

## 分散基地局システムにおける基地局間デジタル伝送 による分散干渉除去方式

中本 義人<sup>†</sup> 岡田 実<sup>†</sup> 山本 平一<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

〒 630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-5

Tel : 0743-72-5341, Fax : 0743-72-5349

E-mail: tyoshi-na@is.aist-nara.ac.jp

あらまし 分散基地局システムは制御局において干渉除去を行うことで、サービスエリア内の全てのユーザが同時に同一周波数帯域を用いて通信可能なシステムである。しかし、従来から提案されている分散基地局システムでは同一周波数干渉除去のため、各基地局から制御局間を無線信号を送送可能な光ファイバ無線リンクを用いて接続しなくてはならない。そのため、光ファイバ無線リンクにかかるコストが増加する。そこで、本報告では、分散基地局システムにおいて基地局間デジタル伝送による同一周波数干渉除去を行なう方式を提案する。提案方式は各基地局間で復調したデジタル信号を送送することで干渉除去を行うため、光ファイバ無線リンクを用いず、既存のデジタルネットワークを用いて分散基地局システムが実現できる。計算機シミュレーションにより、提案方式が同一周波数干渉を除去できることを示す。

キーワード 分散基地局システム, 同一周波数干渉除去, 干渉レプリカ, 光ファイバ無線リンク

## A New Interference Canceller with Digital Transmission between Base Stations for Distributed Base Station System

Yoshito NAKAMOTO<sup>†</sup>, Minoru OKADA<sup>†</sup>, and Heiichi YAMAMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0101 Japan

Tel : 0743-72-5341, Fax : 0743-72-5349

E-mail: tyoshi-na@is.aist-nara.ac.jp

**Abstract** The distributed base station system allows us to improve the frequency utilization efficiency performance, since all the mobile terminals in the service area are operating at the same frequency at the same time. However, conventional distributed base station system requires radio-on-fiber (RoF) link in order to send analog RF (Radio Frequency) signal from base stations to control station. The RoF link could push up the system cost. In order to solve this problem, this paper proposes a new co-channel interference canceller, which only requires digital transmission between base stations. In the proposed canceller a base station sends the demodulated digital signal to the adjacent base stations to cancel the interference. Since the RoF link is not required, the proposed scheme can reduce the system cost. Computer simulation confirms that the proposed canceller is capable of canceling co-channel interference.

**Key words** Distributed base station system, Co-channel interference canceller, Interference replica, Radio-on-fiber link

# 1. ま え が き

近年、移動通信においてユーザ数が急激に増加している。また、伝送される情報量も増加していくものと考えられる。しかし、移動通信に利用できる周波数帯域は厳しく制限されているため、大加入者容量、かつ高速伝送を可能にする周波数利用効率の高い移動通信システムが求められている。

周波数利用効率が高い移動通信システムの1つとして分散基地局システムが提案されている [1][2]。分散基地局システムとは、サービスエリア内に分散配置された基地局アンテナにより受信された信号を光ファイバ無線 (RoF:Radio-on-Fiber) リンクにより、RF (RadioFrequency) 信号の形態で制御局に伝送し、制御局において各基地局アンテナをダイバーシチブランチとしてマクロダイバーシチを行うシステムである。分散基地局システムでは、制御局において同一周波数干渉除去を行うことで、サービスエリア内の全てのユーザが同時に同一周波数帯域を用いて通信可能で、周波数利用効率を大幅に向上できることが示されている。

しかし、従来から提案されている分散基地局システムでは、同一周波数干渉除去を行うため、各基地局で受信した移動端末からの RF 信号を制御局に伝送する必要があり、RF 信号を伝送可能な RoF リンクを新規に敷設しなければならず、システム構築にかかるコストが増加するという問題がある。

一方、現在、構内系では 100Mbps 程度の高速有線 LAN が既に構築されているケースが多い。この高速有線 LAN を RoF リンクと置き換えることができれば分散基地局システムの設置コストを大幅に下げることが可能になると考えられる。

そこで本稿では、新規に RoF リンクを敷設せず、既に構築されている LAN ネットワークを用いて分散基地局システムを実現可能にするため、分散基地局システムにおける基地局間デジタル伝送による同一周波数干渉除去を行なう方式を提案する。提案方式は復調に成功した基地局の復調後のデジタル信号を隣接した基地局に送り、隣接基地局において、干渉信号のレプリカを作成し、シリアル型干渉除去を行うものである。つまり、提案方式は分散基地局システムと同様に複数のユーザが同時に同一周波数帯域を用いて通信を行う DS-CDMA(Direct Sequence Code Devision Multiple Access) 方式で提案されているレプリカ減算型干渉キャンセラ [3] を、復調後デジタル信号の基地局間伝送を行うことで分散基地局

システムに適用したものである。

提案方式を用いることで、干渉除去のために RF 信号の伝送は必要でなくなり、復調後デジタル信号の伝送で干渉除去が可能になる。よって、RoF リンクは不要であり、干渉除去に必要な信号を伝送するバックボーンネットワークに求められる伝送帯域は、復調後信号つまり、端末が送信する情報の伝送速度そのものに抑えることができる。そのため、提案方式を用いることで、既存の LAN ネットワークを用いて、分散基地局システムを実現することができる。本報告では、計算機シミュレーションにより提案干渉除去方式の特性の評価を行い、その有効性を明らかにする。

# 2. 分散基地局システムの概要

## 2.1 分散基地局システムの構成

図1に分散基地局システムの構成を示す。各基地局・制御局間は RoF(Radio-on-Fiber) リンクにより接続されている。サービスエリア内の全てのユーザは同一周波数帯域を用いて送信を行い、それらの信号はサービスエリア内に分散配置された複数の基地局で受信される。各基地局では受信した信号を電気信号から光信号への変換 (E/O 変換) のみを行い、光信号となった RF(RadioFrequency) 信号を制御局に伝送する。制御局では各基地局から伝送されてきた RF 信号を光信号から電気信号に変換 (O/E 変換) する。そして制御局において、サービスエリア内に分散して配置されている基地局をダイバーシチブランチとみなして、マクロダイバーシチを行い、同一周波数干渉を除去する。分散基地局システムではサービスエリア内の全てのユーザが同一周波数帯域を用いて通信可能であるので周波数利用効率を向上することができる。

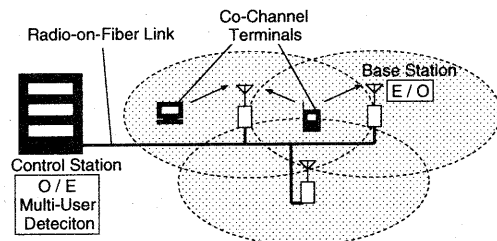


図1 分散基地局システムの構成

## 2.2 伝搬路モデル

各端末が同一周波数帯域を用いて送信した信号は

伝搬路で周波数選択フェージング, AWGN, 干渉の影響を受け受信される. 端末数を  $M$ , 基地局数を  $N$ , 送信信号ベクトルを  $\mathbf{s} = [s_1 s_2 \dots s_M]^T$  とすると, 基地局での受信信号  $\mathbf{r} = [r_1 r_2 \dots r_N]^T$  は次式で表すことができる.

$$\mathbf{r} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{21} & \dots & H_{M1} \\ H_{12} & H_{22} & \dots & H_{M2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{1N} & H_{2N} & \dots & H_{MN} \end{pmatrix} \mathbf{s} + \mathbf{z} \quad (1)$$

ここで  $H_{mn}$  は  $n$  番目の基地局で  $m$  番目の端末の信号を受信したときの複素包絡線変動で,  $\mathbf{z} = [z_1 z_2 \dots z_N]^T$  は AWGN を示す. 送信信号はどのように伝搬路においてそれぞれ独立のフェージングを受け, さらに互いに干渉を受け, それぞれ基地局で受信される.

### 2.3 従来の干渉除去方式

従来から提案されている分散基地局システムでは, 制御局において各基地局から集めた受信信号に対して, MMSE (Minimum Mean Square Error) に基づいた干渉除去を行う. MMSE の重み行列  $H_{opt}$  は次式で求められる.

$$\mathbf{H}_{opt} = \mathbf{R}_{sr} \mathbf{R}_{rr}^{-1} \quad (2)$$

ここで  $\mathbf{R}_{sr}$ ,  $\mathbf{R}_{rr}$  はそれぞれ希望信号と受信信号の相互相関, 受信信号の自己相関関数であり, 次のように表される.

$$\mathbf{R}_{sr} = E[\mathbf{s}\mathbf{r}^H] \quad (3)$$

$$\mathbf{R}_{rr} = E[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] \quad (4)$$

ここで  $E$ ,  $H$  はそれぞれ集合平均, 共役転置を表している. この行列で受信信号に重み付けし合成を行う. 合成後の信号ベクトル  $\bar{\mathbf{s}} = [\bar{s}_1 \bar{s}_2 \dots \bar{s}_M]^T$  は

$$\bar{\mathbf{s}} = \mathbf{H}_{opt} \mathbf{r} \quad (5)$$

となる.

## 3. 提案干渉除去方式

分散基地局システムにおいて前節で述べた干渉除去方式である MMSE 合成を制御局で行うには各基地局で受信された信号を RF 信号の形態で制御局に伝送する必要がある. そのため各基地局・制御局間を RoF リンクで接続しなくてはならず, システム構築にかかるコストが増加するという問題がある.

そこで本節では, 新規に RoF リンクを敷設せず,

既に構築されている LAN ネットワークを用いて分散基地局システムを実現できる干渉除去方式を提案する. 図 2 に提案干渉除去方式を示す. ただし, 図の中では信号対干渉電力比 SIR (Signal-to-Interference Power Ratio) がユーザ #1, ユーザ #2, ..., ユーザ # $m$  の順で大きいものとする. サービスエリア内の全てのユーザは同一周波数帯域で送信し, 端末から送信された信号は複数の基地局で受信される. 基地局では送信信号に挿入されたパイロットシンボルから, 各ユーザの SIR を推定し, まず最も SIR の大きいユーザを復調する. 次に復調後信号を隣接基地局にデジタル伝送し, 隣接基地局においてパイロットシンボルにより推定された伝搬路の周波数応答を掛け合わせ, 干渉信号のレプリカを作成する. そして受信信号から干渉レプリカを減算することで同一周波数干渉除去をおこない, 復調処理を行う. このように提案干渉除去方式では, SIR が大きいユーザから順に復調し, 復調後信号を隣接基地局間でやりとりし, その復調後信号を用いて干渉レプリカを作成し干渉除去を行い, 他ユーザの信号の SIR を改善しながら逐次的に復調処理を行っていくものである.

また提案方式を用いて, 干渉除去した後の信号をフィードバックしてレプリカ作成に用い, 干渉除去をするという処理を複数回繰り返すマルチステージ構成をとることにより, 干渉除去効果をさらに向上させることが可能である.

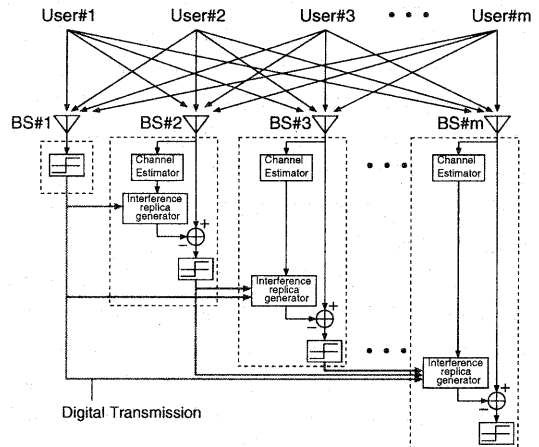


図 2 提案干渉除去方式

図 3, 図 4 は前節で説明した提案干渉除去方式を用いた分散基地局システムと, 従来型の分散基地局システムの構成の特徴を比較したものである. 従来型システムでは干渉除去のため, 図のように各基地局から制御局へのアナログ RF 伝送が必要であった.

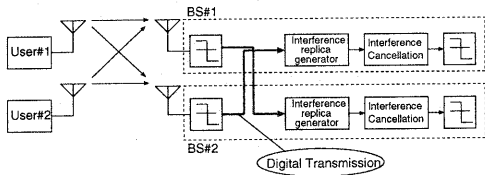


図3 提案干渉除去方式を用いた分散基地局システムの構成

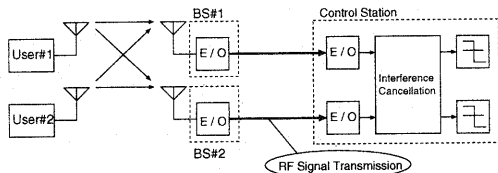


図4 従来型分散基地局システムの構成

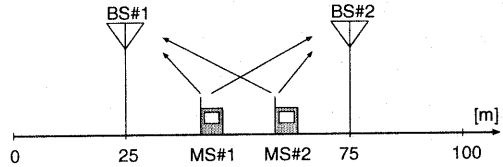


図5 解析モデル1

変調方式	$\pi/4$ DQPSK-COFDM
FFTサイズ	64points
サブキャリア数	48
ガード区間長	12points
伝搬路	2波等電力レイリーフェージングモデル
誤り訂正	畳み込み符号, 符号化率 1/2
伝送速度	12Mbps
伝搬距離減衰指数	2
基地局の高さ	2 [m]

表1 シミュレーション諸元

それに対して提案方式を用いることでアナログRF伝送が必要でなくなり、干渉除去に必要な復調後信号を隣接基地局にデジタル伝送するとき必要な伝送帯域は、復調後信号つまり、端末が送信する情報の伝送速度そのものに抑えることができる。

## 4. 提案干渉除去方式の特性

### 4.1 端末の位置関係に対する干渉除去特性

まず、各端末の位置関係に対する干渉除去特性について解析を行う。送信端末数2、基地局数2とし、解析に用いたモデルを図5に、シミュレーション諸元を表1に示す。セルの大きさは100 [m]とし、各端末は同時に同一周波数帯域でCOFDM(Coded OFDM)信号を送信する。また、基地局#1,#2はそれぞれ座標25 [m], 75 [m]に設置し、各端末は座標0 [m]から100 [m]を移動するとし、各端末から各基地局への伝搬路パラメータは無相関であるとする。なお、 $E_b/N_0$ は端末が基地局から25 [m]離れた位置にあるときの基地局における受信 $E_b/N_0$ である。干渉除去は受信したOFDM信号をDFT(Discrete Fourier Transformation)後、サブチャンネルに分解してから、各サブチャンネルごとに行う。ここで干渉除去のため基地局間で復調後信号をやりとりするときに必要な伝送帯域は、端末の伝送速度と同じ12Mbpsとなる。

図6に干渉除去前、図7に干渉除去後の端末の位置関係に対する端末#1のビット誤り率特性をそれぞれ示す。なお、 $E_b/N_0 = 30$ [dB]とし、伝搬路パラメータは既知とした。横軸は端末#1の位置、縦軸は端末#2の位置を表している。提案方式を用いることで同一周波数干渉を除去でき、特性が改善されて

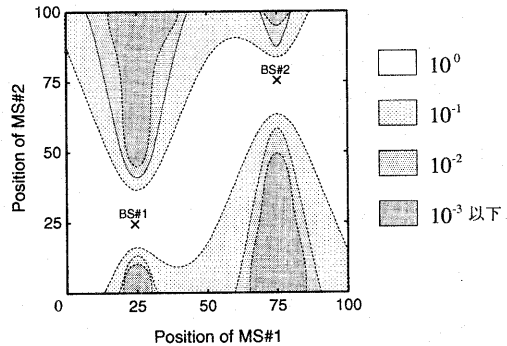


図6 干渉除去前のBER ( $E_b/N_0 = 30$  [dB])

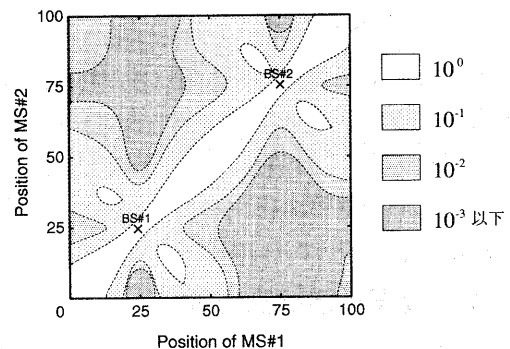


図7 干渉除去後のBER ( $E_b/N_0 = 30$  [dB])

いることがわかる。図より、2つの端末の位置が離れている程、干渉除去の効果が大きくなることがわかる。これは2つの端末の位置が離れている程、各基地局におけるSIRが大きくなり、復調後信号の特

性が良いため、干渉信号のレプリカの精度が高くなるためである。逆に端末が近い位置関係にあるときは SIR が小さく、復調後信号の特性が悪いため干渉信号のレプリカの精度が低く、干渉除去の効果は小さくなる。

#### 4.2 キャンセルステージ数に対する干渉除去特性

次に提案干渉除去方式のキャンセルステージ数に対する解析を行う。解析モデルを図8に示す。基地局数9、端末数9、各端末は各セル内のみをランダムに移動するものとする。シミュレーション諸元は表1と同様である。

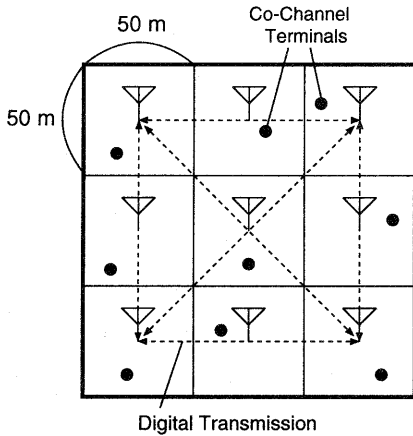


図8 解析モデル 2

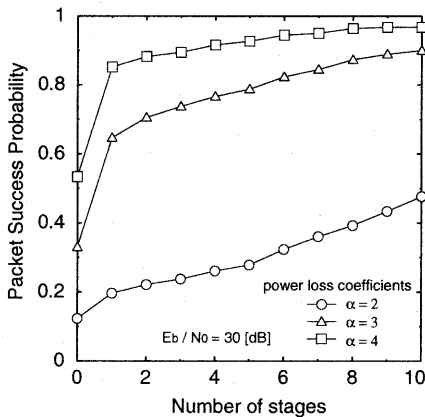


図9 キャンセルステージ数に対する送信成功確率

図9に伝搬距離減衰指数を2, 3, 4とした場合のキャンセルステージ数に対する送信成功確率を示す。なお示されている特性は9セルの中心セルのもので、 $E_b/N_0 = 30$ [dB]とした。図9よりキャンセルステー

ジ数を増大させるに従い、復調後信号の特性が改善され、それを元に作成される干渉レプリカの精度が上がるため、干渉除去効果が大きくなることがわかる。しかし、特性の改善率は1回目が最も大きくなり、キャンセルステージ数が増大するに従い小さくなる。また、伝搬距離減衰指数が2の時は自セル外から到来する干渉信号の減衰が小さく、SIRが小さくなり、復調後信号の特性が悪くなるため、干渉レプリカの精度も下がり、キャンセルステージの初期段階の干渉除去効果が小さい。

#### 4.3 提案方式と従来方式の特性比較

次に提案干渉除去方式を用いた分散基地局システムと干渉除去方式にMMSE(Minimum Mean Square Error)合成方式を用いた従来型の分散基地局システムとの比較をおこなう。ここで従来型とは各基地局で受信されたRF信号を制御局に伝送し、制御局にて各基地局から集めたRF信号を用いて一括して干渉除去を行うシステムのことである。解析モデルは前節で用いた9端末9基地局のモデルで、シミュレーション諸元は表1と同様で、伝搬距離減衰指数3とする。

図10に提案型と従来型の分散基地局システムにおける  $E_b/N_0$  に対する送信成功確率を示す。図10から提案方式は従来型MMSE合成方式に比べ干渉除去効果が小さく、特性が劣ることがわかる。しかし、キャンセルステージ数を増やすことで従来型MMSE合成方式に近い特性が得られることがわかる。

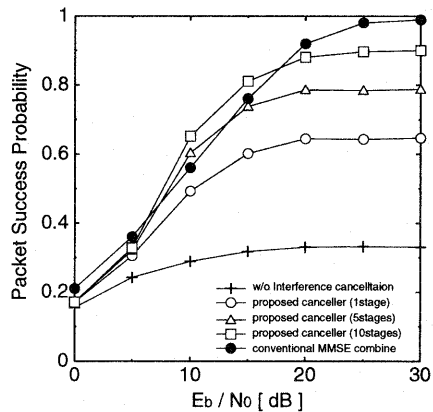


図10 提案型と従来型の送信成功確率の比較

また、ここで次に提案干渉除去方式を用いた分散基地局システムとMMSE合成方式を用いた従来型の分散基地局システム、それぞれに求められるバックボーンネットワークについて考える。従来型では、

各基地局で受信した無線信号を制御局に集めるとき、各基地局でE/O変換し、RoFリンクでアナログRF信号の形態で集める方法と、各基地局でRF信号をベースバンド帯域に変換した後、AD変換し、デジタル伝送で、デジタルベースバンド信号の形態で集める方法が考えられる。まず、アナログRF信号で制御局に伝送する場合には、各基地局・制御局間に数GHz帯のRF信号をそのまま伝送できるRoFリンクがバックボーンネットワークとして求められる。一方、デジタルベースバンド信号で制御局に伝送する場合には、本解析で用いた伝送速度12Mbpsのベースバンド信号を量子化ビット8bit、サンプル周波数24MHzでAD変換した後、デジタル伝送すると仮定すると各基地局・制御局間には192Mbps以上の伝送帯域を持ったネットワークが必要とされる。それに対して提案型では、復調後信号を隣接基地局にデジタル伝送することで干渉除去を行うので、各基地局間には端末が送信する情報の伝送速度、本解析の場合では12Mbps以上、またキャンセルステージを増やすとさらにそのステージ倍の伝送帯域を持ったネットワークが必要とされる。よって提案型は従来型に比べ、干渉除去効果は劣るが、一方でシステム実現のために必要となるバックボーンネットワークの伝送帯域を抑えることが可能となるため、既存の100Mbps程度の構内LAN等でも提案型分散基地局システムは十分実現可能となる。

## 5. ま と め

本稿では、分散基地局システムにおける基地局間デジタル伝送による同一周波数干渉除去を行なう方法を提案し、計算機シミュレーションにより特性を評価した。その結果、提案干渉除去方式を用いることで同一周波数干渉を除去できることを示した。干渉除去効果は従来のMMSE合成方式に比べ劣るが、提案方式を用いることで分散基地局システム実現に必要なバックボーンネットワークに求められる伝送帯域は従来方式より抑えることが可能になる。

今後は提案方式では干渉レプリカの精度が復調後信号の精度に大きく依存するため、あらかじめアダプティブアレーアンテナで同一周波数干渉の一部を抑圧し、その後、提案方式を用いる方法について検討を行う予定である。

## 文 献

- [1] 外山昌之, 岡田実, 小牧省三: “マイクロセルスロット付きアロハ方式におけるマクロダイバーシチ効果”, 信学論(B-I), vol.J79-B-I, No.5(1996-5)
- [2] 岡村周太, 岡田実, 小牧省三: “遍在アンテナによ

- るCOFDM信号の複局同時受信方式”, 信学技報, RCS2000-161ZZ, pp.19-24(2000-11)
- [3] 大川耕一, 岸山祥久, 佐和橋衛: “DS-CDMA上りリンクにおけるマルチアンテナ受信を行うパラレル型コヒーレントマルチステージ干渉キャンセラの構成とその特性”, 信学技報, RCS2000-165, pp.9-16(2000-11)
- [4] Haykin, S: “Adaptive Filter Theory”, PRENTICE HALL INTERNATIONAL, INC(1996)
- [5] Shozo KOMAKI, Katsutoshi TSUKAMOTO, Minoru OKADA, Hiroshi HARADA: “Proposal of Radio High-way Networks for Future Multimedia-personal Wireless Communication”, 1994 IEEE International Conference Wireless Communications (ICPWC'94, Bangalore, India, pp.204-208(1994)