

2004 年度 卒業論文

Mobile IP を利用した Access Grid の実現

提出日：2005 年 2 月 2 日

指導：後藤滋樹教授

早稲田大学 理工学部情報学科
学籍番号：1G01P010-1

石井 勇弥

目次

1	序論	5
1.1	研究の背景	5
1.2	研究の目的	6
1.3	本論文の構成	6
2	Access Grid の概要	7
2.1	Access Grid の特徴	7
2.1.1	スケーラビリティの高さ	7
2.1.2	コミュニティーの存在	8
2.1.3	コモディティ PC 上で実現	8
2.2	Access Grid の環境	9
2.2.1	ハードウェア	9
2.2.2	ソフトウェア	9
2.2.3	ネットワーク環境	10
2.3	Access Grid の使用法	10
3	Mobile IP の概要	12
3.1	用語の説明	12
3.2	概要	13
3.2.1	Mobile IP の通信方法	14
3.2.2	MN 移動後のパケット送信方法	16
4	Mobile IP を利用した Access Grid の問題	17
4.1	両者を組み合わせる意義	17
4.2	実験概要	17
4.2.1	実装	17
4.2.2	実験環境	17

4.2.3	実験方法	19
4.3	実行結果および発生した問題	19
4.3.1	MN 送信パケットの挙動	19
4.3.2	MN 受信パケットの挙動	20
5	Mobile IP を利用した Access Grid の実現と最適化	22
5.1	問題の解決	22
5.1.1	解決方法の提案	22
5.1.2	実装	22
5.1.3	実行結果	23
5.2	ハンドオフ最適化の検討	23
5.2.1	Agent Advertisement の問題	23
5.2.2	実験方法	24
5.2.3	実験結果と考察	24
6	結論	28
6.1	結論	28
6.2	今後の課題	28

図一覧

3.1	MN が Home Link にいるときの通信	13
3.2	MN は Foreign Link に移動後、 Agent Advertisement を受信	14
3.3	Registration Request を送信	15
3.4	MN が Foreign Link にいるときの通信 (Reverse Tunneling)	15
3.5	MN が Foreign Link にいるときの通信 (Triangle Tunneling)	16
4.1	ネットワーク環境	18
4.2	CN から送信されるマルチキャスト、ユニキャストパケットの経路	21
5.1	Agent Advertisement 待ちの場合のユニキャスト通信再開までに要する時間	25
5.2	Agent Solicitation を利用した場合のユニキャスト通信再開までに要する時間	25
5.3	Agent Advertisement 待ちの場合のマルチキャスト通信再開までに要する時間	26
5.4	Agent Solicitation を利用した場合のマルチキャスト通信再開までに要する時間	26

表一覧

2.1	Access Grid と H.323 のトラフィック量の比較	8
4.1	マシンのスペック	18
5.1	ユニキャスト通信再開までに要する平均時間	24
5.2	マルチキャスト通信再開までに要する平均時間	27

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

IT 技術の発展により、インターネットをはじめとする通信技術が我々の生活の中では欠かせないものとなっている。その中でもインターネットの広帯域化により、その利用法も情報収集といった小サイズのファイルのやり取りからストリーミングや動画の配信といった大容量ファイルの通信まで多岐にわたっている。インターネットを利用したビデオ会議なども行われるようになっている。

最近注目されている Grid という技術がある。Grid とは複数の広域ネットワーク上に配置された計算資源を仮想化、統合し、またネットワークを通して安全に、安定して、安易にさまざまな情報サービスを楽しむことができるようにするための次世代インフラである。その Grid によるビデオ会議システムを実現するツールに Access Grid がある。Access Grid は 1999 年に米国アルゴンヌ国立研究所で開始されたプロジェクト及びソフトウェア名であり、現在も開発、研究が進められている。

一方で、コンピュータの小型化、高性能化によりノートパソコンや PDA 等に代表される移動端末の普及が進んでいる。その背景に無線通信技術の発展があることは見逃すことができない。ケーブルを接続することなくコンピュータの移動しながらの通信が可能となり、電波の到達する範囲内では移動を意識せずに固定端末と同様の通信を行うことができる。無線環境の充実により、アクセスポイントは増え、その電波の届く範囲は拡大している。ただし、電波の範囲を超える移動があったときは一度インターネットは切断され、移動先アクセスポイントにおいて再接続という手段をとる必要がある。前述したストリーミング形式の通信を行う際などは、特に移動しながらも継続的な通信が求められる。この移動中も継続的な通信を支援する技術に Mobile IP がある。Mobile IP により移動透過性、着信可能性が提供され、移動端末上でも固定端末に近い通信を可能とすることができる。

1.2 研究の目的

ビデオ会議は固定で行われるものというのが一般的なイメージである。既存のビデオ会議システムは数多くの種類があるものの、どれも固定端末上で行うものであり、今まで会議室でしてきたことが遠隔地で同等のことができるようになったに過ぎない。しかし、もしそれを移動しながら行うことができれば、その利便性は増し、社会の生産性を向上できることは明らかである。また携帯電話上で行うテレビ電話に代表されるように、一対一通信での移動しながらの音声と映像の通信は既存の技術として存在するが、それを複数の端末間で行うためにはトラフィックなど多くの解決すべき問題を抱えている。

一台のマシンさえあればビデオ会議に参加することができる Access Grid を Mobile IP 上で利用することにより、ネットワークの負荷も考慮に入れた、また移動性に優れたビデオ会議システムを実現することができる。本論文では実際にその環境を構築することにより、そこで起こる問題を明らかにし、それに対する解決法を提案して実装する。また、よりシームレスな通信を実現するための最適化についても検討し、考察する。

1.3 本論文の構成

本論文は以下の章により構成される。

第 1 章 序論

本研究の概要について述べる。

第 2 章 Access Grid の概要

Access Grid に関する概念と基本的機能について説明する。

第 3 章 Mobile IP の概要

Access Grid に関する概念と基本的機能について説明する。

第 4 章 Mobile IP を利用した Access Grid の問題

Mobile IP を利用して Access Grid を実行した際の問題と原因を提示する。

第 5 章 Mobile IP を利用した Access Grid の実現と最適化

前章で提示した問題の解決法を実装し、ハンドオフの最適化を検討する。

第 6 章 結論

本論文の結論と今後の課題について述べる。

第 2 章

Access Grid の概要

Grid とは広域ネットワーク上の計算、データ、実験装置、センサー、人間などの資源を仮想化・統合し、必要に応じて仮想計算機 (Virtual Computer) や仮想組織 (Virtual Organization) を動的に形成するためのインフラである。スーパーコンピュータや PC のみならず、電波望遠鏡などのデバイス、それらを駆動するソフトウェアまで含めたさまざまな計算、情報資源へのアクセスを提供する。

その中で Access Grid は米国アルゴンヌ大学で開発、研究された、Grid におけるヒューマンインタラクションを支援するプロジェクト及びソフトウェア名である。基本部分はビデオ会議システムであり、これを利用することで、遠隔地間において映像や音声だけでなく、スライド、文書、高性能計算の可視化結果などを共有することができる。

2.1 Access Grid の特徴

既存のビデオ会議システムのほとんどは、標準プロトコルとして ITU-T 勧告である H.320、H.323 を使用している。より一般的なシステムである、H.323 準拠システムと比較しながら Access Grid の特徴について述べる。

2.1.1 スケーラビリティの高さ

H.323 準拠システムは一對一の通信を前提としているため、3 地点以上で通信を行う場合は多地点接続装置 (MCU: Multipoint Control Unit) が必要となる。一方 Access Grid は IP multicast を用いて映像と音声の送受信を行う。

MCU は全端末からの映像と音声を一画面に合成して各端末に送るため、各端末の映像の配置を端末上で自由に決めることができない。また地点数が多ければ多いほど MCU に負荷がかかり、一端末あたりの映像、音声の品質が落ちてしまう。MCU に障害が起きたときは、そこに接続している端末のビデオ会議そのものができなくなってしまう。

Access Grid は IP multicast により各端末からすべての端末に自分の映像と音声を送信する。そのため端末数の増減に柔軟に対応することができ、端末数の増加による負荷の影響も小さい。各端末の映像は画面上で好きなように配置することができ、よりビデオ会議に適した仕様となっている。また MCU のように、ある中央の装置が一括して処理しているわけではないので、一端末に障害が起きてても他端末は問題なくビデオ会議を続けることができる。

各端末周辺のトラフィック量を比較して表 2.1 に示す。各端末の送信するトラフィックを t 、端末数を n とする。

表 2.1: Access Grid と H.323 のトラフィック量の比較

	Access Grid	H.323
各端末周辺	nt	$2t$
MCU 周辺	–	$2nt$

トラフィック量のオーダーは共に $O(t)$ であるが、H.323 準拠システムでは MCU 周辺に $O(t)$ 、Access Grid では各端末周辺に $O(t)$ のオーダーが生じ、Access Grid の方がトラフィック量が多い。ただしその分圧倒的なスケーラビリティを得られ、耐障害性にもすぐれているのが Access Grid である。

2.1.2 コミュニティーの存在

H.323 準拠システムと異なり Access Grid は、そのシステム自体が研究プロジェクトとなっており、開発、研究はコミュニティに大きく依存している。コミュニティは世界中の開発者、使用者が議論しあうことで技術の促進を目的とするものである。活動の中心は主にメーリングリストであるが、Access Grid 自体を用いて行われることもある。

2.1.3 コモディティ PC 上で実現

最近になり H.323 準拠システムの研究、開発が進み、以前に比べてそれを利用する価格も安くなっている傾向にあるが、大企業など規模の大きい団体を除いてはまだまだ容易に使用できるものとは言えない。Access Grid は、一般にある PC 上のソフトウェアとして開発されているため、安価な機材で実現が可能である。実際に必要となる機材等のハードウェアや、使用するソフトウェアなどは後述するが、どれもわれわれが普段使用しているものや手軽に入手できるものだけである。

2.2 Access Grid の環境

Access Grid を利用するに当たって、必要なハードウェア、ソフトウェアとその環境について列挙する。

2.2.1 ハードウェア

- PC

Access Grid Node となる。普通のデスクトップマシンでよい。ディスプレイ、スピーカー、映像キャプチャ、音声キャプチャの役割を果たすのでスペックは高いに越したことはないが、われわれが普段使用しているもので Access Grid の使用には差し支えはない。対応 OS として、WindowsXP、MacOS X、Linux では Fedora Core3、Gentoo、Slackware10、Debian3.0 などがサポートされている。

- カメラとマイク

画質、音声を重視しなければ特別な高価なものにする必要はない。また、カメラとマイクはマシンに内蔵しているものもあるので、その場合は内蔵しているものを使用するのでもかまわない。

- (ビデオプロジェクタ)

会議の参加数が多いときなどは通常の PC のディスプレイでは小さいときがある。そのようなときなどはビデオプロジェクタの使用も有用である。また PC が 1 台でも同数のビデオカードと同数のモニタがあれば画面を分割して見ることができる。

- (エコーキャンセラ)

マイクとスピーカーを同時に使用したときに起こるエコーやハウリングを抑える。ビデオプロジェクタと同様に、参加数の多い会議などでは耳障りになることがあるので有用であろう。ヘッドセットマイクを使用する場合は必要ない。

2.2.2 ソフトウェア

- VIC (Video Conference Tool)

映像の送受信、表示を行う。

- RAT (Robust Audio Tool)

音声の送受信、再生を行う。VIC とともに IP multicast ネットワークでよく使われてきたソフトウェアである。

- Virtual Venues (仮想会議室)
Access Grid サーバに備わっている。議論の内容ごとに仮想的な会議室を作り、共通の議題を持ったユーザがそこに集まって議論する。
- DPPT (Distributed PowerPoint)
遠隔プレゼンテーションを支援する。発表資料を各参加者に配布、その資料のページ送りの指示をネットワーク越しにできる。

2.2.3 ネットワーク環境

Access Grid は画像、音声の送受信に multicast を用いている。そのため IP multicast 環境が必要になる。IP multicast ネットワークと IP multicast 対応ルータを用意する。

2.3 Access Grid の使用法

Access Grid を使用するまでの手順を以下に述べる。

1. サーバの起動

AG VenueServer を起動する。起動後は Virtual Venue の作成などをしておく。米国アルゴヌ研究所でユーザ向けに Venue Server が運用されているのでログインのみの利用であればそれ使用するのもよい。

2. クライアントの起動

AG VenueClient を起動する。起動時には Globus による認証が行われる。

3. ログイン

AG VenueClient でサーバのアドレスを入力し、ログインする。ログイン後はロビーという仮想会議室の入り口に通される。この時点から IP multicast の通信が始まる。

4. 会議室への入室

AG VenueClient のウィンドウ内に仮想会議室の扉が表示されるので、それをクリックすることで会議室に入室できる。

ロビーを含む仮想会議室はサーバから multicast IP アドレスとポート番号が割り振られている。クライアントは、それを教えてもらうことで会議室間を移動しているかのように映像、音声の送受信を行うことができる。また、multicast で行われているのは映像と音声の送受信であり、それまでのサーバとのログインまでのやり取りは unicast で行われる。

以下に、Access Grid のサーバの主な役割を示す。

- 会議参加者の管理
- アプリケーションやデータの共有
- 仮想会議室に割り振る multicast IP アドレスとポート番号の管理
- Globus による共通鍵の管理

第 3 章

Mobile IP の概要

Mobile IP とは、インターネット上でのノードの移動透過性をネットワーク層で保証するプロトコルである。Mobile IP を利用することにより、通信を継続したまま異なるネットワーク間における移動が可能となる。通常、ノードがあるリンクから異なるリンクへ移動した場合は、異なる IP アドレスを使用しなければならない。インターネット上で通信を行うのに TCP と UDP というトランスポート層のプロトコルが使われているが、これらのプロトコルはエンドポイントの識別に IP アドレスを利用するため、通信中に IP アドレスが変化すると通信を継続できなくなる。Mobile IP は、移動による IP アドレスの変化を上位層から隠匿することによって通信の継続を可能とする。つまり移動するノードを常に一意のアドレスでパケットの受信を可能な状態にしておくことができる。一意のアドレスで移動を可能とすることにより、通信中のセッションを切断したり、再接続する処理を行うことなく継続することができ、また IP アドレスをそのノードの識別子という観点で考えたときには、セキュリティや上位からの管理といった面で非常に有用な技術であると言える。

3.1 用語の説明

Mobile IP で使用する基本的な用語について説明する。

- MN (Mobile Node)
あるリンクから異なるリンクへ移動するノード。Mobile IP の利用により IP アドレスを変えることなく移動が可能となる。
- CN (Correspondent Node)
MN と通信する相手ノード。移動体、固定体に関わらない。
- Home Address
MN に割り振られた IP アドレス。移動の影響を受けない。

- Home Link
初期状態で MN の属するネットワーク。Home Address と同じプレフィックスを持つ。
- HA (Home Agent)
Home Link から移動後、MN 宛てのパケット代わりに受け取り転送する。MN の現在の位置情報を保持する。
- Foreign Link
MN の移動先リンク。
- Foreign Agent
MN の移動後に、Home Agent にその存在を通知する。MN 宛てのパケットを受信し、MN へ転送、また MN からパケットを受信し、HA へ転送する。
- CoA (Care of Address)
MN が Foreign Link で使用する IP アドレス。
- ハンドオフ
移動先ネットワークを利用可能にするための処理全般

3.2 概要

Mobile IP の初期状態として、MN が Home Link にいるときは、MN 宛てのパケットは Home Address に対して送られる。また MN から送られるパケットも、通常の固定の通信と同じように行われる。(図 3.1)

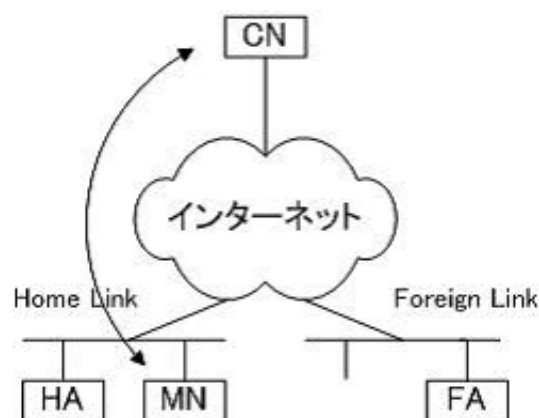


図 3.1: MN が Home Link にいるときの通信

Mobile IP には、MN が Foreign Link に移動したときに FA を使用する「FA モード」と、使用しない「Co-located CoA モード」の2種類がある。また、移動後の MN からパケットの送信方法も2種類ある。「Reverse Tunneling」と「Triangle Tunneling」である。以下にそれぞれのモードの動作について述べる。

3.2.1 Mobile IP の通信方法

- FA モード

FA モードとは、FA が Foreign Link に存在し、MN 宛てのパケットの仲介をする方法である。

1. MN は Foreign Link に移動後、FA が定期的にブロードキャストしている Agent Advertisement を受信し、CoA を取得する。(図 3.2)

Agent Advertisement により、MN は自分が Home Link にいるか、Foreign Link にいるかを判断する。Agent Advertisement を受信できない場合は Agent Solicitation を送信し、CoA を問い合わせる。

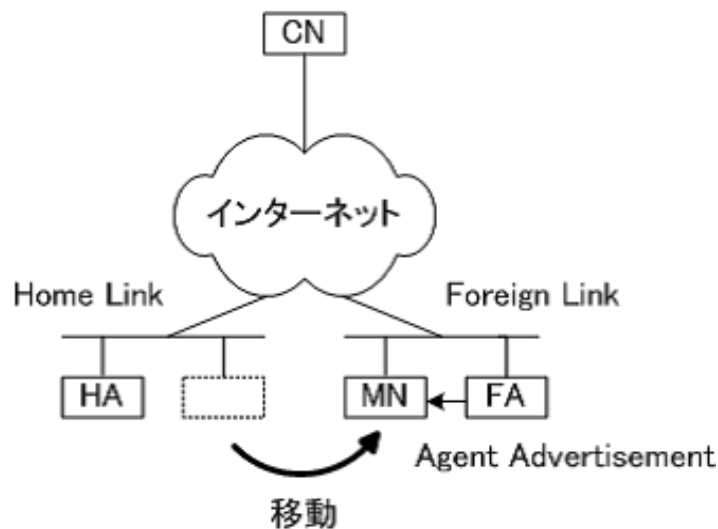


図 3.2: MN は Foreign Link に移動後、Agent Advertisement を受信

2. CoA 取得後、MN は HA 宛てに FA を経由して Registration Request のパケットを送信する。(図 3.3)

3. MN は FA を経由して、HA から Registration Reply のパケットを受信する。

ここで Home Address と CoA の対応付けがなされたことになる。同時に HA と FA

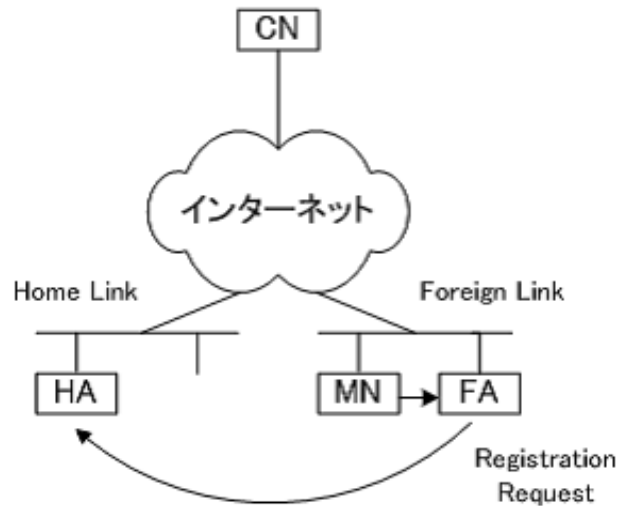


図 3.3: Registration Request を送信

の間でトンネルが設けられる。

- 以後、MN 宛てに送られたパケットは HA がいったん受信し、FA を経由して MN に届けられる。

HA は受信したパケットをカプセル化して FA に転送する。FA は転送されたパケットのカプセル化を解除してからデータリンク層で MN に転送する。(図 3.4)

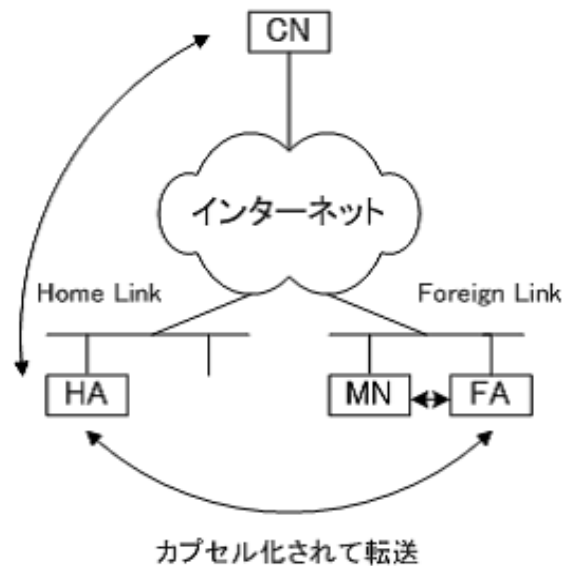


図 3.4: MN が Foreign Link にいるときの通信 (Reverse Tunneling)

- Co-located CoA モード

Co-located CoA モードとは ForeignLink に FA が存在せず、MN が FA の役割もかねる方

法である。

1. MN は移動先 Foreign Link において DHCP により CoA を取得する。
2. その後は MN 自らが HA と Registration Request、Registration Reply のやりとりをする。
3. カプセル化して HA から届けられたパケットも MN がといて受信する。

3.2.2 MN 移動後のパケット送信方法

- Reverse Tunneling

受信する際と同様にカプセル化して送信する方法である。カプセル化されたパケットはトンネルを通して HA に送信され、CN に転送される。MN が CN からのパケットを受信する際に通ってきた経路で送信するため、Reverse という名になっている。

- Triangle Tunneling

MN から CN にパケットを直接送信する方法である。パケットが一方通行で CN、HA、MN の 3 地点を通る三角経路になっているため Triangle Tunneling という。(図 3.5)

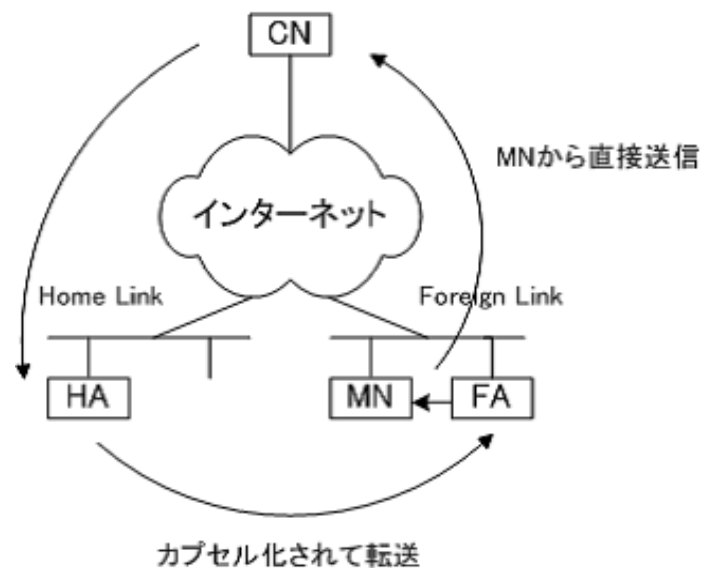


図 3.5: MN が Foreign Link にいるときの通信 (Triangle Tunneling)

第 4 章

Mobile IP を利用した Access Grid の問題

4.1 両者を組み合わせる意義

Access Grid のような既存のビデオ会議システムは基本的に固定端末を対象とした技術として開発されている。一方で、第 1 章でも述べたように端末の小型化、高性能化といった技術革新は移動を意識した発展である。ビデオ会議システムを用いることにより遠隔地からの会議参加が現実のものとなった今では、遠隔地から、かつ移動しながらという次のフェーズへ研究を進める必要がある。前章までに述べた Mobile IP を用いることにより、Access Grid を移動しながらの使用が可能となる。

4.2 実験概要

4.2.1 実装

Access Grid の最新版ツールキット、AGTk2.3.6 を使用した。また、Access Grid は Python という言語で実装されているため、マシンにあらかじめ Python の実行環境をつくる wxPythonGTK2.2.4 をインストールした。

Access Grid は IPv4 のみに対応しているため、Mobile IPv4 を実装した Dynamics0.8.1 をインストールした。

4.2.2 実験環境

現在 Access Grid は、Linux のいくつかのディストリビューション、WindowsXP、MacOS X などのオペレーティングシステムに対応しているが、今回の実験ではすべてのマシンに Red-hat Linux9 を用いた。CN と MN に Access Grid をインストールし、CN 以外のすべてのマシンに Dynamics をインストールした。マシン間は UTP ケーブルで接続している。使用したマシンのスペックを表 4.1 に、構築したネットワーク環境を図 4.1 に示す。

表 4.1: マシンのスペック

PC	CPU	メモリ	OS
HA	Pentium3 500MHz	256MByte	Redhat Linux9
FA	Xeon 3.2GHz	896MByte	Redhat Linux9
MN	Pentium2 300MHz	128MByte	Redhat Linux9
CN	Pentium4 2GHz	1GByte	Redhat Linux9

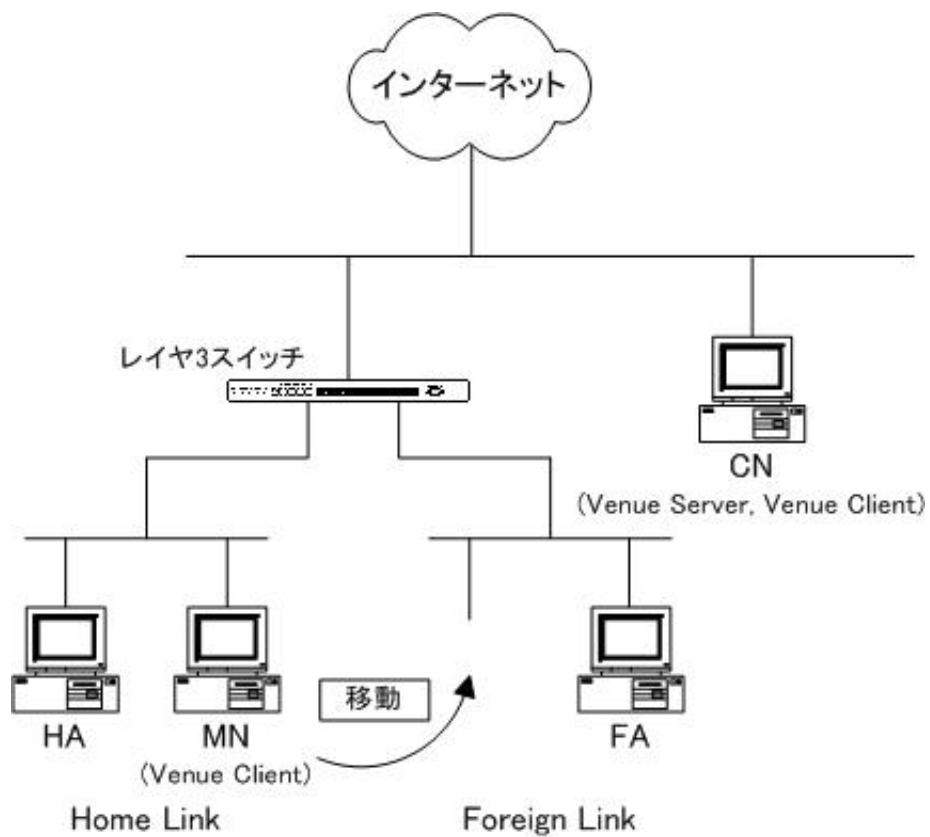


図 4.1: ネットワーク環境

VLAN (Virtual LAN)

本論文の実験環境を構築するにあたり、MN の移動を明瞭化するために 2 つ以上のサブネットを用意する必要がある。ここではレイヤ 3 スイッチを用い VLAN という技術を利用することにより実現した。VLAN とは、LAN スイッチという機器を用いることにより、実際の接続形態とは独立に仮想的なグループを設定できる。つまり、使用したネットワークにおける Home Link と Foreign Link は同じスイッチに接続しているが、ネットワーク的に分離されていると考えることができる。また、接続している端末の物理的な位置を気にすることなくネットワーク構成を変更できるため、様々な環境で実験をするのに余計な手間を省くことができる。

4.2.3 実験方法

1. HA、(FA)、MN の順に Dynamics を起動し、Mobile IP 環境を用意する。
2. AG Venue Server を起動後、AG Venue Client を起動、Venue Server にログインする。
3. MN を Foreign Link に移動させる。

今回の実験では CN でも AG Venue Client を起動させた。CN で起動させた AG Venue Client を MN の通信相手として実験している。

4.3 実行結果および発生した問題

4.3.1 MN 送信パケットの挙動

MN が Home Link にいるときの通信は固定の通信と同じく動作する。MN が Foreign Link に移動した際も、ユニキャストのパケットは CN に届く。しかし、マルチキャストパケットに関しては MN から送信されているものの、CN までは届かない。以下に移動後の各送信モードに対する挙動と原因を考察する。

Reverse Tunneling モード

送受信ともトンネルを通して通信するこのモードでは、マルチキャストパケットはカプセル化され、HA まで到達するものの、HA で破棄されてしまう。これは HA にマルチキャストパケットを転送する機能がないためである。受信したマルチキャストを転送するためには HA がマルチキャストルータ機能を持つ必要がある。この点に関する解決とその挙動を 5 章で詳しく述べる。

Triangle Tunneling モード

受信はトンネルを通し送信は直接送り出すこのモードでは、マルチキャストパケットは接続しているレイヤ 3 スイッチで破棄される。ユニキャストのルーティングがパケットの宛て先アドレスを見て転送先を決定しているのに対し、マルチキャストのルーティングでは宛て先アドレスに加え送信元アドレスも確認し、転送すべきかどうかを決定する。MN は移動先でも Home Address でパケットを送信している。そのため、レイヤ 3 スイッチのマルチキャストパケットを受信したポートが宛て先、送信元アドレスを確認するのだが、受信したパケットの送信元アドレスは Home Address であり、それは自分のネットワーク内のアドレスでないため破棄されてしまう。

4.3.2 MN 受信パケットの挙動

MN が Home Link にいるときも送信時と同様、固定の通信と同じ動作をするため、問題なく動作する。しかし、移動後の挙動はいささか異なる動きを示す。移動時に起こるハンドオフにより一旦通信は途絶えるが、しばらくすると一見問題ないように通信を再開する。しかし、受信しているユニキャストとマルチキャストのパケットは異なる経路から受信しているものである。

Mobile IP の MN の受信の方法は、CN から送信されたパケットは一旦 HA に届けられ、カプセル化されて FA に転送されるか、もしくは MN にトンネルを通して送信される。ユニキャストのパケットは規定どおりの経路をたどって MN まで届いているのだが、マルチキャストのパケットは HA まで届くもののカプセル化されて転送されるという動作を示さない。これは Reverse Tunneling の際に起こった問題と同様、HA がマルチキャスト機能を持たないため、受信したマルチキャストパケットを処理することができない。そのため HA はマルチキャストパケットを受信するものの FA に転送しない。

ではなぜ Foreign Link に移動後の MN はマルチキャストパケットを受信できたのか。それはマルチキャストパケットを送信する CN から移動後の MN まで経由するすべてのルータがマルチキャストルータであるからである。マルチキャストのルーティングは宛て先アドレスと送信元アドレスの両方を確認することは前に述べたが、マルチキャストパケットを確認するレイヤ 3 スイッチは送信元アドレスが CN であり異常のないことを確認できたため転送する。今回の実験構成では MN はそのレイヤ 3 スイッチに直接接続しているため、CN から送られたマルチキャストパケットを受信できたのである。

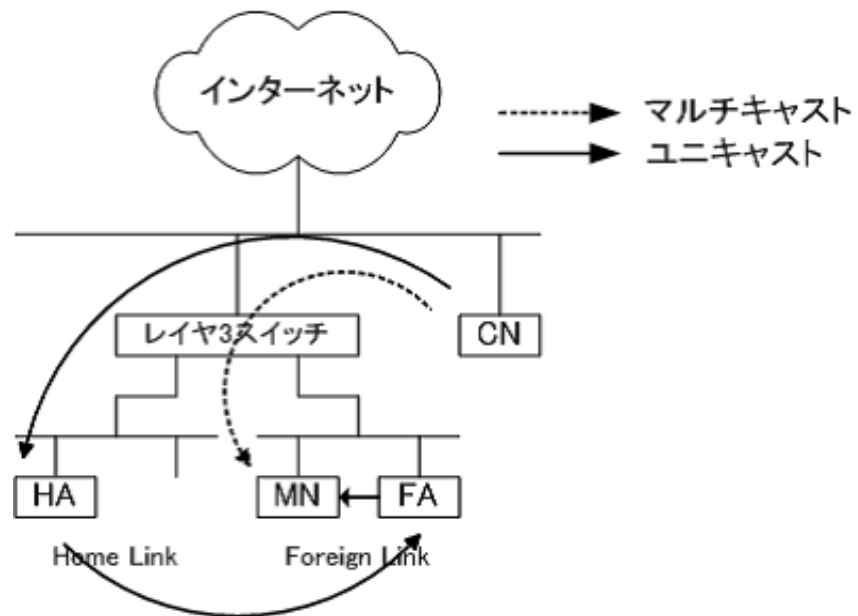


図 4.2: CN から送信されるマルチキャスト、ユニキャストパケットの経路

第 5 章

Mobile IP を利用した Access Grid の実現と最適化

前章において得られた実験の結果を踏まえて、その問題点に対する解決方法を実際に Mobile IP 上で Access Grid を実現する。また、よりシームレスな通信を実現するために FA の送信する Agent Advertisement に着目して移動のハンドオフの最適化を検討して、その挙動を考察する。

5.1 問題の解決

5.1.1 解決方法の提案

前章で述べたとおり、Reverse Tunneling においてマルチキャストパケットは HA で破棄された。これは HA まで届いたカプセル化されたパケットが解除された後に転送されなかったのが原因であった。HA にマルチキャストルータ機能を持たせるためには 2 つの方法が考えられる。

- cisco などのマルチキャスト対応ルータに HA の機能を持たせる。
- HA の機能を持った Linux などのマシンにマルチキャストルータ機能を持たせる。

今回の実験では HA は Linux に実装している。そのため、前者で問題を解決するためには HA を cisco ルータに差し替え、新たに HA を実装する必要がある。しかし実際にいちユーザが Access Grid を利用していると考えたとき、cisco ルータは高価な製品であり簡単に用意できるものではない。現実的な方法として、本論文では後者を解決方法として選択する。

5.1.2 実装

Linux マシンである HA にマルチキャストルータ機能を持たせるために pim2.1 をインストールし、マルチキャスト対応ルータと同等の処理を行えるように実装した。

5.1.3 実行結果

送信時における挙動

HA にマルチキャストルータ機能を持たせることにより、MN からカプセル化され届けられたパケットは HA により解除され、マルチキャストパケットとして転送することが実現できた。ここで転送されたマルチキャストパケットは送信元が Home Address であるので、CN は通常の通信と同じように Access Grid のビデオ会議が再開できることが確認できた。

受信時における挙動

4 章で述べたように、MN は CN から受信したマルチキャストパケットは、規定どおりの経路を通った HA によりカプセル化されたパケットではなく、マルチキャストルータを経由した、直接送られたものであった。マルチキャストパケットは HA まで届くものの、カプセル化して転送しなかったため、HA にマルチキャストルータ機能を持たせることにより問題の解決を図ったが、やはりカプセル化して転送することはできなかった。これは CN から送られるパケットの宛て先アドレスがユニキャストの場合は MN の Home Address 宛てなのに対し、マルチキャストの場合は当然マルチキャストアドレス宛てで送られてくるからであると考えられる。Mobile IP における HA は受信した Registration により MN の Home Address と移動先の対応付けをする。受信した宛て先アドレスがマルチキャストアドレスであり、Home Address でなかったためカプセル化して転送をしなかったのである。RFC2002[5]によると、MN が送る Registration Request パケットにおいて明示的にブロードキャストパケットとマルチキャストパケットをカプセル化し転送するよう要求ができるが、本論文で使用した Dynamics の実装では指定することができなかったためマルチキャストがカプセル化されなかったと考えられる。

5.2 ハンドオフ最適化の検討

5.2.1 Agent Advertisement の問題

MN が Foreign Link に移動後、FA が定期的送信する Agent Advertisement を受信することにより Foreign Link に移動したことを認識することは前述した。FA は Agent Advertisement を定期的にブロードキャストしているが、この間隔を狭めることにより MN は自らが移動したことをすぐに確認することができ、HA に Registration Request を送信、通信を再開することができる。しかし、FA は MN が移動する前から Agent Advertisement をブロードキャストしている必要があり、自分のネットワークに対象となる端末がないときにも送信し続けなければならない。つまり間隔を狭めることにより無駄なパケットが大量に Foreign Link に流れてしまうが、間

隔を広げてしまえば MN が移動をすぐに認識することができず、シームレスな通信が実現できない。

MN が Agent Advertisement を受信できない場合、自ら Agent Solicitation を送信することにより Agent Advertisement を要求できる。FA が Agent Advertisement を送信することなく、MN が移動後 Agent Solicitation を送信することにより自ら移動を認識させることで、Foreign Link に無駄なパケットが流れることはなくなる。FA が Agent Advertisement を送信する方法と、MN が Agent Solicitation を送信することにより FA に Agent Advertisement を送信させる方法を実験により比較し、考察する。

5.2.2 実験方法

前述した MN が Agent Advertisement を受信するまでの過程としての 2 通りの方法を、MN が Home Link での通信が途切れてから Foreign Link 移動後に再開するまでの時間で比較する。FA が Agent Advertisement を送信する間隔は、実装した Dynamics のデフォルト値である 20 秒とする。計測する時間はユニキャストでの通信、マルチキャストでの通信のそれぞれが再開するまでとし、計測には tcpdump を用いる。

5.2.3 実験結果と考察

それぞれの実験結果と考察を以下に示す。

ユニキャストでの通信

再開までに要した時間のグラフを、Agent Solicitation を用いなかった場合を図 5.1、用いた場合を図 5.2 に、またそれぞれに要した平均時間を表 5.1 に示す。

表 5.1: ユニキャスト通信再開までに要する平均時間

Agent Solicitation	用いない	用いる
時間 (秒)	26.22	17.08

Agent Solicitation を用いない場合は約 15 秒から 40 秒までの間を推移するのに対し、用いた場合は 15 秒から 20 秒の間を推移し、安定してハンドオフ時間が短くなっていると言える。Agent Solicitation を送信することによりすぐに Agent Advertisement を受信できることが実験から分かった。再開までに要する時間が平均値で約 10 秒違ったのは、Agent Solicitation を用いたほうが仮に移動後 1 秒で Agent Advertisement を受信していると考えれば、用いない方法では 20 秒

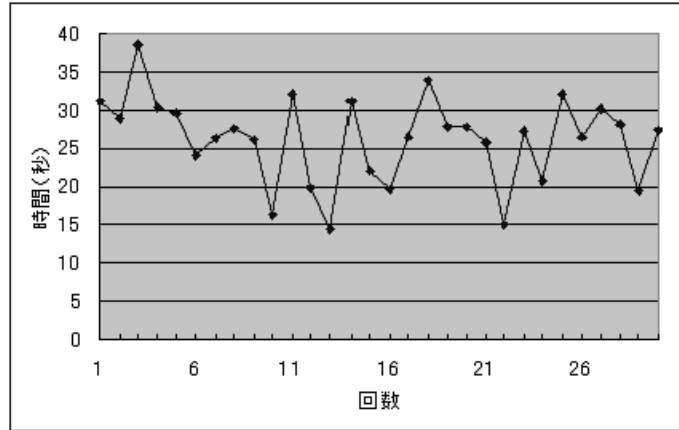


図 5.1: Agent Advertisement 待ちの場合のユニキャスト通信再開までに要する時間

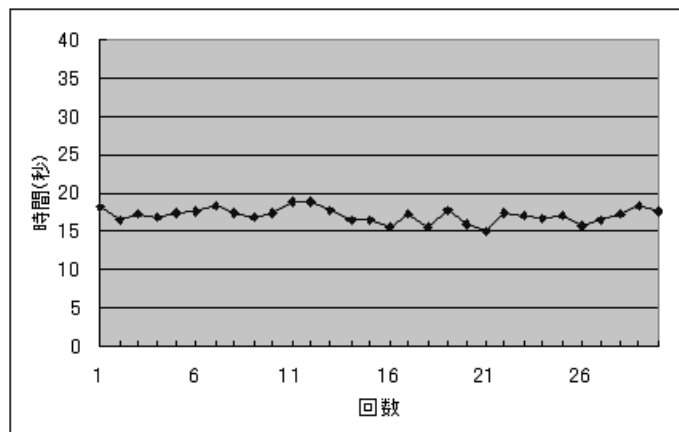


図 5.2: Agent Solicitation を利用した場合のユニキャスト通信再開までに要する時間

に 1 回の Agent Advertisement を受信待ちしているの、実験の結果はほぼ理論値どおりになったと考えることができる。再開までに最も早かった場合でも要した 15 秒ほどの時間は、端末が HA との Registration の応答を行ったり、HA と FA 間でトンネルを張ったりするために要した時間であるため、接続のための方法に依存しない時間である。

マルチキャストでの通信

再開までに要した時間のグラフを、Agent Solicitation を用いなかった場合を図 5.3、用いた場合を図 5.4 に、またそれぞれに要した平均時間を表 5.2 に示す。

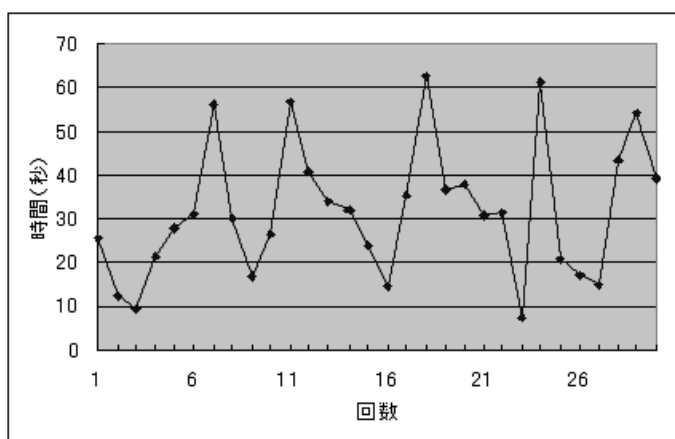


図 5.3: Agent Advertisement 待ちの場合のマルチキャスト通信再開までに要する時間

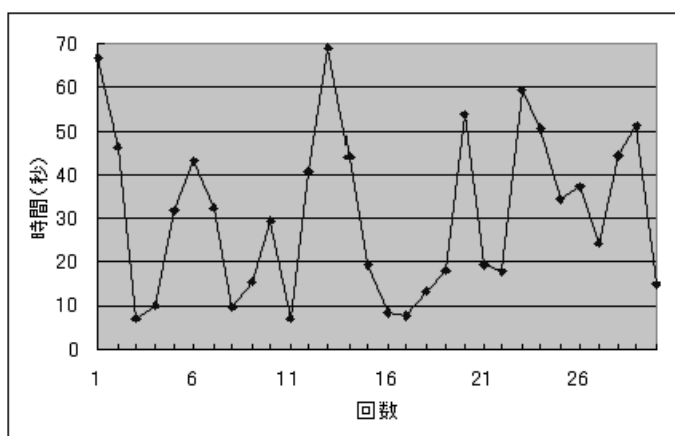


図 5.4: Agent Solicitation を利用した場合のマルチキャスト通信再開までに要する時間

Agent Solicitation を用いた場合も用いなかった場合も、値のばらつきはあるものの、平均してほとんど変わらない値が得られた。これは前述したように、マルチキャストの受信は HA を介

表 5.2: マルチキャスト通信再開までに要する平均時間

Agent Solicitation	用いない	用いる
時間 (秒)	31.79	30.91

したカプセル化されての通信ではないため、Registration に要する時間の長短に関わらずマルチキャストの通信は別の経路で再開しているからである。マルチキャストの通信は、マルチキャスト対応ルータから送られてくる IGMP Membership Query を受信した後、IGMP Membership Report を送信してマルチキャストグループに join することによって始めることができる。Membership Query はデフォルトで 1 分間に 1 度送信される。そのため、再開までに要する時間は約 1 分間以内のランダムな値になっている。この問題に関しては、後藤研究室の荒井祐一氏による 2003 年度修士論文 [10] を参照していただきたい。

第 6 章

結論

6.1 結論

本研究では、Access Grid を実行する際に Mobile IP を利用することによって、移動しながらのビデオ会議を実現する方法を提案した。それらを組み合わせることによって起こる問題を、それぞれの通信方法に分類して明らかにし、その解決策を提案し実装した。解決策として提案した HA にマルチキャストルータ機能を持たせることにより、マルチキャストパケットが Reverse Tunneling モードで送信する際に CN まで到達することが確認できた。また、移動におけるハンドオフの最適化を検討し、考察した。

6.2 今後の課題

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- カプセル化によるマルチキャストパケットの受信
本研究における MN 移動後のマルチキャストの受信は、CN から直接送られてきたものであり、Reverse Tunneling を利用したものではなかった。仮に、経路上にマルチキャスト非対応のルータがあった場合この受信はできなくなってしまうため、受信も Reverse Tunneling で行うことができるようにする必要がある。
- 大規模ネットワークにおける Mobile IP を利用した Access Grid の検証
本研究では自作ネットワークのため、通信相手との距離が非常に短く遅延などの影響が少なかった。そのため、遅延の起こりうる大規模なネットワーク上でこれらの挙動も調査する必要がある。
- Mobile IPv6 への Access Grid の対応
現在の Access Grid は IPv4 のみに対応しており、IPv6 には対応していない。IPv6 に対

応することにより、Mobile IPv6 を利用することが可能となる。Mobile IPv6 は移動後は Foreign Link から IP を取得し、そのアドレスで通信する。そのため Triangle Tunneling で得られたような問題も、IPv6 により回避することができる。

謝辞

本学士論文の作成にあたり、日頃より御指導を頂いた早稲田大学理工学部、後藤滋樹教授に深く感謝致します。また、研究の初期段階から終了まで多大なる御指導を頂いた三浦周平氏に心より感謝致します。さらに、実験環境の構築の際、貴重なアドバイスを頂きました塩津達郎氏、岡部吉彦氏、竹谷賢二氏、日頃より御指導を頂きました後藤研究室の諸氏に感謝致します。最後に、部屋に集まり共に支え合い励まし合った河野真也氏、笹川真氏、関宏規氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] Access Grid
<http://www.accessgrid.org/>
- [2] Asia Pacific Access Grid
<http://www.ap-accessgrid.org/>
- [3] 独立行政法人 産業技術総合研究所 グリッド研究センター
<http://www.gtrc.aist.go.jp/jp/index.html>
- [4] Dynamics Mobile IP
<http://dynamics.sourceforge.net/>
- [5] C. Perkins, “ IP Mobility Support ” RFC2002, 1996.
- [6] Dave Kusiur 著, 苅田幸雄監訳, 『マスタリング TCP/IP IP マルチキャスト編』
オーム社, 1999.
- [7] W.Richard Stevens 著, 井上尚司監訳, 橋康雄訳, 『詳解 TCP/IP vol.1 プロトコル』
ピアソン エデュケーション, 2000.
- [8] 首藤和幸, 田中良夫, 小松弘幸, 松岡聡, 南里豪志, 岡村耕二, 関口智嗣
“ Access Grid の構築と Grid 上での国際会議 ” 情報処理学会, 2002.
- [9] 三浦周平, “ Mobile IP を利用した Access Grid 支援システム ”
早稲田大学理工学部 2003 年度卒業論文, 2004.
- [10] 荒井祐一, “ Mobile IPv4 を利用した Access Grid の実現法 ”
早稲田大学理工学部 2003 年度修士論文, 2004.
- [11] テクニカルサポート Japan TAC Web
<http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/service/tac/>