

ビーコン信号を利用した干渉測定型チャンネル棲み分けに基づく動的チャンネル配置法におけるシャドウイング相関の影響に関する一検討

菅井 廉¹ Martin T. H. Sirait² 松村 祐輝² 天間 克宏² 安達 文幸³

¹東北大学工学部情報知能システム総合学科 ^{2,3}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

E-mail: ^{1,2}{sugai, martin, matsumura, tenma}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, ³adachi@ecei.tohoku.ac.jp

あらまし 各アクセスポイント(AP)が周辺端末(STA)から受ける同一チャンネル干渉(CCI)電力を観測してチャンネル棲み分けを自律分散で行う干渉測定型動的チャンネル配置法(IACS-DCA)を用いれば、周辺 AP およびそれと通信を行う STA に与える CCI を最小化するチャンネル再利用パターンを適応的に形成できる。筆者らはこれまで、時分割複信(TDD)を用いる無線 LAN への IACS-DCA の適用について検討してきた。IACS-DCA で本来測定しなければならないのは周辺 STA からの上りリンク CCI 電力である。ところで、無線 LAN では、各 AP は一定間隔でビーコン信号を送信している。そこで、AP から報知されているビーコン信号の受信電力を干渉電力として観測することで IACS-DCA を容易に実現可能である。しかし、本来測定しなければならない周辺 AP と通信している STA からの上りリンク CCI 電力と、周辺 AP からのビーコン信号の受信電力は、両者の伝搬損失、シャドウイング損失が必ずしも等しくないから、同じではない。したがって、選択されたチャンネルは必ずしも周辺 AP およびそれと通信している STA に与える CCI を最小化しているチャンネルであるとは限らない。自 AP-他 AP 間の伝搬損失と自 AP-他 AP と通信している STA との間の伝搬損失とはほぼ等しいと言えるから、考慮しなければならないのはシャドウイング相関であると言える。本稿では、各 AP が周辺 AP からのビーコン信号の受信電力を観測して棲み分けを行う IACS-DCA において、シャドウイング相関がチャンネル再利用パターン形成に及ぼす影響について検討する。計算機シミュレーションにより、シャドウイング相関値 ρ が 0.4 以上であれば、周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル棲み分けを行っても、周辺 STA からの上りリンク CCI 電力測定に基づいてチャンネル棲み分けを行う場合とほぼ同等の受信信号対干渉電力比(SIR)特性を達成できるチャンネル再利用パターンを形成できることを示している。

キーワード 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

A Study of Impact of Shadowing Correlation on Interference-Aware Channel Segregation Based Dynamic Channel Assignment Using Beacon Signal

Ren SUGAI¹ Martin T. H. Sirait² Yuki MATSUMURA² Katsuhiko TEMMA² and Fumiyuki ADACHI³

¹Dept. of Information and Intelligent Systems, School of Engineering, Tohoku University

^{2,3}Dept. of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University
6-6-05, Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 980-8579, Japan

E-mail: ^{1,2}{sugai, martin, matsumura, tenma}@mobile.ecei.tohoku.ac.jp, ³adachi@ecei.tohoku.ac.jp

Abstract By applying autonomous interference-aware channel segregation based dynamic channel assignment (IACS-DCA) algorithm which measures the co-channel interference (CCI) power received from surrounding stations (STAs) and assigns the channel, each access point (AP) can adaptively form a channel reuse pattern with minimum CCI to surrounding APs and STAs. Recently, we investigated the application of IACS-DCA into WLAN using time division duplex (TDD). In IACS-DCA, uplink CCI is supposed to be measured by APs. Incidentally, APs periodically transmit beacon signals in WLAN. IACS-DCA can be easily implemented in WLAN by measuring beacon signal power as CCI power. However, the uplink CCI power from STAs, which is supposed to be measured, and the beacon signal power received from surrounding APs are different because propagation loss and shadowing loss of them are not always equal. Therefore, the selected channel is not always the channel which minimizes CCI to surrounding APs and STAs. Since the propagation loss between the AP and other AP and the propagation loss between the AP and other STA are almost the same, the shadowing correlation has much effect on the channel reuse pattern formed by IACS-DCA. In this paper, we study the impact of shadowing correlation on IACS-DCA using beacon signal power received from surrounding APs. We show by computer simulation that IACS-DCA using beacon signal can achieve a good signal-to-interference-ratio (SIR) performance similar to IACS-DCA using the actual CCI measurement when shadowing correlation value ρ is more than 0.4.

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

1. はじめに

無線ネットワークでは、利用可能な無線帯域が限られているので、空間的に離れたアクセスポイント(AP)や基地局(BS)が同一チャンネルを再利用しなければならない。同一チャンネルの再利用により発生する同一チャンネル干渉(CCI)が通信品質を制限してしまうため、周辺APに与えるCCIをできるだけ小さくするようにチャン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の設置に伴い干渉環境が変化する。したがって、干渉環境の変化に追従して、周辺APに与えるCCIを常に小さくするように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。しかし、一般には、DCAは集中制御が必要であり、その制御量が膨大[4],[5]であることから実用的ではないと言われていた。

自律分散DCAを用いれば、各APやBSが自律的にチャンネル選択動作を行うため、集中制御が不要となる[6]-[10]。筆者らはこれまで、各APが利用可能なすべてのチャンネルのCCI(周辺APと接続しているSTAからの上りリンクCCI)を周期的に観測し、過去の観測値を用いて平均CCI電力を計算し、平均CCI電力の最小のチャンネルを選択する干渉測定型DCA(IACS-DCA)について検討し、IACS-DCAによって他APに与えるCCIを最小化するチャンネル再利用パターンを自律的に形成できることを示した[11],[12]。

ところで、無線LANでは、APは一定間隔でビーコン信号を報知している。これを利用すれば、ビーコン信号の受信電力をCCIとして利用したIACS-DCAが容易に実装可能である。そこで筆者らは最近、周辺APが報知しているビーコン信号を観測するIACS-DCAの無線LANへの適用について実験的検討を行った[13]。

しかし、本来上りリンクでは自APが周辺APと通信しているSTAから受ける上りCCI電力を、下りリンクでは自STAが周辺APから受けるCCI電力を最小化しなければならない。これらの最小化すべきCCI電力と、周辺APからのビーコン信号の受信電力はパスロス・シャドウイング差によって電力差が生じる。この電力差により、選択されたチャンネルは必ずしも周辺APおよびそれと通信しているSTAに与えるCCIが小さいチャンネルとはならない。

そこで本稿では、周辺APからのビーコン信号電力を観測して棲み分けを行うIACS-DCAのチャンネル再利用パターンに及ぼすシャドウイング相関の影響について検討する。時分割複信(TDD)と直交周波数分割多重(OFDM)[14]を用いる無線ネットワークを想定し、周辺APからのビーコン信号電力を観測してチャンネル棲み分けを行っても、周辺STAからの上りリンクCCI電力測定に基づいてチャンネル棲み分けを行う場合と同等の受信信号対干渉電力比(SIR)特性を達成するチャンネル再利用パターンを形成できることを示している。

本稿の構成は以下の通りである。第2章で、IACS-DCAの動作原理およびビーコン信号の受信電力に基づいて棲み分けを行う場合の問題点を述べる。第

3章でネットワークモデルを示す。第4章では計算機シミュレーション結果を示し、周辺STAからの上りリンクCCI電力測定に基づく棲み分けと周辺APからの下りリンクビーコン信号電力測定に基づく棲み分けを行う場合のSIR特性の比較を行う。第5章でまとめる。

2. IACS-DCA

2.1. IACS-DCAのチャンネル選択動作

図1に、IACS-DCAにおけるAPの動作フローチャートを示す。APは、1-1)瞬時CCI電力を測定する。次に、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し、配下のSTAにAPの使用チャンネルを通知する。APは、一定間隔で1-1)~1-5)の動作を繰り返す。この動作により、APは周辺セルに与える干渉が小さいチャンネルを選択できる。周辺APでは、自APが選択していないチャンネルの優先度が上がるので、自律的にCCIが小さいチャンネル再利用パターンを形成できる。

平均CCI電力の計算には、忘却係数を用いる一次フィルタ[14]を用いる。第 m AP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。

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

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、 $\beta(0 \leq \beta < 1)$ 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)により計算した平均CCI電力が記憶されている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。

$$ch_{use} = \arg \min_{ch \in [0, N_{ch}-1]} \{ \bar{I}_{AP(m),ch}(t-1) \} \quad (2)$$

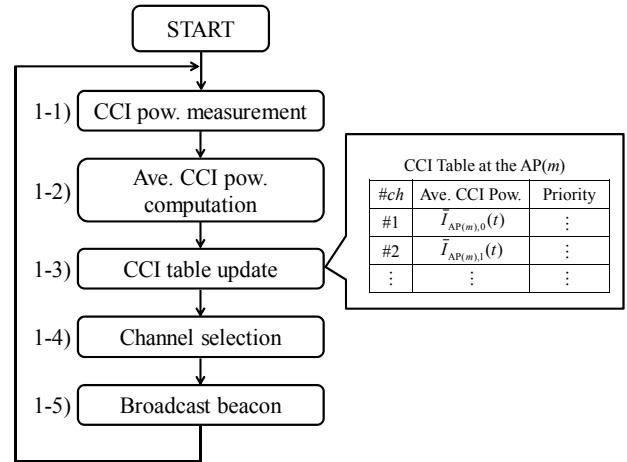


図1 IACS-DCAにおけるAPの動作

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[12]．

2.2. AP が測定すべき CCI 電力

全セルが同期的に上下リンク伝送を行うとき，上りリンクでは自 AP が周辺 AP と通信している STA から受ける上りリンク CCI を，下りリンクでは自 STA が周辺 AP から受ける下りリンク CCI を最小化することが望まれる．そのため，上りリンクでは，自 AP が周辺 AP と通信している STA から受ける瞬時 CCI 電力を測定すべきである．また，下りリンクでは，自 STA が周辺 AP から受ける瞬時 CCI 電力を測定し，それに基づいて IACS-DCA によるチャネル選択を行うべきである．

2.3. ビーコン信号の受信電力に基づく IACS-DCA

ビーコン信号の受信電力を利用した IACS-DCA では，自 AP は周辺 AP からのビーコン信号を観測して，全チャネルの瞬時 CCI 電力を測定する．しかし周辺 AP からのビーコン信号を観測して全チャネルの瞬時 CCI 電力を測定する場合，本来最小化すべき CCI 電力と，周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に電力差が生じ，チャネル再利用パターンの形成に影響を及ぼす可能性がある．上下リンクで最小化すべき CCI 電力と，各 AP で観測される周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に電力差が生じるのは，各 AP と STA 間の伝搬損失差，シャドウイング損失差が原因である．自 AP-他 AP 間の伝搬損失と自 AP-他 AP と通信している STA との間の伝搬損失とはほぼ等しいので，考慮しなければならないのは自 AP-他 AP 間と自 AP-他 AP と通信している STA 間のシャドウイング相関である．

本稿では上りリンクでは自 AP-他 AP 間と自 AP-他 STA 間，下りリンクでは自 AP-他 AP 間と自 STA-他 AP 間のシャドウイング相関が，IACS-DCA におけるチャネル選択に与える影響について議論する．AP と STA 間のシャドウイング相関が高ければ，上下リンクにおいて最小化すべき CCI 電力と，周辺 AP からのビーコン信号の受信電力の差は小さくなると予想される．

3. ネットワークモデル

3.1. システムモデル

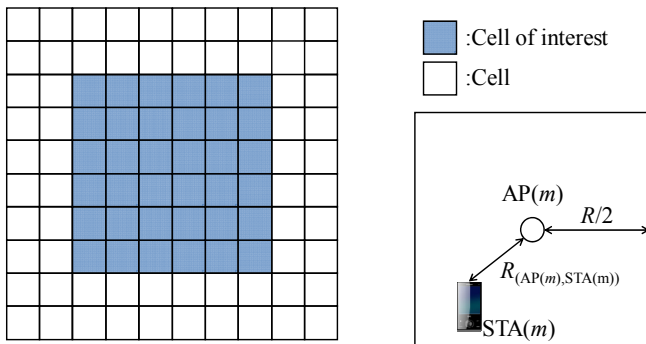


図2 ネットワークモデル

本稿におけるネットワークモデルを図 2 に示す．総セル数 $N_{\text{all}}=100$ 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．各 AP 間距離を R とする．各セルには 1 個の STA が存在しており，セル内に一様分布で発生するとする．全セルで同期して，上下リンク通信が行われる環境を想定する．中心の $N_{\text{int.}}=36$ セル測定対象とし，その周辺の 64 局のセルからの CCI も考慮する．

3.2. 伝搬モデル

送信号は 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 m AP を $\text{AP}(m)$ ， $\text{AP}(m)$ と通信している STA を $\text{STA}(m)$ と定義すると， $\text{AP}(m)$ - $\text{STA}(m)$ 間のチャネルのインパルス応答は次式で表される．

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

ここで， $\tau_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}$ は第 l パスにおける遅延時間， $h_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}$ 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． $\text{AP}(m)$ - $\text{STA}(m)$ 間のチャネルは， $\text{AP}(m)$ - $\text{STA}(m)$ 間距離 $R_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}$ を用いて次式のように表せる[16]．

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

ここで， α は伝搬損失指数である． $\eta_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}$ は $\text{AP}(m)$ - $\text{STA}(m)$ 間におけるシャドウイング損失 (dB) を表す．また， $\tilde{h}_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}$ はフェージングにより変動する複素変数であり， $E[\sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}|^2] = 1$ である $E[\cdot]$ はアンサンブル平均を表す演算子である．上りリンク伝送の場合， $\text{AP}(m)$ における $\text{STA}(m)$ からの瞬時受信電力 $P_{r, \text{AP}(m)}$ は， $\text{STA}(m)$ の送信電力 $\bar{P}_{t, \text{STA}(m)}$ を用いて次式で表せる．

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

ここで， $P_{t, \text{STA}(m)} = \bar{P}_{t, \text{STA}(m)} \cdot R_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{-\alpha}$ および $r_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))} = R_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}/R$ は，それぞれ AP 間距離で正規化した正規化送信電力および正規化距離である．

一方，下りリンク伝送の場合， $\text{STA}(m)$ における瞬時受信電力 $P_{r, \text{STA}(m)}$ は， $\text{AP}(m)$ の送信電力 $\bar{P}_{t, \text{AP}(m)}$ を用いて次式で与えられる．

$$\begin{aligned} P_{r, \text{STA}(m)} &= \bar{P}_{t, \text{AP}(m)} \cdot R_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}|^2 \\ &= P_{t, \text{AP}(m)} \cdot r_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{-\alpha} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}}{10}} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |\tilde{h}_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{(l)}|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで， $P_{t, \text{AP}(m)} = \bar{P}_{t, \text{AP}(m)} \cdot R_{(\text{AP}(m), \text{STA}(m))}^{-\alpha}$ は AP 間距離で正規化した正規化送信電力である．

3.3. シェドウイング相関

本報告では、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 [17]. 例として、AP(m)-AP(n)間のシェドウイング損失 $\eta_{(AP(m),AP(n))}$ と AP(m)-STA(n)間のシェドウイング損失 $\eta_{(AP(m),STA(n))}$ は相関 ρ を用いて次式の関係式で表わされる.

$$\begin{cases} \eta_{(AP(m),AP(n))} = \zeta_0(0, \sigma) \\ \eta_{(AP(m),STA(n))} = \sqrt{1 - \rho^2} \zeta_1(0, \sigma) + \rho \eta_{(AP(m),AP(n))} \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $\zeta_0(0, \sigma)$ と $\zeta_1(0, \sigma)$ は、それぞれ互いに無相関で、平均 0、標準偏差 σ の正規分布に従う変数である. ρ は ($0 \leq \rho \leq 1$) の範囲の値をとるシェドウイング相関値である. シェドウイング相関値 ρ が 1 に近いほど、AP(m) において、STA(n)からの CCI が受けるシェドウイングと、AP(n)からのビーコン信号が受けるシェドウイングの相関が大きいことを示す.

3.4. 瞬時 CCI 電力の測定

本稿では、送信信号および AP が送信するビーコン信号について、サブキャリア数 N_c の OFDM 伝送を仮定する. 上りリンクにおいて、AP(m)の第 ch チャネル ($0 \leq ch \leq N_c - 1$) における第 t タイムスロットの周波数領域受信信号 $Y_{AP(m)}^{(ch)}(t; k)$ ($k=1 \sim N_c - 1$) は次式で表される.

$$\begin{aligned} Y_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) = & \sqrt{2P_{t,STA(m)} \cdot r_{(AP(m),STA(m))}^{-\alpha}} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(AP(m),STA(m))}}{10}} \\ & \cdot H_{(AP(m),STA(m))}^{(ch)}(t; k) \cdot d_{STA(m)}(t; k) \\ & + I_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) + N_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 $H_{(AP(m),STA(m))}^{(ch)}(t; k)$ 及び $d_{STA(m)}(t; k)$ は STA(m)の送信信号及び第 ch チャネルの第 k 周波数における AP(m)-STA(n)間のチャンネル利得である. $N_{AP(m)}^{(ch)}(t; k)$ は AP(m)における雑音成分である. $I_{AP(m)}^{(ch)}(t; k)$ は AP(m)が周辺 STA から受ける上り CCI 成分であり、次式で与えられる.

$$I_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) = \sum_{n=0 \neq m}^{N_{all}-1} \sqrt{2P_{t,STA(n)} \cdot r_{(AP(m),STA(n))}^{-\alpha}} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(AP(m),STA(n))}}{10}} \cdot H_{(AP(m),STA(n))}^{(ch)}(t; k) \cdot d_{STA(n)}(t; k) \quad (9)$$

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.

$$I_{AP(m)}^{(ch)}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| I_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) + N_{AP(m)}^{(ch)}(t; k) \right|^2 \quad (10)$$

下りリンク伝送における STA(m)の第 ch チャネル ($0 \leq ch \leq N_c - 1$) における第 t タイムスロットの周波数領域受信信号 $Y_{STA(m)}^{(ch)}(t; k)$ ($k=1 \sim N_c - 1$) は次式で表される.

$$\begin{aligned} Y_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) = & \sqrt{2P_{t,AP(m)} \cdot r_{(AP(m),STA(m))}^{-\alpha}} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(AP(m),STA(m))}}{10}} \\ & \cdot H_{(AP(m),STA(m))}^{(ch)}(t; k) \cdot d_{AP(m)}(t; k) \\ & + I_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) + N_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、 $d_{AP(m)}(t; k)$ 及び $N_{STA(m)}^{(ch)}(t; k)$ は AP(m)の送信信号及び STA(m)における雑音成分である. $I_{STA(m)}^{(ch)}(t; k)$ は

AP(m)が周辺 STA から受ける下り CCI 成分であり、次式で与えられる.

$$I_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) = \sum_{n=0 \neq m}^{N_{all}-1} \sqrt{2P_{t,AP(n)} \cdot r_{(AP(n),STA(m))}^{-\alpha}} \cdot 10^{-\frac{\eta_{(AP(n),STA(m))}}{10}} \cdot H_{(STA(m),AP(n))}^{(ch)}(t; k) \cdot d_{AP(n)}(t; k) \quad (12)$$

STA(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.

$$I_{STA(m)}^{(ch)}(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| I_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) + N_{STA(m)}^{(ch)}(t; k) \right|^2 \quad (13)$$

3.5. SIR 表現

上りリンク伝送において、式(8)より AP(m)におけるブロック平均瞬時 SIR $\Gamma_{AP(m)}$ は次式によって与えられる [16]. ただし、 $E[|d_{STA(m)}(t; k)|^2] = 1$ を仮定した.

$$\Gamma_{AP(m)} = \frac{2P_{t,STA(n)} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| H_{(STA(m),AP(m))}^{(ch_{use})}(t; k) \right|^2}{\frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| I_{AP(m)}^{(ch_{use})}(t; k) \right|^2} \quad (14)$$

同様に下りリンク伝送において、式(11)より AP(m)におけるブロック平均瞬時 SIR $\Gamma_{AP(m)}$ は次式によって与えられる [16]. ただし、 $E[|d_{STA(m)}(t; k)|^2] = 1$ を仮定した.

$$\Gamma_{STA(m)} = \frac{2P_{t,AP(n)} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| H_{(STA(m),AP(m))}^{(ch_{use})}(t; k) \right|^2}{\frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N_c-1} \left| I_{STA(m)}^{(ch_{use})}(t; k) \right|^2} \quad (15)$$

4. 計算機シミュレーション

各 AP が周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合において、シェドウイング相関がチャンネル選択に与える影響について議論する. 計算機シミュレーション諸元を表 1 に示す. 計算機シミュレーションでは上下リンクが同期された時分割複信(TDD)を仮定する. 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. 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ェドウイングを生成した. このとき、上りリンク伝送において自 AP-周辺 AP 間と自 AP-周辺 STA 間、下りリンク伝送において対象 AP-周辺 AP 間と自 STA-周辺 AP 間のシェドウイングは相関があるものとした. 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 の位置とフェージングは変化しないものとした. は全セルのチャンネルの初期配置は第 0 チャネルを配置して、2000 タイムスロット時点における上下リンクの受信 SIR を測定した. この試行を 900 回繰り返すことで SIR の累積分布関数(CDF)を算出した. 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 の使用チャンネルを更新する.

表 1 計算機シミュレーション諸元

System	No. of channels	$N_{ch}=4$
	No. of STAs per cell	$U=1$
	No. of APs	$N_{ap}=100$
	Channel estimation	Ideal
	No. of subcarriers	$N_c=64$
Channel	Fading	Frequency-selective block Rayleigh
	Power delay profile	Sampling interval-spaced $L=16$ -path uniform
	Time delay	$\tau_{m,(m,u)}^{(l)}=l$ ($l=0\sim L-1$)
	Pass loss exponent	$\alpha=3.5$
	Shadowing loss standard deviation	$\sigma=5.0$ (dB)
IACS-DCA	Forgetting factor of first order filtering	$\beta=0.99$

4.1. 上下リンクの受信 SIR 特性

上りリンク伝送において、周辺 STA から到来する上り CCI 電力に基づいてチャンネル選択をした場合及び周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合の受信 SIR の累積分布関数(CDF)について、シャドウイング相関値 ρ をパラメータとして図 3(a)に示す。同様に下りリンク伝送において、周辺 AP から到来する下り CCI 電力に基づいてチャンネル選択をした場合及び周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合の受信 SIR の累積分布関数(CDF)を図 3(b)に示す。

図 3(a), (b)より、周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択をした場合、シャドウイング相関値 ρ が大きくなるほど上下リンク受信 SIR が向上していることが分かる。 ρ が大きくなると、上りリンクにおいて周辺 AP からのビーコン信号の伝搬路である自セル AP-周辺 AP 間と周辺 STA からの CCI の伝搬路である自セル AP-周辺 STA 間のシャドウイング相関が高くなる。同様に下りリンク伝送において周辺 AP からのビーコン信号の伝搬路である自セル AP-周辺 AP 間と周辺 AP からの CCI の伝搬路である自セル STA-周辺 AP 間のシャドウイング相関が高くなる。そのため、シャドウイング相関値 ρ が大きくなるほど、上下リンクで最小化するべき CCI 電力と周辺 AP からのビーコン信号の受信電力のシャドウイングによる電力差が小さくなる。したがって周辺 AP からのビーコン信号の受信電力を利用したチャンネル選択を行った場合でも CCI が小さいチャンネル再利用パターンを形成でき、SIR が高くなる。また $\rho=0.8$ 程度で、周辺セルから到来する CCI 電力に基づいてチャンネル選択をした場合と周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合の SIR の CDF がほぼ一致した。

4.2. 上下リンクの受信 SIR アウテージ

図 4(a)に上りリンク伝送における周辺 STA から到来する上り CCI 電力に基づいてチャンネル選択をした場合及び周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合のシャドウイング相関値 ρ に対する上り SIR 特性の CDF=0.9 値(90%アウテージ), CDF=0.5 値(50%アウテージ), CDF= 10^{-1} 値(10%アウテ

ージ)を示す。同様に図 4(b)に下りリンク伝送における周辺 AP から到来する下り CCI 電力に基づいてチャンネル選択をした場合及び周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行う場合のシャドウイング相関値 ρ に対する下り SIR 特性の CDF=0.9 値(90%アウテージ), CDF=0.5 値(50%アウテージ), CDF= 10^{-1} 値(10%アウテージ)を示す。

図 4(a), (b)より、上下リンクにおいてシャドウイング相関値 ρ が大きくなるにつれて、CCI 電力に基づいてチャンネル選択した場合とビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル選択した場合のアウテージ SIR の差が小さくなっている。特に $\rho \geq 0.4$ のとき、CCI 電力に基づいてチャンネル選択した場合とビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル選択した場合の上下リンク 90%, 50%, 10%アウテージ SIR の差は高々 1dB である。したがって、 $\rho \geq 0.4$ であれば、ビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル選択を行っても、本来最小化しなければならない CCI の小さいチャンネル再利用パターンを形成出来る。

5. まとめ

本稿では、AP からのビーコン信号の受信電力を利用して CCI 電力測定を行う場合の IACS-DCA において、シャドウイング相関がチャンネル選択に与える影響を議論した。ビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル棲み分けを行った場合、本来最小化しなければならない CCI と周辺 AP からのビーコン信号とのシャドウイング相関値 ρ が低いと、CCI の小さいチャンネル再利用パターンが形成できなくなってしまう。計算機シミュレーションにより、ビーコン信号の受信電力に基づいてチャンネル選択をした場合、シャドウイング相関値 ρ が大きくなるほど上下リンク SIR が向上することを確認した。シャドウイング相関値が $\rho \geq 0.4$ のとき、周辺 AP からのビーコン信号の受信電力に基づくチャンネル選択を行っても、本来最小化しなければならない CCI 電力の測定に基づくチャンネル棲み分けを行う場合とほぼ同等の SIR が得られることを示した。

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, June 1996.
- [2] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, Aug. 2005.
- [3] H. Skalli, S. Ghosh, S. K. Das, L. Lenzi 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] R. W. Nettleton, "A high capacity assignment method for cellular mobile telephone systems," Proc. IEEE 39th Vehicular Technology Conference (VTC1989-Spring), May 1989.
- [5] G. F. Marias, D. Skyrianoglou, and L. Merakos, "A Centralized Approach to Dynamic Channel

Assignment in Wireless ATM LANs,” Proc. 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Infocom’99), Mar. 1999.

- [6] D. Goodman, S. A. Grandhi, R. Vijayan, “Distributed dynamic channel assignment schemes,” Proc. IEEE 43th Vehicular Technology Conference (VTC 1993-Spring), May 1993.
- [7] 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.
- [8] H. Luo and N. K. Shankaran arayanan, “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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 松村祐輝, 天間克宏, 石原浩一, ヒランタ アベ-セーカラ, 熊谷智昭, 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ネルを棲み分け動的チャネル配置の実験的検討,” 信学会ソサイエティ大会, B-5-89, p.452, 2013 年 9 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, 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,” 信学技報, RCS2012-341, pp.339-344, 2013 年 2 月.
- [17] 松村祐輝, 天間克宏, 石原浩一, ヒランタ アベ-セーカラ, 熊谷智明, 安達文幸, “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,” 信学技報, RCS2013-181, pp. 43-48, 2013 年 11 月.

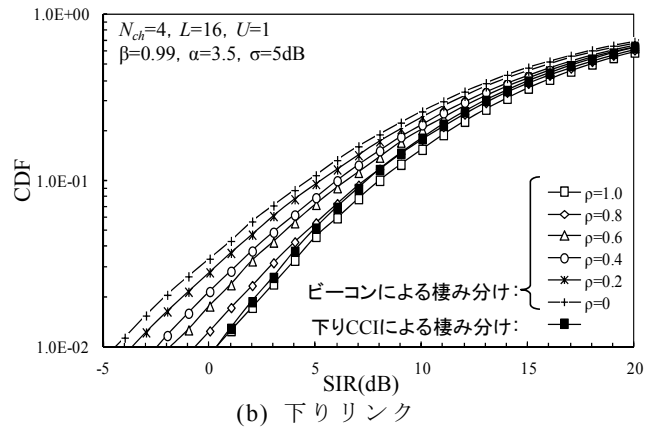
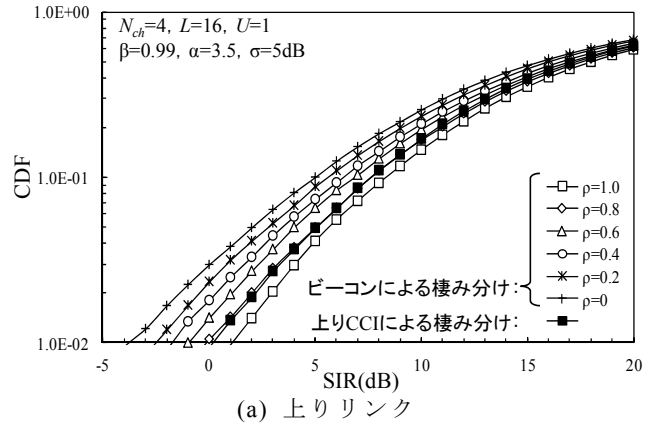


図3 上下リンクの SIR 特性

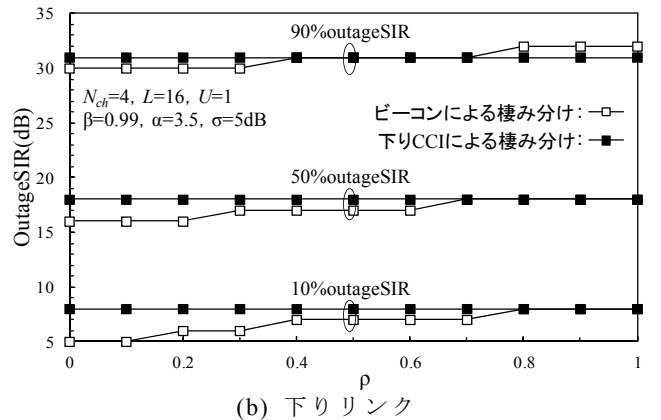
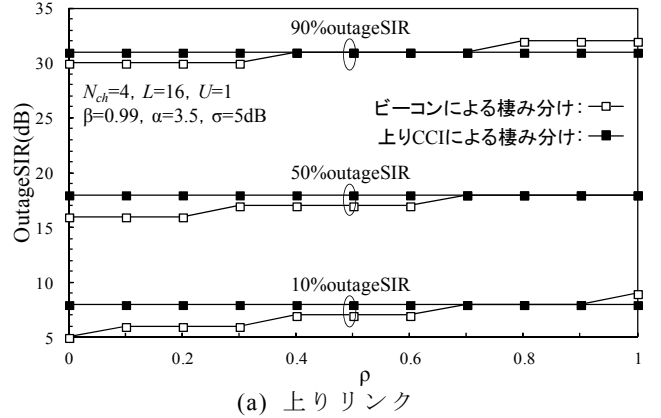


図4 シェドウイング相関に対する上下リンク 10%, 50%, 90%アウトージ SIR