

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 における送信電力制御の効果に関する一検討

松村 祐輝¹ 天間 克宏¹ 小原 辰徳¹ 山本 哲矢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, obara, yamamoto}@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 無線 LAN が近年急速に普及し、そのアクセスポイント(AP)数が増加してきて、同一チャンネル干渉(CCI)の増大によるスループットの低下が問題となっている。CCI 問題を軽減するために、筆者らは先に、チャンネル棲み分けに基づく動的チャンネル配置(CS-DCA)の無線 LAN への導入について検討した。CS-DCA は各 AP が独立にチャンネルを選択する自律分散アルゴリズムである。AP は全チャンネルの CCI 電力を一定時間ごとに観測し、各チャンネルの平均 CCI 電力をチャンネル優先度テーブルに格納する。チャンネル利用時には、他の AP へ与える CCI(与干渉)を最小化するように、平均受信 CCI 電力の最小のチャンネルを選択する。これにより、自律分散アルゴリズムでありながら CCI を最小にするチャンネル再利用パターンが形成できる。ところで、これまでの検討では常に一定の送信電力を仮定していた。送信電力制御(TPC)を適用することで過大な送信電力を避けることができるので与干渉を抑圧できる。本稿では CS-DCA を用いる無線 LAN への TPC の導入について検討する。計算機シミュレーションにより、TPC を行った場合も CS-DCA はチャンネル再利用パターンを形成できること、受信信号対干渉+雑音電力比(SINR)を更に改善できること、をそれぞれ示している。

キーワード 送信電力制御, チャンネル棲み分け, 動的チャンネル配置, 同一チャンネル干渉, 無線 LAN

A Study of Transmit Power Control for Wireless LAN using Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment

Yuki MATSUMURA¹ Katsuhiro TEMMA¹ Tatsunori OBARA¹ Tetsuya YAMAMOTO¹
Koichi ISHIHARA² B. A. Hirantha Sithira Abeysekera² Tomoaki KUMAGAI² and Fumiyuki ADACHI³

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

²NTT Network Innovation Laboratories, Nippon Telegraph and Telephone Corporation
1-1, Hikarinooka, Yokosuka-shi, 239-0847, Japan

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

Abstract Wireless local area network (WLAN) has been rapidly spreading. Rapid increase in the number of access points (APs) increases the co-channel interference (CCI), thereby degrading the throughput performance. To mitigate the CCI problem, recently, we investigated the introduction of channel segregation based dynamic channel assignment (CS-DCA) into WLAN. CS-DCA is a distributed algorithm. Each AP has the channel priority table and periodically updates according to the CCI measurement. AP chooses a channel having the lowest CCI so as to minimize the CCI given to other APs. In this way, although CS-DCA is a distributed algorithm, it can form a stable channel reuse pattern. In our previous paper, we assumed an equal transmit power. By using transmit power control (TPC), stations (STAs) can avoid unnecessarily high transmit power, thereby reducing the CCI given to other APs. In this paper, we introduce the TPC to WLAN using CS-DCA. It is confirmed by computer simulation that CS-DCA with TPC can form a stable channel reuse pattern and improves the signal-to-interference-plus-noise power ratio (SINR) further.

Keyword Transmit power control, Channel segregation, Dynamic channel assignment, Co-channel interference, Wireless LAN

1. はじめに

近年、インターネットサービスの高度化や端末の普及に伴い、無線 LAN の利用が急速に広まっている。無線 LAN では、有線ネットワークと接続された複数の無線アクセスポイント (AP) がそれぞれ無線セルを形成している。各無線セル内に存在する端末 (STA) は、時分割複信 (TDD) により AP と通信している。ところで、無線 LAN で利用可能なチャンネル数は制限されており、同一チャンネルを異なる AP で再利用しなければならない。無線 LAN の普及に伴って AP 数が急速に増加しており、同一チャンネル干渉 (CCI) の増大によるスループットの劣化が問題となっている。

無線 LAN では、AP の起動時に、AP が各チャンネルの CCI 電力を測定し、CCI 電力最小のチャンネルを選択する手法が一般的に知られている [1] (本稿では、これを起動時最小 CCI 法と呼ぶ)。しかし、起動時最小 CCI 法では、起動時に選択したチャンネルを利用し続けるため、起動後に起こる AP 周辺の電波環境の変化に追従できない。

そこで、筆者らはチャンネル棲み分け [2],[3] に基づく動的チャンネル配置 (CS-DCA) の無線 LAN への適用について検討した [4]。CS-DCA は各 AP が独立にチャンネル利用を決定するアルゴリズムであり、他 AP に与える CCI を最小化するようにチャンネル再利用パターンを形成できる。図 1 に示すように、各 AP がチャンネル優先度を表すテーブルを保持し、一定時間ごとに各チャンネルの他セルからの上りリンク (STA→AP) CCI を観測して、各チャンネルの平均 CCI 電力 (過去の CCI 電力の平均) をチャンネル優先度テーブルに格納する。チャンネル利用時には平均 CCI 電力最小のチャンネルを使用する。これにより、AP 周辺電波環境の変化に適応して、他 AP に与える CCI を最小とするようなチャンネル再利用パターンが自律的に形成される。CS-DCA を用いれば、常に CCI 最小のチャンネルを利用できる。

無線 LAN では常に一定の送信電力で通信を行うのが一般的である。しかし、STA が AP に近いときには伝搬損失が小さいため過剰な送信電力になる。そこで、このような時には他の AP と STA に与える干渉を低く抑えるように送信電力制御 (TPC) を行い、送信電力を低くすることが望ましい [5]。

本稿では、TPC を用いた時の CS-DCA によるチャンネル再利用パターンの形成と受信信号対干渉+雑音電力比 (SINR) の改善効果について検討している。

本稿の構成は以下の通りである。まず、第 2 章でシステムモデルと CS-DCA の動作原理について述べる。第 3 章では、所要受信信号対雑音電力比 (SNR) に基づく低速 TPC の動作原理について述べる。第 4 章は計算機シミュレーション結果を示し、TPC が CS-DCA に与える影響を示した後、CCI 電力の相補累積分布関数

(CCDF) と SINR の累積分布関数 (CDF) の観点から、TPC の適用効果を明らかにする。第 5 章でまとめる。

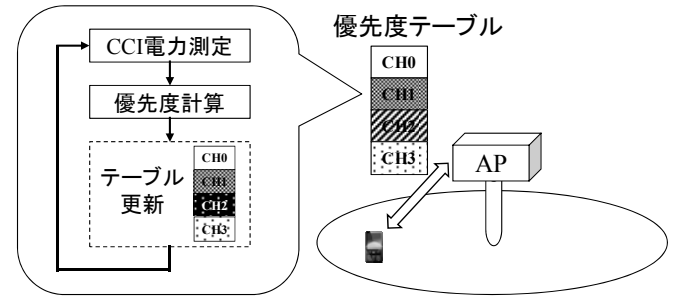


図 1 CS-DCA を用いた無線 LAN

2. CS-DCA

2.1. システムモデル

本稿におけるネットワークモデルを図 2 に示す。本稿では上りリンクの直交周波数分割多重 (OFDM) [6] を仮定する。シングルユーザ環境下において、図 3 に示すように正方セル内に 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。隣接する AP 間の距離を R_{AP} とする。本稿では総セル数 $A_{all}=100$ とし、測定対象となる $A_{int}=36$ セルと周辺に位置する 64 局のセルからの CCI も考慮する。全ての AP は一定間隔で CCI 電力測定を行い、CS-DCA により使用チャンネルを選択する。

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とき、第 s STA (STA(s))-第 m AP (AP(m)) 間におけるチャンネルのインパルス応答 $h_{s,m}(\tau)$ は次式のように表すことができる。

$$h_{s,m}(\tau) = \sum_{l=0}^{L-1} h_{s,m}^{(l)} \delta(\tau - \tau_{s,m}^{(l)}) \quad (1)$$

ただし、 $\tau_{s,m}^{(l)}$ は第 l パスにおける遅延時間を表す。 $h_{s,m}^{(l)}$ は伝搬損失、シャドウイング損失、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、STA(s) から距離 $R_{s,m}$ の位置に存在する AP(m) 間のチャンネルは次式のように表せる [7]。

$$h_{s,m}^{(l)} = \sqrt{R_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}} \cdot \tilde{h}_{s,m}^{(l)} \quad (2)$$

ここで、 α は伝搬損失指数、 $\eta_{s,m}$ は STA(s)-AP(m) 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 σ の正規分布に従うランダム変数である。また、 $\tilde{h}_{s,m}^{(l)}$ はフェージングにより変動する複素変数であり、 $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{s,m}^{(l)}|^2] = 1$ である。ここで、 $E[\cdot]$ はアンサンブル平均を示す演算子である。上りリンクを仮定したとき、AP(m) における瞬時受信電力 $P_{r,m}$ は、STA(s) の送信電力 $P_{t,s}$ を用いて次式で与えられる。

$$\begin{aligned} P_{r,m} &= P_{t,s} \cdot R_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{s,m}^{(l)}|^2 \\ &= \bar{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{s,m}^{(l)}|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし, $\bar{P}_{t,s} = P_{t,s} \cdot R_{AP}^{-\alpha}$ と $r_{s,m} = R_{s,m} / R_{AP}$ は, それぞれ AP 間距離で正規化した正規化送信電力と正規化距離を表す.

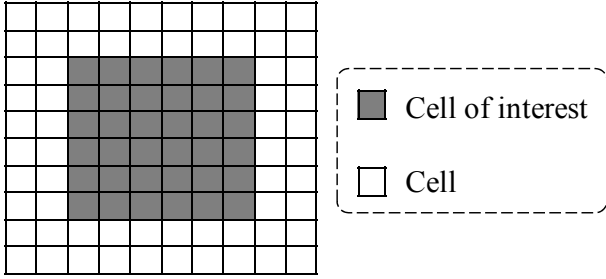


図2 ネットワークモデル($A_{all}=100$)

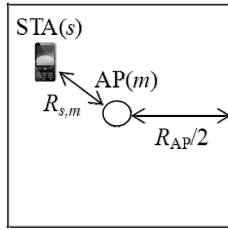


図3 セル内の AP 配置

2.2. CS-DCA

CS-DCA のフローチャートを図 4 に示す. CS-DCA では, 各 AP が他 AP に所属する STA からの瞬時 CCI 電力(タイムスロットごと)を測定する. 過去に観測された瞬時 CCI 電力を用いて平均 CCI 電力を計算し, CCI テーブルに格納する. チャンネル利用時には, CCI テーブルを参照して平均 CCI 電力の最小のチャンネルを選択する. セル内の STA は AP からのビーコン信号により, チャンネルが変更されたことを知る. STA は, 更新されたチャンネルを使用して AP に信号を送信する. この方法により, 与干渉の増大を抑えつつ動的にチャンネル配置を更新できるため, 通信品質の向上が期待できる. 以下で CCI テーブルの作成法とチャンネル選択について述べる.

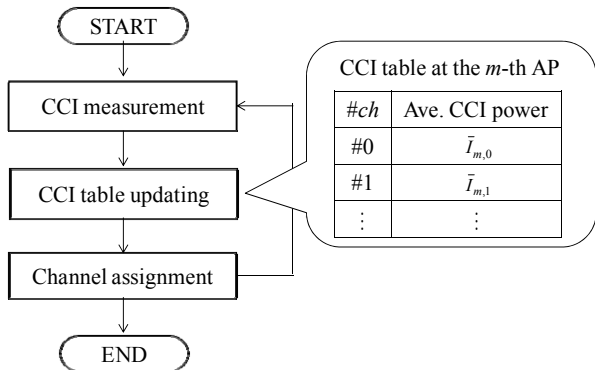


図4 CS-DCA のフローチャート

2.3. CCI テーブルの作成法とチャンネル選択

AP は, CCI テーブルに保存された平均 CCI 電力に基づいて使用チャンネルを選択する. 本稿では, 忘却係数を用いる一次フィルタ[3]を用いて平均 CCI 電力を

計算する. AP(m)の, 第 t タイムスロットにおける第 ch チャンネルの平均 CCI 電力 $\bar{I}_{m,ch}(t)$ は次式で与えられる.

$$\bar{I}_{m,ch}(t) = (1-\beta) \cdot I_{m,ch}(t) + \beta \cdot \bar{I}_{m,ch}(t-1) \quad (4)$$

ここで $I_{m,ch}(t)$ は第 t タイムスロットにおいて受信した瞬時 CCI 電力である. β ($0 \leq \beta \leq 1$) は一次フィルタにおける忘却係数を表している. 一次フィルタの模式図を図 5 に示す. このフィルタにより, 棲み分け開始以降の CCI 電力がフィルタリングされる. ただし, x タイムスロット前の CCI 電力は $\beta^{x-1}(1-\beta)$ 倍される. β が 0 に近い場合, CCI の瞬時的変動の影響を大きく反映するため, フィルタ出力は不安定となり適切にチャンネル再利用パターンが形成されない. このため, 平均 CCI 電力の計算の際には, 1 に近い β を用いる必要がある[4]. 各チャンネルにおける平均 CCI 電力 $\bar{I}_{m,ch}(t)$ を CCI 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次の式で示すようなチャンネル配置を行う.

$$ch_{use} = \arg \min_{ch} \{ \bar{I}_{m,ch}(t) \}, ch = 0 \sim N_{ch} - 1 \quad (5)$$

ここで N_{ch} は全チャンネル数を示す. AP が式(5)のチャンネル選択規範に従い, 平均 CCI 電力最小のチャンネルを選択することで, CCI を低減するチャンネル配置が自動的に形成される.

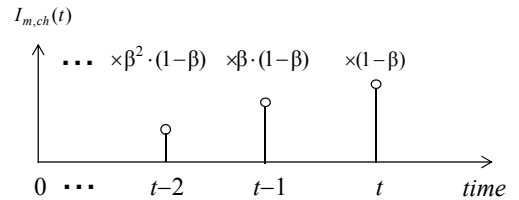


図5 一次フィルタの模式図

2.4. CCI 電力表現

AP(m)における周波数領域受信信号 $Y_{AP(m)}(k)$, $k=0 \sim N_c-1$, は STA(s)の送信信号 $d_s(k)$ を用いて次式で表される. ただし, N_c は OFDM 伝送における離散フーリエ変換(DFT)ブロックサイズを表す.

$$Y_{AP(m)}(k) = \sqrt{2\bar{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}} \cdot H_{s,m}(k) \cdot d_s(k) + I_{AP(m)}(k) + N_{AP(m)}(k) \quad (6)$$

ここで, $H_{s,m}(k)$ および $N_{AP(m)}(k)$ はそれぞれ第 k 周波数における STA(s)-AP(m)間のチャンネル利得及び AP(m)における雑音成分である. また, $I_{AP(m)}(k)$ は次式で与えられる, AP(m)が他セル STA から受ける CCI 成分である.

$$I_{AP(m)}(k) = \sum_{\{u \in U_{AP(m)} | u \neq s\}} \sqrt{2\bar{P}_{t,u} \cdot r_{u,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{u,m}}{10}}} \cdot H_{u,m}(k) \cdot d_u(k) \quad (7)$$

ここで, $U_{AP(m)} \in \{0, 1, \dots, A_{all}-1\}$ は AP(m)と同じチャンネルで

信号を送信している STA 番号の集合である。

AP(m)は次式により第 k 周波数の CCI+雑音 $\hat{I}_{AP(m)}(k)$ を求める。

$$\hat{I}_{AP(m)}(k) = Y_{AP(m)}(k) - \sqrt{2\bar{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}} \cdot H_{s,m}(k) \cdot \hat{d}_s(k) \quad (8)$$

ここで、 $\hat{d}_s(k)$ はデータ判定により推定した第 k 周波数の送信信号である。希望信号が含まれないチャンネルでは $\hat{d}_s(k)=0$ とする。これを用いて、第 t タイムスロットにおける瞬時 CCI 電力 $I_{m,ch}(t)$ は次式で与えられる。

$$I_{m,ch}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} |\hat{I}_{AP(m)}(k)|^2 \quad (9)$$

本稿では、AP は自身の受けた CCI 電力を理想的に求められると仮定する。

3. 所要 SNR に基づく低速 TPC

本章では、AP(m)の平均受信 SNR が目標値となるような送信電力を STA(s)が自律的に決定する TPC 手法について述べる。TPC の簡略化フローチャートを図 6 に示す。

無線 LAN の AP は一定間隔でビーコン信号を送信している。ビーコン信号の送信電力を既知とすると、STA(s)は STA(s)-AP(m)間のチャンネルの電波減衰量を得る。STA(s)は、これを用いて AP(m)の平均受信 SNR が目標 SNR となる送信電力を決定する。以下では、送信電力の数式表現について述べる。

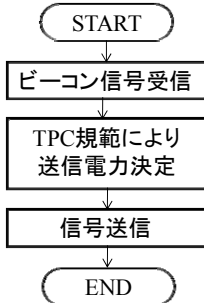


図 6 TPC 簡略化フローチャート

3.1. 送信電力表現

第 k 周波数における AP(m)の瞬時 SNR $\gamma_{s,m}(k)$ は式(6)より、次式で与えられる。

$$\gamma_{s,m}(k) = \frac{\left(2\bar{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}\right) \cdot |H_{s,m}(k)|^2 \cdot |d_s(k)|^2}{|N(k)|^2} \quad (10)$$

式(10)より、平均 SNR $\Gamma_{s,m}(k)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Gamma_{s,m}(k) &= E[\gamma_{s,m}(k)] \\ &= \frac{2\bar{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}}{N} \end{aligned} \quad (11)$$

ただし、 $E[|d_s(k)|^2]=1$ を仮定した。また、 N は平均雑音

電力を表す。

目標 SNR Γ_{target} を達成する送信電力は、 $\Gamma_{s,m}(k) = \Gamma_{\text{target}}$ を満たす $\tilde{P}_{t,s}$ として求められ、次式で与えられる。

$$\tilde{P}_{t,s} = \frac{N}{2 \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}} \cdot \Gamma_{\text{target}} \quad (12)$$

式(12)の送信電力 $\tilde{P}_{t,s}$ は STA(s)の位置により決定付けられる。セル内の STA 位置(x,y)における送信電力 $\tilde{P}_{t,s}$ を表したものを図 7 に示す。ここでは $\sigma=0(\text{dB})$ とした。シャドウイングによる受信電力の変動がないとすると、図 7 に示すように $\tilde{P}_{t,s}$ は STA がセル端に位置するときは最大送信電力 P_{Max} で送信し、セル中央付近(すなわち AP 近傍)に位置するときは低送信電力で送信することがわかる。

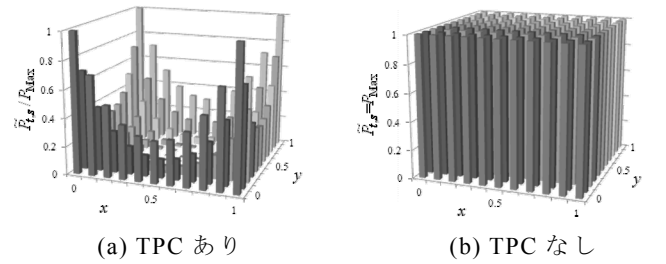


図 7 端末位置と送信電力 $\tilde{P}_{t,s}$

3.2. SINR 表現

AP(m)の第 k 周波数における TPC 後の瞬時 SINR $\tilde{\gamma}_{s,m}(k)$ は次式で与えられる。

$$\tilde{\gamma}_{s,m}(k) = \frac{\left(2\tilde{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}\right) \cdot |H_{s,m}(k)|^2 \cdot |d_s(k)|^2}{\frac{1}{2} \cdot \left|\tilde{I}_{AP(m)}(k) + N(k)\right|^2} \quad (13)$$

ここで、 $\tilde{I}_{AP(m)}(k)$ は次式で表られる AP(m)における TPC 後の CCI である。

$$\tilde{I}_{AP(m)}(k) = \sum_{\{u \in U_{AP(m)} | u \neq s\}} \sqrt{2\tilde{P}_{t,u} \cdot r_{u,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{u,m}}{10}}} \cdot H_{u,m}(k) \cdot d_u(k) \quad (14)$$

$\tilde{\gamma}_{s,m}(k)$ を 1 ブロックで平均し、次式で与えられる平均 SINR $\tilde{\Gamma}_{s,m}$ を求める。

$$\tilde{\Gamma}_{s,m} = \frac{\left(2\tilde{P}_{t,s} \cdot r_{s,m}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{s,m}}{10}}\right) \sum_{k=0}^{N_c-1} |H_{s,m}(k)|^2 \cdot |d_s(k)|^2}{\frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N_c-1} \left|\tilde{I}_{AP(m)}(k) + N(k)\right|^2} \quad (15)$$

評価の際、TPC なしの場合の送信電力は全ての STA で等しく、STA がセル端に位置するときの平均受信 SNR が Γ_{target} となる送信電力で与える。

4. 計算機シミュレーション結果

4.1. 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. 周波数選択性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. 本稿では上りリンク伝送を対象としている. 各セルに 1 つの STA が一様分布で発生し, 各 STA はタイムスロットごとに通信確率 $p=1$ でパケットを送信するものとする. タイムスロットごとにパスロスとシャドウイングの変化しない環境を想定する. 各 AP はタイムスロットごとに CCI 電力を測定し, CCI テーブルと使用チャンネルを更新する. その際, AP は CCI 電力を理想的に観測可能とする. AP の平均 SINR $\tilde{\Gamma}_{s,m}$ を測定し, それらを十分回数繰返すことで SINR の CDF を算出している. 本評価では, 送信電力制御の際, 最大送信電力の制限は入っていない. また, 各端末におけるチャンネルの電波減衰量の推定は理想とする.

表 1 計算機シミュレーション諸元

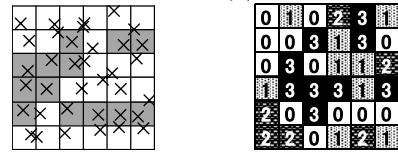
System	No. of co-channel cells	$A_{\text{cell}}=100$
	No. of channels	$N_{\text{ch}}=4$
	No. of users per cell	$U=1$
	Transmission prob.	$p=1.0$
	Target SNR	$\Gamma_{\text{target}} = 20, 30 \text{ (dB)}$
CS-DCA	Forgetting factor of first order filtering	$\beta=0.99$
	CCI power measurement	Ideal
Channel	Fading	Frequency-selective block Rayleigh
	Number of paths	$L=16$
	Power delay profile	Uniform
	Time delay	$\tau^{(l)}=l, l=0 \sim L-1$
	Pass loss exponent	$\alpha=3.5$
	Shadowing loss standard deviation	$\sigma=0, 5 \text{ (dB)}$

4.2. TPC が CS-DCA に与える影響

図 8 に CS-DCA を用いるチャンネル再利用パターンの時間変動の一例を示す. 目標 SNR $\Gamma_{\text{target}} = 30 \text{ (dB)}$ とし, $\sigma=0 \text{ (dB)}$ とした. STA の位置と初期の AP のチャンネル選択は無作為に与え, それぞれ図 8(a), (b) に示す. 図 8(c) に第 $t(=0 \sim 2000)$ タイムスロットのチャンネル再利用パターンを示す. 図 8(c) の上段が TPC なしの場合, 下段が TPC を行う場合のチャンネル再利用パターンを示す. このとき, 両者のチャンネル状態は等しいとした. 図 8(c) より TPC を行うと, TPC なしの時と異なるチャンネル再利用パターンが形成されることがわかる. これは, TPC を行うことにより, 式(9)の瞬時 CCI 電力 $I_{m, ch}(t)$ の値が異なるためである. また, いずれの場合も $t=1000$ 程度でチャンネル配置は安定していることがわかる. これは, 全ての AP が平均 CCI 電力最小のチャンネルを選択することで, 使用チャンネルの変更が行われなくなるためである.

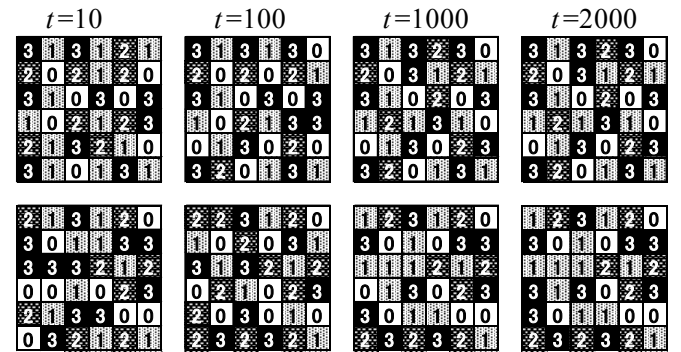
また, 図 8(c) より, TPC を行うと同一チャンネルを近

くのセルで再利用するように CS-DCA が動作することが分かる. これは, TPC により与干渉が低減したためである. TPC なしの場合, 全てのセルは等電力で通信するため, 同一チャンネルを空間的に離して使用することで CCI を最小化するように働く. 一方で, TPC を行うと過大な送信電力を抑えて通信するため, 低送信電力のセル同士は近くで同じチャンネルを再利用しても CCI の増大は小さい. 図 8(a) をみると, STA が AP 近傍に位置するとき, すなわち低送信電力で送信するときに隣接セルで同一チャンネルを使用する傾向にあることがわかる. 該当箇所を図 8(a) の網掛けで示す.



(a) STA 位置

(b) $t=0$



(c) チャンネル配置(上段 TPC なし, 下段 TPC あり)

図 8 TPC が CS-DCA に与える影響 ($N_{\text{ch}}=4, \beta=0.99, \Gamma_{\text{target}} = 30 \text{ (dB)}, \alpha=3.5, \sigma=0 \text{ (dB)}$)

4.3. CCI 電力分布

AP の受信 CCI 電力を平均雑音電力で正規化した正規化 CCI 電力の CCDF 特性を図 9 に示す. 目標 SNR $\Gamma_{\text{target}} = 30 \text{ (dB)}$ とし, $\sigma=0 \text{ (dB)}$ とした. 図 9 より, TPC を行うことで CCI 電力を約 20dB 低減できることがわかる. これは, 各 STA が過大な送信電力を抑えて通信したためである.

現行無線 LAN では, アクセス方式にパケット衝突回避機能付きキャリアアクセス多重方式(CSMA/CA)[8]が使用されている. CSMA/CA では, 送信端末はキャリアセンスレベル以上の CCI を受信すると送信待機することによりパケット衝突を回避する. そこで, TPC により CCI 電力が低減されることで, CSMA/CA を使用した際のアクセス遅延時間の短縮が期待できる.

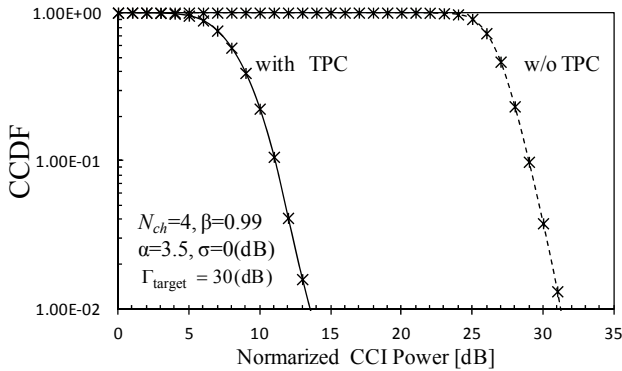
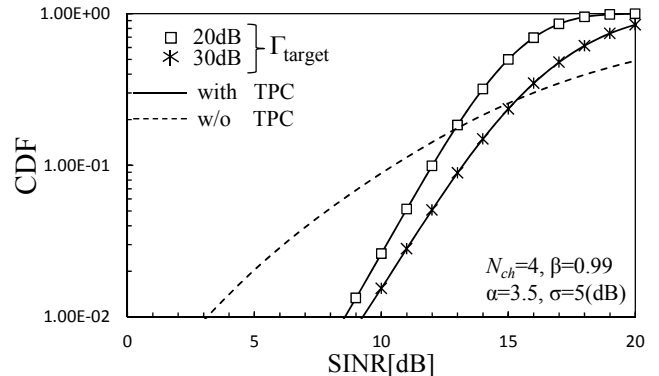


図9 正規化 CCI 電力の CCDF 特性



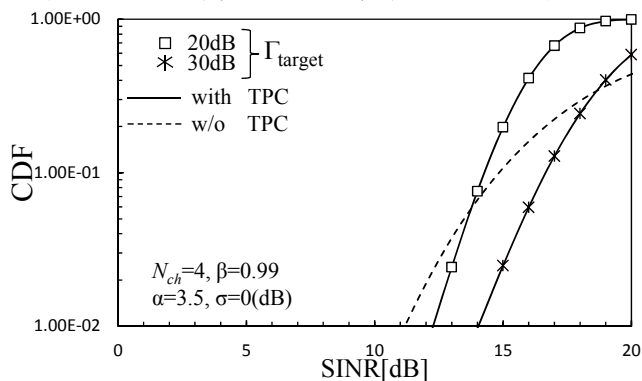
(b) $\sigma=5(\text{dB})$
図10 SINR 特性

4.4. SINR 特性

SINR の CDF を図 10 に示す．目標 SNR $\Gamma_{\text{target}} = 20, 30(\text{dB})$ とし， $\sigma=0, 5(\text{dB})$ とした．図 10 より，CDF の値の低い領域をみると TPC により SINR が改善していることがわかる．例えば， $\sigma=0(\text{dB})$ ， $\Gamma_{\text{target}} = 30(\text{dB})$ ，CDF=1% のとき，TPC を行わない場合と比べて SINR が 3dB 改善している．これは，他セルの高 SNR 環境下の STA が TPC により送信電力を抑え，CCI が低減したためである．一方で CDF の値が高い領域では，TPC を行うと SINR が劣化することがわかる．これは，高 SNR 環境下の STA は TPC により過大な送信電力を抑えるためである．

また， Γ_{target} の値が高い程 TPC による SINR の特性改善が大きいことがわかる．これは， Γ_{target} の値が低いときは TPC により CCI が低減されるだけでなく，送信電力を低減することにより雑音の影響が大きくなってしまふのに対して， Γ_{target} の値が高いときは雑音の影響を無視できるため，CCI 低減の効果が大きく得られたためである．

図 10(b) より， $\sigma=5(\text{dB})$ のときは $\sigma=0(\text{dB})$ のときと比べて，TPC を行わない場合からの SINR の改善が大きいことがわかる．例えば $\Gamma_{\text{target}} = 30(\text{dB})$ ， $\sigma=5(\text{dB})$ ，CDF=1% のとき，TPC を行うと行わない場合と比べて SINR が 6.0dB 改善している．これは，TPC を行うことによりシャドウイングによる信号電力の損失を補償できるためである．したがって，提案法はシャドウイング損失の大きい環境下で特に効果が大きいと言える．



(a) $\sigma=0(\text{dB})$

5. むすび

本稿では，CS-DCA を用いる無線 LAN への低速 TPC の適用効果に関して検討した．計算機シミュレーションにより，TPC を行った場合も CS-DCA は安定したチャンネル再利用パターンを自律的に形成できること，TPC を用いることで CDF1% を与える SINR を 3dB 程度改善できること，をそれぞれ示した．

文 献

- [1] 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
- [2] Y. Furuya and Y. Akaiwa, “Channel segregation, a distributed adaptive channel assignment scheme for mobile communication systems,” IEICE Trans. Communications, Vol. E74-B, No. 6, pp. 1531-1537, June 1991.
- [3] R. Matsukawa, T. Obara, and F. Adachi, “A dynamic channel assignment scheme for distributed antenna networks,” Proc. IEEE 75th Vehicular Technology Conference, May 2012.
- [4] 松村祐輝, 熊谷慎也, 小原辰徳, 山本哲矢, 安達文幸, “無線 LAN システムにおけるチャンネル棲み分けに基づく動的チャンネル配置の適用効果,” 信学技報, RCS2012-64, pp.123-128, 2012 年 6 月.
- [5] 荒井隆之, 若原俊彦, 松本充司, “IEEE802.11b 無線 LAN における送信電力制御方式の提案,” 電子情報通信学会総合大会, B-5-211, 2003 年 3 月
- [6] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [7] J. G. Proakis, *Digital communications, 4th ed.*, McGraw-Hill, 2001.
- [8] 守倉正博, 久保田 周治, “改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書,” 4 章, インプレス R&D, 2008.