

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

後藤 秀暢^{†1} 渡邊 晃^{†1}

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。この問題を解決するためにビジートーンを用いる方式が提案されている。しかし、既存のビジートーンの方式では、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。

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

HIDENOBU GOTO^{†1} and AKIRA WATANABE^{†1}

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. Busy tone methods have been proposed to solve the problem. 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、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 ど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。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²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。ビジートーンは単一の周波数よりなる制御信号である。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

^{†1} 名城大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

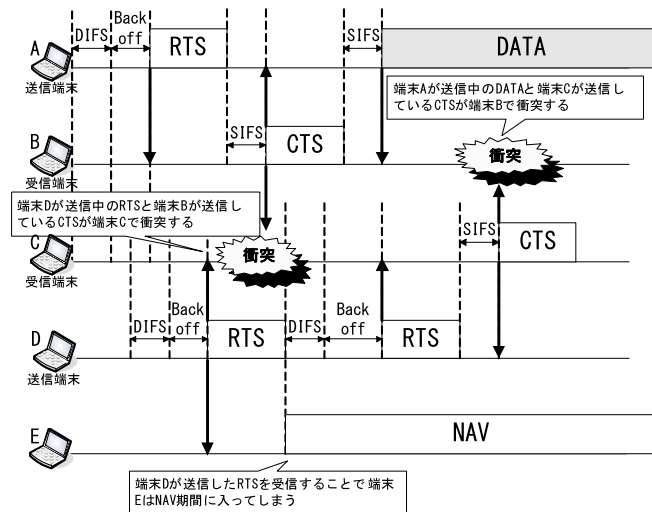


図 1 RTS/CTS 方式の課題 (1)
 Fig.1 Problem of RTS/CTS method(1)

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。

2. 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

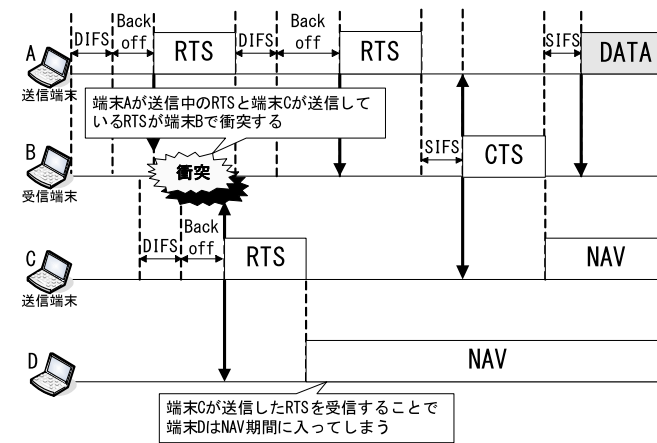


図 2 RTS/CTS 方式の課題 (2)
 Fig.2 Problem of RTS/CTS method(2)

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 1、および図 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 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 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 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 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

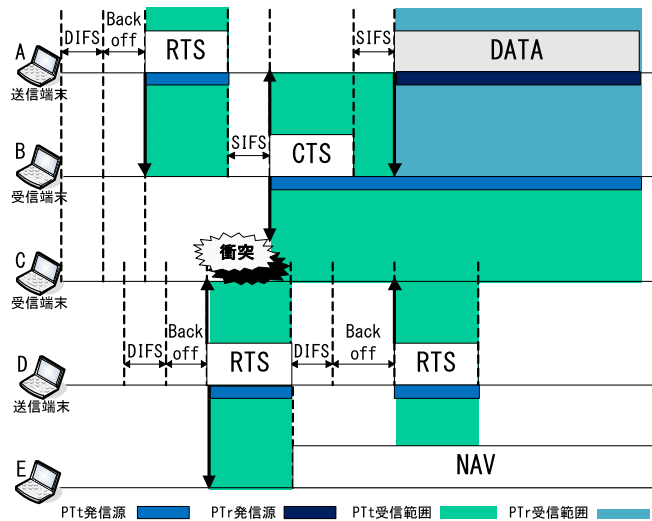


図 3 既存ビジートーンの動作 (1)
Fig. 3 Operation of existing busy tone(1)

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、単一の周波数からなる信号で、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 1 の課題の一部を解決できることを図 3 に

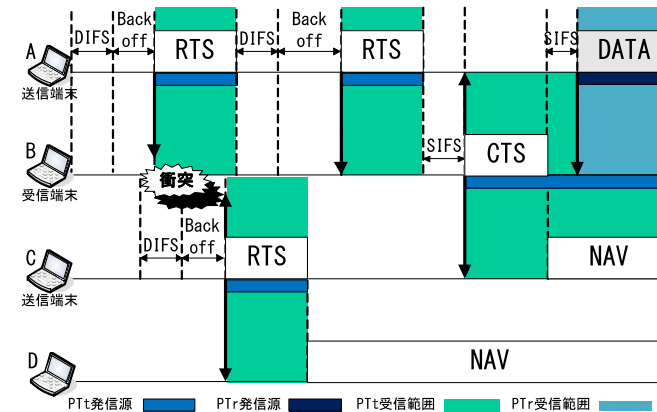


図 4 既存ビジートーンの動作 (2)
Fig. 4 Operation of existing busy tone(2)

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 のケースで動作させた場合を図 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。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 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。

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 5 のように

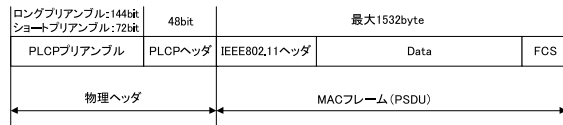


図 5 フレーム・フォーマット
 Fig. 5 Frame format

表 1 伝送時間
 Table 1 Transmission time

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

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に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 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 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。

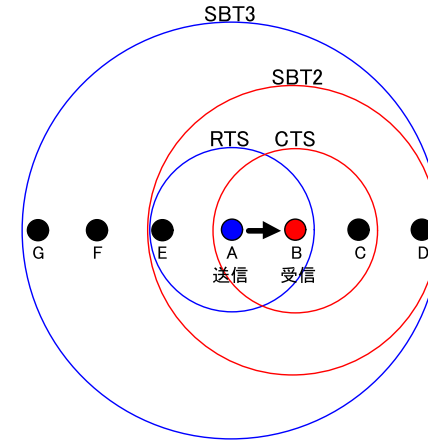


図 6 SBT の影響範囲
 Fig. 6 Extent of the impact of SBT

3. 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 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 6 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 1, 図 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 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。

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。

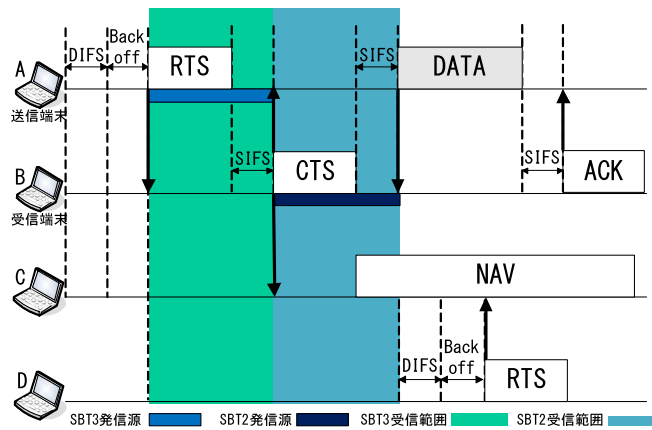


図 7 SBT の動作
Fig. 7 Operation of SBT

提案方式の動作を図 7 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。

4. 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

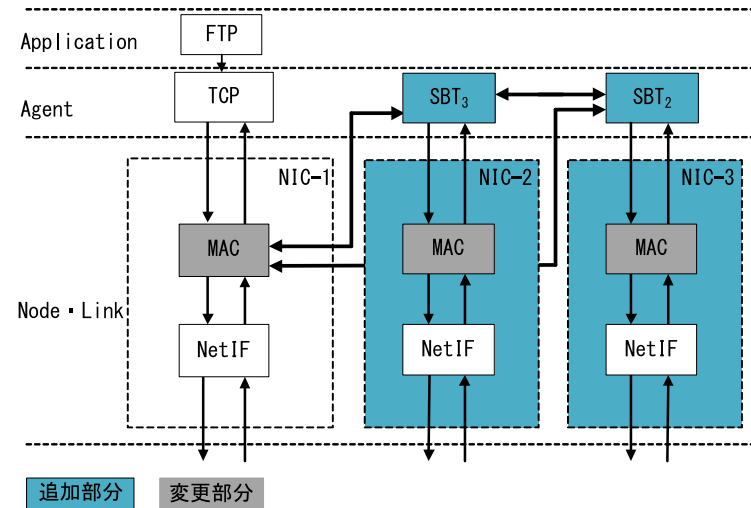


図 8 ns-2 の改造内容
Fig. 8 Content of ns-2 remodeling

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 8 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

表 2 シミュレーションパラメータ 1
Table 2 Simulation parameter1

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 3 シミュレーションパラメータ 2
Table 3 Simulation parameter2

スループット測定用端末	
台数	2(台)
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	2~60(台)
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)
パケット発生率	0.064(Mbps)

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。

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 2、表 3 に示す。ネットワーク構成を図 9 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

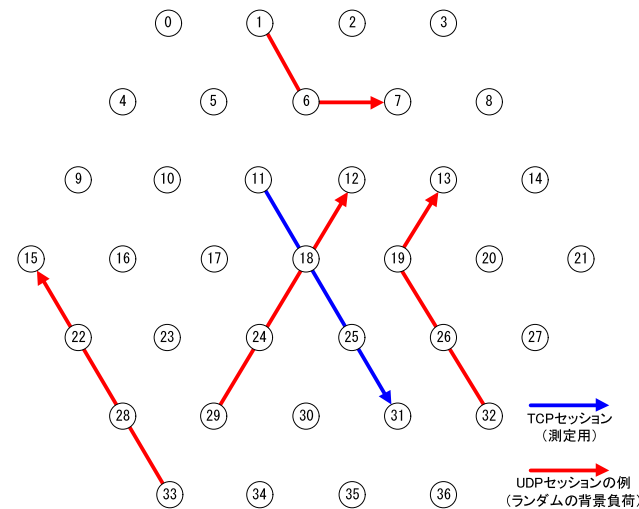


図 9 ネットワーク構成
Fig.9 Network configuration

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、パケット発生率 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。

4.3 スループットの比較

図 10 に 802.11b、図 11 に 802.11g におけるスループットの測定結果を示す。横軸はシミュレーション時間、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

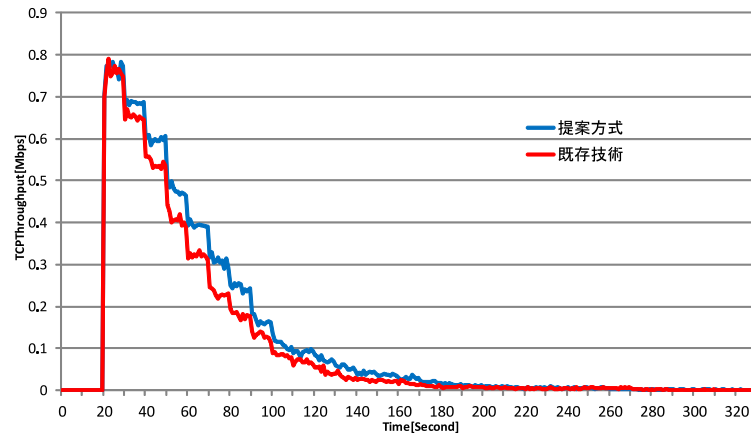


図 10 802.11b における既存システムと提案システムとのスループットの比較

Fig.10 throughput compared with existing systems and proposed system in 802.11b

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 によると衝突数が大幅に減少しているものの、かなりの衝突が残っている。これは、表 4 に衝突数の違いを示す。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である。

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た。シミュレーション時間が 270 秒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。

5. 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

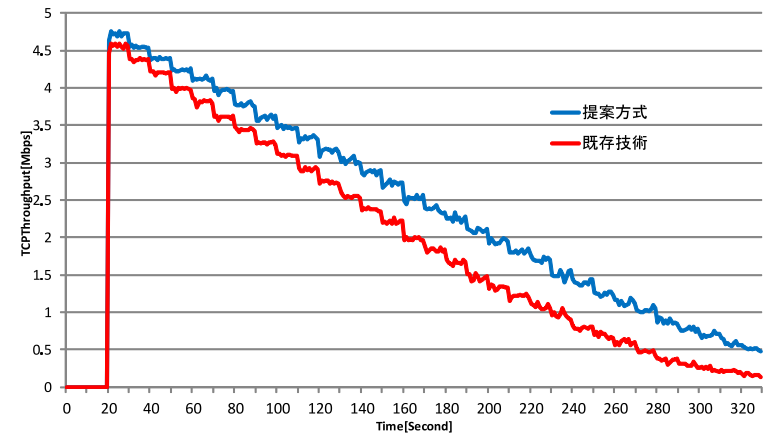


図 11 802.11g における既存システムと提案システムとのスループットの比較

Fig.11 throughput compared with existing systems and proposed system in 802.11g

表 4 衝突数
 Table 4 Number of collisions

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

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。

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)

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

名城大学大学院 理工学研究科
後藤秀暢, 渡邊晃

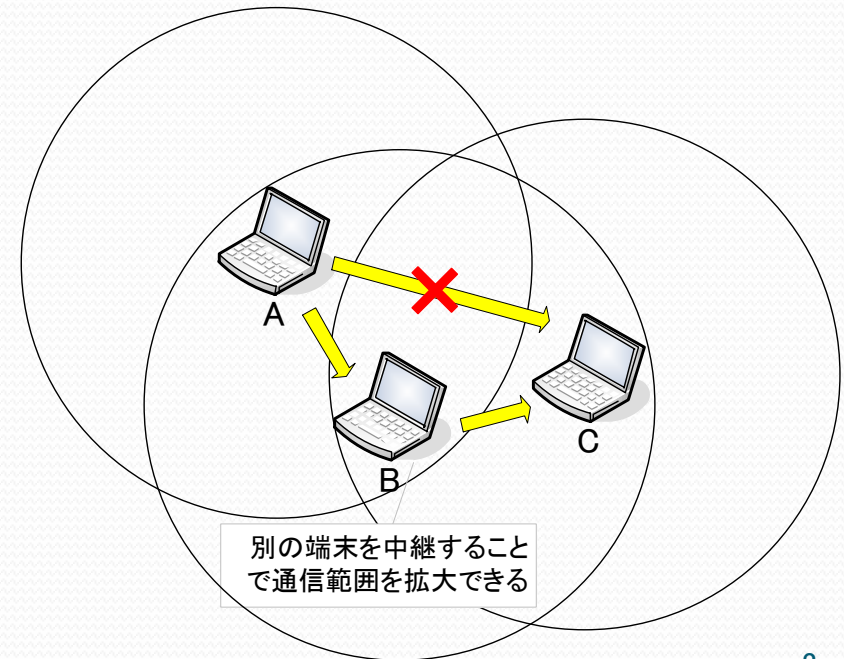
はじめに

- ▶ 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

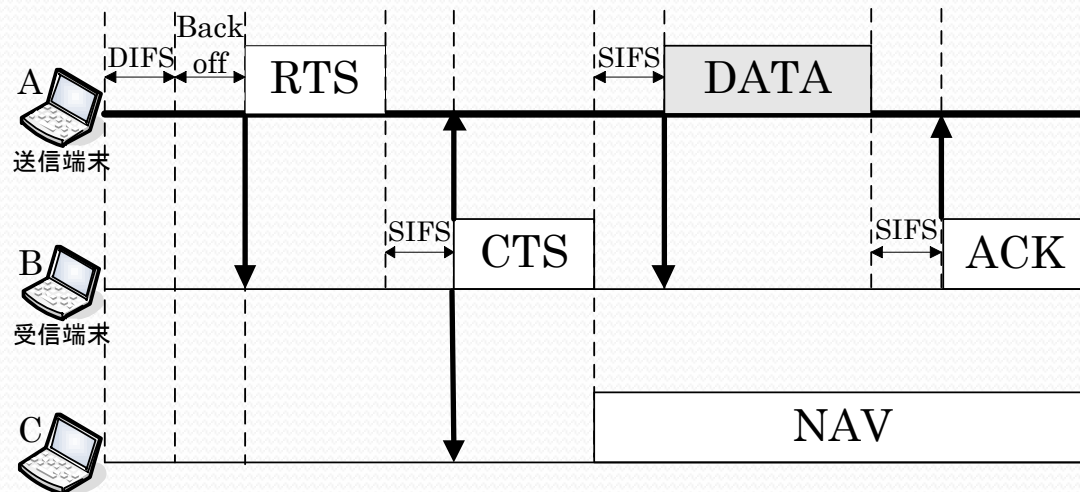
- 車車間通信 . . .
 - 車両に無線端末を搭載し、別の車両と情報通信
- 災害時には . . .
 - 無線LAN端末を中継することで通信環境の回復



アドホックネットワークにおける課題

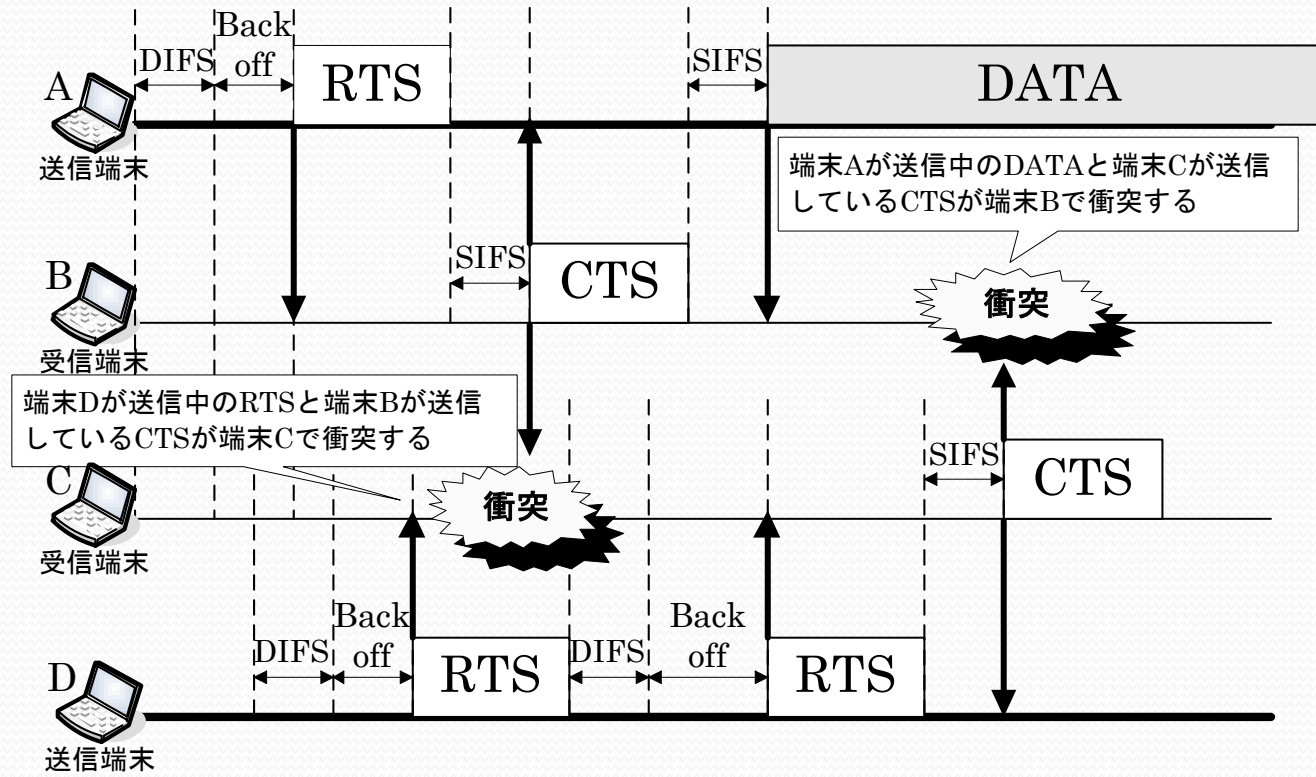
- ▶ アドホックネットワークでのマルチホップ通信では・・・
 - ▶ 隠れ端末問題によるパケット衝突の影響で、大幅にスループットが低下する
- ▶ IEEE802.11では隠れ端末問題を解決するために、RTS/CTS方式を採用している

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



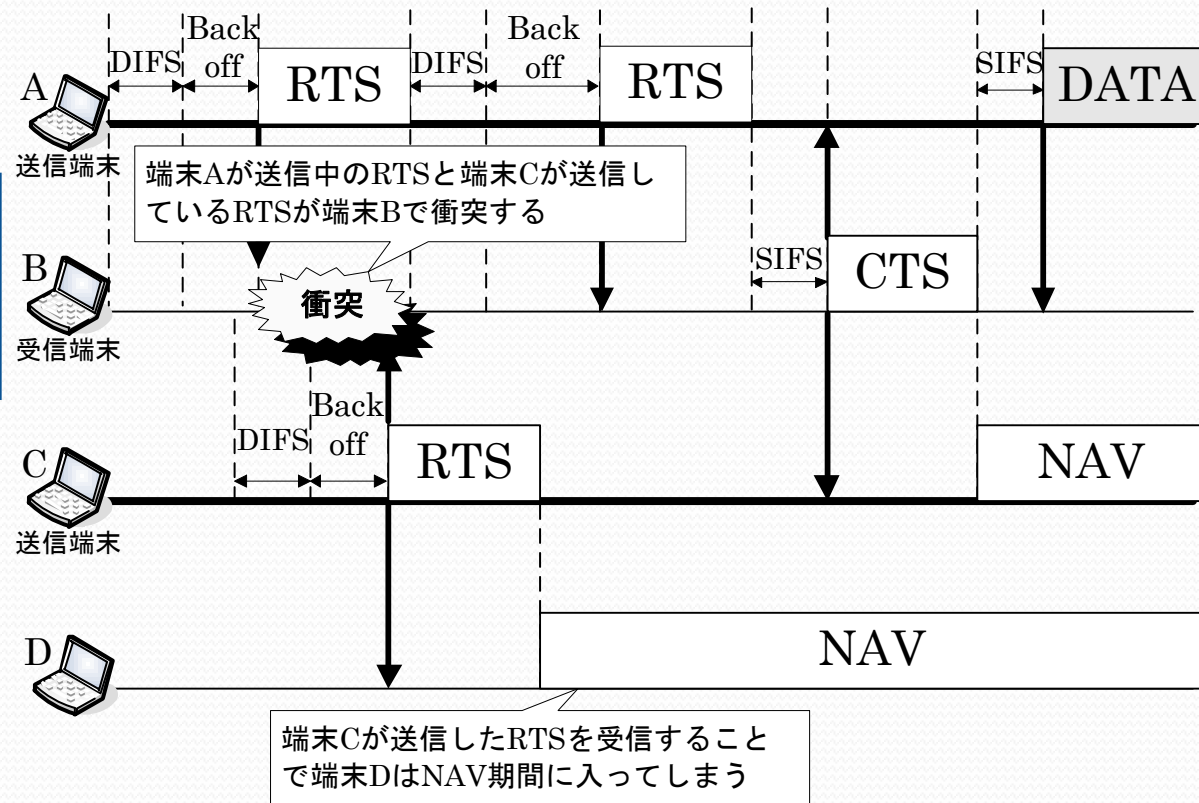
RTS/CTS方式における課題

- 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

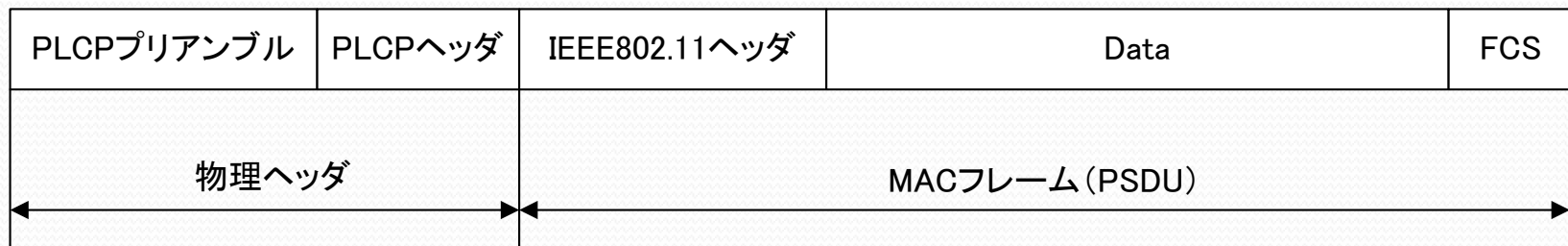
RTS/CTSが一種のパケットであり、一連の動作に所定の時間を必要とするため



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
 - ▶ 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に最低速度で送信



衝突の可能性

- 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

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
	DATA本体	1117	228	228
ACK	PLCP	192	26	26
	ACK本体	11	3	3

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

Busy Toneを用いた既存技術

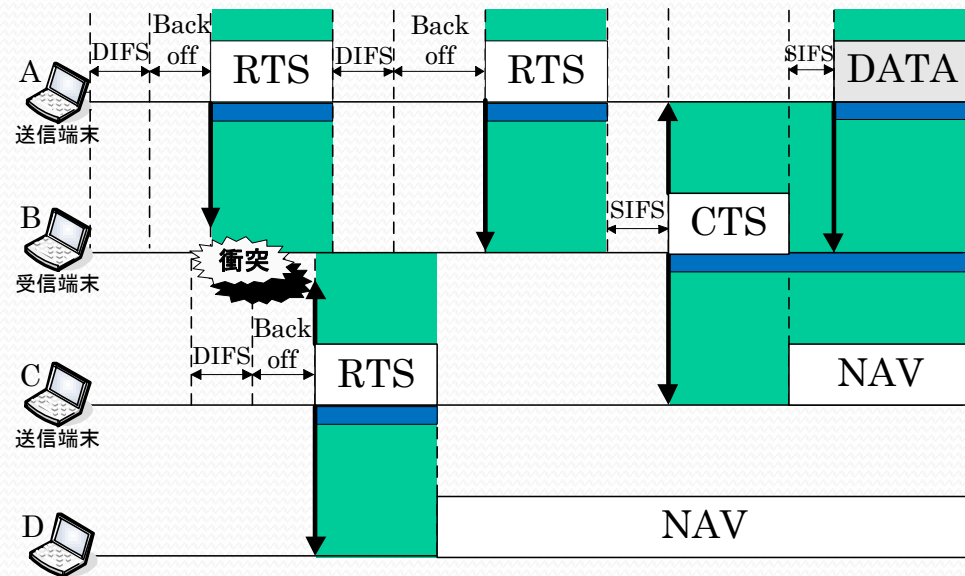
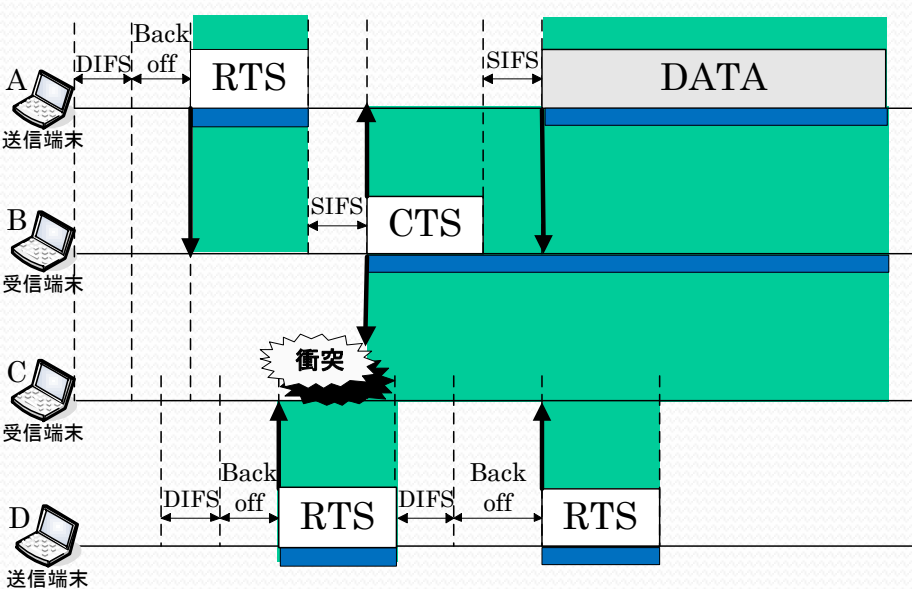
- ▶ RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンを用いたMACプロトコルが提案されている

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信号であり、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
 - ▶ 衝突の概念はなく、複数の端末がビジートーンを発生しても周辺の端末は信号を検知できる
 - ▶ 単一信号のため電力消費も少ない

Busy Toneを用いた既存技術

- ▶ ビジートーンの発生タイミング
 - ▶ RTS送信時にRTS送信完了まで発生させる
 - ▶ CTS送信時にDATA送信完了まで発生させる
 - ▶ DATA送信時にDATA送信完了まで発生させる



提案システム

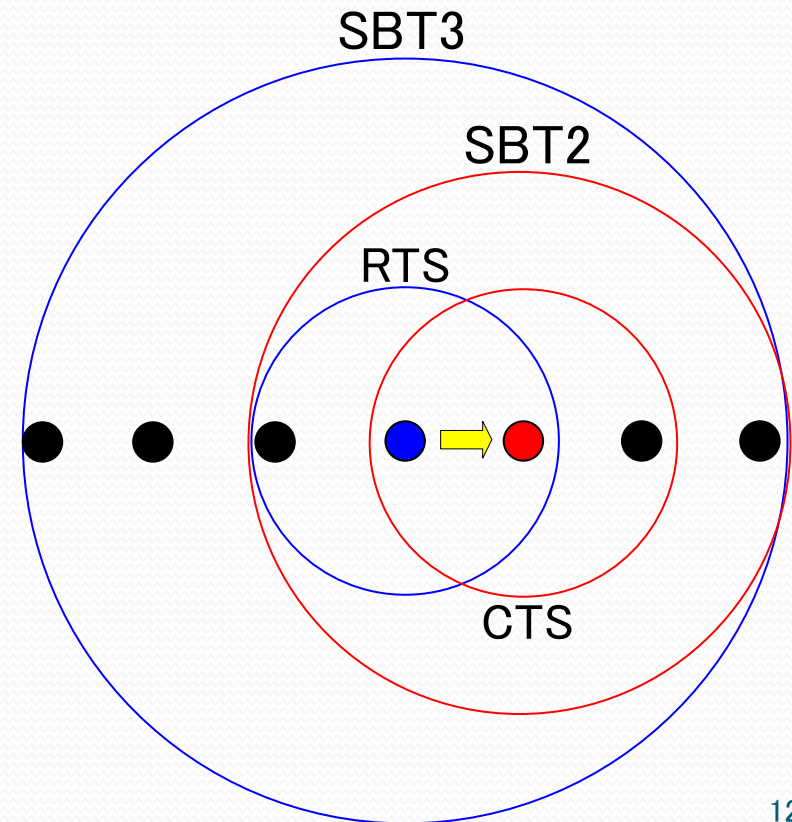
RTS/CTSの送信と同時に電波到達範囲を拡大したビジートーンを発生させる

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

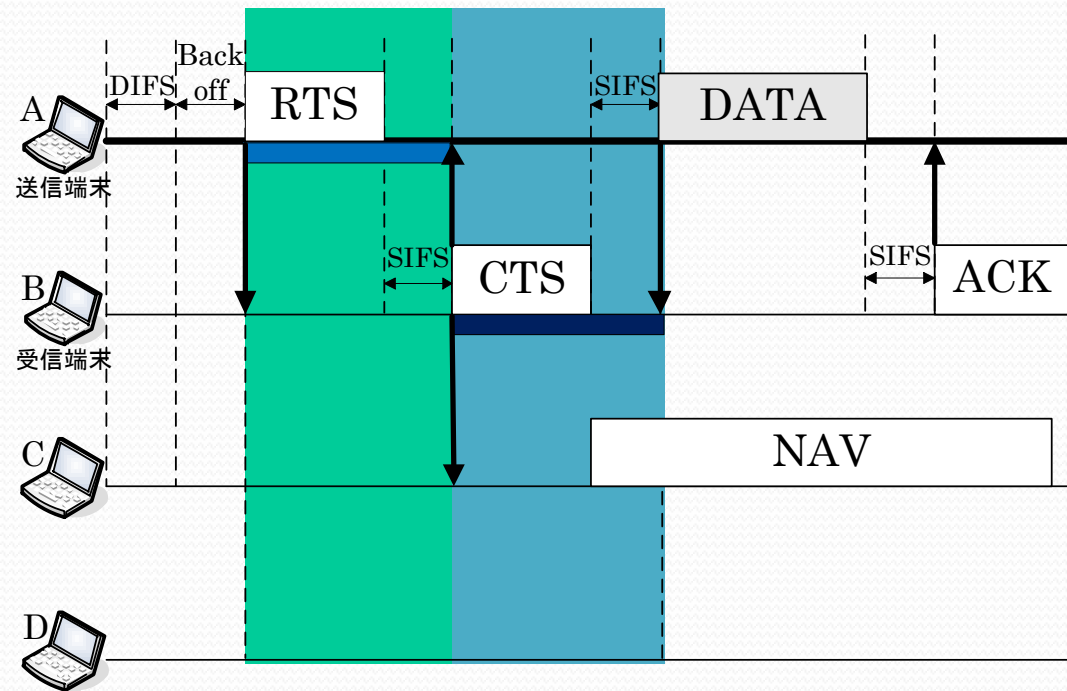


提案システム

➤ 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

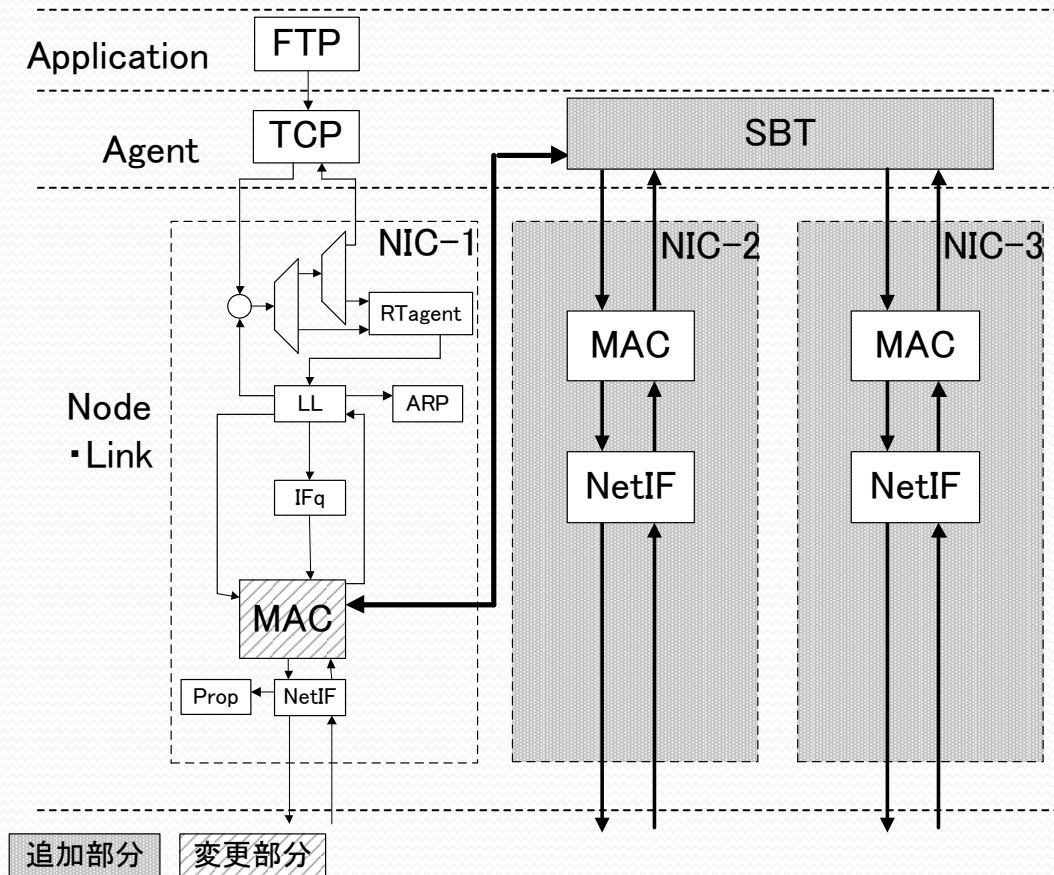
これにより、スループットの低下を防止できる



SBT3発信源 ■ SBT2発信源 ■ SBT3受信範囲 ■ SBT2受信範囲

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



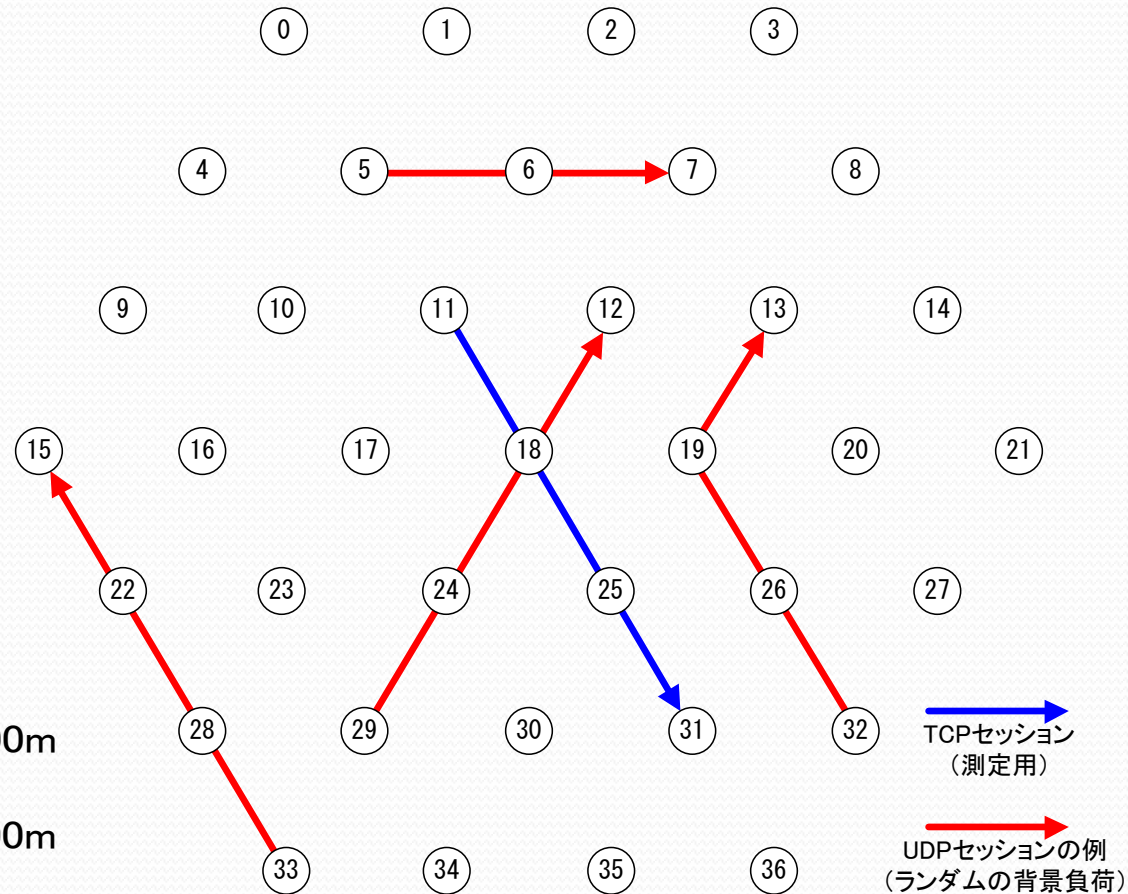
ns-2によるシミュレーション

- ▶ 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
- ▶ ランダムに選択したUDPセッションを、追加していき、TCP通信のスループットを計測する

電波到達範囲 : 100m

SBT2 : 200m

SBT3 : 300m



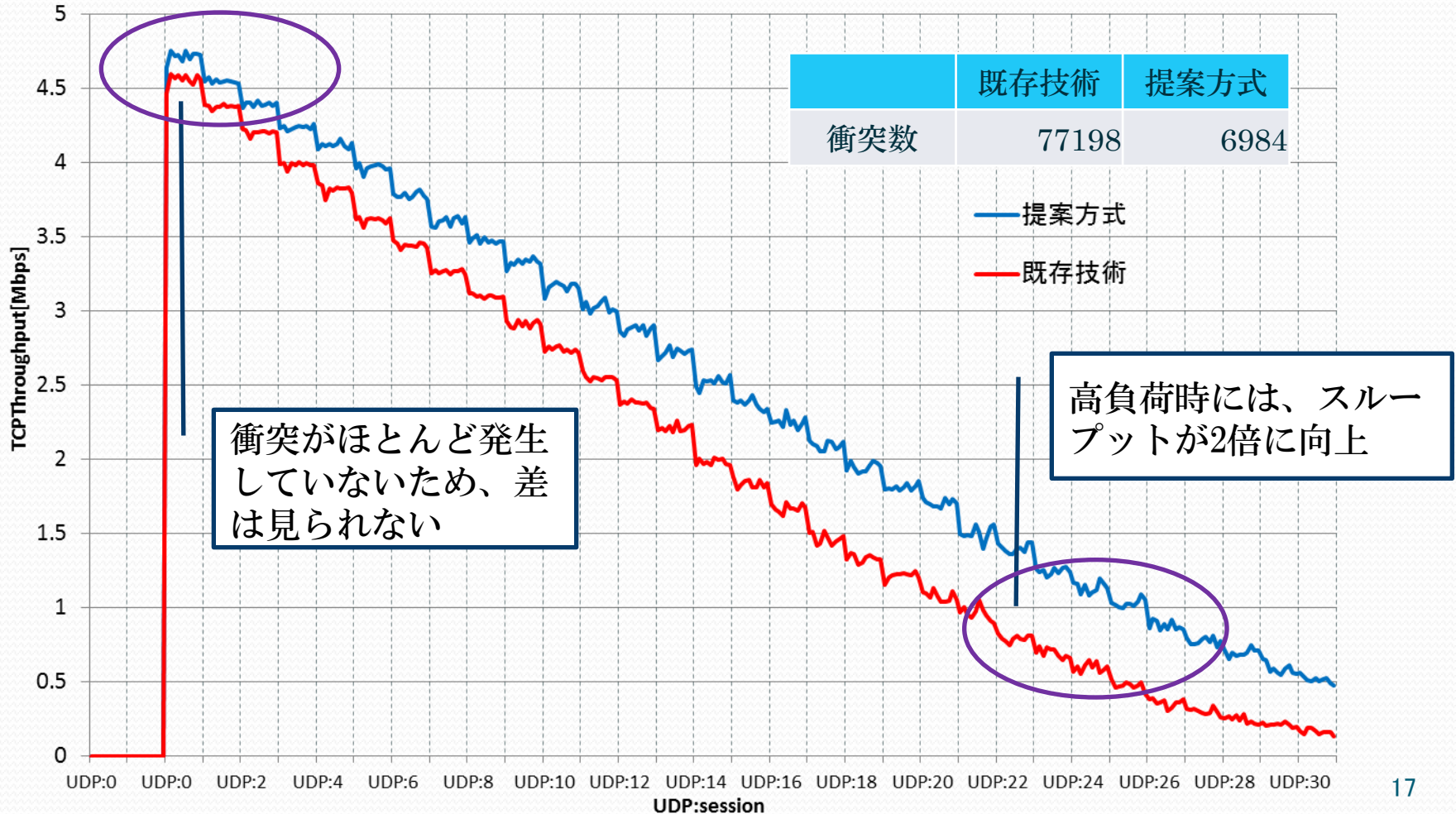
シミュレーションパラメータ

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)

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)

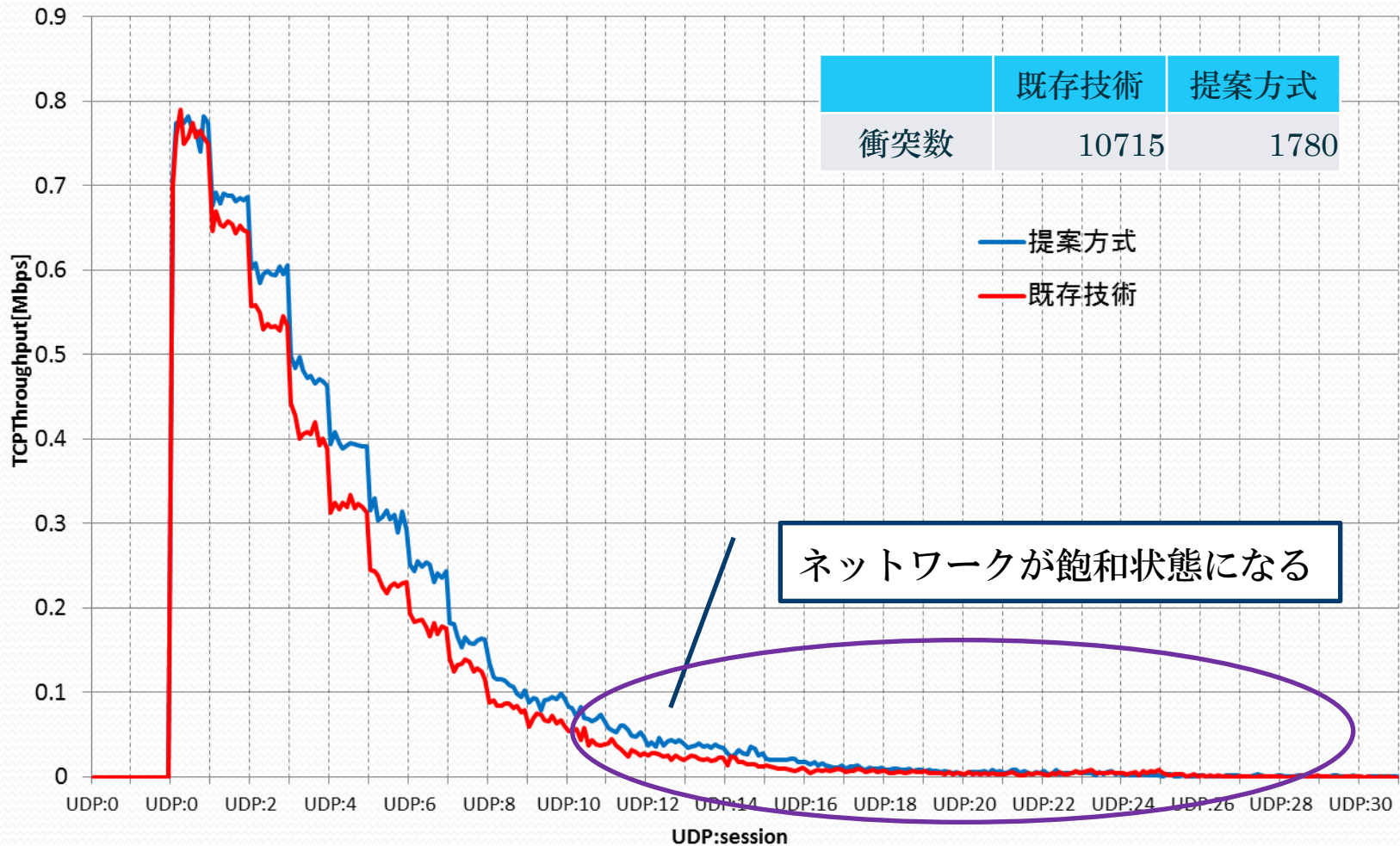
シミュレーション結果

➤ 802.11g



シミュレーション結果

➤ 802.11b



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
- 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
 - SBTを適用することでスループットの向上と、パケットの衝突を軽減させることができた
- 今後はよりランダムな端末配置によるネットワーク構成において評価を行う

ソフトウェア無線

- ▶ 電子回路(ハードウェア)に変更を加えることなく、制御ソフトウェアを変更することによって、無線通信方式を切り替えることが可能な無線通信
- ▶ ソフトウェア無線についての研究は、新しいソフトウェアを動作させるだけで、新しい無線通信方式を実現するような無線機器を作り出すことを目標にしている
- ▶ 従来のハードウェアに代わってソフトウェアによってさまざまな無線通信方式を実現できるならば、簡単に新たな機能を追加したり、機能を変更することができるという利点がある

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

周波数帯

- ▶ 周波数帯については・・・
 - ▶ ガードバンドを使用する

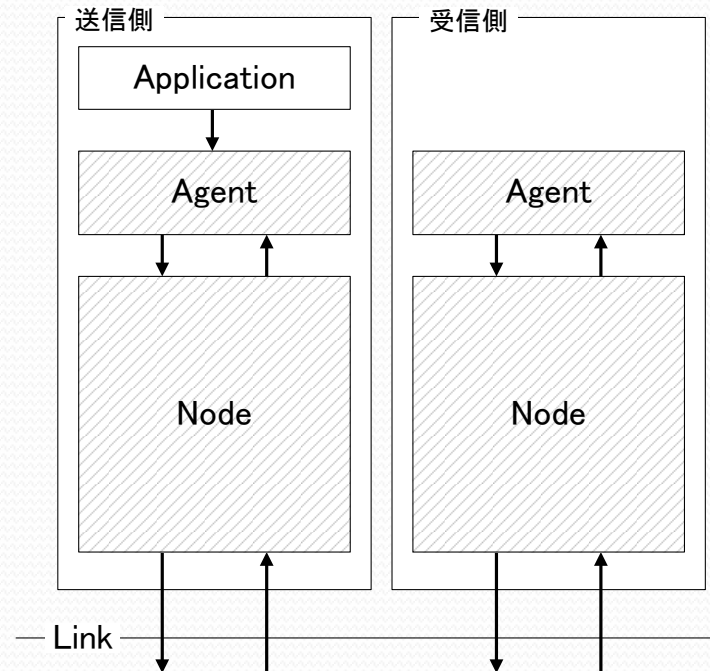
- ▶ ガードバンドとは・・・
 - ▶ 2つの通信チャネルの間にある未使用周波数帯

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

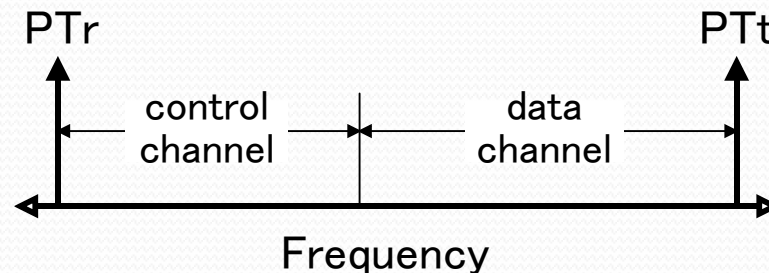


NS2のネットワークモデル

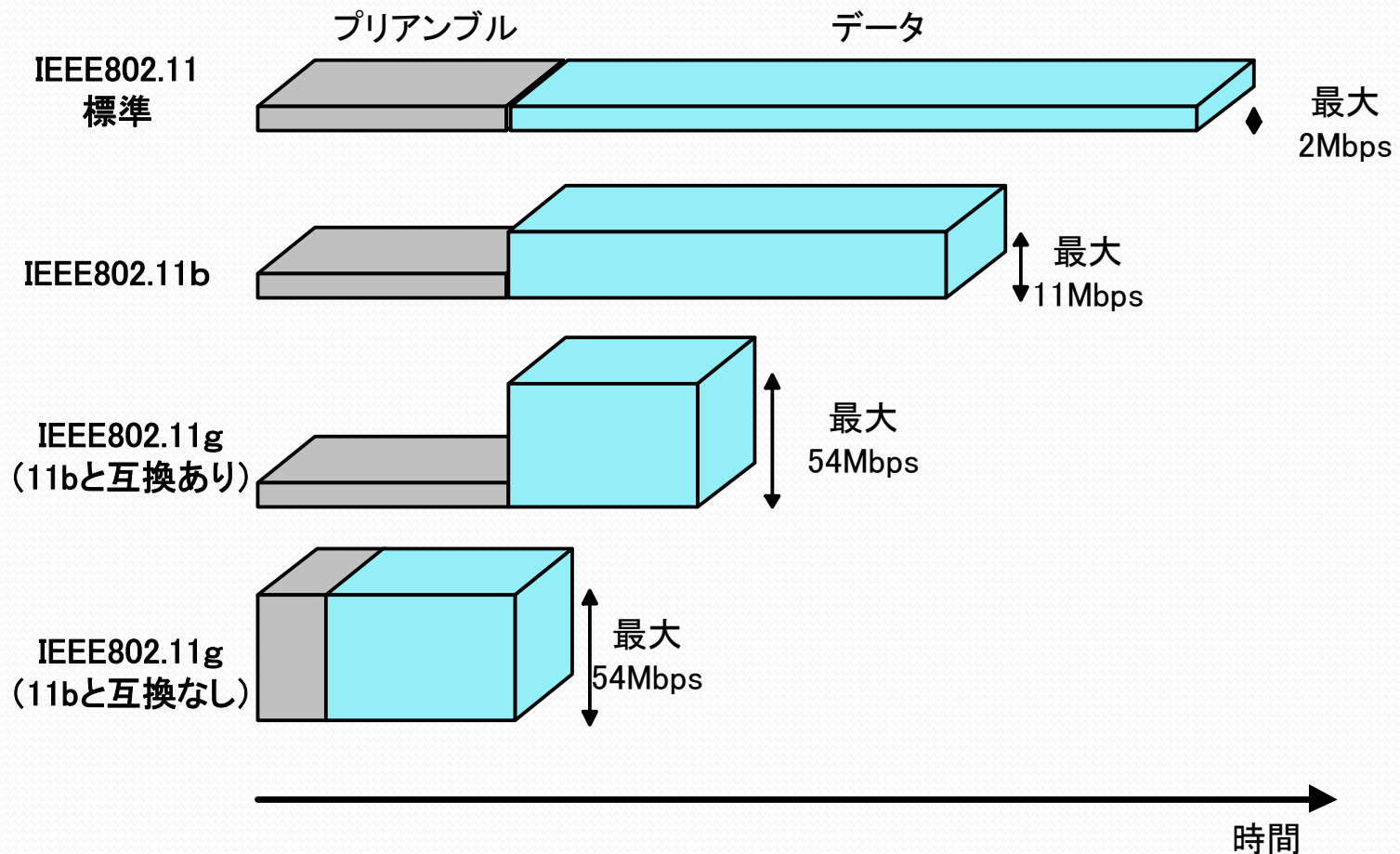


既存技術のチャネル割当て

- ▶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 PT_t 、 PT_r を追加する



衝突の可能性



シミュレーションパラメータ

	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