

マルチホップバーチャルセルラネットワークにおける 分散型階層的移動管理法

工藤 栄亮 安達 文幸

東北大学大学院 工学研究科 電気・通信工学専攻
〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: kudoh@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, adachi@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 筆者らは超高速無線ネットワークを構築するためにバーチャルセルラネットワークを提案してきた。バーチャルセルは分散配置された多数の無線ポートから構成され、ユーザ端末から送信された信号はマルチホップ通信により無線ポート間を中継され中央無線ポートへと転送される。ユーザ端末の移動に伴い、通信する無線ポートを変更しなければならないので、位置情報の登録が必要である。本論文ではバーチャルセル内の移動とバーチャルセル間の移動を分けて管理し、バーチャルセル間の移動のときのみアドレスの変更を行う、分散型階層的移動管理法を述べている。これにより、移動に伴う位置情報更新レートを低減できることを示す。

キーワード バーチャルセルラネットワーク、マルチホップ、移動管理、位置登録、アドレス、モバイル IP

Distributed Layered Mobility Management for Multi-hop Virtual Cellular Network

Eisuke KUDOH and Fumiyuki ADACHI

Dept. of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University
6-6-05 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

E-mail: kudoh@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, adachi@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract Recently, we have proposed a multi-hop virtual cellular network (VCN), which consists of a central port (a gateway to the core network) and many distributed wireless ports in each virtual cell (VC), for reducing the transmit power in broadband DS-CDMA mobile communications systems. Each mobile terminal simultaneously communicates with surrounding wireless ports. For mobility management, the mobile terminal location registration is essential. To reduce the location registration control message traffic, we introduce a distributed mobility management scheme, in which the central port supports the intra-VC mobility management and the control station in the core network supports the inter-VC mobility management. The location data in the control station is updated only when a mobile terminal crosses the VC area boundary. This scheme can significantly reduce the location registration traffic.

Keyword Virtual cellular network, Multi-hop, Mobility management, Location registration, Address, Mobile IP

1. まえがき

超高速無線ネットワークを実現するにはピーク送信電力の増大という課題を克服しなければならない。これを解決する効果的な方法のひとつはセル半径を小さくすることであり、極小セルラネットワークをいかに実現するかが第4世代移動通信システムの重要な技術課題である[1],[2]。筆者らは、マルチホップ通信を用いるバーチャルセルラネットワーク(VCN)を提案している[3]。VCNの構成を図1に示す。VCNは従来のセルをバーチャルセルとするもので、1つのバーチャルセルは分散配置された多数の無線ポートとコアネットワークへのゲートウェイとなる中央無線ポート

からなる。ユーザ端末から送信された信号は複数の無線ポートで受信され、中央無線ポートへマルチホップ通信によって転送される[4],[5]。

ところで、移動通信では、多様なサービスを提供するため、回線交換からIPパケットサービスへとサービスの比重が移りつつある。IPパケット通信では、各ユーザ端末にIPアドレスが付与され、パケットの宛先等はこのIPアドレスによって示される。ところが、移動通信ではユーザ端末が移動してしまうために固定的なアドレスではユーザ端末の移動に追従できない。これを解決するためにモバイルIPが議論されている[6][7]。モバイルIPではホームエージェントが移動管理を

行う。ホームエージェントには、各ユーザ端末固有のホームアドレスと、各ユーザ端末が通信を行っている基地局と同じネットワークアドレスを有する気付アドレスとの対応関係が記録されている。ユーザ端末にはホームアドレスと気付アドレスが付与される。単純にモバイル IP を VCN に適用すると、ユーザ端末と通信している無線ポートを変更するたびに気付アドレスのネットワークアドレスが変わるため、ホームエージェントの登録情報を変更しなければならず、移動時におけるホームエージェントの登録情報の更新が頻繁になり制御トラフィックが増加してしまう。そこで本論文では、このような制御トラフィックの増加を軽減するために、バーチャルセル (VC) 内の移動と VC 間の移動を分けて管理する階層的アドレス管理方法を提案する。本提案では、VC 内の移動管理は中央無線ポートが行い、VC 間の移動のときのみ気付アドレスの変更を行うので、ホームエージェントの機能を有し、アドレス情報を管理している制御局への制御トラフィックを軽減できる。

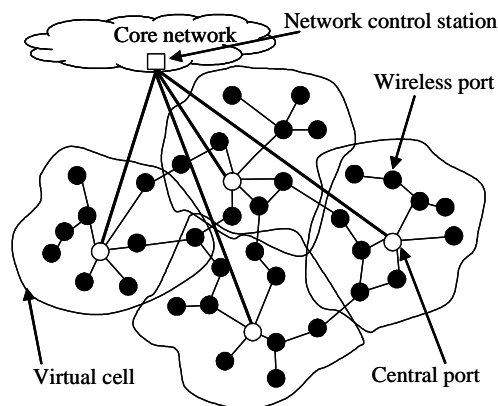


図 1 バーチャルセルラネットワーク (VCN)

2. VCN

VCN では、多数の無線ポートが分散配置される。複数の無線ポートが協調して、従来のセルラシステムの基地局のように振舞う。各 VC にある無線ポートのうちの一つが中央無線ポートとなり、ネットワークへのゲートウェイとなる。ユーザ端末から送信された信号は複数の無線ポート (ユーザ端末と直接通信している無線ポートをエンドポートと呼ぶ) で受信され、マルチホップ通信により、中央無線ポートへと転送される。今、あるユーザ端末に対するエンドポートのグループをエンドクラスタと呼ぶことにする。ユーザ端末の移動に伴い、エンドクラスタを変更することになるので、単純にモバイル IP を適用すると、ユーザ端末がエンドクラスタを変更するたびにホームエージェントの位置登録情報を変更しなければ

ならなくなる。

3. 分散型階層的移動管理法

移動管理を VC 内の移動と VC 間の移動の 2 つの階層に分けて考える。VC 間の移動はモバイル IP を用いて管理する。したがって、気付アドレスは VC のセル境界を横切ったときだけ更新される。一方、VC 内の移動は IP 層と MAC 層の間に挿入されたマルチホップ制御層によって管理される。マルチホップ制御層では、VC 内の移動管理、マルチホップ通信の経路管理などが行われる。このようなマルチホップ制御層を挿入することによって、既存の IP 層、MAC 層を変更しなくて済む。

今、ユーザ端末 F から、ネットワークを経由して、移動ユーザ端末 E へ IP パケットを送信する場合を考える (図 2)。ユーザ端末 E には IP アドレスとして、ホームアドレスと気付アドレスが与えられる。ホームアドレスは制御局と同じネットワークアドレスであり、気付アドレスはユーザ端末が存在している VC の中央ポートと同じネットワークアドレスである。したがって、ユーザ端末が VC を移動することに気付アドレスが更新される。制御局がホームエージェントの機能を有し、気付アドレスとホームアドレスの対応関係が登録されているテーブルを持つ。F から送信されたパケットの宛先アドレスにはユーザ端末 E のホームアドレスが記載されている。制御局 A では、ユーザ端末 F のホームアドレスからユーザ端末 F の気付アドレスを検索し、ユーザ端末 E が属している VC の中央ポート B へ IP パケットをカプセル化して送信する。図 3 にパケット構成を示す。カプセル化された IP パケットの外側のヘッダの宛先アドレスには気付アドレスが記載される。カプセル化された IP パケットは複数の VC パケットに分割され、VC ヘッダを付与されてマルチホップ転送される。VC 内の移動管理は中央ポートが行う。中央ポートには VC 内に存在しているユーザ端末とそれぞれのユーザ端末のエンドポートが記録してある。VC ヘッダには、エンドポートと宛先ユーザ端末の VC アドレスが記載されている。今、ユーザ端末 E に対するエンドポートは無線ポート C と D であるとする。VC ヘッダの情報によりパケットは無線ポート C と無線ポート D へ転送され、ユーザ端末 E へ送信される。このようにすることにより、登録情報の管理を VC 内での移動と VC 間の移動に分けて行うことができる。ユーザ端末が VC 内を移動しても、制御局 A で管理している登録情報を変更する必要はなく、そのユーザ端末が属している中央無線ポートで管理している登録情報だけを更新すればよい。

さらに、複数の VC を束ねるヘッドポートを設け、ヘッドポートで管理する複数の VC (この VC のグループをセルクラスタと呼ぶ) 内の移動はマ

ルチホップ制御層で管理し，セルクラスタ間の移動は IP 層で管理する方法も考えられる(図 3)．このとき，セルクラスタ内の移動管理はヘッドポートが行う．このようにすれば，気付アドレスの更新はセルクラスタを移動するときに行えばよい．

以下，バーチャルセル内の移動管理を中央ポートが行う方法を提案方法 1，セルクラスタ内の移動管理をヘッドポートが行う方法を提案方法 2 と呼ぶことにする．

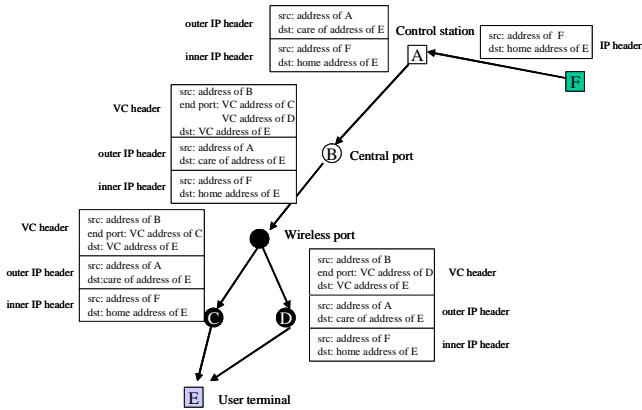


図 2 提案する位置登録方法の例

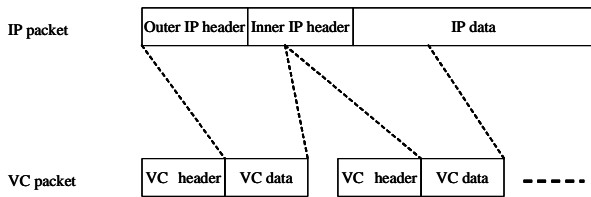


図 3 パケット構成

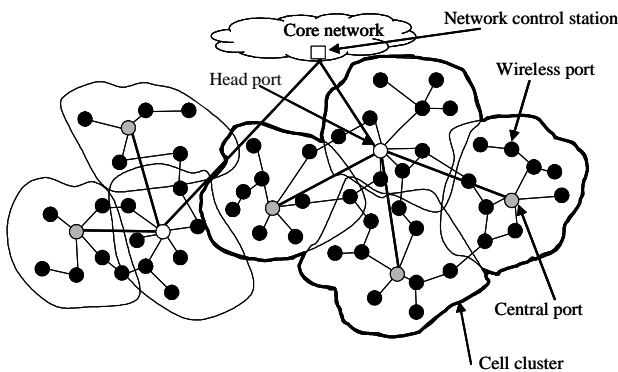


図 4 提案方法 2 の VCN の構成

4. 気付アドレス変更レート

気付アドレスの平均変更レートを求める．従来のモバイル IP を単純に適用するとユーザ端末と通信している無線ポートを変更するたびに気付アドレスを変更することになる．したがって，ユーザ端末がエンドクラスタを横切るたびに気付

アドレスを変更しなければならない．一方提案方法 1 ではバーチャルセルを，提案方法 2 ではセルクラスタを横切るたびに制御局に登録されている気付アドレスを更新すればよい．VC 内をユーザ端末が一定速度で直線的に移動すると仮定する．もし，更新されるエリア形状が相似で，面積が N 倍になれば，気付アドレス更新レートは $1/\sqrt{N}$ 倍になる．バーチャルセルの平均面積を D ，バーチャルセル当りの平均無線ポート数を K ，エンドクラスタ内の平均無線ポート数を C とすると，エンドクラスタの平均面積 D_c は

$$D_c = C \cdot D / K \quad (1)$$

となる．したがって，提案方法 1 と従来方法を用いるときの更新レートの比 f_1 は

$$f_1 = \sqrt{D_c / D} = \sqrt{C / K} \quad (2)$$

となる．次に提案方法 2 について考える．セルクラスタごとに更新された場合と従来方法との更新レートの比 f_2 は，

$$f_2 = \sqrt{\frac{D_c}{F \cdot D}} = \sqrt{\frac{C}{F \cdot K}} \quad (3)$$

であり， F はセルクラスタにある平均バーチャルセル数である．

計算機シミュレーションでは，簡単のため正六角形の VC を仮定し，VC 内にランダムに無線ポートを配置した．ユーザ端末もランダムに配置し，ユーザ端末から最も近い C 個の無線ポートをエンドクラスタとした．ユーザ端末は直線的に移動し，現エンドクラスタ以外の無線ポートとの距離が近くなったときにエンドクラスタを変更するものとした．提案方法 1 の気付アドレスの更新レートを図 5 に示す．横軸は VC あたりの無線ポート数 K ，縦軸は従来方法（エンドクラスタごとに更新する場合）で正規化した提案方法 1 の更新回数である．提案方法 1 では全てを制御局へ任せる従来の方法に比べ，著しく更新レートを削減できることがわかる．理論値とシミュレーション値にずれが見られるのは，理論値ではエンドクラスタとバーチャルセルのエリア形状が相似であると仮定しているが，計算機シミュレーションでは無線ポートがランダムに配置されているためである．図 6 に提案方法 2 の気付アドレスの変更レートを示す．ここで， $F=1$ は提案方法 1 の場合である．提案方法 2 ではセルクラスタごとに気付アドレスの更新を行えばよいので，提案方法 1 の場合よりもさらに更新レートを削減することができる．

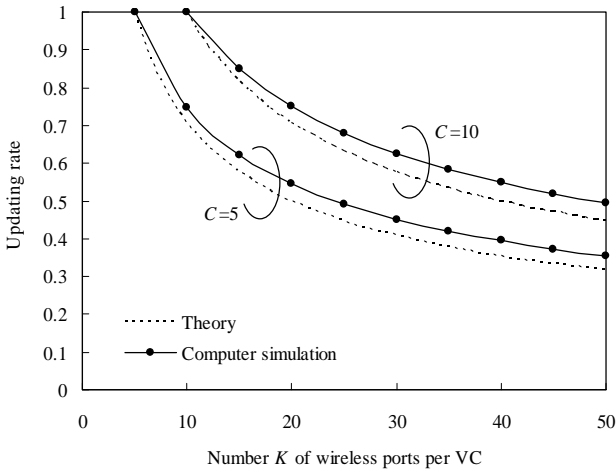


図5 提案方法1の気付アドレス変更レート

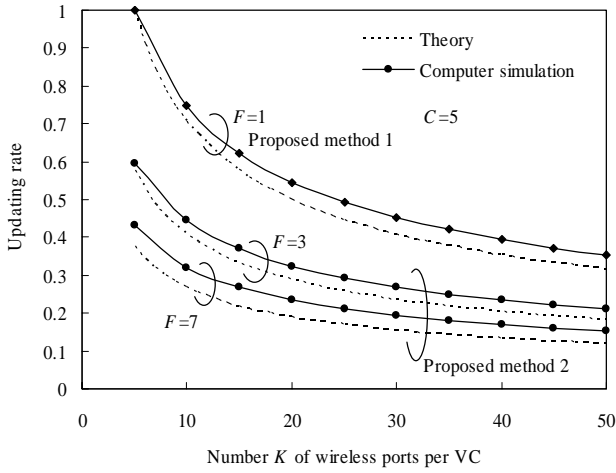


図6 提案方法2の気付アドレス更新レート

5. パケットロス率

モバイル IP の更新の際に失われる平均パケット数を L_m 、VC アドレスの更新の際に失われる平均パケット数を L_v とする。今、ユーザ端末が直線的に移動し、通信中に L 個のパケットを送信する場合を考える。通信中にセルクラスタを横断する平均回数を N_c 、バーチャルセルを横断する平均回数を N_v 、エンドクラスタを横断する平均回数を N_e とする。前章の議論より、

$$\begin{cases} \frac{N_v}{N_e} = f_1 = \sqrt{C/K} \\ \frac{N_c}{N_e} = f_2 = \sqrt{\frac{C}{FK}} \end{cases} \quad (4)$$

となる。したがって、提案方式 1、提案方法 2、及び従来方法のパケットロス率 P_1 、 P_2 、及び P_c は以下のように表される。

$$\begin{cases} P_1 = \frac{N_v \cdot L_m + N_e \cdot L_v}{L} = \frac{N_e \cdot L_m}{L} \left(f_1 + \frac{L_v}{L_m} \right) \\ P_2 = \frac{N_c \cdot L_m + N_e \cdot L_v}{L} = \frac{N_e \cdot L_m}{L} \left(f_2 + \frac{L_v}{L_m} \right) \\ P_c = \frac{N_e \cdot L_m}{L} \end{cases} \quad (5)$$

図7に L_v/L_m の関数としてプロットした従来方法で正規化した提案方法のパケットロス率 P_1/P_c と P_2/P_c を示す。 $F=1$ は提案方法1の場合である。 L_v/L_m が小さいほど、IP 層でのアドレス変更よりも VC 層でのアドレス変更の方がパケットロスが少なくなるため、提案方法のパケットロス率の低減効果が大きくなり、提案方法1よりもさらに提案方法2の方がパケットロス率を低減できる。また、エンドクラスタ数 C が小さいほど従来方式よりも提案方法の方が気付アドレスの更新レートが小さくなるので、提案方法のパケットロス率の低減効果がより大きくなる。

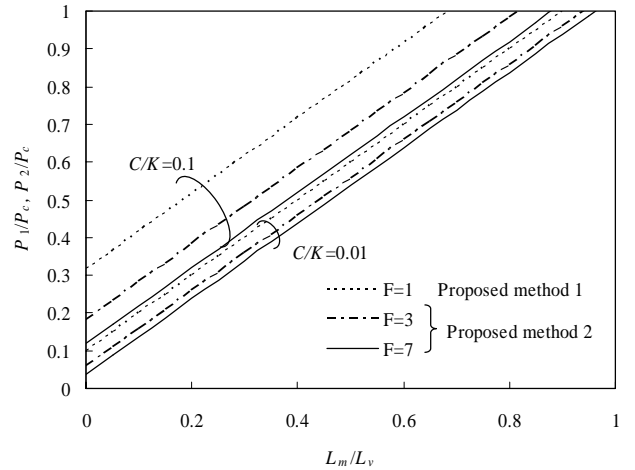


図7 提案方法のパケットロス率

6. むすび

バーチャルセルラシステムにおけるマルチホップ無線通信に、バーチャルセル(セルクラスタ)内の移動とバーチャルセル(セルクラスタ)間の移動を分けて階層的に位置登録情報を分散管理する方法を提案した。本提案では、バーチャルセル(セルクラスタ)内の移動管理は中央無線ポート(ヘッドポート)が分担し、バーチャルセル(セルクラスタ)間の移動のときのみ気付アドレスの変更を行う。これにより、モバイル IP の更新レートを低減し、パケットロス率を低減できることを示した。

参考文献

- [1] F. Adachi, "Wireless Past and Future-Evolving Mobile Communication Systems", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E84-A, no.1, pp.55-60, Jan. 2001.
- [2] T. Otsu, Y. Aburakawa and Y. Yamao, "Multi-Hop Wireless Link System for New Generation Mobile Radio Access Networks", IEICE Trans. Commun., vol. E85-B, no.8, pp.1542-1551, Aug. 2002.
- [3] E. Kudoh and F. Adachi, "Power and frequency efficient virtual cellular network", IEEE proc. VTC'2003 Spring, April 2003.
- [4] E. Kudoh and F. Adachi, "Transmit power efficiency of a multi-hop virtual cellular system", IEEE proc. VTC'2003 Fall, Oct. 2003.
- [5] E. Kudoh and F. Adachi, "Study of a multi-hop communication in a virtual cellular system", Proc. WPMC'2003, Yokosuka, Japan, Oct. 2003.
- [6] C. Perkins, "IP mobility support", RFC2002, Oct.1996.
- [7] C. Perkins and D. B. Johnson, "Mobility Support in IPv6", draft-ietf-mobileip-ipv6-24.txt, June 2003.