

# ストロングビジートーンを用いたアドホックネットワークにおけるメディアアクセス方式の提案

森 一養†, 後藤 秀暢‡, 渡邊 晃†

名城大学理工学部† 名城大学大学院理工学研究科‡

## 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。しかしアドホックネットワークには、本質的に避けられない問題として「隠れ端末問題」が存在する。「隠れ端末問題」への対策として IEEE802.11 標準規格では RTS (Request to Send) /CTS (Clear to Send) 方式が採用されているがパケットの衝突を完全に防止することはできない。そこで、ストロングビジートーン (SBT: Strong Busy Tone) [1] と呼ぶ特殊な制御信号を用いることにより、この課題を解決する方法を提案する。

## 2. RTS/CTS 方式とその課題

### 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1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。

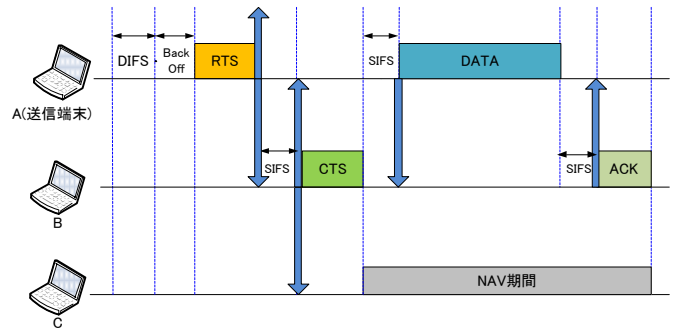


図1 RTS/CTS方式の動作

### 2.2 RTS/CTS方式の課題

RTS/CTS 自体は一種のパケットである。そのため、RTS/CTS シーケンス実行時に遠隔ノードが同様のシーケンスを開始すると、衝突が避けられないという課題がある。RTS/CTS 方式の課題の例を図2に示す。ノードAが送信したRTSフレームに対して、ノードBはCTSフレームを返信して送信を許可する。ここで、RTS/CTSのやりとりの間にノードDがRTSフレームを送信すると、ノードBが送信したCTSフレームと衝突が発生する。ノードDはCTSの応答がないため、RTSフレームを再送信する。一方、ノードAはノードBからのCTSフレームを受信すると、ノードCで衝突が発生していることに気がつかずにノードBに対してデータ送信を始める。ノードCはノードDからのRTSフレームに応答してCTSフレームを送信するため、ノードAのデータと衝突が発生する。これにより、ノードAは再送信が必要となり、スループット低下の原因となる。

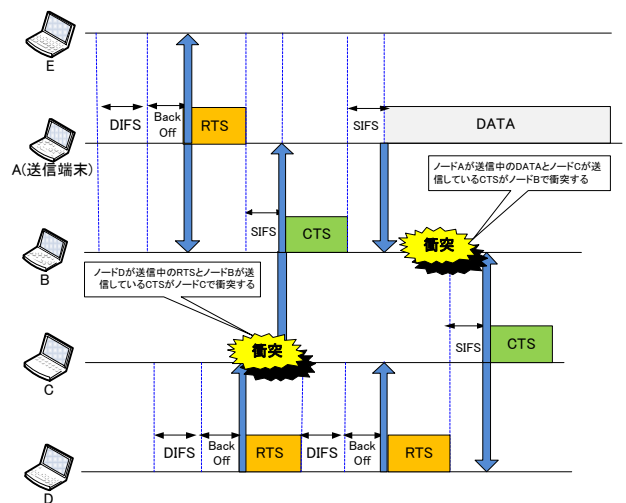


図2 RTS/CTS方式の課題例

Proposal of media Access Method of an Ad-hoc Network using a Strong Busy Tone

†Katsuyasu Mori, ‡Hidenobu Goto, †Akira Watanabe

†Faculty of Science and Technology, Meijo University

‡Graduate School of Science and Technology, Meijo University

### 2.3 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。

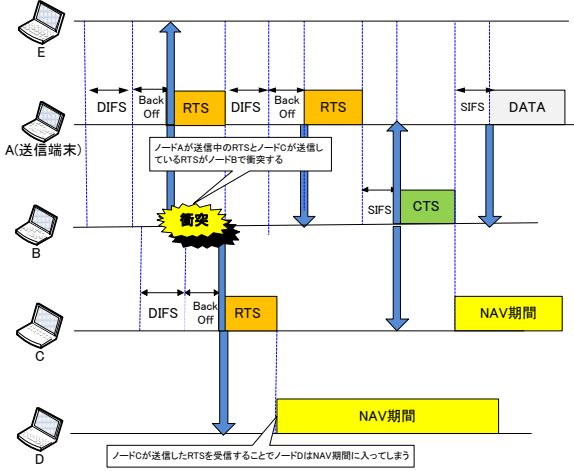


図3 RTS/CTS方式の課題例2

### 3. ビジートンによる解決策

RTS/CTS 方式の隠れ端末問題を解決するために単一周波数の信号からなるビジートンを用いた MAC プロトコルが提案されている。ビジートンを検知した端末はその間パケットの送信を控えることにより衝突を回避できる。単一周波数であるため電力消費は大きいものではない。複数の装置が同時にビジートンを発生させたとしても単一周波数であるため周辺の装置はこれを検知することができる。図4 にビジートンを用いた例を示す。端末A はRTS を送信すると同時にビジートンを発生させる。端末B はRTS を受信したらCTS の返信と同時にビジートンをDATA の受信完了まで発生させる。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。DはRTSを再送するが、Cはビジートンを受信中なのでCTSを返信せず、図2の課題の一部を解決できる。しかし、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。

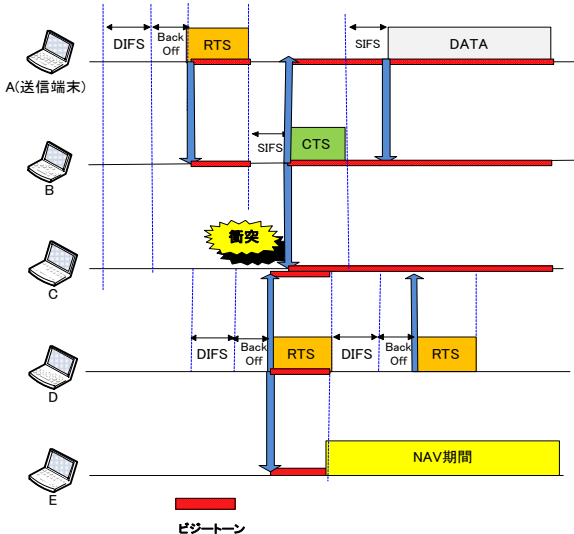


図4 ビジートンを用いた既存技術

### 4. 提案方式

本論文ではパケット送信時にRTS/CTSを行わずDATA送信と同時にストロングビジートン SBT を広範囲に届くビジートンを送信する。提案方式の動作を図5に示す。端末AがDIFS時間とバックオフ時間後DATAを端末Bに送ると同時にSBTを3倍の距離まで送信する。DATAを受信した端末Bは端末AにSIFS時間の後ACKを返す。SBTは周囲端末に送信中であることをいち早く伝えることができる。周囲の端末はSBTを感知している間は送信ができない。SBTを導入することにより、衝突を大幅に減らすことができる。SBTは単一の周波数からなる信号なので、SBTどうしが衝突しても動作に支障はない。また、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。

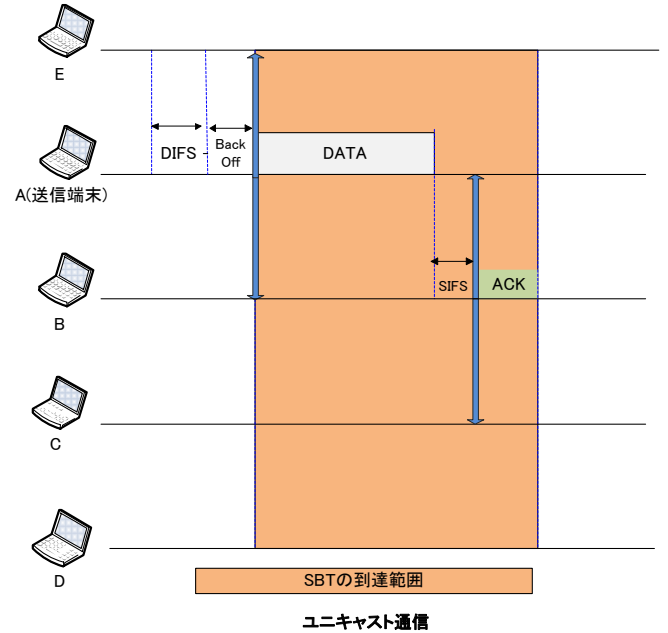


図5 提案方式の動作(ユニキャスト)

### 5. SBTの有効性の予測

1ホップ先の端末にSBTが届くのにかかる時間は $0.3\mu$ 秒である。一方、RTSでは $207\mu$ 秒かかることから、有効性として次のような予測がたてられる。SBTを3ホップ先まで飛ばすので、SBTの時間とRTSでかかる時間と比較すると、約230倍違うことからパケット衝突確率は $1/230$ に低減できると考えられる。又、SBTの送信範囲内にある端末数をN個とするとさらに倍衝突確率が $1/N$ に減少する。よって、衝突回数は $1/230 * N$ に減少すると予測される。さらに、SBTにより周辺端末の送信を制御することにより、RTS/CTSは不要となるため、無駄なオーバーヘッドを減らすことができる。

### 6. むすび

SBTを用いることにより、RTS/CTSを行わずにアドホックネットワークの「隠れ端末問題」を解決できる方法を提案した。今後は有効性の予測を元に提案方式をns-2(Network Simulator 2)にて評価していく予定である。

### 文献

[1] 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 (DICOM02009) シンポジウム論文集, vol. 2009, No. 1, pp593-597, Jul2009

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)



# ストロングビジートーンを用いたアドホックネットワークにおけるメディアアクセス方式の提案

名城大学理工学部  
渡邊研究室

森一養 後藤秀暢 渡邊晃

Watanabe Lab. ~be Lab.

# 研究背景

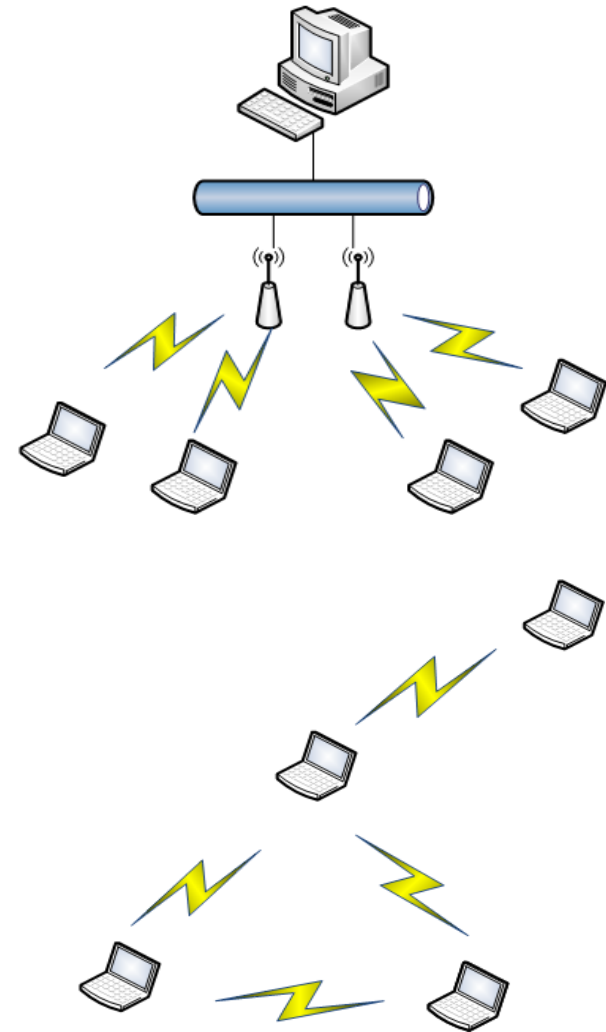
- 無線LAN(Local Area Network)
- 現在端末の場所に関係なく通信を行える利便性から広く普及し一般的になってきている
- 公衆エリアでのホットスポット
  
- 無線LANの利点
- 配線工事が不要
- 端末の設置が容易に行える
- 迅速なLANの構築が可能

# 無線LANのネットワーク

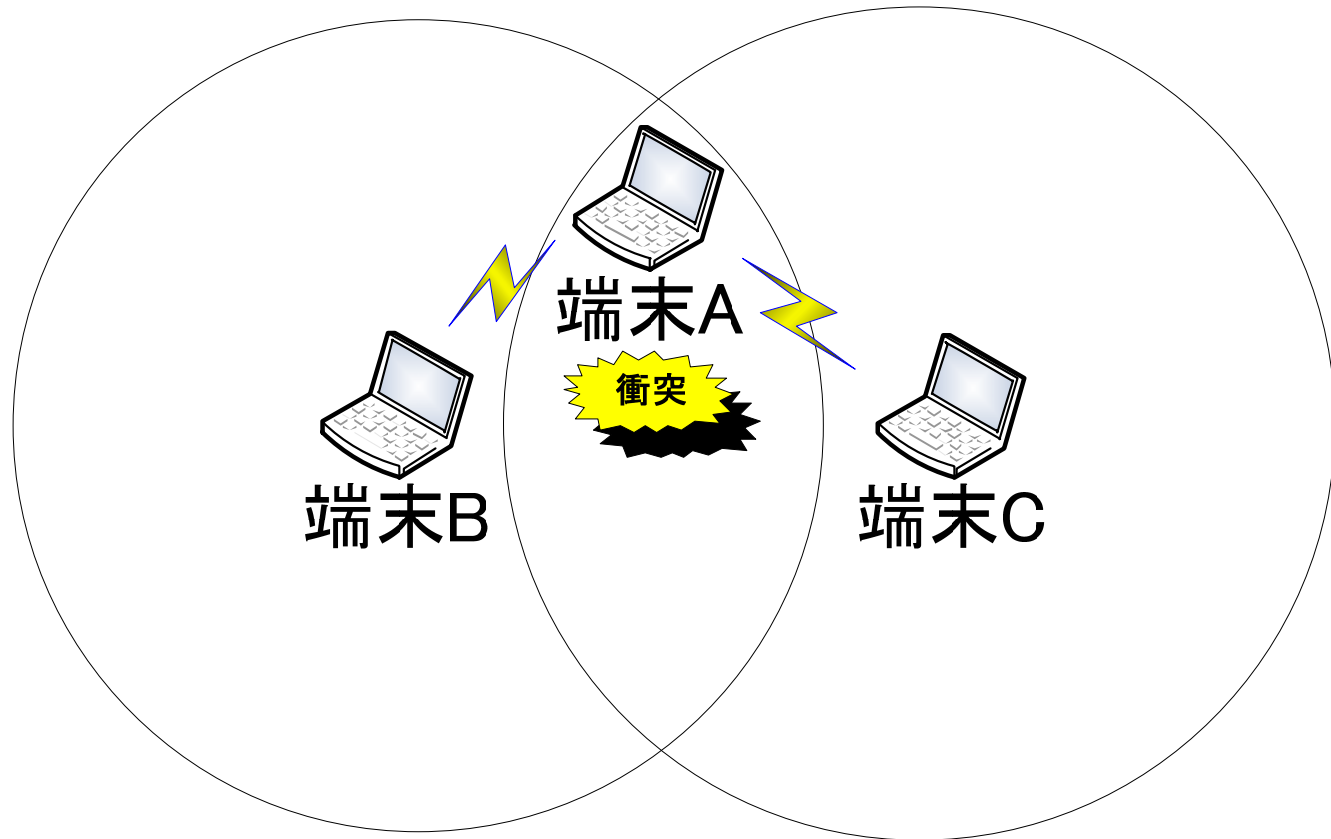
- インフラストラクチャモード
  - アクセスポイント間は有線
  - アクセスポイントと端末間は無線
- アドホックネットワーク
  - 無線端末間同士でアクセスする
  - 直接届かない場合は端末間を経由する

## 欠点

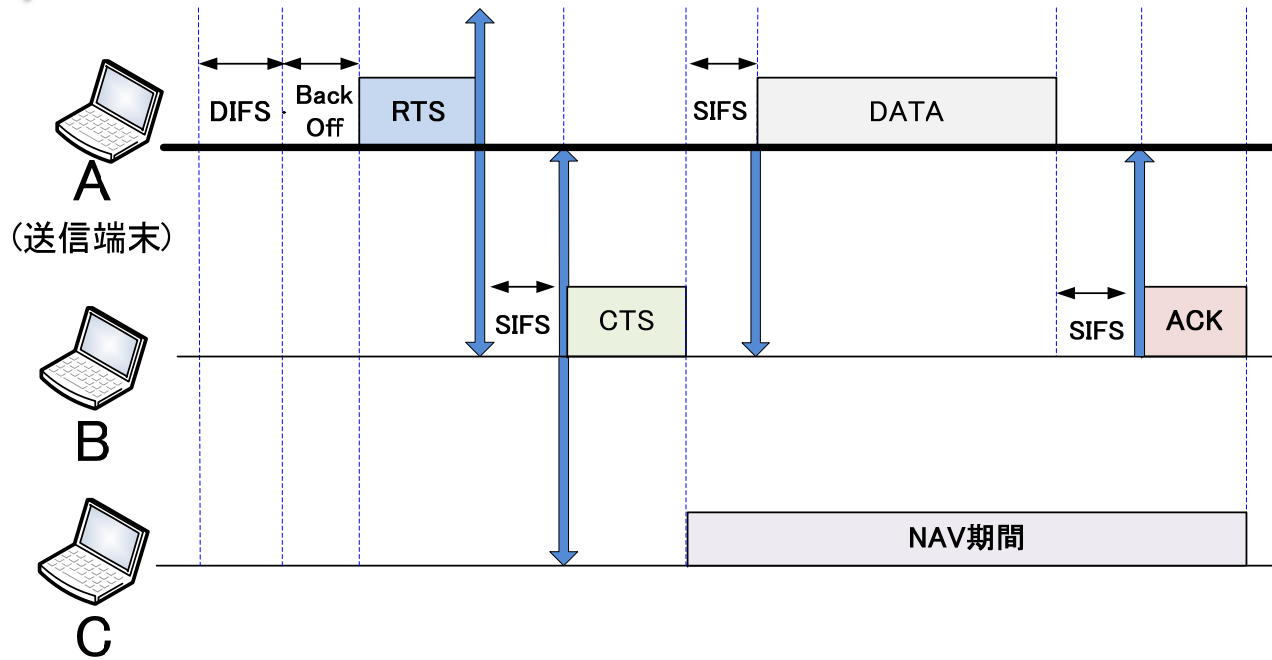
- パケット衝突により伝送効率が悪くなる



# アドホックネットワークの課題 (隠れ端末問題)



# RTS/CTS方式



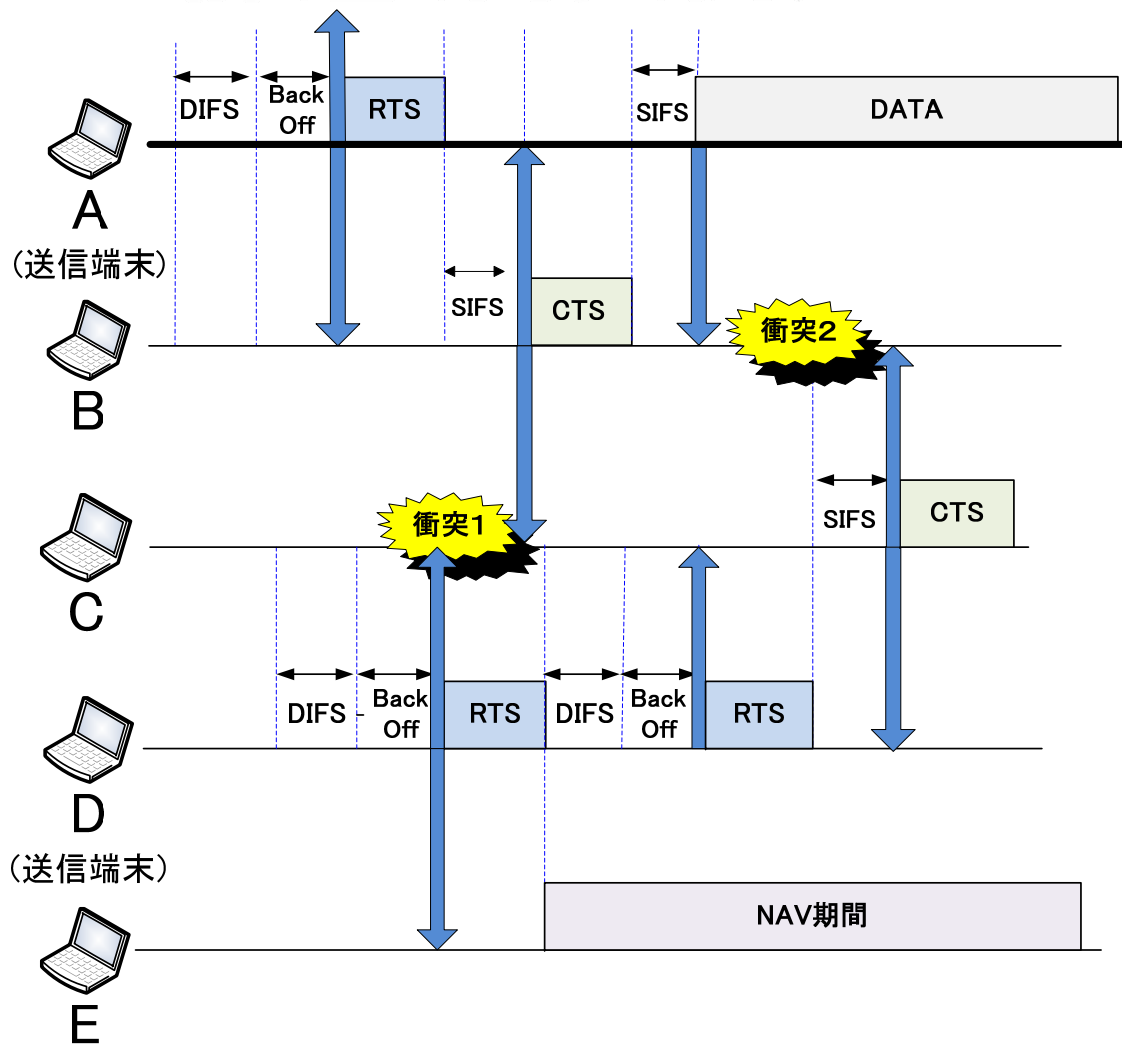
RTS (Request to Send): 送信要求

CTS (Clear to Send): 受信準備完了

NAV期間: 送信禁止期間

- 隠れ端末問題解決するためにIEEE802.11ではRTS/CTS方式による送信予約によりこの課題を解決している
- 隠れ端末問題を回避するために受信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事を知らせるが、RTS/CTS方式ではすべての衝突を防ぐことはできない

# RTS/CTSの課題(衝突例)



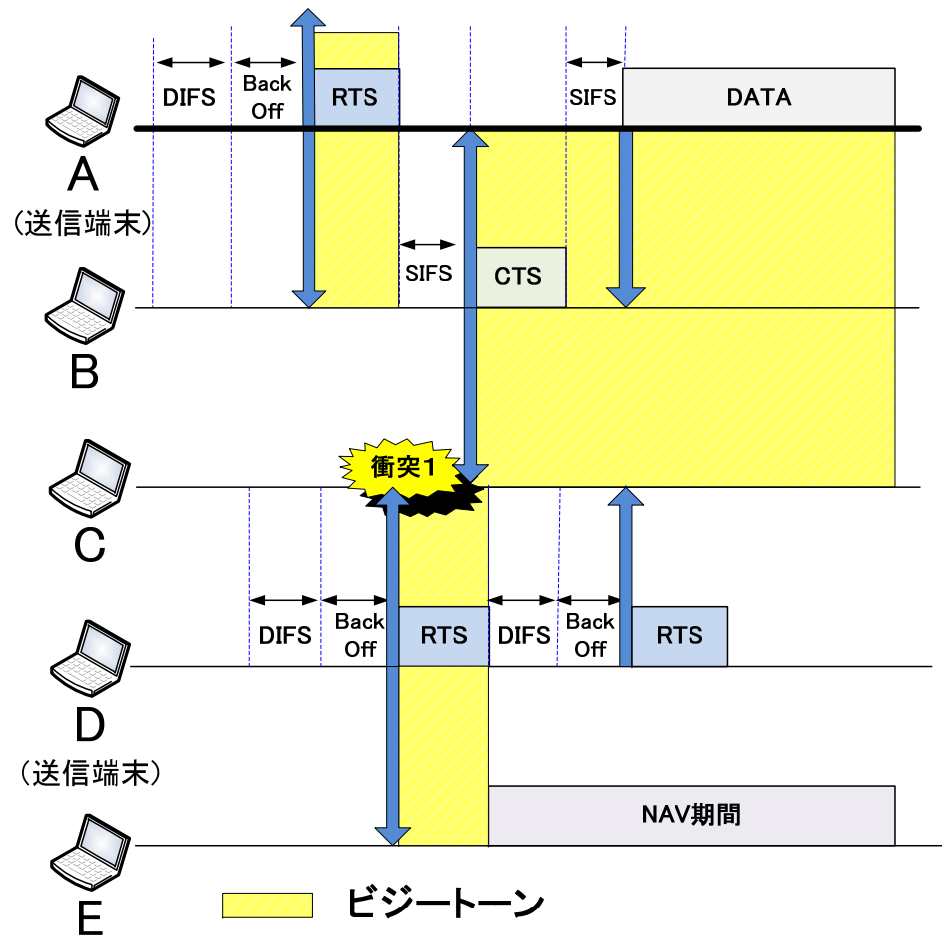
RTSとCTSの衝突(衝突1)    DATAとCTSの衝突(衝突2)



# ビジートーン (BT) とは

- 隠れ端末問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
- ビジートーンの電力消費は単一周波数であるため小さい

# ビジートーン(BT)を用いた既存技術

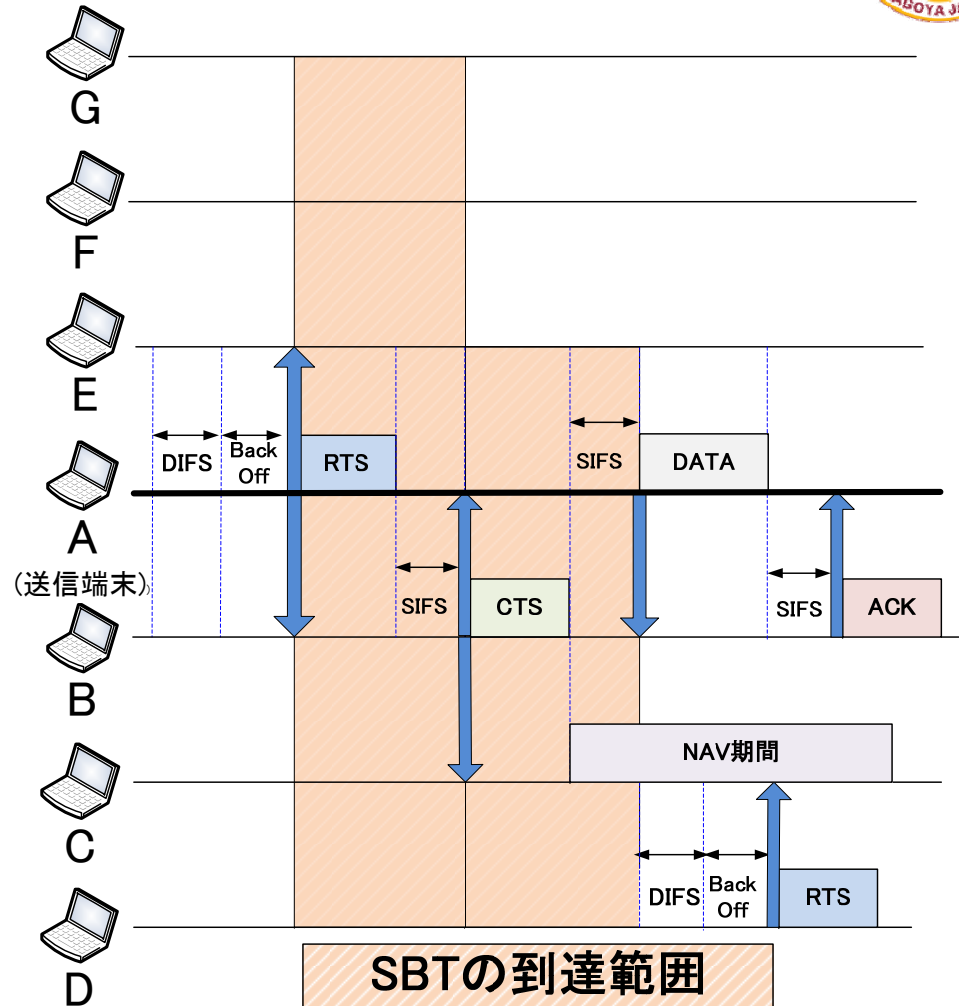


- RTS送信と同時にRTS送信完了までとCTS送信と同時にDATA送信完了までビジートーンを発生させる

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)

# ストロングビジートーン(SBT)

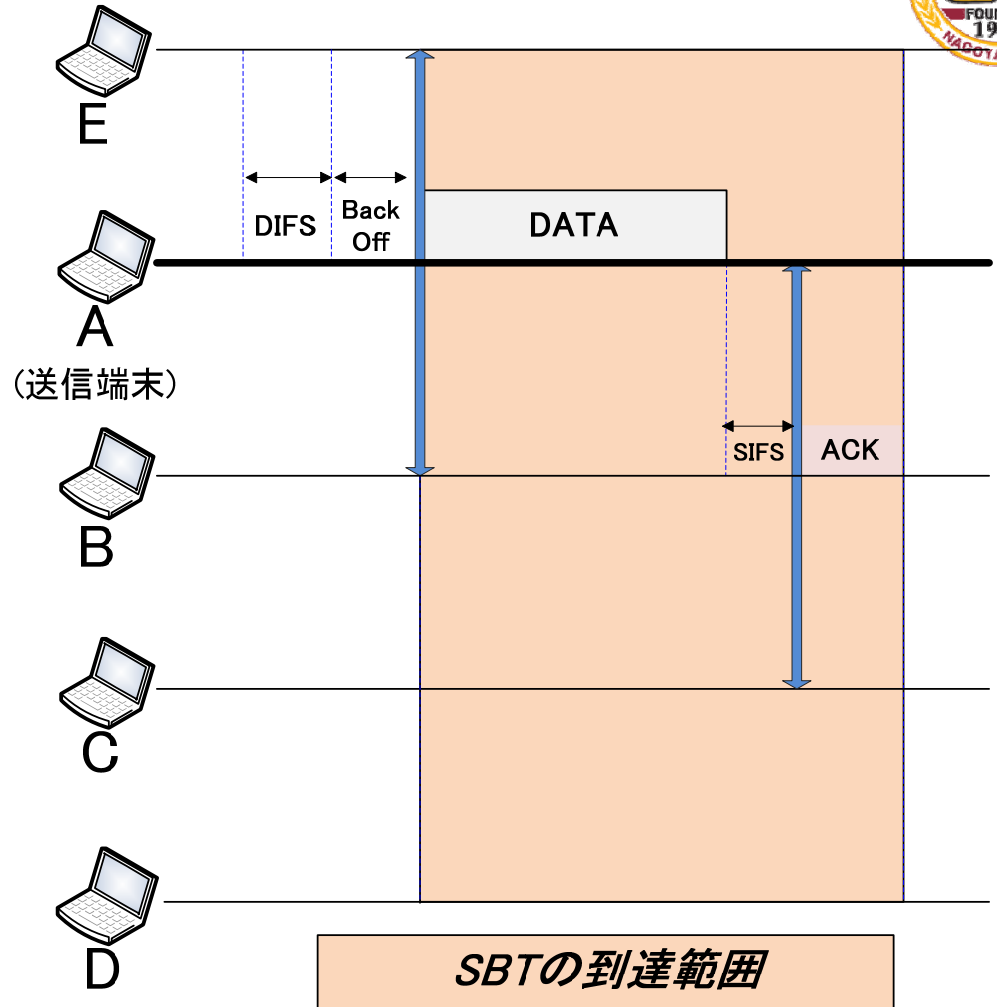
- 電波到達範囲を拡大させたビジートーンを発生させこれにより周辺端末を制御しパケット衝突を防止するシステム
- このシステムで使用するビジートーンをSBT(Strong Busy Tone)とする
- SBTはRTS又はCTSの送信時に発生させ、RTS又はCTSの送信が完了し、SIFS時間経過後に停止させる
- SBTの電波到達範囲
  - RTS送信時は3倍まで拡大
  - CTS送信時は2倍まで拡大



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 (DICOMO2009)シンポジウム論文集, vol.2009, No.1, pp593-597, Jul2009

# 提案方式

- DATA送信と同時にSBT(Strong Busy Tone)と呼ぶ単一周波数の信号を広範囲に送信する
  - ACK終了時までとする
  - 送信範囲は3hop先までとする
- SBTにより周辺端末に送信中であることをいち早く伝える事により衝突を大幅に減らす事ができる
- ▶ SBTにより周辺端末を送信制御することによりRTS/CTSが不要
  - 無駄なシーケンスを減らすことができる
- SBTを発生させている範囲にある端末は送信活動はできない



ユニキャスト通信

SBTが1hop先に届くまでの時間:  $0.3 \mu$  秒

# PLCP

## PLCPプリアンブル、PLCPヘッダ

- ▶ プリアンブル部分: 受信信号の同期を取るのに必要
- ▶ ヘッダ部分: 伝送速度、パケットの長さの情報が記載されており本体のデータ通信速度識別する
- ▶ すべての端末が受信できるように最低速度で送信する
- ▶ RTS/CTS自体はパケットサイズは短いがPLCP部分が長いいためスループット低下の原因になる





# SBTの有効性の予測

- 1hop先の端末を制御するのにかかる時間  
→ SBT:  $0.3\mu\text{s}$     RTS:  $29\mu\text{s}$   
→ 約  $1/\{29/(0.3*3)\}$  倍パケット衝突する確率が大幅に減少すると考えられる  
→ SBTの送信範囲にある端末数をN個とするとさらに  $1/N$  倍確率が減少  
→  $1/32*N$  倍に減少

IEEE802.11g		時間( $\mu\text{s}$ )
DIFS		34
Backoff		20~620
RTS	PLCP	26
	本体	3
SIFS		10
CTS	PLCP	26
	本体	3
DATA	PLCP	26
	本体	228
ACK	PLCP	26
	本体	3

# まとめ

- SBTを用いることにより、アドホックネットワークの「隠れ端末問題」を解決する方法提案した
- 今後は様々な動作シナリオをns-2にて評価していく予定である
- 我々の研究室ではネットワークシミュレータns-2をRTS/CTSと同時にSBTを発生させるよう改造されている



以上ご清聴ありがとうございました





# 補足資料

# 補足資料1



- ▶ DIFS(Distributed Coordination Function Interframe Space)  
キャリア・センスを行う際に, ビジー状態のチャネルから未使用状態に変化したと判断されるまでに必要なチャネルの連続未使用期間
- ▶ SIFS (short interframe space)  
最短のフレーム送信間隔(待ち時間)
- ▶ Backoff時間  
乱数の値に一定時間を掛けることで決める待ち時間  
チャネルが空き状態になった後, 発生させた乱数の数に応じて送信を待機する  
バックオフ時間 = 乱数値 × スロット・タイム
- ▶ NAV (Network Allocation Vector)  
RTS/CTSにはどのくらいの時間無線チャネルを占有するかが書かれている  
各端末はそれに応じてNAV と呼ばれる無線チャネル用のタイマーを設定  
端末はフレームに記載されている期間(NAV)だけ送信を禁止することにより衝突を防止する

# 補足資料2



## ▶ 処理時間一覽

項目		時間( $\mu$ 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

# 補足資料3

## ▶ ソフトウェア無線 (Software-defined radio)

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。

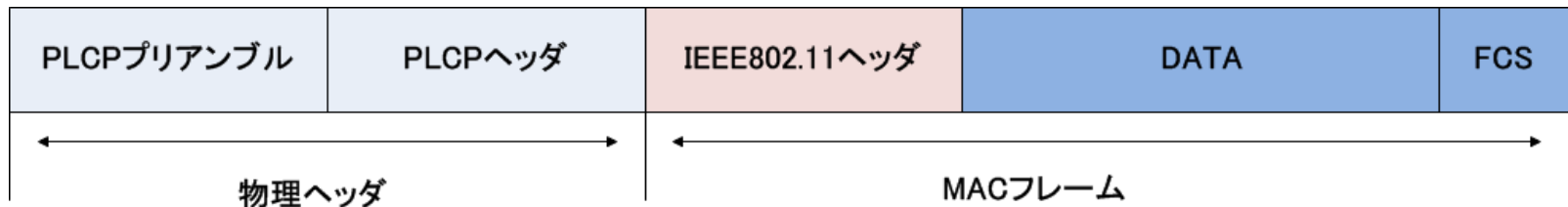
ソフトウェア無線についての研究は、新しいソフトウェアを動作させるだけで、新しい無線通信方式を実現するような無線機器を作り出すことを目標にしている

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

# 補足資料4

## PLCPプリアンブル、PLCPヘッダ

- ▶ プリアンブル部分: 受信信号の同期を取るのに必要
- ▶ ヘッダ部分: 伝送速度、パケットの長さの情報が記載されており本体のデータ通信速度識別する
- ▶ すべての端末が受信できるように最低速度で送信する(電波状況の悪化などの際に低速に切り替える11b,11gでは上位互換性が保証されている)
- ▶ RTS/CTS自体はパケットサイズは短いがPLCP部分が長いいためスループット低下の原因になる
- ▶ FCS: 受信したフレームの完全性を検査するために必要なシーケンス
- ▶ IEEE802.11ヘッダ: フレームコントロールや宛先MACアドレスの情報



# 補足資料5



## IEEE802.11g

