

## 隠れ端末の存在を考慮した適応的な RTS/CTS 制御の導入

秋元 誠<sup>†1</sup> 重安 哲也<sup>†2</sup> 森 永規彦<sup>†2</sup>

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 を送信する前に送受信間で RTS/CTS 交換を行い隣接端末に対して NAV ( Network Allocation Vector ) を設定する事で衝突を回避している。しかし、同規格では隠れ端末が存在しない場合にも RTS/CTS 交換をするため、RTS/CTS によるオーバーヘッドの増加によりスループットが低下する。そこで、本稿では隠れ端末が存在しない場合には RTS/CTS 交換を使用しない方式を提案し、計算機シミュレーションにより有効性を評価した結果について報告する。

### A new method for mitigating transmission overhead by adaptive RTS/CTS on the basis of existence of hidden terminal

MAKOTO AKIMOTO,<sup>†1</sup> TETSUYA SHIGEYASU<sup>†2</sup>  
and NORIHIKO MORINAGA<sup>†2</sup>

IEEE802.11DCF employs RTS/CTS handshake for suppressing effects of hidden terminals. The RTS/CTS handshake avoids packet collision by setting NAV ( Network Allocation Vector ) to neighbor terminals of sender and/or receiver. However, The RTS/CTS handshake increases needless transmission overhead when the receiver does not connect to any hidden terminals. Then, in this paper we propose a new method controlling adaptive RTS/CTS handshake on the basis of existence of hidden terminals. And, the results of computer simulations confirm that proposed method significantly improves throughput performance than traditional IEEE802.11DCF.

<sup>†1</sup> 広島国際大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Hiroshima International University

<sup>†2</sup> 広島国際大学 工学部

### 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 規格の IEEE802.11DCF<sup>1)</sup> は、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無線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<sup>2)</sup>。

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、キャリアセンスにより送信可否を決定しているが、そのような状況ではキャリアセンスが有効に機能せず、パケット衝突により著しくスループット低下が起こる<sup>3)</sup>。これは隠れ端末問題<sup>4)</sup> と呼ばれるが、IEEE802.11DCF では隠れ端末対策用のオプションとして RTS/CTS ( Request to send/Clear to send ) 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 を送受信間で交換し隣接端末に NAV ( Network Allocation Vector ) を設定する事で送信を延期し衝突を回避する<sup>5)</sup>。

さて、IEEE802.11DCF では、DATA の長さによって RTS/CTS の ON/OFF を決定する<sup>6)</sup>。つまり、隠れ端末がほとんど存在しないような場合にも、DATA 長が長ければ RTS/CTS 交換を使用するため、不要なオーバーヘッドによるスループット低下の問題が発生する。

そこで、本稿では DATA 長ではなく、隠れ端末の存在数を考慮して、RTS/CTS 交換の ON/OFF を決定する制御方式を提案する。同方式では、DATA 送信先に隠れ端末がほとんど存在しない場合には DATA 衝突の危険性が低いと判断し、RTS/CTS 交換を使用しないことで送信オーバーヘッドを削減する。また、提案方式の有効性を明らかにするために計算機シミュレーションも行ったので結果についてあわせて報告する。

## 2. IEEE802.11DCF の動作

### 2.1 CSMA/CA による送信制御

IEEE802.11DCF 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。

DATA Frame	2	2	6	6		4
	Frame control	Duration	Receiver Address	Transmitter Address	DATA	FCS
RTS Frame	2	2	6	6		4
	Frame control	Duration	Receiver Address	Transmitter Address		FCS
CTS Frame	2	2	6			4
	Frame control	Duration	Receiver Address			FCS
ACK Frame	2	2	6			4
	Frame control	Duration	Receiver Address			FCS

[unit : octets]

図 1 IEEE802.11DCF におけるフレームフォーマット  
Fig. 1 Frame format of IEEE802.11DCF

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参照した後に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場合、送信を延期することによって衝突を回避する。その後、通信範囲内の端末が一定期間送信を行っていないと判断した場合は DIFS ( DCF Inter Frame Space ) 時間待機後に送信を開始する。

### 2.2 隠れ端末問題

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キャリアセンスが機能しない状態が発生する。図 3 に示すように端末 S が送信を開始する時には、端末 S の隣接端末である端末 N はキャリアセンスにより端末 S の送信を検知す

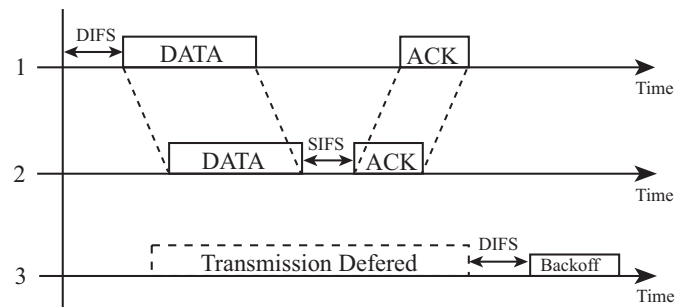


図 2 IEEE802.11DCF の動作  
Fig. 2 Transmission procedure of IEEE802.11DCF

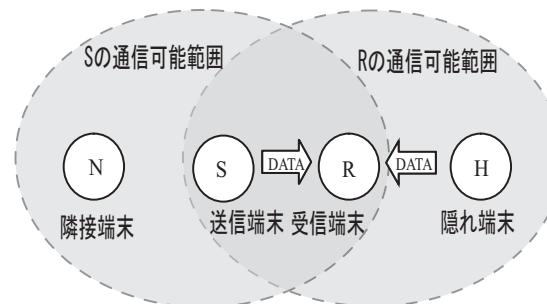


図 3 隠れ端末問題  
Fig. 3 Hidden terminal problem

ることができる。

しかし、S の通信範囲外にある端末 H は端末 S の送信を検知する事ができないため、端末 S と同時刻にデータを送信した場合には衝突が発生してしまう。これを隠れ端末問題と呼ぶ<sup>4)</sup>。

### 2.3 RTS/CTS 交換

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 S が端末 R に対してデータを送信する場合を考える。端末 S は端末 R に対し、送信要求を通知する RTS を送信する。RTS を受信した端末 R は、データ受信可能

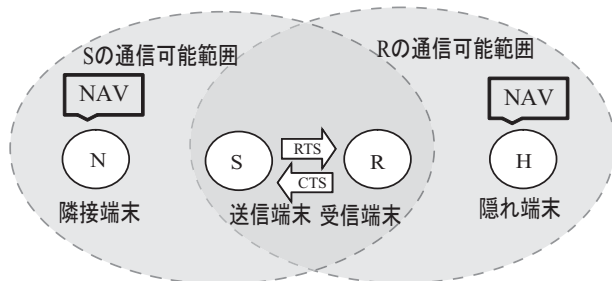


図 4 RTS/CTS 交換  
Fig. 4 RTS/CTS handshake

状態であれば、端末 S 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 N は端末 S が受信した RTS を、端末 H は端末 R 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。

#### 2.4 RTS/CTS 交換による送信オーバーヘッド増加問題

IEEE802.11DCF における RTS/CTS 交換は隠れ端末によるパケット衝突を効果的に軽減できる。同規格では RTS の ON/OFF は送信するデータフレーム長が、RTS Threshold 値の大きさを超える場合には RTS/CTS 交換を使用する手法を採用している。従って、このような手法では送信時に隠れ端末の存在は全く考慮されていないことになる。そのため、そのような場合は不必要な RTS/CTS 交換によりスループットが低下する。

このことを図 5 を用いて動作を説明する。RTS Threshold 以上のサイズのデータを送信する場合、端末 S は端末 R に対する DATA 送信に先立って RTS/CTS 交換を行う。しかしながら、このデータの送信先に隠れ端末は存在していないためパケット衝突は発生しない。すなわち、この場合の DATA 送信前の RTS/CTS 交換は不要であるといえる。

次に、この不要な RTS/CTS によるオーバーヘッドについて説明するために図 6 に着目する。端末 S は DIFS+バックオフの期間だけ送信を延期した後端末 R に向けて RTS/CTS 交換を行っているが、端末 R 方向に隠れ端末が存在しない場合には、同図 に示す長さの時間、送信チャンネルが不要に浪費されることになる。

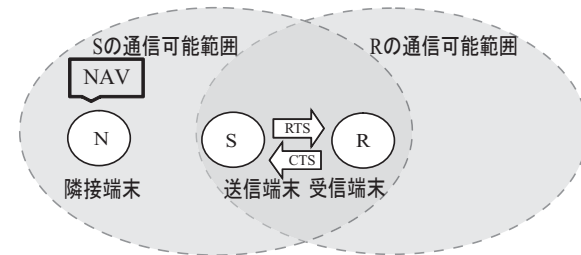


図 5 RTS/CTS による不必要な送信オーバーヘッド. 1  
Fig. 5 Needless transmission overhead induced by RTS/CTS. 1

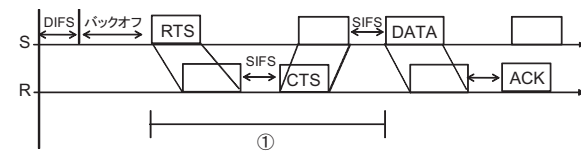


図 6 RTS/CTS による不必要な送信オーバーヘッド. 2  
Fig. 6 Needless transmission overhead induced by RTS/CTS. 2

### 3. 提案方式

前節での議論をふまえて、不要な RTS/CTS 交換によるオーバーヘッドを削減するために隠れ端末の存在を考慮した RTS/CTS 交換の適応制御手法について述べる。

以下では、隠れ端末の存在を考慮した制御手法の本質的な効果を確認するために、図 7 に示すように DATA の送信先に隠れ端末が 1 つも存在しない場合のみ RTS/CTS 交換を行わない方式についてまず評価する。

#### 3.1 隠れ端末の判断方法

提案方式では、隠れ端末の存在をどのようにして検知するかが重要となる。そこで、これを解決するための手法として文献<sup>5)</sup>と同様の手法で隣接端末リストと隠れ端末リストを組み合わせた方式を用いる事に対応する。

#### 3.2 隣接端末リストの構成手順

図 8 に示すネットワークにおいて、端末 1 を中心とする破線で示される通信範囲内に存在する端末 2 が 3 に向けて送信する DATA を傍受したとする。この時、1 はパケット中に

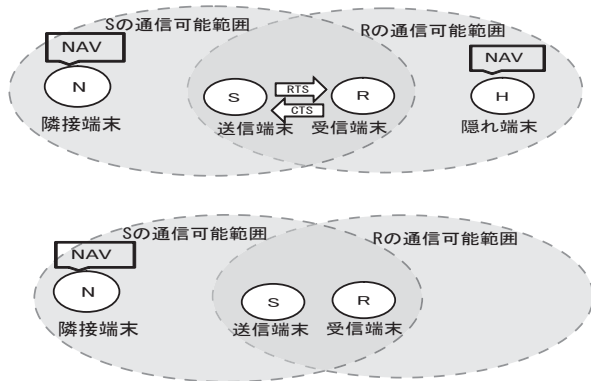


図 7 提案手法  
Fig.7 Proposed method

表 1 隣接端末リスト  
Table 1 Neighboring terminal list

端末 ID
2, 4

記載される送信元アドレスを参照し、2 が隣接端末であると知り、隣接端末リストに記録する。同様に端末 4 を追加する事で、表 1 に示すような隣接端末リストを作成する。

### 3.3 隠れ端末リストの構成手順

隠れ端末リストは、隣接端末が送信する DATA や RTS などに記載されている宛先アドレスを元に構成する。ここで、端末 1 は先程と同様に端末 2 が端末 3 に向けて送信するデータを傍受したとする。この時、データに記載される宛先アドレスと送信元アドレスによって、端末 2 と端末 3 が隣接している事を知る。同時に隣接端末リストに記載のない端末 3 は隠れ端末であると判断し、隠れ端末リストに端末 3 は端末 2 に隣接する隠れ端末であると追加する。また、端末 4 が端末 3 に向けて送信するデータを傍受することにより、端末 3 は端末 4 にも隣接する隠れ端末であると知り、これをリストに追記する。同様の事を繰り返した結果、表 2 に示すように端末 1 の隠れ端末リストが構成される。

表 2 隠れ端末リスト  
Table 2 Hidden terminal list

端末 ID	接続先端末 ID
3	2, 4
5	2
6	2

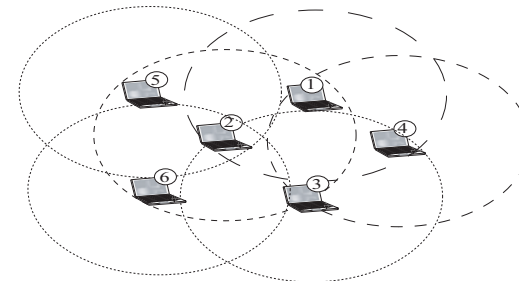


図 8 ネットワーク構成例  
Fig.8 A sample network topology

## 4. シミュレーション評価

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、既存方式である IEEE802.11DCF と本論文の提案方式の 2 方式について特性を調査した。今回は端末数を 25 に設定し、DATA サイズを変化させて測定をした。詳細なシミュレーション諸元を表 3 示す。

### 4.1 提案方式におけるスループット特性の評価

提案方式の有効性を評価するために、既存方式と提案方式のトラフィック-スループット性能を比較した結果を図 9 に示す。同図では、縦軸にスループット、横軸にトラフィックをそれぞれ示している。同図において、既存方式と提案方式でスループットを比較した結果、高トラフィックの時に約 0.7Mbps のスループットの差があることが確認できる。これは、既存方式では、隠れ端末が存在していない場合でも、RTS/CTS 交換が使用されていたため、送信オーバーヘッドが増加しているが、提案方式では、隠れ端末が存在しない場合の RTS/CTS 交換する事で無駄なオーバーヘッドが削減されたためスループットの差が生じたと考えられる。しかしながら、低トラフィック時には提案方式と既存方式の間にスループットの違いは

表 3 シミュレーション諸元  
Table 3 Simulation parameters

Data Rate	11Mbps
Communication Range	100m
Contension Window Size	Min:31, Max:1023
Packet Length	1024bytes
Packet Arrival Process	Poisson Process
Simulation Field	500m × 500m
Number of Terminals	25
Simulation Period	1sec

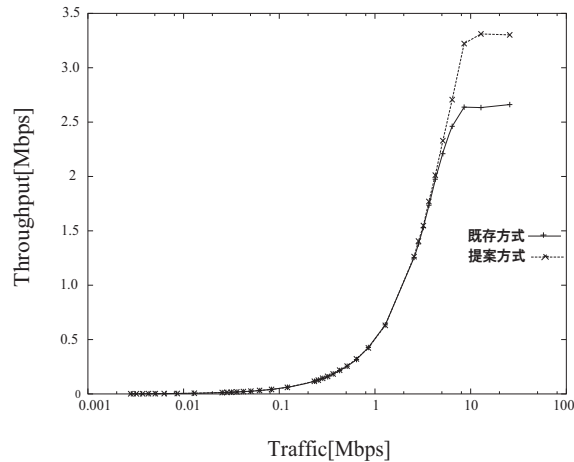


図 9 トラフィック-スループット特性  
Fig. 9 Characteristics of Traffic-Throughput performance

ほとんど見られなかった。これは、もともと、チャンネルの伝送速度よりも低いトラフィックしか発生していないために、オーバーヘッドの削減効果が表れなかったことが理由であると考えられる。

#### 4.2 パケットサイズを変化させた場合のスループット特性

本章では、提案方式の有効性をより評価するためにパケットサイズを変化させた場合のスループット向上率について報告する。図 10 では、縦軸をスループット向上率、横軸をパケットサイズとしている。なお、同図におけるスループット向上率  $PR_{Th}$  は、最大スループット

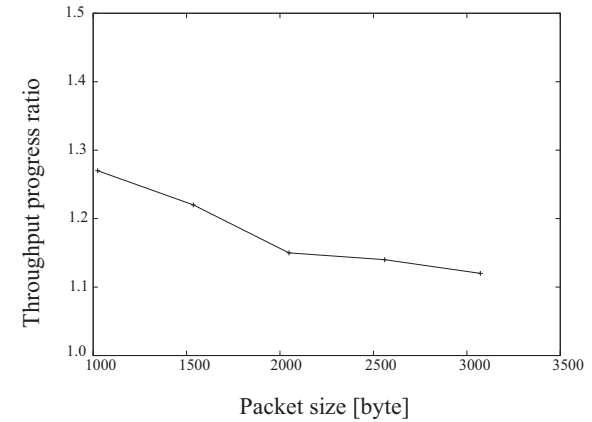


図 10 スループット向上率  
Fig. 10 Characteristics of throughput progress ratio

の値を用いて、以下の式により算出した。

$$PR_{Th} = \frac{Th_{proposed}}{Th_{802}} \quad (1)$$

ただし、上式において、 $Th_{802}$ 、 $Th_{proposed}$  はそれぞれ IEEE802.11DCF と提案方法のスループットを示している。図 10 に、端末数を固定しパケットサイズを変化させた場合の特性について測定をした結果を示す。同結果から、パケットサイズが小さい場合にスループット向上率が高くなる事が確認できる。これは、図 11 から (1) に示すように RTS/CTS 交換に要する時間を (A)、DATA を送信するのに要する時間を (B) とした時 (B) の占める割合が (A) に対して相対的に大きくなる場合は、(A) の影響をほとんど受けなためパケットサイズが大きい場合に向上率は低くなるが、(B) の占める割合が小さい程、(A) の影響を大きく受けるためにパケットサイズが小さい方はスループットの向上率は高くなったと考えられる。

#### 4.3 RTS/CTS 交換 OFF の閾値を変化させた場合のスループット特性

これまでの評価では、隠れ端末が全く存在しない場合のみ、RTS/CTS 交換の使用を OFF にしたが、以下では、この設定の妥当性を評価するために、この RTS/CTS 交換を OFF に

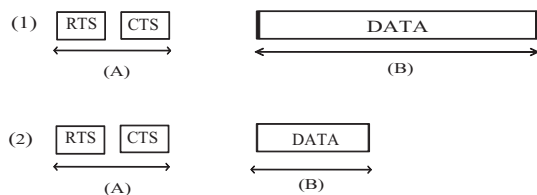


図 11 パケットサイズの相対的な違い

Fig. 11 Difference of comparative length of Dates

する閾値  $RTS_{OFF}$  を 0 から 20 まで変化させた場合のスループット向上率を調査した結果を図 12 に示す。同図から、 $RTS_{OFF}$  が一定数以上 ( $RTS_{OFF} \geq 7$ ) になるとスループット向上率は逆に低下することがわかる。また、スループット向上率が最高となるのは、 $RTS_{OFF}$  が 6 の場合であるが、 $RTS_{OFF}$  が 1 の場合との間に大きな差はない。さらに、 $RTS_{OFF}$  の最適値はネットワークポロジや、DATA サイズ、トラフィックに応じて変化すると考えられるため、最適値を自動的に変化させることは難しいと考えられる。そのため、 $RTS_{OFF}$  は、パケットサイズをどのように変化させても、既存の IEEE802.11DCF よりも高いスループットを達成することが明らかになった条件である  $RTS_{OFF}=1$  と設定すると良いと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、不要な RTS/CTS 交換によるスループット低下を防ぐための手法を検討し、隠れ端末の存在を考慮して RTS/CTS 交換 ON/OFF 手法を決定する手法について評価した。次に、提案方式の有効性を評価するために、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、提案方式は高いスループット性能を示すことを明らかにした。さらに、パケットサイズを変化させた場合のスループット向上率から、パケットサイズが小さい方が RTS/CTS 交換による影響が大きいことスループット向上率は高くなることを確認した。

また、隠れ端末が 1 よりも小さい場合に RTS/CTS 交換の使用を OFF にする設定の妥当性を評価した結果から、 $RTS_{OFF}$  を 1 と設定することが良いことについて述べた。

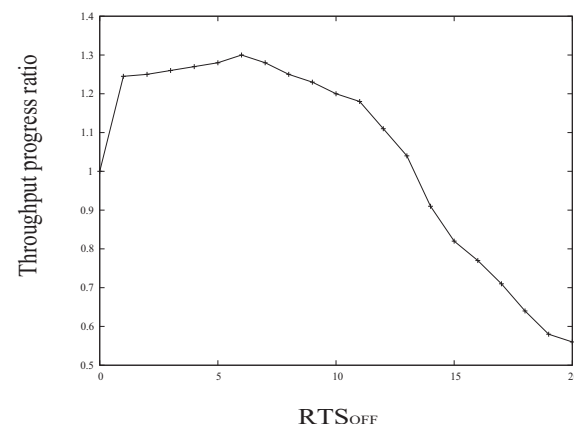


図 12 RTS/CTS 交換 OFF の閾値を変化させた場合のスループット特性

Fig. 12 Change in characteristic of Throughput by RTS/CTS handshake OFF of threshold

## 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) 渡邊未佳, 桧垣博章, "NB-GEDIR : 位置情報交換オーバーヘッドを削除した GEDIR とその性能評価 情報処理学会研究報告 DPS-130, pp.285-290, (2007).
- 3) 松江英明, 守倉正博, "802.11 高速無線 LAN 教科書, " IDG ジャパン, pp.75-76, (2003).
- 4) F.A.Tobagi and L.Kleninrock, "Packet Switching in Radio Channels : Part - The Hidden Terminal Problem in CSMA and Busy-Tone Solution, " IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-23, No.12, pp.1417-1433, (1975).
- 5) 重安哲也, 松野博嗣, 森永規彦, "隠れ端末の危険度の基づいた衝突回避を行うブロードキャストプロトコル, " 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.2, pp.453-456, (Feb.2010).
- 6) B.P.Crow, I.Widjaja, J.G.Kim, and P.Sakai, " IEEE802.11 Wireless Local Area Network, " IEEE Communications Magazine, pp.116-126, (1997).