

平成25年度 卒業論文

邦文題目

アドホックネットワークにおいてRTS/CTSを  
不要とするストロングビジートーンの提案

英文題目

**Proposal of Strong Busy Tone that Does Not  
Need RTS/CTS of Ad-hoc Networks**

情報工学科 渡邊研究室

(学籍番号: 100425167)

清水 智彦

提出日: 平成26年2月12日

名城大学理工学部



## 内容要旨

アドホックネットワークにおける通信では、隠れ端末問題によりパケットの衝突が発生する。この問題を解決するために IEEE802.11 では RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) を使用している。しかし、この方式ではパケット衝突を完全に防止することはできない。本論文ではこの問題に対し、SBT (Strong Busy Tone) と呼ぶ制御信号を用いることで、通信トラフィックが増加した場合でも隠れ端末問題を防止し、スループットの低下を防ぐ方式を提案する。また提案した方式についてシミュレーション評価を行い、SBT の有用性について考察する。

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	既存技術とその課題	3
2.1	RTS/CTS方式の課題	3
2.2	PLCPに起因する課題	5
2.3	ビジートーン	5
2.4	ストロングビジートーン	7
2.5	スロットタイムの短縮	7
第3章	提案方式	9
3.1	SBT-Dの概要	9
第4章	評価	11
4.1	通信時間の比較	11
4.2	ns-2によるシミュレーション	12
4.3	シミュレーション結果	14
第5章	まとめ	16
	謝辞	17
	参考文献	18
	研究業績	19

# 第1章 はじめに

ユビキタス社会に向け無線 LAN 技術の普及が急速に進んでいる。無線 LAN では有線のような配線工事が不要であり、端末の移動が可能であることから、容易に LAN の構築が可能である。無線 LAN 技術の中でも、端末同士で直接通信を行うことができ、中継用の機器が不要なアドホックネットワークが注目されている。しかし、アドホックネットワークは隠れ端末問題による影響が大きく、トラフィックが増加するとスループットの低下が顕著に表れる。

隠れ端末問題に対して IEEE802.11 では、RTS( Request to Send )および CTS( Clear to Send )による通信方式を採用している。RTS/CTS は、送信を開始する際に周辺端末を仮想的なキャリア検出状態 ( Network allocation Vector ) に移行させ、一定時間通信を禁止するにより衝突を防止する方式である。しかし、この方式ではトラフィックが増加した際、RTS/CTS 部分が衝突し、スループットを低下させる要因となっている。これは、RTS、CTS がパケットであるため、送信に多くの時間を要し、RTS 同士の衝突が頻発する。また、RTS、CTS が衝突することにより、さらし端末問題を併発する場合がある。

これらの課題に対し、ビジートーンを用いることで、周辺の端末を制御し、スループットを改善する手法が提案されている [2]~[4]。ビジートーンとは、単一の周波数の電波であり、送信端末が通信中であることを周辺端末に伝える制御信号である。情報を含まないため、周辺の端末を瞬時に制御することができる。[2]~[4] では RTS/CTS にビジートーンを適用することで隠れ端末問題を解決する方式が提案されている。また、通信時に発生するノイズの影響を防止する方式 [5]~[7] は、ノイズの発生する範囲に対してビジートーンを送信することにより、ノイズによる影響を防止することが可能となる。

しかし、既存のビジートーン技術では遠隔の端末が同時に通信を開始し、RTS 同士が衝突してしまう状況を回避することができない。

本研究ではこれまで、ストロングビジートーン ( 以下 : SBT ) と呼ぶビジートーンの電波到達範囲を拡大した制御信号を用い、周辺端末を広範囲にわたって制御する方式を提案してきた。SBT を導入することで、遠隔の端末を瞬時に制御することが可能となり、隠れ端末問題及びさらし端末問題を同時に解決することができる。SBT を用いた方式として SBT-RC[8] が提案されている。SBT-RC では、RTS/CTS と同時に SBT を送信し、RTS 同士の衝突を劇的に減らすことができる。

また、SBT を導入することにより CSMA/CA におけるスロットタイムの値を短縮することが可能となり、スループットを向上できる。しかし SBT-RC では RTS/CTS のオーバーヘッド

ドはそのまま残されていた。

本論文では SBT を用いた新しい方式として SBT-D を提案する。SBT-D では RTS/CTS を廃止し、DATA とともに SBT を送信する。しかし、SBT は広範囲にわたり周辺端末の送信を抑制するため、システムとしてスループットを下げる要因にもなりえる。そこで、ns-2 (Network Simulator2) を用いてシミュレーション評価を行い、スループットおよび衝突数について、RTS/CTS、SBT-RC と比較を行った。

以下、2 章では既存方式とその課題について、3 章では提案方式についてそれぞれ説明する。4 章では評価と考察を行い、5 章でまとめを行う。

## 第2章 既存技術とその課題

### 2.1 RTS/CTS 方式の課題

アドホック通信では、隠れ端末問題によるスループットの低下が問題となっている。隠れ端末とは、互いに電波の届かない位置にある端末同士のことである。隠れ端末問題とは、複数の端末が隠れ端末の関係にある場合に両者が同じ端末に送信を行うと、受信端末において DATA 同士の衝突が起こり、スループットが低下してしまう問題である。この問題を解決するために IEEE802.11 では RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) が採用されている。RTS/CTS は、データパケットの送信に先立ち、送信予約を行う方式である。

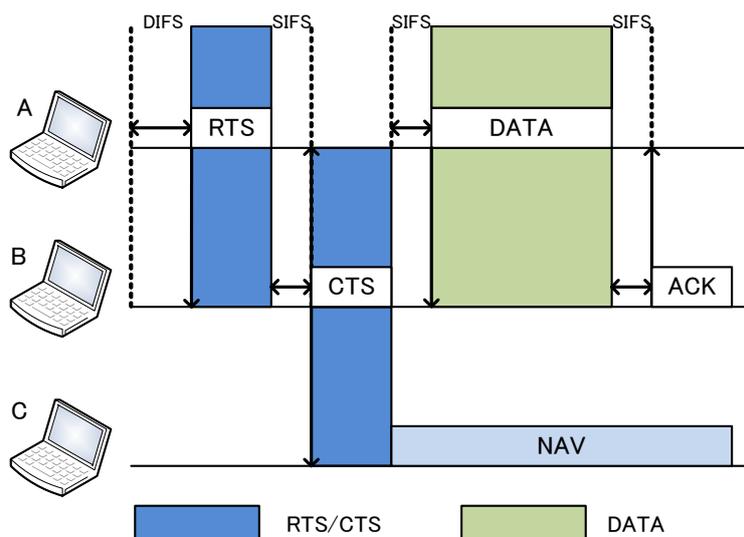


図 2.1 RTS/CTS の動作

RTS/CTS の動作を図 2.1 に示す。図 2.1 では端末 A が端末 B に対して送信を行っている様子を示している。端末 A, B, C, D はそれぞれ等間隔に配置されており、電波到達範囲は隣接する端末までとする。端末 A は送信に先立ち、RTS を送信する。これを受け取った端末 B は受信可能であることを伝えるため CTS を送信する。CTS を受け取った端末 A は、送信が可能であるとして DATA の送信を開始する。このとき RTS, CTS を傍受した周辺の端末、図 2.1 の端末 C では NAV (Network Allocation Vector) 状態となり、一定時間送信を行うことができない。このような制御により端末 A, B 間の通信に衝突する可能性のある通信の開始を抑制することができる。

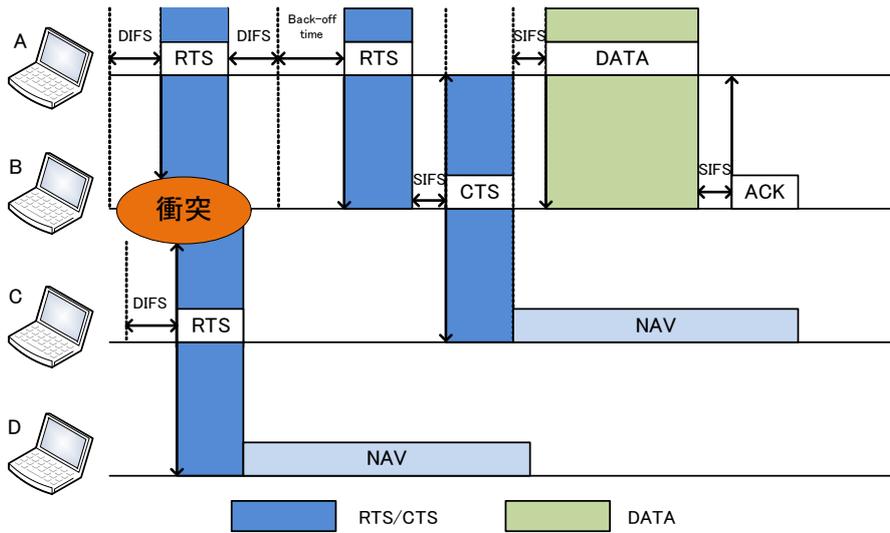


図 2.2 RTS/CTS の課題 (1)

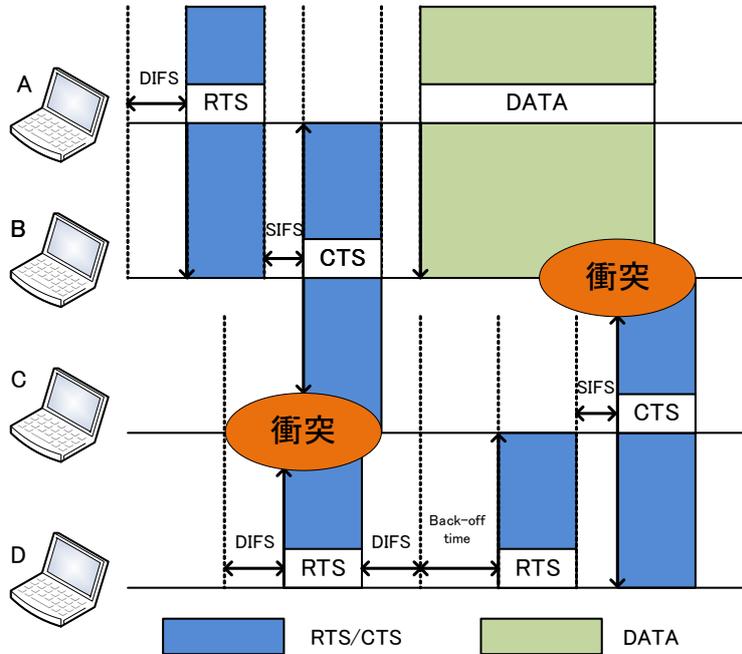


図 2.3 RTS/CTS の課題 (2)

しかし RTS/CTS では、トラフィックが増加するにつれて RTS 同士の衝突やデータパケットと CTS の衝突が発生することが避けられない。RTS/CTS の課題を図 2.2, 図 2.3 に示す。図 2.2 では端末 A および C が端末 B に対して送信を開始している様子を示す。端末 A が端末 B に対して RTS を送信中に、端末 C も端末 B に対して RTS の送信を行い衝突している。これは RTS/CTS がパケット交換方式であるため、周辺端末の制御に多くの時間を要することが原因である。

図 2.3 では端末 A から端末 B に、その後端末 D が端末 C に送信を行っている様子を示す。

端末 A からの RTS を受け取った端末 B は CTS を送信する。端末 B からの CTS が端末 C において端末 D からの RTS と衝突した場合、端末 C は NAV 状態に移行することができない。図中では端末 D が再送した RTS に対して端末 C は CTS を送信してしまい、DATA と CTS が衝突する。

## 2.2 PLCP に起因する課題

RTS, CTS のやりとりにかかる時間は非常に大きい。その要因として PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) のオーバーヘッドが挙げられる。PLCP は無線でパケットを送信する際に必須となる物理ヘッダで、PLCP プリアンブルと PLCP ヘッダから構成されている。PLCP プリアンブル部分には受信装置が同期を確立するために必要な情報が記載されており、PLCP ヘッダ部分には MAC フレームの速度に関わる情報が含まれている。

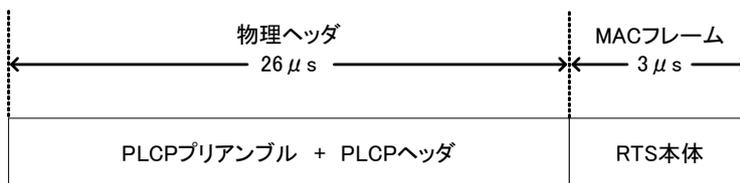


図 2.4 RTS のフォーマット

各無線 LAN 規格の MAC フレーム部分の通信最大速度は、IEEE802.11a において 54Mbps、IEEE802.11g において 54Mbps、IEEE802.11b においては 11Mbps となっている。しかし、PLCP 部分はすべての端末が受信できるように通信速度は 2Mbps と定義されている。そのためサイズの大きい MAC フレーム部分よりも PLCP 部分の方がはるかに長い時間を要する場合がある。また PLCP は DATA だけでなく RTS, CTS, ACK などのパケットにも付加される。図 2.4 に RTS のフォーマットを示す。RTS, CTS, ACK はいずれも MAC フレーム本体部分が 3 $\mu$ s 程度であるのに対し、PLCP 部分に 26 $\mu$ s もの時間を要する。RTS, CTS の MAC フレーム部分は短く定義されているものの、パケット全体の送信時間は非常に長くなっている。そのため RTS/CTS は、パケットによる送信予約のために長い時間を要するため、RTS 同士が衝突しやすい方式であるといえる。

## 2.3 ビジートーン

ビジートーンを用いて周辺端末を制御することにより、スループットを改善する技術が提案されている。[5]~[7] の方式は、通信時に発生する干渉の範囲に合わせてビジートーンの送信範囲を調節することでノイズの影響を防止することが可能となる。無線通信は、通信時にノイズが発生し、このノイズは通信距離に比例して拡大する。端末は周辺にキャリアが確

認められないため通信を開始するが、ノイズが発生していると干渉してしまい通信にエラーが発生する。そこで、通信開始時にノイズの発生する最大の範囲に対してビジートーンを送信することにより、周辺の端末を抑制する。その後、単位時間ごとにエラーが発生しなければ範囲を狭め、発生すれば範囲を拡大することにより、ノイズによる影響を防止することができる。

またビジートーンは、RTS/CTS とは異なり瞬時に周辺端末を制御することができる。端末を瞬時に制御できることから、RTS/CTS における図 2.3 のような衝突を防止することが可能である。図 2.5 に RTS/CTS にビジートーンを適用した方式を示す。この方式では、送信端末が RTS を送信している間と受信端末が CTS を送信開始してから DATA の送信に対して ACK を返すまで、同時にビジートーンを送信し続ける。ビジートーンを検知している端末は、送信を開始しない。図 2.5 では端末 A から端末 B に対して送信を行っている様子である。図 2.3 と同様に端末 C において、端末 B からの CTS と端末 D からの RTS が衝突している。端末 C は端末 B からのビジートーンを検知しているため、端末 D から RTS を受信しても、それに対して CTS を送信することはせず、衝突を防止することができる。既存のビジートーンでは図 2.5 のように CTS と DATA の衝突を防止することは可能であるが、図 2.2 のように RTS 同士の衝突を防止することはできない。

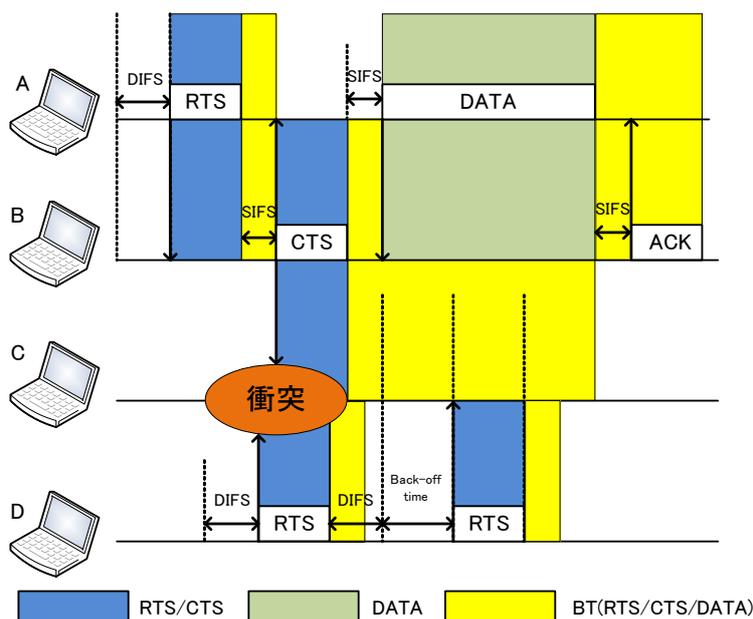


図 2.5 ビジートーンの動作

## 2.4 ストロングビジートーン

SBT と呼ぶビジートーンの電波到達範囲を拡大した制御信号を用い、周辺端末を広範囲にわたって制御する SBT-RC と呼ぶ方法を提案されている [8]。SBT-RC では、RTS、CTS と同時に SBT を送信する。既存のビジートーン技術では遠隔端末まで制御することができず、RTS 同士の衝突を防止することができなかった。これに対して、SBT-RC では SBT を適用することにより、遠隔の端末まで瞬時に制御することが可能となり、RTS 同士の衝突を防止することができる。図 2.6 に SBT-RC の動作を示す。端末 A が端末 B に送信を行う様子を示しており、端末 A は RTS と同時に SBT を 3 ホップ先の端末まで送信する。端末 A からの RTS を受け取った端末 B は CTS と同時に SBT を 2 ホップ先の端末まで送信する。ビジートーン同様、SBT を受け取った端末は通信を開始することができない。すでに通信を開始している場合は SBT を検知しても通信を継続する。これにより端末 A、B 間の通信に対して、衝突する可能性のある通信の開始を抑制することができる。

SBT-RC は、ns-2 によるシミュレーションにおいて RTS/CTS に比べ、劇的に衝突数を減らすことができ、スループットを向上できることがわかっている。

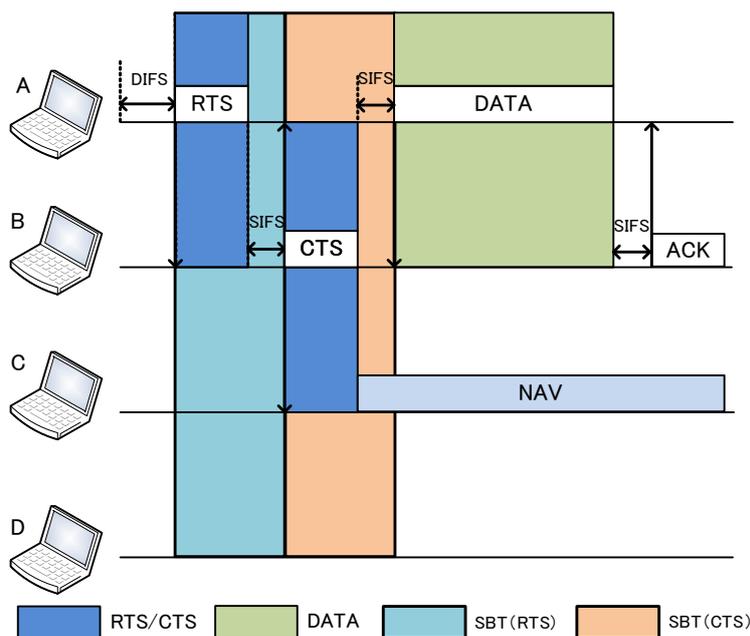


図 2.6 SBT-RC の動作

## 2.5 スロットタイムの短縮

SBT を導入することによりスロットタイム（以下： $t$ ）の短縮が可能になる。 $t$  を短縮することで CDMA/CA の待機時間を減らし、スループットを向上することが可能である。

CDMA/CA における再送時のバックオフ時間は以下の式によって決定される。

$$Backoff\ Time = t \times (CW) \quad (2.1)$$

ここで  $t$  はスロットタイム,  $0 \sim CW$  の乱数,  $CW$  はコンテンションウィンドウサイズである。  $CW$  は衝突回数に応じて, 15, 31, 63, 127, のように変化し, 最大値は 1023 である。  $t$  の値はパケット情報や通信の制御を行う際に必要な時間の合計で 802.11g では  $9\mu s$  と定義されている。 802.11g の場合,  $t$  の値  $9\mu s$  は以下のように設定されている。

$$t = CCATime + AirPropagation + RxTxTurnaroundTime + MACProcessingDelay \quad (2.2)$$

- CCATime : 端末の状態判定時間 ( $4\mu s$ )
- AirPropagation : 伝搬時間 ( $1\mu s$ )
- RxTxTurnaroundTime : 送受信状態切り替え時間 ( $2\mu s$ )
- MACProcessingDelay : MAC 処理時間 ( $2\mu s$ )

これらの値は, 送信される情報がパケットであることが前提で決定されている。これらの値に対して SBT を適用することにより, 不要な項目を省くことができる。CCATime は, 端末が送信状態か受信状態かを判断する時間である。SBT を用いることで送信端末の周辺の端末では送信が抑制されることから, 送信端末以外は受信端末であると判断できるため, この値は省略することができる。AirPropagationTime は, 送信されるデータの伝搬時間である。通信を行う上で必須であり, 省略することはできない。提案方式における伝搬時間は, 端末間距離を 100m とするとその 2 倍の 200m まで送信範囲を拡大するため, 到達までに約  $0.6\mu s$  がかかる。そのため AirPropagationTime は余裕をもって  $1\mu s$  とする。RxTxTurnaroundTime は, 送受信状態をハード的に切り替えるために必要となる時間である。送信や受信を行う際に状態を切り替えることは必須であるため省略することはできない。MACProcessingDelay は, MAC の処理時間である。SBT を用いた場合, SBT は情報を一切含まない電波であることから, MAC の処理時間は非常に小さいものとなり, 省略することができる。

以上のことから, SBT を用いた制御方式においては SBT の伝搬時間 (AirPropagation) と端末の送受信を切り替えるための時間 (RxTxTurnaroundTime) のみを考慮すればよい。従って, 提案方式における  $t$  の値は  $3\mu s$  まで短縮することが可能である。

## 第3章 提案方式

本論文では、SBTによる制御を行うことにより、オーバーヘッドとなっていたRTS、CTSを廃止するSBT-Dを提案する。

### 3.1 SBT-Dの概要

SBT-Dでは、RTS、CTSのシーケンスを行わず、DATAとともにSBTを送信する。SBTは、DATAを送信しACKを受け取り終わるまで送信する。SBTに関する制約はSBT-RCと同様にSBTを検知した端末は送信を開始せず、すでに通信を開始している場合はSBTを検知しても通信を継続する。図3.1にSBT-Dの動作を示す。図3.1では端末AからBに通信を行う様子を示している。端末Aは送信に先立ち待機時間の後、DATAおよびSBTの送信を開始する。SBTの送信範囲は2ホップ先までとする。2ホップ先までの周辺端末の送信を抑制することで、送受信に影響を与える通信の開始を防止することができる。端末BはDATAを受信完了後、受信完了のACKを送信する。

SBTによる制御はRTS/CTSとは異なり、DATA送信中に2ホップ先の端末までSBTを送信し続けるため、RTS/CTSによる制御に依存せず、図2.3のような課題を完全に解決することができる。また、SBTはRTS/CTSのようにパケットではないため、検出した端末を瞬時に制御できる。そのため図2.2のようなRTS同士の衝突を軽減することができる。SBTを導入することで、SBT-RCと同様に  $t$  の短縮が可能となるため、RTS/CTSのシーケンスを省くことに加え、さらなるスループットの向上が期待できる。

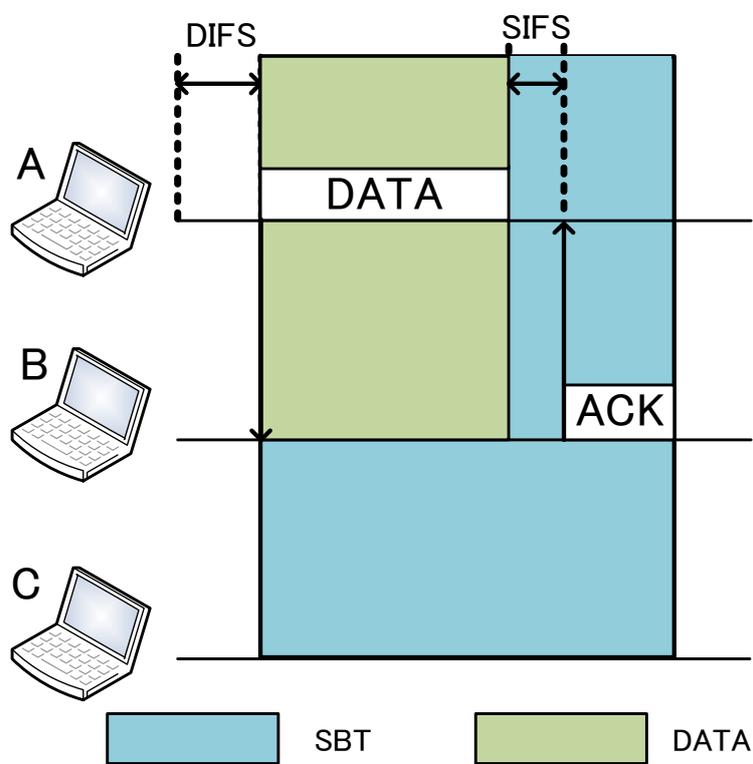


図 3.1 SBT-D の動作

## 第4章 評価

SBT を適用すると、衝突を防止することはできるが広範囲の端末制御するため、スループットを低下させる要因にもなりうる。本章ではまず SBT-D と既存方式の通信時間を比較する。また、ns-2 によりシミュレーションを行った結果を示し、比較、考察を行う。

### 4.1 通信時間の比較

表 4.1 各シーケンスに要する時間の比較

(単位 : $\mu s$ )	RTS/CTS	SBT-RC( $3\mu s$ )	SBT-D( $3\mu s$ )
Back off	135~9207	45~3069	45~3069
DIFS	34	22	22
RTS	29	29	-
SIFS	16	16	-
CTS	29	29	-
SIFS	16	16	-
DATA(MAX 長)	227	227	227
SIFS	16	16	16
ACK	29	29	29
計	531	429	339

表 4.1 に各方式の通信にかかる時間を示す。表 4.1 に示す時間は実際にシミュレーションに利用した時間であり、IEEE802.11g を基準としている。本来、802.11g では SIFS の値は  $10\mu s$  であるが、混在環境を想定し、 $16\mu s$  とした。表の最下行の値は Backoff Time を最小とした場合の一通信あたりにかかる時間である。

SBT-D では RTS, CTS を省いているため、RTS/CTS, SBT-RC に比べ、RTS, CTS とそれぞれの送信に必要な待機時間を省くことができる。SBT-RC と比べて短縮できるシーケンスは、RTS, CTS, SIFS (2 回) である。これにより合計  $90\mu s$  の時間を短縮できる。

$t$  の値を短縮することにより、DIFS および Backoff Time の時間を短縮することができ

る．DIFS の値は式 4.1 のように定義されている．

$$DIFS = SIFS + 2 \times t \quad (4.1)$$

そのため，SBT-D では DIFS の値を RTS/CTS に比べ， $34\mu\text{s}$  から  $12\mu\text{s}$  短縮することができる．Backoff Time の値は式 2.1 のように定義されている．そのため，SBT-D では Backoff Time を RTS/CTS に比べ，3 分の 1 に短縮することができる．

## 4.2 ns-2 によるシミュレーション

SBT-D の効果を確認するため，ns-2 を用いて RTS/CTS，SBT-RC との比較を行った．SBT を適用した方式については  $t$  の短縮した場合を含む，以下の 5 通りの Case について比較を行った．

1. Case1: RTS/CTS
2. Case2: SBT-RC( $9\mu\text{s}$ )
3. Case3: SBT-RC( $3\mu\text{s}$ )
4. Case4: SBT-D( $9\mu\text{s}$ )
5. Case5: SBT-D( $3\mu\text{s}$ )

図 4.1 にシミュレーション環境を表 4.2，表 4.3，表 4.4 にシミュレーションのパラメータを示す．シミュレーション環境は図 4.1 に示すように，37 台の端末を 90m 間隔で均等配置し，送信端末を 12，宛先端末を 32 とし TCP 通信を行い，TCP 通信に対する背景負荷として，端末 12 と端末 32 を除く端末からランダムに送信端末，宛先端末を選択し，UDP 通信を発生させた．シミュレーション開始から 20 秒後に TCP 通信を開始した．背景負荷に対する TCP 通信のスループットを測定するため，UDP 通信を 10 秒ごとに 2 対ずつ，60 対まで段階的に背景負荷を増加させた．各端末が 1 ホップ先の端末と通信できるように，電波到達範囲は 100m とした．

SBT の送信範囲は SBT-RC の場合，RTS 送信時には 300m，CTS 送信時には 200m とした．SBT-D の場合の SBT の送信範囲は 200m とした．

測定用の TCP 通信は FTP 通信とし，送信するパケットサイズは 1000Byte とした．背景負荷の UDP 通信は VoIP (Voice over Internet Protocol) を想定し，パケットサイズは 200Byte の CBR (Constant Bit Rate) で，パケット発生率は 0.064Mbps とした．

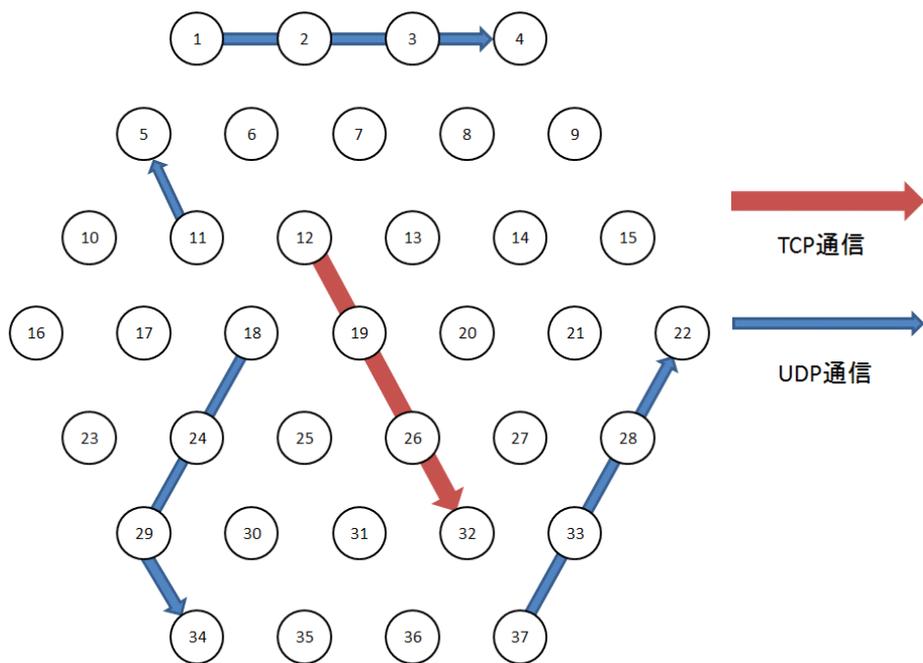


図 4.1 シミュレーション環境

表 4.2 シミュレーションのパラメータ

試行回数	40 回
端末数	37 台
端末間距離	90(m)
電波到達範囲	100(m)
計測時間	330(s)
アクセス方式	802.11g
無線帯域	54(Mbps)
フィールド	1000m × 1000m
伝搬方式	Two Ray Ground
ルーティングプロトコル	AODV

表 4.3 スループット測定端末のパラメータ

スループット測定端末	TCP
TCP 通信数	1 対
通信タイプ	FTP
パケットサイズ	1000 ( Byte )

表 4.4 背景負荷端末のパラメータ

背景負荷端末	UDP
UDP 通信数	0~60 対
通信発生個所	random
通信タイプ	CBR
パケットサイズ	200 ( Byte )
パケット発生率	0.0064 ( Mbps )

### 4.3 シミュレーション結果

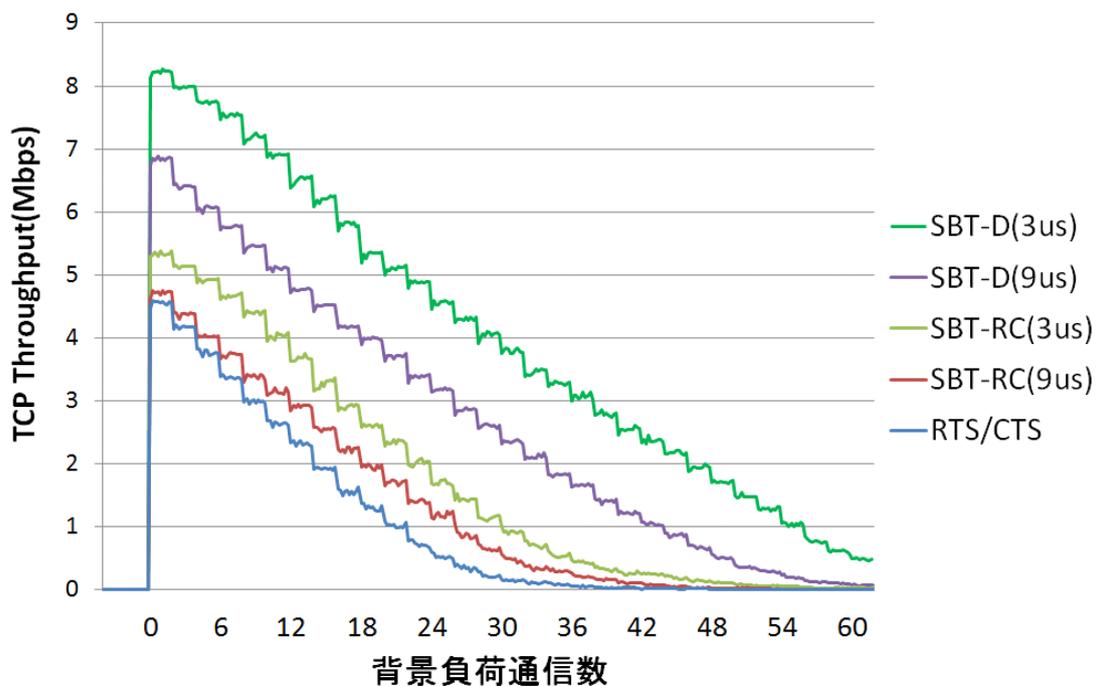


図 4.2 スループットの比較

測定結果を安定させるため、40回の試行を行い平均したものを結果とした。図 4.2 に TCP 通信のスループット測定結果を示す。図 4.3 にシミュレーション全体における背景負荷通信数に対する衝突数を示す。図 4.2 の横軸は背景負荷通信数、縦軸は測定端末間の TCP スループットである。図 4.2 から背景負荷通信数が増えるごとに段階的にスループットが減少していることがわかる。また SBT を適用したすべての方式において、既存の RTS/CTS よりもスループットが向上した結果となった。各方式の中で SBT-D において  $t$  の値を短縮した方式のスループットが最も高い結果となった。スループットが向上した要因として、SBT の衝

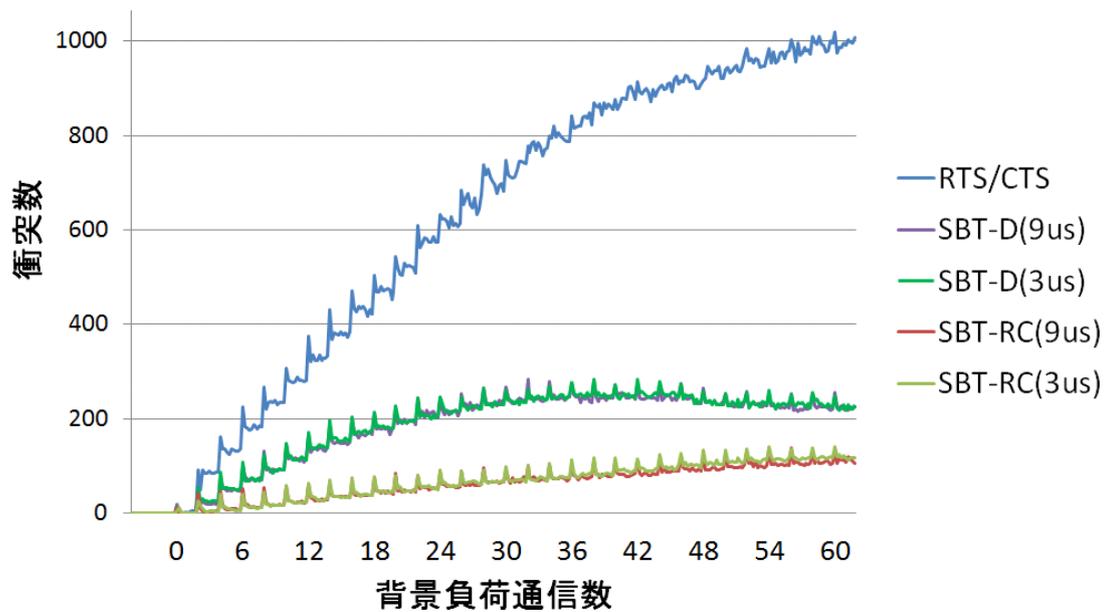


図 4.3 衝突数の比較

突防止効果が高いことや  $t$  の短縮, RTS, CTS の省略による通信シーケンスの短縮などが挙げられる。

図 4.3 の横軸は背景負荷端末数, 縦軸は 1 秒あたりの衝突数を示す。衝突数の測定結果においても, SBT を適用したすべての方式において RTS/CTS よりも衝突を減少させる効果が高いことがわかる。RTS/CTS において, 背景負荷通信数が増えるごとに衝突数も増加し続けているが, SBT を適用した方式では背景負荷通信数がある程度以降は衝突数ほぼ横ばいの値となった。これは SBT により不用意な送信が抑制された影響であると考えられ, SBT による隠れ端末問題の防止効果が高いといえる。SBT-D と SBT-RC を比較すると, SBT-D の方が衝突数が多くなっている。これは SBT-D の通信時間が短縮されており, 単位時間当たりの通信数が増加し, 相対的に衝突の機会が増えたためである。

$t$  の値を短縮したことによる衝突数について考察する。SBT-D, SBT-RC において  $t$  の値を  $9\mu s$  から  $3\mu s$  に短縮すると通信数が増加し, スループットが向上する。これに対して衝突数はほとんど増加していない。これは通信数の増加に対し, SBT による制御能力が高いためである。

## 第5章 まとめ

本稿ではアドホックネットワークにおけるRTS/CTS方式の課題を解決するために、SBTを適用することでRTS、CTSを廃止し、大幅にスループットを向上する方式を提案した。SBTにより周辺端末による不用意な送信を抑制することで、隠れ端末問題を防止することが可能である。また、SBTによる制御により  $t$  の値の最適化を行い、待機時間を短縮することでより効率の良い通信を行うことが可能となる。各方式についてシミュレーションを行い、提案方式の有用性を確認した。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多大な御指導とご教授を賜りました。名城大学理工学研究科 渡邊晃教授には心から感謝致します。最後に、本研究を遂行するにあたり、数々の有益な御助言や御討論を賜りました。渡邊研究室及び鈴木研究室の諸氏に感謝致します。

## 参考文献

- [1] 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)
- [2] 萬代雅希, 笹瀬巖: 無線アドホックネットワークにおけるビジートーン信号を用いたメディアアクセス制御プロトコルの特性解析, 電子情報通信学会技術研究報告, CS, 通信方式 101(54), 7-12, 2001-05-11
- [3] 藤原敏秀, 関谷大雄, 萬代雅希, 呂建明, 谷萩隆嗣: 送信範囲の異なる端末で構成される無線アドホックネットワークにおけるビジートーンを使用した MAC プロトコル, 情報処理学会論文誌 47(9), 2815-2829, 2006-09-15
- [4] Abdullah, A.A.: Enhanced Busy-Tone-Assisted MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks, Vehicular Technology Conference Fall(VTC 2010-Fall), 2010 IEEE 72nd
- [5] 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)
- [6] Supeng Leng, Liren Zhang, Yifan Chen: IEEE 802.11 MAC Protocol Enhanced by Busy Tones, Communications, 2005. ICC 2005. 2005 IEEE International Conference on
- [7] Ke Liu, Supeng Leng, Huirong Fu, Longjiang Li: A Novel Dual Busy Tone Aided MAC Protocol for Multi-hop Wireless Networks, Dependable, Autonomic and Secure Computing, 2009. DASC ' 09. Eighth IEEE International Conference on
- [8] 伊藤智洋, 旭健作, 鈴木秀和, 渡邊晃: アドホックネットワークの性能を向上させるストロングビジートーン導入の検討と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文集, Vol.2013, No.1, pp.1754-1760, Jul.2013.

# 研究業績

## 学術論文

なし

## 研究会・大会等

1. 清水智彦，伊藤智洋，旭健作，鈴木秀和，渡邊晃，“アドホックネットワークにおけるスループットを向上するストロングビジトーンの提案”，平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集，Sep.2013 .