

ストロングビジートーンを用いた 無線 LAN アクセス制御方式の提案と評価

123430003 伊藤智洋

渡邊研究室

1. はじめに

無線アドホックネットワークを用いた通信において、隠れ端末問題によるスループットの大幅な低下が問題となっている。IEEE802.11では、RTS/CTSを用いることにより、隠れ端末問題を解決している。しかし、RTS/CTSはパケット交換であるため、周囲の端末の制御に所定の時間を要する。そのため、トラフィックの増加に伴いRTS/CTS自体が衝突するなど有効に機能しない。

本稿は、隠れ端末問題を解決するために、ストロングビジートーン (SBT: Strong Busy Tone) [1][2]と呼ばれる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手法を提案する。

2. RTS/CTS 方式の課題

RTS/CTS方式の課題の例を図1に示す。図1において電波到達範囲は隣接ノードまでとする。図1の例は3ホップ先のノードAが送信したRTSに対して、ノードBはCTSを送信して送信を許可する。ここで、RTS/CTSのやりとりの間に遠隔にあるノードDがRTSを送信すると、ノードBが送信したCTSと衝突する。ノードDはCTSの応答がないため、RTSを再送信する。一方、ノードAはノードBからのCTS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付かずノード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に回答してCTSを送信するため、ノードAのデータと衝突する。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。

3. 提案方式

隠れ端末問題を解決するために、本稿ではストロングビジートーン (以下: SBT) を用いた方式として SBT-RC と SBT-D の2つの方式を提案する。さらに、スロットタイムを短縮することによりスループットを向上させる方式を提案する。

3.1 SBT

ビジートーンとは単一周波数の電波であり、消費電力が少ないという特徴を持っている。SBTは、ビジートーンの電波到達範囲を拡大することにより遠隔の端末を制御することを可能とした制御信号である。送信端末は、SBTを送信することにより、遠隔端末が送信開始することを防止する。各端末は SBT を検出した端末は、新たな通信を開始することができない。ただし、通信を既に行っている場合は、SBT を検出してもそれを無視する。

SBTを用いた方式として SBT-RC、SBT-D の2つの方式が提案されている。

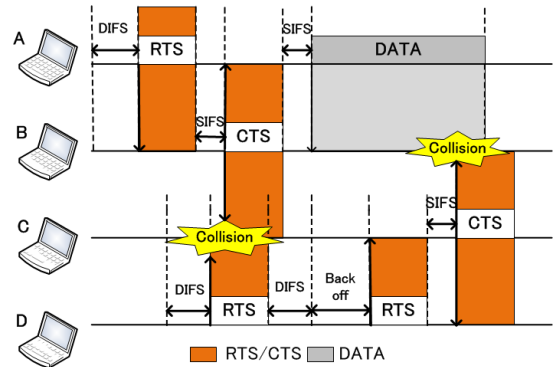


図1. RTS/CTS方式の課題

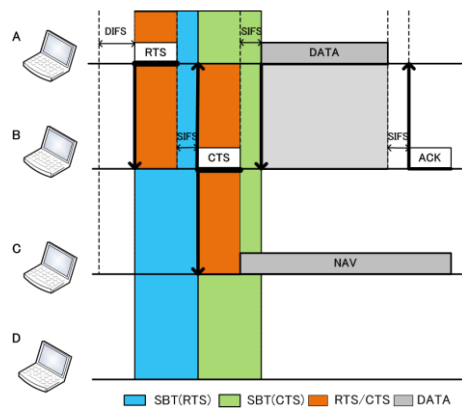


図2. SBT-RCの動作

3.2 SBT-RC

SBT-RCは、RTS/CTSを送信する際に、同時に SBT を送信することにより周辺端末を制御する。

SBT-RCの動作を図2に示す。RTS/CTSを用いた際に、隠れ端末問題に影響のある端末は、図1からもわかるように最大で3ホップ先である。そこで、RTSを送信する際に電波到達範囲を3倍に拡大した SBT を送信する。また、CTSを送信する際には同様の範囲を制御するよう2倍に拡大した SBT を送信する。これにより、RTS/CTSの交換時にノードC、Dは送信できなくなり衝突を大幅に防止することができる。SBT-RCは既存の端末を共存してもかまわない。

3.3 SBT-D

SBT-Dは、RTS/CTSを用いずに SBT のみを用いて隠れ端末問題を解決する方式である。DATAを送信すると同時に SBT を送信することにより周辺端末を制御する。

SBT-Dの動作を図3に示す。DATAのみの通信を行う際に、隠れ端末問題に影響のある端末は最大で2ホップ先である。そこで、DATAを送信する際に電波到達範囲を2倍に拡大した SBT を送信する。RTS/CTSを使わずに周辺端末を

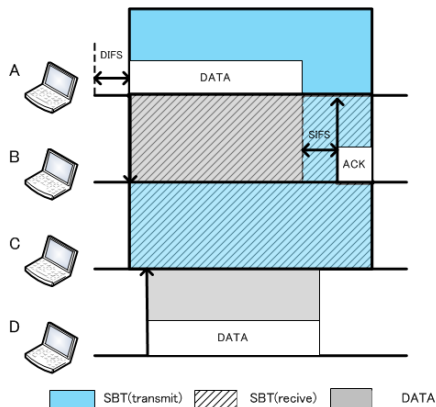


図 3. SBT-D の動作

制御できるため、RTS/CTS のオーバーヘッドがない。ただし、すべての端末が SBT-D の機能をサポートしている必要がある。

3.4 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 (Δt) の短縮が可能になる。 Δt を短縮することにより CSMA/CA の待機時間 (Back-off = $\{(CW_{min}+1) \times 2^n - 1\} \times \Delta t$) を減らし、スループットを向上することが可能である。

Δt の値は端末の状態判定、伝搬時間など 4 つの値を合わせた時間として定義されている。この値は、パケット通信を前提として決定されている。SBT を用いた制御を行うことを前提とすると、不要な項目を省くことができ、 Δt の値を短縮することが可能である。

Δt を短縮することにより、CSMA/CA の待機時間が短縮されスループットを向上させることができる。

4. シミュレーション

提案方式の効果を ns-2 (Network Simulator2) に実装しその効果を測定した。測定は 5 つの Case で行った。

- Case1 : RTS/CTS を用いた通信 (既存方式)
- Case2 : SBT-RC を導入した通信
- Case3 : SBT-D を導入した通信
- Case4 : SBT-RC を導入し Δt を短縮した通信
- Case5 : SBT-D を導入し Δt を短縮した通信

測定は表 1 に示すパラメータで行い、メッシュ状に 37 個の端末を配置した環境において、測定用に TCP 通信を発生させ、その後周囲にランダムに背景負荷である UDP 通信を発生させていくことにより、TCP 通信のスループットの変化を測定した。

図 4 にスループットの測定結果、図 5 に衝突数の変化を示す。

図 4 を確認すると背景負荷端末の増加に伴いスループットが低下していくことがわかる。SBT を用いることによりスループットの低下が抑えられ、 Δt の短縮によりスループットの値が向上していることがわかる。

SBT-RC より SBT-D の方がスループットが高いことがわかる。これは RTS/CTS のオーバーヘッドがなくなったことに起因する。

図 5 によると SBT を用いることにより大幅に衝突が防止されていることがわかる。

以上の結果から、SBT の衝突防止効果は、SBT の送信抑

表 1. 測定環境

Number of terminal	37
Terminals at intervals	90(m)
The packet's reachable range	100(m)
SBT's reachable range (RTS)	300(m)
SBT's reachable range (CTS)	200(m)
Measurement time	330(s)
Communication standard	802.11g
Radio band	54(Mbps)

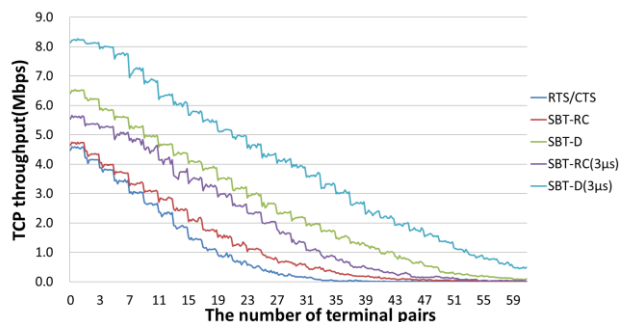


図 4. スループットの測定結果

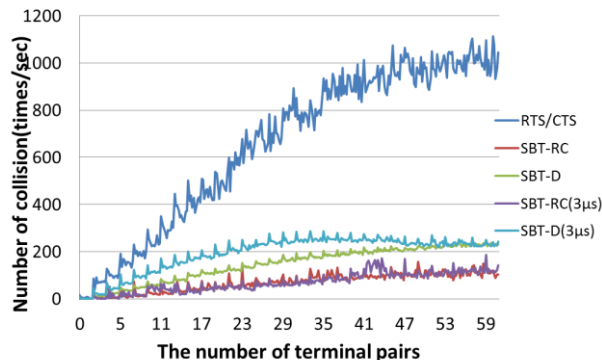


図 5. 衝突回数の推移

制効果を上回り有効であることがわかる。

5. むすび

SBT を用いて周辺端末を制御することにより衝突を防止し、 Δt を短縮することによりスループットを向上させる方式を提案した。シミュレーションによりその効果を確認した。

参考文献

- [1] 後藤秀暢, 渡邊晃, “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”, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-MBL-057 Mar. 2011.
- [2] 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の導入の検討と評価”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02013) シンポジウム論文集, Vol. 2013, No. 1, pp. 1754-1760, Jul. 2013.



ストロングビジートーンを用いた 無線LANアクセス制御方式の提案と評価

渡邊研究室
123430003
伊藤智洋



研究背景

- 無線LAN技術の急速な普及
 - スマートフォン, タブレット端末の普及
 - 通信速度の向上

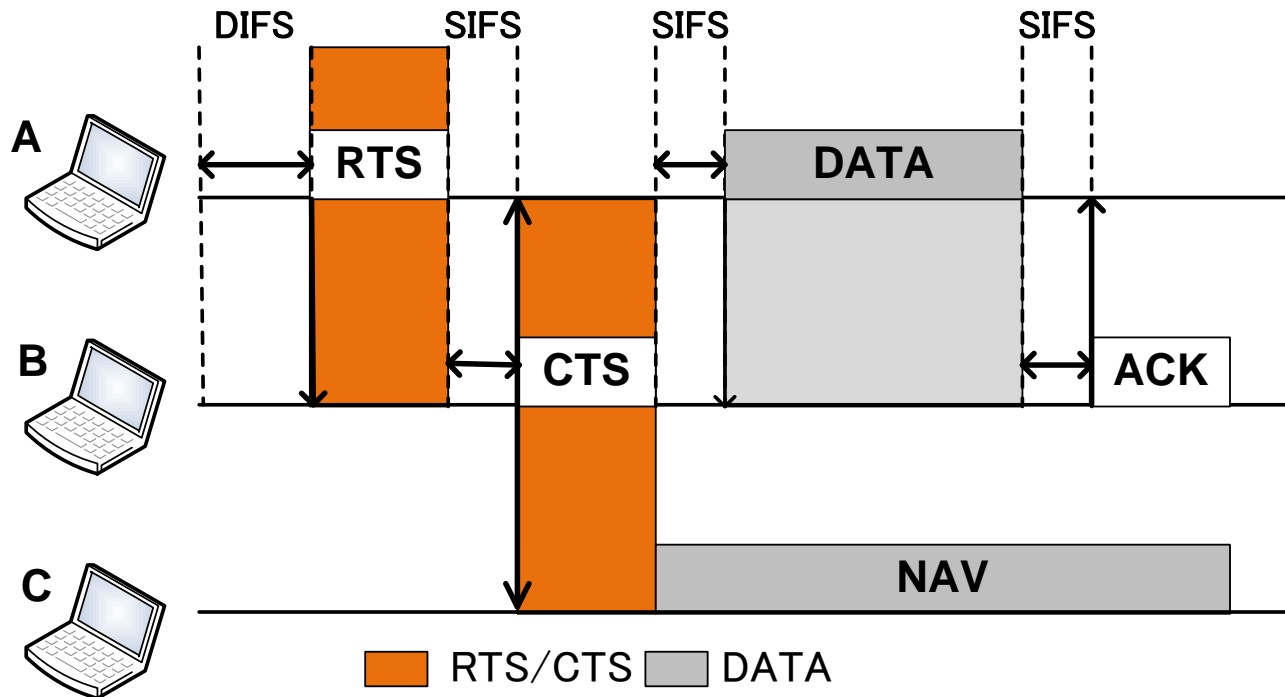
 - 無線LAN技術の課題
 - 通信端末の増加による干渉
 - 隠れ端末問題の発生
- ⇒ パケット衝突によるスループットの低下



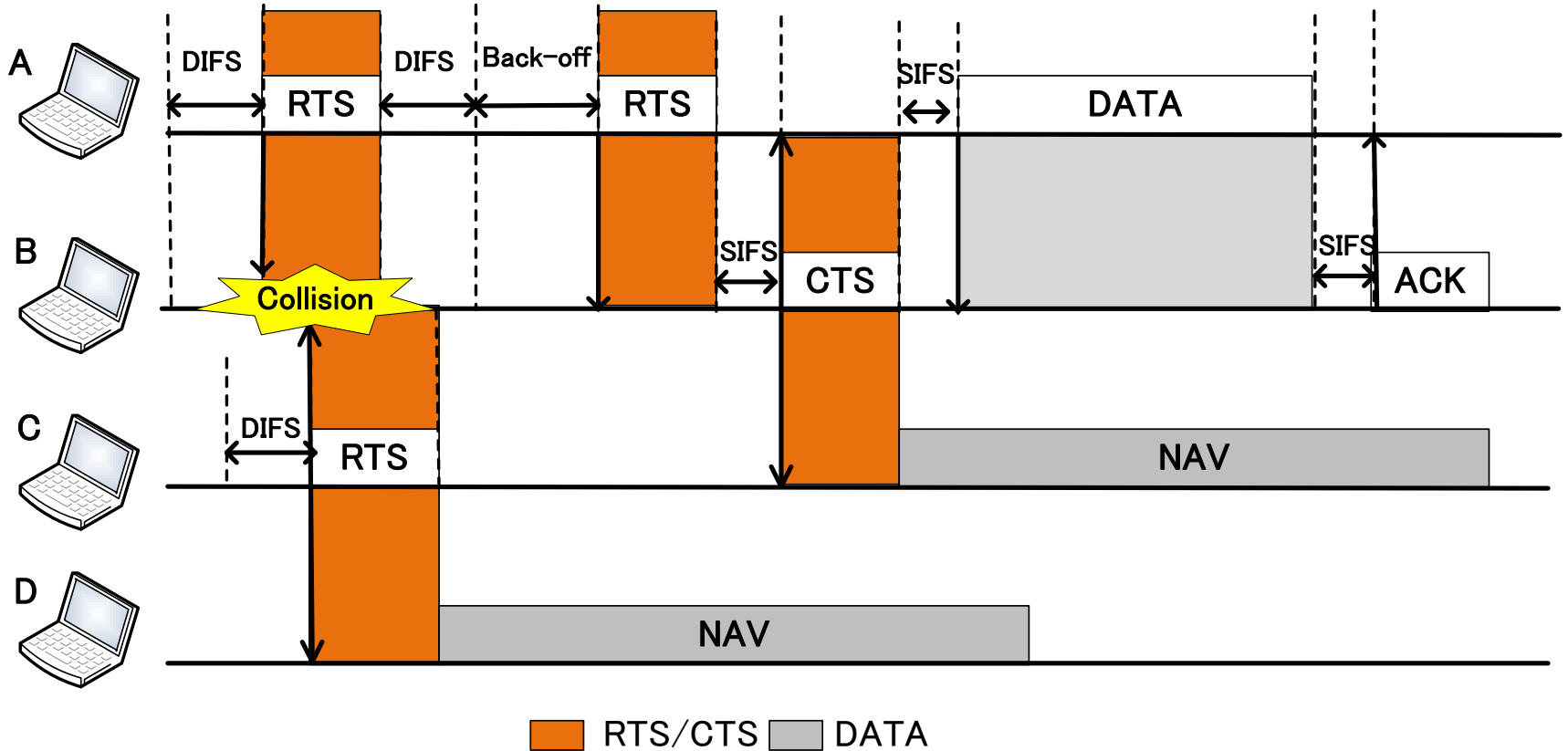
SBT(Strong Busy Tone)を用いてパケット衝突を防止しスループットを改善させる方式を提案

RTS/CTS方式

- IEEE802.11ではRTS/CTS方式による送信予約によって隠れ端末問題を解決している

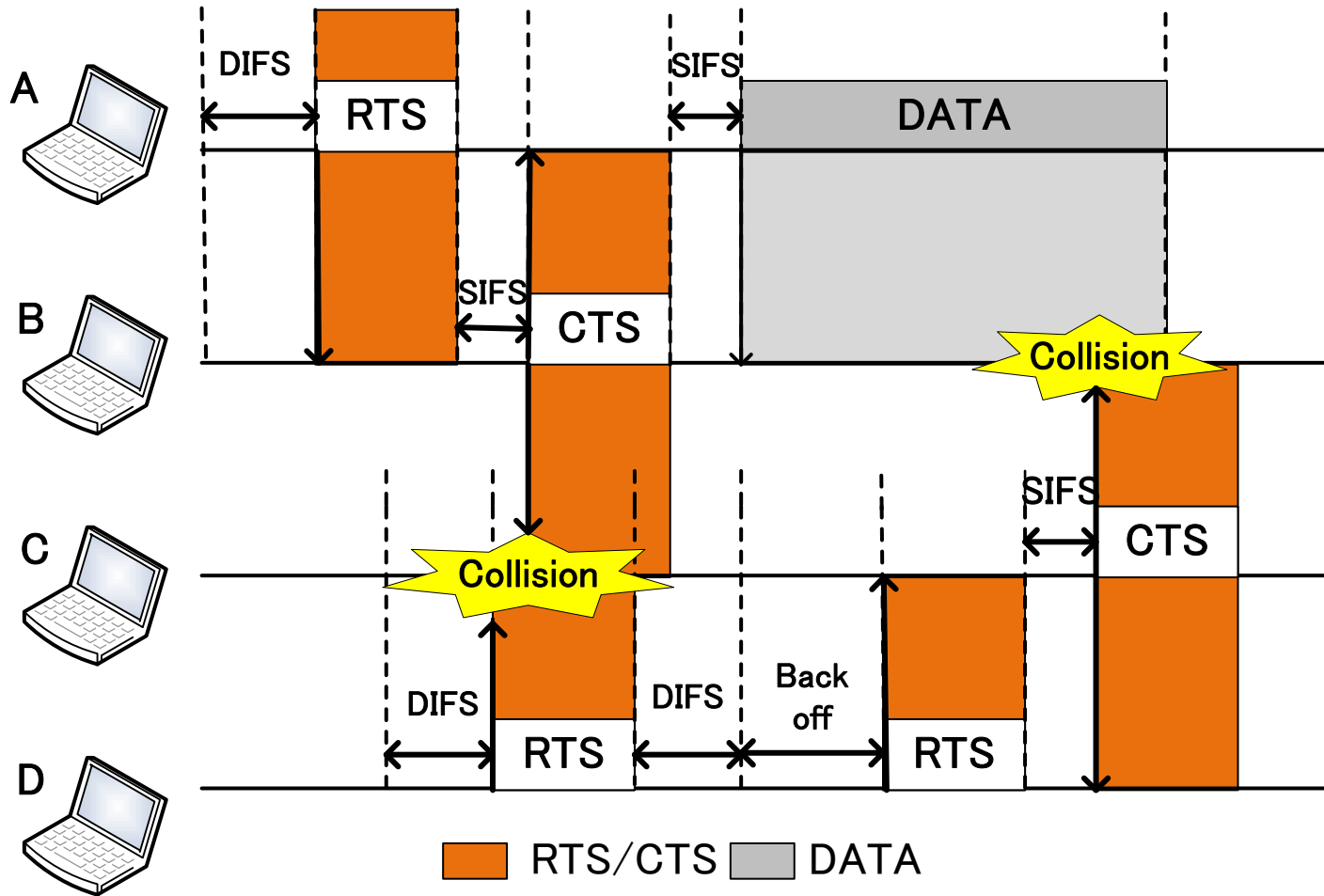


RTS/CTS方式の課題



- 同時に送信を開始すると衝突が発生
- 端末Dに無駄な待機時間が発生(さらし端末問題)

RTS/CTSの課題



RTS/CTSの課題

➤ RTS/CTSの課題

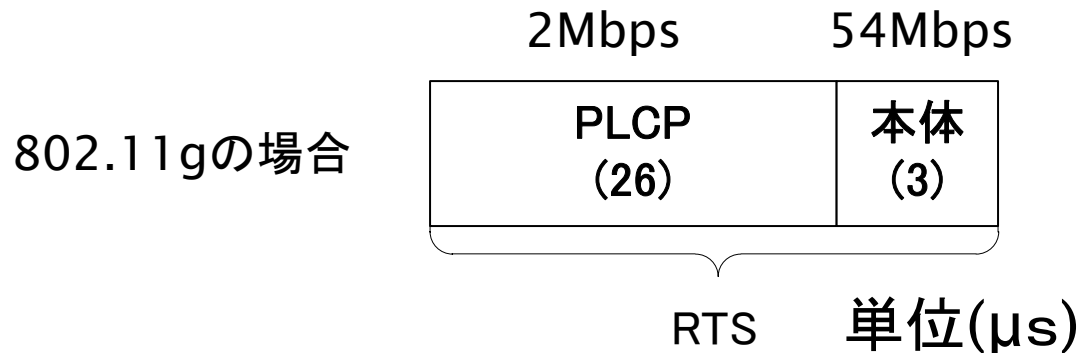
- パケット交換方式である為制御に時間を要する
- RTS同士やCTS, DATAの衝突が発生する
- 周辺端末に無駄な待機時間が発生する(さらし端末問題)



隠れ端末問題を完全には解決できていない

PLCPによる影響

- ▶ PLCP (Physical Layer Convergence Protocol)
 - 受信信号の同期や伝送速度などデータ通信速度識別に用いる情報が記載されている
 - MACヘッダの前に付加され小さい容量で定義されている
 - 全ての端末が受信できるように最低速度で送信される



SBT(Strong Busy Tone)

▶ ビジートーンとは

- 単一周波数の電波
 - データを一切含まないため瞬時に制御可能
 - 小さな送信電力でも広範囲に受信可能
 - 受信中は通信を開始できない
- 遠隔の端末を制御できない

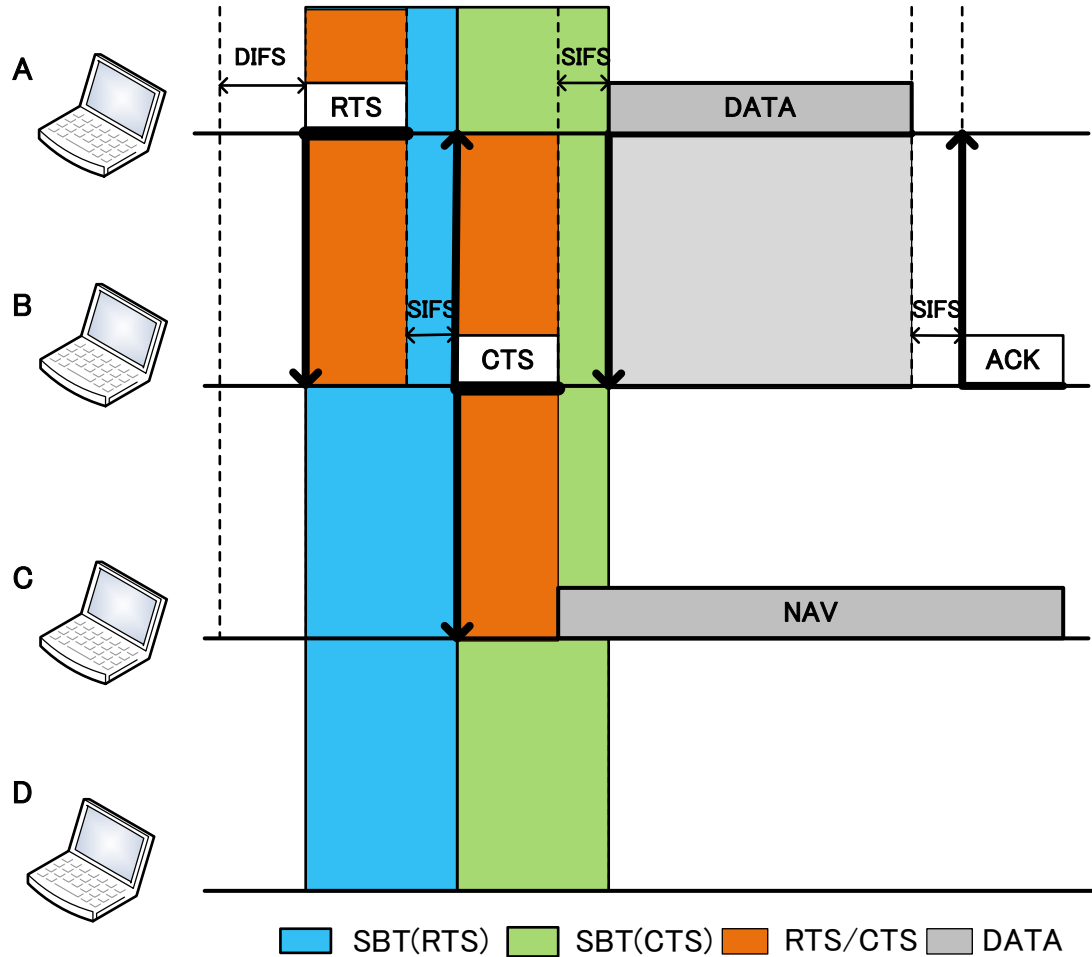
▶ ビジートーンの電波到達範囲を拡大させ広範囲の端末を制御する

- 遠隔の端末を制御可能
- 隠れ端末問題, さらに端末問題の双方を防止

SBT-RC(SBT-RTS/CTS)の導入

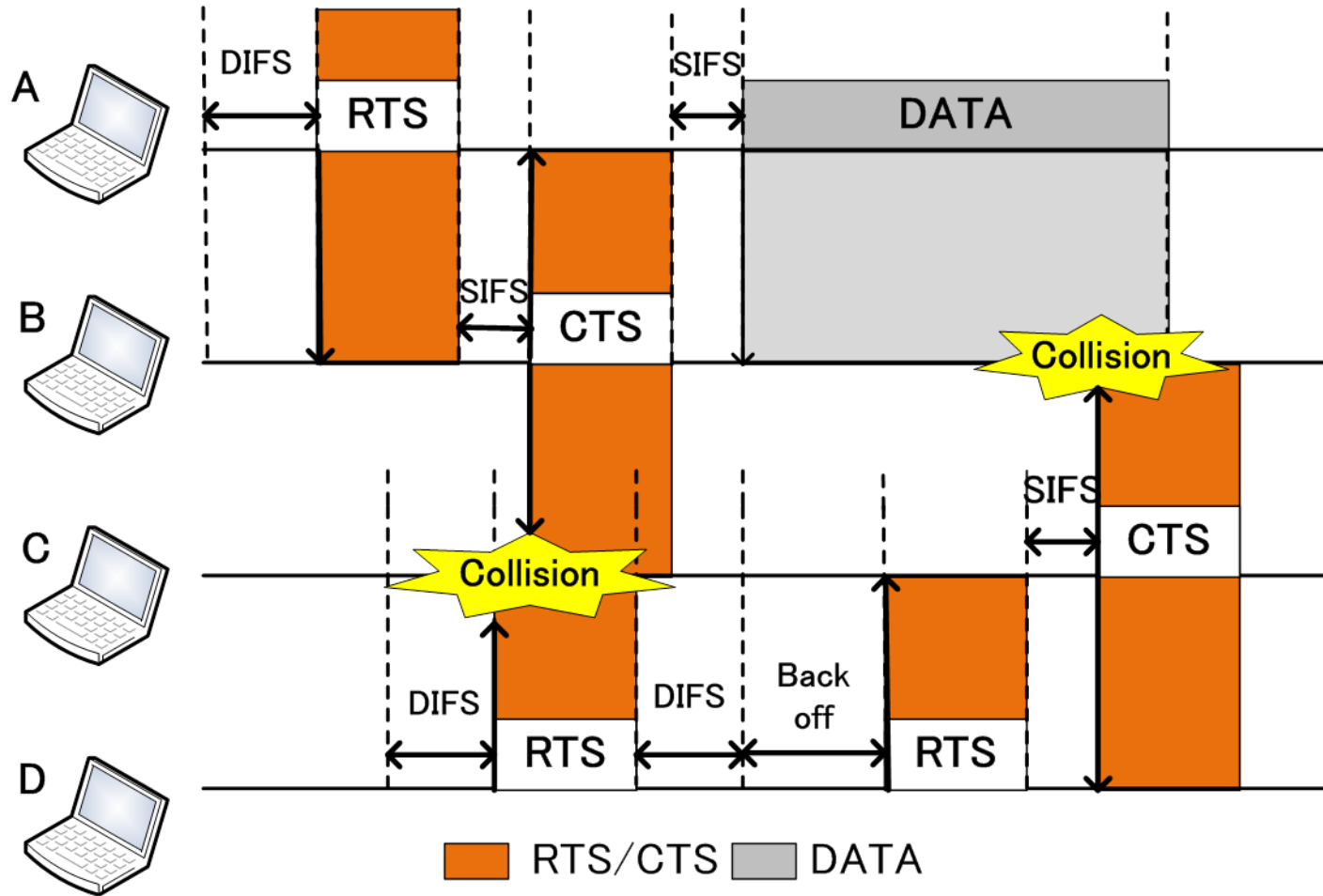
- RTS/CTSと同時にSBTを送信する
 - RTS/CTS交換時のパケット衝突を防止する
- 通信時に影響のある端末を全て制御
 - 隠れ端末問題及びさらし端末問題を防止
- 既存の端末と共存が可能
 - RTS/CTSを利用しているため

SBT-RCの動作



- 遠隔の端末Dまで即座に制御

拡大範囲の根拠



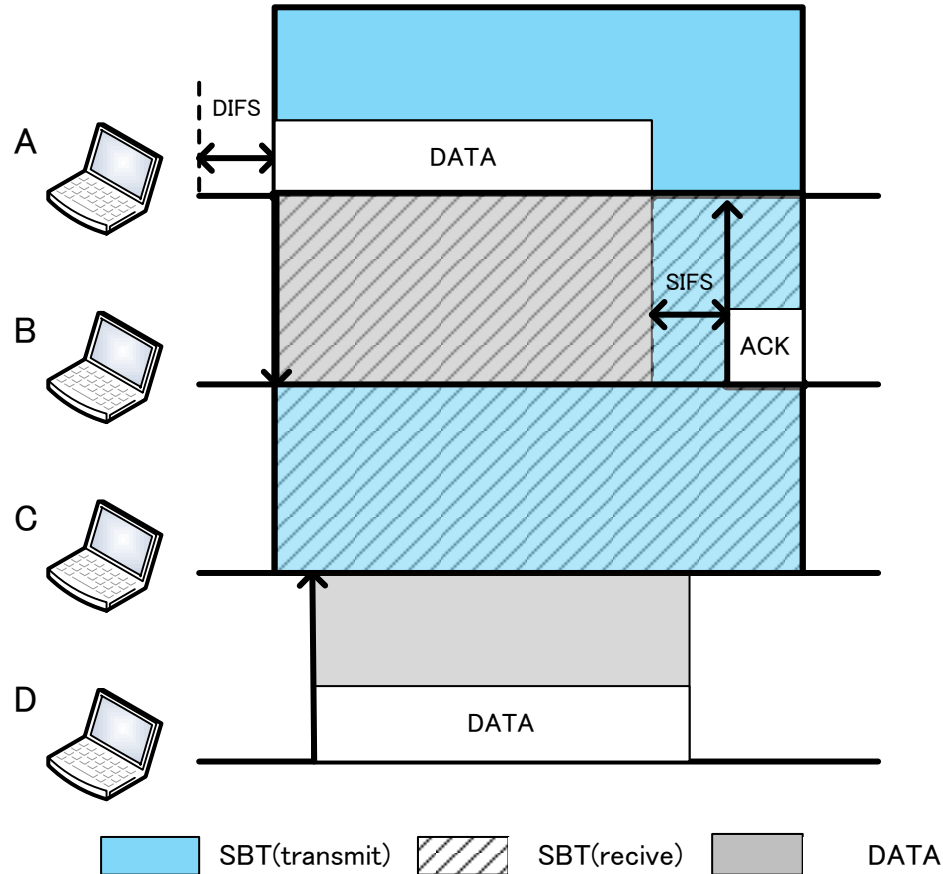
SBT-D(SBT-DATA)の導入

- RTS/CTSを用いずDATA部分にSBTを付加させる
 - 隠れ端末問題をSBTのみで解決する
 - RTS/CTSを無くすことによりオーバーヘッドを無くす

- 送信に要する時間の短縮
 - 単位時間における通信数の増加
 - ⇒衝突は防止しているためスループットの値が向上する

- 既存の端末と共存できない
 - 通信の機構が大幅に変わっているため

SBT-Dの動作



➤ SBT受信中は送信を行わない

各方式の特徴

- SBTを利用すると大幅にパケット衝突を削減できる

	メリット	デメリット
SBT-RC	<ul style="list-style-type: none">• 既存の方式と共存可能	<ul style="list-style-type: none">• RTS/CTSのオーバヘッド
SBT-D	<ul style="list-style-type: none">• スループットの大幅な向上• 通信数の増加	<ul style="list-style-type: none">• 導入が困難• 既存の方式と共存不可

スロットタイムの短縮

- スロットタイム(Δt)の値を短縮する
 - 待機時間を最適化することで通信性能を向上できる
 - SBTの特徴を利用することにより可能
 - 乱数の生成を工夫する提案は多いが Δt は固定
- バックオフ時間
 - 衝突後の再送タイミングをずらすための待機時間
 - Δt の値を最適化することにより短縮可能

スロットタイム値の根拠

➤ バックオフ時間の演算式

$$Backoff = \{(CW \text{ min} + 1) \times 2^n - 1\} \times \boxed{Dt}$$

$Dt(802.11g) : 9 \text{ ms}$

➤ Δt の内訳

CCATime (4 μ s)	AirPropagationTime (1 μ s)	RxTxTurnaroundTime (2 μ s)	MacProcessingDelay (2 μ s)
------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

- CCATime : 端末の状態判定時間
- AirPropagationTime: 伝搬時間
- RxTxTurnaroundTime: 端末の送受信切り替え時間
- MacProcessingDelay: 通信処理時間

短縮の可能性

- SBTを適用することで不要となる要素
 - 周辺端末を制御するため状態判定時間は不要(CCA Time)
 - 情報を一切含まないため処理時間は非常に小さい (MacProcessingDelay)



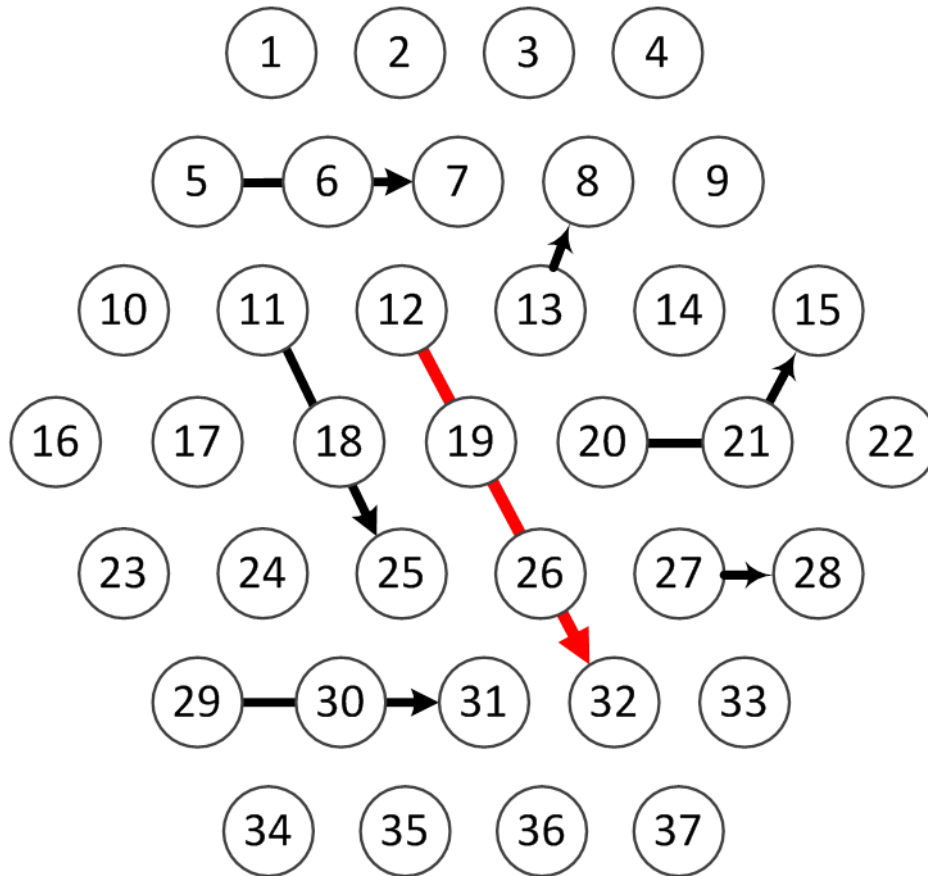
- AirPropagationTime($1\mu\text{s}$)とRxTxTurnaroundTime($2\mu\text{s}$)の値のみを考慮すればよい
→ Δt の値を $3\mu\text{s}$ と決定

ns-2によるシミュレーション

- ▶ 提案方式の効果測定
 - SBTの衝突防止効果
 - Δt 短縮による影響

	SBT	RTS/CTS	Δt
Case1 (RTS/CTS方式)	無	有	9 μ s
Case2 (SBT-RC)	有	有	9 μ s
Case3 (SBT-D)	有	無	9 μ s
Case4 (SBT-RC+ Δt 短縮)	有	有	3 μ s
Case5 (SBT-D+ Δt 短縮)	有	無	3 μ s

シミュレーション環境



試行回数	20回
アドホックネットワーク	
台数	37台
端末間距離	90(m)
TCP通信	1対
背景負荷通信	1~60対

各項目の値

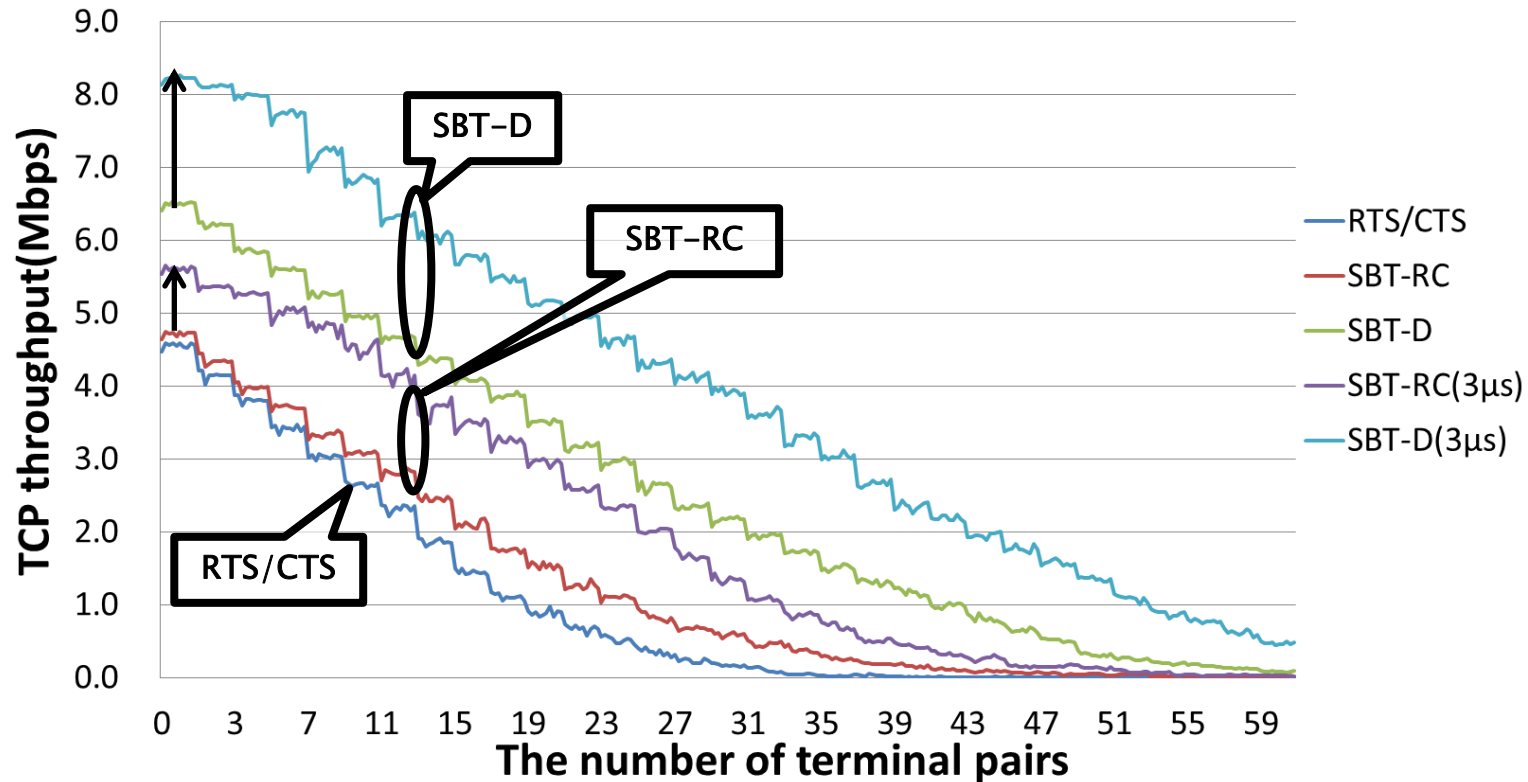
- 802.11gを想定
- TCPはFTPを想定
- UDPはVoIPを想定

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)
SBT-D電波到達範囲	200(m)
計測時間	330(s)
通信方式	802.11g
無線帯域	54(Mbps)

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)

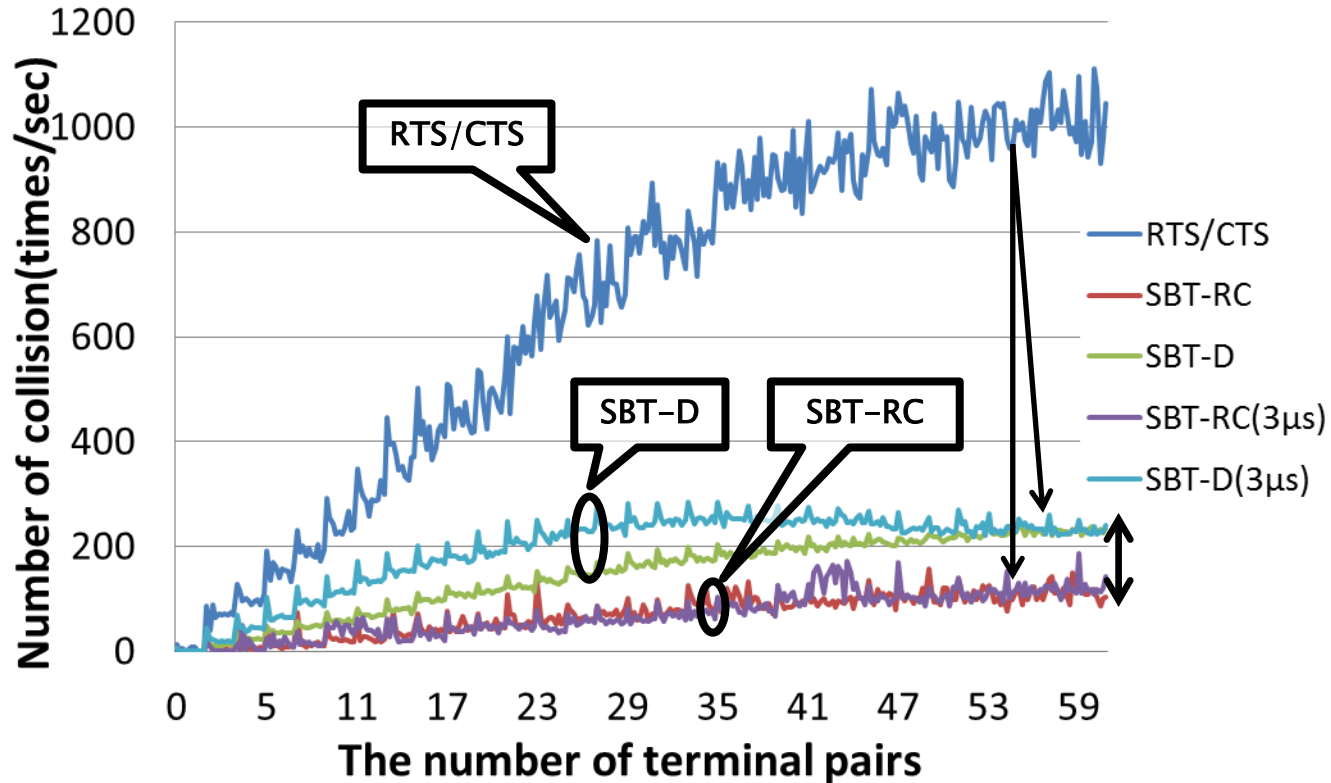
通信タイプ	CBR
トランスポートプロトコル	UDP
パケットサイズ	200(byte)
パケット発生率	64(kbps)

スループット測定結果



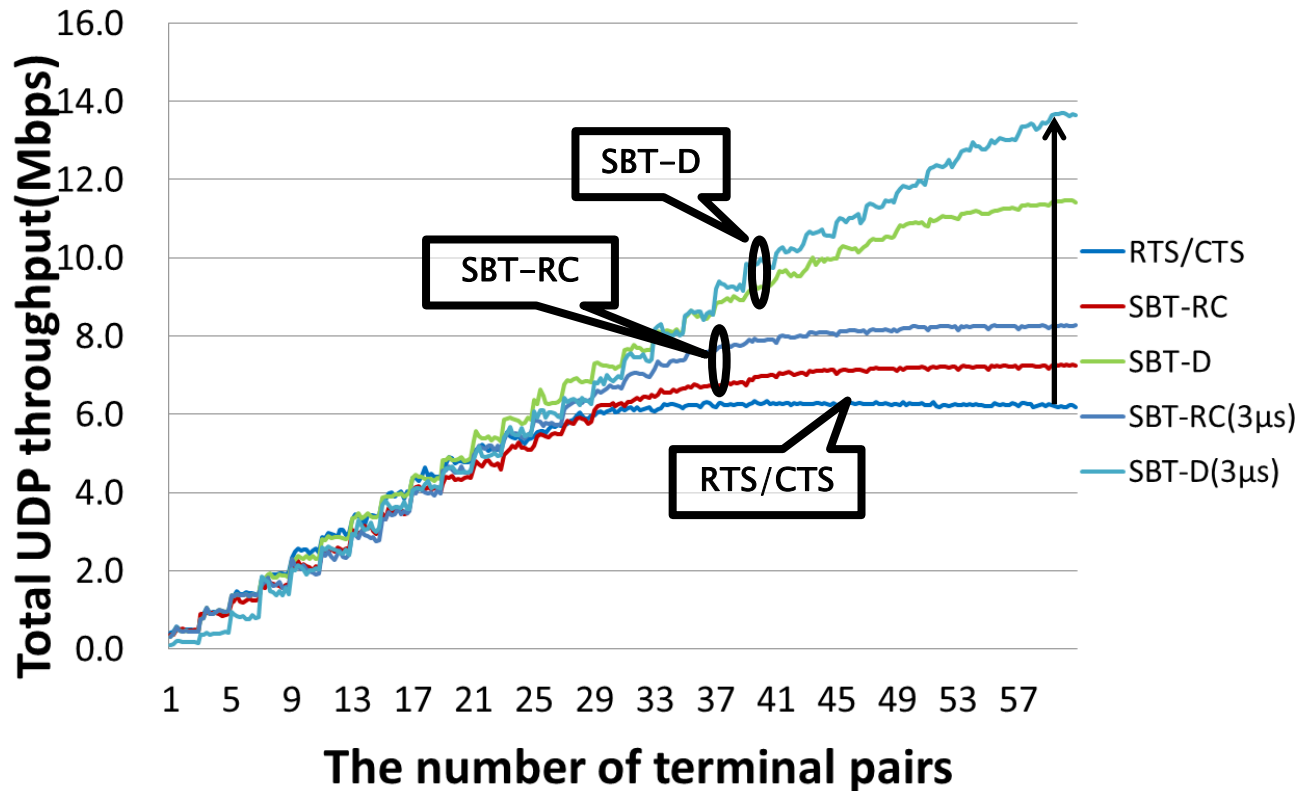
- SBTを用いることによりスループットが向上
 - Δt の短縮により更なるスループットの向上が可能

衝突数測定結果



- SBT-Dを用いた場合SBT-RCよりも衝突が増加
⇒ 単位時間における衝突機会の増加が原因

背景負荷端末の総計スループット



- ネットワーク全体においてもスループットを向上させる
⇒ パケット衝突の防止効果は大きい

シミュレーション結果

- 提案方式の効果を確認
 - 大幅な衝突数の削減
 - スループットの向上

- SBT-Dによる大幅なスループットの向上

- Δt の短縮により更なるスループットの向上が可能

むすび

- パケット衝突を防止するためにSBTを用いた方式を提案した

- 提案方式の有用性の証明
 - スループットの増加
 - 衝突数の大幅な削減
 - Δt 短縮による更なるスループットの増加

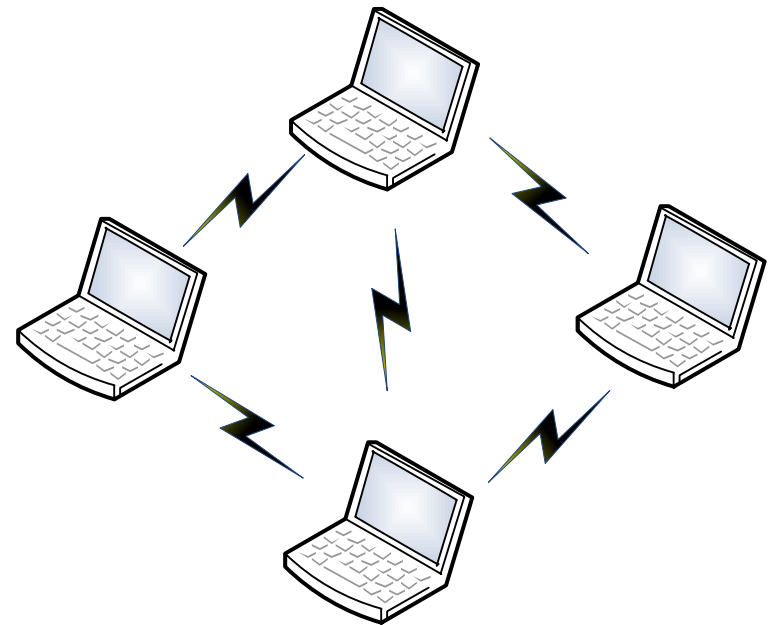
- 今後の方針
 - 移動体通信におけるシミュレーション



補足

アドホックネットワーク

- ▶ アドホックネットワーク
 - 多数の端末をアクセスポイントの介在なく相互に接続する形態を取っている
 - アドホックモードにルーティングプロトコルを追加した方式



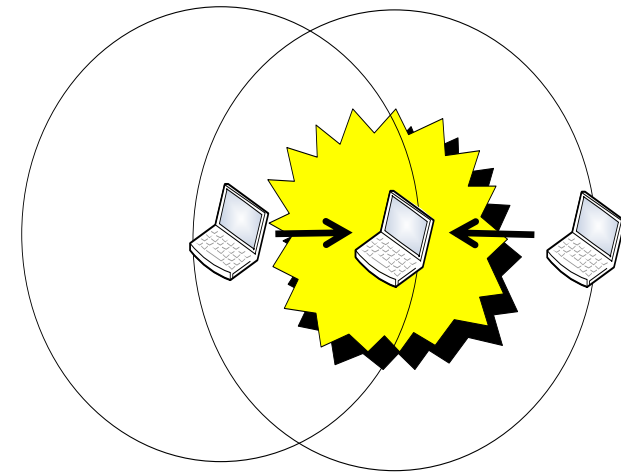
隠れ端末問題

▶ 隠れ端末問題

- 無線LAN環境では電波到達範囲外の端末を認識できない
- 同じ端末を対象に通信を開始する



パケット衝突が発生し
スループットが低下してしまう



ガードバンド

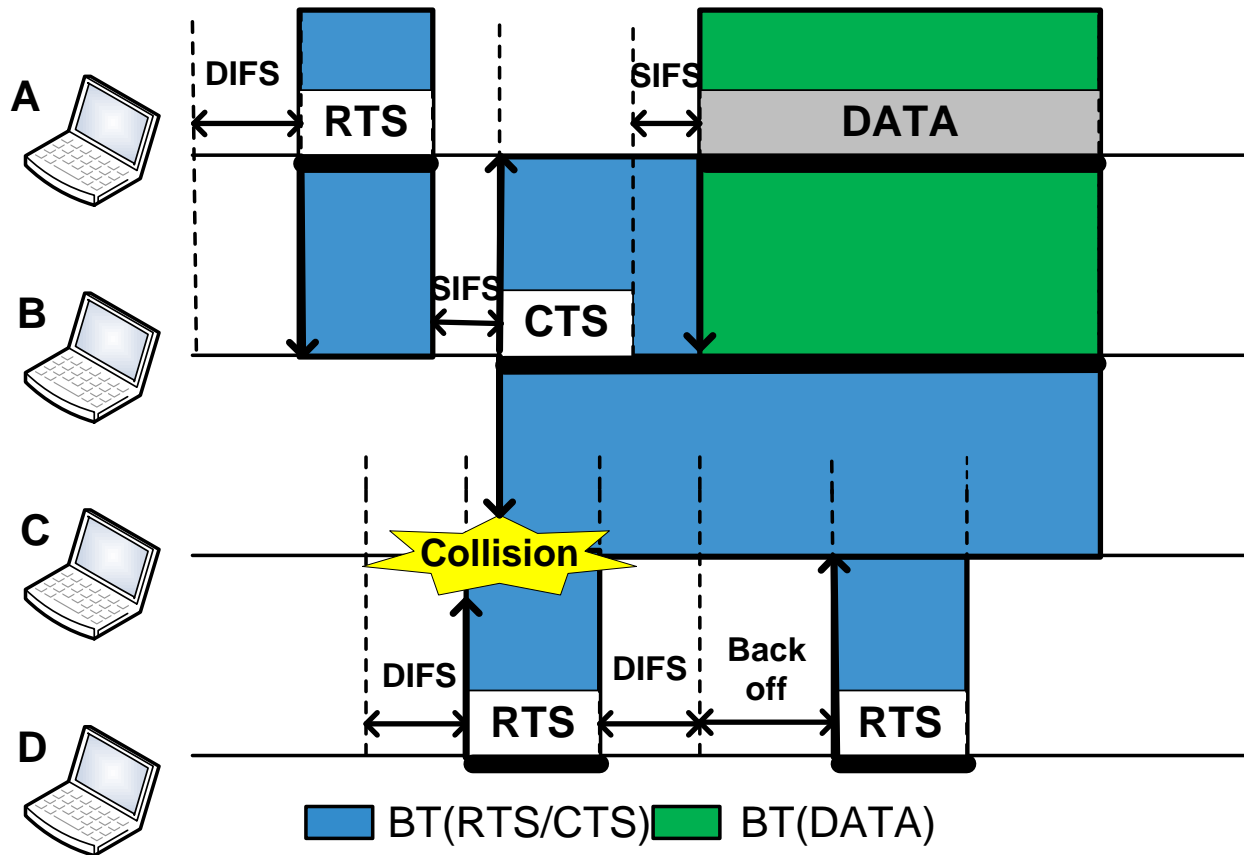
- SBTは通常の周波数帯ではなくガードバンドを使用
- ガードバンドとは
 - 2つの通信チャネルの間にある未使用周波数帯
 - ⇒ 11b/gは周波数帯が被っており双方の未使用周波数帯を確認する必要がある
 - ⇒ 11aでは周波数帯が整備されているので問題はない

ビジートーン

- ▶ 送信ノードが通信中であることを周囲に伝える制御信号
 - 単一の周波数の電波
 - 小さな送信電力でも広範囲に受信可能⇒ 電力消費が小さい

- ▶ データを含まないため瞬時に制御可能
 - パケットでないため送信遅延が無い

ビジートーンの動作



- 遠隔の端末を制御できない

SBT-RCの課題

- RTS/CTSを用いるため通信に時間がかかる
 - 衝突防止の割合に対するスループットの向上が低い
- RTS/CTSのオーバーヘッドが無くなる訳では無い



RTS/CTSを無くしSBTのみで
制御する方式を提案する

SBT-Dの課題

- ▶ 障害物によりSBTが到達しない可能性がある
- ▶ 衝突発生時の待機時間が長くなる
 - RTS/CTSと比較しDATAの送信時間は約8倍

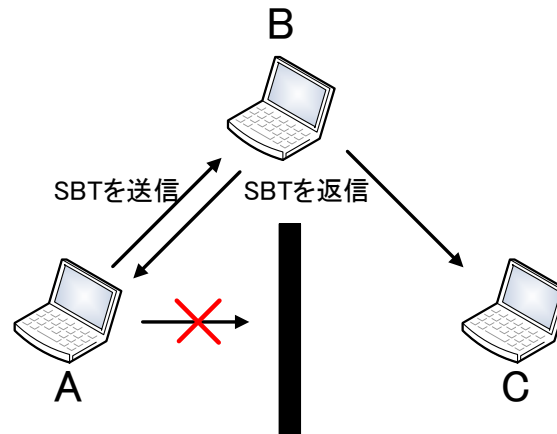
障害物への対策

➤ 障害物に対する課題

- 障害物がある場合SBTが端末に到達しない
- 周辺端末を制御できずに通信を行う可能性

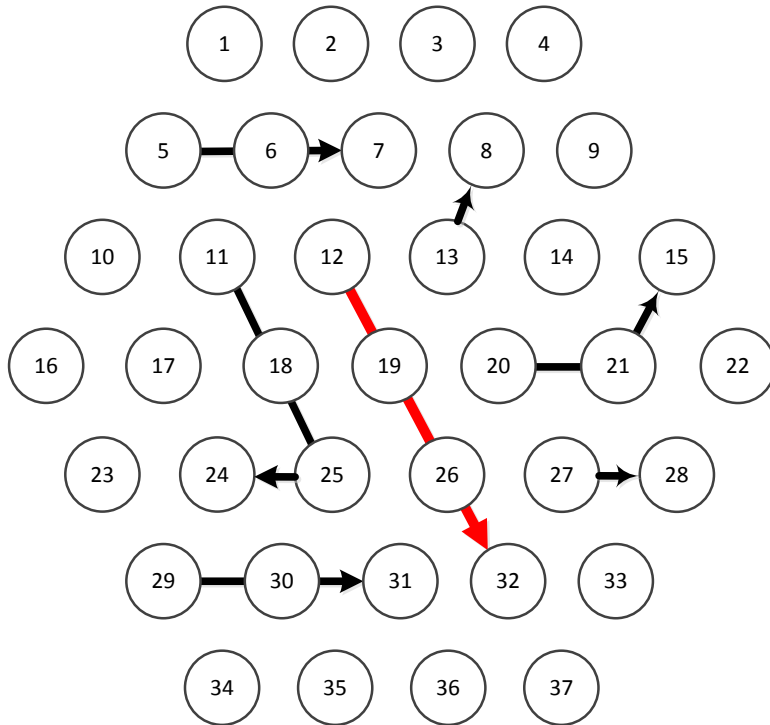
➤ 受信側からの対策

- DATAの識別後に周辺端末に向けSBTを送信する



混在空間

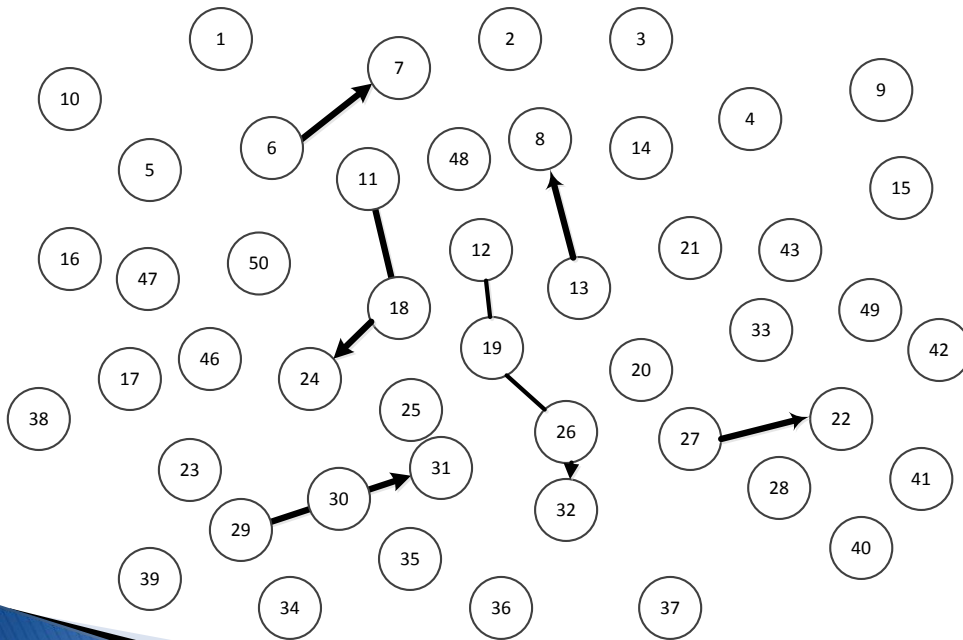
- ▶ TCP通信のスループットの推移を測定
 - 周囲にUDP通信をランダムに発生



試行回数	20回
アドホックネットワーク	
台数	37台
端末間距離	90(m)
TCP通信	1対
UDP通信	1~60対

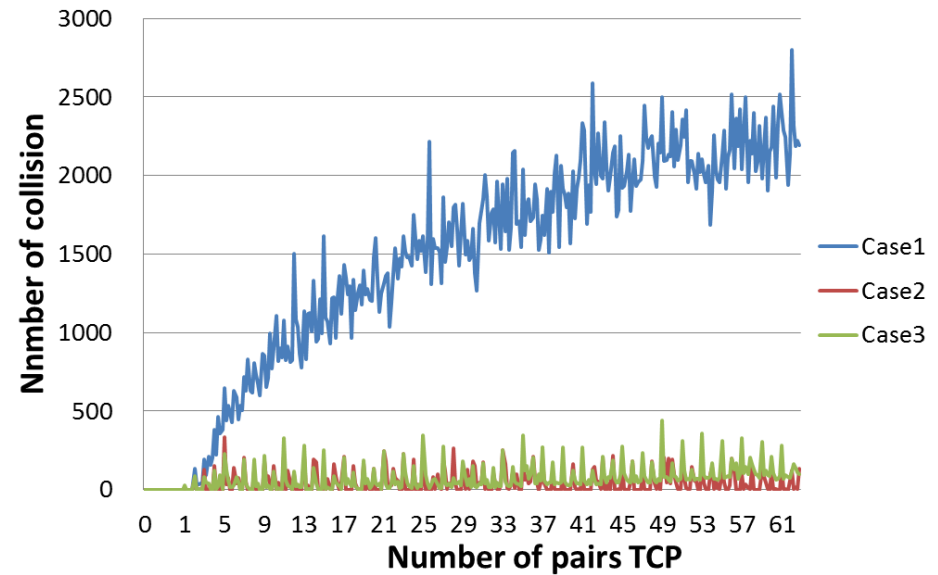
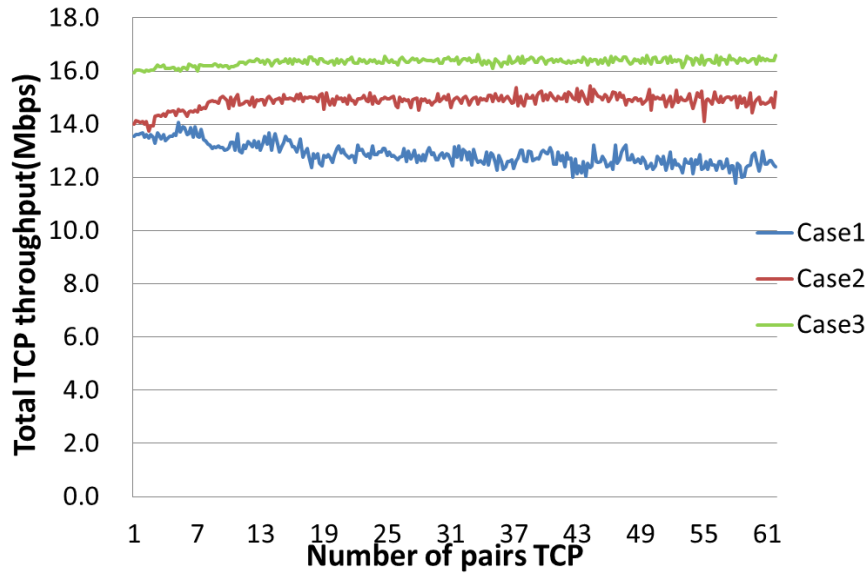
シミュレーションのフィールド構成

- ▶ 端末配置をランダムに配置
- ▶ TCP又はUDPのみの通信を測定
 - 任意の2対をランダムに選択



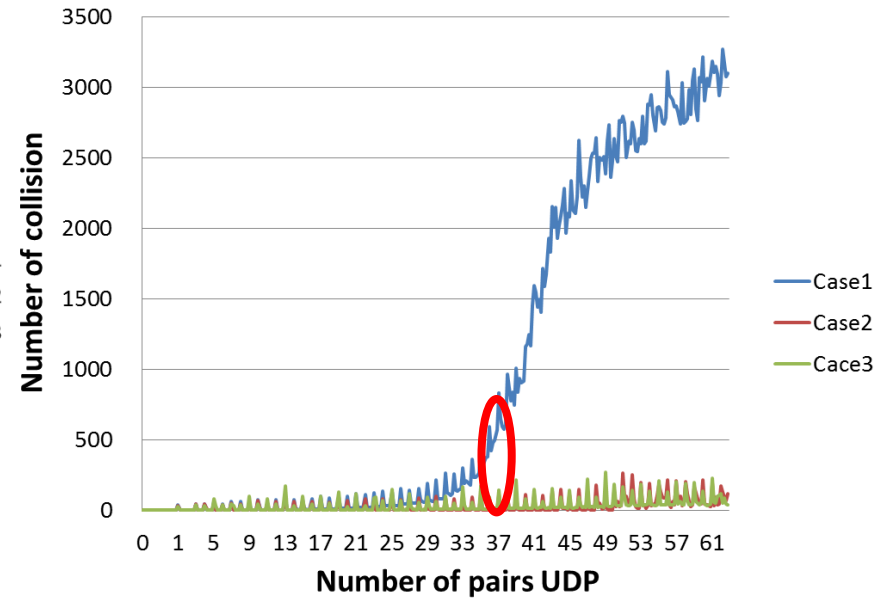
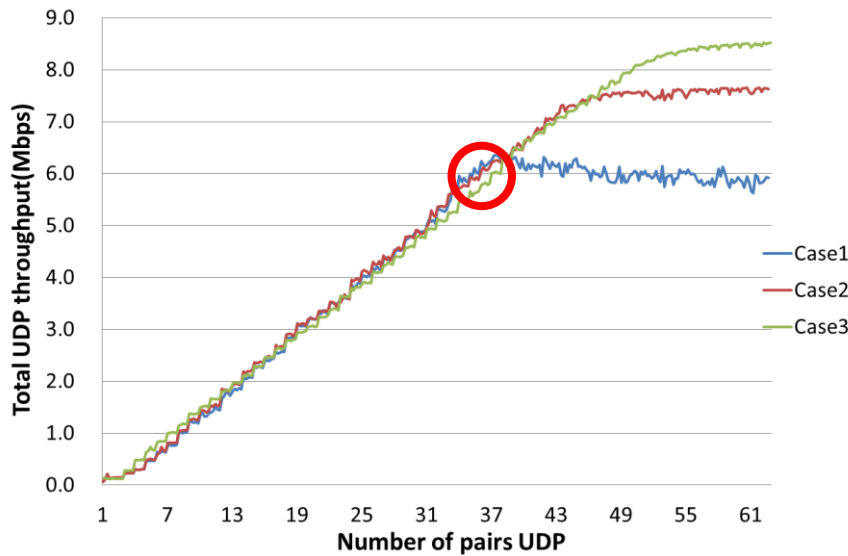
試行回数	20回
TCP通信数	1~60対
UDP通信数	1~60対
フィールド	300×300(m)
台数	50台

TCP通信の結果



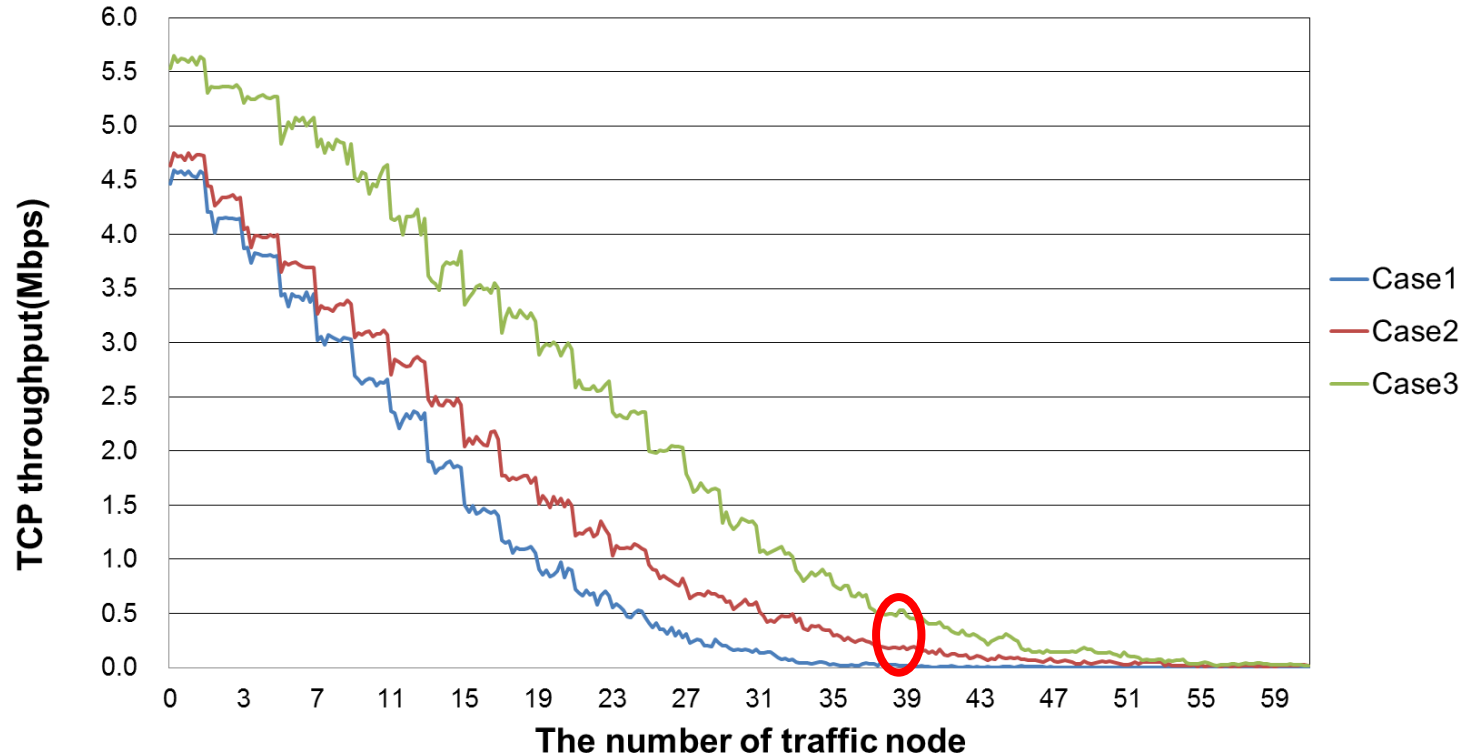
- Δt の短縮によりスループットが増加
 - 待機時間の短縮により送信数が増加

UDP通信の結果



- スループットの最大値の向上
 - 通信量の増加に伴う通信限界の向上

混在空間における結果



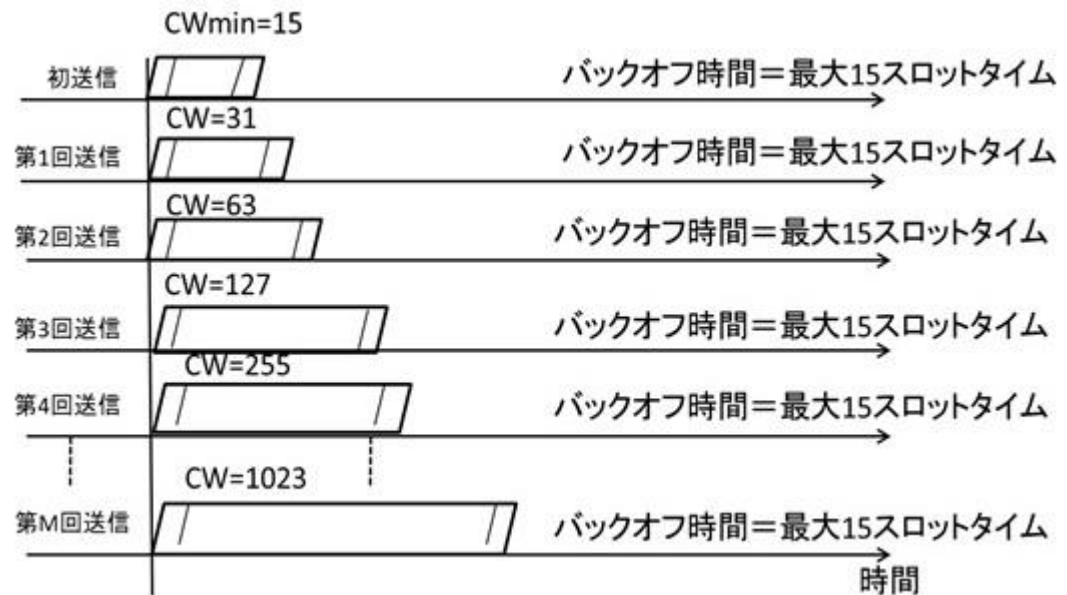
- Δt の短縮によりスループットが大幅に向上
- スループットの低下が大幅に軽減されている

バックオフアルゴリズム

- ▶ バックオフアルゴリズムにおいて、乱数は以下の様に CWmin から始まり Cwmax になるまで

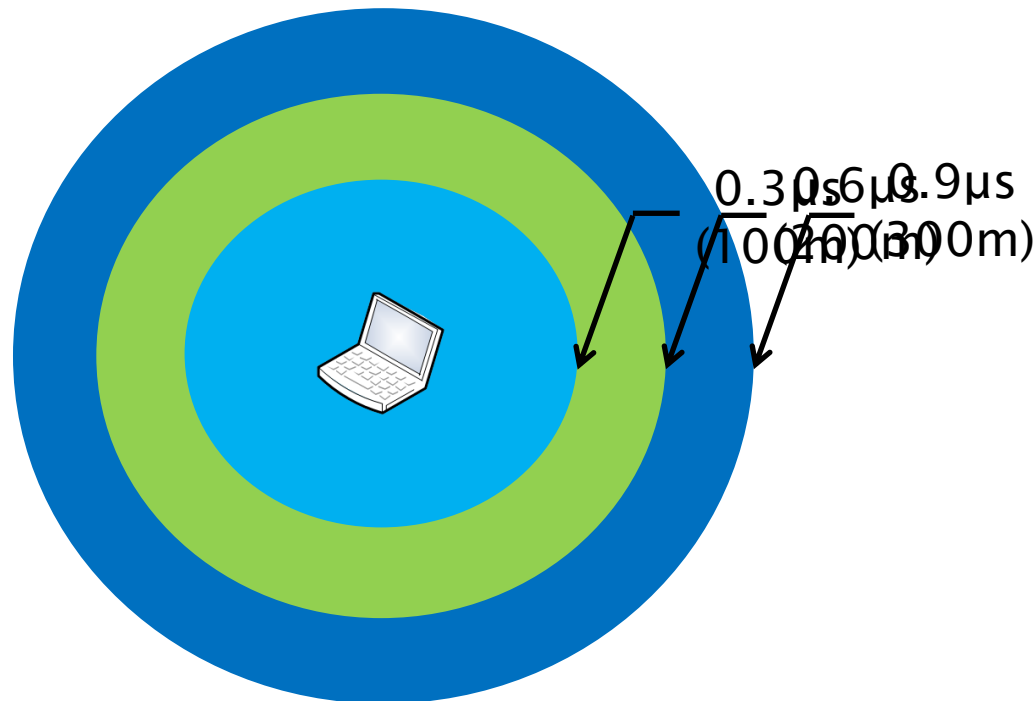
$$(CWmin + 1) \times 2^n - 1$$

上記の式の指数関数で CW の範囲内からランダムに選択される。



SBTの到達速度

- SBTは速度は c (光速)なので100m(通常の通信範囲)先の端末への到達速度は約 $0.3\mu\text{s}$
→3ホップ先の端末への到達速度は約 $0.9\mu\text{s}$ である

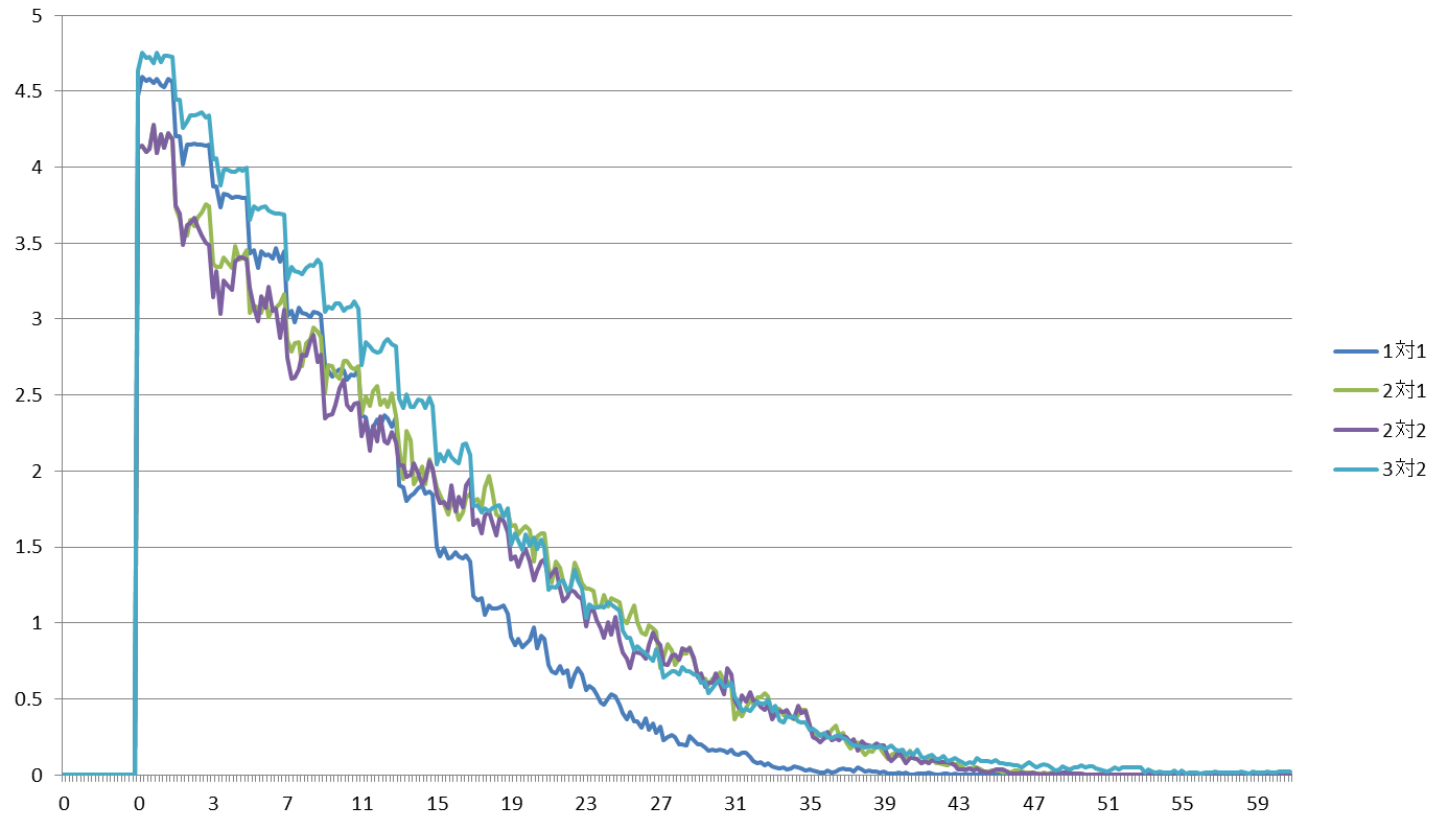


各シーケンスの時間

- RTS/CTS方式を用いた際の各シーケンスにおける時間

DIFS		28
Back-off		135~9207
RTS	PLCP 本体	26 3
SIFS		16
CTS	PLCP 本体	26 3
DATA	PLCP 本体	26 227
ACK	PLCP 本体	26 3

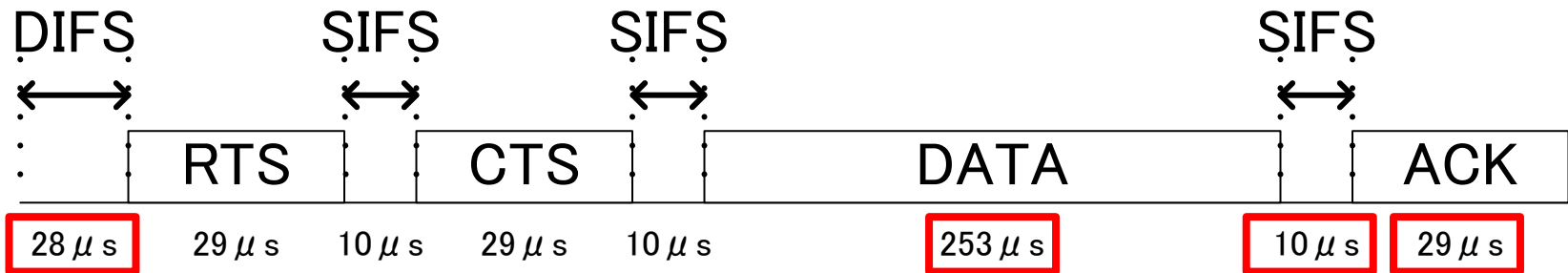
差別実験



- 提案方式である3:2が最も効果が高い
- 中途半端な拡大はスループット低下に繋がる

通信時間の短縮

- RTS/CTSを用いた通信時間: $398\mu s$
- SBT-D導入時の通信時間: $320\mu s$





ストロングビジートーンを用いた 無線LANアクセス制御方式の提案と評価

名城大学大学院 理工学研究科
渡邊研究室
伊藤智洋

