

18. ソフトウェア GPS+SBAS 受信機の開発に関して

通信・航法・監視領域 *近藤俊一郎 星野尾一明

1. はじめに

電離層の活動は GPS とその補強システムである静止衛星型衛星航法補強システム(SBAS)に影響を与えると考えられている。プラズマバブルと呼ばれる電離層の局地的な不規則性によって引き起こされる、電離層シンチレーションと呼ばれる現象により GPS 信号の信号強度、位相が急激に変化し、受信機のロックはずれ、サイクルスリップを起こすことが知られており、GPS および補強システムの完全性(インテグリティ)、利用性(アベイラビリティ)、連続性(コンティニューイティ)に影響を与える可能性がある。

近年、電離層やマルチパス等の研究を対象としたソフトウェア GPS 受信機の開発が海外の多くの企業、大学等で進められている。ソフトウェア受信機はフロントエンド以降の信号処理、追尾といった処理をソフトウェアで行う受信機のことであり、信号処理部分の再構成や信号処理の再現などが可能である。このような特徴は誤差要因の解析だけでなく新たなアルゴリズムの試験にも利用されている。

本稿では、電離層シンチレーションに対する信号追尾処理のロバスト性検証と MSAS 試験信号の解析を対象としたソフトウェア GPS+SBAS 受信機開発の経過を報告する。

2. 受信機の構成

図1に示すように、受信機は大きく分けてフロントエンドモジュールとベースバンド信号処理モジュールの2つで構成されている。フロントエンドモジュールは唯一のハードウェアモジュールであり、ダウンコンバータとAD変換器で構成されている。アンテナからきたGPS信号はフロントエンドを通して無線周波数(RF)から中間周波数(IF)にダウンコンバートされ、デジタルデータへと変換される。デジタル信号は一時ホストPCのハードディスクへと格

納され、PC上のソフトウェアでベースバンド信号処理が実行される。信号処理ソフトウェアはバッチ処理専用のものであり、通常の実時間処理を行う受信機のような複数チャンネルの構成ではない。図1に示すように、1チャンネルで衛星番号を切り替えて捕捉、追尾を繰り返す構造になっている。信号追尾は格納されたデータの末尾まで処理し、またデータの先頭に戻って次の衛星の処理に移る。そして捕捉した全ての衛星の信号追尾が終わらなければ擬似距離測定には移行しない。

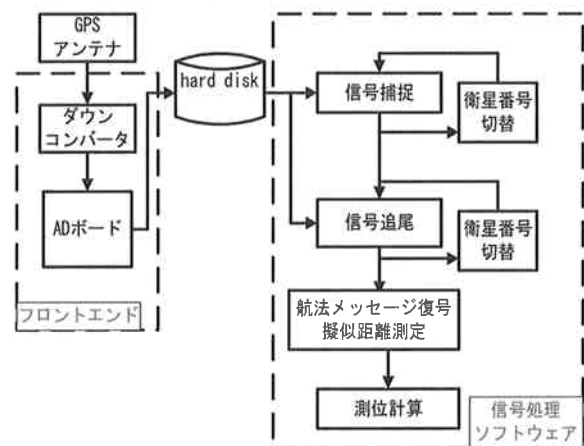


図1 受信機の構成図

2.1 ハードウェア

ダウンコンバータに CRS 社製の Dual Channels Down-Converter を AD 変換器にアイダックス社製の PCDAQ を使用した。それぞれの写真を図3, 4に、特性を表1, 2に示す。PCDAQ はオペレーション用の PC を母体としているが汎用データ収集装置であるため、信号処理には別の PC を使用している。また、IF 信号はクロック誤差による周波数変動を持っているのでサンプリングはそれに同期したタイミングで実行しなくてはならない。したがって、同期したサンプリングタイミングを得るため

PCDAQ には Dual Channels Down-Converter のレファレンス周波数を入力される。



図2 Dual Channels Down-Converter



図3 PCDAQ

表1 Dual Channels Down-Converter の特性

Frequency	1.57542GHz (L1) 1.2276GHz (L2)
IF (intermediate frequency)	13.991429MHz (L1) 13.60 (L2)
帯域幅 (IF stage)	18MHz
Gain	65dB
レファレンス クロック	10MHz

表2 PCDAQ の特性

サンプリング 周波数	Max:105MHz
データ分解能	14bit
チャンネル数	4ch
ハードディスク容量	1.44TB

2.2 信号処理ソフトウェア

信号処理ソフトウェアはすべて MATLAB で作成されている。信号捕捉には高速フーリエ変換(FFT)で C/A コードの相関を取る方式を使用している。信号追尾では、コードループは Delay Locked Loop (DLL) で、キャリアループは Phase Locked Loop(PLL)と Frequency Locked Loop(FLL)で構成されている。擬似距離測定では、相対的測定方法を使用している。[1]

表3 信号処理ソフトウェアの特性

信号捕捉	FFT approach
搬送波追尾 (キャリアループ)	PLL FLL
コード追尾 (コードループ)	DLL (相関幅 0.1chip)
擬似距離測定	相対的測定
測位計算	単独測位

3. 信号追尾アルゴリズム

追尾ループの構成を図4に示す。信号は一度捕捉されると、航法メッセージの位相を見つけるために追尾される。信号追尾プログラムは信号捕捉から得られた2つのパラメータを用いる。それは入力信号のコード位相（受信機のカウントに対してコードが持つオフセット）と搬送波周波数である。GPS衛星の信号を追尾するには2つのループが必要とされる。1つはコードループと呼ばれ、入力信号に含まれる C/A コードの位相を追尾するループである。もう1つはキャリアループであり、搬送波の周波数と位相を追尾する。これら2つのループは図4で示されるように連結して使用される。

コードループは early・late と呼ばれる2つの C/A コードレプリカを使い入力信号の C/A コードとコードレプリカの位相誤差を検出し、位相誤差の大きさに応じてコードをシフトする。キャリアループは局部発振信号と入力信号（搬送波周波数）の位相誤差を検出し、2つの信号の位相を同期させる。入力信号は、コード位相の合った prompt コードによって C/A コードが取り除かれ、局部発振信号と相関がとられると航法メッセージの波形となる。また、コード位

相誤差の検出により刻まれたコード位相は擬似距離の測定において重要な要素となる。

キャリアープでは I_p , Q_p (図4)の出力から入力信号とローカル信号との周波数誤差、位相誤差を検出する。FLLは広帯域で周波数誤差を検出するもので動的特性に強く、PLLは狭帯域で位相誤差を推定するため動的特性には弱いもののFLLより精度は高い。FLLとPLLのループフィルタには共に2次のローパスフィルタを使用している。キャリアープは4段階の構成となっており、フィルタの雑音帯域幅が検出されたドップラ周波数の分散値(60sec 間隔)に応じて100Hz,50Hz (FLL)、25Hz,13Hz (PLL)のいずれかに割り当てられる。ゲインと自然各周波数もそれに伴って変化する。ドップラ周波数の分散が小さくなれば狭帯域へ、大きくなれば広帯域へと移行するよう設計されている。

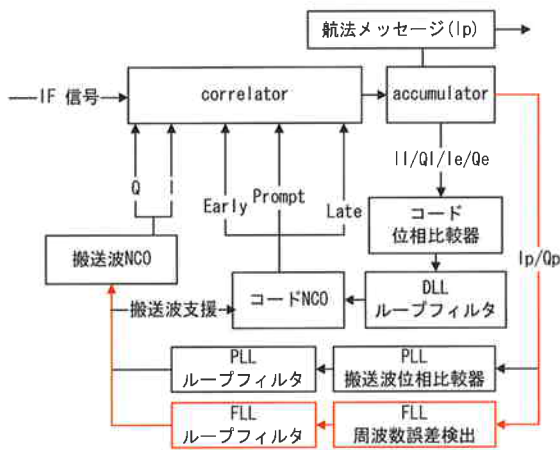


図4 追尾ループ

GPS PRN-6, SBAS PRN-134 の I_p チャンネルの出力の一例を図6,7に示す。両図の波形は復調されたGPS、SBAS衛星信号の情報(バイナリデータ)に相当する。ビットレート50bpsのGPS信号は20msecの整数倍の間隔でデータ反転があることが分かる。また、シンボルレート500spsのSBAS信号は2msecの整数倍間隔で反転している。(C/N0はそれぞれ約47dB,39dB) 現段階ではGPSのみの測位は可能であり、その1例を図8に示す。SBAS信号の復号ソフトは作成中であり、SBAS補強機能は今後追加予定である。

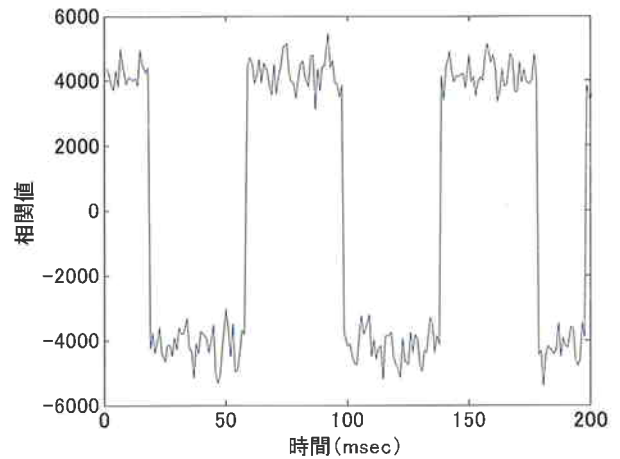


図6 I_p 出力 GPS PRN-6

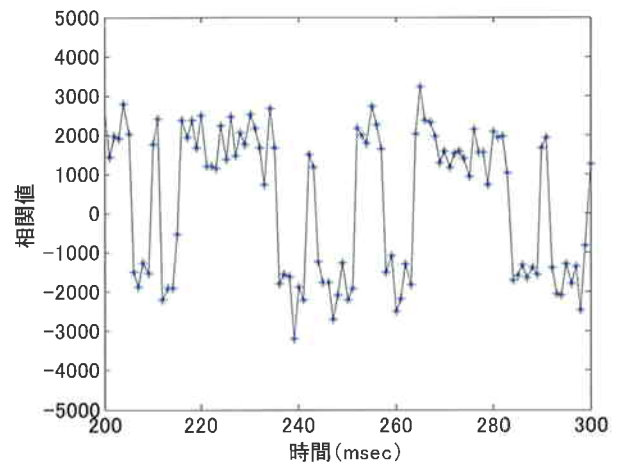


図7 I_p 出力 SBAS PRN-134

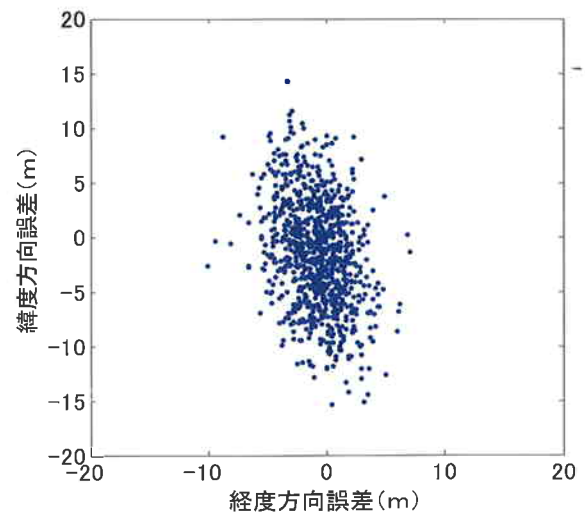


図8 GPS単独測位 水平方向誤差

4. 電離層シンチレーション対策

GPS、SBAS 信号に対する電離層シンチレーションは、電離層の F 層(≧地上高 150km)の局地的な電子密度の不規則性によって起こるとされている。この電子密度の不規則な領域が電波の複数の通路となり、この不規則な領域と送信機および受信機の相対的な運動により、受信機において急激(≦1 秒)な振幅および位相の変動をもたらすものと考えられる。信号追尾処理でシンチレーションに対するロバスト性を確保するための最も有効な手段は、PLL ループフィルタの雑音帯域幅の拡張である。雑音帯域幅は拡張すれば広帯域で周波数や位相の変動が追尾できるためシンチレーションに対するロバスト性も向上し、逆に狭帯域であれば高い精度で周波数や移送が推定できる。ロバスト性と精度の両面から優れたフィルタを設計するには電離層位相ジッター、オシレータージッターの振動とアラン標準偏、動的ストレスなどの雑音・熱雑音を考慮し帯域幅を調整しなくてはならず、受信機内部で推定した動的ストレスをトリガーとした可変型の設計が理想的であると思われる。また、現状では PLL に 2 次フィルタを使用しているが、2 次ではジャークストレスに弱いため 3 次フィルタへの変更も考えている。最終的には、フィルタの設計後シミュレータもしくは実測信号を用い信号追尾の動作確認を行う。

5. おわりに

本稿では、ソフトウェア GPS+SBAS 受信機の開発状況と出力の一例を示した。今後は SBAS 信号メッセージの復号化機能、SBAS 補強機能の追加、MSAS 試験信号の解析、電離層シンチレーションに対する信号追尾のロバスト性の検証を予定している。

参考文献

- [1] J. B.Y. Tsui 'Fundamentals of Global Positioning System Receiver - A software Approach', A John Wiley & Sons, Inc. Publication 2000
- [2] Kaplan E D, Understanding GPS: Principles and application, Arcech House, Boston, 1996.

- [3] T. pany, T, S. W. Moon, M. Irsigler, B. Eissfeller, and K.Furlinger , "Performance Assement of an Under Sampling SWC Receiver for Simulated High-bandwidth GPS/Galileo Signals and Real signal", proceeding of 16th International Technical meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, Oregon, USA, pp.103-106.
- [4] P.Misra and P.Engse, GRPBAL POSITIONING SYSTEM, Signal Measurements, and performance, Ganga-Jamuna Press.2001
- [5] J. B.Y. Tsui, Stockmaster, and, D. M. Akos, "Block Adjustment of synchronizing Signal (BASS) for Global Positioning System (GPS) Receiver Signal Processing", Proceeding of ION GPS 97, pp.637-641.
- [6] F. Johanson, R.Mollaei, J. Thor, and J.Uusitalo, "GPS Satellite Signal Acquisition and Tracking, Division of Signal Processing," Luleca University of Technology, S-971 87 Luleca, weden, Undergraduate Projects 1998.
- [7] C. Ma, G. Lachapelle, and M.E. Cannon "Implementation of a Software GPS Receiver", Proceeding of ION GPS2004,
- [8] G. W. Heckler, J. L. Garrison, "Architecture of a Reconfigurable Software Receiver", ION GPS 2004, pp.947-955