

## DS-CDMA 方式のソフトハンドオーバ解析 -相手基地局の回線占有率-

西本 昌弘    大野 秀時    木下 康昭    デービット K. アサノ

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 2.4GHz 帯 DS-CDMA 送受信実験装置とシミュレータ (ビル構内伝搬並びに拡散変調) を用い、相手基地局の干渉を避ける電力制御の効果を解析した。

複雑な携帯機の行動パターンに依存する相手基地局の回線占有率を定義することにより、ソフト・ハンドオーバのメリット (通話品質の確保と制御の頑健性) と回線占有率の trade-off 関係を定量的に評価可能にした。

キーワード DS-CDMA, 相手基地局の干渉, 電力制御, ソフト・ハンドオーバ

## Soft Handover Analysis for DS-CDMA Systems -Channel Occupancy Rate of Base Station Receiving Handover-

M. Nishimoto    H. Ohno    Y. Kinoshita    D. K. Asano

Dept. of Information Engineering,  
Faculty of Engineering, Shinshu University  
500 Wakasato Nagano, 380 Japan

Abstract This paper analyzes the actual usefulness of power control, which overcome cochannel interference from the base station receiving handover, for DS-CDMA systems by using a 2.4GHz band transceiver and simulator, which consists of an indoor propagation simulator and spread spectrum modulation simulator.

By defining the channel occupancy rate of the base station receiving handover for complicated handset movement, it is possible to quantitatively evaluate the merits, i.e., securing the telephone communication quality and control robustness, and channel occupancy tradeoffs.

Key words DS-CDMA, Cochannel Interference, Power Control, Soft Handover

# 1 はじめに

近年、スペクトル拡散変調を用いた移動通信電話方式として、DS(Direct Spread)-CDMA(Code Domain Multiple Access)方式の研究が進められている。その主目的は、激しいマルチパスフェージングに対して、デジタルT(Time)DMA方式よりも通話品質を向上でき、サービスエリア面積当たりの周波数利用効率が高くなるためである。

その基地局切替え(ハンドオーバ)制御には、相手基地局を同時に使用するソフト・ハンドオーバが提案されている。これは、高い通話品質を保證するが、相手局の利用率を低下させる。また同方式では相手基地局と同一周波数チャネルを使用する機会が多いことから、相手基地局の干渉が生じ、これを防ぐため電力制御が必要である。

本研究は、先に提案した判断保留アルゴリズム [1, 2, 3] の DS-CDMA 方式への適用性を検討した。判断保留アルゴリズムは、相手基地局の信号強度の強弱でハンドオーバ制御を保留し、アナログ方式では有効性が確認されている [1]。

研究に先立ち、2.4GHz 帯の DS-CDMA 送受信実験装置 [4] を用い、DS 拡散変調シミュレータの符号誤率特性を確認した [5]。ビル構内の激しいフェージングを発生する 25 光線伝搬シミュレータの受信信号レベルをこの符号誤率で校正し、通話品質を保證するエリアを画面上に示した。

このシミュレータにソフト・ハンドオーバのアルゴリズムを増設し、シミュレータ画面上に相手基地局を占有するエリアを明示し、複雑な移動機のパターンに応じて、相手基地局の占有率が簡単に計算できる指標を作成した。また、相手基地局の同一周波数干渉強度が大きいときに通話品質が基準値以下になるエリアを画面に示し、電力制御の効果をシミュレートした。このシミュレータにより、判断保留アルゴリズムの有効性を検討した。

# 2 ソフトハンドオーバのアルゴリズム

IF-THEN ルールでソフト・ハンドオーバのアルゴリズムを以下のように表すことができる。

Rule 1: If  $S_1(r)$  is larger than  $S_s$ ,  
then  $\Gamma$  is  $\Gamma_1$

Rule 2: If  $S_1(r)$  is smaller than  $S_s$  and  $S_2(r)$  is larger than  $S_s$ , then  $\Gamma$  is  $\Gamma_2$

Rule 3: If  $S_1(r)$  is smaller than  $S_s$  and  $S_2(r)$  is smaller than  $S_s$ , then  $\Gamma$  is  $\Gamma_1$  and  $\Gamma_2$

Rule 4: If  $\Gamma$  is  $\Gamma_2$ , then interchange 1 with 2  
...(1)

Rule 3 の  $\Gamma(r)$  is  $\Gamma_1$  and  $\Gamma_2$  は基地局 1 と 2 の両者を同時に使用する 2 安定状態を意味する。図 1 にハンドオーバの状態を示すスイッチング関数  $\Gamma(r)$  の状態遷移図を示した。

これを下記の従来 2 値論理アルゴリズム

Rule 1: If  $S_1(r)$  is larger than  $S_0$ ,  
then  $\Gamma$  is  $\Gamma_1$

Rule 2: If  $S_1(r)$  is smaller than  $S_0$  and  $S_2(r)$  is larger than  $S_0$ , then  $\Gamma$  is  $\Gamma_2$

Rule 3: If  $\Gamma$  is  $\Gamma_2$ , then interchange 1 with 2  
...(2)

と比較すると、ヒステリシス応答が現れない。したがって、先に発表した判断保留アルゴリズム [1, 2, 3] と同様に、フェージングにたいしてソフト・ハンドオーバのエリアでは制御が頑健になる。但し、フェージングが激しいと部分的に小さいヒステリシス応答が現れる場合がある。

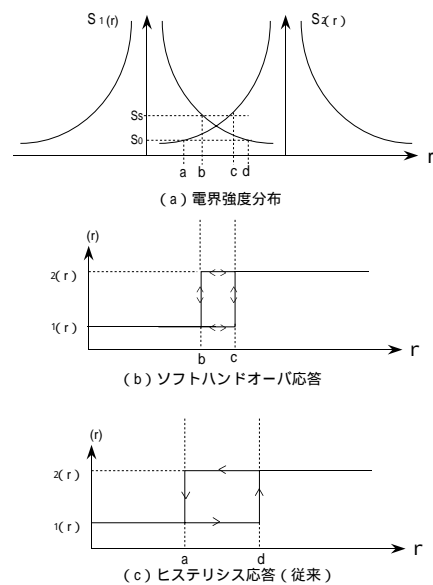


図 1: ソフト・ハンドオーバ制御の状態遷移図

しかし、ソフト・ハンドオーバは相手基地局を占有し、回線の負荷を増大する。DS-CDMA方式では、同一周波数チャネルを使用する機会が多いことから相手基地局の干渉が生じ、これを防ぐために電力制御とソフト・ハンドオーバが必要とされている。

### 3 伝搬シミュレータと相手基地局占有率

スイッチング関数 $\Gamma(r)$ の状態遷移を解析するために、携帯機の移動範囲をコンクリート製ビル構内に設定した。図2にその平面図と基地局の位置を示す。25光線を追跡した伝搬シミュレータ上に、このビル構内の電波の受信信号強度を再現した [1, 2, 3]。

ビルの6階天井に、周波数950MHz帯で電力1mWの基地局2個を設置した。基地局と高さ1.65mの携帯機には1/2波長の垂直ダイポールアンテナを用いている。伝搬モデルは2次反射波まで光線追跡したので、廊下両端にある鉄製扉の反射干渉がサービスエリアに激しく現れる。ハンドオーバ制御の解析シミュレータ構成を図3に示す。移動機の複雑な行動パターン関数 $P(r, dr/dt)$ の入力にたいするスイッチング関数 $\Gamma(r)$ の状態遷移応答が制御出力となる [1]。解析に用いるハンドオーバ・アルゴリズムは、従来2値論理、ソフト・ハンドオーバ、判断保留の3種類となる。ビル構造には信州大学情報棟6Fの構造パラメータを用いる。

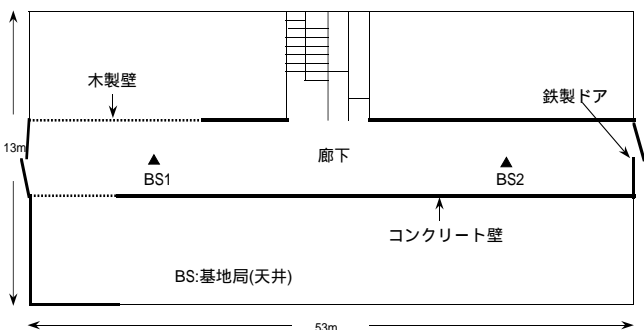


図2: 実験に用いた鉄筋コンクリート製ビル構内の基地局配置図

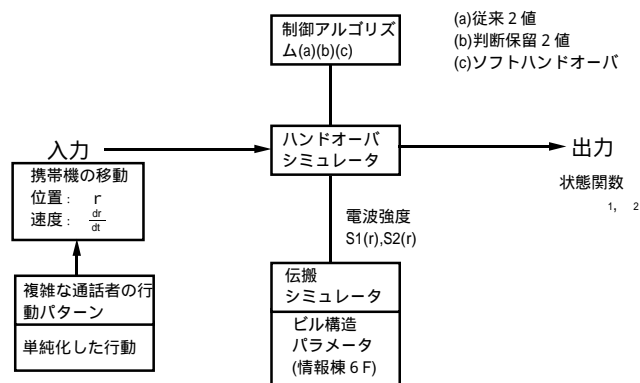


図3: ハンドオーバ制御用シミュレータの構成図

### 4 DS-CDMA 実験装置とPN拡散シミュレータ

ビル構内の伝搬実験用に市販のK社製2.4GHz送受信機を用いた。本研究の目的は音声通信のハンドオーバ制御であるが、市販されていないのでパケット方式のものを用いた [4]。その仕様を表1に示す。PN拡散符号にはM系列3種類を、搬送波変調はDBPSK (Differential BPSK)を用いている。伝送速度は256Kbpsでフルレート音声64Kbpsの4倍に相当する。

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	256Kbps
拡散帯域幅	13MHz以下
送信電力	10mW/MHz(総電力40mW) または0.1mW/MHz(総電力4mW)
相関復調方式	Digital Sliding Correlator

表1: 供試DS-CDMA送受信機の仕様

ハンドオーバ制御に必要なデータ記述や送受信実験を自由に行うため、3個のトランシーバそれぞれに、3台のパソコン(DOS/V)を接続した。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に対し余り余裕がないので、シリアル-パラレル変換回路をインターフェイスボードに組み込んだ。

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。パケット間同期は制御回路内にパケットパルスの先頭を捕捉する回路を組み込み、前回の問題点(捨てビットを使用する方法)を解決し、同期の安定性を増した。図4にその受信信号C/N比対符号誤率の実測データを示す。符号誤率 $10^{-6}$ のとき受信信号強度は-75dBmであり、ハンドオーバ実験には十分な性能である[5]。

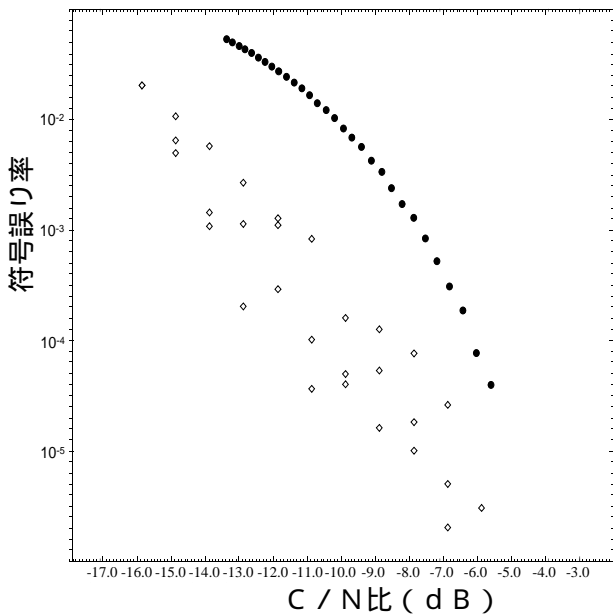


図4: 実験装置の符号誤率対C/N比

図4は同一搬送周波数で測定したが、表1の異なる周波数で測定すると更に約30dB改善される。DS-CDMA方式の異なる搬送波間ハンドオーバ解析では、干渉量を無視しえとえられる。この時、ソフト・ハンドオーバは不用であり、判断保留アルゴリズムは従来通り有効である。

PN拡散シミュレータでは符号誤り率対C/N比の理論値を計算した。実験装置と同じ符号長31chipsのm系列を用い、雑音Nにはガウス形確率密度の正規乱数から白色雑音を発生させた。簡易化のため符号速度の2倍の中間周波数を搬送波Cとし、2値位相変調した。

雑音を含む受信信号の復調には、拡散符号との積から標本点を取りだして加算し、数値積分して同期検波した。送信符号からの符号誤りを計算し、図4の実験値と比較して示した。大胆な近似計算にも拘らず、理論値と実測値の相違は約3dBで良い一致である。

## 5 電力制御とソフト・ハンドオーバの効果

従来2値論理のハンドオーバで相手基地局の干渉妨害により通話不良となるエリア( $S/I$ 比 = -5dB)を基地局1と2の周辺に色別して図5に示した。これがDS-CDMA方式の特徴であり、TDMAやFDMAのハンドオーバ解析では見られない新しい問題である。

これを避けるために、基地局2と1に段階的電力制御を行い、それぞれ約1/3(0.3mw)にした場合のサービスエリアを示す。干渉妨害のエリアが減少するが移動機のサービスエリアも減少する。携帯機1が基地局1から遠く、携帯機2も基地局2から遠い場合を救済できないが、それ以外の場合は電力制御で解決可能である。

つぎに、ソフト・ハンドオーバ制御した場合のサービスエリアを図6に示す。その図1の $S_s$ は異なる搬送波の両基地局がサービス可能なエリア(図5で30%)の半分15%に設定した。複雑な携帯機の行動パターンは単純化して廊下幅方向に等確率で存在し、長手方向に等速運動する。

黄色で示したエリアは相手基地局を占有する領域であり、相手基地局の回線に負荷を与える。この占有率を定量的に定義したことによりソフト・ハンドオーバのメリット(通話不良エリアや制御の頑健性)とデメリット(相手回線負荷率)を定量的に解析できる。定量解析に先立ち、図6から結果の見通しを得よう。明らかに干渉により使用できない赤いエリアの面積は図5よりも減少し、それに比べて相手基地局を占有する黄色いエリアも多くない。参考のため、電力制御を併用した場合(基地局1を1/3)を示したが、図5で述べた傾向が追認される状態である。

図5と図6の示す意味は、詳細な解析には複数のm系列符号コードで多重化された基地局が収容する電話呼量の問題とソフト・ハンドオーバの問題が切り離せない点を指摘する。この解析に当たって、本解析で示した相手基地局の占有率の定義が重要な設計パラメータになる。

## 6 むすび

DS-CDMA方式の電力制御とソフト・ハンドオーバを実験装置とビル構内伝搬シミュレータで解析した。ソフト・ハンドオーバのアルゴリズムと従来2値論理の制御応答を比較しヒステリシス応答の有無を論じた。



相手基地局の搬送波周波数が異なればソフト・ハンドオーバーは不用であり、先に提案した判断保留アルゴリズム [1, 2, 3] も有効である。ソフト・ハンドオーバーの解析には相手基地局の占有率の定義が必要であり、解析の重要な指標になる。

相手基地局の干渉波が妨害となり通話不良となるエリアを示した。電力制御によりこれを緩和しえることを示した。ソフト・ハンドオーバーの今後の課題は、相手基地局占有率を導入した定義サービスエリア内に収容可能な電話呼量と電力制御の関係解析である。

## 参考文献

- [1] Y. Kinoshita and K. Oku, "Robustness Analysis of New Fuzzy Handover for Indoor Cellular Telephone", ICUPC '95, pp.667-671.
- [2] 奥 和寿, 奥野 健治, 木下 康昭: " 構内コードレス電話のファジィハンドオフ制御とその頑健性解析 ", 信学技報 RCS94-40, pp.85-90, 1994-06.
- [3] 奥 和寿, 木下 康昭: " ビル構内マイクロセルラ電話のハンドオフ制御—判断保留アルゴリズムの学習による頑健性向上— ", 信学技報 RCS95-170, pp.79-84, 1996-02.
- [4] 西本 昌弘, 井沢 裕二, 木下 康昭: " CDMA 移動通信方式の基礎検討 II —判断保留ソフトハンドオーバー— ", 信学会 第2種研技報, 多次元移動情報 NW 信州大シンポ MDM96, pp.15-20, 1996-04.
- [5] 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— ", 信学会 第2種研技報, UPC 研究会北大シンポ, pp.103-109, 1996-11.