

# アドホックネットワークにおけるストロングビジートーンの導入とバックオフアルゴリズム修正の提案

伊藤智洋<sup>†</sup> 旭健作<sup>†</sup> 渡邊晃<sup>†</sup>

名城大学理工学部<sup>†</sup>

## 1. はじめに

アドホックネットワークでは、アクセスポイントの介在なしに複数の端末を相互に接続するマルチホップ通信を容易に形成することが出来る。しかし、アドホックネットワークには、隠れ端末問題という不可避の問題が存在する。隠れ端末問題とは、2つの互いに電波の到達範囲外(隠れた位置)にいるノードが同じ受信ノードに情報を送信すると、データの衝突を引き起こす問題である。

IEEE802.11では、隠れ端末問題への対策としてRTS(Request to Send)/CTS(Clear to Send)方式が標準規格として採用されているが、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][2]と呼ぶ特殊な制御信号を用い、さらにCSMA/CAのバックオフアルゴリズムを修正することにより衝突回数を減少させる方法について提案する。

## 2. RTS/CTS方式の課題

RTS/CTS方式の課題の例を図1に示す。ノードAとノードCは隠れ端末の関係にあり、ノードAからノードBに送信が行われる。

ノードAが送信したRTSに対して、ノードBはCTSを返信して送信を許可する。ここで、RTS/CTSのやりとりの間にさら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とノードCの部分で衝突する。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。

Introduction of Strong Busy Tone and proposal fixed back-off algorithm in Ad-hoc Network

<sup>†</sup>Tomohiro Ito, <sup>‡</sup>Kensaku Asahi, <sup>†</sup>Akira Watanabe

<sup>†</sup>Faculty of Science and Technology, Meijo University

<sup>‡</sup>Graduate School of Science and Technology, Meijo University

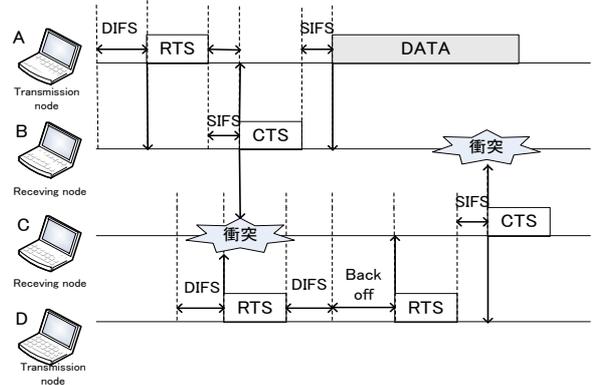


図1. RTS/CTS方式の課題

## 3. 提案方式

### 3.1 SBTの導入

上記課題を解決するためにストロングビジートーン(以下 SBT)を導入する。

ビジートーンとは、単一の周波数の電波で、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である。また、ビジートーンは単一周波数の狭帯域信号であり、小さな送信電力でも広範囲において受信可能であるため、それによる電力消費の増加は小さい。また、複数の装置が同時にビジートー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。

SBTの到達範囲は、RTS送信時には通常の通信範囲の3倍、CTS送信時には2倍に距離を拡大したSBTを同時に送信する。各ノードはSBT受信中に新たな送信を開始することはできない。既に送信中の場合はSBTを受信しても無視するものとする。

図2にSBTの動作を示す。端末AはRTS送信時に3倍に拡大されたSBTを、端末BはCTSの送信と同時に2倍に拡大したSBTを送信する。

図1においてRTS/CTS方式ではノードDが制御されないため衝突が発生した。しかし、提案方式ではノードDまでSBTが届くため、ノードDの送信を抑えることが可能である。ノードDが制御されることで図1のような衝突は発生しない。これにより、パケット同士の衝突を大幅に軽減できる。

図 2 にあるように、ノード D が RTS 送信時にノード A まで SBT が到達するがノード A は通信中であるため SBT を無視し通信が継続する。

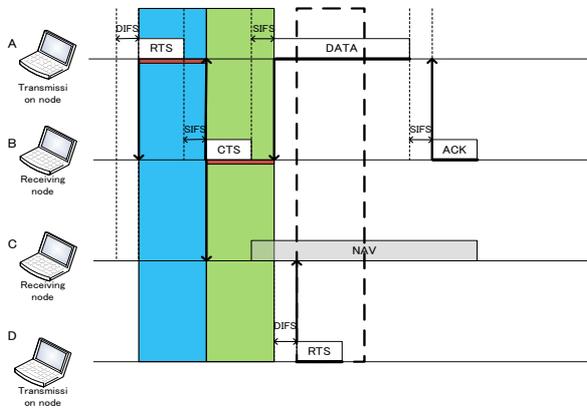


図 2. SBT の動作

### 3.2 バックオフアルゴリズムの修正

SBT によりパケットの衝突は大幅に軽減するものの完全になくすことはできない。衝突数のバックオフ時間の演算において 2 台のノードが同一乱数を生成すると再度衝突を繰り返す。

そこで、バックオフ時間におけるアルゴリズムを修正することで再送時におけるパケット衝突をさらに軽減する。バックオフ時間はスロットタイム(以下  $\Delta t$ )と CW(Contention Window)の値に乱数をかけたものが適用される。

IEEE802.11g において通常  $\Delta t$  は  $9.0 \mu s$ 、CW は最小が 15、最大が 1023 となっている。しかし、上記の値は有線通信の規格である CSMA/CD と同じ理論で設定されており、無線通信においては  $\Delta t$  を長く取りすぎている。そこで、SBT が 3 ホップ先の端末まで到達する時間を  $\Delta t$  と設定する。電波到達距離を 100m とすると、3 ホップ先のノード(300m)に SBT が届く時間は最長  $0.9 \mu s$  である。すなわち約  $0.9 \mu s$  で周辺端末を制御することが可能なため、 $\Delta t$  を  $1.0 \mu s$  と設定することができる。

$\Delta t$  の値を小さくしたことから、CW を相対的に大きくでき、同じ乱数を発生する確率を小さくできる。このことから、衝突発生確率をさらに軽減することが可能となる。

### 4. シミュレーション結果

提案方式について図 3 の環境でシミュレーションを行った。

ノード配置は簡略化のため、規則正しいメッシュ状とし、隣接ノードとの距離は電波到達可能な 90m とした。ノード 12 から 32 へ向け固定

した 1 組の TCP 通信に対して 10 秒ごとにランダムに選んだ 1 組のノードで UDP 通信を追加して発生させ TCP 通信のスループットを計測した。

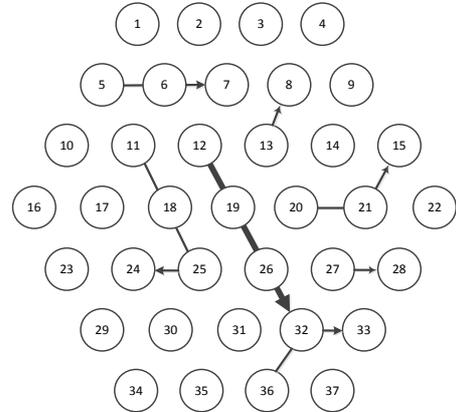


図 3. シミュレーション環境

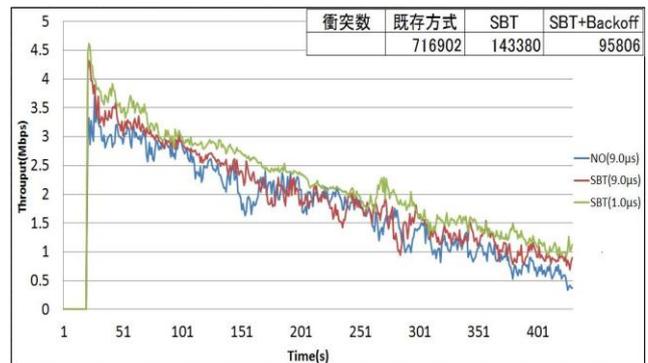


図 4. シミュレーション結果

図 4 にシミュレーション結果を示す。背景負荷が増加するとともに、提案方式では既存方式の約 2~3 倍のスループットを記録しており、提案方式の効果が表れていることがわかる。

また、衝突数も提案方式において大幅に衝突が軽減されている。

### 5. むすび

SBT の導入とバックオフ時間修正により衝突発生を大幅に削減するアルゴリズムの方式を提案した。今後は、さまざまな SBT の方式を検討していく予定である。

### 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ットーンの提案 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-MBL-057 Mar. 2011.  
 [2] 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の低下を防ぐ方式の検討 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2010)シンポジウム論文集, Vol. 2010, No. 1, pp. 593-597, Jul. 2010.

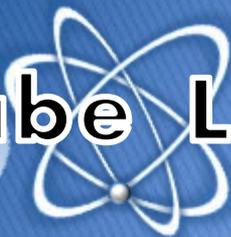


# アドホックネットワークにおける ストロングビジートーンの導入と バックオフアルゴリズム修正の提案

名城大学 理工学部

伊藤智洋, 旭健作, 渡邊晃

Watanabe Lab.

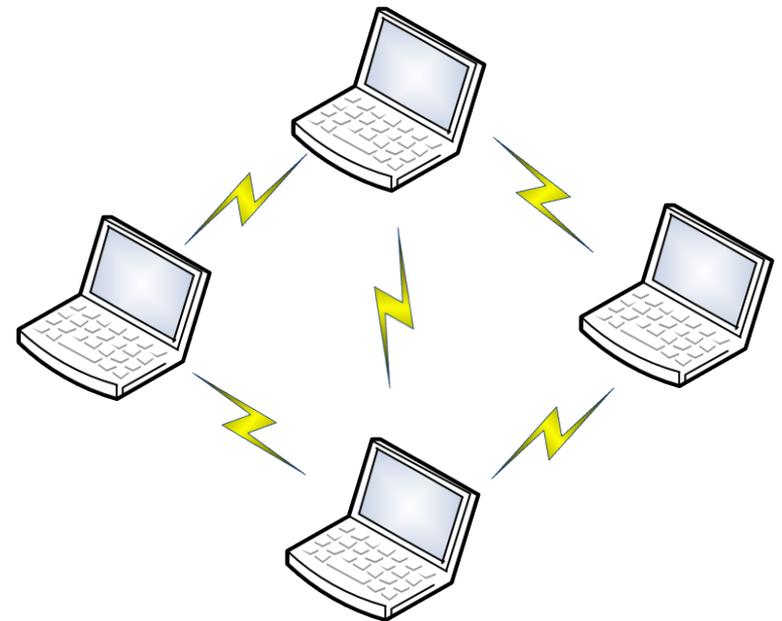


# 研究背景

- 現在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の形態
  - インフラストラクチャモード  
⇒ アクセスポイントを介して通信を行う
  - アドホックモード  
⇒ アクセスポイントの介在なしに相互に接続して通信を行う

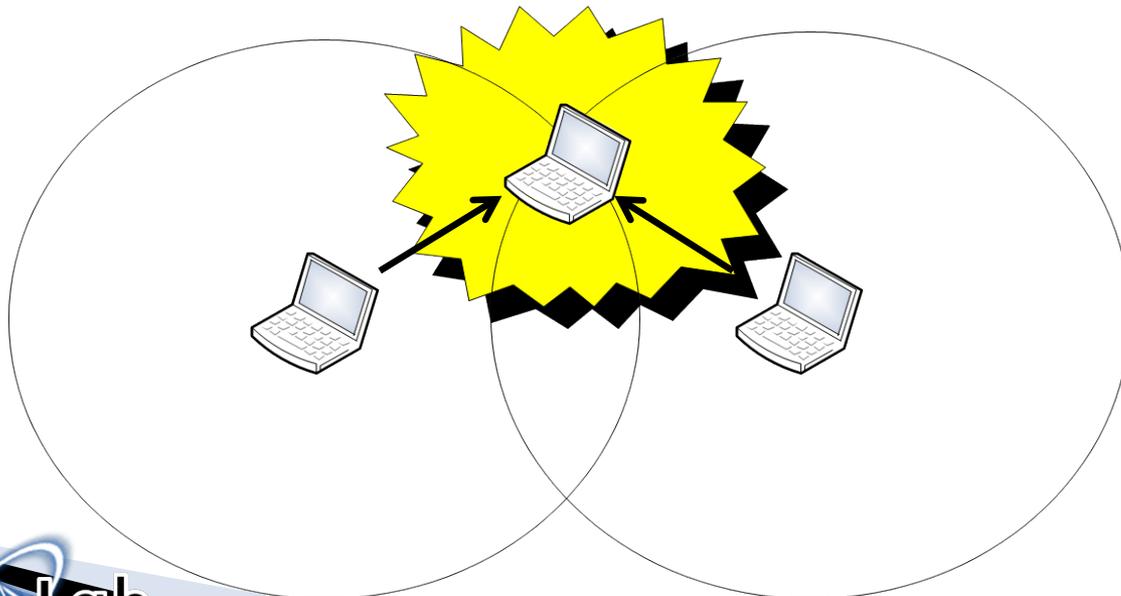
# アドホックネットワーク

- 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
  - インフラを必要とせず簡易なネットワーク構築手段として有効である
    - ⇒ 災害地の通信網復旧など



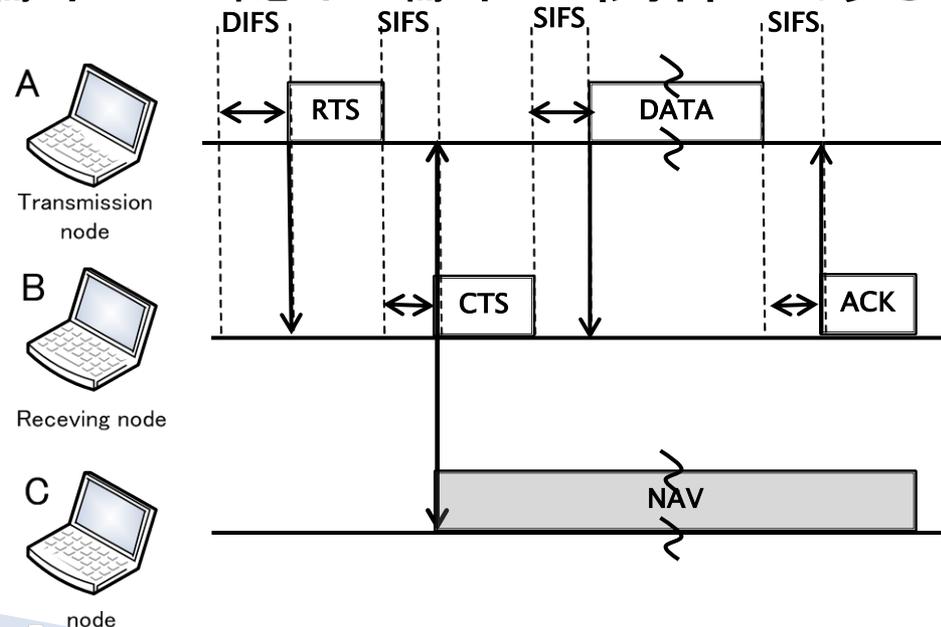
# 隠れ端末問題

- 隠れ端末問題
  - 無線LAN環境では互いに認識していない端末の行動は分からない
    - ⇒ 同じ対象に同時に通信を行う可能性がある
  - 隠れ端末問題を解決するための2つの方式を提案する

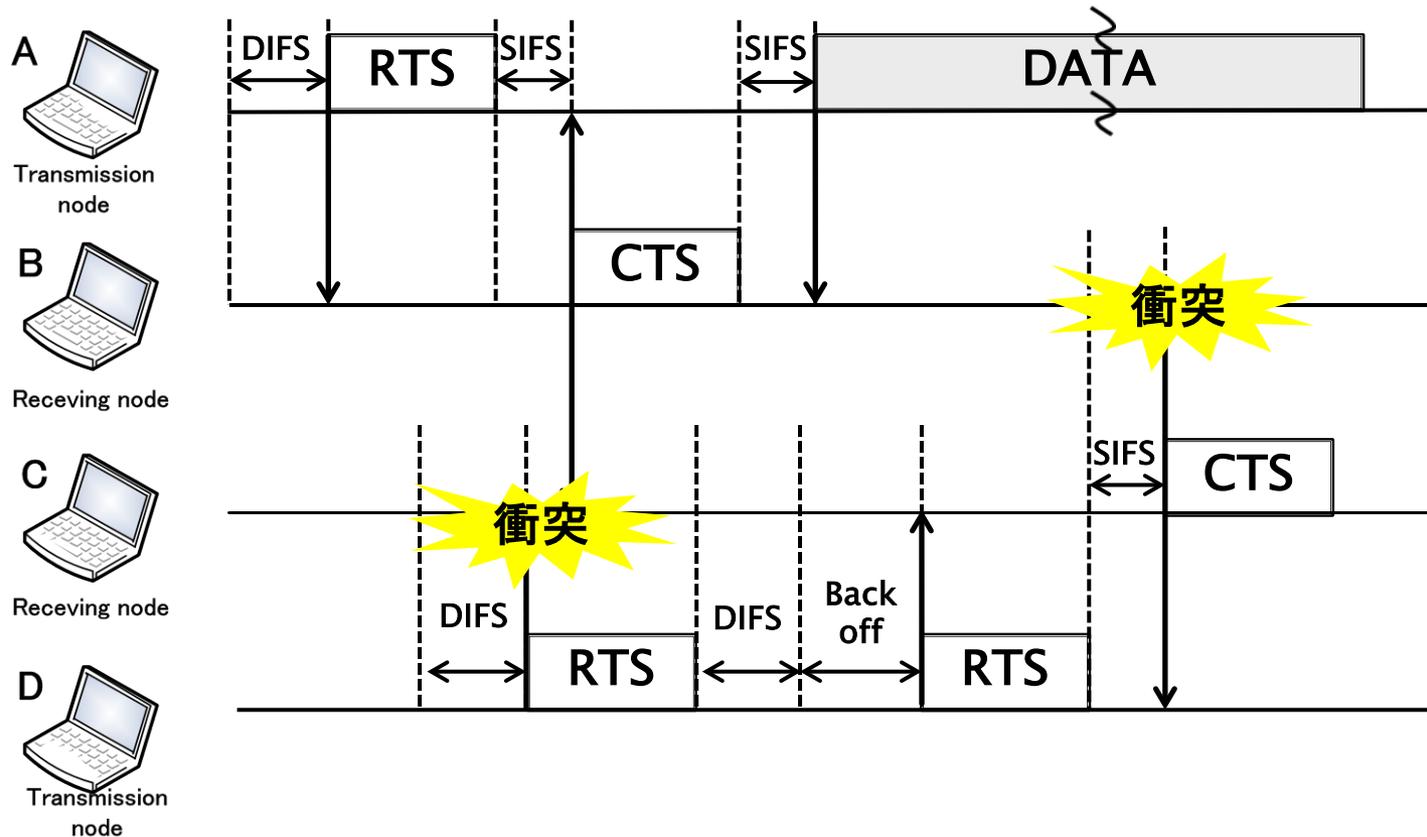


# RTS/CTS方式

- 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)は送信予約、CTS(Clear to Send)は予約完了を表す
- 端末Aと端末Cは隠れ端末の関係にある



# RTS/CTS方式の課題



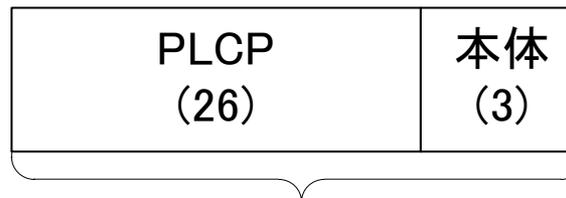
- RTS/CTS自体がパケットであるため衝突が発生
- PLCPについて考慮されていないため

# PLCP



## ● PLCP

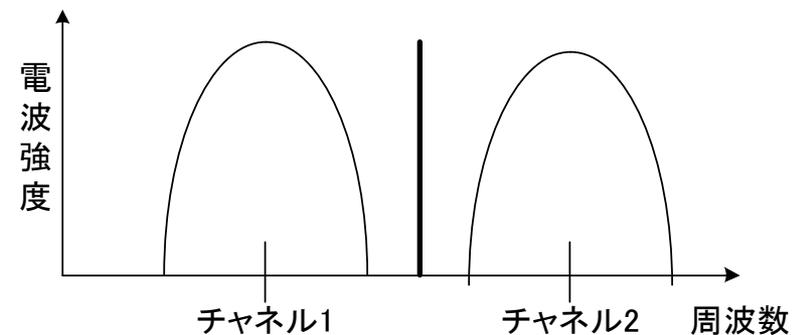
- 受信信号の同期や伝送速度などデータ通信速度識別に用いる情報が記載されている
- 全ての端末が受信できるように最低速度で送信される



RTS 単位( $\mu$ s)

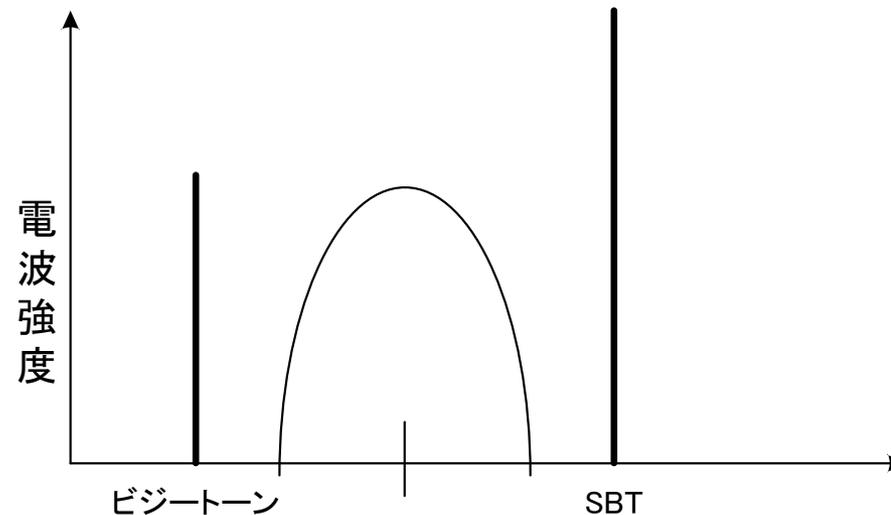
# ビジートーン

- RTS/CTS方式の課題を解決するために、本稿ではビジートーンを用いた方式を提案する
- ビジートーンとは
  - 単一の周波数の電波
  - 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
  - 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

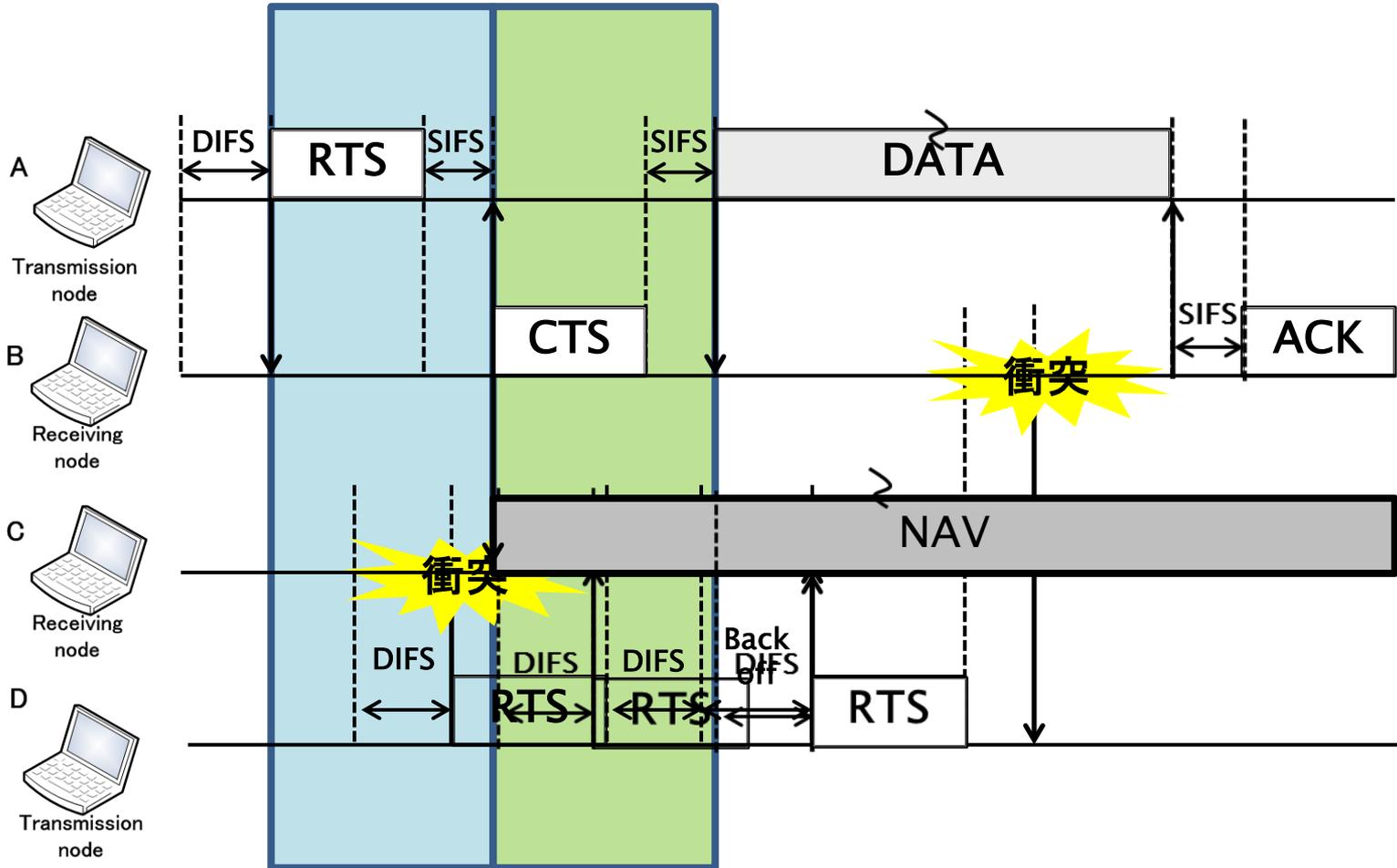


# SBT(Strong Busy Tone)の導入

- SBTとは
  - ビジートンの電波到達範囲を拡大させ広範囲の端末を制御する
  - SBTを受信した端末は通信ができない



# SBTの動作



# バックオフアルゴリズム修正

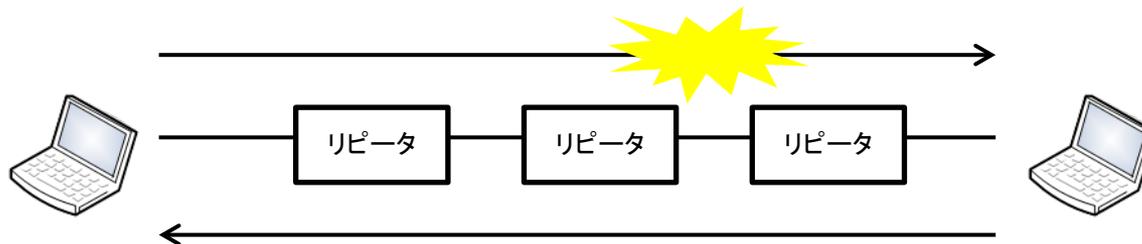
- バックオフ時間
  - 衝突が発生し再送を行う際に発生
  - 再送のタイミングをずらすための待機時間
  - バックオフ時間 = 乱数 × スロットタイム( $\Delta t$ )
- 乱数の演算で同じ乱数が発生すると衝突する
- 無線通信において $\Delta t$ の値を長くとりすぎている  
⇒ 有線規格から引き継がれた値であるため

# バックオフアルゴリズムの修正

- IEEE802.11gの規定

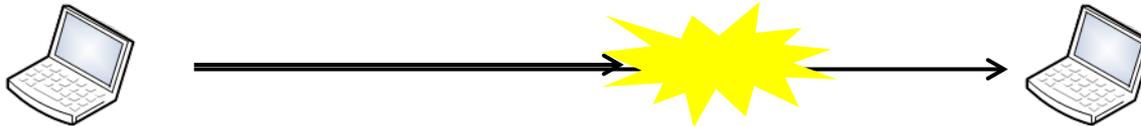
- $\Delta t$ の値は $9.0\mu\text{s}$ 、乱数の範囲は最少で15、最大で1023となっている

⇒有線の規格であるCSMA/CDと同じくキャリアの往復の時間で演算されている



# バックオフアルゴリズムの修正

- 無線通信においては $\Delta t$ の値が長い
  - 無線通信では衝突を検知できない
- ⇒ 無線通信ではキャリアが端末に到達する時間でよい

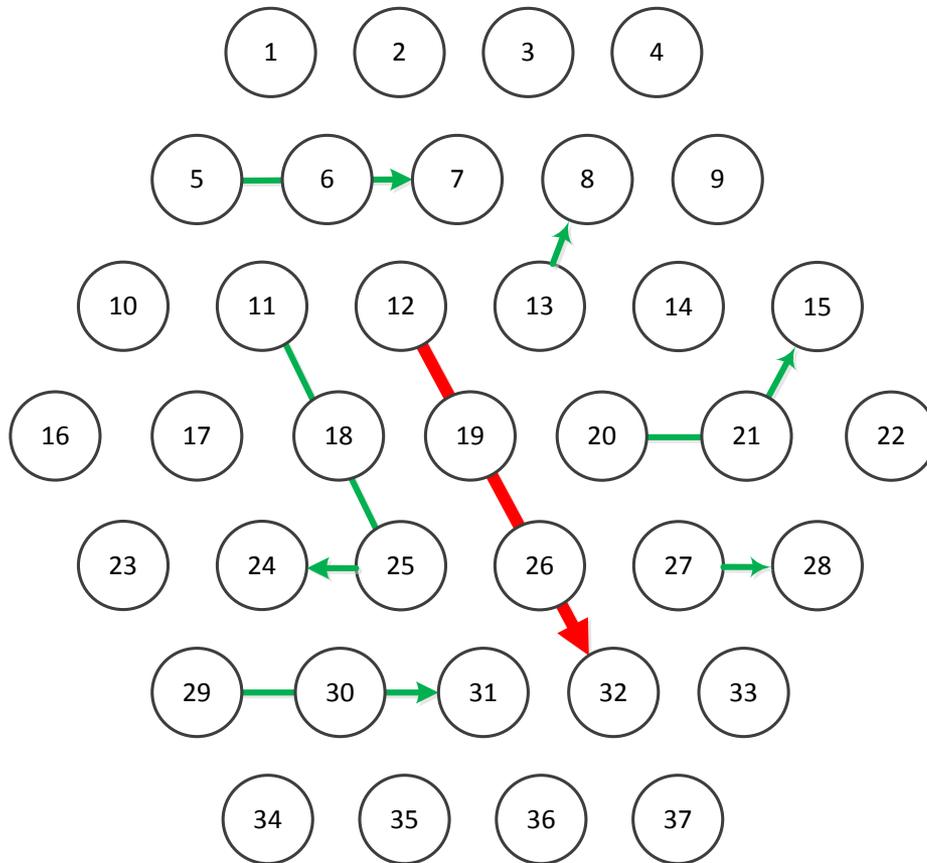


# バックオフアルゴリズムの修正

- $\Delta t$ の値をSBTが3ホップ先の端末まで到達する時間に設定する
- SBTは3ホップ先のノードに届く時間は最長で $0.9\mu\text{s}$ である  
⇒  $\Delta t$ を $1.0\mu\text{s}$ と設定する

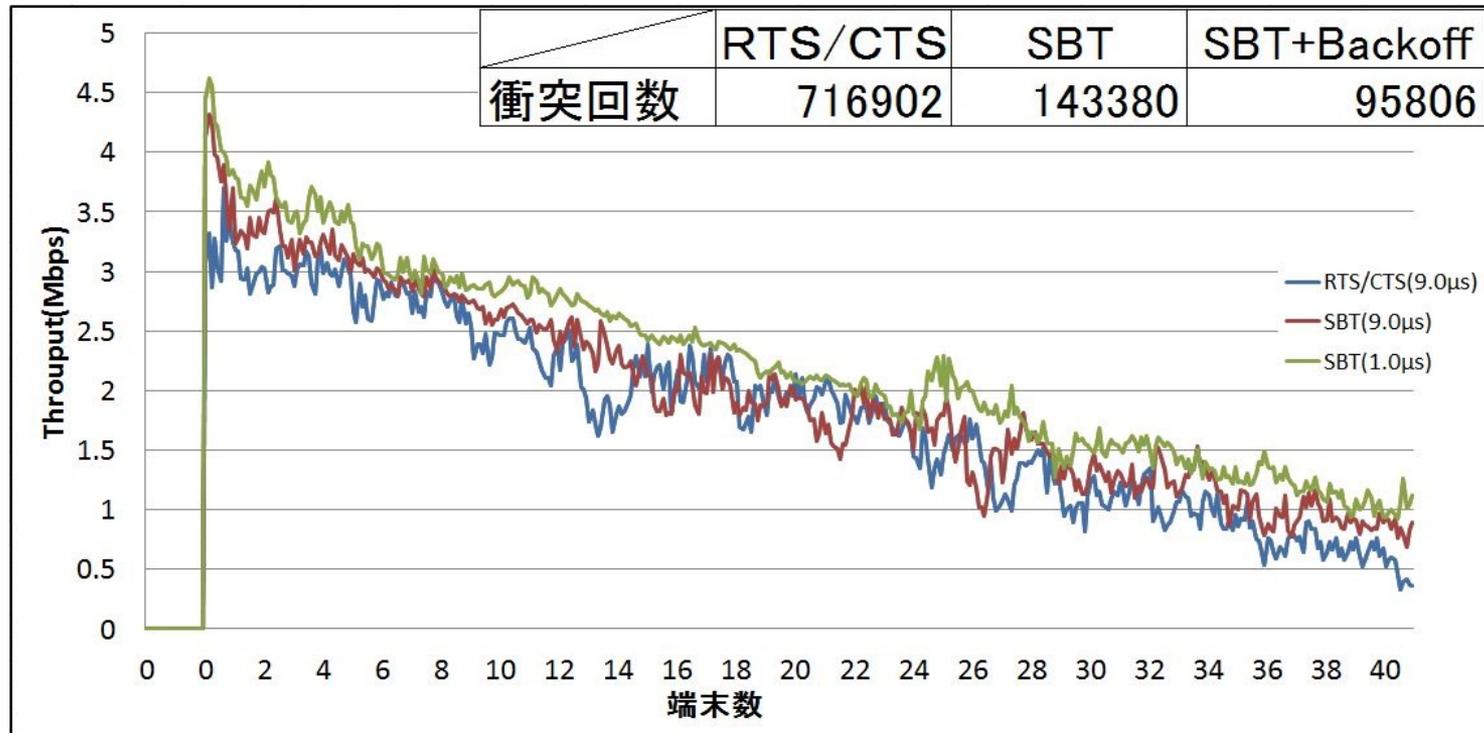
- バックオフ時間 = (乱数  $\times$  9)  $\times$  ( $\Delta t \times 1/9$ )  
⇒ 同じ待機時間でも衝突確率を軽減できる

# ns-2によるシミュレーション



試行回数	20回
アドホックネットワーク	
台数	37台
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)
端末間距離	90(m)
計測時間	430(s)
802.11g	
無線帯域	54(Mbps)
スループット測定端末	
台数	2台
トランスポートプロトコル	TCP
パケットサイズ	1000(Byte)
背景負荷発生端末	
台数	2~80台
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	0.064(Mbps)

# シミュレーション結果



- 提案方式では既存方式の約2~3倍のスループットを記録している
- 提案方式では衝突回数が大幅に減少している

# むすび

- SBTの導入とバックオフ時間修正により衝突発生を大幅に削減するアルゴリズムの方式を提案した
- 提案方式の有用性の証明
  - 衝突回数の軽減
  - スループットの向上
- 今後の課題
  - SBTのみによる制御方式の検討



# おまけ

# キャリアセンス

- 各端末は通信開始時にキャリアセンスを行う  
⇒ 一定以上の電波を検知した場合通信を控える
- キャリアセンスにおいてビジートーンを検知する  
⇒ 受信に関して端末の改造は不要

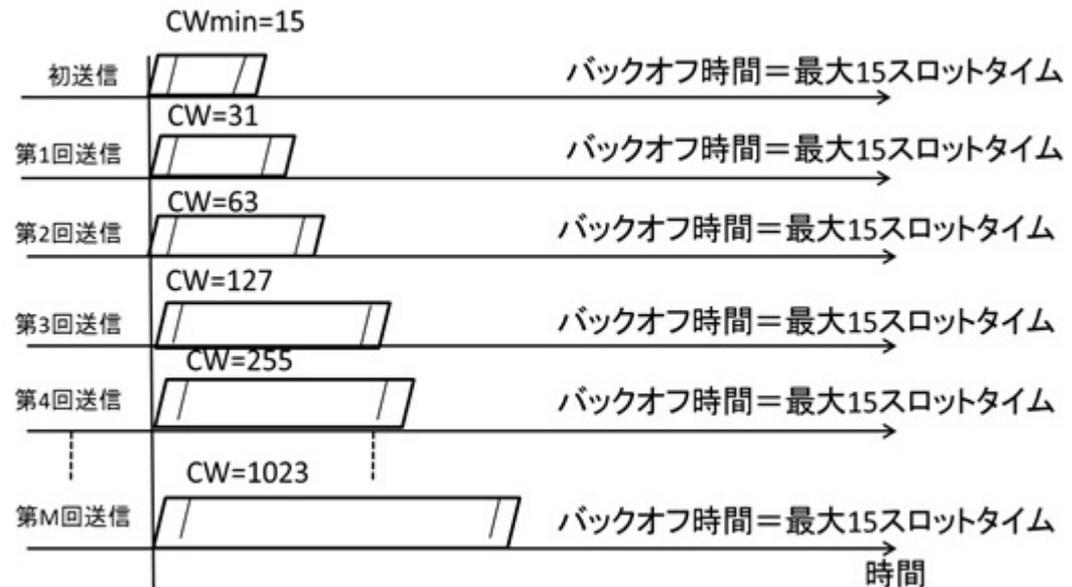


# バックオフアルゴリズム

- ▶ 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。



# バックオフアルゴリズム修正

- SBTを導入することにより、大幅に衝突回数を削減することができる。しかし、完全に衝突を防ぐことはできない。
- バックオフ時間の演算において2台のノードが同一乱数を生成すると再度衝突を繰り返してしまう。  
→バックオフ時間におけるアルゴリズムを修正することで再送時のパケット衝突を軽減する

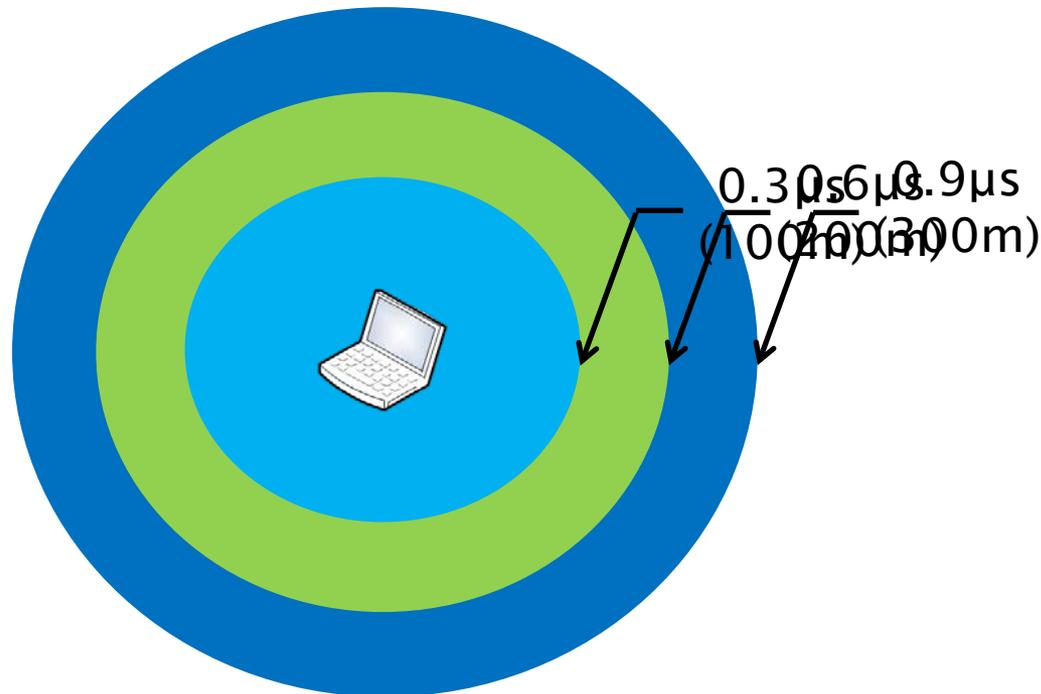
# ガードバンド

- 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つの通信チャン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



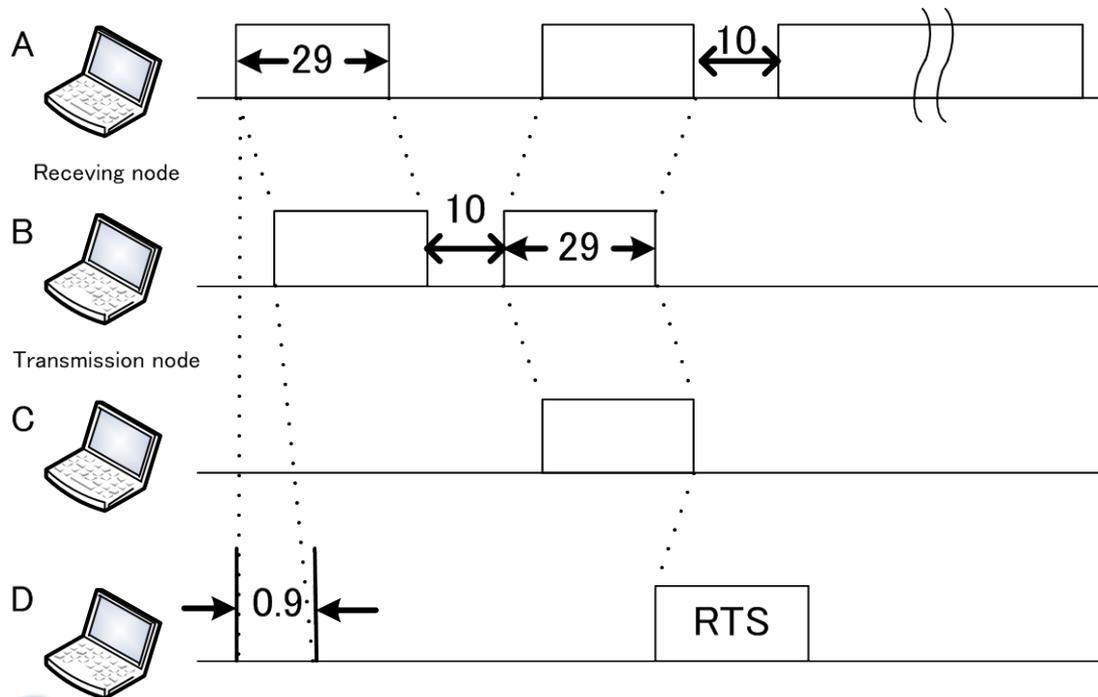
# SBTの到達速度

- 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



# SBT使用時における衝突

- SBTを使用しても3ホップ先の端末を制御するためには $0.9\mu\text{s}$ かかる
- $0.9\mu\text{s}$ 以内にRTSが送信された場合衝突する。



# 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

IEEE802.11g		時間 ( $\mu$ s)
DIFS		34
Backoff		135~9207
RTS	PLCP	26
	本体	3
SIFS		10
CTS	PLCP	26
	本体	3
DATA	PLCP	26
	本体 (MAX)	227
ACK	PLCP	26
	本体	3