

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における 干渉テーブルを利用した SIR に基づく送信電力制御

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 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)あるいは基地局(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をできるだけ小さくするようにチャネルを再利用しなければならない。筆者らは先に、干渉電力に基づいてチャネルを棲み分ける自律分散動的チャネル配置(IACS-DCA)を提案し、CCIの小さい安定したチャネル再利用パターンが形成できることを示した。本稿では、上り/下りリンク送信電力低減を目的とし、IACS-DCAに適した受信信号対干渉電力比(SIR)に基づく送信電力制御(TPC)を提案する。計算機シミュレーションにより、受信 SIR に基づく TPC を用いた場合でも IACS-DCA により安定したチャネル再利用パターンが形成できること、所要信号対干渉+雑音電力比(SINR)を達成するための送信電力を大幅に低減できることを示している。

キーワード 送信電力制御, 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

SIR-Based Transmit Power Control Using CCI Table for Interference-Aware Channel Segregation Based Dynamic 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

²NTT 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, the co-channel interference (CCI) limits the transmission quality since the same channel must be reused by spatially separated access points (APs) or base stations (BSs). Therefore, the channels must be reused so as to minimize the CCIs received at all APs or BSs. Recently, we proposed an interference-aware channel segregation based dynamic channel assignment (IACS-DCA) and showed that IACS-DCA can form a stable channel reuse pattern which lowers the CCIs received at all APs or BSs. In this paper, in order to reduce the uplink/downlink transmit power, we propose a signal-to-interference power ratio (SIR) based transmit power control (TPC) suitable for IACS-DCA. We show, by computer simulation, that a stable channel reuse pattern can be formed even if the proposed TPC is used and that the transmit power can be significantly reduced.

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

1. はじめに

近年、インターネットサービスの高度化や高機能端末の普及に伴い、無線トラフィックが急速に増加している。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す

るので、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、BSやAPが周囲の無線セルに与える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。このためには、干渉環境の変化に追従して、CCIの小さいチャネルを常に利用する

動的チャンネル配置(DCA)[2]-[4]が有効である。しかし、一般には、DCAは制御量が膨大になり実用的でないという問題があった。

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[5]-[7]。現行の無線LANでは、一般的にはAPが起動時もしくは一定の時間間隔において無線環境を観測し、その時点での受信CCIレベルの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[1](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における受信CCI情報をもとにチャンネルを選択するため、必ずしも全てのAPにおける受信CCIを最小とするチャンネル再利用パターンを形成できるとは限らない。一方、チャンネル棲み分けに基づくDCA(CS-DCA)[8],[9]は各APが自律的にCCIの小さいチャンネルを選択するように動作し、自律的に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は、各APが一定時間間隔で周辺端末局(STA)から受けるCCIレベルを測定し、平均CCI電力が最小のチャンネルを選択することで、周辺STA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[11]。

送信電力制御(TPC)[12]-[15]はIACS-DCAと併用すればさらに与干渉を低減できる。筆者らは最近、IACS-DCAへの受信信号対雑音電力比(SNR)に基づくTPCの適用効果について検討した[16]。受信SNRに基づくTPCを用いても安定したチャンネル再利用パターンが形成できることを示した。同一チャンネルを再利用する無線ネットワークでは、伝送品質を左右するのは受信SNRではなく、受信信号対干渉電力比(SIR)である。そこで、本稿では、受信SIRに基づくTPCを提案する。受信SIRに基づくTPCでは、各APが保有する干渉テーブルに記憶されている受信CCI情報を利用して、選択したチャンネルの上下リンクの受信SIRが目標値になるように送信電力を制御する。これにより過大な送信電力を避けることができ、所要信号対干渉+雑音電力比(SINR)を達成するための平均送信電力を大幅に低減できる。

本稿の構成は以下の通りである。第2章で干渉テーブルに記憶されている受信CCI情報を利用した受信SIRに基づくTPCの原理を述べる。第3章では計算機シミュレーション結果を示し、受信SIRに基づくTPCを用いた場合でも安定したチャンネル再利用パターンが形成できること、所要SINRを達成するための平均送信電力をSNRに基づくTPCより低減できることを示す。第4章はまとめである。

2. 干渉テーブルに記憶されている受信CCI情報を利用した受信SIRに基づくTPC

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)[17]伝送による時分割複信(TDD)を仮定する。IACS-DCAにより、APは一定間隔で周辺STAからの上りリンクCCI電力を測定し、平均CCI電力が最小となるチャンネルを選択する。APは、選択したチャンネルの平均CCI電力を記載したビーコン信号を配下のSTAに向けて送信する。STAは、ビーコン信号を受信し、接続先APが観測している平均CCI電力を得る。このとき、STAはビーコン信号の受信電力を測定し、AP-STA間の合計損失(伝搬損失、シャドウイング損失、フェージングによる電力の変動)を計算し、APにおける平均CCI電力とAP-STA間の合計損失計算値を用いて、APの受信SIRが目標SIRとなるような送信電力で上りリンク通信を行う。このとき、STAは合計損失計算値を上りリンクパケットに記載して、APにフィードバックを行う。APはCCIテーブルに記憶している平均CCI電力とSTAからフィードバックされたAP-STA間の合計損失を利用して、STAの受信SIRが目標SIRとなるような送信電力で下りリンク通信を行う。

2.1. IACS-DCAによるAPのチャンネル選択動作

図1に、干渉テーブルを利用した受信SIRに基づくTPCのフローチャートを示す。図1(a)に示すように、APは1-1)周辺STAからの上りリンク瞬時CCI電力から1-2)平均CCI電力を計算し、1-3)CCIテーブルを更新する。APはCCIテーブルを参照して1-4)平均CCI電力最小のチャンネルを選択し、1-5)選択したチャンネルでビーコン信号を送信する。APは、1-6)一定間隔で1-1)~1-5)の動作を繰り返す。

平均CCI電力の計算には、忘却係数を用いる一次フィルタ[18]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、 $\beta(0 \leq \beta \leq 1)$ は忘却係数である。 N_{ch} は総チャンネル数である。APは、式(1)により計算されたCCIテーブルを参照し、平均CCI電力最小の第 ch_{use} チャンネルを選択する。

$$ch_{use} = \underset{ch \in [0, N_{ch}-1]}{\operatorname{argmin}} \{ \bar{I}_{AP_m, ch}(t) \}\quad (2)$$

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、安定したチャ

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].

2.2. 上りリンク TPC

図 1(b)に示すように、STA は 2-1)第 ch_{use} チャンネルで送信されたビーコン信号を接続先 AP から受信し、2-2)次式で与えられる AP における平均 CCI 電力測定値を得る。

$$\tilde{I}_{AP_m}(t) = \bar{I}_{AP_m, ch_{use}}(t) \quad (3)$$

STA は 2-3)ビーコン受信電力を測定し、2-4)AP-STA 間の合計損失を計算する。AP_m と第 m STA(STA_m)間の合計損失計算値は次式で表される。

$$L_{STA_m, AP_m} = P_t^{bcn} / P_{t, STA_m}^{bcn} \quad (4)$$

ここで、 P_t^{bcn} と P_{t, STA_m}^{bcn} は、ビーコン送信電力と STA_m が測定したビーコン受信電力である。ビーコン送信電力は全 AP で同一であり、全 STA において既知とする。STA は 2-5)一定間隔で 2-1)~2-4)の動作を繰り返す。

2-6)上りリンク通信要求が発生した際、STA は 2-7)第 ch_{use} チャンネルを選択し、2-8)上りリンク送信電力を計算する。STA は、AP における平均 CCI 電力測定値と合計損失計算値を利用して、AP の受信 SIR が目標 SIR となるような送信電力を計算する。STA_m の上りリンク送信電力は次式で与えられる。

$$\tilde{P}_{t, STA_m} = \Lambda \cdot \tilde{I}_{AP_m}(t) \cdot L_{STA_m, AP_m} \quad (5)$$

ここで、 Λ は目標 SIR である。STA は 2-9)合計損失計算値を上りリンクパケットに記載し、2-10)上りリンク通信を行う。

2.3. 下りリンク TPC

図 1(a)に示すように、AP は 3-1)上りリンクパケットを受信し、3-2)接続先の STA までの合計損失計算値を得る。3-3)下りリンク通信要求が発生した際、AP は 3-4)第 ch_{use} チャンネルを選択し、3-5)下りリンク送信電力を計算する。上りリンク伝送と同様に、AP は自身が保有する平均 CCI 電力と AP-STA 間の合計損失計算値を利用して、STA の受信 SIR が目標 SIR となるような送信電力を計算する。このとき、厳密には、下りリンク伝送における送信電力の計算の際に、STA における平均 CCI 電力を用いるべきである。しかし、一般的に STA は AP の近くに位置することが予想されるため、STA における平均 CCI 電力と AP における平均 CCI 電力の相関は高いと考えられる。したがって、提案 TPC では、下りリンク伝送の送信電力の計算の際、AP における平均 CCI 電力を利用する。

送信電力を計算した後、AP は 3-6)下りリンク通信を

行う。AP_m の下りリンク送信電力は次式で与えられる。

$$\tilde{P}_{t, AP_m} = \Lambda \cdot \tilde{I}_{AP_m}(t) \cdot L_{STA_m, AP_m} \quad (6)$$

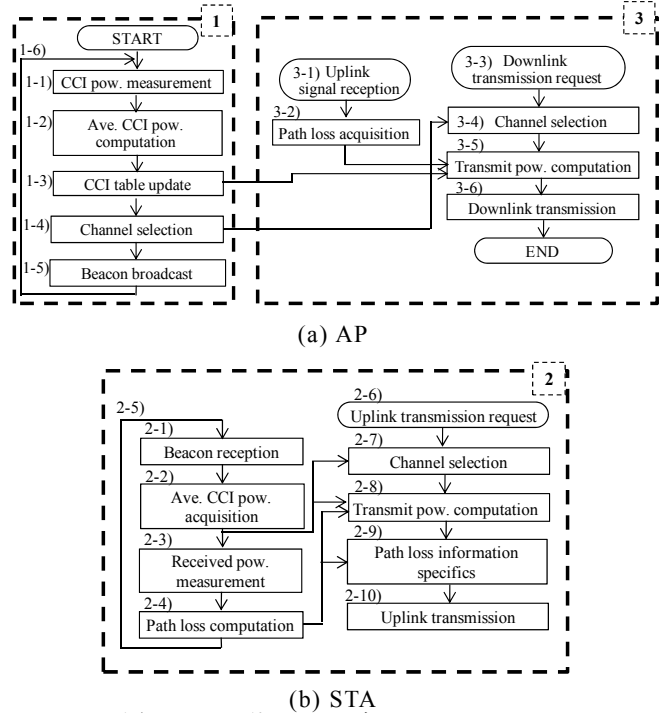


図 1 受信 SIR に基づく提案 TPC のフローチャート

3. 計算機シミュレーション結果

IACS-DCA における干渉テーブルを利用した受信 SIR に基づく TPC を用いる場合のチャンネル再利用パターンと送信電力の低減効果を議論する。

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無相関であるものとした。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。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ける上下リンクの受信 SINR を測定した。この試行を 300 回繰り返すことで SINR の累積分布関数(CDF)を算出した。

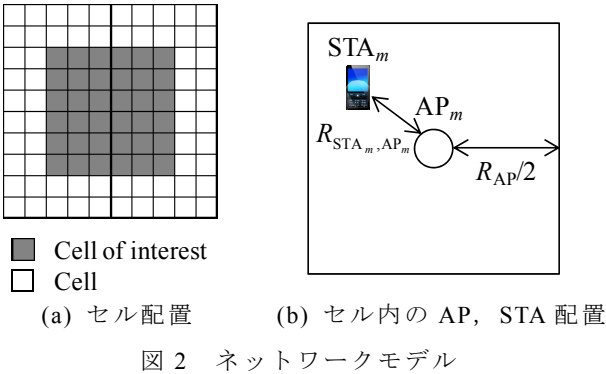
なお、計算機シミュレーションでは加法性白色ガウス雑音(AWGN)チャンネルにおける無符号化四相位相変調(QPSK)伝送時のビット誤り率(BER)= 10^{-3} を達成する SINR を所要 SINR Λ_0 とし、 $\Lambda_0=9.8\text{dB}$ にて設定した。

表 1 計算機シミュレーション諸元

| | | |
|----------|--|------------------------------------|
| System | No. of co-channel cells | $N_{all}=100$ |
| | No. of channels | $N_{ch}=4$ |
| | No. of STAs per cell | $U=1$ |
| | Transmission probability | $p=1.0$ |
| | Required SINR | $\Lambda_0=9.8$ dB |
| Channel | Fading type | Frequency-selective block Rayleigh |
| | Power delay profile | $L=16$ -path uniform |
| | Time delay | $\tau_l=l$ ($l=0\sim L-1$) |
| | Path loss exponent | $\alpha=3.5$ |
| | Shadowing loss standard deviation | $\sigma=5.0$ (dB) |
| IACS-DCA | Forgetting factor of first order filtering | $\beta=0.99$ |

3.1. ネットワークモデル

図 2 にネットワークモデルを示す．本稿では総セル数 $N_{all}=100$ 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．隣接する AP 間の距離を R_{AP} 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．測定対象は中心の $N_{int.}=36$ セルとする．



3.2. チャネルモデル

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ネルを仮定する．このとき， STA_m - AP_m 間におけるチャネルのインパルス応答 $h_{STA_m,AP_m}(\tau)$ は次式で与えられる．

$$h_{STA_m,AP_m}(\tau) = \sum_{l=0}^{L-1} h_{STA_m,AP_m}^{(l)} \delta(\tau - \tau_{STA_m,AP_m}^{(l)}) \quad (7)$$

$\tau_{STA_m,AP_m}^{(l)}$ は第 l パスにおける遅延時間を表す． $h_{STA_m,AP_m}^{(l)}$ 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，距離 R_{STA_m,AP_m} 離れた STA_m - AP_m 間のチャネルは，次式のように表せる．

$$h_{STA_m,AP_m}^{(l)} = \sqrt{R_{STA_m,AP_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{STA_m,AP_m}}{10}}} \cdot \tilde{h}_{STA_m,AP_m}^{(l)} \quad (8)$$

ここで， α は伝搬損失指数， η_{STA_m,AP_m} は STA_m - AP_m 間の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，

$\tilde{h}_{STA_m,AP_m}^{(l)}$ はフェージングにより変動する複素変数であり， $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{STA_m,AP_m}^{(l)}|^2] = 1$ 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， STA_m の送信電力 \bar{P}_{t,STA_m} を用いて次式で与えられる．

$$\begin{aligned} P_{r,AP_m} &= \bar{P}_{t,STA_m} \cdot R_{STA_m,AP_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{STA_m,AP_m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{STA_m,AP_m}^{(l)}|^2 \\ &= P_{t,STA_m} \cdot r_{STA_m,AP_m}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{STA_m,AP_m}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{STA_m,AP_m}^{(l)}|^2 \end{aligned} \quad (9)$$

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

下りリンク伝送の場合， STA_m における瞬時受信電力 P_{r,STA_m} は， AP_m の送信電力 \bar{P}_{t,AP_m} を用いて次式で表される．

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

3.3. AP における瞬時 CCI 電力の測定

AP_m における周波数領域受信信号 $Y_{AP_m}(k)$ ($k=0\sim N_c-1$ ， 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)は， STA_m の送信信号 $x_{STA_m}(k)$ を用いて次式で表される．

$$\begin{aligned} Y_{AP_m}(k) &= \sqrt{2\tilde{P}_{t,STA_m}} \cdot H_{STA_m,AP_m}(k) \cdot x_{STA_m}(k) \\ &\quad + I_{AP_m}(k) + N_{AP_m}(k) \end{aligned} \quad (11)$$

$H_{STA_m,AP_m}(k)$ および $N_{AP_m}(k)$ はそれぞれ第 k 周波数における STA_m - AP_m 間のチャネル利得及び AP_m における雑音成分である．また $I_{AP_m}(k)$ は， AP_m が周辺 STA から受ける上りリンク CCI 成分であり，次式で与えられる．

$$I_{AP_m}(k) = \sum_{\{u \in U_{AP_m}, u \neq m\}} \sqrt{2\tilde{P}_{t,STA_u}} \cdot H_{STA_u,AP_m}(k) \cdot x_{STA_u}(k) \quad (12)$$

ここで， $U_{AP_m} \in \{0, 1, \dots, N_{all}-1\}$ は AP_m と同じチャネルで信号を送信している STA 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．

$$I_{AP_m, ch}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} |I_{AP_m}(k) + N_{AP_m}(k)|^2 \quad (13)$$

3.4. チャンネル再利用パターン

図3に、受信 SIR を用いる TPC を用いる場合のチャンネル再利用パターンの時間変動の様子を示す。一例として、目標 SIR を $\Lambda=13$ dB とした。STA の位置を図3(a)に示す。初期のチャンネル再利用パターンは、すべての AP に第0チャンネルを割当てて生成した(図3(b)参照)。図3(c)より、 $t=1700\sim 2000$ においてチャンネル再利用パターンがほとんど変化していない。このことから、受信 SIR に基づく TPC を併用しても、IACS-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がわかる。

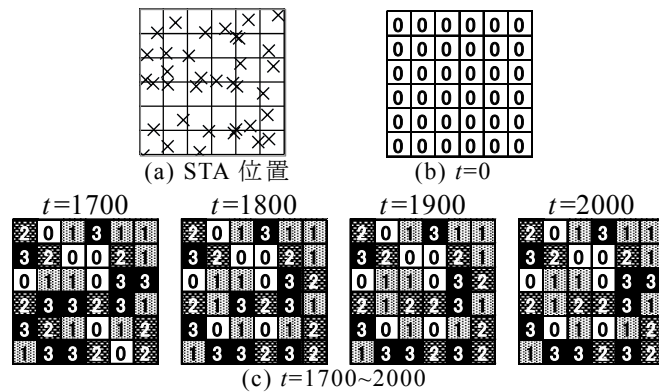


図3 提案 TPC が形成するチャンネル再利用パターン

3.5. 上下リンク受信 SINR 特性

図4に、受信 SIR に基づく提案 TPC を用いる場合の上下リンク受信 SINR の CDF を示す。図4より、所要 SINR $\Lambda_0=9.8$ dB におけるアウトエージ確率を 10% とするための目標 SIR は、上りリンクでは $\Lambda=13$ dB、下りリンクでは 16 dB である。すなわち、下りリンクの目標 SIR を上りリンクより 3 dB 高くしなければならない。提案 TPC では、STA で観測される CCI 電力を用いて下りリンク TPC の送信電力を決定しなければならないのに、AP で観測される上りリンク CCI 電力を用いて下りリンク TPC の送信電力を決定している。このため、必要な送信電力に誤差が生じてしまうため、これを補うために下りリンクの目標 SIR 値を大きくしなければならないからである。

比較のため、受信 SNR に基づく TPC[16] と TPC を行わない場合の特性も示す。図4より、受信 SNR に基づく TPC を行う場合、同じアウトエージ確率 10% を達成するための目標 SNR は、上りリンクでは $\Gamma=14$ dB、下りリンクでは 17 dB であることが読み取れる。一方、TPC なしの場合、アウトエージ確率 10% を達成するための正規化送信電力 P_t は上下リンクともに $P_t=10$ dB である。

3.6. 所要送信電力の低減効果

上りリンクでは STA、下りリンクでは AP の正規化送信電力をそれぞれ観測し、その累積分布関数(PDF)より平均正規化送信電力を求めた。表2に、所要 SINR

$\Lambda_0=9.8$ dB におけるアウトエージ確率を 10% とするための平均正規化送信電力を示す。受信 SIR に基づく TPC における上りリンクおよび下りリンクの目標 SIR を 3.5 節の結果より、それぞれ $\Lambda=13$ dB および $\Lambda=16$ dB に設定し、受信 SNR に基づく TPC[16] ではそれらをそれぞれ $\Gamma=14$ dB および 17 dB に設定した。表2より、受信 SIR に基づく TPC では、上りリンクおよび下りリンクの平均送信電力を、TPC を用いない場合よりそれぞれ 16.5 dB および 13.5 dB 低減できることがわかる。また、受信 SNR に基づく TPC より、上下リンクでは 1 dB ほど送信電力を低減できることがわかる。

図5に受信 SIR に基づく TPC を用いる場合の正規化送信電力の相補累積分布関数(CCDF)を示す。上りリンクおよび下りリンクの目標 SIR を $\Lambda=13$ dB および $\Lambda=16$ dB に設定した。図5より、大きな送信電力を必要とする場合があることがわかる。しかし、受信 SIR に基づく TPC を用いたときの送信電力が、TPC なしの際の送信電力($P_t=10$ dB)より大きくなる確率は図5より、上りおよび下りリンクで高々 1% および 3% であることから、ピーク送信電力を TPC なしの際と同じ値に制限しても大きな品質劣化は生じないと言える。

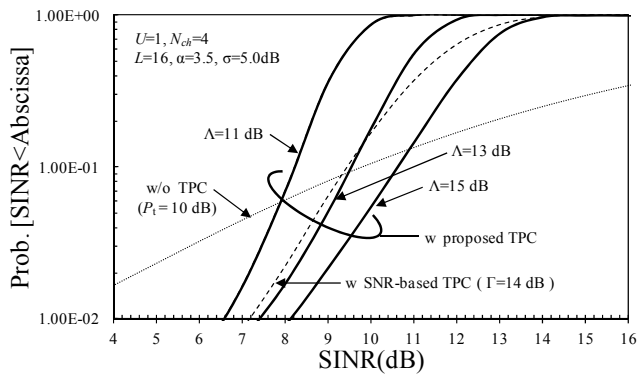
4. むすび

本稿では、IACS-DCA における干渉テーブルに記憶されている CCI 情報を利用した、受信 SIR に基づく TPC を提案した。計算機シミュレーションにより、提案 TPC を行った場合も IACS-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、受信 SIR に基づく TPC は、TPC なしの際と同じピーク送信電力に制限しつつ、所要 SINR を達成するために必要な上りおよび下りリンク平均送信電力をそれぞれ 16.5 dB および 13.5 dB だけ低減できることを示した。

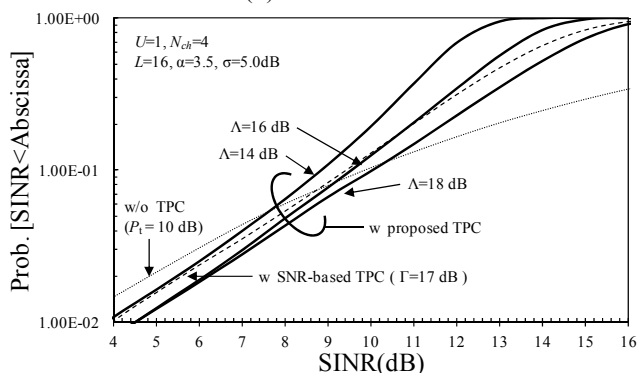
本稿では対象 AP-周辺 STA 間と対象 STA-周辺 AP 間のシャドウイングは無相関であるものとした。しかし、実際の伝搬環境下では両者のシャドウイングに相関があると考えるのが一般的である。シャドウイング相関が下りリンク特性に与える影響については今後の重要な検討課題である。また、AP から送信されるビーコンの受信に基づく IACS-DCA と TPC についても検討してゆく予定である。

表2 平均正規化送信電力

| | Uplink | Downlink |
|---|---------|----------|
| w/o TPC $P_t=10$ dB | 10 dB | 10 dB |
| w/ SNR-based TPC $\Gamma=14$ dB(Uplink) $\Gamma=17$ dB(Downlink) | -5.5 dB | -2.5 dB |
| w/ proposed TPC $\Lambda=13$ dB (Uplink) $\Lambda=16$ dB (Downlink) | -6.5 dB | -3.5 dB |



(a) 上りリンク



(b) 下りリンク

図4 受信 SIR の CDF 特性

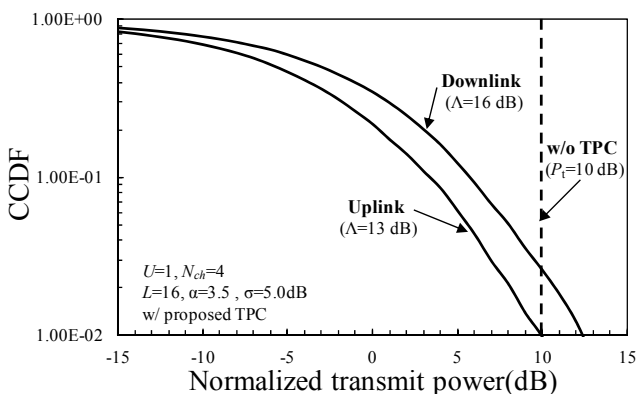


図5 正規化送信電力の CCDF

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] 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.

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

[4] 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.

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

[6] 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.

[7] 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.

[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] A. F. Molisch, *Wireless Communications*, 2nd Edition, IEEE Wiley, Nov 2010.

[13] M. Krunz, A. Muqattash, and S. J. Lee, "Transmission power control in wireless ad hoc networks: challenges, solutions and open issues," IEEE Network, Vol. 18, No. 5, pp. 8-14, Sep-Oct 2012.

[14] D. Qiao, S. Choi, A. Jain, and K. G. Shin, "Adaptive transmit power control in IEEE 802.11a wireless LANs," Proc. IEEE 57th Vehicular Technology Conference (VTC2003-Spring), April 2003.

[15] J. Zander, "Performance of optimum transmitter power control in cellular radio systems," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 41, No. 1, pp. 57-62, Feb 1992.

[16] 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.

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

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