

W-CDMA 技術

その1 W-CDMAにおけるチャネル構成・拡散 符号割り当て

次世代移動通信（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）方式のFDD（Frequency Division Duplex）モードの無線アクセス方式として広帯域符号分割多元接続方式（W-CDMA：Wideband Code Division Multiple Access）無線アクセスが採用され、3GPP（3rd Generation Partnership Project）での標準化活動および2001年度以降に全世界で引き続いて予定されている商用サービスを目指した研究開発が盛んに行われている。

本稿では、W-CDMAの物理レイヤ（レイヤ1）の特徴的技術について6回に分けて解説する。

今回はシリーズ第1回目として直接拡散符号分割多元接続（DS-SS：Direct Sequence Code Division Multiple Access）方式を用いるセルラーシステムの特徴およびW-CDMA無線アクセス技術の特徴や概要について概説し、その後、W-CDMA方式のチャネル構成、符号割り当て法について説明する。

さ わ は し ま ゐ る
佐和橋 衛

1. まえがき

ディジタル自動車電話方式（PDC：Personal Digital Cellular）システムにおける非電話データサービスのトラヒックおよび固定網におけるインターネットユーザの飛躍的増大を背景に、本格的マルチメディア移動通信を実現するのがIMT-2000と呼ばれる次世代移動通信方式である。

広帯域符号分割多元接続方式（W-CDMA：Wideband Code Division Multiple Access）無線アクセスが、IMT-2000のFDD（Frequency Division Duplex）モードの無線アクセス方式として採用され、3GPP（3rd Generation Partnership Project）での標準化活動および来年度以降に全世界で引き続いて予定されている商用サービスを目指した研究開発が盛んに行われている。

本稿では、W-CDMAの物理レイヤ（レイヤ1）の特徴的技術について連載し、まず初回は、直接拡散符号分割多元接続（DS-SS：Direct Sequence Code

Division Multiple Access）方式を用いるセルラーシステムの特徴およびW-CDMA無線アクセス技術の特徴[1]、[2]、[3]について概説し、その後、W-CDMA方式のチャネル構成、符号割り当て法[4]について説明する。

2. DS-SS方式を用いる セルラーシステムの特徴

DS-SSは、スペクトル拡散を用いて多元接続を行う無線アクセス方式である。DS-SSの原理を図1に示す。

送信情報データ系列を各ユーザ固有に割り当てられた情報レートのシンボルレートに比較して高速のデータレートの拡散符号で広帯域の信号に拡散して伝送する（W-CDMA方式では、1キャリアあたり5MHz帯域に拡散する）。この帯域拡大された高速のデータ系列のことをチップ（chip）、この拡散データの変化する速度をチップレートと称する。

また本稿では、チップレートとシンボルレートの比を拡散率（SF：Spreading Factor）と称する。

な か む ら た け ひ ろ
中村 武宏

ひ ゅ う け ん い ち
樋口 健一

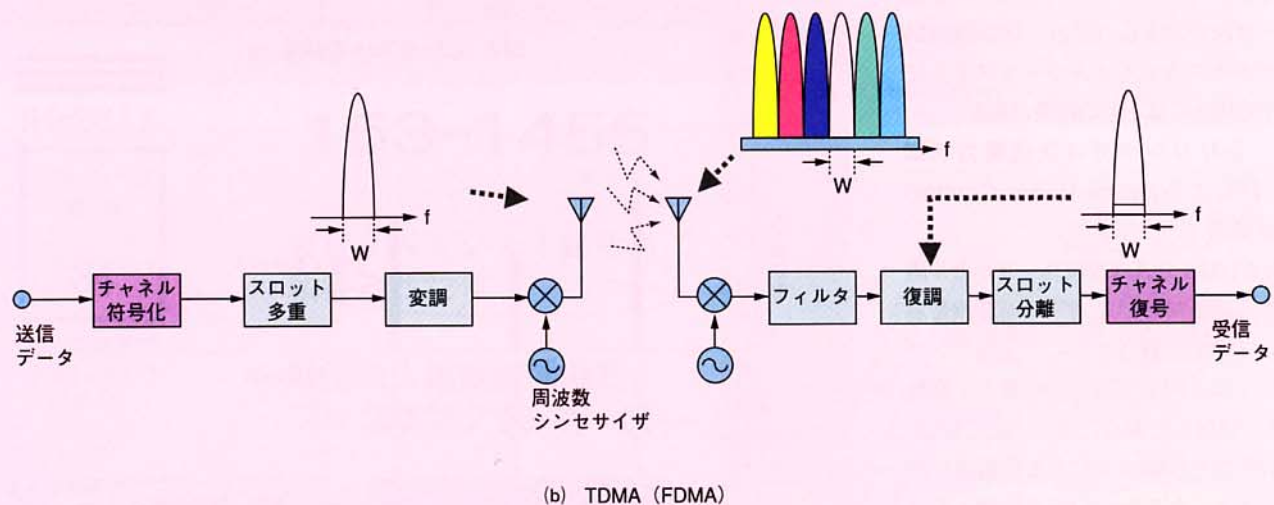
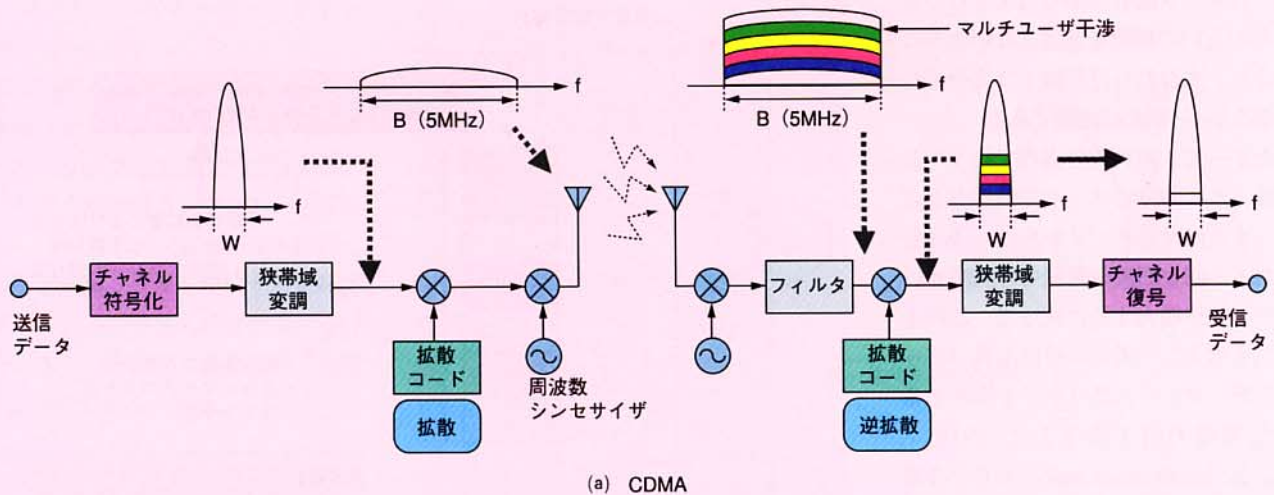


図1 DS-CDMAの原理

受信機側では、送信側で拡散に用いた拡散符号と同じ拡散符号を用いて相関検出を行う（この過程を逆拡散という）ことにより元の情報データ系列を再生する。この場合、他ユーザの異なる拡散符号で拡散された信号は、拡散符号が異なるので、平均的にSF分の1の信号電力に低減される。このように、DS-CDMAではすべてのユーザが同じ周波数帯域、時間を共有して通信を行い、各ユーザの識別は固有に割り当てられた拡散符号によって行う。

図1に示すように、時分割多元接続（TDMA：Time Division Multiple Access）

方式、周波数分割多元接続（FDMA：Frequency Division Multiple Access）方式では各ユーザは周波数シンセサイザにより周波数割り当ておよびタイムスロット（以下スロットと呼ぶ）を割り当てられて通信を行い、受信側では、割り当てられた周波数に周波数シンセサイザの周波数を設定することにより所定の周波数の信号を取り出す。これに対してDS-CDMAにおける受信機側では、逆拡散という拡散符号による相関検出を行うことにより自チャネルの信号を検出することができる。

移動通信環境では主に基地局（BS：Base Station）および移動局（MS：

Mobile Station）（3GPPではUE（User Equipment）と称されている）間の建物や地物などにより、伝搬時間の異なる複数のパス（マルチパス）が生じる。また、MS近傍の建物などの反射・散乱によりさまざまな方向から到来する多数の波が干渉し合っ、フェージングと呼ばれるランダムな定在波を生じる。このような独立なフェージング変動をする遅延時間の異なるマルチパスが到来する場合には、周波数帯域内で異なる受信レベルの変動を生じる周波数選択性（マルチパス）フェージングが生じる。

マルチパスフェージング環境下におい

ては、各ユーザ固有に割り当てられた拡散符号が互いに相関を及ぼさないようにすること、すなわち符号軸上で完全直交化することは一般には困難である。

したがって、逆拡散の過程で自セルおよび他セルにおけるユーザの信号および自チャネルのマルチパスからの干渉成分が現れる。同じ周波数帯域での同時通信ユーザの数が増大するに従って、この干渉電力も増大し、所定の受信品質（ビット誤り率、フレーム誤り率）を満たす希望波信号電力対干渉電力比（SIR：Signal-to-interference ratio）から干渉電力、したがってシステムで収容できる通信ユーザ数が決まる（図2）。DS-CDMA 無線アクセス方式をセルラシステムに適用する場合には下記の特徴がある。

- (1) 上りリンクでは送信電力制御（TPC：Transmit Power Control）が必須

DS-CDMA 方式は複数ユーザがセル内の異なる場所において同一の周波数帯域を用いて通信を行うために、上りリンクにおいては、例えば同じ送信電力で複数のMSが送信した場合には、一般にBSから離れるほど伝搬ロスによる受信信号の減衰が大きくなるため、BS受信機入力においてBSから離れた場所における（セル周辺）MSからの受信信号が、BSの近くにいるMSからの受信信号にマスクされてしまう、いわゆる遠近問題が生じる（逆拡散の過程で平均的にSF分の1に受信干渉信号電力は低減できるものの、干渉電力がこの拡散利得以上に希望波信号電力よりも大きい場合には、SIRは1以下になる）。したがって、BS受信においてすべてのユーザの受信信号電力が一定になるようにMSの送信電力を制御するTPCが必須である。

- (2) 1セル周波数繰返しが可能

DS-CDMA 方式は、各ユーザの識別は固有に割り当てられた拡散符号により行うため、同一の周波数帯域を隣接するセ

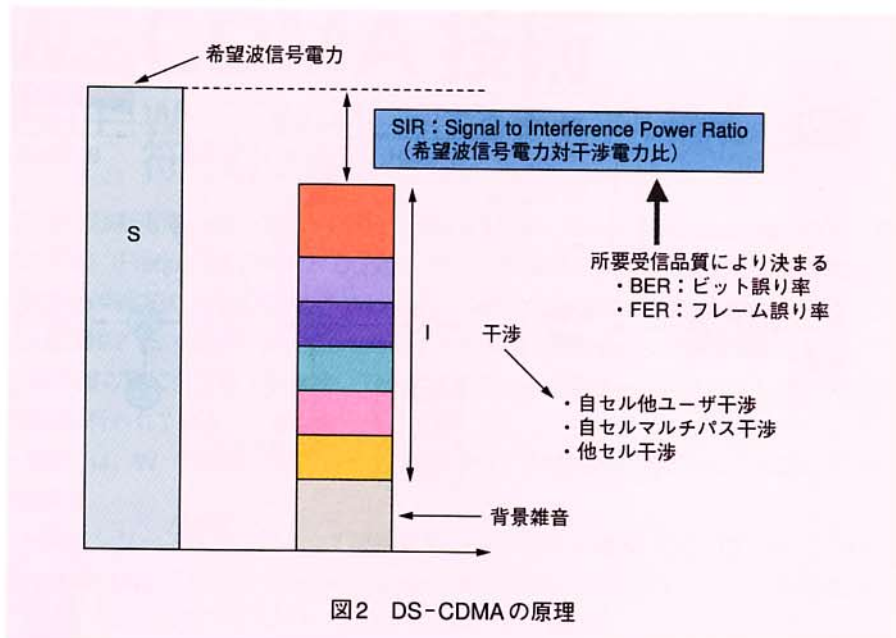


図2 DS-CDMAの原理

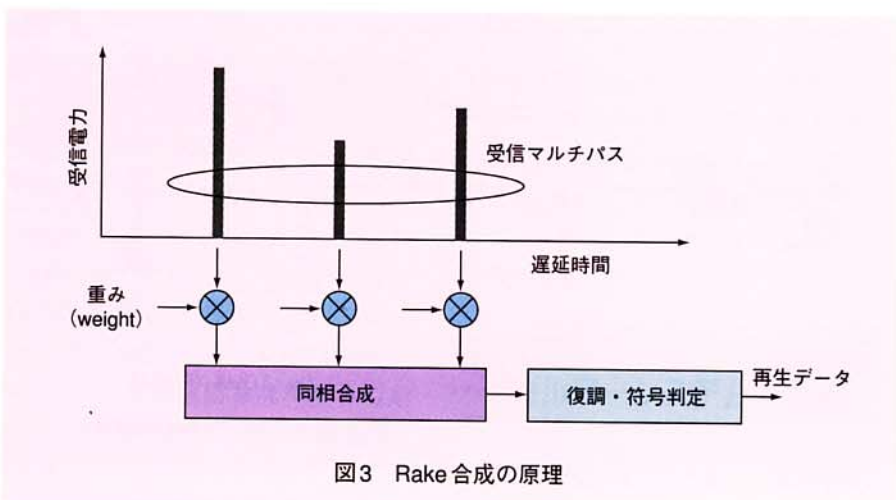


図3 Rake合成の原理

ル（セクタ）で用いることができる（1セル周波数繰返し）。

したがって、TDMA方式に比較してセルラシステムのようなマルチセルにおいてシステム容量の大容量化が実現できる。さらに1周波数繰返しが可能であるためセクタ化によるシステム容量増大効果がTDMA方式に比較して大きい。

- (3) Rake受信によるマルチパス信号の効率的受信

前述のようにDS-CDMA方式では高速の拡散符号系列で拡散して伝送するため、図3に示すように1チップ長以上の遅

延時間を有するパス（マルチパス）を時間的に分離して、合成することにより（これをRake合成という）マルチパスの信号電力を有効に用いることによる受信品質の高品質化が実現できる。

- (4) 可変レートサービスの柔軟な実現
(1)項で述べたように、拡散周波数帯域すなわちチップレートを一定にした場合、チャネルのシンボルレートとSFとは反比例の関係にある。したがって、SFを変化させることにより周波数帯域を変更せずに、シンボルレート、すなわち情報レートを柔軟に変更することができる。

(5) ソフトハンドオーバー（サイトダイバーシチ）

1周波数繰り返しであるために、2つ以上のセル（セクタ）からの信号を時間的にオーバーラップして受信／送信するソフト（セクタ間の場合をソフトと呼んでいる）ハンドオフ（あるいは複数のセルサイトと無線リンクを接続する意味でサイトダイバーシチとも呼ばれる）を行うことにより、セル端での高品質・無瞬断受信が実現できる（図4）。

3. W-CDMA方式の技術特徴

W-CDMA方式は、前述の特徴を有するDS-SSアクセス方式を用いて、拡散帯域をIS-95の1.25MHzに対し5MHzと広帯域化している。

広帯域化することにより、マルチパスフェージングチャネルを伝搬した受信信号をより多くのマルチパス成分に分離・合成することができるため、Rake時間ダイバーシチによる受信品質の向上が図れる（チップレートは3.84Mchip/second (cps) であり1チップ長は0.26 μ secになるため、この分解能でマルチパスを分離できる）。また、より多くの64kbit/s、384kbit/sなどの高速レート通信ユーザを収容できる（5MHz帯域での高品質2Mbit/sデータ伝送も実験的に実証されている）などのメリットを有する。

この広帯域化の特徴に加えて、W-CDMA方式には、次のような技術が採用されている。

(1) 非同期セル構成と高速セルサーチ

非同期セル構成は全地球測位システム（GPS：Global Positioning System）などの外部の時間同期システムを必要としないため、屋外から屋内への連続的で柔軟なシステム展開が可能である。

このセル間非同期システムを実現するため、2階層の拡散符号割り当てを用いて

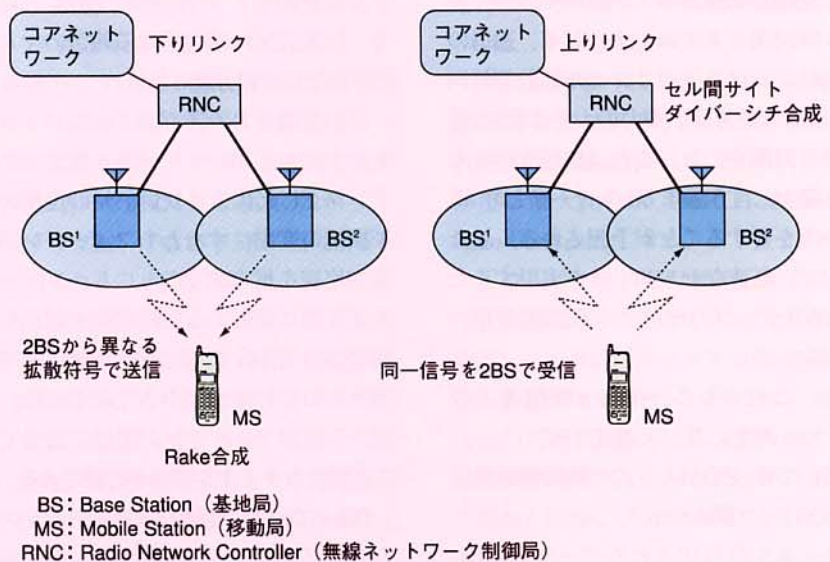


図4 ソフトハンドオーバー（サイトダイバーシチ）原理

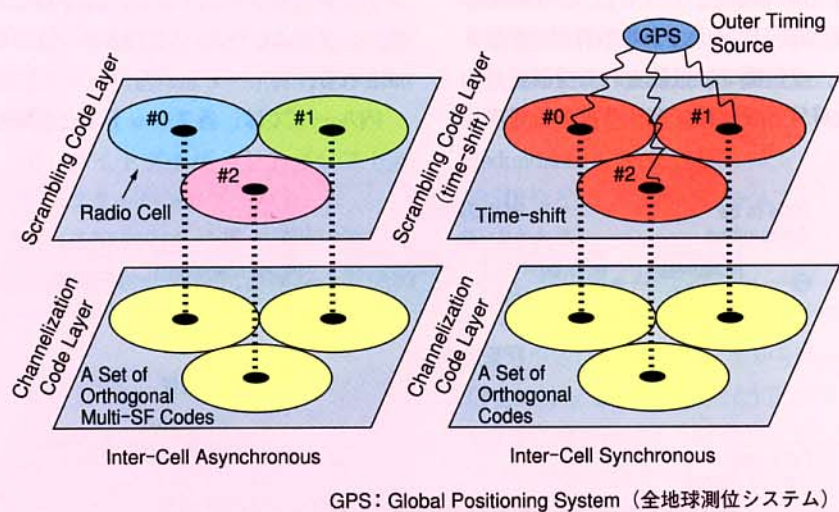


図5 下りリンクにおける拡散符号割り当て

いる（拡散符号については第4章で後述する）。

図5に下りリンクにおける拡散符号割り当てを示す。

各セル（あるいはセクタ）ごとに異なる長周期（10msec長）のスクランブルコード（Scrambling code）が割り当てられ、他セルからの信号は雑音化される。また、各セル内の各ユーザの識別は繰り返し周

期がシンボル周期のショートコード（Channelization code）を割り当てることにより行われる。

一般に直交するChannelization code数はSF個あり、Scrambling codeが各セルで異なるために、各セルで同じ直交化Channelization codeセットを用いることができる。

このようにW-CDMAにおいては各セ

ルでScrambling codeの種類が異なるためセル間同期システムに比較して、通信の開始時における下りリンクの拡散符号同期（MSは最も受信電力の大きなBSの拡散符号同期をとり、これは接続すべきセルを探すという意味でセルサーチと呼ぶ）に時間を要することが予想される。したがって、高速なセルサーチを実現するために3ステップのセルサーチ法[5]が用いられる。

(2) コヒーレントRake受信およびSIR測定に基づく適応TPC

図6にW-CDMA方式の無線機送受信部のブロック構成を示す。

チャネル符号化されたデータ系列は、パイロットシンボルなどのオーバーヘッドを付加された後、データ変調される。データ変調マッピングされた位相平面上の同相（In-phase）および直交（Quadrature）成分は、それぞれ拡散符号で拡散される。受信機では拡散された受信信号の拡散符号と受信機で有する拡散符号のレ

プリカを同期させて逆拡散することにより、伝搬遅延時間の異なる複数のマルチパス成分に時間分離される。

この分離された各パスごとにパイロットシンボルを用いてチャネル推定（フェージングに起因する受信信号の位相および振幅の変動、すなわちフェージング複素包絡線を推定すること）し、フェージング変動に起因する位相変動を補正して同じ位相で合成する（Rake合成）。1パス当たりの信号電力は小さくなるため、低速から高速フェージング環境に適用できる高精度なチャネル推定が必要である。

DS-CDMAは干渉リミテッドなシステムであるため、SIR測定に基づく適応TPC[6]を上りおよび下りリンクに適用することにより、所要受信品質に対して常に送信電力を最小にでき、したがって、システム容量を増大できる。適応TPCは内ループおよび外ループの2ループより構成される。

内ループでは、各スロットごとの瞬時

のSIRをパイロットシンボルを用いて測定し、この測定SIR値が目標SIR値に等しくなるよう送信電力の増減を制御する2値のTPCコマンドを生成して、反対側のリンクで送信する。一方、同じ目標SIR値でも伝搬路のパス数、MSの移動速度（最大ドップラ周波数）などの伝搬環境、SIR測定法の差異によって必ずしも同じ受信品質（フレーム誤り率、ビット誤り率）にならない。

したがって、外ループにより誤り訂正復号後のフレーム誤り率を測定し、所要のフレーム誤り率になるよう目標SIR値を補正する。

(3) 直交可変拡散率（OVSF：Orthogonal Variable Spreading Factor）伝送およびマルチコード伝送による高速信号伝送

通信チャネルは音声帯域の低速レートから高速レートの広範囲にわたるレートの情報伝送サービスを、可変SF伝送およびマルチコード伝送により実現する。

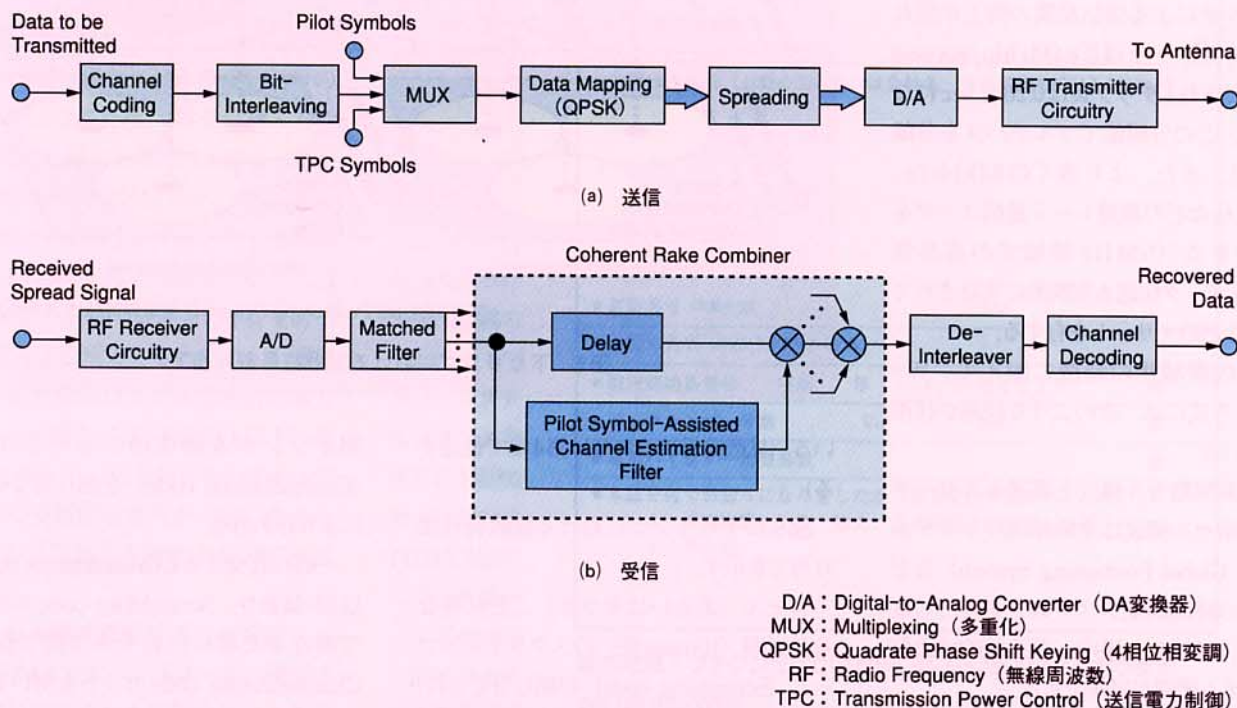


図6 W-CDMA方式の無線機送受信部のブロック構成

SFを変える可変SFを複数のコードチャネルを多重するマルチコード伝送に優先して用いる。高速データ伝送を可変SFによるシングルコード伝送で実現できるため、送信機ではマルチコード伝送に比較して平均電力に対するピーク電力比を低減でき、また受信では1系列のRake受信機の構成となる。

SFが4あるいは8まで小さくしても実現できない高速データは、このSFのコードチャネルを複数用いるマルチコード伝送を用いる。

図7に示すようにそれぞれの情報レートに対応したSFにすることにより384kbit/sまではシングルコードで実現でき、2Mbit/s伝送はSF=4の3マルチコード伝送で実現できる。

下りリンクにおいては各通信チャネルの送信タイミングを同期することができ、また同一伝搬路における異なるシンボルレート（すなわちSF）の物理チャネル間においても直交マルチコード伝送と同様に相互相関のない直交化が実現できる階層的拡散符号生成法による直交可変拡散率（OVSF：Orthogonal Variable Spreading Factor）コードが提案されている[7]（4.1節参照）。

(4) 高速・高品質データ伝送へのターボ符号化の適用

前述のようにDS-CDMAでは受信機側において固有の拡散符号で逆拡散を行うことにより、他ユーザの干渉成分の電力は平均的にSF分の1になる。したがって、積分チップ数、すなわちSFに相当する利得が得られるので拡散利得という。

W-CDMAでは、このランダム符号（符号化利得のない符号）を用いる拡散による帯域拡大の一部にこのチャネル符号化（誤り訂正符号化）を用いることにより、前述の拡散利得に加えてチャネル符号化による符号化利得をさらに得ることができる。

本稿では原情報ビットレートとチップレートの比を処理利得（PG：Processing Gain）と称する。チャネル符号化として、32kbit/sより低いレートの音声、低速データには、畳み込み符号化、32kbit/s以上の高速データ伝送にはターボ符号化が用いられる。

(5) サイトダイバーシチ（ソフト／ソフトハンドオーバー）

W-CDMAでは、MSが同時に複数のBSと無線リンクを接続して通信を行うソフトハンドオーバー（サイトダイバーシチ）

を行うことによりセル周辺での受信品質の向上、無断通信が実現できる。

図4に示すように下りリンクでは異なる拡散符号の2通信チャネルをMSでそれぞれ逆拡散、Rake合成し、さらにシンボル単位に最大比合成（MRC：Maximal Ratio Combining）する。

下りリンクのTPCはサイトダイバーシチ合成後の信号の各スロットごとのSIRを測定し、上り通信チャネルでBSに通知する。各BSはこのTPCコマンドにしたがって送信電力を更新する。上りリンクにおけるセクタ間ダイバーシチは下りリンクの場合と同様にシンボル単位でのMRC合成を行う。

一方、上りリンクにおけるセル間サイトダイバーシチではまずそれぞれのBSで逆拡散、Rake合成、誤り訂正復号を行う。復号後の硬判定データはフレームごとの信頼度情報を付加されて、有線区間を通して上位局のRNC（Radio Network Controller）に伝送され、信頼度情報（CRC：Cyclic Redundancy Check）結果、フレームの平均SIRなど）に応じてフレームごとに選択合成される。

(6) 送信ダイバーシチ

BSでアンテナ間のフェージング相関が1より小さい2つのアンテナから同一の通信者に対して信号伝送を行うことにより、MS受信機の複雑さを増大することなく、ダイバーシチ効果により下りリンクの高品質受信を実現できる。

MSからの制御信号がない2種類のOpen-loop型、およびMSからの制御信号で位相／振幅を制御する2種類のClosed-loop型が3GPP仕様で採用されている。Open-loop型のTSTD（Time Switched Transmit Diversity）は同期チャネル（SCH）に、STTD（Space Time Transmit Diversity）は共通制御チャネル（CCPCH）および個別物理チャネル（DPCH）に適用される。TSTDは、SCHをスロットごとに交互に2つのアンテナか

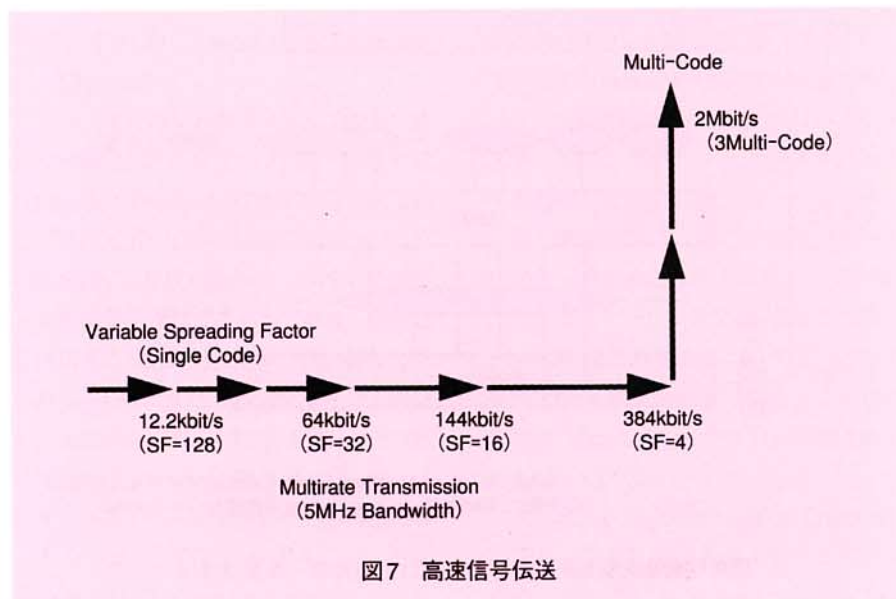


図7 高速信号伝送

ら送信することにより、またSTTDは同一の符号化した送信信号を2つのアンテナから同時に送信することにより、バースト誤りをランダム化できる。また、Closed-loop型の送信ダイバーシチは、個別物理チャンネル（通信チャンネル）のみに適用可能であり、2つのアンテナから同じキャリア位相で送信された共通パイロットチャンネル（CPICH）の受信位相から、個別物理チャンネル（通信チャンネル）の送信キャリア位相（振幅）をMSからの制御ビットにより制御することにより、フェージングによる受信信号電力の落ち込み起因するビット誤りを低減することができる。

(7) 干渉キャンセラおよびアダプティブアンテナアレーダイバーシチによるリンク容量増大技術

W-CDMAは将来的なリンク容量の更なる増大技術として干渉キャンセラやアダプティブアンテナアレーダイバーシチ受信／送信が適用できるような無線インタフェースを有している。

上りリンクにおいては、他ユーザ干渉（MAI：Multiple Access Interference）およびマルチパス干渉（MPI：Multi-Path Interference）を低減することにより、MSの送信電力を低減することができ、バッテリーの長寿命化に効果的である。

また、下りリンクにおいてはインターネットによる高速データのダウンロードや同報サービスなどが想定され、上りリンクに比較して更なる大容量化が期待されている。OVSFコードを用いることにより同一伝搬路の直交化を実現できるものの、高送信電力の高速レート通信者からのMPIは低レート（例えば音声伝送）通信者にとって非常に大きな干渉を生じる。したがって、MSの機能変更を必要としないBSの送信側処理で実現できるアダプティブアンテナアレー送信ダイバーシチは下りリンクの容量増大に現実的である。

4. チャンネル構成およびフレーム構成

W-CDMA方式におけるチャンネル構成は、物理チャンネル、トランスポートチャンネル、論理チャンネルの3階層の構成になっている。

図8に物理レイヤを中心としたプロトコルアーキテクチャを示す。物理レイヤはレイヤ2のサブレイヤであるMAC（Medium Access Control）レイヤに対して複数の異なるトランスポートチャンネルを提供し、MACレイヤは上位レイヤに対して複数の異なる論理チャンネルを提供する。

物理チャンネルは、拡散符号、周波数、同相（In-phase）／直交（Quadrature-phase）位相の割り当てによって分類されている。物理チャンネルの1無線フレームは10msecであり、15個スロットより構成されている。

1スロット長（＝0.667msec）が適応TPC、コヒーレントRake受信のためのチャンネル推定（フェージングに起因する受信信号の位相および振幅の変動、すなわ

ちフェージング複素包絡線を推定すること）の単位であり、高速フェージング環境でのこれらの追従性とパイロットシンボルなどのオーバーヘッドによるフレーム効率のトレードオフにより、0.667msec程度の値になっている。また1スロットに挿入される符号化データのビット数は各物理チャンネルによって異なる。

4.1 主なチャンネル構成

物理レイヤに関する主な物理チャンネルおよびトランスポートチャンネルを下記に示す。また、物理チャンネルとトランスポートチャンネルのマッピングを図9に示す。

4.1.1 主な物理チャンネル（Physical Channel）とその特徴

主な物理チャンネル（Physical Channel）とその特徴を下記に示す。

(1) P-CCPCH（Primary-Common Control Physical Channel）

下りリンクの共通チャンネルで各セル1つ存在し、報知情報を送信するために用いられる。各スロットの先頭256チップ区間は送信されない（後述するSCHはこの区間のみ送信）。

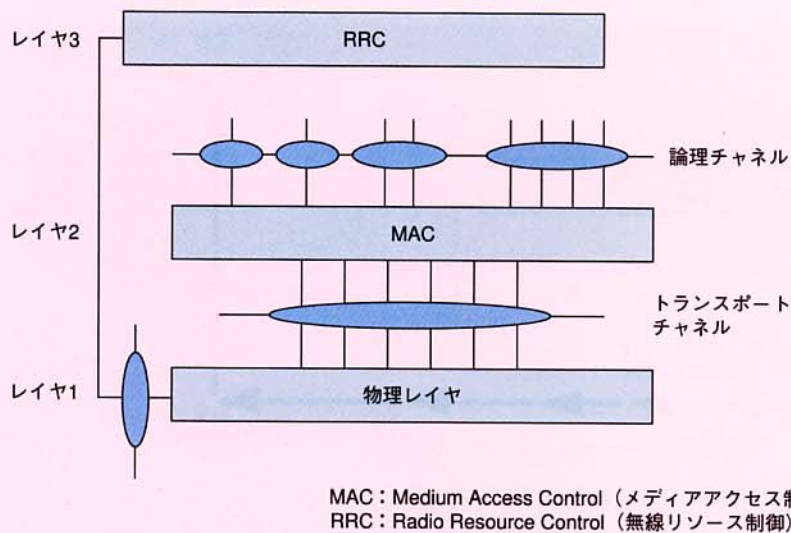


図8 物理レイヤを中心としたプロトコルアーキテクチャ

Transport Channel (トランスポートチャンネル)

BCH: Broadcast Channel (報知チャンネル)
 FACH: Forward Access Channel
 (下りアクセスチャンネル)
 PCH: Paging Channel (一斉呼出チャンネル)
 RACH: Random Access Channel
 (ランダムアクセスチャンネル)
 DCH: Dedicated Channel (個別チャンネル)
 DSCH: Downlink Shared Channel
 (下り共通パケットチャンネル)
 CPCH: Common Packet Channel
 (上り共通パケットチャンネル)

Physical Channel (物理チャンネル)

P-CCPCH: Primary Common Control Physical Channel
 (第1共通制御物理チャンネル) [DL]
 S-CCPCH: Secondary Common Control Physical Channel
 (第2共通制御物理チャンネル) [DL]
 PRACH: Physical Random Access Channel
 (物理ランダムアクセスチャンネル) [UL]
 DPDCH: Dedicated Physical Data Channel
 (個別物理データチャンネル) [UL/DL]
 DPCCH: Dedicated Physical Control Channel
 (個別物理制御チャンネル) [UL/DL]
 PDSCH: Physical Down Link Shared Channel
 (下り共通パケット物理チャンネル) [DL]
 PCPCH: Physical Common Packet Channel
 (上り共通パケット物理チャンネル) [UL]
 CPICH: Common Pilot Channel (下り共通パイロットチャンネル) [DL]
 SCH: Synchronization Channel (同期チャンネル) [DL]
 AICH: Acquisition Indication Channel (同期通知チャンネル) [DL]
 PICH: Page Indication Channel (着信情報通知チャンネル) [DL]

図9 物理チャンネルとトランスポートチャンネルのマッピング

(2) S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)

下りリンクの共通チャンネルで各セルに複数存在可能であり、ページング信号および上位レイヤからのデータ送信 (主に低レート) に用いられる。

(3) PRACH (Physical Random Access Channel)

上りリンクの共通チャンネルで各セルに複数存在し、上位レイヤからのデータ送信 (主に低レート) のために用いられる。

(4) DPCH (Dedicated Physical Channel)

上り/下りの双方向チャンネルでMSに対して個別に割り当てられる。DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) およびDPDCH (Dedicated Physical Data Channel) より構成される。DPDCHはチャンネル符号化されたデータであり、DPCHを使用するMSに対して1つ以上割り当てられる。DPCCHはDPCHのレイヤ1制御のために用いられ、DPCHを使用するMSに対して1つのみ割り当てられる。DPCCHは、チャンネル推定のためのパイロットシンボル、TPCシンボル、レート情報を表すTFPI (Transport Format Combi-

nation Indicator) シンボル、および下りリンクにおけるClosed-loop型送信ダイバーシチにおける送信アンテナを制御するためのFBI (Feedback Information) シンボル (上りリンクのみ) より構成される。

(5) CPICH (Common Pilot Channel)

下りリンクのMSにおけるチャンネル推定用の共通パイロットチャンネルである。Primary-CPICH, Secondary-CPICHの2種類あり、さらにPrimary-CPICHは各セル1つであるが、送信ダイバーシチ用にデータ変調パターンが異なる (1つ目はすべて“1”) 2本のPrimary-CPICHが用意されている。将来的に下りリンクにおいてアダプティブアンテナアレイ送信ダイバーシチを適用した場合には、セクタアンテナ送信と異なり各ユーザごとに送信ビームパターンが生成される。したがって、MSにおけるコヒーレントRake受信のためのチャンネル推定のためにユーザごとのパイロットチャンネルが必要になり、このために複数のSecondary-CPICHが規定されている。

(6) SCH (Synchronization Channel)

下りリンクにおけるセルサーチ用の共通チャンネルであり、Primary-SCHとSec-

ondary-SCHの2種類あり、ともに各セル1つずつ存在する。各スロットの先頭256チップ区間のみ送信される。

(7) AICH (Acquisition Indication Channel)

下りリンクのランダムアクセスチャンネル制御に用いられる共通チャンネルで、PRACH, PCPCHと対で存在する。

(8) PICH (Page Indication Channel)

下りリンクの共通チャンネルで、ページング信号がマッピングされるS-CCPCHと対で存在する。各着信群に対する着信情報の有無を送信。着信群#nに属するMSは着信群#nに対する着信ありと通知された場合に、S-CCPCHにマッピングされたPCHを受信する。

(9) PDSCH (Physical Down Link Shared Channel)

下りリンクにおけるパケットデータ送信 (主に高レート) のために用いられる共通チャンネルである。

(10) PCPCH (Physical Common Packet Channel)

上りリンクにおけるパケットデータ送信 (主に高レート) のために用いられる共通チャンネルである。

4.1.2 主なトランスポートチャンネル (Transport Channel) とその特徴

(1) BCH (Broadcast Channel)

下りリンクの共通チャンネルで報知情報
(システム情報、セル情報)を送信する。

(2) FACH (Forward Access Channel)

下りリンクの共通チャンネルでユーザデータ
の送信に用いられる。複数のMSで共有して使用し、上位レイヤからの低レート
のデータの送信に使用される。

(3) PCH (Paging Channel)

下りリンクの共通チャンネルでページ
ン信号の送信に用いられる。

(4) RACH (Random Access Channel)

上りリンクにおけるランダムアクセス
チャンネルで上位レイヤからの低レートの
ユーザデータ送信に用いられる。

(5) DCH (Dedicated Channel)

双方向のチャンネルでユーザデータの送
信に用いられる。MSごとに個別に割り当
てられ、高速なレート変更および高速
TPCが可能である。

(6) DSCH (Down Link Shared Channel)

下りリンクにおける共通チャンネルで主
に高レートのパケットデータの送信に用
いられる。

(7) CPCH (Common Packet Channel)

上りリンクにおけるランダムアクセス
チャンネルで主に高レートでパースト性の
高いデータ送信に用いられる。

4.2 フレーム構成

上りリンクにおける個別物理チャンネル
のフレーム構成を図10に示す。

上りリンクにおいては、DPDCH、
DPCCHがそれぞれI/Qチャンネルに直交位
相多重された構成となっており、固定長
シンボルのDPCCHとシンボルレート
(SF) 可変の情報シンボル (DPDCH) が
位相平面上で分離されているため、可変
レート伝送時における送信信号の振幅変
動を小さく抑え、かつ1フレーム長以上の

長周期にすることができる。

下りリンクにおける個別物理チャンネル
のフレーム構成を図11に示す。

下りリンクでは、スロット内にDPCCH
とDPDCHが交互に時間多重されたフレ
ーム構成になっている。

図12にCPICHとSCHの構成を示す。

すべてのセルで共通のChannelization
codeで拡散されたPrimary-SCH (スロッ
トの先頭位置を示す)、およびシステム全

体のScrambling codeをあらかじめグルー
プ化しておき、このScrambling codeグル
ープおよびフレームタイミングを表示す
るSecondary-SCHを各スロットの先頭位
置にCPICHにコード多重して送信する。
MSは、現在の位置において接続すべき
BSのPrimary-SCHをまず検出する。

Primary-SCHを検出することにより、
Secondary-SCHの受信タイミングが分か
るので、1フレーム内の15個の

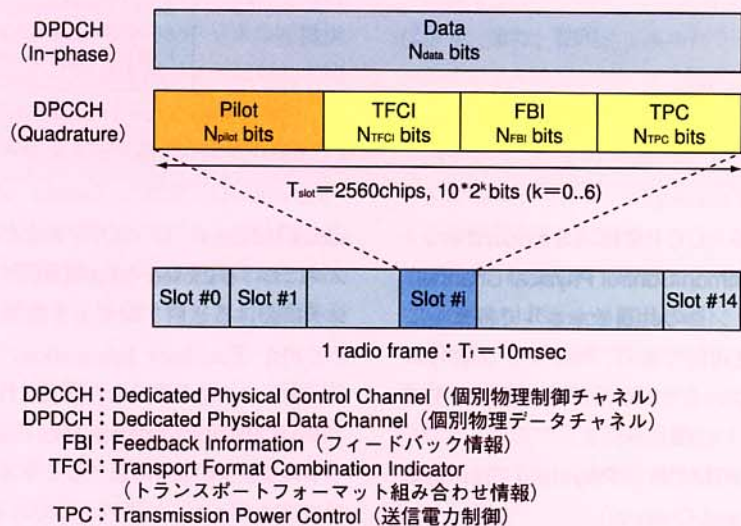


図10 上りリンクDPCHフレーム構成

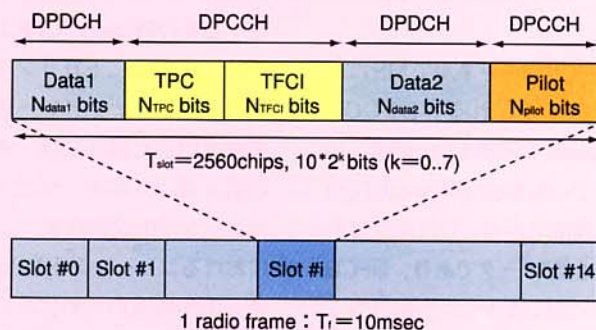


図11 下りリンクDPCHフレーム構成

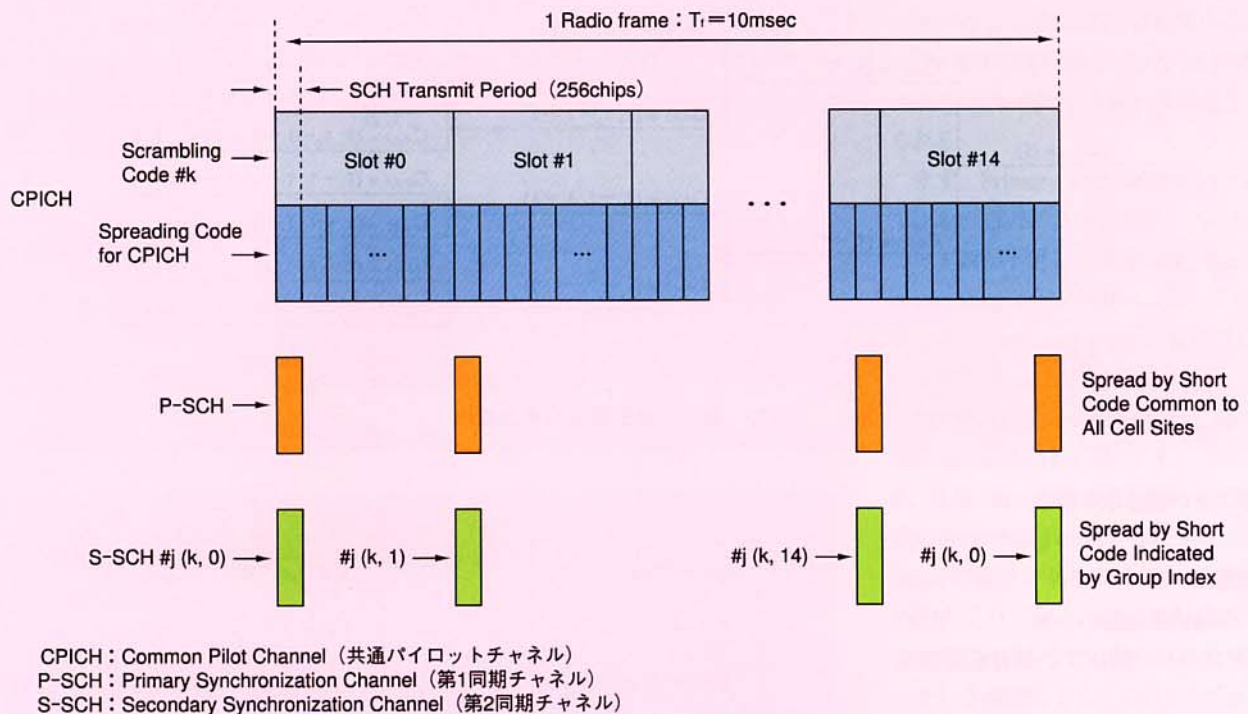


図12 共通パイロットチャンネルと同期チャンネル構成

表1 2段階の拡散符号割り当て

	Channelization code	Scrambling code
	情報シンボル周期の繰り返し	1フレーム (10msec) 周期の繰り返し
下りリンク	各ユーザの識別 (長さ: 4 ~ 512 チップ)	各セル (セクタ) の識別 (長さ: 38,400 チップ)
上りリンク	マルチコード伝送における 各コードチャンネルの識別 (長さ: 4 ~ 256 チップ)	各ユーザの識別 (長さ: 38,400 チップ)

表2 各物理チャンネルの拡散符号割り当て

物理チャンネル	Spreading Factor	Channelization code	Scrambling code
CPICH	256	#0	Primary
P-CCPCH	256	#1	Primary
S-CCPCH	4-256	Arbitrary	Primary (Secondary)
DPCH	4-256	Arbitrary	Primary (Secondary)
AICH	256	Arbitrary	Primary (Secondary)
PICH	256	Arbitrary	Primary (Secondary)

AICH : Acquisition Indication Channel (同期通知チャンネル)
CPICH : Common Pilot Channel (共通パイロットチャンネル)
DPCH : Dedicated Physical Channel (個別物理チャンネル)
P-CCPCH : Primary Common Control Physical Channel (第1共通制御物理チャンネル)
PICH : Page Indication Channel (着信情報通知チャンネル)
S-CCPCH : Secondary Common Control Physical Channel (第2共通制御物理チャンネル)

Secondary-SCH の組み合わせにより、Scrambling code グループおよびフレームタイミングが検出できる。

最後に検出した Scrambling code グループ内の Scrambling code 候補のそれぞれについて CPICH を用いて相関検出演算を行い、最終的に Scrambling code を同定する。

5. 拡散符号割り当て

W-CDMA では2階層の拡散符号を割り当てを用いている。拡散符号の構成を表1に示す。シンボル長の繰り返し周期を有する Channelization code とシンボル長に比較して非常に長い繰り返し周期を有する Scrambling code とで2重拡散される。Channelization code には後述する OVSF コードが用いられる。

各物理チャンネルと拡散符号割り当ての関係を表2に示す。S-CCPCH および DPCH は、最小4から最大256までの2の

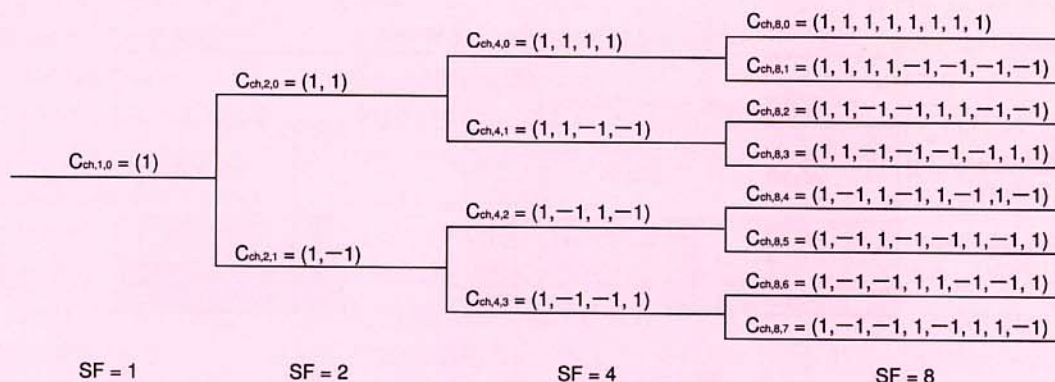


図13 直交可変拡散率符号生成法

べき乗のSFの値を取り得る。

5.1 拡散コード

(1) Channelization code

OVSFコードの割り当て法[7]を図13に示す。

$C_{ch,1,0} = (1)$ (SF=1)から出発して、次式で示す規則により逐次的に次の階層、すなわち2倍のSFにおけるOVSFコードが生成できる(数式1)。

SF=kの階層にはk個のOVSFコードが生成され、このk個のコード間では直交性(コード間の相互相関がゼロになること)が保たれる。さらに、異なる階層における2つのOVSFコード間においても、互いに一方のコードが他方のコードから派生したコード(すなわちコードツリーにおける上下にある関係)で“ない”場合には直交性が実現できる。

例えば、 $C_{ch,2,0}$ と $C_{ch,4,2}$ は互いに情報データのシンボルパターンによらず、常に直交している。 $C_{ch,2,0}$ のコードを割り当てた場合には、このコードのツリーの下にあるコードは用いることができない(OVSFコード割り当ての制約)。

下りリンクにおいては、BSから送信された複数のチャネルは異なる建物や地物などの反射により、異なる伝搬路を通過して伝搬時間の異なる複数のマルチパス信号としてMSで受信される。ある伝搬路に

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2^{(n+1)},0} \\ C_{ch,2^{(n+1)},1} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},3} \\ \vdots \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-2} \\ C_{ch,2^{(n+1)},2^{(n+1)}-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,2^n,0} & C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,0} & -C_{ch,2^n,0} \\ C_{ch,2^n,1} & C_{ch,2^n,1} \\ C_{ch,2^n,1} & -C_{ch,2^n,1} \\ \vdots & \vdots \\ C_{ch,2^n,2^{n-1}} & C_{ch,2^n,2^{n-1}} \\ C_{ch,2^n,2^{n-1}} & -C_{ch,2^n,2^{n-1}} \end{bmatrix}$$

数式1

おける送信された複数の物理チャネルは同一の振幅および位相変動を受ける。

したがって、この同一伝搬路の複数の物理チャネル間においてはOVSFコードを用いることにより、異なるSF、すなわち同一伝搬路の異なるシンボルレートを有する物理チャネル間の直交化を実現でき、受信特性の高品質化に非常に有効である(下りリンクにおいても異なる伝搬路を通ったマルチパスからの干渉は受ける)。下りリンクにおけるPrimary-CPICHには $C_{ch,256,0}$ の、Primary-CCPCHには $C_{ch,256,1}$ のChannelization codeがすべてのセルで共通に用いられ、他の物理チャネルのChannelization codeはネットワークサ

イドから割り当てられる。

(2) Scrambling code

表1に示すように、下りリンクにおいては各セル(セクタ)固有のScrambling codeが、上りリンクにおいては各ユーザ固有のScrambling codeが割り当てられる。

上りリンクにおいては各MSから送信された物理チャネルは独立なフェージング変動を受けるため、異なる振幅および位相変動を受け、また伝搬時間が異なるために一般的には物理チャネル間の直交化は困難であり、したがってOVSFによるChannelization codeで各ユーザ識別する必要性はない。

上りリンクにおけるScrambling codeに

$$C_{psc} = \{a, a, a, -a, -a, a, -a, -a, a, a, a, -a, a, -a, a, a\}$$

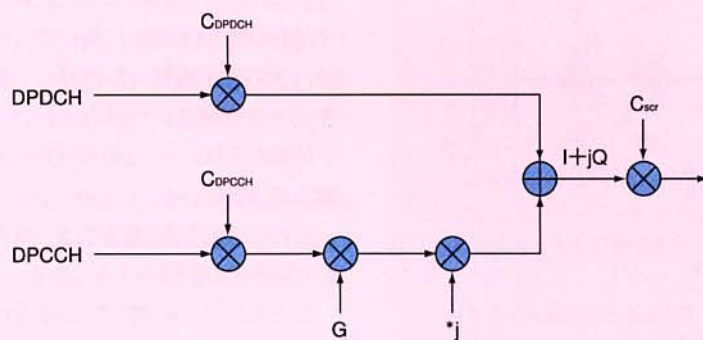
$$\text{ここで, } a = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{16}\} = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1\}$$

数式2

$$Z = \{b, b, b, -b, b, b, -b, -b, b, -b, b, -b, -b, -b, -b, -b\}$$

$$\text{ここで, } b = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, -x_9, -x_{10}, -x_{11}, -x_{12}, -x_{13}, -x_{14}, -x_{15}, -x_{16}\}$$

数式3



DPDCH : Dedicated Physical Control Channel (個別物理制御チャネル)
DPCCH : Dedicated Physical Data Channel (個別物理データチャネル)

図14 上りリンクにおける拡散法

$$S_I = D_I C_I - D_Q C_Q$$

$$S_Q = D_I C_Q + D_Q C_I$$

数式4

は、繰り返し周期が10msecであるLong scrambling codeと256チップ周期の短い繰り返し周期のShort scrambling codeの2種類設けられている。

このうち、Short scrambling codeは上りリンクにおける将来的な容量増大のためにマルチユーザ受信機を適用した場合に、BSでの受信処理を低減するためのScrambling codeであり、ドコモでは当初は使用しない。

Long scrambling codeは繰り返し周期が

2^{24} チップ長のGold系列の先頭から38,400チップ分の長さの系列であり、 2^{24} 個存在する。下りリンクにおけるScrambling codeは、 2^{18} 系列長のGold系列およびこれを131,072チップシフトして生成した系列のそれぞれ先頭から38,400チップを切り出して生成する。

Scrambling codeは、512個のコードグループに分けられ、それぞれのコードグループは1つのPrimary scrambling codeおよび15個のSecondary scrambling codeよりなる。

したがって、合計8,192個のScrambling codeが用いられ(3GPPではさらに、可変レート伝送におけるcompressed modeにおいて用いられるScrambling codeとして、それぞれ8,192個のLeft alternative

scrambling codeおよびRight alternative scrambling codeが規定されている)、Primary scrambling codeと15個のSecondary scrambling codeとは対応して用いられる。

まず、Primary scrambling codeに対して(1)項のOVSFコードの割り当てを行い、コード数が不足した場合には、Secondary scrambling codeを用いることになるが、異なるScrambling codeにおけるOVSFコード間では、直交性は保持されない。

512個のPrimary scrambling codeは64個のScrambling codeグループに分類され、1 Scrambling codeグループ当たり8個のScrambling codeが存在する。これは、MSが無線リンクを接続するセルを検出する際の下りリンクにおける拡散符号同期およびCPICHの受信電力の検出(セルサーチ)を高速化するための3ステップセルサーチに用いるためである。

(3) 同期コード(Synchronization code)

Synchronization codeは、SCHの拡散に用いられる拡散コードであり、PSC(Primary synchronization code)と、SSC(Secondary Synchronization Code)の2種類あり、それぞれP-SCH、S-SCHの拡散に用いられる。

PSCを C_{psc} と表記すると、 C_{psc} は数式2のように定義される。

16種類のSSCを C_{ssc} と表記すると、 $C_{ssc,k}$ ($k = 1, 2, 3, \dots, 16$)は以下に示す長さ256の共通系列Zと 256×256 の大きさのアダマール行列の16($k-1$)行要素の積により生成される(数式3)。

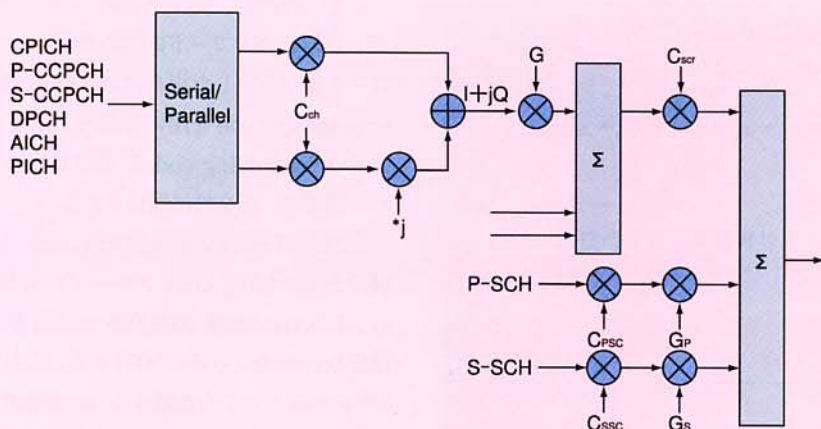
5.2 拡散変調処理

上りリンクにおける物理チャネルの拡散処理を図14に示す。

Channelization codeの拡散はI/Q位相平面上にマッピングされたデータ系列に対して、それぞれ異なるOVSFコードを用いて拡散が行われる。ここでGの値は

$$C_{long,n}(i) = C_{long,1,n}(i) (1 + j (-1)^i C_{long,2,n}(2\lfloor i/2 \rfloor))$$

数式 5



- AICH : Acquisition Indication Channel (同期通知チャネル)
- CPICH : Common Pilot Channel (共通パイロットチャネル)
- DPCH : Dedicated Physical Channel (個別物理チャネル)
- P-CCPCH : Primary Common Control Physical Channel (第1共通制御物理チャネル)
- PICH : Page Indication Channel (着信情報通知チャネル)
- P-SCH : Primary Synchronization Channel (第1同期チャネル)
- S-CCPCH : Secondary Common Control Physical Channel (第2共通制御物理チャネル)
- S-SCH : Secondary Synchronization Channel (第2同期チャネル)

図 15 下りリンクにおける拡散法

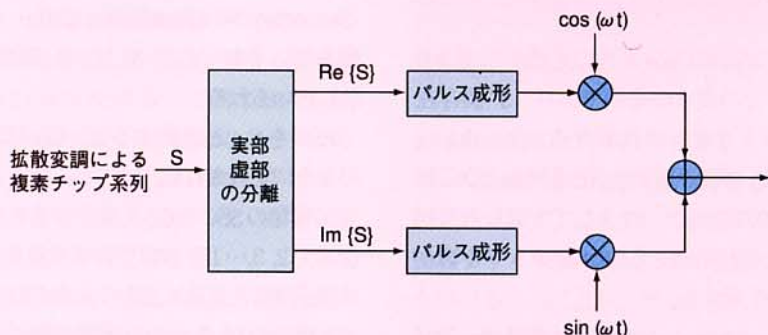


図 16 変調処理

DPDCHの振幅（電力）を規定する定数である。

Long scrambling codeは1つの物理チャネルに対して、複素拡散を行うために2つのLong scrambling codeを用いる。

1つ目のLong scrambling codeは前述のように 2^{24} チップ長の繰り返し周期を有す

るGold系列の先頭から38,400チップ分を切り出した符号であり、2つ目のLong scrambling codeは、同じ番号の 2^{24} 周期のGold系列を16,777,232チップシフトして生成した系列の先頭から38,400チップを切り出して生成する。この2つのLong scrambling codeを用いて1つの物理チャ

ネルに対して複素演算でのスクランブルを行う。

通常のQPSK拡散変調を行う場合の、Scrambling codeの拡散はI/QチャネルのChannelization codeで拡散された拡散データ系列に対して、I/Qチャネルの異なるLong scrambling codeを用いて次式で表されるような、複素拡散が行われる。

複素拡散は数式4で表される。

ここで、 $D_{1(Q)}$ はChannelization codeショートコードで拡散されたデータ系列のI(Q)成分、 $C_{1(Q)}$ はLong scrambling codeのI(Q)成分である。このQPSK拡散変調ではI/Q位相平面上において、拡散後のチップの位相遷移（したがって最終的にキャリア変調された場合におけるキャリア位相の遷移）が、180度変化して原点を通る場合が生じる。

このような位相遷移では、電力増幅器の非線形歪の影響が大きくなる。

したがって、3GPPでは180度の位相遷移の確率を低減して、電力増幅器の非線形歪の影響を低減したHPSK (Hybrid Phase Shift Keying) という拡散変調方式が採用されている。これはQPSKと $\pi/2$ -shifted BPSKを1チップごとに交互に繰り返して拡散変調を行う方式であり（原点を通る位相遷移をなくすという観点から、手法はPDCの $\pi/4$ -shifted QPSKに類似している）、2つのLong scrambling codeを用いて数式5で表される複素表示のLong scrambling codeを生成する。

SCHはそれぞれ対応するSCのみで拡散される。下りリンクにおけるフレーム化されたビットデータ系列はシリアル・パラレル変換されてI/QチャネルにQPSKマッピングされる（QPSKデータ変調）。I/Qチャネルのシンボルデータ系列は同じ $SF=m$ のChannelization codeにより拡散される。その後、2系列のScrambling codeを用いて複素処理のQPSK拡散変調（スクランブル）処理を行う（図15）。

5.3 直交変調

チップレート3.84McpsのI/Qチャネルの拡散データ系列は、図16に示すように自乗余弦ルートナイキストフィルタ（ロールオフファクタ $\alpha=0.22$ ）で5MHzの周波数帯域に収まるよう帯域制限した後、中間周波数（IF）帯の信号に直交変調され、さらに2GHz帯のキャリア変調信号に周波数変換される。

6. あとがき

本稿では、DS-CDMA方式を用いるセルラー方式の特徴、W-CDMA無線アクセス技術の特徴、およびW-CDMA方式のチャネル構成および符号割り当て法について紹介した。

W-CDMA無線アクセス方式は、非同期セルシステムであるから屋外から屋内

への柔軟なシステム展開が可能である。また、特にSIR測定に基づく適応TPCや直交マルチSFは、音声などの低速レートサービスと広帯域サービスが共存するマルチメディア移動通信方式において柔軟なシステムを実現するために有効な技術である。さらに、干渉キャンセラや適応アンテナアレイダイバーシチを適用することにより、より一層の伝送特性の向上、システム容量増が期待できる。

これらの特徴的無線アクセス技術について、次回以降より紹介していく。

文 献

- [1] 安達、佐和橋：“次世代移動通信に向けたマルチレートW-CDMA無線アクセス”，信学技報RCS97-86，1997-09。
- [2] F. Adachi, M. Sawahashi and H. Suda：“Wideband DS-CDMA for Next Generation Mobile Communication System”，IEEE Commun. Mag., Vol.36, pp.56-69, Sept.1998.
- [3] NTT DoCoMo テクニカルジャーナル “W-CDMA システム実験特集”，Vol.6, No.3, Oct.1998.
- [4] 3GPP RAN, 3G TS 25.211 V3.2.0, March 2000.
- [5] K. Higuchi, M. Sawahashi and F. Adachi：“Fast Cell Search Algorithm in DS-CDMA Mobile Radio using Long Spreading Codes”，IEICE Trans. Commun., Vol.E81-B, pp.1527-1534, July 1998.
- [6] S. Seo, T. Dohi and F. Adachi：“SIR-Based Transmit Power Control of Reverse Link for Coherent DS-CDMA Mobile Radio”，IEICE Trans. Commun., Vol.E81-B, No.7, pp.1508-1516, July 1998.
- [7] K. Okawa and F. Adachi：“Orthogonal forward link using orthogonal multi-spreading factor codes for coherent DS-CDMA mobile radio”，IEICE Trans. Commun., Vol.E81-B, pp.777-784, April 1998.