

広帯域コヒーレントDS-CDMA無線アクセス特集

Special Issue on Wideband Coherent DS-CDMA Mobile Radio Access

2. 広帯域コヒーレントDS-CDMAを用いる移動無線アクセス

2. Mobile Radio Access Based on Wideband Coherent DS-CDMA

第3世代移動通信用無線アクセス方式として検討している広帯域コヒーレントDS-CDMA方式は、2重拡散コード配置、パイロットシンボル同期検波、トラフィック変動に適應する送信電力制御、直交可変マルチレート伝送などの技術的特徴を有している。本稿ではその無線リンクの設計概念と主要伝送技術について述べる。

A design concept of wideband coherent DS-CDMA access is described; it employs 2-layered spreading code assignment, pilot symbol assisted coherent detection, traffic adaptive transmit power control, and orthogonal multirate transmission. The described wideband coherent DS-CDMA can support multimedia services and also flexible system development for third generation mobile communications.

大野 公士
Koji Ohno

佐和橋 衛
Mamoru Sawahashi

土肥 智弘
Tomohiro Dohi

東 明洋
Akihiro Higashi

まえがき

デジタル化を図った第2世代の次を担う第3世代移動通信では、サービスのマルチメディア化、高品質化、大容量化、低送信電力化およびフレキシブルなシステム拡張性などが要求される。ここで述べる広帯域コヒーレントDS-CDMA方式¹⁾²⁾ではこれらの要求に対して、ロングコードとショートコードの組み合わせる2重拡散コード配置、パイロットシンボルを利用した同期検波、トラフィック変動に適應した送信電力制御、チャンネル間の直交性を保ったままで可変レート伝送を可能とする直交マルチレート伝送、異なる品質条件の通信を効率よく実現できる接続符号化などを採用している。本稿ではコヒーレントDS-CDMAの無線伝送系の設計概念と主要伝送技術について述べる。

無線伝送系の構成

無線伝送系の諸元を表1に示す。無線伝送系の設計概念を以下に示す。

(1) マルチバンド

第3世代移動通信では最大伝送速度2Mb/sまでの伝送能力が目標の1つに掲げられている。周波数資源のフレキシブルな運用を、サービスに応じて最適な伝送条件を与えるために、1.25, 5, 10, 20MHzの4つの帯域幅を用意し、伝送レートに応じてチップレート(拡散帯域幅)の異なる拡散コードを割り当てる。携帯

機を用いた音声や低レートのモデムデータ伝送では、消費電力を考慮して1.25ないしは5MHzのような比較的狭帯域なものを使用することにより、信号処理部の複雑さを低減し、低消費電力化を期待する。2Mb/s信号伝送では、20MHz帯域を用いる。チップレートだけが異なるだけの同じアーキテクチャであることが基本である。

表1 主要無線諸元
Table 1 Major Radio Link Parameters

項目	諸元
アクセス方法	コヒーレントDS-CDMA
周波数帯域	マルチバンド：1.25/5/10/20MHz
チップレート	1.024/4.096/8.192/16.384Mchip/s
キャリアレート	64ks/s (256ks/s)
拡散符号	2重拡散コード
ショート直交コード	64 (16) チップ周期 (@ 4.096Mchip/s)
ロングコード	下り：10ms 周期, 上り：2 ⁿ -1 チップ周期
変復調方式	全コヒーレント系
データ	QPSK・パイロットシンボル絶対同期検波
拡散	下り：BPSK, 上り：(O) QPSK
誤り訂正符号/復号化	接続符号化 内符号：畳み込み符号 (R=1/3, k=7) / 軟判定ビタビ復号 外符号：リードソロモン符号 / 消失訂正復号 (データ用)
ダイバシティ	アンテナ+RAKE
送信電力制御	SIR ベース適應閉ループ+開ループ制御

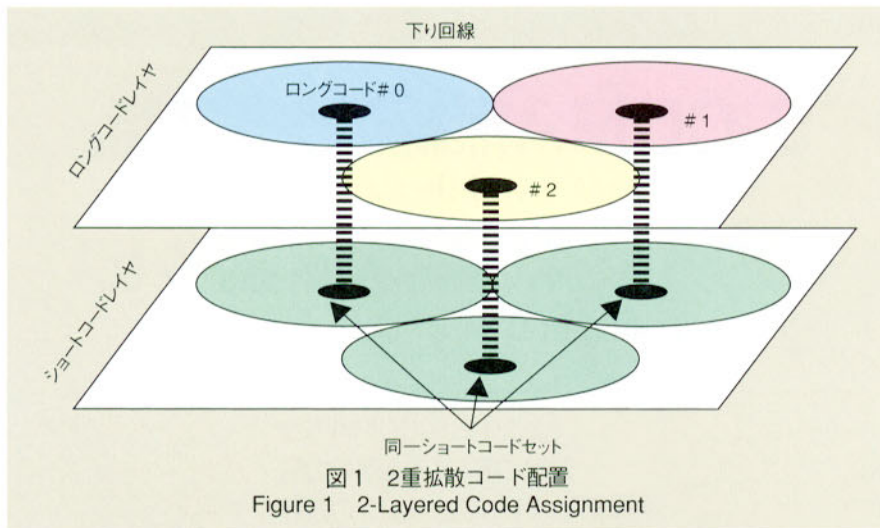


図1 2重拡散コード配置
Figure 1 2-Layered Code Assignment

表2 拡散コードの使い方
Table 2 Spreading Code Usage

	下り回線	上り回線
ロングコード	セルごとに固有	ユーザごとに固有
直交ショートコード	(a) セル内ユーザ識別 (b) 高速伝送 (マルチコード)	高速伝送 (マルチコード)

(2) 2重拡散コード配置

各セルのチャンネル管理をほぼフリーとするため、無限に近い数の拡散コードを発生するようにショートコード（シンボル長の拡散コード）とロングコード（複数シンボル長の拡散コード）を組み合わせる2重拡散コード配置を採用する。拡散コード配置と上り／下り回線の拡散コード使用法をそれぞれ図1および表2に示す。伝送チャンネルはショートコードとロングコードの組み合わせで指定される。下り回線では、セル固有のロングコードを用いることにより無限に近い拡散コードを発生することができるので、各セルでは同じショートコードセットを共用することができる。また、自セル内のすべてのユーザは直交ショートコードにより直交化されている。高速信号伝送するユーザには複数のショートコードを割り当てる。他方、上り回線ではユーザ固有のロングコードを用いる。これによりセル間を移行する（ハンドオフ）際の拡散コード切替が不要となる。直交ショートコードは直交マルチレート伝送のために使用

する。

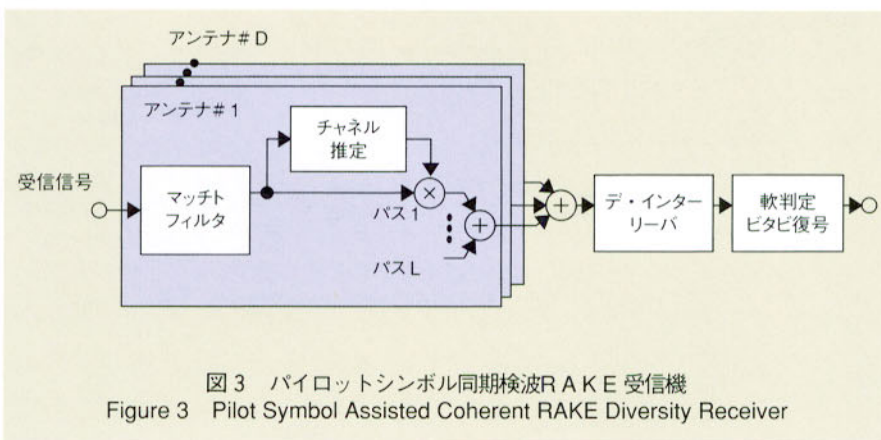
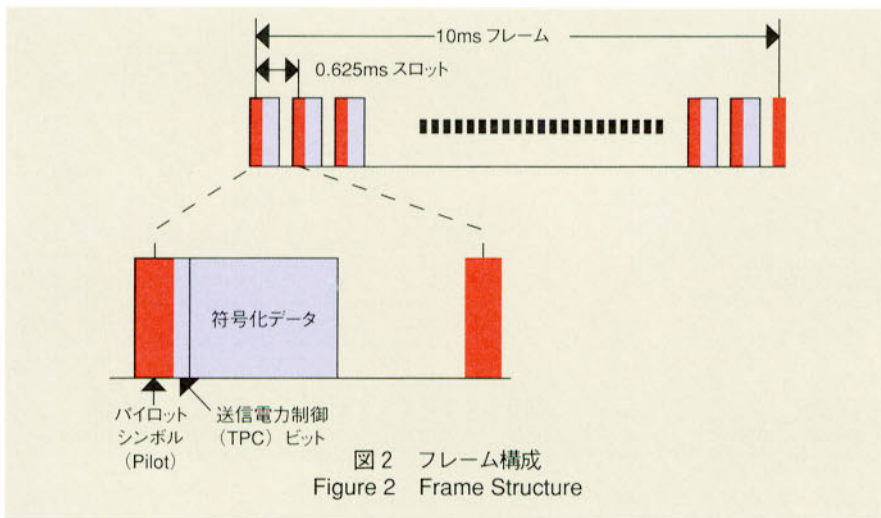
IS-95³⁾のようなセル間同期システムでは、高速セルサーチの実現のため同一のロングコードを各セルごとにチップ位相を変えて使用する。このため、セル間でチップレベルでの同期が必要となり、GPS（Global Positioning System）などのような他システムを利用する必要がある。屋内システムでは、GPSなどは利用しにくい。これに対して本方式ではセルごとに異なるロングコードを使用するので、GPSなどを必要としないセル間非同期システムが実現でき、屋内／外を連続的にサポートしやすい。複数のロングコードの同期が必要となるので、セルサーチ時間は一般的に膨大となるが、この問題に対しては、ロングコードの2段階高速同期法⁴⁾を考案した。この高速セルサーチ法は、一定電力で送信する共通制御チャンネル（とまり木チャンネルと呼ぶ）がロングコード周期を特定できる一定周期ごとに各セル共通のショートコードのみで拡散されたシンボルを有していることを利用する。移動機ではまずマッチト

フィルタでとまり木チャンネルのショートコードのみで拡散されたシンボルとの最大相関値を検出することによりロングコードの位相を特定した後、ロングコードの同定を行うので、ロングコードのすべての位相とパターンをサーチする必要がなくなる。これによりセル間非同期でも問題ないほどのセルサーチ時間が実現可能となる。移動機でマッチトフィルタを使用することになるため、小型、高速でかつ低消費電力のマッチトフィルタの開発は非常に重要である。低消費電力化が可能なアナログタイプのマッチトフィルタに関しては本特集の最後の章で紹介している。

(3) パイロットシンボルを用いた同期検波RAKE

送信電力の低減あるいは加入者容量の増大の観点からパイロットシンボルを用いた同期検波⁵⁾を上り、下り回線ともに採用する。図2に示すようにデータ系列に周期的に挿入したパイロットシンボルを用いてフェージング複素包絡線を推定して同期検波する。1フレームは16スロットで構成され、各スロットにパイロットシンボル(Pilot)と閉ループ送信電力制御のための送信電力制御(TPC)ビットを挿入する。フレーム長は10msである。パイロットシンボルを挿入したことによる送信パワー増大に伴う干渉電力の増大より、同期検波したことによる所要 E_b/I_0 の低減効果が大きい。加入者容量の増大が可能となる。0.625msごとにPilotとTPCビットを伝送することにより高速移動まで追従可能な送信電力制御と同期検波が可能となる。パイロット信号を並列に伝送する方法もあるが、パイロットシンボルを用いる方法の加入者容量の約0.6倍程度となる。また、並列パイロットでは相関器が2個必要であるが、パイロットシンボルを挿入する場合には1個でよい利点もある。下り回線も同様の構成とすることにより、上り／下り回線で共通の変復調ICを利用することも可能である。

上り回線では携帯機の送信電力を低減するため2ブランチのスペースダイバー



シチとRAKEを組み合わせる。図3にアンテナダイバーシチ・RAKE合成受信機の構成図を示す。RAKE受信機は、Dブランチのダイバーシチアンテナで受信されたマルチパス (D×L個のパス) をパイロットシンボルを用いてフェージング複素包絡線を推定して同期検波し、最大比合成する。

(4) SIRベースの適応送信電力制御^{6), 7)}

上り回線では遠近問題を解決するために送信電力制御が必須である。図4に瞬時変動に追従する閉ループ送信電力制御の基本構成を示す。基地局では逆拡散された信号をRAKE合成した信号の1ビットあたりの受信信号エネルギー対干渉+熱雑音電力スペクトル密度比(E_b/I_0)を測定し、目標 E_b/I_0 (品質により決定される)と比較して測定値が大きい (小さい) 場合には移動機に送信電力を下げる (上げる) コマンド (TPCビット) を送信する。移動機ではTPCビットに従い、送信電力を制御する。制御周期を

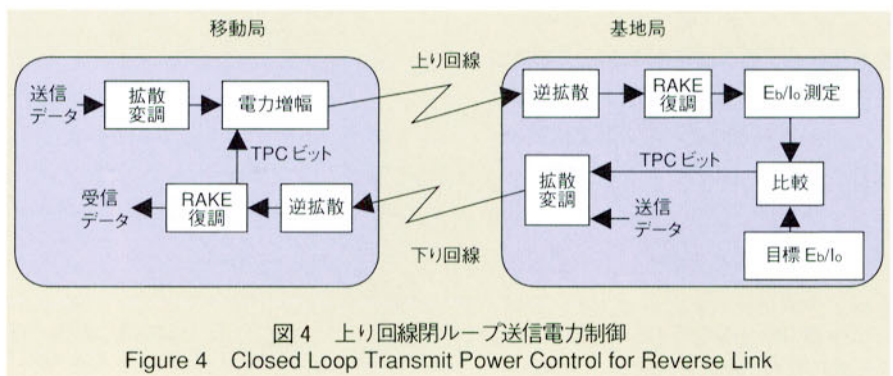
$T_{slot}=0.625ms$ 程度とすることにより高速に移動する場合においても瞬時変動に追従できる。図5に瞬時変動がない (マルチパス数 $=\infty$) ときの1ユーザ通信時の平均送信電力で正規化した平均送信電力と拡散利得 (p_g) で正規化したトラヒック (C/p_g) との関係を示す。目標 $E_b/I_0=3dB$ で、制御ステップ $=\pm 1dB$ の閉ループ制御の特性である。この図よりトラヒックの変動に応じて必要最少の送信電力に適応的に調節できることがわかる。マルチパス数の減少につれてフェー

ジングを補償するために送信電力の増減幅が大きくなり平均送信電力が増加する。このことから、2から4パスに分解できる程度の広帯域CDMAが送信電力の低減 (容量増) に効果的である。

トラヒックが偏在するような場合でも E_b/I_0 に基づく適応送信電力制御によって所要の品質を確保できる。セル内トラヒックが能力を越えるほど大きくなったときには、一時的に下り回線送信電力を低下させてセルエリアを縮小し (あるいは周辺セルの下り回線送信電力を増加)、トラヒックを周辺セルに分散させることが可能である。このようにシステムをトラヒックの時間的・地理的変動にダイナミックに適応させることもできる。

(5) 直交可変マルチレート

1コードチャンネルあたりの最大伝送レート以下の伝送レートでは図2のようにフレーム内を部分利用し、より高速レートの伝送では図6のように複数の直交コードチャンネルを用いるマルチコード伝送を行う^{1), 2)}。各パス内のすべての拡散コードチャンネルは直交しているので、マルチパス数が1個のときには直交するショートコードの数のコードチャンネルを干渉なく多重化できるが、マルチパスがあるときにはパス間に相互相関が生ずるので多重可能なコードチャンネル数が減少するものの、ランダムコードを用いる場合に比較して伝送特性を向上できる。なお、下り回線では各コードチャンネルには直交コードを用いているのでマルチユーザ伝送のほか高速レート伝送も可能である。直交マルチコード伝送による2Mb/sの伝送については本特集号の4章で紹介している。



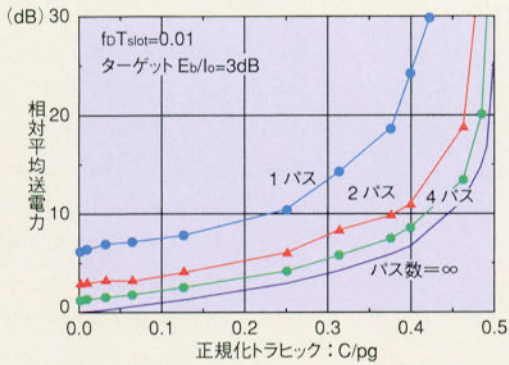


図5 相対平均送信電力とトラフィックとの関係
Figure 5 Transmit Power Dependence on Relative traffic

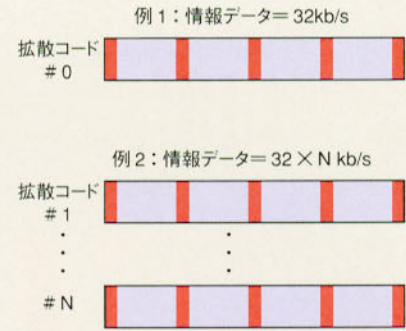


図6 マルチコードを利用したマルチレート伝送
Figure 6 Multirate Transmission by Code Multiplexing

(6) 接続誤り訂正符号化

所要品質の大きく異なるユーザを多重するため接続誤り訂正符号化⁸⁾を用いる。図7に示すように音声伝送では内符号のみを、高品質データ伝送では内+外符号化を適用する。CDMAでは拡散の一部に誤り訂正符号化を組み込むことによって、加入者容量を符号化利得分だけ増加できる。すなわち、符号化利得の大きい訂正符号ほど加入者容量を大きくできる。図8に音声伝送時の送信系ブロック構成図を示す。符号化率1/3の畳み込み符号は1/2符号より約0.5dBだけ所要 E_b/I_0 を低減できる。本方式では拡散利得の一部を内符号(符号化率1/3の畳み込み符号化)に割り振っている。図9に0.1%のビット誤り率(BER)における所要 E_b/I_0 を示す。最大ドップラー周波数 f_D が高くなるに連れてTPCの誤差が増大すると共にチャネル推定精度が劣化する。しかし、TPCブロックごとの誤差はほぼ独立とみなせるから、拡散の一部に誤り訂正符号化を用いるときはインタリーブ効果が期待できるので、 f_D の増加がそのまま誤り率の増加につながることはない。このように送信電力制御と誤り訂正符号化は補完的な役割をはたし、TPCなしのときに比較して大幅に特性を改善し、 $f_D < 240\text{Hz}$ ではほぼ一定の所要 E_b/I_0 とすることができる。

むすび

広帯域コヒーレントDS-SS-CDMA方式の無線伝送系の構成を説明し、大容量で、

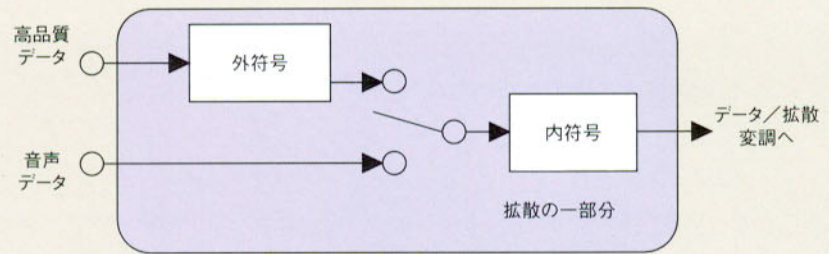


図7 連続誤り訂正符号化
Figure 7 Concatenated Channel Coding

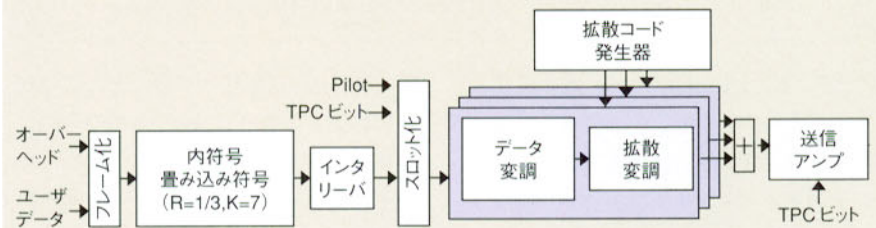


図8 送信系ブロック構成図
Figure 8 Transmission Block Diagram

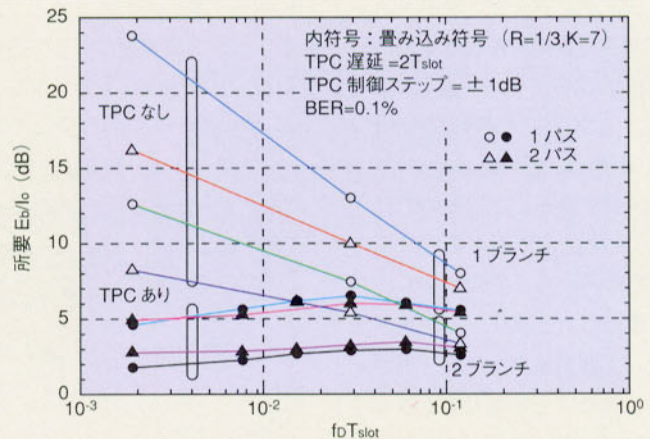


図9 送信電力制御 (TPC) と誤り訂正符号化の効果
Figure 9 Effect of Transmit Power Control and Channel Coding

マルチメディアサービスやフレキシブルなシステム拡張性に適した技術を採用していることを示した。今後は、さらなるシステム容量増大を目指し、干渉キャンセラや適応ダイバーシチ技術の適用を検討していく予定である。

文献

- 1) F. Adachi, K. Ohno, M. Sawahashi, and A. Higashi, "Multimedia mobile radio access based on coherent DS-CDMA", Proc. 2nd International workshop on Mobile Multi-media Commun., A2.3, Bristol University, U.K., Apr. 11-14, 1995.
- 2) K. Ohno, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Wideband coherent DS-CDMA", Proc. IEEE VTC, pp. 779-783, Chicago, U.S.A., July 26-28, 1995.
- 3) Padovani., R., "Reverse link performance of IS-95 based cellular systems," IEEE Personal Communications, pp.28-34, 3rd Quarter, 1994.
- 4) 樋口, 佐和橋, 安達, "DS-CDMA 基地局間非同期セルラ方式におけるロングコードの2段階高速初期同期法", 信学技報, CS96-19, RCS96-12, pp.27-32, 1996年5月.
- 5) A. Higashi, T. Taguchi, and K. Ohno, "Performance of coherent detection and RAKE for DS-CDMA uplink channels", Proc. IEEE PIMRC, pp. 436-440, Sept. 27-29, 1995, Toronto, Canada.
- 6) T. Dohi, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Performance of SIR based power control in the presence of non-uniform traffic distribution", Proc. IEEE ICUPC'95, pp. 334-338, Nov. 6-10, 1995, Tokyo, Japan.
- 7) 土肥佐和橋, "DS/CDMAにおける干渉電力を用いる送信電力制御", 信学技報 RCS94-99, pp.63-68, 1994年10月.
- 8) 太口, 東, 須田, "DS/CDMA 移動無線への接続符号の適用効果について", 信学技報 IT94-97, SST94-80, pp.31-36, 1995年3月.