

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

佐伯 良光[†] 石田 繁巳[†] 田頭 茂明^{††} 福田 晃[†]

[†] 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

^{††} 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、同周波数帯を利用する WLAN と ZigBee の同空間における共存に向けて容易に構築可能な衝突回避システムの研究を行っている。衝突回避システムにおいては通信の公平性確保の為、システム改変に多くの制約がある。このような観点から、既存の方式を活用する、フレームを二重に送信する等、システム改変の制約にあたらなないシンプルなシステム構築が重要となる。本稿では ZigBee ネットワークが無線 LAN (WLAN) から受ける干渉の影響を軽減するための AP-Assisted CTS-Blocking (AA CTS-Blocking) を示す。AA CTS-Blocking 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。AA CTS-Blocking を用いた干渉回避システムを実装し、実証評価を通じて ZigBee ネットワークの通信エラー率を評価する。

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[†], Shigemi ISHIDA[†], Shigeaki TAGASHIRA^{††}, and Akira FUKUDA[†]

[†] Graduate School/Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

^{††} Faculty of Informatics, Kansai University

Abstract The authors readily configured toward the coexistence in the same space of the WLAN and ZigBee utilizing the same frequency band. You are conducting research on dating possible collision avoidance system. Because in the collision avoidance system of fairness ensure communication, there are a number of constraints on the system modification. Etc. from this point of view, to use the existing access control system, to double the header packet, Simple system construction that does not hit the constraint is important. This paper is to reduce the effects of interference ZigBee network receives from a wireless LAN (WLAN) is AP-Assisted CTS-Blocking. I show the (AA CTS-Blocking). AA CTS-Blocking inhibits communication of the WLAN by applying the RTS / CTS method, a ZigBee communication I to avoid the collision of WLAN communication. Implements the collision avoidance system using AA CTS-Blocking, and ZigBee network through empirical evaluation I evaluate the communication error rate.

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

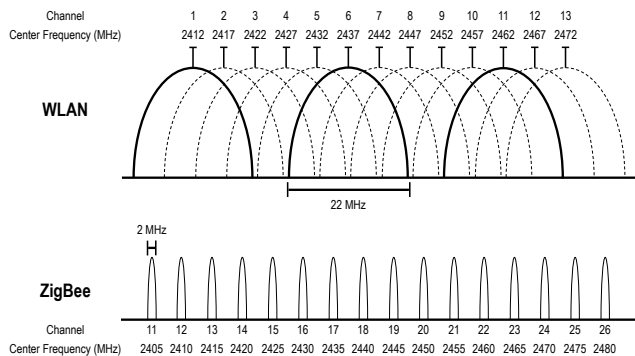


図 1 WLAN 及び ZigBee の周波数チャンネル

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 [1] 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、干渉されない ZigBee 通信をハードウェアや 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

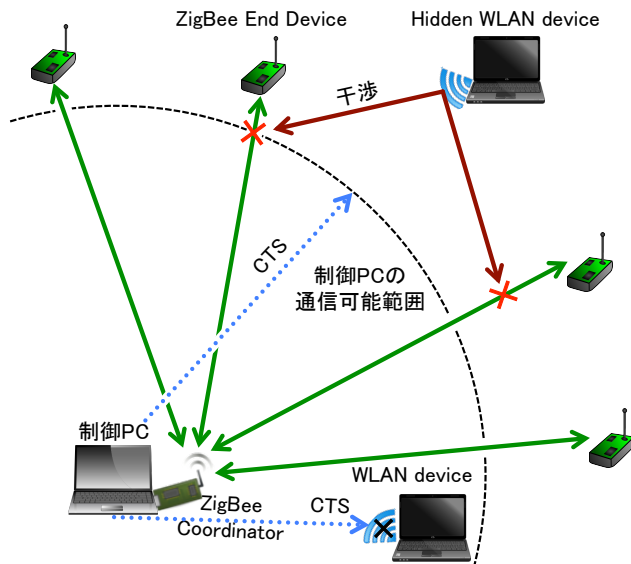


図 2 CTS-Blocking と隠れ端末問題

方式の概要及び設計について示す。4. では AA CTS-Blocking 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. でまとめとする。

2. 関連研究

筆者らの調査の範囲では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]~[9]

に分類される。本節ではこれらの研究について紹介を行う。

WLAN のアクセス制御方式、CSMA/CA を利用した干渉回避方式の提案について示す。CBT [3] では、CSMA/CA を用いて、WLAN 端末に ZigBee 通信が開始されることを知らせ ZigBee ノード間で通信が行われる間 WLAN 端末のデータ送信を控えさせることにより、WLAN と ZigBee のフレーム衝突を回避する。しかしながら、構築には全 WiFi 端末の近くに signaler と呼ばれる ZigBee ノードを配置する必要があるため、モバイル WLAN 端末に対して非現実的である。

別の WLAN のアクセス制御方式である DCF (Distributed Coordination Function) を利用した干渉回避方式も提案されている。村田ら [4] は干渉の原因を ZigBee の aTurnaroundTime (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。Dynamic GTS [5] 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ビーコンを検知した 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、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。

次に、アクセス制御以外の技術を利用した方式の紹介に移る。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。WISE [7] 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。Adaptive Interference-Aware Multi-Channel Clustering Algorithm [8] においても同様の問題が考えられる。

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 [9] 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不要なく、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で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物理的に大きく、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。本節では、AA CTS-Blocking の概要を示し、構築のための課題について検討する。

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 方式を実現するための通信シーケンスを示す。制御 PC は、予め周囲に存在する WLAN AP の

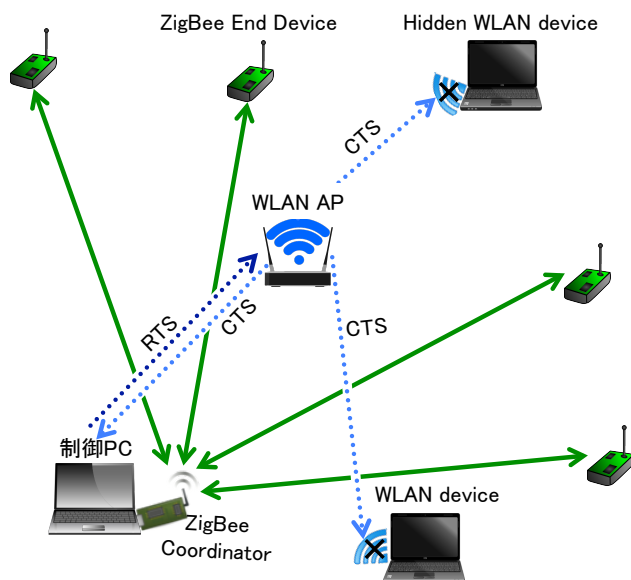


図 3 AA CTS-Blocking

ビーコンフレームを受信し、チャネル、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 の通信可能範囲内にない AP を選択した場合 RTS フレームが届かないため無意味である。RTS フレーム送信先 AP の選択を最適化することにより、より多くの WLAN 通信をブロックできる。AP と制御 PC の物理的距離が重要になると考え、位置推定 [10] などにも用いられる RSSI を AP 選択アルゴリズムの

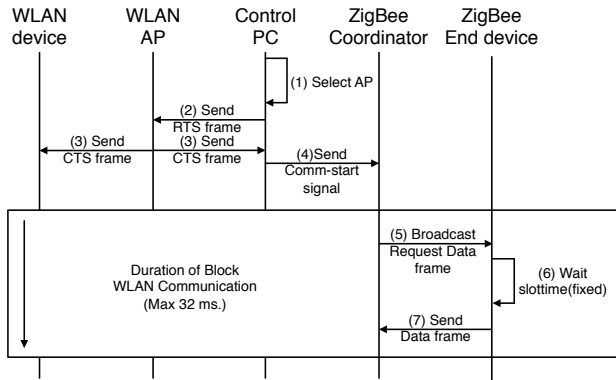


図 4 AA CTS-blocking 方式の通信シーケンス

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 フレームから収集可能である。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考えられる。

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 [11]）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 キャストあたりの制約が厳しくなるため、スケジューリング等のアクセス制御方式がなければフレーム衝突等が起きやすくなる。

しかし、既存の MAC プロトコルを利用すればこの問題は解決する。32 ms 程度ではあるが一定の通信時間を確保できるためである。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おいても、各 ZED にノード番号を与え通信タイミングを制御することでフレーム衝突は大幅に減少すると考えられる。このスケジューリングに関しては、MAC プロトコルの種類は問わず、どの手法でも適用可能である。

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。通信開始信号を検出した ZC は、周囲の ZED ヘ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、ZED 毎に定められた 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 ヘ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。本システムでは、代表的な ZigBee ネットワークトポロジーの中でも最も低コストな、スター型を採用した。ZED のスケジューリングとして TDMA 方式を採用し、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。

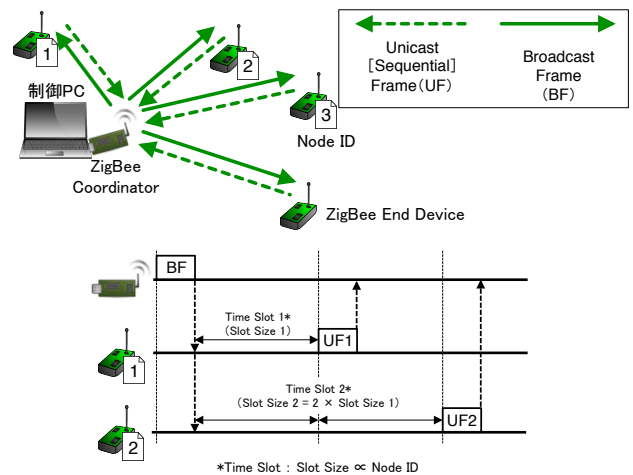


図 5 ZigBee ノードによるデータ収集システム

以下にデータ収集システムの動作を示す。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 [12] 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の傍受が可能であるため、RTS/CTS フレームのキャプチャを行う。ソケットライブラリを用いることで RTS フレームの送信、CTS フレームの受信を可能としている。

RSSI による AP 選択アルゴリズムにおいても同様に、モニターモードの無線 LAN インタフェースを用いて Radiotap ヘッダが付加された IEEE 802.11 MAC フレームを受信し、周囲の AP の RSSI を 1.5 秒間収集する。収集した情報から、RSSI がもっとも大きい AP を選択するものとした。

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、予備実験を行って具体的に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、評価実験の試行回数の平均及び分散による評価を行った。

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。Slot Size 決定のためには、他の電波の影響がない環境でデータ収集システムの動作を

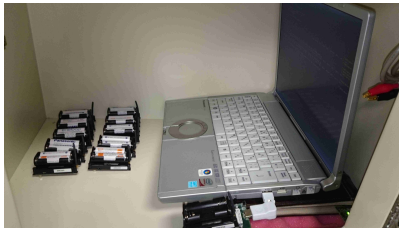


図 6 電波暗箱内の様子

評価する必要がある。このため、電波暗箱を評価環境として選択し、図 6 に示すように電波暗箱内にデータ収集システムを配置した。ZED から ZC へ送信するデータは、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 バイトのデータを送信するのにかかる時間は、ZigBee の公称通信速度 250 kbps [13] から計算すると 0.576 ms となる。本システムにおける Slot Size はデータの送信時間に加え、MICAz の処理時間たる送受反転時間及びガード時間を含めたものを想定している。採用する Slot Size では ZC のデータ収集率が 100% になるものを選択する必要がある。ZC は全 10 台の ZED からダミーデータを収集する。予備実験では異常値を排除するため、データ収集の試行を 200 回行うこととする。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ると、Slot Size として適しているのは 1 ms～3 ms の場合である。これについて Slot Size 別にデータ収集予備実験を行った。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する。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、スロットサイズ 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。スロットサイズは短いほど有利であるため、2 ms とした。

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、RTS/CTS フレームを利用して全 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 サイクル実施した。

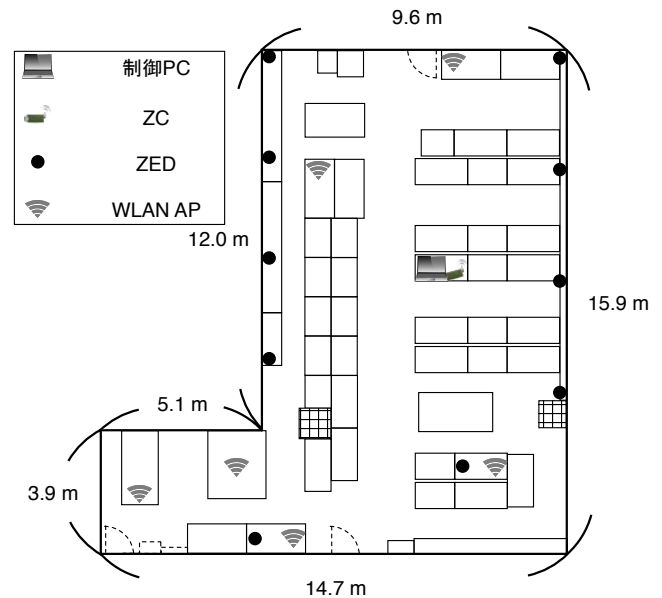


図 7 実験環境の概略

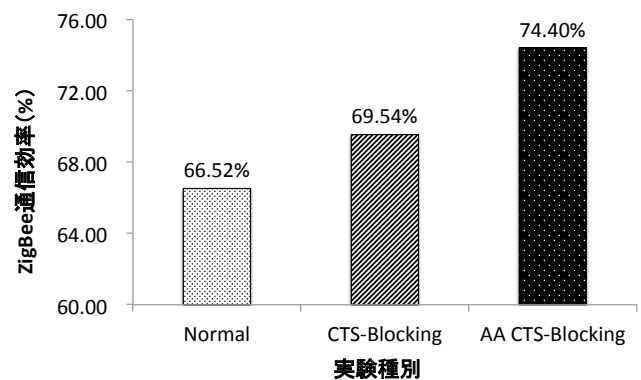


図 8 ZigBee 平均通信成功率

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する。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。もう 1 つの評価として、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する。

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、通信効率が向上している。(C) AA CTS-Blocking と (A) Normal

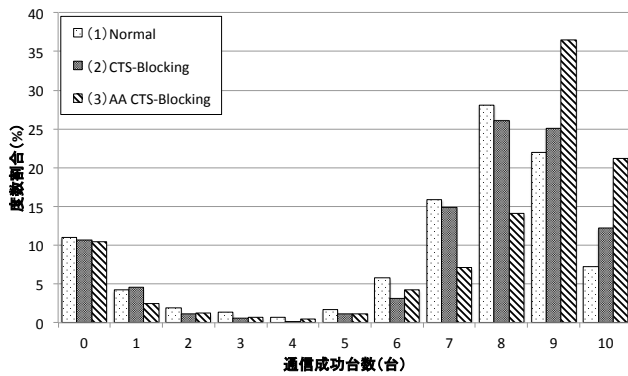


図9 サイクル毎の ZigBee 通信成功台数分布

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把握できない。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 *et al.*, “Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study”, Proc. Wireless Telecommunications Symposium, Apr. 2006.
- [2] J. Hou *et al.*, “Minimizing 802.11 Interference on Zigbee Medical Sensors”, Proc. ICST BodyNets, Apr. 2009.
- [3] X. Zhang *et al.*, “Enabling Coexistence of Heterogeneous Wireless Systems: Case for ZigBee and WiFi”, MobiHoc’11, May, 2011.
- [4] 村田 亮介 他, “無線 LAN と ZigBee 間の干渉回避方式の実験評価”, MoNA, モバイルネットワークとアプリケーション 113(398), 49-53, Jan, 2014.
- [5] ML Huang, *et al.*, “A WLAN and ZigBee Coexistence Mechanism for Wearable Health Monitoring System”, ISCIT International Symposium on Communications and Information Technology, Sept, 2009.
- [6] L. Tytgat *et al.*, “Avoiding collisions between IEEE 802.11 and IEEE 802.15.4 through coexistence aware clear channel assessment”, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Apr, 2012.
- [7] J. Huang *et al.*, “Beyond Co-existence: Exploiting WiFi White Space for ZigBee Performance Assurance”, Proc. IEEE ICNP, Oct. 2010.
- [8] MS Kang, *et al.*, “Adaptive Interference-Aware Multi-Channel Clustering Algorithm in a ZigBee Network in the Presence of WLAN Interference”, ISWPC ’07. 2nd International Symposium on Wireless Pervasive Computing, Fed, 2007.
- [9] Chieh-Jan Mike Liang *et al.*, “Surviving Wi-Fi Interference in Low Power ZigBee Networks”, SenSys’10, November 35, 2010, Zurich, Switzerland.
- [10] 和泉 晃 他, “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”, 電子情報通信学会技術研究報告. MoMuC, モバイルマルチメディア通信 112(404), 1-6, Mar, 2013.
- [11] J. Bellardo *et al.*, “802.11 Denial-of-Service Attacks: Real Vulnerabilities and Practical Solutions”, 12th USENIX Security Symposium, Aug, 2003.
- [12] J. Bellardo *et al.*, “XM2110J/MPR2600J/2400J/420/520-MIB Users Manual”, <http://www.xbow.jp/mprmib.pdf>
- [13] ZB Alliance, “ZigBee Overview”, <http://www.sessionview.com/data/postevent/EU-05/Don-Sturek-8746084.pdf>