

中低速移動体への RTK-GPS 適用化技術の開発に関する技術仕様書

1 章 一般事項

1-1 適用範囲

本仕様書は、GPS 相対測位である RTK-GPS(Real-Time Kinematic GPS)における高速初期化技術とマルチパス誤差低減技術が組み込まれた測位演算処理及び RTK-GPS と IMU(Inertial Measurement Unit)を複合させた RTK-GPS/IMU 複合航法演算のソフトウェアについて規定する。

1-2 参考文献

- (1) 土屋淳, 辻宏道: 新・GPS 測量の基礎, 社団法人日本測量協会 (2002 年 9 月).
- (2) 佐田達典: GPS 測量技術, オーム社 (2003 年 10 月).
- (3) GPS/GNSS シンポジウム 2004 テキスト
- (4) W. Gurtner, "RINEX, The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10,"
- (5) P. J. G. Teunissen: The Least-Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment: A Method for Fast GPS Integer Ambiguity Estimation, J. Geodesy, Vol. 70, pp. 65-82, 1995.
- (6) P. J. de Jonge and C. C. J. M. Tiberius: The LAMBDA Method for Integer Ambiguity Estimation: Implementation Aspects, No. 12 of LGR-Series, Delft Geodetic Computing Centre, Netherlands, 1996.
- (7) 近藤賢太郎, RTK-GPS 搬送波測位の整数 ambiguity の初期化決定における正解/不正解決定の発生確率の理論的計算, 第 47 回宇宙科学技術連合会講演会講演集, pp. 1369-1374 (2003 年).
- (8) P. Misra and P. Enge: *Global Positioning System -- Signals, Measurements, and Performance*, Ganga-Jamuna Press, Massachusetts, 2001.
- (9) G.M.Siouris: *Aerospace Avionics Systems, A Modern Synthesis*: Academic Press, San Diego, 1993.
- (10) R.M.Rogers: Large Azimuth INS Error Models for In-Motion Alignment Land-Vehicle Positioning, *Proceedings of The Institute of Navigation, National Technical Meeting 2001*, Long Beach, CA, January, 2001.
- (11) 片山徹: 応用カルマンフィルタ, 朝倉書店 (2000 年 1 月).
- (12) U.S. Air Force, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interface, ICD-GPS-200, IRN-200C-002, Rev.C, Sept 1997.

1-3 用語の説明

本仕様書で使用している用語を以下に示す。

- | | |
|----------------|---|
| (1) GPS | Global Positioning System：全地球測位システム |
| (2) RTK | Real Time Kinematic：移動体高精度 GPS 測位
2つの受信機からある衛星までの距離の差を搬送波の位相を使って求め、基線ベクトルを決定する計測方法 |
| (3) 擬似距離 | 衛星と受信機間の距離のことであり、受信機の時計誤差に起因する比較的大きい誤差が含まれるため「擬似」と呼ばれる |
| (4) 搬送波位相 | 搬送波の位相変化分を積算したものであり、擬似距離よりも精密な衛星・受信機間の測距が可能であるが、整数波長分の不確定性を含む |
| (5) アンビギュイティ | 搬送波位相観測量に含まれる、整数分の不確定性 |
| (6) ドップラ周波数 | GPS 衛星と受信機間の相対的な距離変化に起因するドップラ効果により生じる受信機で観測される搬送波周波数の変化分 |
| (7) エフェメリス | GPS 衛星の軌道計算の6要素 |
| (8) アルマナック | 概略の GPS 衛星の軌道情報 |
| (9) 高速初期化 | RTK-GPS におけるアンビギュイティを高速に決定する技術 |
| (10) サイクルスリップ | RTK-GPS において観測中に衛星電波受信に瞬断があると、GPS 受信機での位相積算も一時中断してしまい、位相データにずれが生じる現象 |
| (11) マルチパス | 衛星から発射された電波が2つ以上の経路で受信機に届く現象 |
| (12) 精度低下率 DOP | 衛星配置による測位精度の低下率を数字で表したもの。
DOP(Dilution of Precision)は数値が大きくなるほど精度が低くなる（測位誤差が大きくなる）ように表される。DOP にはその定義の仕方によって種々の指標がある。GDOP (Geometrical DOP) は幾何学的な精度低下を表す指標、PDOP (Position DOP) は三次元的な位置の精度低下を表す指標、HDOP (Horizontal DOP) は水平方向の精度低下を表す指標、VDOP (Vertical DOP) は上下方向の精度低下を表す指標、TDOP (Time DOP) は時間の精度低下を表す指標である |
| (13) 二重位相差 | 相対測位において波数の観測値に含まれる衛星時計と受信機時計の誤差の影響を除去するため、2個の衛星と2個の受信機間での観測値の差 |
| (14) 基準局 | 相対測位において位置が既知である GPS 受信機のこと。 |
| (15) 移動局 | 相対測位において位置が未知である GPS 受信機のこと。 |
| (16) IMU | 3軸のジャイロと3軸の加速度計から構成される慣性装置
Inertial Measurement Unit |

(17) INS	Inertial Navigation System: 慣性航法装置
(18) ジャイロ	物体の角速度を得るためのセンサ
(19) 慣性航法演算	角速度と加速度を積算して、初期位置からの移動量及び速度、姿勢・方位を演算する手法
(20) アライメント	INS における初期姿勢、初期方位を求める初期化处理
(21) 複合航法	GPS と IMU を組み合わせた測位技術
(22) Loosely Coupled	GPS 測位演算で求めた位置、速度を用いる複合航法方式
(23) Tightly Coupled	GPS 信号の擬似距離、搬送波位相を用いる複合航法方式
(24) カルマンフィルタ	線形な状態空間モデルで記述されるシステムの状態推定を、最小 2 乗規範の下で逐次的に行う推定器
(25) RINEX	受信機のデータ出力に関する共通データ形式として多く使われているもので、観測データ (O ファイル)、航法メッセージ (N ファイル)、気象観測 (M ファイル) の 3 種類がある。 Receiver INdependent EXchange Format

1-4 ソフトウェアの概要

本ソフトウェアは GPS の二周波受信機データと IMU データを用いて、RTK-GPS 測位演算と RTK-GPS/IMU 複合航法演算を行い、結果を出力する。以下にマルチパス誤差低減技術、RTK-GPS 高速初期化技術及び慣性航法複合技術の概略を説明し、ソフトウェアの特徴について記述する。

1-4-1 マルチパス誤差低減技術

一般にマルチパスとは、電波の伝播において送信側から送出された信号が2つ以上の経路を通過して受信側に到達する現象のことである。GPSにおいては、衛星から送出された電波がアンテナに直接到来する直接波と受信アンテナ周囲の建物や地表で反射された反射波が重なり合った現象をマルチパスと呼ぶ。

マルチパスが発生する環境において、GPS受信機で直接波と反射波を同時に受信すると、GPS受信機は両者が合成された信号を基に測位を行うことになる。この直接波と反射波が合成された信号は、直接波の波形を崩し受信機の動作に影響を及ぼす。その影響はGPS受信機での擬似距離測定の誤差となって現れる。また、GPS衛星と受信アンテナ間に障害物が存在し、直接の見通しが無いのにもかかわらず、衛星からの電波がその障害物を回り込んで受信アンテナに届く現象である回折波もマルチパス誤差の原因の1つであり、反射波と同様に、GPS衛星から届く信号波形を乱し測距誤差を生じさせる。

移動体においては、信号の反射位置は常に高速で変化するため、適切なモデルを利用することが難しい。特に都市部においては建物等によるマルチパスの影響を受け、大きな測位誤差が生じることが問題となる。このような背景から移動体測位において、マルチパス誤差の低減が重要な技術課題となっている。

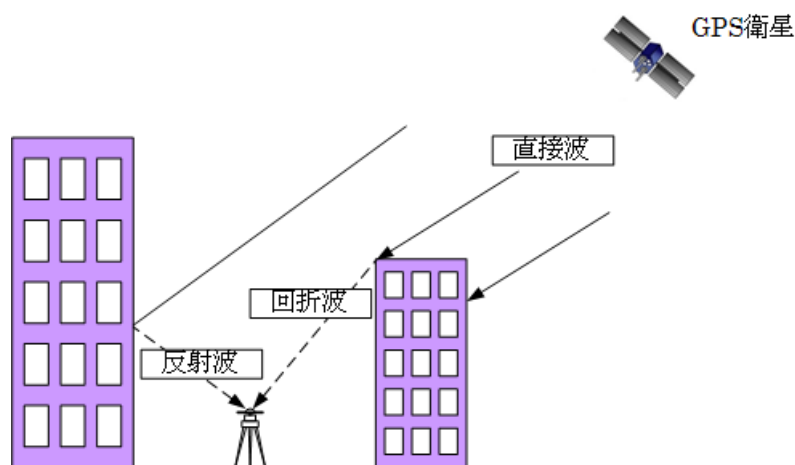


図 1-4-1 反射波と回折波の例

本仕様書では図 1-4-1 のように障害物によって反射・回折された GPS 信号が、直接波と比較して信号強度が低くなる傾向を用いて、マルチパス誤差の低減を図る。この特徴を利用すれば、受信機で実際に受信した信号強度と直接波が到達した場合の信号強度推定値とを比較することで、劣化信号を特定することができる。

1-4-2 RTK-GPS 高速初期化技術

RTK-GPS は GPS 衛星から送られる搬送波の位相を測定し、搬送波の波数を推定することにより、高精度に位置を求める相対測位手法である。この手法では、基準局と移動局との搬送波の行路差上にある波数を推定する初期化処理が必要である（図 1-4-2）。この波数の整数部を“Integer Ambiguity”、日本語では「アンビギュイティ」又は「整数値バイアス」と呼び、初期化処理では波数の小数部は観測量から求められるが、アンビギュイティは未知量となる。初期化処理の際にこのアンビギュイティの値によって無数の基線ベクトルの候補（多重解）が存在し（図 1-4-3）、この多重解から真の解（整数解）を求めるのに数十秒から数分を要してしまう。本仕様書は、この問題に対し、中低速移動体における継続した高精度位置を特定するため、アンビギュイティを高速に初期化するアルゴリズムを記述する。

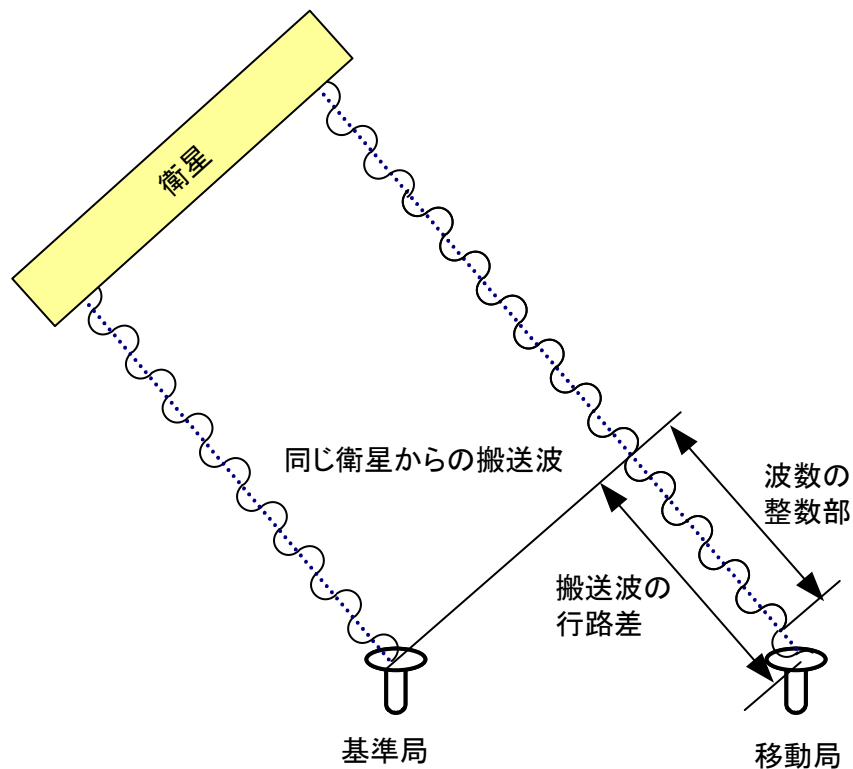


図 1-4-2 搬送波におけるアンビギュイティ

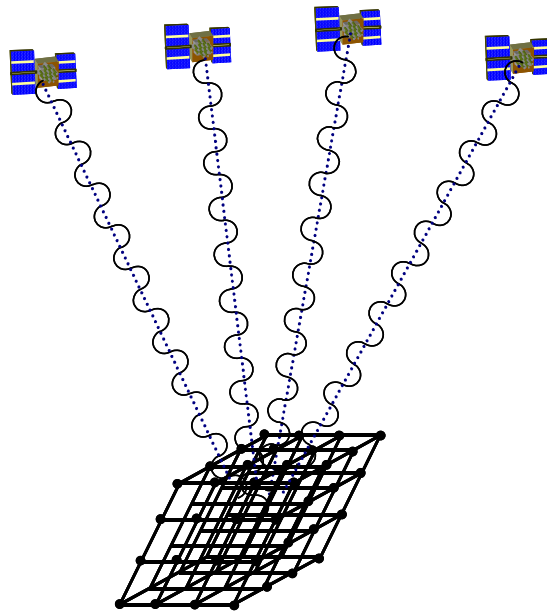


図 1-4-3 基線ベクトルの候補（多重解）

1-4-3 慣性航法複合技術

前項に記載した RTK-GPS 測位技術を用いることで、中低速移動体に適用できる高精度測位が可能となるが、この技術は GPS 衛星が 4 基以上可視できるような上空視界の良好な場所で使用することが前提となる。よって、山間部の谷間など上空視界が良好でない場所では移動体には適用できない。（図 1-4-4）

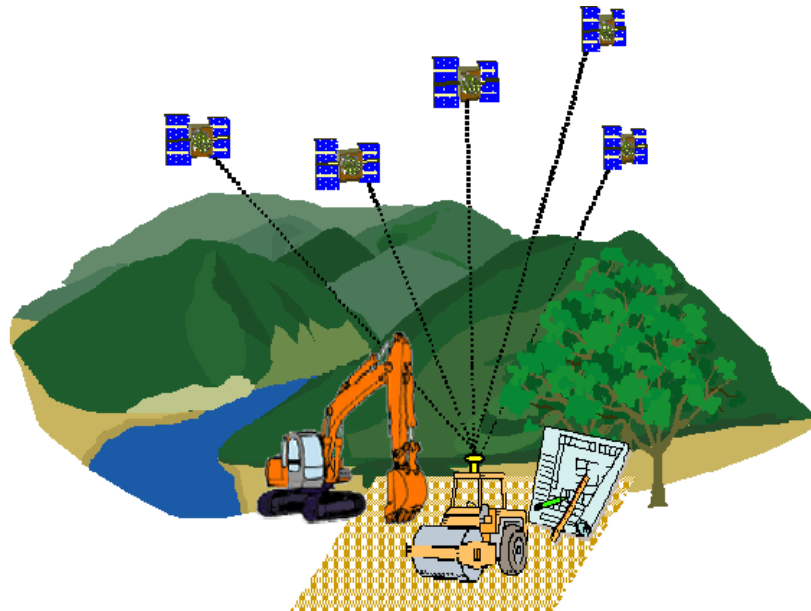


図 1-4-4 建設現場の GPS 測位環境

上記の問題を解決するために、本仕様書では移動体の 3 次元位置・姿勢を検出する慣性航法

装置（INS）の演算処理を記述する。RTK-GPS 測位が不可能な上空視界の良好でない場所では、電波環境に依存せず、搭載したセンサのみで測位できる INS は有用である。しかし、INS における問題点として、センサから得られる加速度や角速度を積分して位置を求めるため、センサ固有のバイアスやドリフトに起因する誤差が時間の経過とともに蓄積され、測位精度を劣化させる点が挙げられる。さらにコストを下げるために低価格な INS を用いた場合、誤差が急激に増大するため、作業用車両への適用は困難である。この誤差の増大を抑える方法として、RTK-GPS と INS を組み合わせて、互いの欠点を補いながら最適な航法性能を維持・向上させる複合航法演算方法について記述する。

1-4-4 ソフトウェアの特徴

本ソフトウェア（高精度測位ソフトウェア）は、GPS データ、IMU データ及び設定パラメータを入力とし、測位演算処理を行い、演算結果を出力する。構成図を図 1-4-5 に示す。

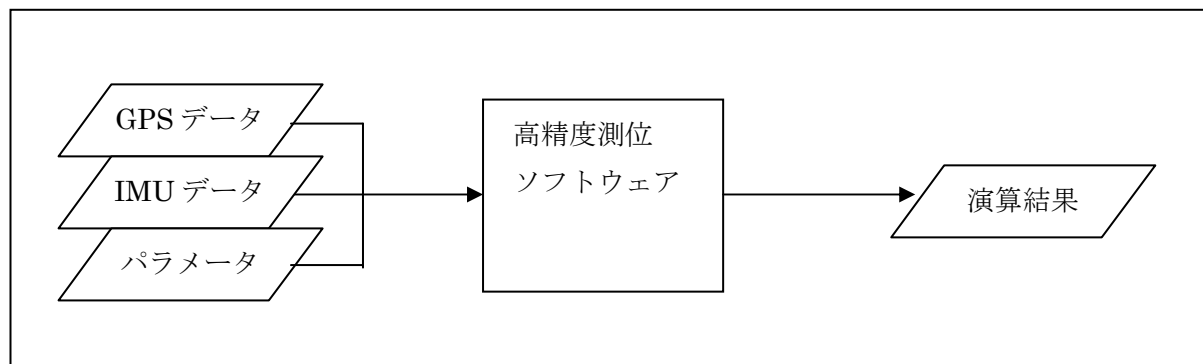


図 1-4-5 高精度測位ソフトウェアの構成

1-5 ソフトウェアの動作環境

1-5-1 動作環境

本ソフトウェアの動作環境例を表 1-5-1 に示す。

表 1-5-1 動作環境例

No.	項目	内容
1	動作機器	PC/AT 互換機等
2	OS	Microsoft Windows XP SP2 等
3	メモリ	1G byte 以上
4	HDD	20 G byte 以上
5	シリアルポート	3 ポート（通信によるデータ入力時は必要）

1-5-2 開発環境

本ソフトウェアの開発環境例を表 1-5-2 に示す。

表 1-5-2 開発環境例

No.	項目	内容
1	開発ツール	C コンパイラ
2	開発言語	C++

1-5-3 機器構成

ソフトウェアをリアルタイムに動作させる機器の構成例を図 1-5-1 に示す。

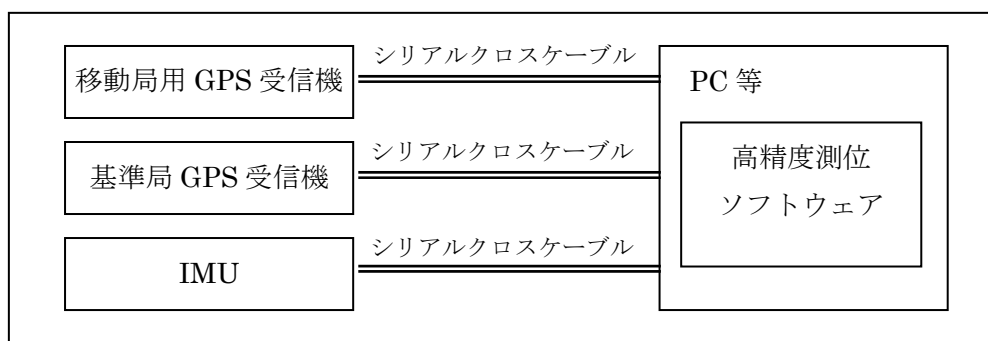


図 1-5-1 機器構成例

また、PC へ接続させる GPS 受信機と IMU の仕様を表 1-5-3 と表 1-5-4 に示す。

表 1-5-3 GPS 受信機の仕様

項目	GPS 受信機
Time interval	1 [Hz]
性能	2 周波 GPS 受信機 (L1,L2)

表 1-5-4 IMU の仕様

項目		IMU
Time interval		50 [Hz]
角速度	検出範囲	$\pm 200^{\circ} / \text{s}$
	バイアス	$20^{\circ} / \text{hrms}$
	スケールファクタ	$\pm 0.2\%$
加速度	検出範囲	$\pm 29.4 \text{m/s}^2$
	バイアス	0.098 m/s^2
	スケールファクタ	$\pm 0.2\%$