

隠れ端末の送信を抑制する衝突回避型ブロードキャストプロトコル

重安 哲也[†] 松野 浩嗣[‡] 森永 規彦[†]
[†] 広島国際大学 工学部, [‡] 山口大学大学院 理工学研究科

広く普及する無線 LAN 規格である IEEE802.11DCF は、ユニキャストの信頼性を向上するためのオプションとして RTS/CTS 交換を規定している。しかしながら、ブロードキャスト時は RTS/CTS 交換や、ACK による到達確認なしに CSMA/CA のみで送信が行われるため、ユニキャストに比べブロードキャストの受信成功率は著しく低下する。現在までに、ブロードキャスト時の受信成功率を向上する方式は数多く提案されているが、ACK に代わるパルス信号もしくは NACK 信号などにより、失われたパケットを回復するという衝突回復型が多く採用されている。この方式では、隠れ端末が存在する場合、その送信を抑制することはできないため、結果として再送回数が増加し、送信オーバーヘッドが大きくなるという欠点が報告されている。そこで、本稿では、ブロードキャスト用に改良した RTS/CTS 交換を用いて隠れ端末の送信を効果的に抑制する衝突回避型ブロードキャストプロトコルを提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を評価した結果について報告する。

A Collision Preventing Broadcast Protocol with Suppression Scheme for Hidden Terminals Effect

Tetsuya Shigeyasu[†] Hiroshi Matsuno[‡] Norihiko Morinaga[†]
[†] Faculty of Engineering, Hiroshima International University
[‡] Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

IEEE802.11DCF which is widely used wireless LAN standard employs RTS/CTS exchange for improving reliability of unicast transmission. But, packet delivery ratio of broadcast transmission is much lower than unicast transmission because the IEEE802.11DCF executes broadcast transmission without RTS/CTS exchange and ACK process. Then, many protocols have been proposed to improve reliability of the broadcast transmission. Most of these protocols are proposed based on collision recovery policy according to ACK signal or NACK signal instead of ACK frame. Then, transmission overhead increases by retransmission under the condition that network contains some hidden terminals because of ACK or NACK signal could not prevent transmission of hidden terminals. Then, this paper proposes a new broadcast protocol based on collision prevention policy by modified RTS/CTS exchange, and clarifies that our proposed protocol achieved highly reliability by computer simulations.

1 はじめに

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)を MAC(Media Access Control)プロトコルに採用する IEEE802.11DCF では、ネットワークに隠れ端末が存在する場合はその影響によりスループットが大幅に低下する。そこで、ユニキャスト時には隠れ端末の送信を一定時間抑制するために、RTS/CTS(Request To Send / Clear To Send)交換が使用される [1]。しかしながら、ブロードキャスト時には、RTS/CTS 交換ならびに、ACK による到達確認は行われずに CSMA/CA のみで送信が行われる [2]。そのため、隠れ端末が存在するネットワークでは、ユニキャストに比べブロードキャストの受信成功率は著しく低下する。

そのため、現在までにブロードキャスト時の受信の成功率向上を目的とした数多くのプロトコルが提案されている [3, 4, 5, 6, 7, 8]。

文献 [6] では、ブロードキャストパケットを正常に受信した端末は、送信局が設定するミニスロットの中からランダムに 1 スロットを選択し、そのスロットに対して BACK(Broadcast ACK) 信号を返信する方式を提案している。同方式では、ブロードキャスト後のミニスロット中に隣接端末数と同じ数の BACK 信号が検出されない場合は、パケットを再送し受信成功率の向上を図っている。しかしながら、同方式では受信

端末がランダムに BACK を送信するミニスロットを選択するために、正しくブロードキャストの送信が行われた場合でも BACK 同士が衝突すれば不要にパケットが再送されるため、受信率向上のトレードオフとして送信オーバーヘッドが増加することが指摘されている [7, 8]。そこで、文献 [7] では、ブロードキャスト送信後に ARB(Announce Reception of Broadcast)ならびに、NACK(Negative ACK) 信号を用いることで、不要なブロードキャストの再送回数を抑え、送信オーバーヘッドを削減する方式を提案している。また、文献 [8] では、ブロードキャストするパケット中にこれを受信する端末に対して、BACK 信号を返信する順番を指定することで、BACK 信号同士の衝突を防ぎ、同様にブロードキャストの不要な再送を回避する方式を提案している。

さて、これらの方式は、全て衝突等によって失われたパケットを再送により回復する衝突回復 (Collision Recovery) 型であると分類できる。同方式は不要な再送を軽減する方法についての議論は行われているが、ブロードキャストパケット時の衝突そのものを軽減する方式ではないため、隠れ端末によるパケット衝突が多発する環境下では高い効果を期待することはできない。

一方、隠れ端末の送信を抑制するブロードキャスト方式は既にいくつか提案されている [3, 4, 5]。これらの方式では、ブロードキャスト送信前に RTS/CTS 交換を行

うため、衝突を予防する衝突回避 (Collision Prevention) 型であると分類できる。しかしながら、文献 [3, 4] は、RTS 送信後に隣接端末から同時に返信される CTS のうち、最も受信強度の強いパケットを捕捉効果によって識別できるという前提条件の下でのみ動作するプロトコルであるため、実際のシステムにおける性能は疑問視せざるを得ない。これに対して文献 [5] では、複数の CTS を同時に送信させない方式を採用するが、全ての端末に順に RTS/CTS 交換を行う方式であることや、一度送信が完了したパケットについても再送のために破棄せずに保持し続ける必要があるため、端末には多くのメモリを搭載する必要がある。

そこで、本稿ではこれらの問題点を解決しつつ、ブロードキャスト時の受信率を効果的に向上させることのできるプロトコルを提案する。具体的には、まず、再送を行うことなくブロードキャストの受信率を向上するために、RTS/CTS 交換を用いる衝突回避 (Collision Prevention) 型のブロードキャストプロトコルについて議論する。また、1 度の RTS/CTS 交換で効果的に隠れ端末の影響を抑制するために、送信端末に対する各隠れ端末の危険度を算出し、その危険度を最も減少できる隣接端末と RTS/CTS 交換を行う方式を提案する。次に、提案方式の有効性を評価するための計算機シミュレーション結果より、提案方式は IEEE802.11DCF と比べて最大で約 2 倍のブロードキャスト受信率を達成することを明らかとしたので結果について報告する。

2 IEEE802.11DCF における送信制御

以下に、IEEE802.11DCF における送信制御方式について述べる。

2.1 CSMA/CA によるユニキャスト時の基本送信制御方式

まず、図 1 に IEEE802.11 におけるフレームフォーマットを示す。同図において、RA ならびに TA は宛先端末、送信端末のアドレスをそれぞれ示している。従って、DATA ならびに RTS 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。

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、physical carrier sense (以下、キャリアセンス) によりパケット衝突を回避する。まず、送信要求の生じた端末はキャリアセンスにより、通信範囲内の端末が送信を行っているかどうかを調査する。キャリアセンスの結果、どの端末も送信中でないことがわかると、DIFS (DCF Inter Frame Space) 時間待機した後に DATA パケットの送信を開始する (Terminal A)。また、送信先の端末において、正しく DATA パケットが受信された後、SIFS (Short Inter Frame Space) 時間待機した後に ACK (Acknowledgement) パケットを送信する (Terminal B)。DATA パケットを送信した端末は一定時間待機し、ACK パケットが送り返されるのを待つ。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。再送回数の上限は Short Retry Limit と呼ばれる値により規定されており、再送回数がその値に達した場合、それ以上の再送は行われずパケットが破棄される。こうして、一連の送信動作が終了した後、全ての端末は DIFS 時間待機した後に必要に応じて新たな送信動作を行う。

さて、送信要求が生じた場合でもキャリアセンスによってその他の端末が既に送信を行っているかと判断した場合には送信を一定時間延期する (Terminal C)。そ

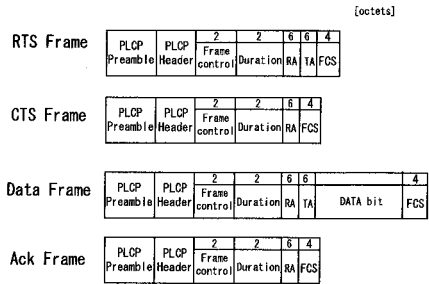


図 1: IEEE802.11 でのフレームフォーマット

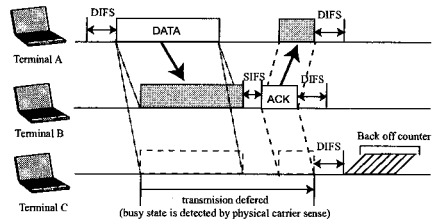


図 2: DCF における基本送信制御方式

の場合、現在行われている送信が終了した後バックオフカウンタと呼ばれるタイマを生成し、タイマの減算を開始する。このとき、タイマが 0 になるまでその端末の送信は禁止される。

ところで、各パケットの送信前には IFS (Inter Frame Space) と呼ばれる待機時間を必ず設定するよう規定されており、DATA パケットの場合は DIFS, ACK パケットの場合は SIFS といったようにそれぞれ異なる IFS が設定される。これは、送信するパケットの種類に応じた優先制御を行うためである (SIFS は DIFS よりも短いために、ACK パケットの送信は DATA パケットの送信よりも高い優先順位が与えられることになる)。

2.2 RTS/CTS 交換を使用したユニキャスト送信制御方式

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はできない。そのため、自端末の通信範囲外かつ宛先端末の通信範囲内に存在する端末は自端末と同時刻に送信を行ってしまう状況が起こり、パケット衝突が発生する。これは隠れ端末問題と呼ばれている [9]。そのため、DCF では基本送信制御方式と併用することのできるオプションとして、RTS/CTS 交換を規定している。RTS/CTS 交換は隠れ端末の影響を軽減するために文献 [10] で提案された方式で、あらかじめ送受信端末の通信範囲内に存在する全ての端末に一定時間送信を行わないように通知した後に実際の DATA を送信する。

RTS/CTS 交換はキャリアセンスが機能しない端末とのパケット衝突も軽減できるため、DCF において RTS/CTS 交換は virtual carrier sense と呼ばれる。

DCF に実装された RTS/CTS 交換の送信制御方式を図 3 に示す。送信要求の生じた端末 (sender) は、キャリアセンスでその他の送信が行われていないことを確認後、DIFS 時間待機し宛先端末 (receiver) に RTS (Request To Send) を送信する。RTS を受信した宛先端末は、こ

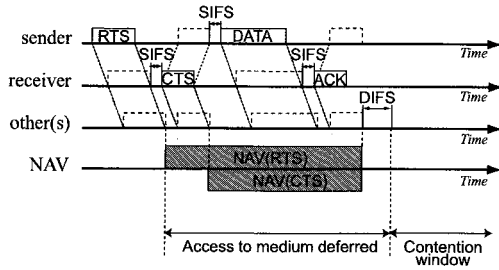


図 3: RTS/CTS 交換を使用した DCF の送信制御方式

れから DATA パケットを受信可能な状態にあれば、CTS (Clear To Send) を送信端末に送り返す。

さて、DCF では RTS と CTS の duration と呼ばれるフィールドに ACK パケットの受信終了予定時刻が記録されている。そのため、送受信端末以外の端末 (other) が RTS あるいは CTS を受け取った場合は、duration フィールドに記録されている時刻まで NAV (Network Allocation Vector) と呼ばれる送信延期タイマを設定する。図中の NAV(RTS) と NAV(CTS) は、それぞれ RTS、CTS を受信することにより設定される NAV の長さを示している。

2.3 IEEE802.11DCF におけるブロードキャスト送信制御方式

IEEE802.11DCF では、ブロードキャスト時には ACK による到達確認を使用しない CSMA/CA のみで送信が行われる。これは、ブロードキャスト時に RTS/CTS 交換あるいは ACK を使用すると、送信端末に対して CTS あるいは ACK が一度に返信されてしまい衝突を起こしてしまうからである。そのため、IEEE802.11DCF ではブロードキャストは完全なベストエフォート型の送信となる。

3 関連研究

以下では、IEEE802.11DCF におけるブロードキャストの受信率向上を目的として提案された方式について述べる。

3.1 衝突回復 (Collision Recovery) 型ブロードキャストプロトコル

BACK 方式 [6] は、ブロードキャスト時にも BACK 信号を用いることで応答確認を行うことで、ブロードキャスト受信率の向上を図ったプロトコルである。図 4 に示すように、BACK 方式はブロードキャスト後に BACK window が設定される。受信端末は、BACK window 内のミニスロットをランダムに選択し、BACK 信号を返信する。送信端末は BACK 信号が検出されたミニスロット数が隣接端末数に満たない場合は、受信に失敗した端末がいると判断し、再送を行う。ここで、BACK 信号は単なるパルス信号であるため、複数の受信端末が同一スロットに BACK 信号を送信したとしてもこれを検知することはできない。そのため、図 4 中の破線枠で示した箇所衝突が起り、実際には 4 端末が BACK 信号を送信しているにもかかわらず、3 端末からしか BACK が返信されなかったと判断し不要に再送を行うという問題点が指摘されている [7, 8]。

そこで、ARB with NACK 方式 [7] では、BACK 方式における不要な再送回数を削減するため、ARB 信号

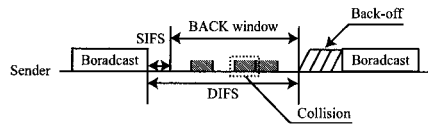


図 4: BACK 方式

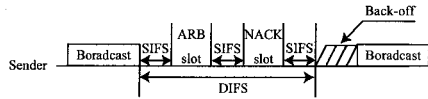


図 5: ARB with NACK 方式

と NACK 信号を用いる方式を提案している。同方式では、ブロードキャスト後に ARB 用、NACK 用のスロットがそれぞれ設定され、受信に成功した端末は ARB 信号を、失敗した端末は NACK 信号をそれぞれのスロットに送信する。ここで、衝突によりブロードキャストパケットの送信に気づかない端末も、ARB 信号を検知することで、自端末が受信に失敗したことを知り、NACK 信号を送信できる。また、送信端末は NACK を受信した場合のみ再送を行うため、不要な再送を回避できている。

また、BEAM 方式 [8] では BACK 方式での不要な再送は受信端末がランダムに BACK 信号を送信すること起因するとして、ブロードキャストするパケット中に BACK を返信する順序を記載する方式を提案している。同方式では、1 端末でも BACK が返信されなかった場合は即座に再送を行うため、隣接端末が移動により通信範囲外に移動してしまった場合は、これをビーコン等により送信端末が検知するまでの間、最大再送回数に至るまで再送が繰り返されるという問題点が生じる。

3.2 衝突回避 (Collision Prevention) 型ブロードキャストプロトコル

BSMA 方式 [3, 4] は、ブロードキャストの前に隣接する全ての端末に対して RTS/CTS 交換を行うことで、ブロードキャスト時の衝突を回避する。送信端末と隠れ端末の関係にある端末は送信端末の隣接端末から返信される CTS を傍受することにより一定時間送信を抑制される。しかしながら、同方式では全ての隣接端末が同時に CTS を返信した場合にも、捕捉効果により最も受信強度の強い CTS を識別できるという前提が成り立つ場合でのみ有効に動作する方式となっている。

これに対し、BMW 方式 [5] は BSMA 方式のような制約を受けない方式となっている。BMW 方式は、隣接端末リスト、送信バッファ、受信バッファの 3 機能を端末に実装する。同方式において、送信端末 s はブロードキャスト開始前に、隣接端末リストの中から選択した 1 端末と RTS/CTS 交換を行う。RTS パケットには、これから送信するブロードキャストパケットのシーケンス番号が記録される。RTS を受信した宛先端末 r は自端末が受信可能状態にあれば、CTS パケットを返信するが、RTS パケットに記録されたシーケンス番号以下の値で未受信のブロードキャストパケットがあれば、その番号を記録した CTS を返信する。CTS を受け取った s は、CTS に記録されたシーケンス番号が RTS に記録したそれと同じ値であれば、当初の予定通

りのパケットをブロードキャストするが、そうでない場合は、CTSに記録された値を持つパケットのブロードキャストを行う。また、CTSを返信した r がブロードキャストパケットを正常に受信した場合は、受信したパケットのシーケンス番号を記録したACKを返信する。 s は受信バッファに、 r に対して、ACKに記載されているシーケンス番号までのパケットを正常に送信したことを記録する。送信端末は、受信バッファを参照し全ての端末への送信成功が確認できたパケットのみを破棄するが、それ以外のパケットは再送要求に備えて送信バッファに保持する。

そのため、隣接端末数が n である場合、任意のシーケンス番号をもつパケットは少なくとも n 回の送信の間保持しておく必要があることから端末には多くのメモリを搭載する必要があることや、RTSの宛先端末として選択されなければ再送要求を行うことができないため、送信遅延が増大するといった問題点を抱えている。

4 隠れ端末の送信を抑制する衝突回避型ブロードキャストプロトコル

前節で述べた衝突回復型のプロトコルでは、不要な再送を防ぐ方式については検討されているものの、隠れ端末が引き起こす衝突そのものを回避することはできない。また、既存の衝突回避型のプロトコルは隠れ端末による衝突を回避することを目的としているものの、プロトコルが動作するには制約条件を満たす必要があることや、そうでない場合にも、端末に多くのメモリを要求することや、送信遅延が大きくなることなどの問題点があった。

そこで、これらを解決するために、1度のRTS/CTS交換で効果的に隠れ端末の送信を抑制し、かつ再送を行わずにブロードキャスト受信率を向上できる方式を提案する。

提案方式では、まず、端末に隣接端末リスト、隠れ端末リストの2つのリストを実装する。図1に示した通り、DATA(RTS)には、送信元ならびに宛先端末のアドレスが記載されているため、これを傍受することで前述した2つのリストを構成する。

具体的なリスト構成手順を図6を用いて説明する。

4.1 隣接端末リストの構成

図6に示すネットワークにおいて、端末1が同端末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(RTS)を傍受したとする。このとき、1はパケット中に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、隣接端末リストに追加する。同様にして4を追加することで、表1に示すような隣接端末リストを作成する。隣接端末リストは危険度減少値を記録するフィールドを有するが、このフィールドは後述する方法によって値を設定するため、現時点では表1に示すようにNULLを記録するものとする。

4.2 隠れ端末リストの構成

隠れ端末リストは隣接端末が送信するDATA(RTS)に記載される宛先アドレスを元に構成する。ここで、端末1は先ほどと同様に2が3に向けて送信するDATA(RTS)を傍受したとする。このとき、DATA(RTS)に記載される宛先アドレスと送信元アドレスより、端末2と3が隣接していることを知る。また、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3は2に隣接する隠れ端末であると追加する。また、端末4が3に向けて送信するDATA(RTS)を傍受することにより、3

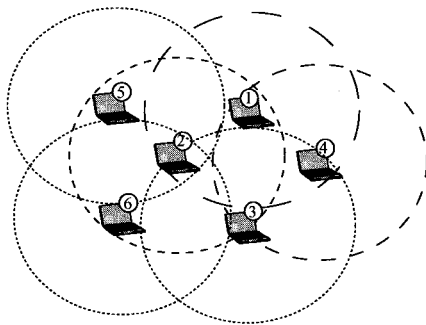


図6: ネットワーク構成例

表1: 隣接端末リスト

端末ID	危険度減少値
2	NULL
4	NULL

表2: 隠れ端末リスト

端末ID	接続先端末ID	危険度
3	2, 4	2
5	2	1
6	2	1

は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。同様のことを繰り返した結果、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に示すように隠れ端末リストは危険度を保持するフィールドを有するが、これは隠れ端末が送信を行うことにより、端末1のブロードキャストを衝突により受信できなくなる端末数、すなわち隠れ端末の接続端末IDフィールドに記載されている端末の数と等しい値が記録される。

4.3 RTSの送信先端末の選択

次に、前述した2つのリストを利用して、ブロードキャスト前に行うRTS/CTS交換の相手端末を選択する手順について述べる。

送信端末は隠れ端末リストをもとに全ての隣接端末に対し、その端末とRTS/CTS交換を成功させた場合に、送信を抑制することのできる隠れ端末を算出する。

表1を参照することにより、端末1の隣接端末は2, 4であることがわかるが、2とRTS/CTS交換を成功させた場合は、2からのCTSを傍受するのは1, 3, 5, 6の端末となる。このうち、1の隠れ端末は3, 5, 6であることも表2より把握することができる。結果として、端末1と2がRTS/CTS交換を成功させた場合は、これら3, 5, 6の端末からの送信を抑制できるため、表1における端末2の危険度減少値にはこれら3端末の危険度を合計した4を記録する。また、同様にして、表1における端末4の危険度減少値には2を記録する。

以上のようにして算出した隣接端末リストを用い、送信端末は最大の危険度減少値を持つ端末をRTSの送信先端末と選択する。

4.4 提案方式におけるブロードキャスト送信制御

提案方式におけるブロードキャスト送信制御方式を図7を用いて説明する。同図において、ブロードキャスト要

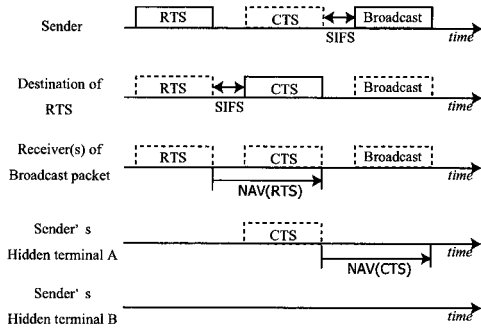


図 7: 提案方式におけるブロードキャスト送信制御

求の生じた端末 (sender) は自端末の隣接端末リストを参照し、最大の危険度減少値を持つ端末 (Destination) に対して RTS を送信する。RTS を受信した Destination は受信可能状態であれば CTS を返信する。また、RTS を傍受した端末 (Receiver) は CTS の返信を妨害しないように CTS 受信完了予想時刻まで NAV(RTS) を設定する。CTS の返信を受信した端末は直ちにブロードキャストパケットの送信動作に移行する。

ここで、CTS を傍受した端末は CTS の RA (宛先アドレス) フィールドを参照し、RA に示される端末と隣接していない端末 (Hidden terminal A) であれば、自身に NAV(CTS) を設定しブロードキャスト終了予想時刻まで送信を延期する。逆に、CTS の RA フィールドに示される端末と隣接している端末 (Receiver) はブロードキャストの受信準備に移る。

さて、同図から Sender ならびに Destination と隣接していない端末 (Hidden terminal B) の送信が抑制されないことがわかるが、提案方式は、そのような端末がブロードキャスト中に送信を行ったとしても受信に失敗する端末数を 1 度の RTS/CTS 交換で極力小さくする方式であるといえる。

5 計算機シミュレーション

本章では、提案した方式の有効性を評価するために計算機シミュレーションを行った結果について述べる。評価の際に使用した緒元を表 3 に示す。

なお、本論文における評価では、500m×500m のシミュレーションフィールド内に端末をランダムに配置した。しかしながら、フィールドの端に位置する端末はエッジ効果によって送信機機会の不公平状態などを生じやすい [11]。そのため、本論文ではこれらの影響を排除し、提案方式を用いることによる効果を純粋に評価するため、図 8 において白抜き丸で示される端末のようにフィールド中央に位置する端末を選択し、その端末の通信範囲内で発生した事象のみをデータとして評価に用いた。

さらに、以降に示すグラフで用いる結果は、1000 個ランダムに生成させたネットワークトポロジ上でのシミュレーション結果を平均したものを使用している。

5.1 トラフィック-受信率特性

図 9 にトラフィック-受信率特性を示す。同図において、受信率は全ての隣接端末が受信に成功したブロードキャストパケットの数を合計した値をブロードキャスト総送信数と隣接端末数で割ったものとしている。同図より、全てのトラフィック条件下において提案

表 3: Simulation parameters

Data Rate	11 Mbps
Communication Range	100 m
SIFS	10 μ sec
DIFS	50 μ sec
Slot	20 μ sec
Contention Window Size	Min: 31, Max: 1023
MAC header	DATA: 24, RTS: 16, CTS, ACK: 10 (bytes)
Frame Check Sequence	4 bytes
PLCP header and preamble	192 μ sec
RTS threshold	0
Payload	1024 bytes
Packet Arrival Process	Poisson Arrival
Number of Terminals	100
Terminals Location	random
Simulation Field	500m × 500m

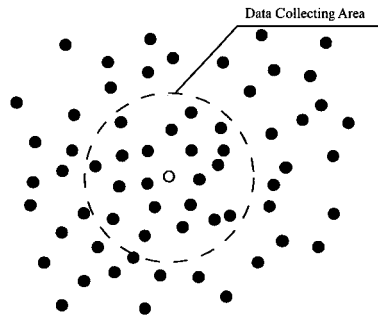


図 8: 計算機シミュレーションにおけるデータ収集範囲

方式は既存の IEEE802.11DCF と比べて高いブロードキャスト受信率を示すことが確認できる。また、提案方式は既存方式に対し受信率において最大で 2 倍の優位性を持つことも併せて確認できる。これらから、提案方式を用いることにより、効果的にブロードキャストの信頼性を向上できることがわかる。

5.2 端末数-受信率特性

図 10 に端末数-受信率特性を示す。同図では、ブロードキャスト受信率が最も低下するトラフィック飽和状態における特性を示している。同図から、端末数をどのように変化させた場合にも提案方式は IEEE802.11DCF に比べて十分に高い受信率を示すことが確認できる。

さて、端末数が増加するに伴い、提案方式ならびに IEEE802.11DCF の受信率特性が悪化しており、特に提案方式における特性の悪化が大きいことも確認できるが、これは、端末数を増加させることにより、CTS 信号を受信できないことによりブロードキャスト中の送信が抑制されない端末 (図 7 における Hidden terminal B) の数が増加してしまったためであると考えられる。

しかしながら、端末数を 200 とした場合においても、提案方式は IEEE802.11DCF と比べて約 27% 高い受信率を示していることから、十分に効果を発揮していると判断できる。

6 おわりに

本稿では、IEEE802.11DCF におけるブロードキャスト時の信頼性を向上する方式について提案を行った。提案方式では、衝突回復方式における再送処理や衝突回避方式における送信遅延が問題となっていることを踏

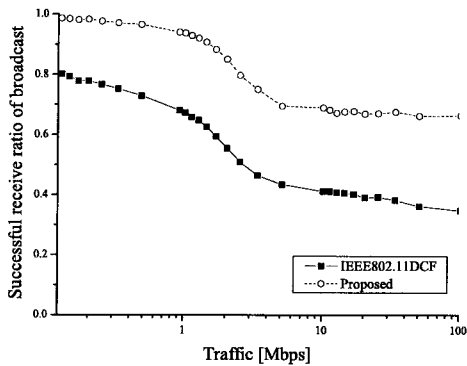


図 9: トラフィック-受信率特性

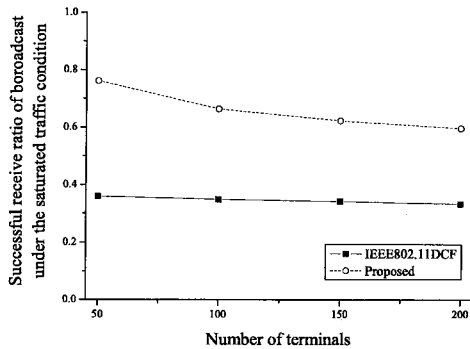


図 10: 端末数-受信率特性

まえ、再送処理を実装せずに、かつ、1度の RTS/CTS 交換で効果的にブロードキャスト受信率を向上する方式を採用した。

提案方式の有効性を評価する計算機シミュレーション結果からは、トラフィック発生条件やネットワーク端末数をどのように変化させた場合にも大幅にブロードキャスト受信率を向上できることを明らかとした。

また、本稿での提案方式は、その他の論文の提案方式のように、標準規格である IEEE802.11DCF に実装されていないパルス信号などをまったく使用せずに実現できる方式であるため、今後は、提案方式の実現に向けて、実機実装も含めたさらに多くの評価ならびに検討を行いたい。

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] B.P.Crow, I.Widjaja, J.G.Kim, and P.Sakai, "IEEE802.11 Wireless LocalArea Network,"

IEEE Communications Magazine, September 1997.

- [2] Editors of IEEE802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC and Physical Layer(PHY) specifications, Draft Standard)," IEEE802.11, 1997.
- [3] K. Tang, M. Gerla, "MAC layer broadcast support in 802.11 wireless networks," IEEE MILCOM 2000, Vol.1, pp.544-548, 2000.
- [4] K. Tang, M. Gerla, "Random access MAC for efficient broadcast support in ad hoc networks," IEEE WCNC 2000, Vol.1, pp.454-459, 2000.
- [5] K. Tang, M. Gerla, "MAC reliable broadcast in ad hoc networks," IEEE MILCOM 2001, Vol.2, pp.1008-1013, 2001,
- [6] S. Sheu, Y. Tsai and J. Chen, "A highly reliable broadcast scheme for IEEE802.11 multi-hop ad hoc networks," IEEE ICC 2002, Vol.1, pp.610-615, 2002.
- [7] 宇都宮依子, 萬代雅希, 笹瀬巖, "無線アドホックネットワークにおいて NACK 及び指向性アンテナによるブロードキャストデータ再送信を用いた MAC プロトコル," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J87-B, No.2, pp.144-158, 2004.
- [8] J. Chen and M. Huang, "A Broadcast Engagement ACK Mechanism for Reliable Broadcast Transmission in Mobile Ad Hoc Networks," IEICE Trans. on Communications, Vol.E88-B, No.9, pp.3570-3578, 2005.
- [9] 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.
- [10] P. Karn, "MACA - a new channel access method for packet radio," ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference , pp.134-140, 1990.
- [11] M. Kawasaki, T. Shigeyasu, and H. Matsuno, "A method for improving MAC level fairness on IEEE802.11DCF," Proc. IEEE 2nd International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (IEEE WiCOM2006) , in CD-ROM, 5pages, 2006.