

Cancel CTS の IEEE802.11DCF への実装と性能評価

井上 大資[†] 重安 哲也[‡] 松野 浩嗣^{††} 森永 規彦[‡]

[†] 広島国際大学大学院 社会環境科学研究科

^{††} 山口大学大学院 理工学研究科

[‡] 広島国際大学 工学部

IEEE802.11DCF は隠れ端末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 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の影響を軽減することができる。しかしながら、逆に RTS/CTS 交換が失敗した場合、失敗した RTS もしくは CTS を傍受した端末は不必要に送信を延期してしまう。そこで、本稿では、これを解決するために Cancel CTS 方式を提案し、計算機シミュレーションにより有効性の評価を行った結果について報告する。

Proposal of IEEE802.11DCF with CCTS and Its Performance Evaluation

Daishi Inoue[†] Tetsuya Shigeyasu[‡] Hiroshi Matuno^{††} Norihiko Morinaga[‡]

[†] Graduate School of Socio-Infrastructural Technologies, Hiroshima International University

^{††} Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

[‡] Faculty of Engineering, Hiroshima International University

IEEE802.11DCF employs RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) mechanism for mitigating effect of hidden terminals. The RTS/CTS mechanism sets transmission deferral timer to neighbor terminals by exchanging RTS and CTS between transmitter and receiver. Then, in the case that RTS/CTS exchange succeeds, effect of hidden terminals could be suppressed, otherwise, any neighbor which heard RTS and/or CTS defers its new transmission needlessly although DATA corresponding to the previous RTS/CTS exchange will not be transmitted actually. In this paper we propose Cancel CTS in order to solve the unnecessarily transmission deferment. Results of computer simulation confirms that our method well improves throughput performance.

1 はじめに

代表的な無線 LAN 規格である IEEE802.11DCF の基本 MAC プロトコルである CSMA (Carrier Sense Multiple Access) [1] では、隠れ端末の存在によりパケットの衝突が多く生じ、スループットが著しく低下してしまう。そこで、これを解決するオプションとして RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send) が採用されている。同オプションでは、DATA の送信開始前に RTS, CTS を送受信端末間で交換することで、これらを傍受した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 が正しく交換された場合は、隠れ端末の影響を軽減することができる。しかしながら、逆に、RTS/CTS 交換が失敗した場合は、RTS もしくは CTS を傍受した

隣接端末は、DATA が実際送信されないにも関わらず、傍受したパケットのヘッダに従って NAV を設定することで不必要に送信を延期してしまう。

そのため、文献 [2] では、RTS/CTS 交換の失敗を検知した送信端末が、RTS によって設定された隣接端末の NAV をキャンセルする CRTS (Cancel RTS) 方式を提案している。また、文献 [3] では、RTS を受信した端末は DATA の送信予定時刻にキャリアセンスを行い、実際に DATA が送信されていなければ、RTS によって設定された NAV をキャンセルする方式を提案している。また、文献 [4] では、RTS/CTS 交換を提案した MACA と同じ NAV 設定を導入することで、新たなパケットやプロトコル変更なしに効果的に不必要な送信延期を回避する方式を提案している。このように、

RTSによって設定された不必要な NAV の影響を排除する方式は未だ提案されていない。

ところで、RTS/CTS 交換を提案した MACA [5] の性能を解析的に導出した文献 [6] や、計算機シミュレーションを用いて隠れ端末が存在する状況における性能を評価した文献 [7] において報告されているように、比較的時間の長い DATA を送信する場合に RTS/CTS 交換は発揮することが確認されている。しかしながら、DATA 長が長くなればなるほど、RTS、CTS によって設定される NAV 期間も同様に長くなるために、RTS/CTS 交換失敗時の不必要な送信延期の影響も大きくなってしまふ。

そこで、本稿はまず、IEEE802.11DCF において RTS/CTS 交換の失敗状況を計算機シミュレーションにより調査し、RTS に比べて数は少ないものの、CTS も送信失敗することにより不必要な NAV を隣接端末に設定していることを明らかにする。また、この失敗した CTS によって設定される不必要な NAV の影響を排除する Cancel CTS 方式を提案する。次に、DATA パケット長を様々に変化させた場合における提案方式と IEEE802.11DCF の最大スループット特性を調査することにより、提案方式は IEEE802.11DCF に比べて、RTS/CTS 交換が持つ本来の特性を引き出し、高いスループットが獲得できることを明らかにしたので、これらの結果について報告する。

2 IEEE.802.11DCF の動作と問題点

2.1 IEEE802.11DCF の動作

図 1 に、IEEE802.11DCF の基本送信制御方式を示す。同方式では、信号を送信する前に最低限の送出信号間隔として、IFS (Inter Frame Space) が定義されている。IFS は固定長であるが、キャリアセンスを行う際にその長さを複数定義することで、パケット種別間での優先権を制御することが可能となる。キャリアセンスの結果、他端末が通信を行っていないならば、送信端末 (端末 1) は、DIFS (DCF Inter Frame Space) 時間待機した後に、DATA を送信する。DATA パケットを受信した受信端末 (端末 2) は、SIFS (Short Inter Frame Space) 時間待機した後に ACK (Acknowledgement) パケットを返信する。このとき、ACK パケットが一定時間内に送り返された場合は、無事に送信が終了したと判断し一連の送信動作を完了する。逆に、時間内に ACK パケットが送り返されない場合には DATA パケットの送信に失敗したと判断し、再度送信を試みる。

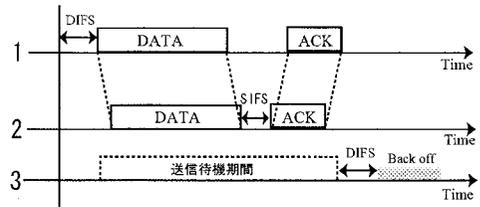


図 1: IEEE802.11DCF の動作例

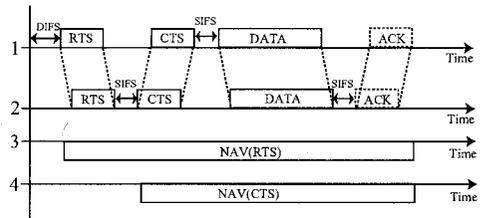


図 2: IEEE802.11DCF の動作例

2.2 IEEE802.11DCF の基本送信制御方式

DCF の基本送信制御方式では、各端末はキャリアセンス外の端末の送信状況を調査することができない。そのため、送信範囲内に存在する端末は自端末と同時に送信を行うことが可能となり、パケット衝突を生じてしまう問題 [1]。DCF では、この問題を解決するためにオプションとして RTS/CTS を採用している。同オプションでは、送信開始前に RTS、CTS を送受信端末間で交換することで、これらを傍受した隣接端末に送信禁止時間を設定する。

図 2 に IEEE802.11DCF の動作を示す。同図において、送信要求が生じた端末 1 は、キャリアセンスにより他端末の通信状況を調査する。他端末が通信を行っていないならば、端末 1 は DIFS 時間待機後に、端末 2 に対し RTS を送信する。RTS を受信した端末 2 は、通信可能状態であれば SIFS 時間後に端末 1 へ CTS を送信する。このとき、端末 3 と端末 4 が、RTS もしくは CTS を受け取った場合、ACK パケットの受信完了予定時刻まで送信禁止時間 (NAV) を設定する。CTS を受信した端末 1 は、データパケットを端末 2 に送信する。データを全て受信し終わった端末 2 は端末 1 に対し正常受信を示す ACK を送信し一連のデータ通信を完了する。なお次回、送信を行う時には、DIFS 時間 + バックオフ時間送信待機した後に再び上記の動作を繰り返す。

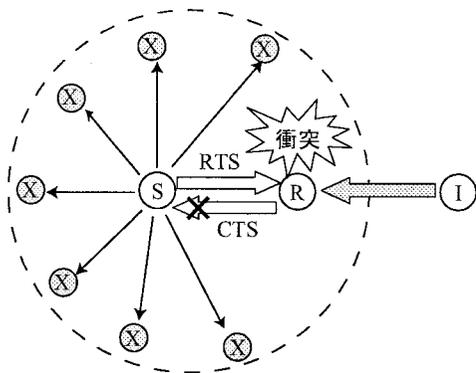


図 3: RTS/CTS 交換失敗例 topology

2.3 IEEE802.11DCF の問題点

IEEE802.11DCF では、隠れ端末の影響を軽減するために、端末 S が端末 R に対して RTS を送信し、隣接する端末は送信を延期する (図 3 を参照)。しかし、端末 I から端末 R にパケットが送信された場合、端末 R 上でパケット衝突が起こり、端末 R は CTS を返信することができない。したがって、 X には RTS/CTS 交換が失敗したにも関わらず、NAV が設定されてしまうことになる。

この状況を時間軸で表したものを図 4 に示す。同図において、隣接端末は S からの RTS を受信し、送信禁止時間 (NAV) を設定する。しかし、この RTS/CTS 交換が失敗した場合、これに続く DATA は送信されないため、隣接端末は別の新たなフレームを送信できる状況にあっても、先の失敗した RTS もしくは CTS によって設定された NAV によって新たな送信を禁止されてしまい、不当な NAV 期間が発生してしまう。

さて、RTS/CTS 交換の性能評価を行った文献 [6], [7] では、長いデータ長をもつ DATA を送信する場合に RTS/CTS 交換は効果を発揮すると報告しているが、データ長の増加は、逆に前述の不必要な送信延期を行う機関も同様に長くなるという問題を生じる。

2.4 関連研究

2.4.1 RTS/CTS+CRTS

RTS/CTS+CRTS[2] は、送信延期を引き起こした端末が CRTS (Cancel RTS) パケットを送信することにより RTS が設定した不要な NAV を破棄する。図 5 に RTS/CTS+CRIS を採用した場合の動作を示す。同図において端末 2 は端末 1 からの RTS を漏れ聞き NAV(RTS) を設定する。しかし、一定時間経過後 (CTS

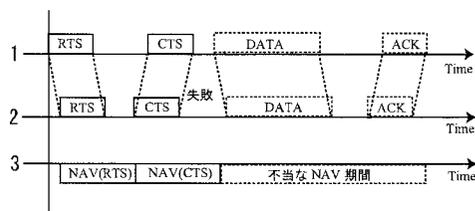


図 4: RTS/CTS 交換失敗例

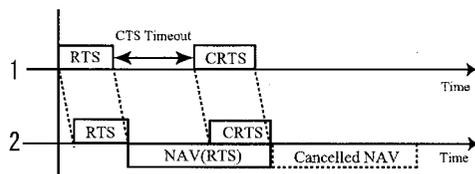


図 5: RTS/CTS+CRIS mechanism

Timeout) も、端末 2 から CTS が送り返されない場合、不必要な NAV(RTS) を隣接端末に設定させたと判断し、隣接端末の NAV(RTS) を破棄するよう CRTS を送信する。これを受け取った端末 2 は NAV(RTS) を破棄し、不必要な送信延期を回避する。

2.4.2 RTS validation

RTS validation[3] のメカニズムを図 6 示す。同方式は、RTS によって NAV が設定された場合でも、これに対応する CTS が受信できない場合には RTS Defer Time 後にキャリアセンスによってこれを検知し不要な NAV を破棄する方式である。ここで、RTS Defer Time は、 $CTS + 2 \times SIFS$ 時間となる。キャリアセンスの結果、端末 1 のように DATA パケットの送信が検知された場合は、NAV(RTS) に従って引き続き送信を延期する。しかし、端末 2 のように、キャリアセンスにより DATA の送信が検知できない場合は、自端末が不必要な送信延期状態にあるとして NAV(RTS) を破棄する。

2.4.3 NAV 短縮方式

文献 [4] によって提案された MACA 方式の NAV 設定を DCF に適用した制御方式を図 7 に示す。同方式では、RTS を受け取った場合はこれに対応する CTS が送り返される時間までを NAV に設定する。ここで、CTS が送り返される予定時間は、RTS を受け取った時刻から $SIFS + CTS$ 送信時間が経過した時刻となる。

その後、時間内に CTS が送り返された場合は、ここで初めて RTS/CTS 交換が成立したと判断し、NAV を

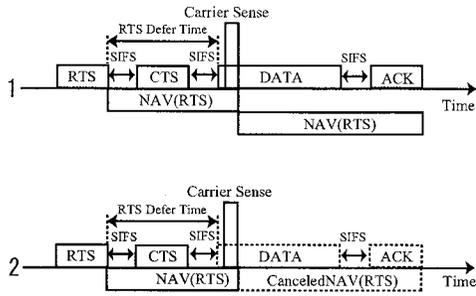


図 6: RTS validation mechanism

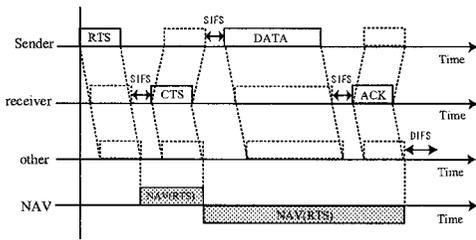


図 7: NAV 短縮 mechanism

ACK の受信完了予定時刻に延長する。このように、同方式において CTS が受信されない場合は、RTS により設定された NAV の時刻経過後に短時間で送信可能状態に復帰するために、 unnecessary 送信延期間を回避できるとしている。

3 IEEE802.11DCF の問題点の解決手法

RTS/CTS 交換が失敗した場合に発生する不当な NAV を解除し、通信効率の低下を防ぐために、文献 [2] では RTS/CTS 交換が失敗した際に、送信端末が隣接端末の NAV(RTS) を解除する RTS/CTS+CRTS (Cancel RTS) 方式を提案している。また、文献 [4] では、新たなパケットを定義せずに失敗した RTS による影響を軽減する方式を提案している。さて、これらの方式は RTS の時点で設定された NAV の影響を排除するには有効な対策であるが、CTS の時点で設定された不当な NAV の影響を排除することはできない。そこで、本稿ではこれを解決するために、文献 [4] の方式に加えて、NAV(CTS) を破棄する制御を組み合わせた IEEE802.11DCF with CCTS を提案する。

提案方式では、NAV 情報を記録するために図 8 に示すような 3 種類の NAV 情報を保持する。これらは、RTS によって設定された NAV を保持する NAV(RTS)、端末

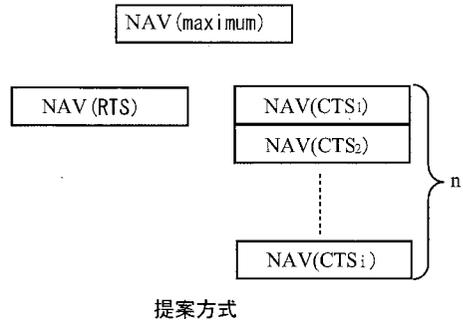


図 8: NAV のテーブル情報

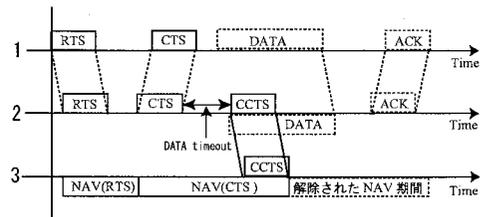


図 9: Cancel CTS の動作手順

i ($i \leq n$, n is a number of neighbor terminals) の CTS によって設定された NAV を保持する NAV(CTS_{*i*})。そしてこれらのうちの最大値を保持する NAV(maximum) とする。ここで、NAV(RTS) は隣接ノードの RTS を傍受する度に、新たな RTS の NAV と自身の NAV(RTS) を比較し、最大値に更新する。また、NAV(CTS_{*i*}) も端末 i から CTS を傍受する度に同様に最大値に更新する。また、NAV(maximum) は NAV(RTS) もしくは n 個の NAV(CTS_{*i*}) の中のいずれかが更新された際には、再度これらの中の最大値に更新する。また、すべての端末は以上のように設定された自身の NAV(maximum) を参照することで、送信可否を判断する。提案方式では、RTS による不当な NAV の影響は、文献 [4] と同様の方式で軽減する。

次に、提案方式の動作を図 9 を用いて説明する。同図において、端末 2 は端末 1 宛での CTS を送信したとする。このとき、端末 3 は NAV(CTS₂) を設定する。このとき、端末 2 は CTS 送信後、DATA 到着予測時刻においてキャリアが検出されなければ、送信が失敗したと判断する (DATA timeout)。その後、端末 2 は隣接端末に向けて CCTS を送信する。端末 2 からの CCTS を受信した端末は、NAV(CTS₂) を破棄する。

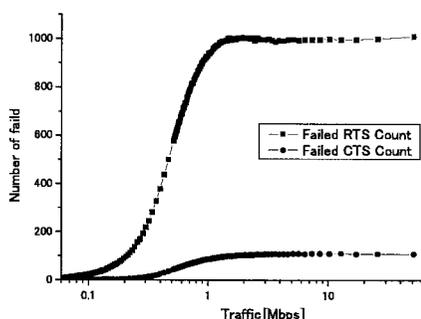


図 10: RTS/CTS の失敗回数

4 性能評価

本章では、計算機シミュレーションにより提案方式を評価した結果について述べる。本評価では、IEEE802.11DCF, 文献 [4] での NAV 短縮方式ならびに、本稿での提案方式である IEEE802.11DCF with CCTS の 3 方式についての特性を調査した。また、DATA パケット長は 1024byte, 送信レートは 1Mbps とした。評価の際に使用した詳細なシミュレーション緒元を表 1 に示す。

4.1 RTS/CTS 交換の失敗回数

提案方式の有効性を評価する前に、本節ではまず、既存方式のスループット低下の原因となる、RTS/CTS 交換の失敗回数を調査した。

図 10 に RTS が送信されたにも関わらず、これに対応する CTS が返信されなかった回数 (Failed RTS Count) と、CTS が送信されたにも関わらず、これに対応する DATA パケットが返信されなかった回数 (Failed CTS Count) を計測した結果を示す。同図より、CTS は RTS に比べて失敗回数は少ないものの、トラフィックが増加するに従い失敗回数が増加することが確認できる。

次に、Traffic-Throughput 特性を計算機シミュレーションにより調査した結果を図 11 示す。同図より、提案方式が CCTS を用いることにより、その他の方式よりも優れたスループット性能を示していることが確認できる。

4.2 端末数を変化させた場合のスループット特性

端末数を変化させた場合の最大スループット特性を図 12 に示す。ここでは、端末数を 50 端末から 200 端末まで、50 端末ずつ変化させながら評価を行った。な

表 1: シミュレーション緒元

Data Rate	1 Mbps
Communication Range	100 m
Payload	1024 bytes
Packet Arrival Process	Poisson
Simulation Field	500 × 500 m
Number of Terminals	50
Terminals Initial Location	random placed
Simulation Period	50 seconds

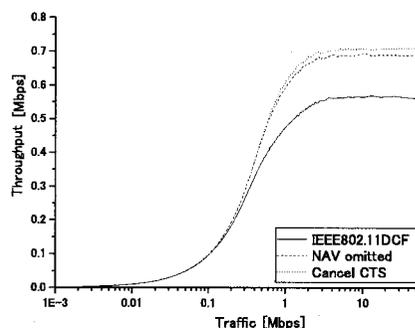


図 11: Traffic-Throughput 特性

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、端末数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、端末数ごとの最大スループットを算出し、これを結果として図 12 に示した。同図より、提案方式は NAV 短縮方式及び、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。また、端末数が増加するに伴い、提案方式によるスループット向上幅も大きくなることも確認できる。

4.3 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、DATA 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。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 13 に示した。同図から、IEEE802.11DCF では、DATA サイズが 1500byte 以下においては、DATA サイズの増加に伴いスループットも向上しているが、1500byte 以上

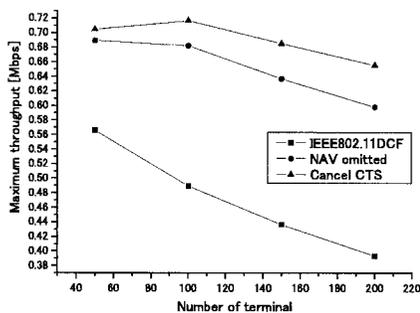


図 12: 端末数を変化させた最大スループット特性

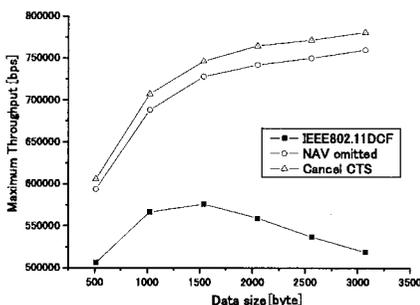


図 13: パケットサイズを変化させた最大スループット特性

では逆に DATA サイズの増加に反してスループットは低下してしまうことが確認できる。

しかしながら、提案方式及び、NAV 短縮方式においては、どのようなサイズにおいても DATA サイズ増加に伴ってスループットも増加していることがわかる。

さて、文献 [6][7] では、RTS/CTS 交換は DATA サイズが大きな場合に、その効果を発揮すると報告しているが、本稿の提案方式ではそのような RTS/CTS 交換が本来もつ性能を効果的に引き出していると考えられることができる。

5 まとめ

本稿では、RTS/CTS 交換が失敗した場合、不必要に周囲のノードのフレームを抑制する影響が大きくなり、逆に通信効率が低下してしまう点に着目した。そこで、RTS/CTS 交換に失敗した場合、CTS を送信した端末が隣接端末の送信禁止時間を解除するための手

法として、Cancel CTS を送信する方式を提案した。

次に、提案方式の有効性を評価する為に、Traffic-Throughput 特性を計算機シミュレーションにより調査し、その結果から、既存の IEEE802.11DCF 及び、NAV 短縮方式に比べて、提案方式は高いスループット性能を示すことを明らかとした。また、端末数を変化させたシミュレーション結果からも、提案方式は高いスループット性能を示していることを確認した。さらに、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、提案方式は DATA 長が長い場合においても隣接端末に悪影響を与えることなく RTS/CTS 交換の本来の性能を引き出すことのできる方式であることを明らかとした。

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] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels: Part II - The hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy-tone solution," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, no. 12, pp. 1417-1433, 1975.
- [2] 原田 貴弘, 太田 能, 森井 昌克, "無線マルチホップ網における IEEE802.11DCF の TCP スループット特性の改善," *電子情報通信学会誌 B Vol.J85-B No.12* pp.2198-2208 2002 年 12 月
- [3] Saikat. ray, et al., "On false Blocking in RTS/CTS-Based Multihop Wireless Networks," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 56, No. 2, pp. 849-862, March, 2007
- [4] T. Shigeyasu, T. Hirakawa, H. Matsuno, and N. Morinaga, "Two simple modifications for improving IEEE802.11DCF throughput performance," *WCNC 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, no. 1, March 2004 pp. 1445-1450
- [5] F. Karn, "MACA - A new channel access and protocol for packet radio," *ARRLS/CRRL Amateur Radio Ninth Computer Networking Conf.*, pp. 134-140, 1990.
- [6] 松野 浩嗣, 石中 秀幸, 重安 哲也, "MACA における伝搬遅延時間と RTS パケット認識時間の影響," *電子情報通信学会論文誌 B Vol.J85-B No.12* pp.2449-2459 2003 年 12 月
- [7] 重安 哲也, 松野 浩嗣, 森永 規彦, "隠れ端末の影響を調査するためのネットワーク生成アルゴリズムによる MAC プロトコル評価," *電子情報通信学会誌 B Vol.J85-B No.3* pp.351-360 2006 年