで、キャッシングおよびインターセプトの効果を評価するために、シミュレーションを行った。

図 4 は、ES の単位時間当たりの通信量 λ に対する移動頻度 μ の比を変えたときのデータ PDU によるトラヒック量の比較を行ったものである。通信頻度に対する移動頻度は、運用に大きく依存すると思われる。例えば、大学のキャンパスに無線ネットワークを構築し、各セルを IS が管理する場合を想定する。携帯型のコンピュータを所持した学生が、授業に合わせて一斉に移動する場合などは、通信に比較して移動の頻度が一時的にかなり高くなることが考えられる。このグラフでは、このような状況を考慮して、通信頻度に対する移動頻度の比は 0.25 回/PDU までとした。ネットワークの構成は図 1 に基づいており ($C=6$, $H=1.12$)、DFP のシミュレーションでは、すべての IS が DFP を実装しているものとした。ただし、ES の数は 100 とした。つまり、一つの ES が頻繁に移動を行うのではなく、上述のキャンパスネットワークのように、多数の ES が同時に移動するような場合を想定してシミュレーションを行った。IS-IS プロトコルのトラヒック量と、キャッシングおよびインターセプト無しの DFP のトラヒック量は、表 1 に基づく解析値である。この図からキャッシングおよびインターセ

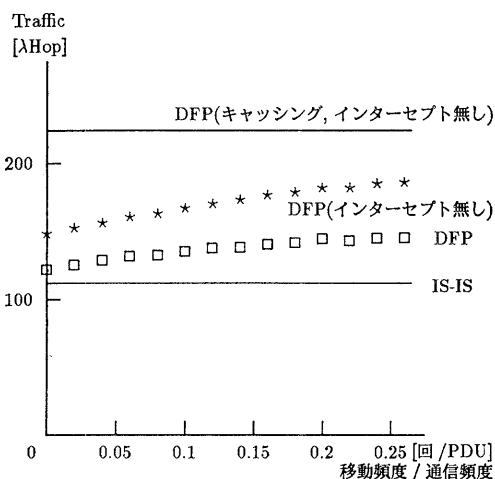


図 4 キャッシングおよびインターセプトの効果
Fig. 4 Effect of caching and interception.

プトが、データトラヒックの低減に効果があることがわかる。

次に制御トラヒックとデータトラヒックを合計したトータルトラヒックの比較を図 5 に示す。

IS-IS プロトコルの値は表 1 に基づく解析値である。LSP の生成間隔および LSP 転送間隔の値は 0 としている。DFP の値はキャッシングとインターセプトを行った場合の値である。ほとんど移動がない場合においても、DFP は IS-IS プロトコルと大差なく、移動頻度が高くなるほど、DFP の優位性が高くなる。トータルでの PDU 量の増加が緩やかであることは、実際の運用形態で考えられる一時的な移動の集中に対して強いことを意味する。

以上のように DFP では、制御 PDU 量を大幅に低減しつつ、キャッシングおよびインターセプトの手法を用いることにより、データ通信時のトラヒック増加を抑えられることが確かめられた。

4.2 スケーラビリティ

図 6 のように、一辺に n 個の IS が並ぶ格子状のネットワークトポロジを仮定する。このような格子状のトポロジは、ネットワークを地理的に拡大していく場合のネットワークトポロジの変化を典型的に表していると考えられる。この場合、

$$C=2n(n-1)$$

$$H=\frac{2(n-1)(n+1)}{3n}$$

となる。この値を表 1 の式に当てはめると、DFP でのトラヒックの総量は n のオーダーであるのに対し、IS-IS プロトコルでは、 n^2 のオーダーになることが確かめられる。このように DFP は、ネットワーク規模に

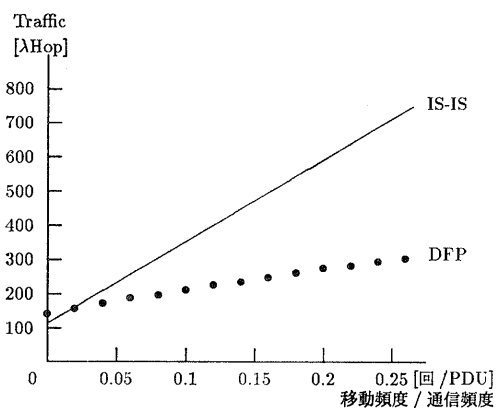


図 5 トータルトラヒック量比較
Fig. 5 Total traffic comparison.

対するスケーラビリティを有すると考えられる。

4.3 移動情報伝達の即時性

1章で述べたように、IS-IS プロトコルでは、LSP の生成間隔と転送間隔がタイマによって制限されており、エリア内全体に LSP が広められるまでに、ある程度の遅延時間が見込まれる。例えば、図6のネットワークポロジで ES が移動した場合、IS 間の距離が最も長くなるときには、LSP が生成され最長距離にある IS に伝搬されるまでに、最悪の場合、LSP 生成間隔 + LSP 転送間隔 $\times 2(N-1)$ の時間がかかる。このタイマ値は、デフォルトでは、それぞれ 30 秒、5 秒と規定されている⁹⁾。例えば $N=10$ の場合には 120 秒になり、トランスポートコネクションの無活動監視タイマ値の参考値 180 秒⁴⁾ と比べても無視できない値であると考えられる。しかし、DFP では、NPDU を用いて、カレント隣接 IS とデフォルト隣接 IS 間で、エリア内移動通知 PDU とそれに対するエリア内移動確認 PDU が交換されるだけであり、遅延時間は十分小さいものと考えられる。

4.4 ルーティングの整合性

DFP で使用する ES 情報の新旧判断ルールは、二つの情報の新旧を必ず決定するものではないが、フォワーディングのループが生じないことを容易に示すことができる。図7は、NPDU があて先 ES へ到達するまでのフォワーディングの様子を表している。

NPDU がキャッシュを保持する IS に到達すると(①)、あて先が書き換えられ、カレント隣接 IS に到達する(⑧)。しかし、IS のキャッシュ情報が古い場合には、以前のカレント隣接 IS に到達する(④)。この場合は、自局のキャッシュ情報を使わず、あて先をデフォルト隣接 IS に書き換えてフォワードする(⑥)。

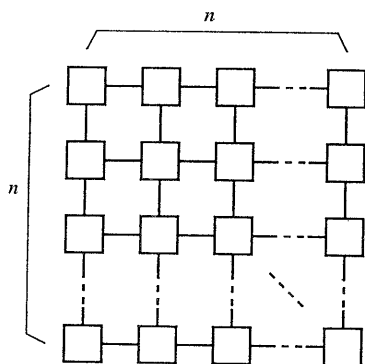


図6 格子状ネットワークポロジ
Fig. 6 Grid network topology.

その際、カレント隣接 IS がこの NPDU をインターセプトする場合もある(⑨)。NPDU がキャッシュを保持する IS を経由することなく、デフォルト隣接 IS に到達した場合(②)、デフォルト隣接 IS は、自局の保持する ES 情報にしたがって、カレント隣接 IS であてにフォワードする(⑦)。このとき、ES 情報が正しくなければ、カレント隣接 IS に到達しない(⑤)。NPDU フォワーディングの際にカレント隣接 IS がインターセプトする場合もある(③)。以上で NPDU のあて先の書き換わるパターンはすべて網羅されている。

この図から、最大2回のあて先書き換えでデフォルト隣接 IS かカレント隣接 IS に NPDU が到達することがわかる。少なくとも、その後は、キャッシュによるあて先書き換えはおこらないため、無効キャッシュ残存によるループは生じない。図中の⑤が発生する可能性として次の二つが考えられる。

- 1) ES の移動によりカレント隣接 IS が変わった。
 - 2) ES が瞬時に多数の IS を移動したため、移動通知の到着順序が入れ替わった。
- 2) の場合には、3.4 節のデフォルト隣接 IS の動作 5) によりデフォルト隣接 IS が交替することで対処できる。1) の場合、⑥の書き換えによって再びデフォルト隣接 IS に戻ったとき、ES が伝搬遅延以下の間隔で移動し続けない限り、NPDU が再び⑤で以前のカレント隣接 IS へ戻されることはない。

4.5 ES の拡張不要性

Carlberg²⁾ の手法では ES-IS プロトコルを拡張して、移動しない ES の送信する ESH とは別に、移動する ES が送信するハロー PDU を定義し、デフォルトアドレスを IS に通知させる。しかし、DFP では、ES の移動をサポートするために必要な所在管理や NPDU のフォワーディングは IS の機能として実現される。そのため、ES のソフトウェアを拡張する必要がない。

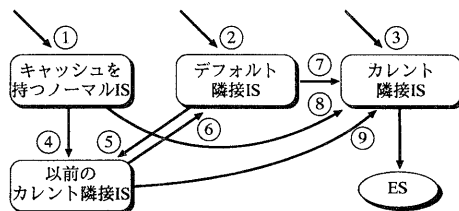


図7 PDU フォワーディンググラフ
Fig. 7 PDU forwarding graph.

4.6 既存 IS との混在可能性

3.3節で述べたように、DFPを実装しているISは、既存のIS-ISプロトコルのみを実装しているISと相互運用が可能である。これによって、既存の有線ネットワークで構成されたエリア内に移動体を収容することが可能となり、既存ネットワークからの移行が容易となる。

4.7 他のエリアからの独立性

移動体情報はエリア内で交換される。つまり、他のエリアからは通常のIS-ISプロトコルが動作するエリアとして見え、ISの拡張は必要としない。これにより、現状のOSIのプロトコルを使用したネットワークにおいて他のエリアに影響を及ぼさず、あるエリア内で移動体対応のプロトコルを採用することが可能となる。エリア内情報付きPDUはエリア外に出ていく可能性があるため、エリア内の情報が漏洩すると困る場合は、エリア境界においてNPDUのオプションフィールドをはずすことが望ましい。エリア内情報付きPDU機能を停止することによって、他エリアへの影響をまったくなくすることも可能である。エリア内情報付きPDU機能はES情報の拡張によりルーティング効率を上げるために使用するものであって、この機能がなくてもDFPにおける移動体通信は可能である。

5. おわりに

OSI環境を実現するエリア内で、移動体通信を効率よくサポートするためのプロトコルとしてDFPを提案した。カレント隣接ISとデフォルト隣接ISという状態を導入し、移動体の現在地に関する情報をブロードキャストせず、この二つのIS間で交換することで、トラフィック量の問題を改善できることを示した。また、ES情報を他のISがキャッシュに保持することで、データPDUのフォワーディングの効率を上げることが可能となり、制御PDUとのトータルのトラフィック量においても、IS-ISプロトコルよりも低減できることを示した。さらに、古くなったES情報の更新にブロードキャストを用いず、各々のISごとにローカルに更新、削除を行ってもフォワーディングにループが生じないことを示した。特に、ESを拡張する必要がなく、エリア内で既存の機器との混在が容易であり、他のエリアに影響を及ぼさないような運用が可能であるという点において有用と思われる。

謝辞 本研究に対し貴重なコメントを頂いたWIDE

プロジェクトの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) Callon, R.: TCP and UDP with Bigger Addresses (TUBA), A Simple Proposal for Internet Addressing and Routing, RFC 1347 (1992).
- 2) Carlberg, K.G.: A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems, *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 159-164 (1992).
- 3) Hedrick, C.: Routing Information Protocol, RFC 1058 (1988).
- 4) INTAP: LAN 下位層実装規約書, OSI 実装規約, Vol. 8 (1991).
- 5) Ioannidis, J., Duchamp, D. and Maguire, G. Q., Jr.: IP-based Protocols for Mobile Inter-networking, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp. 235-245 (1991).
- 6) ISO: 8473 Draft, Information Processing Systems—Data Communication—Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (1992).
- 7) ISO: 9542 Information processing systems—Telecommunications and information exchange between systems—End system to Intermediate system routing exchange protocol for use in conjunction with the Protocol for providing the connectionless-mode network service (ISO 8473) (1988).
- 8) ISO/IEC JTC 1/SC 6: N 6217: 9542/TC 1—Information processing systems—Telecommunications and information exchange between systems—End system to Intermediate system routing exchange protocol for use in conjunction with the Protocol for providing the Connectionless-mode Network Service—Technical Corrigendum 1 (1990).
- 9) 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).
- 10) Moy, J.: OSPF version 2, RFC 1247 (1991).
- 11) Tanaka, R. and Tsukamoto, M.: A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area, *Proc. IEEE International Conference on Network Protocols*, pp. 64-71 (1993).
- 12) Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M.: A Network Architecture Providing Host Migration Transparency, *Proc. ACM-SIGCOMM*,

pp. 209-220 (1991).

- 13) 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, 情報処理学会研究会報告, DPS 58-3, pp. 17-24 (1992).
- 14) Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding, *Proc. Winter USENIX*, pp. 503-517 (1993).

(平成 6 年 1 月 5 日受付)

(平成 6 年 9 月 6 日採録)



田中理恵子 (正会員)

1963 年生. 1985 年大阪大学文学部史学科卒業. ソフトウェア会社勤務を経て, 1990 年シャープ(株)入社. 1994 年 9 月より, (株)ATR 通信システム研究所に出向. 現在, 知能処理研究室に所属. シャープにてネットワークシステム等の研究開発に従事. 電子情報通信学会会員.



塚本 昌彦 (正会員)

1964 年生. 1987 年京都大学工学部数理工学科卒業. 1989 年同大学院工学研究科修士課程修了. 同年, シャープ(株)入社. 現在, 技術本部情報技術研究所に所属. 知識処理およびネットワークシステムの研究開発に従事. 1992 年度本学会研究賞受賞. 人工知能学会, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, ACM, IEEE 各会員.