

携帯電話在圏情報から交通流を把握するシステム設計

八木浩一

災害時交通流監視システム研究会

広域災害時に被災地外からの救援者を誘導支援することを目的に、半径数百 km に及ぶ非常に広範囲な交通流を監視するしくみの実現を目指している。移動状況を洩れなく把握するため、現在もっとも普及したユビキタス端末である携帯電話を活用し、かつ移動側、監視側双方の負担を少なくするため、基地局にある携帯端末の在圏情報から交通流を分析する手法を想定している。本稿では、海外での事例を踏まえつつ、日本の環境に即したシステム設計のあり方について論ずる。

Point of system design for monitoring traffic situation at large area disaster by using of cellular phone base station information

YAGI koichi

Rescue operation supporting society by Traffic surveillance system

We are developed the monitoring system of a very wide-ranging traffic situation at large area disaster. To understand the movement situation without the leakage, it is used the cellular phone that is an ubiquitous terminal that spread most now. To reduce the load of the movement side and the watch side, a traffic situation is observed from the cellular phone position information in the base station. In this paper, the point of the system design that suits the environment of Japan basing the case in foreign countries is discussed.

1. はじめに

災害時における迅速な救援・救助活動を支援するために「災害時交通流監視システム」の実現を目指した研究と開発を進めている。

通常の火事や交通事故などでは地域の警察、消防が救援・救助活動を行う。これに対し、地震、水害などの広域災害では、規模の大きさとともに、救援者自身が被災者であることから、周辺地域からの救援・救

助活動が重要となる。的確な活動を行うためには、被災地の状況を把握することが必要であるが、混乱した中で状況を把握し、さらに外部に発信することを現地に求めるには限界がある。現地に負担をかけずに、被害が大きそうな地域はどこか、そこに行くルートはあるかが把握できれば、限られた人員、機材を効果的に投入でき、活動の迅速化につながる。

中越地震を例にすると、被災地の新潟県

中越地方へ隣接各県のみならず、遠く東京、大阪、名古屋などからも支援の手が差し伸べられた。その際の物流をサポートするには、半径数百 km におよぶ非常に広い範囲での交通流の把握が必要となる。さらに災害発生直後からの支援を考えると、これを常に監視しつづける必要がある。また被災地へヒト・モノがより早くより多く到達できるルート、手段を見出すためには、道路、鉄道、徒歩までを含めた、すべての流れの把握が必要である。

人の移動状況を把握するために現在もっとも普及したユビキタス端末である携帯電話の情報を活用する。携帯電話は「各携帯電話端末がいまどのアンテナエリアにいるか」を基地局側で管理することにより、システムの効率化とすばやい着信を両立させている。この位置情報を履歴化し活用すれば、各携帯電話端末の移動状況が推定でき、これを統計処理すれば、人の流れの傾向が得られる。

2. 海外の事例

欧米では、携帯電話の基地局情報から交通流を観測するシステムが実用化しつつある。KDDI 総研 R&A 誌 2006 年 9 月第 1 号「米欧における交通渋滞予測のための携帯プロブ利用の動き」の中で、移動側で情報を収集しアップロードするのではなく、ネットワーク側で情報を収集する海外の事例が報告されている。そこには基地局番号を使う Cell ID 方式、信号の伝播遅延から距離を推測する Timing Advance 方式、電界強度情報なども利用する NMR（ネットワーク管理レポート）方式が述べられている。

LogicaCMG 社の資料に Cell ID 方式と Timing Advance 方式を併用した観測手法が述べられている。図 1 を例にとると左側の時点では端末は Cell ID をもとにその基地局の北西方向 120 度の範囲内にいると分かり、さらに Timing Advance 方式を用い、基地局からのおおまかな距離が分かる。こ

のとき道路上にいと仮定すれば、地図情報と掛け合わせることで①②のどちらかの道路上にいと推測される。次に右側の時点では、南方向 120 度の範囲内のある距離にいると分かり、①③のどちらかの道路上にいと推測される。そして前回の状態と比較することで、①を走行していると判断され、さらに移動速度が求められる。

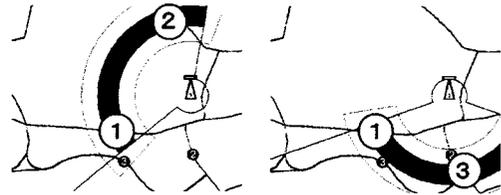


図1 Timing Advance 方式での分析手法
LogicaCMG, 'Mobile Traffic Services
Intermezzo' より抜粋し符号追加

この方式で移動状況を推測するためには同じ携帯電話の情報が近接する基地局で観測される必要がある。これは通話時（メール、Web を含む）に限られるため、通行量の観測には適さない。

3. 基地局情報の活用と日本の制度・環境

欧米で実用化の動きが進んでいるのに対し、日本では国土交通省 国土技術政策総合研究所が進める「四次元 GIS データを活用した都市空間における動線解析技術の開発」の中で災害時の帰宅困難者の状況把握などを目的とした検討が行われている段階である。日本での実用化には次の 2 つの課題が考えられる。

1) 他の手法の実用化

路上に設置したセンサにより交通流を観測する VICS や、車内に設置した GPS の情報をセンターに通知し観測するプロブカーシステムなどが実用化されている。これらは携帯電話の基地局情報をもとに交通流を観測する方法に比べて、原理的により正確な位置と速度が観測できる。この点では基地局情報を活用するしくみにメリットはない。しかし既存の施設を活用すること

から、人口が少なく経済効率が悪くなる中山間地での交通流の観測や、異なる原理に基づくことから、災害時のフェールセーフ性の向上にメリットがある。

2) 法律に抵触する懸念

憲法第21条に規定された「通信の秘密」、電気通信事業法第4条に規定された「秘密の保護」、個人情報保護法などに抵触する懸念がある。総務省の「電気通信分野における個人情報保護法制の在り方に関する研究会」の最終報告書(2000/12/15)の中で位置情報の扱いが検討されており、次のように書かれている。

通話時以外に移動体端末の所持者がエリアを移動するごとに送られる位置登録情報は、通話を成立させる前提として電気通信事業者に機械的に送られる情報に過ぎないことから、「通信の秘密」ではなく、それ以外の個人情報として保護の対象外の事項と考えられる。

しかし、位置登録情報が「通信の秘密」に該当しないとしても、ある人がどこに所在するかという情報はプライバシーの中でも特に保護の必要性が高い事項であるから、「通信の秘密」に準じて強く保護することが適当であると考えられる。

つまり、通話時の位置情報の利用は憲法に規定された「通信の秘密」に抵触するが、位置登録時の位置情報は、個人情報保護法に抵触しない形であればその利用に可能性がある。そして個人情報の保護に関する法律の第二条には下記のように書かれている。

「個人情報」とは、生存する個人に関する情報であつて、当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの（他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む。）をいう。

つまり、通信の秘密の対象外である位置登録で得られる情報を匿名化して扱ったり、統計処理を施すことは認められる可能性がある。

海外の事例で採用されている Timing Advance 方式では「通話時の位置情報」を「どの端末かを識別しながら扱う」ため、法律に抵触しないためには事前に本人の同意を得る必要がある。

4. 日本の制度・環境に適した設計の要点

1) 採算の合う市街地へは VICS などがすでに導入されており、災害時対応自体をビジネスにすることも難しいことから、可能な限り既存システムをそのまま活用し、新たに追加する部分を最小限にとどめる必要がある。

2) 海外の事例で採用されている Timing Advance 方式は速度情報の取得が中心となっているが、災害時の活用では通行量も重要な情報となるため、Cell ID 方式を中心とした観測手法が適当である。

3) 災害に備え平時から網羅的に情報を収集しておくことを想定すると、携帯電話の所有者と契約を結ぶことなく実施できる可能性がある、位置登録情報のみから交通流を観測する方法が適当である。つまりこの点からも Cell ID 方式が適当である。

5. 位置登録のしくみ

携帯電話の位置登録は交通流を観測するためではなく、電波の有効利用やシステムの効率向上のために行われている。これをもとに交通流を観測するには位置登録のしくみを理解する必要がある。

携帯電話に電話をかけたとき、すべての基地局から着信呼び出しを行うと、電波の有効利用ができない上、着信するまでにかかる時間も長くなる。そのため待ち受け時も含めて、携帯電話がどのアンテナエリアにいるかを基地局側で常に把握し、限られたエリア内で呼び出すことで、すぐに着信できるようにしている。これは位置登録と

呼ばれる移動通信ネットワークの基本技術で、すべての携帯電話のしくみで採用されている。

各携帯電話の位置情報は、基地局 Node-B～無線ネットワーク制御装置 RNC～移動サービス交換局 MSC 内の VLR (Visitor Location Register) ～ HSS (Home Subscriber Server) へと伝達される (図2)。VLRでは携帯電話がどの無線ネットワーク制御装置 RNC の管轄下にいるかを管理し、HSS ではどの MSC の管轄下にいるかを管理している。着信時は HSS、VLR の順に問い合わせ、最寄りの無線ネットワーク制御装置 RNC を特定し、その RNC の管轄下にある複数の基地局から一斉に呼び出しを行い (この機能を一斉呼出と呼ぶ)、すばやい着信と電波の有効利用が実現されている。

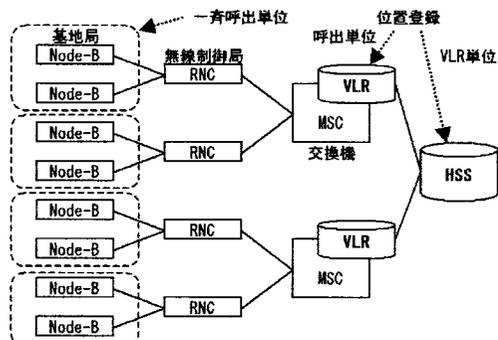


図2 携帯電話基地局側ネットワーク構成

携帯電話が移動し、登録内容と実際の位置にずれが生じると着信できなくなる。これを防ぐために、携帯電話は基地局から発信されるエリア番号をもとに管轄 RNC を判断し、別の RNC 管轄下に移動したとき位置登録の更新を要求し、実際の位置と登録内容を一致させている。これは待ち受け時を含めて常に行われている。

6. 移動と位置登録の関係

ある一斉呼出エリアから、別のエリアに移動したとき最初の基地局で位置登録が行われる。基地局は指向性を持った複数のアンテナ (セル) から構成されており、どこ

で位置登録が行われたかはセル単位で分かる。同じエリア内のセル間を移動しても位置登録は行われず、別のエリアに移動したとき次の位置登録が行われる。そしてそれは通常エリア境界に内接するセルで行われる。すなわち携帯電話の移動に対して断続的に位置登録が行われる。

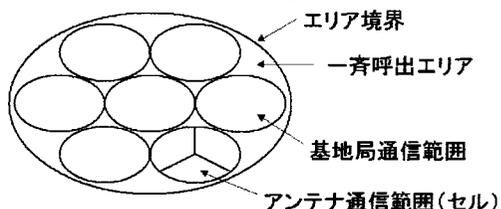


図3 セル、基地局、エリアの関係

位置登録の直前にはエリア境界に外接するセルにいたはずである。このことから、位置登録時の移動方向をある程度の範囲とある程度の確率で推測できる。さらに前回の位置登録情報とあわせると、起点、終点の位置とその間の移動時間が得られ、そこから移動速度が推定できる。

このようにして得られる移動情報は、ある程度離れた基地局を起点、終点とした情報となり、その間の経路情報は含まれない。また得られる位置情報も基地局の位置であり、携帯電話の位置とは異なる。その誤差は基地局の通話範囲の大きさに相当し、市街地で半径数百 m ～郊外で半径数 km である。

非常に粗い情報のようだが、これは交通センサスやパーソントリップ調査などで得られる情報と同等であり、決して見劣りするものではない。交通調査ではここから起点、終点ごとの交通量を一覧にした OD 表 (Origin Destination Table) を作成し、需要配分法、実際配分法などの予測手法を用いて、起点と終点の間の交通量を経路ごとに求めている。交通流監視システムでも同様の手法で経路情報の推定が可能と考えられる。

7. 位置登録情報の取得手順

位置登録を行う具体的なシステム構成は携帯電話会社ごとに異なるが、ここではVLRを用いる方式を想定し取得手順を述べる(図4)。一斉呼出を行うためにはVLRには少なくとも携帯電話を識別する番号と呼出エリアの番号が登録されており、HSSには携帯電話の識別番号と管理しているMSCの番号が登録されている。図中のハッチング部分、太線部分が、既存のシステムに新規に追加する機器、手順である。加えてVLR、HSSでは位置登録を行った時刻を新たに登録することとした。

携帯電話が移動し、これまでと違うエリア番号を受信すると、①携帯電話はRNC

を介して位置登録要求を出す。②MSC内のVLRでその携帯電話の位置登録情報があるかを検索する。同一MSCの管轄範囲内を移動した場合、③位置登録情報が見つかる。④前回の位置登録時に記録された(VLRに記録されている)エリア番号と登録時刻に、今回のエリア番号、セル番号と現在時刻をセットにして、集計サーバに登録する。この④の機能を現在のシステム構成に追加する。集計サーバへ通知する情報には、携帯電話の識別番号など個人が特定できる情報は含めず匿名化を図る。その後⑤VLRに今回のエリア番号と現在時刻を登録する。

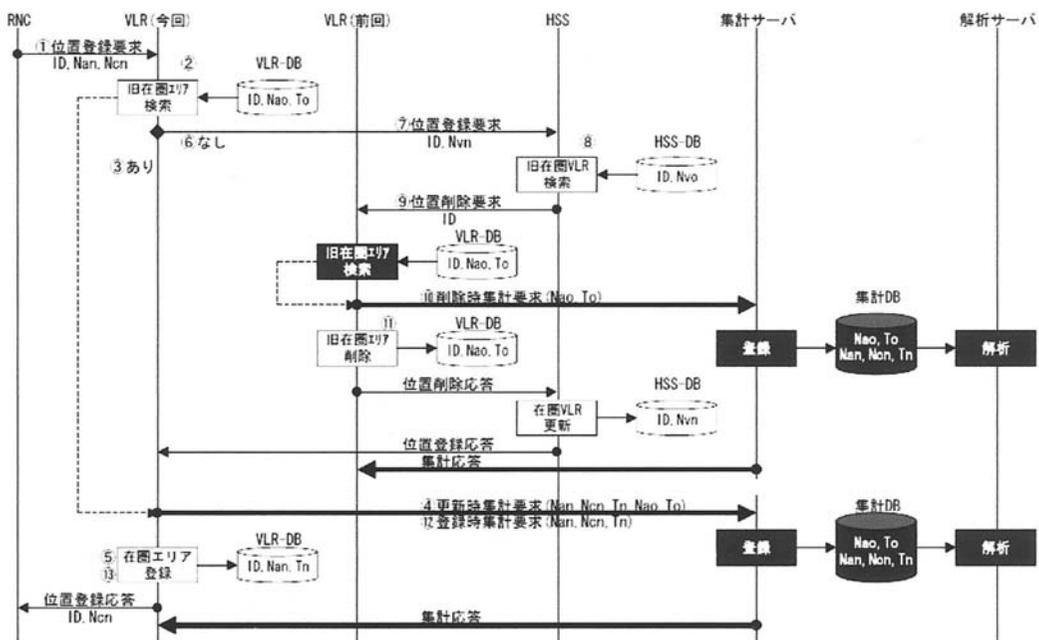


図5 位置登録情報の取得手順

異なるMSCの管轄範囲に移動した場合、そのMSC内のVLRでは⑥位置登録情報は見つからない。その場合は⑦HSSに位置登録要求を出し、⑧位置登録情報があるVLRを検索し、対象のVLRに対して⑨位置登録情報の削除を要求する。位置登録情報を削

除する前に⑩前回の位置登録時に記録された(VLRに記録されている)エリア番号と登録時刻、現在時刻のみを集計サーバに登録する。この⑩の機能を現在のシステム構成に追加する。携帯電話のしくみ上、今回のエリア番号、セル番号はHSSに伝達する

必要がないため、この時点では今回の情報と前回の情報をペアにして集計サーバに登録することはできない。その後⑩前回の場所を管轄する VLR から前回の位置登録情報を削除する。続いて現在の場所を管轄する MSC の VLR に制御を戻す。ここで⑪今回のエリア番号、セル番号と現在時刻のみを集計サーバに登録する。この⑪の機能を現在のシステム構成に追加する。そして⑫VLRに今回のエリア番号と現在時刻を登録し、携帯電話に応答信号を返して一連の処理を完了する。

同一 MSC 管轄範囲内の移動時に④の手順で得られる情報は、起点のエリア番号、時刻と、終点のエリア番号、セル番号、時刻がペアになっているが、起点のセル番号はなく、このままでは移動情報として扱えない。そこで起点情報のエリア番号、登録時刻と一致する終点情報を検索し、セル番号を取得する。時刻の単位が粗いと複数の

セル番号が見つかってしまうため、なるべく細かい時刻で扱うか、同一時刻の場合シリアル No を付与する方法が考えられる。起点情報にセル番号を付加できればこの後処理は必要ないが、VLR にセル番号を保持することになる。個人情報保護の観点から考えると、携帯電話の識別番号とともに情報を保持する VLR にはセル番号は保持しない方が望ましい。

異なる MSC 管轄範囲への移動時には⑩と⑪の手順で、終点と起点の情報が分かれて得られるため、そのままでは移動情報として利用できない。これは MSC の管轄境界で常に発生し、これに対処しなければそこの移動情報がすべて欠落してしまう。そこで、集計サーバに記録されている終点情報の登録時刻に一致する削除時刻を検索し、対応する起点情報を取得する。さらに先の手順でセル番号も取得する。

表 1 集計サーバ・データ構造

No	起点情報		終点情報			動作	移動状態
	旧在圏 エリア	登録日時	現在圏 エリア	現在圏 セル	登録日時 (削除日時)		
④ 1	Naf1	Tf1	Nat1(=Nat2)	Nct1	Tt1(=Tt2)	登録	MSC内移動
④ 2	Naf2(=Nat1)	Tf2(=Tt1)	Nat2	Nct2	Tt2	登録	MSC内移動
⑩ 3	Naf3	Tf3	×	×	Tt3(=Tt4)	削除	MSC内移動
⑫ 4	×	×	Nat4	Nct4	Tt4=Tt3	登録	MSC内移動

8. まとめと今後の進め方

広域災害時に被災地外からの救援者を誘導支援することを目的に、半径数百 km に及ぶ非常に広範囲な交通流を監視するしくみを実現するため、現在もっとも普及したユビキタス端末である携帯電話を活用し、かつ移動側、監視側双方の負担を少なくするため、基地局にある携帯端末の在圏情報から交通流を観測する手法について検討した。海外での事例を踏まえつつ、日本の制度、環境からくるシステム設計の課題と対応を明らかにし、それに沿った基本設計の

例を示した。

携帯電話の契約台数は 9,445 万台（2006 年 12 月末現在）で、基地局の数も NTT ドコモの FOMA 分のみで 25,700 箇所（2006 年 6 月現在）におよび、非常に多くのデータをリアルタイムで集計する必要がある。今後はこの点を考慮した、より具体的な設計を行うとともに、交通工学に基づく交通流の分析手法の開発、制度面の調査、検討を引き続き行う予定である。

むすび

私が学生時代を過ごした第二のふるさと新潟県中越地方を2004年10月に中越地震が襲いました。被災したふるさとの姿に心を痛め、システムエンジニアである自分に何ができるのか問いかけ、この研究を始めました。そして防災、移動通信ネットワーク技術、交通工学、法制度について調査、ヒアリングを重ね、今回の発表にたどりつきました。ご支援、ご協力いただいた多くの方々に感謝いたします。

研究することが目的ではなく、将来の災害発生時に、いち早い救援救助活動を支援するために実際に情報提供を行うことを目指しています。これを実現するため、誤解や検討洩れなどありましたら、ご指摘いただけますようお願いいたします。

参考文献

- 1) 八木浩一：携帯電話基地局情報を活用した交通流監視システムの可能性と課題（日本災害情報学会）<http://traffic-hazard.ddo.jp/>
- 2) KDDI 総研 R&A 誌 2006 年 9 月第 1 号「米欧における交通渋滞予測のための携帯ブロープ利用の動き」http://www.kddi-ri.jp/ja/r_a/pdf/KDDI-RA-200609-12-PRT.pdf
- 3) LogicaCMG, 'Mobile Traffic Services Intermezzo' http://www.centrico.tent.com/documents/er_conference/presentations/2_5_5_Intermezzo_Rutten.pdf
- 4) 国土交通省 国土技術政策総合研究所が進める「四次元 GIS データを活用した都市空間における動線解析技術の開発」<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/gisdatariyou.html>
- 5) 「電気通信分野における個人情報保護法制の在り方に関する研究会」最終報告書 http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/press_release/japanese/denki/001215j603.html
- 6) 個人情報の保護に関する法律 <http://www5.cao.go.jp/seikatsu/kojin/houritsu/index.html>
- 3) 藪崎正実 (2005)、移動通信ネットワーク技術、(社)電子情報通信学会刊
- 8) 福田正編：新版交通工学（朝倉書店刊）
- 9) (社)電気通信事業者境界：携帯電話契約数 <http://www.tca.or.jp/japan/database/daisu/index.html>

10) ドコモ通信 30 号 (2006 年 9 月)

<http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/ir/library/docotsu/index.html>