

アドホックネットワークのための MIP/MANET 統合プロトコル

高宗 俊輔[†] 甲藤 二郎^{†‡}

[†]早稲田大学 大学院理工学研究科

[‡]早稲田大学 理工学部 コンピュータ・ネットワーク工学科

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: {takamune, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp

あらまし 移動端末が移動しながら通信を行うことを可能とする Mobile IP と移動端末同士のネットワークを構成する MANET(Mobile Ad Hoc Networks)技術を統合するプロトコルの提案を行う。提案手法は、既存手法と比べてシグナリングの量を減らしながら性能を維持することが可能で、なおかつ Mobile IP を単体で利用する際にも適用可能であることを示す。

キーワード Mobile IP, MANET, MIPMANET, MEWLANA

A MIP/MANET Integration Protocol for Mobile Ad Hoc Networks

Shunsuke TAKAMUNE[†] and Jiro KATTO^{†‡}

[†] Graduate School of Science and Engineering, Waseda university

[‡] Department of Computer Science, Waseda university

3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, 169-8555 Japan

{takamune, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp

Abstract This paper proposes an integration protocol for mobile ad hoc networks, which enables an ad hoc network to connect to the Internet using Mobile IP. We quantitatively prove that our proposal can reduce signaling overheads while keeping packet transfer performance and it can be also applied to the Mobile IP only environment.

Keyword Mobile IP, MANET, MIPMANET, MEWLANA

1. はじめに

近年、通信メディアの多様化、ブロードバンド化に伴い、インターネットに接続される通信端末も、多様化、高機能化が進んでいる。現状の固定インターネット網に対して、移動端末を通じて様々なサービスを受けるといったニーズは、今後さらに拡大することが十分予想され、特に大容量のリッチコンテンツをいつでもどこでも利用できるための手段を研究することは欠かすことが出来ない。一方で、移動端末は今後更なる小型化、高機能化することで、至るところに偏在するネットワーク端末となることも容易に想像され、そのようなネットワーク環境(ユビキタスネットワーク)における技術研究を進めることも非常に重要である。

前者の固定網への移動端末の接続性の確保には、Mobile IP(MIP)[1][2]という技術が注目されている。Mobile IP とその周辺技術は、端末が移動しても引き続きデータを送受信できるようにするための方法を提供する。後者のユビキタスネットワークでは、多種多様な移動端末が互いに情報交換を行ったり、他端末のデ

ータの転送をしたりする状況が考えられる。これを可能とする技術の1つとして、アドホックネットワーク(Mobile Ad Hoc Networks: MANET)技術に関心が集まっている。

今後は移動端末が固定網と接続しながら、移動端末同士でネットワークを作って、そのネットワーク内でも通信を行うといった、複雑な状況が訪れると考えられるが、現在のところ Mobile IP、MANET プロトコルで分離されていて、両者を統合した技術に関する研究は非常に少ない。そこで、本論文では、Mobile IP と MANET が統合された環境において、どのように MANET 内で通信を行えば良いのかについての提案及び評価を行っていく。以下2章では、背景技術として Mobile IP と MANET について述べた後、既存手法として MIPMANET[3]、MEWLANA[4]を取り上げる。第3章では、提案手法についての動作概要を述べ、第4章では、従来手法である MIPMANET、MEWLANA とともに提案手法の性能評価、分析/考察を行う。最後に第5章では、まとめを行う。

2. 関連技術

2.1. 背景技術

2.1.1. Mobile IP

Mobile IP では、端末は自身の所属元アドレス(ホームアドレス、Home Address: HoA)と、移動先でのアドレス(気付けアドレス、Care-of Address: CoA)の2つのアドレスを保持し、それぞれを所属元(ホームネットワーク、Home Network: H-NW)と移動先(外部ネットワーク、Foreign Network: F-NW)の代表ノード(Agent)に伝える。そして、通信相手(Correspondent Node: CN)が、自身の HoA 宛にデータを送ると、Home Agent(H-NWでの Agent)がそのパケットを F-NW へと転送し、それを受信した Foreign Agent(F-NWでの Agent)によって、さらに MN へと届けられる。

この際、HA から FA へとパケットを転送する際には、HA から FA 宛のヘッダを上から付加(カプセル化)する。これは HA が行うが、その付加された部分を除去(デカプセル化)するのは FA で行う。以上を図で表したのが、図 1 である。

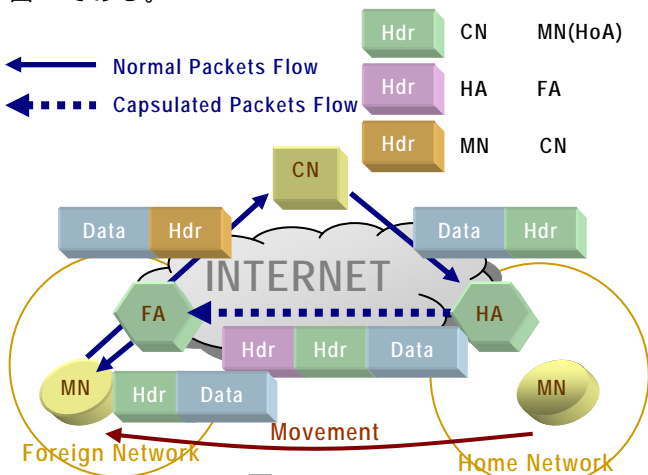


図 1. Mobile IP

2.1.2. MANET

アドホックネットワーク(Mobile Ad Hoc Networks: MANET)では、各 MN がそれぞれ独立に移動したり通信したりするため、リンクの形状(トポロジ)が複雑に変化する。有線で一般的に利用されているプロトコルを MANET 向けに修正したプロトコルとして、DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)[5]と、OLSR(Optimized Link State Routing)[6]などが存在する。これらは、通信する前にあらかじめ経路を確定しておくプロアクティブ型ルーティングプロトコルである。

一方で通信を行いたい時に経路を探すとしたりアクティブ型のルーティングプロトコルとしては、AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)[7]と DSR(Dynamic Source Routing)[8]などがある。

なお、これらの MANET ルーティングプロトコルを、以降単に MANET プロトコルと呼ぶことにする。

2.2. 背景技術

Mobile IP と MANET プロトコルの統合を目指す既存手法として、MIPMANET と MEWLANA を挙げる。

2.2.1. MIPMANET

Mobile IP、MANET プロトコルそれぞれの変更を最小限にしながら両者を組み合わせた手法である。MANET プロトコルにはリアクティブ型のルーティングプロトコルを利用する。

まず、MANET 内の MN は、FA からの広告を受信すると、それを再ブロードキャストする。そしてこの FA をインターネットと接続する Default Gateway と設定する。同時に、通信を行いたい MN は、FA へと登録を行い、(FA-)CoA を構成する。

MANET 内の MN は、特定のネットワークアドレスを持っているとは限らないので、基本的に通信を行いたい MN は、宛先の MN が同じ MANET 内にいるかもしれないと考える必要がある。したがって、送信を行おうとする MN は、まず宛先の MN までの経路発見プロセスを開始する。これは、Route Request(RREQ)パケットを送信して行う。

RREQ を受信した FA は、宛先 MN がインターネットを介した先にいる可能性があれば、応答(Route Reply: RREP)を返す。MN は、FA からの RREP を受け取ったとしても、宛先 MN が同じ MANET 内にいるかもしれないので、しばらく待機する。

その後、RREP を FA 以外から受信しなかった場合には、MN は FA へとカプセル化したパケット(ヘッダは MN FA)を送信し、FA がそれをデカプセル化してインターネットへと流す(図 2 参照)。逆に、CN からのパケットは、通常の Mobile IP を使って FA まで届けられ、FA からは MANET プロトコルを使って MN まで届けられる。

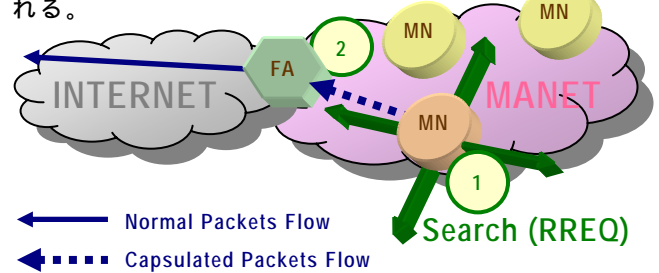


図 2. MIPMANET

この MIPMANET の問題点は、Mobile IP におけるデフォルトの広告間隔(1 秒)を用いると、MANET 内にブロードキャストパケットが流れすぎてしまう点にある。

また、通信中にハンドオフした場合、その情報を HA へと登録する必要があるが、MIPMANET では、FA からの広告受信、MANET 内を探索、FA からの応答があってもしばらく待機、FA へと逆トンネリングして HA へと情報を通知、といったステップを踏む必

要があり、特に で時間が掛かることで、ハンドオフ瞬断時間がかかり掛かってしまう恐れがある。これは Mobile IP 単体利用の場合にも深刻な影響となりうる。

2.2.2. MEWLANA

MEWLANA はテーブル駆動型の MEWLANA-TD とルート駆動型(木構造型)の MEWLANA-RD の2つのプロトコルから成り、どちらもプロアクティブ型である。

MEWLANA-TD は、DSDV をベースとしていて、それに Default Route の概念を取り入れている。Default Route の決め方は、FA からの広告を元にしていて、広告を拡散する際にホップ数情報を追加していく。これにより、小ホップの端末方向を Default Route として設定し、未知の宛先宛の packets は、FA 方向へと流し、FA によってインターネットへと配送されていくことになる。

MEWLANA-RD は、独自の TBBR(Tree Based Bidirectional Routing)と呼ばれるプロトコルを利用して、これにより FA を根とし MN を枝とする木構造を構築していく。そして、自身から根へと進む方向にある全 MN に、自身の情報を登録する。これにより、MANET 内の端末とインターネットを介した端末との通信に特化したルーティングプロトコルが完成する(図3参照)。

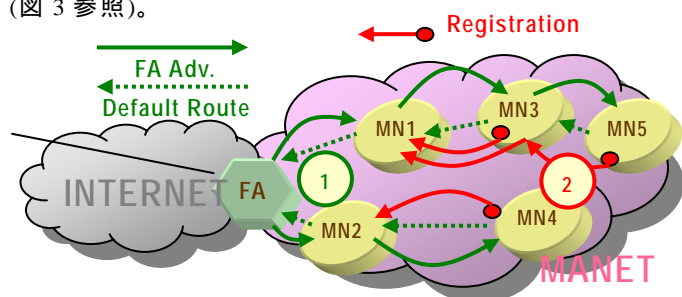


図 3. MEWLANA-RD

この MEWLANA の問題点は、MANET 内においてプロアクティブ型ルーティングプロトコルを用いているため、オーバーヘッドが大きくなる点である。ただし、MEWLANA では FA からの広告を単にブロードキャストするのではなく、広告内に FA からのホップ数を示すフィールドを導入し、自身のホップ数よりも大きいホップ数の広告を廃棄するといった仕組みが加えられている。また、MEWLANA-TD と MEWLANA-RD の切替を自動で行うのは難しく、あらかじめ MN の通信状況が想定されている環境でないと最適なプロトコルを選択することが出来ない。さらに、両手法とも、FA からの広告を信頼して動作するため、広告が受信できなくなると全く機能しなくなってしまう。

3. 提案手法

提案手法は、以下の特徴を持つルーティングプロトコルである。なお、提案手法では FA を一般化して AR(Access Router、アクセスルータ)とする。

- ・ Mobile IP を単体で利用する MN に影響が出ないプロアクティブ型
- ・ MEWLANA と同様の AR を根とする木構造を構築
- ・ 想定環境は MANET 内の端末とインターネットを介した端末との通信
- ・ シグナリング負荷の削減
- ・ インテリジェントな移動管理

以上を実現するための具体的な方法に関しては、以下で述べる。

3.1. MIP 広告と Hello パケット

AR からの広告情報は、Mobile IP をそのまま利用する。この広告情報を受信及び処理するのは、AR と直接通信を行うことのできる MN、すなわち AR から 1 ホップの MNs(AR Domain)だけとする。他の MN 同士はそれぞれ Hello パケットで情報交換を行う。

3.2. 保持情報

全 MN は、自身から AR までの全上位 MNs の CoA(または HoA)情報とホップ数を保持する。同時に、全 MN は、自身の直下位 MNs の CoA(または HoA)情報を保持する。これら保持情報を元に、ルーティングテーブルに記述していく(図4、表1参照)。

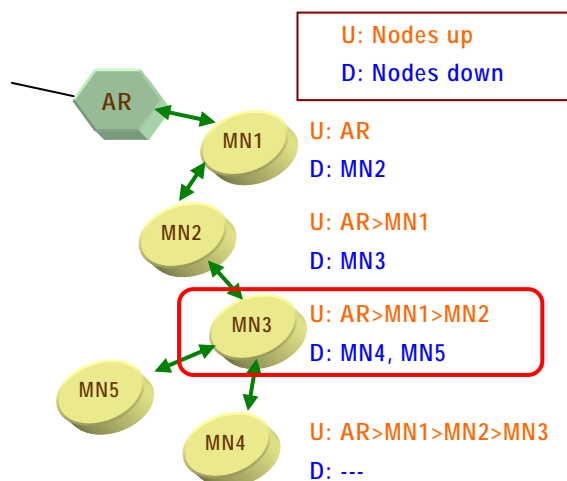


図 4. Stored Information

表 1. Routing Table

	dst	next
MN3	AR	MN2
	MN1	MN2
	MN2	MN2
	*	MN2
	MN4	MN4
	MN5	MN5

例えば、MN3 に注目すると、全上位 MNs 情報(ARを含む)から、自身の直上位 MN(MN2)を検出し、そのMN2 以外の全 MNs(AR,MN1)宛のパケットの次ホップに MN2 を設定する。同時に、Default Route にも MN2 を設定する。また、下位方向へは、直下位 MNs(MN4,MN5)をそれぞれ設定する。

以上の処理を行うと、AR を根とするプロアクティブな木構造ルーティングが完成する。ここまでの処理によって、上位方向(MN から AR)への経路が設定されたので、現在パケットを送受信する必要がない MN や、パケットを送信したいだけの MN はここまでの処理で十分と言える。

3.3. 登録処理

パケットを送受信したい MN は、AR までの全上位 MNs に対して、自身の登録を行う。これには提案手法独自の regreq パケットを利用する。regreq ヘッダの送信元に自身のアドレス、regreq ヘッダの宛先に AR のアドレス、IP ヘッダの送信元に、そのパケットを送信する MN のアドレス、IP ヘッダの宛先に、直上位 MN を指定する。regreq パケットを受信した MN は、ルーティングテーブルの宛先に regreq ヘッダの送信元、次ホップに IP ヘッダの送信元を指定する。

3.4. 経路更新

移動後は、保持データと新たに得られるデータを比較することで、「ルーティング更新」を要請する MNs を選択する。例えば、下図 5 において、AR>MN1>MN2 という全上位 MNs 情報を保持していた MN が、AR>MN1>MN3 という全上位 MNs 情報を得た場合、ルーティング更新パケットの宛先は、自身の直上位 MN から順に比較していき、初めて同じになった MN(クロスオーバー MN[この場合 MN1])である。

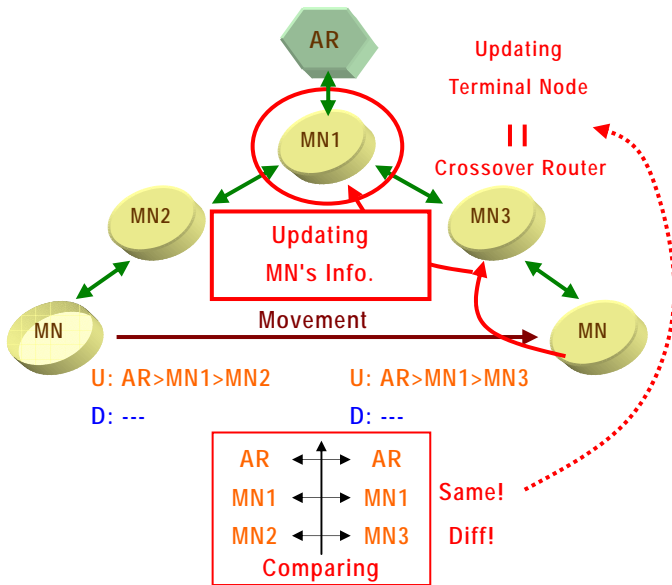


図 5. Routing Update

このルーティング更新パケットは、regreq を利用することが出来、宛先をクロスオーバー MN とすれば良い。また、このデータ比較により、自身の移動状態の概要が分かる。例えば、自身が保持しているホップ数+1 よりも大きいホップ数の Hello パケットを受信した場合は、自身が AR から遠ざかる方向へ移動しているか、もしくはその Hello パケットを送信してきた MN が AR 方向へと近づいているかである。これらの情報を利用することで、MIPMANET や MEWLANA では不可能である、よりインテリジェントな移動管理を行うことが可能となる。

3.5. データ送受信

実際のパケット送信に関して述べる。

MN の HoA を $M-m$ 、CoA を $A-a$ (AR のアドレス)、CN のアドレスを $C-c$ とし、MN の HA に CoA($A-a$)情報等を登録済みであるとする。このとき、MN から CN へのデータパケットは、送信元アドレス $M-m$ 、宛先アドレス $C-c$ でダイレクトに送信される。一方、CN から MN へのデータパケットは、送信元アドレス $C-c$ 、宛先アドレス $M-m$ で送られ、MN の HA がそれをカプセル化して、宛先 $A-a$ (MN の CoA)へと送られる。受信した AR は、デカプセル化したのち、MANET 内に宛先 $M-m$ のパケットを流すことになる(図 6 参照)。

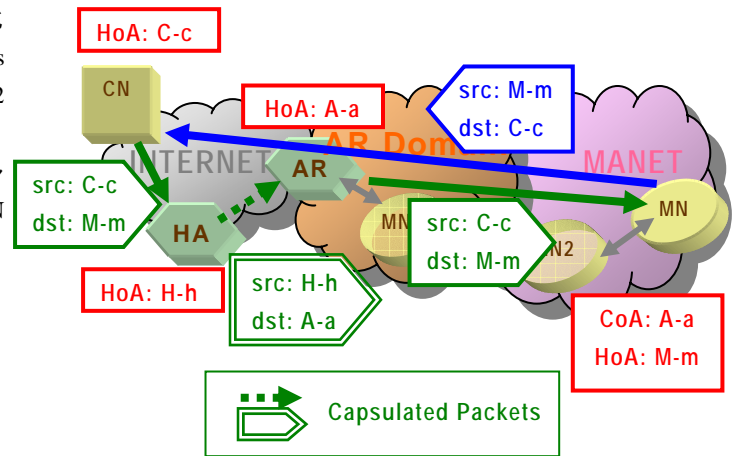


図 6. Packets Delivery with Mobile IPv4

3.6. Hello パケットの削減

提案手法では、 unnecessary Hello パケットの送信を行わないことで、シグナリング負荷の低減を目指している。Hello 送信を控える要素としては、隣接 MN 数と保持データの更新頻度がある。すなわち、隣接 MN の数が増えるにしたがって、Hello 送信間隔は長くなり、帯域の逼迫状況の発生を減少させるのと同時に、Hello による情報交換によって、自身の全上位 MNs のデータに変更が見られない回数が多ければ多いほど、Hello の送信間隔を延長していく。

4. 性能評価

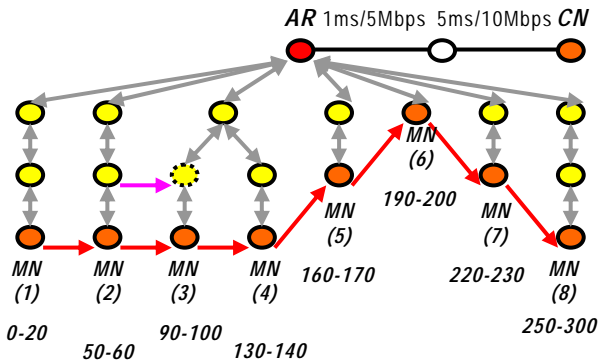
提案手法と MIPMANET、MEWLANA(-RD)との性能比較を行うために、NS-2[9]を用いて評価を行った。評価項目は、

- ・ FTP(TCP)のスループット
- ・ CBR(UDP)の packets 到達率
- ・ CBR(UDP)の平均遅延時間
- ・ 総シグナリング量

である。

4.1. モデル 1

第一のシミュレーションとして、図 7 のような移動モデルを想定した。データの送受信は、CN と MN 間でスタートから 10 秒後に開始し、310 秒後に停止する。シミュレーション条件は、表 2 の通りである。



- MN(1) MN(2): 自身の移動
- MN(2) MN(3): 自身と親の同時移動
- MN(3) MN(4): 親の変更
- MN(4) MN(5): AR に近づく 1
- MN(5) MN(6): AR に近づく 2
- MN(6) MN(7): AR から遠ざかる 1
- MN(7) MN(8): AR から遠ざかる 2

- ・ 図中の MN の下に記載した時間は、その位置に停止している時間であって、通信している時間とは限らない(例えば 30[s]の時点では停止はしていないが、通信は行っている)。

図 7. 移動モデル

表 2. シミュレーション条件

トランスポート層プロトコル	TCP-Reno / UDP .
MAC 層プロトコル	IEEE802.11 .
無線伝播距離	250 [m] .
無線帯域幅	2 [Mbps] .
パケットサイズ(TCP)	1000[Byte] .
TCP ウィンドウサイズ	4 [Segment] .
パケットサイズ(UDP)	512[Byte] .
UDP 送信レート	80 [kbps] .
ビーコン間隔	1[s] .
ノード移動速度	10[m/s] .

TCP スループット、UDP パケット到達率、UDP 平均遅延時間、総シグナリング量の結果を、それぞれ図 8~11 に示す。

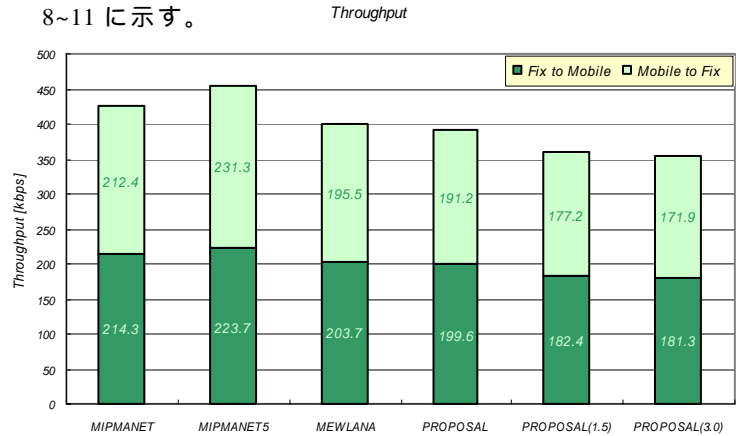


図 8. Throughput [kbps]

図 8 は、左から MIPMANET(MIP 広告 1 秒間隔)、MIPMANET(MIP 広告 5 秒間隔)、MEWLANA、提案手法(Hello1 秒間隔)、提案手法(Hello1.5 秒間隔)、提案手法(Hello3 秒間隔)を表す。また、棒の下段が CN から MN へデータパケットを送信した場合、上段が MN から CN へデータパケットを送信した場合である。結果から MIPMANET のスループットが一番高いが、提案手法は MEWLANA とほぼ同程度ということが分かる。

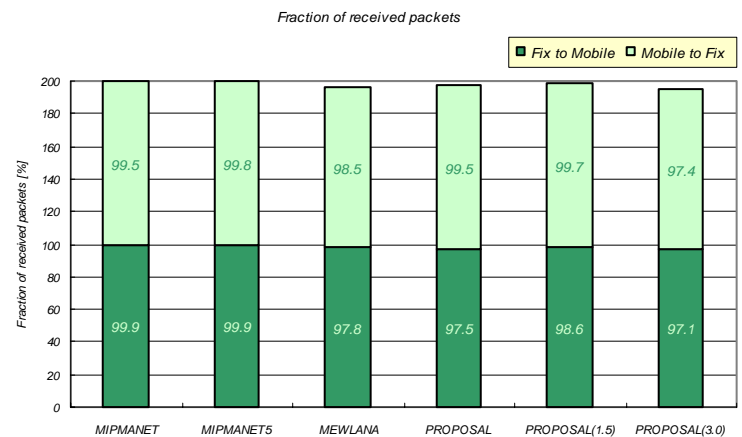


図 9. Fraction of received packets [%]

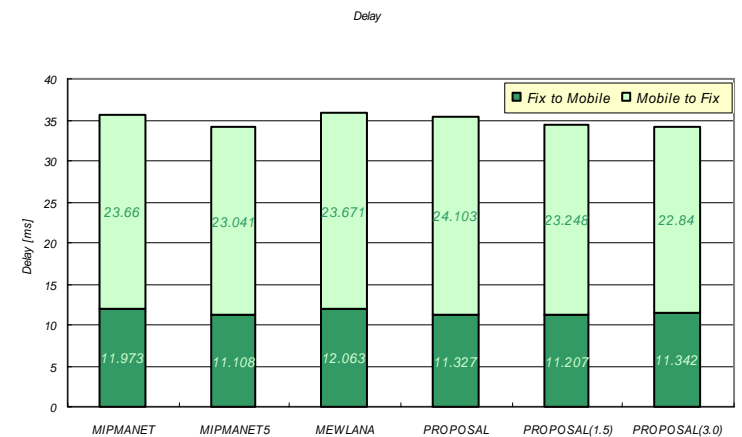


図 10. Delay [ms]

図 9、図 10 から、パケット到達率、遅延に大きな差はないといえる。提案手法は、Hello パケットの送信を減らして、送信間隔を伸ばしても、性能に大きな低下が見られないことが分かる。

Signalling

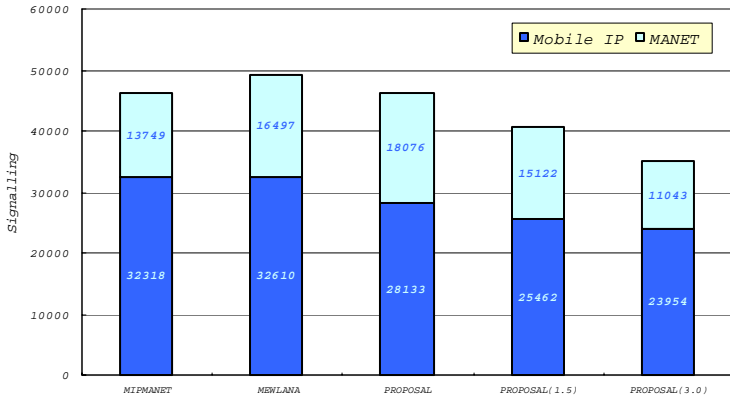


図 11. 総シグナリング量

図 11 は、Mobile IP のシグナリング(Registration Request、Registration Reply、Advertisement、Solicitation)量と MANET 用のシグナリング(Route Request、Route Reply、Route Error、Hello 等)量の和を示した図である。左から、MIPMANET(MIP 広告 1 秒間隔)、MEWLANA、提案手法(Hello 1 秒間隔)、提案手法(Hello 1.5 秒間隔)、提案手法(Hello 3 秒間隔)を表す。提案手法は、Hello パケットの分だけ MANET 用シグナリング量が増加しているが、Mobile IP の AR 広告を拡散しないため、トータルでは MEWLANA よりも少ない量となっている。Hello 送信間隔を広げるとリアクティブ型である MIPMANET よりも総シグナリング量は少なくなる。

4.2. モデル 2

第二のシミュレーションとして、図 12 のような移動モデルを用意した。これは、Mobile IP を単体で利用する環境における 3 手法の性能を評価する目的で設定した。データの送受信は、CN と MN 間でスタートから 10 秒後に開始し、110 秒後に停止する。シミュレーション条件は、表 2 の通りである。

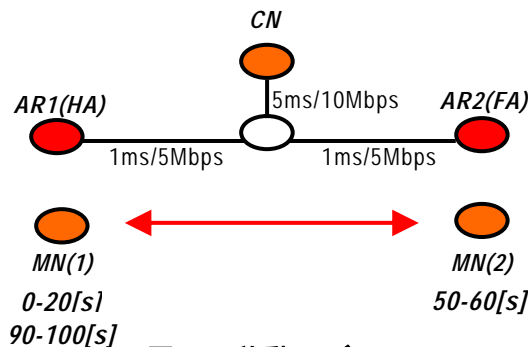


図 12. 移動モデル

結果は TCP スループットのみを図 13 に示す。図 13 は、左から MIPMANET(MIP 広告 1 秒間隔)、MIPMANET(MIP 広告 5 秒間隔)、MEWLANA、提案手法を表す。提案手法、MEWLANA が MIPMANET を上回る性能を示すことが分かる。Mobile IP と MANET プロトコルを最小限度の変更点で統合した MIPMANET が、Mobile IP を単体で利用する環境において、一番性能が低い結果となった。提案手法は MEWLANA を若干上回る性能を示した。

Throughput

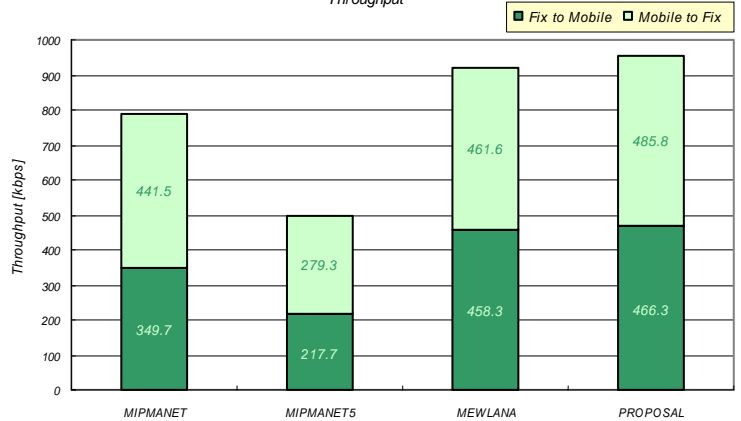


図 13. Throughput [Kbps]

5. まとめ

提案手法は、既存手法で MEWLANA 以上の性能を維持しながら、シグナリング量の削減に成功していることが分かった。また、Mobile IP 単体で利用する場合にも適用可能で、MIPMANET よりも柔軟性があるといえる。

参考文献

- [1] C.E.Perkins: "IP Mobility Support for IPv4", RFC 3344, Aug.2002.
- [2] D.Johnson et al.: "Mobility Support in IPv6", draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, Internet-Draft, June 30 2003, work-in-progress.
- [3] U.Jonsson, F.Aliksson, T.Larsson, P.Johansson and G.Q.Maguire, Jr.: "MIPMANET-Mobile IP for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE MobiHOC, Aug.2000.
- [4] M.Ergen and A.Puri: "MEWLANA-Mobile IP Enriched Wireless Local Area Network Architecture," IEEE VTC, September. 2002.
- [5] C.E.Perkins and P.Bhagwat: "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," SIGCOMM'94, Sep.1994.
- [6] T.Clausen et al.: "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", RFC 3626, Oct.2003.
- [7] C.Perkins et al.: "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", RFC 3561, July.2003.
- [8] D.B.Johnson et al.: "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", draft-ietf-manet-dsr-09.txt, Internet-Draft, 15 April 2003, work-in-progress.
- [9] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.