

平成22年度 修士論文

邦文題目

アドホックネットワークのスループットを
向上するストロングビジートーンの提案

英文題目

**A Proposal of a Strong Busy Tone that
Improves Throughput in Ad-hoc Networks**

情報工学専攻

(学籍番号: 093430012)

後藤 秀暢

提出日: 平成23年1月31日

名城大学大学院 理工学研究科 修士課程

内容要旨

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、既存のビジートーンの方式のままでは、RTS 同士の衝突については回避することができない。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、RTS どうしの衝突を大幅に減少させる方式を提案する。

目次

第1章	はじめに	2
第2章	既存技術と関連研究	4
2.1	RTS/CTS方式の課題	4
2.2	ビジートーンを用いたアクセス制御	4
2.3	無線フレームの構成とPLCP	7
第3章	提案方式	9
第4章	評価	11
4.1	ns-2の改造	11
4.2	シミュレーション環境	12
4.3	スループットの比較	14
第5章	まとめ	16
	謝辞	17
	参考文献	18
	研究業績	19
付録A	RTS/CTS方式	21

第1章 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、マルチホップ通信を行うアドホックネットワークや無線メッシュネットワークでは、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、スループットが低下することが知られている [1]。隠れ端末問題を解決するには、送信端末だけでなく宛先端末と隣接する全ての端末に対しても、通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 RTS とうしの衝突が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。このため、無駄に送信を行ったり、待たされる状況が発生し、スループットが大幅に低下する。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、単一信号の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 [2] [3] [4] [5] [6] [7]。ビジートーンは単一の制御信号である。ビジートーンには情報が含まれないため、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 [2] 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、データ送信時にビジートーンを発生させる。この方法により、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ことにより、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。ビジートーンは RTS 及び CTS の送信時に発生させ、RTS 及び CTS の送信が完了し、SIFS(Short Interframe Space) 時間経過後に停止させる。この方法により、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, RTS/CTS による場合と提案システムとの比較評価を行った. 評価項目はメッシュ状に分布したアドホック端末間における TCP スループットとした. 既存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減少したことにより, 高トラヒックの状態において 2 倍以上のスループットが得られることが分かった.

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 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.

第2章 既存技術と関連研究

2.1 RTS/CTS 方式の課題

隠れ端末問題を解決するには、送信端末が送信中であることを、宛先端末に隣接する全ての端末に知らせる必要がある。RTS/CTS は、これから送信するパケット長の情報を小パケットにのせて近隣の端末に知らせる役割を持っている。しかし、RTS/CTS の交換には所定の時間を要するため隠れ端末状態を完全に解決することはできない。

RTS/CTS 方式の課題の例を図 2.1, および図 2.2 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。2 ホップ先の端末は隠れ端末の関係にあるものとする。図 2.1 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。このようなケースはアドホックネットワークで十分ありうる。端末 D の RTS と、端末 B の CTS が、端末 C の地点で衝突すると、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に、端末 B に対してデータ送信を始める。端末 D は RTS を再送するが、端末 C はこれに対して CTS を応答するため、端末 A のデータフレームと衝突が発生する。これにより、端末 A はデータフレーム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(Network Allocation Vector) 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 2.2 は、端末 A と端末 C がほぼ同じタイミングで端末 B に 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 2.2 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。この時、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、この間に複数の端末が通信を開始する可能性が高いことに起因している。

2.2 ビジートーンを用いたアクセス制御

隠れ端末問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。ビジートーンとは、単一の信号で、近隣端末に送信中であることをいち早く伝えるためのもの

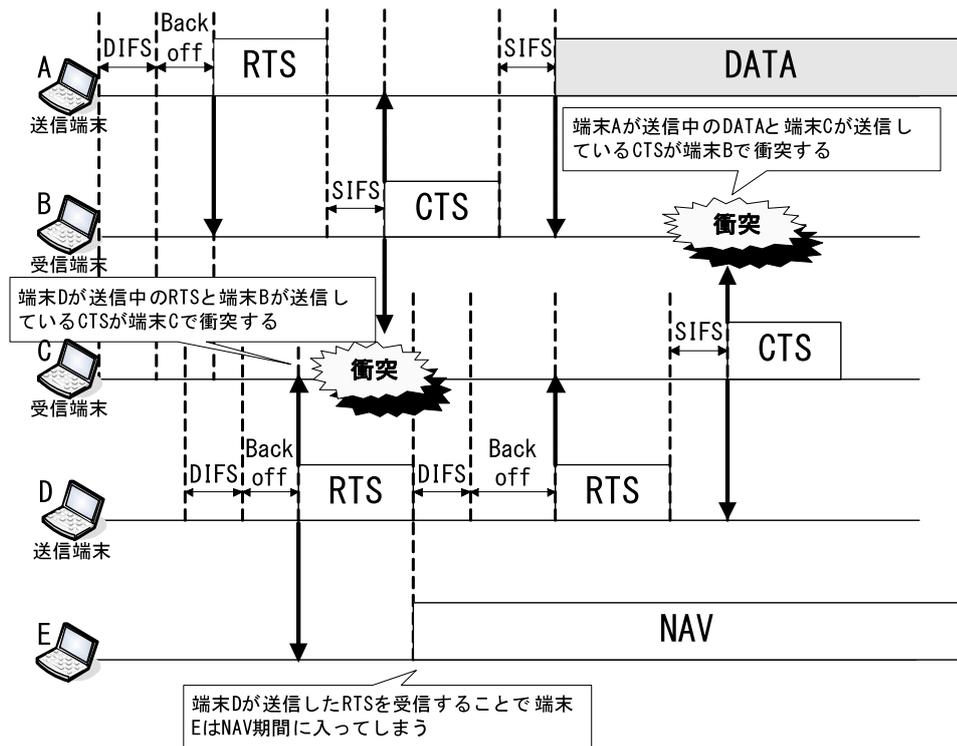


図 2.1 RTS/CTS 方式の課題 (1)

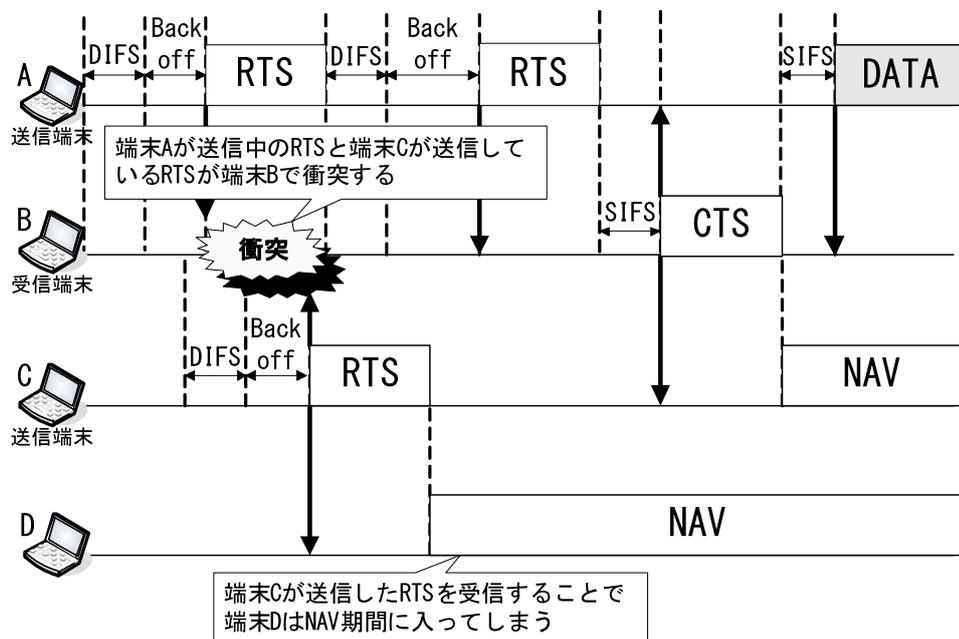


図 2.2 RTS/CTS 方式の課題 (2)

である。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。ビジートーンには情報が含まれないため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。文献 [2] では、使用帯域の両端に 2 種類のビジートーン PTt(The prohibition transmitting tone) と PTr(The prohibition receiving tone) を定義する。PTt は RTS, CTS の送信時に発生させる。PTr はデータフレームの送

信時に発生させる。

ビジートーン信号 PTt と PTr を使用し、図 2.1 の課題の一部を解決できることを図 2.3 に示す。端末 A は、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。

次に、ビジートーンを図 2.2 のケースで動作させた場合を図 2.4 に示す。端末 A が RTS を送信すると同時に PTt を発生させる。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 2.2 のようなケースを解決することはできない。

既存のビジートーンを用いた研究では、シミュレーションによってよい性能が出たことを報告しているものの、アドホックネットワークを正確に模擬しているものは少なく、結果の信頼性が低い。多くの研究では以下に述べる PLCP(physical layer convergence protocol) について考慮しておらず、正しい結果が出されていないものと思われる。

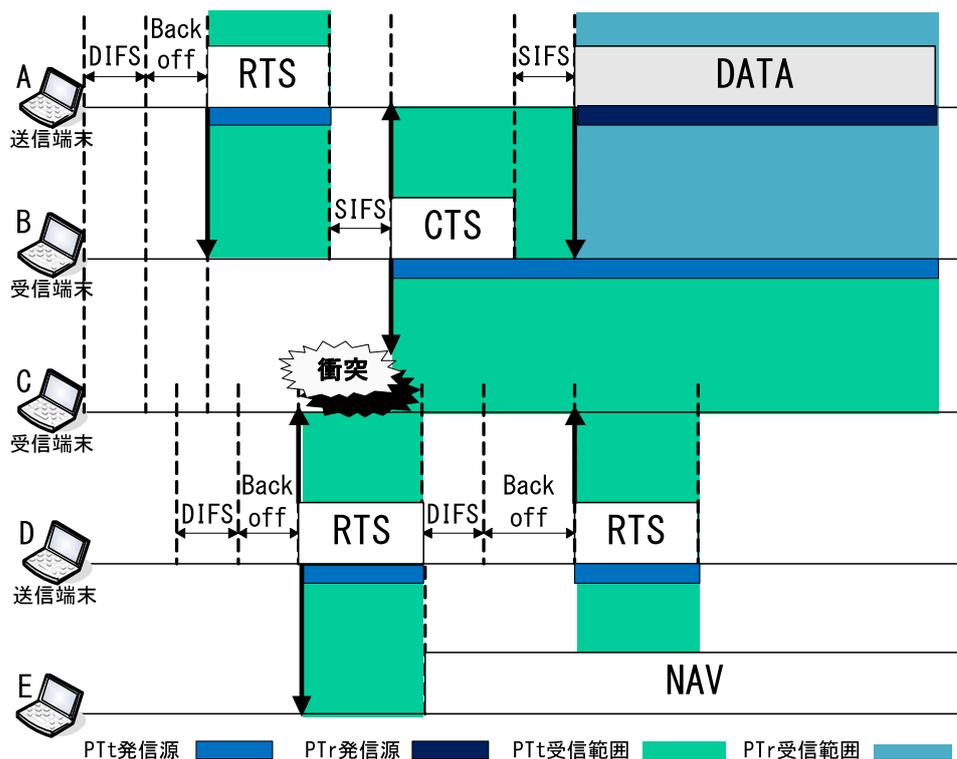


図 2.3 既存ビジートーンの動作 (1)

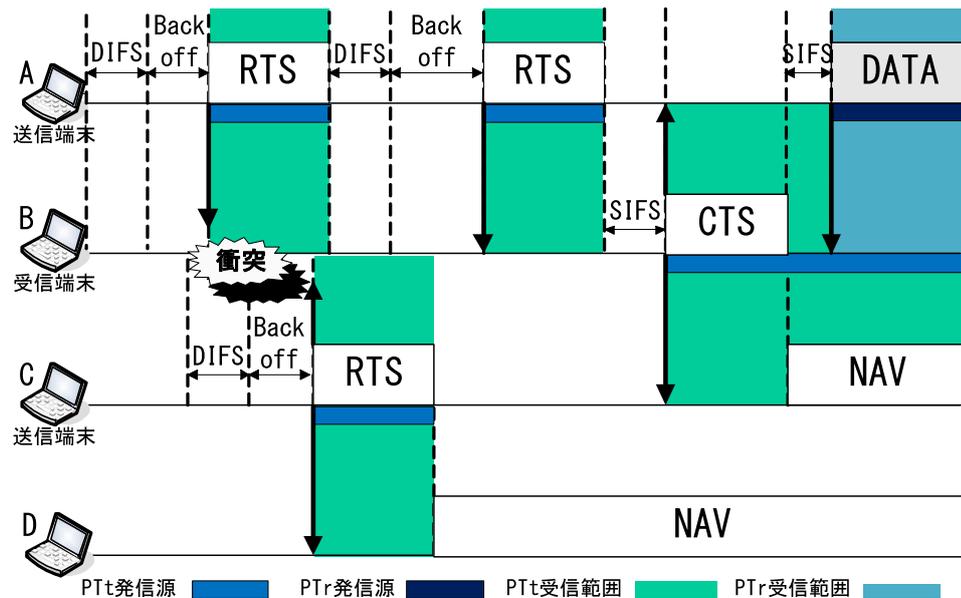


図 2.4 既存ビジートーンの動作 (2)

2.3 無線フレームの構成と PLCP

IEEE802.11 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ことを想定している。これを実現するために、フレームの先頭には図 2.5 のように PLCP プリアンブルと PLCP ヘッダが定義されている。プリアンブ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、本体部分のデータ通信速度を指定する。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。802.11b/g 互換モードでは 1Mbps, 802.11a では 6Mbps, 802.11 g 専用モードでは 6Mbps で送信される。PLCP プリアンブルは 144bit (ロングプリアンブル), PLCP ヘッダは 48bit であり、伝送速度を考慮すると無視できない時間を要する。

802.11b, 802.11g, 802.11b/g(互換モード) のそれぞれにおける、各パケットの伝送時間を表 2.1 に示す。表において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 である。表 2.1 からわかるように、RTS/CTS 自体はパケットサイズが短く定義されているものの、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。特に 802.11b, 802.11b/g(互換モード) では RTS, CTS 本体より PLCP にかかる時間が 10 倍以上を占めており、無線 LAN のスループット低下の大きな要因になっている。

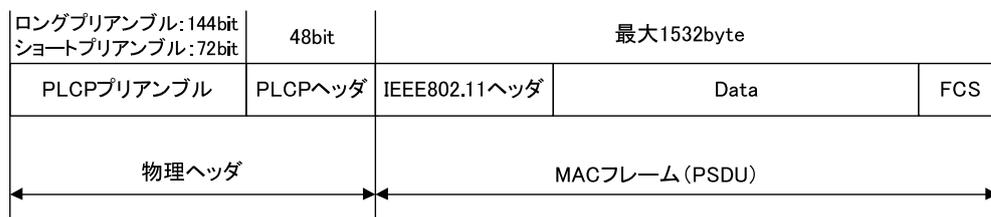


図 2.5 フレーム・フォーマット

表 2.1 伝送時間

項目		時間 (μ s)		
		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
	DATAm _{ax}	1117	228	228
ACK	PLCP	192	26	26
	ACK 本体	11	3	3

第3章 提案方式

本論文では、RTS/CTSの送信と同時に到達距離を拡大したビジートーンを発生させる。周辺端末に送信を開始したことをいち早く伝えることにより衝突を減少させることができる。提案方式では、使用するビジートーンは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及びCTSの送信時に発生させ、RTS及びCTS送信後の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の到達範囲は図3.1のように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2.1、図2.2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。端末BがCTSを送信している時に、端末F、GはSBT2の影響範囲外であるため送信が可能である。

SBTを用いることにより、RTS/CTS自体を不要にできるという考えもある。しかし、RTS/CTS方式は既に定着した技術であるため、互換性を重視し、今回はRTS/CTSの機能をそのままいかしたまま、衝突だけを減少させる方式を提案する。すなわち、既存の端末と提案方式の端末は混在してもかまわない。

提案方式の動作を図3.2に示す。RTS送信時に発生させるSBTを到達範囲が3倍であることからSBT3、CTS送信時に発生させるSBTを同じ理由からSBT2と呼ぶ。端末Aは端末BにRTSを送信すると同時にSBT3を発生させる。図中の色つきの部分がSBTの到達範囲である。SBT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。このときCTSと同時にSBT2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100m先の受信側端末に到達するまでの時間は、およそ0.3 μ 秒であり、この間に遠方の端末が同時に送信を開始しない限り衝突は発生しない。提案方式により、RTS同士の衝突を解決でき、スループットの低下を防止することができる。

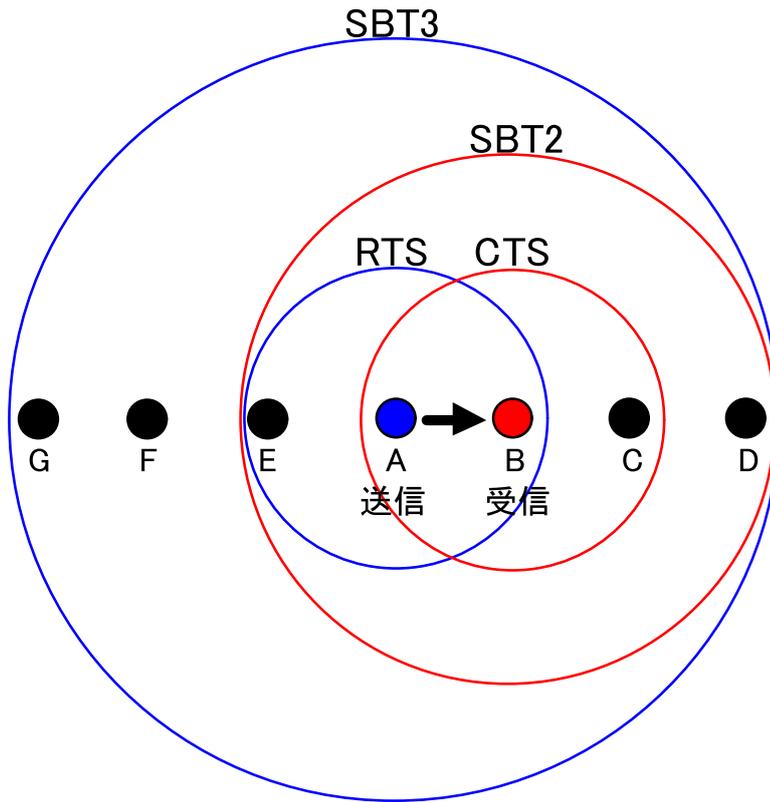


図 3.1 SBT の影響範囲

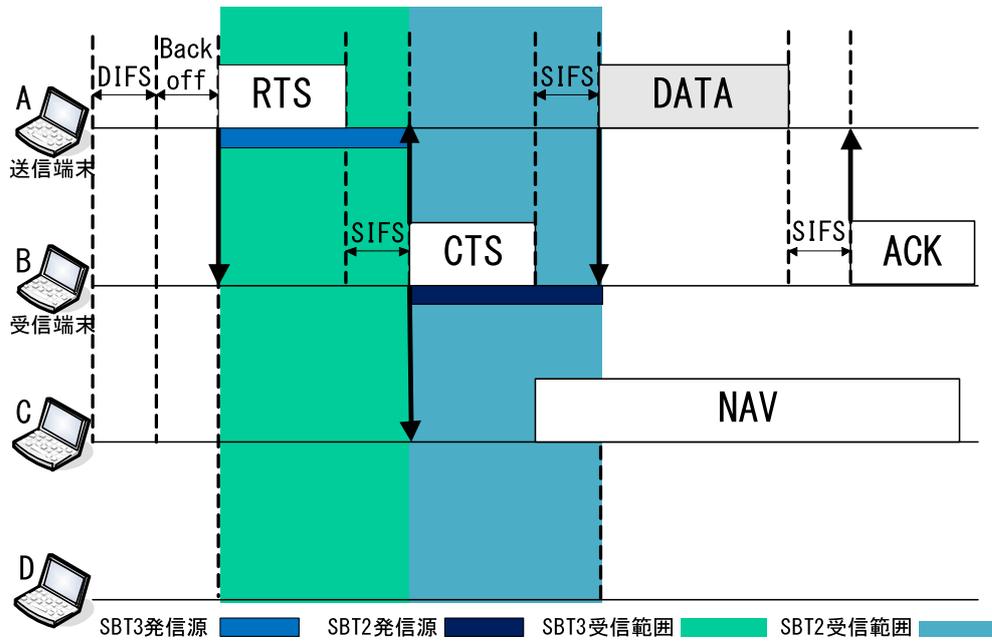


図 3.2 SBT の動作

第4章 評価

提案システムの有用性を示すため、ネットワークシミュレータ ns-2 を用いて、提案システムをアドホックネットワークに適用し、既存のシステムと提案システムとの比較評価を行った。比較対象としては、ビジートーンを使用しない一般の RTS/CTS 方式の場合とする。

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 を改造した。ns-2 の改造内容を図 4.1 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。そこで通信用とは別のチャンネルを使用し、そこに無意味なデータパケットを送信することにより SBT を模擬した。到達距離が異なるため、SBT3、SBT2 はそれぞれ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。実機に SBT を導入する場合は、単一周波数の発生と検出を行うための簡単なハードウェアを追加すればよく、NIC が必要になるわけではない。

ns-2 では RTS、CTS やデータフレームなどはノード・リンク層内の MAC モジュールで作られるので、NIC-1 の MAC モジュールと SBT3、および SBT2 モジュールを内部で結合した。RTS を送信する前に SBT3 モジュールを呼び出し、送信範囲 3 倍の SBT3 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 SBT2 を発生させる。SBT は別々のチャンネルで送受信されるため、SBT3 は NIC-2 で、SBT2 は NIC-3 で受信される。SBT には端末を待機させる時間の情報を持たせ、SBT を感知した端末は NIC-1 を呼び出し、一定時間待機状態にすることにした。

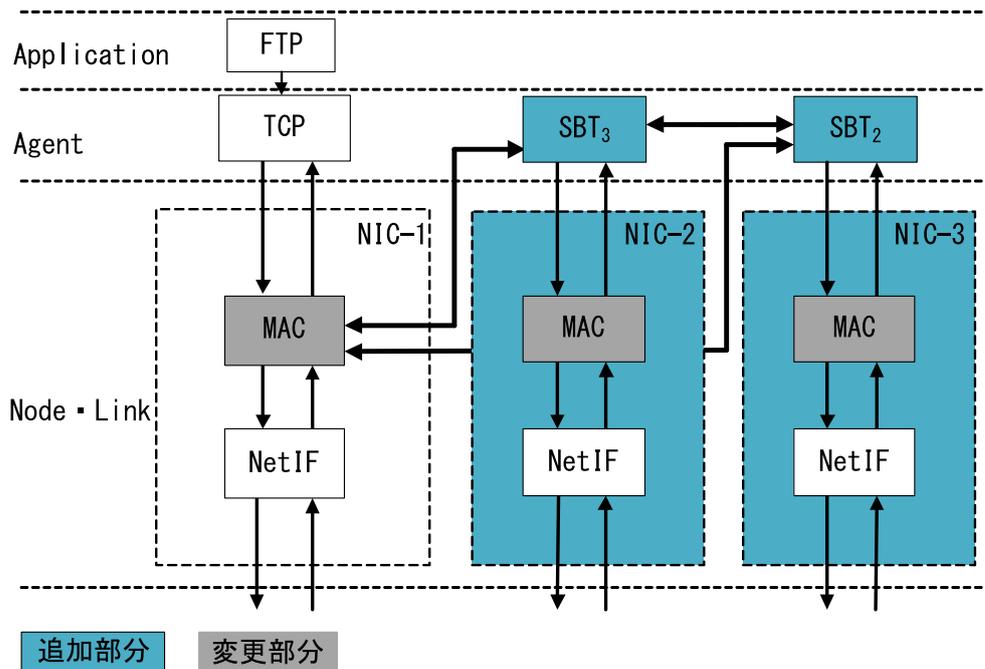


図 4.1 ns-2 の改造内容

4.2 シミュレーション環境

シミュレーションパラメータを表 4.1, 表 4.2 に示す. ネットワーク構成を図 4.2 に示す. 一般通信の電波到達範囲は 100m, SBT3 の電波到達範囲は 300m, SBT2 の電波到達範囲は 200m とする. 各端末は 1 ホップ先の端末まで電波が届くように 90m 間隔で配置する. TCP スループット測定用の端末として, 送信端末を端末 11, 宛先端末を端末 31 とする. 端末 11 は端末 18, 25 を中継して通信を行う. 背景負荷は VoIP (Voice over Internet Protocol) を想定し, パケットサイズ 200Byte, データ転送量 0.064Mbps の CBR (Constant Bit Rate) とした. 背景負荷端末は, 端末 11 と端末 31 を除く 35 台の端末からランダムに送信端末と宛先端末を選択し UDP 通信を行うこととした. シミュレーション開始から 20 秒後に TCP 通信を開始する. この時は TCP セッションが 1 本だけである. その後 10 秒毎にランダムに選定した 2 台の端末間で UDP セッションを発生させ, 背景負荷を徐々に増やしていく. このとき対象の TCP スループットがどのように変化するかを調べた.

表 4.1 シミュレーションパラメータ 1

アドホックネットワーク	
台数	37(台)
電波到達範囲	100(m)
SBT3 電波到達範囲	300(m)
SBT2 電波到達範囲	200(m)
端末間距離	90(m)
フィールド	1000 × 1000 (m)
伝搬方式	TwoRayGround
アンテナタイプ	Omniantenna
ルーティングプロトコル	AODV
計測時間	330(s)
802.11b	
無線帯域	11(Mbps)
802.11g	
無線帯域	54(Mbps)

表 4.2 シミュレーションパラメータ 2

スループット測定用端末	
台数	1(対)
通信タイプ	FTP
トランスポートプロトコル	TCP
パケットサイズ	1000(Byte)
背景負荷発生端末	
台数	1~30(対)
通信タイプ	CBR
トランスポートプロトコル	UDP
パケットサイズ	200(Byte)
データ転送量	0.064(Mbps)

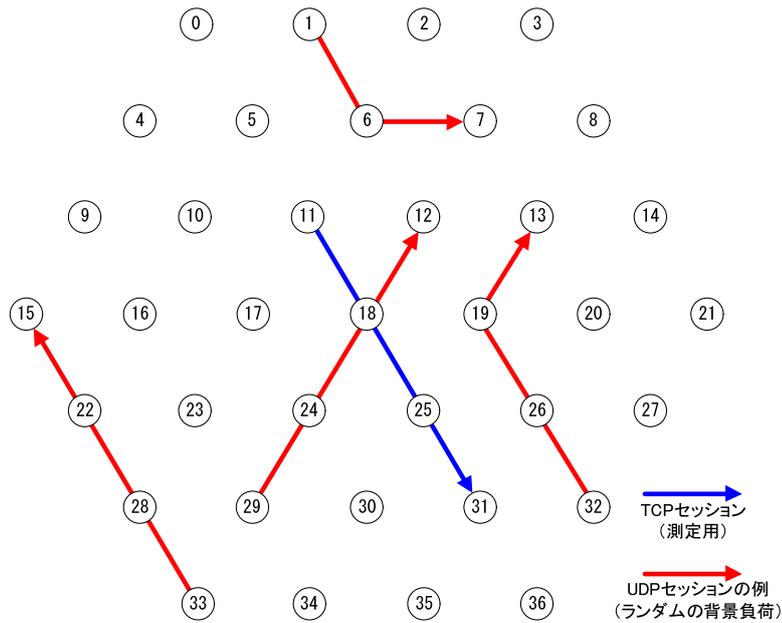


図 4.2 ネットワーク構成

4.3 スループットの比較

図 4.3 に 802.11b, 図 4.4 に 802.11g におけるスループットの測定結果を示す. 横軸は UDP セッション数, 縦軸はターゲット端末間の TCP スループットである. 今回の結果は, 40 回分のシミュレーションで得られた結果の平均値である.

UDP のセッション数が増えるごとに TCP スループットが低下していくことがわかる. これは, UDP の通信量が増えることによりネットワークのトラフィックが増加し, TCP の通信可能帯域が狭まっていくためである. しかし, 提案システムはパケット衝突が減少したことにより, スループットの減少率がおさえられていることが分かる. 表 4.3 に衝突数の違いを示す. 表 4.3 によると衝突数が減少しているものの, かなりの衝突が残っている. これは, ほとんどが送信待ちになっていた複数の端末が同一の乱数を発生した場合に発生したものと思われる.

802.11b 環境では, UDP のセッション数が 7 本に達するまではスループットに差がみられるが, それ以降はどちらの結果もほぼ変わらない. これはネットワークが早々に飽和してしまったためであり, 802.11b では高トラフィックを出すことがもともと困難である. そのため, 提案方式を適用しても大きな改善がみられない. それに対し, 802.11g 環境ではネットワークに余裕があり, 提案方式の効果も大きく表れた. 提案システムを適用することでパケットの衝突を著しく低下させることができ, 背景負荷のセッション数が 25 本のあたりではターゲット TCP のスループットが 2 倍になっていることがわかる.

以上の結果より, 限定したシミュレーションではあるものの, 提案方式の有用性を示すことができた.

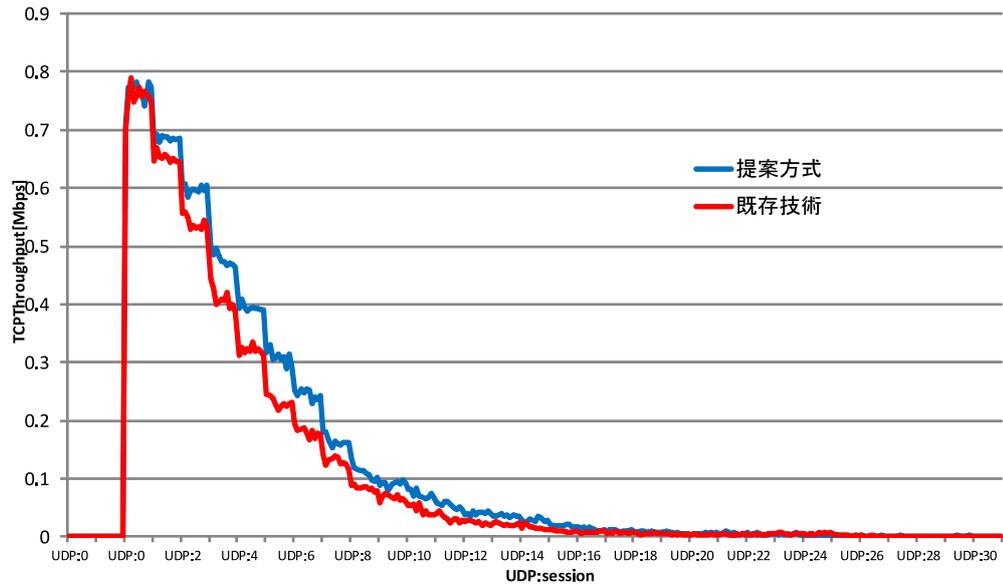


図 4.3 802.11b における既存システムと提案システムとのスループットの比較

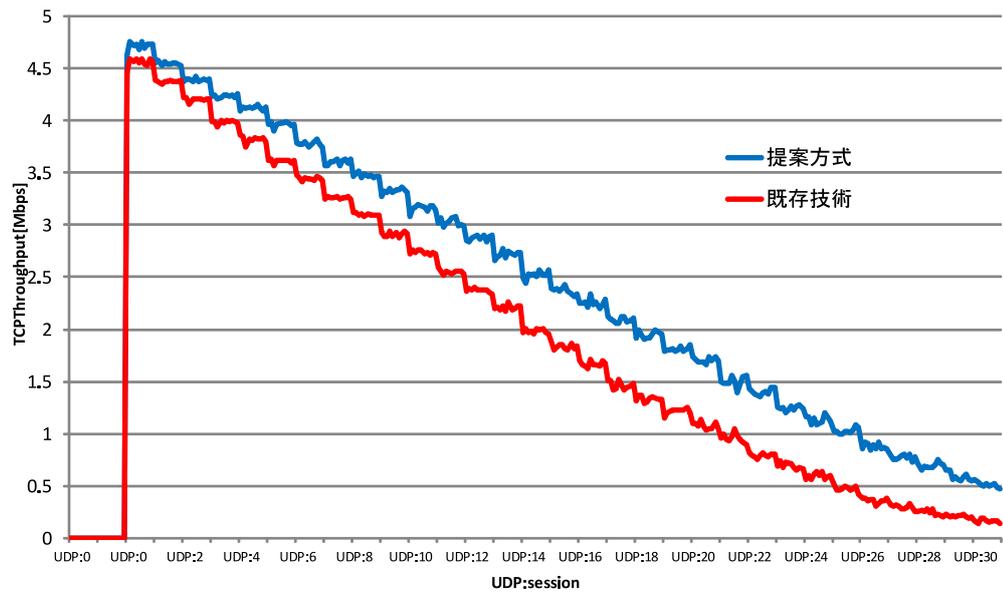


図 4.4 802.11g における既存システムと提案システムとのスループットの比較

表 4.3 衝突数

	802.11b	802.11g
既存システム	10715	77198
提案システム	1780	6984

第5章 まとめ

RTS/CTS方式の課題を解決するために、ストロングビジートーンを導入し、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、提案方式の有用性を確認した。今後は、よりランダムな端末配置のネットワーク構成における場合の評価を行う予定である。また、RTS/CTSを用いず、全てSBTでアクセス制御をかける方式についても検討していく予定である。

謝辞

本研究に関して、多大なる御指導と御教授を賜りました、指導教官の渡邊晃教授に心より厚く御礼申し上げます。

本論文を作成するにあたり、有益なご助言や至らないところを指摘して頂きました、副査の柳田康幸教授に深く感謝致します。

本論文を作成するにあたり、有益なご助言や至らないところを指摘して頂きました、副査の宇佐見庄五准教授に深く感謝致します。

本論文を作成するにあたり、有益なご助言や至らないところを指摘して頂きました、副査の旭健作助教に深く感謝致します。

最後に、本研究を行うにあたり、数々の有益な御助言や御討論を賜りました、渡邊研究室の諸氏に感謝致します。

参考文献

- [1] Atsushi FUJIWARA,Susumu YOSHIDA : A Study on Packet collision in Wireless-LAN mesh networks,IEICE technical report. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 105,No.560, RCS2005-155, pp. 1-4(2006)
- [2] 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, Vol.101,No.56,pp.7-12 (2001)
- [3] Zygmunt J. Haas,Jing Deng. :Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access Control for Packet Radio Networks, IEEE ICUPC ' 98, Vol.2, pp.973-977 (1998)
- [4] Zygmunt J. Haas,Jing Deng. : 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)
- [5] Zygmunt J. Haas,Jing Deng : Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA) - Performance Results, Wireless Communications and Networking Conference, 1999. WCNC. 1999 IEEE , Vol.3,pp.1328-1332 (1999)
- [6] Zhang Kewang, Zhang Deyun : Improve Throughput of Ad Hoc Networks Using Power Controlled Busy Tone,IEICE Transactions on Communications, Vol.E92-B,No.12,pp.3784-3793 (2009)
- [7] Toshihide Fujiwara, Hiroo Sekiya, Masaki Bandai, Jianming Lu, Takashi Yahagi : A MAC Protocol Using Busy Tone in Wireless Networks of Ad Hoc Nodes with Heterogeneous Power Capabilities,IPSJ, Vol.47,No.9,pp.2815-2829 (2006)

研究業績

学術論文

なし

研究会・大会等

1. 後藤秀暢, 渡邊晃, “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” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム論文集, Vol.2010, No.1, pp.1108-1113, Jul.2010.
2. 後藤秀暢, 伊藤将志, 渡邊晃, “アドホックネットワークのパケット衝突によるスループットの低下を防ぐ方式の検討” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2009) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, pp.593-597, Jul.2009.
3. 後藤秀暢, 伊藤将志, 渡邊晃, “アドホックネットワークのパケット衝突を減少させる方式の提案” 情報処理学会第 71 回全国大会講演論文集, Mar. 2009.
4. 後藤秀暢, 伊藤将志, 渡邊晃, “アドホックネットワークのパケット衝突を減少させる方式の検討” 平成 20 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, Sep. 2008.

付録A RTS/CTS方式

RTS/CTS方式の動作を図A.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。一方、端末Cの電波は端末Bには届くが端末Aには届かないものとする。すなわち端末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 InterframeSpace)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は端末から遠隔にある端末Cも受信することができる。RTSにはデータフレームの送信にかかる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で送信の衝突を回避することができる。

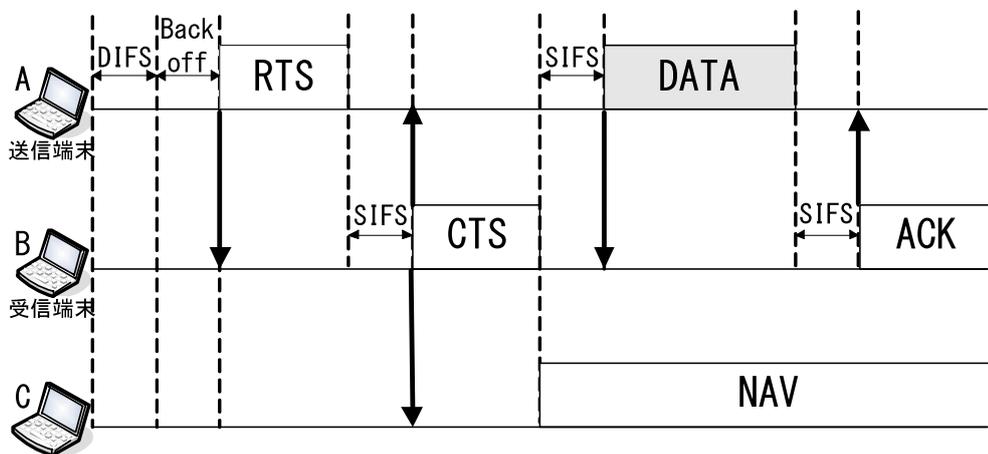


図 A.1 RTS/CTS方式の動作