

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

100425167 清水 智彦
渡邊研究室

1. まえがき

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つの端末が互いに電波の届かない位置にあり、同じ端末に送信を行うと、衝突が発生する問題である。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。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ができない。そこで、ストロングビジートーン (以下 SBT : Strong Busy Tone) と呼ぶ制御信号を用いることにより、隠れ端末問題を解決する方式を提案する。

2. RTS/CTS 方式の課題

RTS/CTS 方式は DATA の送信に先立ち、送信の予約を行う方式である。これにより、受信端末周辺の端末の送信を抑制し、パケットの衝突を防止する。しかし、トラフィックが増加するにつれ、RTS 同士の衝突や CTS と DATA の衝突が発生してしまう。その理由として、RTS、CTS 自体がパケットであるため、端末の制御にある程度の時間がかかるためである。

すべてのパケットには PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) と呼ぶ物理ヘッダが付加される。PLCP は受信信号の同期や伝送速度など、データ通信速度の識別に用いる情報が記載されており、すべての端末が受信できるように最低速度で送信される。そのため、パケットである RTS、CTS の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 のやり取りにかかるオーバーヘッドが非常に大きい。

3. 提案方式

これらの課題に対し、ビジートーン技術を用いることにより、周辺端末を制御しスループットを改善する手法がある。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。

ビジートーンは情報を含んでおらず帯域が狭いので、電力消費が小さいという特徴がある。そのため、遠隔の端末を瞬時に制御することができる。また、複数の端末が同時にビジートーンを発生させても、周辺の端末はこれを検知することができる。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てしまう状況を回避することができない。

我々はこれまで、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 SBD-RC と呼ぶ方法を提案してきた [1]。SBT-RC では、RTS/CTS と同時に SBT を送信し遠隔の端末まで瞬時に制御することにより、衝突数を劇的に減らし、スループットを向上できることがわかっている。また、SBT によって制御を行うことで CSMA/CA の待機時間演算要素であるスロットタイム (以下: Δt) の値を短縮し、スループットを大きく向上させることが可能である。しかし、SBT-RC では RTS/CTS のオーバーヘッドはそのまま残されていた。

本提案では SBT を用いた新しい方式として、RTS/CTS を無くし、DATA に対して SBT による制御を行うことにより、スループットを向上させる方式を提案する。

図 1 に SBT-D の動作を示す。図 1 では端末 A から端末 B に対して DATA を送信している様子を示している。端末 A は、DATA の送信と同時に 2 ホップ先に到達するよう電波到達範囲を 2 倍に拡大した SBT を送信する。この

SBT を検出した端末はデータの送信を開始することができない。ただし、すでに通信を開始している状態で SBT を検出しても通信を継続する。端末 C は SBT を受信している間は通信を開始することができないため、隠れ端末問題を防止することができる。

SBT を適用した方式は、衝突を防止させることはできるが、周辺端末の送信を抑制するため、スループットを低下させる要因にもなりうる。そこで、ns-2 によるシミュレーションにより SBT-D の効果を検証した。図 2 にシミュレーションによる各方式のスループットの比較を示す。図 2 は、均等配置した端末の中で TCP 通信を 1 対、背景負荷として UDP 通信を複数 (0~ 60 対) 発生させ、TCP 通信のスループットを計測したものである。

グラフより、SBT-D で Δt を短縮した方式のスループットが最も高くなっていることがわかる。

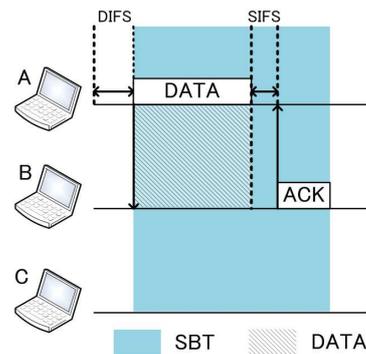


図 1: SBT-D の動作

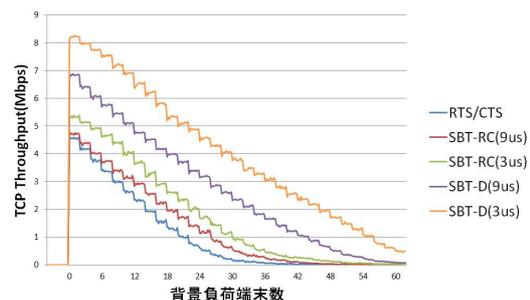


図 2: スループットの比較

4. まとめ

RTS/CTS の課題を解決するために、RTS/CTS の代わりに、SBT を利用して隠れ端末問題を解決する SBT-D を提案した。今後は、様々な測定条件における評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 伊藤智洋, 他: 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.

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 ストロングビジートーンの提案

100425167 渡邊研究室
清水智彦

研究背景

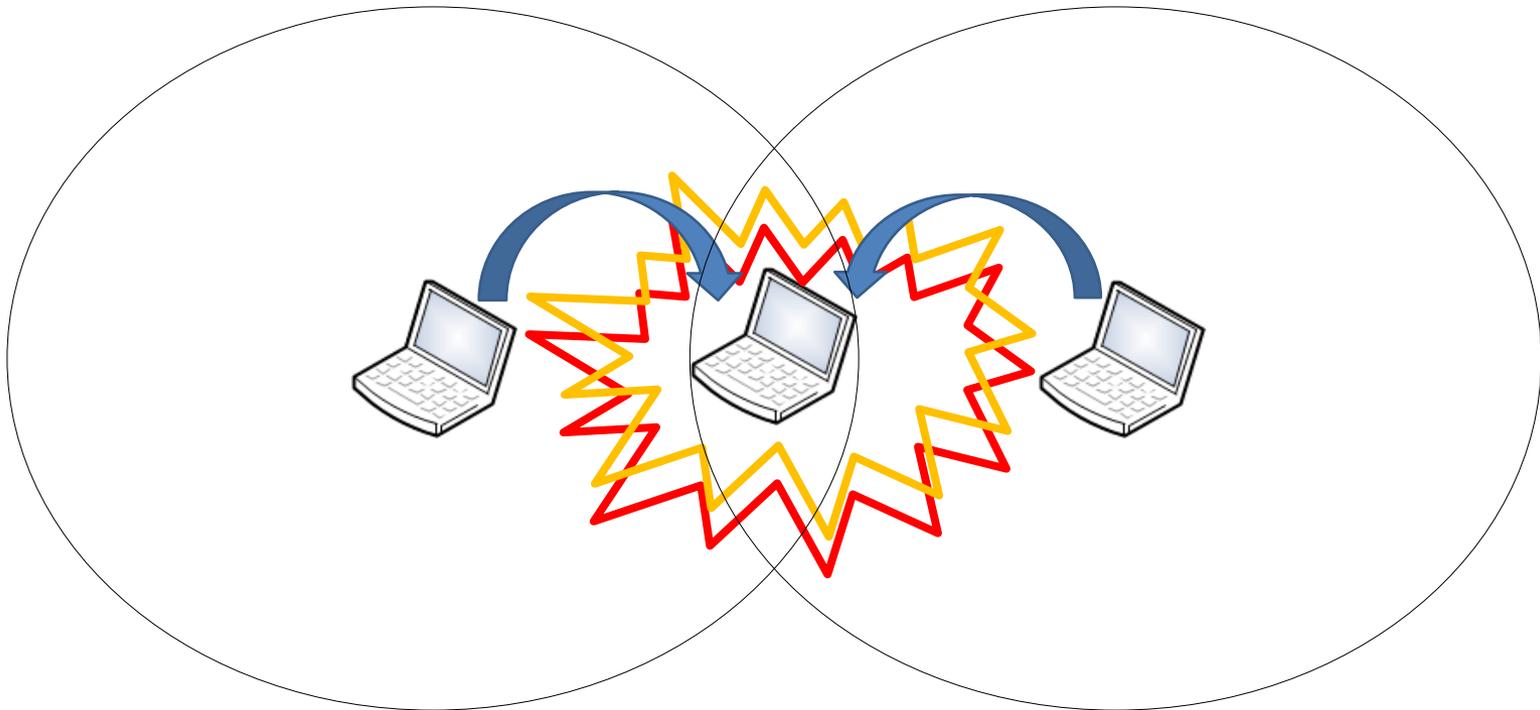
- ▶ 無線LAN技術の急速な普及
 - スマートフォン, タブレット端末の普及
 - 通信速度・性能のさらなる向上

- ▶ アドホックネットワーク
 - アクセスポイントのためのインフラが不要
 - 災害時やイベント会場などで利用

課題

▶ 隠れ端末問題

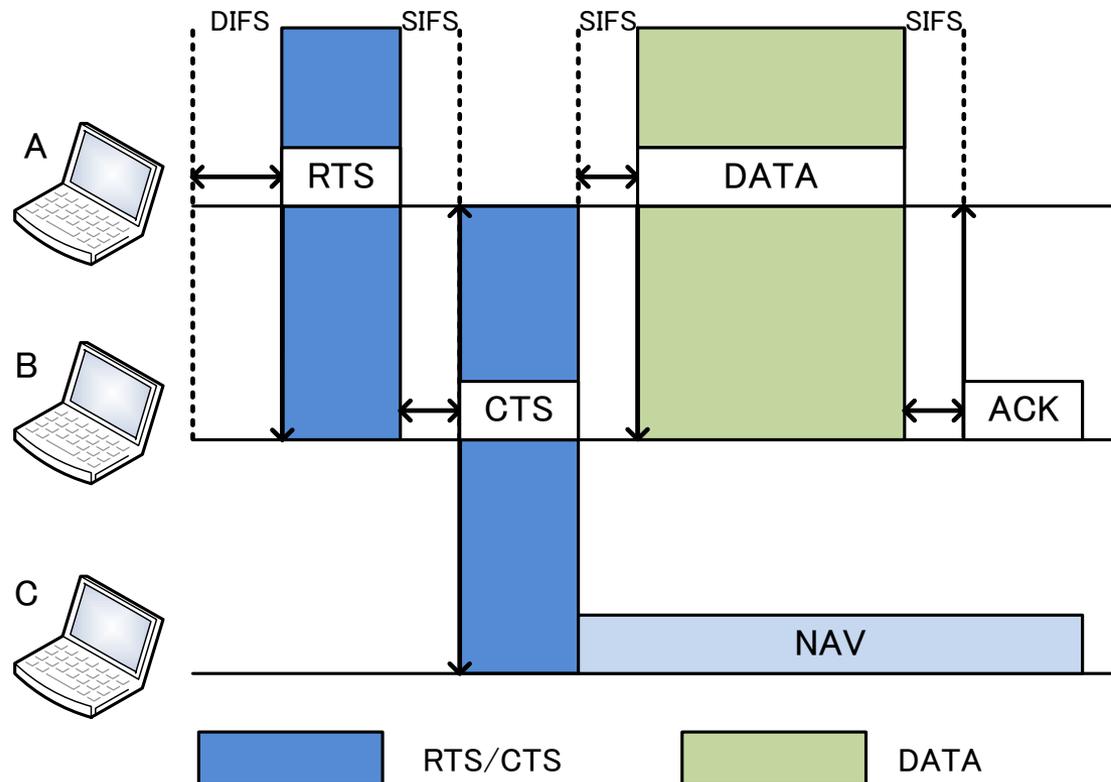
- 無線LANにおける通信では互いに電波の届かない端末の状態は把握できない
- 同じ端末に複数の端末が送信を行い衝突



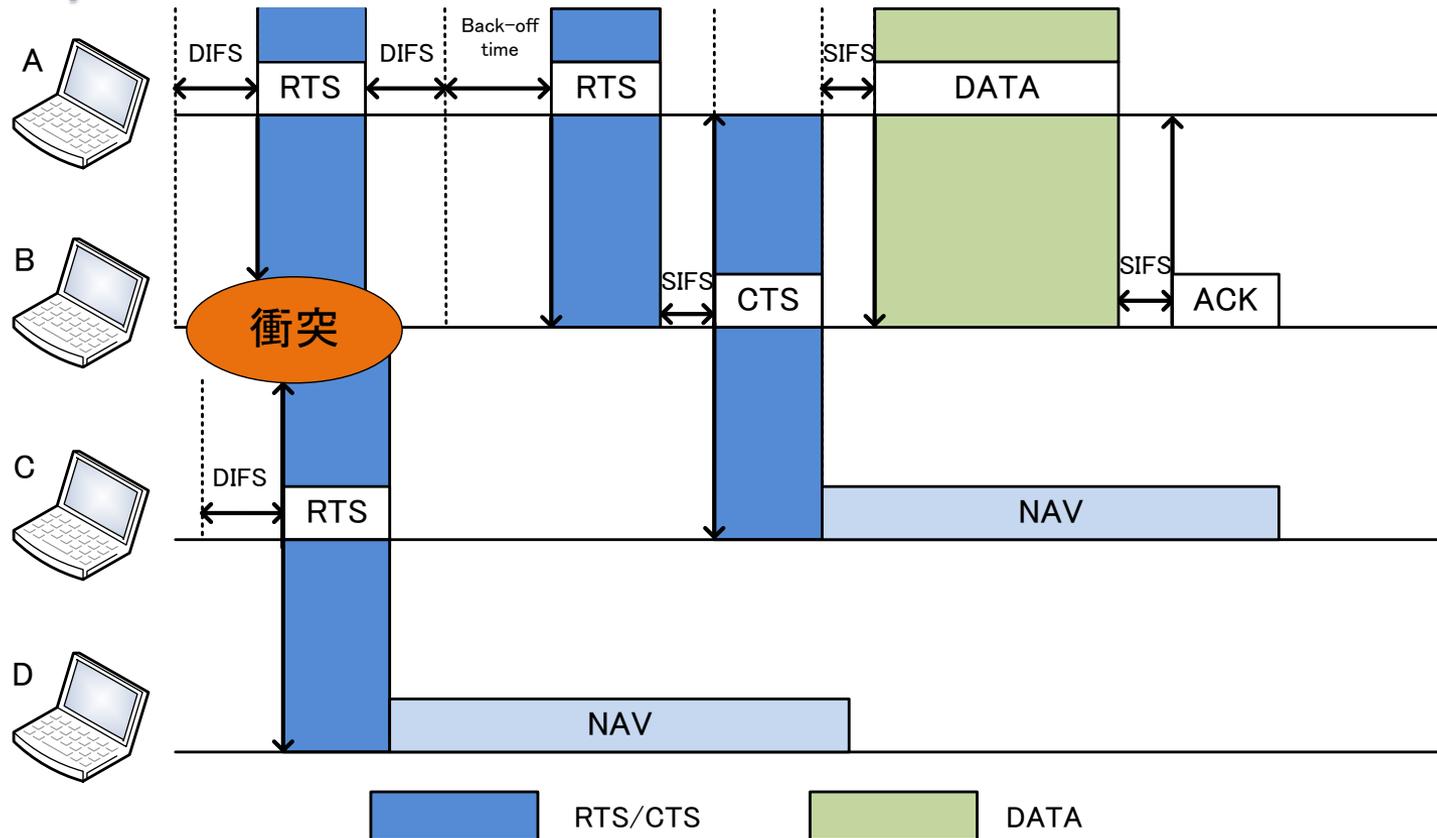
既存方式

▶ RTS/CTS方式

- IEEE802.11ではRTS/CTSによる送信予約によって隠れ端末問題を解決
- RTS : Request to Send, CTS : Clear to Send
- 周辺端末を制御することにより衝突を防止

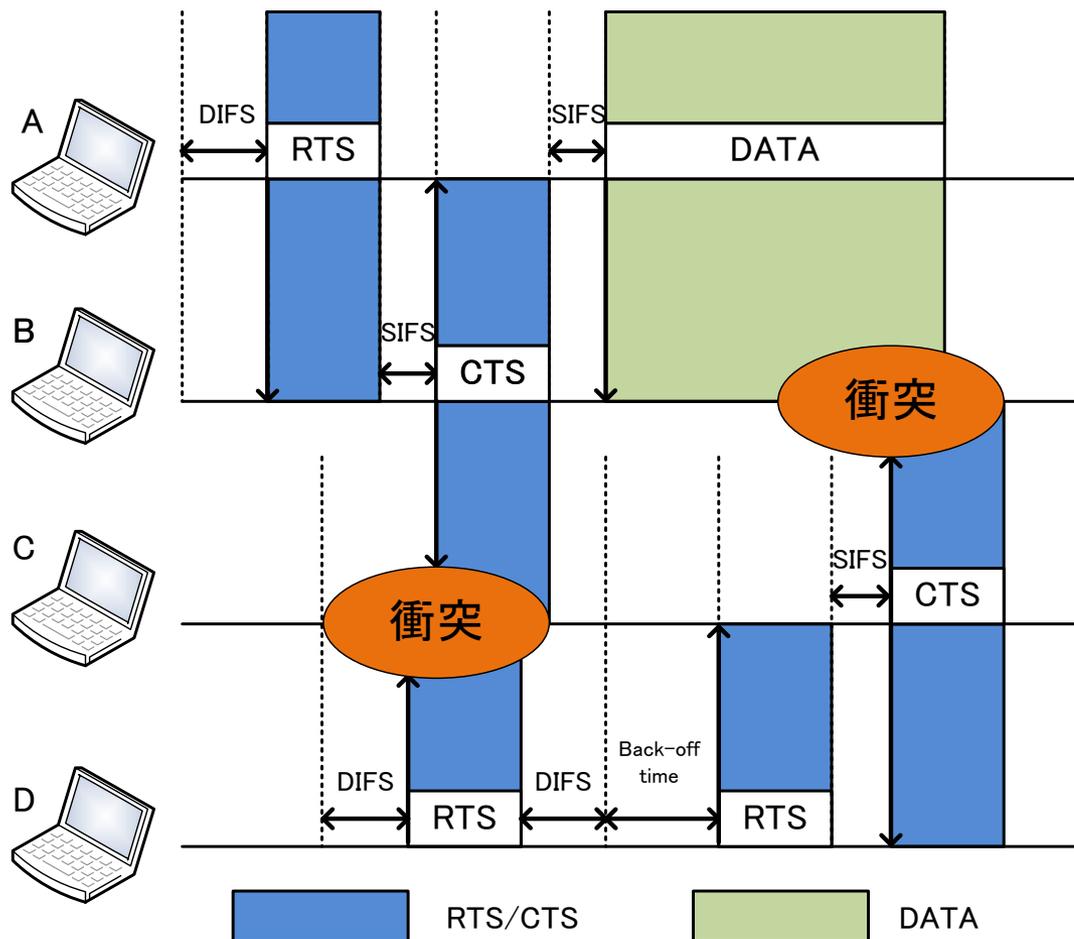


RTS/CTS方式の課題(1)



- ▶ 端末A, Cが同時に送信を開始⇒RTS同士の衝突
 - RTSがパケットであるため、送信に時間がかかる
- ▶ 端末Dに無駄な待機時間, さらし端末問題

RTS/CTS方式の課題(2)

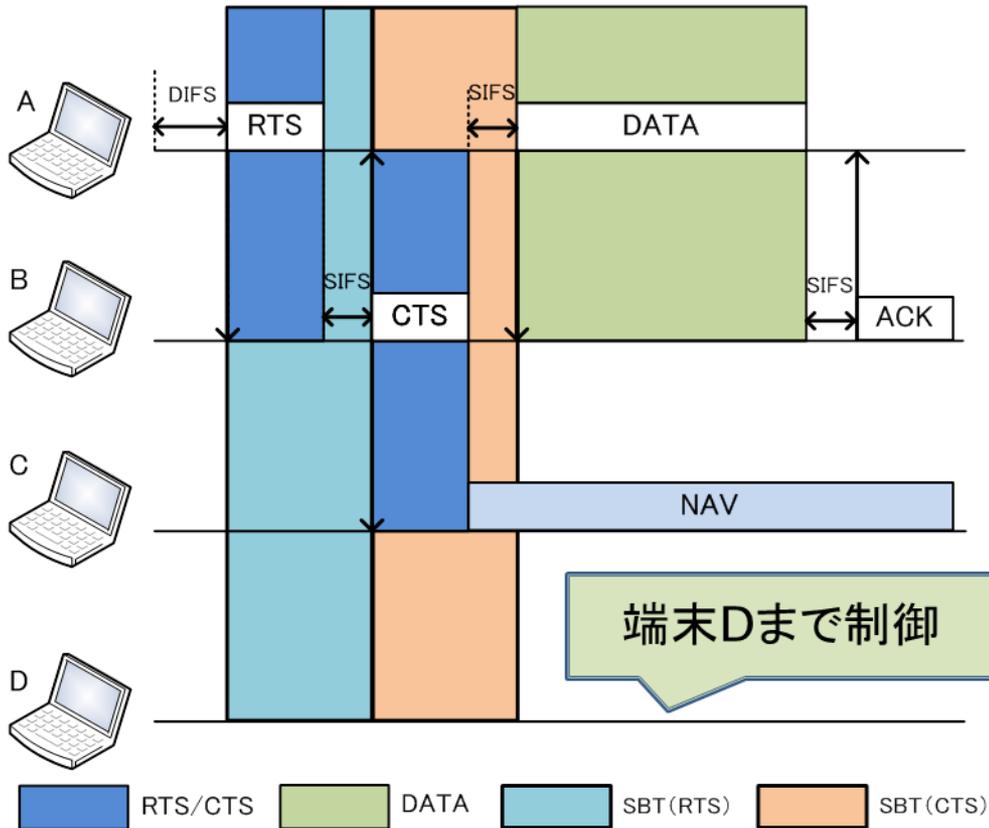


- ▶ 端末CがCTSによって制御されない
- ▶ DATAが衝突すると長時間の通信が無駄に
- ▶ 端末Dまでが通信に影響

SBT (Strong Busy Tone)

- ▶ ビジートーン(既存研究)
 - 単一の周波数の電波⇒低消費電力で送信可
 - データを含まないため, 瞬時に制御が可能
 - ビジートーンを検知している端末は通信を開始できない
- ▶ SBTによる制御
 - ビジートーンの電波到達範囲を拡大
⇒隠れ端末まで制御可能

SBT-RC (SBT-RTS/CTS) 方式



▶ SBT

- RTS送信時: 3ホップ先
- CTS送信時: 2ホップ先



- ▶ 衝突防止効果が高い
- ▶ スループットの向上
- ▶ RTS/CTSとの混在可

スロットタイム (Δt) の短縮

SBTを適用することでスロットタイムの短縮が可能

▶ スロットタイム

- 待機時間DIFS, Back offの決定要素
- パケットによる制御を前提としている

⇒ 制御をSBTで行うことで Δt の中で不要な要素を排除

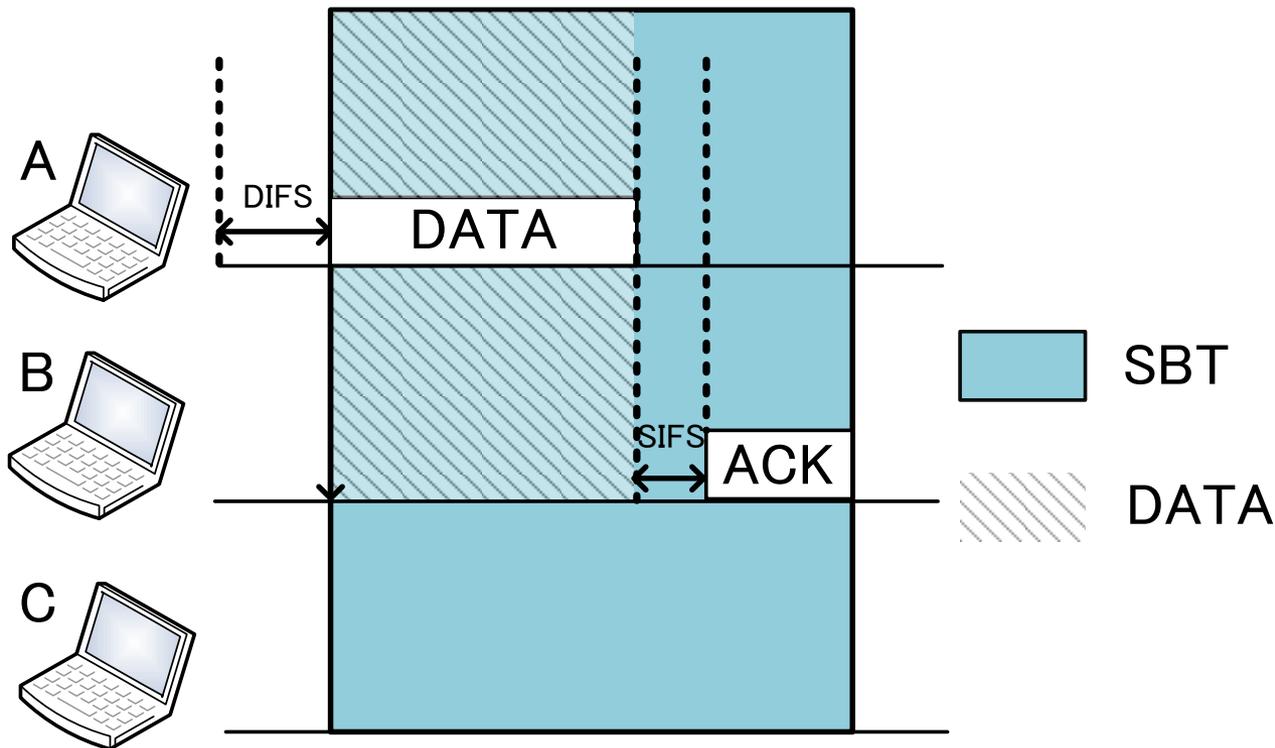
IEEE802.11gにおける Δt は $9\mu\text{s}$

SBTを適用した方式では $3\mu\text{s}$ まで短縮

提案方式

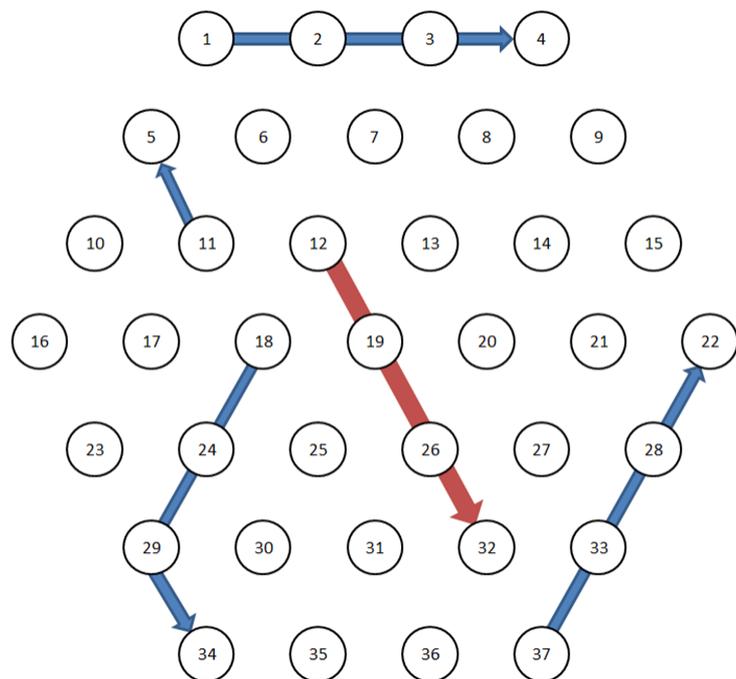
SBT-D (SBT-DATA)

- ▶ RTS/CTSをなくし, DATA部と同時にSBTを送信
- ▶ SBTの送信範囲は電波到達範囲の2倍の距離



既存方式とは混在不可

ns-2によるシミュレーション



TCP通信

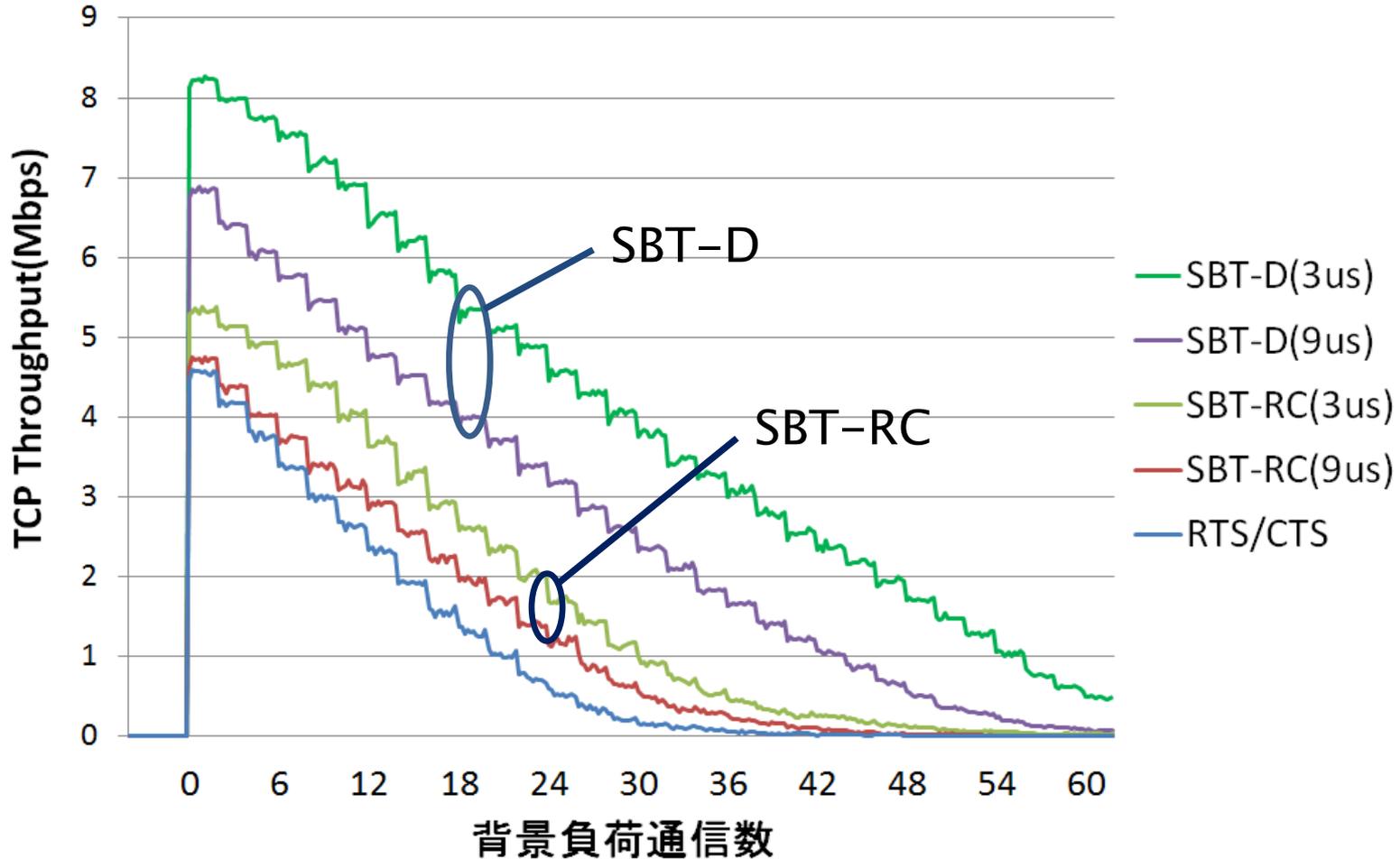


UDP通信

試行回数	30 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
通信形態	802.11g
無線帯域	54 Mbps
フィールド	1000 × 1000m

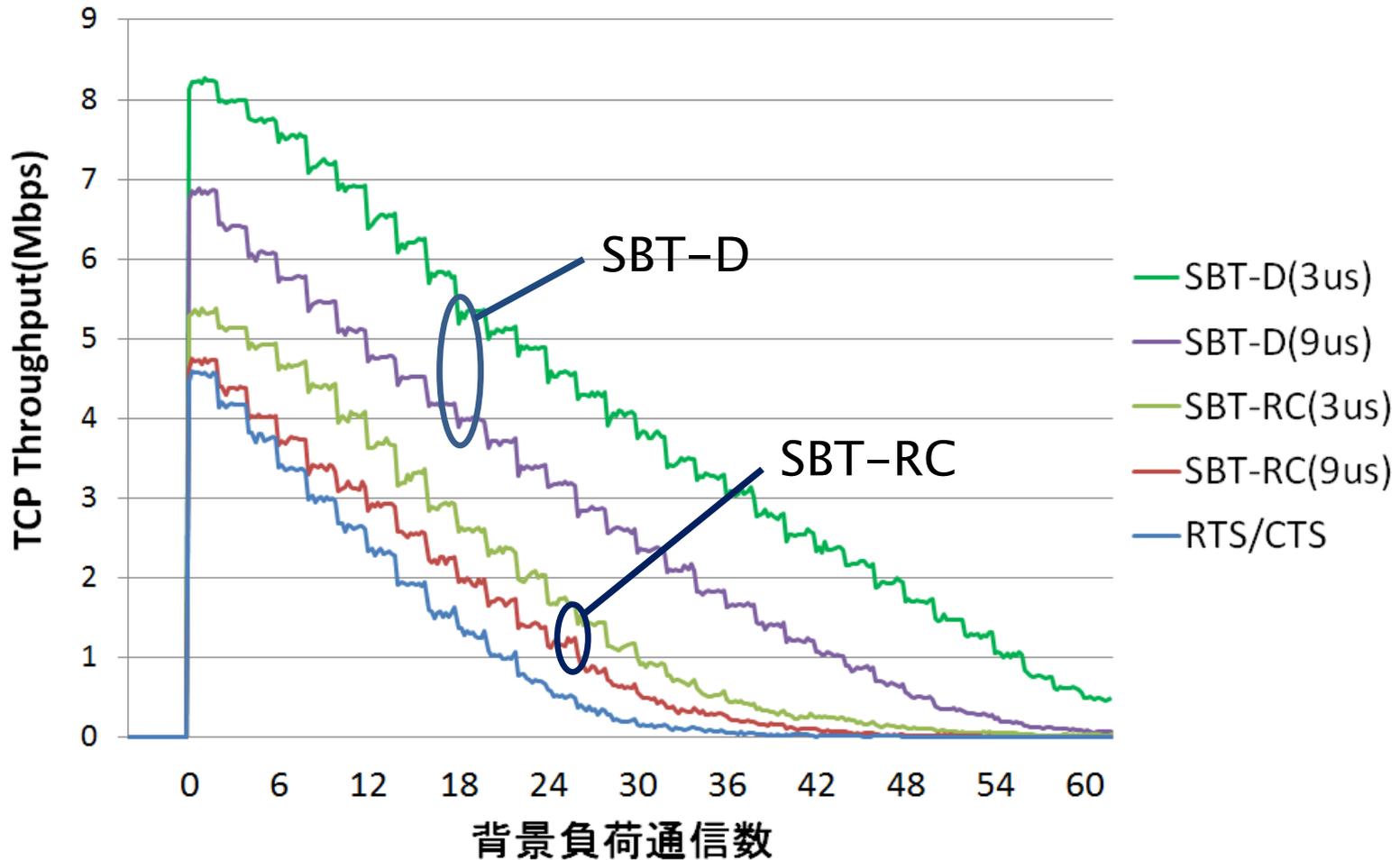
項目 / 端末種別	測定端末	背景負荷端末
プロトコル	TCP	UDP
通信組	1 対	0~60 対
ペア選定方法	固定	ランダム

シミュレーション結果



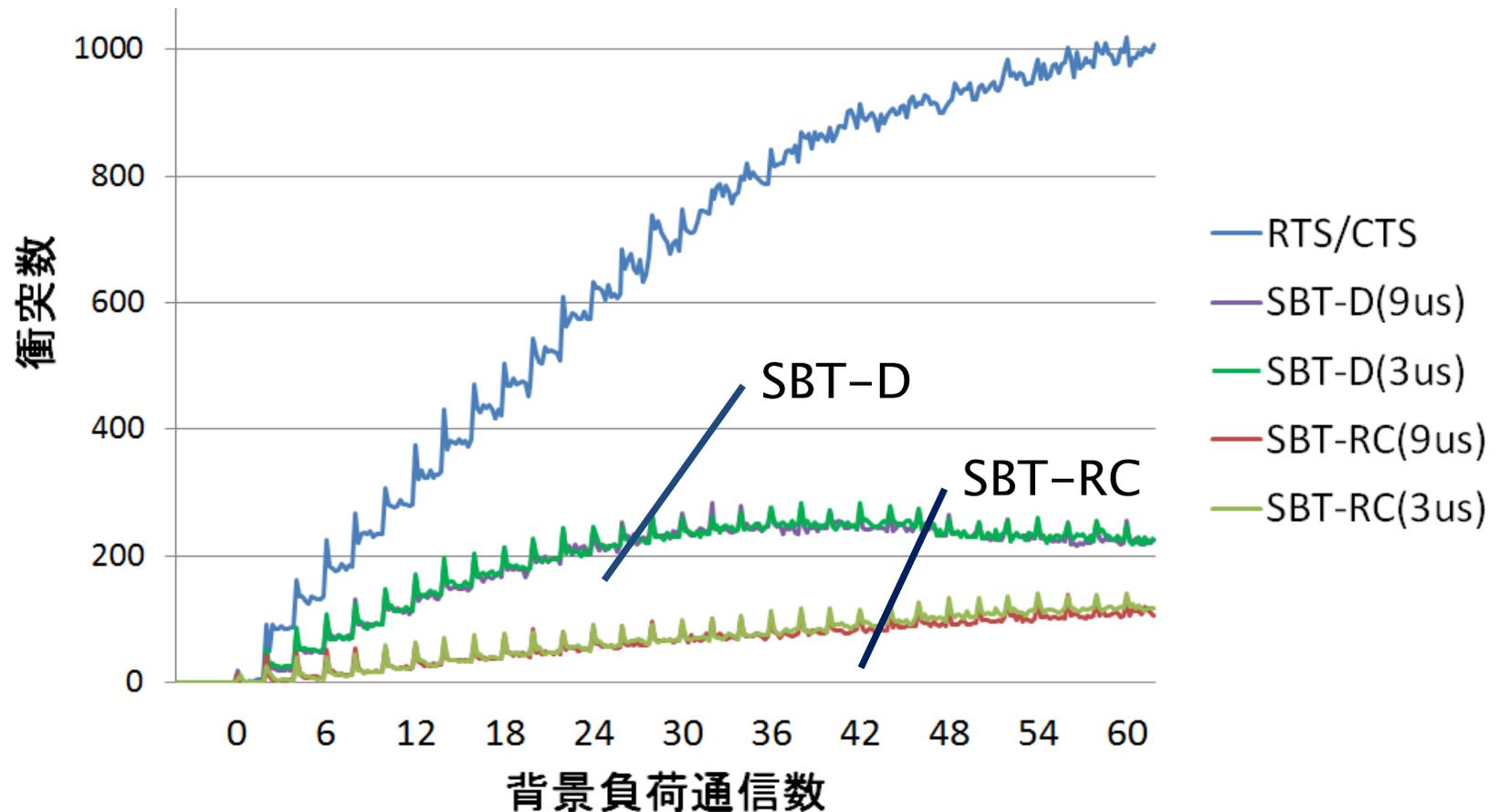
- ▶ SBTを適用したすべての方式においてスループットが向上
- ▶ Δt の短縮によってスループットが向上

シミュレーション結果



- ▶ RTS/CTSのオーバーヘッドが非常に大きい

シミュレーション結果



- ▶ SBTを適用することで衝突が大きく減少
 - 隠れ端末問題, さらし端末問題の解決

まとめ

- ▶ SBT-Dの提案
 - RTS/CTSを省略し, スループットを改善する方式を提案
- ▶ ns-2によるシミュレーション
 - 提案方式の有用性を証明

- ▶ 今後
 - 様々なシナリオにおける評価

補足資料

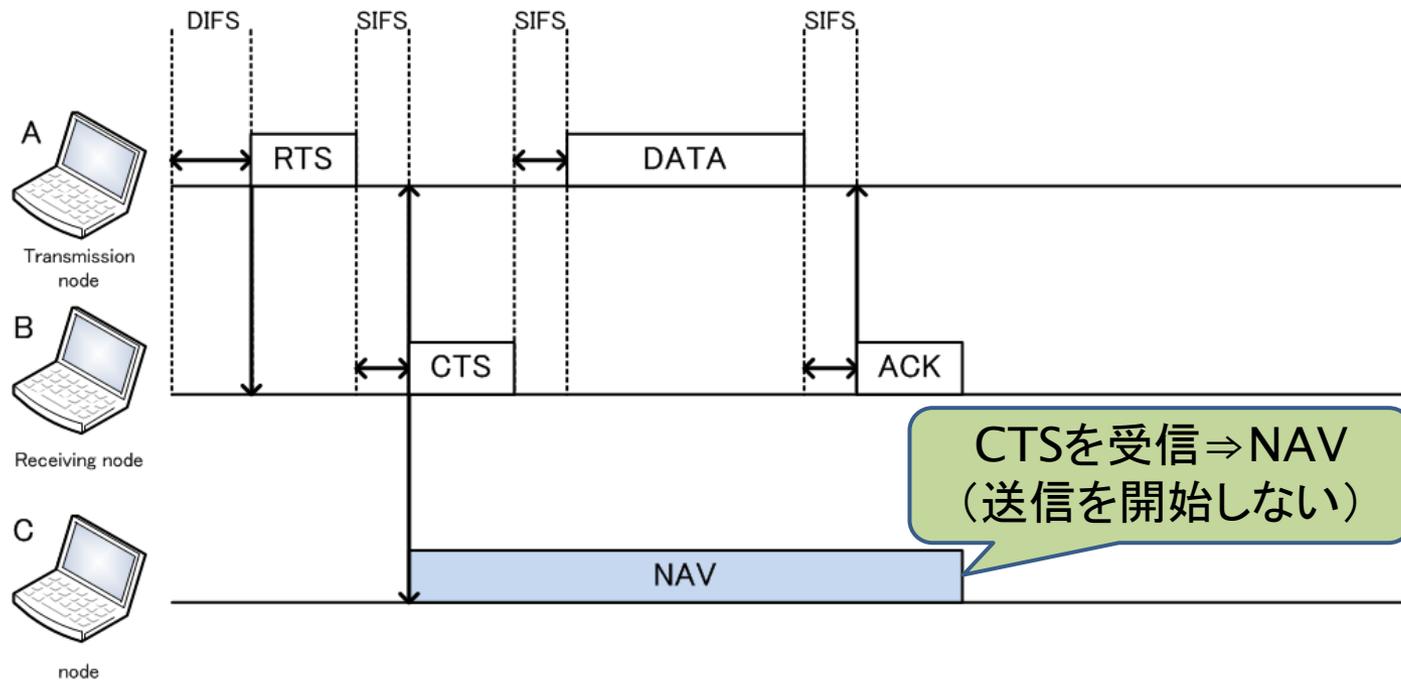
ガードバンド

- ▶ 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
 - 2つの通信チャンネルの間にある未使用周波数帯
 - 規格によっては周波数帯が重複している場合もあるため確認が必要

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 : Request to Send(送信予約)
- CTS : Clear to Send(予約完了)

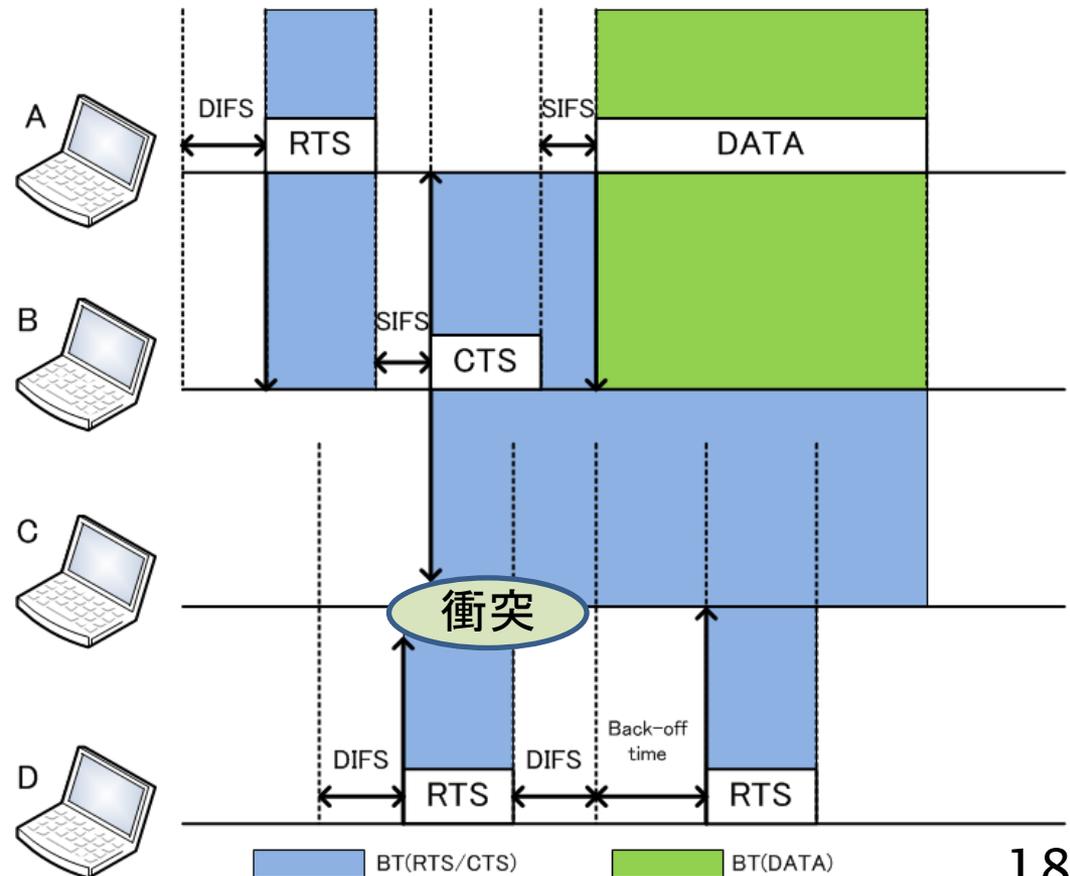


- ▶ 送信中の端末が近隣の端末に通信中であることを伝える制御信号
 - 単一の周波数の電波⇒小電力で広範囲に送信可能
 - データを含まないため瞬時に制御が可能

CTSを正しく受信できなかった場合でも、衝突を防ぐことができる



既存技術では隣接端末までしか制御できない



PLCPに起因する課題

▶ PLCP

- すべてのパケットに付加
- **最低速度**で送信される



- 同期の確立に必要な情報
- RTS本体の送信速度
などが含まれる

PLCP(物理ヘッダ)について

パケットのフォーマット

PLCP部分

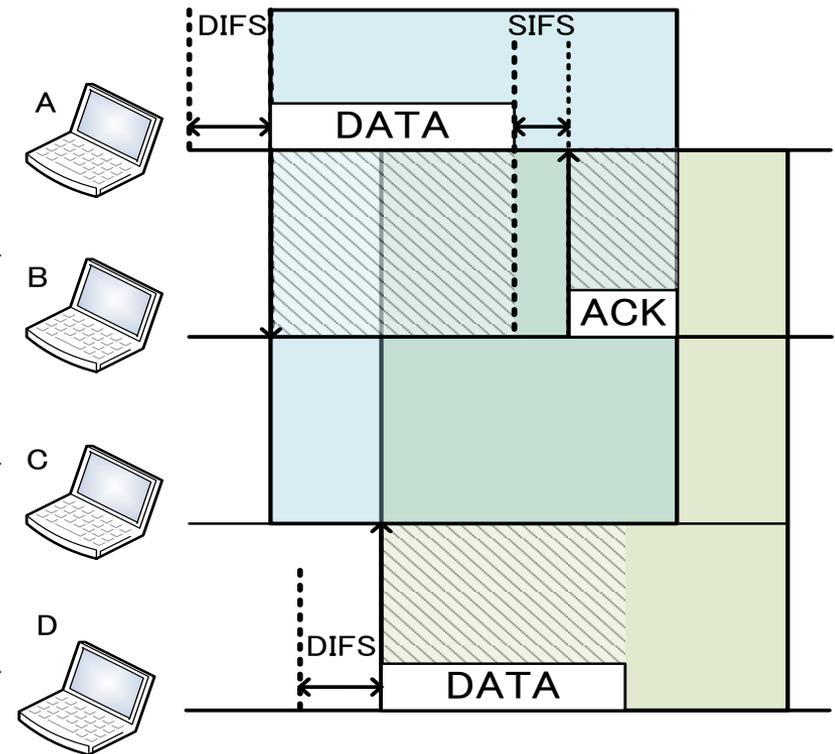
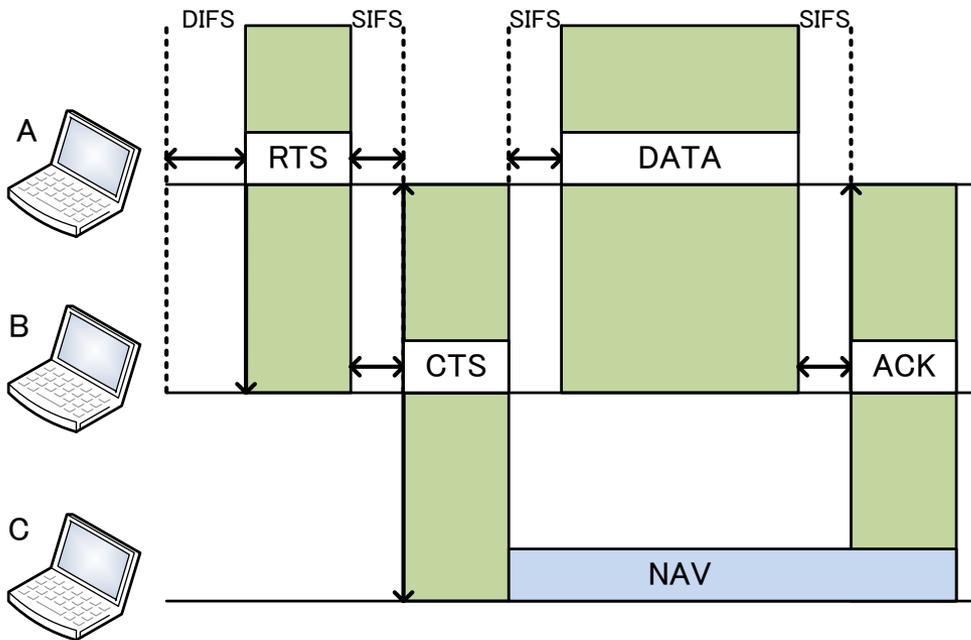
本体部分(データ部)

IEEE802.11では、伝送速度の情報を含むPLCP部分を最も遅い伝送速度で送るという制約があるため、RTS/CTS本体が短く設定(3 μ 秒)されていても、送信に時間がかかってしまう

IEEE802.11g		時間(μ 秒)
RTS	PLCP	26
	本体	3
CTS	PLCP	26
	本体	3
DATA	PLCP	26
	本体(最大)	227
ACK	PLCP	26
	本体	3

提案方式(補足)

- ▶ RTS/CTSが必要な理由
 - DATA送信の確実性を高める
 - NAVを利用する制御方法



Δt の短縮について

$\Delta t = \text{CCATime} + \text{AirPropagation}$

+ $\text{RxTxTurnaroundTime} + \text{MACProccessingDelay}$

- ▶ **CCATime 【4 μs 】** : 端末の状態判定時間
(SBTによって端末の状態を判定)
- ▶ **AirPropagation 【1 μs 】** : 伝搬時間 (100mあたり0.3 μs \Rightarrow 1 μs)
- ▶ **RxTxTurnaroundTime 【2 μs 】** : 送受信切り替え時間
- ▶ **MACProccessingDelay 【2 μs 】** : MAC処理時間
(パケットではないためMAC処理時間はほとんどかからない)

シミュレーション結果の考察(1)

処理	RTS/CTS	提案方式
DIFES	34	34
RTS	29	
SIFS	10	
CTS	29	
SIFS	10	
DATA	227	
ACK	29	29
合計	368	290

21%の時間短縮

IEEE802.11g		時間(μ秒)
DIFS		34
Back off		135 ~9207
RTS	PLCP	26
	本体	3
SIFS		10
CTS	PLCP	26
	本体	3
DATA	PLCP	26
	本体(最大)	227
ACK	PLCP	26
	本体	3