

インターネットを用いた高精度衛星測位システム

羽田 久一^{†1} 川喜田 佑介^{†2} 砂原 秀樹^{†3}
山口 英^{†4} 村井 純^{†2}

モバイルコンピューティングに特有の情報として、位置情報があげられる。近年では位置情報を利用した情報検索や取得といった研究が行われるようになってきているが、その元となる位置情報を高精度で提供することは難しい。RTK-GPSやDGPSは位置の判っている基準局からの情報を利用して高精度な位置情報を得る手法であるが、基準局から移動局へ補正情報をリアルタイムで伝送する必要がある。そこで本研究ではインターネットを用いて、補正情報を配布するシステムを構築し、その設計と実装について述べた。

プロトタイプを実装するにあたり、現在おこなわれているDGPS補正情報サービスとの比較を行い、移動局、基準局における設備の簡易性や粒度の細かいサービスを行えることを示した。

さらにプロトタイプを実装し評価した結果、DGPSにおいて、100cm程度、RTK-GPSによって10cm程度の精度で位置情報を決定することが可能であり、インターネットを用いた配信サービスにおいて現在行われている補正情報の配信と同様の精度を得られた。

よって、本システムは現状のシステムと同等のサービスをインターネットを用いることにより、簡単かつ広範囲にユーザー個々の要求に応じたサービスを提供出来ることを示した。

High Accuracy GNSS Correction System based on the Internet

HISAKAZU HADA,^{†1} YUSUKE KAWAKITA,^{†2} HIDEKI SUNAHARA,^{†3}
SUGURU YAMAGUCHI^{†4} and JUN MURAI^{†2}

One of the most important Information in mobile computing environment is geographical information. Many researches about information retrieval with geographical informations are developed but it is not easy to measure location with high-precision. GPS with Differential or RTK correction can provide hi-accuracy location at real time, but these correction methods require communication between rover hosts and reference stations.

Therefore, we provide DGPS/RTK-GPS correction system based on the Internet. In this paper, we introduce some advantage of our system compared with currently existing correction services. We also provide prototype implementation and examine it. The result is 1m as DGPS measurement and 10cm as RTK-GPS. It is as same as current method.

We shows the accuracy of our system is similar to current another D-GPS/RTK-GPS correction systems and advantage of low-cost, small-size and individual-requests.

1. はじめに

近年のデバイス技術や実装技術の進化により、携帯型の小型コンピュータの性能が劇的に向上しつつあ

り、広く一般にも認知されるようになってきている。また、携帯電話を始めとする移動体通信の分野においてもCDMAのような技術が一般化し高速かつ高帯域なネットワーク環境をあらゆる場所で利用できるようになってきている。

携帯型コンピュータやネットワーク環境の進歩はコンピュータを決まった場所で利用するのではなく、必要な時に必要な場所でコンピュータを利用するモバイルコンピューティングを普及させる大きな原動力となっている。

このモバイルコンピューティングにおける通信手段としてはインターネットがもっとも広く利用されている。インターネットは地球上に広がる世界最大のコン

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学附属図書館研究開発室
Research Division, Digital Library, Nara Institute of Science and Technology
^{†2} 慶応大学環境情報学部
Faculty of Environmental Information, Keio University
^{†3} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学センター
Information Technology Center, Nara Institute of Science and Technology
^{†4} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

コンピュータネットワークであり、簡単な手法でコンピュータを接続出来るためビジネスや教育から個人間の通信にまで幅広く利用されている。現在では、通信技術およびコンピュータ技術の進化により、パーソナルコンピュータはもちろんのこと、PDAや携帯電話に至るあらゆる情報機器が接続されるようになってきている。

モバイルコンピューティングにおいて位置情報は特別な意味をもっている。これはモバイルコンピューティングを行う場所が一定ではないからであり、それぞれの場合に応じた情報が必要とされるからである。

例えば、携帯端末は移動中に利用出来るため、移動先や移動方法に関する情報を入手することは利用価値が高いと考えられる。しかしながら、これらに必要な地図や交通機関の案内といった情報はデータ量が大きく更新が激しいため常時携帯するには向かない。さらに交通情報のように時々刻々と変化する情報の場合には、記憶容量にかかわらず携帯することが不可能である。

カーナビゲーションやそれから発展した人間や物体のナビゲーションにもモバイルコンピューティングは利用されている。

これらは自分がどこにいるかという情報そのものが大きな価値を持つ例であり、今後は福祉、医療などの分野から物流管理まで幅広い応用が想定されている。これらの分野では、現在おこなわれているような大まかな位置情報ではなく、人間の位置を特定できるような粒度の細かい位置情報が求められている。今後はさらにこのようなアプリケーションが増大すると考えられておりモバイルコンピューティングに対する位置情報の要求はますます増大している。そのため高精度な位置情報の提供は現在のモバイルコンピューティングにおける大きな課題の一つである。

人工衛星を用いた測位システムであるGPSは単独の測位では誤差が大きくおおまかな位置情報を利用するには十分であるが正確な位置情報を得ることが出来ず、前述のような人間サイズでの位置情報の取得には向いていない。

そこで我々はインターネットを用いてGPSの補正情報を配信することにより、大規模な設備を必要とせず、多くのユーザがそれぞれ要求に応じた精度の位置情報の取得を出来るシステムを提案し実装を行った。

以下、2章では位置情報とその取得方法の一つであるGPSおよび、その精度向上のための手法について述べる。次に3章においてインターネットを用いて高精度なGPS環境を構築する手法を提案する。

さらに4章では実際に稼働しているシステムの設計

および実装について述べ、5章では補正情報の頻度が精度にあたえる影響について考察する。次に6章において今後の課題について述べ、最後に全体を7章にてまとめ、本論文の結言としている。

2. 位置情報の取得

モバイルコンピューティングにおいて位置情報を把握するためにはさまざまな方法が存在する。本章では位置情報の把握の重要性および本研究で利用するGPSとその高精度化について述べる。

2.1 モバイルコンピューティングにおける位置情報の取得

モバイルコンピューティングが通常の固定運用されたコンピューティングと決定的に違う点は空間的な広がりや移動を考慮する必要がある点である。空間的な移動を伴うため、位置情報はモバイル環境のなかで非常に重要な意味を持つ。

ユーザの位置が特定できる場合にはその時々において通信手段を適切に選択したり、その位置に従った特別の情報を得ることが出来る。逆にユーザの位置をリアルタイムに記録したり外部へ伝えることにより、外部からのモニタリングなどのサービスを行う新しいアプリケーションも開発されている。

また、位置そのものに関しては電子化された地図などリアルタイムに位置を示す要求があり、カーナビゲーションなどに利用されている。

その他には、リアルタイムに高精度な位置を確認することにより社会的なデータの収集を容易にすることが可能となる。このような精度の高い位置情報を収集することは社会インフラの整備の遅れている地域や大地震などで被災した地域の測量といった用途が提案されており、発展途上国や被災地などの復興に役立つと考えられる。

このように位置情報の取得は今後のモバイルコンピューティングにおいて非常に重要な課題である。モバイルコンピューティングに適したサイズのデバイスを利用して世界中で利用できる測位システムは現在のところGPSのみである。しかしながら、このGPSは単独で利用する場合には精度が100m程度と人間のサイズを単位とした測位を行うには不十分であり精度向上の手法が開発されている。そこで次節ではこのGPSおよびその精度向上の手法について述べる。

2.2 Global Positioning System(GPS)およびその精度の向上手法

GPSは人工衛星を利用した測位システムであり、陸海空を問わず衛星からの電波が受信出来る場所で利用

出来る¹⁾。GPSでは管理者である米国の国防上の理由によりSA(Selectable Availability)と呼ばれる故意の誤差が混入されており、その精度は単独測位の場合には100m程度である。

そこでGPSにおける誤差要因を取り除くためにDifferential-GPS(DGPS)という方式が広く利用されている。DGPSはあらかじめ位置を測定した基準局上でリアルタイムに誤差を算出し、算出された誤差を移動体側のGPS受信機で利用することにより精度を向上させる方式であり、その誤差を1m程度に減少させることが出来る。

さらに精度の高い位置情報を得るためには、Real-Time Kinematic GPS (RTK-GPS)と呼ばれる方法が利用される。RTK-GPSは衛星から送信される搬送波の位相を利用することにより、精度を向上させる方法であり、実時間計測において数cm程度の精度と測量なみの精度で位置情報を得ることが出来る。しかしながら、RTK-GPSを行うためにはDGPSに比べ補正情報の量が増大し、許容遅延時間が小さくなる。

これらの補正を利用するためには基準局で計算した誤差量を移動局に伝達する必要がある。この通信手段には一般的に無線通信が用いられるが以下のような問題がある。

- 無線通信のエリアが限られるため、広域をカバーすることが難しい。
- 基準局の設置に無線局免許や大きな無線設備といったコストが必要になる。
- データを放送するだけなので、粒度の細かいサービスを提供できない。
- 現在利用されている無線方式ではデータレートが低く、RTK-GPSに必要な多量の補正情報を放送出来ない。
- ユーザの設備としてGPS受信機の他に専用の無線設備が必要となり、移動体に必要とされる機材が多くなる。

そこで本研究ではインターネットを補正局と移動局の間の通信経路として利用することにより、利用者の要求に応じたGPS補正データを少量の機材で広域で利用できる環境を構築する。

3. インターネットを用いた高精度な補正情報配信システム

本章では従来型の配信システムの特徴および、我々が提案するインターネットを用いた補正情報配信システムについて述べる。

3.1 現在のGPS補正情報配信

現在の補正情報の配信は主に専用の無線機を利用した放送あるいは通信として行われている。しかしながら高精度なGPS環境をあらゆる場所で利用するためには、多くの無線設備が必要となり、その構築は容易ではない。

現在の日本で一般的に利用されているDGPSのための補正情報配信はFM副搬送波によるサービス²⁾と中波ビーコンによるもの³⁾であるが、どちらも広域性や精度に問題がある。

FM副搬送波 現在日本で行われているFM副搬送波を用いた場合には、データを安定して受信するためには強い信号強度が必要である。そのため電波がカバーする領域が限られており都市部以外での利用は難しい。

中波ビーコン 中波ビーコンによるDGPSデータ配信は海岸で船舶にむけて行われている。そのため、内陸部での受信は難しく、日本国内であってもどこでも利用できるとは言えない。また、専用の受信機およびアンテナが必要であり可搬性に欠ける。

これらの無線を利用した方式の利点は多数の局で同時に受信することが出来ること、受信機を用意すれば誰でもがアクセス出来ることなどにある。しかしながら双方向の通信を行えないため、ユーザからの要求を行うことが難しくユーザの細かい要求に応じられない。

RTK-GPSを行うためにはDGPSに比べ多くのデータを転送する必要があり、既存の放送方式によるデータ通信ではこのようなサービスを行っていない。RTK-GPSでの測位は基準局近傍10~20km程度に限られるため、カバー範囲の大きな放送局を利用する利点は少なく、狭い範囲にのみ有効な補正情報提供環境が望まれている。

これらを考慮し我々は広域で利用可能な通信手段としてインターネットを利用し、DGPSおよびRTK-GPSのための補正情報を提供することを提案する。

次節ではインターネットを用いた補正情報配信システムの構築について述べる。

3.2 インターネットを用いた補正情報配信

補正情報の配信を行う場合には補正情報の有効範囲が問題となる。DGPSの場合には数百kmの長距離であっても有効な補正を行うことが可能であるが、RTK-GPSの場合には数十kmを超えると有効な解を得ることができない。

そのため、RTK-GPSを利用するためには多数の基準局を構築する必要がある。

この基準局のアクセスラインとしてインターネット

を用いることにより、世界中をカバーする無線環境を構築する必要がなく、現存するコンピュータネットワークを利用できる。さらに、ユーザからの情報を得ることにより移動局からの距離や遅延の少ない基準局を容易に選択することが可能となるため、より高精度の測位が期待できる。

さらに基準局側は電波の割り当てやデータ転送速度といった問題から開放され、無線設備を必要とせずに基準局を構成できる。そのため、RTK-GPSのように狭い範囲でのみ有効なデータ量の多いサービスを行うのに適している。

さらに移動局は専用の無線機などを利用する必要がないため機材が削減できる。現在でも携帯電話によるDGPSやRTKGPSの配信を行う場合もあるが、基準局側のアクセスラインの問題により利用者がそれぞれ独自に構築を行っている。インターネットを利用することで、もっとも近いアクセスポイントを利用することや、無線LANなどのように通信コストのかからない方式でインターネットに接続することも可能になる。

現在のモバイルコンピューティング環境では移動中にインターネットへ接続する機能はほぼ必須であり、ほとんど全ての端末が備えている。また、GPS受信機はコンピュータと接続することを前提としているため親和性が高い。インターネットを利用するためにはインターネットへの通信手段があれば、通常GPS測位に利用している機材を大きく変更することなくDGPS／RTK-GPSの測位に利用することが出来る。

このような特徴からモバイルコンピューティングに必須のインターネットを用いてDGPSやRTK-GPSのサービスを行うことは以下のような利点を持つことが出来る。

デバイス非依存性 インターネットではさまざまな通信手段を利用できるため、近距離のネットワークを構築する無線や有線のLAN装置から電話回線や携帯電話など、さまざまな種類の通信手段をシームレスに扱うことが出来る。そのため、測位場所や補正情報のデータ量に応じた通信手段をユーザが選択することが可能であり、測位場所や目的に適した補正情報の受信を行うことが出来る。

粒度の細かいサービスの提供 ユーザの要求に応じて補正情報を提供する場合には、ユーザのおおまかな場所を知った上で最適な補正情報を選択することが可能である。基準局と遠距離の場合にはGPS衛星の天空上の位置が異なるため地理的に近傍の基準局からの情報を得る必要があるが、従来では基準局を選択するためには電波の受信周波数を変更

する必要がある。さらにユーザは自分の持つ受信機や通信手段にあわせて補正情報を選択することが可能になる。

低コストな基準局 無線設備を用いて補正情報のサービスを行うには、周波数帯域や無線局免許、無線設備などが必要となる。広域をカバーするためには多数の無線局が必要となり、コストがかかる。しかしながらインターネットを用いることでこのようなコストが発生せず安価に基準局を構築できる。

移動局の小型化 現在、インターネットへの接続を行うためには携帯電話などがあればよい。これにGPSアンテナを含んだPDAを接続することにより誰もが持ち歩けるサイズでDGPS環境を提供することが可能になる。今後のモバイルコンピューティングは端末の小型化によりウェアラブルに代表されるような可搬型コンピュータを利用することになると考えられる。このような場合に衛星やビーコンなどを受信するための設備を持ち歩く必要がないことは大きな利点であると考えられる。

以上のような利点を持つインターネットを用いた高精度GPSシステムであるが欠点としては以下のようなものが考えられる。

通信コスト インターネットへの接続を行うためには通信手段が必要となる。そのため放送用の電波を利用する場合には発生しないような補正情報の通信に対するコストが必要となる場合がある。しかしながら、モバイルコンピューティングを行う場合には別の情報を得るためにインターネットを利用することがある。そのような場合には同じ接続を用いて補正情報を同時に得ることが可能であるため、コストを圧縮することが出来る。

サービスの保証 インターネットで用いられているIPは無保証のケット通信であり、ケットの遅延時間やロスといった性能に対する保証がない。そのため、予定している情報のうちいくつかが届かないことが考えられる。

しかしながら、非常にトラフィックが多くならない限りケットがロスすることは考えられないため、一般の用途には問題なく応用できる。航空機や緊急自動車の精密誘導など人命に関係するアプリケーションの場合にはリンク切断などの事態に備えたバックアップリンクの確保が必要となる。

これらの点を考慮し、我々はインターネットを用いたGPSの補正局を設計し、実装を行った。

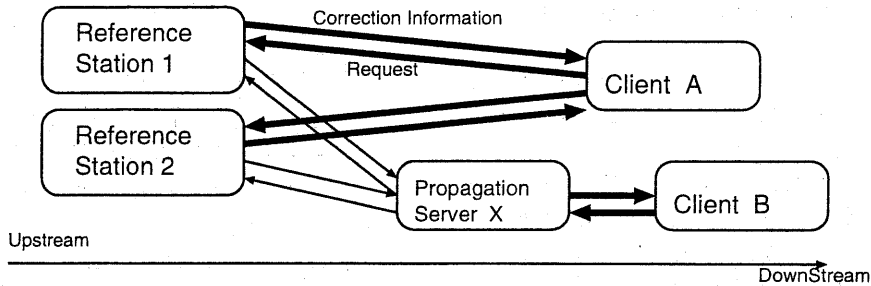


図1 システム構成

4. 高精度 GPS 補正情報提供システムの設計と実装

4.1 システムの構成

本論文で提案するシステムの構成を図1に示す。

システムはモバイルコンピューティングを行うユーザの移動局 (Rover Station) と基準局 (Reference Station) およびデータの配信を行う配信局 (Propagation Agent) の3つで構成されている。

本システムでは下流ノードからの要求に従い、上流ノードが補正情報を提供する。それぞれのノードの動作を以下に示す。

基準局 (Reference Station) 基準局はあらかじめ測量されたGPS受信機を持つ。GPS受信機により生成した補正情報を下流ノードからの要求に従い転送する。下流ノードには配布局あるいは移動局が相当する。

配布局 (Propagation Agent) 補正局から受けたデータを下流ノードからの要求に従い転送する。この時に、どの補正局のデータを使うか、どの補正データを転送するかを判断する。下流ノードには移動局のみならず、配布局を置くことも可能である。そこで複数の配布局を多段に利用することにより数多くのクライアントをサポートすることが可能になる。

移動局 (Rover Station) 移動局は任意の配布局に対して自分の必要とするデータの要求を行う。ユーザは配布局より得たデータを用いて補正を行い、移動局の高精度な位置情報を得ることが出来る。これらのシステム間では常に下流ノードからの要求によりデータの配信がおこなわれる。配信要求を行うことで粒度の細かい補正情報の配信を可能にし、移動時の利用に適応することを目指している。

4.2 補正情報の配信

配信局はユーザからのリクエストを元に最適な補

正情報を選択しリクエストされた方法で配布を行う。ユーザからのリクエストには補正前の位置情報や必要とするサービスの種類、補正情報の間隔などを含めることが可能である。

リクエストに単独測位による位置情報を含むことにより、配布局は移動局のおおまかな位置を知ることが出来る。このおおまかな位置を利用することにより、配布局は最適な補正情報を選択し移動局へ配信することが出来る。

また、リクエストには情報の配布間隔やDGPSあるいはRTK-GPSといったサービスの種類を記述することにより、ユーザは自分の欲するサービスを選択することが可能になる。

これらの情報はインターネット上でのコネクションレス型通信方式であるUDPを用いて、通信を行っている。UDPはデータ到着の保証を行わないが、再送処理などを行わないためデータの処理にかかる時間が少ない。そのためリアルタイム性の必要とされるデータに向いている。

基準局が提供する補正情報の形式は世界的な標準規格であるRTCM-SC104形式⁴⁾を利用している。そのためユーザはモバイルコンピュータのシリアルポートに出力されるデータをそのまま一般的なGPS受信機の補正情報用シリアルポートへ入力することが出来る。

それぞれの通信では、データを要求する側がリクエストを出しそれに対して返答を一定時間の間行うこととする。デフォルトの設定ではリクエスト毎に1秒間隔で補正情報を30秒間転送する。移動局はタイムアウト以前に再度要求を行いタイムをアップデートすることにより連続して補正情報を得ることが可能となる。

4.3 基準局および移動局の実装

基準局は通常のGPS補正局に必要なGPS用アンテナおよびGPS受信機の他、データを配布するためのワークステーションとそれを接続するインターネット回線からなる。基準局の正確な位置が必要なため、

GPS アンテナの位置はあらかじめ測量しておく必要がある。

GPS 受信機はシリアルポートを3つ装備しているが、1つを補正データ出力用、1つを制御用に利用している。

基準局のコンピュータはUNIX系のOSであるFreeBSDが稼働しており、その上で本研究で構築したサーバ用のソフトウェアが動作している。

移動局も同様にGPS受信機およびネットワーク接続用のコンピュータから構成されるがどちらも基準局側に比べ小型のものを利用している。インターネットへの接続は携帯電話、PHS、無線LANなどを利用して行っており、複数の伝送メディアに対応出来る。

5. 実験および考察

インターネットを用いた高精度GPSサービスの実用性を検証するために実験を行った。本章ではその結果について述べ、さらに従来のサービスとの比較を行い、考察を行った。

5.1 補正データ量と精度の関連

移動体でインターネットを利用する場合には、無線通信を利用することが多い。この無線通信は無線LANのような高速なもので11Mbpsの帯域を利用できるが、広域サービスを行っている携帯電話やPHSなどの場合には32kbpsあるいは9.6kbpsといった有線のLANと比較して非常に限られた帯域しか利用することができない。この狭い帯域はITSやモバイル情報サービスのような用途を考慮するとさまざまなサービスで共有すると考えられている。

一方、D-GPSにおける補正情報は時刻とともに変化するがその変化量は秒単位ではゆるやかであることが知られている。通常、GPS受信機は正しい補正情報を受け取れなかった場合には直前の補正情報を再利用する。再利用の期間は設定によって変更できるがおおむね30秒以下が推奨されている。

GPS補正データを間欠的に提供することにより必要とする帯域を削減でき、狭帯域のデータリンクを有効に利用することが可能である。そこで補正データ量を削減することによる、精度の劣化について考察を行った。

図2に実験に用いたシステムを示す。システムはインターネットに接続されたGPS基準局サーバとクライアントから構成される。クライアントは11Mbpsの帯域を持つ無線LANによりネットワークに接続されている。補正情報配布ソフトウェアの機能によりユーザのリクエストに従って転送する補正データを選択す

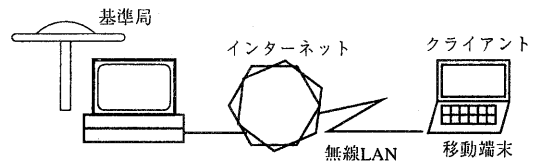


図2 無線LANを用いた実験システム

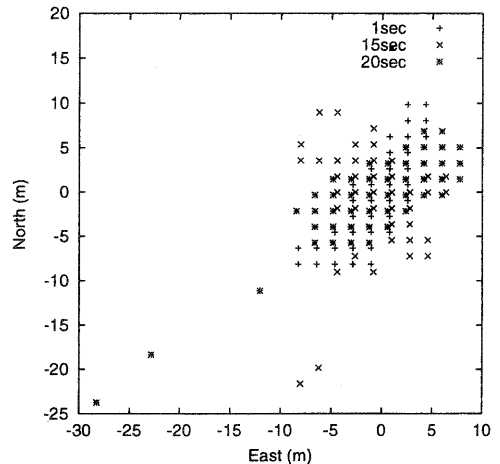


図3 データ間隔 1,15,20秒におけるDGPS測位

ることが可能である。サーバ側の受信機としては基準局構築用受信機であるAshtech社製のZ-18受信機を利用した。クライアントにはハンディ型のGPS受信機であるGarmin社のGPS3+受信機に外部アンテナを接続した。

図3にデータの間隔を1秒、15秒、20秒に設定し測位を行った結果を示す。図より補正情報の間隔が長くなるほどデータのばらつきが多くなるが大きな影響を与えていないことが判る。民生用ハンディ機の精度では大きな差を与えないため、データを1/20まで削減することも可能であることが判った。しかしながら、高精度な測位を行う場合には、補正情報の頻度は高いほうがよい。このように、異なったサービスを求める複数のユーザが存在する場合にも我々の提案するシステムではユーザの選択による補正情報の配布頻度の変更が行える。

6. 今後の課題

今回の実験は小型のGPS受信機を1台用いて行ったが、さらに正確なデータを収集するため、同時に複数の受信機を用いてデータ間隔を変化させたデータを収集する必要がある。D-GPS受信機であっても受信機およびアンテナを変更することにより、1m以下のさ

らに精度の高い補正を行うことが出来る。

今後は具体的な数値を得ることを目標にさらに細かい評価をすすめ、GPS補正プロトコルおよびシステム開発に役立てる。

7. ま と め

本論文ではモバイルユーザに対し高精度な位置情報を提供するため、GPSおよびInternetを組み合わせたシステムを提案した。本システムではインターネットを通じ補正情報を入手することにより、従来の補正情報配信システムでは実現出来なかった広域性と汎用性を提供し、より高精度な補正情報を同時に多数のユーザへと提供出来る。

RTK-GPSのような高精度なGPS環境を広域環境で利用するためには複数の基準局からの情報を元にデータを再計算し、精度のよい補正情報を作成する必要がある。本システムでは配布局(PA)を多機能化することによりDGPSに限らない高精度な補正情報配信のシステムを構築することが可能である。

モバイルコンピューティングにおいて通信量はそのコストに影響するためなるべく少ないほうが望ましい。そこで通信量を削減するために、補正情報を削減して伝送する実験を行った。民生用のハンディ機を対象に通常は毎秒おられる補正情報を、20秒に1回まで補正削減した場合であっても、顕著な差を見ることができなかった。

今後はさらに高精度な測位を行うシステム上で同様の評価を行いGPS補正プロトコルの開発のための指針とする予定である。

謝辞

本システムの実装および実験に協力を頂いた植原啓介氏をはじめとする慶応大学環境情報学部村井研究室の皆様およびWIDE Project InternetCAR ワーキンググループの皆様へ感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 土屋淳, 辻宏道: GPS 測量の基礎, 社団法人日本測量協会 (1995).
- 2) (株)衛星測位情報センター: 衛星測位情報センター (1998). <http://www.gpex.co.jp/>.
- 3) 海上保安庁: 海上保安庁灯台部 (1998). <http://www.kaiho.motnet.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/index.htm>.
- 4) NO.104, R. S. C.: *RTCM Recommended Standards for Differential GNSS Service Version 2.2*, Radio Technical Commission For Maritime Services (1998).