

# WLAN と ZigBee の共存に向けた AP-Assisted CTS-Blocking の評価

佐伯 良光<sup>†</sup> 石田 繁巳<sup>†</sup> 田頭 茂明<sup>††</sup> 福田 晃<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 九州大学大学院システム情報科学府・研究院 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

<sup>††</sup> 関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

あらまし 筆者らは、同一周波数帯を利用する WLAN と ZigBee の共存に向けて容易に構築可能な衝突回避方式の研究を行っている。衝突回避方式の実現に向けては既存の機器をそのまま利用することが必要となることから、OS やハードウェアの改変を必要としないシンプルな方式の実現が重要となる。本稿ではこのような観点で設計された AP-Assisted CTS-Blocking (AA CTS-Blocking) 方式を示す。AA CTS-Blocking 方式では RTS/CTS 方式を応用することで WLAN の通信を抑制し、ZigBee 通信と WLAN 通信の衝突を回避させる。RTS/CTS 方式は WLAN の標準に定められた衝突回避機構であり、所定の手順を踏んで RTS/CTS フレームを送信することで OS やハードウェアの改変を行うことなく WLAN と ZigBee の衝突を抑制することができる。AA CTS-Blocking 方式を適用した ZigBee データ収集システムを実装し、実証評価を通じて AA CTS-Blocking 方式の衝突回避効果を検証した。

キーワード WLAN, ZigBee, 干渉回避, AA CTS-Blocking.

## Evaluation of an AP-Assisted CTS-Blocking aiming at co-existence of WLAN and ZigBee

Yoshiteru SAEKI<sup>†</sup>, Shigemi ISHIDA<sup>†</sup>, Shigeaki TAGASHIRA<sup>††</sup>, and Akira FUKUDA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School/Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

<sup>††</sup> Faculty of Informatics, Kansai University

**Abstract** We are developing a simple collision avoidance system aiming at coexistence of wireless LAN (WLAN) and ZigBee which use a same frequency band. To realize the inter-standard collision avoidance system, it is important to use off-the-shelf wireless modules. We thus require a collision avoidance scheme that requires no modification on OS and hardware. In view of this, we present an AP-Assisted CTS-Blocking (AA CTS-Blocking) system. The AA CTS-Blocking enables us to prevent WLAN communications by applying the RTS/CTS method, which reduces collision between WLAN frames and ZigBee frames. The RTS/CTS scheme is normal process defined in a WLAN standard and requires no modification on OS or hardware. We implemented a data collection system utilizing our AA CTS-Blocking scheme and evaluated a ZigBee frame reception ratio under the WLAN interference.

**Key words** Wireless-Local Area Network (WLAN), ZigBee, Collision Avoidance, Access Point-Assisted Clear to Send-Blocking (AA CTS-Blocking)

### 1. はじめに

現代社会において、無線ネットワークによる通信は生活に不可欠な存在である。特に近年、無線 LAN (Wireless LAN, WLAN) 通信は広く一般に普及している。他方で、別のネットワーク通信として ZigBee が注目されている。ZigBee は IEEE 802.15.4 に準拠した規格であり、WLAN に比べ通信距離が短く通信速度も低速であるが、安価で省電力である。それ故に、ネットワークに繋がれた機器同士が人間を介在せずに通信し、サービスを提供する M2M (Machine to Machine) 技術によく

利用される。M2M の応用範囲は非常に幅広く、多様なサービスを提供可能である。屋内に ZigBee ネットワーク接続されたセンサを配置して、電力やガスの消費量や、温度を最適に自動制御するスマートハウスも M2M の 1 つである。

ネットワーク技術の進歩に伴い人々の暮らしが益々便利になる一方で、通信フレームの衝突による干渉という課題も存在する。例えば、ZigBee センサにより構築されたスマートハウスを利用する場合、屋内に WLAN AP が存在すれば干渉が発生する可能性は高い。これは ZigBee が、WLAN と同じ 2.4GHz 帯を利用するためである。図 1 に、WLAN 及び ZigBee の周波数

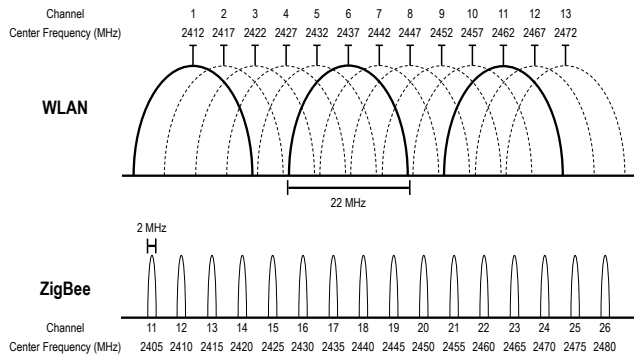


図 1 WLAN 及び ZigBee の周波数チャンネル

チャンネルを示す。ZigBee のすべてのチャンネルは WLAN の複数のチャンネルと重なっており、ZigBee と WLAN の中心周波数が近いところでは相互に干渉が生じることが報告されている [1]。WLAN は ZigBee に比べて 10~100 倍程度送信電力が大きいいため、干渉による通信への影響は ZigBee 側が大きい。

WLAN, ZigBee にはアクセス制御方式として CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) 機構を具備している。しかし、WLAN の CSMA/CA では WLAN のみの通信環境、ZigBee の CSMA/CA では ZigBee のみの通信環境を想定しているため、WLAN 通信と ZigBee 通信が混在した環境において互いの干渉を回避することは困難である。

WLAN 通信と ZigBee 通信が混在した環境内における WLAN と ZigBee の共存を目的とした干渉回避方式として、文献 [2] では WLAN のアクセス制御である RTS/CTS (Request to Send / Clear to Send) 方式を利用した CTS-Blocking が提案されている。図 2 に、CTS-Blocking の概要を示す。CTS-Blocking では、制御 PC から CTS フレームを直接送信することで周囲の WLAN 端末の通信を一時的にブロックする。WLAN 通信において、送信端末以外の端末が CTS フレームを受信すると CTS フレーム内の Duration フィールドに記載された時間だけ送信を控える。CTS-Blocking ではこれを利用して周囲の WLAN 端末の通信を抑制し、WLAN と ZigBee の干渉を回避する。しかしながら、現在の OS・無線 LAN モジュールでは通信の公平性確保の観点から CTS フレームの直接送信が禁止されており、CTS-Blocking の実現に向けてハードウェアや OS の改変が必須となる。また、送信電力制御の影響により CTS フレームの到達範囲が狭くなる可能性があり、隠れ端末問題の影響を受けやすい。

WLAN と ZigBee の共存のためには、ハードウェアや OS を改変することなく、既存のモジュールをそのまま用いて WLAN からの干渉を受けない ZigBee 通信を実現することが重要である。これに向け、筆者らは既存の RTS/CTS 方式をそのまま利用した AP-Assisted CTS-Blocking (AA CTS-Blocking) 干渉回避方式の開発を進めている。本稿では、AA CTS-Blocking 方式について述べ、その有効性の検証に向けた実証評価について報告する。

本稿の構成は以下の通りである。2. では WLAN と ZigBee の共存に向けた干渉回避方式に関する研究について述べ、既存システムの課題を示す。3. では筆者らが提案する AA CTS-Blocking 方式の概要及び設計について示す。4. では AA CTS-Blocking

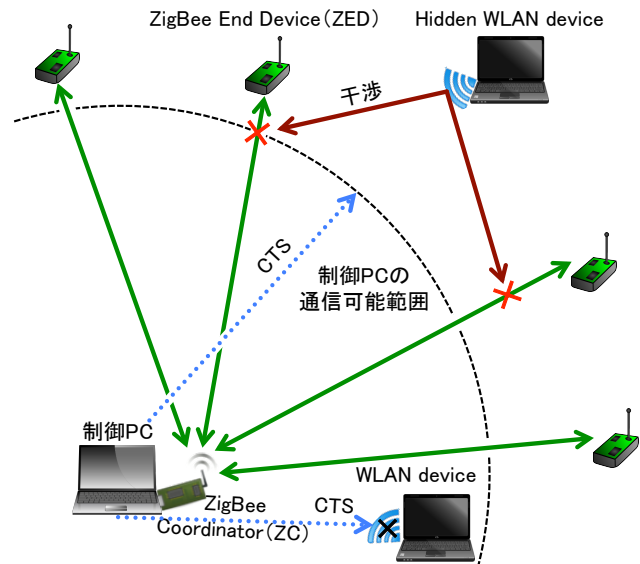


図 2 CTS-Blocking と隠れ端末問題

方式を適用した ZigBee ノードによるデータ収集システムの実装について述べ、5. で WLAN 通信環境下における ZigBee ノードによるデータ収集システムについて、AA CTS-Blocking 方式の有無による通信成功率の差を比較・考察する。最後に 6. でまとめる。

## 2. 関連研究

干渉回避方式に関する研究は膨大に存在するが、大別すると

- (1) WLAN/ZigBee の既存のアクセス制御方式を利用した方式 [2-6]
- (2) 既存のアクセス制御方式以外の技術を利用した方式 [7,8] に分類される。

WLAN の CSMA/CA 機構を利用した干渉回避方式として CBT [3] が挙げられる。CBT では、signaler と呼ばれる ZigBee ノードを WLAN 機器の近くに配置し、ZigBee 通信時に signaler から長いフレームを送信することで WLAN 端末に ZigBee が通信状態にあることを通知する。WLAN 端末では signaler の送信信号により CSMA/CA 機構が働き、送信が抑制されるため WLAN と ZigBee の衝突を回避できる。しかしながら、スマートフォンなどの移動体も含めて考えると全ての WLAN 機器の近くに signaler を配置することは非現実的である。

また、村田ら [4] は干渉の原因を ZigBee の aTurnaround-Time (送受反転時間) が通信アイドル時の待機時間である DIFS (DCF Inter Frame Space) よりも長いことと捉え、DIFS を拡大する方式を提案している。DIFS を aTurnaroundTime に比べ長くすることで衝突を回避する。しかしながら、DIFS を拡大するためには予め AP にアクセスして設定しなければならず、実現のためには周囲の AP 全てを管理下に置かなければならない。

ZigBee が準拠している IEEE 802.15.4 のビーコンモードによるアクセス制御を利用した干渉回避方式も提案されている [5]。Dynamic GTS では、ビーコンモードの 1 つである ZigBee ノードに Guaranteed Time Slot (GTS) を割当て優先的に通信で

きる期間 CFP (Contention Free Period) を利用し、この CFP を拡大することで衝突を回避する。CFP の拡大は、GTS を動的に配置しそのピーコンを検知した WLAN 端末が CTS フレームを送信することで達成可能である。しかしながら、1. で示した CTS-Blocking と同様にハードウェアや OS の改変が必須である点、隠れ端末問題の影響を受けやすい点が問題である。CACCA [6] においても同様の問題が考えられる。

既存のアクセス制御方式以外の技術を利用した方式として、無線通信の通信空き時間を有効活用して通信を行うための「White Space」技術を応用した干渉回避方式が提案されている [7]。WISE では、WLAN 通信における White Space を予測し、その White Space 内で通信が完了するように ZigBee フレーム長の動的制御を行う。例えば、WLAN 通信の混雑時には予測される White Space の長さは短くなるため、ZigBee ノードにおいてデータを分割して送信する。これにより、ZigBee フレームが WLAN 通信によって破壊される確率を低減させることが可能となる。しかしながら、WLAN 通信が混雑している時には WLAN 通信の空き時間が少ないために White Space の予測が外れ、通信が衝突する確率が高くなる。

フレーム衝突について分析し、分析結果を干渉回避方式とした研究もある。BuzzBuzz [8] では、WLAN と ZigBee のフレーム衝突により通信が阻害される原因として IEEE 802.15.4 フレームのヘッダが破壊されることと捉え、ヘッダを 2 重にして送信することで ZigBee のパケットロス率を減少させている。BuzzBuzz はこれまでに紹介した関連研究群とは違い、既存の方式やモジュールの改造及び特別なハードウェア等の利用が必要なく、干渉回避方式の構築コストについて考慮されている。これは、本稿で提案する AA CTS-Blocking 方式とは違うアプローチで ZigBee の通信を保証しており、AA CTS-Blocking と組み合わせることさらなる干渉回避効果が期待される。

### 3. AP-Assisted CTS-Blocking

WLAN AP は、WLAN 端末に比べ送信電力が大きく、RTS/CTS 制御方式においても利用されるため、これを利用して干渉回避方式である AP-Assisted (AA) CTS-Blocking を提案する。

#### 3.1 概要

図 3 に、AA CTS-Blocking 方式の概要を示す。本システムは、環境内に配置された複数の ZigBee End Device (ZED) 及び ZigBee ネットワーク制御を行う ZigBee Coordinator (ZC)、制御 PC から構成される。ZigBee 基地局と制御 PC は有線接続されている。AA-CTS Blocking では、周辺にある WLAN AP から CTS フレームを送信させることで WLAN 通信をブロックし干渉の影響を低減した ZigBee ノード間の通信を実現する。

図 4 に AA CTS-blocking 方式の通信シーケンスを示す。制御 PC は、あらかじめ周囲に存在する WLAN AP のビーコンフレームを受信し、チャンネル、受信信号強度 (RSSI) 等を収集しておく。ZigBee ノード間の通信を行う場合、まず (1) 制御 PC は AP を 1 つ選択し、(2) 制御 PC は選択した AP に向けて RTS フレームを送信する。次に (3) RTS フレームを受信した AP は周囲の WLAN 端末に向け CTS フレームをブロードキャストする。CTS フレームを受信した WLAN 端末は CTS フ

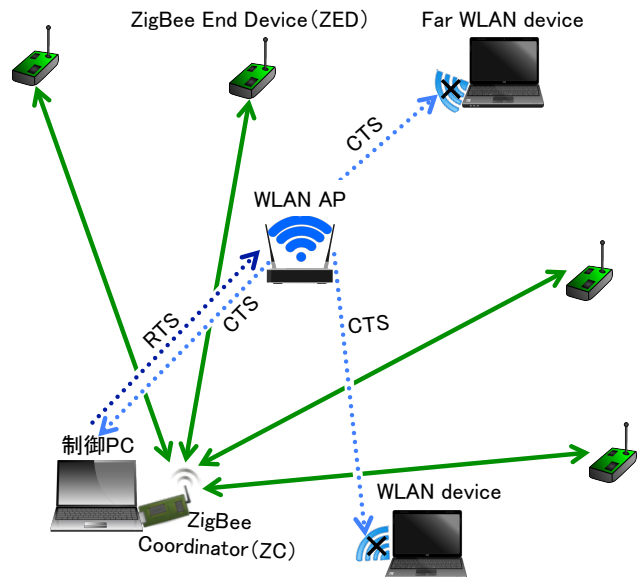


図 3 AA CTS-Blocking

レーム内の Duration フィールドに記載された時間だけ送信を控えるため、WLAN 通信が一時的にブロックされる。WLAN 通信ブロック期間がスタートした時、(4) CTS フレームを受信した制御 PC は、有線接続された ZC に向けて通信開始信号を送信することで ZigBee ノード間の通信を開始する準備が整う。ZigBee ノード間の通信は ZC を用いた制御により WLAN 通信ブロック期間内に完了させる。

このような AA CTS-Blocking を実現する上では 2 つの疑問が生じる。

- (1) RTS 送信先 AP をどのように選ぶか

実環境には多くの WLAN AP が存在するため、制御 PC は RTS の送信先 AP を選択する必要がある。3.2 において、周囲に存在する WLAN AP のビーコンフレームを用いた AP 選択アルゴリズムを示す。

- (2) WLAN 通信ブロック期間において、ZigBee ノード間通信をどのようにスケジューリングするか

WLAN 通信ブロック期間は有限であるため、ZigBee ノード間で通信の衝突が起きないようにアクセス制御を行う必要がある。3.3 において、1 台の ZC と複数の ZED との通信におけるスケジューリング手法を検討する。

#### 3.2 AP 選択アルゴリズム

AA CTS-Blocking においては、RTS フレームの送信先 AP の選択は干渉回避性能に大きな影響を及ぼす。例えば、制御 PC の通信可能範囲ギリギリの位置に存在する AP を選択した場合 RTS フレームが AP に届かない可能性や AP からの CTS フレームを受信できない可能性がある。RTS フレーム送信先 AP の選択を最適化することにより、より確実に多くの WLAN 通信をブロックできる。

本研究では AP と制御 PC の物理的距離が重要になると考え、位置推定 [9] などにも用いられる RSSI を AP 選択アルゴリズムのキーとして採用した。RSSI の取得は特殊なパラメータや追加のデバイスを必要とせず、既存の AP から発せられる WLAN フレームを受信するだけで収集可能である。図 3 に示すように制御 PC が ZC に有線接続されており、ZED は ZC を

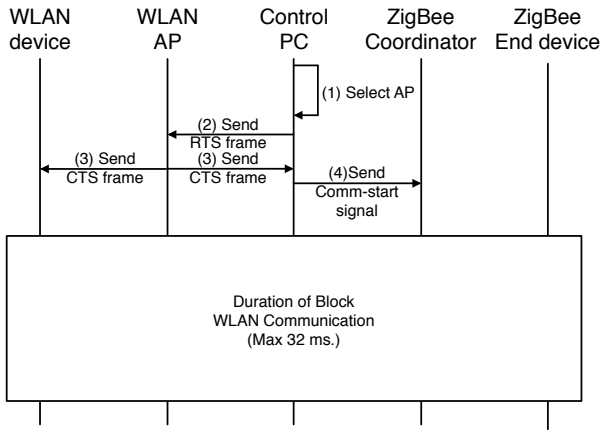


図 4 AA CTS-blocking 方式の通信シーケンス

中心に周囲に配置されていることも考慮に入れると、制御 PC 周辺の WLAN 通信をブロックすることが非常に有効であるとえられる。

### 3.3 スケジューリング手法

AA CTS-Blocking 方式においては、ZigBee ノード間の通信は AP から送信された CTS フレーム内の Duration フィールド（最大値は 32 ms [10]）に記載された時間内に終了させる必要がある。ZED の台数が増えた場合通信回数が増え、1 回の RTS/CTS 送信での通信が難しくなるため、スケジューリング等のアクセス制御方式が必須となる。

これに向け、本研究では既存の MAC プロトコルを利用する。MAC プロトコルは種類を問わず利用可能である。ZED の台数が 32 ms 間で通信できない台数に増加した場合には、ZED をグループ化し、ZC からの制御によって RTS/CTS の 1 回の送信に対して 1 グループに通信を許可すれば良い。ただし、グループ間での通信に関しては問題が残る。これについては今後の研究課題とする。

一例として、TDMA (Time Division Multiple Access) 方式の MAC プロトコルを利用する場合、3.1 で示した ZigBee ノード間の通信シーケンス部分は以下のようにすれば良い。制御 PC から通信開始信号を受信した ZC は、周囲の ZED へデータ要求フレームをブロードキャストする。データ要求フレームを受け取った ZED は、データ要求フレームを Slot 同期信号として Time Slot を用いたアクセス制御を開始し、ZED 毎にあらかじめ定められた Slot において ZC に対してデータフレームを送信する。

## 4. 実装

AA CTS-Blocking 方式の動作の実証と基本性能の評価に向け、PC 及び ZigBee ノード用いて、AA CTS-Blocking を適用した ZigBee ノードによるデータ収集システムを実装した。データ収集システムの概要を図 5 に示す。ZC を中心とするスタートボロジのネットワークを構築し、各 ZED から ZC にデータを収集する。WLAN 通信ブロック期間における ZigBee ノード間の通信は TDMA 方式のスケジューリングを行い、各 ZED 毎に定められた Time Slot を設けた。Time Slot は ZED の Node ID と対応付けており、最大の Time Slot でも WLAN 通信ブロック期間を超えないように定めた。

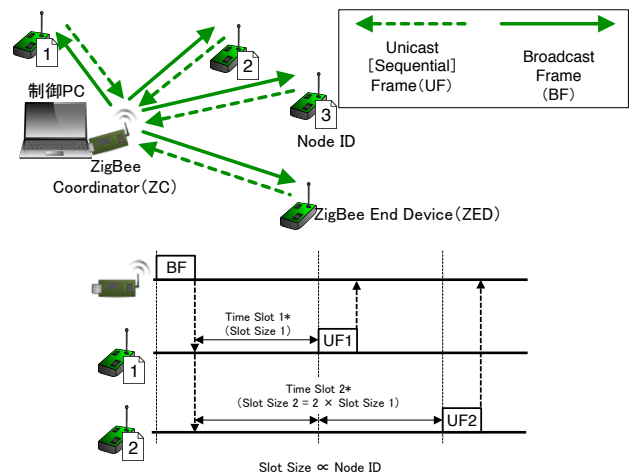


図 5 ZigBee ノードによるデータ収集システム

制御 PC から通信開始信号を検出した ZC は周囲の ZED に向けて Broadcast Frame (BF) を送信する。BF を受信した ZED は、BF を Slot 同期信号として ZED 毎に定められた Time Slot に従い、Slot Size の時間だけ待機する。Slot Size の時間が経過した後、ZED は ZC の Node ID を送信先アドレスとして Unicast Frame (UF) を送信する。

ZC 及び ZED に用いた ZigBee ノードは、日本国内で入手しやすくセンサノードとして一般的な Crossbow 社の MICAz MPR2600J [11] を用いた。MICAz への実装には、センサネットワークノード向けのイベント駆動 OS としてオープンソースで開発されている TinyOS を用いた。

制御 PC は Debian GNU/Linux の動作する dynabook UX/28LWHEM を用いた。制御アプリケーションは C 言語で実装した。モニターモードの無線 LAN インタフェースを用い、libpcap ライブラリを利用することで環境中に流れるフレームを傍受し、RTS/CTS フレームのキャプチャを行う。また、RTS フレームの送信にも libpcap ライブラリを利用した。

RSSI による AP 選択アルゴリズムにおいても libpcap ライブラリを利用した。制御アプリケーションの開始時に Radiotap ヘッダが付加された IEEE 802.11 ビーコンフレームを 1.5 秒間収集した。収集したフレームを解析し、RSSI がもっとも大きい AP を RTS 送信先として選択した。

## 5. 評価

提案する AA CTS-Blocking 方式の有効性を検証するために評価実験を行った。まず、予備実験を行ってデータ収集システムを動作させるパラメータである Slot Size を決定した。次に、AA CTS-Blocking 方式が WLAN の混雑度に関わらず高い干渉回避効果を有することを示すために、ZigBee 通信の成功率の評価を行った。

### 5.1 予備実験

4. で述べた Time Slot の Slot Size を決定するために、データ収集システムの予備実験を行った。適切な Slot Size 決定に向けては、ZigBee ノード間の通信を保証した上で通信が失敗しないことを確認する必要があるため、予備実験では電波暗箱内でデータ収集システムの動作を評価した。図 6 に、電波暗箱



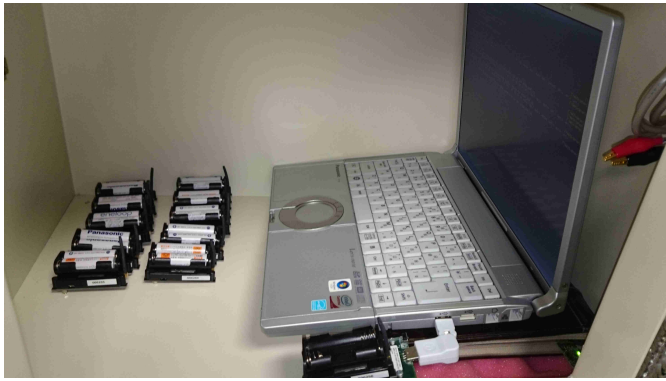


図 6 電波暗箱内の様子

内に配置したデータ収集システムを示す ZigBee ノード間で送受信するデータは、サイズの変化による影響をなくすため送信元アドレス及びシーケンス番号のみが記録されたダミーデータとした。サイズはヘッダを含めて 18 バイトと一定である。18 バイトのデータ送信に要する時間は、ZigBee の公称通信速度 250 kbps [12] から計算すると 0.576 ms である。

本システムにおける Slot Size は、データの送信時間に加えて MICAz が送受信の切り替えに要する時間及びガード時間を含めたものを想定している。ZC は全 10 台の ZED からダミーデータを収集する。予備実験ではデータ収集の試行を 200 回行った。4. で述べた通り、ZigBee ノード間の通信時間が最大 32 ms であり、データの送信時間が 0.576 ms であることを考慮に入れ、Slot Size を 1 ms～3 ms で変化させながらデータ収集予備実験を行った。このとき Packet sniffer を用いてエラーパケットの有無を監視し、通信成功台数を測定した。通信成功台数とは、1 回のデータ収集試行で ZED が ZC へ送信成功した台数であり最大値は 10 台である。200 回試行中の ZED の延べ通信成功台数を 200 回試行中 ZED が全て通信成功した台数である 2000 で割り通信成功率に変換した。

結果、Slot Size 1 ms では 49.8%であったのが 2 ms では 99.95%, 3 ms では 99.93%と 100%に限りなく近い値となった。Slot Size は短いほど WLAN 通信ブロック期間に対し余裕が持てるため、本評価実験では Slot Size=2 ms と決定した

## 5.2 評価環境

3. で示した AA CTS-Blocking の有効性を検証する評価として、WLAN 通信環境下において 4. で実装したデータ収集システムを動作させる通信実験を行った。実験環境として、WLAN ネットワークが多く存在する筆者の研究室を選択した。図 7 に実験環境の概略を示す。研究室内に 10 台のノードを分散して配置する。WLAN ネットワーク側には 5 台の WLAN 端末を用いて通信させ、約 5 Mbps の通信負荷を常時発生させた。通信負荷値の測定にはパケット解析ツールである Wireshark を用いた。評価実験の際には、WLAN の平均トラフィックが大幅に変化しないことを確認した。

ZigBee 通信時間は Duration フィールドの最大値 32 ms を参考に、30 ms を確保した。本実験では、4. で実装したデータ収集システムの通信シーケンスを利用して全 10 台のノードからダミーデータを収集する動作を 1 サイクルと定義する。1 サイクルの周期は 200 ms とし、データ収集を 1000 サイクル実施

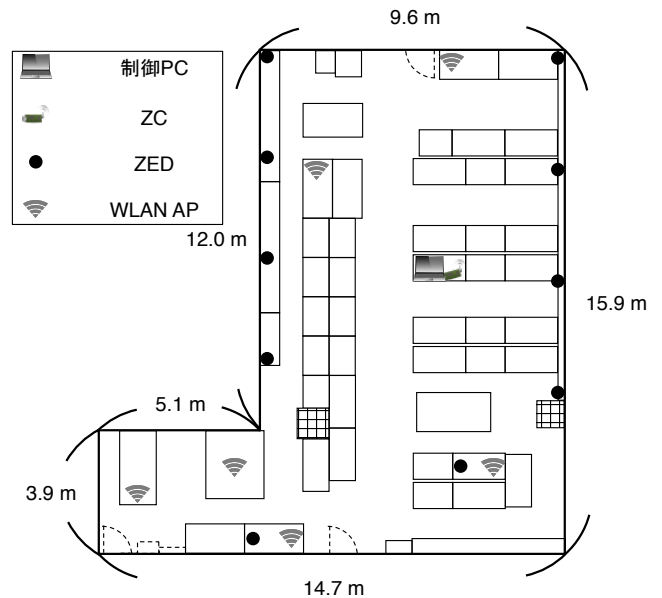


図 7 実験環境の概略

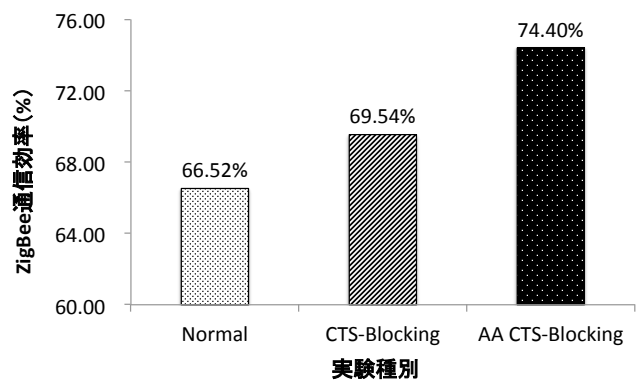


図 8 ZigBee 平均通信成功率

した。

比較対象として、(A) Normal: 何もせずに ZigBee 通信を行った場合、(B) CTS-Blocking: 制御 PC から周囲の WLAN 端末へ直接 CTS を送信した場合、(C) AA CTS-Blocking: 制御 PC から AP へ RTS を送信した場合のそれぞれについて実験を行った。

評価には 2 つの軸を設けた。1 つ目の軸ではマクロな ZigBee 通信成功率を知るために、1000 サイクル全体での ZED の平均通信成功台数を評価した。通信成功台数は 5.1 での定義と同様に、1 回のデータ収集サイクルで ZED が ZC へ送信成功した台数であり最大値は 10 台である。2 つ目の軸では、ミクロな ZigBee 通信成功率を知るために、1 サイクル毎の ZED の通信成功台数を評価した。

## 5.3 マクロな ZigBee 通信成功率の比較

図 8 に、実験種別 (A) Normal, (B) CTS-Blocking, (C) AA CTS-Blocking の場合における ZigBee 通信効率を示す。縦軸の ZigBee 通信効率は、1000 サイクル中の ZED の延べ通信成功台数を最大の総通信成功台数で除した百分率である。図 8 より、以下の 2 つのことがわかる。

(1) (C) AA CTS-Blocking は (A) Normal に比べ、通信効

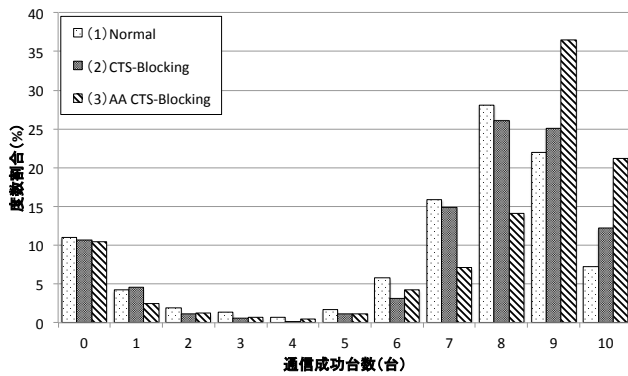


図9 サイクル毎の ZigBee 通信成功台数分布

率が向上している。(C) AA CTS-Blocking と (A) Normal では約 8 % 程度の差がある。これは、WLAN 通信をブロックしない状況に比べて AA CTS-Blocking 方式による WLAN 通信のブロック効果が大きく出ているためであると考えられる。

(2) (C) AA CTS-Blocking は (B) CTS-Blocking に比べ、通信効率が向上している。(C) AA CTS-Blocking と (B) CTS-Blocking では約 5 % 程度の差がある。これは、制御 PC よりも送信電力の大きい AP に CTS フレームを送信させていることに加え、RSSI による AP の選択アルゴリズムが、AA CTS-Blocking による周辺の WLAN 通信のブロック効果を強め CTS-Blocking の問題点であった隠れ端末問題が改善されていると考えられる。

以上より、AA CTS-Blocking による通信成功台数は平均的に向上していることが確認できた。

#### 5.4 ミクロな ZigBee 通信成功率の比較

5.3 では、AA CTS-Blocking 手法によりマクロな ZigBee 通信成功率が向上したことを示したが、平均だけでは ZED の通信成功台数が 1 サイクル毎にどう変化しているかは確認できない。そこで、局所的な ZigBee 通信成功率も AA CTS-Blocking 手法で向上できることを検証するために、各サイクルにおける通信成功台数を評価した。

図 9 に、実験種別 (A) Normal, (B) CTS-Blocking, (C) AA CTS-Blocking の場合におけるサイクル毎の ZigBee 通信成功台数分布を示す。縦軸の度数割合は、1000 サイクル中における ZED の各通信成功台数のサイクル数を、1000 サイクルで除した百分率である。図 9 より、以下の 2 つのことがわかる。

(1) 通信成功台数が 5 台以下の度数割合は、(A) Normal, (B) CTS-Blocking, (C) AA CTS-Blocking であまり変化がない。これは、AA CTS-Blocking 方式を適用しても WLAN 通信をブロックする効果をなさないほど WLAN 通信が混雑していたと考えられる。

(2) (C) AA CTS-Blocking は (A) Normal, (B) CTS-Blocking に比べて通信成功台数が 7 台、8 台の時の度数割合が大幅に減少しており、代わりに 9 台、10 台の時の度数割合が大幅に増加している。これは、(A) Normal, (B) CTS-Blocking を利用した場合では WLAN 通信による干渉で ZigBee ノード間通信が失敗していた場合が、AA CTS-Blocking 方式を利用することで成功するためと考えら

れる。

以上より、AA CTS-Blocking による通信成功台数の変化は、1000 サイクルの平均といったマクロな視点だけでなく 1 サイクル毎といったミクロな視点でも改善していることが確認できた。

## 6. おわりに

本稿では、WLAN と ZigBee の共存に向けた AA CTS Blocking 方式を示した。AA CTS Blocking を利用したデータ収集システムを実装し、実証評価を通じて AA CTS Blocking の有効性を検証した。この結果、既存手法よりも通信成功率を 5 % 改善できることを確認した。今後、通信成功率のさらなる向上に向けた RTS 送信先 AP の選択手法を検討する予定である。

## 文 献

- [1] K. Shuaib, M. Boulmalf, F. Sallabi, and A. Lakas, "Co-existence of Zigbee and WLAN, a performance study," Proc. IEEE Wireless Telecommunications Symposium (WTS), pp.1-6, April 2006.
- [2] J. Hou, B. Chang, D.-K. Cho, and M. Gerla, "Minimizing 802.11 interference on Zigbee medical sensors," Proc. Int. Conf. Body Area Networks (BodyNets), pp.1-8, April 2009.
- [3] X. Zhang and K.G. Shin, "Enabling coexistence of heterogeneous wireless systems: Case for ZigBee and WiFi," Proc. MobiHoc, pp.1-11, May 2011.
- [4] 村田亮介, 高木洋介, 小川将克, 奥川雄一郎, 高谷和宏, 秋山佳春, "無線 LAN と ZigBee 間の干渉回避方式の実験評価," 信学技報, pp.49-53, モバイルネットワークとアプリケーション研究会 (MoNA2013-57), Jan. 2014.
- [5] M.L. Huang and S.-C. Park, "A WLAN and ZigBee coexistence mechanism for wearable health monitoring system," Proc. Int. Symp. Communications and Information Technology (ISCIT), pp.555-559, Sept. 2009.
- [6] L. Tytgat, O. Yaron, S. Pollin, I. Moe rman, and P. Demeester, "Avoiding collisions between IEEE 802.11 and IEEE 802.15.4 through coexistence aware clear channel assessment," EURASIP J. Wireless Communications and Networking, vol.2012, no.137, pp.1-15, April 2012.
- [7] J. Huang, G. Xing, G. Zhou, and R. Zhou, "Beyond coexistence: Exploiting WiFi white space for ZigBee performance assurance," Proc. IEEE Int. Conf. Network Protocols (ICNP), pp.305-314, Oct. 2010.
- [8] C.-J. Liang, N.B. Priyantha, J. Liu, and A. Terzis, "Surviving Wi-Fi interference in low power ZigBee networks," Proc. ACM SenSys, pp.309-322, Nov. 2010.
- [9] 和泉 晃, 三輪直樹, 田頭茂明, 荒川 豊, 福田 晃, "ネットワーク側測位における端末固有の RSSI の特性を用いた測位精度向上手法の提案," 信学技報, pp.1-6, モバイルマルチメディア通信研究会 (MoMuC2012-40), March 2013.
- [10] IEEE Standards Association, "IEEE standard for local and metropolitan area networks — specific requirements: Part 11 (IEEE 802.11-2007)," June 2007. <http://standards.ieee.org/>.
- [11] 住友精密工業, "無線センサネットワーク MOTE ZigBee 無線タイプ・センサネットワーク MICAz". <http://www.xbow.jp/zigbee-smartdust.html>.
- [12] IEEE Standards Association, "IEEE standard for local and metropolitan area networks — specific requirements: Part 15.4 (IEEE 802.15.4-2006)," Sept. 2006. <http://standards.ieee.org/>.