

W-CDMA 技術の開発

The development of the W-CDMA technology

野原 学, 児玉 泰輝, 鈴木 康悟, 塩田 岳彦

Manabu Nohara, Yasuteru Kodama, Yasunori Suzuki, Takehiko Shioda

要 旨 次世代携帯電話の通信方式の一つである W-CDMA 技術の開発を行った。変復調性能に関してシミュレーション値とハードウェア実測値との比較を行った。その結果, シミュレーション値と実測値が一致し, ハードウェアの性能を確認した。また W-CDMA の応用技術である OTDOA 方式による位置検出システムの開発を行った。その結果, 位置検出精度は理論的には $\pm 6.6\text{m}$ 以内の誤差範囲であることが判明した。

Summary We have developed the W-CDMA technology used in the communication method of the next generation mobile telephone. Comparison between the simulation value after the modulation / demodulation and the actual measurement value using the hardware has been done. As a result, the actual measurement value corresponded sufficiently to the simulation value. Also, we have developed the location technology using the OTDOA positioning method, which is the application technology of the W-CDMA. As for the position preciseness, it has been theoretically proved that it has an error range within $\pm 6.6\text{m}$.

キーワード : IMT-2000, W-CDMA, OTDOA, スペクトラム拡散, Roll-off Filter, タイミングリカバリー, マッチドフィルタ, ロングコードサーチ, DLL, キャリアリカバリー, AFC, RAKE

1. まえがき

近年における携帯電話の普及率の増加には目を見張るものがある。また携帯電話における位置情報サービスも盛んになって来ている。今回, 筆者らは次世代携帯電話 IMT-2000 の通信方式の一つである W-CDMA 変復調技術の開発を行った。また, その応用技術である位置検出技術 OTDOA (Observed Time Difference of Arrival) 方式による位置検出システムの開発を行った。ここでは W-CDMA 変復調技術, OTDOA 方式, 試作機について述べる。

変調技術については, スペクトラム拡散, Roll-

off Filter, 復調技術については, タイミングリカバリーに使用されるマッチドフィルタ, ロングコードサーチ, 時間タイミング追尾機能である DLL (Delay Locked Loop), キャリアリカバリー機能である AFC (Automatic Frequency Control), 位相補償に使用するパイロット内挿同期検波チャネル推定, マルチパスを利用し, 受信性能を向上させる RAKE 合成, そして総合評価としてのエラーレートについて述べる。また OTDOA 方式による位置検出技術については, OTDOA 方式の原理, 位置測位理論方程式の導出, 理論シミュレーションによる位置精度の検討, および試作機の開発について述べる。

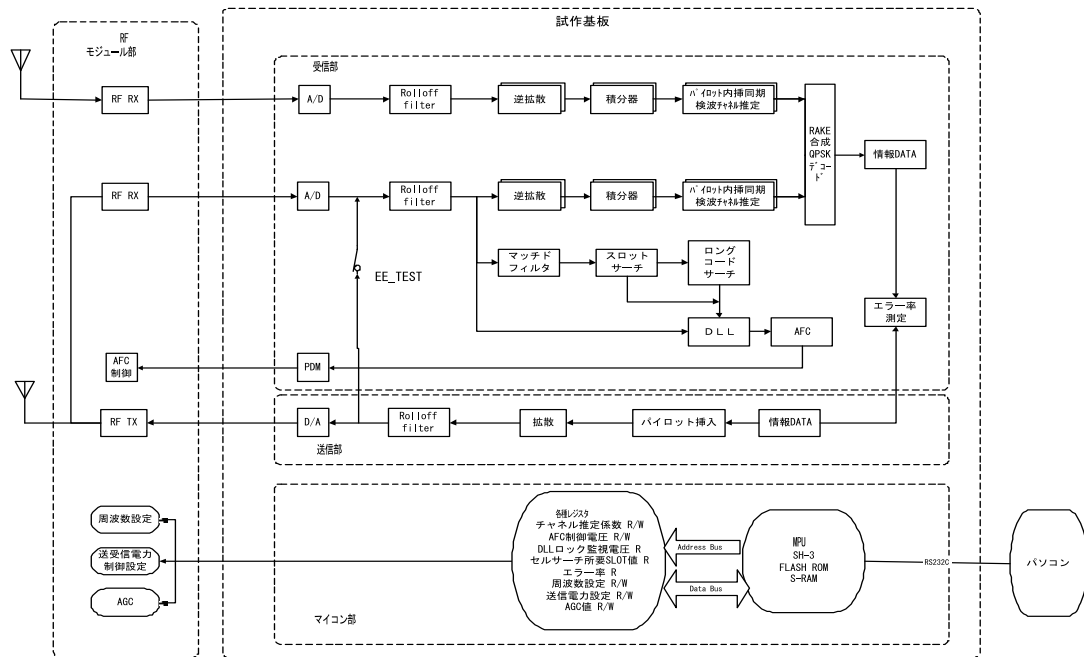


図1 システム構成ブロック

2. 試作機システム構成

試作機のシステムブロックを図1に示す。送信部、受信部、RFモジュール部、マイコン部からなる。パソコンとマイコンはシリアル通信により接続される。パソコンからのコマンドがマイコンにより実行され、システムを制御する仕組みとなっている。パソコンからRFモジュールの周波数設定、エラー率の測定など各種パラメータの設定ができる。

3. 変調技術

3.1 スペクトラム拡散

拡散は図2のM系列発生器を2つ使ったGold符号発生器より生成されるコードを用いて行う。なおI信号用のコードとQ信号用のコードのオフセット値は3584チップである。

3.2 Roll-off Filter

Roll-off FilterのFIR Filterタップ数は64タップとした。入力8bit、内部係数精度は12bit、出力は8bitである。データ形式は2の補数である。シミュレーションによるアイパターンを図3に、実測値を図4に示す。

その周波数特性のシミュレーションを図5(X軸の値は×4)、実測値を図6に示す。

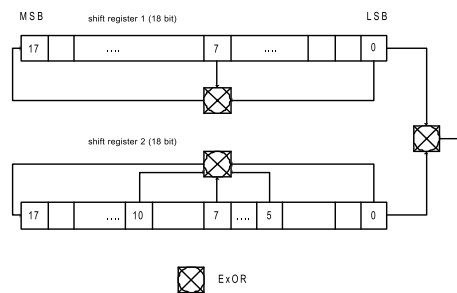


図2 Gold符号発生器

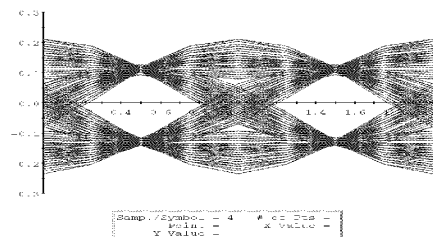


図3 アイパターン(シミュレーション値)

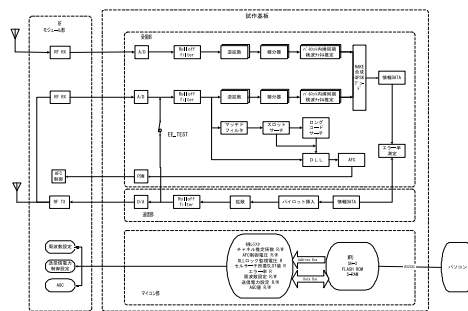


図4 アイパターン(実測値)

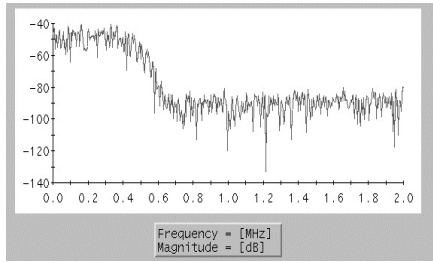


図5 周波数特性(シミュレーション値)

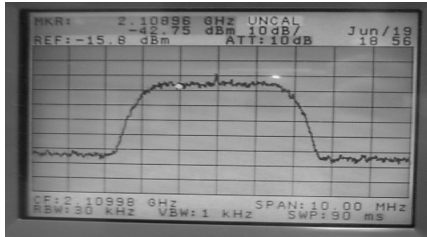


図6 周波数特性(実測値)

4. 復調技術

4.1 マッチドフィルタ

マッチドフィルタ (MF) の基本構成は図7の転置型FIRフィルタである。入力 X_n のサンプリング周波数は3GPP仕様のチップレート3.84MHzである。一つの加算器で最大8タップ分の加算が行える回路構成とし、回路規模を縮小した。

3GPP仕様によればフィルタのタップの係数は256タップであるが、基本となる16タップの極性がプラスかマイナスになっているだけであるので、16タップのMFで構成できる(図8参照)。

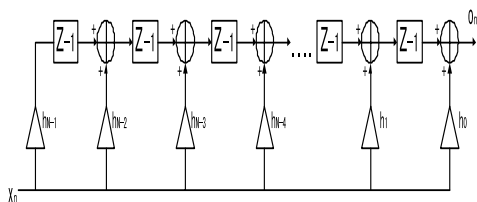


図7 転置型FIRフィルタ

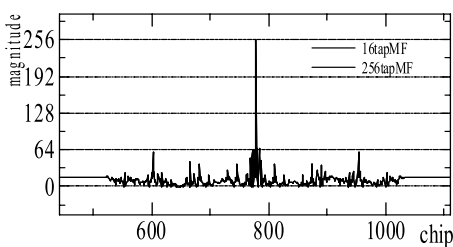


図8 マッチドフィルタの出力

4.2 DLL

DLL構成を図9に示す。Time Shifterはチップレートの4倍で動作するTAPPED DELAY LINE (64タップ) からなる。この構成ではディレイ量として64の有限値しかとれないため、Code genのスタートタイミングをずらすことにより、無限の可変ディレイ量を可能とした。

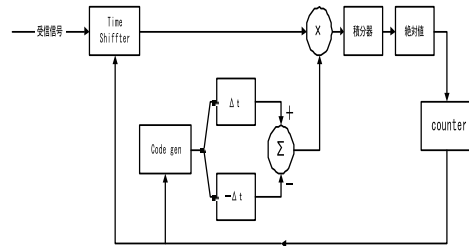


図9 DLLの構成

4.3 AFC

AFCは基地局の周波数に端末が同期する機能である。AFCにより端末は基地局に対して $\pm 0.1\text{ppm}$ の周波数精度に制御される。なお想定される端末のVCOの絶対精度は3GPP仕様より $\pm 3\text{ppm}$ とする(通常製品レベルで使用されるものもこの程度の精度である)。なお今回はAFCをPLL (Phase Locked Loop) で実現した。基本的なブロックを図10に示す。 ϕ_d が希望とする位相で、 ϕ がPLLの出力した位相である。 $\phi_d - \phi$ で位相誤差を得る。 $K_d[1/\text{rad}]$ は位相比較器の変換利得で、今回は直接位相誤差を算出する方法を採用したため、 K_d は1である。今回は位相比較器の部分工夫した。3GPP仕様より通常使われるVCTCXOの絶対精度は $\pm 3\text{ppm}$ である。キャリアの周波数2GHzに対する $\pm 3\text{ppm}$ は $\pm 6\text{kHz}$ である。よってコストスループでは周波数を引き込むことはできない。そこで考案した方法を次に示す。

- パイロットシンボルの位相誤差信号をチャンネル推定より算出する。
- シンボル毎の差分を利用して誤差角速度を算出する。
- 誤差角速度から位相誤差に変換するにはシンボルレートを掛ければよい。

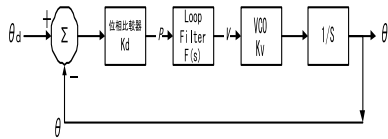


図 10 AFC 基本ブロック

4.4 パイロット内挿同期検波チャネル推定

パイロットシンボルが内挿されており、その基準となるパイロットシンボルの位相から、現在の電波伝送路のフェージングによる位相回転を推定し、分位相補正を行うものである。原理を図 11 に示す。

実際はチャネル推定の精度を上げるために、受信されたパイロットシンボルの平均値を取り、最大ドップラー周波数にしたがって重み係数を掛け、加算し、チャネル推定値を得る⁽¹⁾(図 12 参照)。

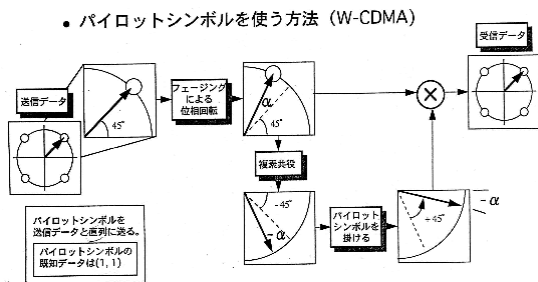


図 11 チャネル推定原理

- パイロットシンボルをスロット毎に挿入
- 連続したスロットで重み付け平均 (LPF)

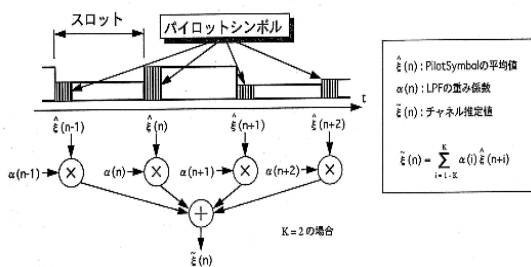


図 12 チャネル推定値の平均化

4.5 RAKE 合成

RAKE レシーバの原理を図 13 に示す。

まず送信側から送信データが拡散されアンテナから送信される。この図 13 では例として 3 パスのマルチパス伝搬路を通ると仮定する。一番遅延して到達する電波を基準に、それぞれパスの遅延時

間は d_1, d_2 である。受信機の RAKE レシーバでは d_1, d_2 の遅延を行い、逆拡散して RAKE フィンガーによりそれぞれチャネル推定し、合成して受信データを得る。これにより、今まで妨害波であったマルチパス波を逆に希望受信信号として扱い、S/N を稼いでいる。マルチパス伝搬路は位相振幅変動が図 14 のようにおきる。図 14(a) が位相、図 14(b) が振幅、なお X 軸は時間である。またマルチパス伝搬路は図 15 のようにレイリーフェージング、遅延量、ゲイン調整器からなる⁽²⁾。またそれぞれのマルチパス伝搬路における位相変動と振幅変動は、通常それぞれ独立である。よって一つのパスの振幅が小さい時、他のパスの振幅が大きい確立は高くなる。これが S/N が良くなるという原理である。

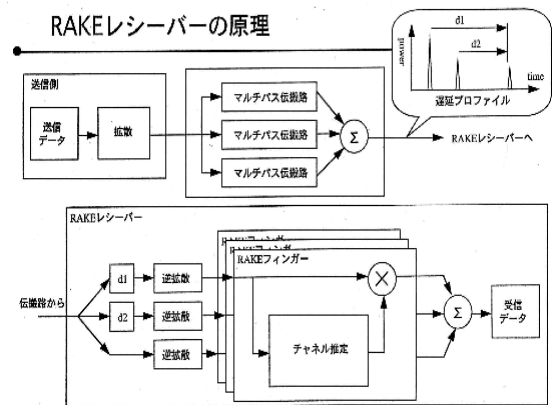


図 13 RAKE レシーバの原理

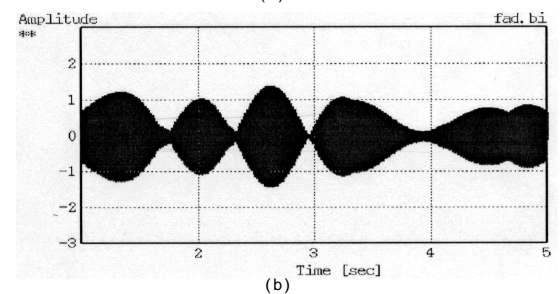
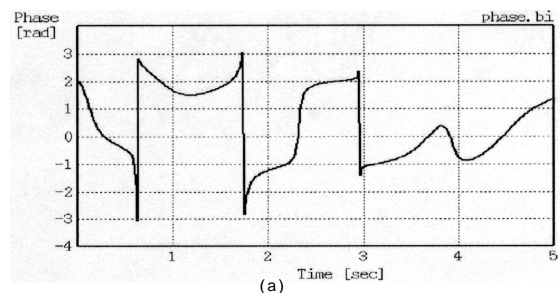


図 14 マルチパス伝搬路における異相、振幅変動の様子

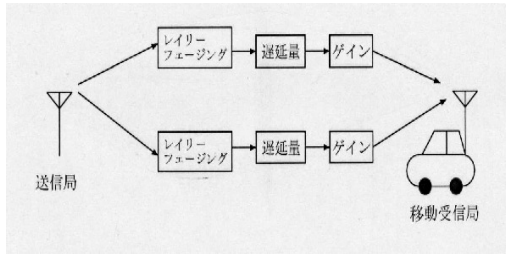


図 15 マルチパスの伝搬路の構成

5. エラーレートにおける評価

5.1 スタティック条件におけるエラー特性

図16 はNF補正後の値となっており、理論値と実測値が一致していることが分かる。NFの補正値はRF部の性能より算出した値で5.42[dB]である。

5.2 フェージング環境下におけるエラー特性

図17ではRAKE合成によりエラーレート特性が良くなっていることが分かる。なおグラフの値は実測値である。

6. OTDOA 方式による位置検出

6.1 シミュレーション

図 18 に示したシミュレーション条件で現在地の測位を行った。なお現在地の高度は0mと仮定した。

端末の距離測定分解能を3GPPのチップレート3.84MHzの4倍オーバーサンプリングとした場合の測位誤差を図19に示す。が6.6mなので測位結果

RFによるNFの補正後

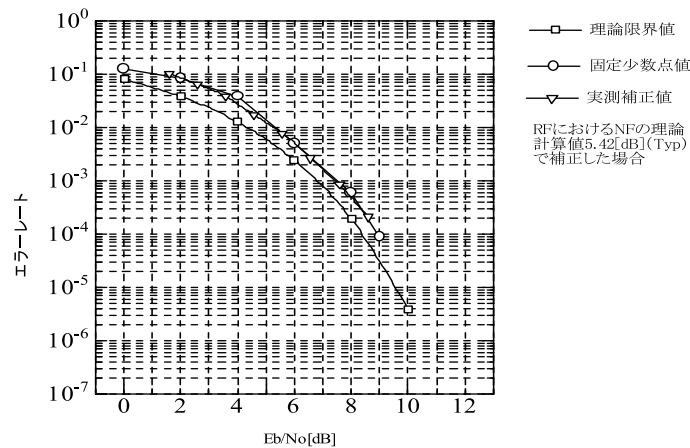


図 16 エラーレート

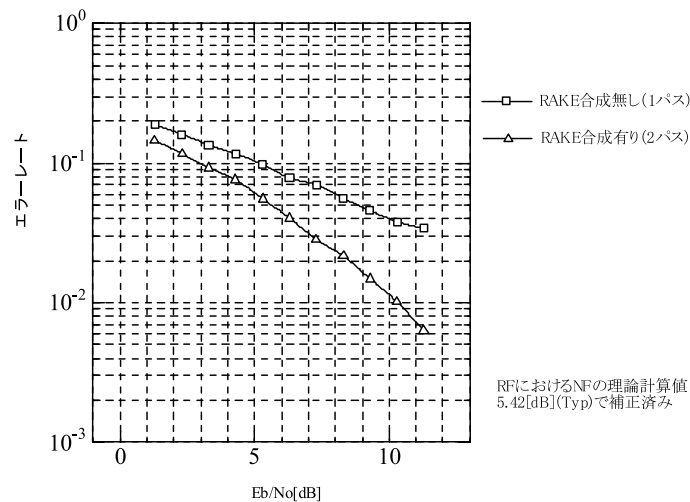


図 17 RAKE 合成による特性

の69%が±6.6m以内の誤差におさまる。

実際のフィールドではマルチパスの影響により、距離測定結果が実際の距離より長い距離で観測されてしまう。例えば図20のガウス分布の確率でマルチパスによる距離誤差が起ったと仮定した場合、どの程度測位誤差が現れるかをシミュレーションした。その結果を図21に示す。

このようにマルチパスがあった場合、非常に測位誤差が大きくなり、測位結果が悪くなるのが分かる。この問題に対処する特許を現在出願完了している。

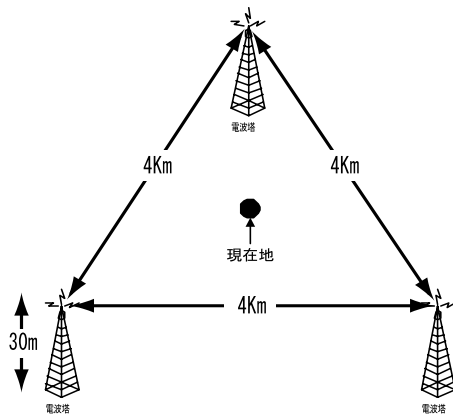


図 18 シミュレーション条件

分解能による測位誤差

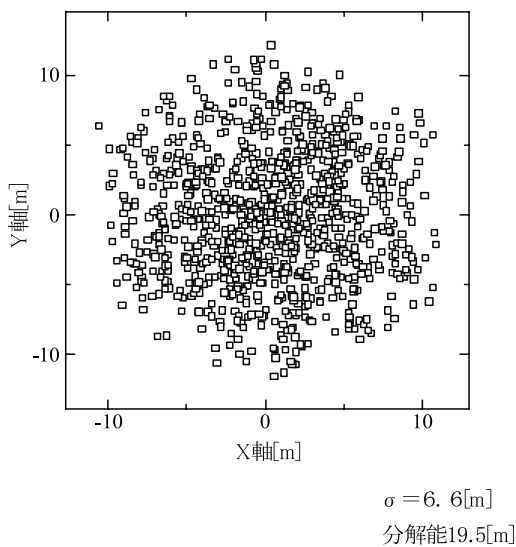


図 19 シミュレーション結果

6.2 デモシステム試作

デモンストレーション用にリアルタイムで動作するOTDOAシステムを試作した。そのシステムブロックを図22に示す。

このデモシステムについて概要を説明する。まず、このデモシステムは3基地局分のBCHを送信することが可能である。また、それぞれの基地局からのディレイ量をマイコンからの制御により、リアルタイムに変更することが可能である。ベースバンド信号処理で作られた3基地局分のBCHはロールオフフィルタ、D/Aを経由し、アップコン

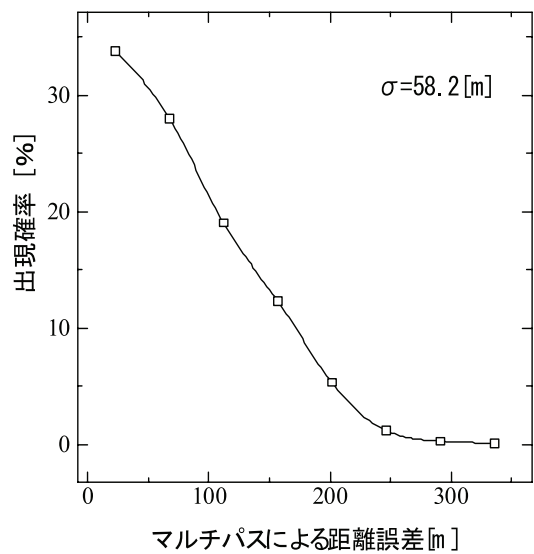


図 20 マルチパスによる距離誤差(仮定)

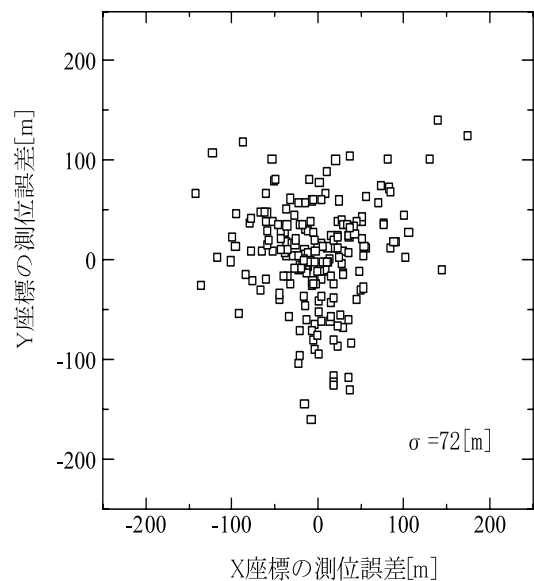


図 21 仮定したマルチパスによる測位誤差

バータにより2GHzに変換される。その信号は、RFモジュールでダウンコンバートされ、ベースバンド信号に変換される。そしてマッチドフィルタによりタイミングリカバリーが行われる。さらに3つのパスサーチャにより基地局毎のパスサーチが行われる。よって基地局毎のディレイ量を測定することができる。そのディレイ量を距離換算し、マイコンで測位計算し、測位結果をパソコンに地図表示することができる。

実際の信号のどの部分を測定しているのかを次に述べる。BCHはBroadcast Channelの略で基地局が常に出力している信号である。BCHは端末が同期するためのSCH(Synchronization Channel)とP-CCPCH(Primary Common Control Physical Channel)からなる。次に、SCHのフレームフォーマットを図23に示す。SCHはPrimary SCHとSecondary SCHからなる。Primary SCHは全ての基地局で同じ拡散コードが使用される。Secondary

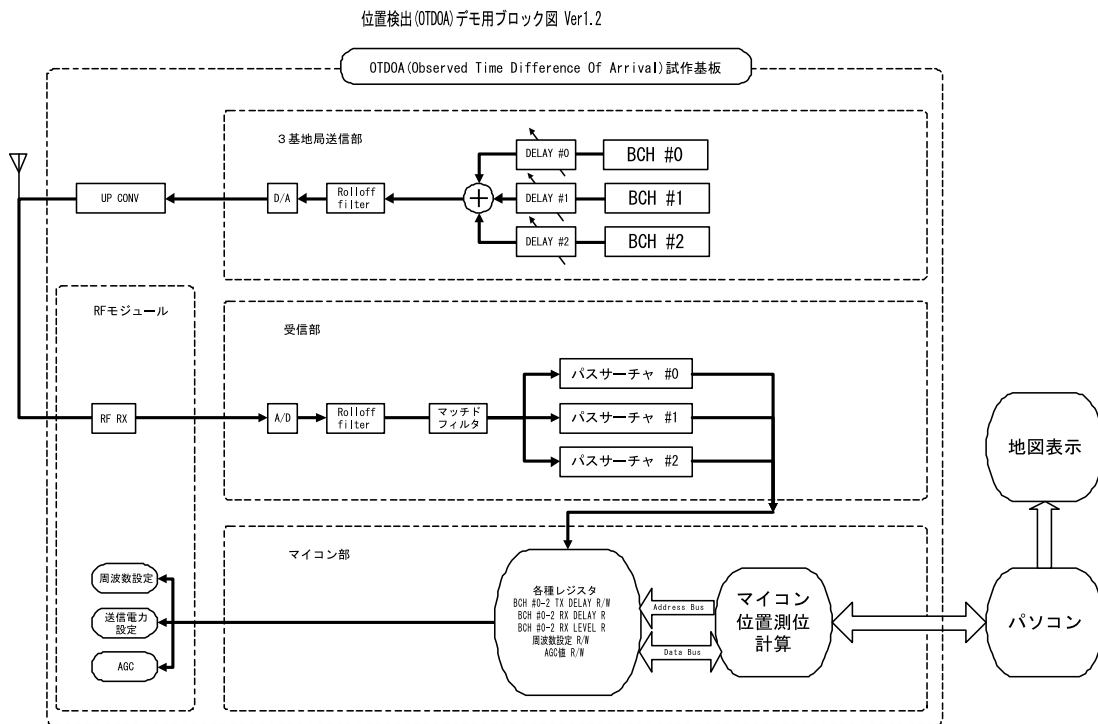


図 22 OTDA デモ用ブロック

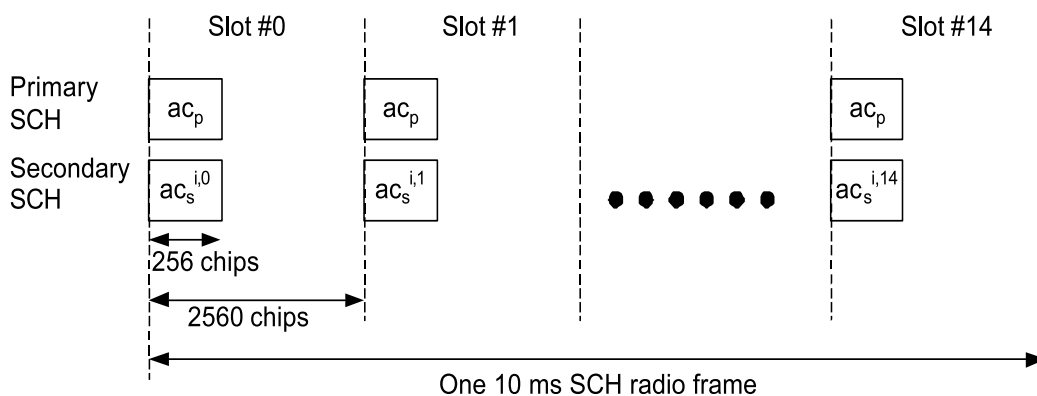


図 23 SCH のフレームフォーマット

SCHはフレームを検出することと、基地局固有に割り当てられたスクランブルコードグループIDを検出するために使用される。図24はP-CCPCHのフレームフォーマットを示す。SCHは図23と図24から分かるように、P-CCPCHのTx OFF(無送信部)に挿入されるフォーマット構成になっている。

次に位置検出の手順を示す。図25はP-SCHの相関出力(マッチドフィルタの出力)により、各基地局からの電波の到来時間(基地局までの距離)が検出

できることを示している。しかしP-SCHのコードは全ての基地局で同じであるから、マッチドフィルタの出力だけでは基地局の分離が出来ない。そこでパサーチ部により基地局毎の分離を行う。よって端末は各基地局までの距離を測定できることになる。

3つの基地局までの距離が測定出来れば、それぞれの基地局から端末までの距離を半径とした円を3つ描くと図26の様になり、それぞれの円の交点が端末の位置であることが分かる。

デモシステムにおける分解能(19.5m)による測

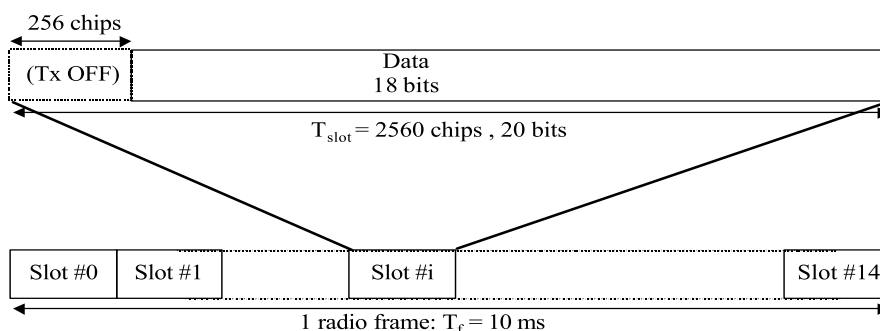


図24 P-CCPCHのフレームフォーマット

相関レベル

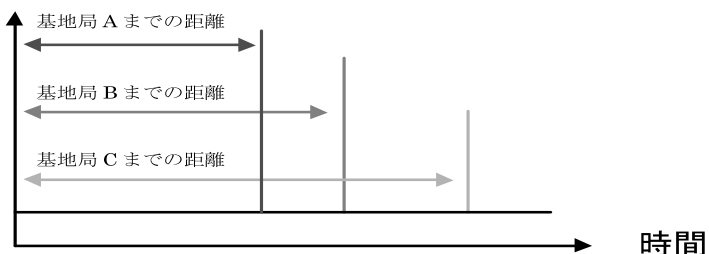


図25 P-CSCHの相関出力

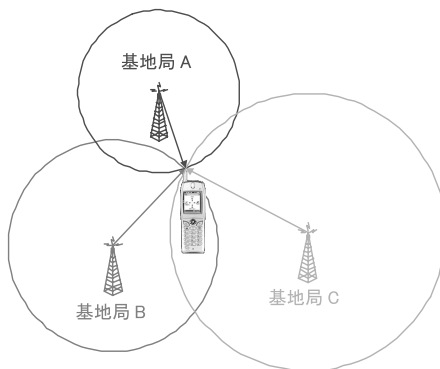


図26 端末の位置の検出

位誤差を図 27 に示す。端末の現在地は新宿駅とし、"●" で表示してある。測位結果は "+" でプロットして表示した。基地局と端末の位置関係は前述した図 18 のシミュレーション条件と同じである。

デモシステムにおける測位誤差としては約 ± 10m という結果が得られ、前述した図 19 のシミュレーション結果と同等になった。また仮定したマルチパス環境における位置測位もデモシステムで行った。仮定したマルチパスによる距離誤差分布はシミュレーションで行ったものと同じである。図 21 に示したシミュレーションによる測位誤差結果と、図 28 に示したデモシステムによる測位誤差を比較すると、両者とも測位誤差は約 ± 200m 以内となっている。よって、デモシステムにおいてシ

ミュレーションと同じ結果が得られていることが分かる。シミュレーションとデモシステムにおける測位結果のばらつきの分布が異なるのは、距離誤差を発生させるノイズシードが異なっているためである。

次にプログラムについて述べる。処理時間はマイコンによる位置測位計算に約 1 秒を要する。しかしこのプログラムは浮動小数点型であり、最適化が可能である。メモリの使用量はプログラム領域として、Cソースで約 150 行、データメモリ領域に約 1Kbyte である。これは現行の端末に十分搭載可能なメモリ使用量と言える。

実際の W-CDMA のシステムは基地局間が非同期であるため、それを擬似的な同期状態にしなければならない。その方法は 3GPP 仕様における LCS 用



図 27 デモ試作機における分解能測位誤差

セルフフレームのUTRAN GPSタイミング(TS25.215 5.2.9)や基地局間の周波数オフセット(TS25.302 9.2.10)に記述されている。また遠近問題への対応はIPDL (Idle Periods create in the Down Link)で行う。これは、各基地局をランダムに一瞬無送信状態にするものである(TS25.305 9.1)。

7. まとめ

今回、W-CDMA 変復調技術における基礎開発を行った。また、その応用開発としてOTDOA方式による位置検出技術の開発を行った。W-CDMA復調技術とOTDOAに関する特許を合わせて多数出願することが出来た。W-CDMA 変復調性能を示すエラーレート特性も、シミュレーション結果と実際のハードの結果が一致し、良い結果を得ることがで

きた。OTDOAの測位結果もシミュレーション値とハードによる実測値が一致した。OTDOAの測位精度は立地条件やアルゴリズムにもよるが約10~300m程度と想定される。

残された課題としては回路規模の縮小、低消費電力化、およびフィールド試験によるさらなるブラッシュアップである。

参考文献

- [1] 安部田貞之, 佐和橋衛, 安達文幸 “DS-CDMA適応複数シンボル重み付け平均化パイロットシンボル電送路推定方式の特性” p69 信学技報 1998-04
- [2] 奥村喜久, 進士昌明 “移動体通信の基礎” p 63, 145, 130 コロナ社



図 28 仮定したマルチパスによる測位誤差 (デモ試作機)

筆 者

野 原 学(の は ら ま な ぶ)

- a. 研究開発本部情報通信開発センター
- b. 1990年4月
- c. 初代カーナビゲーションの開発,アクティブノイズコントロール,W-CDMA開発を経て,現在,高速光無線伝送技術開発に従事

児 玉 泰 輝(こ だ ま や す て る)

- a. 研究開発本部 総合研究所,モバイルシステム開発部
- b. 1993年4月
- c. アクティブノイズコントロール,W-CDMA開発を経て,現在,モバイル情報技術の開発に従事

鈴 木 康 悟(す ず き や す の り)

- a. 研究開発本部 総合研究所,モバイルシステム開発部
- b. 1987年4月
- c. DVDオーサリングシステム開発,車内音場研究開発,IMT-2000研究開発を経て,現在,モバイル情報技術の開発に従事

塩 田 岳 彦(し お だ た け ひ こ)

- a. 研究開発本部総合研究所,モバイルシステム開発部
- b. 1987年4月
- c. デジタル映像信号処理技術の開発,CATVインターネット技術の開発,IMT-2000関連技術の開発を経て,現在,モバイル情報技術の開発に従事