特集

W-CDMAシステムの無線方式

Specifications of Radio Transmission Technologies for W-CDMA System

あらまし

W-CDMAシステムは，第三世代移動通信(IMT-2000)の無線インタフェース方式の一つとして世界標準化が進められており，今後急速な普及が予想されるモバイルマルチメディアのインフラストラクチャとして大きな期待が寄せられている。日本では世界に先駆けて2001年の商用サービス開始を目指してシステムや装置の開発が進められるとともに，高速データ伝送が可能な新しいハードウェアに対応したサービスやコンテンツビジネスの模索が始まっている。

本稿では，W-CDMAシステムの無線インタフェースについて，物理フォーマット，チャネルコーディング，拡散と変調，同期，ハンドオーバ手順や送信電力制御方法などを規定したレイヤ１の仕様について概説する。

Abstract

W-CDMA is a radio interface of the IMT-2000 third-generation mobile communication system. IMT-2000 is currently undergoing global standardization and is expected to provide the infrastructure for mobile multimedia communications. In Japan, W-CDMA system and its equipment have been developed with the aim of launching its commercial service in 2001. There will be a greater demand for services and contents that take advantage of the features in IMT-2000, such as higher data rate transmission. This paper outlines the layer-1 specifications that describe physical channel structure, channel coding, spreading, modulation, synchronization, handover procedure, and transmitting power control method of the radio interface of W-CDMA system.

大石泰之（おおいし　やすゆき）

(株)富士通研究所Wプロジェクト部所属
現在，次世代携帯電話システムの基地局装置開発に従事。

箕輪守彦（みのわ　もりひこ）

(株)富士通研究所Wプロジェクト部所属
現在，次世代携帯電話システムの基地局装置開発に従事。

中村隆治（なかむら　たかはる）

(株)富士通研究所Wプロジェクト部所属
現在，次世代携帯電話システムの無線局装置開発に従事。

W-CDMAシステムの無線方式

ま　え　が　き

第三世代移動通信システム(IMT-2000)では，グローバルなサービス，モバイルマルチメディアへの対応，加入者容量の増大などが求められており，これに適した無線アクセス方式としてW-CDMA方式の標準化が進められている。

W-CDMA方式は現在普及している第二世代の携帯電話(PDC，GSM方式など)に比較して数々の優れた特長をもつ。スペクトル拡散と符号分割多重アクセス技術により，移動環境下で安定した高速データ伝送を実現するとともに，トラヒックの統計多重効果を最大限に利用することで高い周波数利用効率を達成している。[(1),(2)] また，データ通信において多様な伝送レートを柔軟に収容することが可能で，IP(Internet Protocol)ベースの通信と親和性の高いパケット伝送にも適している。Webブラウジングなどの用途に有用な上りリンクと下りリンクで非対称なデータ伝送もサポートする。これらの特長から，非音声通信が主流になると考えられる第三世代移動通信の無線インタフェース方式として期待されている。

本稿では，1998年９月にITU-Rに提案したW-CDMA方式日本提案[(3)]を元に，その後の欧州のUTRA(Universal Terrestrial Radio Access)，米国のcdma2000との国際的な協調，3GPP(3rd Generation Partnership Project)での仕様検討の経過[(4)]を反映した，最新のW-CDMA無線インタフェースについて概説する。現在，W-CDMAにはFDD(Frequency Division Duplex)とTDD(Time Division Duplex)の二つのデュープレックス方式があり，FDDはさらにDS(Direct Spread)モードとMC(Multi Carrier)モードの２モードをもつ。ここではFDD，DSモードのW-CDMA無線インタフェースに関して，とくにレイヤ１仕様で規定される無線フレームフォーマット，チャネルコーディング，拡散と変調，同期，ハンドオーバ，送信電力制御，可変レート伝送，送信ダイバーシチについて紹介する。

無線フレームフォーマット

W-CDMAシステムの主要諸元を表-1に示す。無線フレームは上りリンク(移動機から基地局)，下りリンク(基地局から移動機)ともに，基本フレームが10 msで構成され，１フレームは15スロットから成る。

● 上りリンク

上りリンクのフレームフォーマットを図-1に示す。上りリンクの特徴として，ユーザ情報であるＤＰＤＣＨ(Dedicated Physical Data Channel)と制御情報であるDPCCH(Dedicated Physical Control Channel)がそれぞれQPSK(Quaternary Phase Shift Keying)変調の同相成分(I軸)と直交成分(Q軸)にマッピングされる点がある。これはDPCCHを時間的に連続して伝送することで，DTX(Discontinuous Transmission)動作時のようにDPDCHがないときも連続送信とするための工夫である。これにより，バースト送信に起因する外部機器への雑音混入の影響を軽減することができる。

TFCI(Transport Format Combination Indicator)はレート情報などの制御情報，FBI(Feedback Information)は送信ダイバーシチとSSDT(Site Selection Diversity Transmission)のためのフィードバック情報を伝送する。

● 下りリンク

下りリンクのフレームフォーマットを図-2に示す。DPDCHとDPCCHは時分割で多重される。TPC(Transmit Power Control)はクローズドループTPCのためのフィードバック情報を伝送する。TPCビットは制御遅延を最小に抑えるためにスロットの中程に配置される。

表-1　W-CDMA無線インタフェースの主要諸元

項　目	諸　元
アクセス方式	DS-CDMA
デュープレックス方式	FDD/TDD
拡散レート	3.84 Mcps
情報レート	最大 2,048 kbps
フレーム長	10 ms
拡散変調（下り/上り）	QPSK/HPSK (FDD)，QPSK/QPSK (TDD)
情報変調（下り/上り）	QPSK/BPSK (FDD)，QPSK/QPSK (TDD)
誤り訂正	畳み込み符号，ターボ符号
送信電力制御	SIR推定閉ループ ＋ 開ループ制御
基地局間同期	同期/非同期

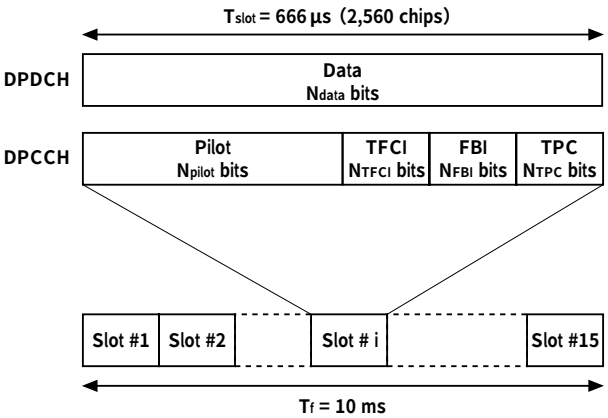

図-1　上りリンクのフレームフォーマット
Fig.1-Frame structure for uplink DPCCH and DPDCH.

チャネルコーディング

チャネルコーディングは，伝送するデータに誤り訂正，インタリーブを施して，物理チャネルにマッピングする機能をもつ。

● 誤り訂正とインタリーブ

音声などの低速伝送には符号化率R = 1/3，拘束長K = 9の畳み込み符号と軟判定ヴィタビ復号が用いられる。高速のデータ伝送には，拘束長K=4のターボ符号，復号が採用される。1993年に発表されたターボ符号は，畳み込み符号を要素符号とする並列連接型の組織符号で，ある条件では畳み込み符号とリードソロモンの連接符号に比較して優れた誤り訂正能力を示す。ターボ符号の特性はそのブロックサイズに大きく依存する。復号にはSOVA(Soft-Output Viterbi Algorithm)，MAP(Maximum A Posteriori probability)などによる繰り返し復号が用いられる。

インタリーバとしてはターボ符号用のターボインタリーバと，チャネルインタリーバとしてファーストインタリーバとセカンドインタリーバの２段階のインタリーバが用いられる。

● レートマッチング

レートマッチングは符号化された伝送ビット列を，物理チャネル(DPDCH)のビット数に合わせるために用いられる。上りリンクではバースト送信による他の機器への雑音混入を低減するため，すべてのレートに対してビットのレペティション(繰り返し)とパンクチャリング(間引き)によりマッチングが行われる。一方，下りリンクでは連続送信である必要がないため，すべてDTX制御で対応する。

拡散と変調

W-CDMAシステムではチャネライゼーションコードとスクランブリングコードの２種類の符号を用いて拡散を行う。チャネライゼーションコードは上りリンク，下りリンクともにOVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor)コードが用いられる。OVSFコードは異なる拡散率のマルチシンボルレート信号を，相互に干渉なく多重することを可能とする直交符号のセットである。

帯域制限フィルタには上りリンク，下りリンクともにロールオフ率0.22のルートロールオフ特性が用いられる。

● 上りリンクの拡散変調

上りリンクの拡散変調のブロック図を図-3に示す。上りリンクではHPSK(Hybrid Phase Shift Keying)変調が用いられる。HPSKでは時間的に連続したチップの信号点間で±180°の位相遷移を減らすことにより，帯域制限フィルタ出力で送信信号のピーク電力を低減する効果がある。

上りリンクのスクランブリングコードはユーザに固有であり，符号周期$2^{24}-1$のGold符号から10 msの二つのセグメントを切り出して，HPSK用の複素符号が生成される。

● 下りリンクの拡散変調

下りリンクの拡散変調のブロック図を図-4に示す。下りスクランブリングコードの周期はフレーム長の10 msで，符号周期$2^{18}-1$チップのGold符号から切り出した8,192通りの10 msのセグメントを繰り返し使用する。

同　　期

W-CDMAシステムは，基地局間同期と基地局間非同期のどちらのネットワークでも運用が可能なように設計さ

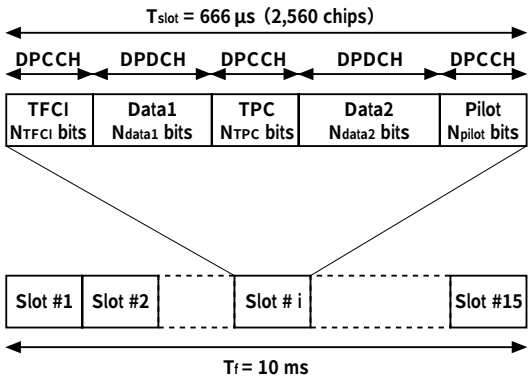

図-2　下りリンクのフレームフォーマット
Fig.2-Frame structure for downlink DPCH.

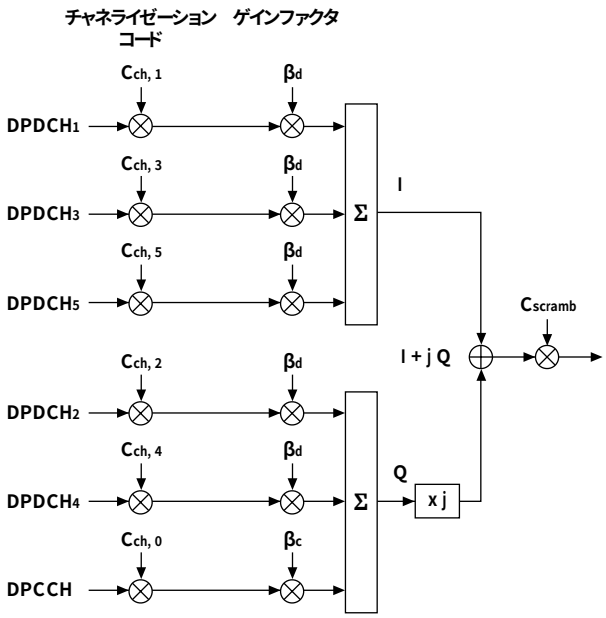

図-3　上りリンクの拡散と変調
Fig.3-Spreading and modulation for uplink DPCH.

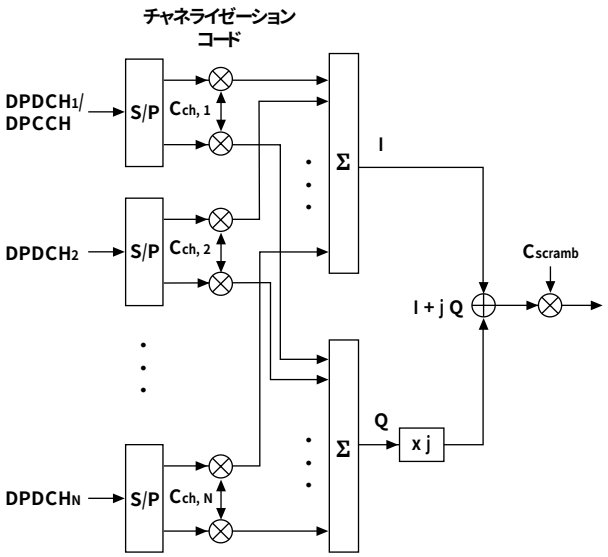

図-4　下りリンクの拡散と変調
Fig.4-Spreading and modulation for uplink DPCCH and DPDCHs.

れている。以下ではGPS（Global Positioning System）などによる同期が不要で，より柔軟なネットワーク構成が容易な基地局間非同期の場合の初期セルサーチについて説明する。

● 初期セルサーチ

初期セルサーチは移動機が基地局と同期を確立するために行う処理で，下りフレームタイミングの検出と基地局（セル）に割り当てられたスクランブリングコードの同定を行う。基地局間非同期モードにおいて高速なセルサーチを実現するために，３段階セルサーチ方法が用いられる。移動機は，①プライマリ同期コード検出によるスロットタイミングの同期，②セカンダリ同期コード検出によるフレームタイミングの同期とコードグループの同定，③スクランブリングコードの同定の３段階により初期セルサーチを完了し，システムあるいはセル固有の報知情報の受信を開始する。

● ランダムアクセス

ランダムアクセスはスロッテッドアロハ方式により，RACH（Random Access Channel）を用いて行われる。RACHは１ms長の複数のアクセスプリアンブルと，それに続く10 msのメッセージ本体で構成される。RACHは呼設定時とパケット伝送に使われる。

ランダムアクセスでは，後述のクローズドループ送信電力制御が適用できないため，移動機は最初小さな電力でアクセスプリアンブルを送信し，基地局からの応答があるまで段階的に電力を上げていくことで，適切な送信電力を決定する。

ハンドオーバ

ハンドオーバはセルラ方式の移動無線システムに不可欠の技術で，移動機の移動に伴って接続する基地局を自動的に切替えながら通話を保持する方式である。W-CDMAではセル間，セクタ間のダイバーシチハンドオーバと異周波間ハンドオーバがある。

● ダイバーシチハンドオーバ

ダイバーシチハンドオーバはハンドオーバする移動機が複数のセル，あるいは複数のセクタと同時に接続することが特徴で，伝送中の音声やデータストリームに影響を与えることなく，無瞬断でハンドオーバを行うことが可能となる。

ハンドオーバでは，移動機が周辺基地局からの信号強度やタイミングを測定して網側に報告する。これが一定の条件を満たすと新たな基地局へのハンドオーバが起動され，ハンドオーバ先の基地局との同期が確立される。ハンドオーバ先の基地局とのチップ同期，フレーム同期が確立した時点で，移動機は複数の基地局からのパスを用いたRAKEダイバーシチ受信を開始する。

● 異周波間ハンドオーバ

異周波間ハンドオーバでは，移動機が現在の通話を保持しつつ，異なる周波数のキャリアにおいてセルサーチなどの一連の同期確立処理を行うことが必要となる。FDDモードでは，これを圧縮モード（Compressed mode）と呼ぶ方法で実現する。圧縮モードでは，特定の部分の伝送レートを高くすることでデータ伝送を行わない区間を設け，その区間で移動機が受信周波数を切替えてレベル測定などを行う。

送信電力制御

CDMAでは他ユーザの電力が干渉となり，自局の伝送品質に影響を与える。このため，各ユーザに対して所望の伝送品質を確保しつつシステム全体の容量を最大にするために，送信電力制御（TPC：Transmit Power Control）が必須となる。W-CDMAではクローズドループとオープンループの二つのTPCを併用する。

● クローズドループTPC

クローズドループTPCでは，DPCCH上のTPCビットとしてフィードバックされる制御情報を用いて自局の送信電力を決定する。クローズドループTPCの制御はスロット（666 μs）単位で行われる。

クローズドループTPCではインナループとアウターループの二つの制御を用いる。インナループ制御では，

受信SIR（Signal-to-Interference Ratio）が基準SIRとなるようにフィードバック制御を行う。アウタループ制御では，平均ビット誤り率やフレーム誤り率を推定し，これらが要求値となるように，インナループTPCの基準SIRを設定する。

● オープンループTPC

オープンループTPCはランダムアクセスチャネルなどのクローズドループTPCが適用できないリンクに用いられる。受信側で受信電力から伝搬ロスを推定し，自局の送信電力を自律的に決定する。

FDDモードの場合，レイリーフェージングによる瞬時変動に関しては送信と受信の帯域間での相関は小さい。しかし，伝搬距離とシャドウイングなどで決まる平均的な伝搬ロスに関しては相関が高いため，これを利用してフィードバック情報を用いずに大まかな送信電力を制御することが可能である。

可変レート伝送

IMT-2000では，提供するサービスに対応して様々な伝送レートを柔軟にかつ効率良く収容する能力が求められる。W-CDMAではこれを可変拡散率伝送とマルチコード伝送の二つの方法によりサポートする。

● 可変拡散率伝送

可変拡散率伝送は，一つの無線リンクに対して一つのDPDCHを用い，拡散率を変えて伝送レートを可変する方式である。このときレートマッチングは，上りリンクはファーストインタリーブ単位，下りリンクはDTX単位で行われる。上りではすべてのレートに対してDPDCHが連続となるように加工され，下りは余ったビットはDTX制御により非送信となる。

レート情報はDPCCHのTFCIを用いて明示的に指定する方法と，ブラインドレート検出による方法の２種類がある。

● マルチコード伝送

マルチコード伝送は，一つの無線リンクに対して複数のDPDCHを割り当て，各DPDCHをそれぞれ異なるチャネライゼーションコードで拡散して，符号多重する伝送方法である。

マルチコード伝送では，符号多重後の信号振幅が多値となり，信号のダイナミックレンジが広がる。このため，上りリンクでは移動機の電力増幅器への要求が厳しくなる。

送信ダイバーシチ

送信ダイバーシチは，基地局が複数のアンテナを用いて下りリンクの信号を送信することによりダイバーシチ効果を得る技術である。本技術により，小型化の要求の強い移動機のアンテナを増加させることなく，ダイバーシチ利得を得ることが可能となる。送信ダイバーシチ方式には，オープンループモードとフィードバックモードがある。

● オープンループモード

移動機からのフィードバック情報を必要としないオープンループモードの送信ダイバーシチには，以下の二方式がある。

・STTD（Space Time block coding based Transmit Diversity）

STTDの原理を図-５に示す。拡散前の送信信号はSTTDエンコーダによって，シンボルの時間的順序の入れ替え，正負反転，複素共役の処理を施される。ここで各アンテナへの送信信号に対して，お互いに直交したパターンのパイロット信号が内挿される。これにより受信側で二つの伝搬路の複素振幅を独立に推定し，演算によりダイバーシチ合成されたシンボルを得ることができる。

・TSTD（Time Switched Transmit Diversity）

TSTDは基地局が送信アンテナを無線スロット単位で周期的に切替える方式で，同時刻にはどちらか片方のアンテナからのみ送信されている。移動機では，二つのアンテナからの異なる伝搬路を通ってきた信号を交互に受信することによりダイバーシチ効果を得る。

● フィードバックモード

フィードバックモードの送信ダイバーシチでは，移動機からのフィードバック情報に基づいて，基地局アンテナから送信する信号の振幅と位相を制御する。基地局の複数のアンテナから異なる伝搬路を経由して移動機アンテナに到達する信号が，移動機のアンテナ端において最

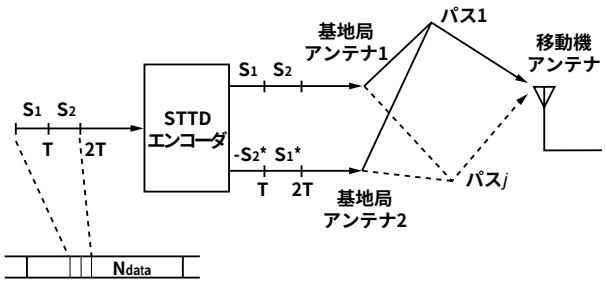

図-5　STTDモードの送信ダイバーシチの原理
Fig.5-Block diagram of STTD transmit diversity.

適に合成されるよう制御することでダイバーシチ利得を得る。フィードバック制御はスロット単位(666μs)で行われる。フィードバックモードには，振幅と位相の制御方法によりモード１とモード２の二つの方法がある。

・SSDT(Site Selection Diversity Transmission)

ダイバーシチハンドオーバ時の送信ダイバーシチ技術として，SSDTのオプションが考えられている。SSDTでは上りリンクDPCCHのFBIフィールドを用いて，ハンドオーバ中の複数のBSから，最も回線品質が良い一つのBSを選択するための制御情報を送る。これにより，下りリンクで複数のBSから同一の情報を送信する必要がなくなるため，無線回線での干渉を低減するとともに，網側の伝送情報を削減する効果がある。

む　す　び

本稿では，IMT-2000として期待されるW-CDMAシステムに関して，とくにFDD，DSモードの無線インタフェースについて概説した。レイヤ１の主な構成，仕様について説明するとともに，3GPPにおいて新たに採用された送信ダイバーシチなどの特徴的な技術について紹介した。

現在W-CDMAシステムは様々なオプションを含んだ柔軟なシステムとしてその仕様がまとまりつつある。今回はこれらのすべてについて触れることはできなかったが，3GPPの最新の検討経過や出力ドキュメントはWeb上で公開されており，誰でもアクセスすることが可能である。より詳細な技術内容に興味のある方はこちらを参照していただきたい。[5]

参考文献

(1) K. Ohno, M. Sawahashi, and F. Adachi：Wideband Coherent DS-CDMA. *in Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp.779-783(1995).

(2) K. S. Gilhousen et al.：On the Capacity of a Cellular CDMA System. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 40, 2, pp.303-312 (1991).

(3) ARIB：*Japan's Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000：W-CDMA*(June 1998).

(4) 3GPP Documents：TS-25 series, 25.201, 25.211-25.215, Version 3.0.0(1999).

(5) URL：http://www.3gpp.org/