

不必要な送信延期を防ぐ IEEE802.11DCF with Cancel CTS の提案

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。

A Proposal of IEEE802.11DCF with Cancel CTS for Avoiding Unnecessary Transmission Deferment

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かかわらず、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既に提案されているが、CTSによって不必要なNAVが設定された場合にこ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交換は効果を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

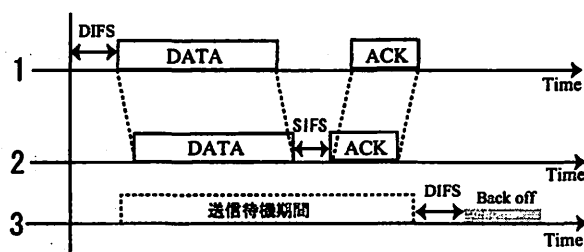


図1: IEEE802.11DCFの動作例

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。

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、通信可能状態にあれば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。

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からも端末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

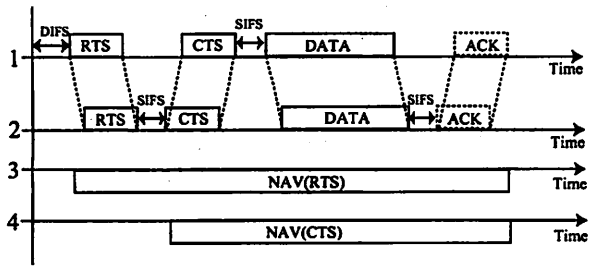


図 2: IEEE802.11DCF の動作例

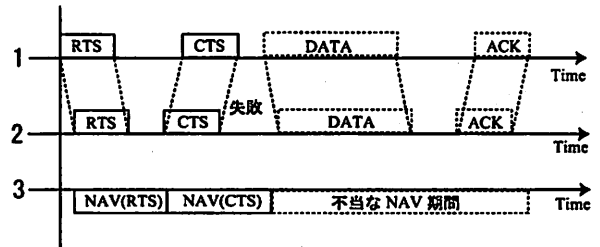


図 4: RTS/CTS 交換失敗例

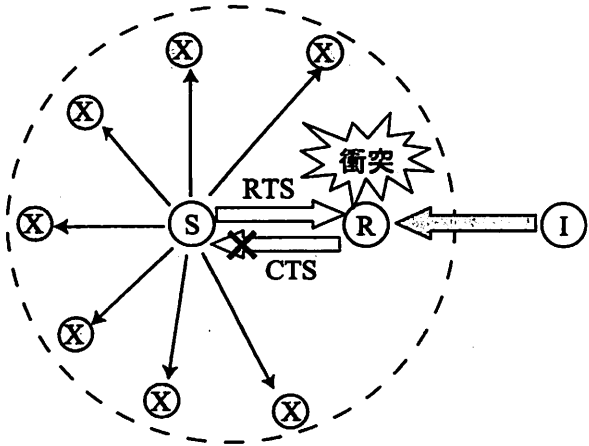


図 3: RTS/CTS 交換失敗例 topology

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期間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

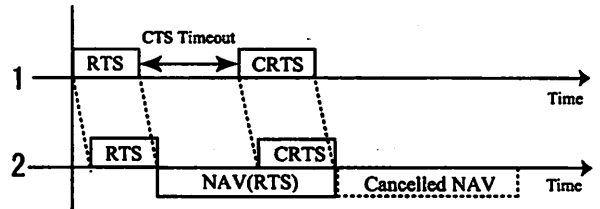


図 5: RTS/CTS+CRTS mechanism

5 に RTS/CTS+CRTS 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 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×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

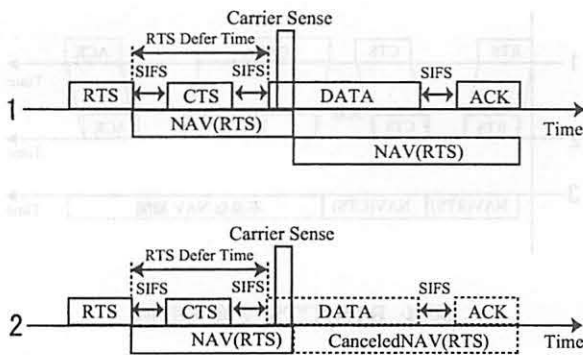


図 6: RTS validation mechanism

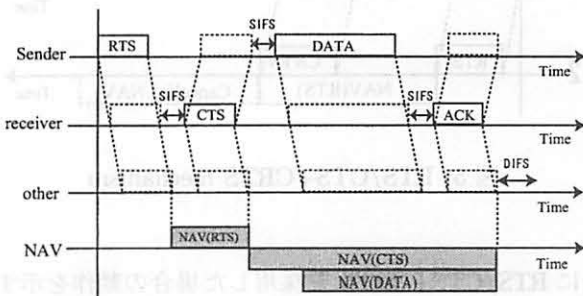


図 7: NAV 短縮 mechanism

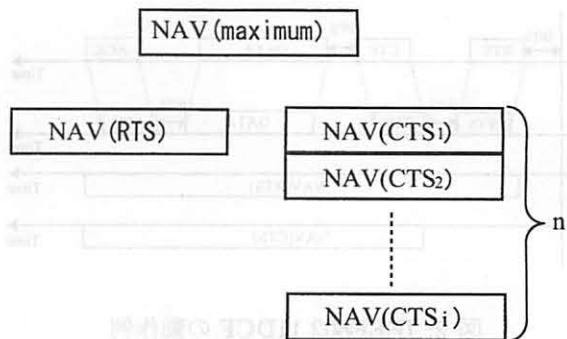
ら SIFS+CTS 送信時間が経過した時刻となる。

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 ACK の受信完了予定時刻に延長する。(CTS を傍受できない場合でも DATA を傍受することで、同様に NAV を 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、不必要な送信延期問題を回避できるとしている。

3 IEEE802.11DCF の問題点の解決手法

前述で述べた方式はすべて不必要な NAV の影響を軽減することを目的とした方式であるが、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



提案方式

図 8: NAV のテーブル情報

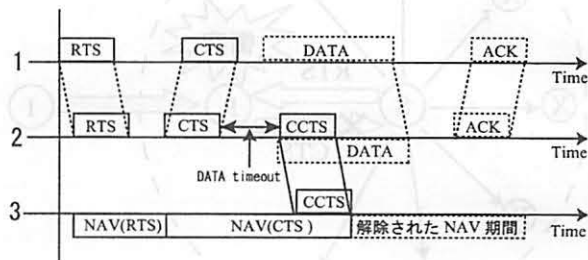


図 9: Cancel CTS の動作手順

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 宛ての 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。

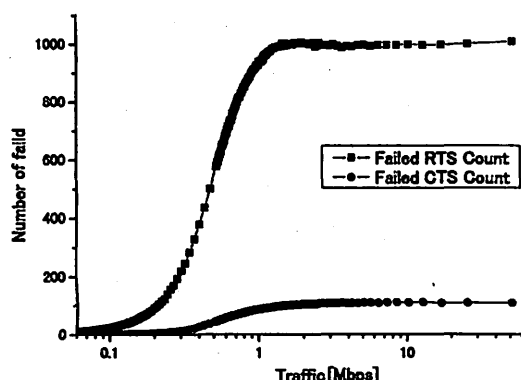


図 10: RTS/CTS の失敗回数

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

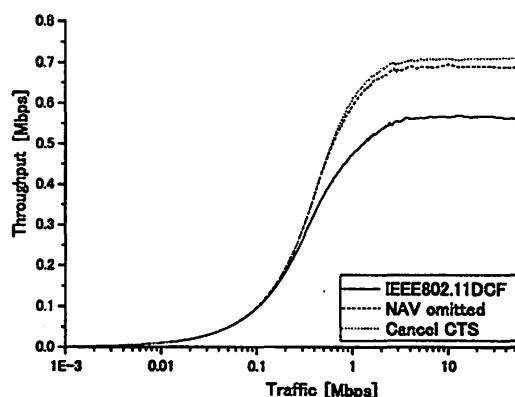


図 11: Traffic-Throughput 特性

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

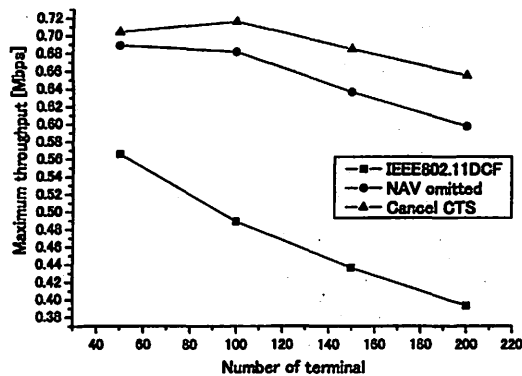


図 12: 端末数を変化させた最大スループット特性

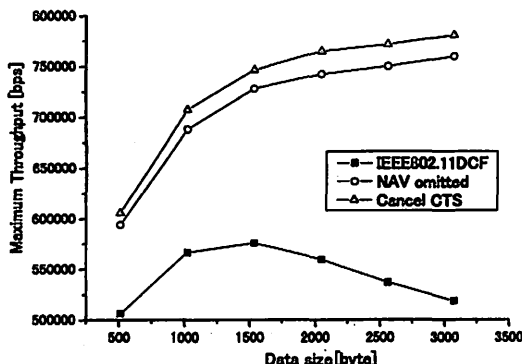


図 13: パケットサイズを変化させた最大スループット特性

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 サイズが大きくなると、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。また、本稿における性能評価は伝送レートが 1 Mbps の場合について報告したが、伝送レートをどのように設定した場合においても同等の特性が得られることを確認している。

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