

6-4 大容量モバイルインターネットに向けたモバイルリング

6-4 Mobile Ring Network for Large-Scale Mobile Internet

井上真杉 長谷川幹雄 マハムド カレド 領木信雄 表 昌佑
 チャンハグエン 久保 健 横田英俊 井戸上 彰 竹内和則 山本 周
 INOUE Masugi, HASEGAWA Mikio, MAHMUD Khaled, RYOKI Nobuo,
 PYO Chang Woo, TRAN Ha Nguyen, KUBO Takeshi, YOKOTA Hidetoshi,
 IDOUE Akira, TAKEUCHI Kazunori, and YAMAMOTO Shu

要旨

オール IP 化が進む次世代のモバイルネットワークでは、大都市のユーザ密集エリア(端末数100万台以上)で利用可能な本格的モバイルインターネット通信技術が求められる。すなわち、大量の移動端末を扱う「大容量性」と、移動端末が行う通信を途切れなく継続させる「高速ハンドオーバ」が重要である。本研究では、端末の位置管理とパケット転送を担う制御装置 LMA(Localized Mobility Agent)を分散配置してリング状に接続するアーキテクチャを提案し、パケット転送方式の基本性能評価や屋外テストベッドネットワークを用いた実証実験を行った。従来の階層型のネットワークと比較して、10万件規模の移動端末を収容するネットワークで提案方式が優位となることなどを明らかにした。

Mobile networking technologies for use in metropolitan areas are needed to realize IP-based new-generation mobile networks. For this purpose, provision of high scalability in the number of mobile devices to be accommodated and the volume of traffic they receive and transmit as well as low latency in switching connection from one access point to another while accommodating a huge volume of traffic is of great importance. We proposed a new mobility management architecture where multiple Localized Mobility Agents (LMA) are interconnected on a flat ring to de-centralize location information of the visiting mobile nodes and packet forward processing. Performance evaluations of the packet forwarding and outdoor experimental demonstration using testbed network were carried out. The proposed Mobile Ring has an advantage in a large-scale network that accommodates tens of thousands of mobile nodes against conventional hierarchical network.

[キーワード]

モバイルインターネット, マイクロモビリティ, リングネットワーク, 高速ハンドオーバ
 Mobile Internet, Micro mobility, Ring network, Fast handover

1 まえがき

2010年以降の新しい情報通信ネットワークの実現に向けて、第4世代移動通信システムや次世代ネットワーク(NGN)をはじめとする新ネットワークの研究開発が行われている。これらのネットワークではインターネットプロトコル(IP)技術を活用することで、インターネット上で実現され

ている様々なサービスやアプリケーションを実行しようと考えられている。しかしながら、本来インターネットはコンピュータが有線接続されたネットワークを想定して設計されているため、コンピュータや通信端末が有線に比べて不安定な無線でネットワークに接続され、さらにそれらが移動して接続状況が時間とともに変わるモバイル環境に対応するためには、様々な改善が必要となる。

本研究では、東京のような大都市で本格的に利用できるモバイル対応 IP ネットワーク技術を実現するために、多数の移動端末を扱える“大容量化”と、移動端末の通信を途切れなくする“継続性の確保”の二つをポイントに置いた。これらを解決するため、従来の階層構造とは異なる、新しいアーキテクチャに基づく「モバイルリング」の研究開発を行ってきた。本稿ではその概要を紹介する。

2 モバイルリングとは

2.1 展開イメージ

図1に展開イメージを示す。都市部では光ファイバをリング状につないだ光メトロリングが広く利用されている。その各拠点に、開発したパケット転送装置 (Localized Mobility Agent : LMA) を配置することでネットワークを実現する。LMA には、802.11 系や 802.16 系の新無線基地局や次世代セルラー基地局などを接続する。リングネットワークは一つの IP サブネットを構成し、別のリングネットワークや外部ネットワークとの間は Mobile IP などのマクロモビリティ技術により移動性を保証する。

実用化できれば、例えば JR 山手線を一周しながら高速な無線 LAN でインターネット上の映像配信、テレビ電話などのあらゆるサービスを楽しむようになる。本技術の応用先は、都市部に限らずビル・デパート、アミューズメント施設、鉄道・道路の沿線、自治体など多数考えられる。

2.2 スコープ

モバイルリングは、IP ベースの任意の無線基地局を接続可能なネットワークであり、複数のモバイルリングで都市部をカバーする [1] (図2)。一つの大きさは収容すべきトラフィック量やそのとき利用できる伝送・スイッチ技術に依存する。一つのモバイルリングで IP サブネットを構成し、そのなかを移動する限りは端末の IP アドレスは不変である。すなわち、モバイルリングは通称マイクロモビリティと呼ぶ局所的な移動管理を担うネットワークとする。一方、モバイルリング間及びその他のネットワークとの間の移動は通称マクロモビリティと呼ぶ領域となり、IP アドレスの変更を伴う移動となる。例えば代表的なマクロモビリティプロトコルの Mobile IP では、ホームエージェント (HA) が移動端末の位置管理とデータ転送を担う。

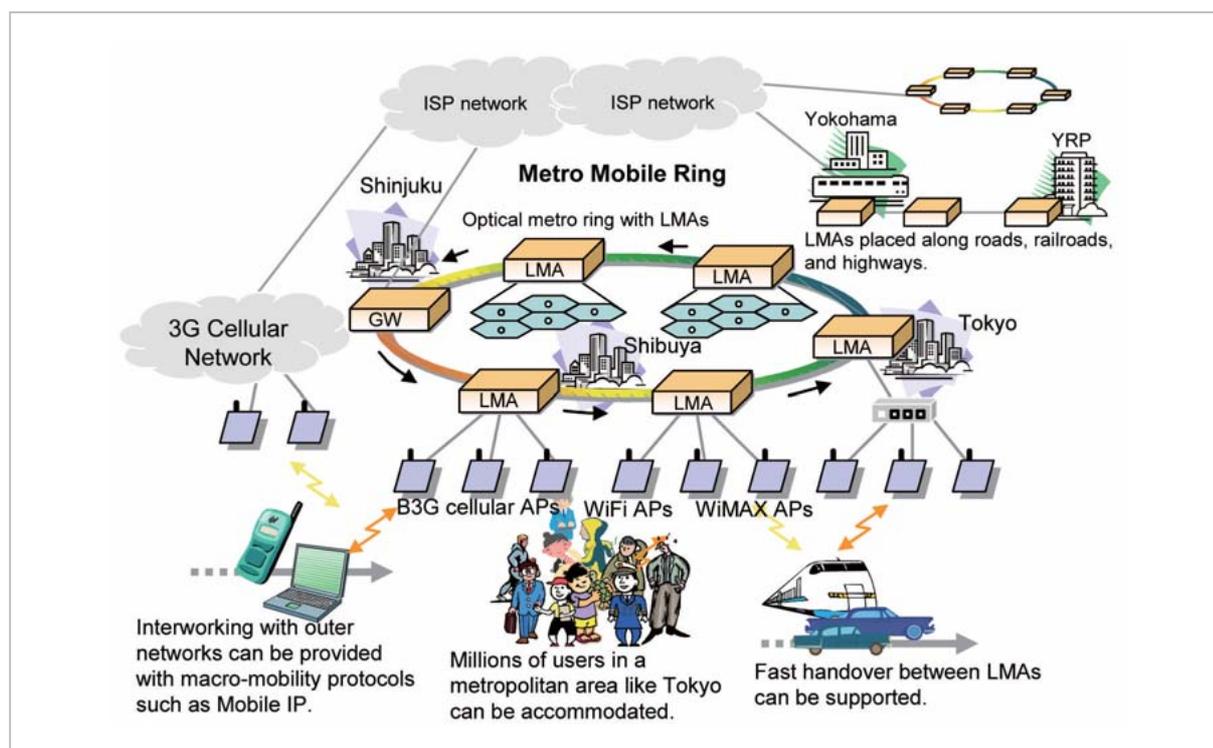


図1 モバイルリングの展開イメージ

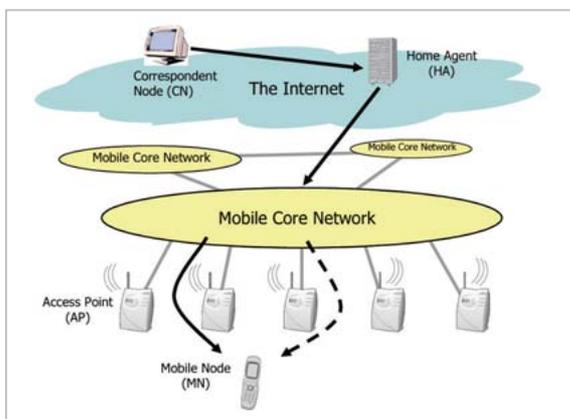


図2 モバイルリングのスコープ

2.3 収容すべきトラフィック

本研究を開始するに当たって、モバイルリングが収容すべきトラフィック量の目安を得るため次の予測を行った[1]。東京都の統計によると、東京の中心部では日中の居住人口及び就業人口の合計が10 km 四方当たりおよそ80万人であることから、10 km 四方当たり100万台のモバイル端末を想定した。2001年の情報通信白書によると全携帯電話のおよそ0.4%が通信中であることから、通信率を1%と仮定した。発生する情報量として、音声等の比較的低速なものを想定した100 kbpsと、高品質映像等を想定した100 Mbpsの2通りを考える。このとき、10 km 四方をカバーするモバイルリングが収容すべきトラフィック量は、端末の発信トラフィックが100 kbpsのときに総計1 Gbps、100 Mbpsのときに総計1 Tbpsと算出できる。音声以外の様々なデータアプリケーショントラフィックの存在も考慮すると、少なくともワイヤスピードで1 Gbpsのモバイルリングが必要である。

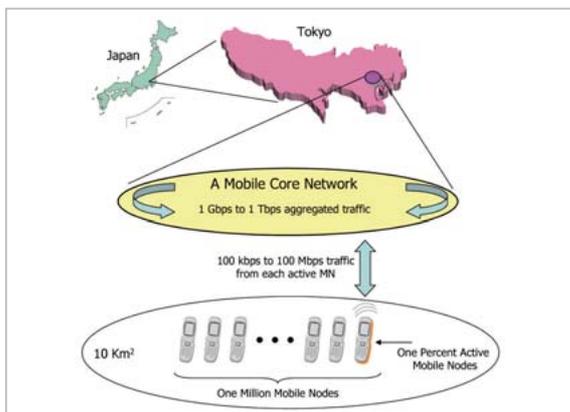


図3 モバイルリングの収容トラフィックの推定

3 なぜリング構造なのか

マイクロモビリティを実現するために主に二つのアプローチが取られる[2]。

トンネルベースアプローチ：モビリティエージェントはあて先アドレスが自ネットワークに属さないパケットを転送するためにトンネルを設定する。トンネルの端点が当該プロトコルをサポートしている限り、中継ノードはそれを意識する必要がない。Regional Registration[3]や Hierarchical MIPv6 が該当する。

ホストルーティングベースアプローチ：マイクロモビリティネットワーク内のモビリティエージェントはMNへパケットを転送するための次ホップを管理し、MNあてのパケットをこれらのエージェントでリレーする。トンネルによるオーバーヘッドはないが、すべてのノードが同一プロトコルをサポートする必要がある。Cellular IP[4]や HAWAII[5]が該当する。

上記適用例はそれぞれ異なる経路制御技術を用いているが、局所的な移動管理を行うために階層的なネットワーク構造をとっている共通点がある。階層型のアプローチは図4に示すように、上位層への経路制御が簡単であり、MNの移動が小さい場合には制御メッセージを最小化できる利点がある。しかし、MNの位置登録情報の数の観点では、ノードが上位であるほど経路情報を多く保持しなくてはならない。すなわち、最上位の階層のルータはその配下に存在するすべてのモバイル端末のルーティング情報を管理する必要があるために、ルーティング処理負荷が高まり、スケーラビリティが低下する問題がある。

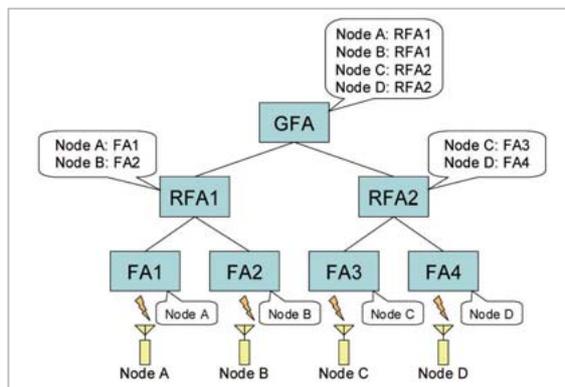


図4 レイヤ3のマイクロモビリティネットワークの例

図4では、最上位ルータが配下の合計 $4n$ 台の移動端末のルーティング情報を管理することを示している。到着したパケットのあて先を参照し、 $4n$ 台分のあて先情報の中から該当する情報を見つけるための検索を行う。この処理負荷が問題となる。これに対して提案方式では、フラットなネットワーク構造(リング型だけでなくライン型も可能)によりルーティング情報を分散して管理することで、スケーラビリティを向上させることができる。図4で言えば、外部ネットワークと直接接続されているゲートウェイでは外部から到着したパケットをモバイルリング内部へ転送する処理のみで、検索処理はない。その他のパケット転送装置 LMA では、管理する移動端末数が各 LMA で分散されるため(ここでは移動端末が均一に分布すると仮定)、一つの LMA では検索対象が n 台分で済む。なお、モバイルリングではこのフラット構造を生かしてパケットをワイヤスピードで隣接 LMA に次々に転送することで高速ハンドオーバーも実現する。

上記比較は IP レイヤを対象にしていた。次にデータリンク層について考える。データリンク層でのマイクロモビリティ管理の一例を図5に示す。スパニングツリープロトコル等によりレイヤ2スイッチは論理的に木構造となり、MACアドレスの学習機能により MN あてのパケットは効率的にフィルタリングされる。これによりゲートウェイノードは同じセグメントに接続されている MN 数の経路情報を持つ必要がなくなり、レイヤ3による解決アプローチよりもスケーラブルであるように見える。しかしゲートウェイが MN あてのパケットを転送する場合には MN の MAC アドレスを解決し、それを ARP テーブルに保持する必要がある。したがって、ARP エントリの数は同セグメントに接続されている通信中の MN の数に応じて増加する。

既存の固定ネットワークでは、アドレス体系がネットワークのトポロジと一致するように管理されている。このため、ネットワークを階層型に構成することにより経路情報を集約することが可能となり、端末数が増加した場合のスケーラビリティにおいて大きな利点となってきた。一方、端末が自由に移動するモバイルネットワークでは、端末が持つアドレスが現在接続しているネット

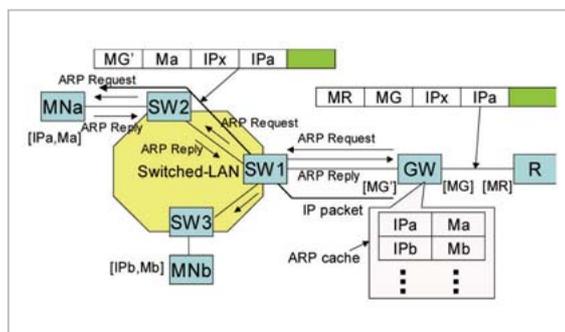


図5 レイヤ2のマイクロモビリティネットワークの例

ワークのアドレス体系と必ずしも一致していない。それゆえ、階層型のトポロジは固定ネットワークの場合と比べて利点が小さく、上位のモビリティエージェントがその配下のすべての移動端末の位置登録情報を管理することになる。

4 モバイルリングの動作メカニズム

上記のボトルネックを解消するために、大規模なマイクロモビリティネットワークにおける新しい位置管理方式を提案した[6]。本アプローチでは、経路情報を分散化させるために、図6に示すようなフラットなネットワークアーキテクチャを利用する。図中のリングネットワークは、MNがこの管理エリア内に入ると、一定期間このエリア内で移動する程度の規模、本論文ではメトロポリタンエリア程度の規模を想定する。MNの位置登録情報は Localized Mobility Agent (LMA) と呼ばれる専用のモビリティエージェントに登録される。

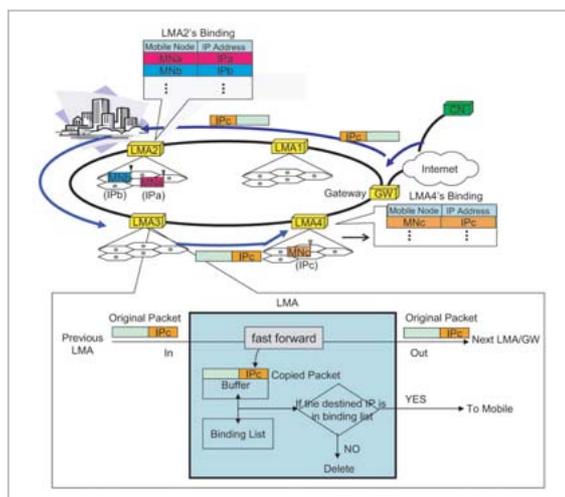


図6 モバイルリングの構成

LMA は、リング上で高速にパケット転送を行う機能及び登録された MN が接続されているアクセスネットワークへパケットを配送する機能を持つ。また LMA は、それ自身に登録されている MN の位置登録情報のみを保持する。これらの LMA の一つは外部ネットワークへのゲートウェイ (GW) として動作し、外部ネットワークから到着した MN あてのパケットをリングネットワーク方向へ、またその逆に MN から外部ネットワーク上のノードへのパケットを外部ネットワークへ配送する処理を行う。パケットはリング上を一方方向に転送され、ある LMA が隣接 LMA からパケットを受信すると、そのパケットを進行方向の隣接 LMA へ転送すると同時に、そのあて先アドレスが登録されているかどうかを検査する。あて先アドレスが登録されている場合には、MN が接続されているアクセスネットワーク方向へも転送する。すべてのパケットは正確に一巡するように転送制御される。

移動端末が移動して管理する LMA が変更された場合にも、上記で説明したようにパケットがルーティング処理を必要とせずリングネットワーク内を短時間に転送されるため、移動先の LMA からパケットを受信することができる。階層型ネットワークではパケット転送経路の変更処理が必要となる。このように、階層型ネットワークと比較してハンドオーバを高速に実行できる利点もある。

上記の手続きに示されるように、LMA 及び GW はあて先 MN の MAC アドレスを解決していない。これは RPR のように、リング上のローカルステーションや、ステーションによりブリッジされるリモートクライアントがあて先ホストの MAC アドレスを必要とするレイヤ 2 のリングネットワークとの本質的な差である。本提案方式により、GW があて先 MN の MAC アドレスを解決したその MAC アドレスすべてをキャッシュする必要がなく、MN の数が増加するにつれて顕著となるボトルネックを軽減することが可能となる。なお、上記のユニキャスト通信に加え、バインディングリストに対してマルチキャストアドレスを登録できるよう拡張することにより、同様のメカニズムでマルチキャスト通信のサポートも可能となる。

5 評価

5.1 リングと階層型の比較

研究の初期段階では、LMA を Linux PC 上にソフトウェア実装して基本機能の検証及び階層型ネットワークとの性能比較を行った [6] [7]。両ネットワークの構成を図 7 と 8 に示す。同一条件とするため、モバイルリングは 4 台の LMA、階層型は 4 台の FA で構成した。モバイルリングの LMA 及び階層型ネットワークの GFA、RFA、FA の仕様を表 1 に示す。階層型ネットワークでは HUT Dynamics [8] を各ノードに実装して階層型 Mobile IP を構築した。

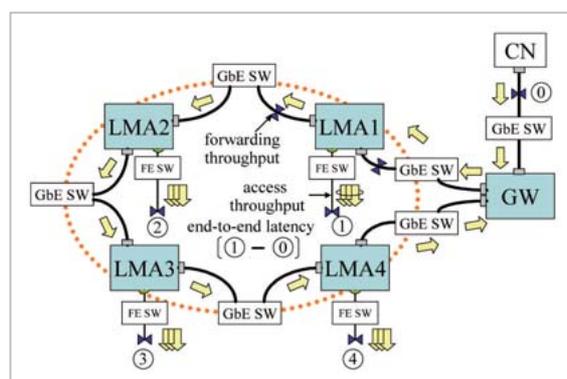


図7 モバイルリングの測定系

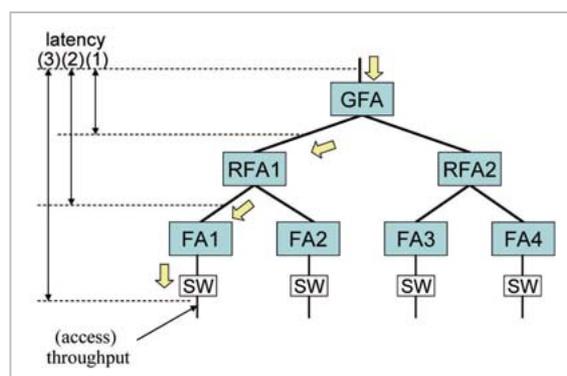


図8 比較対象の階層型ネットワークの測定系

表1 ソフトウェア実装システムの仕様

Components	Specifications
CPU	Intel Xeon 2.8GHz
Memory	1 GBytes
OS	Linux 2.4.18
LMA ↔ LMA, GW	1000Base-SX
LMA ↔ Access NW	100Base-TX

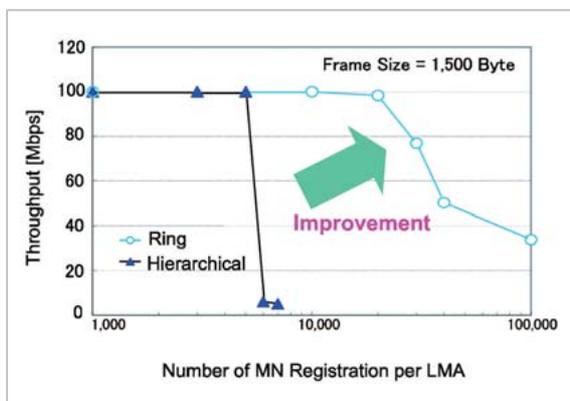


図9 モバイルリングと階層型ネットワークの性能比較(ソフトウェア実装の場合)

実験では外部ネットワーク上のCNから、GWとLMAを経由してMNあてにフレームサイズ1500バイトのパケットを転送した。LMA当たりの登録MN数を最大10万とし、この中で通信中のMN数を最大1万とした。LMAと配下のアクセスネットワークの間のリンクのスループットを計測した。階層型も同様に外部ネットワークからGFA、RFA、FAを経由して配下のMNあてにフレームを転送した。結果の一例を図9に示す。階層型ではおよそ登録MN数が6千台となるあたりから急激にスループットが低下するのに比べて、モバイルリングではより多くのMNが存在する環境下でスループットを維持し、かつスループットの低下も緩やかであることが分かる。先に述べた階層型に対するモバイルリングの優位性を示している。しかしながら、モバイルリング構成でも10万台登録時でスループットが大きく低下している。これはLMAにおけるパケット転送処理を、Linuxに依存したソフトウェア制御で行っているためであり、LMAのパケット転送処理方式の本来の性能を現していない。

5.2 ネットワークプロセッサを用いた実装

LMAのパケット転送処理方式本来の性能を確認するために、ネットワークプロセッサを利用したハードウェア実装装置による評価を行った[9]。Intel社のネットワークプロセッサIXP2400[10]を実装したRadisys社のボードENP-2611を利用した[11]。仕様を表2に、LMAとGWの実装状況を図10に、そして処理構成を図11に示す。パケットの受信、処理、送信を担うデータプレーン

表2 LMAとGWの使用

Components	Specifications
LMA, GW	Processors 8×Microengines (32-bit 600 MHz) Intel XScale core (32-bit 600 MHz)
	Memory DRAM 256 MB SRAM 8 MB
	OS Linux 2.4.18 (on XScale core)
LMA ↔ LMA(GW)	1000Base-SX
GW ↔ Outer NW	1000Base-SX
LMA ↔ Access NW	100Base-TX

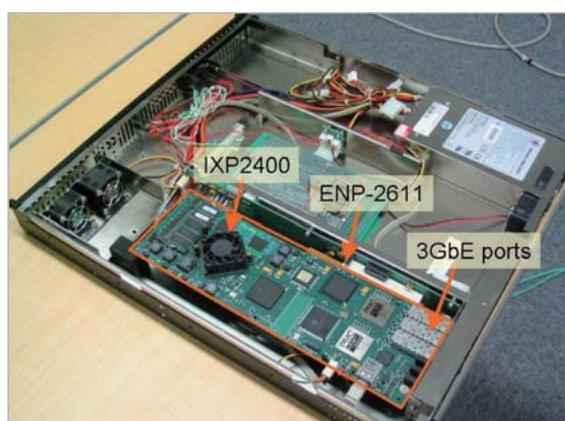


図10 ネットワークプロセッサを用いたLMAの実装状況

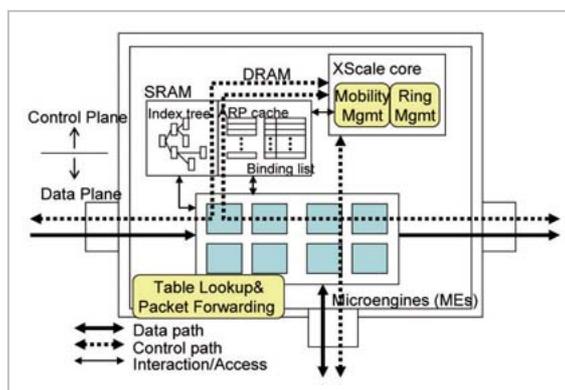


図11 ネットワークプロセッサによるLMA及びGWの処理構成

処理にはマルチスレッドマイクロエンジンを適用した。制御プレーン処理にはIntel社XScaleコアを用い、移動管理(MNの登録)とリング管理(隣接LMAとの接続管理)を担った。バインディングリストはカーネルが管理するDRAMに記録する。ネットワークプロセッサを搭載したボード

を内蔵した 1 U シャーシの LMA/GW は三つの GbE インタフェースを持つ。二つはリングネットワークの接続に利用し、残る一つは LMA の場合は無線アクセスネットワーク側インタフェースとして、GW の場合は外部ネットワークインタフェースとして利用する。

4 台の LMA と 1 台の GW を用いて図 7 と同じネットワークを構成した。リング部分の転送スループット及びアクセスネットワークに対する転送スループットを測定した。また、図 7 の外部ネットワーク (0) を基点として各 LMA を通過したときの遅延も測定した。各 LMA には 10 万台の MN を登録した状態とし、外部ネットワークから各 LMA にそれぞれ 100 Mbps のトラフィックを転送した。あて先は登録している 10 万台の MN のうちの 1 万台あてとした。

測定結果の一例を図 12 に示す。フレームサイズにかかわらずリングネットワークとアクセスネットワークのスループットがそれぞれ 400 Mbps と 100 Mbps に維持されていることが分かる。すなわち、GW や LMA でパケットロスが生じていない。遅延時間に関しては、最大フレームサイズにおいて、最も遅延が生じる外部ネットワークと LMA4 の間の遅延が 200 マイクロ秒であり、LMA 当たり数十マイクロ秒と予測される。遅延時間への要求が厳しい音声通信や映像配信にも対応可能であると判断できる。

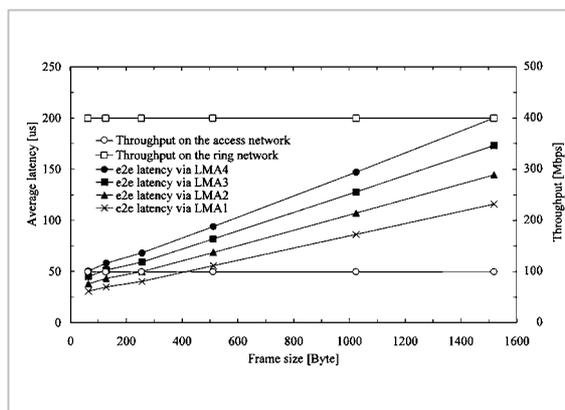


図 12 ネットワークプロセッサ実装 LMA によるモバイルリングの性能

6 屋外実証実験と今後の展開

このような基礎性能の確認を踏まえて、2006 年 3 月には KDDI 研究所と共同で横須賀リサーチパークにて屋外検証実験を行った[12][13]。その構成を図 13 に示す。屋外光ファイバネットワークに無線 LAN 基地局と LMA を接続してモバイルリングネットワークを構築し、実験用車両を利用して自動車速度でのモバイルリング内ハンドオーバや、第 3 世代携帯電話システムである EV-DO とモバイルリングとの間のハンドオーバの実証に成功した。このような成果を踏まえて、本技術を実際の商用ネットワークに適用するための実用化試験等が行われている。

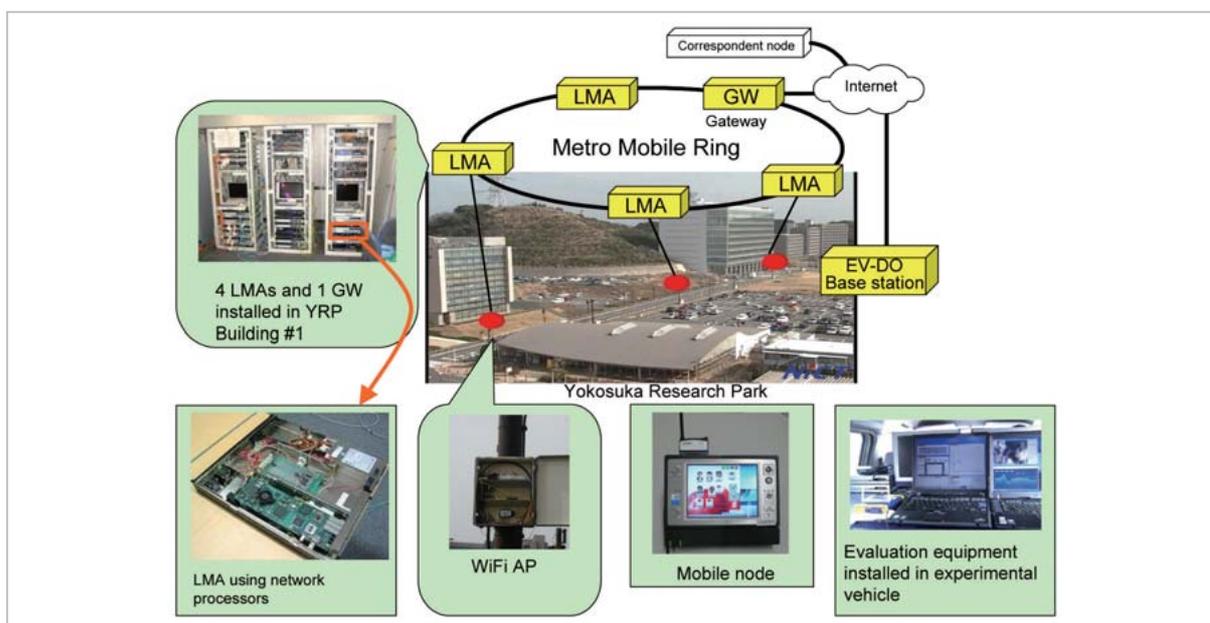


図 13 実証実験ネットワーク構成

7 むすび

大都市でモバイルインターネットを実現するための大容量モバイルネットワーク技術「モバイルリング」を紹介した。モバイルインターネット技術の提案の多くは実験室内の小規模ネットワークでの実証にとどまるが、本格的に利用されるため

には数十～数百万人を収容できる大容量性が欠かせない。このような視点でモバイルリングを提案し、基礎評価からネットワークプロセッサを用いたハードウェア実装による評価及びテストベッドネットワークを用いた屋外実験を行い、実用の前段階の研究開発を終えた。今後の実用化に期待する。

参考文献

- 1 M.Inoue, K.Mahmud, H.Yokota, T.Kubo, and A.Idoue, "Scalable Mobile Core Network Architecture for All-IP Wireless Access", WPMC, Vol.2, pp.18-22, Oct.2003.
- 2 A. T. Campbell, et al., "Comparison of IP Micromobility Protocols", IEEE Wireless Communications Magazine, Vol.9, No.1, pp.72-82, Feb.2002.
- 3 E.Gustafsson, et al., "Mobile IPv4 Regional Registration", draft-ietf-mip4-reg-tunnel-00, IETF, Nov.2004.
- 4 A.Valkó, "Cellular IP: A New Approach to Internet Host Mobility", ACM SIGCOMM Computer and Communication Review, Vol.29, No.1, pp.50-65, Jan.1999.
- 5 R.Ramjee, et al., "HAWAII: A Domain-Based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless Networks", Proc. IEEE Int'l Conf. Network Protocols, Nov.1999.
- 6 H.Yokota, T.Kubo, A.Idoue, M.Inoue, and K.Mahmud, "Metro Mobile Ring for High-speed and Scalable Micro-mobility Management", IEEE LANMAN, pp.151-156, Apr.2004.
- 7 H.Yokota, T.Kubo, A.Idoue, M.Inoue, and K.Mahmud, "Study on Decentralized Micro-mobility Management for Large-scale Mobile Networks", IPSJ Journal, Vol.47, No.4, pp.1239-1247, Apr.2006. (in Japanese)
- 8 <http://dynamics.sourceforge.net/>
- 9 H.Yokota, T.Kubo, A.Idoue, N.Ryoki, and M.Inoue, "Network Processor Implementation of Scalable Micro-Mobility Management for Metropolitan Mobile Networks", WPMC, pp.1483-1487, Sep.2005.
- 10 Intel Corp., "Intel IXP2400 Network Processor", <http://www.intel.com/design/network/products/npfamily/ixp2400.htm>
- 11 Radisys Corp., "ENP-2611 Data Sheet", http://www.radisys.com/files/ENP-2611_07-1236-04_1004_datasheet.pdf
- 12 “次世代モバイル対応IPネットワーク技術「モバイルリング」の共同開発と実証実験に成功”, NICT報道発表, 平成18年3月22日.
- 13 C.W.Pyo, N.Ryoki, M.Hasegawa, M.Inoue, H.Yokota, T.Kubo, K.Takeuchi, and A.Idoue, "Scalable and Seamless Mobile Core Network Architecture", WPMC, Sep.2006.



いのうえ まさし
井上真杉

新世代ネットワーク研究センターネットワークアーキテクチャグループ研究マネージャー(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ主任研究員) 博士(工学)
ユビキタスネットワーク、モバイルネットワーク



はせがわみさお
長谷川幹雄

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイルグループ主任研究員(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ主任研究員)
ユビキタスネットワーク



MAHMUD Khaled

バングラデッシュ国North South大学コンピュータサイエンス工学科助手(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ専攻研究員) 博士(工学)
無線ネットワーク



りょうきのぶお
領木信雄

連携研究部門産学連携グループ九州リサーチセンター専攻研究員(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ専攻研究員) 博士(情報工学)
モバイルネットワーク・ユビキタスネットワーク



表 昌佑(PYO Chang Woo)

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイルグループ専攻研究員(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ専攻研究員) 博士(工学)
ユビキタスマイルネットワーク、アドホックアクセス制御、コグニティブアドホックネットワーク



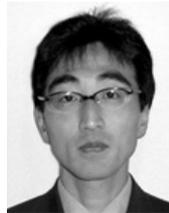
TRAN Ha Nguyen

新世代ワイヤレス研究センターユビキタスマイルグループ専攻研究員(旧無線通信部門モバイルネットワークグループ専攻研究員) 博士(情報工学)
モバイルネットワーク、ユビキタスコンピューティング



くぼ けんじ
久保 健

株式会社KDDI研究所研究員
モバイルネットワーク



よこたひでとし
横田英俊

株式会社KDDI研究所主任研究員 博士(国際情報通信学)
移動通信アーキテクチャ及びプロトコル



いどうえ あきら
井戸上 彰

株式会社KDDI研究所モバイルネットワークグループリーダー
モバイルネットワーク



たけうちかずひろ
竹内和則

株式会社KDDI研究所YRPリサーチセンター副センター長 博士(工学)
移動通信システム及び無線伝送技術



やまもと しゅう
山本 周

株式会社KDDI研究所IP開発支援グループリーダー 工学博士
通信ネットワーク