

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System



宮本 伸一 (Shinichi MIYAMOTO, Dr. Eng.)

和歌山大学 システム工学部 教授

(Professor, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University)

電子情報通信学会 映像情報メディア学会 IEEE

受賞：電波産業会無線通信発明百周年記念佳作論文賞 (1996 年)

International Union of Radio Science, Young Scientist Award (1996 年)

IEEE Communications Letters Exemplary Reviewers (2010 年)

著書：ワイヤレス通信工学 (共著) オーム社 (2014 年) 電磁環境学

ハンドブック (共著) 科学情報出版 (2009 年) アンテナ・無線ハン

ドブック (分担) オーム社 (2006 年)

研究専門分野：無線通信方式 無線ネットワーク

あらまし アンライセンズバンドで運用される無線 LAN は、管理主体の異なる不特定多数の無線 LAN と周波数資源を共用する。このため、無線 LAN が稠密に存在する環境では、個々の無線 LAN の伝送性能を保証することは原理的に不可能である。この問題に対し、本稿では、比較的広域なプライベート空間を対象として、仮想的に空間所有者（エリアオーナー）専用チャネルを構築する手法を提案する。この手法では、プライベート空間内に分散配置された媒体予約専用端末から外来者が運用する無線 LAN（外来無線 LAN）に対して周期的に媒体占有期間を通知することで、外来無線 LAN からの割り込みを排除する。提案手法の伝送性能を評価し、仮想専用チャネル構築法を用いることにより、エリアオーナーの無線 LAN は安定した伝送性能を確保できることを示す。

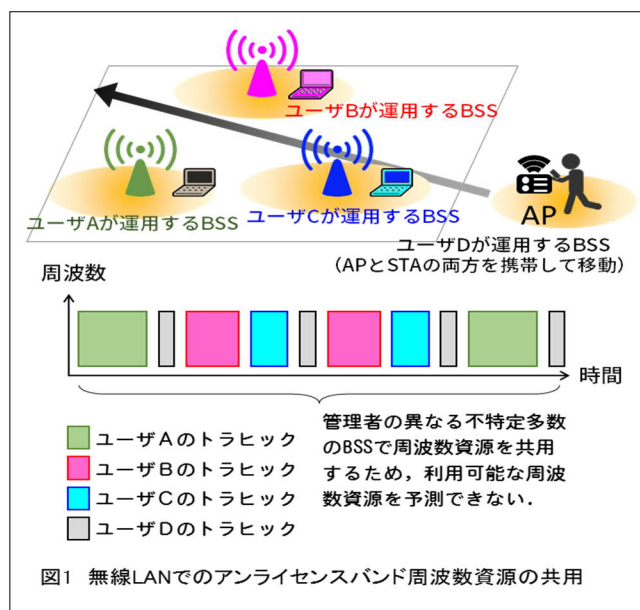
1. まえがき

IEEE 802.11 標準規格[1]準拠の無線 LAN は、低価格な無線アクセスシステムとして急速に普及すると共に、無線局免許を要しないという特長を活かして様々な用途で利用されている。

無線 LAN は、元来、Ethernet の無線化を目的として開発された。そのため、モバイルルータのようにア

クセスポイント（Access Point, AP）と端末（Station, STA）の双方をセットで持ち運ぶ利用形態は想定されていない。また、いわゆるベストエフォート型サービスの提供を念頭においた自律型媒体アクセス制御方式である DCF（Distributed Coordination Function）方式が用いられてきた。しかし、用途の広がりに伴い、無線 LAN においても QoS（Quality of Service）を保証し得るサービスの提供が求められている。

一般に、限られた周波数資源の下、高確率で QoS を保証するためには、周波数資源を適切に付与できる集中管理型無線リソースマネジメント（Radio Resource Management, RRM）の導入が必須である。しかし、無線 LAN では、管理者の異なる不特定多数の BSS（Basic Service Set）が上述の DCF 方式に則って周波数資源を共用する。その動作原理から、周波数資源を共用する他の BSS からの割り込みを予測することは不可能であり、QoS を保証することはできない。



この問題に対し、無線 LAN においても QoS を高確率に保証し得る伝送技術に関する数多くの検討[2]-[4]がなされており、IEEE 802.11e[2]など既に導入されている技術もある。これらの多くは、BSS 内の AP や端末群のトラヒック状況や伝搬路状況等に関する情報を基に、動的に周波数資源を配分する方式である。そのため、無線 LAN が爆発的に普及する以前の主たる

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

利用形態であった孤立 BSS 環境では有効であるものの、図 1 に示すような移動 BSS を含む不特定多数の BSS が稠密に遍在する環境では十分に機能しないと考えられる。

また、複数の BSS が稠密に存在する環境で QoS を保証するための技術として、高密度 BSS 環境下での高効率伝送を目指した IEEE 802.11ax 標準規格での検討[5]や、複数の BSS が互いに連携して集中管理型 RRM を実施する手法[6][7]が提案されている。しかし、一般に、不特定多数の第三者を含む複数の BSS が互いに連携し得るネットワークの構築はインフラ敷設およびセキュリティの観点で非現実的である。

以上のように、モバイルルータ等の普及により、各ユーザが自在に BSS を設置し得る現在、無線 LAN においても QoS を保証するための新たな技術開発が求められているものの、不特定多数の BSS が共存する環境下で高確率に QoS を保証し得る技術は未だ十分に見出されていない。IoT (Internet of Things) が進展し膨大な数の BSS が共存する時代を迎えると、無線 LAN ではもはや最低限の通信品質さえ保証されず、ネットワークとして機能不全な状況に至ると懸念される。

ここで、無線 LAN が運用される空間として、不特定多数の外来者を受け入れるものの、優先されるべき所有者が存在するプライベート空間（学校、工場、大規模商業施設など）に限定すると、当該空間の所有者（エリアオーナー）が管理主体となり、不特定第三者による周波数資源の利用を排除した上で、エリアオーナーが管理する BSS（エリアオーナー BSS）に対してのみ集中管理型 RRM を実施する手法が考えられる。

この手法を実現し得る形態の一つとして、本稿では、エリアオーナー専用チャネルを仮想的に構築する仮想専用チャネル構築法を提案する。本稿で提案する仮想専用チャネル構築法では、プライベート空間内に分散配置された端末（守衛端末）から、外来者が運用する外来 BSS に対して、媒体占有期間（送信禁止期間、Network Allocation Vector, NAV）を通知するための制御フレーム（NAV フレーム）を周期的に伝送することで、外来 BSS の割り込みを継続的に排除し、エリアオーナー BSS が安定した伝送性能を確保し得る領域の構築を目指す。

本稿で提案する仮想専用チャネル構築法では、周波数資源を共用する AP や端末からのアクセスを制限する方法として媒体占有期間を通知する方法を導入しているが、これまでにビジートーンと呼ばれる制御信号を送信する手法も提案されている[8]-[10]。これらの手法では、制御フレームやデータフレームの送信と同時に、それらフレームよりも伝搬距離の長いビジートーンを送信することにより、自身と隠れ端末の関係にある外来 BSS にビジートーンを検出させ、自身がフレームを送信している間、それら外来 BSS からの割り込みを抑制している。しかしながら、これらの手法は消費する電力コストを抑えることを目的として、自 BSS がフレームを伝送している間のみ、ビジートーンを送信する。このため、プライベート空間に外来 BSS が多数存在する場合は、外来 BSS の割り込みを抑制し続けることはできないという欠点を有する。

2. CSMA/CA 方式と仮想専用チャネル構築法

2.1 RTS/CTS 交換を用いた媒体予約

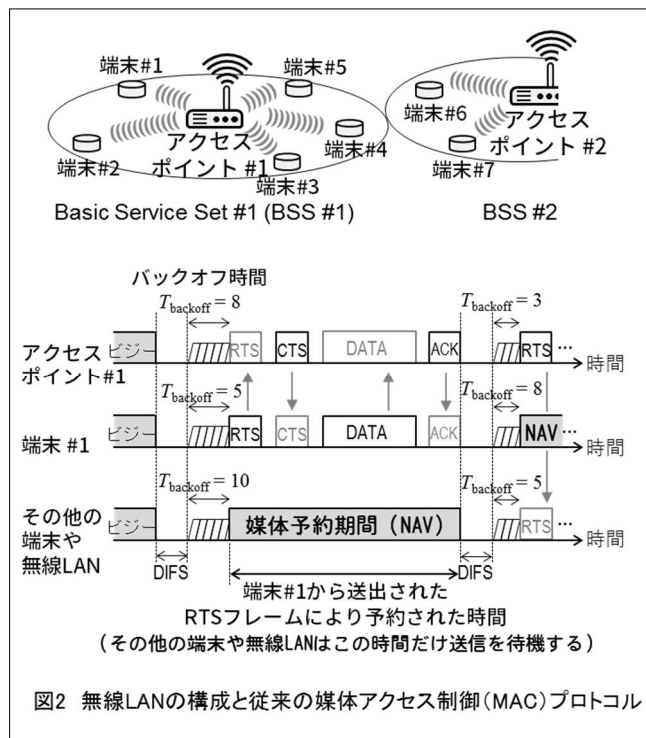
無線 LAN システムでは、DCF 方式として規定されている CSMA/CA 方式に則った媒体アクセス制御方式により、周波数資源を共用している[1]。DCF 方式では、フレームの送信を試みる端末は、DIFS (DCF Inter-Frame Space) 期間キャリアセンスを行い、チャネルの使用状況を確認する。キャリアセンス期間中に他の端末が送信したフレームのプリアンプルを検出した場合や、予め規定されているキャリアセンスレベル以上の電力の信号を検知した場合、端末は当該チャネルが使用中である (Busy) と判断し送信を待機する。一方、DIFS 期間に亘りチャネルが空き (Idle) 状態であると判断した場合、端末はランダムなバックオフ時間を設定し、この期間中キャリアセンスを継続する。バックオフ時間はキャリアセンス中チャネルが Idle であれば減算され、バックオフ時間が 0 となるとフレームを送出する。バックオフ時間が 0 となる前にチャネルが Busy 状態であると判断された場合、端末は再びチャネルが Idle 状態になるまで伝送を待機し、残りの時間を次のバックオフ時間とする。

DCF 方式では、個々の端末がランダムにバックオフ時間を設定することで、全ての端末は均等に送信権を

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

獲得することができる。しかしながら、それゆえ、時々刻々と変動する無線 LAN のトラフィック状況や伝搬路状況に応じた送信機会の獲得は為されず、QoS 保証伝送を導入することは不可能である。



また、たとえ DCF 方式を導入したとしても、距離減衰などの理由により、他端末の信号を認知できず、フレーム衝突が発生する場合がある。この現象は隠れ端末問題と呼ばれる。隠れ端末問題への対策として、IEEE 802.11 標準規格では、RTS/CTS フレーム交換を用いた媒体予約機構が導入されている。これら媒体予約用フレームには、端末が周波数資源を占有する時間が記載されており、これらのフレームを傍受した周辺端末は、記載された時間に亘る送信禁止期間 (NAV) を設定し、伝送を待機する。これにより、隠れ端末問題を回避する。RTS/CTS を用いた DCF 方式の媒体アクセス制御 (MAC) プロトコルを図 2 に示す。

2.2 媒体予約機構を用いた仮想専用チャネル構築法

無線 LAN において QoS 保証を困難にする主たる原因はアンライセンスバンドを利用することにある。アンライセンスバンドを利用するが故、同一伝送空間内

に共存し周波数資源を共用する他の無線 LAN の割り込みを予測できず、自らが獲得可能な周波数資源の量を把握できないため、計画的な周波数資源管理が求められる QoS 保証伝送（特にパラメータ保証型 QoS 保証伝送）の導入は困難である。

この問題に対し、本稿では、プライベート空間においてエリアオーナー専用チャネルを仮想的に構築する仮想専用チャネル構築法を提案する。仮想専用チャネル構築法のシステム構成と MAC プロトコルを図 3 に示す。

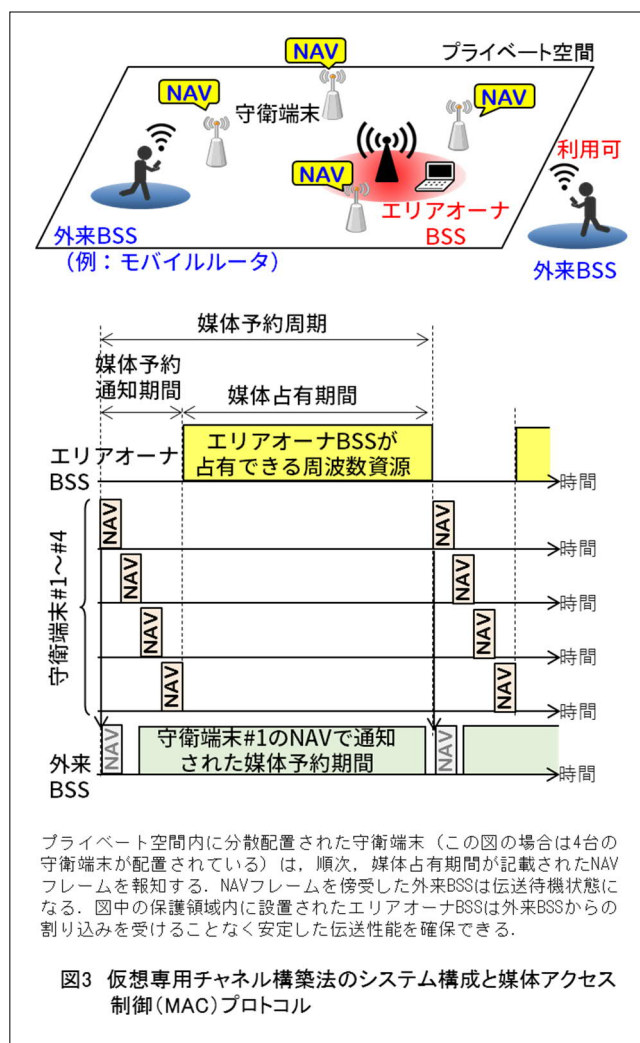


図 3 に示すように、仮想専用チャネル構築法では、エリアオーナーによってプライベート空間内に分散配置された守衛端末からエリアオーナー BSS に影響を及ぼす外来 BSS に対して媒体占有期間が記載された NAV フレームを伝送する。媒体予約周期毎に守衛端末から

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

NAV フレームを介して媒体占有期間を通知することにより、理想的には全ての外来 BSS を継続的に伝送待機状態にすることができ、エリアオーナーは一定量の周波数資源を占有することが可能になる。

仮想専用チャネル構築法において、エリアオーナー BSS が安定した伝送性能を確保するためには、エリアオーナー BSS に影響を及ぼす外来 BSS へ確実に媒体占有期間を通知する必要がある。開空間を伝搬路とし、その伝搬路状況が確率的に時々刻々と変動する無線 LAN において、エリアオーナー BSS に影響を及ぼす可能性のある外来 BSS に対して媒体占有期間を確実に通知する方法として、守衛端末から十分に高い送信電力にて NAV フレームを送出する手法が考えられる。存在地点を把握できない外来 BSS が伝送空間内に共存する環境の下、守衛端末から十分に高い送信電力にて NAV フレームを送出することにより、エリアオーナー BSS に影響を及ぼす可能性のある外来 BSS に対し確実に媒体占有期間を通知できるものと期待される。しかしながら、一方、外来 BSS を主体として考えると、NAV フレームを傍受した外来 BSS は、媒体占有期間だけ自身の伝送が抑制されるため、高い送信電力で NAV フレームが送出されてしまうと、広範囲な領域に亘り自身の伝送が阻害されてしまう。外来 BSS がプライベート空間内に滞在している場合であれば、当該外来 BSS の伝送が阻害される状況もある程度許容されと考えられるものの、プライベート空間外に滞在する外来 BSS からの伝送が阻害される状況は回避されるべきである。

以上のように、プライベート空間内に滞在する外来 BSS に対しては着実に媒体占有期間を通知しつつ、空間外に滞在する外来 BSS に対しては媒体占有期間を通知しないように、仮想専用チャネル構築法における守衛端末の NAV フレーム送信電力を決定する必要がある。そこで、本稿では、仮想専用チャネル構築法における守衛端末の NAV フレーム送信電力の設計指針の確立を目的として、NAV フレーム通知特性ならびに NAV フレームを傍受できなかった外来 BSS の割り込み特性を解析的に明らかにし、その上で、NAV フレームの通知性能を高める手法として、空間内に多数の守衛端末を分散配置し各守衛端末の送信電力を低減する手法を導入することとした。

2.3 媒体占有時間の動的制御

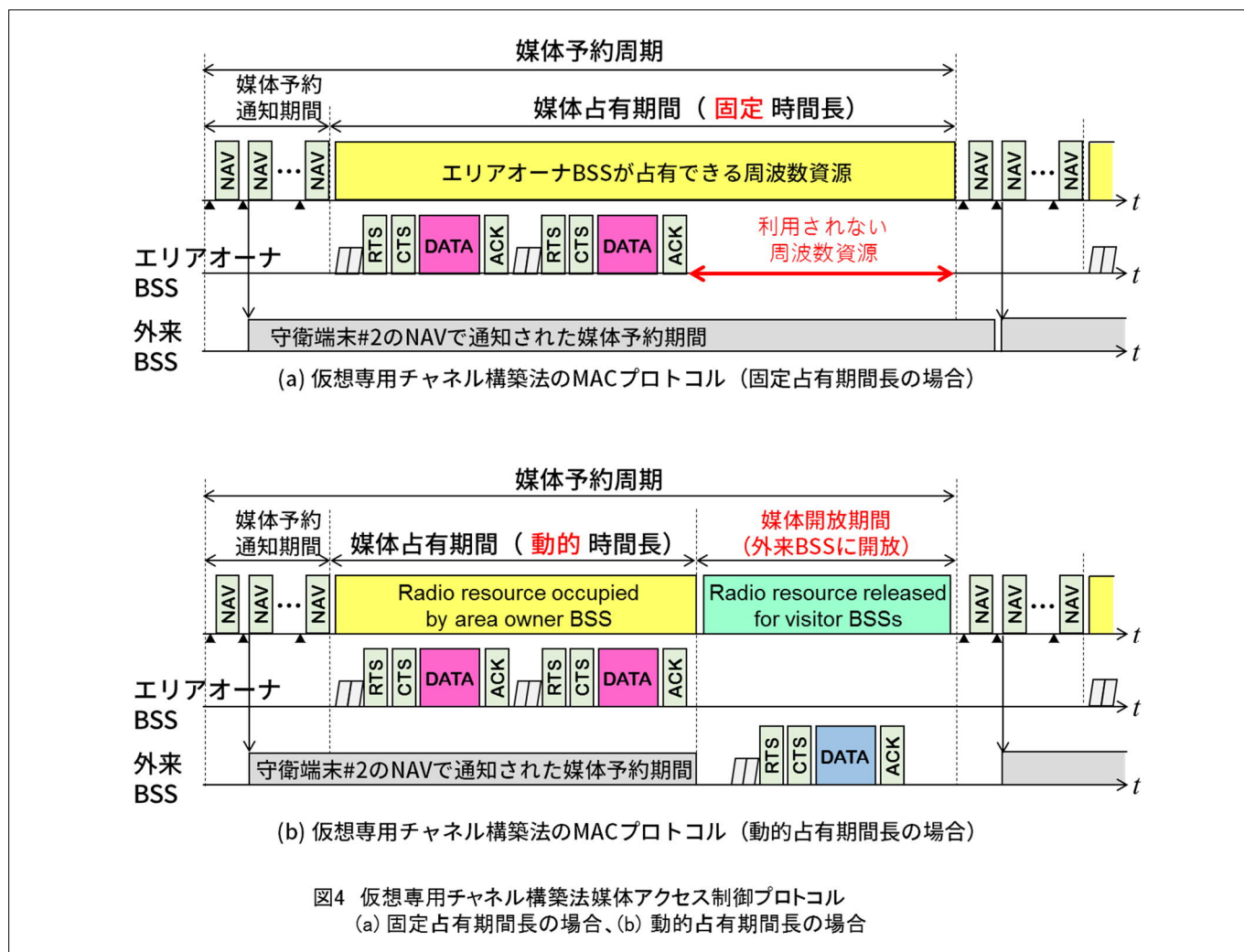
図 3 に示す MAC プロトコルを用いる仮想専用チャネル構築法では、エリアオーナーはプライベート空間において獲得し得る周波数資源を全て占有するよう媒体占有期間を設定し、その期間を NAV フレームに記載してプライベート空間内に遍在する外来 BSS に通知する。そのため、たとえエリアオーナー BSS が所要 QoS を十分に満足できる状況であっても、外来 BSS は周波数資源を一切利用することはできない。

プライベート空間において獲得可能な周波数資源に比べ、エリアオーナー BSS が所要 QoS を満足するために必要となる周波数資源が多い場合には、利用可能な周波数資源を全て占有すべきである。一方、プライベート空間において利用可能な利用可能な周波数資源に比べ、エリアオーナー BSS が所要 QoS を満足するために必要となる周波数資源が少ない場合には、エリアオーナー BSS が周波数資源を全て占有すると伝送に利用されていない時間率が増加する。結果的に、外来 BSS の割り込みを排除することでエリアオーナーによって占有されるものの、情報伝送に利用されない周波数資源の増大を招くことになる。以上のように、獲得可能な周波数資源全ての占有を試みる仮想専用チャネル構築法（図 3 の MAC プロトコル）は、エリアオーナー BSS の QoS 保証という観点では高い効果が期待されるものの、伝送に利用するとは限らない周波数資源も全て占有してしまうため、周波数利用効率の観点では適切な媒体アクセス制御方式ではない。

この問題に対する対策として、本稿では、仮想専用チャネル構築法の MAC プロトコルとして、図 3 に示したものに加え、エリアオーナー BSS の所要 QoS に応じて媒体占有期間を動的に制御するプロトコルも提案する。提案手法（所要 QoS に応じた媒体占有期間の動的制御）を用いた仮想専用チャネル構築法の MAC プロトコルを図 4(b)に示す。また、比較のため、媒体占有期間を固定時間長とする仮想専用チャネル構築法（固定占有期間長）の MAC プロトコルを図 4(a)に示す。なお、これらの図では、図面の簡略化のため、単一のエリアオーナー BSS と単一の外来 BSS がプライベート空間内で共存する場合を示している。提案手法では、エリアオーナー BSS の所要 QoS に応じて媒体占有

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャンネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System



期間を設定することで、エリアオーナー BSS の所要 QoS を満足しつつ、外来 BSS を伝送可能な時間区間（図 4(b)の媒体開放期間）を設ける。

提案手法では、まず、守衛端末からの NAV フレームの伝送に先立ち、媒体予約周期開始時点において、媒体予約周期のうち、エリアオーナー BSS の所要 QoS を満足するために必要な媒体占有期間を算出する。媒体予約期間では、空間内に分散配置された各守衛端末は、算出された媒体占有期間が記載された NAV フレームを報知し、伝送空間内に滞在する外来 BSS に通知する。媒体予約期間が終了すると、従来手法同様、エリアオーナー BSS のみが周波数資源を占有して伝送に利用する媒体占有期間に移行する。媒体占有期間終了後、媒体予約周期が終了するまでの残りの時間を新たに媒体開放期間として設け、伝送すべきトラヒックを

保持する外来 BSS が DCF 方式に則って周波数資源を利用する。

図 4(a)(b)に示すように、固定占有期間長の仮想専用チャンネル構築法（図 4(a)）では、エリアオーナー BSS は、所要 QoS に関わらず、獲得し得る周波数資源を全て占有するように媒体占有期間を設定していたのに対し、動的占有期間長（図 4(b)）では、QoS 保証に必要な最小な周波数資源を獲得できるよう媒体占有期間を設定する。媒体占有期間でエリアオーナー BSS は所要 QoS を満足するために必要な周波数資源を確保し、媒体占有期間以降の時間では、エリアオーナーにとって余剰な周波数資源を外来 BSS が利用する。そのため、エリアオーナー BSS による周波数資源の過剰な占有や周波数資源の浪費を回避し、エリアオーナー BSS の QoS を高確率で保証しつつ周波数資源の有効利用が期待される。

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

3. 仮想専用チャネル構築法の性能評価

3.1 評価諸元と評価シナリオ

本稿で提案する仮想専用チャネル構築法の有効性を検証するため、伝送性能を評価する。主な評価諸元を表 1 に示す。エリアオーナ BSS および外来 BSS が、それぞれ、1 つずつプライベート空間内に存在するものとし、各 BSS は 1 台の AP と 1 台の STA で構成されているものとする。また、プライベート空間内には 25 台の守衛端末が配置されているものとし、各守衛端末から送出される NAV フレームの受信電力は当該 NAV フレームを送出した守衛端末からの距離によって減衰し、対数正規分布に従って変動するものとする。

表1 伝送特性の評価に用いた主な諸元

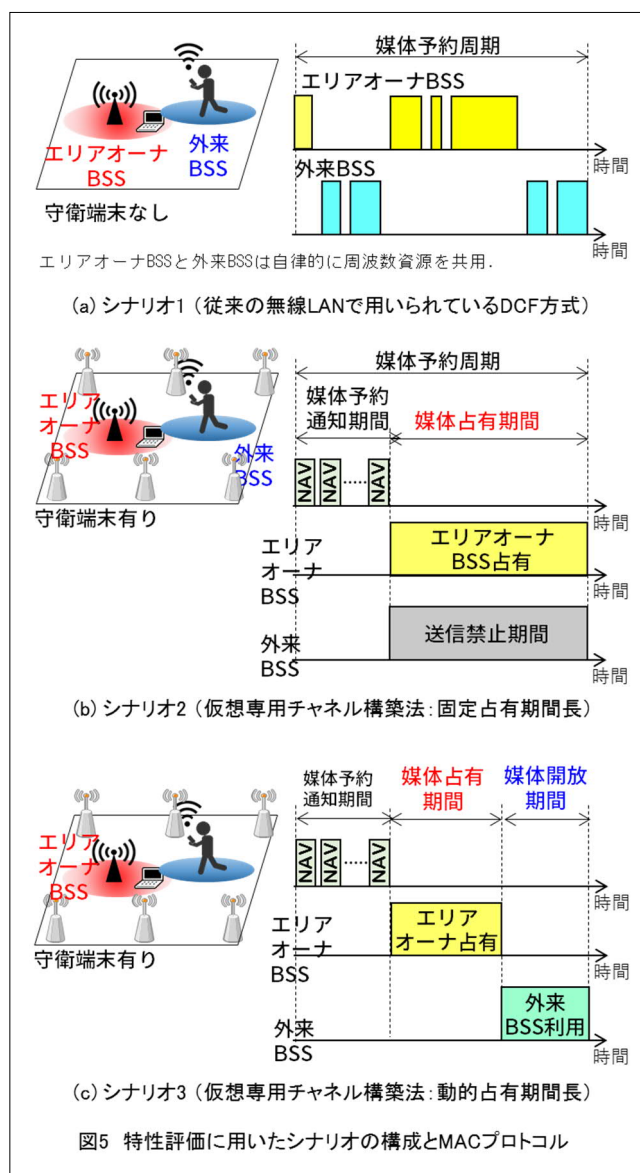
無線LAN周波数帯	2.4 GHz帯
チャネル帯域幅	20 MHz
伝送方式	IEEE 802.11 OFDMPHY相当
NAVフレーム伝送レート	6 Mbps (BPSK, R=1/2)
DATAフレーム伝送レート	54 Mbps (16QAM, R=3/4)
同一周波数チャネル使用BSS数	エリアオーナBSS 1、外来BSS 1
各BSSの構成	AP 1、STA 1
守衛端末数	25
NAVフレーム送信電力	2 dBm
媒体予約周期	30 ms
NAVフレームサイズ	14 Oct.
DATAフレームサイズ	1500 Oct.
距離伝搬損失モデル	Indoor path loss model ITU-R P.1238 [11]
シャドウイングモデル	対数正規分布

また、一般に、無線 LAN では、制御フレームは最低伝送速度で伝送されることから、ある地点における NAV フレームの受信電力が IEEE 802.11 標準規格規定の最小受信感度を上回る場合、当該地点において NAV フレームは誤りなく受信されるものとする。

エリアオーナの所要 QoS としては様々な設定基準が考えられるが、本特性評価では、エリアオーナ BSS の所要 QoS を“フルバッファ状態にある外来 BSS と共存する環境で、エリアオーナ BSS が BSS 内で生起するヒック量と等しいスループットを達成できること”とした。この場合、エリアオーナ BSS で生起するトラヒック量を x (Mbps)、エリアオーナ BSS のスループットを y (Mbps) とすると、 $y = x$ の関係が成立する状態であれば、エリアオーナ BSS の所要 QoS を満足することとなる。

以下、本稿では、下記の 3 つのシナリオを対象とし、各シナリオでの特性評価結果から提案手法の有効性を検証する。各シナリオでのシステム構成と MAC プロトコルの概念図を図 5 に示す。

- シナリオ 1：エリアオーナ BSS および外来 BSS の双方が既存無線 LAN の媒体アクセス制御方式である DCF 方式に則って周波数資源を共用する場合
- シナリオ 2：媒体占有期間長が固定時間長である仮想専用チャネル構築法を用いた場合
- シナリオ 3：媒体占有期間長が動的に制御される仮想専用チャネル構築法を用いた場合



プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

3.2 媒体占有期間長の評価

所要 QoS に応じて媒体占有期間を動的に制御する仮想専用チャネル構築法では、媒体占有期間は、エリアオーナー BSS の所要 QoS 満足率、外来 BSS の伝送性能、当該空間における周波数利用効率を支配する重要なパラメータである。そこで、まず、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量と平均媒体占有期間長の関係性を評価し、その結果を図 6 に示す。

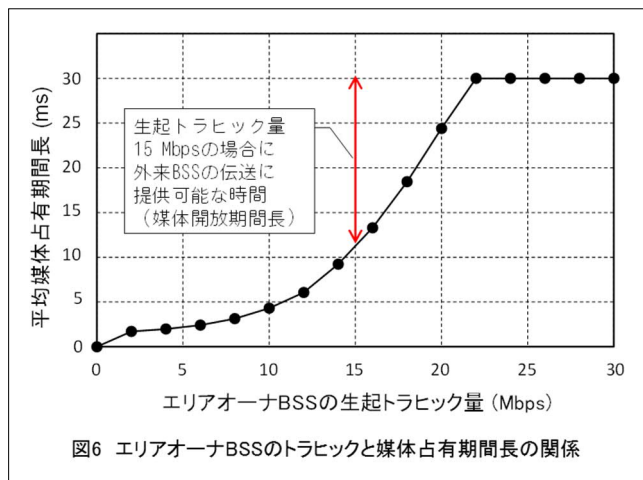


図6 エリアオーナーBSSのトラヒックと媒体占有期間長の関係

図 6 より、エリアオーナー BSS のトラヒックの増加と共に、媒体占有期間が上限（30 ms）まで長期化することがわかる。媒体占有期間長が固定である仮想専用チャネル構築法では、エリアオーナー BSS で生起するトラヒック量の高低に関わらず、常に媒体占有期間長の上限まで媒体を占有するのに対し、媒体占有期間長を動的に制御する手法では、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量がさほど高くない場合には、媒体占有期間が短縮化することを確認できる。固定媒体占有期間長（図 4(a)）の場合は、外来 BSS が伝送すべきトラヒックを保持している場合であっても、外来 BSS の伝送を一切許容しないため、余剰な時間の周波数資源はエリアオーナーによって占有されるものの、情報伝送には利用されない周波数資源となる。一方、媒体占有期間を動的に制御する手法（図 4(b)）では、余剰な時間の周波数資源は、外来 BSS の伝送に利用される。これにより、エリアオーナー BSS の所要 QoS を満足しつつ、周波数利用効率の向上が期待される。

3.3 スループット特性の評価（DCF 方式の場合）

前述のシナリオ 1 の場合、すなわち、エリアオーナー BSS および外来 BSS の双方が無線 LAN の既存の媒体アクセス制御方式である DCF 方式に則って周波数資源を共有する場合を想定し、各 BSS のスループットを評価した。エリアオーナー BSS の生起トラヒック量と各 BSS のスループットの関係を図 7 に示す。また、周波数利用効率を表す評価基準として、両 BSS の合計スループットも併せて示す。

図 7 より、まず、エリアオーナー BSS のスループットに着目すると、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量が低い場合には、生起トラヒック量と等しいスループットを達成し、所要 QoS を満足できている。しかし、トラヒック量が高くなるに従い、エリアオーナー BSS のスループットは飽和してしまい、所要 QoS を満足できなくなっている。

次に、外来 BSS のスループットを見ると、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量が高くなるに従い、外来 BSS のスループットが低下し、エリアオーナー BSS と同程度のスループットとなっている。これは、無線 LAN の既存の媒体アクセス制御方式である DCF 方式では、AP および端末群は均等に送信機会を獲得することに起因するものと考えられる。また、合計スループットを見ると、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量に関わらず、合計スループットは高くなっている。以上より、DCF 方式は周波数資源の有効利用という観点では相応に高い性能が得られるものの、エリアオーナー BSS の QoS 保証という観点では十分な方式ではないことを確認できる。

以上より、DCF 方式は周波数資源の有効利用という観点では相応に高い性能が得られるものの、エリアオーナー BSS の QoS 保証という観点では十分な方式ではないことを確認できる。

3.4 スループット特性の評価（固定占有期間長の仮想専用チャネル構築法の場合）

次に、媒体占有期間長が固定時間長である仮想専用チャネル構築法を用いた場合のスループットを評価した結果を図 8 に示す。また、図 7 同様、周波数利用効率を表す評価基準として両 BSS の合計スループット

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

も併せて示す。

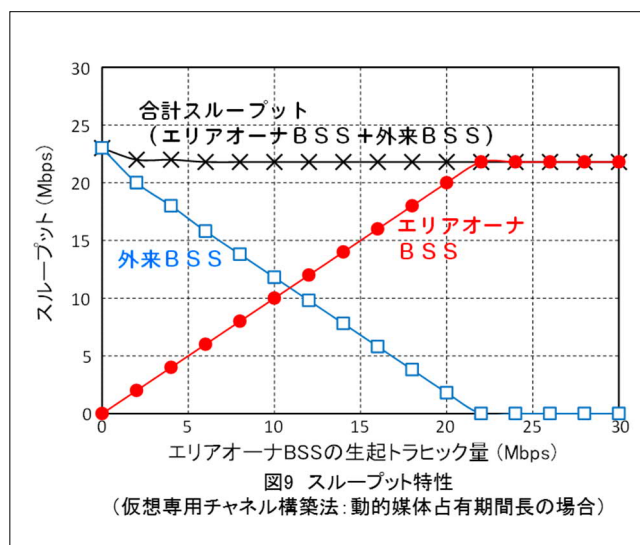
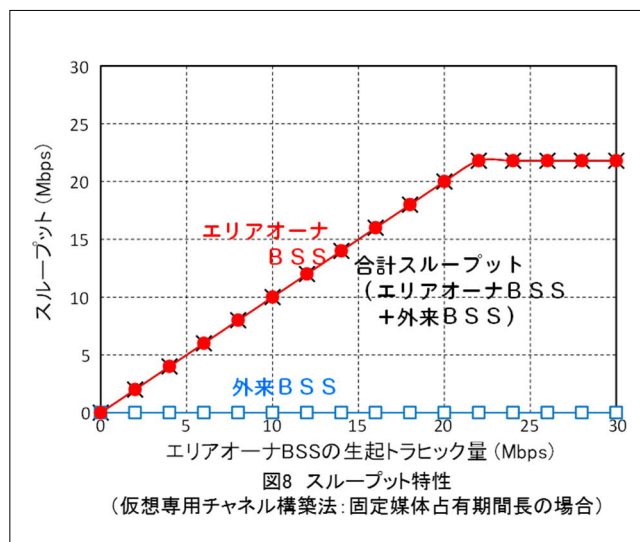
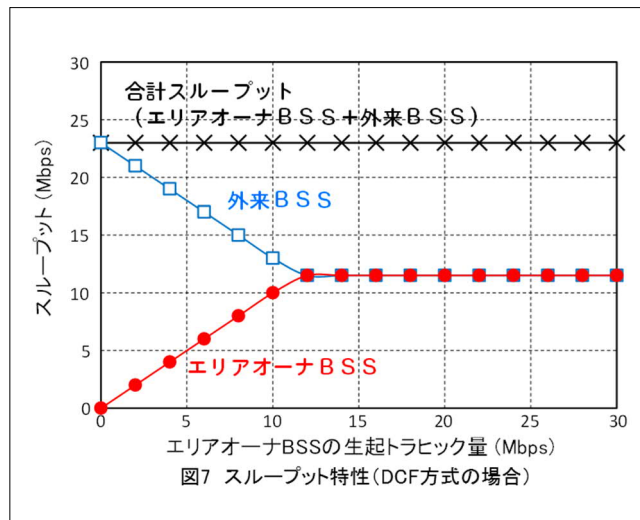
まず、エリアオーナー BSS のスループットに着目すると、DCF 方式 (図 7) に比べて、飽和スループットに至る直前の高い生起トラヒック量まで所要 QoS を満足できることがわかる。しかしながら、一方、外来 BSS のスループットを見ると、外来 BSS からの割り込みが一切排除されてしまっているため、外来 BSS は全く伝送できていない。その結果、合計スループットはエリアオーナー BSS のスループットと一致し、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量が低い場合、合計スループットは低くなる、すなわち、エリアオーナーによって占有されているものの伝送には利用されていない未使用の周波数資源が多く残されていることを確認できる。

以上より、媒体占有期間を固定時間長とする仮想専用チャネル構築法は、外来 BSS の割り込みを一切排除することで、エリアオーナー BSS の QoS を高確率で保証し得るものの、周波数利用効率の観点では十分な性能は得られないことがわかる。

3.5 スループット特性の評価 (占有期間長を動的に制御する仮想専用チャネル構築法の場合)

最後に、エリアオーナー BSS の所要 QoS に応じて媒体占有期間長を動的に制御する仮想専用チャネル構築法を用いた場合のスループットを図 9 に示す。

まず、エリアオーナー BSS のスループットは、固定占有期間長の仮想専用チャネル構築法 (図 8) 同様、DCF 方式 (図 7) に比較して、飽和スループットに至る直前まで所要 QoS を満足している。また、外来 BSS のスループットに着目すると、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量が低い場合には、媒体占有期間が短くなるため外来 BSS のスループットが高く、エリアオーナー BSS のトラヒックが高くなるに従い、媒体占有期間長が長くなるため、外来 BSS のスループットは低下している。固定占有期間長の仮想専用チャネル構築法では、外来 BSS の割り込みを一切許容しないのに対し、媒体占有期間長を動的に制御する手法では、エリアオーナー BSS が使用しきれない余剰な時間帯で外来 BSS の伝送が可能になるため、エリアオーナー BSS の生起トラヒック量に関わらず高い合計スループットが得られている。この結果から、媒体占有期間長を動的に制御する



プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

仮想専用チャネル構築法は、エリアオーナー BSS の QoS を高確率で保証すると同時に、アンライセンスバンドの周波数資源を有効に利用できる方式であるといえる。

4. まとめ

通信トラヒックの急増に対し、アンライセンスバンドの周波数資源の有効活用が求められている。しかし、共存する他の無線ネットワークによって伝送性能が左右されてしまう無線 LAN では、ベストエフォート型伝送での利用に留まらざるを得ない。アンライセンスバンドの周波数資源のさらなる有効活用を図るためには、アンライセンスバンドにおいても QoS 保証伝送を可能とする技術の開発が必須である。

本稿では、プライベート空間において運用される無線 LAN を対象とし、仮想的にエリアオーナー専用チャネルを構築する仮想専用チャネル構築法を提案した。また、エリアオーナーの所要 QoS を満足しつつ周波数資源の有効利用を図る手法として、エリアオーナー BSS の所要 QoS に応じて媒体占有期間を動的に制御する手法も併せて提案した。提案手法では、媒体予約周期開始時点で、エリアオーナー BSS に属する AP および端末の送信バッファに蓄積されているデータフレーム数に基づいて媒体占有期間を決定することで、所要 QoS を満足するために必要最小な周波数資源の占有を試みる。余剰な周波数資源を外来 BSS に開放することにより、エリアオーナー BSS の QoS を高確率で保証すると同時に、周波数資源を有効に利用できることを明らかにした。

無線 LAN は、スマートグリッド、防犯・防災・非常用通信など様々な分野で利用されており、本稿で提案した帯域保証・遅延保証伝送を可能とする無線 LAN の波及効果は大きいと期待される。

参考文献

[1] IEEE 802.11-2016, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std. 802.11, 2016.

[2] S. Mangold, S. Choi, G. R. Hiertz, O. Klein, B. Walke, "Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LANs," IEEE Wireless Commun., vol. 10, no. 6, pp. 40-50, Dec. 2003.

[3] A. Malik, J. Qadir, B. Ahmad, K.-L. Alvin Yau, U. Ullah, "QoS in IEEE 802.11-based wireless networks: A contemporary review," Journal on Netw. Comput. Appl., vol. 55, pp. 24-46, Sept. 2015.

[4] S. Miyamoto, S. Sampei, W. Jiang, "Novel DCF-based Multi-User MAC Protocol for Centralized Radio Resource Management in OFDMA WLAN Systems," IEICE Trans. Commun., vol. E96-B, no. 9, pp. 2301-2312, Sept. 2013.

[5] D. J. Deng, S. Y. Lien, J. Lee, K. C. Chen, "On Quality-of-Service Provisioning in IEEE 802.11ax WLANs," IEEE Access, vol. 4, pp. 6086-6104, Aug. 2016.

[6] T. Endo, S. Miyamoto, S. Sampei, W. Jiang, "Station Clustering Strategy for DCF-based Centralized OFDMA WLAN Systems," Proc. of 2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE 2013), pp. 343-349, Dec. 2013.

[7] S. Miyamoto, S. Sampei, "Group-based Centralized Radio Resource Management Strategies in Wireless Local Area Networks," 2014 URSI General Assembly and Scientific Symposium, pp. 1-4, Aug. 2014.

[8] Z. J. Haas, J. Deng, "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) - a Multiple Access Control Scheme for Ad hoc Networks," IEEE Trans. Commun., vol. 50, pp. 975-985, June 2002.

[9] P. Wang, H. Jiang, W. Zhuang, "A New MAC Scheme Supporting Voice/Data Traffic in Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 7, pp. 1491-1503, Dec. 2008.

[10] A. A. Abdullah, L. Cai, F. Gebali, "Enhanced Busy-Tone-Assisted MAC Protocol for Wireless Ad hoc Networks," IEEE Trans. Vehic. Technol., pp. 1-5, Sept. 2010.

[11] Recommendation ITU-R P.1238-9, June 2017.

関連文献

[1] Yukio Kojima, Shinichi Miyamoto, "Dynamically Controlled Transmission Standby in WLAN Systems," IEICE Communications Express, Article ID 2019XBL0028, Mar. 2019.

[2] 藤澤健太, 宮本伸一, "無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における飽和スループットの理論解析," 2019 年信学総大, B-5-127, Mar. 2019.

[3] 山田健志, 藤澤健太, 宮本伸一, "無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における媒体予約期間通知領域の動的制御に関する一検討," 2019 年信学総大, B-5-128 Mar. 2019.

プライベート空間で運用される自営系無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築技術

Periodic NAV Notification for Establishment of Virtual Private Channel in WLAN System

- [4] 相良智也, 宮本伸一, “無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における媒体占有期間の動的制御の提案,”信学技報, RCS2018-265, pp. 133-138, Feb. 2019.
- [5] Yukio Kojima, Shinichi Miyamoto, “Transmission Standby based on Channel Conditions for Efficient Use of Radio Resources in WLAN Systems,”Proc. of 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2018), pp. 165-16, Nov. 2018.
- [6] 藤澤健太, 宮本伸一, “無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における媒体予約期間通知特性の解析,”信学技報, SRW2018-15, pp. 37-42, Aug. 2018.
- [7] 淵辺悠太, 宮本伸一, “無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における所要 QoS に応じた集中管理型媒体アクセス制御方式,”信学技報, SRW2018-6, pp. 27-32, June 2018.
- [8] 藤澤健太, 淵辺悠太, 宮本伸一, “無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における媒体予約周期に関する一検討,”2018 年信学総大, B-5-119, Mar. 2018.
- [9] 相良智也, 淵辺悠太, 宮本伸一, “無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における所要 QoS に応じた媒体占有期間の動的制御に関する一検討,” 2018 年信学総大, B-5-120, Mar. 2018.
- [10] 淵辺悠太, 宮本伸一, “プライベート空間にて運用される無線 LAN 保護のための仮想専用チャネル構築法における集中管理型媒体アクセス制御方式,”2018 年信学総大, B-17-12, Mar. 2018.
- [11] 淵辺悠太, 宮本伸一, “プライベート空間において運用される無線 LAN 保護のための漏洩同軸ケーブルを用いた媒体予約方式,”信学技報, SRW2017-10, pp. 7-12, Aug. 2017.
- [12] 中沢雄介, 宮本伸一, “プライベート空間において運用される無線 LAN 保護のための媒体予約方式に関する一検討,”信学技報, SR2016-65, pp.53-58, Oct. 2016.

この研究は、平成 26 年度 S C A T 研究助成の対象として採用され、平成 27 ～ 29 年度に実施されたものです。