

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

093430012 後藤 秀暢
渡邊研究室

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。

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。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。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]。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。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。

本稿では、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。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。

2. RTS/CTS の課題

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。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。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(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 は端末 A と端末 C が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

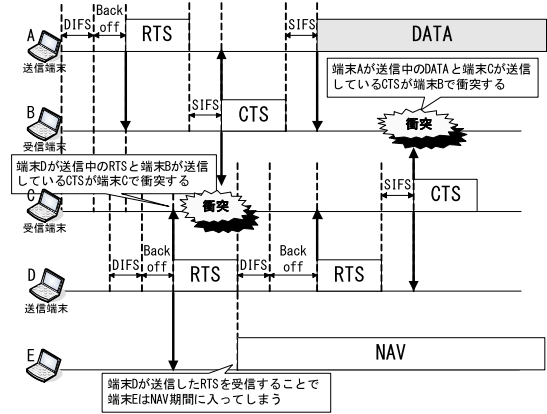


図 1: RTS/CTS 方式の課題 (1)

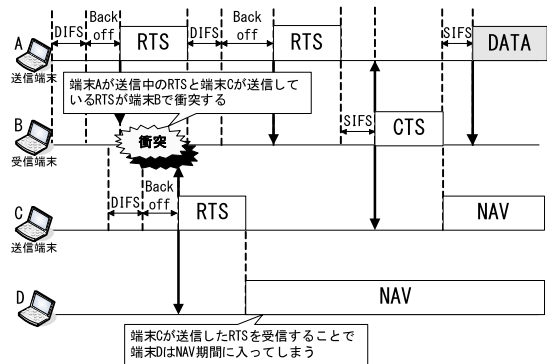


図 2: RTS/CTS 方式の課題 (2)

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、衝突が発生しやすいことに起因している。

3. 提案方式

本稿では、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。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 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 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。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

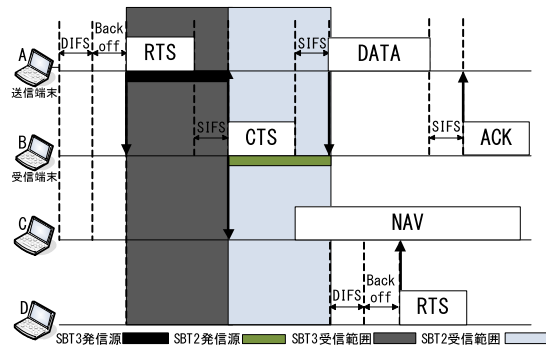


図 3: SBT の動作

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 3 に示す。RTS 送信時に発生させる SBT を SBT3, CTS 送信時に発生させる SBT を 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。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。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、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。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

4.1 シミュレーション環境

ネットワーク構成を図 4 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 を中継して端末 31 に対して通信を行う。背景負荷端末として、端末 11 と端末 31 を除く 35 台の端末からランダムで 2 台を選び、UDP 通信を行う。シミュレーション開始から 20 秒後に TCP 通信を開始し、その後 10 秒毎にランダムに選択した UDP セッションを追加していく。このときの TCP スループットの変化を調べる。

4.2 スループットの比較

図 4 のネットワークにおいて、提案システムと既存のシステムの TCP スループットの比較を行った。比較対象である既存のシステムとは、ビジートーンを使用しない RTS/CTS 方式を適用した場合のものとする。スループットの比較結果を図 5, 図 6 に示す。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とそれに伴い TCP のスループットは下がる。しかし、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、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。

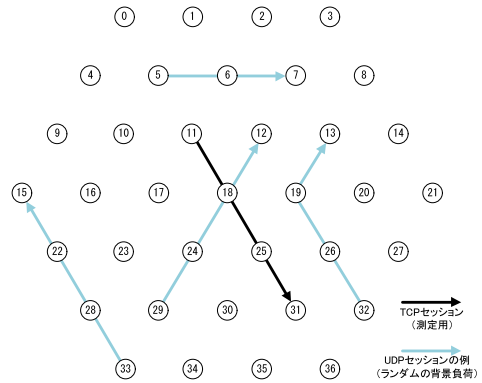


図 4: ネットワーク構成

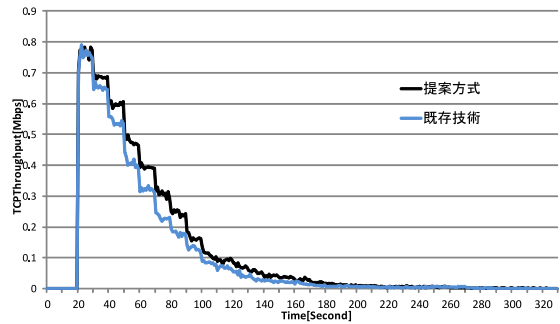


図 5: 802.11b におけるスループットの比較

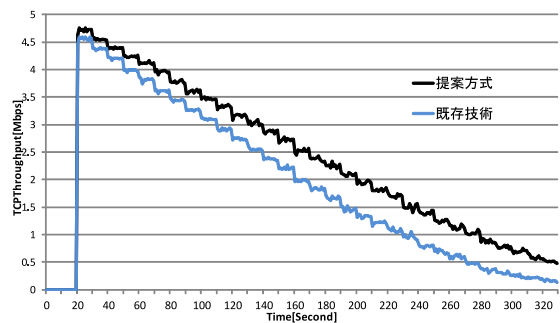


図 6: 802.11g におけるスループットの比較

5. 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。

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 Vol.101, No.56, pp.7-12 (2001)
- [2] 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)

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
渡邊研究室
後藤秀暢

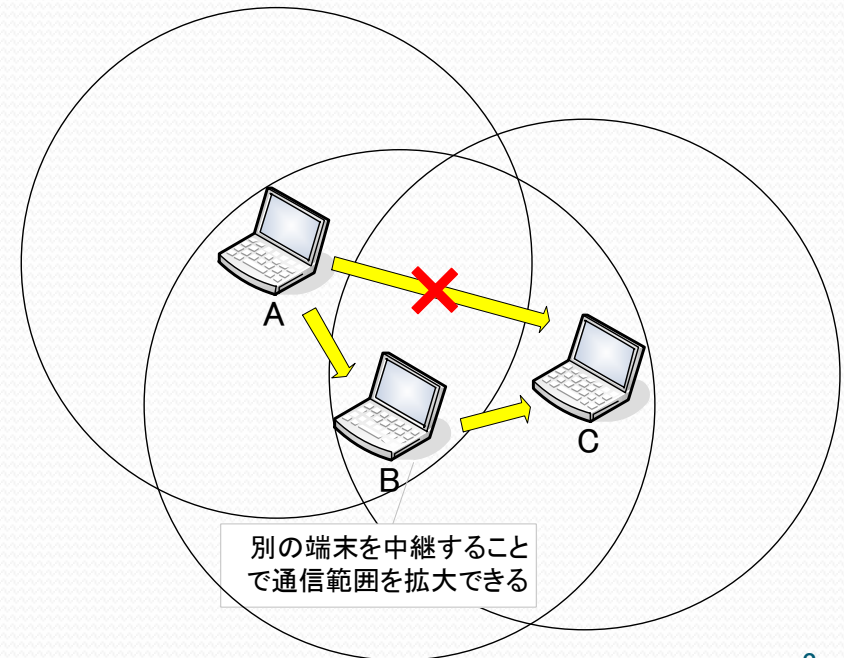
はじめに

- ▶ 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

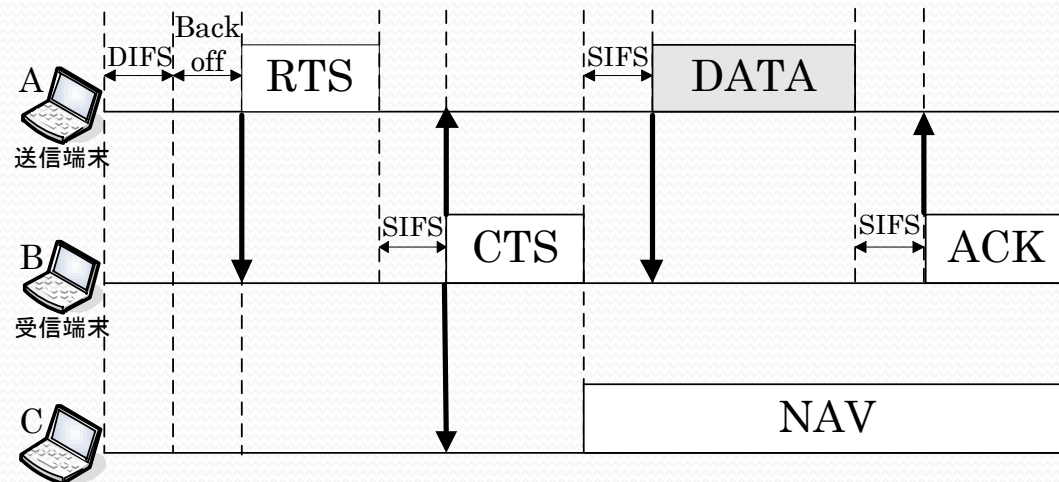
- 車車間通信 . . .
 - 車両に無線端末を搭載し、別の車両と情報通信
- 災害時には . . .
 - 無線LAN端末を中継することで通信環境の回復



アドホックネットワークにおける課題

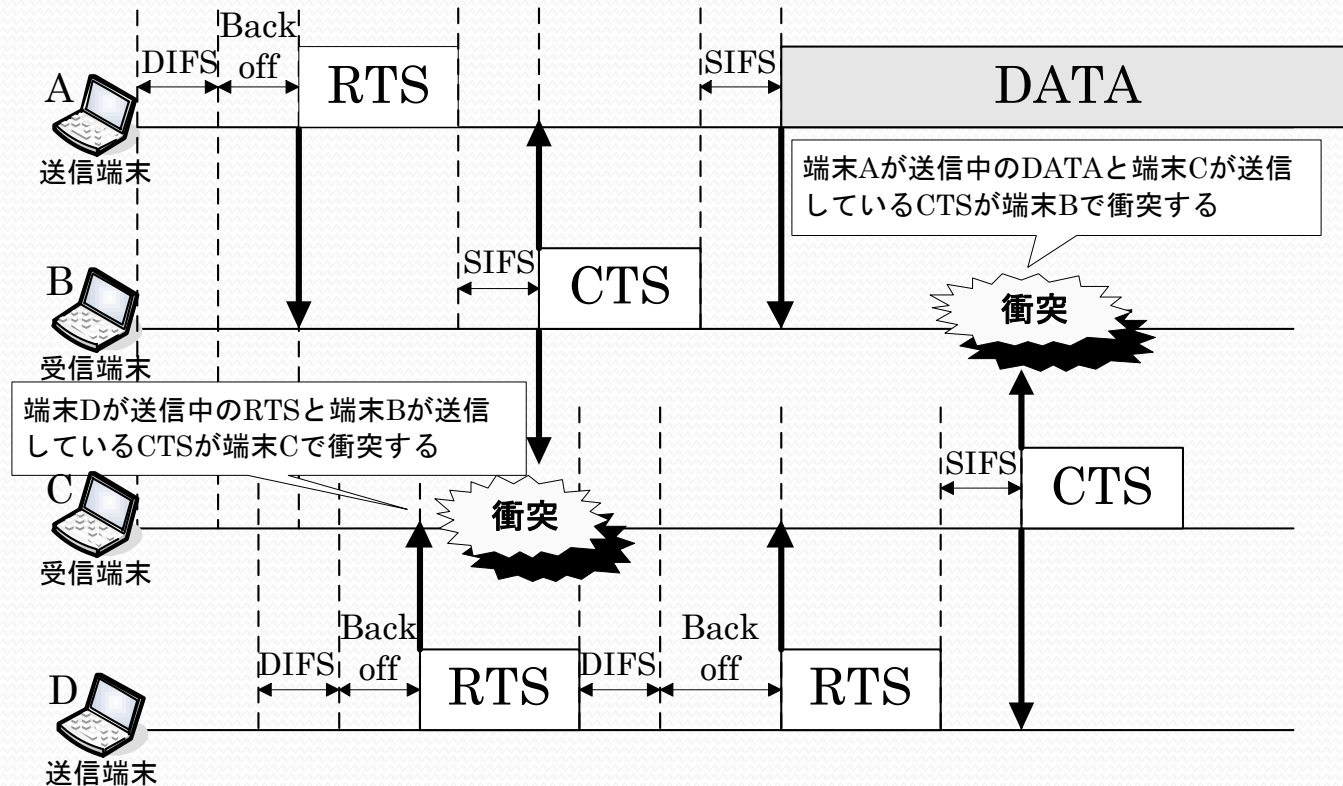
- ▶ アドホックネットワークでのマルチホップ通信では・・・
 - ▶ 隠れ端末問題によるパケット衝突の影響で、大幅にスループットが低下する
- ▶ IEEE802.11では隠れ端末問題を解決するために、RTS/CTS方式を採用している

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



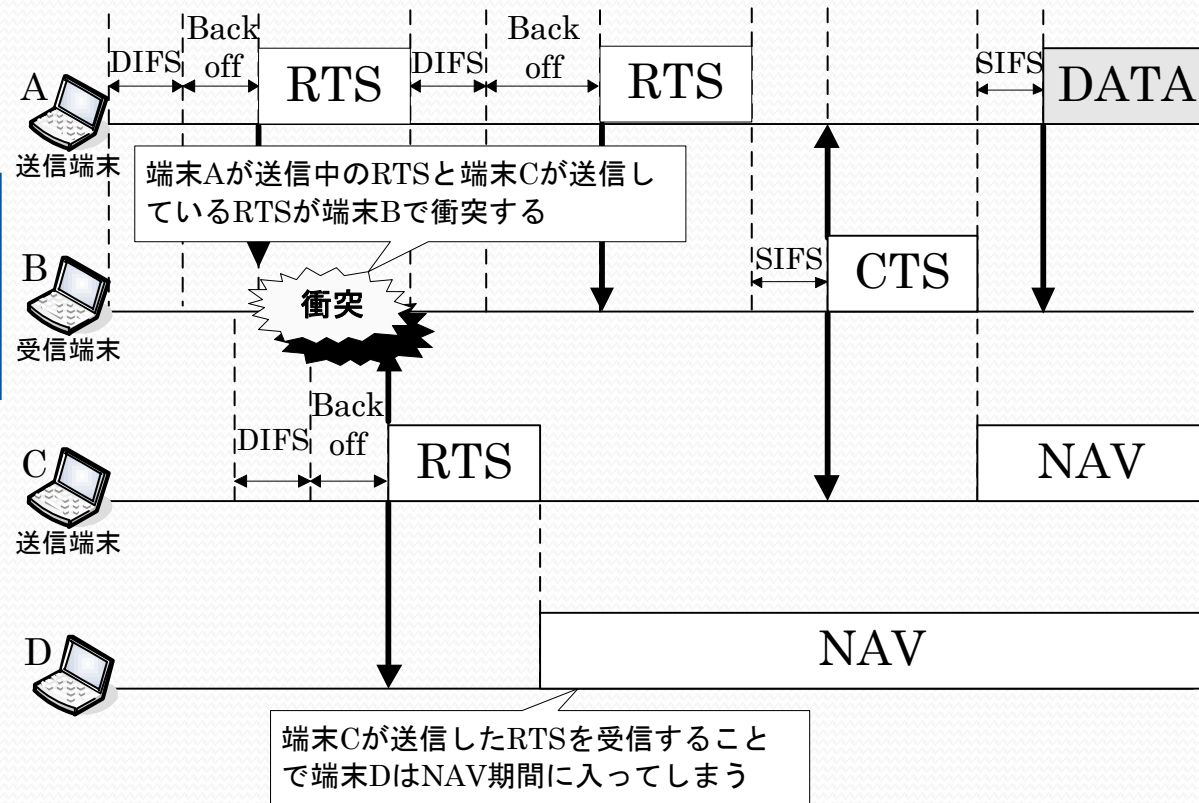
RTS/CTS方式における課題

- ▶ 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

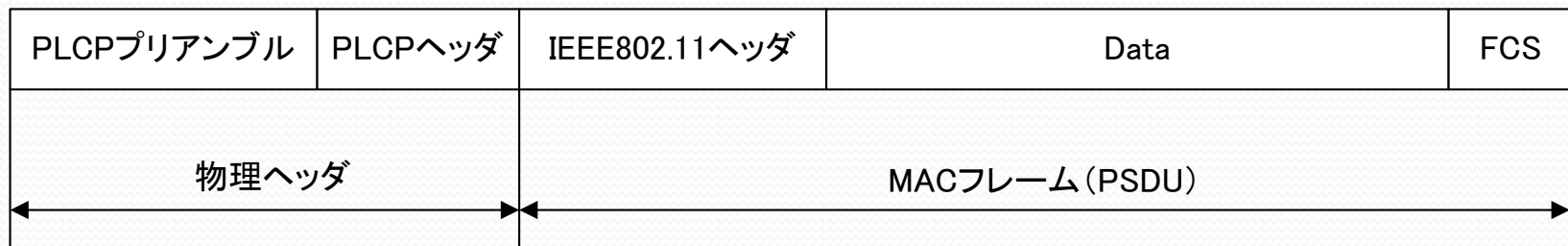
RTS/CTSが一種のパケットであり、一連の動作に所定の時間を必要とするため



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

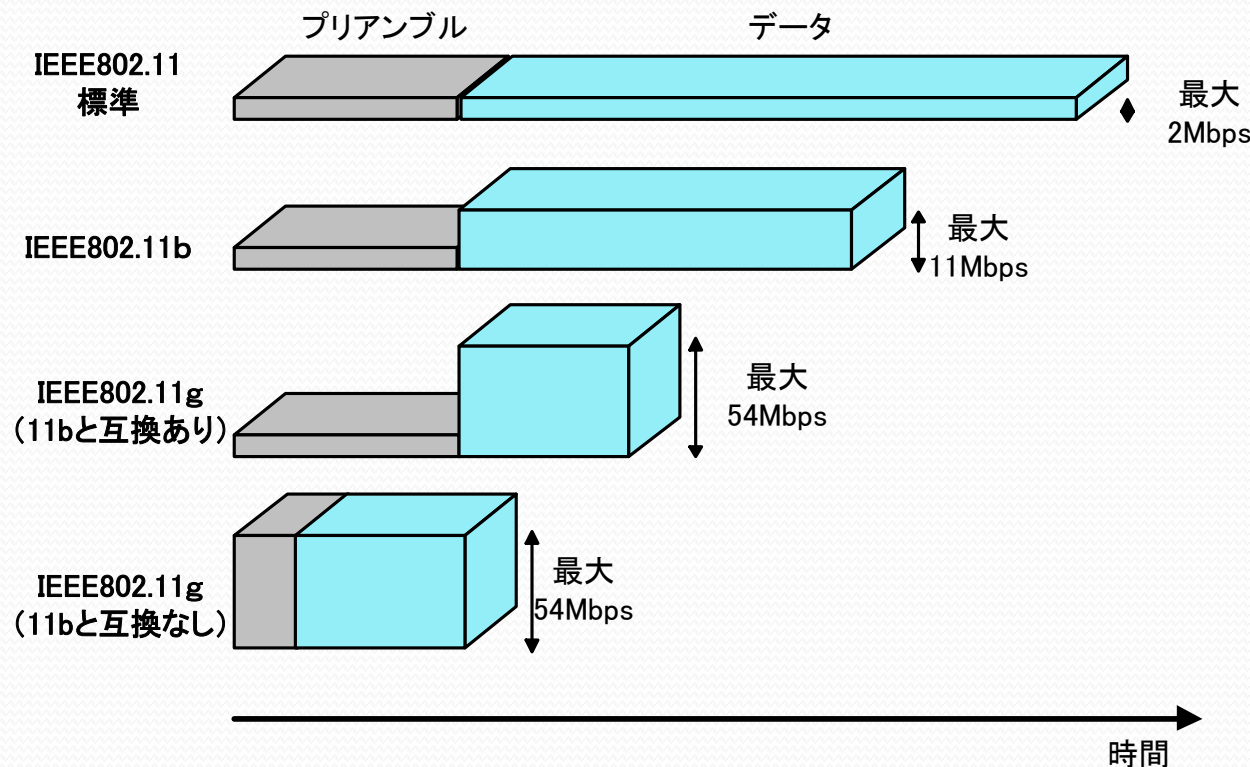
衝突の可能性

- ▶ 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



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

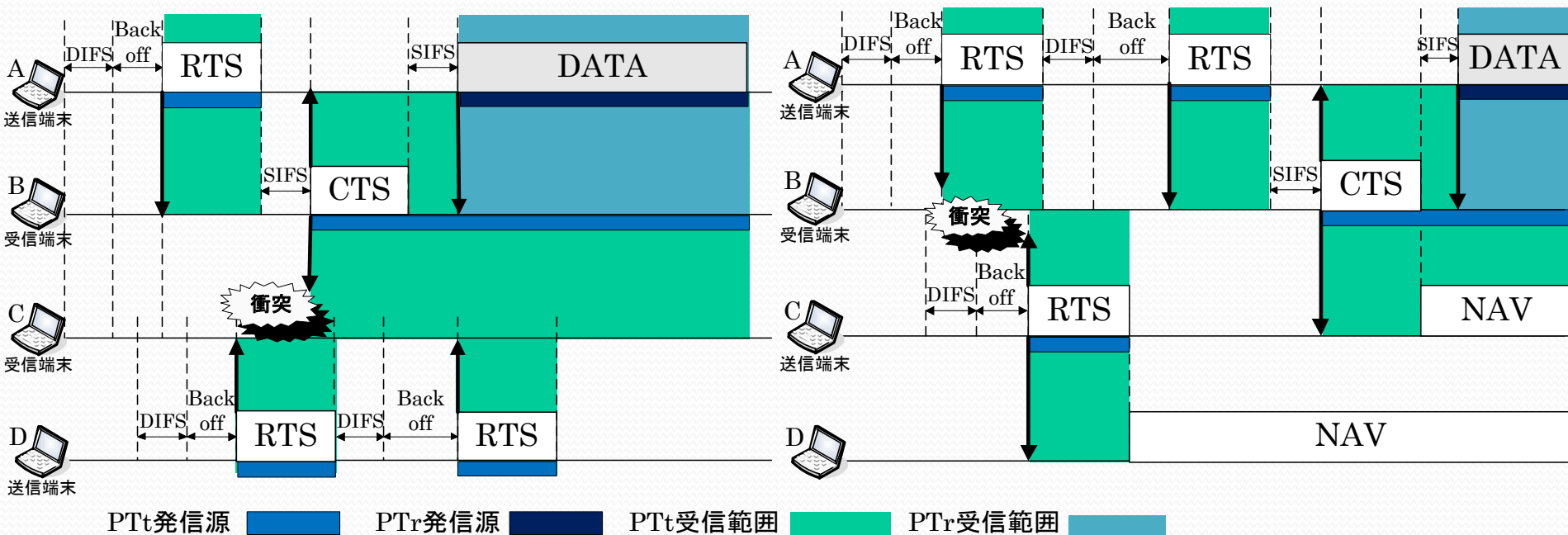
- ▶ RTS/CTS方式の課題を解決するために、ビジートーンを用いたMACプロトコルが提案されている

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

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



提案システム

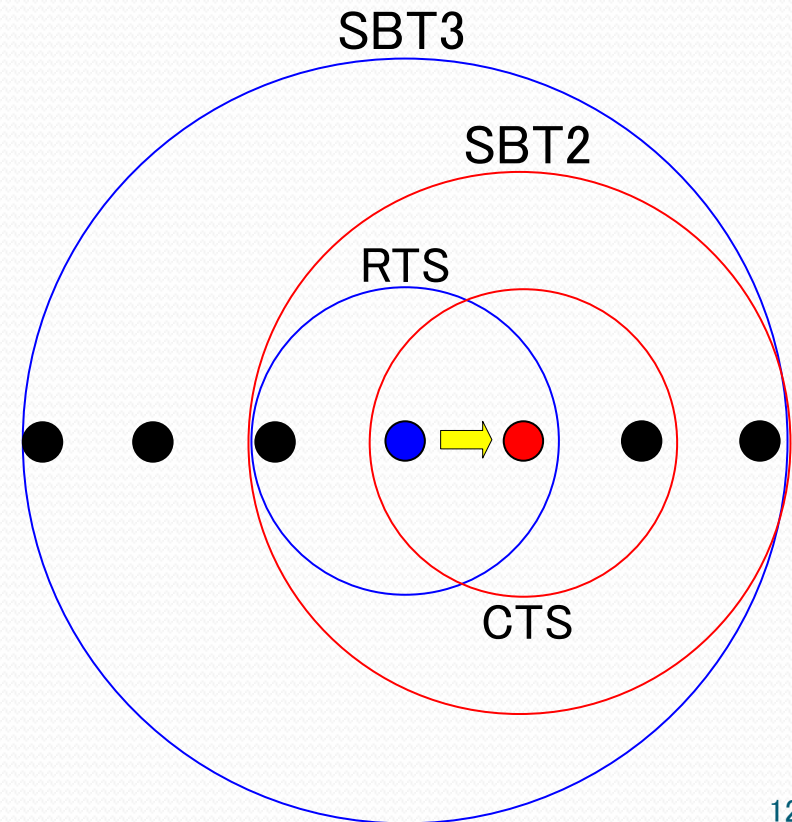
RTS/CTSの送信と同時に電波到達範囲を拡大したビジートーンを発生させる

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

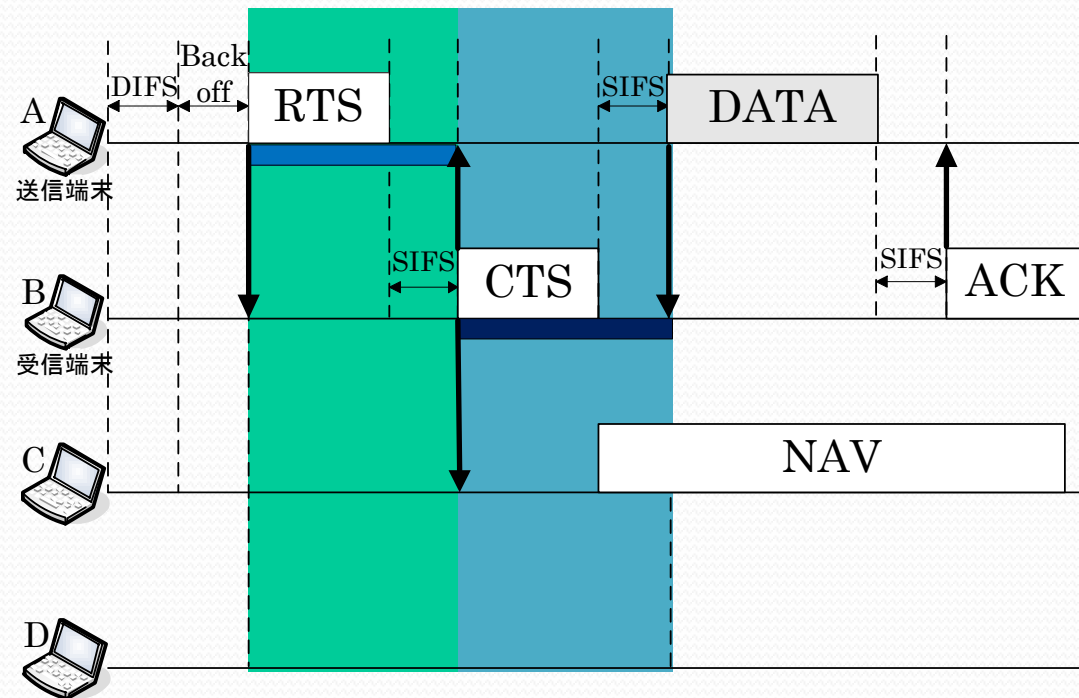


提案システム

- RTS/CTSの課題に提案システムを用いると・・・

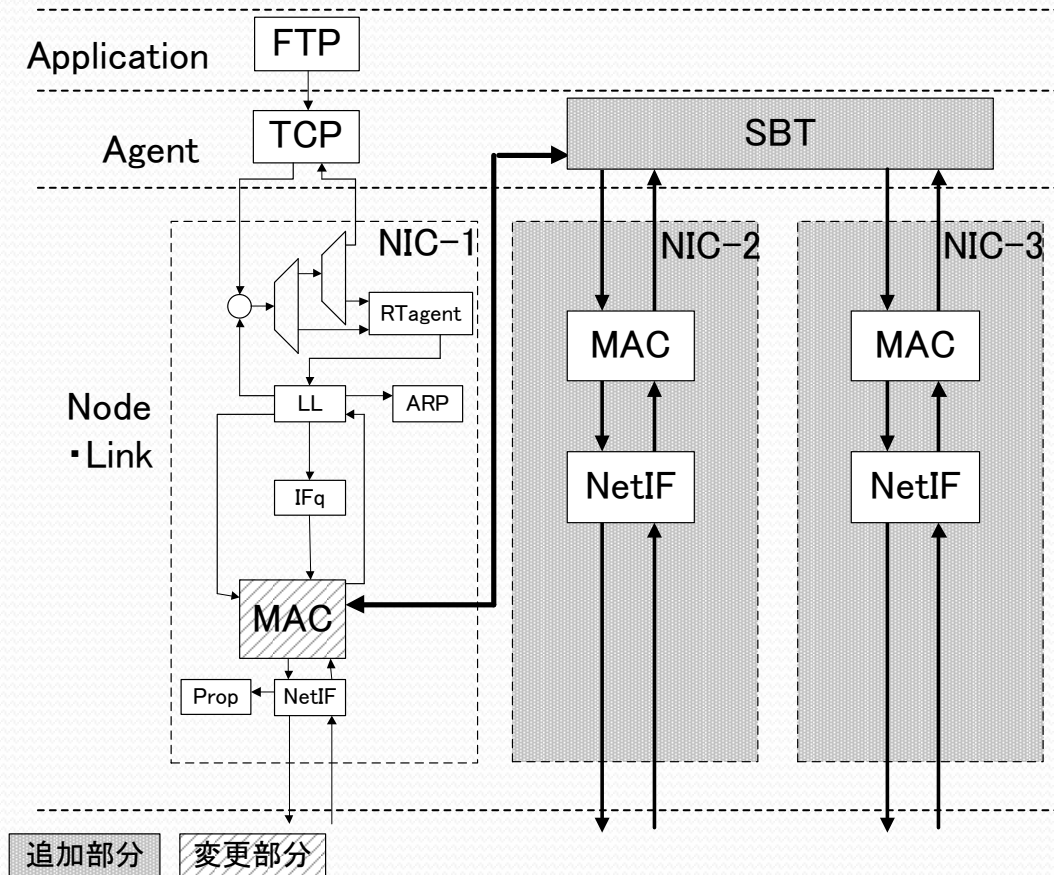
提案システムでは、RTS/CTSの送信状況を、SBTを用いて遠方の端末に伝えることができるため、パケットの衝突の発生を大幅に軽減できる

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



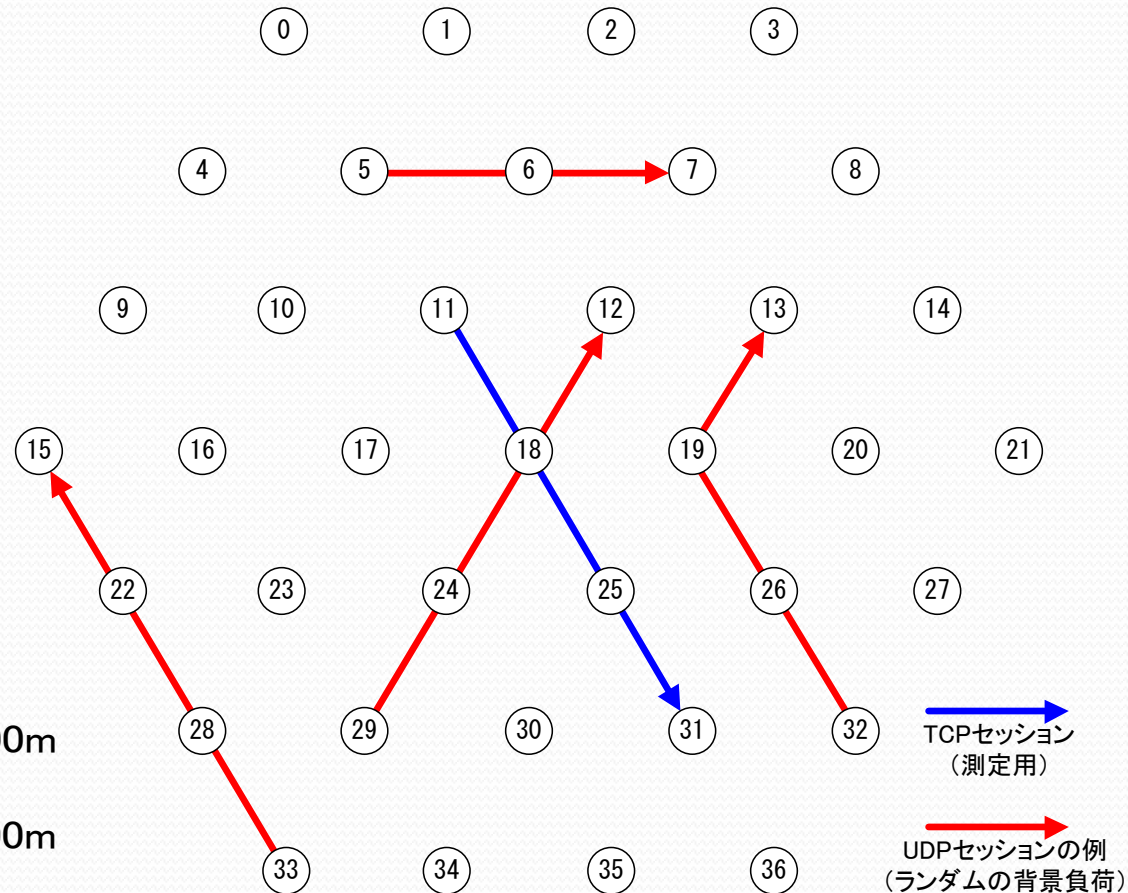
ns-2によるシミュレーション

- ▶ 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
- ▶ 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



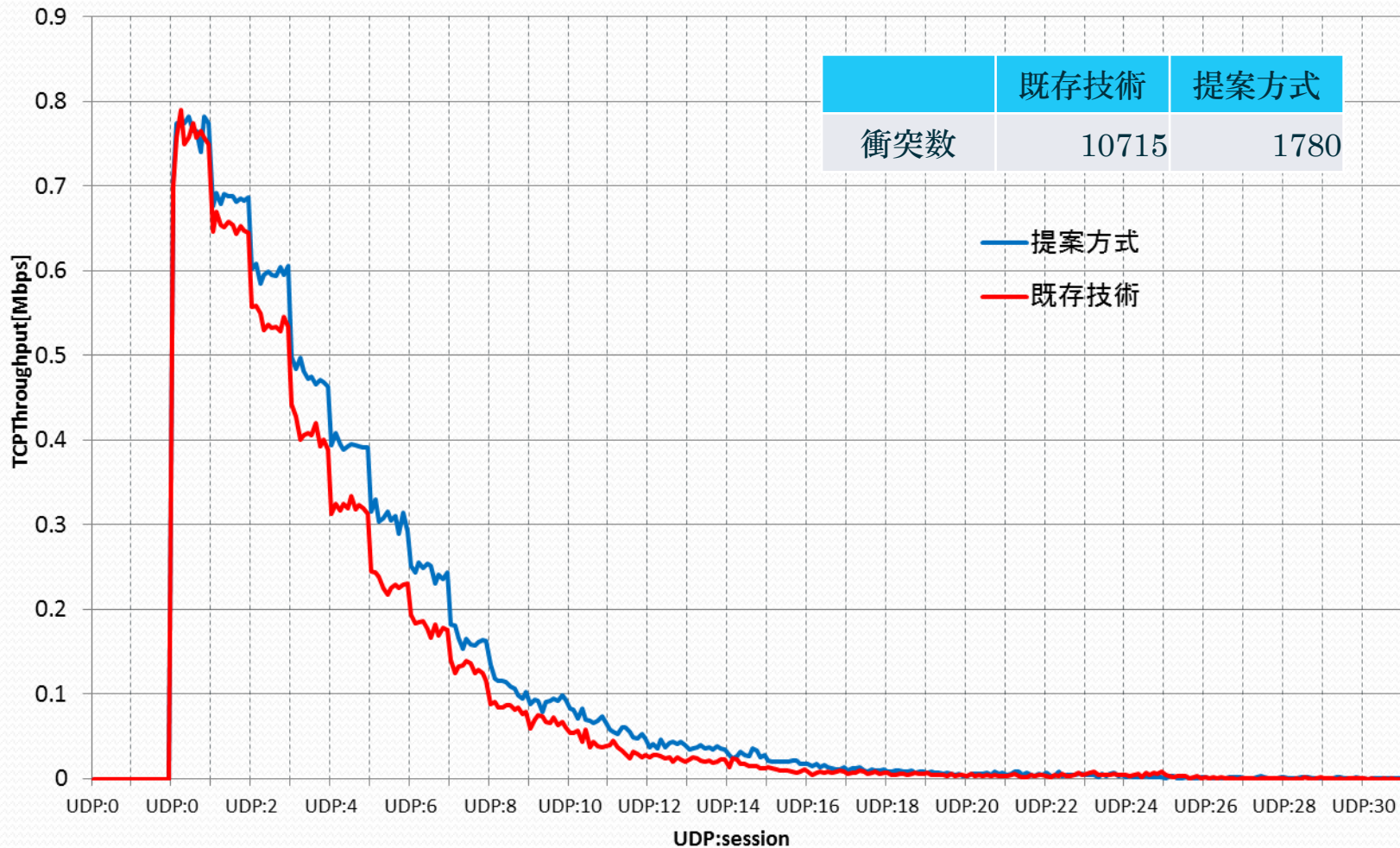
シミュレーションパラメータ

| 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) |

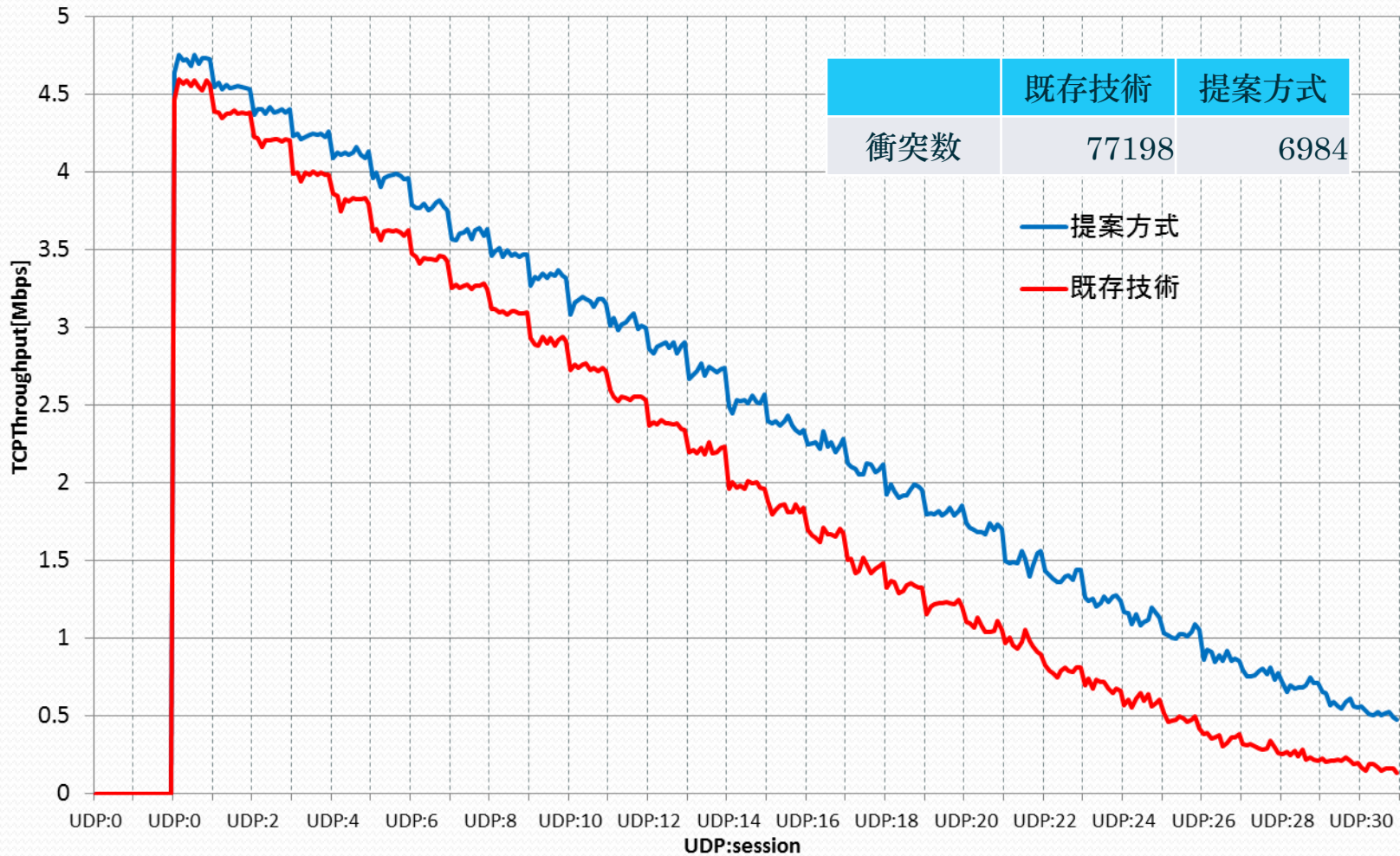
シミュレーション結果

➤ 802.11b



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
- 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

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

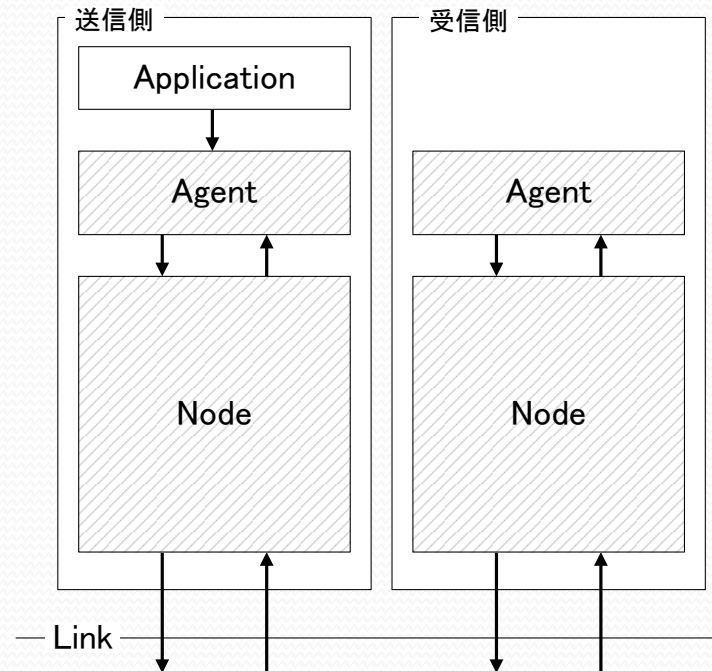
- ▶ ガードバンドとは・・・
 - ▶ 2つの通信チャネルの間にある未使用周波数帯

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

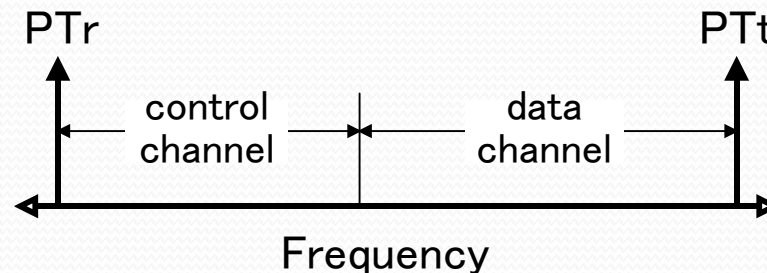


NS2のネットワークモデル



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

| 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 |

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 |