

## Mobile IP における経路最適化選択の検討

澤井新† 小川清\* 飯田登\*\* 渡辺尚††

†静岡大学情報学研究科 \*名古屋市工業研究所 \*\*浜松大学 ††静岡大学情報学部

近年の急速な移動計算機技術の向上に伴い、移動端末よりデータを送受信する機会が増加してきた。しかし、移動をサポートするための Mobile IP プロトコルには問題点が存在する。問題解消のために経路最適化拡張が提案されているが、非効率になることがある。我々は登録を利用した最適経路選択方式を提案している。最適経路選択方式により、より高速なデータ転送が行える経路を選択し、そして、登録方式により、効率的な選択の実行を目指している。本稿では、提案方式の移動環境での登録項目について考察し、選択方式の処理手順を決定する。

## Study on Selection of Route Optimization in Mobile IP

SAWAI Arata† OGAWA Kiyoshi\* IIDA Noboru\*\* WATANABE Takashi††

†Graduate School of Information,Shizuoka University \*Nagoya Municipal Industrial Research Institute

\*\*University of Hamamatsu ††Faculty of Information,Shizuoka University

As a result of the rapid advancement of computer technology, it becomes more popular to use mobile computers to communicate with others. Nevertheless Mobile IP which supports mobility has some problems, and Route Optimization in Mobile IP which has been proposed to solve the problems still causes inefficiency. Our proposal, Selection of Route Optimization in Mobile IP with Pre/Post Registration, has possibility of improvement. Our protocol aims to select the optimum route by Selection Method and reduce their costs by Pre/Post registration on The Internet. In this paper, we define what information to register in mobile environment and clarify the process of the selection method in our protocols.

### 1. はじめに

近年の計算機の小型化、高性能化に伴い、持ち運び可能な計算機の普及が進み、自宅、仕事場、外出先など様々な移動先での移動計算機の使用の機会が増加している。しかし、インターネットにおける標準的なプロトコルであるインターネットプロトコル(IP)は、コンピュータの動的な位置移動を考慮していない。そこで、端末の移動をサポートするために、Mobile IP が IETF により提案されている[1]。Mobile IP は、移動端末がインターネット上の接続点を変更しながら移動することを考慮し、移動ノードと通信相手の間の透過的

な通信を可能にする。しかし、Mobile IP には、通信相手から送信されたパケットが、一度 HA(Home Agent)を経由する三角経路問題があり、データが転送される経路は冗長化する。そのため、冗長経路解消を目指し Mobile IP 経路最適化拡張プロトコルが提案されている[2]。しかし、Mobile IP 経路最適化においても問題点が存在し、データ転送速度や効率が悪化することがある。

そこで我々は、事前事後登録による Mobile IP 経路選択方式を提案し、より高速で効率のよいデータ転送を目指している[6]。

本稿では、主な提案である事前事後登録方式と経路選択方式について説明し、登録方式を利用できる環境が想定できるか考察する。その後、登録項目の設定を行い、それぞれの項目による選択結果について説明する。さらに、経路選択方式の手順とメッセージフローを明らかにし、経路選択方式の動作を決定する。最後に、提案方式における課題点について述べる。

## 2. 関連研究と提案方式

本章では、Mobile IP 基本プロトコルと Mobile IP 経路最適化の動作について説明してから、提案方式で考慮すべき課題点を指摘する。その後、我々の提案方式の目的について述べる。

### 2.1 Mobile IP 基本プロトコルの動作

Mobile IP の動作を図 1 に示す。移動ノード(MN)が移動を行うと、MN は Foreign Agent(FA)から、現在の MN の位置を示す気付アドレスを取得する。MN はその気付アドレスを HA へ登録する。MN とデータの転送を行う通信相手(CN)は、ホームアドレスへ向けて通常の手順で IP データグラムを送信する。HA は MN 宛のパケットを代理受信し、カプセル化したのち、気付アドレス宛にトンネリングする[3]。FA はそれをデカプセル化し、MN へ転送する。MN から CN へのパケットは通常通り配送される。

本稿では、FA は移動先で移動のサポートをするルータ、HA はホームネットワークで移動をサポートするルータと定義する。

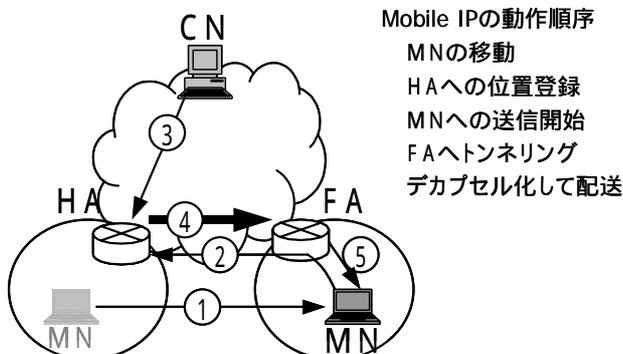


図 1 : Mobile IP の動作

### 2.2 Mobile IP 経路最適化の動作

Mobile IP 経路最適化の動作を図 2 に示す。経路最適化では、MN の気付アドレスを HA だけでなく CN にも登録し、CN が FA へ直接通信することを可能にする。データを送信したい宛先に対応する気付アドレスが、キャッシュに存在するならば、CN は HA を経由させず、気付アドレスへ自分でトンネリングする。もし、キャッシュに存在しないのならば、Mobile IP の動作と同様に、ホームアドレス宛に、データグラムを送信する。それを受信した HA は CN が気付アドレスを知らないと判断し、MN の現在の気付アドレスを CN に知らせるために、登録更新(Binding Update)を送る。登録更新により MN の気付アドレスをキャッシュした CN は、その後は、FA へ直接データをトンネリングする。

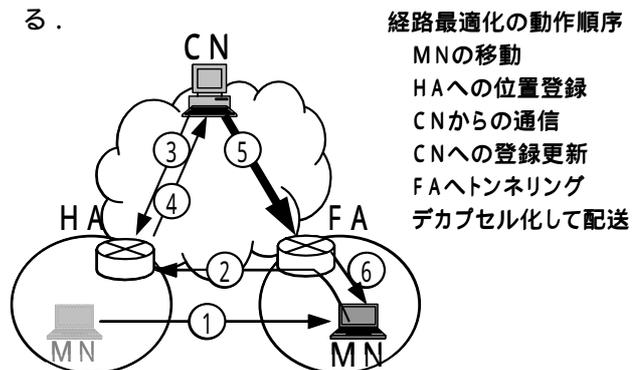


図 2 : 経路最適化の動作

### 2.3 Mobile IP 基本プロトコルの問題点

Mobile IP 基本プロトコルでは、通信相手からのデータがすべて HA を経由し、HA から MN の移動先へトンネリングされるため、経路が冗長になる。

また、HA に各移動ノード宛のトラフィックが集中し、さらにカプセル化の処理を行う必要があるため、HA の負荷が大きくなり、通信速度が低下する。

### 2.4 Mobile IP 経路最適化の問題点

第一の問題は、プロトコルオーバーヘッドにより生じる。経路最適化では、HA だけでなく CN へも位置登録を行う。位置登録は定期的な更新を必要とするため、CN への通信が発生する。また、頻繁な移動の際には登録更新をその都度 CN 宛に送る必要がある。ま

た、経路最適化を行うためには、CN と認証を行う必要がある。しかし、すべての CN と HA、CN と MN がすでに鍵を共有しているとは仮定しにくい。共有鍵がないときには、公開鍵を用いた認証方式も利用可能だが、鍵交換の処理によりオーバーヘッドが発生する。

このように、経路最適化を行うと、Mobile IP 基本プロトコルと比較して、上記のオーバーヘッドが増加する。MN と CN との通信回数、通信量が少ない場合や経路冗長度が低い場合には、制御パケットのやりとりによるオーバーヘッドが、三角経路問題解消の効果を打ち消し、基本プロトコルより非効率的になってしまう可能性がある。

次に、最適化経路の伝送速度が、HA 経由の経路よりも常に高速ではない点が挙げられる。回線の混雑具合、中間ルータの処理速度、ISP の経路選択方針、契約上の制約等の理由により、最適化経路の転送速度が HA 経由より遅い場合がある。

最後に、プライバシーの問題をあげる。経路最適化では、通信相手に気付アドレスを伝えるため、現在の MN の移動先を知られることになる。プライバシーの面から見てこれは好ましくない。

## 2.5 提案方式：登録を利用した経路選択方式

我々は、問題点で述べた点について考慮し、登録方式と最適化経路選択方式の2つの方式を提案している。経路選択方式では、HA 経由の経路と最適化経路におけるデータ転送速度、転送効率の比較、選択を行い、より高速で効率的な転送を目指す。加えて、登録方式により、経路選択に有用な情報を登録し、より効率的に、的確な経路で通信を行うことを目指している。

## 3. 登録方式

登録方式では、経路選択に有用な情報を HA や移動先 FA に通知し、効率的で的確な経路選択をサポートする。登録方式には、FA に移動する前に情報を登録する事前登録方式と、FA に到着後登録する事後登録方式がある。

## 3.1 想定環境

一般的な人の日々の行動について考察してみる。多くの人が、毎日家から仕事場や学校に行く。そして、曜日ごとに決定された、授業、会議、出張など、我々は移動先がある程度決定された行動をとることが多い。旅行や、学会などは、不定期な用事だが、予定は決定していることが多い。

また、移動計算機を用いてインターネットアクセスを行う場合、どこにでも接続可能であることが理想的であるが、現在はそのような理想的な状況にはない。将来移動環境がより普及しても、提供者との契約や個々のネットワークのセキュリティポリシー等により、全ての移動先に接続できるような環境は望めない。そのため各人が主に接続するネットワークは、ある程度固定されることが予想される。

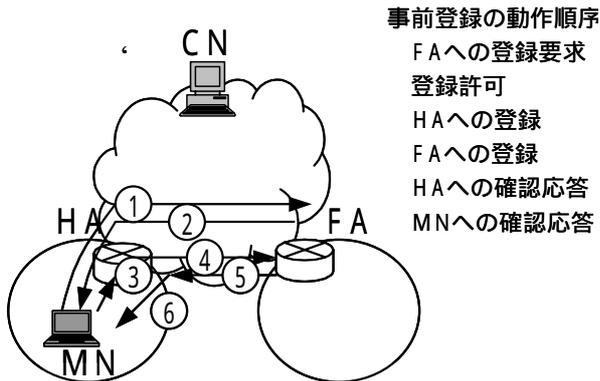
また、利用可能なネットワークにおいても、通信速度、料金などの問題により、通信量を予測できる。たとえば、通信速度が遅い外出先の環境ではメールを受け取るだけで、逆に、高速な会社でファイルをダウンロード、自宅では動画を再生するといった例がある。

以上に考察したように、移動前に、移動先、移動時間、その場所での通信量などは予め決定していることがある。また、移動後には、自分が通信したいデータ量はよりはっきりする。よって、インターネットにアクセスする場所、時間、通信量が、予めある程度登録可能だという想定は、十分妥当であると判断する。

## 3.2 事前登録

事前登録では、HA と、移動予定 FA に対し、到着予定時間、離脱予定時間、通信量、経路を固定する相手を登録する。予定時間は、ある特定の日時を指定するだけでなく、時間、曜日、週で指定できる。例えば、毎月第2、第4土曜の午後1時から午後5時まで、といったように繰り返しの利用も可能である。

図3に、登録手順を示す。最初に移動予定 FA に登録許可を求め、許可されたならば、HA を経由して登録を行う。

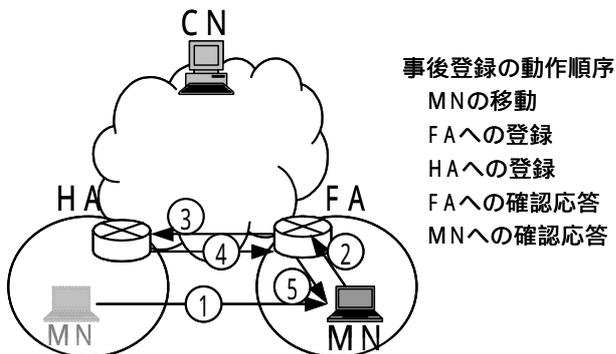


事前登録の動作順序  
 FAへの登録要求  
 登録許可  
 HAへの登録  
 FAへの登録  
 HAへの確認応答  
 MNへの確認応答

図3：事後登録の動作

### 3.3 事後登録

事後登録では、移動先に到着した時、または滞在中に登録を行う。新たに予定が決定した場合は、その都度登録する。登録項目は、到着時間、離脱予定時間、通信量、経路を固定する相手である。登録手順を図4に示す。事後登録では、まずFAへ登録後、HAへ通知する。



事後登録の動作順序  
 MNの移動  
 FAへの登録  
 HAへの登録  
 FAへの確認応答  
 MNへの確認応答

図4：事後登録の動作

## 4. 経路選択方式

経路選択項目の指標により、HA 経由の経路と最適化経路のうち、より効率的な経路の選択を行うのが経路選択方式である。経路選択方式には、通信確立時にも選択を行い、通信中は固定された経路を保つ通信確立時経路選択と、通信中にも動的に選択を行う動的経路選択がある。

### 4.1 経路選択項目

経路選択項目を以下に示し、登録する場合について考察する。

#### ・HA の設定

優先的に最適化選択を行いたいMNを設定し高速な転送環境を与える場合や、HA の負荷が大きくなったときに、閾値を設定して、その値を超過したら通信を経路最適化選択に変更したい場合などにHA の管理者が設定する。

#### ・通信相手

プライバシーの問題により特定のCNあるいは全てのCNと直接通信を拒否する場合、認証を行えないためHA 経由の経路を指定したい場合、CN が移動ノードでないとき既知の最適な経路を指定して登録することが可能である場合にMN, HA が登録する。

#### ・滞在時間

通常はMN が予定を登録した離脱予定時刻から到着時刻予定時刻、もしくは到着時刻を減算した値である。すぐにその移動先から離脱するという情報も登録可能とする。もし滞在時間が短期ならば、最適化の利点が少なくなるので、HA 経由になる。MN が登録する。

#### ・通信量

通信回数・データ量が少なく最適化の利点が低い場合や、多量にデータを送信するので経路選択を行いたい場合に登録する。表1にデータ量、通信回数を組み合わせた判定を示す。値はMN が登録する。

	通信回数 少	通信回数 中	通信回数 多
データ量 小	HA 経由	HA 経由	選択
データ量 中	FA 経由	選択	選択
データ量 大	選択	選択	選択

表1：データ量と通信回数

#### ・CN, HA, FA の位置関係

それぞれ2地点間のネットワーク距離を計測し、それを基に選択する。ネットワーク距離とは、現在のところ各測定区間のRTTであり、1回から数回の測定を

予定しているが、より正確な計測方法を検討中である。

FA から HA へのネットワーク距離 (FA-HA) は、定期的に登録更新パケットを利用して計測し、HA から CN への距離 (HA-CN) と FA から CN への距離 (FA-CN) は、要求がある度に計測する。以下に、選択の根拠を考察する。

#### HA-FA が近傍

最初の選択指標は HA-FA のネットワーク距離であり、HA と FA が近傍なときは、HA 経由を選択する。これは MN が、自分の HA が存在する近辺を移動している場合に多い。例えば、会社の会議室や学校の講義室に移動した時に通信するような環境であり、このような環境が発生する頻度は多いと思われる。この場合の最適化経路に対する HA 経由の経路の冗長度は低いと推定される。

#### HA-FA が遠く、HA-CN が近傍

HA と FA が離れていて、かつ HA と CN が近傍な場合であり、選択結果は HA 経由である。これは MN が、HA から離れている時に、HA の近傍にある CN と通信している場合に当たる。例えば、出張や学会、旅行先で、自宅や仕事場 (HA が存在する場所) の近くの人やサーバと通信するような環境である。このような環境では、最適化経路に対する HA 経由の経路の冗長度は低いと推定される。

#### HA-FA が遠く、FA-CN が近傍

HA と FA が離れていて、かつ FA と CN が近傍な場合は、選択結果は最適化経路である。これは、MN が移動先 FA の近辺に存在する CN と通信を行う場合である。例えば、出張、学会、旅行のため移動した先で、移動先の近くの人やサーバと通信するような環境である。このような環境の下での CN からの通信は、すぐそばに MN が存在するにもかかわらず遠くに存在する HA を経由するため、経路冗長度が高いと推定される。

#### ・経路冗長度

HA 経由の経路と最適化経路のネットワーク距離を比較し判定する。HA 経由の経路は HA-CN のネットワーク距離と HA-FA のネットワーク距離を合計したものである。3 辺のネットワーク距離は、位置関係を求める手順により計測される。現時点では、最適化経路が HA 経由の経路よりも遅い場合は、HA 経由を選択するという選択になっている。

### 4.2 通信確立時経路選択

#### 4.2.1 経路選択手順

通信の確立にあたり、CN からの通信要求からデータ転送が開始する場合と MN からの通信要求によりデータ転送が開始する場合があり、選択手順は異なる。両方の手順とも各選択段階 Select 1 から Select 5 により経路選択の判定を行っている。各選択段階で用いる選択項目を表 2 に示す。

Select1	HA の設定 通信相手 滞在時間 通信状況
Select2	HA と FA が近傍
Select3	HA と CN が近傍
Select4	FA と CN が遠い
Select5	2 辺と 1 辺を比較

表 2 : Select ごとの選択項目

#### 4.2.2 CN からの通信要求時

CN からの通信要求時の経路選択におけるフローチャートを図 5 に示す。そして、各判定までのメッセージフローをシーケンス図で示し、それぞれの動作を説明する。

#### 判定 1

CN から HA へデータグラムが到着し、そのデータグラムが MN 宛であるとき、HA は CN が気付アドレ

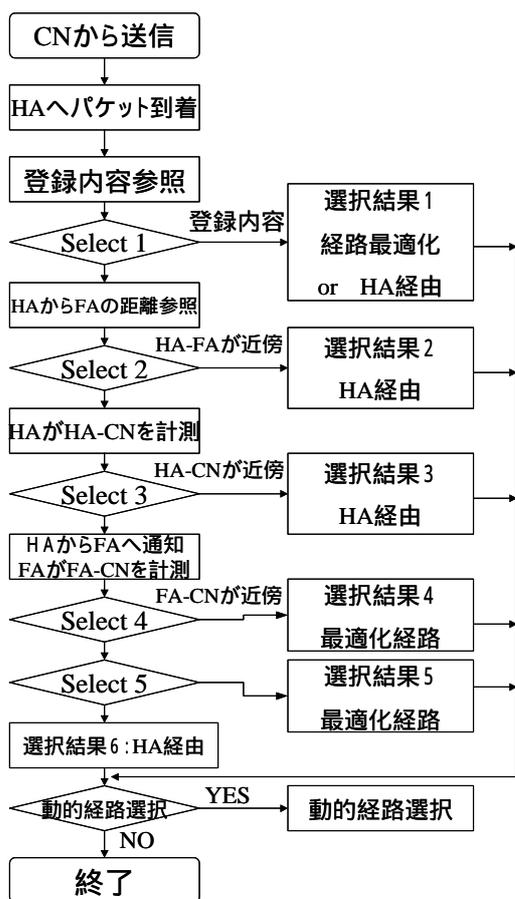


図5：CNからの通信要求時のフローチャート

スを知らないと判断する。そこで、経路最適化を行うか、それともそのまま HA 経由でデータを送信するか決定するために経路選択を行う。まず選択段階 Select 1 により HA が判定を行う。Select 1 の中の選択段階を順にたどり選択結果が決定するか判断をする。Select 1 により HA 経由を選択した場合のメッセージフローを説明する(図6)

Select 1 のあと, HA 経由の経路の場合は,そのまま

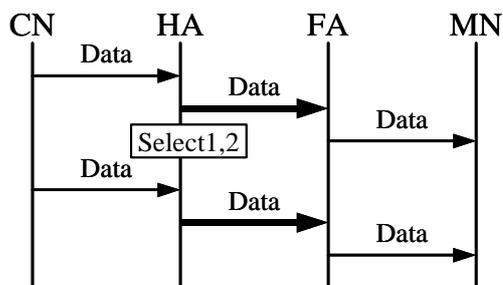


図6：Select1,2 HA経由

HA を通してデータ転送を続ける。Select 1 で判定に使用した選択項目は, HA, FA, MN が共有している項目なので FA, MN への判定結果の通知は必要ない。

次に, 最適化経路を選択した場合のメッセージデータフローを説明する(図7)。経路最適化と判断されると CN へ Binding Update が送られる。そして, 認証が成功したら, CN は Binding Update により得た気付アドレスをキャッシュし, FA へ向けて直接トンネリングを行う。メッセージフローの太い線は, データグラムがカプセル化されて転送されていることを示している。また, Select 2 では最適化と判定されることはない。

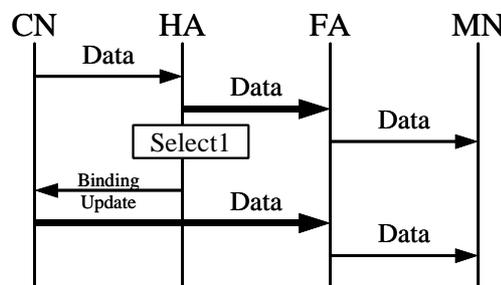


図7：select1 経路最適化

### ・判定2

判定2のメッセージフローは判定1の HA 経由のときと同じになる(図6)。判定2の選択を行う Select 2 の選択項目は, HA と FA のネットワーク距離である。HA と FA のネットワーク距離は MN が FN に到着したときから, 定期的に測定しているため既知である。判定2で決定される結果は必ず HA 経由なので判定1の HA 経由のメッセージフローと同じ流れになる。

### ・判定3

Select 3 では, HA と CN のネットワーク距離により判定を行うため, 判定の前に HA と CN の距離を測定する(Measurement)。メッセージフローでは, 簡略化のため一往復しかしていないが, 1セットの計測作業を意味している(図8)。続いて, 計測により得られた HA と CN のネットワーク距離を用い, Select 3 の判定を行う。HA と CN が近傍ならば, HA 経由が

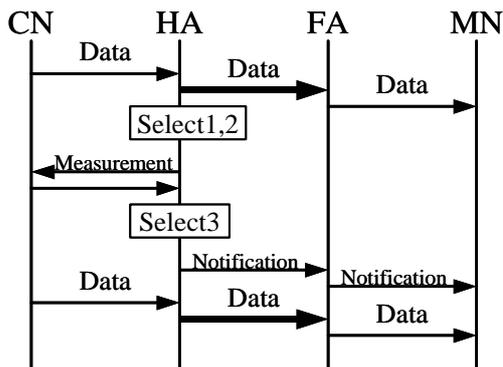


図8 : Select3 HA 経由

選択され、判定結果を FA に通知する(Notification)。FA はさらに MN に通知する。その通知には、HA と CN のネットワーク距離を記入する。Select 3 により、HA 経由の経路が選択されたので、HA は HA へ到着した MN 宛のデータグラムをカプセル化し、気付アドレスへトンネリングする。

・判定4

判定3において HA 経由が選択された場合に、FA、MN に通知を行った。FA はその通知を受け取ると、Select 4の判定を行うために、FA と CN とのネットワーク距離を計測し始める(図9)。FA と CN とのネットワーク距離が求まると、Select 4により判定を行う。FA と CN が近傍であるとき、最適化経路が選択され、FA は Binding Update を CN に送信する。認証が成功したら、CN は Binding Update により得た気付アドレスをキャッシュし、FA へ向けて直接トンネリングを行う。

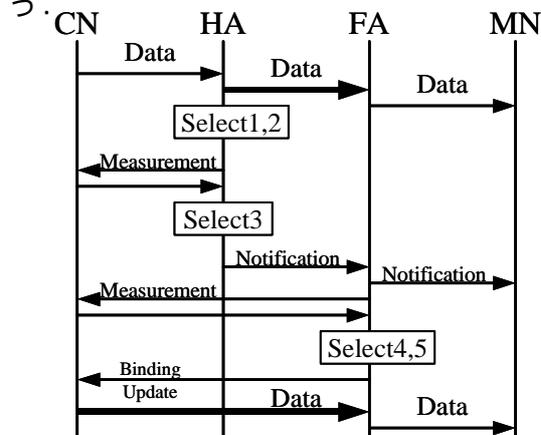


図9 : Select4,5 最適化

・判定5

判定4により FA と CN のネットワーク距離を計測したので、FA は三辺(HA-FA, HA-CN, FA-CN)のネットワーク距離を得たことになる。その値を用い Select 5の判定を行う。最適化経路が選択されると、その後も、判定4と同じメッセージフローになり、最適化経路を通してデータ転送される(図9)。

・判定6

Select 5 によって、HA 経由の経路が選択されたので、HA に通知する。HA は HA へ到着した MN 宛のデータグラムをカプセル化し、気付アドレスへトンネリングする。

4.2.3 MN からの通信要求時

MN からの通信要求時の経路選択のフローチャートを図10に示す。MN 発信時の経路選択手順では、HA-CN のネットワーク距離を測るのより先に、FA-CN のネットワーク距離を測ることになる。

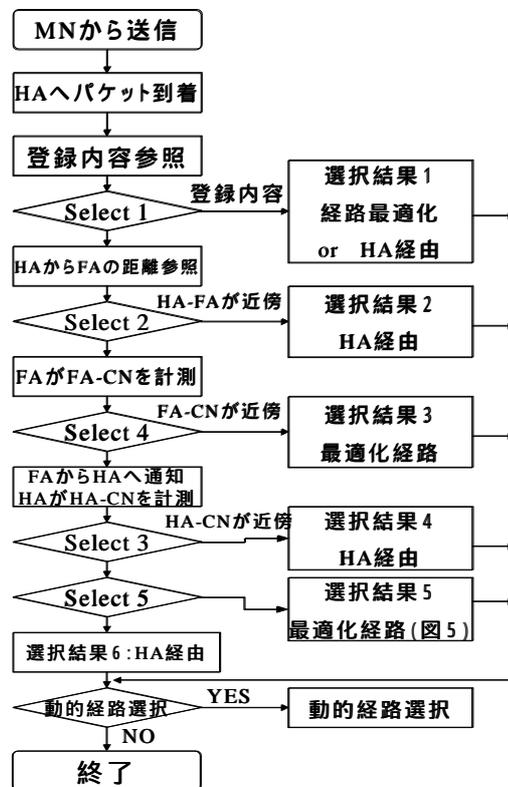


図10 : MNからの通信要求時のフローチャート

### 4.3 動的経路選択

動的経路選択では、通信確立時だけでなく、通信中においても動的に経路選択を選択する。

一度最適な経路を選択できたとしても、最適な経路は変動する。そこで、通信中に事後登録した選択項目を利用した選択や、三辺のネットワーク距離の測定による選択を行い、経路が最適になるよう変更し、より高速なデータ転送を行う。

### 5.提案方式の課題

提案方式の課題として、最初に Mobile IP や経路最適化と比較したときの実装の困難さが挙げられる。提案方式での実装対象は、HA、FA、MN の3つすべてであるのに加えて、本提案を利用するためには Mobile IP と経路最適化を実装し、さらに提案方式の実装を施さなければならない。

提案方式だけの実装の複雑さも問題である。今回決定した動作手順とデータフローについて見てみると、制御データの数が多いたことが分かる。効果をなるべく落とさず制御パケットを削減すべきである。そのためには、選択手順を簡略化することも考える。

次の課題は、選択結果の的確さである。たとえ、選択を行っても、選択結果が間違っていたら、効率が非常に悪くなる。効率を向上させるためには、各選択項目の指標が大切である。比較対象となる閾値や指標を的確に決定するためにシミュレーションや実測実験を行うべきである。選択結果の的確さとして、計測の正確さも重要である。効果の低い測定は極力さける。測定するときは、測定パケットの数と大きさも問題になる。たとえ、正確に計測できたとしても、オーバーヘッドが大きくなりすぎたら意味がない。測定パケット量が少なく、かつ正確に測定できる方法をとるべきである。そのために、登録パケットを利用して測定を行

うことも検討する。

登録件数と登録内容の質も重要である。重要な情報が多く登録してあれば、的確な選択を行いやすい。そのとき、登録内容の利用の仕方によっても効率が異なるため、登録内容を無駄にしないようにする。

提案方式では、本当に最適な経路を、最も少ない選択手順で選択できたとき、最大の効果が得られる。つまり、経路の選択の的確性と、登録方式の有効な利用が最も大きな課題である。

### 6.おわりに

本稿では、登録を用いた経路最適化選択方式において、登録方式の想定環境が適当か考察し、十分妥当な環境であると判断した。さらに、各選択項目を設定し、判断項目として利用可能である場合について述べた。次に、計測結果の意味を考察し、判断指標の一部を示した。そして、選択方式の手順を決定し必要なデータフローを求めた。

そして、最後に、提案方式の課題について考察し、今後解決すべき問題を提示した。

### 参考文献

- [1]Charles Perkins, " IP Mobility Support, " RFC2002,IETF,1996
- [2]Charles Perkins,Daved B.Jhonson, " Route Optimization in Mobile IP, " draft-ietf-mobileip-optim-10.txt,Nov 2000
- [3] " IP Encapsulation within IP " ,RFC2003,IETF,1996
- [4]Alex C.Soneran,Hari Balakrishnan., " An End to end Approach to Host Mobility, " MOBICOM 2000
- [5]Henning Schulzrinne,Elin Wedlund, " Application-Layer Mobility Using SIP, " WoWMoM'99
- [6]小川清,澤井新, " 場合分けによる MobileIP 経路最適化における一方式, " 情報処理学会 MBL 研究会,Sep 2000