

RTS のヘッダ情報を利用したさらし端末の同期並行送信方式の検討

清水 飛悠[†] 重安 哲也[†] 松野 浩嗣[‡] 森永 規彦[†]

[†] 広島国際大学 情報通信学科

[‡] 山口大学大学院 理工学研究科

代表的な無線 LAN 規格である IEEE802.11DCF では、隠れ端末対策のオプションとして RTS/CTS 交換を採用している。同オプションでは DATA を送信する前に RTS, CTS を送受信端末間で交換することで隣接端末に NAV を設定し、隠れ端末によるパケット衝突を軽減するが、新たに送信を行っても、先行する送受信に対して何ら影響を与えない端末までも、不必要に送信が延期されてしまう。

本稿では、RTS/CTS 交換によって生じるさらし端末問題を解消するために、先行する送信端末とそのさらし端末とが同時並行的に送信することでスループットを向上する方式を提案する。また、同方式を計算機シミュレーションに実装し、その有効性を明らかにしたので、この結果について報告する。

A Method for Synchronous Transmissions with Exposing Terminal on the Basis of Overhearing RTS Header Information

Hiyuu Shimizu[†] Tetsuya Shigeyasu[†] Hiroshi Matsuno[‡] Norihiko Morinaga[†]

[†] Department of Information and Communications Technology, Hiroshima International University

[‡] Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

IEEE802.11DCF, which is a most widely used wireless LAN employs RTS/CTS handshake as an option for mitigating effects of hidden terminals. This handshake can prevent packet collisions by exchange RTS and CTS among transmitter and receiver in order to notify its neighboring terminals of length of period transmitting packet (NAV). However, this handshake prohibits terminals needlessly even though the terminals can transmit packet without any damaging effect for on going transmission. This paper proposes a new method for synchronous parallel transmissions with exposing terminal on the basis of overhearing RTS header information.

1 はじめに

近年、無線通信技術の進歩に伴い、ケーブルレスでネットワークにアクセスできる無線 LAN (Local Area Network) が広く一般に普及している。代表的な無線 LAN 規格は IEEE802.11DCF [1] であり、ノート PC をはじめとするモバイル端末に広く実装されている。

従来、無線 LAN は有線網に接続されたアクセスポイント等へのラストワンホップを接続するための手段として使用されることがほとんどであったが、現在は、無線のみで構成されるアドホックネットワークやメッシュネットワークなどの無線マルチホップでネットワークを構成するための手段として積極的に検討が進められている。

ところで、無線のみでネットワークを構成する場合、通信範囲外に複数の端末が存在する状況が多く発生する。IEEE802.11DCF ではキャリアセンス (搬送波検知)

による送信制御を行っているため、そのような状況では、キャリアセンスが有効に機能せず、パケット衝突による著しいスループット低下を引き起こす。そのため IEEE802.11DCF は、隠れ端末 [2] 対策のオプションとして RTS/CTS (Request To Send / Clear To Send) を採用している。同オプションでは、DATA を送信する前に RTS, CTS を送受信端末間で交換することで隣接端末に送信禁止時間 (NAV : Network Allocation Vector) を設定する。そのため、RTS/CTS 交換が成功した場合は隠れ端末によるパケット衝突を軽減することができる。

さて、RTS もしくは CTS を傍受した全ての端末は無条件に自身の新たな送信を延期してしまう。そのため、受信端末とは隣接しておらず、新たに送信を行っても先行する送受信に対して、何ら影響を与えない端末でも、RTS を受信した場合は不必要に送信が延期される。これは、さらし端末問題 [3] と呼ばれ、スループット向上の妨げとなる。

そこで本稿では、RTS/CTS 交換によって生じるさらし端末問題を解消する為に、自端末が先行する送信にさらされていると判断した場合は、先行する送信端末と、さらし端末とが同時並行的に送信する手法について検討する。また提案手法を計算機シミュレータに実装し、提案手法の有効性について評価を行ったのでこれらの結果について報告する。

2 IEEE802.11DCF の動作

2.1 CSMA/CA による送信制御

まず、IEEE802.11 におけるフレームフォーマットを図 1 に示す。同図より、DATA パケットならびに RTS パケットには宛先アドレスと送信元アドレスの情報が含まれていることから、それぞれのパケットを受信することにより、どの端末がどの端末と隣接しているかを知ることができる。

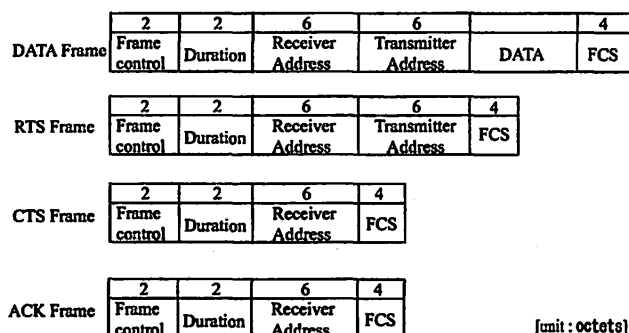


図 1: IEEE802.11DCF でのフレームフォーマット

IEEE802.11DCF の基本となる送信制御方式を図 2 に示す。同方式では、パケットの衝突を出来るだけ回避するために、キャリアセンスを行い通信範囲内の端末が送信を行っているかを見てからパケットを送信するかどうか決定する CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 方式が用いられる。

CSMA は、キャリアセンスの結果、通信範囲内の端末が送信を行っている (ビジー状態) 場合、送信を見合わせることにによって、衝突を出来るだけ回避する。そして、通信範囲内の端末が一定期間送信を行っていない (アイドル状態) と判断すれば DIFS 時間待ってから送信を開始する。

IEEE802.11 では、DATA を送信する前に送信間隔として図 3 に示す IFS(Inter Frame Space) を使用することで優先制御を行っている。DCF では、通常の DATA パケットに一番優先度の低いパケット間隔の

DIFS(DCF IFS) 時間を使用し、ACK パケットに最優先の SIFS(Short IFS) 時間を使用することで、DATA パケット送信後に他の端末に割り込まれることなく ACK パケットを送信できる。

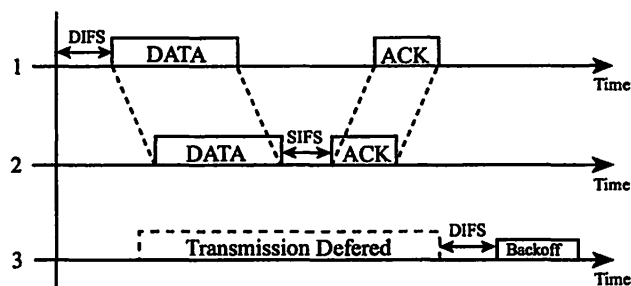


図 2: IEEE802.11DCF の動作

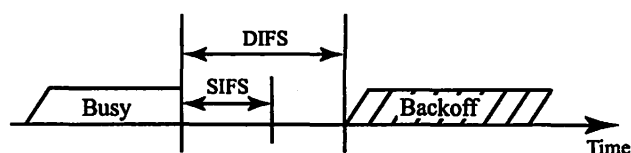


図 3: IFS による優先制御

2.2 バックオフ制御による衝突回避

IEEE802.11 では、前節のキャリアセンスに加えて衝突を回避するための方法としてバックオフ制御が規定されている。バックオフ制御では、端末の通信範囲内が DIFS 時間アイドル状態になった後、規定の CW(Contention Window) 範囲内で乱数を発生させ、その乱数値をもとにバックオフ時間が決められる。バックオフ時間は、一定時間 (スロットタイム) の倍数であり、アイドル状態であれば乱数値をスロットタイムごとに減算していき、スロットタイムが 0 になるまでその端末の送信は禁止される。このように、キャリアセンスをランダム時間だけ行うことで、各端末に公平な送信機会を与えることが出来る。また、パケットが衝突した場合は、再送ごとに CW の範囲は、2 進指数的に増加していくため、パケットの再衝突の確率を軽減させることができる。

2.3 RTS/CTS 交換を使用した衝突回避

無線環境下では、無線端末間の距離や障害物などの影響により、互いの無線信号が到達せず前節までの衝突回避の制御が機能しない状態 (キャリアセンスが機能しない伝搬環境) が発生する。このような状況では、同

時刻に複数送信が発生する可能性が高くなり、パケット衝突が頻繁に発生してしまう。これを隠れ端末問題と呼ぶ。

IEEE802.11DCF では、この隠れ端末問題に対応するために RTS/CTS 交換と呼ぶ機能を規定している。図 4 に RTS/CTS オプションを示し、その動作を説明する。

ここでは、端末 A が端末 B に対してデータを送信する場合を考える。端末 A は端末 B に対し、送信要求である RTS を送信する。RTS を受信した端末 B は、データ受信可能状態であれば、端末 A に対して受信準備完了を通知するために CTS を送信する。ここで、端末 C は端末 A が受信した RTS を、端末 D は端末 B が送信した CTS をそれぞれ傍受することにより、RTS 又は CTS に記載された送信予定期間の間、自端末の送信を延期する。

以上のように、RTS/CTS 交換を用いることにより、隠れ端末の影響を軽減することが可能である。

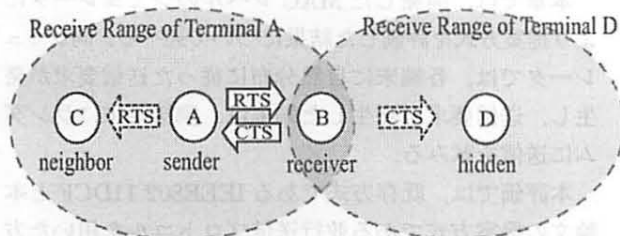


図 4: RTS/CTS 交換

2.4 IEEE802.11DCF の問題点

すでに述べたように、隠れ端末によるパケット衝突を軽減するには RTS/CTS 交換が有効であるが、RTS を傍受した場合でも、実際には送信を禁止することにより送信機会を逃してしまう問題が生じる。これをさらし端末問題と呼ぶ。さらし端末問題を図 5 を用いて説明する。

ここでは、端末 A が端末 B に対してデータを送信する場合を考える。まず、端末 A は端末 B に対し送信要求である RTS を送信する。RTS を受信した端末 B は、データ受信可能状態であれば、端末 A に対して受信準備完了パケットである CTS を送信する。ここで、端末 C は端末 A の RTS を傍受することにより、自端末の送信を延期する。

しかし、端末 C は、端末 A と端末 B の通信に影響しない端末 D を宛先とするならば新たなデータを送信できる。しかしながら端末 C は、NAV が設定されているために送信機会を逃してしまう。このような状況にあるとき端末 C は端末 A の通信にさらされているといい、

このときの現象をさらし端末問題と呼ぶ。

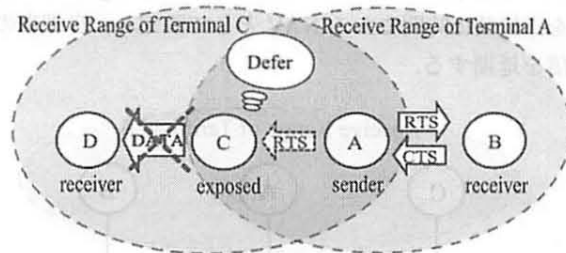


図 5: さらし端末問題

3 提案方式

3.1 ネットワークトポロジの把握手法

ネットワークトポロジの把握手法について述べる。すでに示したように 2.1 節の図 1 より、DATA パケットならびに RTS パケットには宛先アドレスと送信元アドレスの情報が含まれていることから、それぞれのパケットを傍受することで、自端末から 2 ホップ先までの端末の接続状態を把握することができる。

例えば図 6 の様に、端末 A が端末 B に対して送信した RTS を漏れ聞いた端末 C は、RTS パケット内の送信先アドレスと受信元アドレス情報から隣接している送信端末 A に加え、直接隣接していない受信端末 B の接続状態も把握できる。

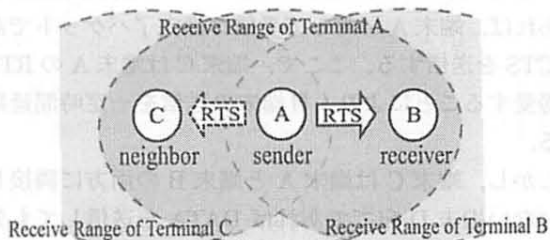


図 6: RTS 受信による接続状態の把握

3.2 さらし端末の配置関係を利用した同時並行送信プロトコル

前節で述べた不必要な送信延期を解決するために、先行する送信端末とそのさらし端末の並行送信プロトコルを提案する。

まず IEEE802.11DCF の通常動作を図 7 を用いて説明する。同図では、他端末宛の RTS を傍受する時刻

①において端末CはRTSのパケット内のduration情報から無線回線を使用する予定期間を得ることで端末Bから端末AにACKが返ってくる時刻②までの期間を送信禁止時間であるNAVとして設定し、自端末の送信を延期する。

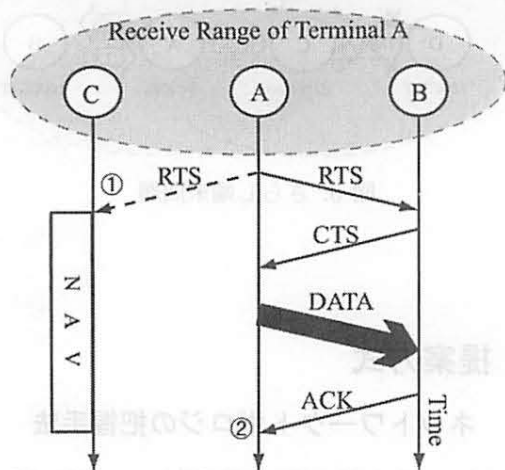


図 7: 通常動作

提案方式では、他端末宛てのRTSを傍受した自端末において、そのRTSの宛先端末と自端末が隣接せず、なおかつ、RTSの送信端末と自端末が送りたいDATAの宛先が隣接していない場合にDATAを送る。

この提案方式を図8を用いて説明する。同図では、端末Aが端末Bに対してデータを送信する場合を考える。端末Aは端末Bに対し送信要求であるRTSを送信する。RTSを受信した端末Bは、データ受信可能状態であれば、端末Aに対して受信準備完了パケットであるCTSを送信する。ここで、端末Cは端末AのRTSを傍受することにより、自端末の送信を一定時間延期する。

しかし、端末Cは端末Aと端末Bの両方に隣接していない端末D宛てであればDATAを送信しても先行する送信に悪影響を与えることはない。そこで、端末Aが端末BからのCTSとACKを受け取り、受信状態に移移するタイミング①と②以外の時刻、つまり、端末AがDATAパケットを送信する③と同時刻の④の時刻に端末Dに向けてDATAパケットを平行して送信する。端末CからのDATAパケットを正常受信した端末Dは、ACKを返し正常受信を確認する。ここで、端末DからACKが帰らない場合、端末Cは、通常の送信手順でDATAを再送信する。

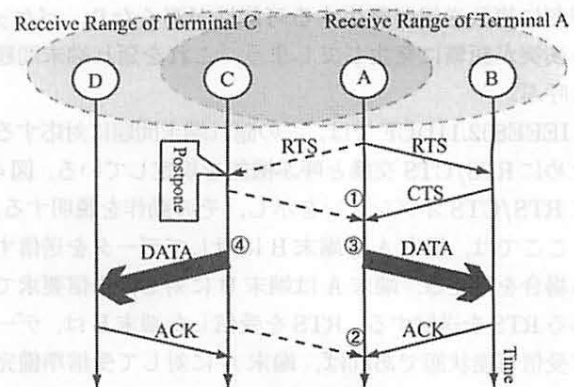


図 8: 並行送信プロトコル

4 性能評価

4.1 シミュレーション諸元

本章では、開発したMACレベルのシミュレータにより提案方式を評価した結果について述べる。同シミュレータでは、各端末に自然分布に従った送信要求が発生し、送信要求が発生した端末は、隣接端末にランダムに送信を試みる。

本評価では、既存方式であるIEEE802.11DCFと本論文の提案方式である並行送信プロトコルを用いた方式の2方式について特性を調査した。評価の際には、IEEE802.11bの規格に従って表1の様に決定した。

表 1: シミュレーション諸元

Data Rate	11Mbps
Communication Range	100m
Packet Length	1024 bytes
Packet Arrival Process	Poisson Arrival
Simulation Field	500m × 500m
Number of Terminals	4

4.2 端末配置固定時におけるスループット特性の評価

本節では、提案方式の有効性を検証するため提案方式の性能を最も効果的に引き出せる特殊な配置で端末を固定配置した場合のスループット性能を評価した。ここでの端末配置を図9に、シミュレーション結果を図10に示す。同図より、提案方式は既存のIEEE802.11DCFと比べ、高トラフィック負荷時に最大で約1.5倍の受信率を示しており、既存方式よりも高いスループット性能を示していることが確認できる。

【^{スループット}スループットは同じである
か?】

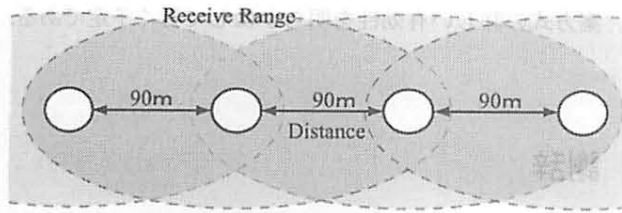


図 9: 端末配置図

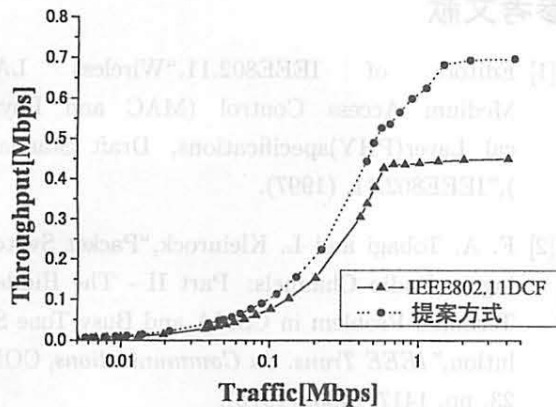


図 10: 端末配置固定時のスループット特性

4.3 端末配置ランダム時におけるスループット特性の評価

前節では、端末を固定に配置した場合において提案方式の有効性を報告した。本節では、提案方式の有効性を詳しく検証するため、端末数を 10 端末に増やし、端末をランダムに配置した場合の提案方式の評価を行った。なお、その他のパラメータはこれまでと同様に表 1 のものを用いた。このときのシミュレーション結果を図 11 に示す。同図より、提案方式は既存の IEEE802.11DCF に比べて高いスループット性能を示すことが確認できる。

4.3.1 端末配置ランダム時におけるパケットサイズを変化させた場合のスループット特性

本節では、パケットサイズの変化による提案方式の有効性を検証するために、パケットサイズを 512byte から 3072byte まで、512byte ずつ変化させながら評価を行った。なお、その他のパラメータはこれまでと同様に表 1 のものを用いた。また、パケットサイズの違いによる提案方式の有効性を示すために、計算機シミュレーション結果からパケットサイズごとの最大スループットを算出し、これを図 12 に示した。同図より、提

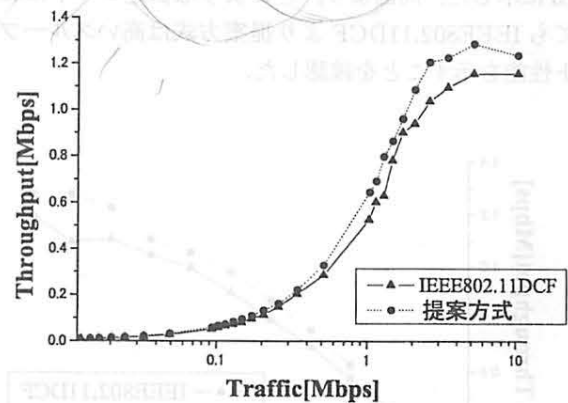


図 11: 端末配置ランダム時のスループット特性

案方式はどのようなパケットサイズにおいても既存の IEEE802.11DCF より高いスループット性能を確認できる。

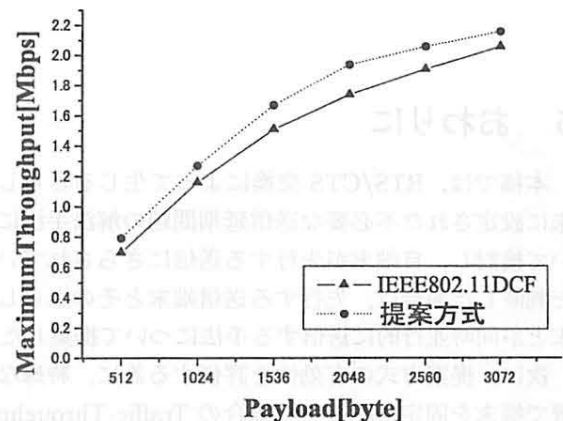


図 12: パケットサイズを変化させた場合の最大スループット特性

4.3.2 端末配置ランダム時における伝送レートを変化させた場合のスループット特性

本節では、伝送レートの変化による提案方式の有効性を検証するために、伝送レートを 1Mbps から 11Mbps まで、1Mbps ずつ変化させながら評価を行った。なお、その他のパラメータはこれまでと同様に表 1 のものを用いた。また、伝送レートの違いによる提案方式の有効性を示すために、計算機シミュレーション結果から伝送レートごとの最大スループットを算出し、これを図

13に示した。同図より、どのような伝送レートにおいてもIEEE802.11DCFより提案方式は高いスループット性能を示すことを確認した。

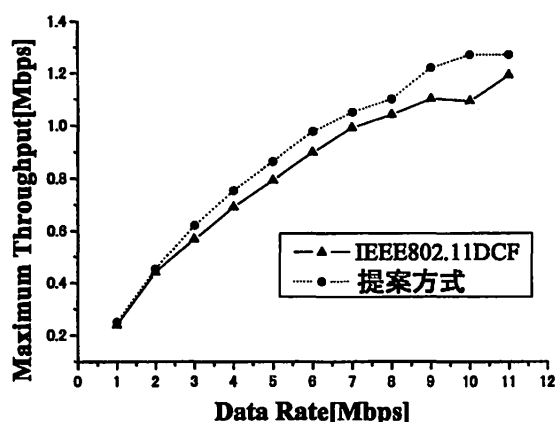


図 13: 伝送レートを変化させた場合の最大スループット特性

5 おわりに

本稿では、RTS/CTS 交換によって生じるさらし端末に設定された不必要な送信延滞問題の解決手法について検討し、自端末が先行する送信にさらされていると判断した場合は、先行する送信端末とそのさらし端末とが同時並行的に送信する手法について提案した。

次に、提案方式の有効性を評価する為に、特殊な配置で端末を固定に配置した場合の Traffic-Throughput 特性を計算機シミュレーションにより調査し、既存の IEEE802.11DCF に比べて、提案方式は最大で約 1.5 倍のスループット性能を示すことを明らかにした。また、端末数を 10 端末に増やし、ランダムに配置して行ったシミュレーションの結果からも、提案方式は高いスループット性能を示すことを確認した。

これに加えて、パケットサイズを変化させた場合のシミュレーション結果からは、提案方式は DATA 長をどのように変化させても既存方式よりも高いスループット性能となることが分かった。さらに伝送レートを変化させた場合のシミュレーション結果からは、提案方式は伝送レートをどのように変化させても既存方式よりも高いスループットを確認した。このことから、提案方式は、様々な条件において既存方式より高いスループット性能を示し、提案方式の有効性を明らかにした。

今後は、提案方式を実装した計算機シミュレータを用いて、さらに条件を様々に変化させた評価を行い、提

案方式の詳しい有効性を明らかにして行く予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究 (B) (No.18700075) の援助を受けている。

参考文献

- [1] Editors of IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC and Physical Layer(PHY) specifications, Draft Standard)," IEEE802.11, (1997).
- [2] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet Switching in Radio Channels: Part II - The Hidden-Terminal Problem in CSMA and Busy-Tone Solution," *IEEE Trans. on Communications*, COM-23, pp. 1417-1433, (1975).
- [3] P. Karn, "MACA - a new channel access method for packet radio," *ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference*, pp.134-140, (1990).