

平成 17 年度
卒業論文

近距離簡易 DGPS 測位及び RTK—GPS 測位
システムに関する研究

課程名 流通情報工学課程

学籍番号 2002747

氏名 山田 英輝

指導教官 安田 明生 教授

目次

第1章 序論	1
1-1 はじめに	
1-2 GPS の概要	
1-3 本研究の背景と目的	
第2章 GPS の測位原理	4
2-1 単独測位	
2-1-1 原理	
2-1-2 計算方法	
2-2 DGPS 測位	
2-2-1 原理	
2-2-2 測位位置補正方式	
2-2-3 擬似距離補正方式	
2-3 RTK-GPS 測位	
2-3-1 原理	
2-3-2 計算方法	
第3章 近距離簡易測位システムの構成	14
3-1 システムの概要	
3-2 システムのハードとソフトについて	
3-2-1 無線 LAN について	
3-2-2 無線 LAN の規格	
3-2-3 無線 LAN 環境の形成	
3-2-4 RS232C ケーブル	
3-2-5 プログラムの概要	
第4章 実験と結果、考察	20
4-1 データの送受信時間間隔と測位プログラム稼働時間の関係	
4-1-1 従来のシステムでの測位プログラム稼働時間の再調査	
4-1-2 無線 LAN の代わりに RS232C ケーブルを使用し稼働時間を調査	
4-1-3 時間間隔と測位プログラム稼働時間の関係	
4-2 時間間隔調整後のシステムの評価	
4-2-1 通信範囲を広げて実時間 DGPS 測位実験	
4-2-2 無線 LAN の受信状況を調査	
4-3 実験での問題点	
4-4 問題点に関する考察と今後の方針	

第5章 結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31

5-1 まとめ

5-2 今後の課題

参考文献

謝辞

第1章 序論

1—1 はじめに

GPS とは Global Positioning System の略で、日本語で全地球測位システムと訳される。GPS は、カーナビゲーションシステム、携帯電話、船舶航法システム、土木工事、移動体の自律制御などで普及されている。また、犯罪セキュリティにも活躍の輪を広げており、その利用可能性は、今後も広がると考えられる。

衛星航法システムは GPS だけでなく、ロシアが運用している GLONASS や欧州が開発している GALILEO や、わが国では準天頂衛星の運用が計画されている。

現在では、GPS が無い状態での陸、海、空に渡る交通輸送機関は安全で効率的な運行は危険であると言っても過言ではないほどになっている。さらには地震予知などのための地殻変動監視システムはGPS を全面的に頼っている。

2004 年12 月15 日はブッシュ大統領が新PNT（測位、航法、タイミング）政策の承認を発表した。この新しいPNT 政策により、GPS とその関連サービスの将来的な利用、管理および改良に関する方針が明確になった。これは、ユーザーへのGPS のアベイラビリティを確実にし、GPS 業界の明るい未来を約束するものである。この政策がGPS をグローバルな情報技術標準として安定させるための道を開き続けるということである。10 年間で2 度目の大統領声明として、PNT 政策は世界中のGPS ユーザからのダイナミックなニーズに応えるための安定したグローバルな政策環境の形成に関する米国の方針を示している。

1—2 GPS の概要

GPSというシステムは、セグメントと呼ばれる3つの要素で構成される。GPS衛星の部分をスペースセグメントと言い、GPS受信機を持っている利用者のことをユーザーセグメントと呼び、衛星の位置情報の更新などを行っているコントロールセグメントの部分を総称してGPSシステムという。GPS衛星は高度約20,000kmの軌道を図1-1のGPS衛星軌道概念図が示すように周回している。軌道面は赤道からの傾斜角 55° と各軌道間隔 60° の全てで6軌道ある。各軌道に4機の衛星が設置されており、計24衛星で運用するとされている。軌道上には予備衛星が1機配置できるようになっており、現在(2004年3月)では、28機のGPS衛星が使用可能である。各衛星は約11時間58分2秒(約1/2恒星日)で軌道を1周し、一年で同じ配置に戻るよう制御されているようである。実際には衛星軌道は随時変更されており完全には決定していない。衛星の軌道は2mの範囲で地上のモニター局で管理されており、2時間間隔で更新される高い精度の軌道情報(Ephemeris)を30秒周期で対応した衛星が放送している。GPS衛星(ブロックII/IIA)の設計寿命は7.5年とされている。各衛星は10.23MHzの基準発信機を搭載しており、154倍の $L1=1575.42\text{MHz}$ と120倍の $L2=1227.6\text{MHz}$ の2周波の右旋円偏波を全地球に向けて送信している。信号は全衛星同一の周波数を用いてC/AコードとPコードとともに衛星ごとに異なるゴールド符号と呼ばれる擬似ランダム雑音(PRN: Pseudo Random Noise)でBPSK(Bi-Phase Shift Key; 2相位相変調)変調されている。具体的にGPS衛星からコードに載せられて送信されるデータは、衛星軌道情報(Ephemeris)、衛星時計の補正值、電離層補正パラメータ、全衛星の位置情報(almanac)等である。また、GPSではGPSタイムというものがあり、この時刻のもとに運用されている。各衛星には、セシウム原子時計と、ルビジウム時計が搭載されている。この原子時計は地上の官制システムで管理されており、この補正情報を軌道情報とともに衛星が放送している。GPSタイムは一週間で一回りするようになっている。また世界標準時であるUTCが知られているが、UTCとGPSタイムの違いも管理されている。

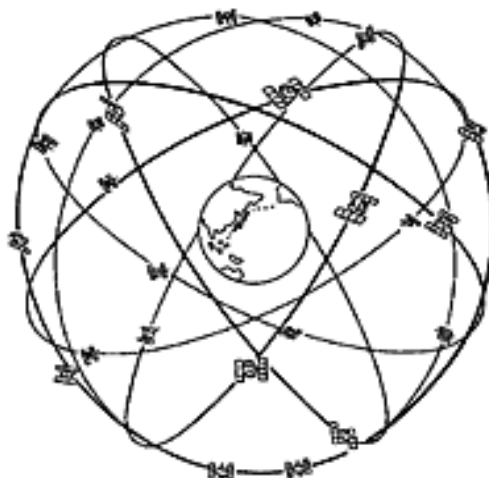


図 1-1 GPS 概念図

1—3 本研究の背景と目的

移動体の自律制御する方法には、GPS、ジャイロ、視覚認識装置などを使って企業、大学、研究機関で研究開発が行われている。GPS を用いる場合、DGPS や RTK—GPS などの高精度測位を使えば、精密な自律制御が要求される場合においても対応ができる。我々の研究室では、無線 LAN を用いた DGPS 測位システムのプロトタイプは開発されている。

しかし、この測位システムには、以下のような課題がある。

- (1) 測位プログラムの稼働時間は短時間（25 分間）で異常終了する。
- (2) このシステムの実用的な評価がされていない。

この論文の目的は、(1) と (2) の課題について取り組む。つまり、DGPS 測位プログラムの稼働時間を長くすることと本システムの実用的な評価をする。

第2章 GPSの測位原理

2—1 単独測位

2—1—1 原理

GPS 衛星による単独測位は、GPS でもっとも基本的な利用方法であり、単純な原理である。GPS では、WGS-84 座標系により経度、緯度および高さが計算されるようになっている。単独測位を行うために必要なパラメータは2種類しかない。一つ目は、ある時刻の衛星の位置、二つ目は、衛星と衛星信号を受信しているアンテナ（測位位置）間の距離である。特に二つ目のパラメータを擬似距離（pseudorange）と呼ぶ。ある時刻に1機のGPS衛星の衛星位置と擬似距離が測定されたとする。このとき測位位置は衛星位置を中心とし擬似距離を半径とする球面上に存在することになる。しかしこのままでは球面上のどこに測位位置が存在しているか知ることができない。そこで複数の衛星のパラメータを同時に測定する。各衛星について球面を考慮することができる。測位位置は各衛星とも同位置であるので各球面の交点として求めることができる。具体的には2機の衛星を用い、2つの球面が交わるとその交線は円となる。3機目の衛星の球面を用い、その2機の交線の円と交差する点が測位位置となる。当然この交点は2箇所できることになるが、通常測位位置の概略はわかっている2箇所の交点のうちどちらが正しい測位位置か知ることが容易であり、このことが問題なることはほとんどない。以上のことから、原理的には3機のGPS衛星を用いることで測位位置を求めることができることになる。これは数学的に測位位置を表現する3次元座標の成分 (x, y, z) の3つの未知数を求めるために、3つの方程式が必要であることに対応している。

しかしながら、実際の単独測位を行うとき3機の衛星からできる3つの方程式では測位位置を求めることができない。それは擬似距離の測定に問題があるからである。擬似距離は、衛星から信号を送信した時刻と測位位置のアンテナがその信号を受信した時刻との時刻差（電波伝搬時間）に光速を乗ずることにより測定する。この測定方法では衛星が搭載している時計と測位位置の受信機内の時計が完全に一致、同期していなければ、正確な距離を求めることができない。衛星が搭載している時計はセシウム原子時計であり、正確に時刻を刻む。一方、受信機内の時計は衛星時計と比較して精度が悪く、2つの時計は一致、同期していない。受信機内の時計の誤差は測定した全ての衛星に対して等しいので1つの未知数と考える。3次元座標の成分 (x, y, z) の3つの未知数と受信機内の時計の誤差を求めることになるので、実際単独測位を行うためには図2-1のように最低4機の衛星を同時に観測し、4つの方程式を作成する必要がある。単独測位の精度は、SAが発動されていた時期は民間の利用者は水平方向で約100mであったが、SAが解除された後は30m程度が保障されている。

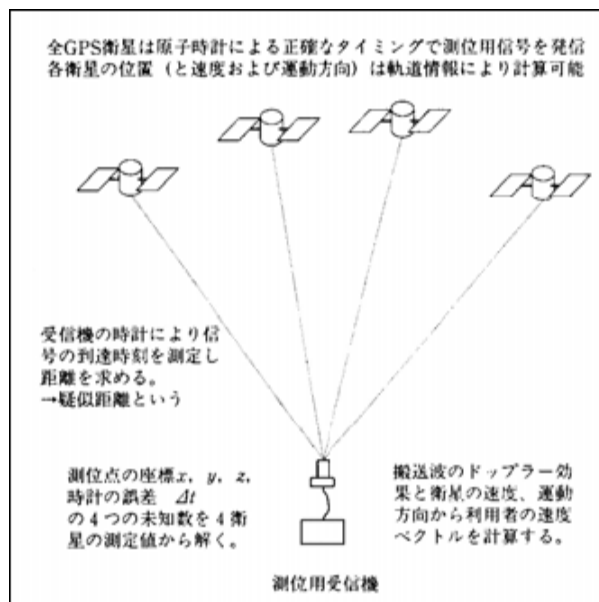


図 2-1 単独測位

2—1—2 計算方法

単独測位の測位計算は受信機で測定された各衛星との疑似距離をもとにして行う。4個のGPS衛星の位置は、軌道情報から計算される。ここで用いる3次元直行座標系は、地球の中心を原点、地球自転軸に沿って北方向を正方向とするZ軸、グリニッジ子午面と赤道面との交点方向にX軸、これら2軸と右手系をなすようにY軸を選ぶものとする。

この座標系で、アンテナ位置の座標を、 (x_0, y_0, z_0) とする。i番の衛星の位置を (x_i, y_i, z_i) とする。測点とi番目の衛星との距離は、ピタゴラスの定理によって、

$$\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} = c \times (\tau_i + \partial\tau) \quad (2-1)$$

ここで τ_i は測定で得られたi番目の衛星の電波伝搬時間であり、 $\partial\tau$ は受信機の時計のずれ（正しい時刻より送れている時を正とする）で c は光の速度であり、この式(2-1)の関係が観測している全ての衛星について成り立つ。また観測点・衛星からの真の距離を r_{0i} とおく。幾何学的には、 (x_i, y_i, z_i) を中心とした半径が $c \times (\tau_i + \partial\tau)$ の3球面の交点として測点が求められる。

実際上の(2-1)式を解くことは二乗や平方根があり、うまく解くことができない。そこで未知数を近似値と補正量の和であらわし、最小二乗法を使用して解く方法がとられる。

i番衛星とアンテナ位置との距離（疑似距離） r_i は、

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} \quad (2-2)$$

と表すことが出来る。また、未知数をその近似値と補正量の和で表すと、

$$\begin{aligned}
x_n &= x_{n-1} + \Delta x \\
y_n &= y_{n-1} + \Delta y \\
z_n &= z_{n-1} + \Delta z
\end{aligned} \quad (2-3)$$

と表すことができ、これを式(2-1)に代入すると、

$$r_i = r_{n,i} + \frac{\partial r_i}{\partial x_i} \times \Delta x + \frac{\partial r_i}{\partial y_i} \times \Delta y + \frac{\partial r_i}{\partial z_i} \times \Delta z + s \quad (2-4)$$

ここで出てくる $\partial r/\partial x$ 、 $\partial r/\partial y$ 、 $\partial r/\partial z$ は次の式のようになり、それぞれ衛星方向のベクトルの x 、 y 、 z 方向への射影（方向余弦）となっていることが分かる。

$$\begin{aligned}
\partial r/\partial x &= \frac{x - x_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}} \\
\partial r/\partial y &= \frac{y - y_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}} \\
\partial r/\partial z &= \frac{z - z_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}}
\end{aligned} \quad (2-5)$$

ここで、 $\alpha = \partial r/\partial x$ 、 $\beta = \partial r/\partial y$ 、 $\gamma = \partial r/\partial z$ とおき $\Delta r = r_n - r_{n-1}$ とおくと、 i 番目の衛星からの擬似距離の補正量 Δr は

$$\Delta r_i = \alpha \Delta x + \beta \Delta y + \gamma \Delta z + s \quad (2-6)$$

となり、4 衛星分の4 個の方程式ができる。

$$\begin{pmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \Delta r_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 1 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 1 \\ \alpha_4 & \beta_4 & \gamma_4 & 1 \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

具体的な計算の求め方は、最初に x_0, y_0, z_0 を式(2-2)に代入し近似距離 r_i を求める。実測された4 衛星に対する擬似距離の差を Δr_i として、式(2-7)に代入して Δx 、 Δy 、 Δz 、と s を求める。これらの値から初期値である x_0, y_0, z_0 にそれぞれ加え新しい初期値 x_0, y_0, z_0 を作成する。作成した初期値を式(2-2)に代入し新しい近似距離 r_i を求め、新しい擬似距離との差 Δr_i を用いて新しい Δx 、 Δy 、 Δz 、と s を求めるという作業を繰り返すことにより、 Δx 、 Δy 、 Δz 、は0 に収束し、これらが充分小さな値になった時点で計算を打ち切る。この時の初期値 x_0, y_0, z_0 を求められたアンテナ位置とする。また s は一定値に収束する。

また、実際の計算では、衛星が4 個ではなく4 個以上見えているので、(2-7)の式の両辺に転地行列をかければよい。仮に n 個の衛星が見えているとすると、

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & z_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & z_2 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & z_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_n & \beta_n & \gamma_n & z_n \end{pmatrix} \quad \delta R = \begin{pmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta r_2 \\ \Delta r_3 \\ \dots \\ \dots \\ \Delta r_n \end{pmatrix}$$

$$\delta R = A \cdot \delta x$$

となる。両辺にA の転置行列を掛けると、

$$A^T \cdot \delta R = A^T \cdot A \cdot \delta x \quad (2-8)$$

となる。次に両辺にA とA の転置行列をかけた行列の逆行列をかけると、

$$\delta x = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \delta R \quad (2-9)$$

となり補正量 Δx 、 Δy 、 Δz 、 s を求めることができる。

2 — 2 DGPS 測位

2—2—1 原理

DGPS システムは図1-2で示しているように衛星、基準局、移動局及び両局の間にデータ送受信のデータリンクの4つの部分から成り立っている。単独測位の精度を決める要因は衛星信号の精度、衛星の配置、電波伝搬路、C/A コード位相の測定精度、測位演算の精度などである。通常は最初の3 項目の影響が大きく、以下の項目はあまり影響しない。大気や電離層による誤差は衛星の仰角が極端に低くなれば同じ地域では概略同じである。そして、衛星信号の誤差も同じである。このような性質を利用して精度を高めるのがDGPS(Differential GPS)測位である。

2000 年のSA 解除後、単独測位の精度は10m 程度であるが、DGPS によって精度を1 mまで上げることが可能になった。DGPS によって、基準局及び移動局に共通な誤差だけ補正ができ、マルチパスまたは受信機内部のノイズによる誤差の補正はできない。DGPS の精度は基準局と移動局間の距離に大きく影響される。

DGPS は予め位置が正確に分かっている固定基準局(reference station)で測位誤差を求め、それによってユーザー局(移動局)での測位結果を補正して精度を改善するものである。その精度は2メートル程度で、条件がよければ1メートル以内の測位精度となる。ただし、DGPS 測位では基準局とユーザー局において大気や電離層等の遅延量を同じと仮定しているので両地点間の最大距離は数100 k mから数1000 k mまでであり、それ以上になると精度が低下するので注意が必要となる。また、基準局からの補正データを伝送する必要があるためその伝送方法と距離が測位精度に影響することとなる。以下にDGPS 測位で利用されている2 種類の補正方式について述べる。

2—2—2 測位位置補正方式

この方式は、正確に分かっている基準局の位置と、同地点で単独測位により出力された位置を比較することによって、位置の補正值(緯度、経度、高さもしくは三次元直交座標系のxyz座標)を算出し、ユーザー局の測位結果にこの補正值を適用するものである。以下の数式によって測位位置補正方式を表す。

$$X_u = X'_u - (X'_r - X_r) \quad (2-10)$$

X_r, X'_r はそれぞれ基準局の正確な位置座標と単独結果を表し、 X_u, X'_u は移動局でのDGPS測位結果と単独測位結果を表している。移動局側では通常のGPS受信機が出力する単独測位結果を使用でき、計算処理も単純である。しかし、基準局側と移動局側で同じ組み合わせのGPS衛星を使用して測位を行わなければならないという制限がある。しかし次に述べる擬似距離補正方式と比較して、基準局からユーザー局へ伝送するデータ量は格段に少なくてすむ。

2—2—3 擬似距離補正方式

この方式は、基準局で受信している衛星までの真の距離と、ユーザーが実際に測定した擬似距離を比較することによって、衛星ごとの擬似距離補正值、及びその変化率を算出してユーザー局に伝送する。ユーザー局では受信機で測定された擬似距離に、この補正值を適用して測位するものである。

前述した測位位置補正方式と異なり、基準局で擬似距離補正データが得られた衛星であれば、ユーザー局ではどんな衛星の組み合わせを測位に使用しても良いという柔軟性がある。この方式は世界標準として広く利用されている。本研究でもこの方式を使ったが、測位用のPCを一台しか使っていないので、基準局の擬似距離情報を全て無線LANで送信し、移動局にある測位計算用のPCで計算し、補正值を計算し、移動局の擬似距離にこの補正值を使いDGPS測位を行う形になっている。

2 — 3 RTK—GPS 測位

2—3—1 原理

GPS 測位では測位を行うための2つのパラメータとして衛星位置と衛星-利用者間の距離を用いる。衛星-利用者間の距離として単独測位やDGPS 測位は擬似距離を使用する。干渉測位は、衛星-利用者間の距離として擬似距離の代わりに搬送波位相 (Carrier Phase) を利用する。擬似距離と比較すると搬送波位相の測距精度が高いため、干渉測位は数mm から数cm の測位が可能となる。干渉測位は、座標が既知である固定基準局に対する利用者の相対位置を求める方法が一般的である。原理は、座標が既知である固定基準局で搬送波位相を測定し、同時に利用者側でも搬送波位相を測定する。基準局と利用者側で同じ衛星から測定した搬送波位相の差 (行路差) を求めることにより、基準局からの基線ベクトルを求める。基線ベクトルを求めることができれば、利用者の座標は基準局からの相対位置として求めることが可能である。図2-2 に行路差と基線ベクトルの関係図を示す。基線ベクトルは3つの未知数で表され、解くためには3個の行路差が必要である。つまり3 衛星の測定値が観測できれば良いことになるが、単独測位と同様に受信機の時計誤差を消去するためにもう1機の衛星が必要となる。

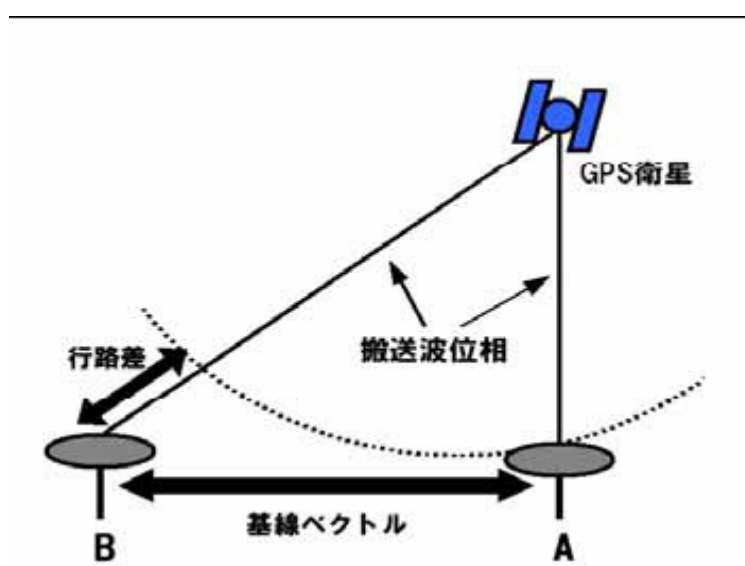


図 2-2 行路差と基線ベクトル

2—3—2 計算方法

2—3—2—1 搬送波位相と整数値バイアス

搬送波位相は、衛星のC/A コードや航法メッセージ等の情報をGPS 衛星から地上に運ぶ媒体であり、電波である。搬送波自体はサイン波であり情報は無く変調することによって情報を持たせることができる。GPS の搬送波にはL1 帯とL2 帯の2 種類があり、L1 帯は1, 575. 42MHz、L2 帯は1, 227. 6MHzの周波数である。それぞれを1 波長で表すとL1 帯は約0. 19m、L2 帯は約0. 24m である。搬送波位相は1 波長を1 サイクル (波数) として表される。搬送波の測距精度は1 波長の100 分の1 であるため、搬送波位相はL1 帯で約2mm の精度で測定できる。このように波数を少数点以下まで測定した値を搬送波位相と呼ぶ。GPS 受信機から出力される搬送波

位相は、波数を0.01 サイクルの精度で測定し積算した値である。ここで*i* 番衛星のL1 帯の搬送波位相 $\phi_{L1}^{(i)}$ (cycle) を式で表現すると、

$$\phi_{L1}^{(i)} = \lambda_{L1}^{-1}(r^{(i)} - I_{L1}^{(i)} + T^{(i)}) + f_{L1}(\delta t_u - \delta t^{(i)}) + N_{L1}^{(i)} + \varepsilon_{L1}^{(i)} \quad (2-11)$$

となる。ここで λ_{L1} はL1 帯の波長(m)、*r* は衛星-利用者間の正確な距離(m)、 I_{L1} はL1 帯の電離層遅延量(m)、 $T^{(i)}$ はL1 帯の対流圏遅延量(m)、 f_{L1} はL1 帯の周波数(MHz)、 δt_u は受信機の時計誤差(s)、 δt は衛星の時計誤差(s)、 N_{L1} はL1 帯搬送波の整数値バイアス(cycle)、 ε_{L1} はマルチパス等の誤差 (cycle) である。上付き文字*i* の括弧は、次数と衛星番号の区別するためのものである。擬似距離と異なる点は、まず搬送波が電離層を通過するとき、位相速度は見かけ上速くなるため電離層遅延量の符号は負となることである。次にマルチパスの影響が擬似距離のm レベルと比較して、搬送波はcm レベルと小さい。最後に整数値バイアス

(Integer Ambiguity) と呼ばれる項の存在である。搬送波位相は整数部 (1 波長の数) と小数部とで構成されている。小数部は0.01 サイクルの精度で正確に測定できることは先ほど述べたが、整数部の絶対値は整数値バイアスのために正確に測定できない。整数値バイアスはその名の通り整数値となるが、衛星ごと、受信機ごとに異なる値を示すため、電離層、対流圏遅延を相殺するように他の測定値を利用して相殺することができない。しかし搬送波を連続的に観測できている期間においては、整数値バイアスは変化しないため、一度決定 (Integer Ambiguity Resolution) できると連続的に正確な搬送波位相を得ることができる。サイクルスリップ等の原因で連続観測が中断した場合整数値バイアスは変化するため、もう一度決定しなおす必要がある。干渉測位計算アルゴリズムはDGPS 測位と同様で単純であるが、整数値バイアスの決定が容易でない。干渉測位にはいろいろな種類があるが、基準局からの基線ベクトルを求めることには相違なく、整数値バイアスの決定方法の違いによる分別である。

2—3—2—2 搬送波位相誤差項の削除

(2-11)式には整数値バイアス以外の誤差項 (電離層、衛星時計等) がある。これらの誤差項はDGPS測位と同様に基準局の測定値等を利用して相殺できる。整数値バイアスの決定、測位精度の改善のために誤差項を相殺したほうがよい。ここでは搬送波位相の誤差項の削除法を記す。

・一重位相差

①受信機間一重位相差

図2-2 のように、基準局と利用者側の受信機で同時に同じ衛星から測定した搬送波位相の差、つまり行路差を求める方法である。受信機間一重位相差 $\phi(i)_{u-r}$ は、

$$\begin{aligned}
\phi_{u-r}^{(i)} &= \phi_u^{(i)} - \phi_r^{(i)} \\
&= \lambda^{-1} \left[(r_u^{(i)} - r_r^{(i)}) - (I_u^{(i)} - I_r^{(i)}) + (T_u^{(i)} - T_r^{(i)}) \right] + f \left[(\delta t_u - \delta t_r) - (\delta t^{(i)} - \delta t^{(i)}) \right] \quad (2-12) \\
&\quad + (N_u^{(i)} - N_r^{(i)}) + (\varepsilon_u^{(i)} - \varepsilon_r^{(i)}) \\
&= \lambda^{-1} (r_{u-r}^{(i)} - I_{u-r}^{(i)} + T_{u-r}^{(i)}) + f \cdot \delta t_{u-r} + N_{u-r}^{(i)} + \varepsilon_{u-r}^{(i)}
\end{aligned}$$

で表される。ここで添え字のu は利用者側、r は基準局を示し、u-r は利用者側の測定値から基準局の測定値を引いた値を示す。(2-12)式では衛星時計誤差の項が相殺されていることがわかる。受信機間一重位相では衛星時計誤差が消去できる。整数値バイアスは基準局と利用者側の差となるが整数の値となる。

(2-12)式は基線長が短距離である場合、電離層と対流圏の項は同じ衛星であるため相殺できる。(2-12)式から短基線長の受信機間一重位相は、

$$\phi_{u-r}^{(i)} = \lambda^{-1} \cdot r_{u-r}^{(i)} + f \cdot \delta t_{u-r} + N_{u-r}^{(i)} + \varepsilon_{u-r}^{(i)} \quad (2-13)$$

となる。当然のことながら基線長が長距離の場合や電離層の活動が活発である場合は相殺されずに誤差項を消去することはできない。

②衛星間一重位相

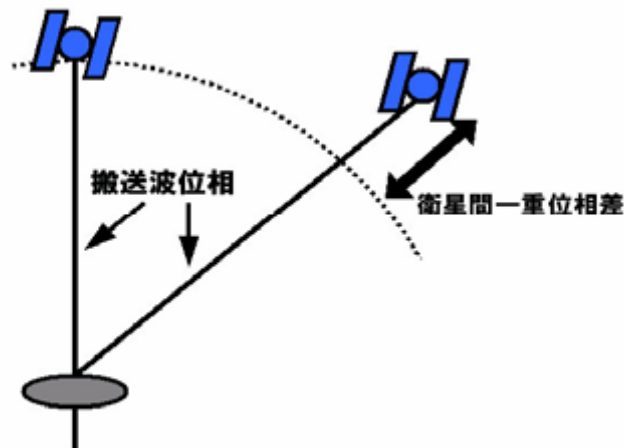


図2-3 衛星間一重位相

図2-3 のように、1 個の受信機で同時刻に測定したGPS 衛星2 機の搬送波位相を取った値を衛星間一重位相と言う。例えば利用者側の受信機でn番衛星とm番衛星の搬送波位相を測定したとすると、衛星間一重位相 $\phi_u^{(n-m)}$ は、(2-14)式で表される。

(2-14)式から衛星間一重位相では受信機の時計誤差の項が相殺できる。

$$\begin{aligned}
\phi_u^{(n-m)} &= \phi_u^{(n)} - \phi_u^{(m)} \\
&= \lambda^{-1} \left[\left(r_u^{(n)} - r_u^{(m)} \right) - \left(I_u^{(n)} - I_u^{(m)} \right) + \left(T_u^{(n)} - T_u^{(m)} \right) \right] + f \left[\left(\delta t_u - \delta t_u \right) - \left(\delta t^{(n)} - \delta t^{(m)} \right) \right] \\
&\quad + \left(N_u^{(n)} - N_u^{(m)} \right) + \left(\varepsilon_u^{(n)} - \varepsilon_u^{(m)} \right) \tag{2-14} \\
&= \lambda^{-1} \left(r_u^{(n-m)} - I_u^{(n-m)} + T_u^{(n-m)} \right) + f \cdot \delta t^{(n-m)} + N_u^{(n-m)} + \varepsilon_u^{(n-m)}
\end{aligned}$$

衛星間一重位相差は搬送波位相を測定した衛星が異なるため、電離層、対流圏の項を相殺することはできない。衛星間一重位相差も受信機間一重位相差と同様に整数値バイアスの項は整数である。

・二重位相差

どちらの一重位相差でも時計誤差を完全に消去することができない。二重位相差は衛星時計誤差と受信機時計誤差の両方を理論的に完全に消去できる。二重位相差は受信機間一重位相差からも衛星間一重位相差からも求めることができ、結果は同じである。図2-4 が示すように、2 地点の観測場所と、それぞれの地点で2 機のGPS 衛星からの搬送波位相から二重位相差

$\phi_{u-r}^{(n-m)}$ は、

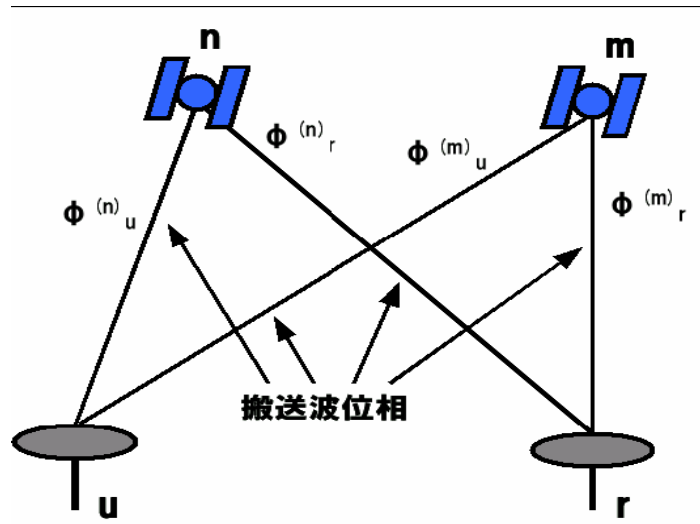


図 2-4 二重位相差

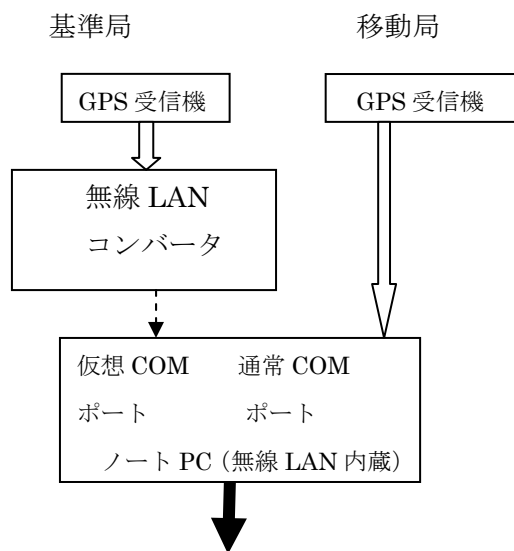
$$\begin{aligned}
\phi_{u-r}^{(n-m)} &= \left(\phi_u^{(n)} - \phi_r^{(n)} \right) - \left(\phi_u^{(m)} - \phi_r^{(m)} \right) \\
&= \lambda^{-1} \left(r_{u-r}^{(n-m)} - I_{u-r}^{(n-m)} + T_{u-r}^{(n-m)} \right) + N_{u-r}^{(n-m)} + \varepsilon_{u-r}^{(n-m)} \tag{2-15}
\end{aligned}$$

で表される。ここで(2-15)式はn 番衛星とm 番衛星の受信機間一重位相差を求め、それらの値

を差し引いた値である。(2-15)式を並べ替えることにより、利用者側と基準点の衛星間一重位相差の引き算になることがわかる。(2-15)式からは衛星時計誤差と受信機時計誤差が完全に消去され、基線長が短距離であれば電離層、対流圏の項も相殺される。干渉測位は行路差から基線ベクトルを求めると説明したが、実際の干渉測位には、一重位相差では時計誤差が完全に消去されないために使用しない。二重位相差を行路差に相当する値として測位を行う。また、基線ベクトル、未知点の座標を求めるためには独立した二重位相差が3個必要であるため、コードを利用する測位と同様に、最低4衛星の測定値が必要である。測位計算では独立した二重位相差を算出するためある衛星を基準にする。一般的には衛星仰角の最も高い衛星を基準衛星とする場合が多い。

第3章 近距離簡易測位システムの構成

3-1 システムの概要



リアルタイムで DGPS 測位計算

図 3-1 近距離簡易測位システム図

- ①基準局の GPS 受信機と無線 LAN コンバータは、RS232C ケーブルで接続する。
- ②基準局の無線 LAN コンバータから補正データ（擬似距離データと衛星の位置情報など）を移動局の PC に送信する。
- ③移動局の PC では、TCP-VSP というソフトで仮想 COM ポートを作成し、基準局からの補正データを受信する。
- ④移動局の GPS 受信機と PC は、RS232C ケーブルで接続されている。PC の通常 COM ポートに移動局の受信機からデータを受信する。
- ⑤プログラムで両方の COM ポートからのデータを使用して DGPS 測位計算をする。

3-2 システムのハードとソフトについて

3-2-1 無線 LAN

リアルタイムで DGPS 測位や RTK-GPS 測位をするために、基準局のデータを何らかの転送手段で移動局に送らなければならない。今回は、無線 LAN を使用して基準局のデータを送ることにしている。そこで無線 LAN とは何か。無線 LAN 環境をどのように形成したかについて説明していく。

LAN は LOCAL AREA NETWORK の略でより対線や同軸ケーブル、光ファイバーなどを使って、同じ建物の中にコンピュータやプリンタなどを接続し、データをやり取りする（データ通信）

ネットワークである。通信制御方式によってEthernet, FDDI (Fiber-Distributed Data Interface、光ファイバーを利用したもの)、Token Ringなどいくつかの種類がある。最も普及しているのはEthernet 規格で、その中でも、対線を使ったスター型LAN である10BASE-T (最大通信速度が10Mbps、最大伝送距離が100m) と100BASE-TX (最大通信速度が100Mbps、最大伝送距離が100m) が主流である。対線とは電線を2 本ずつ撚り合わせて対にした通信用ケーブルのことである。平行型の電線に比べてノイズの影響を抑えることができる。各ペアの周りに、雑音を遮断するシールド加工を施したものを「STP (Shielded Twisted Pair) ケーブル」、シールドしていないものを「UTP (UnShielded Twisted Pair) ケーブル」という。

無線LAN は無線通信でデータの送受信をするLAN のことである。無線LAN の特徴として次のものが挙げられる。

1. レイアウト変更が多いオフィスではLAN ケーブルの引き直しの度に多くの時間と費用が費やされるが、無線LAN ではこのような問題は生じない。
2. 規格が固まったばかりで製品があまり市場に出回っていないので初期コストが高いのが欠点だが、維持コストの差を考えれば長期的には有線のLAN を用いるよりもコストが抑えられると思われる。
3. また、配線に制約の多い一般家庭でも無線LAN は効果的で、最近ではダイアルアップルータとノートパソコンとの間を無線LAN で結ぶ製品が広く出回っている。
4. 100Mbps の100BASE-TX 規格が浸透している有線LAN に比べて伝送速度が11Mbps 程度 (IEEE 802.11b の場合) とさほど速くないことや、他の電気機器との電波干渉により通信エラーが発生し得ることもあり、必要に応じて有線と使い分けることが重要である。

3—2—2 無線LANの規格

本研究ではIEEE802.11b 規格の無線LAN アダプタを使用したので、それについて詳しく説明する。

IEEE802.11b では2.4GHz の周波数を利用している。これはISM (Industry Science Medical) 帯域と言われ、名称通り「産業、科学、医療機器、工場生産ラインなど」の無線機器において自由に使用される周波数帯域である。なお、使用に関しては各国が独自に管理・認証を行っており、我が国の場合は無線免許なしで使用できる。

変調にはスペクトラム拡散方式を採用し、1Mbps にDBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying)、2Mbps にDQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying)、5.5/11Mbps にCCK (Complementary Code Keying) と呼ばれる搬送波の位相差を使った1 次変調を行い、DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum 直接シーケンス・スペクトラム拡散方式) の2 次変調で20MHz の帯域に拡散する。DSSS は信号にPN (疑似ノイズ) 符号系列を掛け合わせ信号を拡散する方式であり、高速通信に用いる。この方式は拡散に使用した同一の信号を使用しなければ復元できず、隠匿性と干渉に強く、現在多くの無線LAN ベンダはDSSS 方式を採用する。これに対してFHSS (Frequency-hopping spread-spectrum: 周波数ホッピング方式) は搬送波の周波

数を切り替えて通信する方法であり、狭帯域での搬送に適する。

表3-1に主な無線LANの規格を示す。

表 3-1 主な無線 LAN の規格

	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
周波数	2.4GHz 帯	5.2GHz 帯	2.4GHz 帯
通信速度(規格値)	最大 11Mbps	最大 54Mbps	最大 54Mbps
通信速度(実質値)	最大 5Mbps	最大 22Mbps	最大 20Mbps
伝送距離	50m~180m	20m~90m	20m~180m
互換性	高い	なし	b より低い
電波干渉の可能性	Bluetooth/電子レンジ	なし	Bluetooth/電子レンジ

3—2—3 無線 LAN 環境の形成

SSID の設定：

SSIDはService Set IDの略で無線LANがどの相手と通信するべきかを特定するために必要となる無線LANネットワークのIDである。SSIDを指定することにより、初めて通信を行うことができる。SSIDにはBSSIDとESSIDがあつて、BSSIDはBaseService Set（基本サービスセット）の略であり、アドホック方式での通信領域あるいは各アクセスポイントの通信領域となる。各領域は個別のBSS ID(BSS名)が設定され、区別が図れる。なお、BSS内に含まれる無線LAN端末は同一のBSS IDを設定する。

もう一つのESSIDはExtended Service Set IDの略で、インフラストラクチャ方式で使われる。各アクセスポイントの通信領域であるBSSをローミング領域として統合する。これによりローミングするユーザーはBSS間を自由に移動することが可能となる。但し、ESSに含まれるアクセスポイントは同一のESS IDに設定する必要がある。ESS IDの別の用途に負荷分散がある。同一場所に複数台のアクセスポイントが設置された場合、特定のアクセスポイントに無線LAN端末からのアクセスが集中することがあるが、この負荷集中を防ぐために、無線LAN端末のESS-IDを特定のアクセスポイントのESS-IDと同一にすることにより他のアクセスポイントへのアクセスを回避でき、分散が行える。SSIDの設定には大文字と小文字は区別されるため注意が必要である。

CREATE SSIDの設定：

アドホックモード時にホストとなる1台に新たに作成する無線LANネットワークのIDである。他の無線LANのSSIDをCREATE SSIDと同じ値に設定する事でアドホックモードでの通信を行う事ができる。

チャンネルの設定：

チャンネルは利用する周波数のことでIEEE802.11b では周波数2.4GHz 帯の無線を利用して通信を行うが、実際には多くの機器で14 のチャンネルに分けられており、ユーザーは1 から14 のいずれかのチャンネルの中から選択をすることができる。EZL-300Wでは、「0」を設定すると、無線LANカードのデフォルト値に設定することになる。

WEPの設定：

これはWired Equivalent Privacyの略で、IEEE802.11b で定められているセキュリティ機能のひとつであって設定したパスワード (WEP キー) をもとに、送受信データの暗号化を行う。暗号化の方法としては、暗号化なし、64bitと128bitの2種類のキーが用意されており、この数値が大きいほど暗号が複雑化することになり、セキュリティ機能が向上される。64bit なら5文字以内、128bit では13 文字以内の半角英数字で指定を行う。

EZL300Wの場合これらの設定はezSerialConfig というソフトの画面で簡単に設定することができる。この時、無線LANカードがEZL-300Wに挿入されて無い状態でEZL-300WとPCのCOMポートをRS232Cのクロスケーブルで接続、画面からCOMポートを選びREADボタンをクリックすれば、画面の内容を書き換えるようになる。設定したい項目を書いてWRITEボタンを押せば、設定完了である。今回はSSIDにはDENSHI2、チャンネルを0、WEPキーをなしに設定した。

3—2—4 RS232C ケーブル

RS232Cとは、シリアルCOMポートの一つで、一番普及している規格である。シリアルCOM ポートはパソコン本体と周辺機器間のシリアルデータ転送用のポートである。シリアル転送というのは、1本の信号線を使って1ビットずつデータを転送する方式であり、シリアル転送方式では一方転送及び双方向転送がある。一方転送の場合は2つの信号線を使用する。一つが送信用で、もう一つはグラウンドとなる。しかし双方向転送の場合は信号線が3つで、送信と受信のため別々の2つの線があって、もう一つはグラウンドになる。シリアル転送方式はパラレル転送方式に比べ、転送速度は遅いが、最大伝送距離は長い。パソコン上のシリアルポートはモデム、キーボード、マウスなどの接続に使われる。

3—2—5 プログラムの概要

本研究では、測位用のPC の通常COM ポート及び仮想COM ポートによってそれぞれ移動局と基準局の受信機との通信を行うためにPC のCOM ポートを制御するプログラムが必要である。これはWIN32 API のシリアル通信関数を使ってCOM ポートの設定及び動作を制御している。COM ポートの動作及び制御用のヘッダ及びソースファイルはそれぞれcom.h 及びcom.cpp である。com.h のヘッダファイルでは次のWIN32 API のシリアル通信関数を定義している。

研究室のプログラムでは、ある一定時間のGPS データがファイル化されているので、そのファイルをオープンしてデータを読み込んでいた。しかし、今回はリアルタイムで毎秒char 型配列 (rs_buf[]) に入ってくるデータをそのまま読み込み、外部変数に格納している。受信機 OEM3 では、\$RGEA (衛星の擬似距離情報のデータ) 及び\$SVDA (衛星の位置情報のデータ) と OEM 4 では#RANGEA (衛星の擬似距離情報のデータ) 及び#SATXYZA (衛星の位置情報のデータ) を読み込んでいる。基準局と移動局のデータを別々に読み込むために、別々名前のソースファイルを作ったが、基準局のファイルではrcvn=0と移動局のファイルではrcvn=1だけの違いで全く同じコードである。

図 3-1 の図 3-2 に、測位用 PC 側で行われているプログラムのフローチャートを示す。

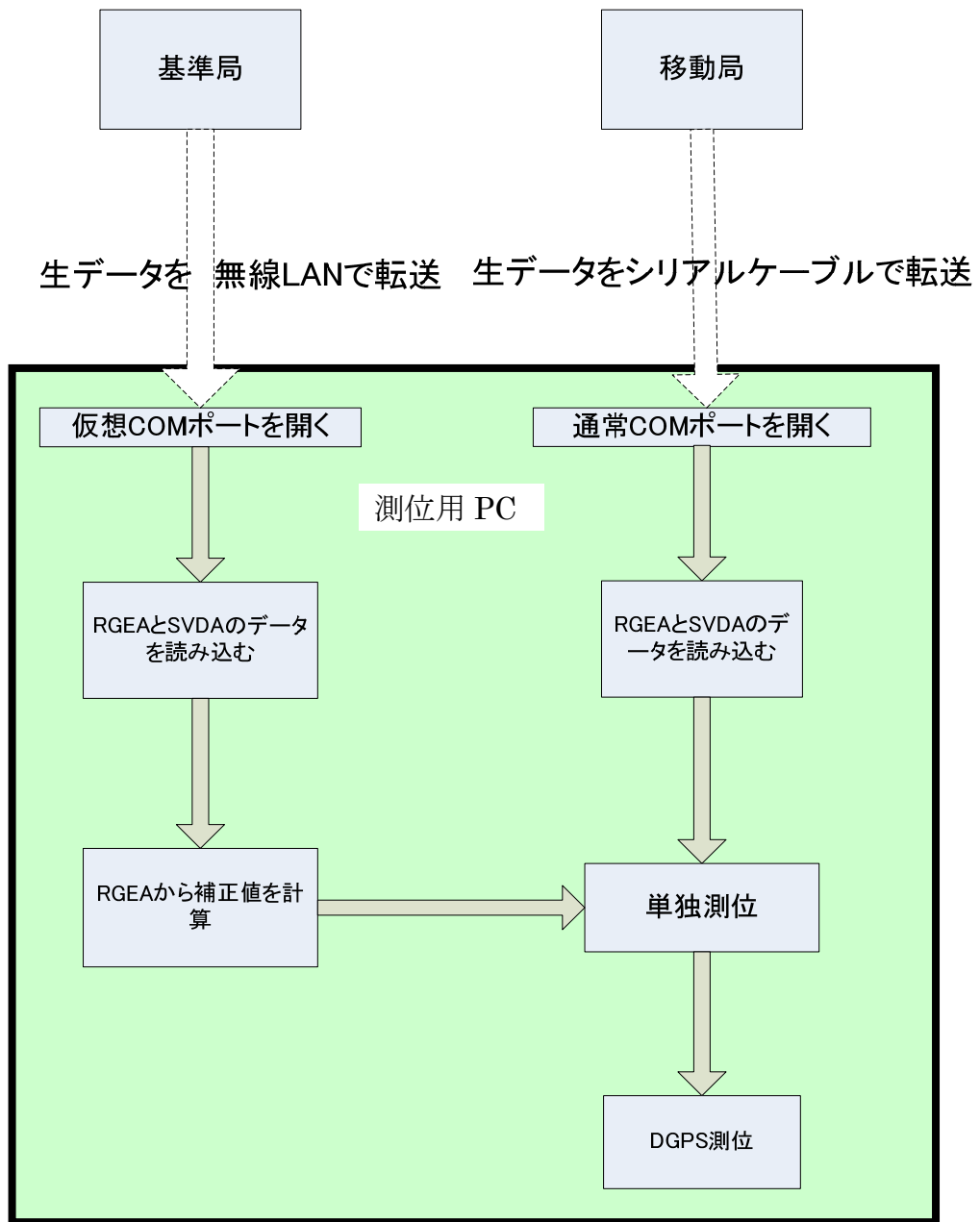


図 3-2 プログラムのフローチャート

図 3-2 で、基準局のアンテナ精密位置と擬似距離（RGEA）から各衛星の補正値を計算し、移動局の単独測位は、移動局の DGPS 測位と比較するために計算した。図 3-2 のフローチャートで補正値をあえて PC で計算するのは、将来的に補正値をカスタマイズすることを考慮したからである。よって、受信機から補正値情報を無線で転送しなかった。その代わりに、転送するデータは、RGEA（擬似距離データ）と SVDA（衛星位置）データである。

以上が本システムのハードとソフトウェアの説明である。

第4章 実験と結果、考察

4-1 無線 LAN によるデータ時間間隔と測位プログラム稼働時間の関係

4-1-1 従来のシステムでの測位プログラム稼働時間の再調査

従来のシステムでは、測位プログラムの稼働時間は短時間（25 分程度）で終了すると報告されているが、再現性があるかどうか稼働時間を再調査した。その時の実験設備と実験結果を表 4-1 と表 4-2 に示す。

表 4-1 実験設備

項目	基準局	移動局
位置	研究室	同左
アンテナ	NOVATEL の GPS-702	同左
受信機	NOVATEL の OEM3	同左
測位用 PC	なし	無線 LAN 内蔵の Panasonic の PC
シリアル無線 LAN コンバータ	α・Project 社製の EZL-300W	なし
無線 LAN カードアダプタ	I-ODATA 社製の WN-B11/PCMH	なし

表 4-2 プログラムの稼働時間

平均稼働時間	22 分 27 秒
最大値	53 分 1 秒
最小値	54 秒
標準偏差	22 分 52 秒

表 4-1 から分かるとおり、基準局と移動局は、同じアンテナを使用し、静止で DGPS 測位実験をしたものであり移動体で DGPS 測位をしたわけではない。表 4-2 では、試行回数は、10 回のときの結果で、プログラムの稼働時間が 25 分程度であることが確認でき、再現性があることがわかった。

また、図 4-1 に、このときの（ゼロ基線での）測位結果を示す。

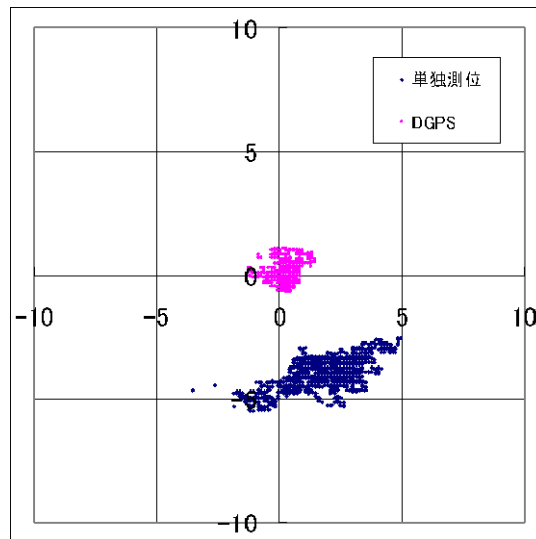


図 4-1 zero 基線での測位結果

ここで、真値は原点である。原点の周りの誤差 2m 以内に測位結果が分布していることから DGPS 測位は良好であると確認できた。また、図 4-1 の青で表示されている単独測位の結果は、通常見られる原点の周りを覆い囲むような分布になっていなかった。ここで、図 4-1 の赤と青の測位結果のデータは、たかだか数十分間連続で実時間 DGPS 及び単独測位した測位結果である。後の実験から数時間以上長時間連続で測位すれば、原点の周りを覆い囲むような分布になることが本測位システムで確認しているので、問題ないと考える。

4-1-2 無線 LAN の代わりに有線ケーブルを使用し稼働時間を調査

基準局のデータは無線 LAN で測位用 PC に転送しているが、ここでは無線 LAN を使用せずに、基準局の GPS 受信機と測位用 PC を RS232C ケーブルで接続し、基準局のデータを有線で送ったときに、測位プログラムの稼働時間がどう変わるか調査した。基準局、移動局とも第 4 実験棟の情報通信工学研究室の屋上にある同じアンテナを使い、測位用 PC は、ノート PC を使用して静止で DGPS 測位した。その結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 連続 DGPS 測位稼働時間

	稼働時間
無線	25 分間
有線	13 時間以上

プログラム稼働時間は、長時間（13 時間以上）伸びたことを確認した。この場合は、13 時間経ち強制終了した。ここでの強制終了は、私がプログラムを終了したのではなく PC がプログラムを終了したことを意味する。この原因は既定の処理回数の設定値を超えたため、プログラムが強制終了したと考えられるが、現在調査中である。このことからプログラム稼働時間が短時間で終了するのは、無線 LAN が関係している可能性が高いと考えられる。

無線 LAN では TCP/IP をプロトコルとした通信を行っているため、TCP の受け渡しが上手くいかないとき再送要求を送る仕組みになっている。ここで遅延が生じることが知られている。測位用 PC がデータを受け取る間隔はプログラムで設定しているが、この遅延によって、データを受け取る時間間隔と無線 LAN を通じてデータが伝送される時間間隔が合わないと、本プログラムでは対応できていない可能性がある。

4-1-3 時間間隔と測位プログラム稼働時間の関係

有線実験の結果から連続で DGPS 測位できる稼働時間は伸びることはわかった。しかし、このシステムでは、基準局と移動局の距離を離れた状態で DGPS 測位を用いて移動体の自律制御などを目的にしている。したがって、無線通信で測位が十分可能にしなければならない。このとき、前節で述べたように無線 LAN の問題も検討する必要がある。

そこで、データを転送する時間間隔、すなわち測位用 PC がデータを受け取る時間間隔を広げることで、遅延によるタイムラグを待つことを試みた。GPS 受信機の内部で生成された生データは垂れ流しではなく、何秒おきに生データを転送するかを GPS 受信機に対して設定できるアプリケーションソフトがある。今までのシステムでは、一秒おきにデータを転送すると設定して無線 LAN を行っていた。そこで、時間間隔を変更したときの稼働時間の関係について調査した。

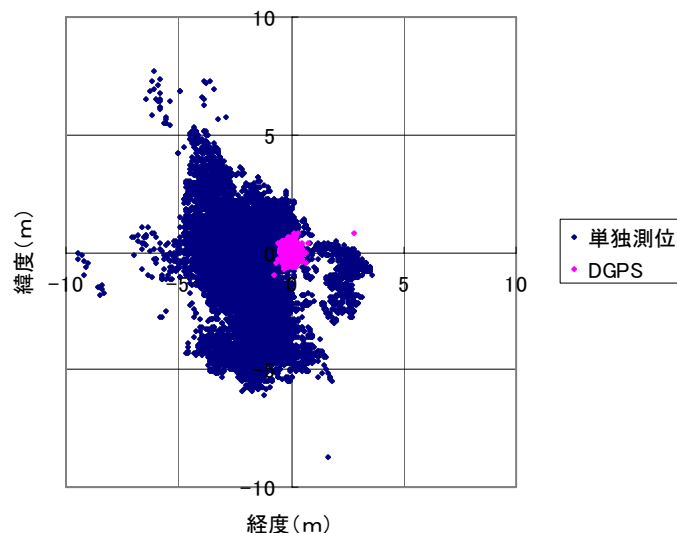


図 4-3 ZERO 基線での測位結果

図 4-3 は、時間間隔を 3 秒おきに設定したときの無線 LAN を用いた DGPS 測位結果である。真値は原点である。稼働時間は 16 時間以上であった。ただし、16 時間後、強制終了したわけではなく、自分で終了させたので稼働時間は 16 時間以上続くと見込める。また、DGPS 測位結果は 1~2m の誤差範囲に納まっている。ただし一部、データの飛びがある。

このことから時間間隔を伸ばすことで稼働時間が増加することがわかった。また、時間間隔を 3 秒おきで稼働時間が安定するには、無線 LAN で転送するボーレートを 57600bps に設定した場合であり、例えば、ボーレートを 9600bps にした場合は、7 秒おきで安定することも実験で確認できた。

4-2 時間間隔調整後のシステムの評価

前節で、時間間隔を変えることで連続 DGPS 測位稼働時間を大幅に増やすことができた。ただし、今まで DGPS 測位実験では、測位用 PC と無線 LAN コンバータの距離は 6m 以内で DGPS 測位実験をしてきた。すなわち、第 4 実験棟の屋上の同一のアンテナを基準局、移動局のアンテナ位置とした。

この節では、通信距離(測位用 PC と無線 LAN コンバータ間の距離)を広げて実時間 DGPS 測位実験をした。前システムでは、通信距離を 100m 以上とした場合でも実時間 DGPS 測位は可能であった。今回の実験の目的は、通信距離を広げた時に時間間隔を変えることで、稼働時間の変化や再現性があるか確認することである。また、距離は幾何学的距離で考えるとする。

表 4-3 に、屋外での実験設備を示す。移動局では、台車の上に測位用 PC と GPS 受信機と 12V のカーバッテリーを乗せた。また台車と機器の間に毛布を敷いて移動したときの機器に与える振動を和らげるよう配慮した。図 4-4 に実験場所を示す。研究室とは第 4 実験棟の 5 階にある情報通信工学研究室を指す。大学院棟前とは研究室と 3 号館とポンドの外壁によって囲まれた場所を指す。

表 4-3 実験設備

項目	基準局	移動局
位置	研究室の屋上	ポンド、大学院棟前
アンテナ	NOVATEL の GPS-702	同左
受信機	NOVATEL の OEM3	同左
測位用 PC	なし	ノート PC
シリアル無線 LAN コンバータ	α-Project 社製の EZL-300W	なし
無線 LAN カードアダプタ	I-ODATA 社製の WN-B11/PCMH	同左
移動方法	なし	台車を使用



図 4-4 実験場所

4—2—1 通信範囲を広げて実時間 DGPS 測位実験

通信範囲を広げて実時間 DGPS 測位実験を行い、静止測位と移動体の場合で実験した。はじめに、移動局（測位用 PC）と基準局（無線 LAN コンバータ）間の距離を 20m とした場合、静止で連続 DGPS 測位実験を行った。ここでは、基準局のアンテナを研究室の屋上に設置し、移動局のアンテナを大学院棟前に置いた。通信距離を広げても、前システムの稼働時間より約 3 倍（70 分以上）長く稼働することを確認した。

さらに通信範囲を広げた時、移動体で連続 DGPS 測位の再現性を確認した。平成 18 年 1 月 17 日に、学内のポンドと大学院棟前で、DGPS 測位実験を行った。

① ポンドでの実験

基準局のアンテナ位置は第四実験棟の屋上に設置し、ポンド内で台車（移動体）を移動した。通信範囲は約 130m であった。図 4-5-(a) にポンドで移動体の DGPS 測位及び単独測位した結果を示す。DGPS 測位結果は赤旗で表し単独測位結果は黄旗で表した。

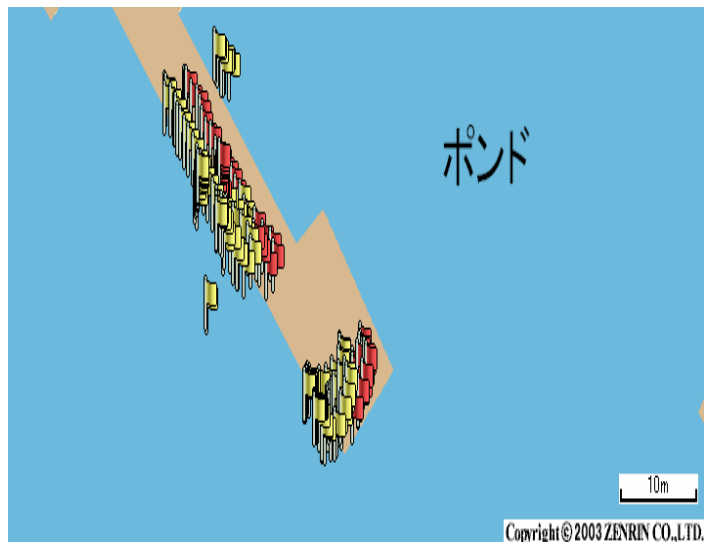


図 4-5-(a) DGPS 測位（赤）と単独測位（黄色）結果

図 4-5-(b)は、図 4-5-(a)をグラフで表したものである。

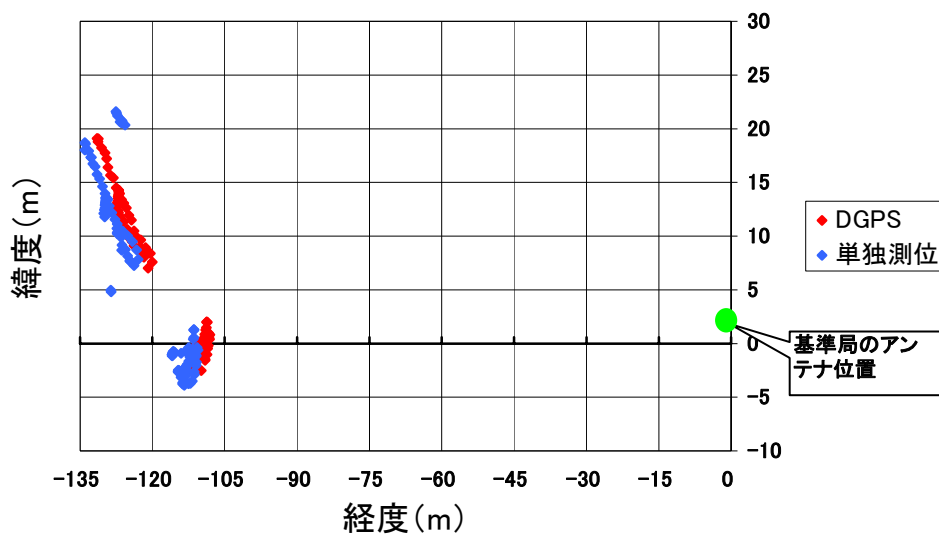


図 4-5-(b) DGPS 測位と単独測位結果 (x y 座標表示)

図 4-5-(a)と図 4-5-(b)から、ポンドで連続 DGPS 測位の再現性を確認できた。

②大学院棟前での実験

基準局のアンテナ位置は第四実験棟の屋上に設置し、大学院棟前で台車（移動体）を移動した。通信範囲は約 20m であった。図 4-6-1 に台車を移動した軌跡を示す。図 4-6-2 と図 4-6-3 に大学院棟前で DGPS 測位した結果と単独測位した結果を示す。DGPS 測位結果は赤旗で表し単独測位結果は黄旗で表した。

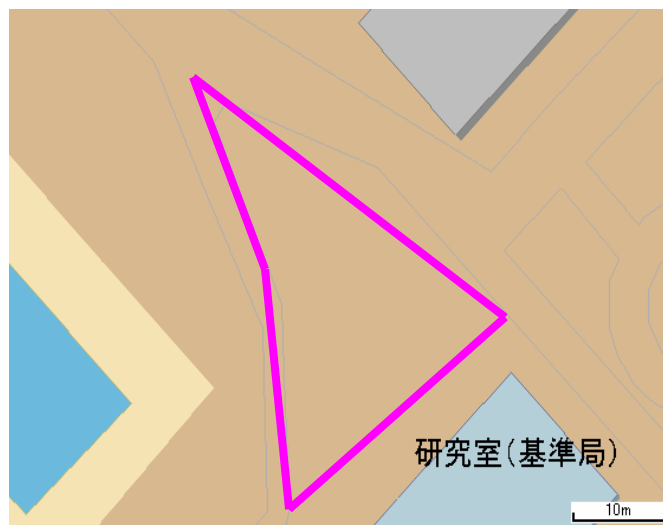


図 4-6-1 移動軌跡

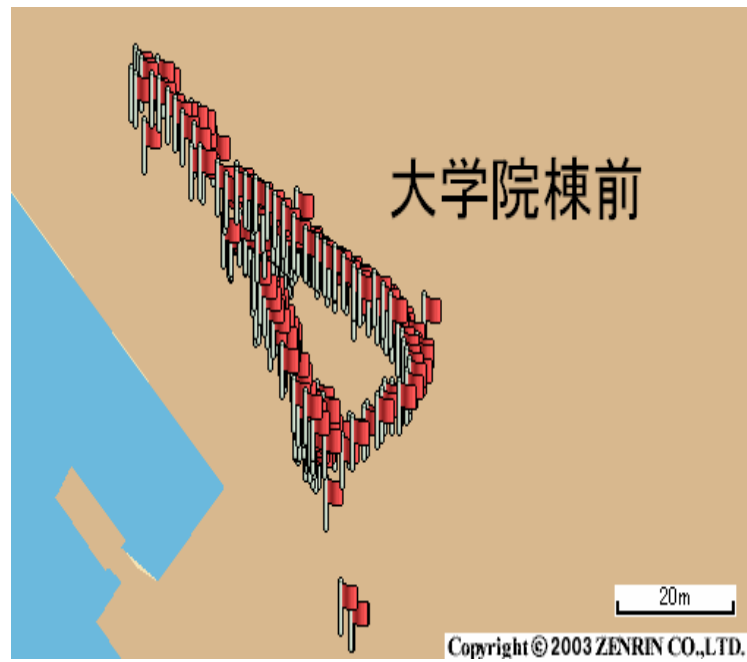


図 4-6-2 DGPS 測位結果

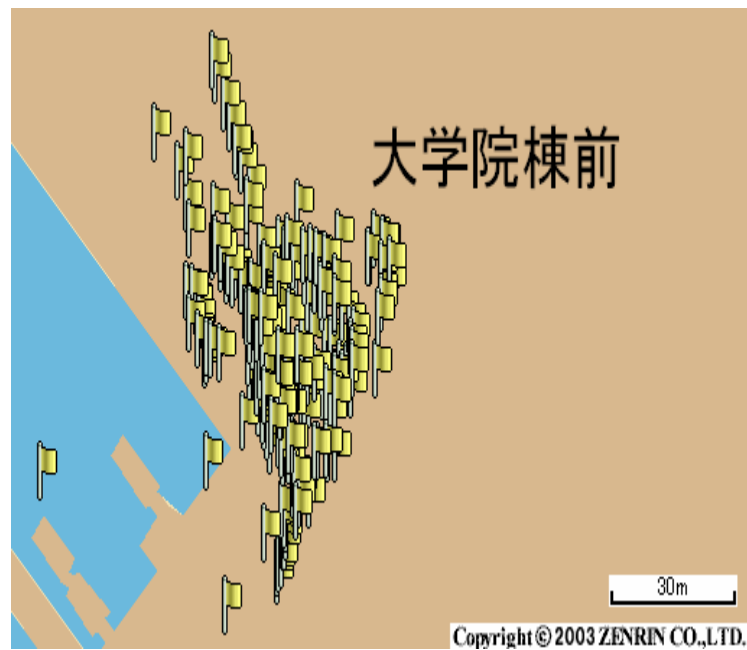


図 4-6-3 単独測位結果

図 4-6-2 と図 4-6-3 を比較すると、明らかに図 4-6-1 の移動軌跡に対し黄旗（単独測位）は分散しているが、赤旗（DGPS 測位）は移動軌跡に収束することを確認できた。

図 4-6-4 は、図 4-6-2 と図 4-6-3 をグラフで表したものである。

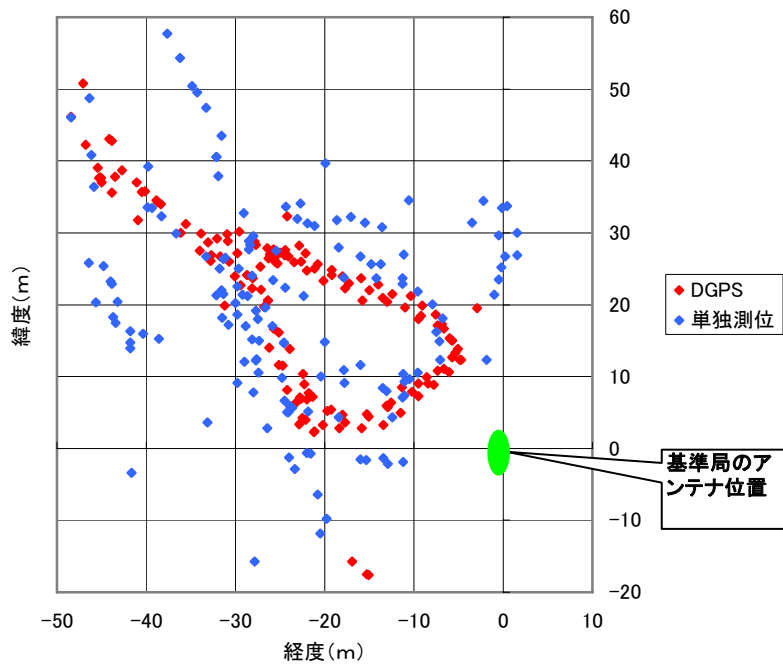


図 4-6-4 DGPS 測位と単独測位結果の一部 (x y 座標表示)

図 4-6-2、図 4-6-3、図 4-6-4 から、大学院棟前で連続 DGPS 測位の再現性を確認できた。

図 4-6-5 に、大学院棟前の測位実験における単独測位結果のデータの飛びを示す。データの飛びとは、何らかの原因で測位した場所からかけ離れた場所に測位点が求められる現象である。

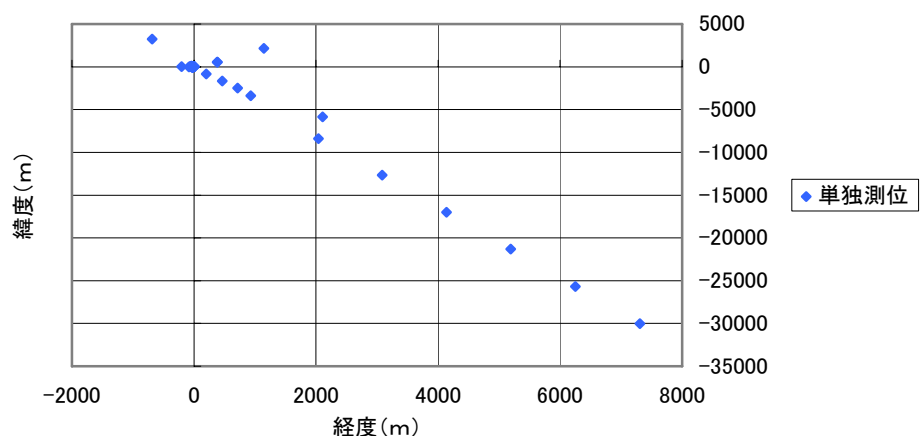


図 4-6-5 単独測位結果全体図

図 4-6-5 の原点付近に図 4-6-4 の単独測位の分布があると考えるとよい。しかし、図 4-6-5 で緯度、経度が数千 m である測位点がいくつか存在しているのがわかる。今回、DGPS 測位では、データの飛びをほとんど存在しなかったが、本システムを改善する必要がある。

4-2-2 無線 LAN の受信状況を調査

受信状況は Windows XP にある「シグナルの強さ」を用いて、以下に定性的に評価した。表 4-4 に、受信状況の評価方法を示す。表 4-5 に、受信状況の結果を示す。

表 4-4 受信状況の数値化

	受信状況のレベル
非常に強い	5
強い	4
普通	3
弱い	2
非常に弱い	1
シグナルなし	0

表 4-5 無線 LAN の受信状況

基準局	移動局	受信状況
研究室	大学院棟前 (20m)	2
研究室	ポンド(130m)	0 もしくは 1
大教室ベランダ	大教室前(20m)	2

受信状況が 0 のときは必ず測位不能になった。今回使用した無線 LAN の規格は IEEE802.11b である。表 3-1 の無線 LAN の規格表から IEEE802.11b の伝送距離は 50m から 180m である。IEEE802.11 の規格では通信範囲が広がるにつれて受信状況が著しく悪くなることがわかっている。受信状況が悪いと現システムでは、測位不能になると考えるが、伝送距離と受信状況の関係があるかどうかさらなる定量的な検討をする必要がある。

4-3 実験での問題点

図 4-6-5 からわかるとおり、データの飛びが測位結果全体で見ると複数存在している。このシステムを他に応用するには、データの飛びをなくさなければならない。また、無線 LAN コンバータからデータを測位用 PC に転送する際に、受信状況によっては測位に悪影響を及ぼす可能性が挙げられる。

4-4 問題点の考察と今後の方針

データの飛びの原因は解明していないが、プログラムの記述で条件式を入れて異常な値を取り除くコードを書くことで解決する。また、受信状況が本システムの DGPS 測位に悪影響を及ぼす可能性について、伝送距離と受信状況の関係があるかどうかさらなる定量的な検討をする必要がある。その結果、伝送距離と受信状況に関係がある場合、無線 LAN の受信状況が悪いときデータが正しく送られているか調べる必要がある。例えば、本プログラムで様々なデータ（でたらめなデータや空データ）を送りプログラムが稼動するか検証し、プログラムを改良することを考えている。

第5章 結論

5-1 まとめ

第4章から、研究室内で、無線 LAN を用いたリアルタイム DGPS 測位の連続稼働時間を、前システムで 25 分間のところを 16 時間以上にすることができた。また測位用 PC (移動局) と無線 LAN コンバータ (基準局) の距離が 130m 以上ある場合でも連続で DGPS 測位の再現性を確認できた。しかし、無線 LAN の受信状況が測位プログラムに悪影響を及ぼす可能性があり、実験環境によっては長時間稼働するのは難しいということが判明した。

問題点は、受信状況が悪いとき本プログラムでは測位計算が停止してしまう危険性があるという点である。受信状況が本システムの DGPS 測位に悪影響を及ぼすという点について、伝送距離と受信状況の関係があるかどうかさらなる定量的な検討をする必要がある。伝送距離と受信状況が関係ある場合、原因を解明しプログラムを改良して受信状況の悪い場所でも DGPS 測位が可能になると考える。

5-2 今後の課題

一つ目は、受信状況が悪いとき本測位プログラムの稼働時間の関係についてさらに定量的な議論をしなければならない。関係がある場合は、通信が切断しても測位が継続するシステムに改良することである。または、現在使用している無線 LAN よりも受信が高感度なものを適用することも考えている。

二つ目は、今回できなかった RTK-GPS 測位を実時間で連続測位を可能にすることである。

参考文献

- (1) SAHA KRISHINA KAMAL 、東京海洋大学「無線 LAN を使用した DGPS 測位のリアルタイム化」、卒業論文 2005 年
- (2) 日本航海学会 GPS 研究会、「精説 GPS」
- (3) 岡本 伸也 、東京商船大学「長基線 DGPS 測位および干渉測位の測位精度に関する研究」、修士論文 2003 年
- (4) Borland C++ Compiler :
<http://0n0.fc2web.com/bcc/>
- (5) 山本 信雄 、「初めての MFC プログラミング」、翔泳社
- (6) NOVATEL 社 、「GPSCard Command Descriptions Manual」
- (7) 日本テクトロニクス社 、「無線 LAN 入門セミナー」
- (8) 守倉 正博、松江 英明、「IEEE802.11 準拠無線 LAN の動向」、電子情報通信学会論文

謝辞

本研究を行うにあたり、あらゆる面で多大な御指導と御鞭撻を賜った安田明生教授に厚く御礼申し上げます。

本研究に関して、プログラミングの基本技術やさまざまな問題提起など、研究の全ての段階で有益な御示唆をいただいた久保信明助手に心より感謝申し上げます。

本研究の取り組み方やデータ取得及び実験の際、有益なご助言を賜りました博士後期過程の吉田将司さんに心から感謝いたします。

最後に、情報通信工学研究室の皆様に心より感謝いたします。