

## 移動体を対象としたアプリケーションとデータサイズによる 階層型 Network Mobility の負荷分散方式

月木 英治<sup>†</sup> 戸川 望<sup>†</sup> 柳澤 政生<sup>†</sup> 大附 辰夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院 理工学研究科 情報・ネットワーク専攻

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

Tel:03-5286-3396, Fax:03-3203-9184

E-mail: †tsukigi@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

あらまし 車や電車内部からインターネットを利用する手法として Network Mobility (NEMO) が提案されている。しかしながら、ハンドオーバーの際に生じるパケットロスや遅延時間、特定ルータへの負荷集中が通信品質の劣化原因となっている。本稿では、Mobility Anchor Point (MAP) を用いたアプリケーションとデータサイズによる多階層型 MAP の負荷分散方式を提案する。本方式では、移動体 (MN) の移動速度に依存しないため、電車内部のように MN 速度が同じであっても、MAP の負荷分散を実現できる。また、IP 電話やビデオストリーミングなどのアプリケーションに対して、一定の遅延時間の保証が行える。本手法の有効性をネットワークシミュレータ OPNET を用い検証する。キーワード Network Mobility, Mobility Anchor Point, 負荷分散

### A Load Balancing Method of Hierarchical Network Mobility by using Application Type and Data Size for Mobile Communications

Eiji TSUKIGI<sup>†</sup>, Nozomu TOGAWA<sup>†</sup>, Masao YANAGISAWA<sup>†</sup>, and Tatsuo OHTSUKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science, Waseda University

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

Tel: 03-5286-3396, Fax: 03-3203-9184

E-mail: †tsukigi@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

**Abstract** Network Mobility (NEMO) is a method using the Internet inside cars or trains. However, packet losses, delay time and load concentration to a router, when handover is taking place, cause quality degradation. We propose a load balancing method by using application type and data size in multi-layered Mobility Anchor Point (MAP). Our method does not depend on MN's speed, so the load balancing over MAPs can be realized where all MNs move at the same speed as in a train. In addition, we can guarantee constant delay time for applications such as IP telephone or video streaming. We show the effectiveness of the proposed method using the network simulator OPNET.

**Key words** Network Mobility, Mobility Anchor Point, Load Balancing

#### 1. ま え が き

現在、空港・学校やオフィス等の屋内だけでなく屋外にも無線 LAN のアクセスポイントが設置されはじめ、移動体通信環境が急速に広がってきている。車や電車などの移動体からインターネットを利用する手法として NEMO (Network Mobility) [2] が提案されている。しかし、これら移動体から、NEMO を用いてインターネットを利用する際に通信品質が劣化してしまう。これは、移動端末 (MN) が移動体と同じ速度で高速に移動す

るため、MN が頻繁なハンドオーバーと BU (Binding Update) を伴う事と、複数の MN が同じ速度で移動するため、ハンドオーバーが同時に発生し、特定のルータに負荷が集中することにより生じる、パケット転送遅延時間が原因である。そのため、WEB ブラウジングや電子メールの送受信が快適に利用できる一方で、ビデオストリーミングなどの遅延時間の影響が大きいアプリケーションに関しては通信が途切れる問題がある [1]。

電車内部のように MN が同じ速度で移動している際に、特定のアプリケーションの遅延時間を保証することにより、快適に

インターネットを利用するためには、ハンドオーバー時の遅延時間削減に加えて、

(1) MN が使用するアプリケーションに応じた、遅延時間の保証

(2) MN の速度が同一である場合での、ルータの負荷分散が必要であると、

我々は考えている。

Mobile IP における、ハンドオーバー時の遅延時間の削減手法として、ハンドオーバーを高速に行う、FMIPv6 (Fast Handovers for Mobile IPv6) [3], HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6) [4], Cellular IP [5] が提案されている。本稿では、MN の BU 先が制御可能な HMIPv6 を応用することで、上記 (1), (2) の問題を解決することが出来ると考え、HMIPv6 に着目する。

HMIPv6 では、インターネット網と Access Router (AR) の間に MAP (Mobility Anchor Point) と呼ばれるルータを設置する。MAP はローカルに存在する HA (Home Agent) のような振舞いをし、ローカルドメイン内の位置情報を管理する。MN が MAP ドメイン内でハンドオーバーする場合、MN は MAP にのみ BU を行えばよいため、パケットロス及び遅延時間の増大の原因となっていた HA への BU 数を削減することができる。これにより高速なハンドオーバーを実現できる。しかし、MAP 間のハンドオーバーが必ず生じるため (1) が解決できない。また、MN からの BU、データ転送による通信が一極集中するため、MAP に大きな負荷が掛かるため (2) が解決できない。そこで MAP を階層的に複数配置することで、負荷分散制御を行う多階層型 Mobile IPv6 (M-HMIPv6) が提案されている。

多階層型 MAP の負荷分散方式として、MN の BU 間隔より概算した仮想的な移動速度を利用した研究が行われている [6], [7]。これは、BU 間隔が短い MN は高速に移動し、BU 間隔が長い MN は低速に移動しているとみなすことができるからである。また、Binding 情報と移動速度情報からなる MN オブジェクトと呼ばれる情報を MAP 同士が交換することで、MAP の負荷を自律的に分散する方式 [8]、移動端末の属性 (ハンドオーバー頻度、通信時間) に着目することで MN の担当 MAP を決定するスコアリングによる負荷分散方式 [9] が提案されている。

しかしながら、いずれの研究 [6]~[9] においても MN の速度に依存するため、NEMO で想定される電車内部のように MN 速度が同一の場合、MN が同じ MAP に管理されるため (2) が解決出来ない。また、アプリケーションの区別をしておらず、(1) が解決できない。

そこで本稿では、アプリケーションとデータサイズによる多階層型 MAP の負荷分散方式を提案する。IP 電話やビデオストリーミングは、MAP 間ハンドオーバーの際に生じる遅延時間のために通信が途切れてしまう。そのため、これらのアプリケーションに関しては、MAP 間ハンドオーバーが生じないよう上位 MAP で制御することにより (1) が解決できる。また、特定 MAP への負荷集中を防ぐために、データサイズに着目する。データサイズに閾値を与え MAP が管理する MN を制御する。通信するデータサイズが大きい MN は、通信時間が長いいため、通信中の BU を削減するために上位 MAP で制御を行

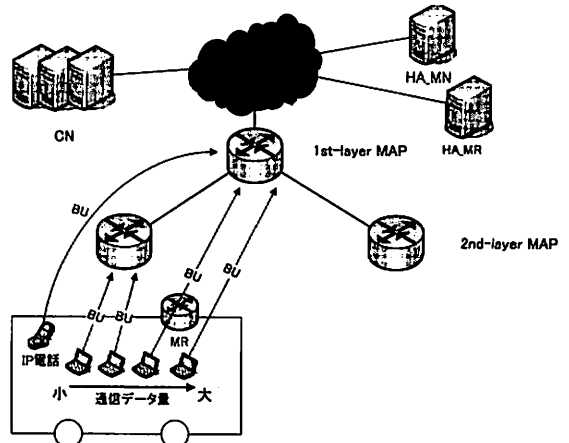


図 1 提案手法概念図

い、逆にデータサイズが小さい MN は、通信時間が短いため、下位 MAP で制御する。本方式では、MN の移動速度に依存しないため (2) が解決できる。提案手法の有効性を示すために OPNET を用いたシミュレーションを行い、複数のアプリケーションが混在する中で、IP 電話やビデオストリーミングなどのアプリケーションに対し一定の遅延時間を保証<sup>(注1)</sup>した上で、MAP の負荷分散ができることを示す。

## 2. アプリケーションとデータサイズによる負荷分散方式

本章では、MN の使用するアプリケーションの性質に着目し、特定アプリケーションの通信遅延時間を保証する MAP の負荷分散方式を提案する。提案手法では、文献 [10] の多階層 MAP を NEMO に適用した手法に対して、電車内に設置された MR (Mobile Router) に機能を付加する。MR が、MN の使用するアプリケーションのトランスポート層プロトコル判別と通信データサイズ取得の二つの処理を行うことで、MAP の管理する MN の制御が行える。図 1 は提案手法の概念図である。通信データサイズが設定した閾値  $\tau$ <sup>(注2)</sup>より小さい MN を下位 MAP で管理し、閾値  $\tau$  より大きい MN と IP 電話やビデオストリーミングなどのアプリケーションを使用する MN を上位 MAP で管理を行う。

電車から複数の MN がインターネットを利用することを想定し、各 MN の使用するアプリケーション、通信データサイズ、移動速度、通信相手である CN の IP アドレス、閾値を入力とし、IP 電話やビデオストリーミングを使用する MN-CN 間の通信遅延時間と 1st-layer, 2nd-layer のそれぞれの MAP に掛かる負荷を出力とする。MAP の負荷は文献 [9] と同じ算出方法を用いるものとし、

(注1): 遅延時間の保証に関して、通信に掛かる往復遅延時間が 400ms 以下である場合を通信 (通話) 可能 [12] であるとし、遅延時間の保証ができていと定義する。

(注2): 本稿では、閾値  $\tau$  を通信データサイズと比較するための値とし、単位は KB とする。

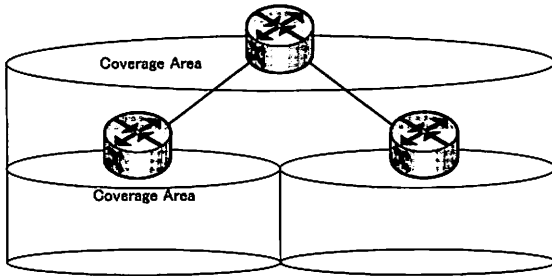


図2 多階層 MAP の MN 管理領域

MAP 負荷 = (1 秒間に担当している MN 数)  
 + (1 秒間に行われる MAP 間での MN 担当依頼処理<sup>(注3)</sup>)  
 + 2 \* (1 秒間に MAP に対して行われた BU 数)  
 と定義する。

このとき、IP 電話やビデオストリーミングを使用する MN の通信遅延時間を保証した上で、多階層 MAP 内において最大負荷を有する MAP の負荷の最小化を目的としている。

2.1 で MN が使用するトランスポート層のプロトコルと通信データサイズによる MN の分類、2.2 でトランスポート層のプロトコルを判別方法、2.3 で通信データサイズの取得方法、2.4 で提案手法を用いた際の、MN と CN が通信を開始するまでに必要な処理について述べる。

### 2.1 MAP の管理する MN の分類

提案手法では、IP 電話やビデオストリーミングを使用する MN と通信データが閾値  $\tau$  より大きい MN を上層 MAP、通信データが閾値  $\tau$  より小さい MN を下層 MAP、として MAP が管理する MN の分類を行う。多階層 MAP はドメインの重複 (図2) を可能としており、上位 MAP は下位 MAP と比較して、MN を広い領域で管理出来る。そのため、上層 MAP で管理された MN は、通信遅延時間とパケットロスの増大原因となる MN の HA に対するハンドオーバー頻度を低く出来る [8]。

IP 電話やビデオストリーミングでは遅延時間を低くすることが重要となる。これは、遅延時間が大きくなると、IP 電話では会話として成り立たなくなり、ビデオストリーミングでは静止画を見ることになるためである。IP 電話やビデオストリーミングによる情報伝達の場合は、人間が目・耳で確認するため多少のパケットロスが発生しても、それを会話として認識できる程度で直前の音を再生する機能をもたせることが可能である。そのため、トランスポート層のプロトコルとして、UDP プロトコルが用いられる。UDP プロトコルはデータに損失があった場合においても再送制御を行わないプロトコルである。再送制御やデータの到達を確認しないため、TCP プロトコルより高速にデータを送信できるメリットがある。上層 MAP に負荷が集中すると、UDP プロトコルを用いたアプリケーションの遅延時間の増加が起こり遅延時間の保証が困難になる。そこで、TCP プロトコルを用いたアプリケーションに対して、通信す

(注3) : 文献 [9] で用いられる。MAP 間で負荷の高い MAP から負荷の低い MAP へ担当している MN の情報を転送するための処理である。

Version	Traffic Class	Flow Label	
Payload length		Next header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			

図3 IPv6 ヘッダ

Source Port		Destination Port	
Sequence Number			
Acknowledgement Number			
Data Offset	予約 (未使用)	URG	ACK
		PUSH	RESET
Checksum		Window	
Option		Urgent Pointer	
Padding		TCP Data	

図4 TCP ヘッダ

るデータサイズに閾値を設けることで、MAP の負荷を分散する。通信データサイズの大きい MN は、通信時間が長い、移動中にハンドオーバーが生じる可能性が高い。そのため、再送制御による通信データ量の増加を防ぐために上層 MAP で MN を管理する。

### 2.2 トランスポート層プロトコルの判別

MN の使用するトランスポート層プロトコルを、IPv6 ヘッダ (図3) の Next Header フィールド<sup>(注4)</sup>を用いて判別する。IPv6 ヘッダの Next Header フィールド値は、TCP プロトコルであれば 6、UDP プロトコルであれば 17 と定義されている。UDP プロトコルであった場合は、上位 MAP のアドレスを MR が MN に通知する。TCP プロトコルであった場合は、通信データサイズの取得を行い、閾値  $\tau$  をもとに上位 MAP か下位 MAP かを決定し MN に MAP アドレスを通知する。

### 2.3 通信データサイズの取得

TCP プロトコルを用いたアプリケーションであると判別した MR が、MN に代わり、通信相手である CN (Correspondent Node) から通信データサイズを取得する。提案手法では、WEB ブラウジングに HTTP (80)、E-Mail の受信に POP (110)、ファイル受信に FTP (20,21) プロトコルを使用し、括弧内ポート番号を使用するものとする。CN はそれぞれのプロトコルに

(注4) : 8 ビットのセレクタ。IPv6 ヘッダの直後にあるヘッダの種類を示す。

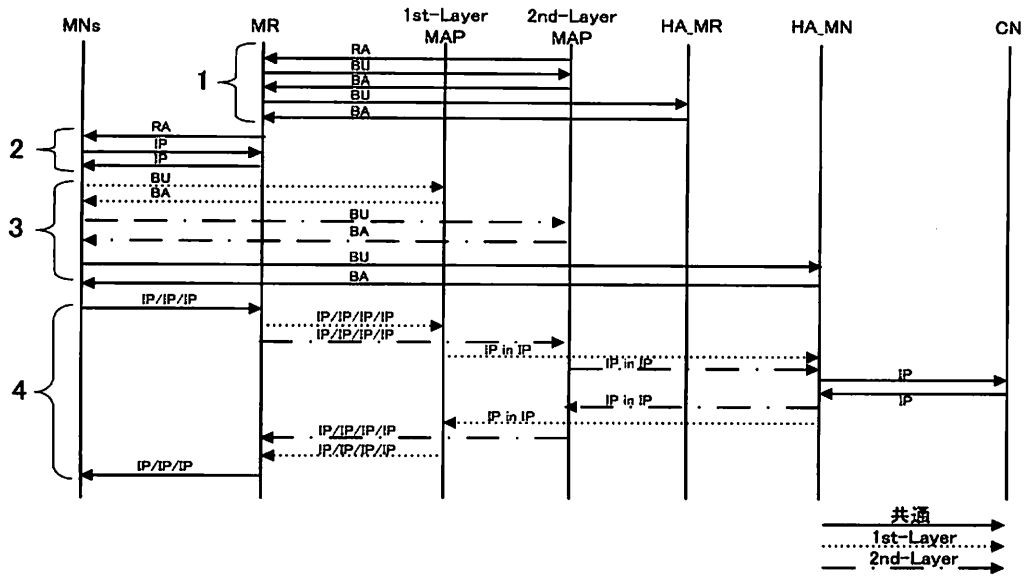


図5 提案手法シーケンス図

応じて、HEAD (HTTP)、LIST (POP)、LIST (FTP) メソッドを実装する。MRはTCPヘッダ(図4)のSource Portより、CNへの接続アプリケーションを特定し、アプリケーションに応じた命令をCNに発行する。MRは取得したデータサイズと設定された閾値 $\tau$ から、MNに対してMAPのアドレスを送信する。

#### 2.4 提案手法のデータフロー

図5は提案手法のシーケンス図である。

MRはARからのRA(Router Advertisement)を受信後に二つの気付かけアドレスRCoA\_MR(Regional Care-Of Address)とLCoA\_MR(Local Care-Of Address)を作成する。RCoA\_MRはMAPドメイン、LCoA\_MRはARドメインにMRが存在することを示す。MAPにHoA\_MR(Home Address)、RCoA\_MR、LCoA\_MRとPrefix\_MNをHA\_MRにHoA\_MR、RCoA\_MRをBUメッセージを用いて通知する(図5(1))。

MRのBU完了後、MRはMNに対してRAを行う。MNはRAにより得られた、MRの内部インターフェースに対して通信を行う。MRは、MNからのパケットにUDPプロトコルが用いられていた場合、1st-layer MAPのアドレスをRAによりMNに通知する。MNからのパケットにTCPプロトコルが用いられていた場合、CNに対して通信データサイズの取得を行う。MRは、通信データサイズと設定された閾値から、1st-layer MAPか2nd-layer MAPのアドレスRAによりMNに通知する。(図5(2))

MNはMRからのRAメッセージを受信後に二つの気付かけアドレスRCoA\_MNとLCoA\_MNを作成する。MAPにHoA\_MN、RCoA\_MN、LCoA\_MNとHA\_MNにHoA\_MN、RCoA\_MNをBUメッセージを用いて通知する。(図5(3))

MNはBU完了後、MNのデータはMRを経由して通信が

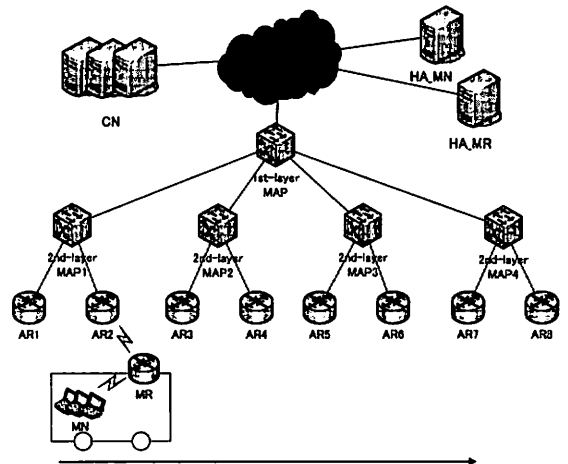


図6 シミュレーションで用いたネットワーク図

行われる(図5(4))。

### 3. シミュレーション

ネットワークシミュレータOPNETを用いて提案手法を評価する。MNのハンドオーバー頻度と通信時間を用いてMAPの負荷分散を行う「スコアリング方式」[9](以下これを「既存手法と呼ぶ))と比較することで、提案手法の優位性を検証する。

#### 3.1 シミュレーション環境

電車内部から、MNがCNノードに対して、WEBブラウジング・E-Mail送受信・ファイルダウンロード・ビデオ通話(音声+動画)の4種類を使用することを想定してシミュレーションを行った。

提案手法と既存手法の実験で用いたネットワーク構成を図6

表 1 シミュレーションパラメータ

パラメータ	設定値
AR 間隔	4km
MN-MR 間の通信速度	54Mbps
MR-AR 間の通信速度	11Mbps
MR 速度	120km

表 2 アプリケーションモデル

アプリケーション	データサイズ
WEB	300-600KB
E-MAIL	10-200KB
FTP	500-2000KB

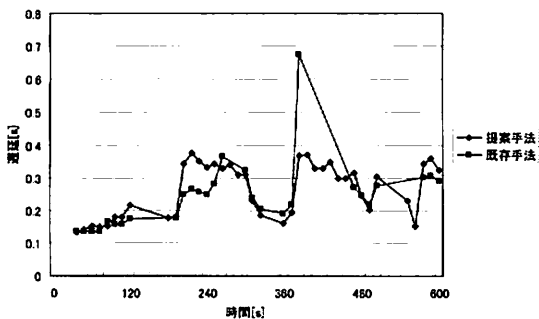


図 7 ビデオ通話の遅延時間

に示す。CN, MN と MR の HA, 1st-layer MAP はそれぞれ直接インターネット網に有線 (100BASE-T) で接続されており, MN からインターネット網への通信は全て, 1st-layer MAP を経由して行く。MAP は 1st-layer と 2nd-layer で構成される 2 階層とし, それぞれの 2nd-layer MAP に対して 2 個ずつ, AR が接続している。1st-layer MAP と 2nd-layer MAP, 2nd-layer MAP と AR は有線 (100BASE-T) で接続する。電車内部の環境は, 企業が特急内部からインターネットを利用する実機実験 [1] で用いた値を使用した。表 1 にパラメータを列挙する。

ファイルブラウジング, E-Mail 送受信, ファイルダウンロード, ビデオ通話を用いる MN を各 30 個, 合計 120 個用いた。それぞれのアプリケーションは, ビデオ通話を除き, ファイルサイズは表 2 のデータサイズをランダムに用いる。また, WEB ブラウジングではファイル受信完了後 10s, E-Mail は送受信を 1 回の動作とし, 完了後 10s, ファイルダウンロードは受信完了後 10s をそれぞれ待機時間として, 動作を繰り返すものとした。ビデオ通話に関しては, 文献 [11] にある男女通話の平均として, 600s 続くものとした。

### 3.2 遅延時間の測定

図 7 は提案手法 ( $\tau = 1000$ ) と既存手法のビデオ通話往復遅延時間の平均値を示したものである。

提案手法では, ビデオ通話を利用する全端末が, 1st-layer MAP に対して BU を行った。図 7 の結果は, 180s, 380s, 560[s] でハンドオフが行われていたことを示す。ハンドオフが行われる時間付近では, 往復遅延時間が約 400ms まで増加している。既

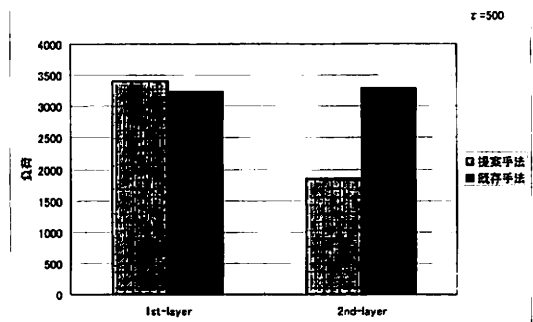


図 8 MAP 負荷  $\tau = 500$

存手法では, 380ms 付近で通信遅延時間が提案手法に比べて約 1.7 倍となった。これは, 380ms 付近で 2nd-layer MAP に BU を行った端末が現れたためである。MAP 間ハンドオフが行われると, MN は HA に対しての BU を行う必要があり, 遅延時間が増加する結果となった。

文献 [12] では, IP 電話で通話可能な最大往復遅延時間を 400ms としている。提案手法では, 往復遅延時間が 400ms 以内であり, 通話が途切れることが無かったと言える。一方で, 既存手法では一部の端末が, MAP 間ハンドオフを行ったために, 最大遅延時間が 670ms まで増大しており, 380s から 480s まで通話が途切れる結果となった。

提案手法を用いることで, 特定のアプリケーションを用いる端末の遅延時間の保証が行え, 通話が途切れる事がなかった。既存手法がシミュレーション時間全体の 1/7 にあたる 80s 通話不能になった端末があることを考えると, 本手法は有効であると考えられる。

### 3.3 MAP 負荷の測定

図 8, 9, 10 は閾値  $\tau = 500, 1000, 1500$  とした場合の 1st-layer MAP と 2nd-layer MAP のレイヤごとの負荷の平均結果である。提案手法では,  $\tau = 1000, 1500$  の場合, 1st-layer と 2nd-layer の負荷が約 20% 削減できている。これは, 既存手法が, MAP 同士で MN 担当依頼処理を出しているためだと考えられる。提案手法では, MN の依頼処理は行わないために, 担当依頼処理による負荷はゼロである。一方で,  $\tau = 500$  とした場合, 1st-layer が 2nd-layer の負荷が偏る結果となった。

図 9, 10 の結果より, 閾値  $\tau$  は 1000-1500 の間で最適値が得られると考えられる。これらの閾値では, WEB ブラウジングと E-Mail の MN 全てが 2nd-layer MAP で管理されるため, BU による負荷は 2nd-layer MAP が大きくなる。一方で, ビデオ通話は 600ms 通信が続くため, その他のアプリケーションに対して, MAP の 1 秒間に担当している MN 数による負荷が大きい。これらの要因から, 閾値  $\tau$  は, 2nd-layer MAP が管理する MN 数が, 1st-layer MAP で管理される MN 数より多くなる値を取ると考えられる。

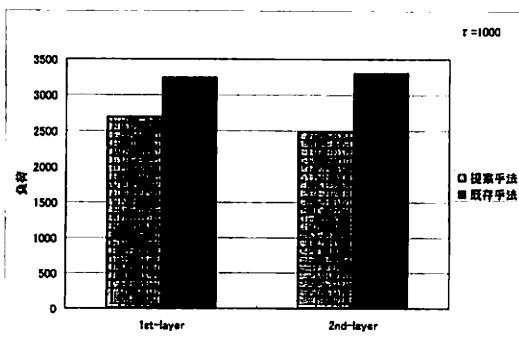


図9 MAP 負荷  $\tau = 1000$



図10 MAP 負荷  $\tau = 1500$

#### 4. むすび

本稿では、アプリケーションとデータサイズによる多階層型 MAP の負荷分散方式を提案した。提案手法により特定のアプリケーションに対して遅延時間を保証した上で、負荷分散ができた。また従来手法と比較し MAP の負荷を約 20%抑えることができた。一方で閾値の設定値次第では MAP への負荷が偏る結果となった。今後の課題として、閾値  $\tau$  の検討を行い、最適値の導出が挙げられる。

#### 文 献

- [1] インプレス BroadBand Watch, <http://bb.watch.impress.co.jp/cda/special/10836.html>, 2005.
- [2] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert, "Network mobility based support protocol," IETF RFC3963, Jan. 2005.
- [3] R. Koodli, "Fast handovers for mobile IPv6," draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-00.txt, Oct. 2003.
- [4] H. Soliman, C. Castellucia, K. El-Malki and L. Bellier, "Hierarchical MIPv6 mobility management(HMIPv6)," draft-ietf-mipshop-hmipv6-00.txt, June 2003.
- [5] A. Valko, "Cellular IP: A new approach to internet host mobility," ACM SIGCOMM Comp. Commun. Rev., Vol. 29, No. 1, pp.50-65, Jan. 1999.
- [6] K. Kawano, K. Kinoshita and K. Murakami, "A mobility-based terminal management in IPv6 networks," IEICE Trans. Commun., vol.E85-B, no.10, pp.2090-2099, Oct.
- [7] M. Bandai and I. Sasase, "A load balancing mobility management for multivel hierarchical mobile IPv6 networks,"

IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Communications, pp.460-464, Sept. 2003.

- [8] 熊谷 崇, 朝香 卓也, 高橋 逸郎, "階層型 Mobile IPv6 における自律的負荷分散方式," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-B, No. 1, pp.245-255, 2005.
- [9] 伊藤 健, 瀧美 章桂, 田中 良明, "スコアリングによる階層型 Mobile IPv6 の負荷分散方式," 信学技報, Vol. NS2005-70, pp.37-40, 2005.
- [10] Y. Takagi and H. Ohnishi, K. Sakitani, "HMIP based route optimization method in a mobile networks," draft-ohnishi-nemo-ro-hmip-00Wreeman, 2003.
- [11] 総務省, "平成 11 年版通信白書," 1999.
- [12] R.V. Cox, B.G. Hassle, A. Lacuna, B. Shalraray and L. Rabiner, "On the applications of multimedia processing to communications," Proc. IEEE, Vol. 86, No. 5, pp.755-824, May 1998.