# チャネル棲み分けに基づく動的チャネル配置を用いた 無線 LAN におけるチャネル選択に関する一検討

天間 克宏<sup>1</sup> 松村 祐輝<sup>1</sup> 小原 辰徳<sup>1</sup> 山本 哲矢<sup>1</sup> 石原 浩一<sup>2</sup> ヒランタ アベーセーカラ<sup>2</sup> 熊谷 智明<sup>2</sup> 安達 文幸<sup>3</sup>

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

あらまし 筆者らは先に、チャネル棲み分けに基づく動的チャネル配置(CS-DCA)を用いる無線 LAN におけるマ ルチチャネルアクセスについて検討した. CS-DCA では、各アクセスポイント(AP)が全てのチャネルについて同一 チャネル干渉(CCI)電力を一定時間ごとに観測し、チャネル優先度を更新する. 優先度が高い(CCI 電力の低い)上位 の複数のチャネルを用いてマルチチャネルアクセスを行う.本稿では、AP-端末(STA)間の距離に基づくチャネル選 択規範を用いて各 STA にチャネルを割当てるときの信号対干渉+雑音電力比(SINR)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** チャネル棲み分け,動的チャネル配置,マルチチャネルアクセス,同一チャネル干渉, 無線 LAN,送信電力制御

# A Study of Channel Selection for Wireless LAN using Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment

Katsuhiro TEMMA<sup>1</sup> Yuki MATSUMURA<sup>1</sup> Tatsunori OBARA<sup>1</sup> Tetsuya YAMAMOTO<sup>1</sup> Koichi ISHIHARA<sup>2</sup> B. A. Hirantha Sithira Abeysekera<sup>2</sup> Tomoaki KUMAGAI<sup>2</sup> and Fumiyuki ADACHI<sup>3</sup>

<sup>1, 3</sup>Dept. of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

6-6-05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

<sup>2</sup>NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation

1-1, Hikarinooka, Yokosuka-shi, 239-0847, Japan

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

**Abstract** Recently, we investigated the application of the multi-channel access to channel segregation based dynamic channel assignment (CS-DCA) in Wireless local area network (WLAN). In CS-DCA, each access point (AP) periodically measures the co-channel interference (CCI) and updates the channel priority. The multi-channel access can be realized by using the high-priority channels (i.e. the channels with lower CCI) while mitigating the CCI. In this paper, we introduce the AP-STA distance-based channel selection for multi-channel access in the WLAN using CS-DCA. We evaluate by computer simulation the impact of the AP-STA distance-based channel selection on the signal-to-interference-plus-noise power ratio (SINR) of each channel in the multi-channel access.

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

## 1. はじめに

最近,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 が急速に普及している.無線 LAN では,有線ネットワークと接続されたアクセスポイント(AP)がそれぞれ無線セルを形成している.各無線セ

ル内に存在する複数の端末(STA)は、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)[1]を 用いて時分割複信(TDD)で AP と通信している. 無線 LAN で利用可能なチャネル数は限られており、同一チ ャネルを異なる AP で再利用しなければならない. 周 波数利用効率を高めるためには、できるだけ近くの AP で同一チャネルを再利用することが重要である.しか し、同一チャネル干渉(CCI)が発生するから、同一チャ ネル再利用にあたっては、CCI が許容レベルを超えな いようにしなければならない.

そこで、無線 LAN では、AP が起動時に周辺 AP が 送信する下りリンクビーコンの受信レベル(RSSI)を測 定し、最も RSSI の小さいチャネルを選択するチャネ ル選択法が一般的に知られている[2](本稿では、これ を起動時最小 RSSI 法と呼ぶ).しかし,起動時最小 RSSI 法では、起動時に選択したチャネルを利用し続けるた め、起動後の AP 周辺の CCI の変化に追従できない.

筆者らは先に、チャネル棲み分け[3],[4]に基づく動 的チャネル配置(CS-DCA)の無線 LAN への適用につい て検討した[5]. CS-DCA では、各 AP は一定時間毎に 他セルの STA からの CCI を観測し、自 AP における平 均 CCI 電力が高くなる順にチャネル優先度を低くする. 各 AP では優先度の高い(つまり、平均 CCI 電力が小さ い)チャネルを利用する.これにより、自 AP 周辺の CCI の変化に適応して、他 STA と通信している他 AP の上 りリンクに与える CCI を最小とするチャネル再利用パ ターンが自律的に形成される.

最近では、無線 LAN 端末が急速に普及していて、よ り多くの STA を AP と接続することが求められている. そこで筆者らは、優先度1位だけではなく2位以下の チャネルを用いる CS-DCA マルチチャネルアクセスに ついて検討を行った[6].優先度2位以下のチャネルの 使用により CCI が増加するものの、起動時最小 RSSI 法と比較して各 STA の信号対干渉電力比(SIR)を向上 できることを示した.

本稿では,複数 STA へのチャネル割当て時に, AP-STA 間距離に基づく選択規範を導入する.また, 筆者らが[7]で検討した受信信号対雑音電力比(SNR)に 基づく送信電力制御(TPC)の影響についても検討する.

本稿の構成は以下の通りである. 第2章でネットワ ークモデルと CS-DCA, 受信 SNR に基づく低速 TPC の動作原理を述べる. 第3章で,複数チャネルの割当 て動作における AP-STA 間距離に基づくチャネル選択 規範の原理を述べる. 第4章で計算機シミュレーショ ン結果を示し, AP-STA 間距離に基づくチャネル選択 規範と受信 SNR に基づく低速 TPC の適用効果につい て考察する. 第5章でまとめる.

# 2. CS-DCA を用いる無線 LAN におけるマルチ チャネルアクセス

## 2.1. ネットワークモデル

本稿におけるネットワークモデルを図1に示す.総 セル数  $A_{all}=100$  とし、測定対象となる  $A_{int.}=36$  セルと その周辺の 64 局のセルからの CCI も考慮する.正方 セル内に1本のアンテナを有する AP が配置されてお り、隣接する AP 間の距離を  $R_{AP}$ , 各 AP で使用する総 チャネル数を $N_{ch}$ とする. 各 AP にはU 個( $1 \le U \le N_{ch}$ )の STA が AP から距離 $R_{m,(m,u)}$ に存在しており, それぞれ 異なるチャネルで AP と通信している. STA は各セル に一様分布で発生するとする.

本稿では全セルが同期的に上りリンク直交周波数 分割多重(OFDM)[8]伝送を行うものと仮定する.以降, シンボル時間 *T<sub>s</sub>* 間隔の離散時間低域等価表現を用い る.送信信号はシンボル時間間隔の L 個の離散パスか ら構成される周波数選択性ブロックレイリーフェージ ングチャネルを伝搬して受信されるものとする.第 mAP を AP(m), AP(m)と通信している第 uSTA を STA(m,u)と定義すると, AP(m)-STA(m,u)間のチャネル のインパルス応答 h<sub>m(mu)</sub>(t) は次式で表すことができる.

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

 $\tau_{m,(m,u)}^{(l)}$ は第 lパスにおける遅延時間, $h_{m,(m,u)}^{(l)}$ 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. AP(m)-STA(m,u)間のチ ャネルは, AP(m)-STA(m,u)間距離  $R_{m,(m,u)}$ を用いて次式 のように表せる[9].

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

ここで,  $\alpha$  は伝搬損失指数である.  $\eta_{m,(m,u)}$ は AP(m)-STA(m,u)間におけるシャドウイング損失(dB)を 表し, 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,  $\tilde{h}_{m,(m,u)}^{(1)}$ はフェージングにより変 動する複素変数であり,  $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{m,(m,u)}^{(l)}|^2]=1$ である(E[.]はアンサンブル平均を表す).上りリンクにおいて, AP(m)における STA(m,u)からの瞬時受信電力  $p_{m,(m,u)}^{(Rx)}$ は, STA(m,u)の送信電力  $p_{(m,u)}^{(Tx)}$ を用いて次式で表せる.



$$p_{m,(m,u)}^{(\text{Rx})} = p_{(m,u)}^{(\text{Tx})} \cdot R_{m,(m,u)}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\widetilde{h}_{m,(m,u)}^{(l)}|^{2}$$

$$= P_{(m,u)}^{(\text{Tx})} \cdot r_{m,(m,u)}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\widetilde{h}_{m,(m,u)}^{(l)}|^{2}$$
(3)

ここで、 $P_{(m,u)}^{(Tx)} = p_{(m,u)}^{(Tx)} \cdot R_{AP}^{-\alpha} および r_{m,(m,u)} = R_{m,(m,u)}/R_{AP}$ 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である.

## 2.2. 信号表現

AP(m)の第 *ch* チャネル( $0 \le ch \le N_{ch}-1$ )における周波数 領域受信信号  $Y_m^{(ch)}(k)$ は次式で表される.

$$Y_{m}^{(ch)}(k) = q_{(m,u)}^{(ch)} \sqrt{2P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} \cdot r_{m,(m,u)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}} \cdot H_{m,(m,u)}^{(ch)}(k) \cdot d_{(m,u)}(k)} (4)$$
$$+ I_{m}^{(ch)}(k) + N_{m}^{(ch)}(k)$$

 $d_{(m,u)}(k)$ は STA(m,u)の送信信号,  $H_{m,(m,u)}^{(ch)}(k)$ は第 ch チャ ネルの第 k 周波数における AP(m)-STA(m,u)間のチャネ ル利得である.  $q_{(m,u)}^{(ch)}$ は AP(m)-STA(m,u)間のチャネ ルが 第 ch チャネルの場合に 1, それ以外では 0 を取る変数 である. つまり, AP(m)-STA(m,u)間が第 ch チャネルを 使用していない場合,  $Y_{m}^{(ch)}(k)$ には CCI 成分  $I_{m}^{(ch)}(k)$ と雑 音成分  $N_{m}^{(ch)}(k)$ のみ含まれる.  $N_{m}^{(ch)}(k)$ は零平均で分散  $2N_{0}/T_{s}$ の複素ガウス過程である周波数領域雑音であり,  $N_{0}$  は加法性白色ガウス雑音の片側電力スペクトル密 度である.  $I_{m}^{(ch)}(k)$ は第 ch チャネルで通信している他セ ル STA からの CCI 成分であり, 次式のように表せる.

$$I_{m}^{(ch)}(k) = \sum_{m'=0\neq m}^{A_{ml}-1} \sum_{u'=0}^{U-1} q_{(m',u')}^{(ch)} \cdot \sqrt{2P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} \cdot r_{(m',u')}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{m,(m',u')}}{10}}} \cdot H_{m,(m',u')}^{(ch)}(k) \cdot d_{(m',u')}(k)$$
(5)

AP(*m*)は、次式により第 *ch* チャネルにおける第 *k* 周 波数の CCI+雑音成分  $\hat{I}_m^{(ch)}(k)$  を求める.

$$\hat{I}_{m}^{(ch)}(k) = Y_{m}^{(ch)}(k) - q_{(m,u)}^{(ch)} \sqrt{2P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} \cdot r_{m,(m,u)}^{-a} \cdot 10^{\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}}} \\ \cdot H_{m,(m,u)}^{(ch)}(k) \cdot \hat{d}_{(m,u)}(k)$$
(6)

ここで,  $\hat{d}_{(m,u)}(k)$  はデータ判定により推定した STA(m,u) の第 k 周波数の送信信号である.これを用いて, AP(m) の第 ch チャネルにおける第 t タイムスロットの瞬時 CCI+雑音電力  $I_m^{(ch)}(t)$  は次式で与えられる.

$$I_m^{(ch)}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| \hat{I}_m^{(ch)}(k) \right|^2$$
(7)

*N*<sub>c</sub>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.本稿では, AP は自身の受けた CCI+ 雑音電力を理想的に求められると仮定する.

AP(m)における STA(m,u)から受ける受信信号の瞬時 ブロック平均 SINR  $\Gamma_{(m,u)}$ を次式のように定義する.

$$\Gamma_{(m,u)} = \frac{\sum_{k=0}^{N_c-1} 2P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} \cdot r_{m,(m,u)}^{-a} \cdot 10^{-\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}} \cdot |H_{m,(m,u)}(k)|^2}{\frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N_c-1} |I_{(m,u)}(k) + N(k)|^2}$$
(8)

ただし,  $E[|d_{(m,u)}(k)|^2]=1$ を仮定した. $H_{m,(m,u)}(k)$ ,  $I_{(m,u)}(k)$ はそれぞれ, STA(m,u)が使用しているチャネルにおけ る周波数領域チャネル利得および CCI 成分である.本 稿では,式(8)で表される瞬時ブロック平均 SINR に基 づき評価を行う.

### 2.3. CS-DCA

CS-DCA の動作フローチャートを図 2 に示す. CS-DCA では、各 AP がタイムスロット毎に瞬時 CCI 電力を測定する.本稿では全セルが同期的に上りリン ク伝送を行うものと仮定しているため、CCI は他 AP に所属する STA からのものである. AP は過去に観測 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.チャネル利用時には、CCI テーブルを参照して平均 CCI 電力が小さいチャネルを 選択し、セル内の STA の使用チャネルを更新する.セ ルが変更されたことを知る.STA は、更新されたチャ ネルを使用して AP に信号を送信する.

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[4]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 チャネルの平均 CCI 電力  $\overline{I}_m^{(ch)}(t)$ は次式で与えられる.

$$\overline{I}_{m}^{(ch)}(t) = (1-\beta) \cdot I_{m}^{(ch)}(t) + \beta \cdot \overline{I}_{m}^{(ch)}(t-1)$$
(9)

ここで  $\beta(0 < \beta \le 1)$ は一次フィルタにおける忘却係数を 表している.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.  $\beta$  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  $\beta$  を用いる必要がある[5].

#### 2.4. 受信 SNR に基づく低速 TPC

受信 SNR に基づく低速 TPC 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(*m*,*n*)が決 定する. 各 STA は, AP からのビーコン信号により AP(*m*)-STA(*m*,*u*)間のチャネルの電波減衰量を推定し, 目標 SNR となるような送信電力を決定する.

AP(*m*)の端区間平均ブロック平均 SNR  $\overline{\Gamma}_{(m,u)}$ は次式のようになる.



ここで、Nは平均雑音電力を表す. TPC 適用時において、送信電力 $P_{(m,u)}^{(Tx)}$ は目標 SNR  $\overline{\Gamma}_{(m,u)} = \Gamma_{target}$ を満たすように設定され、次式で与えられる.

$$P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} = \frac{N}{2 \cdot r_{m,(m,u)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{m,(m,u)}}{10}}} \cdot \Gamma_{\mathrm{target}}$$
(11)

また、TPCを行わない場合の送信電力は、パスロスの みを考慮した時、STA がセル端から送信する場合の送 信電力とし、次式のように表される.

$$P_{(m,u)}^{(\mathrm{Tx})} = \frac{N}{2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{-\alpha}} \cdot \Gamma_{\mathrm{target}}$$
(12)

# マルチチャネルアクセスにおける AP-STA 間 距離に基づく使用チャネル選択

CS-DCAを用いる無線LANにおけるマルチチャネル アクセスでは、各 AP が保持しているチャネル優先度 テーブルを利用して、セル内の複数 STA へのチャネル 割当てを行う. AP は通信開始時(第 0 タイムスロット) に各 STA がどの優先度のチャネルを使用するかを決 定し、チャネルの優先度が更新される度にビーコン信 号で各 STA に使用チャネルの変更を通知する. 各 STA は AP から通知されたチャネルを用いて通信を行う. 通信開始時に定められた各 STA が使用するチャネル の優先度はタイムスロット間で変化しないものとする.

本稿では、マルチチャネルアクセス時のチャネル割 当てに、AP-STA 間距離に基づく使用チャネル選択を 適用する. 概念図を図3に示す.

- 規範①: AP-STA 間距離が遠い STA から優先度が高い チャネルを割当てる
- 規範②: AP-STA 間距離が近い STA から優先度が高い チャネルを割当てる

規範①を用いた場合, CCI の影響が強いセル端の STA に優先度の高いチャネルを割当てる. 自 AP から 遠い位置にある自 STA は他 AP へより強い干渉を与え るため,受干渉の小さいチャネルを割当てることで与 干渉の影響を抑えられると考えられる.

一方,規範②を用いた場合にはセル中央付近の STA により優先度の高いチャネルを割当てる.他 AP への 与干渉に強い影響を与えるセル端の STA に優先度の 低いチャネルを割当てるため,セル端の自 STA による 他 AP への与干渉の影響が強まる可能性がある.

本稿では、上記2つの使用チャネル選択規範につい



図3 AP-STA間距離に基づく使用チャネル選択(U=2)

て,受信 SNR に基づく低速 TPC の適用による影響も 含め検討を行う.

#### 4. 計算機シミュレーション

計算機シミュレーション諸元を表1に示す.総チャ ネル数を N<sub>ch</sub>=4 とする. 各セルに U 個の STA が一様分 布で発生し、各 STA はタイムスロット毎に通信確率 p=1 でパケットを送信するものとする. また, 本稿で はタイムスロット毎にパスロスとシャドウイングが変 化せず、フェージングのみが変化する準静止環境を想 定する. 各 AP はタイムスロットごとに CCI 電力を測 定し、CCI テーブルと各 STA の使用チャネルを更新す る.本稿では上りリンク伝送を対象とし、チャネルは 周波数選択性ブロックレイリーフェージングを仮定す る.一次フィルタにおける忘却係数βは, U=1の場合 において安定度が高く, CCI 低減効果が十分に得られ る β=0.99 としている[5]. TPC における目標 SNR は, U=1 の場合において十分に SINR 改善効果の得られる Γ<sub>target</sub>=30(dB)とし[7], 各 STA におけるチャネルの電波 減衰量の推定は理想としている. また本稿では, TPC の際に最大送信電力の制限は考慮していない.

# **4.1. AP-STA** 間距離に基づくチャネル選択規範の 影響

マルチチャネルアクセスに AP-STA 間距離に基づく チャネル選択を適用した場合について,各優先度の SINR の累積分布関数(CDF)を図4に示す.比較のため, チャネル選択を行わず,ランダムにSTA ヘチャネルを 割当てた場合の結果を併記する.また,ここでは低速 TPCを適用せず,選択規範のみの影響について検討を 行っている.CS-DCA の初期配置はランダム配置とし, 十分時間が経過した後での配置で瞬時ブロック平均 SINR を測定した.

図4より,規範①を用いた場合には、ランダムに割 当てた場合と比較して,優先度の高いチャネルのSINR が劣化し,優先度が低くなるにつれて向上しているこ とが分かる.また,優先度が低いチャネル程 SINR が よいことが分かる.CDF1%を与えるSINR で比較する と、例えば U=3 の場合,優先度1位のチャネルで約 1.1dB 劣化,2位のチャネルで約1.7dB 改善,3位のチ

|         | XI II # 1X > ~ ~ ~                            |  |
|---------|---|--|
| System  | No. of channels                               | $N_{ch}=4$                                 |
|         | No. of STAs per cell                          | <i>U</i> =2, 3, 4                          |
|         | Transmission probability                      | <i>p</i> =1.0                              |
|         | Target SNR                                    | $\Gamma_{\text{target}}=30 \text{ (dB)}$   |
| Channel | Fading type                                   | Frequency-selective<br>block Rayleigh      |
|         | Power delay profile                           | L=16-path uniform<br>power delay profile   |
|         | Time delay                                    | $\tau_{m,(m,u)}^{(l)} = l  (l=0 \sim L-1)$ |
|         | Pass loss exponent                            | α=3.5                                      |
|         | Shadowing loss standard deviation             | σ=0 (dB)                                   |
| CS-DCA  | Forgetting factor<br>of first order filtering | β=0.99                                     |
|         | CCI power measurement                         | Ideal                                      |

表1 計算機シミュレーション諸元





ャネルで約 4.4dB 改善している. このような傾向にな るのは, TPC を行っていないため, 特にセル中央付近 の STA において干渉よりも受信信号電力増大の影響 が強く見えるためであると考えられる.

一方,規範②を用いた場合,ランダムに割当てた場 合と比較して優先度の高いチャネルの SINR がより向 上し,優先度が低いチャネルでは極端に劣化している ことが分かる. CDF1%を与える SINR で比較すると, 例えば U=3 の場合では,優先度 1 位のチャネルで約 4dB 改善,2 位のチャネルで約 1.3dB 改善,3 位のチャ ネルで約 1.1dB 劣化している.これは,セル中央付近 の STA に干渉の小さいチャネルを割当てるため,セル 中央付近の STA ではより SINR が向上し,逆にセル端 の STA では信号電力の落ち込みと干渉の増大により SINR が劣化するためであると考えられる.

規範②を用いた場合,高優先度のチャネルの SINR がより改善するが,低優先度のチャネルにおいては SINR が極端に劣化する傾向が図4より見られる.一方, 規範①を用いた場合,最も SINR が悪い STA であって も,ランダム割当てと比較して CDF 低値における SINR を改善できている.従って,同時通信 STA 全体 の SINR 向上を目的とした場合には,規範①が適して いると考えられる.一方,優先度が高いチャネルで通 信を行っている STA への影響を抑えつつ,低優先度の チャネルを使用したマルチチャネルアクセスを行う場 合には,規範②が適していると考えられる.

#### 4.2. 低速 TPC の影響

マルチチャネルアクセスに AP-STA 間距離に基づく チャネル選択を適用した場合について, TPC を行った 場合の各 STA の SINR の CDF を図 5 に示す.比較のた め,図4中のチャネル選択とTPC を行わない場合の結 果を併記する. CS-DCA の初期配置はランダム配置と し,十分時間が経過した後での配置で瞬時ブロック平 均 SINR を測定した.

図 5 より, TPC を用いることで CDF 低値における SINR を改善できていることが分かる. これは, TPC により過分な送信電力を抑えているためである. 規範 ①を用いた場合, TPC を用いず選択規範のみ用いた場 合では、優先度が低いチャネル程 SINR がよくなって いたが、TPC を併用する場合では逆に優先度が高いチ ャネル程 SINR がよくなっていることが図 5 より分か る.これは、TPCによって受信信号電力が目標 SNR に なるよう制御されるため, SINR において CCI による 影響が支配的になるためである.また,全優先度で, 選択規範①を用いた場合の SINR がランダム割当てと 比較して向上していることが分かる.例えば U=3の場 合において、CDF1%を与える SINR で見ると、ランダ ム割当てと比較し,優先度1位のチャネルは約1.5dB, 2位のチャネルは約1dB,3位のチャネルは約0.4dB改 善している.

一方,規範②を用いた場合,U=2においては,選択 規範を用いない場合と比較し全優先度のチャネルにお いて SINR が劣化していることが分かる.TPC を用い た場合,受信信号電力は補償されるため,AP が受ける 干渉が SINR に大きく影響する.規範②を用いた場合 は,他セルへの与干渉に大きく影響を与えるセル端の STA に優先度の低い(すなわち周辺 AP に与える干渉の 大きい)チャネルを割当てるため,セル端の STA が周 辺 AP に与える干渉の影響が大きくなり,SINR が全体 的に劣化したものと考えられる.

STA 数 U が 3,4 と増加すると,TPC なしの場合と 同様に,規範②を用いた場合に低優先度(U=3 の場合に は 2 位以下,U=4 の場合には 3 位以下)のチャネルの SINR が劣化し,規範①を用いた場合にはチャネル選択 規範を用いない場合と比較して全優先度で同等以上の



(低速TPCあり)

SINR を達成できる.以上より, チャネル選択規範と TPC を併用する場合, U=2 の場合には規範①を用い, STA 数がより増加した場合には,同時通信 STA 全体の SINR 向上が目的ならば規範①,優先度が高いチャネル を用いて通信している STA への影響を抑えるのが目 的ならば規範②を用いるのが適していると考えられる.

### 5.まとめ

本稿では、CS-DCA に基づくマルチチャネルアクセ スを用いる無線 LAN において、AP-STA 間距離に基づ く使用チャネル選択規範を導入した. AP-STA 間距離 が遠い STA から優先度が高いチャネルを割当てる規 範①を用いた場合、CCI の影響が強いセル端の STA に より優先度の高い(周辺 AP に与える干渉の小さい)チ ャネルを割当てるため、セル端の STA の SINR を向上 でき、また受干渉の小さいチャネルを APから遠い STA に割当てることで周辺 AP に与える干渉の影響を抑え られる.規範②を用いた場合には、セル中央付近の STA の SINR をより向上できるものの、他セルへの与干渉 に大きな影響を与えるセル端の STA に優先度の低い (周辺 AP に与える干渉の大きい)チャネルを割当てる ため、セル端の STA が周辺 AP に与える干渉の影響が 強まる.計算機シミュレーションより、規範①を用い た場合には、チャネル選択規範を用いない場合と比較 して、同時通信 STA 全体で同等以上の SINR を達成で き、規範②を用いた場合には高優先度のチャネルでは SINR をより改善できるが、低優先度のチャネルでは SINR が極端に劣化することを明らかにした.

### 謝辞

本報告は,総務省の「情報通信ネットワークの耐災 害性強化のための研究開発」(平成23年度補正予算(第 3号))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.

## 文 献

- [1] 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.
- [2] 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
- [3] 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.
- [4] R. Matsukawa, T. Obara, and F. Adachi, "A dynamic channel assignment scheme for distributed antenna networks," Proc. IEEE 75th Vehicular Technology Conference, May 2012.
- [5] Y. Matsumura, S. Kumagai, T. Obara, T. Yamamoto, and F. Adachi, "Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment for WLAN," 2012 IEEE The 13th International Conference on Communication Systems, Singapore, 21-23 Nov. 2012.
- [6] 天間克宏,松村祐輝,小原辰徳,山本哲矢,石原 浩一,ヒランタ アベーセーカラ,熊谷智明,安 達文幸,"チャネル棲み分けに基づく動的チャネ ル配置を用いた無線 LAN におけるマルチチャネ 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
- [7] 松村祐輝, 天間克宏, 小原辰徳, 山本哲矢, 石原 浩一, ヒランタ アベーセーカラ, 熊谷智明, 安 達文幸, "チャネル棲み分けに基づく動的チャネ 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,"信学技報, RCS2012-151, pp. 149-154, 2012 年 10 月
- [8] R. V. Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, 2000.
- [9] J. G. Proakis, Digital communications, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.