

DS-CDMA セルラ移動の周波数 2 重再利用方式

— ビル構内ピコセル方式の基礎実験 —

大野 秀時、土本 泰三、デービッド・K・アサノ、木下 康昭

信州大学 工学部 情報工学科
〒380 長野市若里 500 番地

あらまし 日本でも DS - CDMA セルラ移動電話が'98 年度から実用化される。この市街地セルラシステムに underlay するビル構内ピコセルシステムの基礎実験を 2.4GHz 帯で行った。これにより、DS - CDMA 日本規格を用いた DR (周波数 2 重再利用) 方式を概念設計できる見通しを得た。

キーワード DS-CDMA、セルラ移動、周波数 2 重再利用、ビル構内システム

Frequency Channel Double Reuse System for DS - CDMA Cellular Mobile Radio

— Basic Experiment of Indoor Pico-cell System —

Hidetoki Ohno, Taizou Tsuchimoto, David K. Asano and Yasuaki Kinoshita

Department of Information Engineering,
Shinshu University,
500 Wakasato, Nagano 380

Abstract DS-CDMA cellular mobile radio will be implemented in Japan from 1998. A basic experiment of indoor systems which underlay pico-cells of the CDMA urban cellular radio, has been performed at 2.4GHz band. This experiment gives us a prospect to be able to design DR (Frequency Channel Double Reuse) system concept using the CDMA Japan standard.

Keywords DS-CDMA, cellular radio, frequency double reuse, indoor radio

1 はじめに

現在、携帯電話(セルラ電話)は、すでに身近なサービスとして広く普及している。'98年度には(IS-95 に近い)日本規格に基づいた CDMA (Code Division Multiple Access) 方式がの実用化が予定されている [9]。

先に提案 [5][6] された市街地セルラ移動の周波数チャネル帯をビル構内システムに共用する DR 方式は、アナログ方式が既に米国で実現され、デジタル方式の標準化が日本でも提案されている。また、昨春は DS-CDMA 方式の基礎解析が報告された [2]。

本研究は、この基礎解析 [2] を概念設計にまで発展させるために、DR 方式の原理実験を行った。先に報告された DS-CDMA 方式のハンドオーバー実験に用いた装置 [3][4] に垂直偏波アンテナを接続し、ビル構内の伝搬実験でピコセルが実現することを確認した。

次に机上実験で測定した SI 比対符号誤率の測定値から、2.4GHz 帯の DR 方式が実現された場合の屋内サービスエリアを推定し今後の課題を考察した。

2 周波数 2 重再利用 (DR) 方式

DR 方式の原理は単純である。基本原理を図 1 に示す。電波の受信電界強度は送信アンテナからの距離に反比例して減小する。言い換えれば、アンテナ送信電力がどんなに小さくても送信アンテナの極めて近傍では受信電界強度は十分に強い。周波数チャネル f_A はマクロセルのクラスタ内で両システムともに使用している。受信電力 S と同一周波数チャネルからの干渉量 I との比 S/I が通話品質を定め、 f_A を使用しているピコ半径を決定する [1][2]。

先の研究 [2] から、クラスタサイズ(付録 A)1 の場合に DR 方式を解析したセル構造モデルを

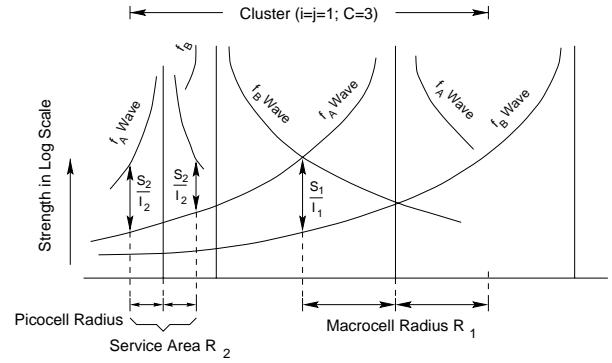


図 1: DR 方式の原理

図 2 に示す。この図では、市街地マクロセルの半径に対するピコセル半径を 2 段階に小さくする。言い換えれば、マクロセルの送信アンテナから離れるほど、ピコセルの半径を大きくする。クラスタサイズを 1 にできるのは、DS-CDMA 方式では隣接セルからの干渉が激しくても、周波数チャネル A がこの干渉に耐えられるからである。図 2 の白い部分では干渉が強く、ピコセル半径が小さすぎるため、周波数チャネル A は使用しない。

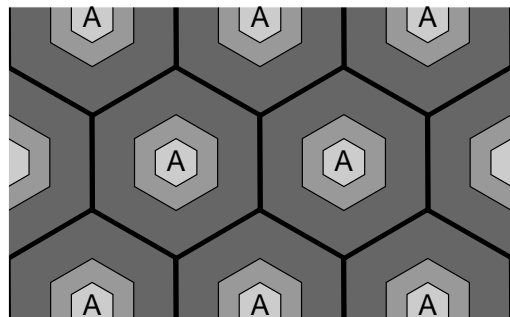


図 2: DR 方式を用いた DS-CDMA システムのセル構造モデル

3 拡張した電波伝搬モデル

一般によく知られているように、フェージング

環境での受信電力 S は、

$$S = K \frac{P}{R^\alpha} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 P と R はそれぞれ基地局の送信電力と基地局からの距離を表す。指数

は電波減衰の統計指数中央値であり、市街地屋外の UHF 伝搬実験では 3.5 になる [8]。電波障害の激しいビル構内では減衰指数は 4 から 5 になり、典型的なオフィスビルでは 4.5 になる [7]。 K は、波長 λ とアンテナ利得 G_t 、 G_r に依存する定数であり、一般には

$$K = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 G_t G_r \quad (2)$$

で表される。しかし、現実の基地局アンテナはビルの屋上などの高さに配置されるため、アンテナ近傍ではアンテナを直接目視でき、 $\alpha = 2$ の理想状態に近いと考えられる。そこで、(2)式にこれを考慮し、

$$K = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 G_t G_r \Lambda^{\alpha-2} \quad (3)$$

を使用した [1]。ここで、 Λ は可視伝搬距離 (line of sight length) である。上記の拡張した電波伝搬モデルを図 3 に示す。この伝搬モデルで後述の DR 方式サービスエリアを推定する。

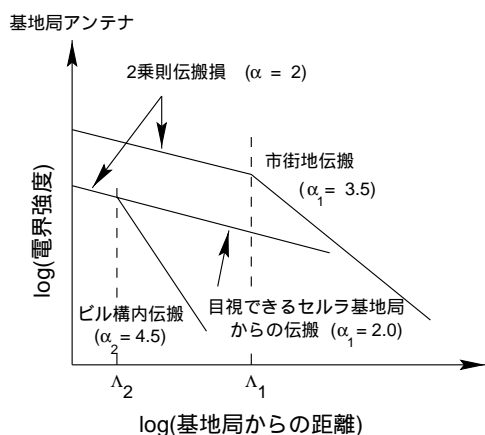


図 3: 拡張した電波伝搬モデル

4 原理実験の準備

図 1 に示した原理実験をビル構内で実施するために、2.4GHz 帯の送信基地局モデルと受信機モデルを用意した。

本研究の音声通話実験に利用できる適当な市販装置がないため、K 社製の packets 方式無線送受信ユニットを用いた [2-4]。表 1 にその仕様を示す。伝送速度は 256Kbps でフルレート音声 64Kbps の 4 倍に相当する。無線ユニットの制御装置にはパソコン (DOS/V) を使い、インターフェースボード、ユニットを介して送受信信号のやり取りを行う。パソコンの CPU がデータを読み取る時間が最速 $0.5\mu s$ であり、トランシーバのデータ伝送速度 256Kbps に対しあまり余裕がないので、シリアル-パラレル変換回路をインターフェースボードに組み込んだ。送信基地局モデルとなる制御装置のパソコン同士は、パケット同期の必要性からケーブルで接続した。また、トランシーバ制御用ソフトウェアの主要構成はデータ符号の送受信、受信データ符号誤率の計数の 2 機能である。

表 1: スペクトル拡散機器の仕様

電波形式	PN 符号拡散
拡散符号長	31 [chips]
拡散符号速度	8 [Mcps]
搬送波周波数 1	2479.0 [MHz]
搬送波周波数 2	2489.0 [MHz]
データ変調方式	DBPSK
データ伝送速度	256 Kbps
拡散帯域幅	13 MHz
送信電力	10mW/MHz (総電力 40mW) 又は 0.1mW/MHz (総電力 0.4mW)
相関復調方式	Digital Sliding Correlator

机上実験の構成を図4に示す。目的の送信信号を出す送信機を送信基地局、干渉信号を出す送信機を干渉基地局とする。送信信号としては0101…、干渉信号としてはランダム信号を用いる。ランダム信号発生にはC言語の疑似乱数発生関数を用いた。拡散符号として、2台の送信機では異なるm系列の符号で拡散させてデータを送信し、可変減衰器を経由させ結合器で合成し、受信機で復号化する。可変減衰器によりSI比を自由に変わることができる。

この測定の結果である図5から、送信基地局を送る送信電力Sの減衰にはほとんど符号誤率は依存せず、SI比のみから符号誤率は決定できることがわかる。この測定において、音声の通話品質限界と言われる符号誤率 10^{-2} を取るSI比は $-2dB$ であった。また、この測定では音声通話の品質を考慮したため、符号誤率 10^{-6} で計測を打ち切った。図5は処理利得 $17dB$ から求まるSI比理論値より約 $8dB$ の劣化量であるがこの原理実験に使用した。

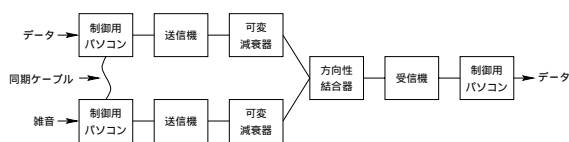


図4: 机上測定実験機器の構成

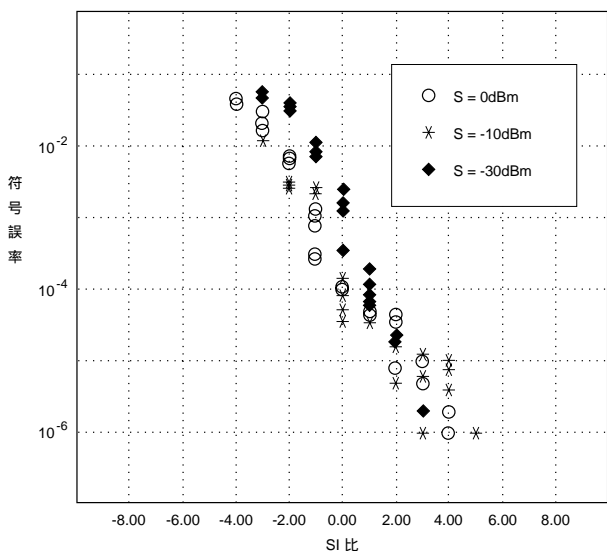


図5: 机上実験で測定した符号誤率

5 ビル構内でのDR方式原理実験

前章で述べた送信基地局・干渉基地局・受信機にK社製垂直偏波アンテナを接続し図1の原理実験を行った。ビル構内の例として信州大学工学部情報工学科棟6F廊下を使用した。図6のように干渉基地局(無線中心周波数2479MHz, 送信電力10mW/MHz)を廊下の西端中央に配置した。また、送信基地局(無線中心周波数2479MHz, 送信電力0.1mW/MHz)は、廊下中央を一定の間隔毎に東側に移動させる。この時、アンテナの高さは干渉・送信両基地局ともに天井の高さ2.4mに設置した。送信基地局の周辺をピコセル半径内の受信機の受信地点とした。受信地点は、先の研究でワークステーション上に構成された伝搬シミュレータ[3]を用い、特にフェージングの影響が強い地点を避けた。受信地点では、符号誤率と信号強度をそれぞれ計測した。受信機のアンテナの高さは人の耳の高さとして、1.65mに設置した。ビル構内実験機器の概観は図9に示す。

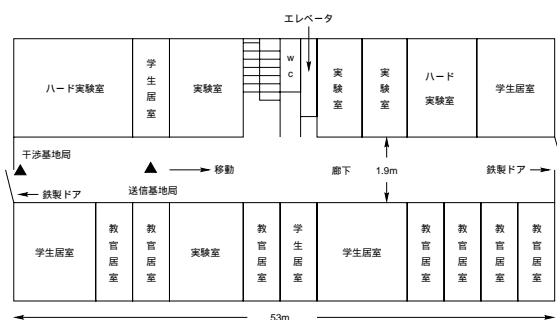


図6: ビル構内測定実験に用いた情報工学科棟6Fの平面構造

ビル構内測定実験では、電波減衰の少ない廊下を使用したため、干渉基地局の信号が非常に強く受信できた。そのため、送信基地局のピコセル半径は極めて小さく、廊下の東端でもそれほど大差なかった。このため、より広い場所で

の実験が必要である。また、SI 比に対する符号誤率の関係は机上の実験と比較して若干大きくなる傾向にあった。図7は一例として、干渉基地局から 20m 離れた所に送信基地局を配置したときのピコセルの半径を示す。伝搬シミュレータによる理論値との比較に先立って、図1の原理実験におけるサービスエリアを確認することができた。

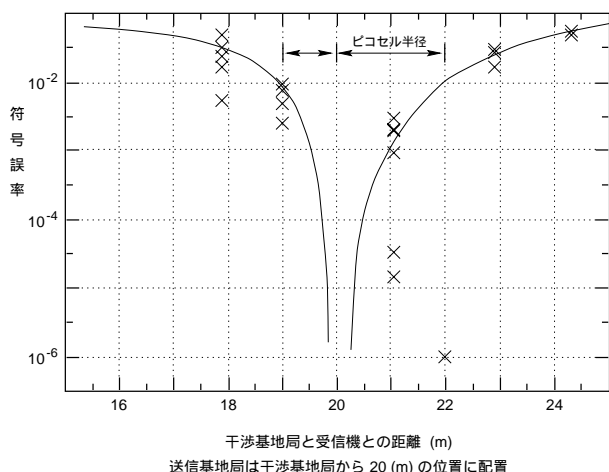


図 7: ビル構内で実測したピコセル半径

6 DR 方式サービスエリアの推定

4 章と 5 章の基礎実験結果を基に DS-CDMA 方式のビル構内システムのサービスエリアを推定する。

例として、2.4GHz 帯基地局の送信電力をそれぞれ 5W/MHz と 10mW/MHz とする。また、SI 比は上記結果から符号誤率 10^{-2} のときの $-2dB$ とし、最低通話保証レベルは $-86dBm$ を使用した [4]。先の研究から K のパラメータである Λ は、それぞれ $\Lambda_1 = 120m$, $\Lambda_2 = 3m$ を使用した [1]。また、簡単のためアンテナ利得 $G_t G_r = 1$ とした。このときのピコセル半径 (付録 B) を図 8 に示す。これにより市街地セルラ基地局より離れるほどピコセル半径は大きくなる。また、前述の最低通話保障レベル $-86dBm$ は市街地システムのセルエッジに相当し、この点のピコセル半径は 30m である。

'98 年実用化予定の (IS-95 に近い) 日本規格を採用する場合は、データ伝送速度と送信電力、拡散符号長を見直す必要がある。

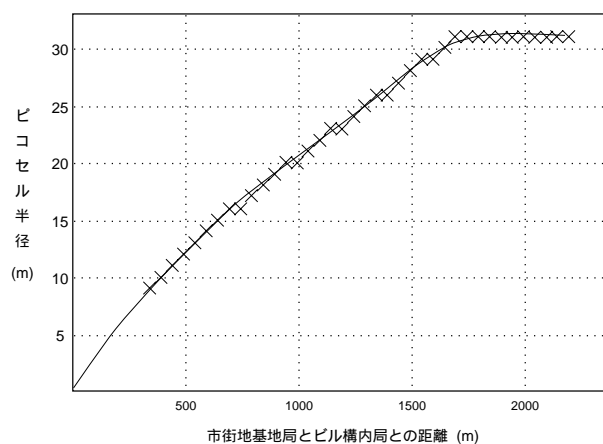


図 8: 市街地セルラ基地局からの距離とピコセル半径の関係

7 まとめ

DS-CDMA セルラ移動に DR 方式のビル構内システムを使用する原理実験を 2.4GHz 帯で行った。先に報告した伝搬モデルを用い、基地局送信電力 5W/MHz、ビル構内送信電力 10mW/MHz のピコセル半径を確定した。

今後の課題としては、'98 年度に実用化される日本規格に対しての概念設計である。

送信基地局
アンテナ

送信機
アンテナ

干渉基地局
アンテナ



図 9: ビル構内測定に用いた実験機器

付録

A . クラスタサイズ

セルラ方式では下記 (A) 式で定義されるクラスタ内では異なる周波数チャンネルを用いる。

$$C(i, j) = i^2 + j^2 + ij \quad (A)$$

ここで、 i, j は同一周波数チャンネルを再利用する斜交座標軸上のシフトパラメータである。この周波数チャンネルのセット数 C (クラスタサイズ) は異なるクラスタ間で再利用される。DR 方式では図 2 の太線で囲まれたクラスタ内で周波数チャンネル A の再利用が禁止されている。しかし、DR 方式の特徴はこのクラスタ内でも微少な送信電力を用いて周波数チャンネル A の再利用を許容する。

B . ピコセル半径

ピコセル半径は式 (B) を満たす最大の R で表される。

$$10 \log K_2 \frac{P_2}{R^{\alpha_2}} - 10 \log K_1 \frac{P_1}{R^{\alpha_1}} > x(\text{dB}) \quad (B)$$

ここで、添え字 1 は市街地セルラ基地局、2 はビル構内基地局、 x は符号誤率が 10^{-2} となる時の SI 比を表す。

参考文献

- [1] 木下康昭, デービッド・K・アサノ: 「市街地とビル構内で周波数 2 重再利用するデジタルセルラ方式 – 単一携帯機方式の概念設計改善モデル –」, 電子情報通信学会 2 種研 UPC 基礎研究会, UPC(1997-03), pp. 7-14.
- [2] 浅田 順, エンヒケンス マルコ, 木下 康昭: 「CDMA 移動通信方式の基礎検討 – 周波数チャンネル 2 重再利用方式の適用 –」, 信学技法 MMIN96-02, pp. 7-14.
- [3] 西本昌弘, 大野秀時, 木下康昭, デービッド・K・アサノ: 「DS-CDMA 方式のソフトハンドオーバー解析 – 相手基地局占有率 –」, 電子情報通信学会 2 種研 UPC 基礎研究会, UPC(1997-03), pp. 15-20.
- [4] 西本昌弘, 木下康昭: 「DS-CDMA 方式のハンドオーバー制御 – 判断保留アルゴリズムの適用性 –」, 信学技法 MMIN96-02, pp. 103-109.
- [5] 木下康昭, 他: 「広域コードレス電話と市街地セルラ移動電話の周波数共用 – 周波数チャンネル 2 重再利用方式 –」, 1993 信学誌 B-2, pp. 487-495.
- [6] Y.Kinoshita, T. Hamada, M. A. Henriques and Y. Izawa, “Advanced Common Air Interface between Indoor and Urban Cellular Telephone: Spatial Frequency Reallocated System,” PIMRC '93, Yokohama, Sep. 1993, pp. 696-700.
- [7] D.C.Cox, “Universal Digital Portable Radio Communications,” Proc. IEEE, vol. 75, pp. 436-477, Apr. 1987.
- [8] K.Daikoku and H.Ohdate, “Optimal channel reuse in cellular land mobile radio systems,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-32, pp. 217-224, Aug. 1983.
- [9] 三宅 常之: 「次世代携帯電話は CDMA に決まり」, 『日経エレクトロニクス』, 1997 年 1 月 13 日号, no. 680, pp. 66-72.