

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「準天頂衛星 L1-SAIF 信号を用いる高精度測位 GPS-LSI の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社コア

目次

目次	2
第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	5
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	7
2-1 GPS LSIの開発	7
2-1-1 LSIのシステム構成	7
2-1-2 レイアウト設計	8
2-2 FPGA版GPSモジュール	9
2-2-1 装置概要	9
2-2-2 ハードウェア構成	10
2-3 アンドロイド版GPSプラットフォーム装置開発	11
2-4 FPGAベースのGPS開発プラットフォームによるソフト処理の性能向上	12
2-4-1 測位アルゴリズムの改善	12
2-4-2 観測値の精度向上(PCシミュレーション)	12
2-4-3 性能評価(PCシミュレーション)	13
2-4-4 準天頂衛星の測位性能向上(PCシミュレーション)	13
2-4-5 受信機のシステム概要図	14
2-5 GPS開発プラットフォームによる実機評価	15
2-5-1 ファームウェア構成	15
2-5-2 トラッキング感度	16
2-5-3 最適化アルゴリズム検証①	16
2-5-4 最適化アルゴリズム検証②	17
2-5-5 L1-SAI F受信	17
2-5-6 歩行試験(鎌倉)	18
2-5-7 マルチパス軽減アルゴリズムの検証	19
2-5-8 走行試験(新宿)	20
2-5-9 GPSアプリケーション	20
2-6 プロジェクト管理運営	21
2-6-1 展示会ショー出展	21
2-6-2 学会開発内容発表	22
第3章 全体統括	23
3-1 本研究開発の総括	23
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	23
付録 専門用語説明	24

第1章 研究開発の概要

平成22年9月打ち上げに成功した準天頂衛星は、日本仕様のL1-SAIF(測位補強)信号を出力する機能がある。この信号を利用する事により旧来のGPS衛星を使用した受信機より測位時間の短縮と測位精度の向上が可能となる。

本研究開発では、FPGAベースのGPS開発プラットフォーム資産をLSI化し、準天頂衛星L1-SAIF(測位補強)信号受信により、LSIレベルでL1-SAIF(測位補強)信号の受信側技術確立を研究の目的とする。また、準天頂衛星使用の促進及び準天頂衛星利用端末の事業化に繋げる。

さらに、動的な測位精度を上げるためカルマンフィルタを使用した最適化アルゴリズムを完成させ独自性を出し知的財産の取得を目指す。

下記図1-1に 準天頂衛星を使用した場合の従来技術と新技術の対比を纏める。

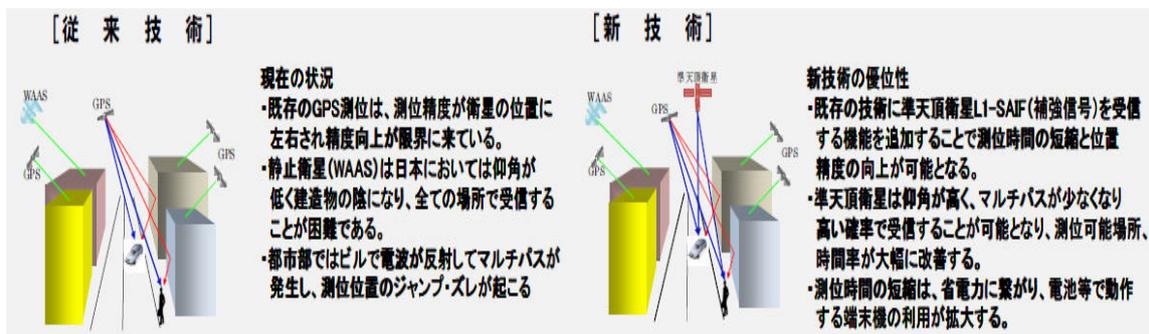


図1-1 準天頂衛星を使用した場合の従来技術と新技術の対比

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応する。

- (一) 組込みソフトウェアに関わる技術
- (三) 情報家電及び携帯電話に関する事項

(2) 課題及びニーズ

準天頂衛星L1-SAIF(測位補強)対応により今までのGPSより迅速性・確実性の改善向上ができるようになる。

具体的には、旧来のGPS単独システムに準天頂衛星を組み合わせることにより、ビル陰でも測位時間率が向上する。さらにマルチパスの影響が削減し測位精度が向上するため、都市部、山間地における測位精度が向上する。このため、児童の安全確保等のセキュリティサービス、各種車両の運行管理、廃棄物監視、緊急位置情報通知等の利用推進に繋がる。

(3) 高度化目標

準天頂衛星L1-SAIF(測位補強)対応により下記機能の向上及び新機能の実現を行う。

- ①準天頂衛星は、将来3機になるとその1機が必ず日本の天頂付近にある。
このため、測位に必要な衛星4機の内1機が準天頂衛星で確保でき、残り3機が受信可能領域にあればよく、測位可能場所・時間率が大幅に向上する。
- ②現状のGPS信号：航法メッセージの信頼性情報は、迅速性・確実性の点で十分でない。
準天頂衛星は、現状のGPS衛星をモニターしQZS航法メッセージで確実に配信するため、測位信号の信頼性向上ができる。
- ③準天頂衛星は、日本上空に長時間位置しており、電離層の状況を観測し配信するので、測位の精度、信頼性が向上する。

④L1-SAIF 実装の技術課題

- ・ L1-SAIF から得た信号を復号化（ビタビ復号）しそれを解析しベースバンド処理へのフィードバック処理の明確化を行う。
- ・ 測位精度を現状GPSの10メートル級からメートル級に向上させる。

(4) 数値目標

LSI 化後の数値目標は、以下の通りとする。

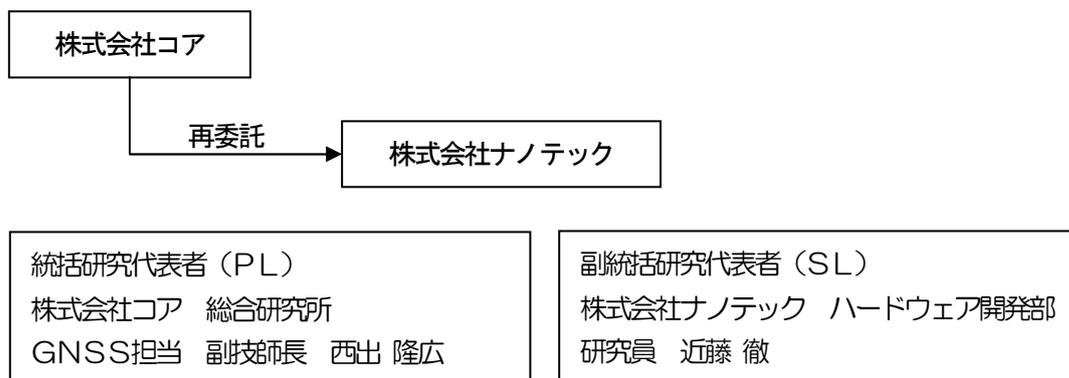
- ・ 感度精度
 - ①アキュイジション感度 -147dbm
 - ②トラッキング感度 -160dbm
 - ③TTFF コールドスタート:38sec ウォームスタート:36sec ホットスタート:1sec
 - ④測位精度 メートル級 (1M)
- ・ LSI 化小型消費電力目標値
 - ①大きさ:10mm×10mm
 - ②消費電力:20mA 以下/トラッカー動作時

カルマンフィルタを利用した最適化アルゴリズム目標は以下の通りとする。

- ①測位可能な4衛星追尾時、1衛星が20秒信号受信不可能な場合でも位置測位を行う。
- ②トンネル内 定速度走行時等全衛星受信不可能な場合でも当推定アルゴリズムにより衛星追尾回路は衛星追尾を最小20秒行う。

1-2 研究体制

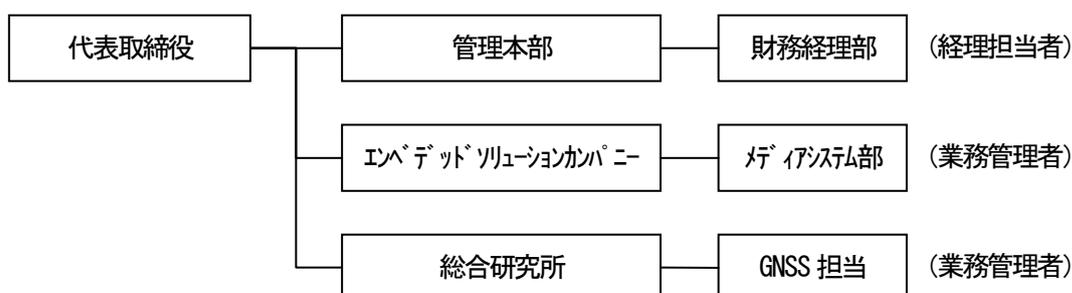
(1) 研究組織 (全体)



(2) 管理体制

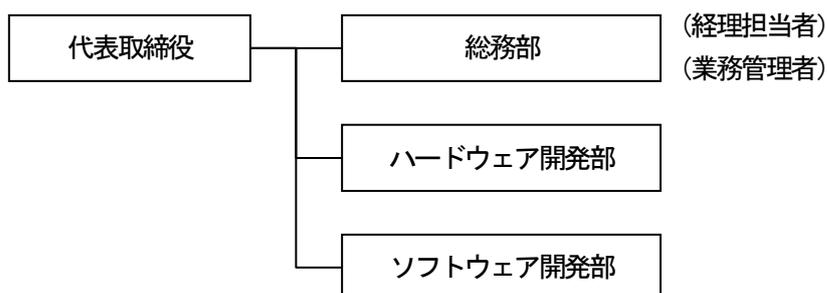
① 事業管理機関

[株式会社コア]



② 再委託先

[株式会社ナノテック]



(3) 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職
安田 明生	国立大学法人東京海洋大学 特認教授
高須 知二	国立大学法人東京海洋大学 産学官連携研究員
北條 晴正	国立大学法人東京海洋大学 客員教授
久保 信明	国立大学法人東京海洋大学 准教授

1-3 成果概要

下記表 1-1 に成果内容を示す。

表 1-1 成果内容

研究課題	研究目標	研究目標に対する研究達成度
		説明
1. GPS LSIの開発	①現行市場水準と比較するため、GPSの代表的なメーカーでのGPS-LSIと性能、目標値を比較しながら進める。	①準天頂衛星ありで測位性能が準天頂衛星なしに比べ改善されることを実証済み。 ②トータル性能向上実証のため都市部、郊外部、平野部で車により走行試験と歩行試験を行い性能評価を実施し他社製ICと比べて優位性を確認済み。
	②FPGA回路をLSI内の回路構成に適した回路設計に変更し省電力化、小型化を図る。	①FPGAのRTL回路をLSI化用RTLに修正済み。 ②回路修正による省電力設計は終了。
	③具体的LSI化	①LSI化のためのベースバンド部の機能設計、論理設計を行い、180nmプロセスで70.4mm ² で10mm×10mmに入ることを確認している。 ②具体的LSI化に至っていない。準天頂市場規模見極め段階。
	④本GPS-LSIを装着したGPS-ICモジュール基板を製作しLSIとしての性能評価を行う。	①LSI化したICの代わりにFPGAを使用してGPS-ICモジュールを製作。動作確認終了。
2. アンドロイド版GPSプラットフォーム装置開発	①持ち運びが可能で単独準天頂GPS測位が可能なタブレット型試作端末装置を開発する。	①アンドロイド版GPSプラットフォーム装置のハード製作は済み。
	②実際に街中の高層ビル街で取った位置軌跡情報及び付属的に感度、ノイズレベル、GPS衛星状況情報を表示させる。	①FPGA版でGPSモジュールのUSB I/Fを使用しPC上で位置軌跡情報及び付属的に感度、ノイズレベル、GPS衛星状況情報表示済み。
3. FPGAベースのGPS開発プラットフォームによるソフトウェアの性能向上継続	①最適化アルゴリズムを、カルマンフィルタを使用した競争力のあるアルゴリズムに進化させ独自性を出し知的財産化を図る	①数学的アルゴリズム開発は完了 ②PCシミュレーションで数学的理論検証済み。
	②上記①の成果をGPS LSIのファームソフトにフィードバックさせ性能向上を図る。	①アルゴリズムは実機に実装済み。 ②都市部、郊外部、平野部で車により走行試験と歩行試験を行い性能評価を実施し優位性を確認済み。
4. 数値目標	感度精度目標 ①アキュイジション感度 -147dbm ②トラッキング感度 -160dbm ③TTFF・コールドスタート 38sec ・ウォームスタート 36sec ・ホットスタート 1sec ④測位精度 メートル級 (1M)	達成値 ①アキュイジション感度 -146dbm ②トラッキング感度 -160dbm ③TTFF・コールドスタート 38sec ・ウォームスタート 36sec ・ホットスタート 1sec ④測位精度 メートル級 実績値2drms:80cmでメートル級達成
	最適化アルゴリズム数値目標 ①測位可能な4衛星追尾時、1衛星が20秒信号受信不可能な場合でも位置測位を行う。 ②定速度トンネル内走行時等全衛星受信不可能な場合でも当アルゴリズムにより衛星追尾回路は当推定アルゴリズムにより衛星追尾を最小20秒行う。	①PCシミュレーション上で検証済み。 ②GPS SGで試験検証済み。
	LSI化小型消費電力目標 ①大きさ: 10mm×10mm ②消費電力: 20mA以下/トラッカー動作時	①LSI化のためのベースバンド部の機能設計、論理設計を行い、180nmプロセスで70.4mm ² で10mm×10mmに入ることを確認済み。
3. プロジェクトの管理・運営	①事業化推進	(1)顧客開拓ショー出展 ①JAXA L1-C/A, L2C測位信号のアラートフラグ解除プレスリリース時本研究開発装置展示。 ②大阪: ETWESTショーで 本研究開発装置展示。 ③横浜: ET2011ショーで 本研究開発装置展示。 ④東京海洋大: GPS/GNSSシンポジウムで本研究開発装置展示。 (2)準天頂衛星初号機を用いた民間利用実証に関する利用実証に昭文社と共同参加中。
	①研究開発推進委員会	(1)研究開発推進委員会:東京海洋大学とは開発状況説明会を実施。 (2)学会発表:①GPS/GNSSシンポジウム2011で研究論文発表。 ②国際学会:第3回AOR-WSでポスター展示。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

会社名: 株式会社コア

所属: 総合研究所 GNSS担当

役職氏名: 副技師長 西出 隆広

住所: 神奈川県川崎市麻生区南黒川11番1号

電話: 044-989-5115

FAX: 044-989-4671

E-mail: nishide@core.co.jp

第2章 本論

2-1 GPS LSIの開発

2-1-1 LSIのシステム構成

LSI化に向けた作業を始めるにあたり、まずLSI化した際のシステム構成について検討した。市販のGPS受信機を参考にしながら、想定されるアプリケーション等を考慮した結果、最終的なLSIの構成を以下のように定めた。

- ①SDRAMはスタック構造（SIP）とし、CPU、ベースバンド部と合わせて1チップ化する。
- ②ROMはSPI Flashとして、モジュール上に実装する。
- ③RFやTCXOなどの周辺機能はチップ外に出し、全体をモジュール化する。

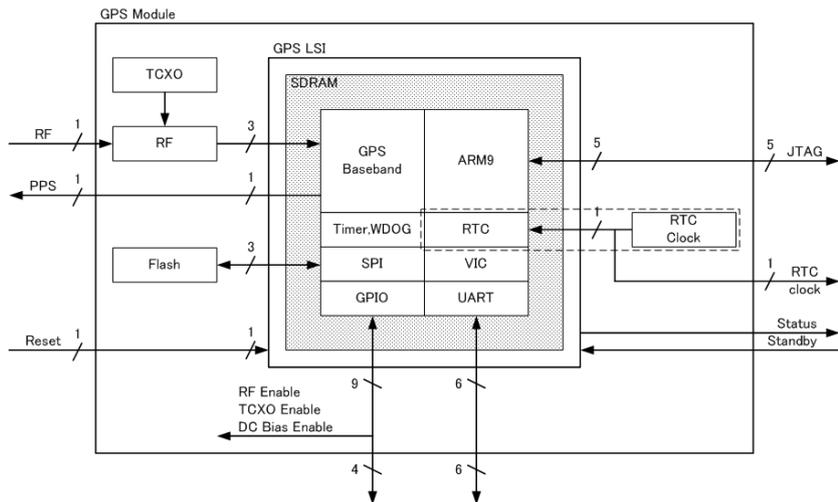


図2-1 システム構成図

下記に、この構成とした場合の、LSIのピンリストを以下に示す。

表2-1 LSIのピンリスト

Pin List Table

Block	Count
System	1
Power	4
RF Module I/F	3
1PPS Timer	1
Flash I/F (SPI)	3
UART1	2
UART2	2
UART3	2
GPIO	9
JTAG	5
RTC	2
TEST Mode	1
Debug	1
Total pin count	36

2-1-2 レイアウト設計

図2-2に一般的なLSIの開発工程を示す。
この流れに従い、ベースバンド部のレイアウト設計作業を行った。

以下にレイアウト設計内容を示す。

【設計情報】

プロセス : TSMC 180nm M4

ライブラリ : スタンダードセル : エイ・アイ・エル
高密度スタンダードセル

SRAM : エイ・アイ・エル TEG 用高密度 SRAM

【回路情報】

レイアウト面積 : $7,178.08\mu\text{m} \times 7172.48\mu\text{m} = 51,484,635 \mu\text{m}^2 = 51 \text{mm}^2$

SRAM 面積 : $14,816,000 \mu\text{m}^2 = 14.8 \text{mm}^2$

スタンダードセル面積 : $4,607,571 \mu\text{m}^2 = 4.6 \text{mm}^2$

セル配置可能領域に対する敷詰率 : 35%

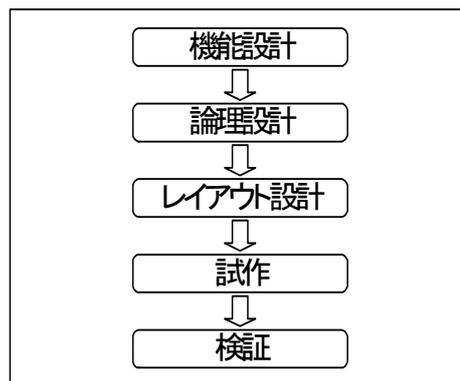


図2-2 一般的なLSIの開発工程

レイアウト結果を図2-3と図2-4に示す。

現状では敷詰率が35%程度であるが、その場合で回路面積はおよそ70mm²となっており、CPU等を含めても、目標としている10mm角に収めることは可能と考えている。

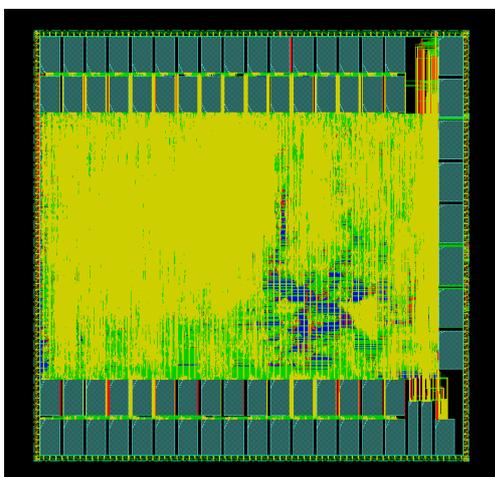


図2-3 レイアウト図

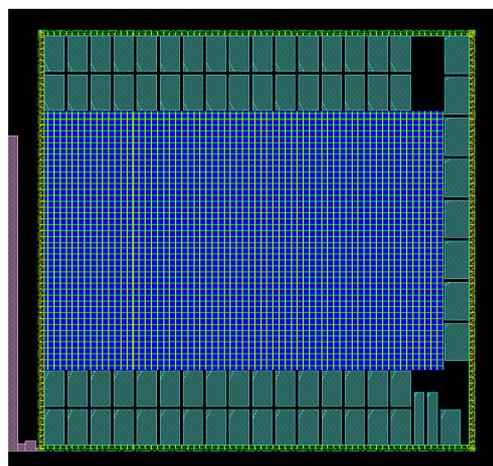


図2-4 電源配線のみのレイアウト図

2-2 FPGA版GPSモジュール

2-2-1 装置概要

これまでの開発成果を広めるため、持ち出しが容易なFPGA版のGPSモジュールを製作した。図2-5にモジュールの外観を、図2-6にモジュール内の基板の外観をそれぞれ示す。



図2-5 FPGA版GPSモジュール外観写真

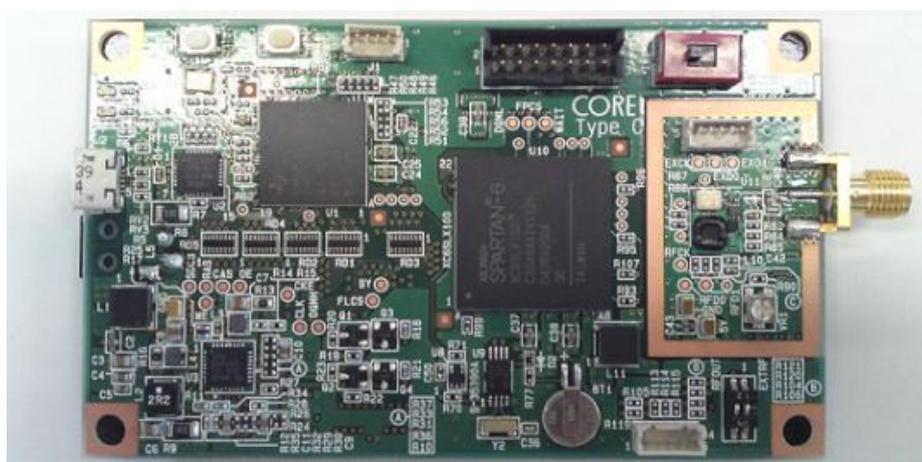


図2-6 FPGA基板外観写真

名刺サイズの基板にRF部、ベースバンドFPGA、CPU等を実装している。このモジュールをPCのUSBインターフェースに接続し、RF部のコネクタにGPSアンテナを接続して使用する。本モジュール上で衛星補足から測位計算まで行い、PCへはNMEAフォーマットに則った測位結果を出力する。モジュールの電源はUSBインターフェースから給電されるため、別途ACアダプタ等は不要である。

2-2-2 ハードウェア構成

図2-7に、ハードウェアのブロック図を示す。

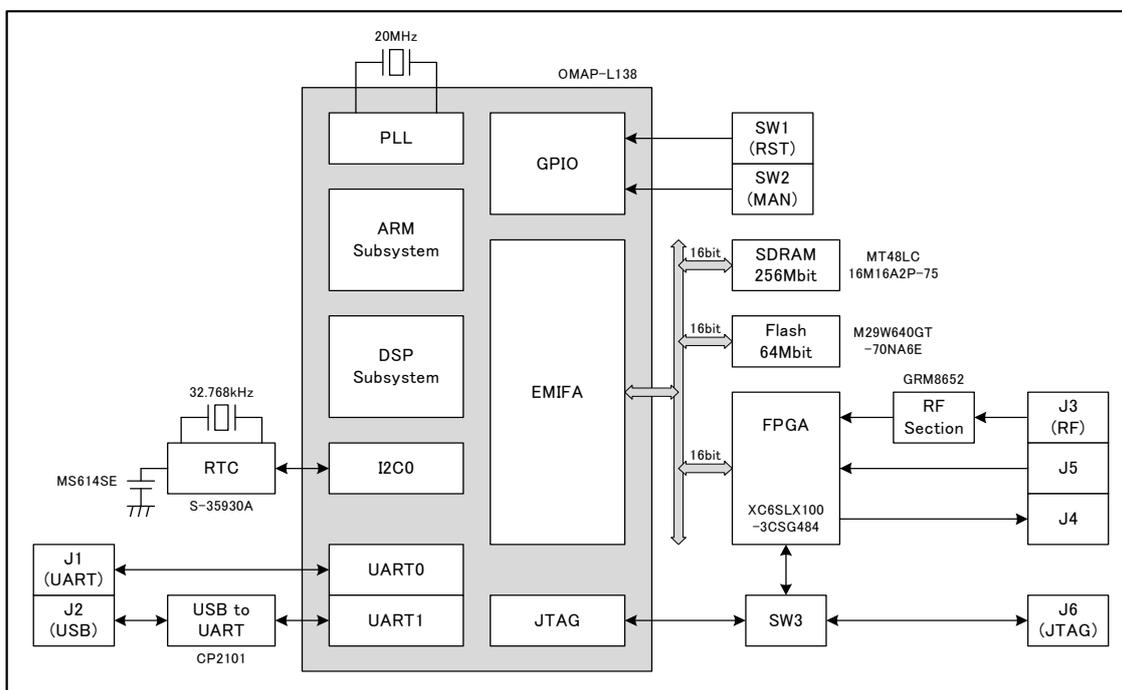


図2-7 ハードウェアブロック図

使いやすさを向上するために、以下の要件を念頭に置いて開発を行った。

- ①基板サイズを名刺サイズに抑える。
- ②USBからの給電で動作可能とする。
- ③RF回路を本基板上に実装する。
- ④CPU、FPGA周辺は出来るだけ変更せず、移植作業を最小限に抑える。

可搬性を高めるためRF部を本基板上に実装した上で、基板全体の小型化を図っている。また、PCのUSBインターフェースからの給電で動作するようにして、ACアダプタを不要とした。ノートブック型のパソコンに接続すれば、そのまま外に持ち出して評価に使うことができる。移植作業を最小限に抑えるため、CPU、FPGA周辺は従来基板と出来るだけ同じ構成にした。これによりソフトウェアの変更が不要となり、ハードウェア単体の動作確認が完了した後は、すぐに基板を動作させ評価に入ることができた。

2-3 アンドロイド版GPSプラットフォーム装置開発

アンドロイド版GPSプラットフォーム装置を前節で開発したFPGA版のGPSモジュール基板を使用し開発した。

アンドロイドOSを実装した制御ボードとFPGA版GPSモジュール基板及びバッテリーを、持ち運ぶ事を考慮して軽いアルミの小型ケースに全てを実装した。図2-8に装置外観を示す。



図2-8 装置外観

以下に本装置の特徴を纏める。

- ①CPUにCortexTM-A8 1GHz OSとしてAndroid 2.3 搭載のアンドロイド制御ボードを使用。
- ②GPS制御は QZS 対応小型FPGA 版GPS 受信基板を使用。
- ③持ち運びが可能で単独準天頂GPS測位が可能な様に バッテリーを搭載。
- ④表示は7インチ タッチパネル対応LCDを使用。

下記図2-9に、アンドロイド版GPSプラットフォーム装置ブロック図を、下記表2-2に、アンドロイド版GPSプラットフォーム装置仕様概要を示す。

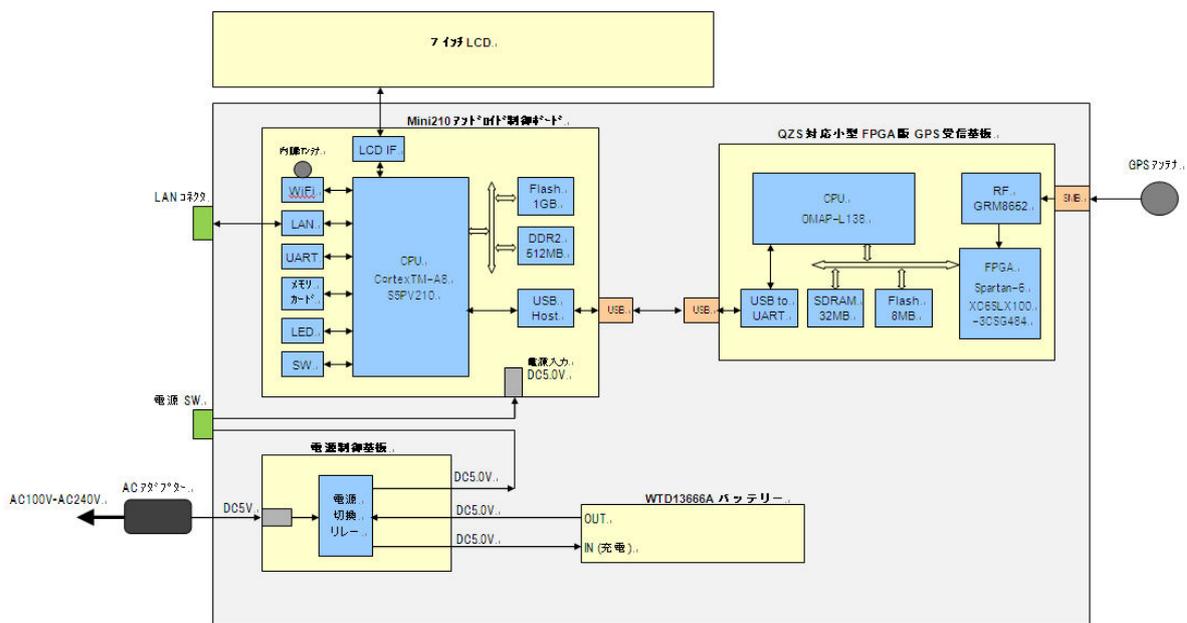


図2-9 アンドロイド版GPSプラットフォーム装置ブロック図

表2-2 アンドロイド版GPSプラットフォーム装置仕様概要

項目	機能	備考
入力電源	AC100V-AC240V 50/60Hz 消費電力10W Max	DC5V 1.6A
バッテリー	出力5V 動作時間 約2時間 (満充電時)	AC電源OFFで動作
装置外形寸法	W200mm x D140mm x H66mm	突起物含まず
重量	約1.3 kg	付属品除く

2-4 FPGAベースのGPS開発プラットフォームによるソフト処理の性能向上

2-4-1 測位アルゴリズムの改善

測位アルゴリズムとして拡張カルマンフィルタを採用したが、測位精度向上の為にはそれだけでは足りなく、観測値の精度向上と、正しく見積もられたその誤差分散値が必要であることがわかり、さらに既存の方式ではあまり良い測位結果が得られなかった為、トラッキンググループ内にもカルマンフィルタを導入した。

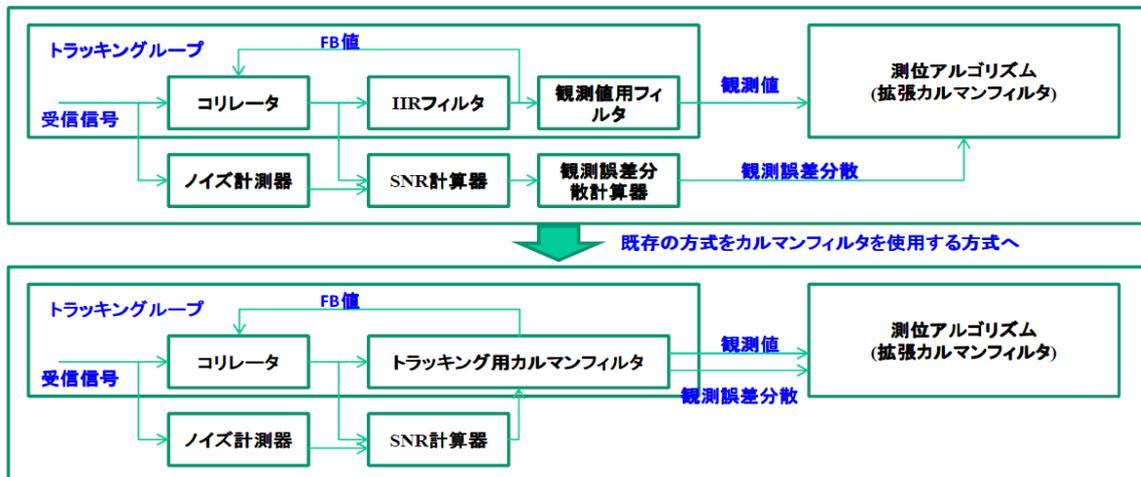
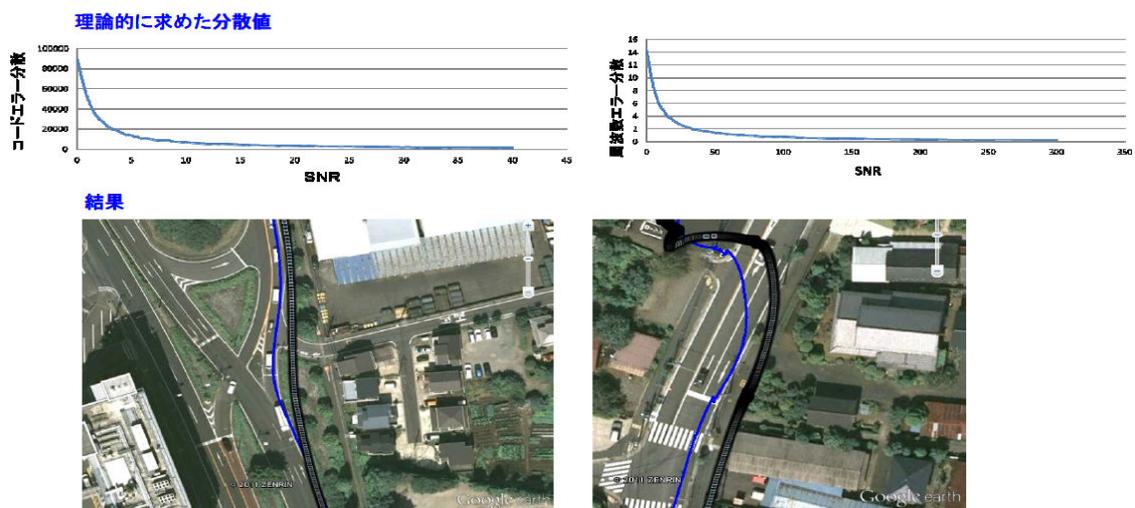


図2-10 トラッキンググループ内カルマンフィルタ採用

トラッキンググループ内のIIRフィルタをカルマンフィルタに置き換え、状態変数、推定誤差分散をそれぞれ観測値、観測誤差分散として測位アルゴリズムに渡し、状態変数を遷移させたものをループのフィードバック値とすることで、良好な観測値、観測誤差分散を得ることが出来るようになる。

2-4-2 観測値の精度向上 (PC シミュレーション)

トラッキンググループ内のIIRフィルタをカルマンフィルタに置き換え、状態変数、推定誤差分散をそれぞれ観測値、観測誤差分散として測位アルゴリズムに渡し、状態変数を遷移させたものをループのフィードバック値とすることで、良好な観測値、観測誤差分散を得ることが出来るようになる。



青色がカルマンフィルタを使用したトラッキングによる測位結果。
カルマンフィルタ使用前では道路上を走っていなかったが、周波数追従性が上がった為、道路上を走るようになった。

図2-11 トラッキンググループ内カルマンフィルタ採用PCシミュレーション

2-4-3 性能評価(PCシミュレーション)

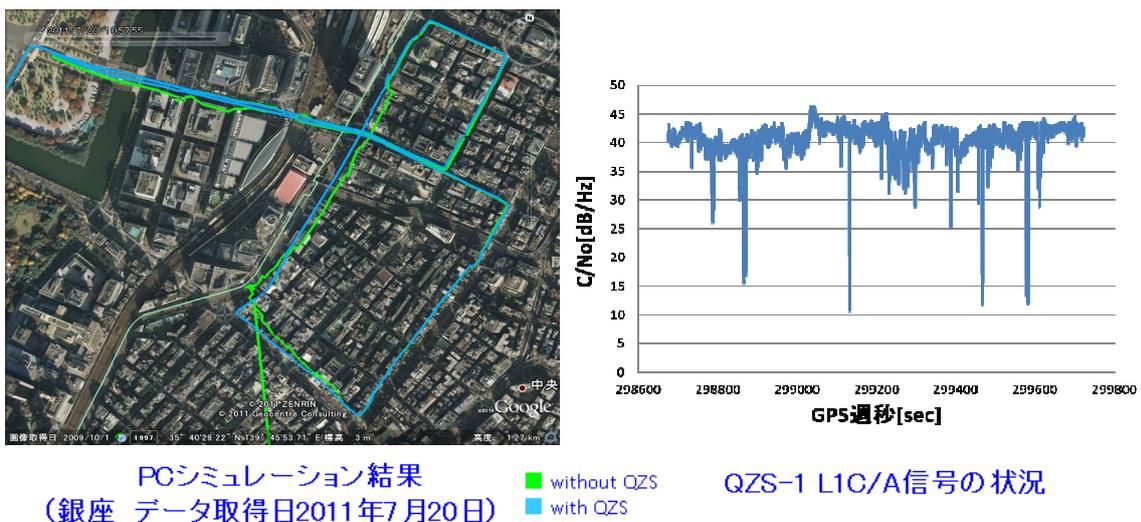
PCシミュレータ上で、トラッキング用カルマンフィルタと測位用カルマンフィルタの性能評価を行った。リファレンス受信機である他社GPS受信機の測位結果との比較を行った。トラッキング用カルマンフィルタにより、周波数追従特性が向上したため、信号待ち(移動状態から静止状態への遷移)での測位結果が安定した。また独自のマルチパス判定方法により、ビル周辺での測位が安定した。



観測値の精度向上(PCシミュレーション)

2-4-4 準天頂衛星の測位性能向上(PCシミュレーション)

PCシミュレータ上で、準天頂衛星を利用した時としない時の比較を行った。試験は高層ビルが建ち並び、マルチパスや衛星信号が受信しづらい環境である銀座で行った。準天頂衛星はデータ取得時には天頂(仰角90度)付近に位置しており、C/N0も40[dB/Hz]程度で安定している。そのため常に測位に利用できる状態であったため、測位精度が向上した。準天頂衛星のGPS補完能力の有効性を示す結果が得られた。



準天頂衛星の測位性能向上(PCシミュレーション)

2-4-5 受信機のシステム概要図

準天頂衛星受信機の機能のうち、受信信号のベースバンド処理に関わる部分をFPGAで実装している。主な機能は、衛星信号の捕捉および追尾を行うことであり、追尾している衛星のコード位相、周波数オフセット、SNR等をソフトウェアに出力する。

本研究で開発した準天頂衛星受信機のシステム概要を図2-14に示す。

準天頂衛星受信機は、RFとのインターフェースであるフロントエンド、衛星の初期値を検索するSearch Engine、衛星追尾を行う複数のTracker Channel、ノイズ計測器、航法メッセージデコーダ、測位ロジックによって構成される。

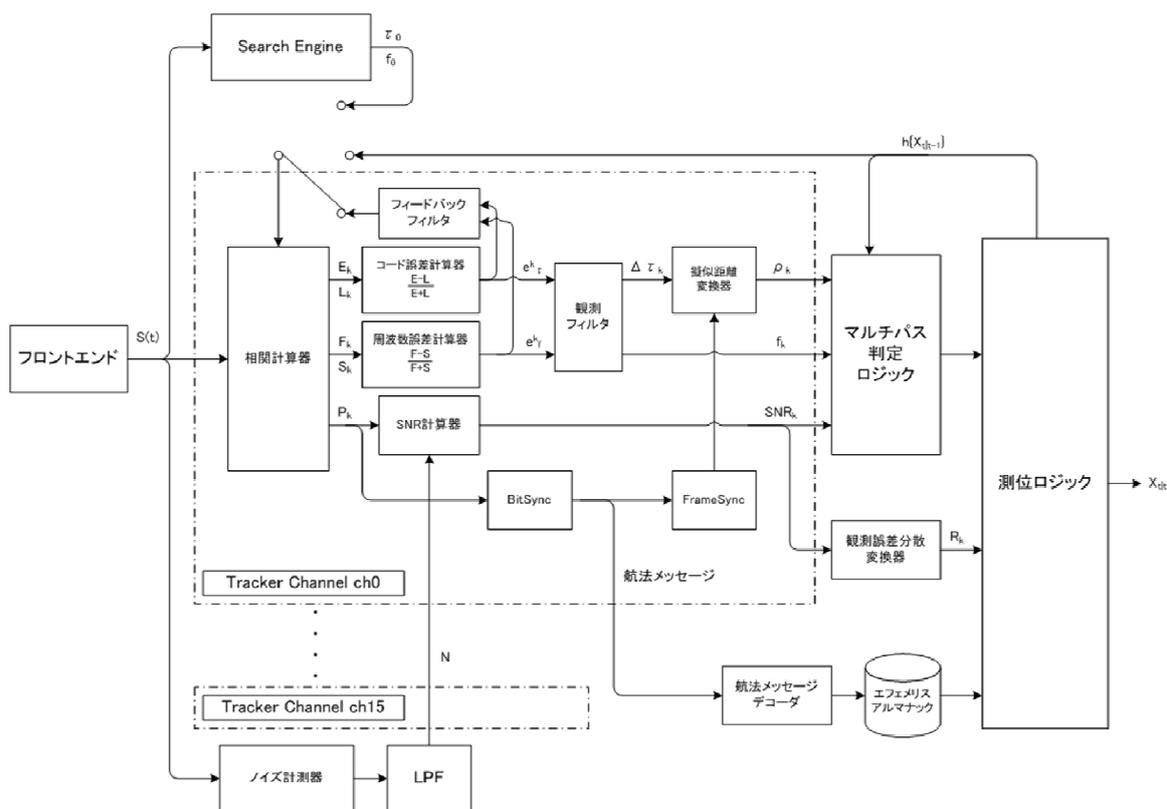


図2-14 準天頂衛星受信機のシステム概要図

本研究開発では、拡張カルマンフィルタを使って測位を行う。従来の最小二乗法を使った測位方法では過去の観測データを反映していないため、観測値もしくは測位計算結果にフィルタをかけることになるが、単純なIIRフィルタなどでは良い結果が得られない。

本研究開発で採用した拡張カルマンフィルタを測位に使用した場合、各Tracker Channelの観測値に対して適切な観測誤差分散を入力し、過去データを利用することで、最適なノイズ除去フィルタになる。

2-5 GPS開発プラットフォームによる実機評価

2-5-1 ファームウェア構成

ファームウェアは、以下の図2-15及び表2-3に示す構成とした。
位置測位を受け持つ「PVT」と信号追尾を受け持つ「Track」の両タスクにカルマンフィルタを実装した。
L1-SAIFの信号解析は航法データ解析を受け持つ「NavMsg」を実装した。

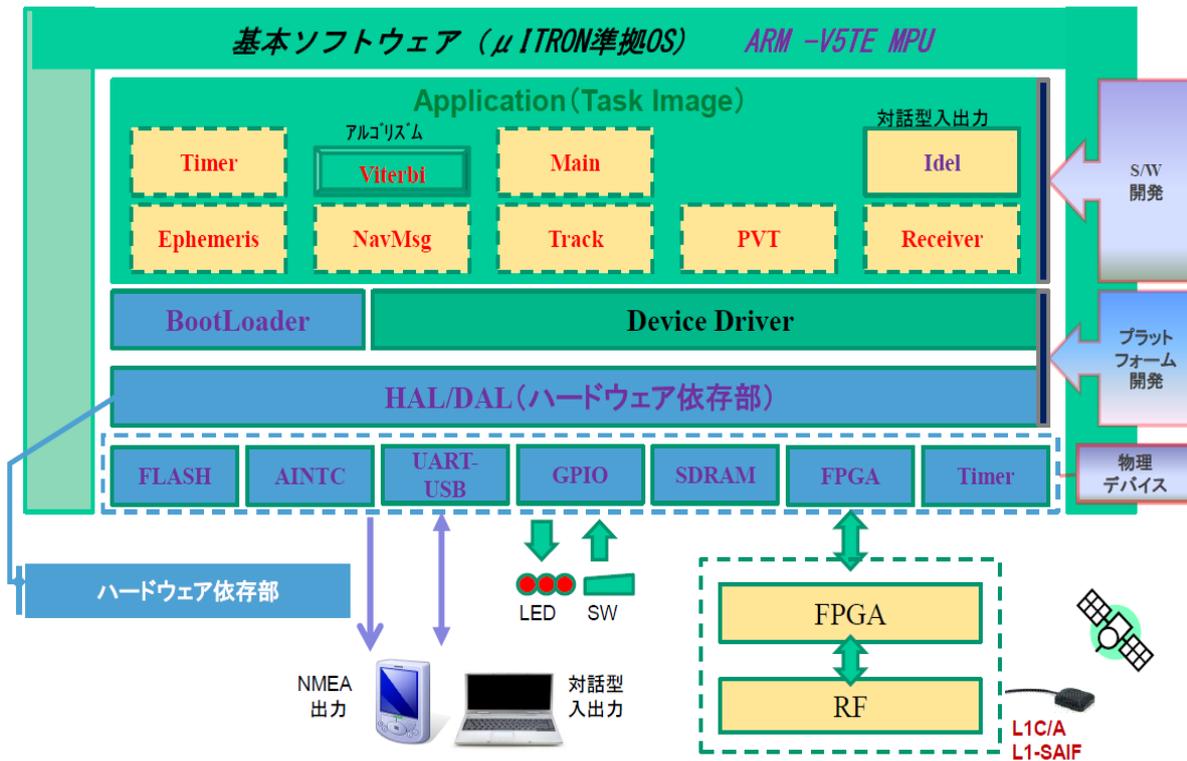


図2-15 ファームウェア構成図

表2-3 主要タスク

タスク名	概要説明
Main	メイン
Timer	タイマー
Idol	アイドル
Receiver	信号の補足
Track	信号の追尾
NavMsg	航法メッセージのフレーム同期
Ephemeris	航法メッセージのデコード
PVT	測位計算

2-5-2 トラッキング感度

トラッキング感度の検証をシグナルジェネレータを使って行った。
 トラッキング中の衛星信号を目標感度の-160[dBm]まで落として、トラッキングが継続できているか検証した。

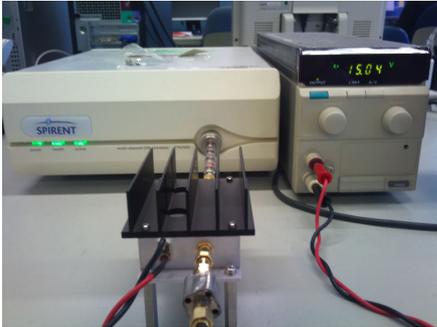


図2-16 シグナルジェネレータ

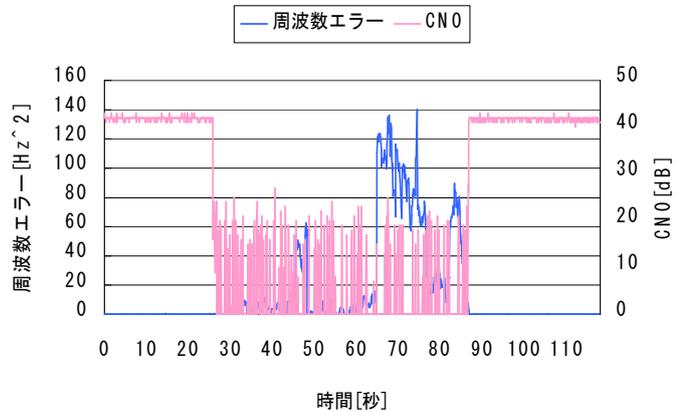


図2-17 トラッキング感度の検証

図2-17の赤線は受信信号レベルで、目標感度の-160[dBm]は、C/N0の12[dB]に相当する。青線はトラッキング状況の目安になる値で、トラッキングが継続されていなければ値が増大し続けてしまう筈である。目標感度まで信号強度を下げてても周波数エラーが増大し続けておらず、再び信号を上げると受信レベルが元に戻る事から、期待通りトラッキングが継続していることが確認できる。

2-5-3 最適化アルゴリズム検証①

測位ロジックに実装された拡張カルマンフィルタの効果に関する検証を、シグナルジェネレータを使って行った。
 測位可能な4衛星追尾時、1衛星が20秒間信号受信不可能な場合でも測位を継続することが目標である。

図2-18の青点は4衛星時の測位結果で、赤点が3衛星時の測位結果である。1衛星を信号受信不可能にして3衛星の状態にしても、測位の継続ができていた事を確認できる。

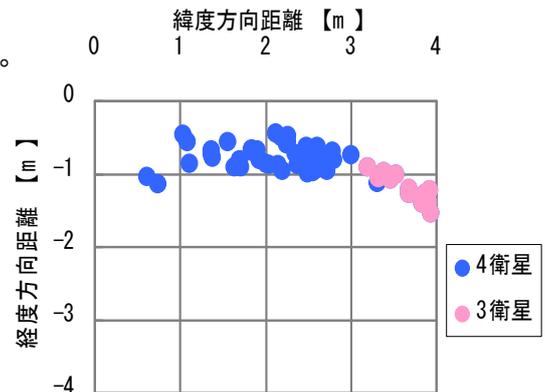


図2-18 測位継続効果

2-5-4 最適化アルゴリズム検証②

信号追尾ロジックに実装されたトラッカー用カルマンフィルタの効果に関する検証をシグナルジェネレータを使って行った。トンネル等衛星受信不可能な場合でも、推定アルゴリズムにより衛星追尾を最小 20 秒間行うことが目標である。

図 2-19 の赤線は信号強度、青線はトラッキング状況の目安になる周波数エラー値で、エラー値はトラッキングが外れると値が増大し続ける。20 秒間信号をオフにしたのち再び信号を上げると、周波数エラーが元に戻る事から衛星追尾が継続できていることが確認できる。

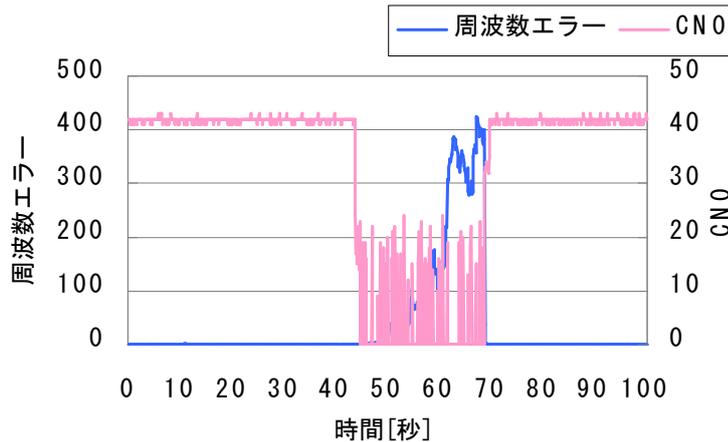


図 2-19 トラッカー用カルマンフィルタの効果

2-5-5 L1-SAIF 受信

L1-SAIF 信号による補強機能の確認を、弊社屋上で指向性アンテナを利用して行った。検証は、2011 年 10 月 14 日(金) 14 時 45 分頃に行ない、高速補正 (クロック補正)、長期補正 (衛星座標の補正)、電離層補正が放送されていることを確認して行なった。

2D-RMS としての測定結果は、L1-SAIF なし 1.62[m] L1-SAIF あり 0.79[m] でありバラツキが半分改善されていることを確認した。

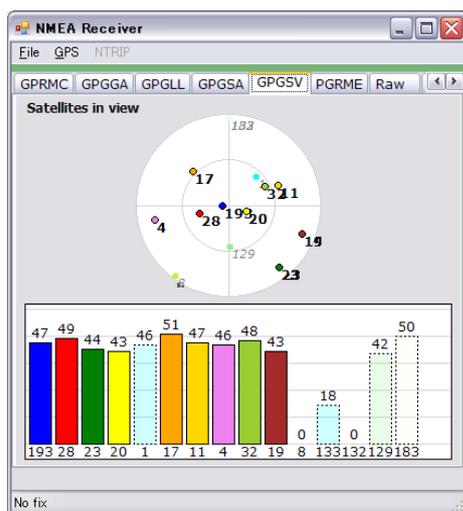


図 2-20 測定時の衛星配置

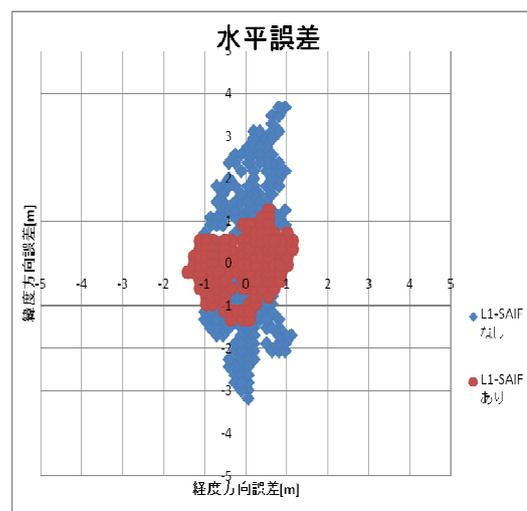


図 2-21 L1-SAIF 補強の効果

2-5-6 歩行試験（鎌倉）

観光地である鎌倉でフィールド試験を実施した。

試験は観光客を想定して歩行で行い、比較のため他社 GPS でも同時に測位を行った。

試験コースには片側1車線の通り、細い路地や神社などを通るルートを選んだ。

なお、本開発 GPS の測位には準天頂衛星（L1-C/A、L1-SAIF 共に）を利用している。



図2-22 歩行試験（鎌倉）の結果

実績の高い他社製品に匹敵する移動軌跡を得られることが目標である。

位置測位の結果はコース全般に渡って両 GPS とも道路に沿った軌跡をたどった。

下の図2-23の地図は他社製品と結果に違いがあった部分を選んで拡大したものである。

上側のルートは細い路地で、下側のルートは片側1車線の車道である。

共に青線の弊社 GPS 軌跡の方が、赤線の他社軌跡に比べて歩道に沿った結果を得られた。



図2-23 歩行試験（鎌倉）の拡大図

2-5-7 マルチパス軽減アルゴリズムの検証

本開発 GPS 受信機では従来から周波数推定誤差を利用したマルチパス検出を行っているが、これは走行中に効果を発揮するもので、信号待ちなどで停止している場合は効果が期待できない。そのため、停止時のマルチパスを対処するマルチパス軽減アルゴリズムを実装した。

下はマルチパスが多い銀座コースで、軽減アルゴリズムの有効時と無効時の測位結果を重ねたものである。中央の交差点や南側の2箇所の左折では、いずれも信号待ちによる停止があり、軽減アルゴリズム無効での測位が大きく乱れているのに対し、有効時はマルチパスの影響が軽減され乱れない測位が行えている。



図2-24 マルチパス軽減アルゴリズムの効果

2-5-8 走行試験（新宿）

日本一高層ビルが密集している新宿においても、車走行でフィールド試験を実施した。

コースは都庁などの超高層ビルが特に集中している西口を選んだ。比較として他社GPSと本開発GPS受信機で準天頂衛星あり/なしの測位を行った。

両GPS共にマルチパスの多い中でも大きな乱れは出さずに道路に沿った軌跡を得られている。



図2-25 走行試験（新宿）の結果

2-5-9 GPS アプリケーション

測位状況をリアルタイムに確認することを目標にGPSアプリケーションを開発した。

受信機からNMEAデータを受け取り、測位結果や信号受信状況を画面に表示する。図2-26で示すように画面上で衛星配置と信号受信レベルを表示している。

また測位位置を地図上にプロットし移動軌跡を表示することができる。複数起動すれば別の受信機の測位状況とリアルタイムに比較が可能になる。

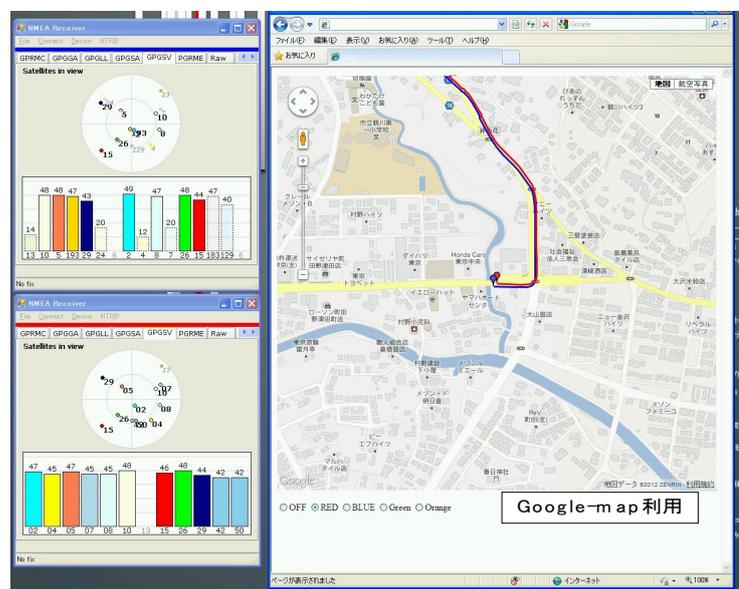


図2-26 GPS アプリケーション画面
(左：衛星配置と信号レベル、右：測位軌跡)

2-6 プロジェクト管理運営

2-6-1 展示会ショー出展

(1) 展示会ショー出展発表

下記表2-4に、2011年度に本研究開発装置を出展した展示会ショーの内容を示す。

展示会ショー出展により、現在、大学：5大学 国：2機関 民間：10社 出版：1社より本研究開発のデモ、装置購入及び貸与の打診を頂いている。

大学、国関連は、主に準天頂L1-SAIF信号の生データ取得を希望している。

民間は、デモ希望が多く準天頂受信による利用差別化を考えている。

表2-4 展示会ショー出展発表内容

展示会名	主催	期間	開催場所	展示内容
アラート解除プレスリリース	JAXA	平成23年6月22日	JAXA東京事務所	①準天頂対応FPGAプラットフォーム装置 ②PCによる走行軌跡デモ
ETWest2011	組込みシステム技術協会	平成23年6月16日～17日	インテックス大阪	①準天頂対応FPGAプラットフォーム装置 ②PCによる走行軌跡デモ
ET2011	組込みシステム技術協会	平成23年11月16日～18日	パシフィコ横浜	①FPGA版GPSモジュール(USB対応) ②PCによる走行軌跡デモ
GPS/GNSS シンポジウム 2011出展	測位航法学会	平成23年10月26日～28日	東京海洋大学	①FPGA版GPSモジュール(USB対応) ②PCによる走行軌跡デモ

下記図2-27に、展示会ショー展示内容を写真で示す。



■GPS/GNSSシンポジウム



■ETWest2011



■ET2011

図2-27 展示会ショー展示内容

2-6-2 学会開発内容発表

(1) 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム 2011

2011年10月26日から10月27日に開かれた測位航法学会主催のGPS/GNSS シンポジウム 2011において、下記研究論文2件を提出し、論文発表を1件、研究成果発表を1件行った。

5.3 車載用 QZS 受信機の開発

末武雅之 (株式会社コア) suetake@core.co.jp
近藤徹 (株式会社ナノテック) t.kondo@ntec.co.jp

5.3.1 はじめに
平成22年9月11日に打ち上げられた準天頂衛星(QZS: Quasi-Zenith Satellite)初号機「みちびき」(QZS-1)は平成23年6月22日にL1C/A及びL2C信号のアートフラグが解除され、平成23年7月14日にはL5信号及びL1C信号のアートフラグが解除され、全ての補完信号が利用可能な状態となった。

補完信号であるL1-SAIF (Submeter-class Augmentation with Integrity Function)信号についても専門機関で検証が進められている。これらのQZSの補完及び補強信号を受信することが出来れば、都市部での測位率の向上や、測位精度の向上と言った、受信機の性能向上が期待できる。受信機の性能向上は、サービス利用者にとって非常に有益であり、今後ますます増加すると予想される測位サービスの向上に繋がる。

よって社会インフラの整備という観点から見ても意義のあることである。

このような観点から、株式会社コア総合研究所で開発したFPGAプラットフォーム上でGPS補完信号であるL1C/A信号、およびGPS補強信号であるL1-SAIFを受信することができる車載向けQZS受信機の開発を行った。

5.3.4節でQZS受信機の概要について説明し、5.3.5節から5.3.8節まで各機能の設計概要について説明する。

5.3.9節で動作検証方法の説明を行う。最後の5.3.10節で結論を述べる。

5.3.2 QZS概要

IS-QZSS/1において「QZSSおよびQZS信号は、米国GPSをはじめとする他の衛星測位システムとの共存性に配慮し、米国GPSとの相互運用性を最大化するように開発されたものである」と明言されているように、QZSSはGPS衛星の補完と補強の2つのサービスを柱としている。

QZSSは図1のような軌道で周回することで、図2のような非対称8の字の地上軌跡を形成し、3

機体制であれば日本の天頂付近に1機以上が可視状態になるように設計されている。

都市部および山間部では仰角の低い衛星は高層ビルや山などの構造物によって信号が遮断されるか反射波の影響を受けることになるが、仰角60度以上に位置するQZSではそれらの影響を受けにくい。

そのため都市部および山間部での可視衛星数の向上と反射波の影響を最小限にすることが期待できる。これをGPS補完サービスと位置づけている。

また、QZSはSBASメッセージと完全な上位互換性を持つSAIFメッセージを放送する機能を有する。

SAIFメッセージは日本国全域限定ではあるが、高精度の測距補正情報の提供による高精度化、GPS衛星のヘルス情報の通知、故障判定による高信頼性およびGPS衛星補強支援情報の放送を行い、利用者の利便性を高める事へ寄与する。これをGPS補強サービスと位置づけている。よって、これらの信号を使って利用者の利便性を向上させることは社会的にも非常に意義のあることである。

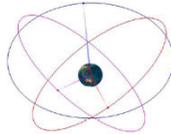


図1: QZSS衛星軌道/1

図2-28 論文内容表紙

「みちびき」利用による測位環境の改善

Improvement of the Navigation Environment Using QZS-1
末武雅之¹ 土井直樹¹ 藤田雄¹ 最上公典¹ 近藤徹¹
Masayuki Suetake¹ Satoshi Doi¹ Ryo Kawakura¹ Masahito Mogamaya¹ Tomi Kendo¹
今村祐輔¹ 宮本翔¹ 西出隆広¹
Yusuke Imamura¹ Sho Miyamoto¹ Takahiro Nishide¹
¹株式会社コア総合研究所 ²株式会社ナノテック
¹CORE Research & Development Institute ²NANOTEC Co., Ltd.

1. まえがき

「みちびき」(QZS-1)のL1C/A, L2Cのアートフラグが平成23年6月22日に解除された。

7月14日にはL5, L1Cのアートフラグが解除され、補完サービスが全面的に使用可能となった。

本報告では、QZS-1のL1C/A信号受信による都市部における測位環境の改善の検証及び、L1-SAIF信号により送信されるSAIFメッセージのデコード機能の検証を実施するを行った。

検証は株式会社コア総合研究所で開発中のFPGAプラットフォーム(実機)、およびPCシミュレータ上で実施した。

2. 概要

QZSSは非対称8の字地上軌跡を形成し、日本の天頂付近に1機以上が可視状態になるように設計されている。都市部では仰角の低い衛星は高層建築物に信号が遮断されてしまうが、仰角60度以上に位置するQZSSはその影響を受けにくい。よって都市部での可視衛星数の向上が期待できる。

実機写真を図1に示す。実機は①RF、②GPSベースバンド(FPGA)、③測距及び制御用プロセッサ(ARM)によって構成される。

PCシミュレータではRFのA/D(2bit, 16Mサンプル)データを一旦PC上に記録し、その後サージ、トラックキング、測位処理を行う。

3. 検証

都市部での測位環境の検証モデルは銀座周辺とし、実機による検証と、シミュレーション用データ取得を同時に行った。

SAIFメッセージのデコード機能は弊社屋上に設置したアンテナで検証した。

4. まとめ

QZS-1のL1C/A信号のC/N0は図2に示すように、平均して35[dBHz]程度で受信出来ている。よって可視衛星数が1つ増えることになる。これにより図3に示すように測位の位置精度が改善された。以上のことから補完信号による都市部での測位環境改善を確認出来た。

SAIFメッセージ(SBAS互換)のデコードが出来ることが確認した。

現在 SAIF メッセージによる高精度補正の検証作業を行っている。



図1:FPGAプラットフォーム

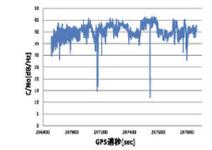


図2:QZS-1 C/N0 (銀座周辺)



図3:測位軌跡 (銀座周辺)

図2-29 研究成果発表用予稿内容

(2) 国際学会 第3回AOR-WS ポスター展示

2011年11月1日から11月3日に韓国濟州島で開かれたThe Third Asia Oceania Regional Workshop on GNSS (第3回AOR-WS)において、下記図2-30のポスター展示を行った。

High Accuracy GPS+QZS Positioning Solution

~GPS+QZS IP solution on FPGA Platform~

Our Company Develops the GPS+QZS receiver and Provides the "GPS-IP" to Customer

■ The Features and Advantage of the our GPS-QP

- The L1C/A signal of GPS and QZS is recoverable.
- Positioning accuracy improves from 10-meter class to 1 to 3 meter class by using the L1-SAIF message.
- Positioning accuracy has been improved by using the Original Positioning Algorithm.

■ Specification	
Message	NMEA0183, Original
Serial	RS485
Advance	①RF, ②GPS Baseband, ③SAIF
Sensitivity	Acquisition: -145dBm Tracking: -130dBm
Time To First Fix	Cold: 35Sec Warm: 20Sec Hot: 10Sec
Auto Acquisition	①QZS

■ Without Road test (vs other receiver)

■ Road test at Fukuoka

■ Road test at Aramori Tokyo station

■ GPS-QZS receiver Evaluation Kit (R08 ver)

GPS-QZS FPGA Receiver developed by CORE. This receiver consists of RF, Base band FPGA and Positioning Processor (ARM). Evaluation Kit is connected to PC via USB.

■ Result of L1-SAIF Evaluation

Horizontal Error

■ Summary

- Positioning accuracy (3D-RMS) is improved from 1.6 [m] to 0.8 [m] by using L1-SAIF message.
- QZS improved the performance of positioning ability compare to not using QZS.
- QZS has advantage to increase the number of satellites.

contact us
Sales e-mail: st_wender@core.co.jp
TEL: +81-03-3799-5111
Tech TEL: +81-044-989-5144
http://www.core.co.jp/products/sem/bdd/index.html

図2-30 ポスター展示内容

22

第3章 全体統括

3-1 本研究開発の総括

本研究開発の総括を、下記に纏める。

(1) 本研究開発の研究達成度

- ①当初の数値目標でL1-SAIF 受信による1m級の測位精度及び感度精度目標は達成できた。
- ②静的な実力に加え、都市部、郊外部、平野部で車による走行試験と歩行試験を行い動的な環境において競争力のある独自アルゴリズムを実機上で動作させる実証実験を行った。結果として、郊外部、平野部では海外GPS メーカーと比べてもその優位性を実証できるレベルになっている。
- ③本格的なLSI 化に関しては、当初予定の10mm×10mmには入ることを確認できたが、国内及び海外企業は、現状準天頂市場規模見極め段階であるためIC化コストの回収リスクの解決ができないのでまだ時間を要すると考えている。
- ④FPGA 版のGPS モジュール及びアンドロイド版GPS プラットフォーム装置は開発できたので、それを使用しデモ実施、顧客開拓普及営業活動を行っている。

(2) 研究開発推進委員会と論文発表

①研究開発推進委員会

東京海洋大学とは、定期的に本研究開発状況を報告し、準天頂衛星からの試験電波発生状況等のアドバイス及び準天頂衛星を使用した時刻同期GPSへの応用展開等の情報交換を行った。この中で、本研究開発内容をGPS/GNSS シンポジウムで発表するための御指導を頂き、国際学会である第3回AOR-WSでのポスター展示の御協力を頂いた。

(3) ショー出展、顧客開拓

- ①今年度は、学会発表、ショー展示により準天頂受信装置開発業者の1社として認知された年となった。現在特に準天頂衛星の基礎実験と測位精度向上を期待した応用アプリ実証実験用に本研究開発の受信機を使用したいと言う要望が上がってきているので期待に答えたい。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

準天頂衛星システムは、現状衛星1機で実証試験中であるため、事業化がいつできるか決めるのは時局に鑑みてまだ時間を要する。しかし現在本研究開発の受信機の認知度も上がって来ているので、下記項目を着実に実行し事業化へ導く。

- ①学会論文発表により、本研究開発の知名度が上がり、ショー出展により主に研究機関から本研究開発の受信機の利用引合いが来ているので、本開発受信機を提供し使用してもらい準天頂衛星のメリット及び本開発受信機の優位性を理解してもらおう。
- ②民間川下企業へのプレゼン及びデモ実施は今までと同じように継続的に行い、研究受信機の特徴及び応用アプリ（セキュリティサービス、各種車両の運行管理、観光案内、廃棄物管理等）を提案し市場拡大へ導く。
- ③本研究開発の成果である準天頂対応GPS-IC用の回路及びソフト資産はすべてスクラッチから開発しているため、IP販売、IPロイヤリティ販売のビジネスモデルも可能であるのでIP販売による事業化も狙う。
- ④学会発表ショー出展により受信機の引合いが出てきているので引合い機関に受信機を供給し使用してもらい準天頂衛星のメリット及び本開発受信機の優位性を示し事業化への足掛かりにする。
- ⑤学会で研究内容を論文として発表を行う。独自性を見極め、知的財産化を今後狙う。
また、継続して学会発表も続ける予定である。

付録 専門用語説明

準天頂衛星	日本付近で常に天頂方向に1機の衛星が見えるように複数の衛星を準天頂軌道に配置した衛星システムであり、山間地、ビル陰等に影響されず、全国をほぼ100%カバーする高精度の測位サービスの提供を実現可能とする。2010年9月11日に準天頂衛星初号機みちびきが打ち上げられた。
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System: 準天頂衛星システム。
QZS	Quasi-Zenith Satellite: 準天頂衛星
L1-SAIF	準天頂衛星からの信号で旧来のGPS L1周波数により、L1 C/Aと同様の変調方式で放送。 GPSと同一のアンテナ・受信回路で受信できる。 補強情報を放送して、測位精度・インテグリティを改善するために使用する。
L1 C/A	GPS衛星はたくさんの種類の信号を送信している、一般的民生用受信機が使っているのは、L1C/A信号と呼ばれるものである。
アキュイジション感度	GPS衛星を初期状態からその周波数に同調し衛星を補足するために必要なGPS信号強度。
トラッキング感度	衛星を掴んだ後追尾可能なGPS信号強度。
TTF	Time to first fix: 初期位置算出時間。初期状態からGPS衛星を補足しGPSの測位ができるまでの時間。
FPGA	Field-Programmable Gate Array: ハードウェアでありながらソフトウェアのように書き換え修正ができる再構成可能な論理デバイス。 専用ハードウェア(ASIC: Application Specific IC)より動作は遅いが、ソフトウェア(プロセッサやDSPで動作する)より高速に動作する。 また、FPGA上にあるメモリを書き換えることで動作内容を変更することができる。
NMEAデータ	National Marine Electronics Associationの略。データ転送の標準フォーマットで、GPS受信機の出力するメッセージを定義するもの。 時刻・緯度・経度・高さ・使用した衛星数・DOP・ステータス・補正情報のエイジなどがデータ内に含まれる。
WAAS	静止衛星(インテルサット・インマルサット・MSAS(日本の通信衛星))等の総称。
航法メッセージ	GPS人工衛星から常時送られている測位に必要なデータ。 アルマナック、軌道情報、時計の補正值、電離層補正データ、ヘルスデータ等からなる。1,500ビットのデータ25組からなり、軌道情報だけを取得するのに30秒、全データを受信するのに12.5分かかる。
SBAS	satellite-based augmentation system: 静止衛星型衛星航法補強システム。 静止衛星を使って航空機向けにGPSの誤差を補正する信号を送出する。 地上の電子基準点で計測したGPSの測位誤差情報を基にしている。
カルマンフィルタ	離散的な誤差のある観測から、時々刻々と時間変化する量を推定するために用いられる。無限インパルス応答フィルタの一種。
アンドロイド	アンドロイド(Android)とは、スマートフォンやタブレットPCなどの携帯情報端末を主なターゲットとして開発された、モバイル向けの基本ソフトウェアOSである。
マルチパス	電波が建物や地形などの障害によって反射・回折し、端末が複数の経路から同じ電波を受信してしまうこと。