

チャネル棲み分けに基づく無線 LAN 動的チャネル配置に及ぼす 非同期送信タイミングの影響に関する一検討

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 チャネル数が限られる無線システムでは同一チャネルを離れた地点で繰り返して利用することが必要である。筆者らは先に、チャネル棲み分けを用いる動的チャネル配置(CS-DCA)の無線 LAN への適用効果について検討した。CS-DCA では、過去の干渉環境に基づいて与干渉を最小化するようにチャネル棲み分けを行う。これまでの検討では、全ての無線アクセスポイント (AP) が同期している同期無線 LAN を対象に、端末 (STA) からの上りリンク干渉だけを測定してチャネル棲み分けを行うものとした。しかしながら、上下リンク非同期無線 LAN では、干渉測定時には STA からの上りリンク干渉と無線 AP からの下りリンク干渉が混在している。本稿では、上下リンク非同期環境が CS-DCA に与える影響について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, 同一チャネル干渉, 無線 LAN, 非同期システム

A Study of Impact of Asynchronous Transmission Timing on Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment in Wireless LAN

Yuki MATSUMURA¹ Katsuhiro TEMMA¹ Tatsunori OBARA¹ Tetsuya YAMAMOTO¹
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, 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 In frequency reusing wireless networks whose number of channels are limited, the same channel must be reused by spatially separated points. Recently, we studied the introduction of channel segregation based dynamic channel assignment (CS-DCA) into wireless LAN (WLAN). In CS-DCA, each access point (AP) chooses a channel having the lowest co-channel interference (CCI) so as to minimize the CCI given to other stations (STAs). In our previous works, we assumed a synchronous system in which all STAs transmit its packet at the same time and AP decided the channel to be used by measuring only uplink CCIs from other STAs. However, in asynchronous systems, AP measures not only the uplink CCIs from other STAs but also downlinks CCIs from other APs. In this paper, we evaluate the impact of asynchronous transmission timing on CS-DCA by computer simulation.

Keyword Channel segregation, Dynamic channel assignment, Co-channel interference, Wireless LAN, Asynchronous system

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 で利用可能なチャネル数は制限されており、地理的に離れた AP で同一チャネルを再利用しなければならない。限られた数のチャネルを有効に利用するためには同一チャネルをできるだけ近くの AP で再利用す

ることが望まれる。

そこで、無線 LAN では、AP の起動時に、周辺 AP が送信する下りリンクビーコンの受信信号強度(RSSI)を測定し、最も RSSI の小さいチャンネルを選択するチャンネル選択法が一般的に知られている[1](本稿では、これを起動時最小干渉チャンネル選択法、又は min-RSSI 法と呼ぶ)。これにより、周辺 AP への与干渉を最小にするチャンネルの選択が行なわれる(周辺 AP から対象 AP が受ける受干渉と対象 AP が周辺 AP の STA へ与える下りリンク与干渉、対象 AP の STA が周辺 AP へ与える与干渉には差があることに注意)。しかし、起動時最小干渉チャンネル選択法では、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 周辺の干渉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]-[6]。CS-DCA は各 AP が独立にチャンネルを選択するアルゴリズムであり、各 AP が周辺 STA に与える下りリンク同一チャンネル干渉(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 が干渉レベルに基づくチャンネル優先度を表す干渉テーブルを保有し、一定時間ごとに AP が周辺 STA から受ける CCI 電力を観測して、干渉テーブルに各チャンネルの平均 CCI 電力(過去の CCI 電力の平均)を記憶する。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、対象 AP は、周辺電波環境の変化に適応して、周辺の STA に与える下りリンク CCI を最小とするようなチャンネル再利用パターンを自律的に形成する。CS-DCA を用いることで、AP が周辺 STA から受ける上りリンク CCI と AP が周辺 STA に与える下りリンク CCI を同時に最小化するチャンネルを選択できる。

これまでの検討では、全ての AP が同期している同期無線 LAN を対象に、周辺 AP と通信を行っている STA からの上りリンク干渉だけを測定するチャンネル棲み分けについて検討した[4]-[6]。しかしながら、上下リンク非同期無線 LAN では、干渉測定時には STA からの上りリンク干渉と無線 AP からの下りリンク干渉が混在している。本稿では、上下リンク非同期環境が CS-DCA に与える影響について計算機シミュレーションにより明らかにしている。また、上下リンクの送信確率が CS-DCA に与える影響についても議論する。

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、上下リンクの信号対干渉電力比(SIR)表現について述べる。第 4 章で計算機シミュレーション結果を示し、上下リンク非同期送信タイミングがチャンネル再利用パターンに与える影響を示した後、上下リンク SIR の累積分布関数(CDF)の観点から、上下リンク

非同期環境が CS-DCA の動作に与える影響を明らかにする。第 5 章でまとめる。

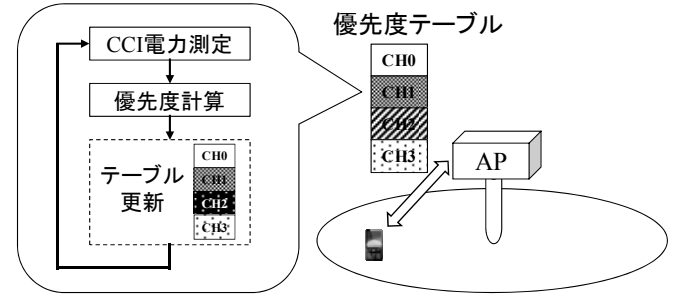


図 1 CS-DCA を用いた無線 LAN

2. 上下リンク非同期環境における 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。本稿では上下リンクともに直交周波数分割多重(OFDM)[7]伝送を仮定する。シングルユーザ環境を仮定し、図 2 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 は一定の間隔(タイムスロット)ごとに 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 m' STA(STA(m'))-第 m AP(AP(m))間におけるチャンネルのインパルス応答 $h_{S(m'),A(m)}(\tau)$ は次式のように表すことができる。

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

ただし、 $\tau_{S(m'),A(m)}^{(l)}$ は第 l パスにおける遅延時間を表す。 $h_{S(m'),A(m)}^{(l)}$ 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(m')から距離 $R_{S(m'),A(m)}$ 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[8]。

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

ここで、 α は伝搬損失指数、 $\eta_{S(m'),A(m)}$ は STA(m')-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、 $\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}$ はフェージングにより変動する複素変数であり、 $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}|^2] = 1$ 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。

上りリンクの場合、AP(m)における瞬時受信電力 $P_{r,A(m)}$ は、STA(m')の送信電力 $\bar{P}_{t,S(m')}$ を用いて次式で与えられる。

$$P_{r,A(m)} = \bar{P}_{t,S(m')} \cdot R_{S(m'),A(m)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{S(m'),A(m)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}|^2 \quad (3)$$

$$= P_{t,S(m')} \cdot r_{S(m'),A(m)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{S(m'),A(m)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}|^2$$

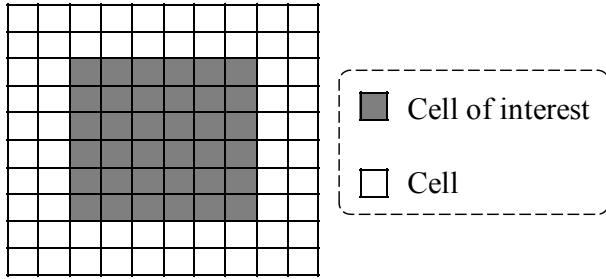
ただし, $P_{t,S(m')} = \bar{P}_{t,S(m')} \cdot R_{AP}^{-\alpha}$ と $r_{S(m'),A(m)} = R_{S(m'),A(m)} / R_{AP}$ は, それぞれ AP 間距離で正規化した正規化送信電力と正規化距離を表す.

一方, 下りリンクの場合, STA(m')における瞬時受信電力 $P_{r,S(m')}$ は, AP(m)の送信電力 $\bar{P}_{t,A(m)}$ を用いて次式で与えられる.

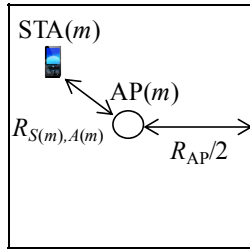
$$P_{r,S(m')} = \bar{P}_{t,A(m)} \cdot R_{S(m'),A(m)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{S(m'),A(m)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}|^2 \quad (4)$$

$$= P_{t,A(m)} \cdot r_{S(m'),A(m)}^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\eta_{S(m'),A(m)}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{S(m'),A(m)}^{(l)}|^2$$

ただし, $P_{t,A(m)} = \bar{P}_{t,A(m)} \cdot R_{AP}^{-\alpha}$ は, 正規化送信電力を表す.



(a) セル配置



(b) セル内の AP 配置

図 2 ネットワークモデル

2.2. 上下リンク非同期送信環境

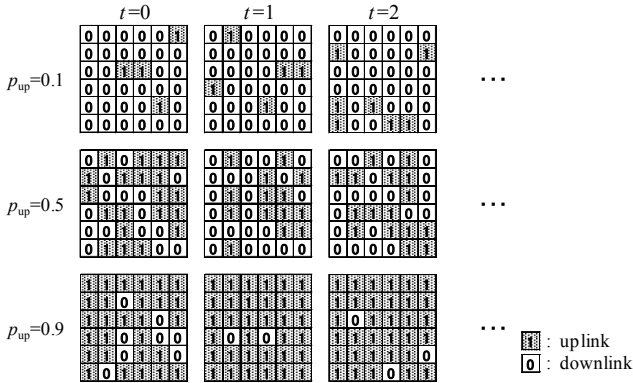


図 3 上下リンク非同期環境の一例

本稿では, すべてのセルで, タイムスロットごとに上下いずれかの通信が行われている環境を想定する.

上りリンク通信では, STA(m)→AP(m)の通信が行われ, 下りリンク通信では AP(m)→STA(m)の通信が行われる. 各セルでは確率 p_{up} で上りリンク通信が行われ, 確率 $(1-p_{up})$ で下りリンク通信が行われているものとする (つまり, 各無線セルでは上下リンクのいずれかで必ず通信が行われている). 図 3 に上下リンクが混在する非同期環境の一例を示す.

2.3. CS-DCA

CS-DCA のフローチャートを図 4 に示す. 各 AP は, 他セル AP または STA から受ける瞬時 CCI 電力をタイムスロットごとに測定する. 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, 干渉テーブルに格納する. チャンネル利用時には, 干渉テーブルを参照して平均 CCI 電力最小のチャンネルを選択する. AP はビーコン信号により, セル内の STA にチャンネルが変更されたことを通知する. 次のタイムスロットでは更新後のチャンネルを用いて, 上りリンクまたは下りリンクの通信が行われる. 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. 以下で干渉テーブルの作成法とチャンネル選択について述べる.

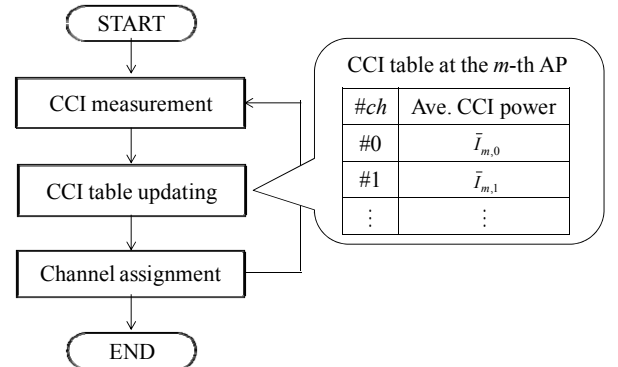


図 4 CS-DCA のフローチャート

2.4. 干渉テーブルの作成法とチャンネル選択

AP は, 干渉テーブルに保存された平均 CCI 電力に基づき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 $\bar{I}_{A(m),ch}(t)$ は次式で与えられる.

$$\bar{I}_{A(m),ch}(t) = (1-\beta) \cdot I_{A(m),ch}(t) + \beta \cdot \bar{I}_{A(m),ch}(t-1) \quad (5)$$

ここで, $I_{A(m),ch}(t)$ は第 t タイムスロットにおいて AP が受信した瞬時 CCI 電力である. $\beta (0 \leq \beta \leq 1)$ 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

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 $\bar{I}_{A(m),ch}(t)$ 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．

$$ch_{use} = \arg \min_{ch} \{\bar{I}_{A(m),ch}(t)\}, ch = 0 \sim N_{ch} - 1 \quad (6)$$

ここで N_{ch} は全チャンネル数を示す．AP が式(6)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律的に形成される．

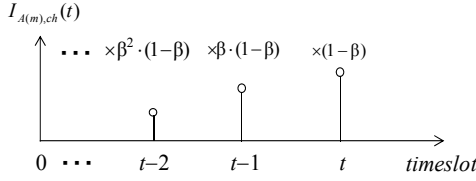


図5 一次フィルタの模式図

2.5. CCI 電力表現

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

$$Y_{A(m)}(k) = \sqrt{2P_{t,S(m)}} \cdot H_{S(m),A(m)}(k) \cdot d_{S(m)}(k) + I_{A(m)}(k) + N_{A(m)}(k) \quad (7)$$

ここで， $H_{S(m),A(m)}(k)$ および $N_{A(m)}(k)$ はそれぞれ第 k 周波数における STA(m)-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．式(7)における $I_{A(m)}(k)$ は次式で与えられる，AP(m) における CCI 成分である．

$$I_{A(m)}(k) = \sum_{\{u \in U_{S,A(m)} | u \neq m\}} I_{S(u),A(m)}(k) + \sum_{\{u \in U_{A,A(m)} | u \neq m\}} I_{A(u),A(m)}(k) \quad (8)$$

ここで， $I_{S(u),A(m)}(k)$ および $I_{A(u),A(m)}(k)$ はそれぞれ STA(u) および AP(u) からの CCI である． $\{U_{S,A(m)} \in 0, 1, \dots, A_{all}-1\}$ および $\{U_{A,A(m)} \in 0, 1, \dots, A_{all}-1\}$ はそれぞれ AP(m) と同じチャンネルで信号を送信している STA および AP 番号の集合である． $I_{S(u),A(m)}(k)$ および $I_{A(u),A(m)}(k)$ はそれぞれ次式で与えられる．

$$\begin{cases} I_{S(u),A(m)}(k) = \sqrt{2P_{t,S(u)}} H_{S(u),A(m)}(k) d_{S(u)}(k) \\ I_{A(u),A(m)}(k) = \sqrt{2P_{t,A(u)}} H_{A(u),A(m)}(k) d_{A(u)}(k) \end{cases} \quad (9)$$

ここで， $H_{A(u),A(m)}(k)$ は第 k 周波数における AP(u)-AP(m) 間のチャンネル利得である． $d_{A(u)}$ は AP(u) における送信信号である．

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．

$$\hat{I}_{A(m)}(k) = Y_{A(m)}(k) - \sqrt{2P_{t,S(m)}} \cdot H_{S(m),A(m)}(k) \cdot \hat{d}_{S(m)}(k) \quad (10)$$

ここで， $\hat{d}_{S(m)}(k)$ 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 $d_{S(m)}(k)=0$ 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 $I_{A(m),ch}(t)$ は次式で与えられる．

$$I_{A(m),ch}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} |\hat{I}_{A(m)}(k)|^2 \quad (11)$$

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．本稿では，AP はすべてのタイムスロットにおいて，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. SIR 表現

3.1. 上りリンク SIR

式(7)より，AP(m) におけるブロック平均瞬時 SIR $\Gamma_{A(m)}$ は，次式で与えられる．ただし， $E[|d_{S(m)}(k)|^2]=1$ を仮定した．

$$\Gamma_{A(m)} = \frac{2P_{t,S(m)} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} |H_{S(m),A(m)}(k)|^2}{\frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} |I_{A(m)}(k)|^2} \quad (12)$$

3.2. 下りリンク SIR

同様に，STA(m) におけるブロック平均瞬時 SIR $\Gamma_{A(m)}$ は，次式で与えられる．ただし， $E[|d_{A(m)}(k)|^2]=1$ を仮定した．

$$\Gamma_{S(m)} = \frac{2P_{t,A(m)} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} |H_{S(m),A(m)}(k)|^2}{\frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} |I_{S(m)}(k)|^2} \quad (13)$$

ただし， $I_{S(m)}(k)$ は STA(m) の第 k 周波数 CCI 成分を表し，次式で与えられる．

$$I_{S(m)}(k) = \sum_{\{u \in U_{S,A(m)} | u \neq m\}} I_{S(u),S(m)}(k) + \sum_{\{u \in U_{A,A(m)} | u \neq m\}} I_{A(u),S(m)}(k) \quad (14)$$

ここで， $I_{S(u),S(m)}(k)$ および $I_{A(u),S(m)}(k)$ はそれぞれ STA(u) および AP(u) からの CCI で，次式で与えられる．

$$\begin{cases} I_{S(u),S(m)}(k) = \sqrt{2P_{t,S(u)}} H_{S(u),S(m)}(k) d_{S(u)}(k) \\ I_{A(u),S(m)}(k) = \sqrt{2P_{t,A(u)}} H_{A(u),S(m)}(k) d_{A(u)}(k) \end{cases} \quad (15)$$

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

シミュレーション諸元を表1に示す．各セルには1台の STA が存在するものとする．本稿では，すべてのセルで，STA または AP のどちらかが常に通信を行なっている環境を想定する．各無線セルではスロットごとに，確率 p_{up} で上りリンク通信が，確率 $(1-p_{up})$ で下りリンク通信が行われるものとした（つまり，各無線セルでは上下リンクのいずれかで必ず通信が行われている）．各 AP はタイムスロットごとに CCI 電力 $I_{A(m),ch}(t)$ を測定し，干渉テーブルと使用チャンネルを更新する．

計算機シミュレーションでは、STA の位置を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パスロスと標準偏差 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 AP 間と対象 AP-周辺 STA 間のシャドウイングは無相関であるものとした。また、フェージングは $L=16$ パス周波数選択性ブロックレイリーフェージングを生成した。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 SIR $\Gamma_{A(m)}$, $\Gamma_{S(m)}$ を測定した。この試行を 500 回繰り返すことで SIR の CDF 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	$N_{all}=100$
	No. of channels	$N_{ch}=4$
	No. of STAs per cell	$U=1$
	Uplink transmission probability	$p_{up}=0.1 \sim 1.0$
	Normalized transmit SNR	∞ (Interference limited)
Channel	Fading type	Frequency-selective block Rayleigh
	Power delay profile	$L=16$ -path uniform
	Time delay	$\tau_l=l$ ($l=0 \sim L-1$)
	Pass loss exponent	$\alpha=3.5$
	Shadowing loss standard deviation	$\sigma=5$ (dB)
CS-DCA	Forgetting factor of first order filtering	$\beta=0.99$
	CCI power measurement	Ideal

4.2. チャネル再利用パターンに与える影響

図 6 に CS-DCA を用いるチャネル再利用パターンの時間変動の様子を示す。初期のチャネル配置はランダムとした。図 6 の上段が $p_{up}=0.1$ 、すなわち各セルで下りリンク通信が多く発生する場合、中段が $p_{up}=0.5$ 、すなわち各セルで上下リンク通信が等確率で発生する場合、下段が $p_{up}=0.9$ 、すなわち各セルで上りリンク通信が多く発生する場合のチャネル再利用パターンを示す。このとき、各場合のチャネル状態は等しいとした。図 6 より、チャネル再利用パターンは p_{up} に依存することがわかる。これは、式(11)で示した AP の瞬時 CCI 電力 $I_{A(m),ch}(t)$ の値が p_{up} に依存するためである。 $p_{up}=1$ のときは、AP が受ける CCI は周辺 STA からの CCI となるため、これを基にチャネルを割当ててことで、周辺 STA に与える下りリンク CCI を最小化できる。一方で、 p_{up} が 0 に近づくほど、AP が受ける CCI は周辺 AP からの CCI の影響が大きくなり、これを基にチャネルを割当てても、周辺 STA に与える CCI を最小化することはできない。

また、 p_{up} の値に関わらず、いずれの場合も $t=1000$ 程度でチャネル配置は安定していることがわかる。本稿では CCI 電力の平均化の際に忘却係数 $\beta=0.99$ を使用していて、これは直前 100 タイムスロットの CCI 電

力の平均値を基にチャネルを割当てていることに相当する。CS-DCA は自律型のチャネル選択アルゴリズムであるため、その後も各 AP は少しずつチャネル変更を行いながら、すべての AP が周辺 STA に与える CCI を最小化するパターンに近づいていく。そのため、平均化に必要な 100 タイムスロットの約 10 倍程度の時間を要して、十分 CCI を最小化するチャネルが選択される。

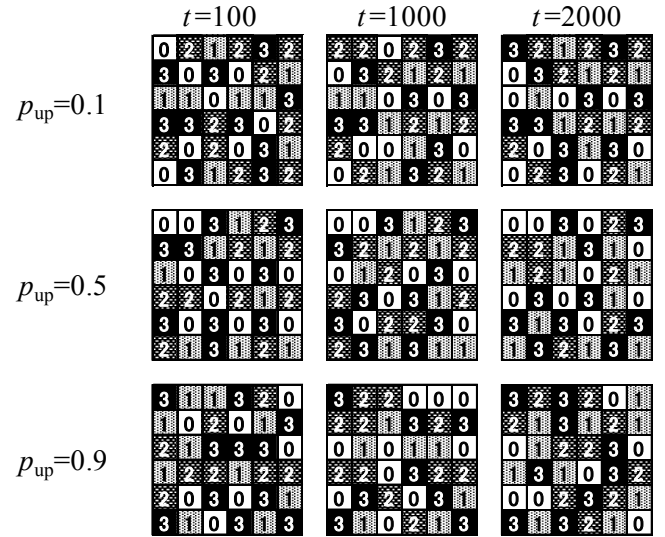


図 6 CS-DCA チャネル再利用パターンの時間変動の様子
($N_{ch}=4$, $\beta=0.99$, $\alpha=3.5$, $\sigma=5$ (dB))

4.3. 上下リンク SIR 特性

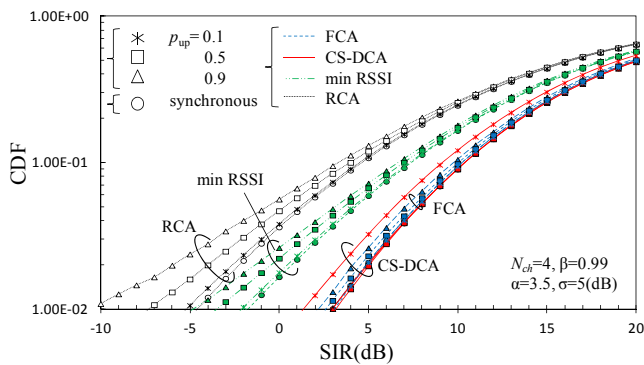
上下リンク非同期環境下における、下りリンク及び上りリンク SIR の CDF を図 7 に示す。比較のため、ランダム配置(RCA), 起動時最小 RSSI 法(min-RSSI), 固定チャネル配置(FCA)の特性も同様にプロットした。CS-DCA における初期チャネルはランダムに与え、時刻 2000 タイムスロットのチャネル配置で測定を行った。確率 p_{up} をパラメータとし、上下同期環境下の特性もプロットした。

図 7 より、CS-DCA を用いることで、RCA, min-RSSI より上下リンク SIR 特性を改善できることがわかる。これは、CS-DCA を用いることで、上下非同期環境下においても、AP が周辺 STA に与える CCI を RCA, min-RSSI より低減する安定したチャネル配置を形成できるためである。また、CS-DCA は自律型のチャネル配置法でありながら、集中制御を要する FCA と同等の SIR を達成できることがわかる。

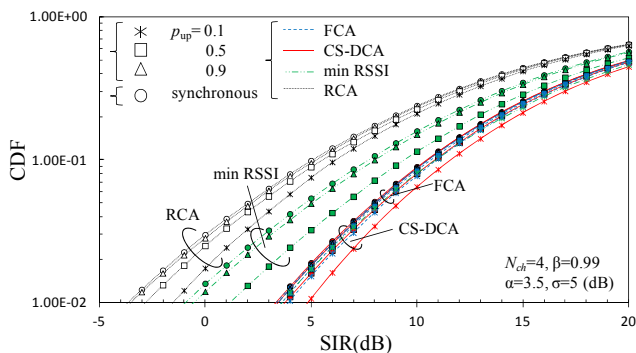
まず、上下非同期送信環境の影響について考察する。はじめに下りリンクについて述べる。本稿の CS-DCA では下りリンク干渉（すなわち、対象 AP から周辺 STA に与える干渉）を最小化するチャネル配置の形成を目的としている。同期環境では、AP が測定する CCI 電力は周辺 STA からの CCI であるため、これを基にチャネルを割当ててことで、AP が周辺 STA に与える CCI

を最小化できる．一方で，非同期環境では，AP が測定する CCI には周辺 AP からの CCI も含まれるため，これを基にチャンネルを割当てても，周辺 STA に与える CCI を最小化することはできない．図 7(a)の下りリンク SIR 特性をみると， p_{up} が小さくなるほど(すなわち，AP が測定する CCI に，周辺 AP からの CCI が多く含まれるほど)下りリンク SIR が劣化することがわかる．例えば， $p_{up}=0.1$ のとき，上下同期環境下と比べて下りリンク SIR が 1.5dB 劣化している．これは，上で述べたように，AP が測定する CCI に周辺 AP からの CCI が多く含まれるほど，AP が周辺 STA に与える CCI を最小化するチャンネル選択が行われなくなるためである．

次に，上りリンク SIR 特性について考察する．同期・非同期環境いずれの場合も，AP は自身が測定する CCI に基づいてチャンネルを選択する．このため，AP は常に自身の受ける CCI が最小となるチャンネルを利用できる．図 7(b)の下りリンク SIR 特性をみると，非同期環境下においても，CS-DCA を用いることで高い SIR が得られていることがわかる．



(a) 下りリンク



(b) 上りリンク

図 7 SIR の CDF 特性

5. むすび

本稿では，上下リンク非同期送信環境が CS-DCA に与える影響について検討した．CS-DCA では，AP が周辺 STA からの CCI に基づいてチャンネルを選択すれば，周辺 STA に与える CCI を最小化できる．しかし，非同期環境下では，AP が測定する CCI は周辺 STA からの干渉だけでなく周辺 AP からの干渉も含まれるため，

これを基にチャンネルを割当てても，周辺 STA に与える干渉を最小化することができない．はじめに，計算機シミュレーションにより，上下リンク非同期環境下においても，CS-DCA により安定したチャンネル再利用パターンが形成され，上下リンクの SIR を RCA, min-RSSI より改善できることを示した．次に，AP の測定する CCI に周辺 AP からの CCI が含まれる場合は，周辺 STA に与える干渉を最小化できないため，下りリンク SIR 特性が劣化することを示した．一方で，上りリンクにおいては，AP は自身の受ける CCI を最小化するようにチャンネルを選択するため，高い SIR が得られることを示した．

本稿では対象 AP-周辺 AP 間と対象 AP-周辺 STA 間のシャドウイングは無相関とした．しかし，両者のシャドウイング相関が大きい場合は，対象 AP は周辺 AP から受ける干渉を用いてチャンネル選択を行なっても，周辺 STA に与える干渉を最小化できる場合があると考えられる．シャドウイング相関が CS-DCA の干渉に与える影響については今後の重要な検討課題である．

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. Commun., 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] 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.
- [5] 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.
- [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.
- [7] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
J. G. Proakis and M. Salehi, *Digital communications*, 5th ed., McGraw-Hill, 2001.