

場合分けによる Mobile IP 経路最適化における一方式

小川 清(*) 澤井新(**) 飯田登(***) 渡辺 尚(**)
名古屋市工業研究所(*) 静岡大学情報学部(**) 浜松大学(***)

Mobile IP では、IP トンネルをする場合に、通信相手のノードから移動端末へはホームエージェントを経由する3角形の2辺を、移動端末から通信相手へは、三角形の1辺を通過して通信する。そのため、論理的には、3角形の1辺だけで処理した方が、経路が最適化される可能性は高い。しかし、通信路における通信量、各ノードにおける処理などにより、必ずしも1辺の方が最善とは限らない。

インターネットにおける移動は、あらかじめ、行く先が決まっている場合も多い、そこで、利用の状況に応じて、移動先を登録し、経路を選択する方法とを組み合わせることにより、インターネットにおける移動対応サービスの向上を図る。

A Mobile IP expansion on pre/post-registration and selection of route optimization.

OGAWA Kiyoshi(*), SAWAI Arata(**), IIDA Noboru(***), WATANABE Takashi(**)

Nagoya Municipal Industrial Research Institute(*), Faculty of Information Shizuoka University (**),
University of Hamamatsu (***)

Mobile IP use IP tunneling from Home Agent (HA) to Foreign Agent (FA). Packets from Corresponding Node (CN) to Mobile Node (MN) routed indirectly through HA and FA. It means 2 path of a triangle. Packets from MN routed directly to CN. It is means a bypass of the triangle. By some reasons the bypass, route optimization is not always best choice.

Sometimes, people move from their home to their school or office every day. So we propose a mechanism of pre / post registration of movility. Combination of selection of route optimization and registration of mobility are good for use. It should become high quality of service.

インターネットプロトコル (IP) は、ネットワークとネットワークを継ぎ目なしにつなぐ技術である[1]。IP アドレスは、世界中で唯一のアドレスを固定的に割り当て、その機器を唯一に識別する。

インターネット接続機器の増加と、組織内と組織外の接続サービスを分離するため、プライベートアドレスの利用が増大してきた[2]。また、ネットワーク内での移動を可能にする DHCP による可変アドレスの利用も増大している[3]。

本提案では、無線通信を利用した長時間の長距離の移動に対応することを考慮し、インターネットを利用する人のニーズに応じたサービス

を供給することを検討した。

Mobile IP[4]の三角ルーティングを避けるための経路制御を最適化[5]の選択を可能にする登録方式を提案する。この登録方式は、必要な場合のみ経路制御の最適化を行う。また、IP アドレスが、固定アドレス、可変アドレス、外部アドレス、内部アドレスのいずれでも対応可能なものとし、人が判断して登録する仕組みとする。判断の自動化、学習する仕組み、そこで用いるメトリックスについても検討する。

この研究では、将来の携帯端末において、認証、課金、予約をすることを前提とし、その場合の Mobile IP の機能として、事前登録と経路

最適化の選択を可能にする方式とする。

1 用語 本研究では、RFC で提案されている用語を下記のように用いる。

- (1) ノード(Node) : ホストまたはルータ
- (2) ルータ (Router) : 自アドレス以外のパケットを受け取り、他へ転送する経路にある機器
- (3) ホスト(Host) : 自アドレスだけのパケットを受け取る機器。端末。
- (4) MN(Mobile Node) : 移動ノード (端末)。
- (5) CN(Corresponding Node) : 通信相手のノード。移動端末、固定端末の場合もある。
- (6) HN(Home Network) : MNのIPを登録したネットワーク。
- (7) HA(Home Agent) : HNにおける代理。
- (8) FN(Foreign Network) : HN以外の外部ネットワーク。
- (9) FA(Foreign Agent) : FNでIPカプセルを外す機能を持つ代理。MNに実装することがある。

2 移動と経路最適化

2.1 Mobile IP

IPトンネル[6]により、移動後の外部ネットワークにおいて、ホームネットワークと同じIPアドレスで通信を可能とする。ホームネットワークにおいてIPカプセル化を行うものをホームエージェント (HA)、外部ネットワークにおいてIPカプセルを外すものを外部エージェント (FA) という。

ソフトウェアの登録、サービスの認証、決済など、特定のIPアドレスとの通信を必要とするサービスでは、Mobile IPのIPトンネルによる通信が有効となることがある。

(1) ホームネットワーク (HN)

移動端末が HN にいる間、HA が、ルータまたは無線局に実装されていれば、CN と MN の通信は、図1のようになる。

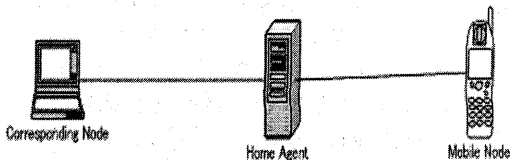


図1 CN、HA、MN 接続例。

(2) 外部ネットワーク (FN)

MN がホームネットワーク (HN) から外部ネットワーク (FN) に移動した場合、CN から MN への通信は、HA 経由で行う。FA を無線の基地局に実装している場合には、次のような接続になる。

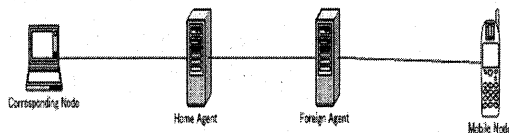


図2 CN、HA、FA、MN 接続例

Mobile IP は、ホームネットワーク (HN) から移動後の外部ネットワーク (FN) の状態と経路は次のようになる。HA が、CN と FA の経路上にいない場合には、MN から CN への通信は、FA が、CN と MN の経路上にいる場合には、FA を通過する。

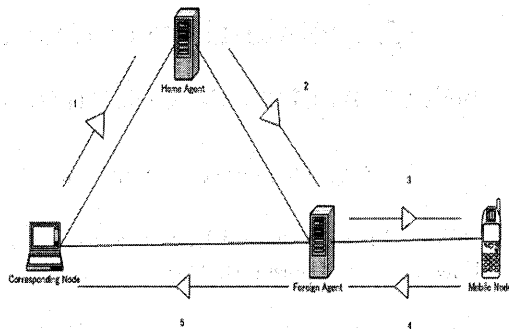


図3 三角ルーティング

HA が、CN と FA の経路上にいない場合には、CN からの通信は、HA、FA を経由する。MN から CN への通信は、FA を通過するが、HA が経路上にいない場合には、HA は通過しない。

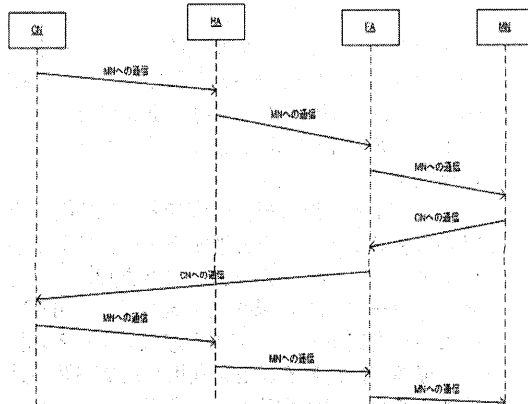


図4 CNからMNへの通信

2. 2 経路最適化

Mobile IPで、HA経由の通信では、通信にかかる場合がある。それを解決するため、CNからHAを経由せずに、FAとの間で通信する方法が提案されている[4]。最初にMNの位置を知るための情報のやり取りを除き、MNからCNと同じ経路をCNからMNへの通信で使う方法である。どのような場合に経路最適化を選択するとよいかは、決まっていない。

2. 3 想定する仮定

移動の対応方法、経路最適化には、さまざまな提案がある[9][10][11][12]。この研究では、最適化の選択方式と、事前・事後の登録方式を特徴としている。CN、HA、FA、MN間の認証については、適切な方法で行うことを前提としている。CNが移動端末である場合には、この仕様を実装する場合を想定し、境界ルータを考慮していない。経路最適化について、CN、HA、FAの3つの間で検討する。これは以下のような仮定に基づく。

(1) MNとCNの経路上にHAがない場合

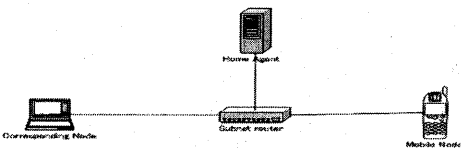


図5 HAが、経路上にいない場合

この研究では、HAは、簡略化のため経路上にある場合を想定する。HAがCNとMNの経路上にいない場合は、経路を考える場合は、HAをHNのサブネットルータと考える。MNがいなくなった場合に、サブネットルータがHAにMNの packets を転送するか、HAが、MNのIPを代理で受け取る方法を取るが、経路最適化には影響を与えない。

(2) 移動端末がFNに移動した状態で、FAがCNとMNの経路上にいるとは限らない。本研究では、簡略化のために経路上にいるものとして考察する。FAがCNとMNの経路上にいない場合は、HAの場合と同様、経路を考える場合は、FAをFNサブネットのルータと考える。

(3) FAをMNに実装した場合

この場合は、図のように、経路を考える上では、FNのサブネットルータをFAと考えることができるため、以下の考察では区分しない。ただし、事前登録に基づく、FAにおけるキャッシュ、代理応答は実現できない。

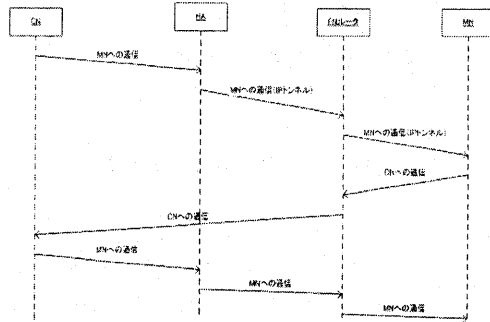


図6 MNにFAを実装した場合

3 場合分けの種類

3. 1 到達時間による選択

CN、HA、FAの間の経路の状態を場合わけするため、3個所の離れた経路の到達までの時間を計り、3つの地点間の到達時間を測定した。

事例1は、ABCの3地点、事例2は、ACDの3地点である。

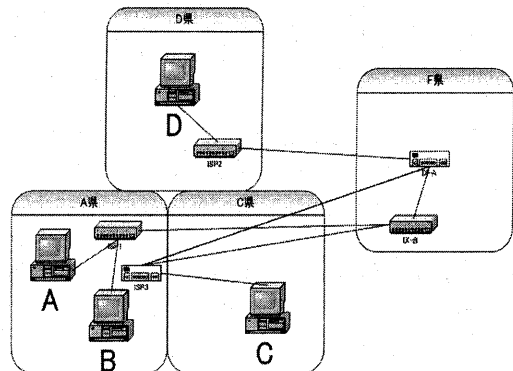


図7 ABCD相互接続図

(1) 事例1

AとBは、同じ県の中で、他県の接続地点(IX)を経ることなく接続している地点である。AとC、BとCは、別々の県に存在する地点で、それ以外の県の接続地点(IX)を経由して接続している。

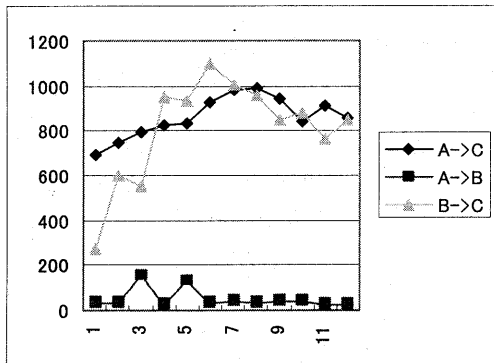


図8 事例1 ABC間の経路の時間

事例1は、2つの地点が、他の地点に比べてはるかに近くに存在する場合である。ABCの各地点間を、pingで測定したものが図8である。時間(ms)を12個値をとった。CNをA、HAをB、FAをCとして考えると、CNからHA経由で通信した場合をAからBからCへの時間を合計したものとした。FAからCNに直接通信した場合を、AからCへの直接の時間とした。12個の値のうち、最大値と最小値を除外し、平均を取り、AC直接の値と、B経由の値を比較したのが表1である。

CN	HA	FA	CN->HA->FA(2辺)	FA->CN直接(1辺)	比(2辺/1辺)
A	B	C	904.25ms	929.90ms	0.972

表1 事例1-1 A->Cにおける2辺と1辺

これは、CN(A)がHA(B)の近傍にいる場合である。CNとHAが近い場合には、2辺を経由しても大きな差がない。この場合はHAを経由した方が、通信時間が短くなっている。これは、通信路の混雑状況、通信路上の機器の処理速度、通信路の契約上の帯域保証なども影響している可能性がある。

CN	HA	FA	CN->HA->FA(2辺)	FA->CN直接(1辺)	比(2辺/1辺)
B	A	C	975.45	8587	1.1359
A	C	B	1788.60	45.55	39.265

表2 事例1-2 ABCにおける組み合わせ

「B->C」も同様に、CN(B)が、HA(A)の近傍

にいる場合である。「A->B」は、CN(A)がFA(B)の近傍にいる場合である。「A->C」は、「C->A」と考えれば、HA(B)が、FA(A)の近傍にいる場合と考えることができる。「B->C」も同様に、「C->B」と考えれば、HA(A)が、FA(B)の近傍にいる場合と考えることができる。

現在の経路制御の実情では、例えば、BからCに経路制御する場合、Aを経由した方が早い場合であっても、インターネットプロバイダの契約上、あるいは経路制御を簡単にするために、Aを経由しない方法が選択されていることによることも考えられる。

CNとFAが近く、HAがCN、FAのいずれからも離れている場合に、経路の無駄が大きい。上記の例では、約40倍である。

(2) 事例2

AとC、AとD、CとDは、別々の県に存在する地点で、それ以外の県の接続地点(IX)を経由して接続している。

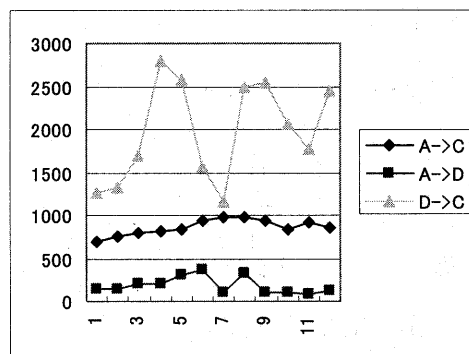


図9 事例2 ACD間の経路の時間

CN	HA	FA	CN->HA->FA(2辺)	FA->CN直接(1辺)	比(2辺/1辺)
A	D	C	2265.46	929.906	2.436225
A	C	D	1117.306	2078.06	0.537668
C	A	D	3007.966	187.4	16.05105

表3 事例2 ACD間における2辺と1辺

事例2は、ACDのいずれもが、離れた場所にいるが、それぞれの時間に大きな違いがある場合である。

「A->D」は、2辺を経由した方が高速になっているのは、1辺では、A、Dに接続しているインターネットプロバイダ間の接続地点遠方で

込み合っているためと考えられる。

CN,HA,FAの関係を、経路として考えると、5つ場合がある。

- 1) HA が CN と FA の経路上
- 2) CN が HA の近傍
- 3) HA が FA の近傍
- 4) CN が FA の近傍
- 5) HA が、CN と FA の経路上になく、相互に離れている

近傍とは、ここでは2つの機器が、数十m秒の範囲内にあり、経路が長くない場合で、他の経路と比べて1桁近く時間が短い場合とする。

CN, HA, FAが離れていても、HAが、CNとFAの経路上にある場合には、距離が離れていても、無駄は少ない。HAがCNとFAの経路上とは、CNから移動後のMNへの最適経路線上にHAがある場合またはMNがHAがあるネットワークのサブネットワークにある場合が考えられる。

経路上にある場合は、HAがインターネットプロバイダにある場合、インターネット接続として、他のネットワークの接続地点がある場合、2つ以上のインターネットプロバイダと2箇所以上で接続しており、一方の接続先からCNが接続し、もう一方からMNに接続する場合は、具体的な例としてある。

いずれの場合も、経路の組み合わせによって、大きな差が出る。しかし、2辺の方が、1辺よりも時間がかかる場合がある。

(3) 選択方法

CNがHAの近傍で、HAがFAの近傍にいる場合は、CNとFAが近傍にいると考え、これらの組み合わせと、選択方法は、表4のようになる。

	通信相手延長上	CN,HA近傍	相互に離れている	CN,FA近傍
HAとFAが離れている	HA経由	HA経由	場合による	経路最適化
HA,FA近傍	HA経由	HA経由	-	HA経由

表4 通信相手の位置関係による経路の選択

(4) メトリックス

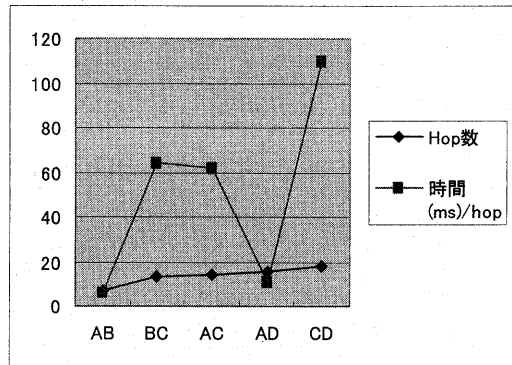


図10 HOP数と1HOPの平均時間

hop数が多い(CD=18)場合は、時間がかかる場所を経由する可能性が高いため、hop数あたりの経過時間は長くなる傾向がある。しかし、hop数が多くても(AD=17)、その経路に、時間のかかる場所が少ない場合には、hop数あたりの経過時間は1桁以上小さくなる場合がある。これは、64Kbpsの回線、1.5M, 10M, 100Mと、回線の速度に、100倍以上の違いがあること。スイッチングハブのように、高速で切替が可能な経路を通過している場合がある。(ここでは、スイッチングハブは、hop数に計上していない。)

そのため、経路最適化の判断の際のメトリックスとしてはhop数よりも、経路の経過時間を用いることとする。

hop数と経過時間については、経路の選択方式を実装しながら、調査を続ける。

ホップ数と経過時間は100倍以上の違いがある。これは、均一な通信速度におけるサブネット上のホップ数と、異なる通信速度、処理速度の機器が繋がったインターネットにおけるホップ数では、そのため、ここでは、メトリックスとして、経過時間を用いる。

ただし、同一通信速度、同一処理速度、同一通信量の場合には、hop数が少ない方が、到達時間は少ないため、均一なネットワークにおけるメトリックスとしては有効である。事前登録の場合には、到着するまでに、最適化を選択するかどうか、自動判定をできるようにすることを検討する。Pingによる応答がある場合には、これを用い、そうでない場合には、認

証にかかる時間を用いるものとする。

3. 2 滞在時間による移動の場合分け

ひとつのネットワークに滞在する時間の長さにより、その時間では、サービスを受ける種類を限定したり、相手を限定することが考えられる。

短時間しか滞在しない場合には、HN において提供していたサービスを FN において提供する必要がない場合もある。MN から積極的にサービスを提供したい場合には、CN との間の認証のみで、直接通信することが考えられ、HA,FA を経由した通信を行う必要があるとは限らない。

この場合には、HA からの転送そのものを行わない方が、無駄な通信を防ぐことができる。滞在時間が短いかどうかは、利用者による登録による。

3. 3 データ量、通信回数による場合分け

経路から外れていても、通信回数が少なく、通信量も少ない場合には、経路最適化を選択しない方がよい場合も考えられる。

	通信回数少	通信回数中	通信回数多
データ量小	HA 経由	経路判断	経路最適化
データ量中	経路判断	経路最適化	経路最適化
データ量大	経路最適化	経路最適化	経路最適化

表5 データ量と通信回数

データ量小は、1回の通信量が1パケットで終了するようなものを指す。データ量中は、1回の通信量が100パケット程度のものを指す。データ量大は、10000パケット程度のものを指す。通信回数少は、日に1回程度。通信回数中は、日に100回程度、通信回数大は、日に100000回程度の接続を指す。

データ量と通信回数は、必ずしも直行する概念ではなく、送信方法によって異なる。

これらの判断方式は、CN およびサービスを指定する方式とする。データのやり取りにより、学習する方法についても検討する。

3. 4 移動先を知られたくない場合

通信相手に移動先を知られたくない場合には、経路最適化を行わず、HA に代理転送してもらう。これは、CN,サービスを登録することにより、実現する。誰にも移動先を知られたくない場合には、すべてのCN に対して、経路最適化を行わないものとする。

3. 5 場合分けの選択

場合分けは、CN,HA,FA の時間的距離と、CN,サービスの対応の可否を登録することにより、判定する。時間的距離を測定する機能をHA,FA に実装することにより、自動判定を行うことも可能にする。

time.list は各地点間の通信に要する時間のリスト、gettime は通信間の時間の測定、near はリスト・測定に基づく近傍かどうかの判定、equal は2辺と1辺の値が近いかどうかの判定、tri.list は最適化を選択しないことを登録したリスト、tri()は最適化しない処理、opt()は最適化する処理である。

最適化しない条件を優先して判定する方法として、図11の方法を取る。

```

Select()
{
  if NULL= =time.list(HA,FA,CN)
  gettime(HA,FA,CN)
  if TRUE==near(HA,FA) tri();
  else if TRUE==near(CN,HA) tri();
  else if TRUE==equal(tri(), opt()) tri();
  else if TRUE==near(CN,FA) opt()
  if TRUE = =tri.list(CN) or tri.list(service)
  tri();
}

```

図11 場合分けの選択順序

4 登録方式

この提案は、基本機能と拡張機能に分ける。

4. 1 基本機能

(1) 登録方式 (事前・事後)

主な登録内容は、表6の通りである。事前にFA の情報が分かっている場合には、HA, MN の情報をFA に登録するとともに、HA にFA

の情報を登録する。

登録先	登録対象	登録内容
FA	HA	IPアドレス
FA	HN	サブネットマスク
FA	HN	デフォルトゲートウェイ
FA	MN	IPアドレス in HN
HA	FA	IPアドレス
HA	FA	サブネットマスク
HA	FA	デフォルトゲートウェイ

表6 登録内容

上記以外に、HAに登録する情報としては、HAのネットワークから離脱する予定時間（過去の時間の場合は、離脱した時間。）、FAのネットワークに到着する予定時間、FAを離脱する予定時間、次のFAのネットワークに到着する予定時間、次のFAを離脱する予定時間、HAに到着する予定時間を場合によって登録できるものとする。

FAに登録する情報としては、HAを離脱する予定の時間、FAに到着する予定の時間を登録する。

MNが持ち歩く情報としては、HAのIPアドレス、FAのIPアドレス（行く先のIPアドレスがわかっている場合）がある。

(2) 経路最適化の選択

経路最適化の選択では、経路最適化の選択の有無、経路最適化を選択する相手、経路最適化を選択しない相手、経路最適化を選択するサービス、経路最適化を選択しないサービス経路最適化の自動判定の範囲を登録できるものとする。

4. 2 拡張機能

(1) キャッシュ対応

事前に登録した場合に、HAからFAへのIPの事前転送を行う機能を想定する。Pingへの応答など、対応するサービスと、事前転送の有無、FAにおける代理応答の有無を設定する。

(2) プライベートアドレス対応

HN、FNの一方または両方でプライベートアドレスを利用している場合に、登録する。HN

とFNにおいてIPアドレスが衝突する場合がある。

登録先	登録内容
HA	MNのMACアドレス
HA	FN外部ゲートウェイのアドレス
HA	FN外部ゲートウェイまでの経路
FA	MNのMACアドレス
FA	HN外部ゲートウェイのアドレス
FA	HN外部ゲートウェイまでの経路

表7 プライベートアドレスのための拡張

(3) DHCP対応

HN、FNの一方または両方でDHCPを利用するかどうかを登録する。HN、FNにおいてIPアドレスが衝突する場合がある。

登録先	登録内容
HA	HN、FNでのDHCP利用の有無
FA	HN、FNでのDHCP利用の有無

表8 DHCP対応の拡張のデータ

(4) DNS対応

HN、FNにおいて、ホスト名が衝突する可能性がある。この場合には、FNのドメイン名に、HNのドメイン名を付加したものを、暫定ホスト名として利用することを想定する。[7][8]

登録先	登録内容
HA	FAホスト名
HA	FAホスト名（ドメイン名付）
HA	FA DNSプライマリサーバ
HA	FA DNSセカンダリサーバ
FA	MNホスト名
FA	MNホスト名（ドメイン名付）
FA	HN DNSプライマリサーバ
FA	HN DNSセカンダリサーバ
MN	ホスト名
MN	ホスト名（ドメイン名付）
MN	暫定ホスト名

表9 DNS対応のための拡張

4. 3 動作

(1) 事前にFAのIPアドレスがわかっている場合

MNから、移動先のネットワークに移動登録が可能か問い合わせる。

移動先のネットワークにFAが実装されてい

れば、FA が MN に対応する。FA は、MN の IP アドレスにより、対応するつもりがあれば、ACK を返す。対応するつもりのない MN またはネットワークからの応答には NAK を返す。MN から、移動先のネットワークに到着予定時間を送る。

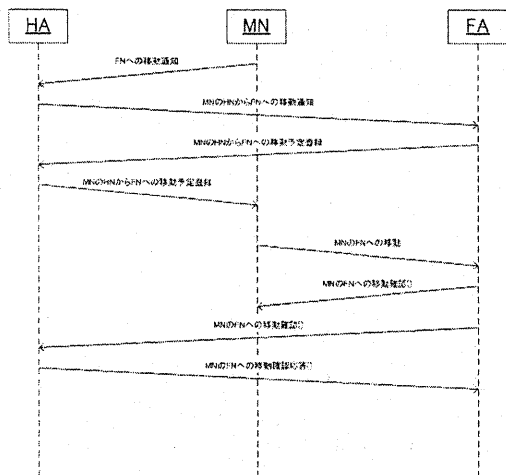


図 12 事前登録

(2) 事前にFAのIPアドレスを問い合わせ、HAに登録する場合

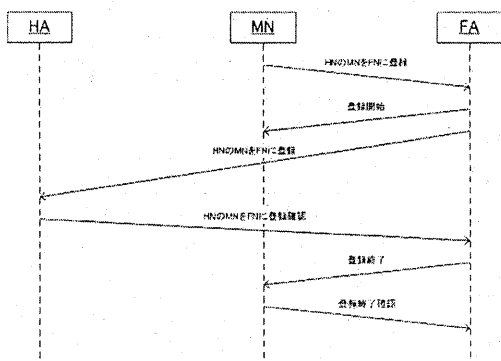


図 13 FAに問い合わせで登録

(3) 事後登録

事後登録は、FA に問い合わせで登録する場合と同様、FA に登録し、FA から HA に登録することとする。

5 まとめと今後の課題

経路最適化を選択するための、場合分けの種類とメトリックスを分類し、事前、事後登録において用いる方式を提案した。経験的な目安を

示したが、どの場合に経路最適化し、どの場合に経路最適化しないかは、実装及びシミュレーションに基づいて検討する予定である。

パケットの到達までの時間、FNにMNが滞在する時間、通信回数、データ量について、どのような値で判定するとよいか、これらの値の組み合わせによって、生じる現象を確認し、便利に使える方式を検討する。

登録内容については、どの項目が必須であるか、複数の項目の組み合わせで、何を優先するかの判定を行う。

参考文献

- [1] Internet Protocol, RFC791, IETF, 1981
- [2] Address Allocation for Private Internets, RFC1918, 1996
- [3] Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), RFC2131, IETF, 1997
- [4] Charles Perkins, IP Mobility Support, RFC2002, IETF, 1996
- [5] Charles Perkins, David B. Johnson: Route Optimization in Mobile IP; draft-ietf-mobileip-optim-10.txt, Nov 2000
- [6] IP Encapsulation within IP, RFC2003, IETF, 1996
- [7] Domain Names – concepts and facilities, RFC 1034, IETF, 1987
- [8] Domain Names – implementation and specification, RFC1035, IETF, 1987
- [9] 村上慎吾, 木村成伴, 海老原義彦, 境界ルータを用いた Mobile IP の経路最適化に関する研究, MBL 研究会, 1999
- [10] 舌間一宏, 寺岡文男, 移動指向ネットワークアーキテクチャの設計と実装, MBL 研究会, 1999
- [11] H. Ohnishi, Y. Takagi, Mobile IP Border Gateway, IETF draft-ohnishi-mobileip-mbg-00.txt, 2001
- [12] Rhandeev Singh, Y.C.Tay, W.T.Teo, S.W.Yeow, RAT: A Quick (And Dirty?) Push for Mobility Support, Proceedings of Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1999