



インターネット GPS

羽田 久一（奈良先端科学技術大学院大学）

hisaka-h@wide.ad.jp

川喜田佑介（慶應義塾大学）

kwkt@wide.ad.jp

高精度なGPS測位は、モバイルコンピューティング環境、特に位置情報利用アプリケーション等に必須の技術である。基準局の情報を利用して、高精度の測位を実現する方法があり、中波ビーコンや業務用無線などを利用した放送による補正情報配信が一般的に行われている。現在実用化されているサービスでは、将来的な測位サービスの拡張や、ユーザのきめ細かい要求に対応できないと思われる。そこで、我々はインターネットを伝送路としたGPS補正を行うことにより、安価かつ広域に基準局を展開できるシステムを開発している。さらに、新しい補正方式である仮想基準点方式^{☆1}など、複数の基準点を利用する基準局ネットワークとして、インターネットを利用することを提案している。

はじめに

インターネットとGPS（Global Positioning System）は1990年代に社会に最も浸透した科学技術に数えることができる。インターネットの隆盛はいうに及ばず、GPSも今ではカーナビゲーション・システムをはじめ、携帯電話にも組み込まれるようになっており、その利用範囲は広がってきている。

半導体デバイス等の小型化とそれに伴う端末の小型化により、ラップトップコンピュータやPDA（Personal Digital Assistant）を用いたモバイルコンピューティング環境が一般化し、現在では、町中で携帯電話、PDAやラップトップコンピュータを利用している場面を目撃することも日常的となっている。

モバイルコンピューティングでは、端末を利用する場所が一定ではなく、アプリケーションによっては、それぞれの場合ごとに違った情報を提供したり、端末の位置情報自体を利用することが要求されるため、位置情報は

最も重要な情報の1つであるといえる。

たとえば、携帯端末を利用し移動中に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く、現在では携帯電話を用いたインターネットアクセスによってこれらのサービスが提供されている。このようなサービスに必要とされる地図や交通機関の案内といった情報はデータ量が多く更新の可能性があるため、端末内に保存するに向かない。このような問題は、携帯電話をはじめとする無線メディアによるインターネットへのアクセスによって解決されている。

現在のモバイルコンピューティングの最大の特徴は、インターネットとのリンクにある。インターネットは世界最大のコンピュータネットワークであり、あらゆる通信を包括する可能性を持つ新たなメディアである。このネットワークは今では、移動先はもちろん、移動中であっても利用することのできる、モバイル環境に適したメディアとなりつつある。

一方、GPSは人工衛星を利用した測位システムであり、天空が開けている場所であれば、10m程度の精度で地球上どこにいても位置を知ることができる。軍用のナビゲーションシステムとして開発されたGPSは、民間にも開放され現在の用途としては、カーナビゲーション・システムが主流である。

^{☆1} VRS: Virtual Reference Stationの訳語。VRSはトリンブル社の商標であるが、日本国内ではこの訳語が一般的な名称として利用されているため、本稿では仮想基準点方式を一般的な用語として用いる。

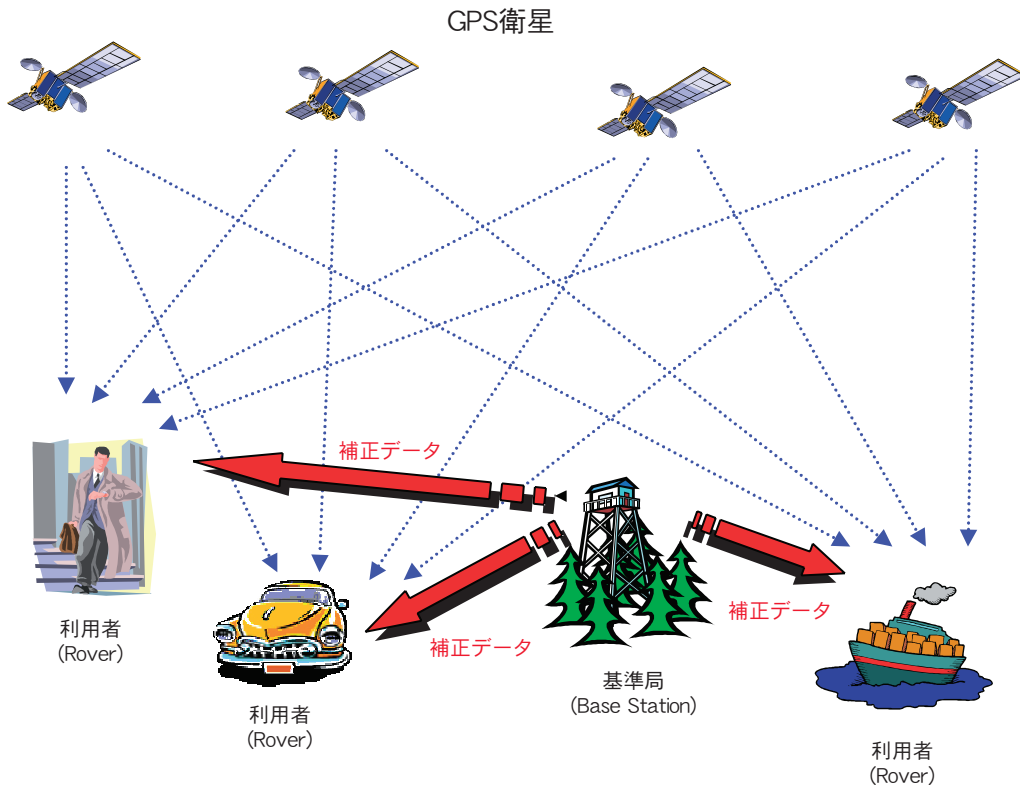


図 -1 GPS 測位における補正

さらに最近では、GPSを内蔵した携帯電話の登場、PDAでのGPSの利用などによって、ナビゲーションは自動車のレベルから人のレベルへと変化しつつある。測位対象をGPSの用語では、移動局 (Rover) と呼ぶが、移動局の大きさが小さくなるにつれ、ナビゲーションに利用できるデバイスの小型化および、測位精度の高精度化が求められている。

このような問題を解決するために、あらかじめ測位された固定点からの情報を利用し、測位結果を補正することが一般に行われている。GPSの用語では、この固定点を、参照点 (Reference) と呼ぶ。

GPS補正と通信

GPSはそのシステムの性質上、単独測位では消去できない誤差が生じてしまう。その誤差を補正し、より高精度な測位を行うためには、移動局での測位と同時に参照点で衛星を観測し、誤差を補正するデータを提供する基準局 (Base Station または、Reference Station) を用意する必要がある (図-1)。

GPSの補正の方式にはいくつかの種類が存在する。一般的に用いられよく知られているものに、cmオーダの精度を提供するRTK-GPS (Real Time Kinematic GPS)、数10cmオーダ～数mオーダの精度を提供するD-GPS (Differential

GPS) がある。どちらも、基準局からの補正データを移動局で利用して補正を行う。RTK-GPSの場合とD-GPSの場合では用いられる補正データの形式が異なる。

RTK-GPSは、高精度な測位が行える半面、高価な機材が必要なこと、搬送波の位相を計測する測位方法のため電波の連続観測が必要なこと、初期化の計算に時間が必要であることなどの問題があり、衛星の捕捉状況が変化する移動体での利用には向かない。RTK-GPSでは、初期化が必要であり、衛星とGPS受信機の電波の瞬断によって、再び初期化を行う必要が出てきてしまう。これは、移動体での利用に致命的であり、具体的には、歩道橋や建物が林立する空間を移動しながら測位するような環境では使用できない。反面、大規模な建設工事などで、静止する座標を正確に測量する場合は有効である。

D-GPSは、RTK-GPSよりは精度が劣るが、移動局が移動体である場合にも使いやすい方式である。正確な基準局の位置情報と衛星自体から放送される衛星の軌道暦を元に、衛星までの擬似距離を計算することができる。そこからリアルタイムに測定された擬似距離との補正値を算出する。この補正値により、移動局と基準局での共通の誤差項目を取り除く方式である。D-GPSでは、測位結果を即座に補正することができるため、RTK-GPSとは違い、移動しながらの利用が可能である。そのため応用範囲が広く、現在のところ一般的に広く利用されている。

両方式とも、基準局で計算した誤差量を補正データとして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。補正データは、移動局で測位を行っている間は連続的に配送される必要がある。

D-GPSの場合、補正データの利用は、他のインターネット上のアプリケーションとは違い、特殊な面がある。移動局での補正データの利用は、基本的には、到着済みの最新の補正データが用いられる。万が一、最新の補正データが欠落したり、到達しない場合には、到着済みの補正データの最も新しいデータを再利用することが可能である。最新のデータを用いなくてもある程度の補正を行うことができるが、測位精度はデータの鮮度に依存する。

このようにGPS補正を利用する場合には、通信手段として特定省電力無線を仮設して利用することが一般的であるが、不特定多数を対象にしたGPS補正情報サービスも現存し運用されている。GPS補正情報サービスは主に、D-GPSを対象としたものである。これはRTK-GPSに比べ必要となるGPS受信機の価格が安いことや、移動体での利用に適しているためである。

既存の補正情報サービスのうち比較的広範囲で利用されている例として、以下のようなものが挙げられる。

(1) 伝送メディアにFM放送を用いるもの

衛星測位情報センターが行っているカーナビゲーション・システム向けのサービスで、FM放送に多重する形式でD-GPS情報用の補正情報を提供している。主にカーナビゲーション・システムのハードウェアに内蔵されており、データは暗号化されているため、ライセンスを持たない場合には補正データを得ることができない。FM放送のサービスエリアの関係上、主に都市部で利用できるが、都市部であってもビル陰などでは受信が難しい場合もある。

(2) 伝送メディアに中波ビーコンを用いるもの

海上保安庁は主に船舶を対象に、中波ビーコンを利用したD-GPSサービスを提供している。このサービスは世界各国の沿岸警備隊が行っているサービスと同様の形式である。電子灯台から半径200km程度がカバー範囲であるが、主に海上への送信を行っているため、山岳部などでは利用できないことが多い。また高感度な中波受信用のアンテナのサイズは大きく、人間がそのまま持って歩くことは困難である。

これらのシステムでは専用の受信機が必要であるが、その無線設備を利用する関係上以下のような問題点が存在している。

- 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。
- 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。

RTK-GPSに関しては、移動体での走行中の利用は難しいことに加え、基準局から移動局までの距離が10km程度までと厳しく制限されることや、高精度な測位状態であるFIX解を得るまでの時間が長いことなどから、一般的には利用されるに至っておらず、限られた範囲でのサービスしか提供されていない。また、RTK-GPSはD-GPSに比べ補正データの容量が大きいため、上記のような補正情報配布サービスでは、帯域の不足や、ノイズの問題からRTK-GPSの補正情報配信を行うことは不可能であると考えられる。

現状では、RTK-GPSを行うためには、ユーザが移動局と同時に基準局を用意し、その相対測位を行うことが一般的である。しかしながら、多数の基準局と十分な通信路が準備できれば、RTK-GPSであっても、補正データの配信サービスを行うことが可能であると考えられる。これらの点を考慮し、広域でのD-GPS/RTK-GPS両方の補正を想定したシステムとして、インターネットを利用したGPS補正技術を提案し、その検証を行っている。

インターネットを用いたGPS補正

インターネットGPSシステムは、移動局からのリクエストに従い補正情報を提供するシステムであり、専用のプロトコルを用いて通信を行う。インターネットGPSの特徴は以下の通りである。

(1) 汎用の移動局設備

補正データの伝送を行うメディアを限定せず、インターネット接続性を持つ機器であれば、どのような計算機でも利用できる。携帯電話やラップトップコンピュータ、PDAなど、これらの計算機はモバイルコンピューティング一般に利用されるものであり、GPS補正のために専用の無線機やアンテナなどを用意する必要がない。また同時に、この計算機は補正データの伝送以外のさまざまなアプリケーションにも用いることができる。

(2) 粒度の細かいサービス

同報通信型の放送ではなく、双方向に通信するプロトコルを利用することにより、1つの基準局から複数のサービスを提供することが可能である。同報通信型の放送では、さまざまなサービスの条件を基準局側・移動局側で規定してそれ以外のサービスを受けることができない

が、条件を指定することにより、移動局側の要求にこたえることが可能となる。条件の例として、補正の種類、利用可能衛星番号、利用可能周波数、エポックと呼ばれる測位サンプリングレートなどが挙げられる。また、このサービスはユーザへ直接補正情報を提供する意味だけでなく、基準局ネットワークを構築する部分も含まれる。データ収集網での、基準局間のデータ配送では、可能な限り多くの種類のデータを配送することができる。

(3) 低コストな基準局

補正データの配信を行う基準局も通信設備としてインターネットを想定することにより、無線設備のように広範囲をカバーするために多数の無線局を用意したり、大出力の無線局を用意する必要がない。よって、グローバルなサービスをシームレスに展開する場合にはインターネットを利用した基準局設備は非常に有効であると考えられる。

(4) サービス範囲

インターネットへの接続性が存在するところであれば、世界中のどの地点でも、補正情報を得ることができる。しかしながら、1つの基準局からの有効範囲は決まっているため、1つの基準局で世界中をサービス範囲とできるわけではない。また、従来の同報通信型放送による補正情報配信では、放送が到達すればサービス範囲内であるという暗黙の了解があったが、本機構の場合、移動局の条件に合わせて利用する基準局や補正データを選択する必要がある。

問題点としては以下のものが挙げられる。

(1) 遅延

インターネットを通信メディアとして利用する場合、FM波などの同報通信型メディアに比べ、遅延が一定ではない。しかし、GPSの補正データは遅延がmsのオーダーではまったく問題ないとされる。現在の測位エポックは1Hz程度だが、将来的に測位のエポックが10～100倍になった場合、遅延の揺らぎが問題になる可能性もある。

(2) 通信コスト

多くの場合、移動局は無線メディアにより常時通信を行う必要がある。そのため、同報通信型の放送メディアの場合には発生しないような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。その場合、補正情報データ配信アプリケーションと他のアプリケーションで接続を共有することが可能である。現在では、PHS網を利用した定額サービスも提供されており、低速での移動時ならばこのようなシステムを利用することも可能である。

(3) データの保証

インターネットは、無保証のパケット通信であり、遅延時間や欠損といった性能に対する保証をしがたい。そのため、ネットワークの混雑により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。また、大きな遅延を生じることにより、必要とする時刻までに補正情報が届かないこともある。しかしながら、同様の事態は、同報通信型の放送メディアでもノイズや遮蔽などの電波状態により、既存の補正情報サービスでも起こり得る。

著者らは、これらの点を考慮してインターネットを用いた補正情報配信システムの試作を1999年から行っており、現在もより完成度の高いシステムを構築するために研究を継続中である。

補正情報配信システム

現在の実験で利用しているシステムは、移動して測位を行うユーザが運用する移動局(Rover)、参照点に設置したGPS受信機からのデータを受ける基準局(Reference Station)、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。各移動局、基準局、配信局間では単一のプロトコルを用いて補正情報などの必要なデータが配送される。各局のハードウェア構成、動作するソフトウェアの簡単な機能を以下に示す。システムの概略を図-2に示す。

(1) 基準局 (Reference Station)

参照点にGPSアンテナを設置し、そのアンテナに接続されたGPS受信機、データの転送を行う計算機からなる。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。

GPS受信機から生成される補正情報の形式は、世界的な標準規格であるRTCM SC-104形式を利用している。RTCM SC-104形式は、従来の同報通信型放送メディアでの利用を想定して策定されたフォーマットであり、ネットワーク上のプロトコルとして流用するには向かない。ここでは、後述するインターネット・アプリケーション・プロトコルとして設計した形式に補正データを変換する作業も行っている。

(2) 配布局 (Propagation Agent)

基準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。このときに、どの基準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

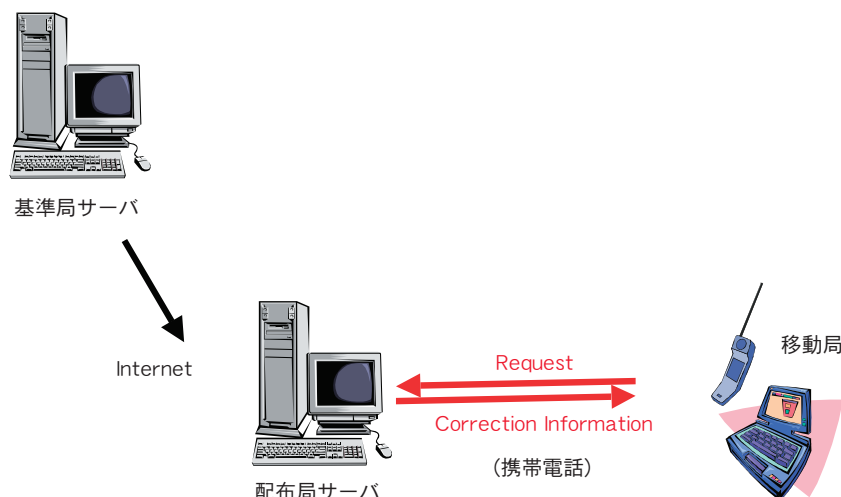


図-2 インターネット GPS 実験システム

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。

(3) 移動局 (Rover)

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。配布局より得たデータを用いて、補正を行い、移動局の高精度な測位を行うことができる。何らかの理由により、補正データが得られない場合は、GPS受信機内にストアされる補正データを再利用するか、単独測位を行う。

GPS受信機で利用される補正情報の形式は、RTCM SC-104 形式であるので、移動局で配送された補正データを RTCM SC-104 形式に変換する。

基準局と移動局では、共にGPS受信機と計算機を用いるが、これらの間はRS232-Cによって接続されることが多い。

本機構では、常に下流ノードからの要求によりデータの配信が行われる。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。

補正情報配信プロトコル

ここでは、現在設計・試作を行っている補正情報配信プロトコルについて述べる。プロトコルは図-3のように配置された配信局、基準局、移動局間で利用される。

配信局は、利用者からの要求を元に最適な補正情報を選択し、要求された方法で配布を行う。利用者からの要求には補正前の位置情報や必要とする補正情報の種類、補正情報の間隔などを含めることが可能である。

要求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できる。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できる。

また、要求には情報の配布間隔やD-GPSあるいはRTK-GPSといったサービスの種類、利用したい周波数帯、を記述することにより、利用者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。補正情報は、ある程度のリアルタイム性が必要であり再送を要求するより次のデータを受信したほうが都合がよい。

それぞれの通信では、データを要求する側が要求を出しそれに対して返答を一定時間の間行う。デフォルトの設定では要求ごとに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マ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。

奈良先端科学技術大学院大学のキャンパス内部で行ったD-GPS補正の実験結果を図-4に示す。キャンパス内部の外周道路をD-GPSで測位した結果を示す。移動局装置一式を乗用車に乗せ、3周走った結果である。これと比較するために、GPS単独測位での結果を図-5に示す。D-GPSの場合には、複数周回を重ねてもほぼ同じ軌跡をたどるのに比べ、単独での測位では、軌跡が時間とともにズレていくことが分かる。

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス内部で行ったRTK-GPSでの測位結果を図-6に示す。こちらも北が上になるように図を設定したが、それぞれの単位は経度、緯度

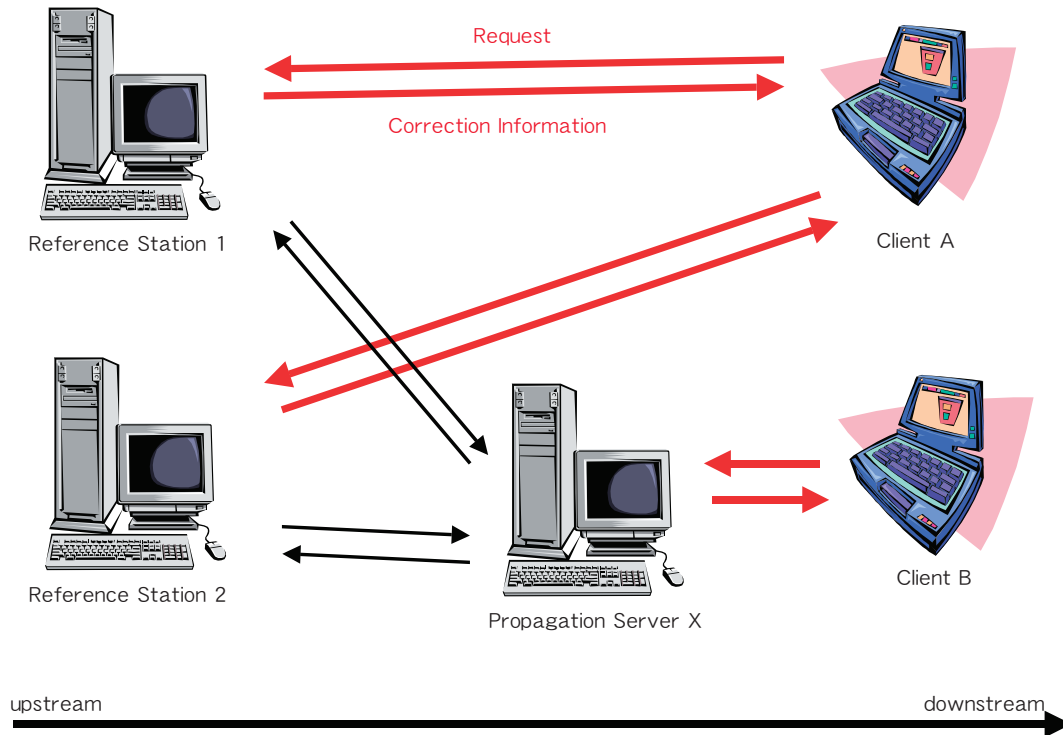


図-3 インターネット GPS におけるデータのフロー

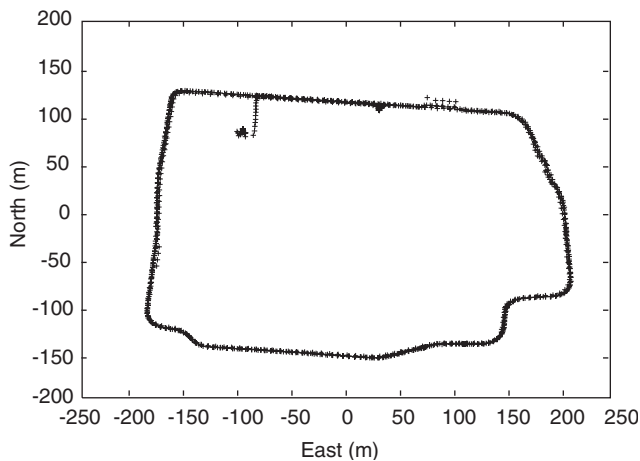


図-4 D-GPS 測位における周回道路 (奈良先端大)

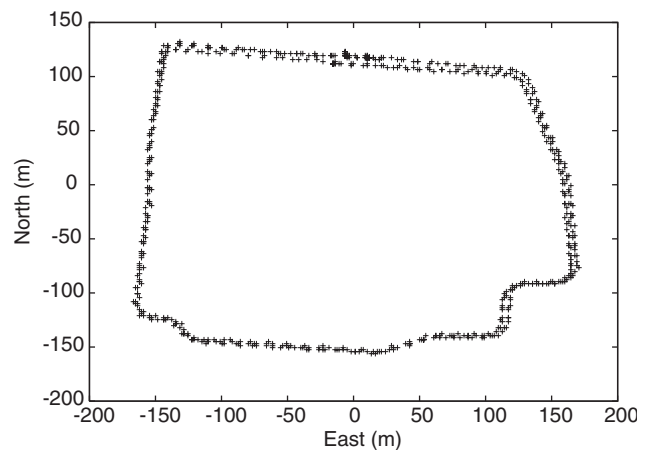


図-5 GPS 単独測位における周回道路 (奈良先端大)

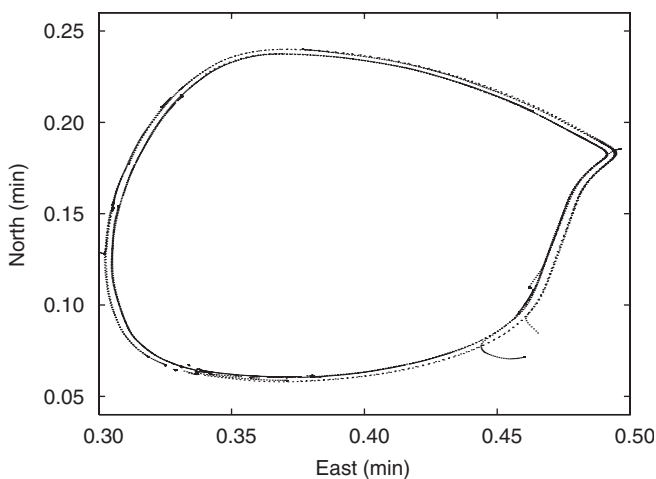


図-6 RTK-GPS 測位における周回道路 (慶大)

の分単位である。同様に乗用車での測定を行っているが、こちらは右回りと左まわりの車線の違いまで確認することができる。しかしながら、RTK-GPSの場合精度の高い解を得るには歩行者程度のスピードが限界であり、それ以上では解を得ることが難しい。

基準局ネットワークの構築

RTK-GPSやD-GPSは、基準局からの情報を利用して、移動局の測位精度を向上させる技術である。これらの技術では、基準局ごとに補正情報を提供し、その有効範囲が限られている。それぞれの基準局は個々のバイアスを

持っているため、シームレスに複数の基準局を利用することは難しい。

RTK-GPS測位の場合は搬送波の位相を利用するため、基準局の状況が変化したり、基準局を切り換えたりする場合には、初期化が必要となり、FIX解を得るまでは高精度な測位とならない。

また、どちらの方法であっても、基準局からの距離に従い、補正精度が劣化するため、D-GPSの場合は半径100km程度、RTK-GPSの場合には半径10km程度のエリアしか1つの基準局でカバーすることができない。

このような現状から、近年では複数の基準局を同時に利用し、それらからのデータを元に補正情報を再構成して利用する、WADGPS (Wide Area Differential GPS) や 仮想基準点方式によるRTK-GPSなどが提案されている。

WADGPSは、主に航空用途で開発されたGPS補正方式で、広範囲でのD-GPS用補正情報を提供することを目的としている。現在は、アメリカ上空ではWAAS、ヨーロッパおよびアフリカではEGNOSとして、静止衛星からの補正情報の配付が行われている。日本上空ではMSASとして、情報の配付を運輸多目的衛星 (MTSAT) で行う予定であったが、同衛星を載せたH-IIロケットの打ち上げ失敗により、現在実現していない。

仮想基準点方式によるRTK測位は、複数の基準局からの情報を集約して扱うための手法であり、我が国では国土地理院の主導のもと、2002年度に、関東地区での実験が行われている。

この実験では、国土地理院の提供する電子基準点からのリアルタイム測位データをネットワークを用いて配信し、仮想基準点生成の元となるデータとして利用した。国土地理院は、地震・火山等の調査研究のための地殻変動監視および各種測量の基準点として利用するために全国に約1,000点の電子基準点を設置している。国土地理院では、電子基準点のリアルタイム化を進めており、今後は日本中の電子基準点のデータを利用した広大なネットワークを構築することが可能となる。

もともと、国土地理院の仮想基準点網は、ISDNを利用して構成されており、1日に1回データを収集する間欠網であった。このようなGPS補正情報のための常時接続基盤ネットワークを構築するためには、インターネットが必須であると考えられる。国土地理院の実験に1年先立ち、WIDE ProjectではDXアンテナ、日立製作所とともに仮想基準点方式RTKの実験システムを構築し、基準点からのデータ収集に世界で初めてインターネットを用いた。仮想基準点網に利用した基準点および実験を行った点それぞれの位置を図-7に示す。この図のように、観測地点は最短の基準点からも10km以上離れており、通常の方法ではFIX解を得られない距離である。実験シス

テムの概略図を図-8に示す。本システムではユーザへのデータ配信として、TV音声の副搬送波を利用した方式を利用している。本システムにて実験を行ったRTK-GPS測位の結果を図-9に示す。水平方向 (東西および南北方向) の測位結果をmmで表している。ほとんどの測位は半径2cmの範囲に収まっており、基準点から離れた地点での仮想基準点方式を用いたRTK測位でも、通常のRTK-GPS測位と変わらない精度の測位が行えることが分かる。

高精度GPSの応用例

移動体に対する高精度のGPS測位を広域で提供することにより、新しいアプリケーションが多数出てくると期待される。人間サイズのナビゲーションは大きな期待がもたれている。また、マップマッチングに頼らないカーナビゲーションシステムにより、走行情報をもとに地図を作ることも可能である。

乗用車でD-GPSによる測位をしながら市街を走行した結果を地図としてプロットしたものを図-10に示す。前述のインターネットGPSのシステムを用い、移動中のネットワーク接続には携帯電話 (9.6kbps) を利用している。この地図の範囲は奈良先端大が左上方にあり、対角が奈良市内の中心部にあたる奈良公園である。この図のように高精度のGPS測位を行うことで、地図上には載っていないところであっても、複数の自動車が行く、あるいは複数回同じ自動車が走行することにより新しい道であると認識するようなシステムが構築できる。

今後の課題と将来の展望

現在あがっている課題としては以下のようなものが挙げられる。

新しいサービスの開発と応用

GPSとネットワークを相互に利用することにより、新しいサービスを構築することができる。携帯電話端末の位置情報を利用したサービスが開始されているほか、プローブ情報システム^{☆2}、InternetITS^{☆3}などの実証実験も行われている。今後、位置情報をサービスのランデブーに利用する研究も盛んになるものと思われる。

プロトコルの標準化とGPS補正の一般化

インターネットをGPSの補正情報配信に用いること

☆2 <http://www.ipcar.org/>

☆3 <http://www.internetits.org/>



図-7 仮想基準点用基準局ネットワークの配置

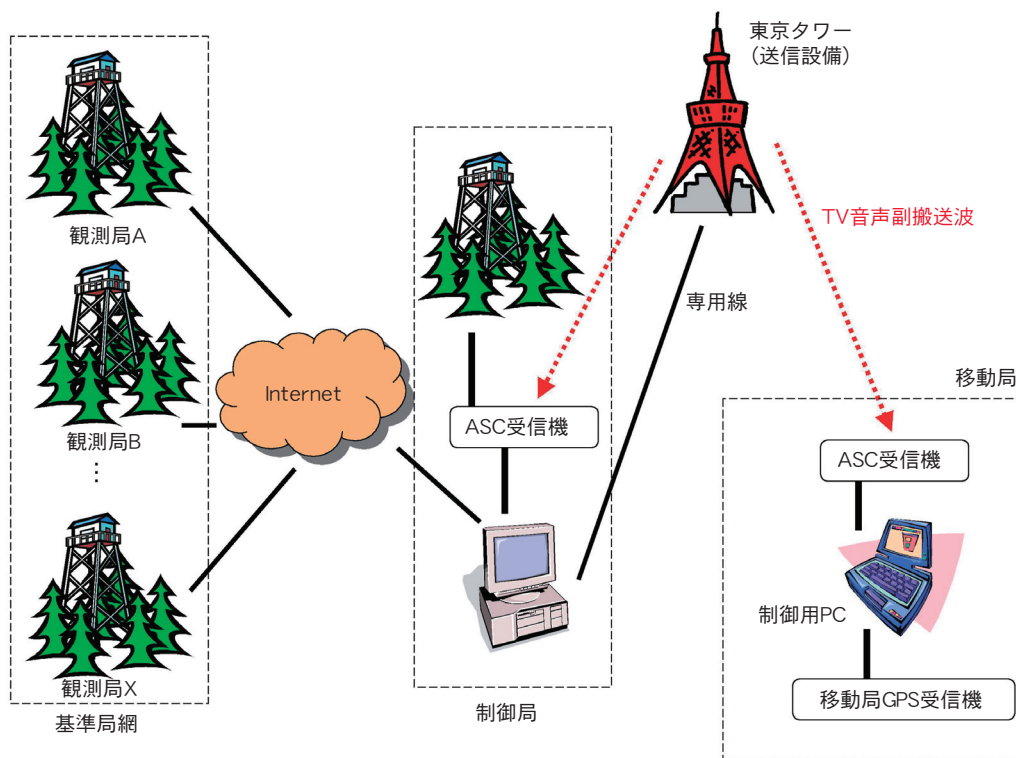


図-8 仮想基準点用基準局ネットワークの概略

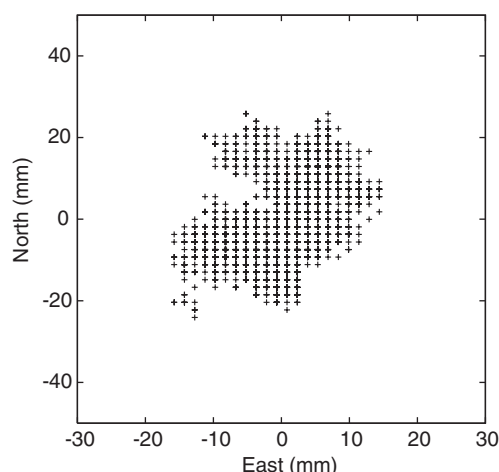


図-9 仮想基準点方式による測位の結果

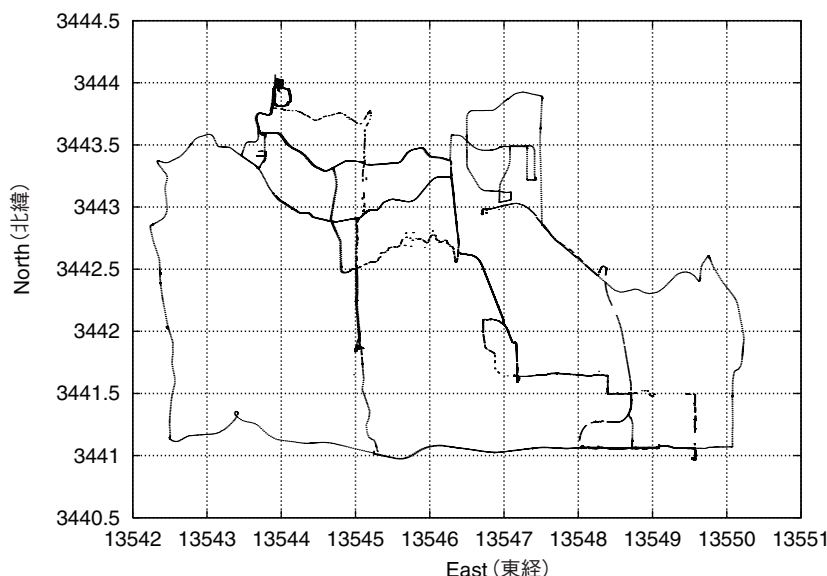


図-10 インターネット GPS による地図の作成

は、最近では特に基準局ネットワークのバックボーンとして利用されるようになってきている。しかしながら、これらにはそれぞれ専用のプロトコルが用意されていたり、ポート接続をすると無手順でデータが送信されたりと、統一されていない。今後の電子基準点の民間利用への開放をはじめとする動きを考慮すると、プロトコルの標準化とそれに伴うGPS補正技術の一般化が重要であると考えられる。

将来の衛星測位環境への対応

GPSに代表される衛星測位はロシアのGLONASSや計画中ではあるがEUのガリレオといった機構もあり、今後は衛星数の劇的な増加が見込まれている。しかしながら既存の補正サービスでは新しい衛星システムに対するサポートは考えられておらず、システム的大幅な変更が必要になると考えられる。

また、近年では補正情報を生成するために単一の基準局ではなく複数の基準局からの情報をもとに再計算することにより、より広範囲での均質な補正を求める動きが一般的になっている。この場合には、広域に分散した多数のノードをそれぞれ接続し、データを収集する作業が必要となる。日本では、国土地理院の保有する電子基準点が約2,000点存在し、そのすべてがリアルタイムにデータ収集できるようになったとして、日本全土を覆う巨大なリアルタイム情報収集ネットワークを構築する必要がある。このようなシステムを構築するにはインターネットは強力なツールとして利用できると考えている。

モバイルコンピューティングにおいて、インターネットは最も一般的な通信手段として想定することができ、今後はさらに高速かつ低価格な通信サービスが広がることが期待できる。インターネットを利用したGPS補正やそれに伴うテレメトリ、地図のダウンロードなどの応用も考えられる。インターネットとGPSは相互に補完することで、より強力にモバイルユーザをサポートできるツールとなるだろう。

参考文献

- 1) Hada, H., Sunahara, H., Uehara, K., Murai, J., Petrovski, I., Torimoto, H. and Kawaguchi, S.: New Differential and RTK Corrections Service for Mobile Users, Based on the Internet, Proceedings of ION GPS-99PP, pp.519-528, Nashville, USA (Sep. 1999).
- 2) Petrovski, I., Kawaguchi, S., Ishii, M., Torimoto, H., Fujii, K., Sasano, K., Kondo, M., Shoji, K., Hada, H., Uehara, K., Kawakita, Y., Murai, J., Townsend, B., Cannon, M.E. and Lachapelle, G.: New Flexible Network-Based RTK Service in Japan, Proceedings of ION-GPS00, Salt Lake City, 19-22, pp.1124-1132 (Sep. 2000).
- 3) 土屋 淳, 辻 宏道: 新・やさしいGPS測量, (社)日本測量協会 (Dec. 2001).

(平成14年7月1日受付)

