

アドホックネットワークの packets 衝突によるスループットの低下を防ぐ方式の検討

後藤秀暢[†] 伊藤将志^{††} 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た DBTMA やその応用システムが提案されている。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 of Throughput Degradation Caused by Packet Collision in an Ad-hoc Network

HIDENOBU GOTO[†] MASASHI ITOU^{††}
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.

[†]名城大学大学院理工学研究所

Graduate School of Science and Technology, Meijo University

^{††}株式会社東芝研究開発センター

Research and Development Center, Toshiba Corporation

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、ファイル共有を可能としたり、災害時にインフラが破壊された場所で、無線 LAN 端末を中継することで通信環境を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実現されるマルチホップ通信には、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、送信元端末と宛先端末に隣接する全ての端末にチャンネルが使用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・センスの状態になり、一定期間通信を控えることができる。しかし、RTS/CTS 方式ではトラフィック負荷が高くなると RTS パケットの衝突が発生しやすい。その理由は、RTS/CTS が一種のパケットであり、一連の動作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ある。こ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。

この問題を解決するためにビジートーンを用いた DBTMA(Dual Busy Tone Multiple Access)2)3)やその応用システム¹⁾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は発生しない。ビジートーンを検知した端末は、その間 RTS や CTS の送信を控える。DBTMA の応用システム¹⁾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)を追加する。RTS、CTS 送信時に PTt を発生させ、データ送信時に PTr 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 を送信した場合の現象については十分に検討されていない。

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 つでよい。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)で実現するための検討を行った。既存のビジートーンの研究では独自のシミュレーションによる評価が行われており、大規模システムにおける効果が不明であった。

ns-2 により、既存のビジートーン導入による効果と、提案方式の効果について、より正確な予測が可能となる。

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

隠れ端末問題を解決するには、送信端末と宛先端末に隣接する全ての端末にチャンネルが使用中であることを知らせる必要がある。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。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 には無線を使用す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・センス状態を作ることにより送信が禁止され、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がつかずに端末 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。

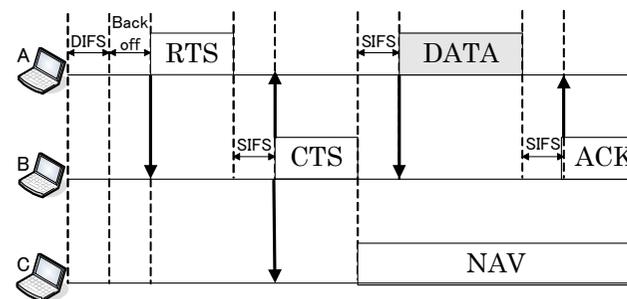


図1 RTS/CTS 方式の動作

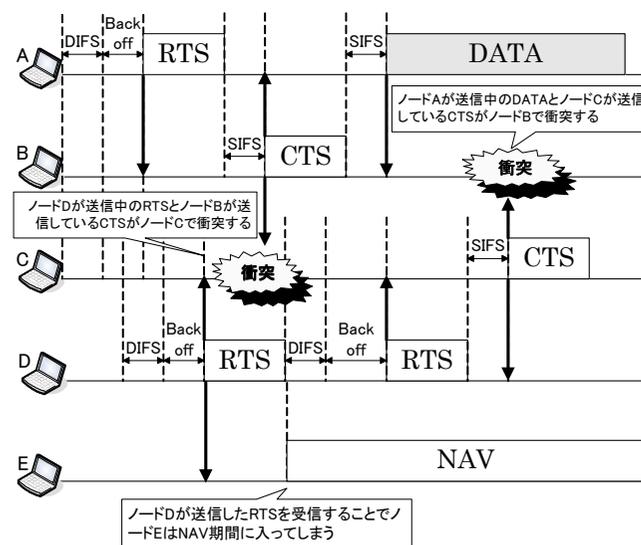


図2 RTS/CTS 方式の課題(1)

これにより、端末 A はデータの再送信が必要となる。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。しかし、端末 D が送信した RTS はすでに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。

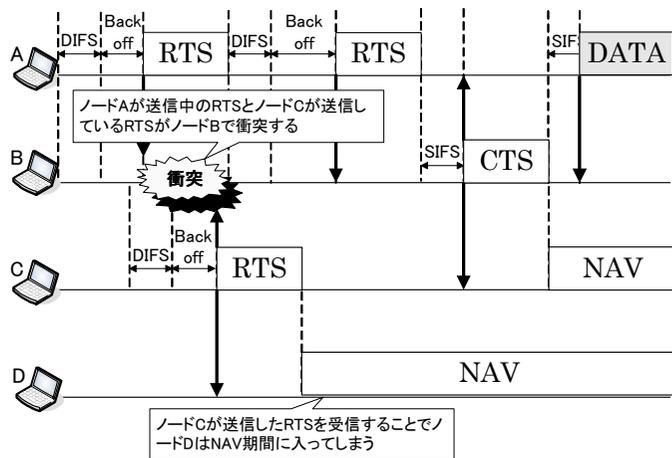


図3 RTS/CTS方式の課題(2)

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。端末Dは端末C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。

2.3 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DBTMA(Dual Busy Tone Multiple Access)が提案されている²⁾³⁾。また、DBTMAの応用システム¹⁾としてトーン信号PTtとPTrを用いたMACプロトコルが提案されている。文献1)では、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。

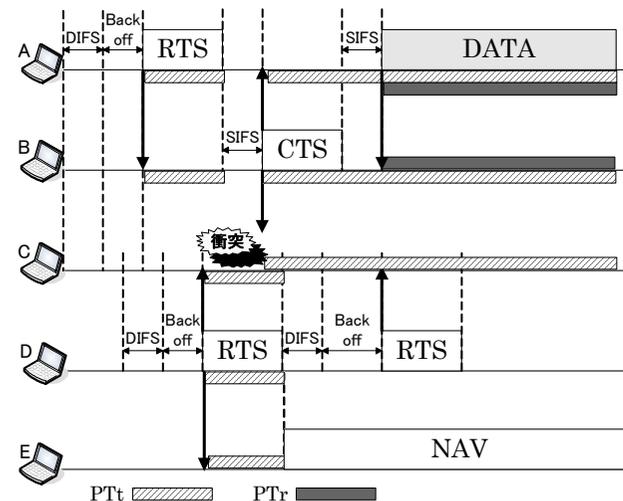


図4 既存技術の動作概要(1)

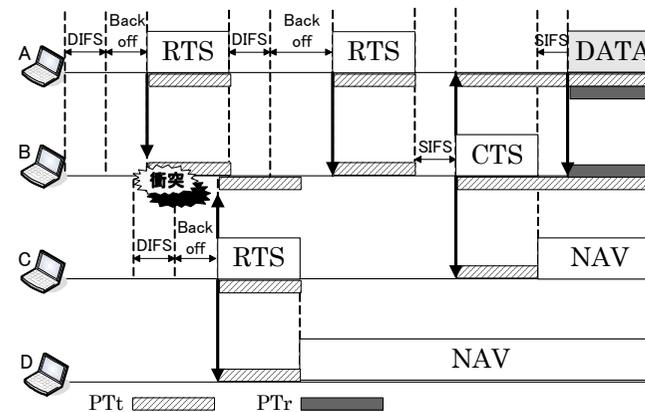


図5 既存技術の動作概要(2)

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Aと端末BがRTS/CTSのやり取りをしている間に端末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、PTtは衝突を考慮しないので、端末Cは端末Aがデータ送信を終了するまでPTtを感知し続ける。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。

応用システムを図3の課題で動作させた場合図5のようになる。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、正しく受信できない。つまり、既存のビジートーンでは図3のような送信元端末と隠れ端末におけるRTS同士の衝突を回避できないので、完璧に隠れ端末問題を解決できたわけではない。

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と同時にその到達範囲を拡大させることで、周辺端末とのRTSの衝突を防止する方式を提案する。提案方式では、使用するビジートーンの周波数は1つのみでよい。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の送信完了時に停止させる。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は大きなものではない。

提案方式の動作概要を図6に示す。まず、端末Aから端末BにRTSを送信すると同時に送信範囲3倍のBT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。これにより、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。

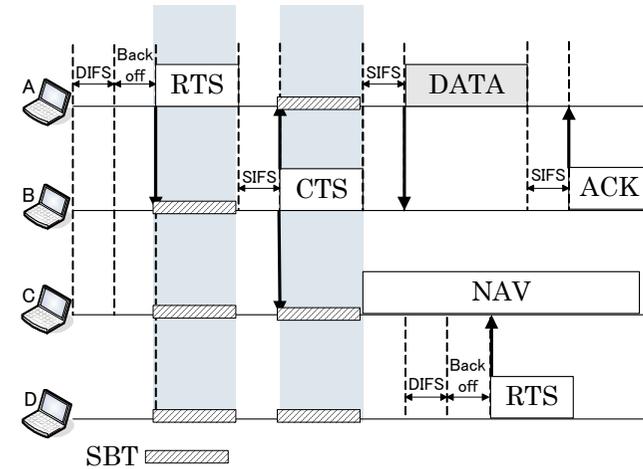


図6 SBTの動作概要

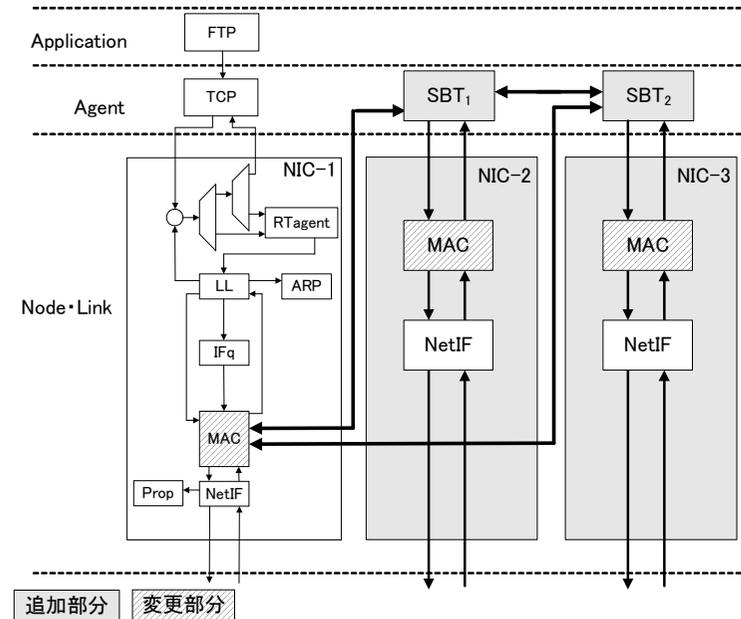


図7 ns-2の改造内容

4. ns-2 の改造内容

提案方式を ns-2 でシミュレーションするための方法を検討した。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 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。アプリケーション層では、FTP、CBR(constant bit rate)、Telenet、HTTP などのフロータイプを定義している。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・リンク層の改造を行う。ns-2 の改造内容を図 7 に示す。

SBT の機能を持つ SBT モジュールをエージェント層に追加する。2 つの NIC(Network Interface Card)を追加し SBT の発生、検出を行う。NIC の追加はシミュレーション上の都合であり、実機に SBT を導入する場合は NIC を追加する必要はない。

到達範囲の異なる SBT ごとに 1 つ NIC を割り当てる。SBT1 は送信範囲 3 倍の SBT を発生させ、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 NIC-2、3 の SBT モジュールを内部で結合する。RTS を送信する前に NIC-2 の SBT 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 NIC-3 の SBT モジュールを呼び出し、送信範囲 2 倍の SBT を発生させる。そのために、NIC-1 の MAC モジュールには、各 SBT モジュールを呼び出すための機能を追加する。今後のシミュレーション項目として以下のものを実施する。

- (1)提案方式を適用した場合と適用しない場合の TCP スループット比較。
- (2)提案方式を適用した場合と適用しない場合の packets 到達率の比較。
- (3)SBT 送信時間に SIFS 時間を入れると結果が変わるか。
- (4)SBT の送信範囲を変更しその影響を調べる。
- (5)電波伝播時間によるディレイを考慮した正確なシミュレーションの実施。
- (6)既存のビジートーン方式、および提案方式を ns-2 に組み込み、その効果を大規模システムにおいて検証する。
- (7)ブロードキャストに対する処置方法を検討。ブロードキャストには RTS/CTS がないので別途対応方法を検討。
- (8)ビジートーンを中継する方式と比較。障害物を置いて検討。

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制する方法を提案した。それ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。また 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。今後は、提案方式をシミュレーションにて順次評価していく予定である。

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 packets 衝突による スループットの低下を防ぐ方式の検討

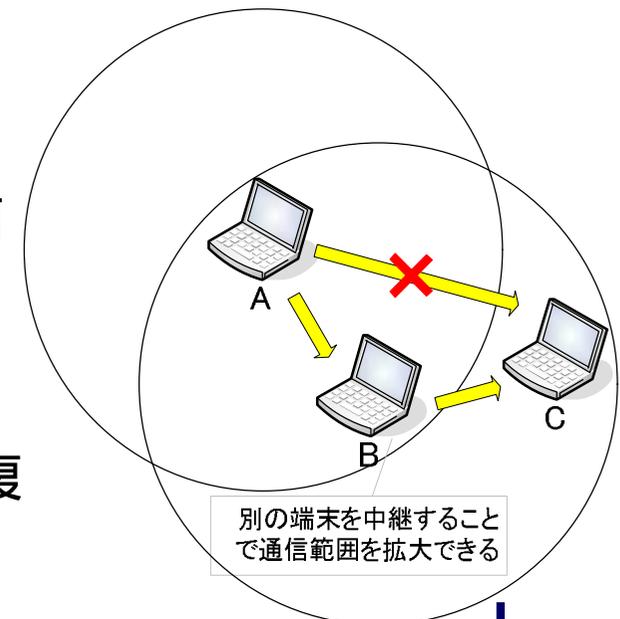
名城大学大学院 理工学研究科
後藤秀暢 伊藤将志 渡邊晃

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

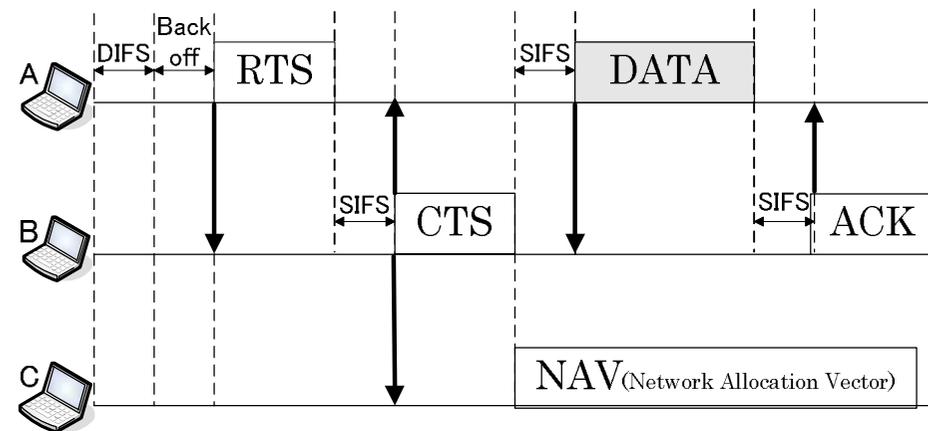


AP: Access Point

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
- 隠れ端末問題を解決するために…
 - IEEE802.11によるRTS/CTS方式を採用している

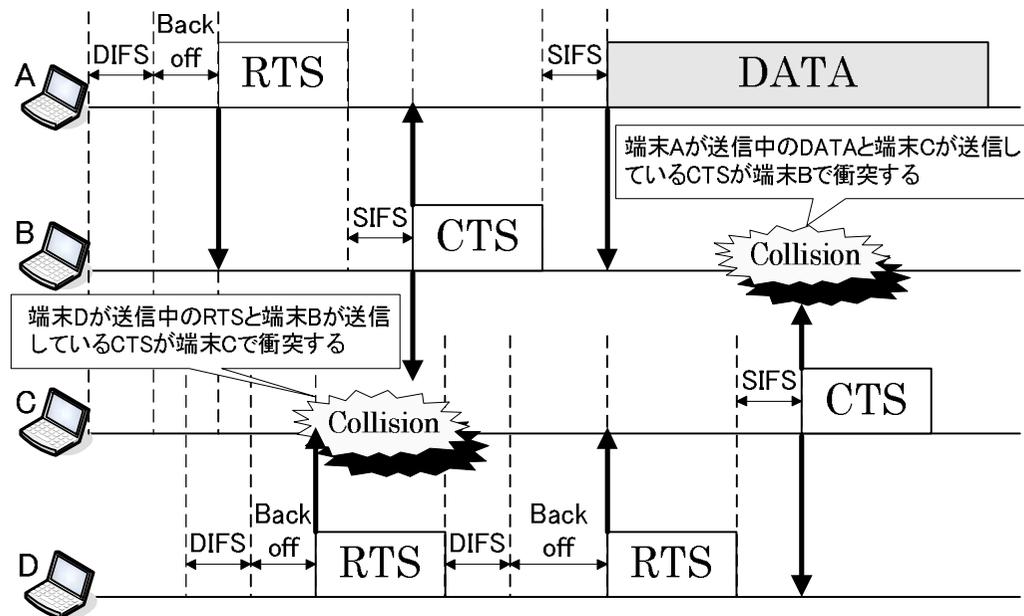
近隣の端末がRTSやCTSを受信することで仮想的なキャリア・センス状態になり、一定期間通信を控える



RTS/CTS : Request To Send / Clear To Send

RTS/CTS方式における課題

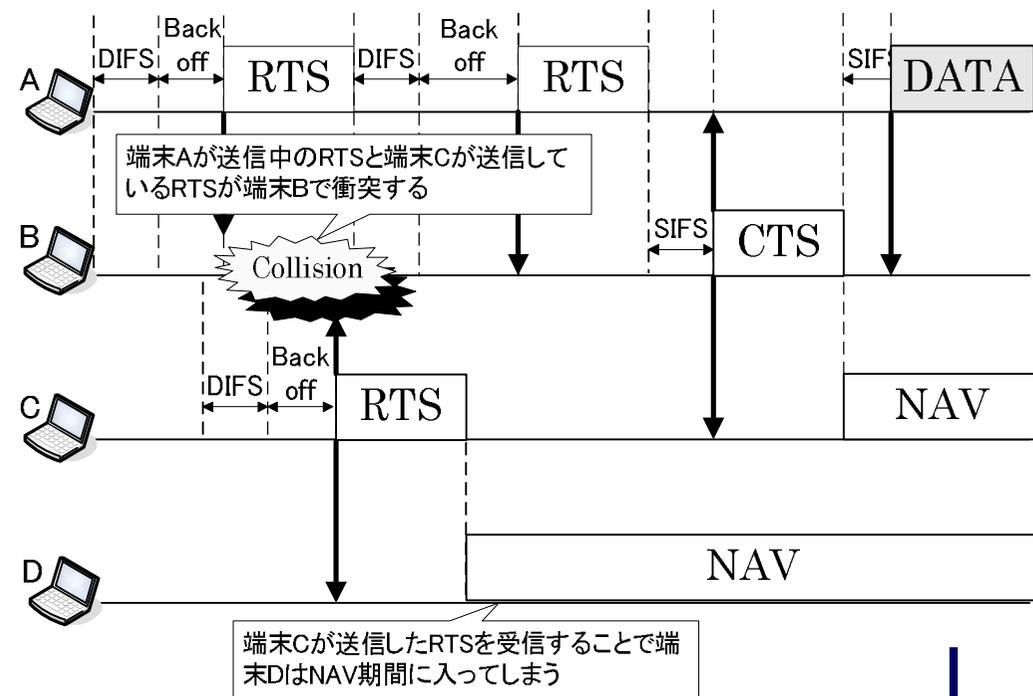
- RTS/CTS方式では…
 - トラフィック負荷が高くなるとRTS同士の衝突、又はCTSとデータの衝突が発生する



RTS/CTS方式における課題

こ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

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

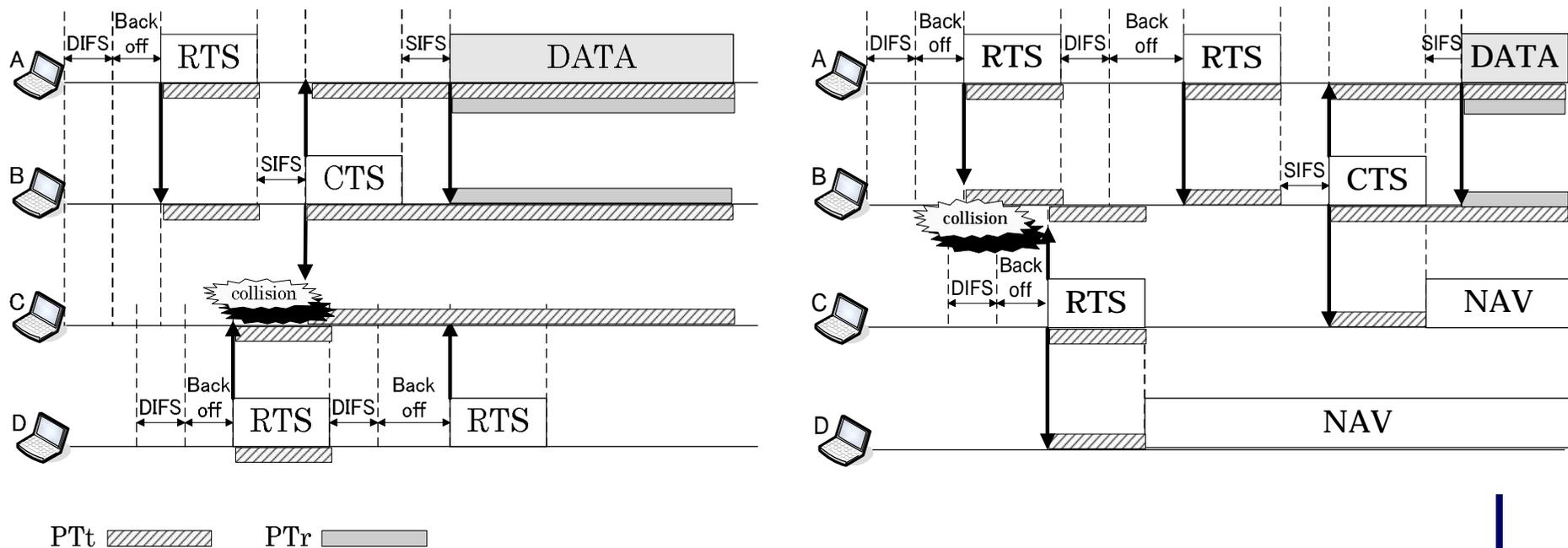


Busy Toneを用いた既存技術

- ▶ 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
- ▶ ビジートーンとは…
 - ▶ 単一の周波数であり、衝突を考慮しない
 - ▶ 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
- ▶ 既存技術
 - ▶ ビジートーンPTtとPTrを使用する
 - ▶ PTtは周辺端末に対してパケットの送信を禁止するため
 - ▶ PTrはパケットの受信を禁止するため

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

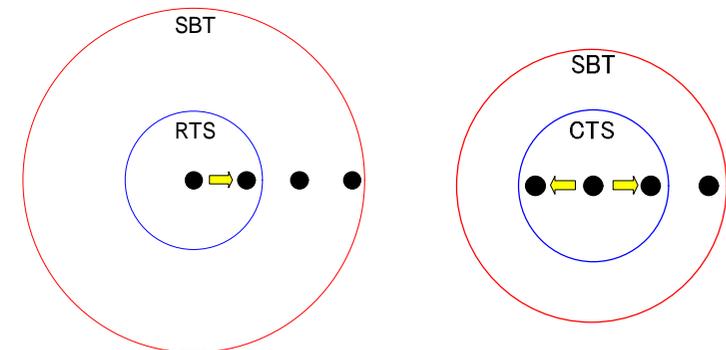
RTS/CTSの送信と同時に電波到達範囲を拡大したビジートーンを発生させる

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)とする

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

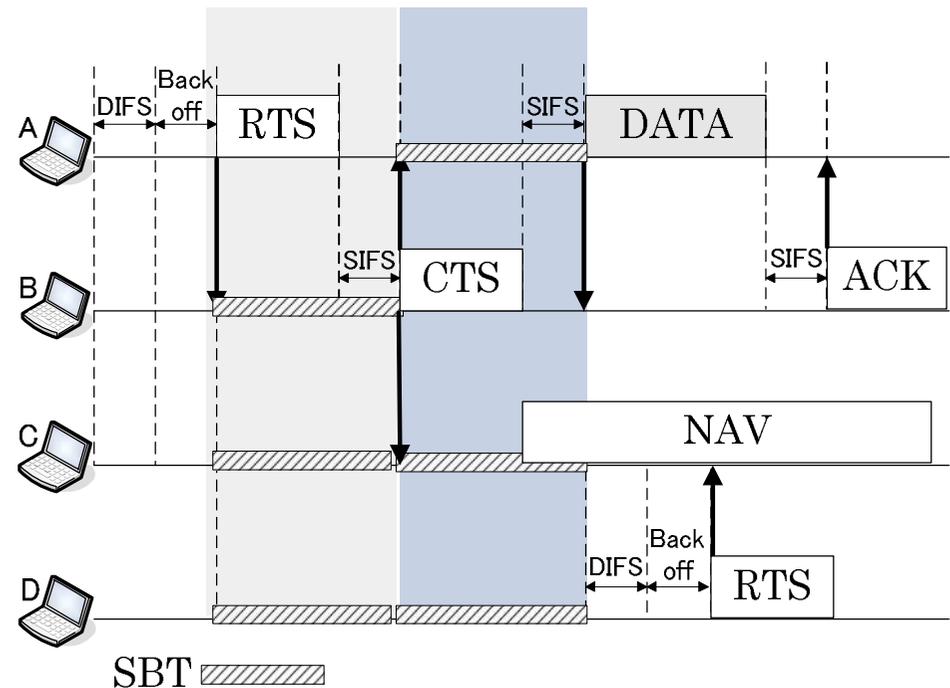


提案システム

- RTS/CTSの課題に提案システムを用いると...

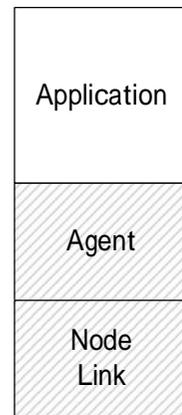
提案システムでは、RTS/CTSの送信状況を、SBTを用いて遠方の端末に伝えることができるため、パケットの衝突の発生を大幅に軽減できる

これにより、スループットの低下を防止できる



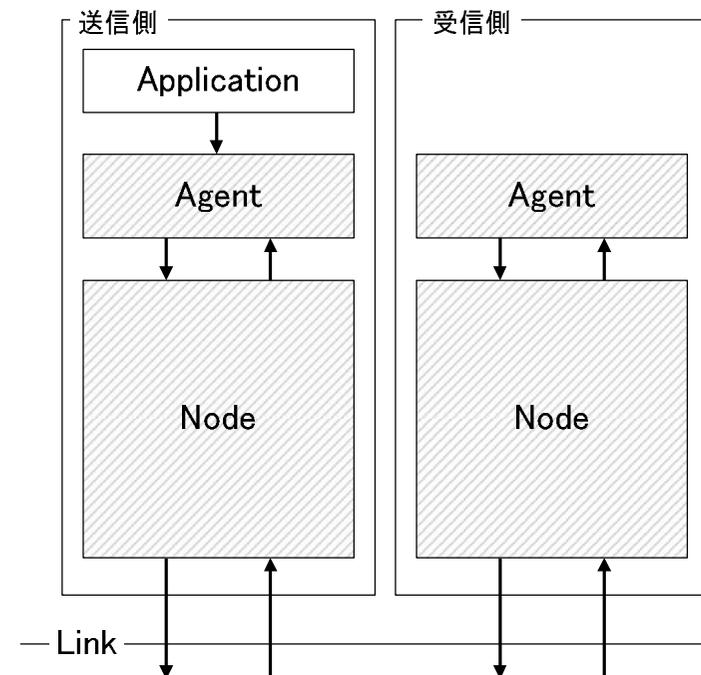
ns-2(network simulator-2)

- 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

NS2のネットワークモデル

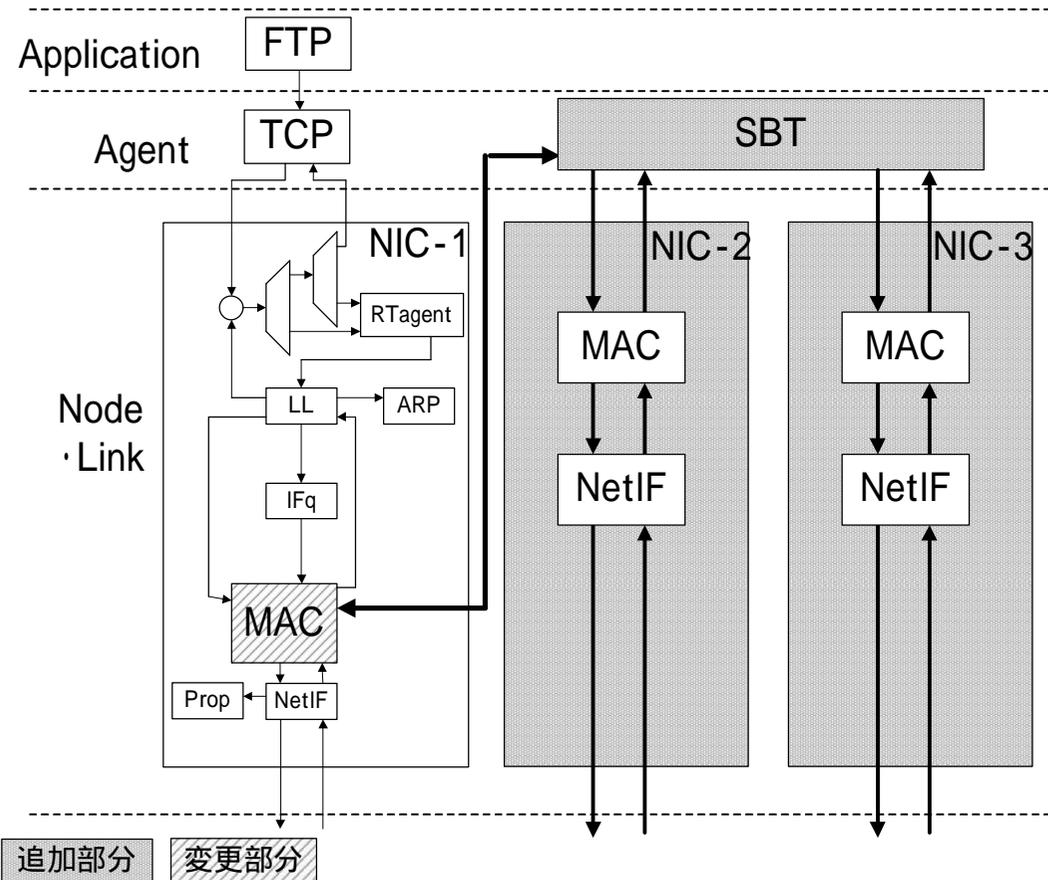


ns-2によるシミュレーション

- 追加機能
 - SBTエージェント
 - SBT発生用のNIC

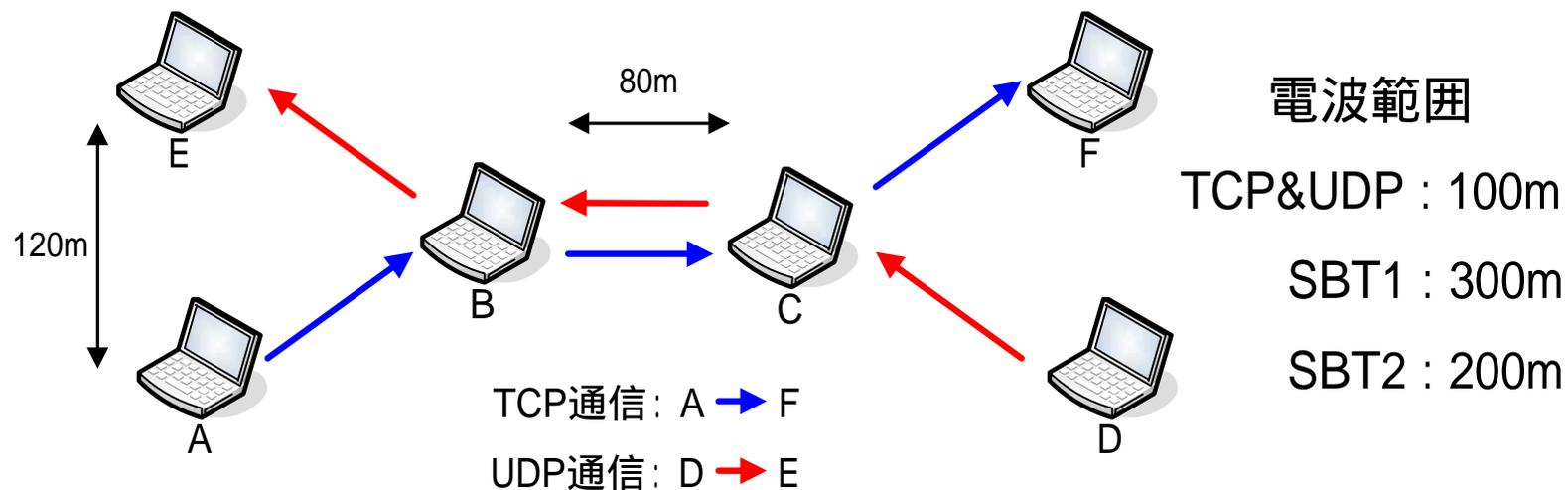
- 変更部分
 - MACモジュールの改造
 - 各モジュールをシナリオで接続する

現段階では、SBTの遅延は考慮していない



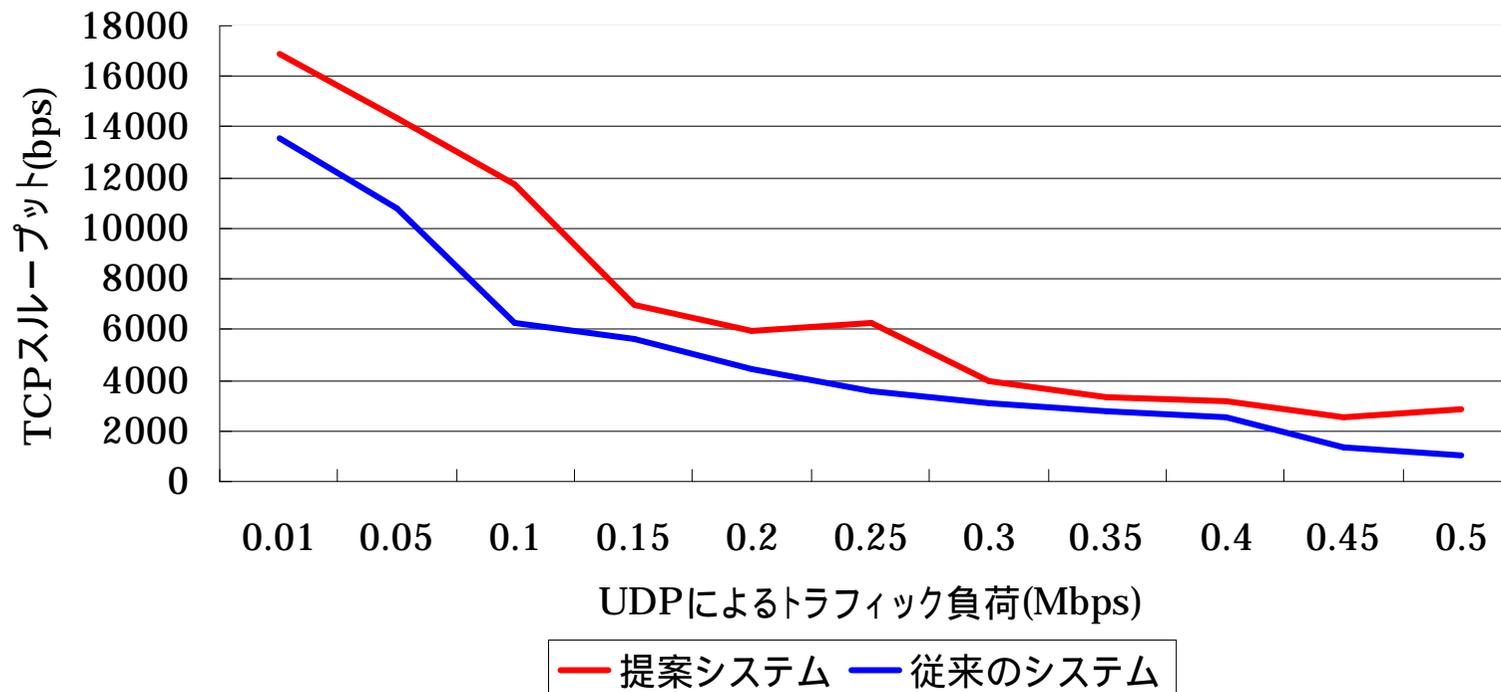
ns-2によるシミュレーション

- ▶ 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通信のスループットを変化させて、TCP通信のスループットを計測する



シミュレーション結果

➤ スループットの比較



今後のシミュレーション

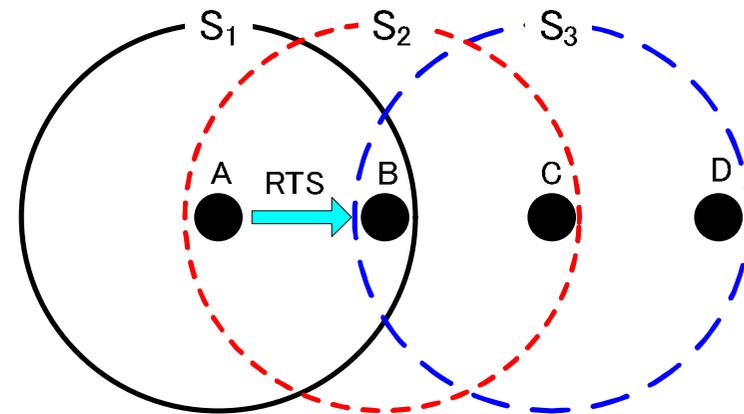
- ▶ 今後のシミュレーション評価
 - ▶ 電波伝播時間によるディレイを考慮した正確なシミュレーションの実施
 - ▶ 提案システムを適用した場合と適用しない場合の Paket 到達率の比較
 - ▶ SBTの送信範囲を変更しその影響を調べる
 - ▶ 既存のビジートン方式をns-2に組み込み、その効果は大規模システムにおいて検証し、結果を比較する
 - ▶ ビジートンを中継する方式を検討する

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
- 今後も引き続き様々な環境においてシミュレーションを行う

中継の動作 ~ RTS ~

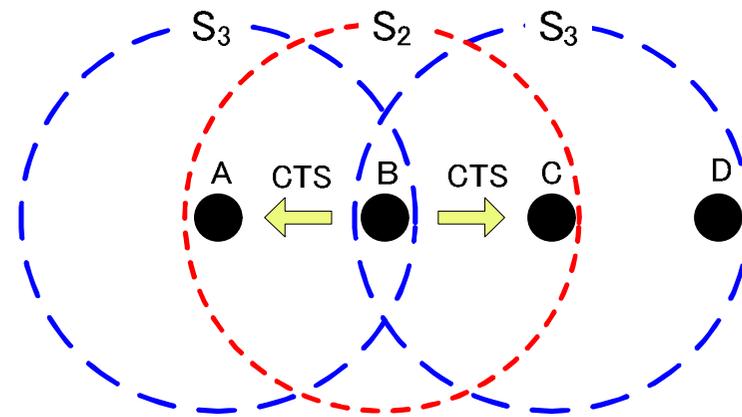
1. 端末AがRTSを送信すると同時に、周波数 S_1 のビジートーンを発生する
2. 端末Bは周波数 S_1 のビジートーンを受けたら即座に周波数 S_2 のビジートーンを発生する
3. 周波数 S_2 のビジートーンを受けた端末Cはさらに周波数 S_3 のビジートーンを発生する
4. 周波数 S_3 のビジートーンを受けた端末Dはこれ以上ビジートーンを中継しない



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

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

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つの通信チャンネルの間にある未使用周波数帯

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

