

干渉測定型チャネル棲み分けに基づく動的マルチチャネル配置法

松村 祐輝¹ 天間 克宏¹ 石原 浩一² ヒランタ アベセーカラ² 熊谷 智明² 安達 文幸³

^{1,3} 東北大学大学院工学研究科通信工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

² 日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと研究所 〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

E-mail: ¹{matsumura, tenma}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, ³adachi@ecei.tohoku.ac.jp
²{ishihara.koichi, hirantha.abeysekera, kumagai.tomoaki}@lab.ntt.co.jp

あらまし 利用可能な無線帯域が限られている無線ネットワークでは、空間的に離れたアクセスポイント(AP)や基地局(BS)で同一チャネルを再利用しなければならないので、同一チャネル干渉(CCI)が通信品質を制限してしまう。そのため、CCI を小さくするチャネル再利用が必要である。筆者らが提案した干渉テーブルを用いる干渉測定型チャネル棲み分けに基づく動的チャネル配置(IACS-DCA)では、周辺の AP に与える CCI を最小化するチャネル再利用パターンを自律的に形成できる。IACS-DCA では、干渉が十分小さいチャネルが複数ある場合でも各 AP が選択できるチャネル数は1チャネルのみとしている。このため、同一チャネルの再利用距離が過剰になってしまい周波数有効利用効率という観点では最適ではない。そこで本稿では、許容干渉レベル以下のチャネルを複数選択する、干渉測定型チャネル棲み分けに基づく動的マルチチャネル配置(IACS-DMCA)を提案する。計算機シミュレーションにより、IACS-DMCA は IACS-DCA より周波数利用効率を向上できること、安定したチャネル再利用パターンが生成できることを明らかにしている。

キーワード チャネル棲み分け, 動的チャネル配置, 同一チャネル干渉, 自律制御

Interference-Aware Channel Segregation Based Dynamic Multi-Channel Assignment

Yuki MATSUMURA¹ Katsuhiko TEMMA¹ Koichi ISHIHARA² B. A. Hirantha Sithira ABEYSEKERA²
Tomoaki KUMAGAI² and Fumiyuki ADACHI³

^{1,3} Dept. of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University
6-6-05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

² NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation
1-1, Hikarinooka, Yokosuka-shi, 239-0847, Japan

E-mail: ¹{matsumura, tenma}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, ³adachi@ecei.tohoku.ac.jp
²{ishihara.koichi, hirantha.abeysekera, kumagai.tomoaki}@lab.ntt.co.jp

Abstract In wireless networks whose available radio-frequency bandwidth is limited, the co-channel interference (CCI) limits a transmission quality since the same channel must be reused at spatially-separate access points (APs) or base stations (BSs). Therefore, the channels must be reused so as to minimize the CCIs. Recently, we proposed an interference-aware channel segregation based dynamic channel assignment (IACS-DCA) which can form a channel reuse pattern in a distributed manner and minimize CCIs affecting ambient APs. IACS-DCA allows each AP to use only one channel. Therefore, the channel reuse pattern created by IACS-DCA is not optimal in terms of spectral efficiency since the distance between the co-channels becomes too long. In this paper, we propose an interference-aware channel segregation based dynamic multi-channel assignment (IACS-DMCA) which permits AP to use multiple channels satisfying a acceptable interference level. We show, by computer simulation, that IACS-DMCA improves the spectral efficiency compared to IACS-DCA and forms stable channel reuse pattern.

Keyword Channel segregation, Dynamic channel assignment, Co-channel interference, Autonomous control

1. はじめに

利用可能な無線帯域が限られている無線ネットワークでは、空間的に離れたアクセスポイント(AP)や基地局(BS)が同一チャネルを再利用しなければならないので、同一チャネル干渉(CCI)が通信品質を制限してし

まう。そのため、CCI ができるだけ小さくなるようにチャネルを再利用しなければならない。しかし、実際の無線ネットワークでは、ユーザの分布や新規 AP の設置に伴って干渉環境が変化してしまう。したがって、干渉環境の変化に追従して、CCI が小さくなるようチ

チャンネルを割り当てる動的チャンネル配置(DCA)[1]-[3]が有効である。

DCA の無線ネットワークへの適用に関する検討は、これまで数多く行われてきた[4]-[6]。現行の無線 LAN では、AP が起動時もしくは一定の時間間隔で無線環境を観測し、その時点で受信 CCI レベルが最小のチャンネルを選択するチャンネル選択法が用いられている[7](本稿では、これを準 DCA と呼ぶ)。しかし、準 DCA では、AP 起動時もしくは一定時間間隔毎の観測時点での瞬時の受信 CCI 観測結果をもとにチャンネルを選択するため、CCI を最小化する安定したチャンネル再利用パターンを形成できなかった。一方、チャンネル棲み分けに基づく DCA(CS-DCA)[8],[9]では、各 AP は一定の時間間隔で観測した瞬時受信信号対干渉+雑音電力比(SINR)に基づいて計算したチャンネル優先順位をチャンネル優先度テーブルに記憶し、優先順位が最も高いチャンネルを選択することで、安定したチャンネル再利用パターンを形成できる。筆者らは先に、干渉測定型 CS-DCA(IACS-DCA)を提案した[10]。IACS-DCA では、各 AP はチャンネル優先度テーブルに相当する CCI テーブルを保有して、一定時間間隔で測定した瞬時 CCI 電力から平均 CCI 電力を計算し、平均 CCI が最小のチャンネルを 1 つ選択することで、周辺セルに与える CCI を最小化するような安定したチャンネル再利用パターンを形成できる[11]。

しかし、IACS-DCA では、干渉が小さいチャンネルが複数ある場合でも各 AP が選択できるチャンネル数は 1 チャンネルのみとしていたため、同一チャンネルの再利用距離が過分になってしまい周波数有効利用効率という観点では最適ではなかった。例えば、周辺を壁に囲まれた孤立 AP ではすべてのチャンネルを利用できるにもかかわらず、IACS-DCA で生成されるチャンネル再利用パターンでは 1 チャンネルしか配置されない。複数チャンネルを利用したいときには干渉レベルの低い順に複数選択することができるが、1 チャンネル配置に基づく IACS-DCA で生成されたチャンネル再利用パターンを乱すことになるので、干渉を増やすことになり、受信信号対干渉電力比(SIR)を劣化させてしまう[12],[13]。

そこで、本稿では、許容干渉レベル以下のチャンネルを複数選択する、干渉測定型チャンネル棲み分けに基づく動的マルチチャンネル配置法(IACS-DMCA)を提案する。IACS-DMCA では、各 AP に配置されるチャンネル数は必ずしも同じにはならない。例えば、周辺を壁に囲まれた孤立 AP には、すべてのチャンネルが配置されることになる。計算機シミュレーションにより、IACS-DMCA は IACS-DCA より周波数利用効率を向上できること、安定したチャンネル再利用パターンを生成できることを明らかにする。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 章で IACS-DMCA を提案する。第 3 章ではシステムモデルを示す。第 4 章は計算機シミュレーション結果を示し、IACS-DMCA および IACS-DCA のチャンネル再利用パターンと周波数利用効率を比較する。第 5 章でまとめる。

2. IACS-DMCA

IACS-DMCA を適用したシステムのイメージを図 1 に示す。図 1 に示すように、各 AP は一定間隔で CCI 電力を測定し、平均 CCI 電力を計算して CCI テーブルを更新し、許容干渉レベル以下のチャンネルをすべて選択する。

本稿では、無線 LAN システムを対象とし、直交周波数分割多重(OFDM)[14]伝送による時分割複信(TDD)を仮定する。IACS-DMCA における AP の動作フローチャートを図 2 に示す。提案法の動作を下記に示す。

- 1) AP は、周辺 AP が報知するビーコン信号を観測する。
- 2) 瞬時 CCI 電力を測定する。
- 3) 平均 CCI 電力を計算する。

平均 CCI 電力の計算には、忘却係数を用いる一次フィルタ[15]を用いる。第 m AP (AP_m) の、第 t タイムスロットにおける第 ch チャンネル ($ch=0\sim N_{ch}-1$) の平均 CCI 電力は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \bar{I}_{AP_m, ch}(t) &= (1-\beta) \cdot I_{AP_m, ch}(t) + \beta \cdot \bar{I}_{AP_m, ch}(t-1) \\ &= (1-\beta) \cdot \sum_{i=0}^t \beta^i \cdot I_{AP_m, ch}(t-i) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $I_{AP_m, ch}(t)$ は第 t タイムスロットにおける瞬時 CCI 電力、 β ($0 \leq \beta \leq 1$) は忘却係数である。 N_{ch} は総チャンネル数である。1 次フィルタの等価平均区間は $1/(1-\beta)$ タイムスロットで与えられる。 β の値が小さいと等価平均区間が短くなるため、平均 CCI 電力は瞬時 CCI 電力の影響を強く受けて大きく変動する。したがって、安定した(変動がない)チャンネル再利用パターンを形成するためには、 β を 1 に近い値に設定する必要がある[11]。

- 4) CCI テーブルを更新する。
- 5) AP は CCI テーブルを参照し、許容干渉レベル以下のチャンネルが存在するかどうかを確認する。
- 6) 許容干渉レベル以下のチャンネルが存在する場合は、該当するチャンネルをすべて選択する。
- 7) 該当するチャンネルが存在しない場合は、平均 CCI 電力が最小のチャンネルを 1 つ選択する。
- 8) 続いて、AP は選択したすべてのチャンネルのビーコンを送信し、配下の端末(STA)に AP の使用チャンネルを通知する。
- 9) AP は 1)~8) の動作を一定間隔で繰り返す。

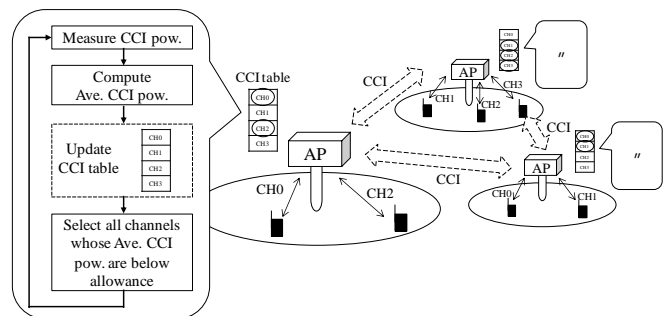


図 1 IACS-DMCA を適用したシステムのイメージ

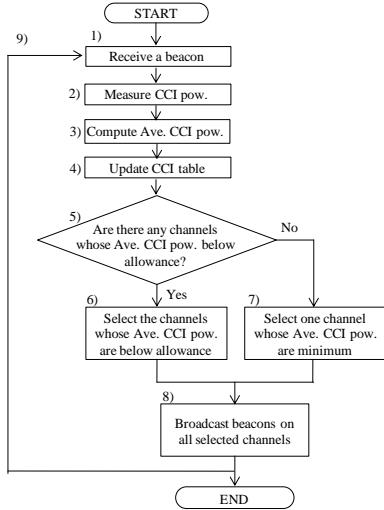
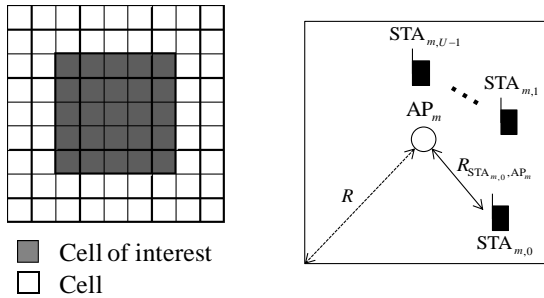


図2 IACS-DMCAのフローチャート

3. ネットワークモデル

3.1. システムモデル

図3にシステムモデルを示す. 総セル数を $N_{\text{all}}=9 \times 9=81$ とし, 各正方セルの中心に1本のアンテナを有する AP が配置されているものとする. 各正方セルの中心と頂点間距離(セル半径)を R とする. 各セルには U 個 ($U=N_{\text{ch}}$) の STA が存在しており, それぞれ異なるチャンネルで AP と通信するものとする. AP は配置されたチャンネル数 $N_{\text{ch}}^{(\text{AP}_m)}(t)$ 個の STA と通信できるものとし, その他の STA との通信は不可とする. すべてのセルで同期して, 上下リンク通信が行われる環境を想定する. 計算機シミュレーションでは, 中心の $N_{\text{int.}}=25$ セルを測定対象セルとする.



(a) セル配置 (b) セル内の AP, STA 配置
図3 ネットワークモデル

3.2. シェドウイング相関モデル

IACS-DCA では, 本来 AP は周辺セルの STA からの上り CCI 電力を利用して周辺 STA に与える CCI を低減するチャンネル再利用パターンを形成しなければならない[11]. ところが, 無線 LAN では周辺 AP 配下の STA からの CCI 電力測定は困難であるため, 周辺 AP からのビーコン信号を利用して CCI 電力測定を行う IACS-DCA が検討されてきた[16]. しかし, この場合チャンネル選択のための CCI 電力情報が実際の値と異なってしまうことから, チャンネル選択に誤差が生じてしまい, 受信 SINR 特性が劣化してしまう. 各 AP と STA 間のシェドウイング相関が高ければ誤差は小さくなる.

そこで本報告の計算機シミュレーションでは, 各 AP と STA 間のシェドウイング相関を考慮したモデルを仮定する. 図4に, セルモデルを示す. i は周辺セルのセル番号である. 図4の AP_m は, CCI 電力測定を行う対象 AP とする. $\eta_{\text{AP}_m, \text{AP}_i}$ は AP_m と AP_i との間のシェドウイング損失(dB)であり, 平均値 0 で標準偏差 σ の正規分布に従う変数である. $\theta_{\text{AP}_m(\text{AP}_i \leftrightarrow \text{STA}_{i,u})}$ は, 2つのリンクの角度差を示す. $\theta_{\text{AP}_m(\text{AP}_i \leftrightarrow \text{STA}_{i,u})}$ が小さくなるほど, 同じ障害物が2つのリンクを遮蔽するようになるので, 高いシェドウイング相関が観測される. 2つのリンクのシェドウイング相関は, 次式で表される[17]. ここで, u, v および ω は $u+v \leq 1$ を満たす非負のパラメータである.

$$\rho_{\text{AP}_m(\text{AP}_i \leftrightarrow \text{STA}_{i,u})} = u \cdot \cos\left(\frac{\theta_{\text{AP}_m(\text{AP}_i \leftrightarrow \text{STA}_{i,u})}}{\omega}\right) + v \quad (2)$$

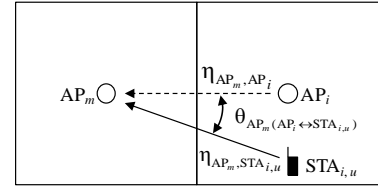


図4 シェドウイング相関モデル

3.3. 伝搬モデル

本稿では, 遅延時間の異なる L 個の離散パスからなるフェージングチャンネルを仮定する. このとき, $\text{STA}_{m,u}-\text{AP}_m$ 間におけるチャンネルのインパルス応答 $h_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}(\tau)$ は次式で与えられる.

$$h_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}(\tau) = \sum_{l=0}^{L-1} h_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)} \delta(\tau - \tau_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}) \quad (3)$$

$\tau_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}$ は第 l パスにおける遅延時間を表す. $h_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}$ は伝搬損失, シェドウイング損失, 及びフェージングにより特徴付けられる複素パス利得である. このとき, 距離 $R_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}$ 離れた $\text{STA}_{m,u}-\text{AP}_m$ 間のチャンネルは, 次式のように表せる.

$$h_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)} = \sqrt{R_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}}{10}}} \cdot \tilde{h}_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)} \quad (4)$$

ここで, α は伝搬損失指数, $\eta_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}$ は $\text{STA}_{m,u}-\text{AP}_m$ 間のシェドウイング損失(dB)である. また, $\tilde{h}_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}$ はフェージングにより変動する複素変数であり, $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}|^2] = 1$ である. $E[\cdot]$ はアンサンブル平均を示す演算子である.

上りリンク伝送の場合, AP_m における瞬時受信電力 P_{r, AP_m} は, $\text{STA}_{m,u}$ の送信電力 $\bar{P}_{t, \text{STA}_{m,u}}$ を用いて次式で与えられる.

$$\begin{aligned} P_{r, \text{AP}_m} &= \bar{P}_{t, \text{STA}_{m,u}} \cdot R_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}|^2 \\ &= P_{t, \text{STA}_{m,u}} \cdot r_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m}^{(l)}|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$P_{t, \text{STA}_{m,u}} = \bar{P}_{t, \text{STA}_{m,u}} \cdot R^{-\alpha}$ と $r_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m} = R_{\text{STA}_{m,u}, \text{AP}_m} / R$ は, AP 間距離 R で正規化した正規化送信電力と正規化距離を表す.

3.4. 瞬時 CCI 電力測定

本稿では、AP が送信するビーコン信号もサブキャリア数 N_c の OFDM 伝送を仮定する。AP_m における第 t タイムスロットの周波数領域受信信号 $Y_{AP_m}(t;k)$ ($k=0\sim N_c-1$) は次式で表される。

$$Y_{AP_m}(t;k) = I_{AP_m}(t;k) + N_{AP_m}(t;k) \quad (6)$$

$N_{AP_m}(t;k)$ は雑音成分である。 $I_{AP_m}(t;k)$ は周辺 AP から受ける CCI 成分であり、次式で与えられる。

$$I_{AP_m}(t;k) = \sum_{c \in U_{AP_m}, c \neq m} \sqrt{2P_{t,AP_c}} \cdot H_{AP_m,AP_c}(t;k) \cdot x_{AP_c}(t;k) \quad (7)$$

$H_{AP_m,AP_c}(t;k)$ および $x_{AP_c}(t;k)$ は AP_m-AP_c 間のチャネル利得及び AP_c の送信信号である。 U_{AP_m} は AP_m と同じチャネルを利用する AP 番号の集合である。 AP_m が第 t タイムスロットで測定する瞬時 CCI 電力は次式で表される。

$$I_{AP_m, ch}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} |I_{AP_m}(t;k) + N_{AP_m}(t;k)|^2 \quad (8)$$

3.5. リンク容量

第 m セルにおける上下リンクのチャネル容量 $C_m^{(up)}(t)$, $C_m^{(down)}(t)$ (bps/Hz/cell) は次式で与えられる。

$$\begin{cases} C_m^{(up)}(t) = \frac{1}{N_{ch}N_c} \sum_{ch=0}^{N_{ch}-1} \varepsilon_{m,ch}(t) \sum_{k=0}^{N_c-1} \log_2(1 + \lambda_{m,ch}^{(up)}(t;k)) \\ C_m^{(down)}(t) = \frac{1}{N_{ch}N_c} \sum_{ch=0}^{N_{ch}-1} \varepsilon_{m,ch}(t) \sum_{k=0}^{N_c-1} \log_2(1 + \lambda_{m,ch}^{(down)}(t;k)) \end{cases} \quad (9)$$

$\varepsilon_{m,ch}(t)$ は、第 m セルにおいて第 ch チャネルが第 t タイムスロットに使用されているかを表す変数であり、第 ch チャネルが使用されている場合は $\varepsilon_{m,ch}(t)=1$ 、そうでない場合は $\varepsilon_{m,ch}(t)=0$ となる。 $\lambda_{m,ch}^{(up)}(t;k)$, $\lambda_{m,ch}^{(down)}(t;k)$ は第 k 周波数における第 ch チャネルの上下リンクの瞬時受信 SINR であり、次式で与えられる。

$$\begin{cases} \lambda_{m,ch}^{(up)}(t;k) = \frac{P_{t,STA_{m,u}} |H_{STA_{m,u},AP_m}(t;k)|^2}{P_{t,STA_{m,c}} \sum_{c \in U_{AP_m}, c \neq m} |H_{STA_{m,c},AP_m}(t;k)|^2 + N} \\ \lambda_{m,ch}^{(down)}(t;k) = \frac{P_{t,AP_m} |H_{STA_{m,u},AP_m}(t;k)|^2}{P_{t,AP_c} \sum_{c \in U_{AP_m}, u \neq m} |H_{STA_{m,u},AP_c}(t;k)|^2 + N} \end{cases} \quad (10)$$

N は AP および STA の雑音電力である。 P_{t,AP_m} は AP_m の正規化送信電力である。

第 t タイムスロットの上下リンク容量 $\tilde{C}^{(up)}(t)$, $\tilde{C}^{(down)}(t)$ (bps/Hz) は、式(9)を用いて次式で与えられる。

$$\begin{cases} \tilde{C}^{(up)}(t) = \sum_{m=0}^{N_m-1} C_m^{(up)}(t) \\ \tilde{C}^{(down)}(t) = \sum_{m=0}^{N_m-1} C_m^{(down)}(t) \end{cases} \quad (11)$$

4. 計算機シミュレーション結果

IACS-DMCA の目的は、周波数利用効率の向上である。本稿では、計算機シミュレーションにより上下リンクの受信 SINR が設定した所要値以上になっていることを確認し、所要値を小さくできれば同一チャネルを近くで再利用でき、周波数利用効率を向上できることを確認した。

表 1 に計算機シミュレーション諸元を示す。 STA は無線セル内に一様分布で発生させ、 STA-AP 間距離の 3.5 乗の逆数に比例する伝搬損失と標準偏差 5dB の対数正規分布を有するシャドウイングを生成した。このとき、対象 AP-周辺 STA 間と対象 STA-周辺 AP 間のシャドウイングは相関があるものとした。式(2)における u, v, ω は、 $u=0.5, v=0.5, \omega=1$ とした。フェージングは一様電力遅延プロファイルを有する $L=16$ パスの周波数選択性ブロックレイリーフェージングとした。第 l パスにおける遅延時間は、 $\tau^{(l)} = l \cdot T$ ($l=0 \sim L-1$) とした。ただし、 T はサンプリング周期である。

長区間平均送信信号対雑音電力比 (長区間平均送信 SNR) を P_t 、長区間平均受信干渉対雑音電力比 (長区間平均受信 INR) を I とすると、長区間平均送信 SINR Λ は次式で与えられる。

$$\Lambda = \frac{P_t}{I+1} \quad (12)$$

長区間平均送信 SINR Λ が所要 SINR Λ_0 となる許容干渉対雑音電力比 (許容 INR) I_r を求めると、次式で表される。

$$I_r = \frac{P_t}{\Lambda_0} - 1 \quad (13)$$

干渉リミテッド環境 ($P_t \gg \Lambda_0$) を想定すると、式(13)は次式で近似できる。

$$I_r \approx \frac{P_t}{\Lambda_0} \quad (14)$$

計算機シミュレーションでは、 $P_t=20$ dB とした。この場合、干渉リミテッド環境とならず、式(14)の近似が成立しないため、受信 SINR Λ が所要 SINR Λ_0 を下回る場合が起こりうる。

IACS-DMCA では、AP は干渉テーブルを用いて許容 INR I_r 以下のチャネルをすべて選択し利用するように動作するため、周囲を壁に囲まれた孤立 AP ではすべてのチャネルが配置されるはずである。これを確認するため、図 4 に示すチャネル再利用パターンの結果のみ、中央の AP を四方が壁に囲まれた孤立 AP とし、壁の電力通過損失を 20dB としてシミュレーションを行った。総チャネル数は $N_{ch}=16$ とし、OFDM のサブキャリア数は $N_c=64$ とした。忘却係数は $\beta=0.9$ とした。1 回あたりの計算機シミュレーション試行の時間長は 2000 タイムスロットとし、この間 STA の位置は変化しないものとした。2000 タイムスロット時点において AP が選択したすべてのチャネルの上下リンクの受信 SINR、選択チャネル数、リンク容量を測定し、この試行を 300 回繰り返すことで SINR の累積分布関数(CDF)、

平均選択チャンネル数, リンク容量の平均値を算出した.

表 1 計算機シミュレーション諸元

System	No. of channels	$N_{ch}=16$
	Normalized transmit SNR	$P_t=20\text{dB}$
	Required SINR	$\Lambda_0=5\sim 20\text{dB}$
	Transmission loss of walls around central AP	$\Xi=0, 20\text{dB}$
	No. of subcarriers	$N_c=64$
Channel	Fading type	Frequency-selective block Rayleigh
	Power delay profile	$L=16\text{-path uniform}$
	Time delay	$\tau^{(l)}=l \cdot T(l=0\sim L-1)$
	Path loss exponent	$\alpha=3.5$
	Shadowing loss standard deviation	$\sigma=5\text{dB}$
		$u=0.5$
$v=0.5$		
Shadowing correlation parameter	$\omega=1$	
IACS-DMCA	Forgetting factor of first order filtering	$\beta=0.9$

4.1. チャンネル再利用パターン

図 5, 6 に IACS-DMCA および IACS-DCA のチャンネル再利用パターン(選択チャンネル数, 第 0 チャンネルの再利用位置)を示す. 図 5 より, IACS-DMCA において選択されるチャンネル数は, すべての AP で必ずしも同じにはならないことがわかる. これは, AP ごとに干渉環境が異なるからである. 特に, 中央の孤立 AP にはすべてのチャンネルが選択されていることが確認できる. 一方, 図 6 より IACS-DCA では, AP は干渉環境に関わらず, 常に 1 つのチャンネルしか選択できないことがわかる.

また図 5 より, 各 AP に選択されるチャンネル数はタイムスロット t が大きくなるほど変動しなくなり安定していることがわかる. このことから, IACS-DMCA は安定したチャンネル再利用パターンを形成できることがわかる.

4.2. 上下リンク受信 SINR 特性

次に, 中央の AP を囲っていた壁の透過損を 0dB とし, すべての AP の平均的干渉条件を同じとした時について, 上下リンクの受信 SINR の CDF を求めた結果を図 7 に示す. 干渉リミテッド環境ではない場合, 式 (14) の近似が成立しないため, 受信 SINR Λ が所要 SINR Λ_0 を下回る場合が起こりうる. しかし, Λ が Λ_0 以下となる確率は高々 1% 以下であることが図 7 より確認できる. また, 表 2 に選択チャンネル数を示す. 表 2 より, 所要 SINR Λ_0 を低くできれば各 AP に選択されるチャンネル数をより多くできることがわかる. したがって, 強力な誤り訂正技術などを用いることで周波数利用効率を向上できることがわかる.

4.3. リンク容量

リンク容量を図 8 に示す. 図 8 より, IACS-DMCA によりリンク容量を増大できることがわかる. 特に, 所要 SINR $\Lambda_0=5\text{dB}$ の場合, リンク容量を従来法の約 2.3 倍に増大できる. これは, 提案法を用いることで, AP は許容 INR を満たすすべてのチャンネルを利用できるた

め, 周波数利用効率を向上できるためである. 一方, 所要 SINR Λ_0 が大きくなるとリンク容量の改善量は小さくなった. 特に, 所要 SINR $\Lambda_0=20\text{dB}$ の場合, リンク容量はほとんど改善しなかった. これは, 表 2 に示したように, 所要 SINR が大きいと, AP が利用できるチャンネル数が少なくなり, 従来法を用いる場合のチャンネル数(1 チャンネル)と等しくなるためである.

5. むすび

本稿では, 各 AP が複数チャンネルを選択する IACS-DMCA を提案した. 計算機シミュレーションにより, 安定したチャンネル再利用パターンが形成できること, 各 AP が 1 チャンネルしか選択しない IACS-DCA よりリンク容量を約 2.3 倍に増大できることを示した.

本稿では, すべての AP, すべての STA で同じ送信電力を用いるものとした. 送信電力制御(TPC)を併用すれば, 更に与干渉を低減できるから, AP は更に多くの数のチャンネルを選択できる. IACS-DMCA への TPC の適用に関しては今後の重要な検討課題である.

謝辞

本稿の一部は, 総務省「災害時の確実な情報伝達を実現するための技術に関する研究開発(被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発)」による委託を受けて実施した研究開発による成果である.

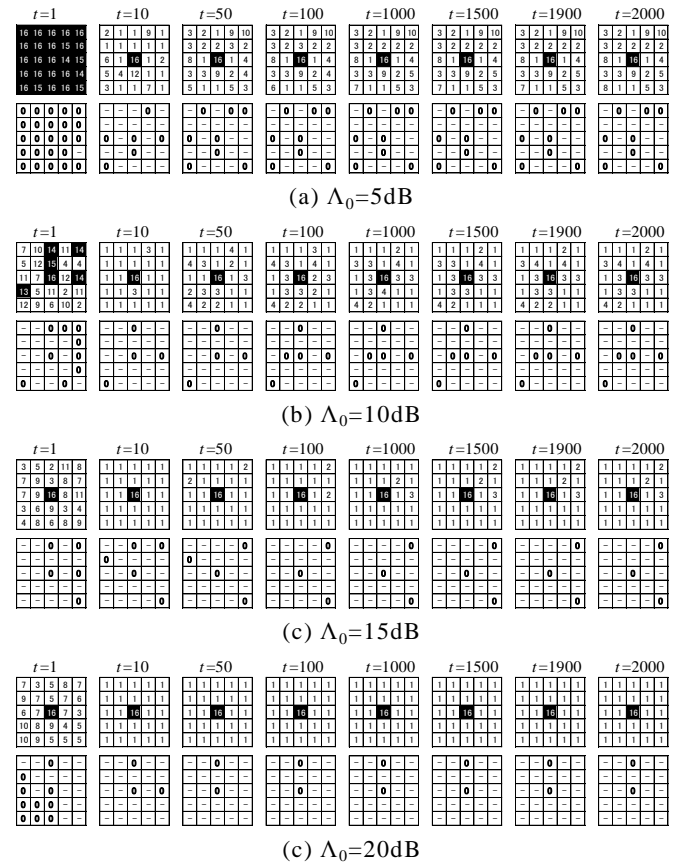


図 5 IACS-DMCA のチャンネル再利用パターン(上段: 選択チャンネル数, 下段: 第 0 チャンネルの再利用位置)

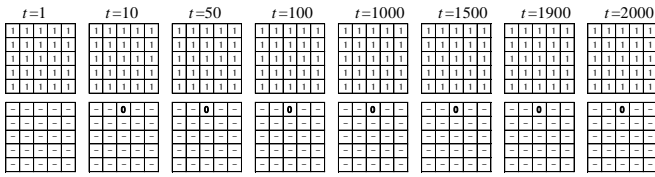
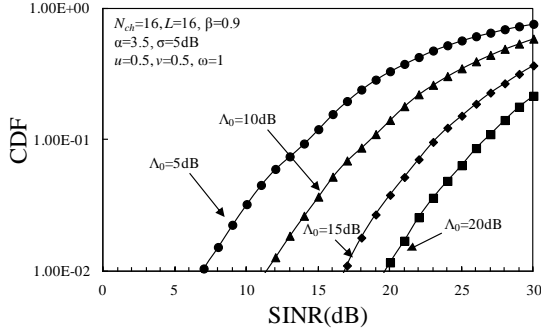
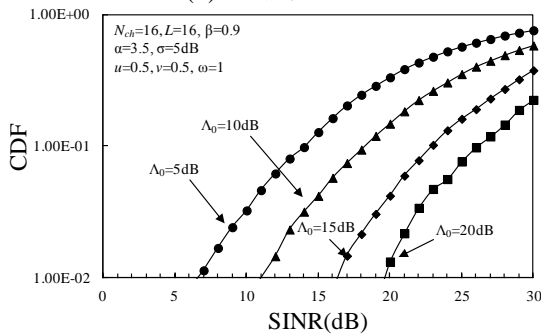


図6 IACS-DCAのチャンネル再利用パターン(上段:選択チャンネル数, 下段:第0チャンネルの再利用位置)



(a) 上りリンク



(b) 下りリンク

図7 受信 SINR の CDF

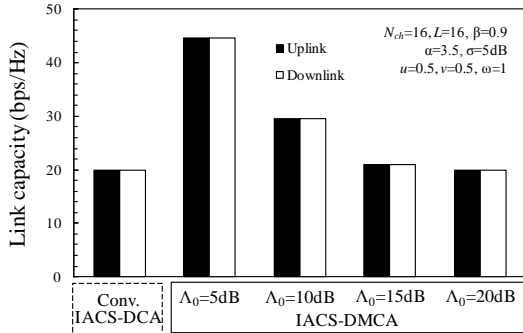


図8 リンク容量

表2 選択チャンネル数

Λ_0	No. of selected channels
5 dB	3.4
10 dB	1.8
15 dB	1.2
20 dB	1.0

文献

[1] I. Katzela and M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey," IEEE Personal Commun., Vol. 3, No. 3, pp. 10-31, Jun 1996.

[2] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, Aug 2005.

[3] H. Skalli, S. Ghosh, S. K. Das, L. Lenzini, and M. Conti, "Channel assignment strategies for multiradio wireless mesh networks: issues and solutions," IEEE

Commun. Magazine, Vol. 45, No. 11, pp. 86-95, Nov 2007.

[4] D. Goodman, S. A. Grandhi, R. Vijayan, "Distributed dynamic channel assignment schemes," Proc. IEEE 43th Vehicular Technology Conference (VTC1993-Spring), May 1993.

[5] G. Cao and M. Singhal, "Distributed fault-tolerant channel assignment for cellular networks," IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol. 18, No. 7, pp. 1326-1337, July 2000.

[6] H. Luo and N. K. Shankaranarayanan, "A distributed dynamic channel allocation technique for throughput improvement in a dense WLAN environment," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2004), Vol.5, pp. 345-8, May 2004.

[7] B. A. Hirantha Sithira Abeysekera, 石原浩一, 井上保彦, 市川武男, 熊谷智明, 溝口匡人, "IEEE802.11 無線 LAN におけるマスタ・スレーブ型チャンネル選択法の提案," 電子情報通信学会総合大会, B-5-121, 2012年3月.

[8] Y. Furuya and Y. Akaiwa, "Channel segregation, a distributed adaptive channel assignment scheme for mobile communication systems," IEICE Trans. Commun., Vol. E74-B, No. 6, pp. 1531-1537, June 1991.

[9] Y. Akaiwa and H. Andoh, "Channel segregation-a self-organized dynamic channel allocation method: application to TDMA/FDMA microcellular system," IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol. 11, No. 6, pp. 949-954, Aug 1993.

[10] R. Matsukawa, T. Obara, and F. Adachi, "A dynamic channel assignment scheme for distributed antenna networks," Proc. IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC2012-Spring), May 2012.

[11] Y. Matsumura, S. Kumagai, T. Obara, T. Yamamoto, and F. Adachi, "Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment for WLAN," IEEE The 13th International Conference on Communication Systems (ICCS2012), Nov 2012.

[12] 天間克宏, 松村祐輝, 小原辰徳, 山本哲矢, 石原浩一, ヒランタアベセーカラ, 熊谷智明, 安達文幸, "チャンネル棲み分けに基づく動的チャンネル配置を用いた無線 LAN におけるマルチチャンネルアクセスに関する一検討," 信学技報, RCS2012-181, pp. 121-126, 2012年11月.

[13] 天間克宏, 松村祐輝, 小原辰徳, 山本哲矢, 石原浩一, ヒランタアベセーカラ, 熊谷智明, 安達文幸, "チャンネル棲み分けに基づく動的チャンネル配置を用いた無線 LAN におけるチャンネル選択に関する一検討," 信学技報, RCS2012-340, pp.333-338, 2013年2月.

[14] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.

[15] S. W. Roberts, "Control chart tests based on geometric moving averages," Technometrics, Vol. 1, No. 3, pp. 239-250, Aug 1959.

[16] 松村祐輝, 天間克宏, 石原浩一, B. A. Hirantha Sithira Abeysekera, 熊谷智明, 安達文幸, "IEEE802.11 無線 LAN における干渉電力測定に基づいてチャンネルを棲み分ける動的チャンネル配置の実験的検討," 信学会ソサイエティ大会, B-5-89, 2013年9月.

[17] A. Junaidi, E. Kudoh and F. Adachi, "Impact of Shadowing Correlation on Reverse Link Capacity of DS-CDMA Cellular System," IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B No.12, pp. 3483-3486, Dec. 2006.