

(3) VSF・OFCDM および VSCRF・CDMA に基づくブロードバンド無線アクセス技術

下りリンクにおける可変拡散率を用いた直交周波数・符号分割多重 (VSF・OFCDM), 上りリンクにおける可変拡散率・チップ繰返しファクタ CDMA (VSCRF・CDMA) 無線アクセスの概要, およびそれらの実験結果について述べる.

あたらし ひろゆき ま え だ のりゆき きしやま よしひさ
新 博行 前田 規行 岸山 祥久
ひぐち けんいち さ わ は し まる
樋口 健一 佐和橋 衛

1. まえがき

ブロードバンド無線アクセスは, セラシステムのマルチセル環境と, ホットスポットエリアや屋内セルなどの他セル干渉の小さい孤立セル環境を, 同一の無線インタフェースで連続的にサポートする. セラシステムでは, 高速から低速のモビリティを有するユーザを広カバレッジでサポートする必要があり, システム容量の増大 (周波数利用の高効率化) を実現するためには, 同一の周波数帯域を隣接セルで用いる 1 セル周波数繰返しが必須である. 一方, ホットスポット環境などの孤立セル環境では, 周辺セルからの干渉の影響は小さいものの, 比較的小さなエリアに, 低モビリティの高トラフィックを有するユーザが存在し, セル当りの一層の周波数の高効率化が要求される. このような, 異なるセル環境に柔軟に対応する, 時間領域拡散を優先する 2 次元拡散 VSF・OFCDM (Variable Spreading Factor・Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) 下りリンク無線アクセス, および可変拡散率・チップ繰返し

ファクタ CDMA (VSCRF・CDMA: Variable Spreading and Chip Repetition Factors・Code Division Multiple Access) 上りリンク無線アクセスについて概説する. さらに, これらの無線アクセス方式に基づくブロードバンド無線アクセス実験装置の概要を説明し, 実験結果について述べる.

2. 時間領域拡散を優先する 2 次元 拡散 VSF・OFCDM (下りリンク)

2.1 原理と特徴

図 1 に, 2 次元拡散を適用した VSF・OFCDM の原理図を示す[1], [2]. 2 次元拡散では, チャネル符号化後のデータシンボルはセル固有のスクランブルコードと各セルで共通に用いられる直交符号により 2 重拡散される. 具体的には, データシンボルを, 時間領域において SF_{Time} 個の直交周波数・符号分割多重 (OFCDM: Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) シンボル, および周波数領域において SF_{Freq} 個のサブキャリアに繰返して (コピーして), 後述する 2 次元の直交符号およびセル固有のスクランブルコードを乗算する (それぞれ時間領域拡散, 周波数領域拡散と呼ぶ). SF_{Time} , SF_{Freq} は, 時間領域, 周波数領域の拡散率であり, 全体の拡散率は $SF = SF_{Time} \times SF_{Freq}$ となる. 2 次元拡散 VSF・OFCDM は, セル構成, 伝搬チャネル条件 (遅延スプレッド, 最大ドップラ周波数, 他セル干渉など), チャネル負荷, 無線パラメータ (データ変調方式, チャネル符号化率など) に応じて, 常に最大のシステム容量を得られるように, SF_{Time} , SF_{Freq} の値を適応的に制御する. 本制御では, まずセル構成に応じて拡散率を制御する (基地局からの制御情報に基づいて, 移動局が拡散率を設定). すなわちセラシステムでは, $SF > 1$ とする制御を行うことで, 拡散利得により他セル干渉を抑圧する. これにより, 同じ周

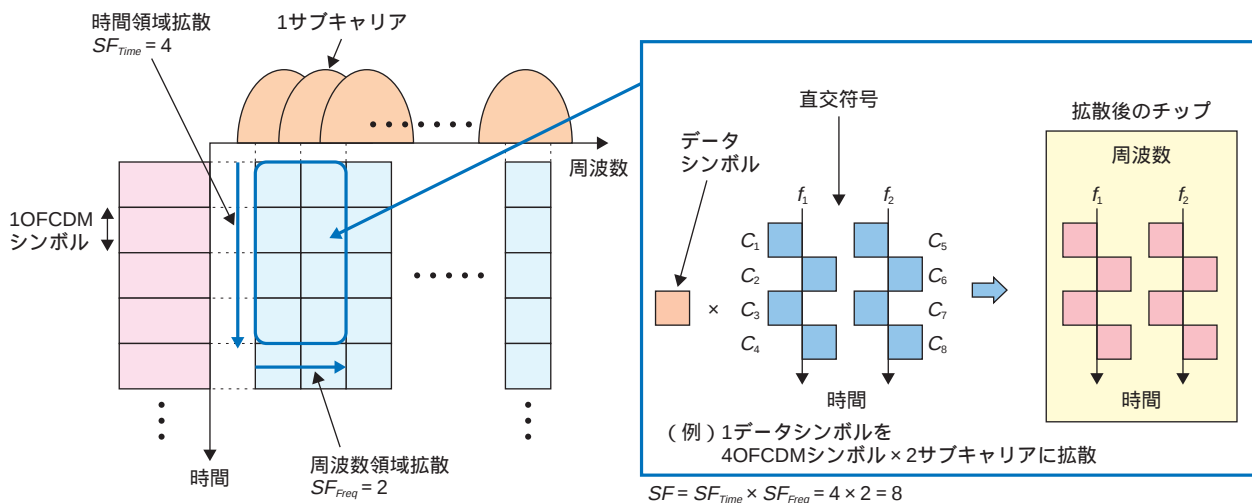


図1 2次元拡散の原理

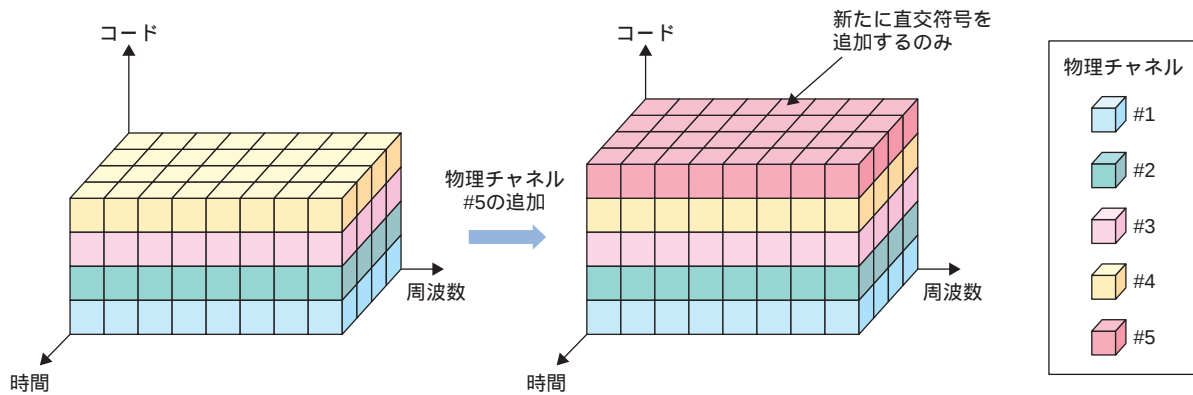
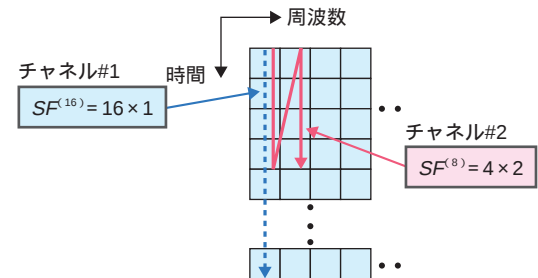


図2 コード多重のメリット

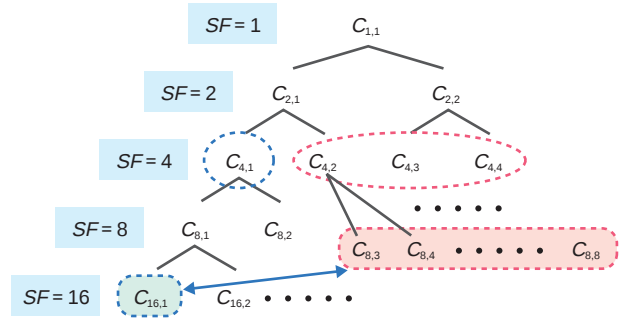
波数帯域を隣接セルで使用する（1セル周波数繰返し）ことが可能となり、高い周波数利用効率を実現できる。一方、他セル干渉の小さいホットスポットエリアや屋内セルでは、拡散による1セル周波数繰返しのメリットが減少する。逆に、拡散を行って拡散率分の物理チャンネルを多重して信号伝送を行った場合（最大情報レート伝送時）には、伝搬チャンネルの影響により、多重した物理チャンネル間でコード間干渉が生じ、周波数利用効率が劣化する。特に、コード間干渉は、周波数選択性フェージングの影響を受ける周波数領域拡散で顕著となる。しかしながら、ホットスポットエリアや屋内セルの低速のモビリティ環境では、時間領域の変動が小さいため、時間領域拡散のコード間干渉はほぼ無視することができる。そこで孤立セル環境では、基本的に時間領域拡散のみを適用し、高い周波数利用効率を実現する。さらにVSF・OFCDMでは、セル構成に応じた拡散率の制御を行った後、伝搬チャンネル条件、チャンネル負荷、無線パラメータなどに応じて、 SF_{Time} および SF_{Freq} の値の適応制御を行う。

2次元拡散の原理として、図1に、データシンボルが $SF_{Time} = 4$, $SF_{Freq} = 2$ に拡散される例（全体の拡散率は $SF = 8$ ）を示す。データシンボルは、 $SF_{Time} \times SF_{Freq} = 4 \times 2$ の直交符号が乗算され、拡散後のチップが4個のOFCDMシンボル $\times 2$ サブキャリアにマッピングされる。2次元拡散VSF・OFCDMでは、2次元領域の直交符号を割り当てることで、フレーム内に複数の物理チャンネルを柔軟にコード多重することが可能であり、次のメリットを有している。

- (1) 直交符号の割り当てを変更するのみで、物理チャンネルの設定、解放を柔軟に実現できる（図2）。
- (2) 異なるシンボルレートの複数の物理チャンネルを、異なる拡散率の直交符号を割り当てることでフレーム内に柔軟に多重できる。
- (3) 拡散率を増大させることで低速のシンボルレートの物理チャンネルを容易に実現できる。



(a) 異なる拡散率の物理チャンネルの多重（例）



(b) OVSF ツリーを用いた2次元直交符号割当て

図3 2次元の直交符号割当て法

- (4) コード軸上で多重された物理チャンネルごとに柔軟な送信電力の割当てが可能である。
- (5) コード多重のパイロットチャンネルを実現できる。

図3(a)に、時間領域拡散を行う拡散率16の物理チャンネル ($SF^{(16)} = SF_{Time} \times SF_{Freq} = 16 \times 1$) と、2次元拡散を行う拡散率8の物理チャンネル ($SF^{(8)} = 4 \times 2$) を多重する例を示す。これら2つの物理チャンネル間で直交化を実現するには、直交可変拡散率（OVSF：Orthogonal Variable Spreading Factor）符号の割り当て法[3]に基づいて、図3(b)に示される2次元直交符号割り当てを行う[1]。例えば、 $SF^{(16)}$ の物理チャンネルに図3(b)中の直交符号 $C_{16,1}$ を選択した場合には、 $SF^{(8)}$ の物理チャンネルが $SF^{(16)}$ と直交するために、 $C_{16,1}$ の上位の符号 $C_{4,1}$ とは異なる符号から生成された $C_{8,3}$, $C_{8,4}$, ..., $C_{8,8}$ のい

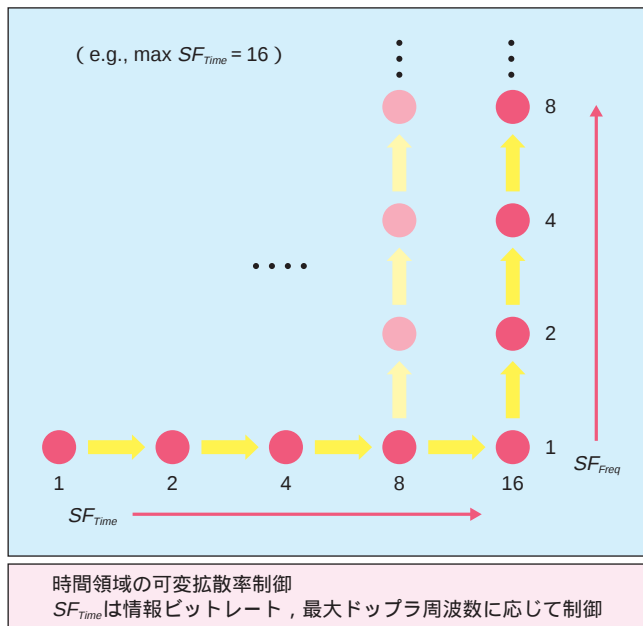
れかの符号を用いることで、直交化を実現できる。

2.2 可変拡散率制御法

2次元拡散VSF・OFCDMでは、周波数領域拡散に比較して時間領域拡散を優先的に用いる(図4)。これは、適応無線リンク制御や、再送制御などの制御遅延を小さくするため、提案するブロードバンド無線方式では0.5～1ms程度のフレーム長を用いている。したがって、このような0.5～1ms程度の短いフレーム長内では、高速のモビリティの場合を除いて、多重した物理チャンネル間の直交性の崩れ(コード間干渉)の影響を、周波数領域拡散に比較して時間領域拡散が小さく抑えることができるためである。特に伝搬チャンネルの条件が良い場合には、コード間干渉への耐性の小さい多値データ変調が用いられるため、時間領域拡散を優先させることにより、所要 E_b/N_0 (1ビット当りの信号エネルギー対雑音電力密度比)を低減可能である。一方で、4

タ変調を用いる低速レートの制御チャンネルやデータチャンネルでは、 SF_{Time} だけでなく、 $SF_{Freq} > 1$ とする制御を行うことで、周波数ダイバーシチ効果による所要 E_b/N_0 の低減を行う。この制御は、マルチセル環境の他セルからの干渉が支配的な領域においても有効である[4]。さらに、セルラシステムにおける高速のモビリティを有するユーザに対しては、最大ドップラ周波数の増大により時間領域拡散のコード間干渉が無視できなくなる場合に、 SF_{Time} を小さくする制御を適用する。

図5にVSF・OFCDMの送信部の構成を示す。送信される2値の情報データ系列は、チャンネル符号化、ビットインタリーブ後、データ変調マッピングされ、直並列変換される。並列の各系列のデータ変調シンボルは2次元に拡散され、物理チャンネルが生成される。ビットインタリーブ部、直並列変換部、および2次元拡散部は、可変拡散率制御部により、設定された SF_{Time} 、 SF_{Freq} に応じて、ビットインタリーブパターン、直並列変換、および2次元拡散の設定が行われ



周波数領域の可変拡散率制御

- ・ SF_{Freq} は情報ビットレート、チャンネル負荷、遅延スプレッドに応じて制御
- ・ QPSKデータ変調では SF_{Freq} を増大させる効果あり
- ・ 16QAM(多値データ変調)では $SF_{Freq} = 1$ を適用

図4 2次元領域の拡散率の設定方法

る。複数の物理チャンネルは異なる直交符号を割り当てて、コード多重された後、逆フーリエ変換(IFFT: Inverse Fast Fourier Transform)により、OFCDMシンボルに変換後にシンボル間干渉を低減するためのガードインターバルがシンボルごとに挿入される。

可変拡散率制御の適用効果として SF_{Time} 、 SF_{Freq} を変化させた場合の、チャンネル負荷(拡散率で正規化した物理

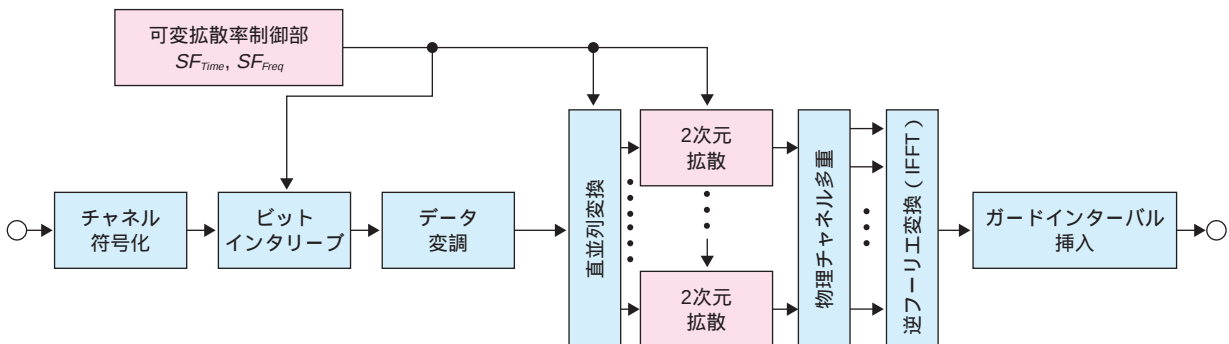


図5 VSF・OFCDMの送信部構成

チャネルの多重数, C_{mux}/SF) に対する平均パケット誤り率 (PER : Packet Error Rate) を, 図6に示す. 図6(a)のQPSK データ変調では, チャネル負荷の小さい条件において, SF_{Freq} を大きくすることで, 拡散により得られる周波数ダイバーシチ効果による改善効果が, 周波数選択性フェージングによるコード間干渉の影響よりも大きいため, 平均パケット誤り率を低減することができる. 一方で, チャネル負荷が増大するにつれて, コード間干渉の影響が顕著となるため, 周波数領域拡散を適用しない ($SF_{\text{Freq}} = 1$) ことで, 平均パケット誤り率を低減できることが分かる. したがってチャネル負荷に応じて, 時間, 周波数領域の最適な拡散率を用いる適応的な制御により, パケット誤り率の小さい高品質な伝送を実現できることが分かる. 図6(b)より, 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) データ変調でも, チャネル負荷の小さい条件では, SF_{Freq} を大きくするこ

とで, 周波数ダイバーシチ効果により平均パケット誤り率を低減することが可能である. しかしながらこの領域の情報ビットレートは, QPSK データ変調でチャネル負荷を増大させることで実現可能であり, より高品質な伝送が実現可能である. 一方, $C_{\text{mux}}/SF > 0.5$ の条件では, 16QAM データ変調は, 位相および振幅変調を用いるため, コード間干渉への耐性が減少し, $SF_{\text{Freq}} > 1$ における平均パケット誤り率の劣化が顕著となる. したがって, 16QAM データ変調では, 基本的にチャネル負荷の大きい条件において $SF_{\text{Freq}} = 1$ とする制御が有効であることが分かる.

3. VSCRF・CDMA(上りリンク)

3.1 原理と特徴

図7に, 提案する可変拡散率・チップ繰返しファクタCDMA (VSCRF・CDMA) 無線アクセスの概念図を示す[5]. セルラシステムのマルチセル環境下でのVSCRF・CDMAは, 拡散利得により他セル干渉を抑圧し, 1セル周波数繰返しを実現する. 一方, 他セル干渉の小さいホットスポットエリアや屋内セルなどの孤立セル環境では, 拡散による1セル周波数繰返しのメリットが減少し, 逆にマルチプルアクセス干渉やマルチパス干渉の影響が顕著となり, 直接拡散符号分割多元接続 (DS・CDMA : Direct Sequence Code Division Multiple Access) の周波数利用効率が劣化する. そこでVSCRF・CDMAでは, 孤立セル環境においてDS・CDMAで用いる拡散率の割合を減少させ, その減少分にチップ繰返しを適用する. チップ繰返しの適用により, くの歯状の周波数スペクトラムが生成されるため, 上りリンクユーザの周波数領域での直交化を実現することができる. これにより, マルチプルアクセス干渉の低減が可能となり, 拡散のみを用いたDS・CDMAに比較して, 孤立セル環境での高い周波数利用効率を実現することができる.

VSCRF・CDMAでは, 上りリンクの基地局受信において, 各ユーザからの受信信号の受信タイミングが一致するように, ゆるやかな送信タイミング制御を適用する. すなわち, ガードインターバルを挿入 (シンボル区間の末尾の一部を, シンボル区間の前方にコピーする) し, ガードインターバル区内に各ユーザの各パスの受信タイミングが収まるような緩やかな送信タイミング制御を実現すれば, チップ繰返しの原理によりユーザ間の信号を周波数領域で完全に直交化することができる[6]. なお, チップ繰返しを行わないDS・CDMAにおいては, 各ユーザの最大受信電力のパスの受信タイミングが完全に一致するように厳密な送信タイミング制御を行うことで, 最大受信電力パス間でのマルチプルアクセス干渉を低減することが可能である[7].

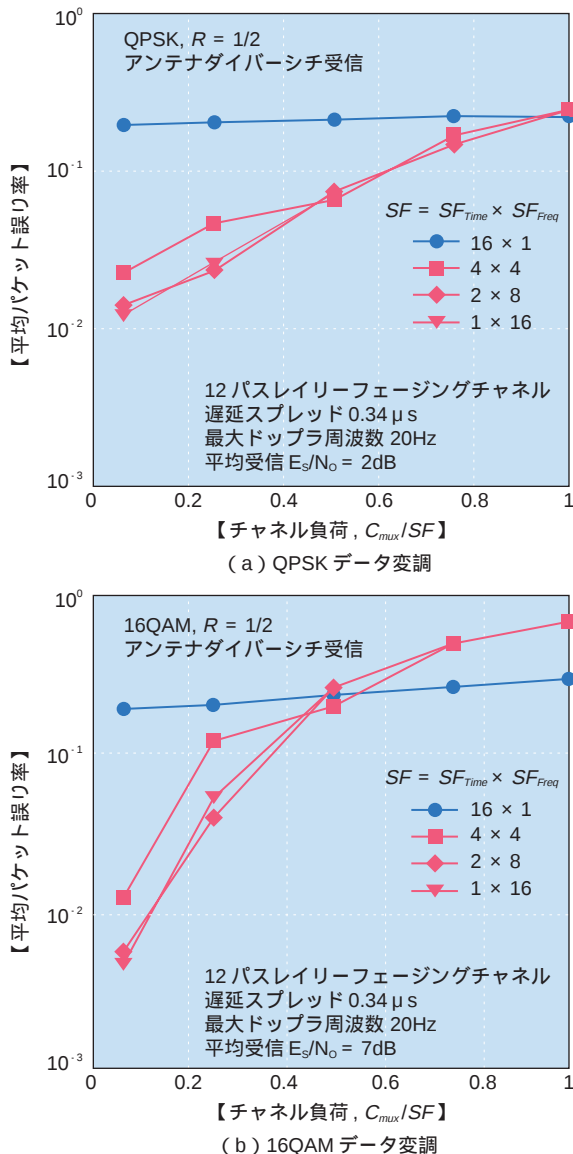


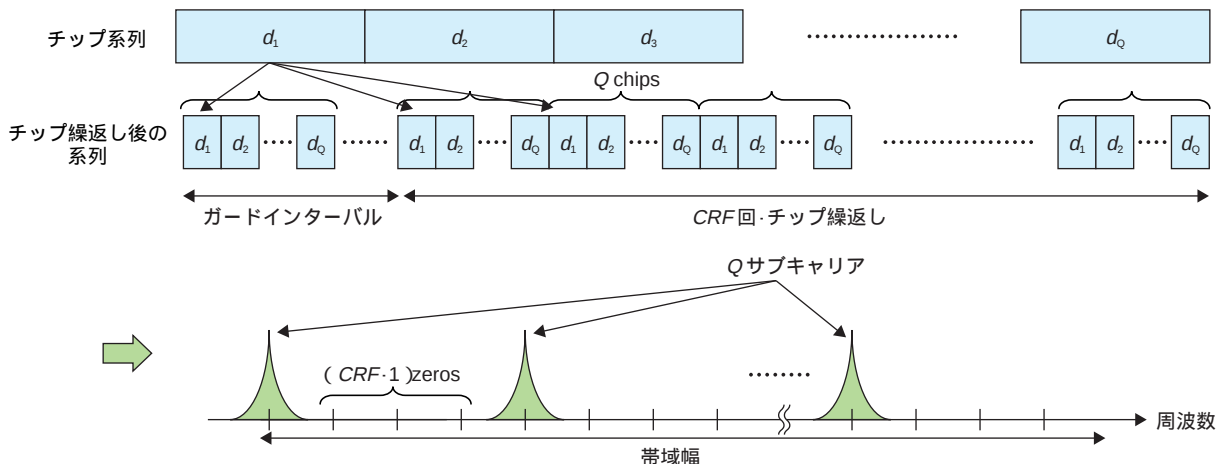
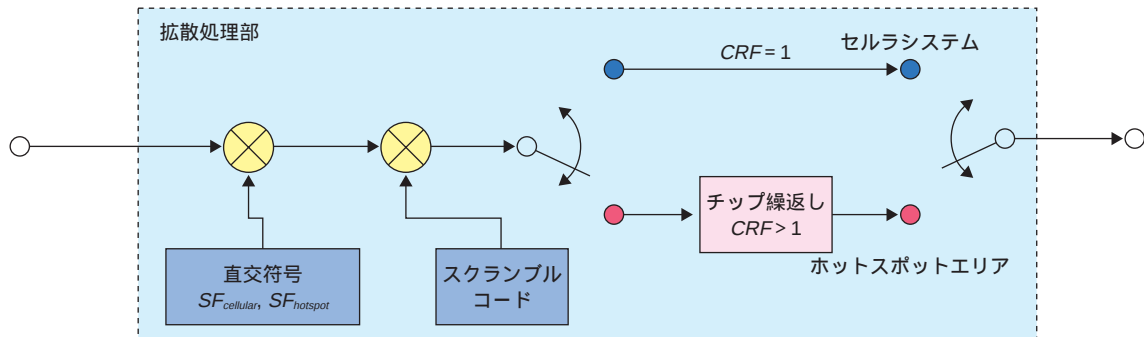
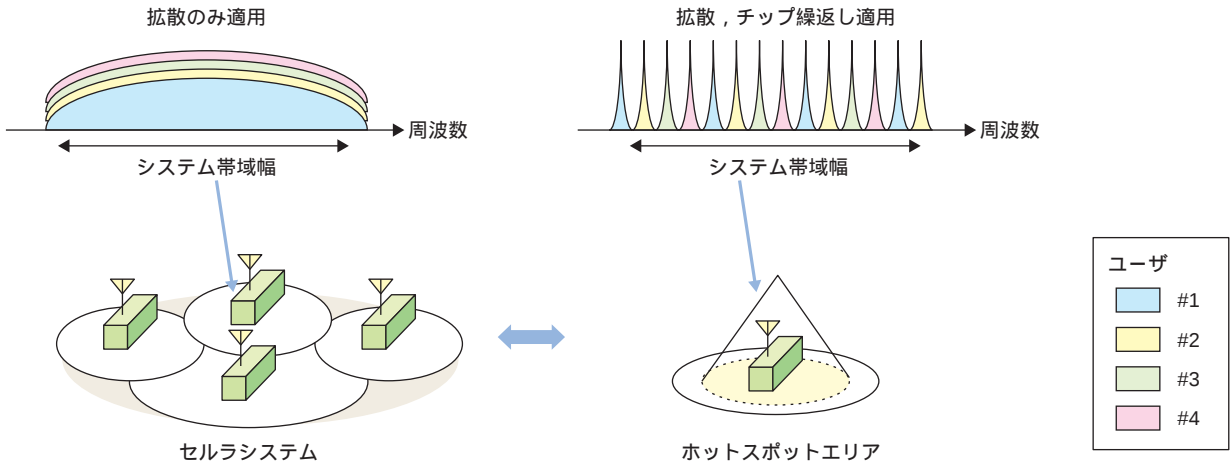
図6 可変拡散率制御の適用効果

3.2 拡散率・チップ繰返しファクタ制御法

VSCRF・CDMAにおける無線パラメータの変更の方式は、図8に示される拡散処理部の構成を用いる。すなわち、マルチセル環境ではチップ繰返しを適用しないため、拡散率 $SF_{cellular}$ の直交符号およびセル固有のスクランブルコード（あるいは、ユーザ固有のスクランブルコード）を用いた2重拡散の拡散処理を行う。一方、ホットスポットエリア、屋内セルなどの孤立セル環境では、拡散率 $SF_{hotspot}$ ($< SF_{cellular}$)

の直交符号およびセル固有のスクランブルコードを乗算した後、チップ繰返しファクタが CRF のチップ繰返しが適用される。チップ繰返しが適用された場合でも、システム帯域幅を一定に保つため、 $SF_{cellular} = SF_{hotspot} \times CRF$ の関係が成り立つように制御が行われる。

チップ繰返しの適用による周波数領域での直交化の原理として、 Q 個の拡散後のチップを圧縮し、 CRF 回繰返しを行うことで、くしの歯状の周波数スペクトラムが生成される様



子を図9に示す[6]．さらにチップ繰返し後の系列に，ユーザ固有の位相ベクトルを乗算することで，お互いに直交するくしの歯状のスペクトラムを生成することが可能となる．一般に， CRF 回のチップ繰返しを適用した場合には， CRF 個のユーザの信号を周波数領域で直交化させることができる．

図10に，VSCRF・CDMAと拡散のみを用いるDS・CDMAについて，同時接続ユーザ数に対する平均パケット誤り率 10^{-1} を満たすアンテナあたりの所要平均受信 E_s/N_0 (1シンボル当りの信号エネルギー対雑音電力密度比) 特性を示す[8]．図10より，拡散のみを用いるDS・CDMAでは，同時接続ユーザ数が増加するに連れて，マルチプルアクセス干渉が増大するため，特性が著しく劣化する．しかしながら，VSCRF・CDMAでは，周波数領域で同時接続ユーザが直交するため，マルチプルアクセス干渉の影響を低減することができ，ユーザ数によらずほぼ一定の特性を実現し，拡散のみを用いるDS・CDMAと比較して所要平均受信 E_s/N_0 を低減できることが分かる．

4. ブロードバンド無線アクセス 実験装置概要

4.1 装置概要

試作した実験装置の概観を図11，実験装置の諸元を表1に示す．下りリンクVSF・OFCDMは，無線帯域幅101.5 MHzで768サブキャリアを用いる．基地局送信機のベースバンド信号処理部では，チャンネル符号化にターボ符号を適用し，データ変調にはQPSK, 16QAM, 64QAMを用いる．さらに，移動局からフィードバックされる下りリンク受信希望波信号電力対干渉電力比 (SIR : Signal to Interference power Ratio) 推定結果に基づく，適応変復調・チャンネル符号化 (AMC : Adaptive Modulation and channel Coding) の制御が可能である．広帯域化による周波数ダイバーシチ効果を得るため，周波数インタリーブを用いる．拡散には，2次元拡散を適用し，直交符号とスクランブルコードの2重拡散符号を用いる． SF_{Time} と SF_{Freq} は，セル構成，伝搬チャンネル条件，チャンネル負荷，無線パラメータなどに応じて適応的に制御される．拡散後のシンボル系列は，IFFTにより，768サブキャリアのOFCDMシンボルに変換し，ガードインターバルを付加する．生成されたベースバンドデジタル信号は，光ファイバを用いたベースバンド信号伝送により無線周波数 (RF : Radio Frequency) 送信部に転送され，

D/A変換後，RFキャリア周波数に変換され電力増幅器で増幅されて送信される．

移動局受信機では，中間周波数 (IF : Intermediate Frequency) で自動利得制御 (AGC : Automatic Gain Control) 増幅器による線形増幅および直交検波後，I/Qチャンネルの信号がデジタル信号にA/D変換される．受信信号の自己相関を取ることで，有効シンボル区間とガードインターバルにより生じる相関値の最大ピークによりシンボルタイミング検出を行う．さらに，サブキャリアごとにフレーム内に多重されたパイロットシンボルを用いてチャンネル推定値を求め，同期検波復調を行って，ターボ復号を行う．

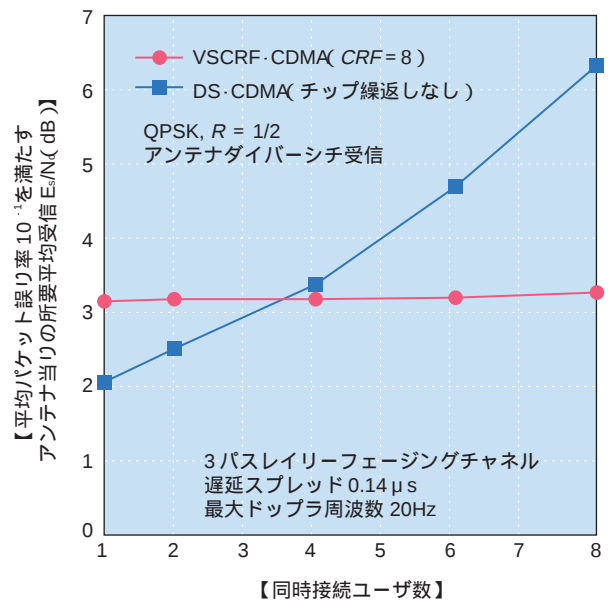


図10 VSCRF・CDMAとチップ繰返しを用いないDS・CDMAの比較

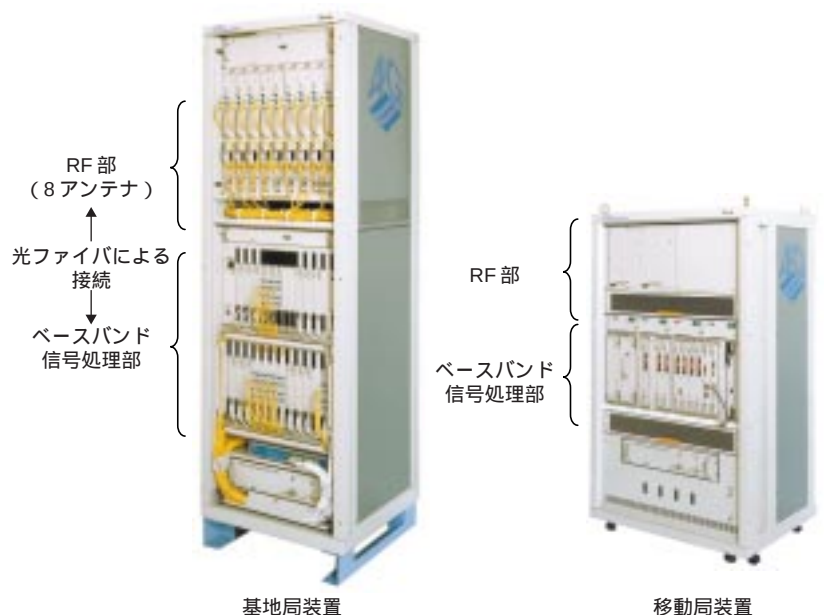


図11 実験装置概観

表1 実験装置諸元

	下りリンク	上りリンク
無線アクセス方式	VSF・OFCDM	VSCRF・CDMA
帯域幅 (MHz)	101.5	40
サブキャリア数	768 (131.836 kHzサブキャリア間隔)	2
OFCDMシンボル長	7.585 μ s (+ ガードインターバル1.674 μ s)	-
チップレート	-	16.384 Mcps
拡散率	1・128 (時間領域の拡散率最大16)	4・16
データ変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM	
チャンネル符号化 / 復号	ターボ符号 ($R = 1/3 \cdot 5/6, 1/8, 1/16$)Max・Log・MAP decoding	

上りリンク VSCRF・CDMA では、無線帯域幅 40MHz で 2 サブキャリア (サブキャリア帯域 20MHz) を用いる。移動局送信機では、ターボ符号化後のビット系列をデータ変調マッピングし、2 サブキャリアの系列に直並列変換後、下りリンクと同様な 2 重拡散を適用する。チップレートは 16.384 Mcps であり、拡散後の系列はルートナイキストフィルタによりサブキャリアごとに 20 MHz の信号に帯域制限され、D/A 変換後、RF キャリア周波数に変換され電力増幅器で増幅されて送信される。

基地局受信機では、IF 周波数帯で AGC 増幅器による線形増幅および直交検波後、I/Q チャンネルの信号がデジタル信号に A/D 変換され、光ファイバを用いたベースバンド信号伝送によりベースバンド処理部に転送される。受信デジタル信号は、帯域制限後、パイロットシンボルを用いたパスの受信タイミング検出、チャンネル推定、および Rake 合成を行い、ターボ復号が行われる。

4.2 実験結果

図 12 に下りリンク VSF・OFCDM の、1 アンテナ当りの平均受信 E_s/N_0 に対するスループット特性を示す。時間領域拡散 ($SF_{Time} = 16, SF_{Freq} = 1$) を適用し、 $C_{mux} = 15$ コード多重を用いた。データ変調方式、チャンネル符号化率 R の組合せ (MCS: Modulation and channel Coding Scheme) として、(QPSK, $R = 1/3$)(QPSK, $R = 1/2$)(16QAM, $R = 1/3$), (16QAM, $R = 1/2$) を評価した。図 12 より、6 パスのマルチパスフェージングチャンネルにおいて、(16QAM, $R = 1/2$) の MCS により、平均受信 $E_s/N_0 = 8.5\text{dB}$ 程度でスループット 100Mbit/s を達成し、さらに平均受信 $E_s/N_0 = 12\text{dB}$ 以上の領域では、スループット 135Mbit/s を実現できることが分かる。

図 13 に上りリンク DS・CDMA の 1 アンテナ当りの平均受信 E_s/N_0 に対するスループット特性を示す。QPSK データ変

調、および $R = 1/3, 1/2$ を適用し、 $SF = 4$ に対してコード多重数 C_{mux} を 1, 2, 3 と変化させた。図 13 より、($R = 1/2, C_{mux} = 3$) の組合せにおいて、40MHz 帯域で 20Mbit/s 以上のスループットを、平均受信 $E_s/N_0 = 9\text{dB}$ 程度で実現できることが分かる。

5. あとがき

本稿では、セルラシステムのマルチセル環境と、ホットスポットエリアや屋内セルなどの他セル干渉の小さい孤立セル環境を、同一の無線インタフェースで連続的にサポートするブロードバンド無線アクセス技術として、時間領域拡散を優先する 2 次元拡散 VSF・OFCDM 下りリンク無線アクセス、および VSCRF・CDMA 上りリンク無線アクセスを説明した。さらに、これらの無線アクセス方式に基づくブロードバンド無線アクセス実験装置の概要を説明し、実験結果について述べた。

今後は、室内および屋外実験を通じて、ブロードバンドチャンネルにおける遅延プロファイルの測定、2 次元拡散 VSF・OFCDM 下りリンク無線アクセス、および VSCRF・CDMA 上りリンク無線アクセスの特性評価を行う予定である。

文 献

- [1] 前田, 新, 安部田, 佐和橋: “2 次元拡散を用いる VSF・OFCDM とその特性,” 信学技報 RCS2002・61, May.2002.
- [2] 新, 前田, 岸山, 佐和橋: “時間領域の拡散を優先的に用いる 2 次元拡散を適用した VSF・OFCDM の特性,” 信学技報 RCS2002・85, Jun.2002.
- [3] K.Okawa and F.Adachi: “Orthogonal Forward Link Using Orthogonal Multi-Spreading Factor Codes for Coherent DS-SS-CDMA Mobile Radio,” IEICE Trans. Commun., Vol.E81-B, No.4, pp.777-784, Apr.1998.
- [4] 岸山, 前田, 新, 佐和橋: “他セル干渉を考慮した時間領域の拡散を優先的に用いる 2 次元拡散 VSF・OFCDM の特性,” 信学技報

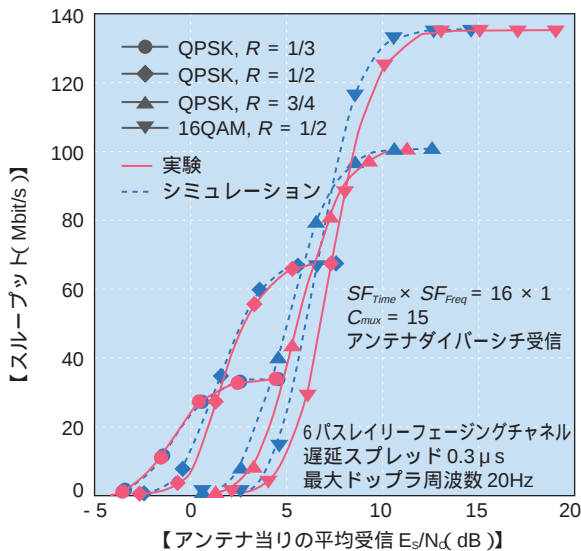


図12 下りリンクスループット特性

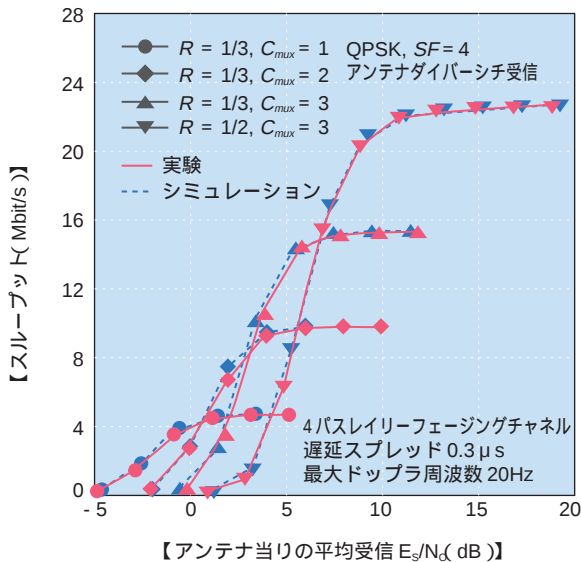


図13 上りリンクスループット特性

用語一覧

AGC : Automatic Gain Control (自動利得制御)
CRF : Chip Repetition Factor
D/A : Digital to Analog Converter (DA変換器)
DS-CDMA : Direct Sequence Code Division Multiple Access (直接拡散符号分割多元接続)
IF : Intermediate Frequency (中間周波数)
IFFT : Inverse Fast Fourier Transform (逆フーリエ変換)
MCS : Modulation and channel Coding Scheme
OFCDM : Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing (直交周波数・符号分割多重)
OVSF : Orthogonal Variable Spreading Factor (直交可変拡散率)
PER : Packet Error Rate (パケット誤り率)
QAM : Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying (4相位相変調)
RF : Radio Frequency (無線周波数)
SF : Spreading Factor (拡散率)
SIR : Signal to Interference power Ratio (希望波信号電力対干渉電力比)
VSCRF-CDMA : Variable Spreading and Chip Repetition Factors - Code Division Multiple Access (可変拡散率・チップ繰返しファクタCDMA)
VSF-OFCDM : Variable Spreading Factor - Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing (可変拡散率OFCDM)

RCS2002-133, Jul.2002.

- [5] 新, 川村, 佐和橋: “シンボル繰返しを用いる可変拡散率マルチキャリア/DS-CDMA上りリンクブロードバンド無線アクセス,” 2003信学総大B-5・53, Mar.2003.
- [6] M.Schnell, I.Broek, and U.Sorger: “A promising new wideband multiple-access scheme for future mobile communication systems,” European Trans. on Telecommun. (ETT), Vol.10, No.4, pp.417-427, July/Aug.1999.
- [7] T.Kawamura, H.Atarashi, and M.Sawahashi: “Adaptive transmission timing control using reservation packet in reverse link for broadband DS-CDMA wireless access,” accepted, IEEE VTC2003-Fall.
- [8] 後藤, 川村, 新, 佐和橋: “上りリンク可変拡散率・チップ繰返しファクタ(VSCRF)-CDMAブロードバンド無線アクセス,” 信学技報, Jun.2003.