

PCS ネットワークにおける動的データベースの管理法

馬淵 信輔[†] 李 頡^{††} 亀田 壽夫^{††}

本研究で我々は Personal communications service (PCS) ネットワークにおける動的データベースとその管理法を提案する。PCS は現在の移動体通信の規格の1つであり、各移動端末の情報は home location register (HLR) と呼ばれる固有のユーザ情報データベースにより管理される。提案する方式では、HLR のデータベース構成を一部動的に扱うことにより、常に決まった HLR にアクセスするのではなく、一番端末に近い HLR へのアクセスを行う。これによりローミング時の通信コストの削減を実現できる。本稿ではまず、PCS ネットワークの概要と提案する方式を述べる。さらにそれぞれについてのコスト計算のための式の導出を行いその検討、比較を行う。

Management Method for Dynamic Database in PCS Networks

SHINSUKE MABUCHI,[†] JIE LI^{††} and HISAO KAMEDA^{††}

This study presents a dynamic database architecture for location management Personal Communications Service (PCS) networks and its management method. The proposed approach provides the dynamic copies of user location information in the nearest Home Location Register (HLR) database which allow mobile users to access efficiently. This method significantly reduces the signaling and database access overhead for location registration and paging. The architecture and the functions of current network elements, such as the HLR, and the Visitor Location Registers (VLR's), remain primarily unchanged. This greatly facilitates the deployment of the proposed approach in current PCS networks.

1. はじめに

通信技術の発達により、固定端末間の通信だけでなく、持ち運びが可能な移動端末を用いて通信を行う事が可能になった。この移動体通信のネットワーク、又その利用のためのガイドラインなどが研究され、徐々に通信環境を改善して来た。現在この移動体通信は大きく分けて次の2種類から成る。1つめは、自動車などの高速移動する場合を考えたセルラーベース、2つめはコードレスフォンを家庭外で使えるように拡張したコードレスベースがある。日本で言う携帯電話、自動車電話は1にあたり、2はPHSに該当する。¹⁰⁾ これら移動体通信網の整備の普及に伴い、端末である携帯電話、PHS等の利用者は、ここ数年で爆発的に増加してきている。¹¹⁾ このまま加入者数が増加し続けると、ネットワーク管理のための信号やデータベースのアクセスのトラフィック

量は、現在の設計基準を越えてしまう可能性がある。そのため、このような通信コスト又はデータベースのアクセスコストを減らすことは重要な課題である。

ここで、現在の移動体通信の1つであるPCSネットワークについて考察することにする。上記のような現状を踏まえた上で、従来の方式での問題点を検討し、その問題点を解決できると思われる方式を提案する。この提案ではユーザ情報を保存しているデータベースを一部動的に扱う。これにより移動端末はより近い位置にあるデータベースへのアクセスを行うことができるため、通信にかかるコストがかなり減少する。しかし、PCSのデータベース構成はほとんど変えなくてもすむ。

本稿の構成は次の通りである。2.節でPCSの概要を簡単に説明する。3.節では通常PCSネットワークで用いられる手続きとその方式での問題点を述べる。4.節では提案する方式とそれにおける手続きを述べ、5.節でコストの導出を行い、通常的方式との比較をする。またその結果に対する考察を行う。6.節でまとめと今後の課題を述べる。

2. PCS ネットワークの概要

PCSはPersonal Communications Serviceの略で、

[†] 筑波大学大学院工学研究科
Doctoral Program in Engineering, University of Tsukuba

^{††} 筑波大学電子・情報工学系
Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba

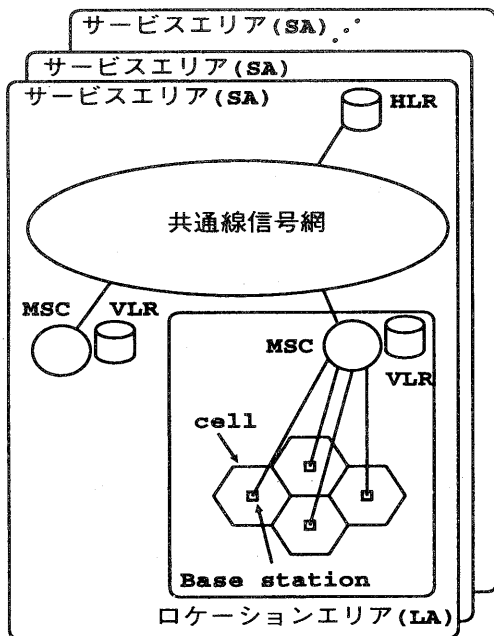


図1 PCSネットワークの概要

そのネットワークは加入者に対し継目なく連続した通話を実現するという特徴を持っている。移動端末を持つ加入者は、現在の位置や移動のパターンにかかわらず、遠く離れた端末と通話することができる。ただ従来の固定式の電話回線と大きく違うのは、端末機の識別番号からは位置情報を引き出せないことである。そのため、移動端末の移動によりネットワーク構成に変化が生じたり、呼が発生した場合に呼び出された端末の位置を追跡したりする必要が生じてくる。こういった動的なネットワーク構造を実現するために、ネットワークに管理、運営を自動的に行っていく必要がある。

PCSネットワークのサービスしている範囲を仮にサービスエリア(以下SAと略)と呼ぼう。このサービスエリアは、セルという小さな単位に分割される。このセルは基地局(以下BS)によってカバーされており、基地局とセル内の移動端末は無線リンクにより通信を行う。また、移動通信交換センター(以下MSC)によって、いくつかのセルをまとめて管理している。この範囲をロケーションエリア(以下LA)と呼ぶことにする。この移動通信交換センターと基地局の間は有線で、移動通信交換センター間は共通線信号網により接続されている。さらには移動通信交換センターからPSTN、ISDNといった一般回線に繋ぐこともできる。

このようなネットワークを管理するためにPCSネットワークでは、

- Home Location Register(以下HLR)
- Visitor Location Register(以下VLR)

の2つからなるデータベース構造を使用している。HLRはサービスに加入しているユーザの個人情報を維持、管理するデータベースである。このデータベースは集中管理されることが多い。加入者情報としてはサービスの質、種類、料金情報、位置情報などがある。VLRはネットワーク全体に分散され、主にMSCとセットで用いられる。このデータベースは現在LA内に滞在する移動端末の情報を管理している。なおデータベースの運営、管理方法は次の節以降で述べる。

3. 従来の方式

従来のPCSネットワークの管理方法を説明する。移動体通信では各端末の自由な移動を認めているため、ネットワークの構成要素が動的に変化する。そのためネットワークの管理を自動的に行う必要がある。

この管理プロセスとして次の2つがある。

- (1) 位置登録(Location Registration)
- (2) 呼接続(Paging)

この2つのプロセスを随時、行うことにより動的な変化に対応している。

3.1 位置登録

ある移動端末が現在滞在しているLAから離れ、別のLAに移動したとする。この時、HLRやVLR内の端末の位置情報を更新しなければ、端末に対して呼び出しを行うことができない。このためデータベース内の位置情報を書き換える作業が必要となる。この手続きを位置登録と呼ぶ。

位置登録の手順は次の通り。

- (1) 移動端末 t が別のLAに入ると、BSを通じて新しいMSC m' に位置更新メッセージを送信。
- (2) MSC m' はVLRを更新し、HLRに位置更新メッセージを送信。
- (3) GTTと呼ばれる表探索により端末識別番号(MIN)から端末 t の所属するHLRを決定し、そこにメッセージが送信される。
- (4) HLRは端末 t の位置情報を更新して、更新応答メッセージをMSC m に送信。
- (5) HLRは登録取消メッセージを前にいたMSC m に送信。
- (6) MSC m はVLRにある端末 t の情報を取消し、応答メッセージをHLRに送信。

3.2 呼接続

移動端末 t から端末 t' に対して通話が起きた場合、ネットワーク要素間で端末 t と t' を接続しようとする手

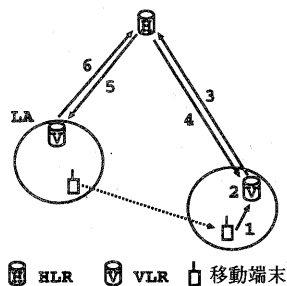


図2 従来の位置登録

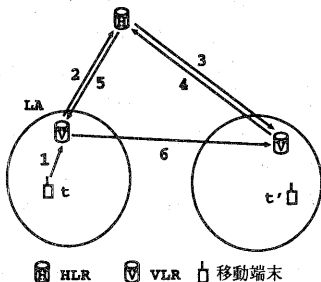


図3 従来の呼接続

続きが実行される。この手続きを呼接続と呼ぶ。

呼接続の手順は次の通り。

- (1) 通話を始めるため端末 t が t' を呼び出すと、BSを通じてMSC m に接続開始メッセージを送信。
- (2) MSC m はGTTを実行し、 t' の情報を保存しているHLR h のアドレスを決定。
- (3) ルート要求メッセージをHLR h に送信。
- (4) HLR h はメッセージを端末 t' を管理しているMSC m' に送信。
- (5) MSC m' は端末 t' のセル位置を決定し、一時的なルートアドレス(TLDN)を割り当てる。MSC m' はこの番号をHLR h に送信。
- (6) HLR h はMSC m にTLDNを送信。
- (7) MSC m はこのTLDNを用いてMSC m' に回線接続する。

3.3 問題点

1. 節で述べたように移動体通信への加入者数は爆発的に増加してきている。このような状態では、これら従来の方式だと、HLRと呼ばれるデータベースへのアクセスが非常に多くなるため、アクセスの集中が起きる。またデータベースサイズの増加や、それに伴う更新又は照会コストの増加などが問題となってくる。

こういったことから、各データベースの管理する範囲の細分化、データベースの分散化が考えられる。このよ

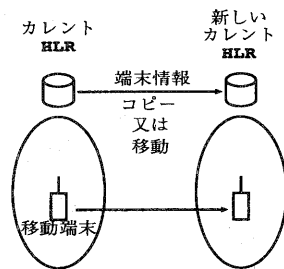


図4 提案する方式の概念図

うに、データベースの分散を行えば当然、常に一定のHLRにアクセスするため、端末がHLRから離れれば離れる程リンクのコストがかかってしまう。そこでこのようなHLRの分散形態に適したデータベースの運用方式を考えることにする。

4. 提案する方式

従来の方式をあまり変更することなしにコストを抑える方法を考えることにする。ここでHLRに少し変更を加えることにより、移動先でも普段と同様なデータベースのやりとりをする方法を提案する。

具体的には、端末が別のSAに移動した場合、移動した端末の情報を移動先のHLRにコピーするという方法を用いる。ただし、コピーするのはあくまで移動してきた端末の情報のみである。つまり、HLRに記憶されている端末情報をコピーし、別のHLRが一時的に管理するようにする。また、コピーは1端末につき1つしか作らないことにする。たとえ次にまた別のネットワークに移動したとしても、もう1つコピーを作る際には前に作ったコピーは消去する。

端末 t の情報を管理しているHLRをマスターHLR、マスターHLRが存在するSAをマスターSAと呼ぶことにする。さらに現在端末 t の情報を管理している、すなわちマスターHLRかまたは端末情報のコピーを保存しているHLRのことをカレントHLR、端末 t が現在滞在しているSAをカレントSAと呼ぶことにする。後に述べる方法によれば、マスターHLRは1つで不変であり、カレントHLRは現在端末 t が滞在しているネットワークに存在していることになる。

以下に示す2つのプロセスにより管理される。

4.1 位置登録

提案する方式での位置登録の手順は以下の通り。

- (1) 移動端末 t が別のLAに入ると、BSを通じて新しいMSC m' に位置更新メッセージを送信。
- (2) MSC m' はVLRを更新し、カレントHLRに位

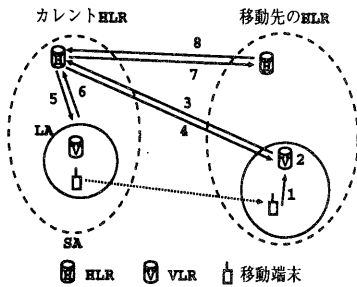


図5 提案する方式での位置登録

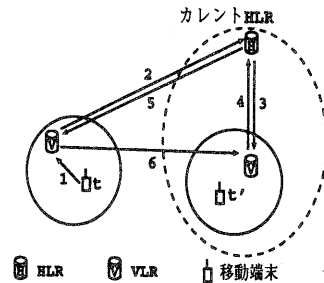


図6 提案する方式での呼接続

- 置更新メッセージを送信。
- (3) GTTと呼ばれる表探索により端末識別番号(MIN)から端末 t の所属するカレントHLRを決定し、そこにメッセージが送信される。
 - (4) カレントHLRは端末 t の位置情報を更新して、更新応答メッセージをMSC m に送信。
 - (5) HLRは登録取消メッセージを前にいたMSC m に送信。
 - (6) MSC m はVLRにある端末 t の情報を取消し、応答メッセージをHLRに送信。
 - (7) マスターSA以外のSAから別のSAへの移動だった場合、カレントHLR h から移動先のHLR h' に利用者情報を送信する。それ以外の場合はこれで手続きが終了。
 - (8) 移動先のHLR h' をカレントHLRとし、元のHLR h に応答メッセージを送信。受け取り先がマスターHLRでなければメッセージ受信後データを消去。

従来の方式と異なる点は、元のHLRから移動先のHLRに利用者情報のコピーを作ったところである。端末の移動が滞在中のSA内ならカレントHLRへのアクセスになるだけで他は従来の方式と同じである。別のSAへの移動であれば、カレントHLRにアクセスするまでは同じだが、移動先のSAのHLRにユーザ情報のコピーを作る所が異なっている。

4.2 呼 接 続

提案する方式での呼接続の手順は以下の通り。

- (1) 通話を始めるため端末 t が t' を呼び出すと、BSを通じてMSC m に接続開始メッセージを送信。
- (2) MSC m はGTTを実行し、 t' の情報を保存しているカレントHLR h のアドレスを決定。
- (3) ルート要求メッセージをカレントHLR h に送信。
- (4) カレントHLR h はメッセージを端末 t' を管理しているMSC m' に送信。

- (5) MSC m' は端末 t' のセル位置を決定し、一時的なルートアドレス(TLDN)を割り当てる。MSC m' はこの番号をカレントHLR h に送信。
- (6) カレントHLR h はMSC m にTLDNを送信。
- (7) MSC m はこのTLDNを用いてMSC m' に回線接続する。

提案する方式における呼接続の手順は従来のものとほとんど変わらない。ただし、従来の方式ではアクセスするHLRが必ずマスターHLRだったのが、ローミング先ではカレントHLRにアクセスする点異なる。

5. コスト計算

5.1 パラメータ

パラメータとして、次の要素を考える。

- 呼の到着率 $\lambda_c, \lambda_i, \lambda_a$
- 平均LA滞在時間 $1/\lambda_m$
- HLRのデータベース更新又は照会コスト c_h, c'_h
- VLR, GTTのデータベース更新又は照会コスト c_v, c_g
- 転送ポイント間コスト c_{11}, c_{12}
- 別のSAに移動する確率 p
- ネットワーク(HLR)の個数 N

ここでは、簡単化のためにデータベースの更新のコストと紹介のコストは同じであると考えた。また本来なら、HLRのロケーションを発見する手続きであるGTTを少し変更したためGTTのコストも変化する可能性があるが、それほど変わらないと考えられるため、ここでは変化しないものとする。

呼の到着率 λ_i, λ_a はそれぞれ、同じSA内、別のSAからの到着率で λ_c はトータルでの到着率である。呼の到着率については次の関係が成り立つ。

$$\lambda_c = \lambda_i + \lambda_a \quad (1)$$

HLRのアクセスコスト c_h, c'_h はそれぞれ、従来方式と提案方式でのアクセスコストである。 c_{11}, c_{12} はネット

ワーク要素同士の転送ポイント間コストで、 c_{11} は同一 SA 内でのコストで、 c_{12} は別の SA 間でのコストである。これらは厳密に値を決定できないため、それぞれをコストの平均とする。

5.2 計算式

これらのパラメータから単位時間ごとのコストを導くわけだが、導出の課程においていくつかの場合ごとに分けて考える必要があると思われる。ただし場合分けするのは、転送ポイント間コストだけで、データベースのアクセスコストの方はどの条件でもほとんど変わらない。

まず位置登録についてだが従来方式の場合、移動の状態として、以下の4つがあげられる。

- case 1. 同じ SA 間の移動で、端末とマスター HLR のある SA が同じ場合
- case 2. 同じ SA 間の移動で、端末とマスター HLR のある SA が違う場合
- case 3. 別の SA 間の移動で、端末の移動元と移動先のどちらかがマスター HLR のある SA と同じ場合
- case 4. 別の SA 間の移動で、端末の移動元と移動先のどちらもマスター HLR のある SA が違う場合

ここでは計算の簡単化のため端末が滞在している確率を全ての SA に関して一律 $1/N$ とする。また、同じサービスエリア内で移動する確率は $1-p$ 、別のサービスエリア間で移動する確率は p である。そうすると上の4つの場合が起きる確率は、それぞれ確率 $(1-p)/N, (1-p)(N-1)/N, 2p/N, (N-2)p/N$ で表される。また転送ポイント間コストはそれぞれ、 $4c_{11}, 4c_{12}, 2(c_{11} + c_{12}), 4c_{12}$ で表される。そのため従来方式の単位時間内の位置登録のコストは、

$$C_{LU} = \lambda_m \left\{ \frac{4}{N} \{c_{11} + (N-1)c_{12}\} + 2c_v + c_h + c_g \right\} \quad (2)$$

となる。今回提案した方式では、移動は移動前の SA と移動後の SA が同じ場合と異なる場合の2つが考えられる。転送ポイント間コストはそれぞれ $4c_{11}, 2(c_{11} + 2c_{12})$ である。また後者の場合は参照する HLR が1つ多いのでデータベースコスト c'_h を追加しておく。提案した方式での単位時間内の位置登録コストは、

$$C'_{LU} = \lambda_m \{ 2(p+2)c_{11} + 4pc_{12} + 2c_v + (p+1)c'_h + c_g \} \quad (3)$$

となる。

つぎに呼接続についての導出を記す。まず従来方式での場合分けは位置登録の場合と同様に以下のように4つに分けられる。

- case 1. 端末 t と t' が同じ SA で、マスター HLR の

表1 位置登録時の確率と転送ポイント間コスト

場合	確率	コスト
case 1	$(1-p)/N$	$4c_{11}$
case 2	$(1-p)(N-1)/N$	$4c_{12}$
case 3	$2p/N$	$2(c_{11} + c_{12})$
case 4	$(N-2)p/N$	$4c_{12}$

表2 呼接続時の確率と転送ポイント間コスト

場合	確率	コスト
case 1	λ_l/N	$4c_{11}$
case 2	$(N-1)\lambda_l/N$	$4c_{12}$
case 3	$2\lambda_a/N$	$2(c_{11} + c_{12})$
case 4	$(N-2)\lambda_a/N$	$4c_{12}$

ある SA も同じ場合

- case 2. 端末 t と t' が同じ SA で、マスター HLR のある SA は違う場合
- case 3. 端末 t と t' が別の SA で、どちらかがマスター HLR と同じ SA の場合
- case 4. 端末 t と t' が別の SA で、どちらもマスター HLR が違う SA の場合

先程と同様に、端末が滞在している確率を全ての SA に関して一律 $1/N$ とする。また、それぞれ確率 $\lambda_l/N, (N-1)\lambda_l/N, 2\lambda_a/N, (N-2)\lambda_a/N$ で発生する。また転送ポイント間コストはそれぞれ、 $4c_{11}, 4c_{12}, 2c_{11} + 2c_{12}, 4c_{12}$ で表される。これらから単位時間内の呼接続のコストは、

$$C_{PG} = \frac{4}{N} (\lambda_l + \lambda_a) (c_{11} + (N-1)c_{12}) + \lambda_c (2c_v + c_h + c_g) \quad (4)$$

提案した方式での呼接続も移動時と同様に、同じ SA からの呼である場合と、別の SA からの呼である場合の2つがある。それぞれの転送ポイント間コストはそれぞれ、 $4c_{11}, 2(c_{11} + 2c_{12})$ である。これらから提案した方式での呼接続の単位時間内のコストは

$$C'_{PG} = 2(2\lambda_l + \lambda_a)c_{11} + 2\lambda_a c_{12} + \lambda_c (2c_v + c'_h + c_g) \quad (5)$$

となる。

単位時間内の総コストはそれぞれの合計、つまり

$$C = C_{LU} + C_{PG} \quad (6)$$

$$C' = C'_{LU} + C'_{PG} \quad (7)$$

と表せる。

5.3 評価

現実の値に沿ったパラメータが現段階ではあまり与えられないため、コストの評価は相対値 C'/C で行う。また、端末の移動性と呼の到着率を考えるのに、通話対移

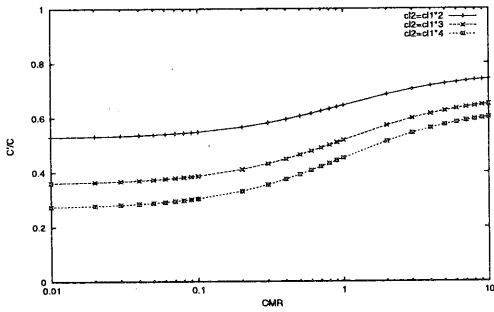


図7 比較1($\lambda_l : \lambda_a = 1 : 9$)の計算結果

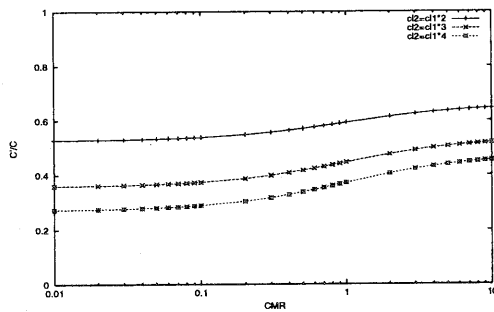


図8 比較1($\lambda_l : \lambda_a = 4 : 6$)の計算結果

動率 (Call-to-Mobility Ratio 以下 CMR と略) を変化させる事で相対値の観察を行う。またこれは、

$$CMR = \lambda_c / \lambda_m \quad (8)$$

で求められる。さらに、データベースのアクセスコストと転送ポイント間の通信コストは同列に扱う事は難しい。そのため、今回は通信コストの測定のみを行い、データベースコストは0として通信コストの測定する。またネットワークの数は $N = 10$ で固定しておく。

比較1 通信ポイント間コストにおける比較

比較2 別のSAへの移動確率の違いによる比較

のそれぞれについて比較を行う。

比較1では $p = 0.005$ に固定し、転送ポイント間コスト c_{l2} を c_{l1} の2倍から4倍に変化させ計算を行った。また、呼の到着率呼の到着率 λ_l, λ_a を $1 : 9$ と $4 : 6$ について計算を行った。比較2では $c_{l2} = 2c_{l1}, \lambda_a : \lambda_l = 1 : 9$ に固定し、別のSAに移動する確率 p を 0.005 から 0.02 まで変化させ、計算を行った。

5.4 考 察

比較1,2を通じて呼の到着に対して端末の移動性が高い場合、全体にコストが従来より低下することがグラフから読み取れる。

また比較1から同SAからの呼の到着率の割合が高く

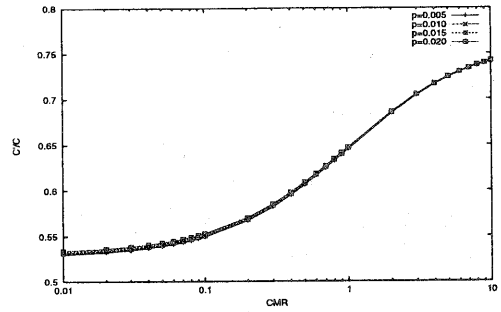


図9 比較2の計算結果

なると、呼の到着率が多い場合のコストがより良くなるのがわかる。

比較2から端末が別のSAに移動する確率 p が変化しても、それほどコスト的には差が見られないことが分かる。

6. まとめと今後の課題

以上の結果から結論として、通信コストに関して従来の方式より提案した方式の方が良いことが分かる。移動端末の移動性が高い場合には、特に提案した方式の利点が大であることが分かった。

今後の課題として、提案した方式を用いたネットワーク構成の最適化や、より現実的な値の検討、調査とそれによるコストの比較等を予定している。

参 考 文 献

- 1) Akyildiz, I. F. and Ho, J. S. M. :Dynamic mobile user location update for wireless PCS Networks, ACM-Balzer J. Wireless Networks, Vol. 1, No. 2, pp. 175-186 (1995).
- 2) Ho, J. S. M. and Akyildiz, I. F. :Dynamic Hierarchical Database Architecture for Location Management in PCS Networks, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 5, No. 5, pp. 646-660 (1997).
- 3) EIA/TIA :Cellular radio-telecommunications intersystem operations, Tech. Rep. IS-41 Revision B, EIA/TIA (1991).
- 4) La Porta, T. F., Veeraghavan M. and Buskens R. W. :Comparison of Signaling Loads for PCS Systems, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 4, No. 6 (1996).
- 5) Lin Y. B. :Deregistration Strategies for PCS Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 1 (1998).
- 6) Lin, Y. B. and DeVries, S. K. :PCS network signaling using SS7, IEEE Personal Commun.

- Mag., Vol. 2, pp. 44-55 (1995).
- 7) Lin Y. B. and Hwang S. Y. :Comparing the PCS Location Tracking Strategies, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 45, No. 1 (1996).
 - 8) Lin, Y. B. and Tsai, W. N. :Location Tracking with Distributed HLR's and Pointer Forwarding, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 47, No. 1, pp. 58-64 (1998).
 - 9) Tarjan R. E. :Data Structures and Network Algorithms, McGrawHill (1983).
 - 10) 齊藤忠夫, 立川啓二: 移動通信ハンドブック, オーム社 (1995).
 - 11) <http://www.mpt.go.jp/>
郵政省
-