

平成27年度 卒業論文

和文題目

SBT-DにおけるSBTの到達範囲によるスループットの比較

英文題目

Comparison of throughput by reaching range of Strong Busy Tone in SBT-D

情報工学科 渡邊研究室
(学籍番号: 120430017)

大須賀 友記

提出日: 平成28年2月10日

名城大学理工学部

概要

アドホックネットワークでは、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。隠れ端末問題とは、2つの端末が他の端末と通信をする際にお互いの電波が届かない位置にあり、同時に通信を開始してしまうことによりパケットが衝突してしまう問題である。IEEE802.11では、隠れ端末問題の解決策としてRTS(Request to Send)/CTS(Clear to Send)方式が採用されている。しかし、制御に所定の時間がかかってしまうため、隠れ端末問題を完全に解消できない。

そこで、我々の研究室では、ストロングビジートーン (Strong Busy Tone:以下 SBT) と呼ぶ特殊な制御信号を用いることにより、隠れ端末問題を解決する新たな方式を提案している。本研究ではシミュレーションにより SBT の到達範囲の最適値を求めた。

目次

第 1 章 序論	1
第 2 章 RTS/CTS 方式	2
2.1 RTS/CTS 方式	2
2.1.1 RTS/CTS 方式	2
2.2 RTS/CTS 方式の課題	3
第 3 章 SBT-D	5
3.1 ビジートーンとストログビジートーン	5
3.2 SBT-D	5
第 4 章 シミュレーション評価と考察	7
4.1 ns-2 によるシミュレーション	7
4.2 シミュレーション環境	7
4.3 シミュレーション結果	9
4.4 考察	10
第 5 章 結論	11
謝辞	13
参考文献	15
研究業績	17
付録 A グラフ	19

第1章 序論

無線 LAN では有線に必要な配線工事が不要であり、端末の移動が自由であるため、容易に LAN の構築が可能である。無線 LAN の技術の中でも端末同士の直接通信が可能であり、中継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では隠れ端末問題の影響が大きく、トラフィックが増加していくとスループットが著しく低下する。隠れ端末問題とは、2つの端末が他の端末と通信する際にお互いの電波の届かない位置にあり、同時に通信を開始することにより受信端末において DATA パケットが衝突し、スループットが低下する問題である。

隠れ端末問題に対して、IEEE 802.11 では、RTS/CTS(Request to send/Clear to send) 方式が採用されている。RTS/CTS 方式では、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: 以下 NAV 状態) に移行させて、一定時間通信を禁止することにより衝突を防止している。しかし、この方式ではトラフィックが増加した際に RTS/CTS 部分の衝突が発生し、スループット低下の要因となっている。これは、RTS、CTS がパケットであるため、送信の際に一定の時間を要するためであり、RTS 同士の衝突や CTS と DATA パケットの衝突が頻発する。

これらの問題に対し、ビジートーンを用いることで、周辺端末を制御し、スループットを改善する手法が提案されている [2][3]。ビジートーンとは、単一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。ビジートーンは情報をもたないため、周辺端末を瞬時に制御することができる。[2][3] では、RTS/CTS 方式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法が提案されている。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 同士が衝突する課題を解消できない。

本研究室ではこれまで、SBT と呼ぶビジートーンの到達範囲を拡大した制御信号を用いることにより、周辺端末を広範囲にわたり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。また、SBT を用いることにより CSMA/CA におけるスロットタイムを短縮することが可能であり、さらなるスループットの向上につながる。SBT を DATA パケットに付随して送信させる方式を SBT-D(Strong Busy Tone with DATA:以下 SBT-D) と呼ぶ。SBT-D は広範囲にわたり周辺端末の送信を瞬時に抑制するため、RTS/CTS の代替機能を持つため、RTS/CTS が不要になるという利点がある。

本論文では SBT-D における SBT の到達範囲の最適値を ns-2(Network Simulator2) を用いてシミュレーション評価を行い、到達範囲が DATA パケットの電波塔たち範囲と比べ、1 倍時、2 倍時、3 倍時、5 倍時の比較を行った。また、SBT-D の有用性を示すため、あらためて RTS/CTS 方式とのスループットの比較も行った。

本論文では、2 章で既存技術について、3 章では SBT-D について説明する。4 章ではシミュレーション評価と考察を行い、5 章でまとめを行う。

第2章 RTS/CTS方式

2.1 RTS/CTS方式

2.1.1 RTS/CTS方式

隠れ端末問題の解決策として IEEE802.11 では RTS/CTS 方式が採用されている。RTS/CTS は DATA パケットの送信に先立ち、送信予約をする方式である。RTS/CTS 方式の動作を図 1 に示す。図 1 では、端末 A が端

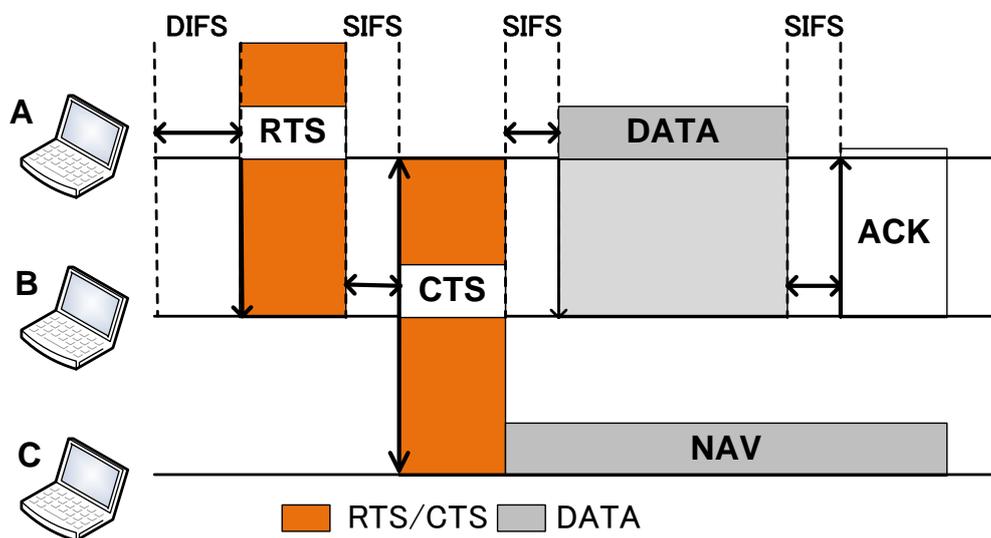


図 1 RTS/CTS 方式の動作

末 B に対して送信を行う様子を示している。端末 A, B, C は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。図 1 では端末 A と端末 C は隠れ端末の関係にある。

端末 A は送信に先立ち RTS を受信端末 B に送信する。RTS を受信した端末 B は受信可能状態であることを伝えるために CTS を返信する。RTS には DATA パケットの長さの情報が含まれており、CTS にその情報を付加し DATA パケットの送受信が完了するまでの間 CTS を受信した端末を NAV 状態にする。NAV 状態となった端末は新たな通信を開始することができない。図 1 では端末 C は端末 B から CTS を受信し、NAV 状態となっている。端末 C は NAV 状態の間、通信ができないため、パケットの衝突を回避できる。

2.2 RTS/CTS 方式の課題

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 CTS と DATA パケットの衝突が発生し、スループットが低下する。RTS/CTS 方式の課題を図 2, 及び図 3 に示す。

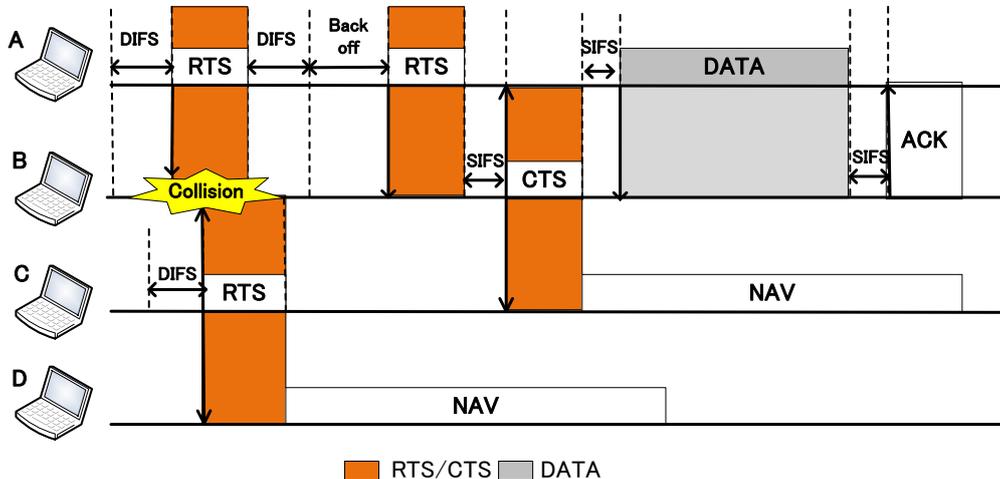


図 2 RTS/CTS の課題 1

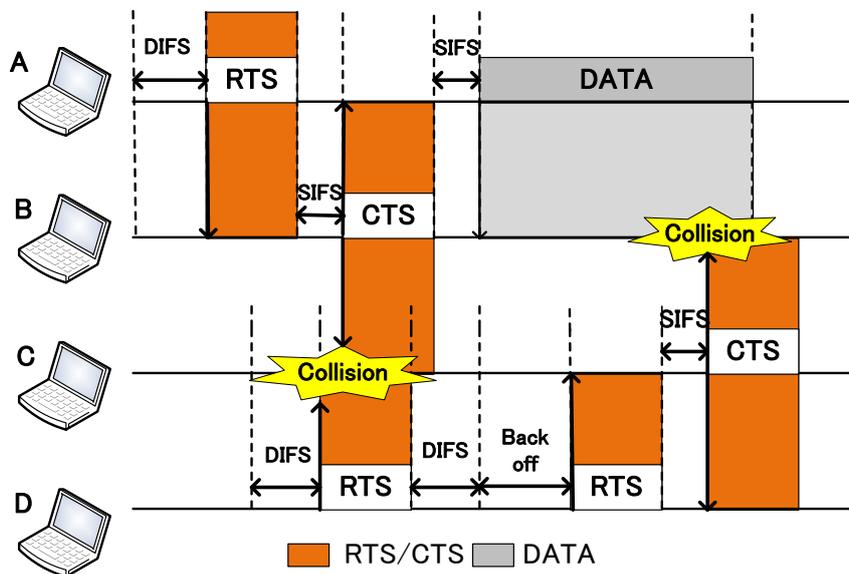


図 3 RTS/CTS の課題 2

図 2 は、端末 A 及び端末 C が端末 B に対して送信を行う様子である。端末 A が端末 B に対して RTS を送信中に端末 C が端末 B に対して RTS の送信を行ったため、端末 B で RTS が衝突している。このような衝突が発生する原因は、RTS/CTS がパケットであるため周辺の制御に一定の時間を要するからである。

図 3 は、端末 A から端末 B に、RTS 送信後、端末 A から 3 ホップ先にある端末 D が端末 C に送信を行っ

ている様子である。端末 B は端末 A からの RTS を受信後、CTS を周辺端末に送信する。端末 B からの CTS を受信する端末 C では端末 D から RTS を受信している。そのため端末 C で端末 B からの CTS と端末 D からの RTS が衝突する。このような衝突が発生すると端末 C は NAV 状態に移行できない。図中では、端末 D が再度 RTS を送信し、その応答として端末 C が CTS を周辺端末に送信したため、端末 B で端末 A からの DATA パケットと端末 C からの CTS が衝突する。この衝突は DATA パケットの再送を行う必要があり、大幅にスループットが低下する要因となる。

また、RTS/CTS 方式においてスループットの向上が妨げられている大きな要因は再送に伴うオーバーヘッドが大きいことである。

第3章 SBT-D

3.1 ビジートーンとストログビジートーン

ビジートーン (以下 BT) とは、情報を持たない単一周波数の電波であり、送信する端末が送信する端末が通信中であることを周辺端末に伝えることができる技術として知られている。BT は帯域が狭いため、送信電力が非常に小さいという特徴がある。BT は瞬時に端末を制御することが可能である。

SBT とは、BT の電波到達範囲を大きくし、より広い範囲に渡って送信を抑制する本研究室独自の制御信号である。SBT を用いることで周辺端末を広範囲に渡って瞬時に制御できるため、隠れ端末問題によるパケット衝突を解消できる。

3.2 SBT-D

SBT-D は、DATA パケットと同時に SBT を送信する方式である。SBT は受信端末から ACK が返るまで送信される。SBT を受信した端末は新たに通信を開始できない。ただし、すでに通信を開始している場合は SBT を受信しても通信を継続する。SBT-D の動作を図 4 に示す。図 4 では端末 A が端末 B に対して通信を行う様子を示している。端末 A は DATA パケットに付随して SBT を端末 B に送信する。端末 A が端末 B に対して通信を開始してから、端末 B が ACK を返すまでの間 SBT が送信し続けられるため、端末 A と隠れ端末の関係にある端末 C は送信を開始できずパケットの衝突は発生しない。

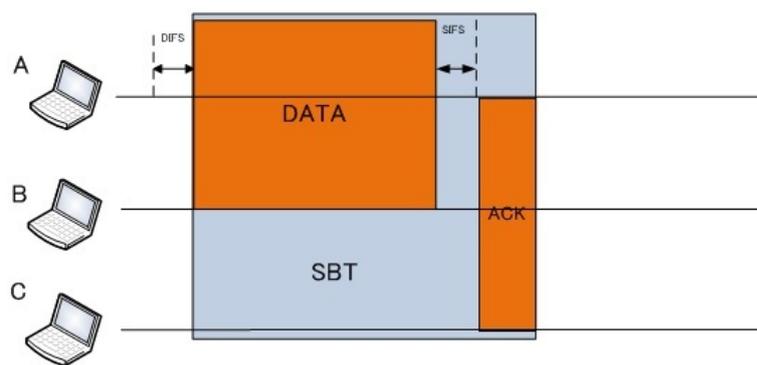


図 4 SBT-D 方式の動作

SBT-D では、RTS/CTS 制御が不要である。その理由は SBT が即座に周辺端末の送信を抑制するため、RTS/CTS の代替機能を果たすためである。そのため、パケットの衝突を回避できるだけでなく、RTS/CTS 自体のオーバーヘッドを削減でき、スループットを大幅に向上できる。SBT-D はこのように有用であること

はわかっていたが,DATA パケットの信号到達距離に対してどこまで SBT の到達範囲を拡大することが最適であるのかが明確ではなかった.

第4章 シミュレーション評価と考察

本章では, SBT-D における SBT の到達範囲の違いによる比較を ns-2 によるシミュレーションにより評価を行った.

4.1 ns-2 によるシミュレーション

SBT-D における SBT の到達範囲を調査するため ns-2 を用いてシミュレーションを行った. また, SBT-D の効果を示すため既存技術との比較を行った.

- case1:RTS/CTS($9 \mu s$)
- case2:SBT 到達範囲 1 倍 ($9 \mu s$)
- case3:SBT 到達範囲 2 倍 ($9 \mu s$)
- case4:SBT 到達範囲 3 倍 ($9 \mu s$)
- case5:SBT 到達範囲 5 倍 ($9 \mu s$)

4.2 シミュレーション環境

シミュレーション環境を図 5 に, シミュレーションのパラメータを表 1, 表 2 に示す. シミュレーション環境は図 5 に示すように 37 台の端末を 90m 間隔で等間隔でメッシュ状に配置した. このうち特定の 2 台を選択し, TCP 通信を行わせた. この状態で UDP による背景負荷を時間とともに徐々に増加させていった. 各端末が 1 ホップ先の端末と通信が行えるように電波到達範囲は 100m とした. 背景負荷はランダムに 2 台選択し, 通信を行った.

SBT-D における SBT の到達範囲は 100m, 200m, 300m, 500m とした. また SBT-RC における SBT の到達範囲は RTS 送信時に 300m, CTS 送信時に 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 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 0.0641Mbps とした.

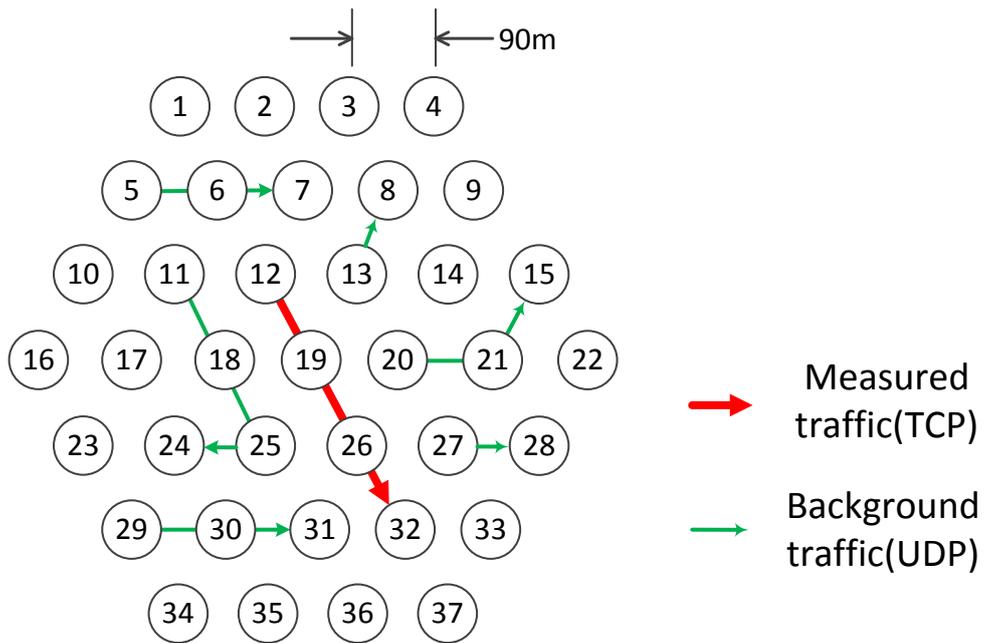


図5 シミュレーション環境

表1 各通信の値

測定端末	ノード数	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	ノード数	2~120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)
	パケット発生サイズ	0.064(Mbps)

表 2 各環境の値

アクセス方式	IEEE 802.11g
case2 SBT 到達範囲 (m)	100
$\Delta t(\mu s)$	9
case3 SBT 到達範囲 (m)	200
$\Delta t(\mu s)$	9
case4 SBT 到達範囲 (m)	300
$\Delta t(\mu s)$	9
case5 SBT 到達範囲 (m)	500
$\Delta t(\mu s)$	9
フィールド (m)	300 × 300
伝搬方式	Two Ray Ground
アンテナタイプ	Omni Antenna
ルーティングプロトコル	AODV
計測時間 (s)	330
無線帯域 (Mbps)	54

4.3 シミュレーション結果

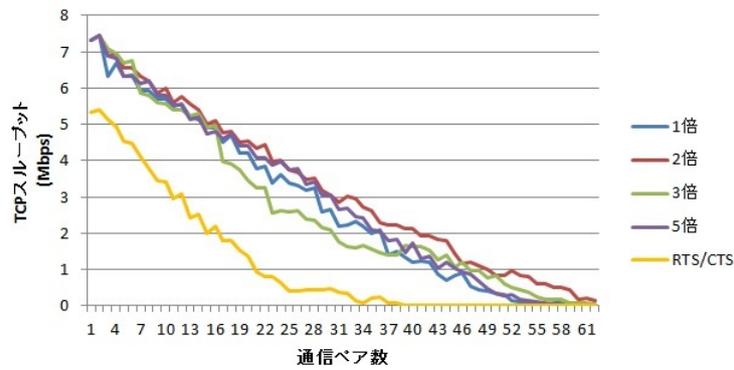


図 6 SBT の到達範囲のによるスループットの比較

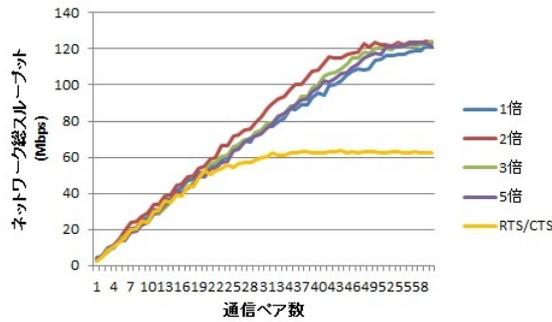


図7 SBT の到達範囲によるネットワーク総スループットの比較

SBT-D における SBT の到達範囲によるスループットの比較を図6に、ネットワーク総スループットの比較を図7に示す。図6の縦軸は特定の2台のTCP通信のスループットであり、横軸は時間とともに増加させた背景負荷である。図7の縦軸は背景負荷を含めたネットワーク総スループットであり、横軸は時間とともに増加させた背景負荷である。図6から SBT-D を用いることで既存の方式である RTS/CTS 方式と比較して大幅にスループットが向上していることがわかる。また、SBT-D における SBT の到達範囲の違いによるスループットを比較すると SBT の到達範囲が2倍の時が一番スループットが向上していることがわかる。

同様に図7で示したネットワーク総スループットの比較でも既存方式に比べ、SBT-D を適用した時の方がスループットが大幅に向上している。既存方式では 6Mbps でネットワークが飽和状態となっているのに対して、SBT-D を適用することで 12Mbps までネットワーク全体のスループットを向上した。

4.4 考察

今回のシミュレーションにより SBT-D における SBT の到達範囲の最適値は2倍であることがわかった。1倍時では周辺端末を制御することができずにパケットの衝突が発生する可能性があるためスループットが低下したと考えられる。また、2倍よりも到達範囲を広げると通信と関係のない端末まで制御するためスループットが低下すると考えられる。よって今回のシミュレーション結果は適切だといえる。

SBT-D と RTS/CTS ではスループットに大きな差がある。この理由は RTS,CTS を排除できたことが大きな要因として挙げられる。その他にも SBT によって衝突回数を減らすことができたこともスループット向上の要因となったと考えられる。

第5章 結論

SBT-DにおけるSBTの到達範囲の違いによるスループットの違いについて調査した。その結果 SBT 到達範囲の最適値が2倍であり、論理的に説明がつくことがわかった。また,SBT-D と既存技術を比較することで SBT-D 方式を採用することでスループットを大幅に向上することを示した。

今後の方針としてはシミュレーション環境などを変えてシミュレーションを行い, SBT-D の課題などを探っていく。

謝辞

本研究を遂行するにあたり，多大なご指導とご教授を賜りました. 名城大学工学部研究科渡邊晃教授には心から感謝いたします.

参考文献

- [1] ストロングビジートーンを用いたアクセス制御方式の検討と評価 情報処理学会研究報告, 2013-MBL-68(10),pp.1-6, Nov.2013.
- [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] Abdullah, A.A.:Enhanced Busy-Tone-Assisted MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks, Vehicular Technology Conference Fall(VTC 2010-Fall),2010 IEEE 72nd
- [4] 伊藤智洋, 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, Jul2013.

研究業績

研究会 大会等（査読なし）

- (1) 大須賀友記, 渡邊 晃, 旭健作: ストロングビジトーンを用いたアドホックネットワークのスループット向上方式, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会論文集, Sep.2015.

付録A グラフ

各方式のスループットの比較とスロットタイムの違いによるスループットの比較を図に示す.

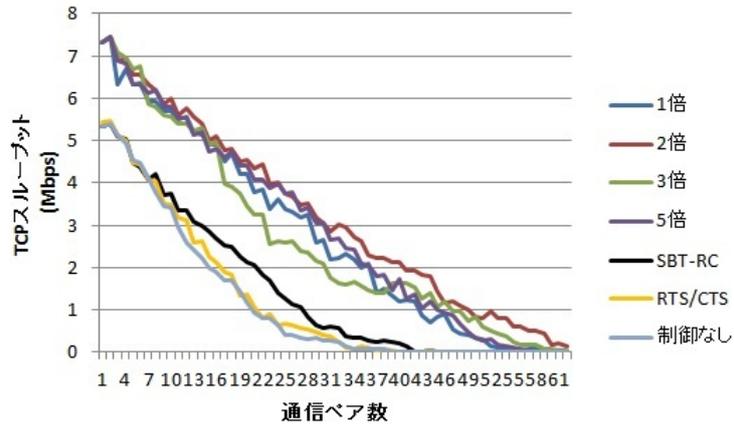


図8 各方式のスループットの比較

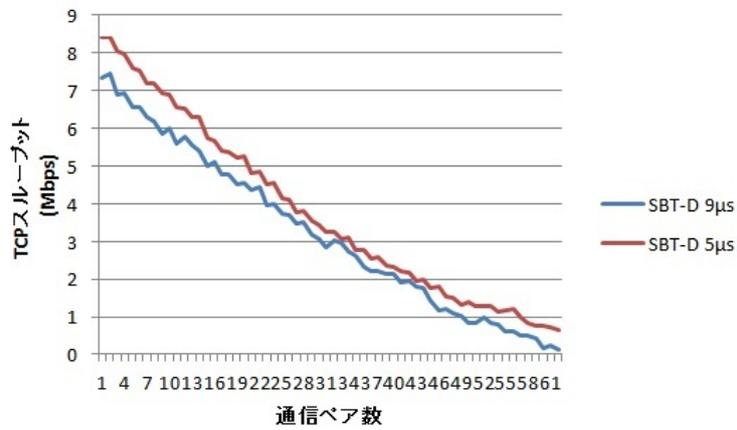


図9 SBT-Dにおけるスロットタイムの違いによるスループットの比較

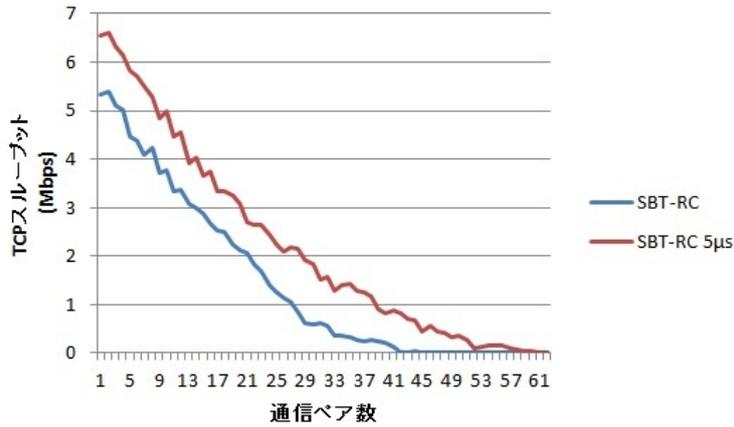


図 10 SBT-RC におけるスロットタイムの違いによるスループットの比較

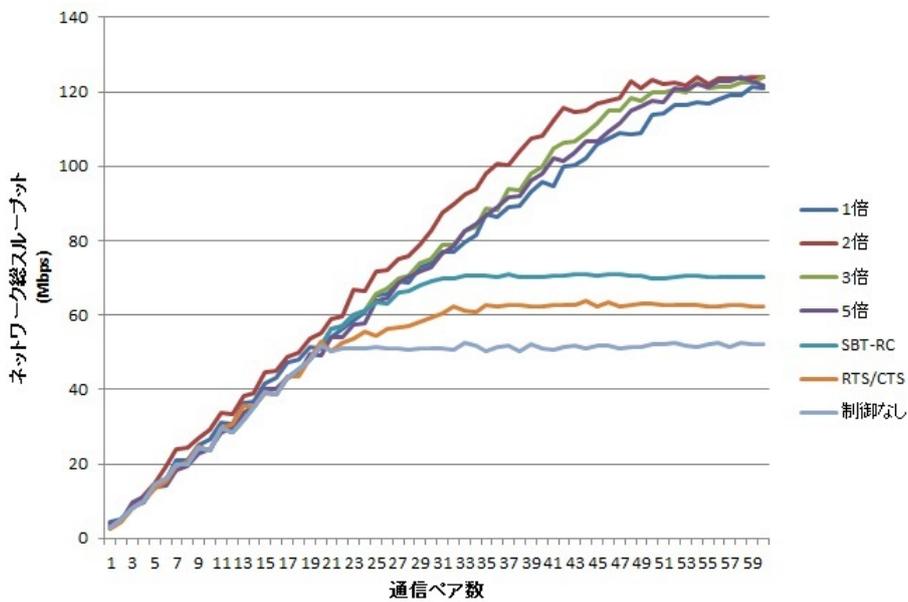


図 11 各方式のネットワーク総スループットの比較

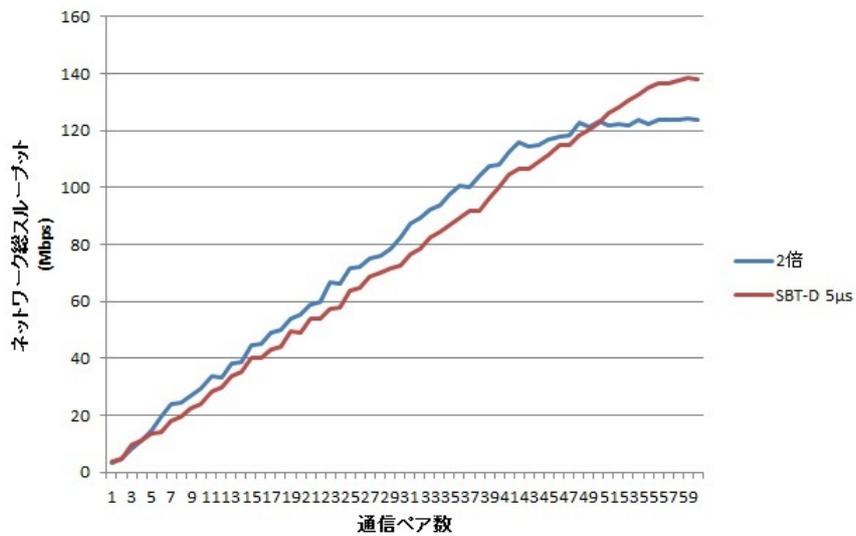


図 12 SBT-D におけるスロットタイムの違いによるネットワーク総スループットの比較

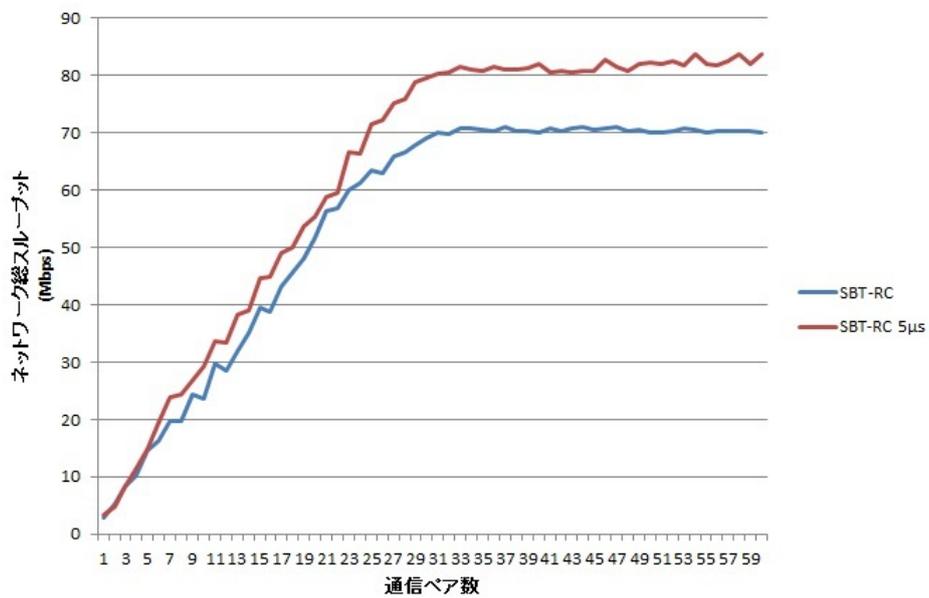


図 13 SBT-RC におけるスロットタイムの違いによるネットワーク総スループットの比較