

アドホックネットワークのスループットの低下を防ぐ方式の検討

後藤秀暢[†] 渡邊晃[†]

アドホックネットワークで実現されるマルチホップ通信では、隠れ端末問題の影響で、大幅にスループットが低下することが知られている。隠れ端末問題を解決するために IEEE802.11 では RTS/CTS 方式を採用している。しかし、RTS/CTS 方式だけではトラフィック負荷が高くなるとパケットの衝突が発生しやすい。これまで単一周波数の信号からなるビジートーンを用いた衝突回避策が提案されている。しかし、既存技術では、送信端末と隠れ端末の RTS 同士の衝突については十分に検討されていない。そこで本論文では、ビジートーンの到達範囲を拡大させることで、周辺端末との RTS の衝突を大幅に減少させる方式を提案する。

Researches on the Prevention Method of Throughput Degradation in an Ad-hoc Network

HIDENOBU GOTO[†] AKIRA WATANABE[†]

In an ad hoc network, it is known that throughput largely decreases because of "Hidden terminal problem". IEEE802.11 provides an RTS/CTS method to solve the problem. However, when the traffic becomes large in the RTS/CTS method, the collision of the packet frequently occurs. DBTMA and its applications that use busy tones to solve the problem have been proposed. However, the collision of RTS sent by hidden terminals are not considered enough in the conventional technologies. We propose the method to decrease the collision of RTS by expanding the range of a busy tone in this paper.

1. はじめに

アドホックネットワークでは、多数の端末をアクセスポイントの介在なしに相互に接続するマルチホップ通信を実現することができる。そのため、限られた範囲のネットワークの構築を容易に実現することができる。

オフィスの会議室で一時的なネットワークを構築したり、災害時にインフラが破壊された場所で、通信環境を迅速に回復することができる。

しかし、アドホックネットワークでは規模が大きくなると隠れ端末問題、さらし端末問題、パケット衝突などの影響で、大幅にスループットが低下することが知られている。隠れ端末問題を解決するには、送信元端末だけでなく宛先端末に隣接する全ての端末に対しても送信中であることを知らせる必要がある。IEEE802.11 ではこの問題を解決するために、RTS (request to send) /CTS (clear to send) 方式を採用している。この方式では、近隣の端末は RTS や CTS を受信することで仮想的なキャリア検出状態になり、一定期間通信を控えることにより衝突を防止する。しかし、RTS/CTS 方式ではトラフィック負荷がさらに高くなると、異なる RTS/CTS シーケンスが同時に発生することが避けられない。その理由は、RTS/CTS 自体が一種のパケットであり、一連のシーケンスに所定の時間が必要となるためである。このことに起因して、無駄に送信を行ったり、待たされる状況が発生する可能性が残されている。従って RTS/CTS だけではアドホックネットワークの課題を完全に解決することはできない。

隠れ端末問題を解決するための方式として単一周波数の信号からなるビジートーンを用いた方式やその応用システムが提案されている¹⁾²⁾³⁾。ビジートーンは単一の周波数なので衝突という概念がなく、複数の装置が同時にビジートーンを発生しても、周辺の装置はその信号を検知できる。ビジートーンを検知した端末は、その間送信を控えることにより衝突を回避できる。文献 1)では、通信パケットで使用している帯域以外の周波数帯に 2 種類のビジートーン周波数を定義し、RTS/CTS 送信時および、データ受信時にこれらのビジートーンを発生させる。これにより、送信端末と隠れ端末におけるデータや CTS の衝突を回避することができる。しかし、送信端末と隠れ端末が同時に RTS を送信した場合には衝突が避けられない。

本論文では、ビジートーンの到達範囲を単純に拡大させるだけで、周辺端末との RTS の衝突を大幅に減少させる方式を提案する。提案方式では、使用するビジートーンの周波数は 1 種類でよい。ビジートーンは RTS 又は CTS の送信時に発生させ、RTS 又は CTS の送信完了時に停止させる。これにより、隠れ端末同士の同時送信を防止でき、スループットの低下を防止することができる。提案方式のシミュレーションを ns-2(Network Simulator 2)にて実施し、その効果を確認した。

以下、2 章では関連研究及び RTS/CTS の課題を明確にし、3 章では提案方式について説明を行う。4 章では ns-2(Network Simulator 2)改造内容と ns-2 による検証結果を述べる。最後に 5 章でまとめを行う。

[†]名城大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Meijo University

2. 既存技術と関連研究

2.1 RTS/CTS 方式

隠れ端末問題を解決するには、送信端末が送信中に送信端末だけでなく、宛先端末に隣接する全ての端末に送信中であることを知らせる必要がある。これは、受信端末が受信完了後送信する ACK が他のパケットと衝突しないようにするためである。RTS/CTS 方式の動作を図 1 に示す。図において端末 A の電波は端末 B には届くが、端末 C には届かないものとする。端末 A と端末 C は隠れ端末の関係にある。

端末 A はデータフレーム送信前に DIFS(Distributed Coordination Function Interframe Space)とバックオフ時間を加えた時間だけキャリアがないことを検出すると送信を予約するため RTS を端末 B 宛に送信する。端末 B は SIFS(Short Interframe Space)時間後に端末 A 宛に予約を許可する CTS を返信する。CTS を受信した端末 A は SIFS 時間後にデータフレームを送信する。端末 B はデータフレーム受信完了後、SIFS 時間後に ACK を返信して通信を終了する。

ここで、端末 B が送信した CTS は遠隔にある端末 C も受信することができる。RTS には送信の予定期間が記載されており、これが CTS に転記されて端末 C に届く。周辺端末は RTS/CTS を監視しており、これらを検出すると一連のシーケンスが終了するまでの所定の期間だけ送信を禁止する。この期間のことを NAV(Network Allocation Vector)と呼ぶ。このように端末 C に仮想的なキャリア検出状態を作ることにより送信の衝突を回避することができる。

2.2 RTS/CTS 方式の課題

RTS/CTS 方式の課題の例を図 2、および図 3 に示す。図において電波到達範囲はいずれも 1 ホップのみとする。図 2 は端末 A と端末 B が RTS/CTS のやりとりをしている間に 3 ホップ先にある端末 D が RTS を送信した状態を示している。端末 D の RTS と端末 B の CTS が端末 C の地点で衝突する。端末 D は端末 C が CTS を応答しないため RTS を再送信する。一方、端末 A は端末 B からの CTS を受信するので、端末 C で衝突が発生していることに気づかず端末 B に対してデータ送信を始める。端末 C は端末 D からの RTS に応答して CTS を送信するため、端末 A のデータと衝突が発生する。これにより、端末 A はデータの再送信が必要となる。更に端末 E は端末 D の RTS を受信し、RTS に記載されている NAV 期間だけ送信を禁止する。端末 D が送信した RTS は破壊されているので、端末 E は無駄な時間待機することになる。

図 3 は端末 A が端末 B に RTS を送信したときに端末 C が RTS を送信した状態を示す。端末 B では RTS 同士の衝突が発生し、正しく受信できない。端末 A と端末 C は CTS の返信が来ないので RTS の再送処理に入る。

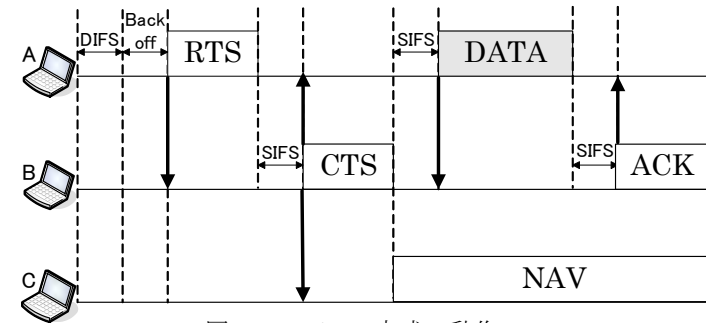


図 1 RTS/CTS 方式の動作

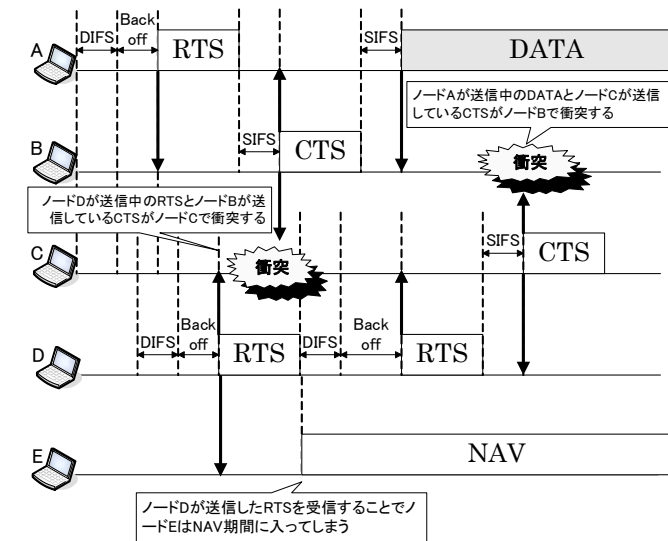


図 2 RTS/CTS 方式の課題(1)

図 3 では端末 A が先に RTS の再送時間となったため、RTS/CTS のやり取りが行われ、更にデータフレームの送信が成功している。しかし、端末 D は端末 C の RTS を受信して NAV 期間だけ送信を禁止するため無駄な時間待機することになる。

これらの課題は RTS/CTS がパケットの交換であるためにある程度の時間を必要とし、衝突が発生しやすいことに起因している。

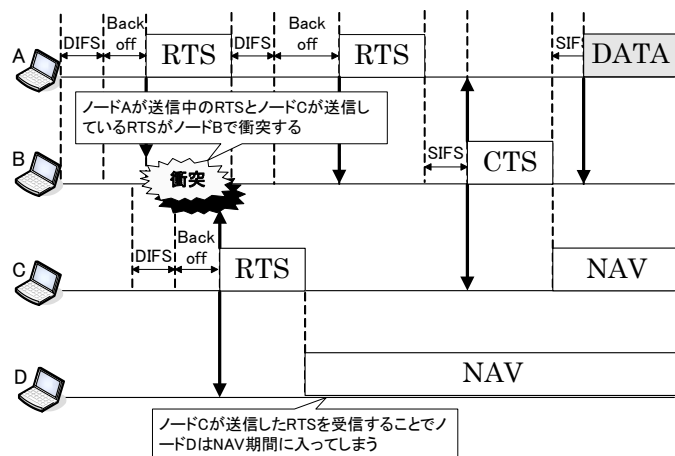


図3 RTS/CTS方式の課題(2)

2.3 従来のビジートーンによる解決策

RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンを用いた方式が提案されている。ビジートーンは単一の周波数なので衝突という概念がなく、複数の装置が同時にビジートーンを発生しても、周辺の装置はその信号を検知できる。ビジートーンを検知した端末は、その間送信をすることができない。文献1)では、使用帯域の両端に2種類のビジートーン PTt と PTr を追加する。送信端末が RTS の送信と同時に PTt を発生させる。宛先端末は RTS を受信後、CTS の送信と同時に PTt を発生させる。CTS を受信した送信端末はデータフレームの送信と同時に PTr を発生させる。PTt と PTr は通信が終了するまで発生し続ける。

ビジートーン信号 PTt と PTr を使用し、図2の課題の一部を解決できることを図4に示す。端末AがRTSを送信すると同時にPTtを発生させる。端末BはRTSを受信したらCTSの返信と同時にPTtを発生させる。端末BがCTSの送信中に端末DがRTSを送信すると、端末Bが送信したCTSと衝突する。しかし、端末CはPTtを検出しているためCTSを送信できない。これにより端末Aからの送信データと端末CからのCTSが衝突することを回避できる。ただし、端末BのCTSと端末DのRTSが衝突することは避けられず、端末Eが無駄に待機することは解決できない。

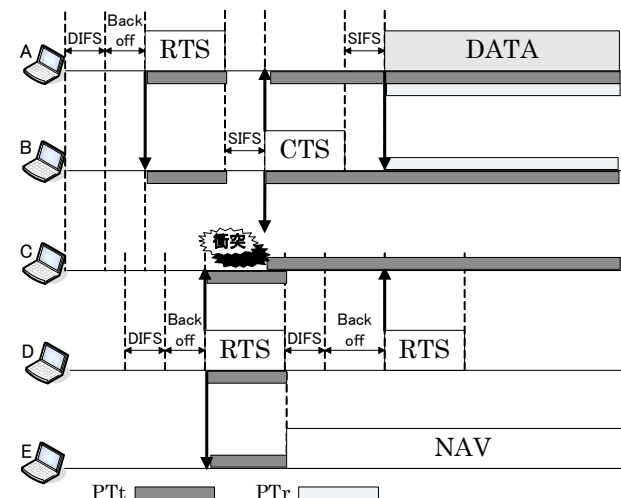


図4 既存ビジートーンの動作(1)

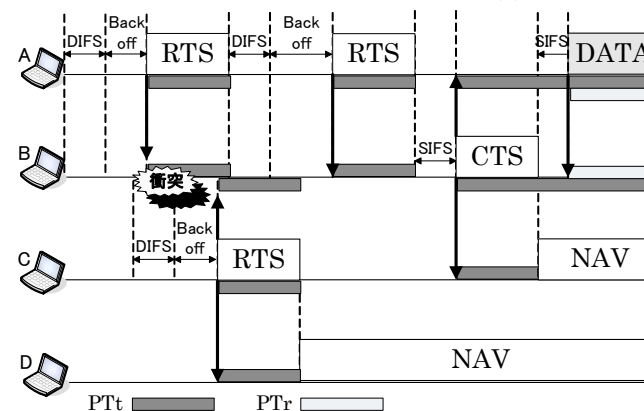


図5 既存ビジートーンの動作(2)

次に、ビジートーンを図3のケースで動作させた場合を図5に示す。端末AがRTSを送信すると同時にPTtを発生させる。このとき、端末CがRTSを送信すると同時にPTtを発生させる。端末BではRTS同士の衝突が発生し、ビジートーンの有無に関わらず正しく受信できない。つまり、図3のようなケースを解決することはできない。

2.4 衝突の可能性

802.11 では電波環境の悪化などの際は速度を低速に切り替えることにより通信を継続できる。また、11b と 11g は上位互換性が保証されている。これを可能とするために、フレームの先頭には PLCP (physical layer convergence protocol) プリアンプルと PLCP ヘッダが定義されている。プリアンプル部分は受信信号の同期を取るのに必要な部分である。ヘッダ部分には伝送速度、パケット長の情報があり、本体のデータ通信速度を識別する。これらの部分は全ての端末が受信できるよう最低速度で送信される。802.11/11b/g 互換モードでは 1Mbps, 11a では 6Mbps, 11 g 専用モードでは 6Mbps で送信される。PLCP プリアンプルとヘッダはこの仕組み上、これ以上の高速化はできない。

RTS/CTS の動作を 802.11b/g 互換モードにおける 802.11g の処理時間を表 1 に示す。最大データサイズはイーサネット最大長 1500byte に 802.11 ヘッダ, LLC ヘッダなどが加わり 1532byte になる。この長さなら 54Mbps なら 228 μ 秒で送信できる。しかし、RTS/CTS にはロングプリアンプルと呼ばれる 1Mbps の PLCP が必要で、RTS/CTS の本体送信前に 192 μ 秒もの時間を要する。その他に DIFS に 50 μ 秒, SIFS に 10 μ 秒, ACK に 37 μ 秒の時間が必要である。RTS/CTS 自体はパケットサイズが短く定義されているが、PLCP のためにその機能がうまく発揮されていない可能性がある。このように 802.11 ではデータフレーム送信とは別に多くの時間を必要とするため、図 2, 3 のような衝突の可能性は非常に高いといえる。

3. 提案方式

本論文では、RTS/CTS の送信と同時にビジートーンを発生させる。提案のポイントは、ビジートーンの到達範囲を拡大し、周辺端末に送信を開始したことをいち早く伝えることである。提案方式では、使用するビジートーンの周波数は 1 種類のみでよい。以後、提案方式で利用するビジートーンを SBT(Strong Busy Tone)と呼ぶ。SBT は RTS 又は CTS の送信時に発生させ、RTS 又は CTS の時間と SIFS 時間経過後に停止させる。周囲の端末は SBT を感知している間は送信ができないものとする。SBT の到達範囲は RTS の場合は 3 倍、CTS の場合は 2 倍まで拡大させる。なぜなら、図 2, 3 で示したように送信端末から 3 ホップ先にある端末の影響でデータの衝突が発生するためである。SBT は単一の周波数であり、送信範囲を拡大することによる電力消費の増加は大きなものではない。

提案方式の動作を図 6 に示す。端末 A は端末 B に RTS を送信すると同時に送信範囲 3 倍の SBT を発生させる。これにより端末 A が RTS を送信している間は端末 B, C, D は送信ができなくなる。RTS を受信した端末 B は端末 A に CTS を返信する。

表 1 802.11g 処理時間 (互換モード)

項目		時間(μ s)
DIFS		50
Backoff		20~620
RTS	PLCP	192
	RTS 本体	15
SIFS		10
CTS	PLCP	192
	CTS 本体	11
DATA	PLCP	26
	DATAmux	14~228
ACK	PLCP	26
	ACK 本体	11

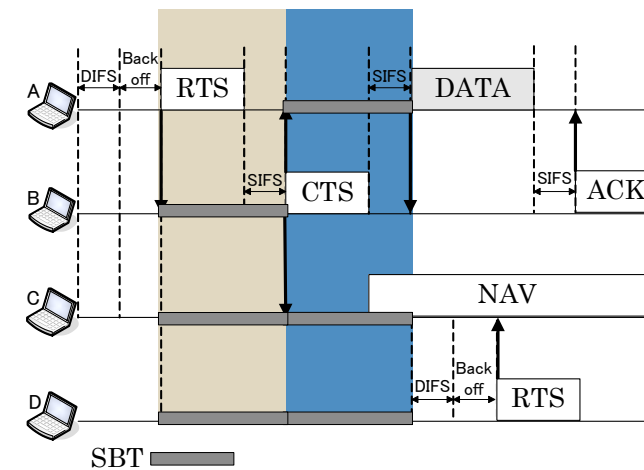


図 6 SBT の動作

このとき CTS と同時に送信範囲 2 倍の BT を発生させる。端末 B が CTS を送信している間、端末 A, C, D は送信ができなくなる。端末 C は端末 B からの CTS を検出するとその内容により NAV 期間に入る。以後の動作は RTS/CTS で規定された内容に従う。端末 A が送信中に端末 D が RTS を端末 C に送信しても、端末 C は NAV 期間に入っているため RTS は無視され、端末 D は RTS の再送を試みる。

このように、提案方式では RTS/CTS の送信状況を、SBT を用いて遠方の端末にも伝えることができるため、衝突自体の発生を大幅に軽減させることができる。ビジートーンが受信側端末に到達するまでの時間は、距離が 100m とすると 0.3μ 秒である。ビジートーンの検知は即座に可能である。RTS パケットを同時に送信する可能性がこれまでは 207μ 秒間であったのに比べると衝突可能性を大きく改善できることが期待できる。提案方式により、隠れ端末問題、さらし端末問題を解決でき、スループットの低下を防止することができる。

4. シミュレーション

4.1 ns-2 の改造

提案方式をシミュレーションするために ns-2(Network Simulator 2)を改造した。ns-2 は多くの研究機関で利用されているフリーのネットワークシミュレータである。ns-2 の改造内容を図 7 に示す。ns-2 はノード・リンク層、エージェント層、アプリケーション層の 3 層構造からなる。SBT の機能を持つ SBT モジュールをエージェント層に追加した。ns-2 ではビジートーンのような信号を想定していない。そこで別チャンネルを使用し、そこにデータを持たないパケットを送信することにより SBT を模擬した。到達距離の違いにより、2 つの異なるチャンネルを用いた。チャンネルごとに NIC(Network Interface Card)を追加し SBT の発生、検出を行わせた。NIC の追加は SBT を模擬するためであり、実機に SBT を導入する場合はこのような追加をする必要はない。

SBT1 は送信範囲 3 倍、SBT2 は送信範囲 2 倍の SBT を発生させる。ns-2 では RTS、CTS やデータフレームなどは MAC モジュールで作られるので、NIC-1 の MAC モジュールと SBT1、SBT2 モジュールを内部で結合した。RTS を送信する前に SBT1 モジュールを呼び出し、送信範囲 3 倍の SBT を発生させる。CTS を送信する場合は SBT2 モジュールを呼び出し、送信範囲 2 倍の SBT を発生させる。これらの機能を実現するため NIC-1 の MAC モジュールに、SBT1、SBT2 モジュールを呼び出すための機能を追加した。

4.2 シミュレーション環境

改造した ns-2 を用い、提案システムを適用した場合とそうでない場合の比較評価を行った。評価項目は端末間における TCP スループットとした。

シミュレーション環境を図 8 に示す。各端末間の距離は図中に示した通りである。端末 E、A と端末 F、D は隠れ端末の関係にある。端末 D は端末 C、B を中継して端末 E に対して TCP 通信を行う。また、端末 A は端末 B、C を中継して端末 F に対して UDP 通信を行う。

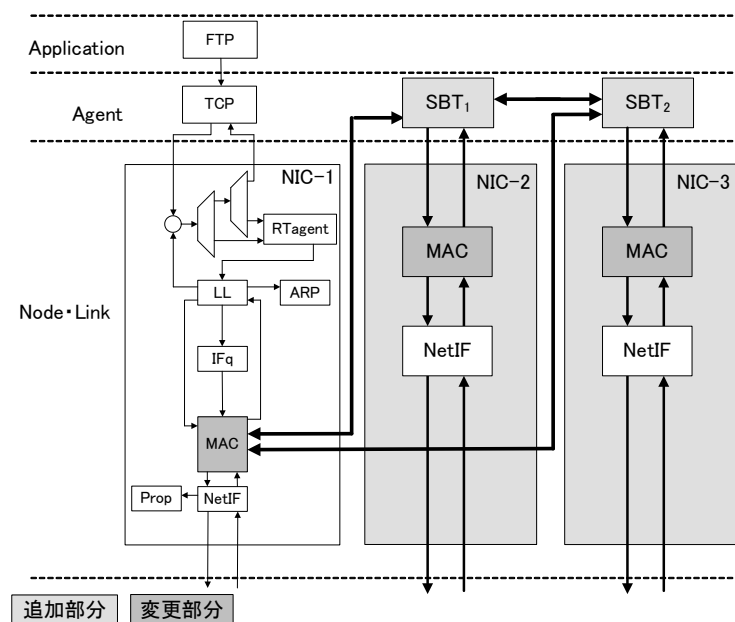


図 7 ns-2 の改造内容

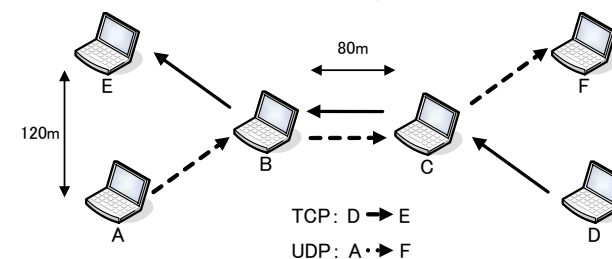


図 8 シミュレーション環境

一般通信の電波到達範囲は 100m、RTS 送信時に発生させる SBT の電波到達範囲は 300m、CTS 送信時に発生させる SBT の電波到達範囲は 200m とする。したがって端末 A が RTS を送信した時に発生する SBT は図 8 中の全端末が受信可能である。端末 A が CTS を送信した場合に発生する SBT は端末 C までが受信可能である。

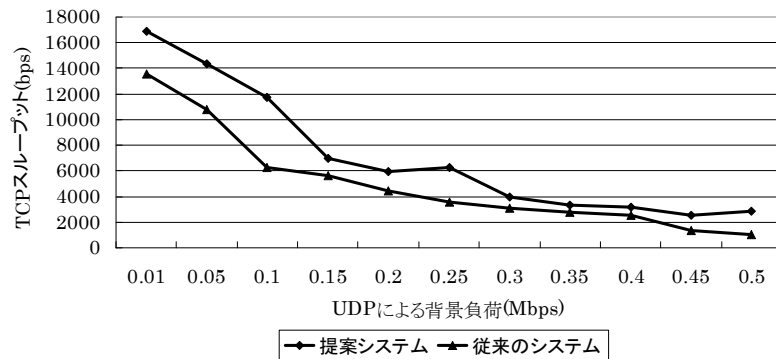


図9 従来のシステムと提案システムとのスループットの比較

4.3 スループットの比較

図8のシミュレーション環境において、提案システムと従来のシステムのTCPスループットの比較を行った。UDP通信の発生率を背景負荷として変化させ、端末Dから端末EまでのTCP通信のスループットを計測した。スループットの比較結果を図9に示す。横軸にUDPの発生率、縦軸にTCPスループットを示す。UDPの一秒当たりのUDPパケット数が増えるとそれに伴いTCPのスループットは下がる。しかし、従来のシステムと提案システムのスループットを比較すると提案方式はパケット衝突が大幅に減少したことにより、スループットの減少率が小さくおさえられていることが分かる。上記シミュレーションにおいてはパケット衝突数が9割以上軽減されたことを確認している。

5. むすび

RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンの到達範囲を拡大させ、周辺の端末からの送信を抑止する方法を提案した。この方法により隠れ端末同士のRTSの衝突によるスループットの低下を未然に防ぐことが可能となる。SBTの機能をns-2に搭載し、提案方式の有効性を確認した。今回は単純なネットワーク構成における検証であったため、データの衝突はそれほど多くなかった。今後、より大規模なネットワーク構成で検証することにより、より良い結果が期待できると考えている。更に、ブロードキャストへの対応も検討する。

参考文献

- 1) Masaki Bandai, Iwao Sasase, : Performance Analysis of a Medium Access Control Protocol with Busy Tones in Wireless Ad Hoc Networks, IEICE technical report. Communication systems 101(54) pp.7-12 (2001)
- 2) Deng, J.and Hass,Z,J. : Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) : A New Medium Access Control for Packet Radio Networks, IEEE ICUPC' 98, Vol.2, pp.973-977 (1998).
- 3) Deng, J.and Hass,Z,J. : Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) : A Multiple Access Control Scheme for Ad Hoc Networks, IEEE Trans. Communications, Vol.50, No.6, pp.975-985 (2002).
- 4) 銭飛, : NS2 によるネットワークシミュレーション, 2006
- 5) YAGYU Kengo, FUJIWARA Atsushi, TAKEDA Shinji, OMAE Koji, AOKI Hidenori, MATSUMOTO Yoichi, : Topology and Traffic Aware Channel Assignment for Layer-2 Mesh Networks, 電子情報通信学会技術研究報告. RCS, 無線通信システム Technical report of IEICE. RCS Vol.105, No.196 (20050714) pp. 127-132 RCS2005-61
- 6) Ashish Raniwala, Kartik Gopalan, Tzi-cker Chiueh, : Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2004
- 7) Jenhui Chen, Yen-Da Chen, : AMNP: Ad Hoc Multichannel Negotiation Protocol for Multihop Mobile Wireless Networks, IEEE international conference on communications, 2004
- 8) 野崎正典, : IEEE802.11s における無線メッシュネットワークの標準化動向, 沖電気工業株式会社, 2006
- 9) Nitin Jain, Samir R.Das, Asis Nasipuri : A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for MultihopWireless Networks, IC3N2001

アドホックネットワークのスループットの 低下を防ぐ方式の検討

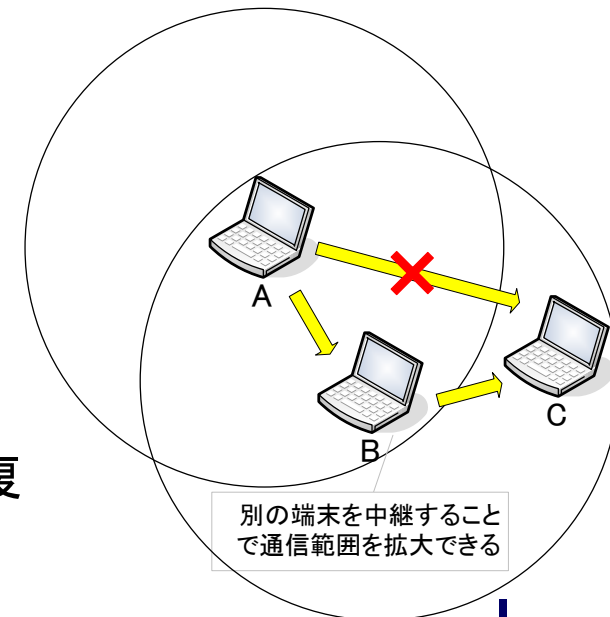
名城大学大学院 理工学研究科
後藤秀暢 渡邊晃

はじめに

- 近年、無線デバイスや携帯端末の急速な発展と普及に伴い、いつでもどこでもネットワークに接続できる環境が求められている
- そこで、インフラを必要とせず、端末のみでネットワークを構築できるアドホックネットワークの技術が注目されている

アドホックネットワーク

- ▶ アドホックネットワークは、多数の端末をAPの介在なしに相互に接続するマルチホップ通信を実現する
 - ▶ 限られた範囲のネットワークの構築が容易に実現できる
- ▶ 車車間通信・・・
 - ▶ 車両に無線端末を搭載し、別の車両と情報通信
- ▶ 災害時には・・・
 - ▶ 無線LAN端末を中継することで通信環境の回復

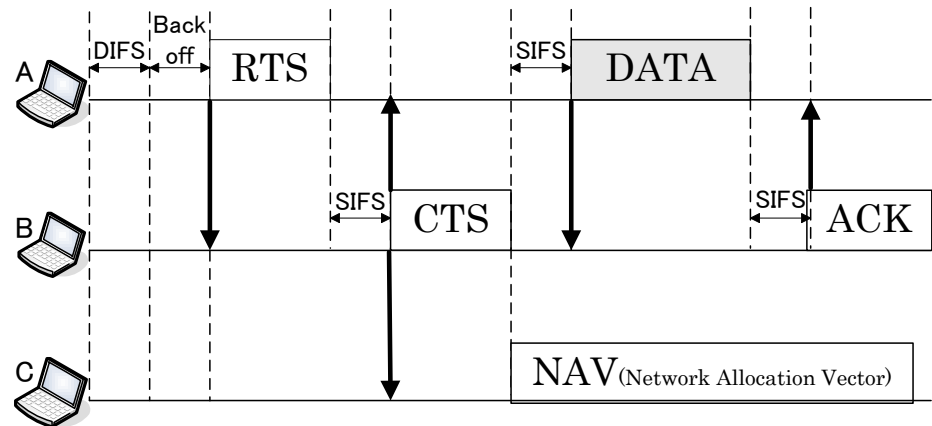


AP: Access Point

アドホックネットワークにおける課題

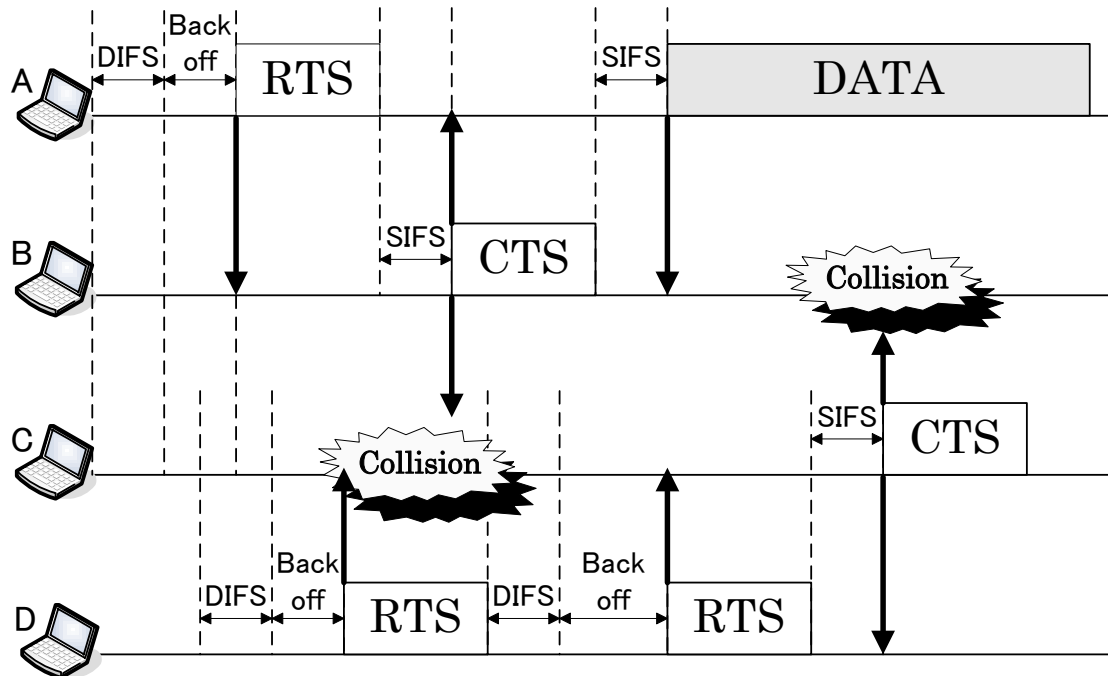
- アドホックネットワークでのマルチホップ通信では・・・
 - 隠れ端末問題によるパケット衝突の影響で、大幅にスループットが低下する
- IEEE802.11では隠れ端末問題を解決するために、RTS/CTS方式を採用している

近隣の端末がRTSやCTSを受信することで仮想的なキャリア・センス状態になり、一定期間通信を控える



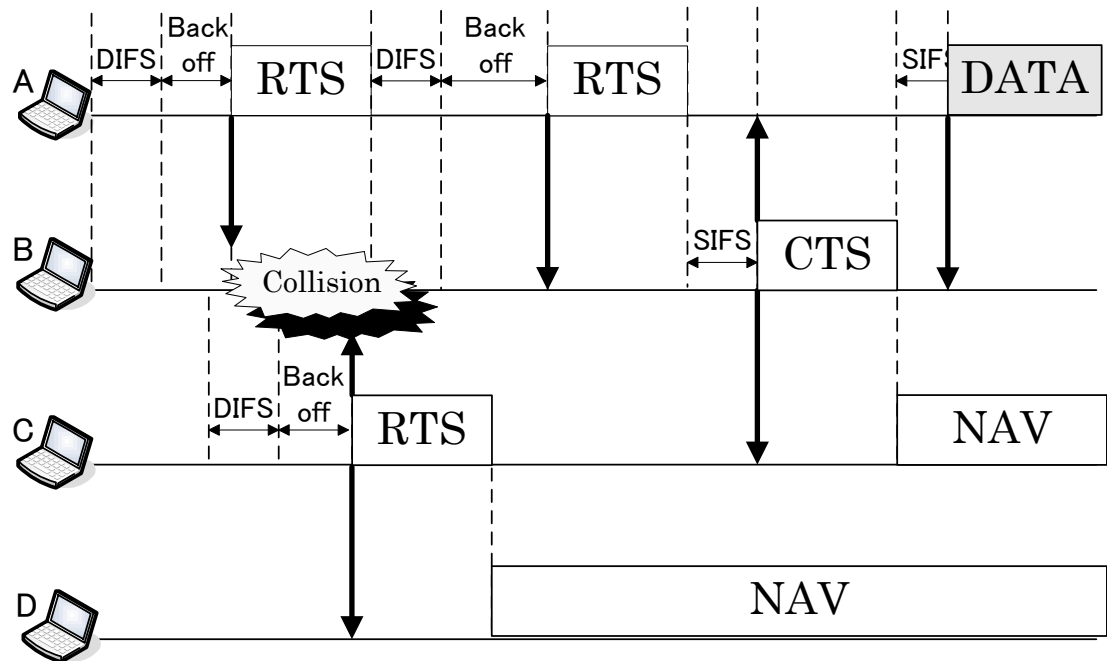
RTS/CTS方式における課題

- RTS/CTS方式では・・・
 - トラフィック負荷が高くなるとRTS同士の衝突、又はCTSとデータの衝突が発生する



RTS/CTS方式における課題

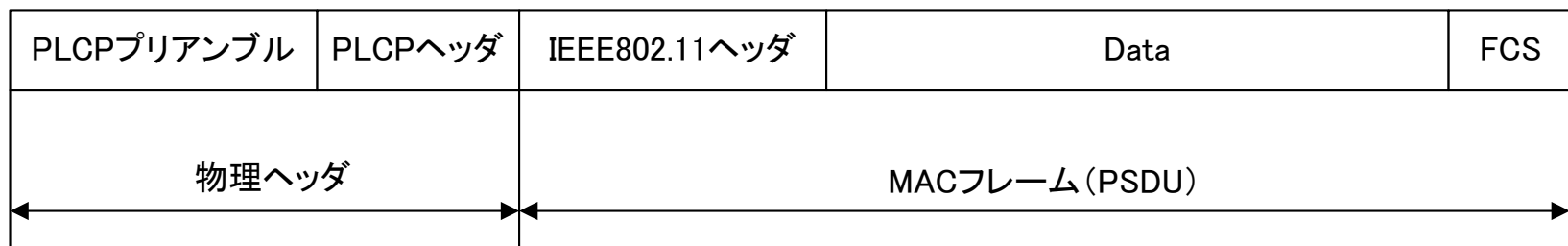
RTS/CTSが一種のパケットであり、一連の動作に所定の時間を必要とするため



これらの問題はアドホックネットワークにおいて、特にスループットを低下させる要因となっている

衝突の可能性

- 802.11では電波環境の悪化などの際は速度を低速に切り替えることにより通信を継続でき、11bと11gは上位互換性が保証されている
- これを可能とするために、フレームの先頭にはPLCPプリアンプルとPLCPヘッダが定義されている
 - プリアンプル部分は受信信号の同期を取るのに必要な部分
 - ヘッダ部分には伝送速度、パケット長の情報があり、本体のデータ通信速度を識別する
 - これらの部分は全ての端末が受信できるよう最低速度で送信



各項目の時間

- RTS/CTS自体はパケットサイズが短く定義されているが、PLCPのためにその機能がうまく発揮されていない可能性がある

802.11ではデータ送信とは別に多くの時間を必要とするため、衝突の可能性は非常に高い

項目		時間(μs)		
		b	g	b/g
DIFS		50	34	50
RTS	PLCP	192	26	192
	RTS本体	15	3	15
SIFS		10	10	10
CTS	PLCP	192	26	192
	CTS本体	11	3	11
DATA	PLCP	192	26	26
	DATA本体	1117	228	228
ACK	PLCP	192	26	26
	ACK本体	11	3	3

DATAサイズ: 1532Byte

Busy Toneを用いた既存技術

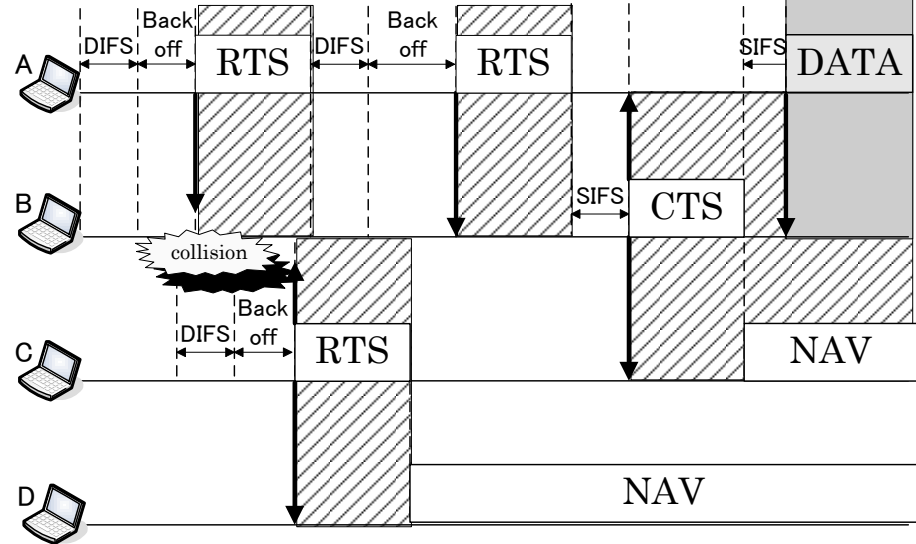
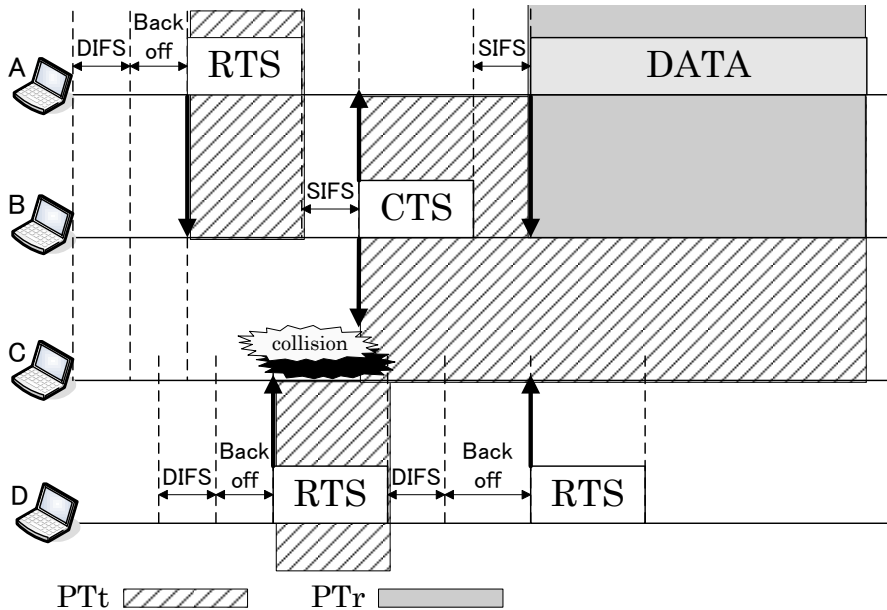
- RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンを用いたMACプロトコルが提案されている

参考文献: Masaki Bandai, Iwao Sasase, : Performance Analysis of a Medium Access Control Protocol with Busy Tones in Wireless Ad Hoc Networks, IEICE technical report. Communication systems 101(54) pp.7-12 (2001)

- ビジートーンとは・・・
 - データを持たない単一の周波数であり、周囲の端末はビジートーンを瞬時に検知できる
 - ビジートーンを検知した端末はパケットの送信を控える
 - ビジートーン同士の衝突を考慮する必要がなく
 - 単一の周波数のため電力消費も少ない

Busy Toneを用いた既存技術

- RTS送信時にPT_tをRTS送信完了まで発生させる
- CTS送信時にPT_tをDATA送信完了まで発生させる
- DATA送信時にPT_rをDATA送信完了まで発生させる



提案システム

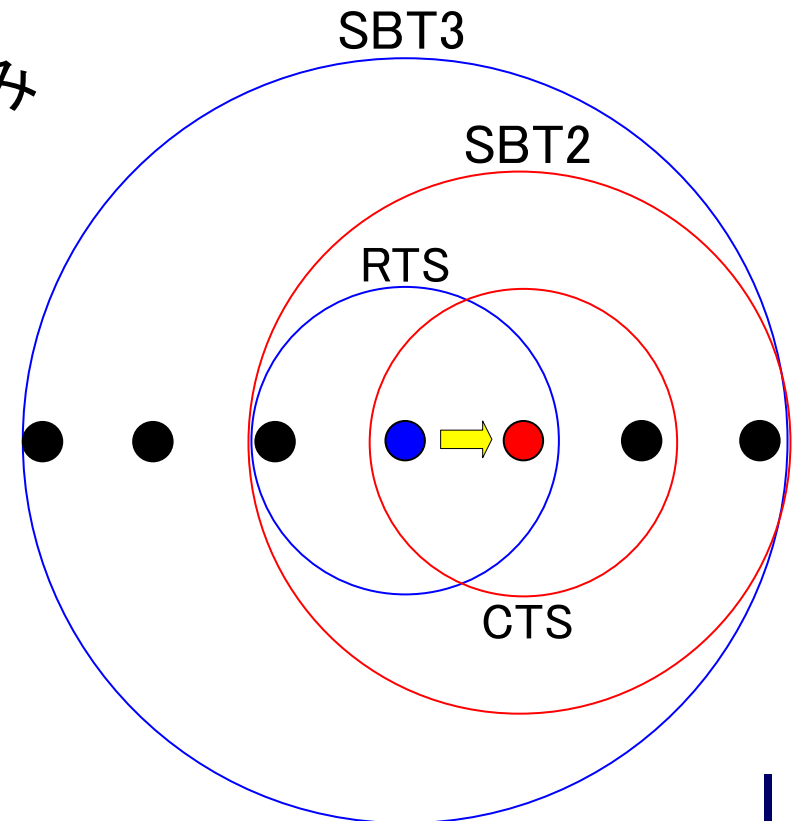
RTS/CTSの送信と同時に電波到達範囲を拡大したビジートーンを発生させる

それにより、周辺端末とのパケット衝突自体を防止するシステムを提案する

- 提案システムで使用するビジートーンを
SBT (Strong Busy Tone)と呼ぶ

提案システム

- SBTはRTS又はCTSの送信時に発生させ、RTS又はCTSの送信が完了し、SIFS時間経過後に停止させる
- 使用するSBTの周波数は1つのみ
- SBTの電波到達範囲
 - RTS送信時は3倍まで拡大
 - CTS送信時は2倍まで拡大
- SBTは単一の周波数であり、送信範囲を拡大することによる電力消費は大きなものではない

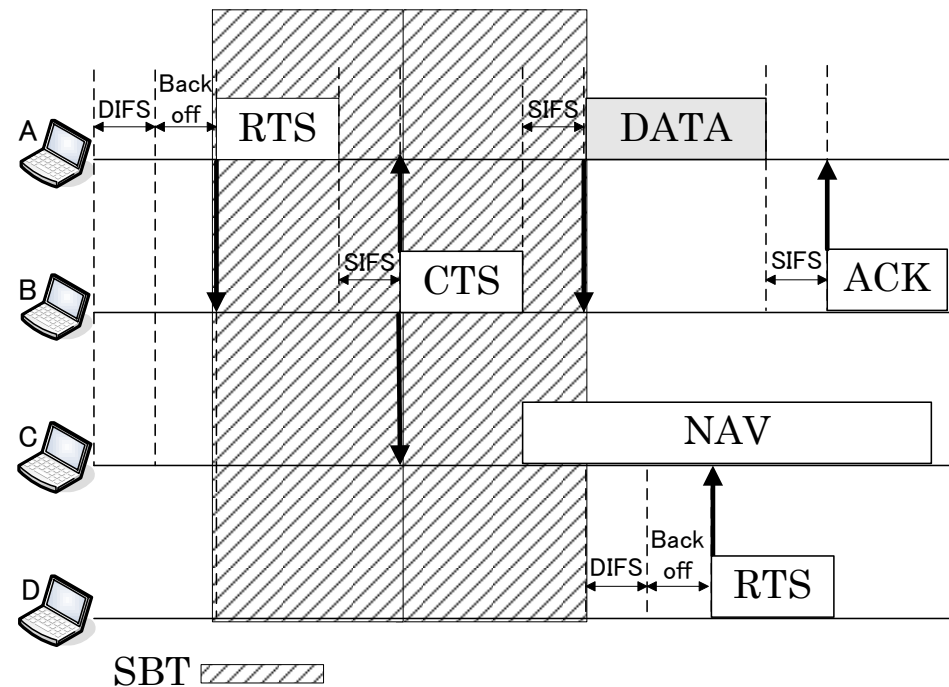


提案システム

- RTS/CTSの課題に提案システムを用いると...

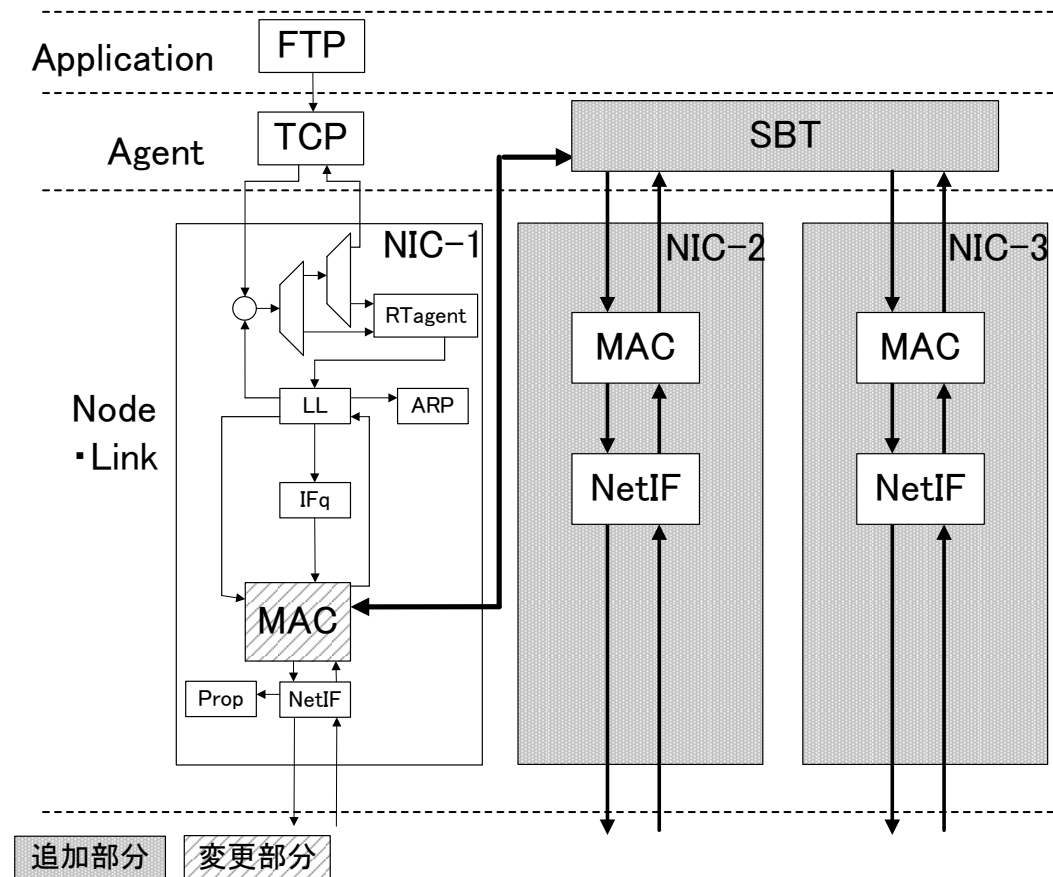
提案システムでは、RTS/CTSの送信状況を、SBTを用いて遠方の端末に伝えることができるため、パケットの衝突の発生を大幅に軽減できる

これにより、スループットの低下を防止できる



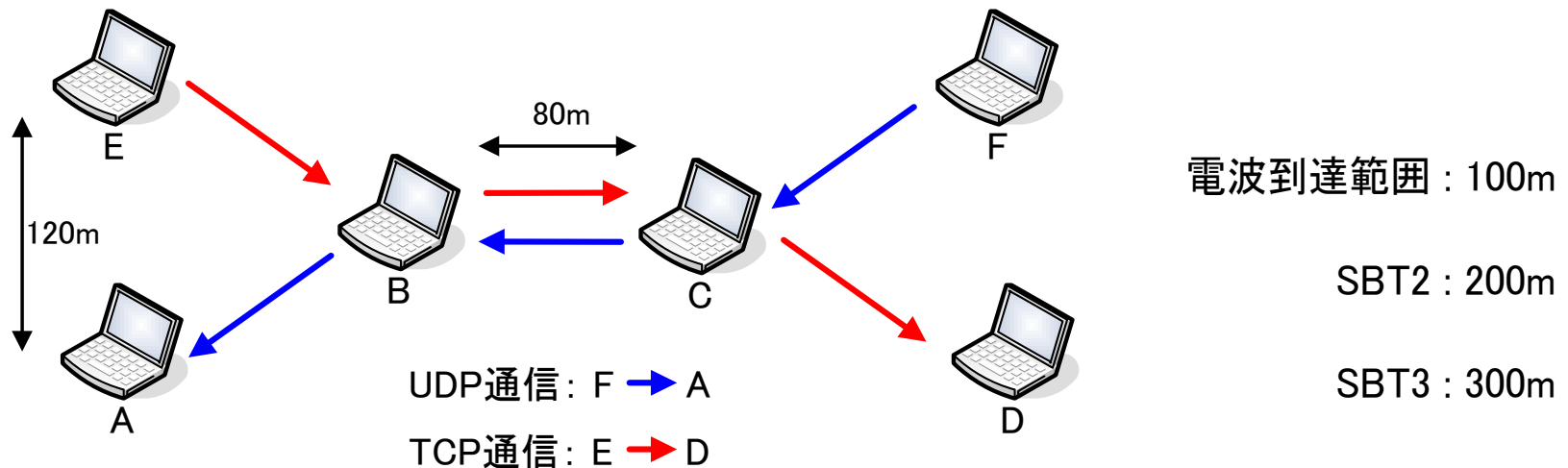
ns-2によるシミュレーション

- ns-2とはWired/Wireless, マルチキャスト, TCP/IPによる通信などのシミュレーションが可能なフリーのネットワークシミュレータ
- 追加機能
 - SBTエージェント
 - SBT発生用のNIC
- 変更部分
 - MACモジュールの改造
 - 各モジュールをシナリオで接続する



ns-2によるシミュレーション

- ▶ 提案システムを適用した場合と適用しない場合のTCPスループットの比較
 - ▶ UDP通信の発生率を変化させて、TCP通信のスループットを計測する

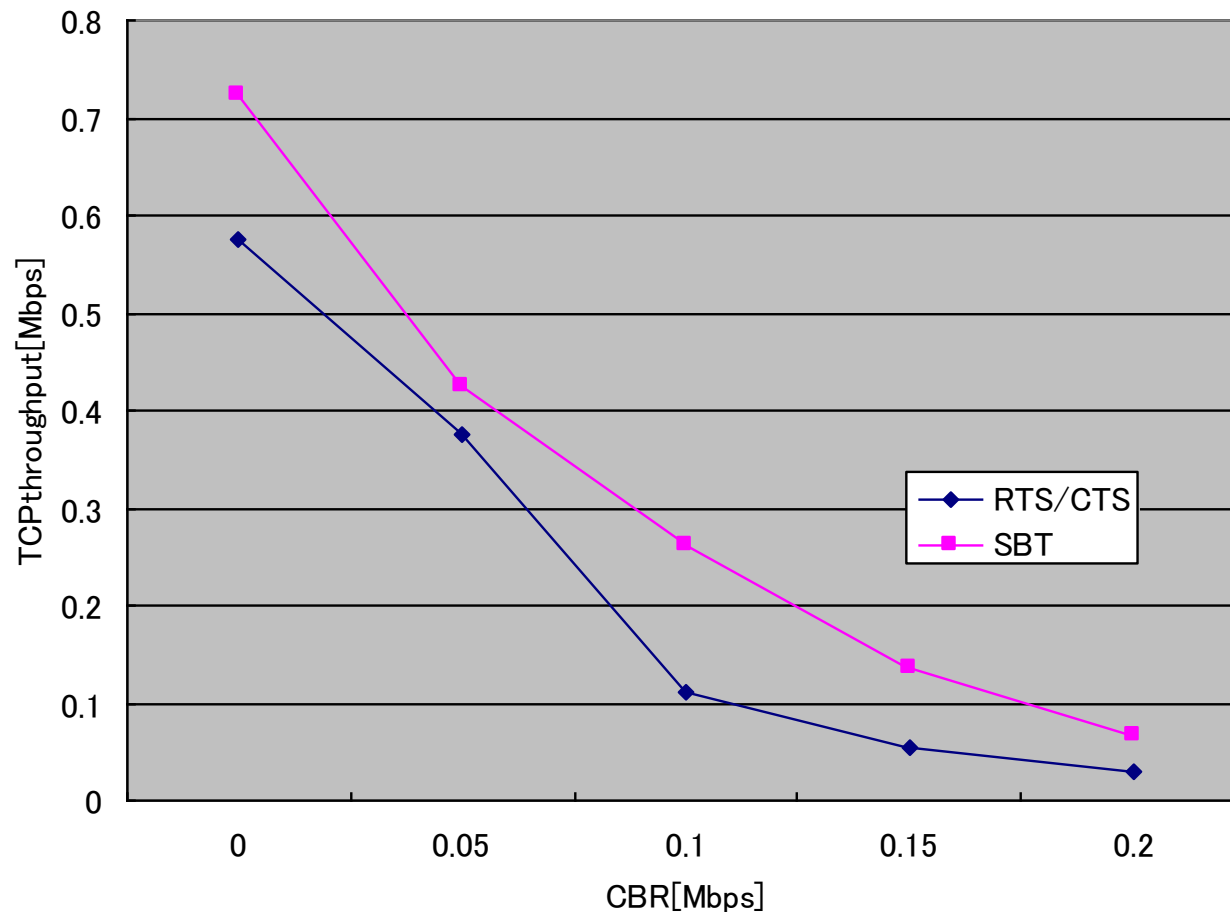


シミュレーションパラメータ

Transport protocol	TCP	UDP
Application	FTP	CBR
Packetsize	1000Byte	100Byte
Routing protocol	AODV	
Transmission range	100m	
Transmission range SBT 2	200m	
Transmission range SBT 3	300m	

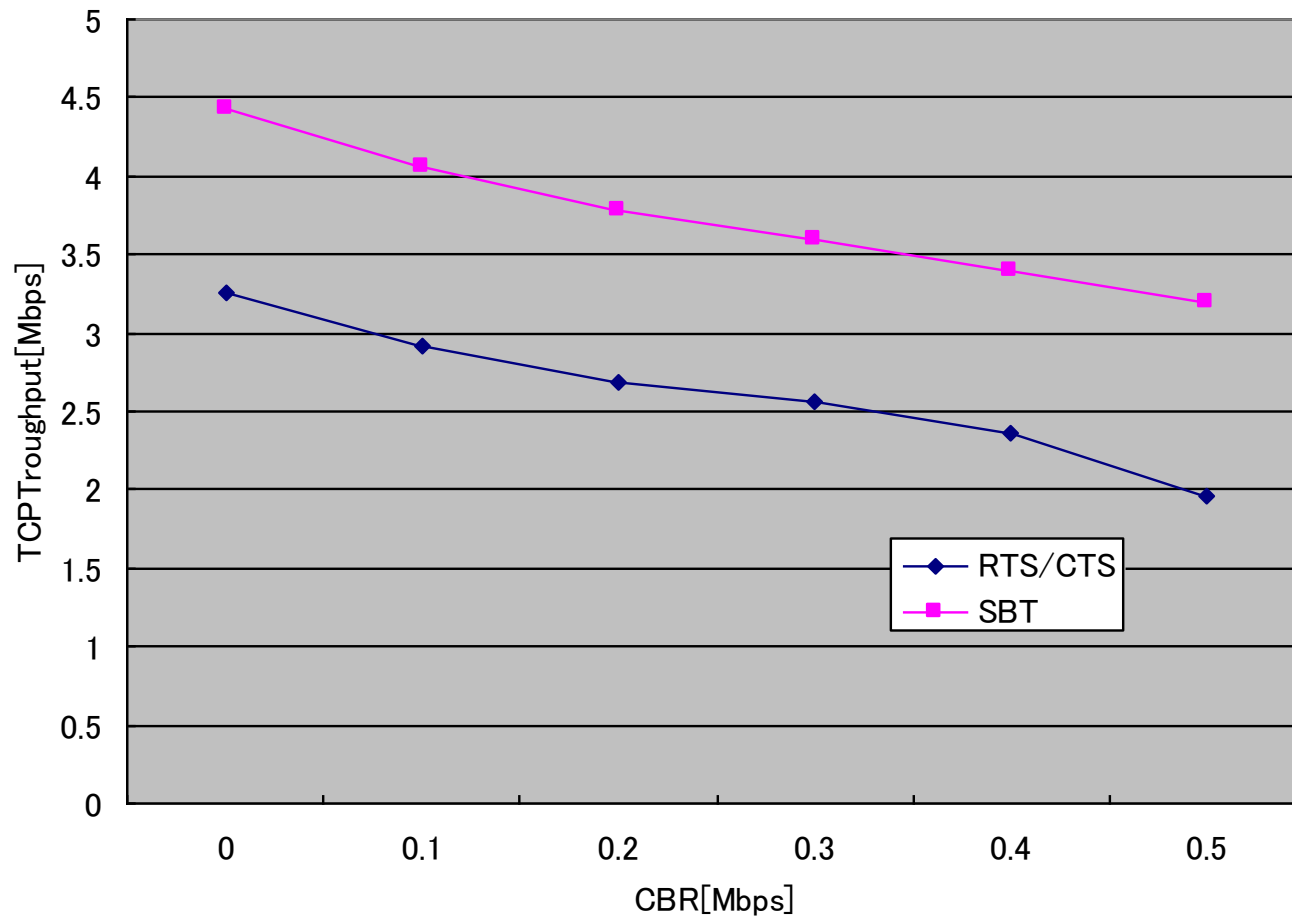
シミュレーション結果

➤ 802.11b



シミュレーション結果

➤ 802.11g



まとめ

- RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンの到達範囲を拡大させ、周辺端末からの送信を抑止するシステムを提案した
 - これにより、パケットの衝突によるスループットの低下を未然に防ぐことができる
- SBTの機能をns-2に導入するための検討及び改造を行った
- 更に、提案システムをシミュレーションにて評価した
- 今後はより大規模なネットワーク環境においてシミュレーションを行う

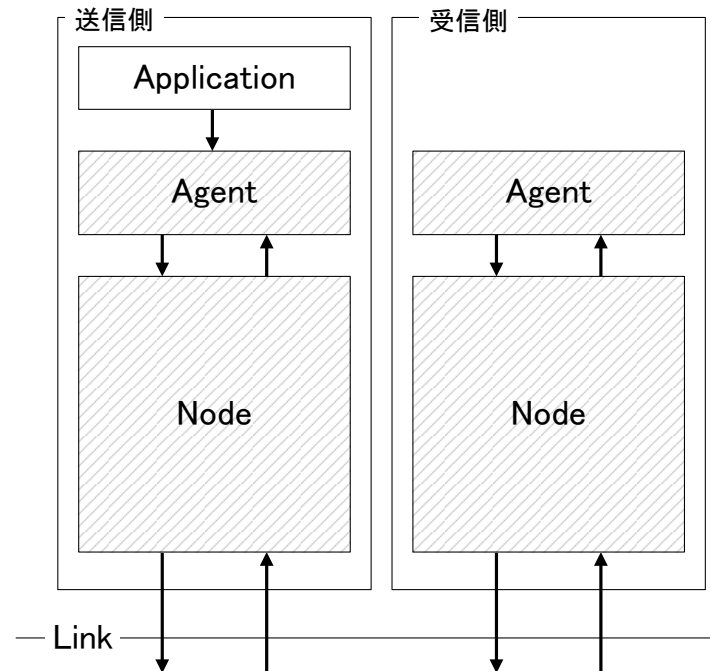
- 802.11b
- 0Mbps 6037
- 0.1 3294
- 0.2 2270
- 802.11g
- 0 8335
- 0.1 9141
- 0.2 9575
- 0.3 9502
- 0.5 7877

ns-2(network simulator-2)

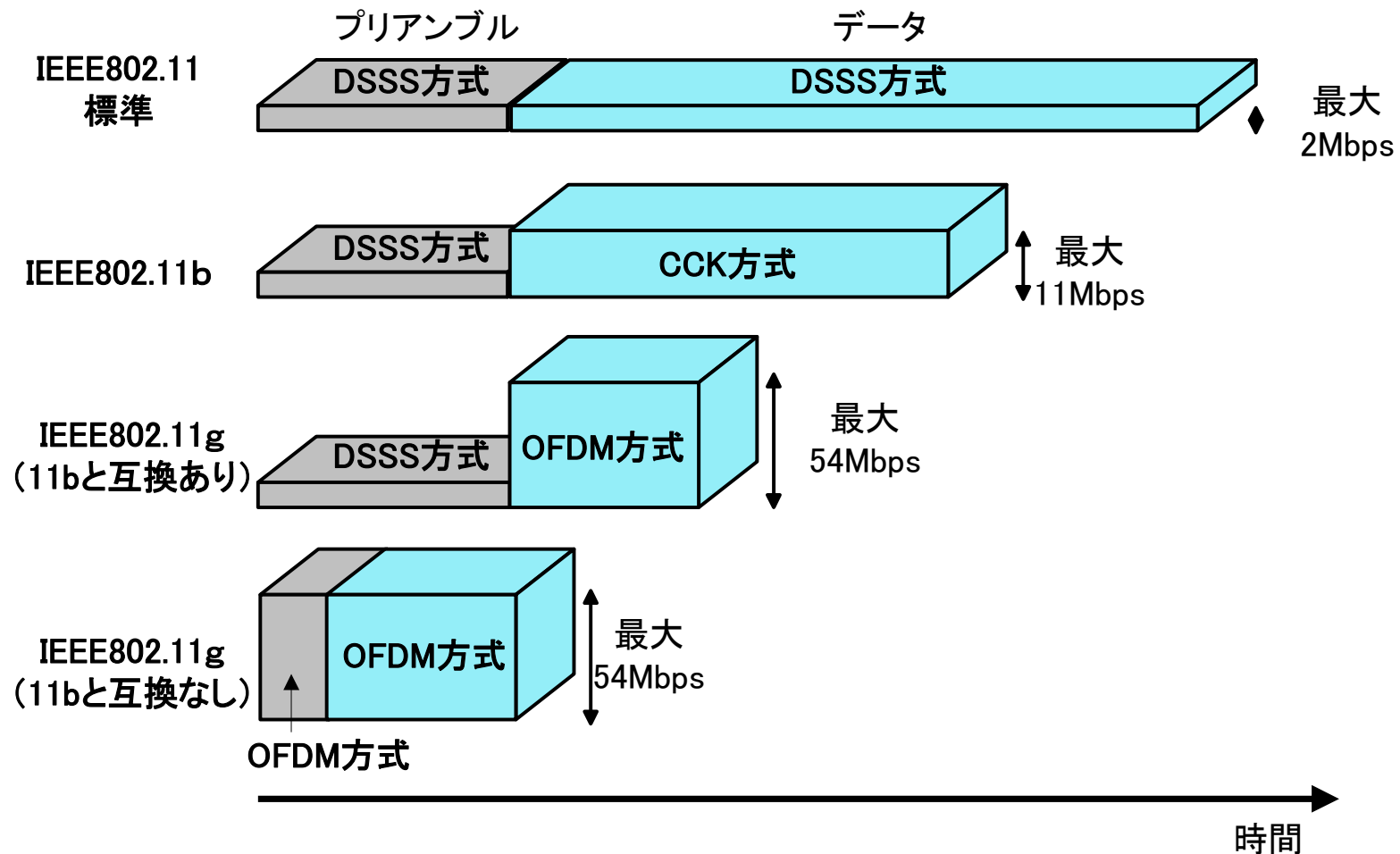
- ns-2とはWired/Wireless, マルチキャスト, TCP/IPによる通信などのシミュレーションが可能なフリーのネットワークシミュレータ
- SBTの機能をns-2に追加するために, エージェント層, ノード・リンク層の改造が必要



NS2のネットワークモデル



衝突の可能性



周波数帯

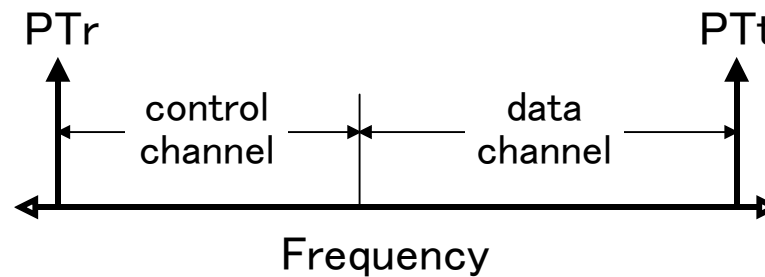
- ▶ 周波数帯については・・・
 - ▶ ガードバンドを使用する
- ▶ ガードバンドとは・・・
 - ▶ 2つの通信チャネルの間にある未使用周波数帯

伝送方式

- IEEE 802.11標準
 - 物理層には、2.4GHz帯を利用したDSSSとFHSS、赤外線通信の3つの伝送方式が規定され、通信速度は1Mbpsと2Mbps
- 11b
 - IEEE 802.11標準で利用する2.4GHz帯の伝送方式に、CCK方式を採用し、最大11Mbpsの通信速度を実現した規格がIEEE 802.11b(フレームの始まりを見分けるためのプリアンブル部分はDSSS方式で伝送). CCK方式は1Mbpsと2Mbps、5.5Mbps、11Mbpsを実現する方式
- 11a
 - IEEE 802.11aは、OFDM伝送方式を採用
- 11g
 - IEEE 802.11bとの互換性を保ちながらIEEE 802.11aと同様の高速化を実現した規格がIEEE 802.11g. 物理層はIEEE 802.11bで規定したCCK方式にIEEE 802.11aで採用されたOFDM方式を追加し、最大54Mbpsの通信速度を実現

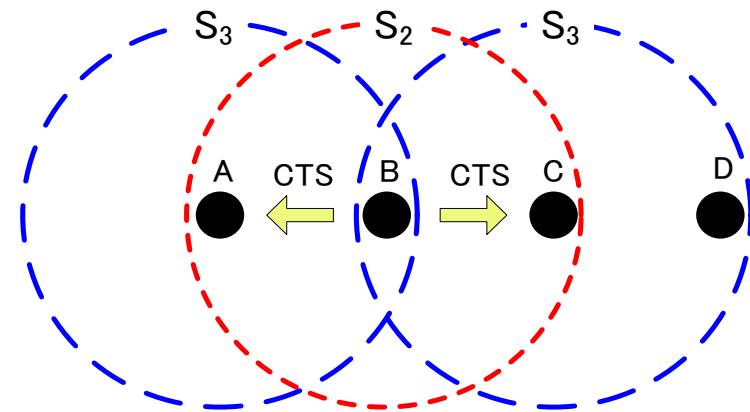
既存技術のチャネル割当て

- 使用するチャネルを制御チャネルとデータチャネルに分割
- その帯域の両端に2種類のビジートーンPTt、PTrを追加する



中継の動作 ～CTS～

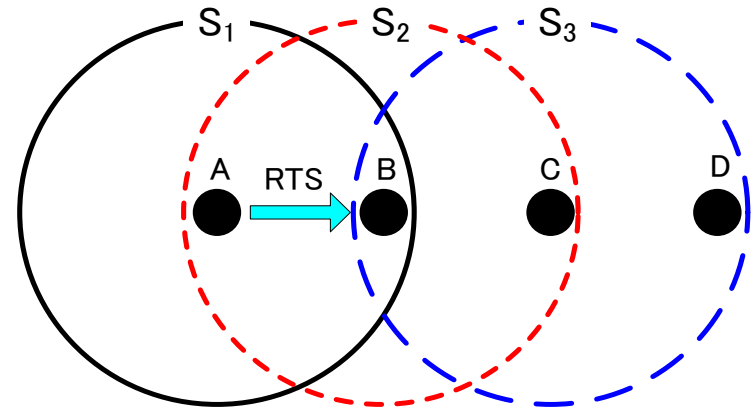
1. 端末BがCTSを送信すると同時に、周波数 S_2 のビジートーンを発生する
2. 端末A, 端末Cは周波数 S_2 のビジートーンを受けたら即座に周波数 S_3 のビジートーンを発生する
3. 周波数 S_3 のビジートーンを受けた端末Dはこれ以上ビジートーンを中継しない



端末BがCTSを送信開始した瞬間からビジートーンは端末間を中継し、端末A, C, Dのフレーム送信を制御する

中継の動作 ～RTS～

1. 端末AがRTSを送信すると同時に、周波数 S_1 のビジートーンを発生する
2. 端末Bは周波数 S_1 のビジートーンを受けたら即座に周波数 S_2 のビジートーンを発生する
3. 周波数 S_2 のビジートーンを受けた端末Cはさらに周波数 S_3 のビジートーンを発生する
4. 周波数 S_3 のビジートーンを受けた端末Dはこれ以上ビジートーンを中継しない



端末AがRTSを送信開始した瞬間からビジートーンは端末間を中継し、端末B, C, Dのフレーム送信を制御する

	802.11b	802.11g
dataRate	11Mbps	54Mbps
basicRate	1Mbps	6Mbps
Bandwidth	11Mbps	54Mbps
CWmin	31	15
CWmax	1023	1023
Slottime	20 μ s	9 μ s
SIFS	10 μ s	16 μ s
PreambleLength	144	16
PLCPHeaderLength	48	24
PLCPdatarete	1Mbps	6Mbps