

論文内容の要旨

論文題目 Study on Nonlinear Filter Signal Processing for standalone GPS
(非線形フィルタを用いた単独 GPS 信号処理に関する研究)

氏名 茅 旭初

1. 研究の背景

衛星ベースのナビゲーション・システムは、21 世紀のナビゲーション技術の頂点に位置するものと考えられている。全地球型衛星航法システムとして、全地球測位システム(GPS)は広く使用されており、システムが使用可能になって以来様々な研究が行われている。GPS のアプリケーションとして、航空機、船、自動車の操縦、軍事アプリケーション、地図情報システム(GIS)用ポジショニング、携帯電話、レクリエーションへの用途などが考案されてきた。新しく精巧なコマーシャルおよび消費者アプリケーションの実現により、その人気は過去十年間で急上昇している。

これらのアプリケーションにより GPS が広範囲で使用されるにつれて、ユーザは GPS に対して信頼度、正確さおよび有効性の更なる向上を要求するようになった。しかし、現在のシステムにはまだ多くの実用上の制限が存在する。例えば、高層ビル街やトンネル、建物の内部で GPS を使用したとき、その信号は微弱であるため検知することができないといった問題である。一方、近年の高速マイクロプロセッサの進展および信号処理分野での最近の進展で、より正確でロバスト性の高い精巧なアルゴリズムに基づいたシステムの構築が可能となっている。

このような背景から、本研究では高度な信号処理に基づいた単独 GPS の性能向上について取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究では、

- 現代の信号処理技術に基づいた新しい GPS のアルゴリズムを開発する。
- 高度な信号処理技術に基づいて GPS レシーバ用のアーキテクチャおよびアルゴリズムを提案し、悪条件下での GPS ポジショニング問題へ対処する。

ことを目的としている。この研究により、高精度、ロバスト、高周波でどのような場所でも動作する GPS レシーバを開発することが可能となると考えられる。

本研究は主に以下の二つの部分から構成される。

一つは GPS ポジショニング・アルゴリズムにおける非線形性に関する研究である。ここでは高精度でロバストな単独 GPS レシーバを実現するための新しいアルゴリズムとモデルに関して、パラメータ学習とモデル選択による新しい枠組みを使用することを提案する。様々なモデルや GPS のエラー特性の調査も合わせて行う。

もう一つの主要な研究は、悪い条件の下での GPS の受信性能および正確性を改善するための微弱信号のレシーバに関するものである。新しいレシーバのアーキテクチャおよび非線形フィルタに基づくアルゴリズムを提案することで、微弱信号処理の性能を向上させることが可能となる。

図 1 に本研究の内容と目的および主要な二つの部分の関係をまとめたものを示す。

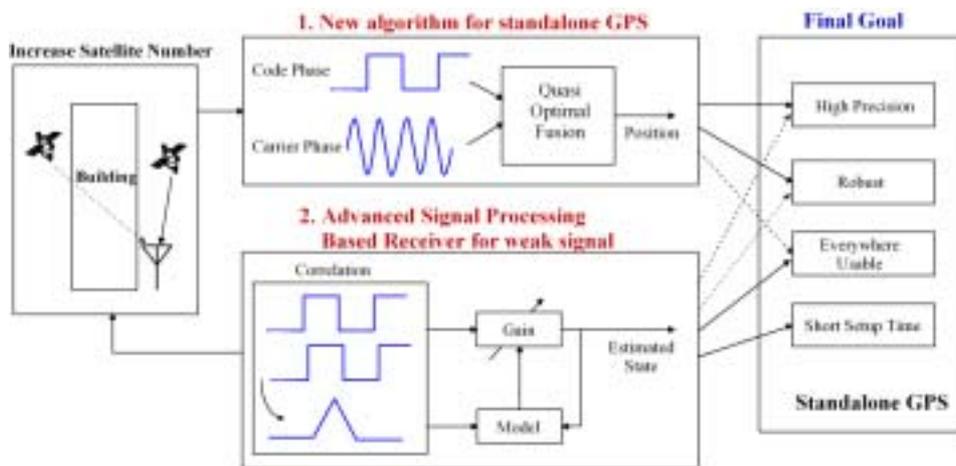


図 1 本研究の構成

3. 非線形フィルタを用いた単独 GPS 測位

まず、擬似距離およびドップラーシフトを融合し位置推定のためのモデルを開発する。擬似距離は衛星とレシーバの間の絶対的な距離の特徴づける値である。一方、ドップラーシフトは衛星からレシーバへの相対的な距離差を特徴づけている。これらの測定値はそれぞれ独立しており互いに補完的な情報を含んでいるので、これらの測定値の融合により状態推定が可能となると考えられる。

過去に研究されたアルゴリズムの欠点の 1 つは擬似距離の白色雑音を仮定していることである。本研究で提案したアルゴリズムは非白色雑音による誤差をトラッキングするモデルを使用することでこの問題を解決する。

システムの非線形モデルを提案して、従来方式ではこの GPS モデルを完全には特徴づけることができない。したがって、パラメータ学習および状態推定用の非線形アルゴリズムを開発する必要がある。本研究では、非線形モデルベースの推定のために Unscented Kalman filter(UKF)を用いる。UKF は、拡張カルマンフィルタ(EKF)より正確であり、解析的な微分計算を必要としないといった特徴がある。また、利用可能な最良の非線形モデルを使用することも可能となる。ここでは、最適のパラメータを得るために、GPS の未知パラメータの学習を行なう EM/Unscented スムーザをベースとしたパラメータ学習アルゴリズムを提案した。

図 2、図 3 に GPS ポジショニングの実験結果を示す。図 2 では、本研究で提案したアプローチが従来方式より良い推定結果を得ることができることを示している。また、図 3 に示すように、悪条件下(例えば 3 つの衛星だけが一時的に有効であるなど)であっても、提案したアプローチによって高精度でロバストな 3D ポジショニングを維持することができる。

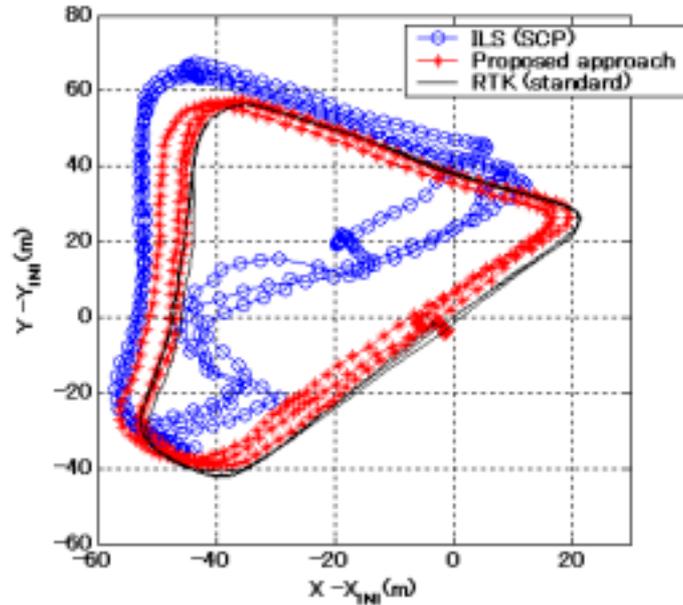


図2 位置推定結果と標準データの比較

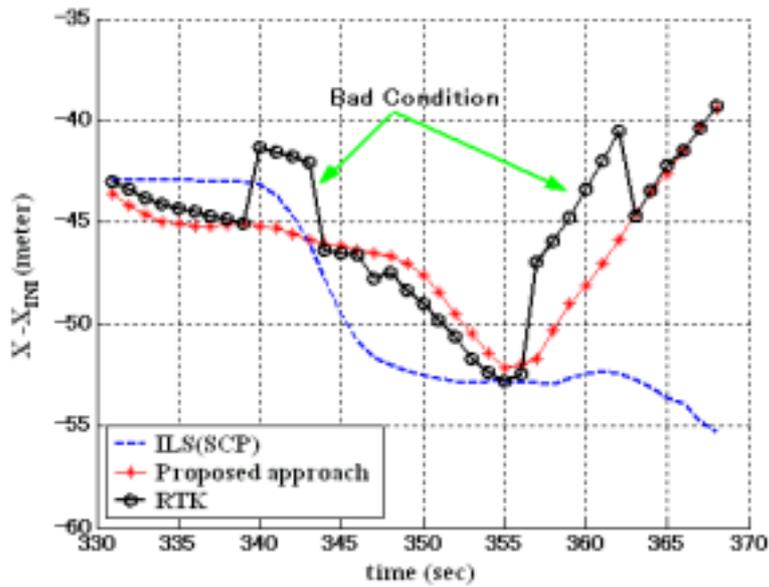


図3 提案したアプローチによる悪条件下での推定結果

4. 微弱信号処理のための GPS レシーバ

悪条件下での信号の受信および正確性をさらに改善するため、ここでは単独 GPS のポジショニング用の非線形フィルタについての研究を補完する形で、微弱信号処理を実現する GPS レシーバについて研究する。

従来の GPS レシーバでは、特に信号が弱い場合、シリアルな探索アルゴリズムを使用する信号の獲得は非常に時間がかかる処理である。ソフトウェア GPS レシーバでは、FFT アルゴリズムを使用して信号を獲得する、従来のシリアル探索よりは速いが、構造が複雑である、またこの方法でも信号トラッキングとのリンクはまだ弱いままである。

本研究では、図 4 に示すような微弱信号を処理するための GPS レシーバの新しい構造を提案している。

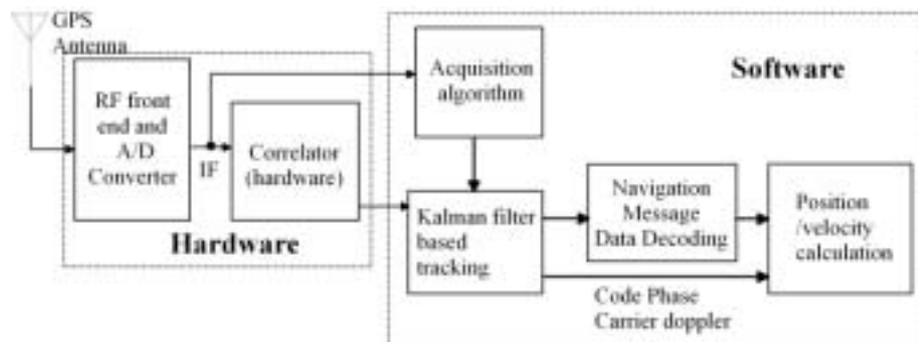


図 4 提案した GPS レシーバの構成

提案したレシーバは、現代のレシーバで実現しているように、code phase における高速処理および高分解能を保持するためにハードウェア相関器を使用する。信号トラッキングのためのアルゴリズムとしてカルマンフィルタを使用することを提案し、トラッキングの性能およびロバスト性を改善する。提案したアーキテクチャは、従来のレシーバのアーキテクチャの単純性を保持しながら、高分解能を提供することを目的とする。

標準的な信号トラッキングでは、code phase トラッキングのためにはディレイ・ロック・ループ(DLL)が、carrier phase トラッキングにはフェーズ・ロック・ループ(PLL)が使用される。しかし、微弱信号トラッキングにおいては、標準的な DLL および PLL は、信号の phase の判別および動的な変形に存在する非線形性のために、低い C/N0 でロックを失ってしまう。

そこで、提案したレシーバのトラッキングを実現するために、非線形フィルタに基づいた新しいアルゴリズムとスペクトラム拡散 GPS 信号のモデルを提案した。

反復計算が時間内に行われるという性質があるため、リアルタイムでの実現に効果的な最適のアルゴリズムである、カルマンフィルタによる微弱信号トラッキングを提案した。シミュレーション結果により、提案したアプローチが微弱信号トラッキングの性能を改善することを確認した。

5. 結言

本研究では、まず単独 GPS のポジショニングのための新しいモデルを備えた非線形フィルタを開発し、非白色雑音としてモデル化される擬似距離誤差とドップラーシフトの融合による測定モデルを提案した。また、UKF を含む枠組みおよび EM/Unscented スムーズに基づくパラメータ学習を提案し、位置推定実験の結果によりこの方法の正確性およびロバスト性を示した。

次に、GPS 信号トラッキングおよび獲得における微弱信号処理を行うために、新しい構造の GPS レシーバを提案した。微弱信号の処理方法として、非線形フィルタベースのアルゴリズムを提案した。シミュレーション結果により、非線形フィルタによる微弱信号トラッキングの実現可能性を明らかにした。