

# 分散アンテナネットワークにおける 動的チャンネル割り当て法に関する一検討

松川 隆介<sup>†</sup> 小原 辰徳<sup>†</sup> 安達 文幸<sup>‡</sup>

<sup>† ‡</sup> 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻  
〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

E-mail: <sup>†</sup> {matsukawa, obara}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, <sup>‡</sup> adachi@ecei.tohoku.ac.jp

**あらまし** 本稿では、分散アンテナネットワーク(DAN)における自律分散型の動的チャンネル割り当て法(DCA)を提案している。多数のアンテナをセル内に分散して配置する DAN では、従来のセルラネットワークに比べて送信電力を大幅に低減できる。DAN では各分散アンテナに通信チャンネルを割り当てることになるが、低送信電力で通信を行えることから与干渉を低減できる。これにより、同一チャンネルを距離の近い分散アンテナで再利用できる。また、多数の分散アンテナが不規則に配置される DAN では干渉条件が各アンテナで異なるため、干渉条件に応じて適応的にチャンネルを割り当てる動的チャンネル割り当て法(DCA)が有効である。そこで本稿では、チャンネル棲み分けアルゴリズムに基づき各分散アンテナが自律的にチャンネルを決定する、自律分散 DCA を提案する。提案法では、分散アンテナ毎に過去の受信干渉電力測定値から平均干渉電力を求め、平均干渉電力の小さいチャンネルを割り当てる。提案自律分散 DCA を用いる DAN は、送信ダイバーシチを用いる従来のセルラネットワークより優れたチャンネル利用効率を実現できることを計算機シミュレーションにより明らかにしている。

**キーワード** 分散アンテナ, 自律分散, 動的チャンネル割り当て

## A Study of Dynamic Channel Assignment for a Distributed Antenna Network

Ryusuke MATSUKAWA<sup>†</sup> Tatsunori OBARA<sup>†</sup> and Fumiyuki ADACHI<sup>‡</sup>

<sup>† ‡</sup> Dept. of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University  
6-6-05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

E-mail: <sup>†</sup> {matsukawa, obara}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, <sup>‡</sup> adachi@ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** In this paper, we propose a distributed dynamic channel assignment scheme for distributed antenna networks (DANs). DAN, in which a group of multiple antennas are distributed in each cell, significantly reduces the transmit power compared to conventional cellular networks (CNs). In DAN, a different group of channels is assigned for each distributed antenna. However, DAN can also reduce the interference power to other distributed antennas because of its low transmit power and therefore, the same channels can be reused at the same distributed antenna group. Dynamic channel assignment (DCA), which assigns channels adaptively, is suitable for DANs because the interference condition dynamically changes in each distributed antenna. In this paper, we propose a distributed DCA scheme, based on the channel segregation algorithm, suitable for DANs. In the proposed scheme, the channel priority table to be used for DCA is updated based on the measured average interference power obtained during the past time slots. Computer simulation results demonstrate that the DAN using proposed distributed DCA achieves higher system capacity than the CN using transmit diversity.

**Keywords** Distributed antenna, self-organized processing, dynamic channel assignment

### 1. はじめに

次世代の移動通信では、1Gbps もの伝送速度が期待されている。このような超高速伝送では、伝搬損失、シャドウイング損失、及びフェージングによる通信品質の劣化が深刻となる。送受信アンテナダイバーシチ [1]-[3] を適用すれば、フェージングによる受信電力落ち込み確率を低減でき、希望信号対雑音電力比 (SNR) が低下する確率を大幅に改善できる。しかし、送信および受信アンテナがすべて基地局一ヶ所に集中しているような従来のセルラネットワーク(本稿では CN と呼ぶ)では、いくらアンテナ数を増やしても伝搬損失やシ

ャドウイング損失の変動による SNR の劣化を完全には取り除くことができないため、特にセル端近傍に存在するユーザの SNR 低下を救済できない。このため、CN では基地局のごく近傍でしか伝送を行うことができない [4], [5]。

そこで近年、セル内に多数のアンテナを分散配置する分散アンテナネットワーク(DAN) [6]-[8] が盛んに研究されている。DAN の例を図 1 に示す。各分散アンテナは光ファイバ等の有線ケーブルを用いて中央処理センタ(SPC)に接続されている。伝搬環境の良い分散アンテナを複数選択して伝送することで、伝搬損失やシャ

ドウイング損失の変動による SNR の劣化を救うことができる[9], [10].

ところで、多数のアンテナをセル内に分散して配置する DAN では各分散アンテナに通信チャンネルを割り当てることになるが、チャンネル総数が限られているため、同一チャンネルを距離の離れた分散アンテナで再利用しなければならない. DAN では低送信電力で通信を行えるために与干渉を大幅に低減できるので、近くの分散アンテナで同一チャンネルを再利用でき、周波数の面的利用効率を向上できる.

チャンネル割り当て手法の一つとして、動的チャンネル割り当て(DCA) [11]-[13]がある. DCA は各アンテナ周辺の干渉条件に応じて動的にチャンネルを割り当てる方式であるため、不規則なアンテナ配置によって各分散アンテナの干渉条件が異なってしまう DAN に適した方式であると言える. 但し、DAN-SPC がセル内のチャンネル割り当て処理を一括して行う集中制御型 DCA[11]では処理負荷が膨大となり、実用的でない. 一方、チャンネル棲み分けを用いる自律分散 DCA[12], [13]は DAN に適している. 特にチャンネル棲み分け[13]を用いる手法では、アンテナ毎に各チャンネルの優先度を表すテーブルを保持しており、それに基づいて優先度の高いチャンネルを選択する. 希望信号対干渉+雑音電力比(SINR)を測定し、許容値を上回っていればそのチャンネルを割り当てる. 割り当てに成功したチャンネルの優先度は高く保たれるため、各基地局が自律分散でありながら干渉の小さいチャンネルを各アンテナに割り当てることが可能となる.

本稿では、チャンネル棲み分けを用いる自律分散 DCA について検討を行う. 文献[13]で示された優先度テーブルに相当する干渉テーブルを作成し、それらを用いてチャンネルを割り当てる手法を提案している. 提案法では、過去に受信した干渉電力から、忘却係数を用いる一次フィルタリングを用いて各チャンネルの平均干渉電力を求め、干渉テーブルを作成する. 割り当て時には、この干渉テーブルを参照して平均干渉電力の小さい順にチャンネルを各アンテナへ割り当てる. 本稿の構成は以下の通りである. まず、第 2 章で送受信信号の数式表現について述べた後、第 3 章で提案するチャンネル割り当て手法について述べる. 第 4 章では、計算機シミュレーションにより提案自律分散 DCA を DAN に適用し、システム容量の観点において送信ダイバーシチを用いる CN との比較を行う. 第 5 章でまとめる.

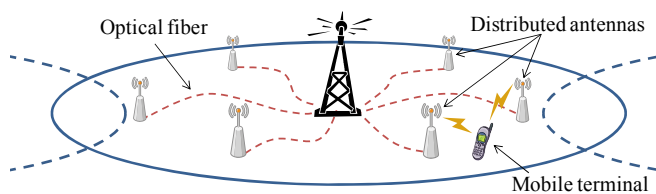


図 1 DAN

## 2. 動的チャンネル割り当て(DCA)

本章では、各分散アンテナが過去の干渉をフィルタリングし、求めた各チャンネルの平均干渉電力を基にチャンネルの割り当てを行う自律分散型の DCA を提案する. 提案 DCA の簡略化フローチャートを図 2 に示す. 提案法では、タイムスロットの開始前に各チャンネルの平均干渉電力を算出し、テーブルに保存する. 通信要求が発生したら、テーブルを参照して平均干渉電力の小さいチャンネルを優先的に割り当てていく. 提案法により与干渉の増大を抑えつつ動的にチャンネルを割り当てることができるため、チャンネル利用効率の向上が期待できる. 以下では、干渉テーブルの作成方法とチャンネル割り当て法について順に述べる.

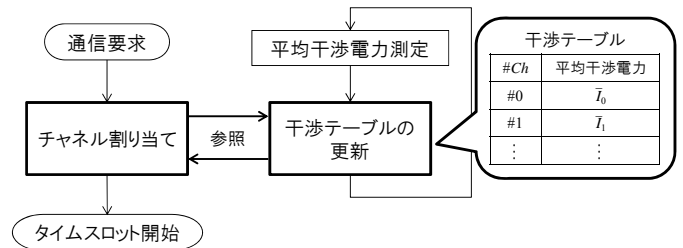


図 2 提案法の簡略化フローチャート

### 2.1. 干渉の測定とテーブルの更新

各分散アンテナは、タイムスロットの開始前に全チャンネルの過去の干渉電力をフィルタリングし、出力(平均干渉電力)を干渉テーブルに保存する. 本稿では平均干渉電力を計算するフィルタとして、忘却係数を用いる一次フィルタを用いる. 第  $n$  分散アンテナにおいて、第  $t$  スロットにおける第  $ch$  チャンネルの干渉フィルタ出力  $\bar{I}_{n,ch}(t)$  はそれぞれ次式で与えられる.

$$\begin{aligned} \bar{I}_{n,ch}(t) &= (1-\beta) \cdot I_{n,ch}(t-1) + \beta \cdot \bar{I}_{n,ch}(t-1) \\ &= (1-\beta) \sum_{i=1}^t \beta^{i-1} \cdot I_{n,ch}(t-i) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $I_{ch,c,n}(t-1)$  は第  $t-1$  スロットにおいて実際に受信した干渉電力である. また、 $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$  は忘却係数を表す. 第  $t$  スロットにおけるフィルタリングの模式図を図 3 に示す. 棲み分け開始時点から全てのタイムスロットにおける干渉電力がフィルタリングされる. 但し  $x$  スロット前に受信された干渉電力の影響は、忘却係数の影響により  $\beta^{x-1}(1-\beta)$  倍される.  $\beta$  が小さい程直前のスロットで受信した干渉電力を大きく参照するため、追従性は向上する. 但し、 $\beta$  を余りに小さく設定すると、チャンネルの瞬時的変動の影響を反映してしまうために適切なチャンネルが割り当てられない可能性がある. 各チャンネルにおける平均干渉電力  $\bar{I}_{n,ch}(t)$  を干渉テーブルに格納し、通信要求が発生したらテーブルを参照して割り当てを行う.

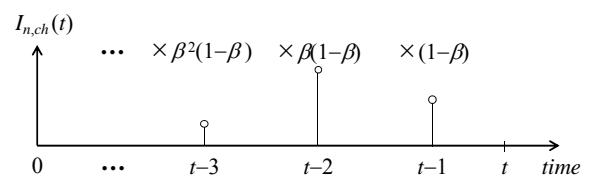


図 3 一次フィルタの模式図

## 2.2. チャンネル割り当て

提案 DCA の割り当てフローチャートを図 4 に示す. 通信を要求したユーザが使用する分散アンテナを選択した後, 選択された分散アンテナは干渉テーブルを参照し, 以下の式に基づいて平均干渉電力が最小となるチャンネルを割り当て候補とする.

$$ch_{use} = \arg \min_{ch} \{ \bar{I}_{n,ch}(t) \}, \quad ch = 0 \sim N_{ch} - 1 \quad (2)$$

ここで,  $N_{ch}$  はチャンネルの分割数を表す. 選択したチャンネルが未だ割り当てられていなければ, そのチャンネルを割り当てる. 既にそのチャンネルが割り当てられていた場合, 再度干渉テーブルを参照して次に干渉の小さいチャンネルを選択し, 同様の処理を行う. なお, もし全てのチャンネルが既に割り当てられていた場合は, チャンネルビジーとする. なお, 提案法を CN に適用する場合は, 基地局で干渉テーブルを一つ保持する. このとき, 基地局が保持する全てのアンテナで受信した干渉電力の総和に対してフィルタリングを行い, 出力である干渉電力和の平均をテーブルに保存する.

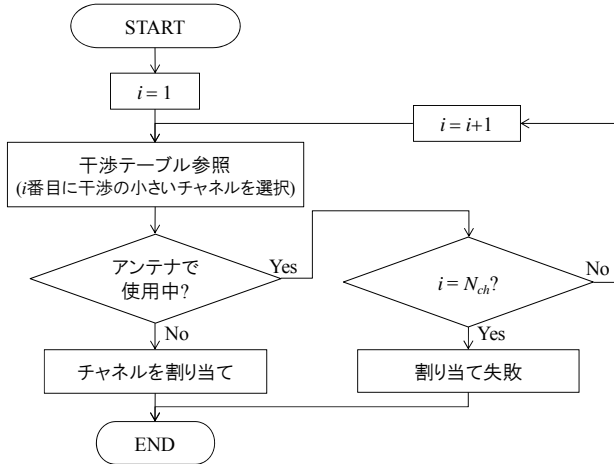


図 4 自律分散 DCA の割り当てフローチャート

$N_{ch}=3$  としたときの, 提案 DCA による割り当ての一例を図 5 に示す. 1 セルあたりのアンテナ本数  $N_{total}=7$  としており, 図 5(a), (b) はそれぞれ DAN, CN の例である. 図 5 に示すように, DAN では  $N_{total}$  本のアンテナがセル内に分散配置されているのに対し, CN では  $N_{total}$  本のアンテナがセル中央の基地局に集中して配置されている. また, 各分散アンテナ(または基地局)における干渉テーブルを基にし, 平均干渉電力の小さい順(つまり優先度の高い順)にチャンネル番号を記している. 提案 DCA を DAN に用いた場合, 各分散アンテナが独自に干渉テーブルを保持し, 自律的にチャンネルの割り当てを行う. このとき, 平均干渉電力が小さければセル内でも同一のチャンネルが使用されるため, チャンネル利用効率の向上が期待できる. これに対し, CN の場合は基地局毎にチャンネル割り当てが行われる. CN においても提案 DCA を用いることで干渉の小さいチャンネルが優先的に割り当てられるものの, セル内で同一のチャンネルを再利用できないために利用効率は DAN に比べて劣ると考えられる.

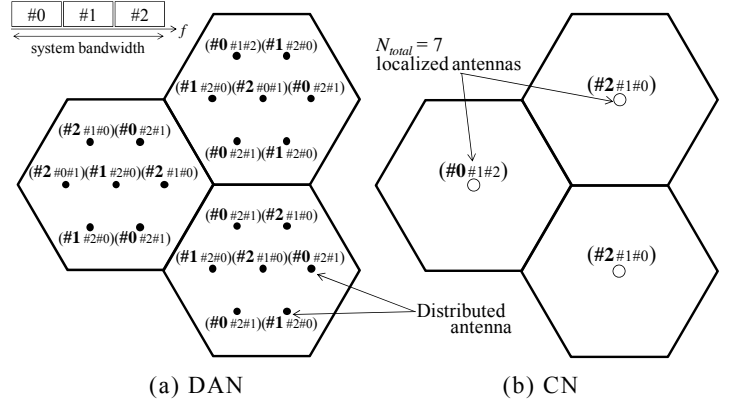


図 5  $N_{ch}=3, N_{total}=7$  における DCA の例

## 3. 送受信信号表現

本稿では, 周波数非選択性フェージング環境下における送信等化を用いる信号伝送を仮定する. DAN, CN ともに, 第 2 章で提案した自律分散 DCA を用いてチャンネルの割り当てを行うものとし, 以下ではチャンネル割り当てが行われた後の信号処理方式について述べる.  $D$  個のセルが存在する下りリンクネットワークを仮定し, 以下一般性を失うことなく, 中心に位置する第 0 番目のセルにおける信号表現について述べる.

### 3.1. 分散アンテナネットワーク (DAN)

DAN では,  $N_{total}$  本の分散アンテナがセル内に分散して配置され, 各分散アンテナとユーザ端末が 1 対 1 で通信を行うものとする. 伝送に用いる分散アンテナを選択した後, 送信機 (SPC) において伝搬チャンネルに応じた送信重みを乗算して各分散アンテナより伝送を行い, 端末受信機では受信信号よりデータ復調を行う. 第  $n$  番目のアンテナが選択されたとき, 第  $u$  番目のユーザへの送信シンボル  $s_u$  は次式で与えられる.

$$s_u = \sqrt{2P_t} w_u \cdot d_u \quad (3)$$

ただし,  $d_u$  は変調データシンボル,  $P_t$  は各セルにおける送信電力をそれぞれ表す. また, 最大比 (MR) 規範に基づく送信重み  $w_u$  は次式で与えられる.

$$w_u = \frac{h_{n,u}^*}{\sqrt{\sum_{u=0}^{\bar{U}(c)-1} |h_{n,u}|^2}} \quad (4)$$

ここで,  $h_{n,u}$  は第  $n$  番目の分散アンテナと第  $u$  ユーザ間のチャンネル利得を表す.  $\bar{U}(c)$  は, 第  $c$  番目のセル内において通信を行うユーザ数である.  $s_u$  を第  $n$  分散アンテナより送信し, ユーザ端末のアンテナを用いて受信する. 第  $u$  ユーザにおける受信信号は次式のように表現できる.

$$\begin{aligned} y_u &= h_{n,u} s_u + \sum_{c=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}(c)-1} i_{u,u'(c)} h_{n,u}^{(c)} s_{u'}^{(c)} + n_u \\ &= \left( \sqrt{2P_t} |h_{n,u}|^2 / \sqrt{\sum_{u=0}^{\bar{U}(0)-1} |h_{n,u}|^2} \right) \cdot d_u \\ &\quad + \sqrt{2P_t} \sum_{c=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}(c)-1} i_{u,u'(c)} h_{n,u}^{(c)} w_{u'}^{(c)} \cdot d_{u'}^{(c)} + n_u \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)の第一項は希望信号成分を、第二項は干渉信号成分を、第三項は雑音成分をそれぞれ表す。ここで、 $h_{n,u}^{(c)}$ は第  $c'$ セルの第  $n$ 分散アンテナと第 0セルの第  $u$ ユーザ間におけるチャンネル利得を表し、 $i_{u,u'(c')}$ の値は第  $u$ ユーザと第  $c'$ セルに存在する第  $u'$ ユーザが同一のチャンネルを使用している場合に 1 を取り、それ以外では 0 となる。即ち第二項の  $h_{n,u}^{(c)}w_{u'}^{(c')} \cdot d_{u'}^{(c')}$  は、同一のチャンネルを使用している第  $u'$ ユーザに送られた信号が干渉として受信された信号である。 $n_u$ は平均 0 で分散  $2N_0/T_s$ の加法的白色ガウス雑音(AWGN)、 $T_s$ はシンボル長である。各ユーザからの干渉信号成分を独立なガウス過程として近似すると、第  $u$ ユーザの瞬時受信 SINR は次式で与えられる。

$$SINR_u = \frac{P_t \left( |h_{n,u}|^2 \right)^2 / \sum_{u=0}^{\bar{U}^{(0)}-1} |h_{n,u}|^2}{P_t \sum_{c'=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}^{(c')}-1} i_{u,u'(c')} |h_{n(u'),u}^{(c')} w_{u'}^{(c')}|^2 + \frac{N_0}{T_s}} \quad (6)$$

式(6)を用いて、1 タイムスロット間における第  $u$ ユーザのチャンネル容量  $C_u$ (bps/Hz)は次式で与えられる。

$$C_u = \frac{1}{N_{ch}} \log_2(1 + SINR_u) \quad (7)$$

### 3.2. セルラネットワーク (CN)

本稿では、提案 DCA を用いる DAN の比較対象として、送信ダイバーシチを用いる CN を考える。CN の場合、 $N_{total}$ 本のアンテナがセルの中央に集中して配置され、それらのアンテナ全てを用いて最大比送信ダイバーシチ(MRT)[2]を行う。第  $n$ 番目のアンテナが第  $u$ 番目のユーザに送信する送信信号、及び MRT 重みはそれぞれ次式のように表せる。

$$s_{n,u} = \sqrt{2P_t} w_{n,u} \cdot d_u \quad (8)$$

$$w_{n,u} = \frac{h_{n,u}^*}{\sqrt{\sum_{u=0}^{\bar{U}^{(c)}-1} \sum_{n=0}^{N_{total}-1} |h_{n,u}|^2}} \quad (9)$$

$s_{n,u}$ を第  $n$ 分散アンテナより送信し、第  $u$ ユーザにおいて受信する。受信信号は次式のように表せる。

$$\begin{aligned} y_u &= \sum_{n=0}^{N_{total}-1} h_{n,u} s_{n,u} + \sum_{c'=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}^{(c')}-1} \sum_{n=0}^{N_{total}-1} i_{u,u'(c')} h_{n,u}^{(c')} s_{n,u'} + n_u \\ &= \sqrt{2P_t} \sum_{n=0}^{N_{total}-1} |h_{n,u}|^2 \cdot d_u \\ &\quad + \sqrt{2P_t} \sum_{c'=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}^{(c')}-1} i_{u,u'(c')} \sum_{n=0}^{N_{total}-1} h_{n,u}^{(c')} w_{n,u'}^{(c')} \cdot d_{u'} + n_u \end{aligned} \quad (10)$$

2.1 節と同様、各ユーザからの干渉信号成分を独立なガウス過程として近似すると、第  $u$ ユーザの瞬時受信 SINR は次式で与えられる。

$$SINR_u = \frac{P_t \left( \sum_{n=0}^{N_{total}-1} |h_{n,u}|^2 \right)^2}{P_t \sum_{c'=1}^{D-1} \sum_{u'=0}^{\bar{U}^{(c')}-1} i_{u,u'(c')}^2 \sum_{n=0}^{N_{total}-1} |h_{n(u'),u}^{(c')} w_{n,u'}^{(c')}|^2 + \frac{N_0}{T_s}} \quad (11)$$

式(11)を式(7)に代入することにより、第  $u$ ユーザのチャンネル容量  $C_u$ (bps/Hz)を得る。

## 4. 計算機シミュレーション結果

### 4.1. ネットワークモデル

図 6 に、計算機シミュレーションで用いている干渉モデルを示す。本稿ではセル数  $D=37$  とし、測定対象となるセルの周辺に位置する 36 局のセルからの干渉を考慮する。全てのセルで提案 DCA を適用し、チャンネル容量による評価を行う。

図 7 に、DAN と CN のセルモデルを示す。DAN の場合、各セルに  $N_{total}=7$ 本のアンテナが均一に配置されており、隣接アンテナ間の距離はセル半径の 2/3 倍に設計されている。CN の場合は、 $N_{total}$ 本のアンテナがセルの中央に配置されている。このとき、 $N_{total}$ 本全てのアンテナを使用して送信ダイバーシチを行う。

チャンネル利得  $h_{n,u}$ は、フェージングによる複素パス利得の変動に加えて対数分布に基づくシャドウイング損失[4]、及び伝搬損失の影響を含んでいる。このとき、 $h_{n,u}$ は次式のように表せる。

$$h_{n,u} = \sqrt{r_{n,u}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{n,u}}{10}}} \cdot h'_{n,u} \quad (12)$$

なお、 $\alpha$ は伝搬損失指数、 $\eta_{n,u}$ は第  $n$ 分散アンテナと第  $u$ ユーザ間におけるシャドウイング損失(dB)を表しており、平均値 0 で標準偏差  $\sigma$ の正規分布に従うランダム変数である。また、 $h'_{n,u}$ はフェージングの複素パス利得を表す。このとき、第  $n$ 分散アンテナから距離  $r_{n,u}$ の位置に存在する第  $u$ ユーザの移動局の瞬時受信電力  $P_{r,u}$ は次式で与えられる。

$$P_{r,u} = P'_{t,u} \cdot |h_{n,u}|^2 = P'_{t,u} \cdot r_{n,u}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{n,u}}{10}} \cdot |h'_{n,u}|^2 \quad (13)$$

ここで、 $P_{t,u} = P'_{t,u} \cdot R^{-\alpha}$ 、 $R_{n,u} = r_{n,u}/R$ とおくと、式(13)は次のように表現できる。

$$\begin{aligned} P_{r,u} &= (P'_{t,u} \cdot R^{-\alpha}) \cdot (r_{n,u}/R)^{-\alpha} \cdot |h_{n,u}|^2 \\ &= P_{t,u} \cdot R_{n,u}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{n,u}}{10}} \cdot |h_{n,u}|^2 \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)は、送信点からの距離  $R$ における平均受信電力が  $P_{t,u}$ となるような送信電力を用いたときの、正規化距離  $R_{n,u}$ における受信電力を示している。

なお DAN の場合、最短距離規範に基づいてアンテナ選択を行っている。即ち、次式で与えられる長区間平均受信電力が最大となるアンテナを選択している。

$$\begin{aligned} P_{r,u} &= P_{t,u} \cdot R_{n,u}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{n,u}}{10}} \cdot |h_{n,u}|^2 \\ &\approx P_{t,u} \cdot R_{n,u}^{-\alpha} \end{aligned} \quad (15)$$

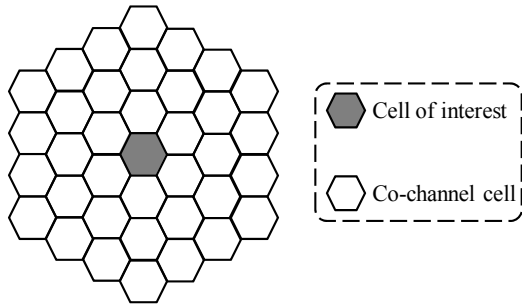


図 6 干渉モデル( $D=37$ )

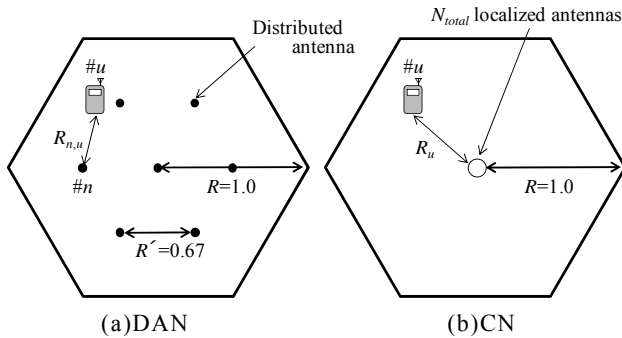


図 7 セル内のアンテナ配置( $N_{total}=7$ )

#### 4.2. 計算機シミュレーション諸元

計算機シミュレーション諸元を表 1 に示す. 周波数非選択性のブロックレイリーフェージングを仮定しており, 1 タイムスロット内においてフェージングの変動は無視できるほど小さいものとする. また, 各セルに  $U$  人のユーザが一樣分布で発生し, かつ各ユーザは一定の通信確率  $p$  でパケットの伝送を要求するものとする. アンテナ選択をした後, 選択された分散アンテナが割り当て処理を行い, チャンネル割り当てが成功すれば伝送を行う. 干渉リミテッド環境下を仮定して各ユーザのチャンネル容量を式(7)より計算し, それらを十分回数繰り返すことで累積分布関数(CDF), 及びセル当たりの平均総チャンネル容量を算出している.

表 1 計算機シミュレーション諸元

System	No. of co-channel cells	$D=37$
	No. of channels	$N_{ch}=3, 7$
	No. of antennas in a cell	$N_{total}=7$
	No. of users per cell	$U=1\sim 14$
	Transmission prob.	$p=0.2\sim 1.0$
	Channel estimation	Ideal
DCA	Forgetting factor of first order filtering	$1-\beta=10^{-3}\sim 9\times 10^{-1}$
Channel	Fading	Frequency-nonselective block Rayleigh
	Shadowing loss standard deviation	$\sigma=7.0$
	Path loss exponent	$\alpha=3.5$

#### 4.3. 一次フィルタの最適化

図 8 に, DAN における提案 DCA の  $(1-\beta)$  対システム容量特性を, 通信確率  $p$  をパラメータとして示す. ここで, 縦軸には CDF の 5% アウテージ容量をプロットしており,  $N_{ch}=7, U=5$  としている. 図 8 より,  $(1-\beta)$

の値を極端に大きく設定したときに特性が劣化していることが分かる. これは,  $(1-\beta)$  を大きくする程直前のタイムスロットの干渉を大きく参照するためである. この場合, フェージングの影響を受けてほぼランダムに割り当てを行ってしまうため, 特性が劣化してしまう. しかしながら,  $(1-\beta)=10^{-2}$  程度(観測時間はおよそ 100 スロット程度)に設定することで十分優れた特性が得られている. 以降では,  $(1-\beta)=10^{-2}$  として検討を行う.

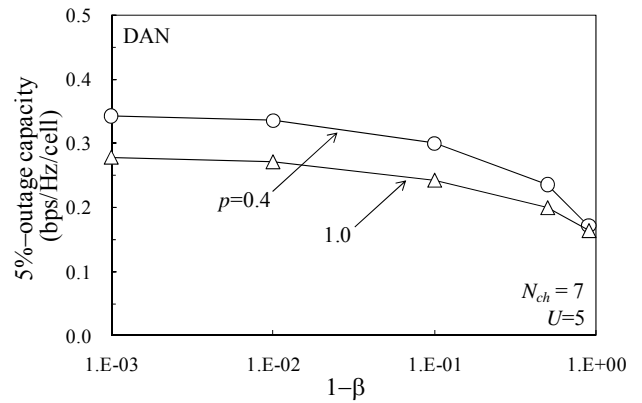


図 8 一次フィルタ係数  $\beta$  の影響

#### 4.4. 棲み分け効果の確認

提案 DCA では, 各チャンネルで過去に受信した干渉量をフィルタリングし, その出力を基に干渉テーブルを作成する. 即ち, 各ユーザと分散アンテナ間の伝搬路の変動が小さければ, 時間の経過とともに割り当てられるチャンネルが棲み分けられていくと考えられる. これを確認するため, 各ユーザの伝搬路環境が変動しないという特殊な環境を仮定し, DAN において第 0 セルの中心に位置する分散アンテナの干渉テーブルの時間推移を測定した. これを図 9 に示す. ここで,  $N_{ch}=3, U=3, p=1.0$  としている. 割り当てを開始してからおよそ 1000 スロット程で, 干渉テーブルの値が収束していることが分かる. なお, この例の場合, 第 1 チャンネルが優先的に割り当てられることとなる. また, 棲み分け後も各チャンネルのフィルタ出力が若干変動しているが, これは他の分散アンテナにおいて棲み分けが完了していないものがあるためであると考えられる. 周囲で割り当てられるチャンネルに変動が生じるため, 干渉も変動するのである.

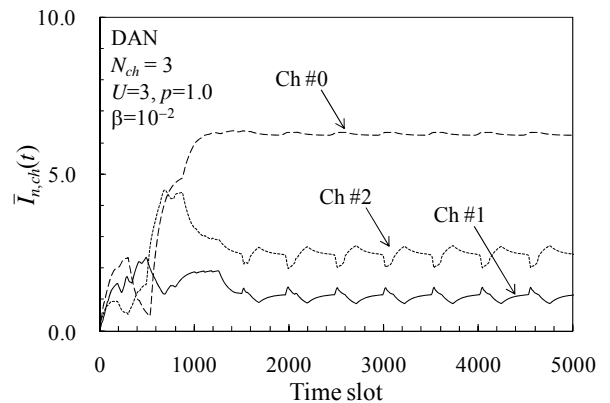
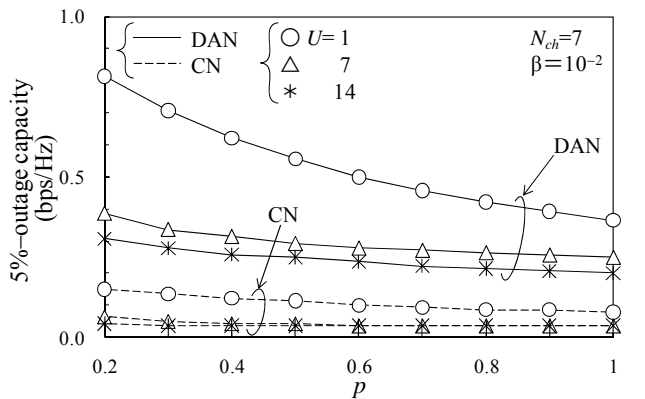


図 9 テーブルに保存した平均干渉電力測定値の変化

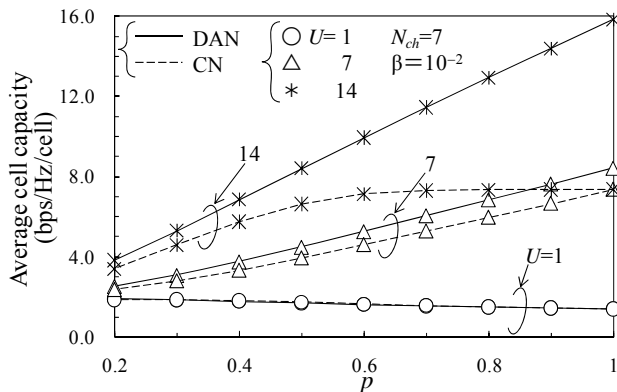
#### 4.5. DAN と CN の比較

DAN と CN の  $p$  対チャンネル容量特性を、 $U$  をパラメータとして図 10 に示す。  $N_{ch}=7$  とし、図 10(a) にユーザの 5% アウテージ容量を、図 10(b) にセルの平均総チャンネル容量をそれぞれプロットした。図 10(a) より、DAN は CN に比べて優れたアウテージ容量を獲得できることが分かる。例えば  $U=7$ ,  $p=1.0$  のとき、DAN では CN に比べて約 7.0 倍のアウテージ容量が得られている。これは、DAN ではユーザ近傍の分散アンテナが通信を行うことで伝搬損失の影響を著しく軽減できるためである。CN では  $N_{total}=7$  本の送信アンテナ全てを使用して送信ダイバーシチを行っているものの、伝搬損失の影響が大きいためアウテージ(つまりセル境界)を救うことはできない。

また図 10(b) より、ユーザ数  $U$  が増えるほど CN に対する DAN の総チャンネル容量の改善量が大きいことが分かる。これは、提案 DCA の割り当て法の違いによるものである。CN では基地局で 1 つの干渉テーブルを保持し、それを用いてチャンネルの割り当てを行う。このとき、割り当てられたチャンネルを使用して全てのアンテナが 1 ユーザに伝送を行うため、高々  $N_{ch}$  人のユーザとしか通信を行うことができない。これに対し、DAN では各分散アンテナがテーブルを保持して割り当て処理を行い、ユーザと 1 対 1 で通信を行う。つまり、平均干渉電力さえ小さければセル内の分散アンテナでも同じチャンネルを再利用できるため、CN より多くのユーザを収容できるのである。提案 DCA は、特に DAN に適した割り当て手法であると言える。



(a) 1 ユーザ当たりの 5% アウテージチャンネル容量



(b) 1 セル当たりの平均総チャンネル容量

図 10 DAN と CN のチャンネル容量の比較

#### 5. むすび

本稿では、DAN において各分散アンテナが自律かつ動的にチャンネルを割り当てる自律分散 DCA を提案した。これは、過去に受信した干渉電力の平均を計算し、平均干渉電力の小さいチャンネルを優先的に割り当てる手法である。提案 DCA では、干渉測定の観測時間を 100 スロット程度 ( $\beta=0.01$  に相当) に設定することで優れたチャンネル容量が得られ、また特にユーザが多数存在する環境において、提案 DCA を用いる DAN が従来のセルラネットワークと比較して高いチャンネル利用効率を示すことを明らかにした。

なお、提案したチャンネル割り当て手法では各分散アンテナが独立に割り当てを行うため、各アンテナが協調して通信を行う技術への適用は難しい。このような協調 MIMO 伝送への拡張は、重要な今後の課題である。

#### 文 献

- [1] K. Caver, "Single-user and multiuser adaptive maximal ratio transmission for Rayleigh channels," IEEE Trans. Vehi. Technol., Vol. 49, No. 6, pp. 2043-2050, Nov. 2000.
- [2] R. L. U Choi and R. D. Murch, "A transmit MIMO scheme with frequency domain pre-equalization for wireless frequency selective channels," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 3, No. 3, pp. 929-938, May 2004.
- [3] X. Feng and C. Leung, "A new optimal transmit and receive diversity scheme," Proc. IEEE PACRIM, pp. 538-541, Victoria, Canada, Aug. 2001.
- [4] J. G. Proakis, *Digital communications*, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.
- [5] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.
- [6] E. Kudoh and F. Adachi, "Study of a Multi-hop communication in a virtual cellular system," Proc. 6th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), vol.3, pp.261-265, Yokosuka, Japan, 19-22 Oct. 2003.
- [7] W. Choi, "Downlink performance and capacity of distributed antenna systems," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 6, No. 1, pp. 69-73, Jan. 2007.
- [8] H. Matsuda, H. Tomeba and F. Adachi, "Channel Capacity of Distributed Antenna System Using Maximal Ratio Transmission," The 5th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS 2008), Tohoku University, Sendai, Japan, 21-22 Aug., 2008
- [9] R. Matsukawa, T. Obara, K. Takeda, and F. Adachi, "Downlink Throughput Performance of Distributed Antenna Network Using Transmit/Receive Diversity," to be presented at 2011 IEEE 74th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), San Francisco, United States, 5-8 Sept. 2011.
- [10] 松川隆介, 小原辰徳, 武田一樹, 安達文幸, "送受信ダイバーシチを用いた下りリンク伝送における分散アンテナネットワークの送信電力低減効果," 信学技報, RCS2010-262, pp. 85-90, 2011年3月.
- [11] G. F. Marias, D. Skyrianoglou, and L. Merakos, "A Centralized Approach to Dynamic Channel Assignment in Wireless ATM LANs," Infocom '99, 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 21-25, Mar, 1999.
- [12] G. Cao, and M. Singhal, "Distributed Fault-Tolerant Channel Allocation for Cellular Networks," IEEE Journal on Selected Areas In Communications, Vol. 18, No. 7, JULY, 2000.
- [13] Y. Furuya and Y. Akaiwa, "Channel segregation, a distributed adaptive channel allocation scheme for mobile communication systems," IEICE Trans., Vol.E 74, no.6, pp.1531-1537, June 1991.