

Mobile IP におけるセル間移動時の通信の瞬断を防ぐ 経路切りかえ方式の提案

大 坐 畠 智[†] 木 村 成 伴^{††} 海 老 原 義 彦^{††}

IP をモバイル環境用に拡張した Mobile IP を用い、モバイルノードが通信をしながらセル間を移動をすると、その通信経路は動的に変わる。このため、通信を再開するまでに時間を要し、通信の瞬断が起きる(ハンドオフ問題)。これを防ぐため、本論文では、モバイルノードがセル間を移動する際に両セルでの通信が可能になることを利用し、この状態の時に移行前のセルを通じて、移行後のセルにデータの先送りする経路切り替え方式を提案する。そして、計算機シミュレーションによる本方式の評価実験を行い、セルのオーバーラップが最適ならば、オーバーヘッドなしで、CBR(Constant Bit Rate)通信の場合は瞬断をなくし、TCPの場合は1%の転送効率の上昇が見られることを示す。

A Proposal of Communication Route Switching Method Preventing Handoff Latency for Mobile IP

SATOSHI OHZAHATA,[†] SHIGETOMO KIMURA^{††}
and YOSHIHIKO EBIHARA^{††}

The handoff problems in cellular wireless data networks occur data loss or large variations in packet delivery times. To prevent them, this paper proposes the communication route switching method for Mobile IP. When a mobile node moves between two cells, there is a period to be able to communicate with both cells from the mobile node. In our method, it sends registration request with new care of address to its home agent through the old cell. The computer simulation of this method results that there is no handoff problems for CBR, and 1% efficient transmission for TCP connection with no overhead, if cell overlap is optimal.

1. はじめに

近年、コンピュータの小型化、高性能化に伴い、携帯可能なコンピュータが普及し、ユーザが移動しながらコンピュータを利用するモバイル環境が整いつつある。これらのコンピュータは単独で利用されるのではなく、インターネットなどに接続し、他のコンピュータと情報をやりとりするのが一般的である。しかし、従来のIP通信ではネットワーク的な位置の移動は考慮されておらず、携帯電話、PHSなどの移動体通信網を介在しない限りモバイル環境に対応することができない。このためIPをモバイル環境に拡張したMobile IPが提案されている^{1),2)}。これにより、モバイルノードがインターネットとの接続位置を変えても、あたかもホームネットワークにいるような環境が提供される。しかし、モバイル

ノードが接続位置を次々に変えると、セル間の移動時に通信経路が変化するため、時間的に連続性のあるデータを通信すると、データの瞬断(ハンドオフ問題)が起きってしまう。

以上を踏まえ、本論文では、ネットワーク資源の効率を上げるための経路切り替え方式を提案し、瞬断を抑えた通信を実現することをめざす。最後に計算機シミュレーション実験により、本方式の性能評価を行う。

2. Mobile IP

Mobile IPはインターネット上での接続位置を変更してもコンピュータがそのIPアドレスを変化させずに通信を行うためのプロトコルであり、図1に示すようにネットワーク層に位置している。

Mobile IPの動作を簡単に説明する。図2においてserverがデータを送り、Mobile Node(MN)を携帯型コンピュータなど移動が容易に可能な通信主体とする。そして、そのMNが主に接続されているネットワークをHome Network(HN)と呼び、MNの管理は

[†] 筑波大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, University of Tsukuba
^{††} 筑波大学 電子・情報工学系
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

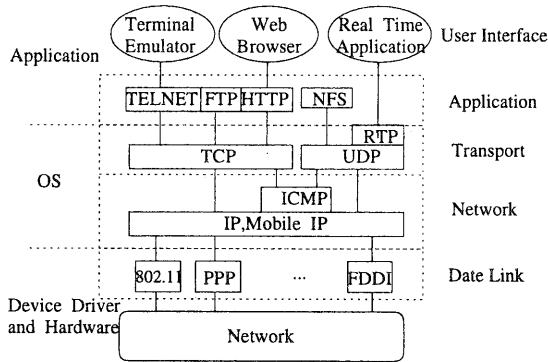


図1 インターネット参照モデル

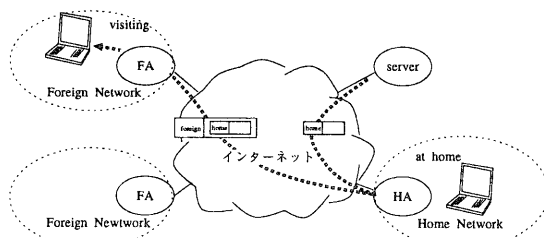


図2 Mobile IP の動作

Home Agent (HA) が行うものとする。

ネットワーク上でそのコンピュータを識別するため MN に一意な IP アドレスが与えられており、MN と通信する際はこの IP アドレスを指定してアクセスされ、HN を介して MN に接続される。ここで、MN が図 2 左上の Foreign Network (FN) に移動したとすると、従来の IP による通信では、その FN にあわせて、MN の IP アドレスを変更する必要があった。しかし、Mobile IP を利用すると、IP アドレスの変更をすることなく、次のように通信が行われる。

移動先のネットワークで MN を管理する Foreign Agent (FA) は Foreign Network 内に定期的にエイジェント広告 (図 3) を流している。これには FA, FN での接続のための情報が含まれており、移動にともない MN がこれを受信することで、MN は接続可能な FA の存在を知る。MN の移動により、それまでいた HN から FN に接続する場合、MN は FA に登録要求を行う。そして、FA がこれを認証、登録を確認すると、FA は HA に MN の登録要求を行う。これにより、HA に care of address (FA が MN を管理するためのアドレス) が認証、登録され、この登録応答を FA で受け取ることで、FA と HA の間に仮想的な回線ができる (図 2)。これにより、server からのデータは HA が FA に向けて転送することで、MN は FA での通信ができるようになる。

Mobile IP でのこの手法はトンネリングと呼ばれ、HA がデータを転送する際には、元のパケットにさらに、care of address 宛の IP ヘッドをつけて、これを FA に送る。FA ではこの IP ヘッドをとり、オリジナルの IP パケットで MN に届ける。よって、一つのネットワーク (MAC アドレスのみで通信できる範囲) に対して、エイジェント (HA もしくは FA) が一つ必要になる。

同様の手順で、どの FN に移動しても MN と通信することができる。ここで、HN でのアドレスが MN のインターネットでのノード識別子、FN でのアドレスが、ノードの位置識別子となることが分かる。

しかし、このようなトンネリングの操作はネットワークの帯域を浪費する可能性がある。たとえば、HA が日本に、FN が米国にあり、米国内のコンピュータが MN と通信する場合、通信の当事者が共に米国にあるにも関わらず、その通信はいったん日本を経由して届くという問題がある。これを解決するために、MN のアドレスを移動のたびに送信元のコンピュータに登録させるように Mobile IP を拡張することで、この三角ルーティング問題を解決しようと ITFT で検討されている³⁾。

3. Mobile IP におけるセル間移動時の経路切り替え方式

3.1 従来の経路切り替え方式

MN が HA または FA と接続可能範囲をセルを呼ぶ。このとき、MN が現在いるセル (古いセル) から他のセル (新しいセル) に移動する際、来 の Mobile IP では、定期的 に流れているエイジェント広告を古いセルで一定期間 (3 回) 受け取れなくなってから初めて、新しいセルで受け取ったエイジェント広告を用い、新しい

Vers=4	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification		Flags	Fragment Offset	
Time to Live=1	Protocol=ICMP		Header Checksum	IP Header
Source Address = mobile node's home address				
Destination Address = broadcast or multicast				
Type = 9	Code	Checksum		
Num Addr	Addr Entry Size	Lifetime		
Router Address				ICMP Router Advertisement
Preference Level				
...				
Type = 16	Length	Sequence Number		
Registration Lifetime	RHHMM		reserved	
Care of Address				Mobility Agent Advertisement Extension
...				
Type = 19	Length	Prefix-Length	Prefix-Length	Prefix-Length Extension
...				

図3 エイジェント広告のヘッダ

FA に登録要求を行う。そして、FA、HA での認証、登録が行われ、通信が再開される。しかし、図 4 に示すように、これらの手順が行われ、HA から新しい care of address にデータが送られるように経路の切り替えられるまでの時間は、新しいセルでの通信が行われず、FA との通信で瞬断が起きる可能性がある。

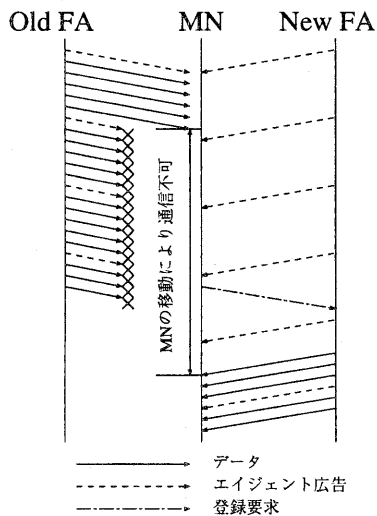


図4 従来方式による経路切り替え

この瞬断を抑えるため、図 5 のように、最初のエイジェント広告で切り替え動作をする方法も提案されている⁴⁾。しかし、この方法では、本来の Mobile IP の方法に比べ、古い FA である一定期間エイジェント広告を受け取れない分の瞬断を短くするだけにとどまっている。さらに瞬断を抑えるため、次節でセル移動時における経路切り替え方式の改良を提案する。

3.2 セル間移動時の瞬断を防ぐ経路切り替え方式

Mobile IP での実際の通信では、MN の移動にともない古いセル (Cell 1) から新しいセル (Cell 2) に完全に移動するまでに、図 6 に示すような過程が生じる。まず、MN1 の位置に来ると BS1 とは両方向通信ができるが、MN にはバッテリー等に制限があり BS2 からの通信は届くものの、MN から BS2 には通信ができない。MN2 の位置に移り、BS1、2 ともに両方向通信ができる状況を経て、最後に、新しいセルに完全に移動する。

提案方式ではこのことに加え、エイジェント広告に新しい FA の care of address が記述されていることを利用する。MN1 の位置で新しい FA のエイジェント広告を受け取ることができるが、登録要求はできない。しか

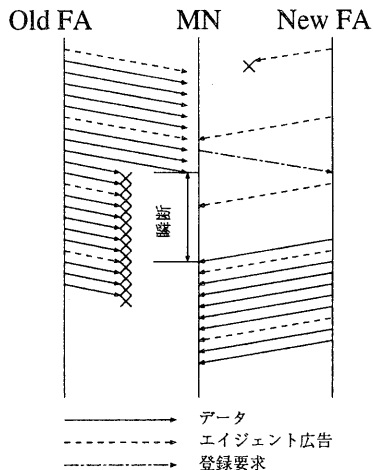


図5 First advertise による経路切り替え

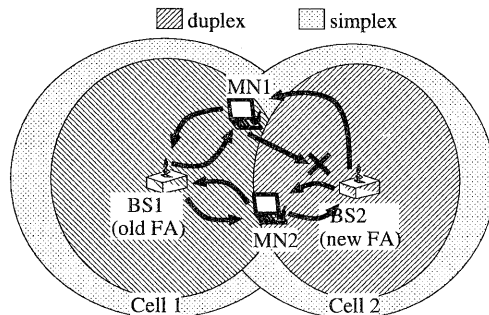


図6 セルの中の位置と通信の関係

し、現在古い FA とは、両方向通信が可能である。このため、図 7 で示すように、新しい FA のエイジェント広告を最初に受け取った時点で、古い FA を通して新しい FA の care of address を HA に対して登録することができる。

提案方式では、この手法を用い、移動しそうな FA に対してデータを先送りする。これにより、MN、HA 間のラウンドトリップタイム程度で、新しい FA までデータが届くことになり、新しい FA での登録が終わった時点でデータが MN に届くようになる。このことから、従来提案されている方式に比べ瞬断の間隔が短くなることが期待される。

4. シミュレーション実験による評価

前節で提案した経路切替方式の有効性を確認するため、ネットワークシミュレータ⁵⁾を用いた計算機シミュレーションによる評価実験を行う。ネットワークモデルを図 8 に示す。

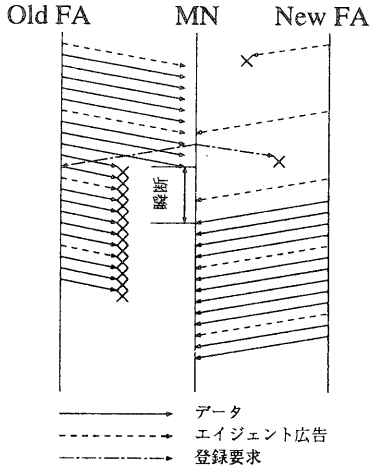


図7 提案方式による経路切り替え

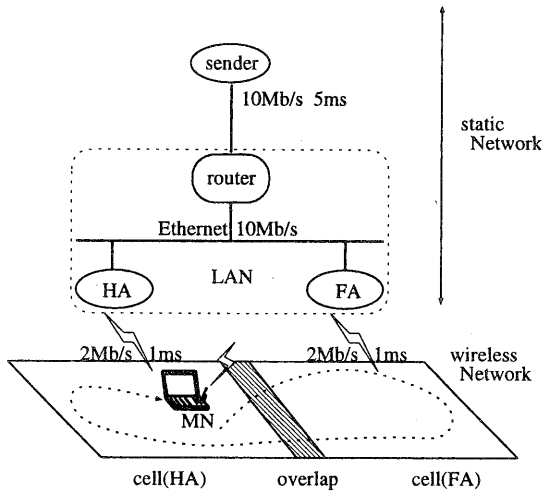


図8 シミュレーションモデル

各実験に共通なシミュレーション条件は次のとおりである。

- sender のソースは一つとする。
- HA, FA は各一台とする。
- MN は各一台とする。
- エージェント広告は、0.4 秒ごとにオーバーラップ部分を含むセル内に流れる。
- MN の移動による Mobile IP で行われている一連の認証作業は行わないが、MN から新しいエージェントに通信ができるようになるまでにかかる時間は新しいセルに移って 0.2 秒後とする。
- HA および、FA での care of address の更新は、MN の登録要求ごとに行われる。また、登録の有

表1 MNが受け取ったパケット数 (first advertise)

伝搬遅延	送信数	受信数	損失率 (%)
0.5m 秒	27972	25922	7.3287
1.0m 秒	27972	26464	5.3911
3.0m 秒	27972	25651	8.2975

表2 MNが受け取ったパケット数 (提案方式)

伝搬遅延	送信数	受信数	損失率 (%)
0.5m 秒	27972	27972	0.0
1.0m 秒	27972	27972	0.0
3.0m 秒	27972	27972	0.0

効期間はエージェント広告の発行間隔と等しいとし、オーバーラップの部分でも一つのエージェントにしかデータを送らないとする。

- セル間のオーバーラップ部分は古いセルから新しいセルに移っても、移動前後の一定期間は両方のセルからのデータが受信できるとする。
- エージェントと MN 間の無線通信は、エラーがないとし、伝搬遅延は一定とする。
- MN は 50 秒間に HN, FN 間を 4.166 秒の間隔で定期的に 10 回移動する。
- CBR 通信の場合、UDP パケットサイズを 210 オクテットとした。
- TCP 通信の場合、インターネットでの通信が 512 オクテットで行われるのが多いので、パケットサイズを 512 オクテットとした⁶⁾。

4.1 CBR 通信の場合

まず、sender が CBR 通信を MN に行ったとき、MN が受け取ったパケット数を最初のエージェント広告でエージェントを切り替える first advertise 方式と提案方式で実験した結果を表 1,2 に示す。この時、セル境界に達する前後 0.2 秒間 (以下、片側のオーバーラップ時間という) は、HA, FA 双方と通信が可能であるとすると、LAN の伝搬遅延を 0.5m 秒, 1.0m 秒, 3.0m 秒と変えて実験した。その結果、first advertise 方式で切り替えた場合 5 ~ 8% 程度の損失率があるが、提案方式ではセル間の移動でパケットを失うことなく、経路の切り替えが行われていることが分かる。

提案方式で損失率が 0% なのは、エージェント広告の発行間隔とオーバーラップの時間の関係から、必ず、HA には通信可能な MN のアドレスが登録されているからである。よって、HA からは一つのエージェントにデータを送るだけで、MN がセル間を移動してもデータの瞬断なく通信ができることが示された。

なお、first advertise 方式では、LAN 程度のオーダの遅延では損失率にはあまり違いが見られなかった。

次に、LAN の遅延を 0.5m 秒とし、切り替えの前後の片側のオーバーラップ時間を 0.1 秒, 0.2 秒, 0.4 秒と変え

て実験した結果を図9に示す。

first advertise 方式の場合は、通信可能な時間が長くなると受け取れるパケットの数多くなるので、オーバーラップの時間が長いほど、瞬断が短くなることがわかる。一方、提案方式の場合、実験の条件から、MNは新しいセルで通信できるようになるまでに0.2秒かかるとしたので、片側のオーバーラップ時間が0.2秒までは、最初のエージェント広告で登録要求する方式に比べ4～9%程度の性能の上昇が見られる。このことから本方式は、first advertise 方式よりもオーバーラップの時間が短くても性能の低下の少ない方式といえ、従来の方式に比べ、高速な移動にも対応が可能と考えられる。

ところで、片側のオーバーラップ時間が0.4秒のときに受け取ったパケットの数が、0.2秒の時に比べて少なくなるのは、本方式ではオーバーラップの時間が長いと、新しいエージェントを登録した後、古いエージェント広告を受け取って登録することに帰因する。このため、一度新しいセルにデータを流した後、古いセルにデータを流し、この分が性能の低下に表れたと考えられる。この性能の低下を防ぐには、オーバーラップの部分には複数のBSから通信できるようにする、もしくは、IP層、MAC層間でのレイヤー間通信が必要になるが、通信状況などからMNが向かっているセルを正しく推測し不要な経路切り替えを行わないことにより対処する必要がある。本実験のような一つのBSにしかデータを送らない、MAC層を制御しないという条件ではオーバーラップの時間を必要以上に長く取ると性能の低下が生じる。

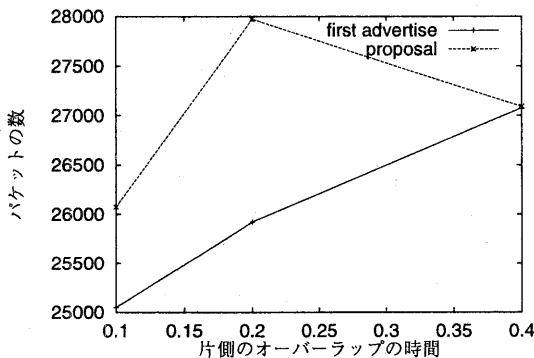


図9 オーバーラップの違いによるMNが受け取ったパケット数 (CBR)

4.2 TCP 通信の場合

次に sender がMNに対してTCP通信を行ったときのパケットの受信数とその実効スループットを図10, 11に示す。ここで、LANの伝搬遅延を0.5m秒, 1.0m

秒, 3.0m秒とした。提案方式がfirst advertise方式に比べ、受信パケット数には、LANの遅延が0.5秒の時を除くと大きな違いは見られなかった。しかし、セル間の瞬断の少ない分実効効率が1%程度上昇したことが分かる。

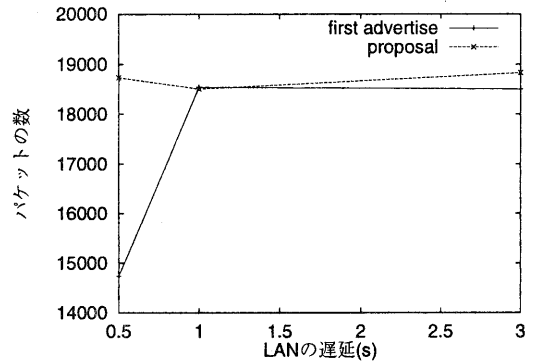


図10 MNが受け取ったパケットの数 (TCP)

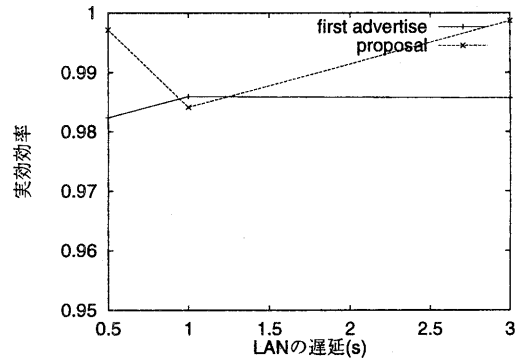


図11 LANの遅延と転送効率 (TCP)

次に、LANの遅延を0.5m秒とし、CBR通信の時と同様に片側のオーバーラップの時間を0.1秒, 0.2秒, 0.4秒と変えて実験した結果を、図12, 13に示す。

オーバーラップが0.1秒と、0.2秒の場合は、CBRと同様に提案方式がfirst advertise方式に比べ、オーバーラップの時間が短い時でも、性能の低下が少なくすむことが示された。0.4秒の場合は、エージェント広告の間隔が0.4秒なので、first advertise方式ではオーバーラップの間に必ず、新しいセルでのエージェント広告を受け取ることができ、途切れることなく通信可能となる。このため、古いセルに登録してしまう提案方式より

も良い結果がでたと考えられる。

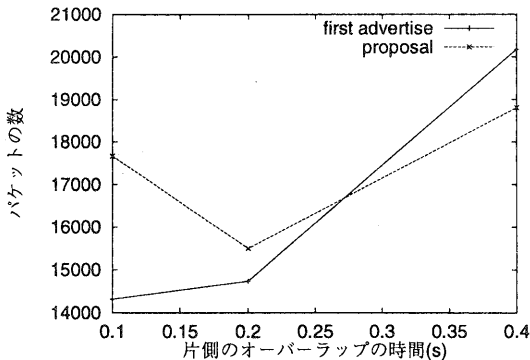


図12 オーバーラップとMNが受け取ったパケットの数(TCP)

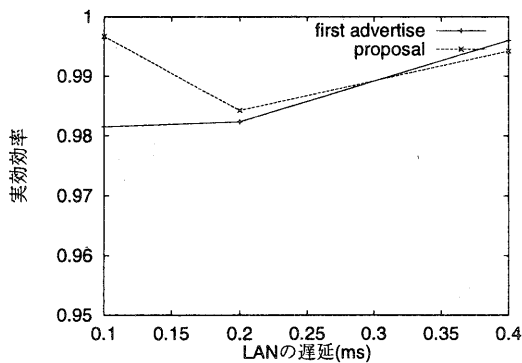


図13 オーバーラップと転送効率(TCP)

5. まとめと今後の課題

Mobile IP を用いて連続的に移動しながら通信をする場合、経路が動的に変わるため、その先々での通信を開始するまでの手続きの時間がかかり、通信に瞬断が起きてしまう。この瞬断を防ぐための経路切り替え方式を提案し、シミュレーションによりその性質を評価した。これにより、CBR 通信でオーバーヘッドなしで瞬断をなくし、TCP の場合 1% の転送効率を上昇させることが分かった。

なお、今回の実験では、MN が 1 台で規則的な動作をする場合に限定したが、一般にインターネットで行われている通信に加え、多数の MN がセルの中にある場合や、MN がランダムに動いた場合について測定する必要がある。これらの場合、オーバーラップの部分

では、MN での通信品質を保つためにいくつかのエージェントとの通信を可能として、そのオーバーヘッドを見積もる必要がある。また、提案方式では、データを先送りすることによるセキュリティの問題は考えていないが、従来から行われている HA、FA 間の登録、登録応答をデータの先送りと同時にを行うことにより、MN、HA の認証時間の短縮もはかることができる。さらに、MN、FA 間の認証作業も、データが先送りされることから少なくとも古い FA ではネットワークへの接続が認証されていることになる。これにより、MN、新しい FA 間の認証作業も帰納的に簡略化できるので、連続的に MN が移動をしてもスムーズに通信の切り替えができることが考えられる。

ところで、実際の通信環境では図 6 のような BS からの単方向通信と両方向通信の状況に限定されるとは限らず、MN からは通信できるが、BS からの通信は出来ないという状況が生じることも考えられる。このような場合に対処するために、エージェントが定期的にセル内に流すエージェント広告に加えて、MN がエージェントに対して存在を知らせるためのエージェント要請を利用することにより、更に切り替え時の瞬断をおさえることができることが考えられる。その手順としては、エージェントが、まだ登録されていない MN からのエージェント要請を受け取った場合、HA に対して認証、登録、データの先送りの要請をすることを検討している。この要請が HA で認められたならば、MN に対してエージェントの存在を知らせ、エージェントに対してデータの先送りを行うことができる。

参考文献

- 1) C.Perkins. "IP Mobility Support". RFC-2002, 1996.
- 2) James D. Solomon. "MOBILE IP". Prentice Hall, 1998.
- 3) David B.Johnson and Charles Perkins. "Route Optimization in Mobile IP". draft-ietf-mobileip-optim-07.txt, 1997.
- 4) Mark Stemm and Randy H.Katz "Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks". ACM Mobile Networking ,Special Issue on Mobile Networking Internet, 1998.
- 5) McCanne,S.and Floyd,S. "Network Simulator -ns (version2).<http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns.>".
- 6) 串田 高幸 "インターネットの TCP トラフィックの解析". 情報処理学会研究会報告マルチメディアと分散処理, Vol.84, No.4, pp.19-24, 1997.