

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その 拡張方式の検討と評価

伊藤 智洋[†] 鈴木 秀和[†] 旭 健作[†] 渡邊 晃[†]

[†] 名城大学大学院理工学研究科 〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501

E-mail: †tomohiro.ito@wata-lab.meijo-u.ac.jp, †{asahi,hsuzuki,wtnbakr}@meijo-u.ac.jp

あらまし アドホックネットワークには、互いに電波の到達範囲外にある送信ノードが同時に送信を開始するとデータが衝突する隠れ端末問題が存在する。IEEE802.11 では、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完全に防止することはできない。隠れ端末問題の要因として RTS/CTS 自体がパケットであるため送信に時間を要することが挙げられる。本稿では、ストロングビジートーン (SBT : Strong Busy Tone) と呼ぶ特殊な制御信号を用い、さらにスロットタイムの無駄を省くことによりスループットを向上させる方法について提案する。本方式により、周辺端末を瞬時に制御し衝突回数を大幅に軽減しスループットを向上することが可能となる。

キーワード 無線 LAN, アドホックネットワーク, ビジートーン, スロットタイム

Introduction of Strong Busy Tone and consideration and assessment extension method in Ad-hoc Network

Tomohiro ITO[†], Hidekazu SUZUKI[†], Kensaku ASAHI[†], and Akira WATANABE[†]

[†] Graduate School of Science and Technology, Meijo University Shiogamaguchi 1-501, Tenmpaku-ku, Nagoya,
468-8502 Japan

E-mail: †tomohiro.ito@wata-lab.meijo-u.ac.jp, †{asahi,hsuzuki,wtnbakr}@meijo-u.ac.jp

Abstract The hidden terminal problem is a major factor in degradation of throughput in ad-hoc networks. In this paper, we propose to introduce the control signal which we call Strong Busy Tone (SBT), and optimize the slot time of back-off algorithm of CSMA/CA. The results of the simulation show that throughput of ad-hoc networks are improved dramatically.

Key words wireless LAN, ado-hoc network, busy tone, slot time

1. 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 の利点は配線工事が不要、ノードの移動や設置が容易、また端末設置の自由度が高く容易に LAN の構築が可能である点が挙げられる。中でも、端末同士で相互に通信を行うことで容易にマルチホップ通信を実現可能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 [1] の影響が大きく、トラフィックが増加すると大幅にスループットが低下することが知られている。隠れ端末問題とは、互いに電波の到達範囲外にいる送信ノードが、同時に通信を開始すると、中間地点においてデータの衝突が発生する問題である。IEEE802.11 [2] では、隠れ端末問題の対策として RTS(Request to Send)/CTS(Clear to Send) 方式が採用さ

れている。RTS/CTS 方式では、近隣の端末を仮想的なキャリアア検出状態に移行させ、一定期間送信を控えさせることにより衝突を防止する。しかし、RTS/CTS 方式ではトラフィック負荷が増加するにつれ RTS 同士や CTS とデータの衝突が発生することが避けられない。その理由として、RTS/CTS 自体がパケットであるため、一連のシーケンスの実行に所定の時間が必要となるためである。従って、RTS/CTS 方式だけでは隠れ端末問題を完全に解決することはできない。

RTS/CTS 方式の課題を解決する方法としてビジートーンを用いた技術 [3]~[8] が提案されている。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。ビジートーンは、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

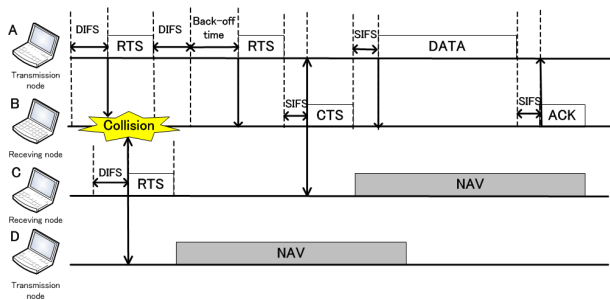


図 1 RTS/CTS の課題 1

Fig. 1 One example of the issue in RTS/CTS

せたととしても、周辺の装置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さらし端末問題を解決することは可能であるが、遠隔の端末を制御できないためデータの衝突を完全に防ぐことができないという課題がある。

次に、無線 LAN の効率を落とす別の要因として、CSMA/CA の待機時間が必要以上に大きいことが挙げられる。IEEE802.11 で規定されている待機時間には無駄が多く、衝突した後の待機時間が長いために、スループットの低下を招いている。待機時間を見直す技術として素数スロットタイムによる衝突回避手法 [11] やコンテンションウィンドウ操作による衝突回避手法 [12]、他にもコンテンションウィンドウサイズを調整する提案 [13] [14] がされているが、コンテンションウィンドウの拡大や素数スロットタイムによる、バックオフ時の衝突回避を目的とした方式には値を拡大する方式が多く、通信の待機時間が増大する可能性がある。

そこで、本稿ではストロングビジートーン (SBT: Strong Busy Tone) [9] [10] と呼ぶビジートーンの電波到達範囲を拡大した特殊な制御信号を用い、周辺端末を制御することにより隠れ端末同士の同時送信を防止する方法を提案する。また、SBT を用いることでスロットタイムの値の無駄な部分を大幅に省くことが可能となり待機時間を大幅に短縮できる。提案方式についてシミュレーションを行った結果、RTS/CTS 方式と比較しスループットを最大で約 10 倍まで向上できることがわかった。

以下、2 章では既存技術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をする。4 章ではシミュレーションとその結果を考慮し、最後に 5 章でまとめを行う。

2. 既存技術とその課題

2.1 RTS/CTS 方式の課題

RTS/CTS 方式の課題の例を図 1, 図 2 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 に送信が行われる例を示す。図 1 では、ノード A とノード C がほぼ同時にノード B に対して通信を開始しており、RTS の衝突が発生する様子を示している。RTS 送信には所定の時間を要するためこのような現象は避けられない。衝突が発生することにより通信は失敗となるため、ノード A, C とともに再度 RTS の送信から始める必要がありスループットが低下する。また、

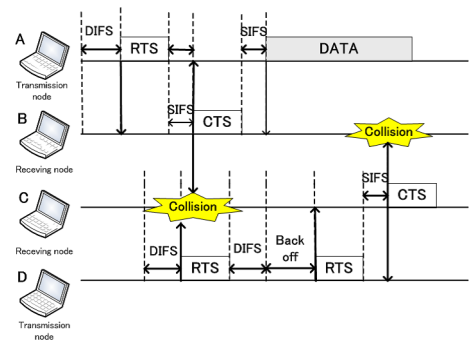


図 2 RTS/CTS の課題 2

Fig. 2 The second example of the issue in RTS/CTS2

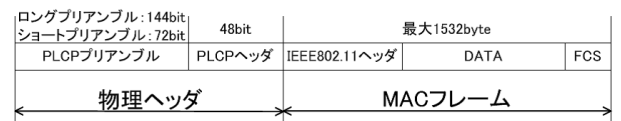


図 3 PLCP のフォーマット

Fig. 3 The format of the PLCP

ノード D は RTS を受信するため NAV 状態に入り、通信ができない状態となる (さらし端末問題)。

図 2 ではノード 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している。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 に応答として 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。

これらの課題は RTS/CTS がパケット交換であるために送信にある程度の時間を必要とすることが原因である。また、隣接端末のみを制御するため、より遠隔の端末が通信を開始した際に制御することができない。そのため、通信が混雑するほどスループットが大幅に低下する。

2.2 PLCP に起因する課題

RTS/CTS 方式において周辺端末の制御に時間がかかる要因として PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) のオーバーヘッドが挙げられる。PLCP とは、無線でパケットを送信する際に必要となる物理ヘッダで、図 3 に示すように 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 フレームの速度に係る情報が定義されている。

IEEE802.11g では MAC フレーム部分の通信最大速度は 54Mbps であるが、PLCP は全ての端末が受信できるよう 2Mbps と定義されている。このため、MAC フレームより PLCP

表 1 各シーケンスに要する時間
Table 1 Time of each sequence

IEEE802.11g		時間 (μs)
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

部分の方がはるかに長い時間を要する場合がある。PLCP はデータだけでなく RTS, CTS, ACK などにも付加される。表 1 に IEEE802.11g における各シーケンスの所要時間を示す。表 1 に示すように RTS, CTS, ACK はいずれも MAC フレーム本体部分が 3μs 程度で送信されるのに対し、PLCP 部分に 26μs もの時間を要する。RTS/CTS の MAC フレーム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大きいため、衝突する可能性が高くなっている。

2.3 ビジートーン技術とその課題

RTS/CTS 方式の課題の一部を解決できる技術として、ビジートーンを用いた技術 [3]~[8] が提案されている。DBTMA (Dual Busy Tone Multiple Access) [3] では RTS/CTS の送信時と DATA 送信時にビジートーンを送信し周辺端末を制御する。DBTMA では、RTS, CTS 送信時に同時にビジートーンを送信することにより周辺端末を制御し衝突を防いでいる。ビジートーンは単一の周波数の電波であるため、上記の PLCP による送信時間の増加を防ぐことが可能である。そのため、図 2 に示す衝突を防ぐことが可能となり、スループットの低下を防ぐことができる。

しかし、ビジートーンを用いた既存技術には課題がある。既存技術の課題を図 4 に示す。図 4 では RTS と同時にビジートーンを送信するが、ノード D までビジートーンが到達しておらずノード D は制御されていない。そのため、ノード D は通信を開始し、ノード B において衝突が発生する。以上に示すように RTS/CTS 方式の課題はビジートーンの制御だけでは防ぐことができない。上記に記すように既存技術において、隠れ端末問題を完全に解決できていない要因の一つとして制御する対象が隣接端末までであり、より遠隔の端末が制御されていないことが挙げられる。

3. 提案方式

本稿では、RTS/CTS や既存のビジートーン技術の課題を解決するためにストロングビジートーン (SBT) とその拡張方式について提案する。

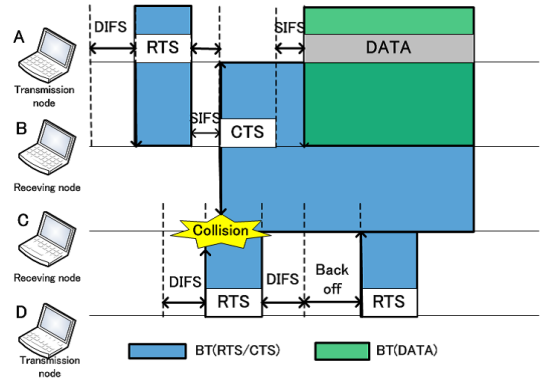


図 4 既存ビジートーンによる課題の課題

Fig. 4 To solve these issues with existing technology of busy tone

3.1 SBT の導入

既存のビジートーンでは、遠隔の端末を制御できず衝突を完全に防ぐこと困難であった。

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ノードを制御することを可能とした制御信号である。各ノードは、RTS および CTS を送信する際に、SBT を同時に送信することにより、遠隔ノードが送信開始することを防止する。SBT の到達範囲は、RTS 送信時には通常の電波到達範囲の 3 倍、CTS 送信時には 2 倍の距離に拡大して送信する。各ノードは SBT を検出した場合、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際は、SBT を検出してもそれを無視する。

図 5 に SBT を導入した場合の動作を示す。ノード A は RTS 送信と同時に端末 D まで到達するよう SBT の電波到達範囲を 3 倍に拡大し送信する。次にノード B は CTS 送信と同時に端末 D に到達するよう SBT の電波到達範囲を 2 倍に拡大し送信する。端末 D は SBT を受信するため、RTS を送信できない。これにより図 1, 図 2 に示すような衝突を防ぐことができる。図 5 では、SBT による送信抑制が終了した後にノード D が RTS 送信を行っている。ノード C は既に NAV 状態に入っているため CTS を返信せず、ノード A の送信は正常に終了する。また、このときノード D の送信する SBT がノード A, ノード B に到達するが通信中のため SBT を無視する。

3.2 スロットタイムの最適化

本稿では、SBT の導入に加えてスロットタイム (Δt) の最適化を提案する。 Δt を最適化することにより無駄な待機時間を減らし、スループットを向上することが可能である。CSMA/CA では、データの衝突が発生した場合、再送を行う際にバックオフ時間が発生する。バックオフ時間は再送タイミングをずらすためのものでその値は以下の式によって決定される。

$$\text{Back-off} = \Delta t \times \text{乱数}$$

乱数の値は規定された CW (Contention Window) の範囲内から演算される。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。 Δt 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

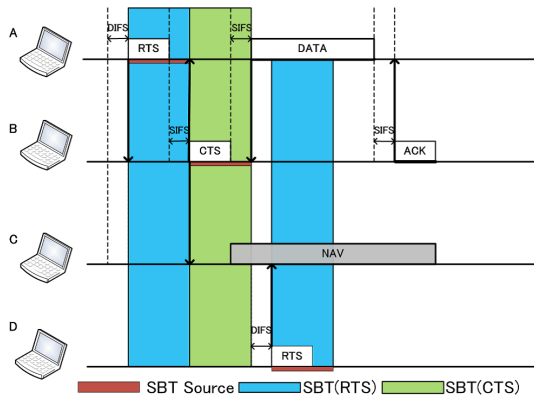


図 5 SBT の動作

Fig. 5 The operation of SBT

$9\mu s$ と定義されている。上記の式より Δt の値を最適化することにより再送時の無駄な待機時間をなくすることが可能となる。 Δt の値 $9\mu s$ の内訳は以下のように設定されている。

- CCATime : 端末の状態判定時間 ($4\mu s$)
- AirPropagationTime : 伝搬時間 ($1\mu s$)
- RxTxTurnaroundTime : 送受信間往復時間 ($2\mu s$)
- MACProcessingDelay : MAC の処理時間 ($2\mu s$)

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。ここで、SBT を用いた制御を行うことを前提にすると不要な項目を省くことが可能となる。まず、端末状態判定時間の必要が無く CCATime は省略することが可能である。また、有線通信では通信の往復時間を待機することにより衝突を検知するが、無線通信では衝突を検知することができない。そのため、送受信間往復時間も必要は無く RxTxTurnaroundTime は省略することが可能である。さらに SBT はデータを含んでいないことから MACProcessingDelay に関しても省略することが可能である。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 (AirPropagationTime) のみを考慮すればよい。

伝搬時間は端末間距離を $100m$ とすると約 $0.3\mu s$ である。SBT による制御は最大で 3 ホップ先まで制御する必要があることから、3 ホップ先 ($300m$) へ SBT が到達するまでの時間を Δt として定義することができる。提案方式では、余裕を見て Δt を $1\mu s$ とする。

4. シミュレーション

4.1 シミュレーション環境

提案方式の効果を ns-2 (Network Simulator2) を用いて確認した。図 6 にシミュレーション環境を、表 2、表 3 にシミュレーションパラメータを示した。図 6 に示すように測定用端末として、送信端末を 12、宛先端末を 32 として TCP 通信を行わせる。背景負荷として、端末 12 と端末 32 を除く 35 台の端末からランダムに送信端末と宛先端末を選択し UDP 通信を行わせる。シミュレーション開始から 20 秒後に TCP 通信を開

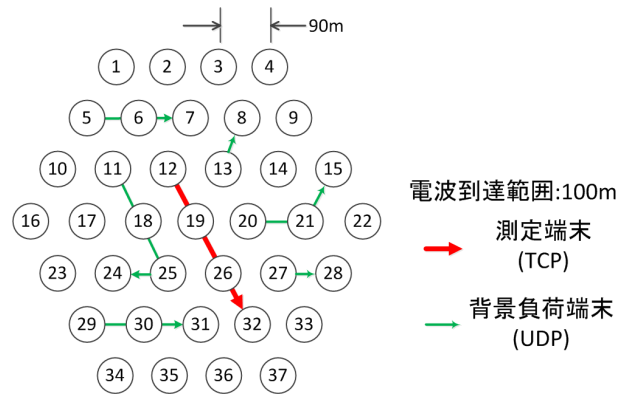


図 6 シミュレーション環境

Fig. 6 Simulation environment

表 2 全体のパラメータ

Table 2 Parameters for the entire

アクセス方式	IEEE802.11g
ノード数	37 台
SBT(RTS) 電波到達範囲	300(m)
SBT(CTS) 電波到達範囲	200(m)
フィールド	1000×1000(m)
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	330(s)
無線帯域	54(Mbps)

表 3 端末のパラメータ

Table 3 Parameters for the terminal

測定端末	TCP 通信数	1 個
	通信タイプ	FTP
	トランスポートプロトコル	TCP
背景負荷端末	パケットサイズ	1000(Byte)
	UDP 通信数	1~60 個
	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	0.064(Mbps)

始する。この時は TCP セッションが 1 本確立されているだけである。その後 5 秒毎にランダムに選択された 2 台の端末間で UDP セッションを確立し、背景負荷を徐々に増やしていく。このときに対象の TCP スループットがどのように変化するかを測定した。各端末は 1 ホップ先の端末までの電波が届くように $90m$ 間隔で設置した。電波到達範囲は $100m$ とし、SBT の到達範囲は RTS 送信時は $300m$ 、CTS 送信時は $200m$ とした。測定用の TCP 通信は通信タイプを 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 $200Byte$ の CBR(Constant Bit Rate) で、パケット発生率は $0.064Mbps$ とした。SBT の適用有無、 Δt の値、CW の値により表 4 に示す 4 つの Case においてシミュレーションを行った。

表 4 各 Case のパラメータ

	SBTの有無	$\Delta t(\mu s)$	CW(min~max)
Case1	無	9.0	15~1023
Case2	有	9.0	15~1023
Case3	有	1.0	15~1023
Case4	有	1.0	135~9207

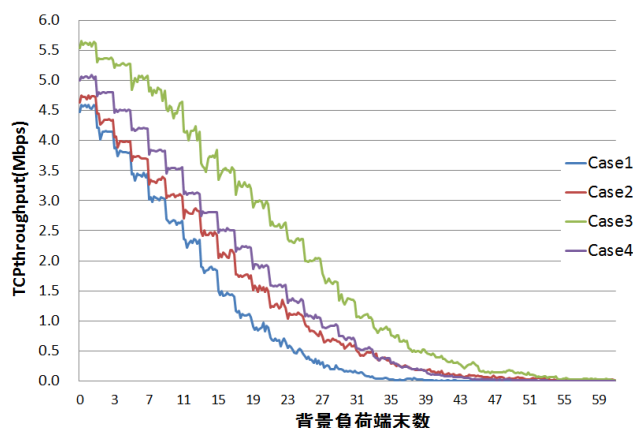


図 7 背景負荷量に対する TCP 通信のスループット測定結果
Fig. 7 Measurement for the amount of background traffic on TCP throughput

表 5 衝突回数とパケットロス率

	衝突回数	総パケットロス数	総パケットロス率
Case1	202,505	51,451	0.166436
Case2	21,556	44,150	0.133837
Case3	24,095	22,400	0.060798
Case4	5,319	47,349	0.123462

- Case1 : RTS/CTS 方式による既存技術の通信
- Case2 : SBT のみを適用した状態の通信
- Case3 : SBT を適用した上で Δt を小さくし CW を変更しない状態の通信
- Case4 : SBT を適用した上で Δt を小さくし CW を拡大した状態の通信

Case4 は、CW を拡大し、従来と同様のバックオフ時間とした Case である。Case4 では乱数値が大きいため、衝突の確率がその分減少する。

4.2 実行結果

図 7 に TCP 通信のスループット測定結果を示す。表 5 にこのときの衝突回数と総パケットロス率を示す。今回の結果は、20 回試行した結果の平均値である。

図 7 の横軸は背景負荷端末数、縦軸は測定端末間の TCP スループットである。図 7 から、背景負荷数が増えるごとに段階的に TCP スループットが低下していくことが分かる。スループットが向上する要因は SBT により衝突が減少することと、 Δt の調整により再送待ちの無駄時間が減少するためである。各 Case を比較すると提案方式を用いることで既存方式よりも

表 6 背景負荷端末の通信状況

	送信数	受信数	パケットロス数	パケットロス率
Case1	271,319	219,885	51,434	0.1895702
Case2	281,501	237,359	44,142	0.1568093
Case3	292,876	270,471	22,405	0.0764999
Case4	320,849	279,629	41,220	0.1284716

確実に衝突防止しスループットが向上していることが分かる。表 5 より最も衝突防止効果が向上しているのは、SBT を適用し、CW を拡大した Case4 であり、約 1/38 倍まで現象している。しかし、最もスループットが向上しているのは、SBT を適用し、単に Δt を短縮した Case3 であり、最大で約 10 倍までスループットが向上している。上記のことから、SBT を適用した環境では SBT により既に衝突が減少しており更に衝突回数を減らすより送信待ち時間を減らす方が効果のあることがわかる。

次に背景負荷端末の通信状況を表 6 に示す。総パケットロス数と UDP 通信のパケットロス数を比較するとパケットロスはほぼ UDP 通信において発生していることがわかる。また、SBT を適用することによってパケットロスを軽減することが可能となっており、 Δt を短縮した場合、待機時間が短縮されることによって送信数が増加していることがわかる。Case3 を見ると、通信数が増加した状態においてもパケットロスが軽減されている。SBT を適用し周辺端末を制御することにより通信量が増加したとしても衝突の発生を防ぎ、かつ無駄な待機時間の発生を防いでいることがわかる。しかし、Case4 を見ると、 Δt を短縮することにより通信量は増加しているがパケットロスを軽減することができていない。

これは、通信が混雑するにつれて待機時間が発生する割合が増加すると、バッファのあふれが発生しパケットロスが発生するためである。Case3 では、SBT を用いた制御方式を用いることで周辺端末を制御し、かつ Δt を短縮し待機時間を短縮している。そのため、無駄な待機時間が発生することを防ぎ、他の Case と比較しパケットロスが発生する確率を約半分程度まで減少させている。それに対し、Case4 では SBT を用いた制御方式を用い、かつ Δt を短縮している。しかし、CW を拡大しているため衝突の防止効果はあるが待機時間自体は既存方式と同様になっておりパケットロス率も大差ないものとなっている。

以上のことから、スループットと衝突防止能力はトレードオフの関係になっており、SBT を用いた制御方式の場合では、待機時間を短縮する方式が最も効果的であることがわかった。

5. まとめ

RTS/CTS 方式における課題を解決するために、SBT を導入し、かつ Δt の短縮により大幅にスループットを向上させる方式を提案した。SBT を用いることで、隠れ端末同士の RTS 送信による衝突や遠隔の端末の通信による衝突を大幅に減少させることができる。 Δt の最適化を行うことで、送信開始の無

駄な時間を減少させることができる。シミュレーションの結果提案方式の有用性を確認した。提案方式を用いることでスループットは最高で約 10 倍まで向上することができた。

文 献

- [1] Athanasia Tsertou, David I. Laurenson: Revisiting the Hidden Terminal Problem in a CSMA/CA Wireless Network, IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 7, NO. 7, JULY 2008
- [2] IEEE Std 802.11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications (2007).
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] Supeng Leng, Liren Zhang, Yifan Chen: IEEE 802.11 MAC Protocol Enhanced by Busy Tones, Communications, 2005. ICC 2005. 2005 IEEE International Conference on
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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させるストロングビジートーンの提案, IPSJ SIG Technical Report, 情報処理学会研究報告, 2011-MBL-57, Vol.2011, No.26, pp.1-8, Mar.2011.
- [10] 森一養, 渡邊晃, 後藤秀暢: ストロングビジートーンを用いたアドホックネットワークにおけるメディアアクセス方式の提案, 全国大会講演論文集, 2011(1), 151-153, 2011-03-02
- [11] 井之丸雄太, 田邊造, 川端信吾, 松江英明: 素数スロット時間とキュー制御を用いた最大遅延保証, 信学技報, IEICE Technical Report, RCS2006-241(2007-3)
- [12] 加藤秀明, 船曳信生, 中西透: 無線メッシュネットワークでのコンテンツウィンドウサイズ操作時のスループット測定結果, 信学技報, IEICE Technical Report, RCS2007-115(2007-12)
- [13] 笠原浩平, 梅林健太, 神谷幸宏, 鈴木康夫: チャネル占有率情報に着目した最少 CW サイズ制御による周波数共用技術, 信学技報, IEICE Technical Report, SR2008-72(2009-1)
- [14] 吉岡俊博, 大坐昌智, 川島幸之助: IEEE802.11 における基地局の動的なコンテンツウィンドウ制御による端末ごとの帯域割り当て方式, 信学技報, IEICE Technical Report, NS2009-12(2009-04)



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 その拡張方式の検討と評価

名城大学大学院 理工学研究科
伊藤智洋, 鈴木秀和, 旭健作, 渡邊晃

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

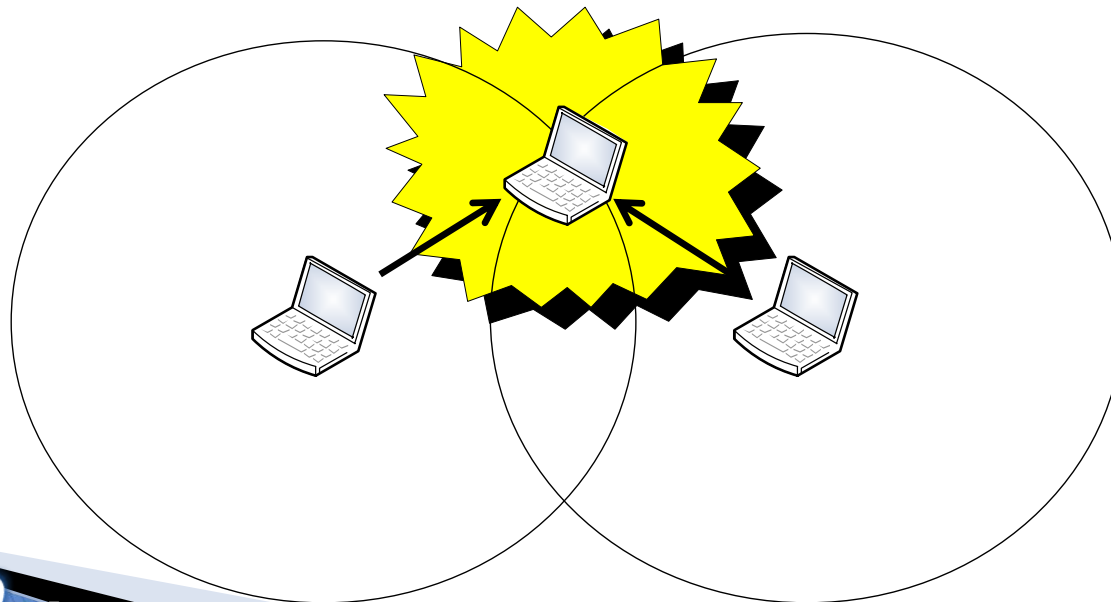
- 無線LAN技術の課題
 - 通信端末の増加による干渉
 - 隠れ端末問題の発生

- 無線LANの形態
 - インフラストラクチャモード
 - アドホックモード

隠れ端末問題

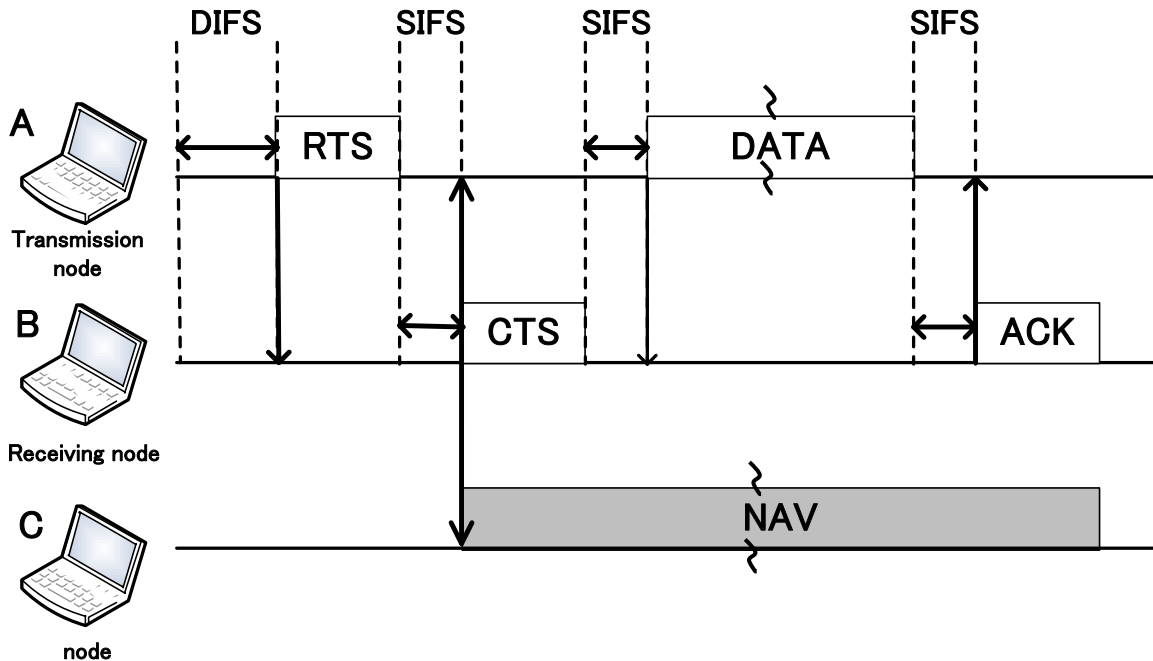
▶ 隠れ端末問題

- 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
- ⇒ 同じ対象に向け同時に通信を行う可能性がある

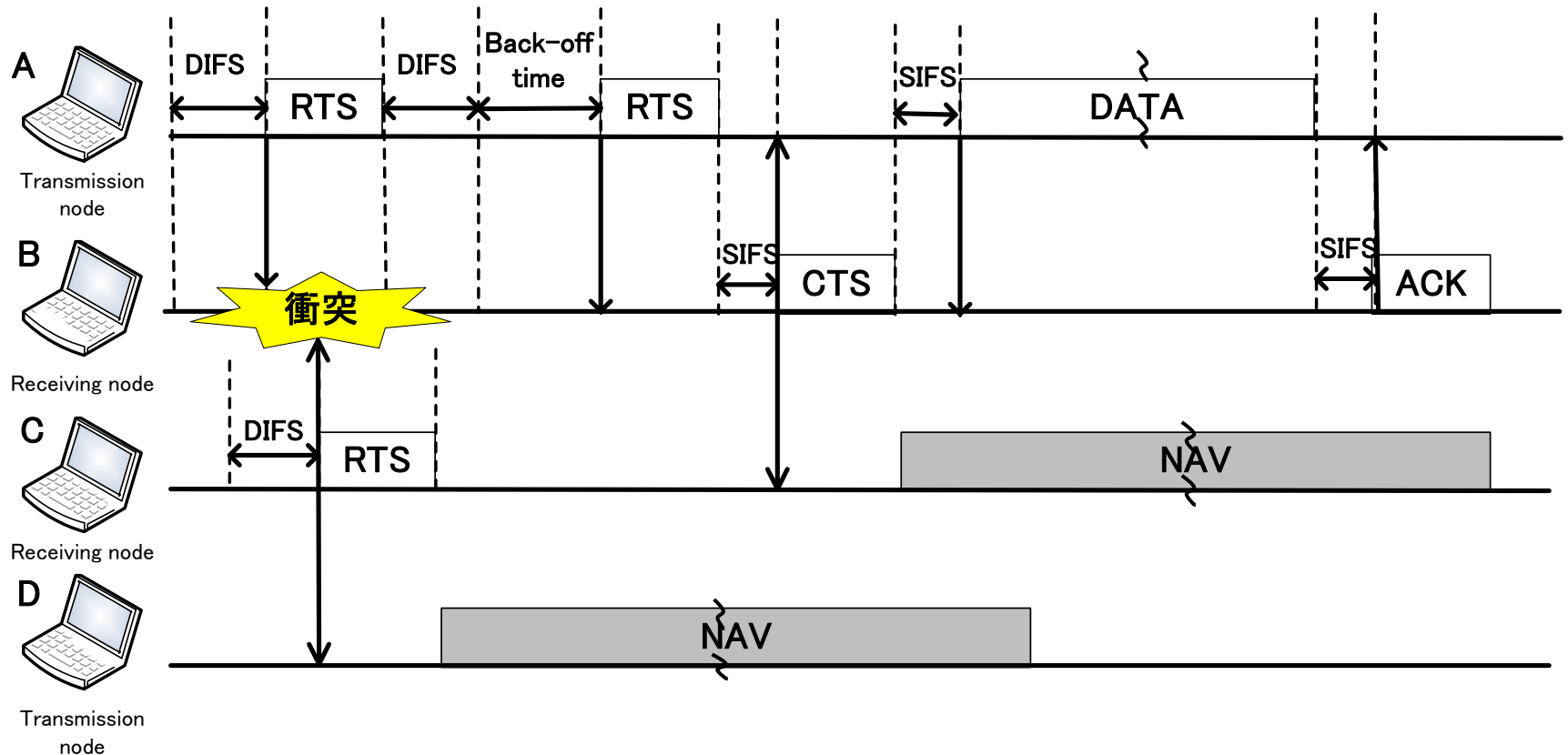


RTS/CTS方式

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

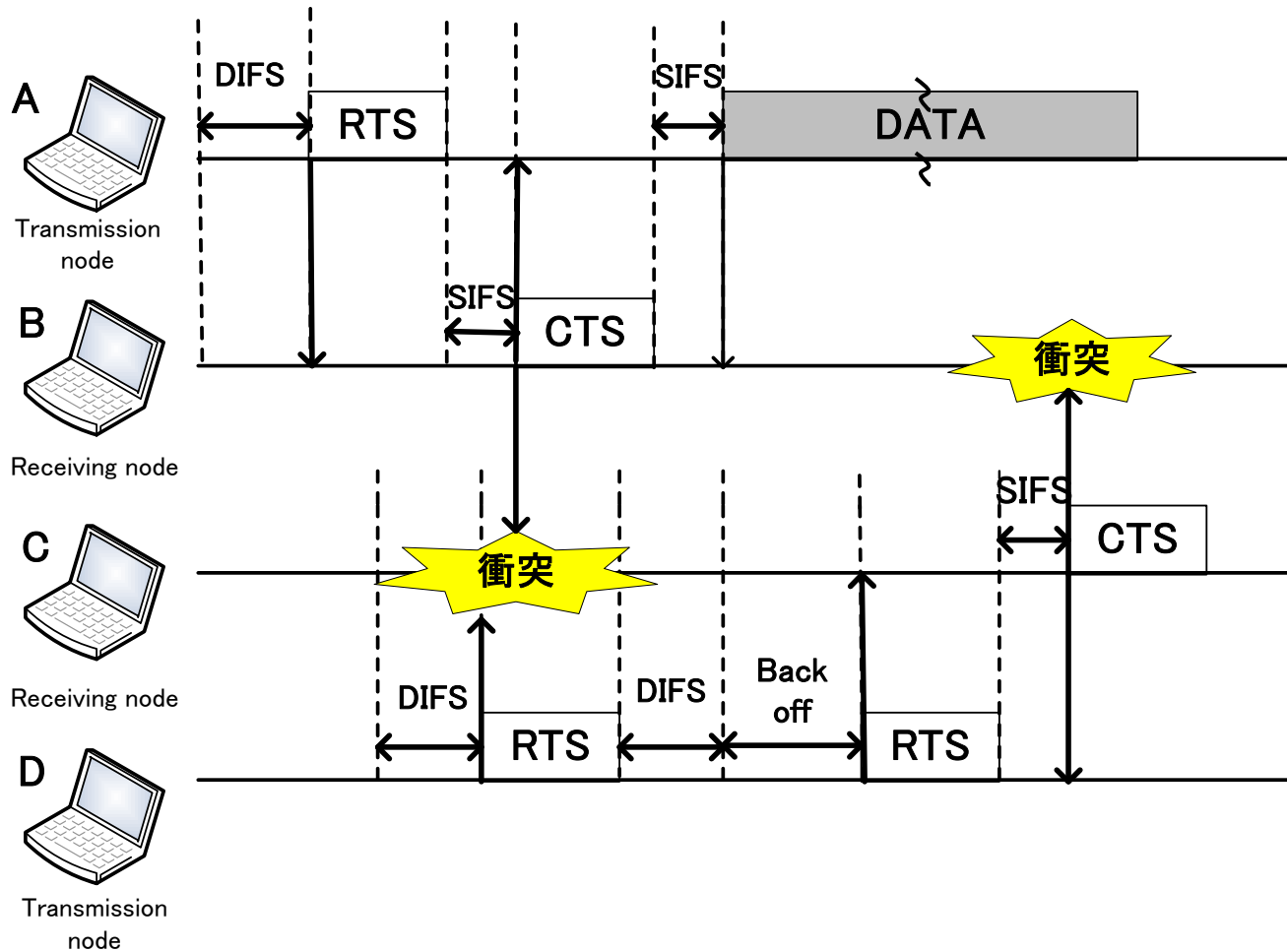


RTS/CTSの課題



- 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方式の課題



- 遠隔の端末は制御できない

RTS/CTSの課題

- RTS/CTS自体がパケットであるため制御に時間がかかる
- RTS/CTSでは隣接端末しか制御できない
- RTS, CTS同士で衝突が発生する



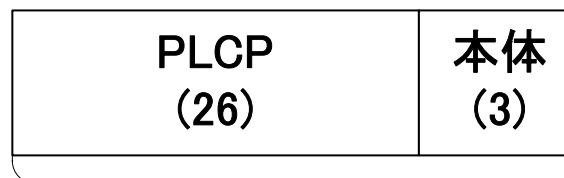
RTS, CTS自体がスループットを低下させる要因となる

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



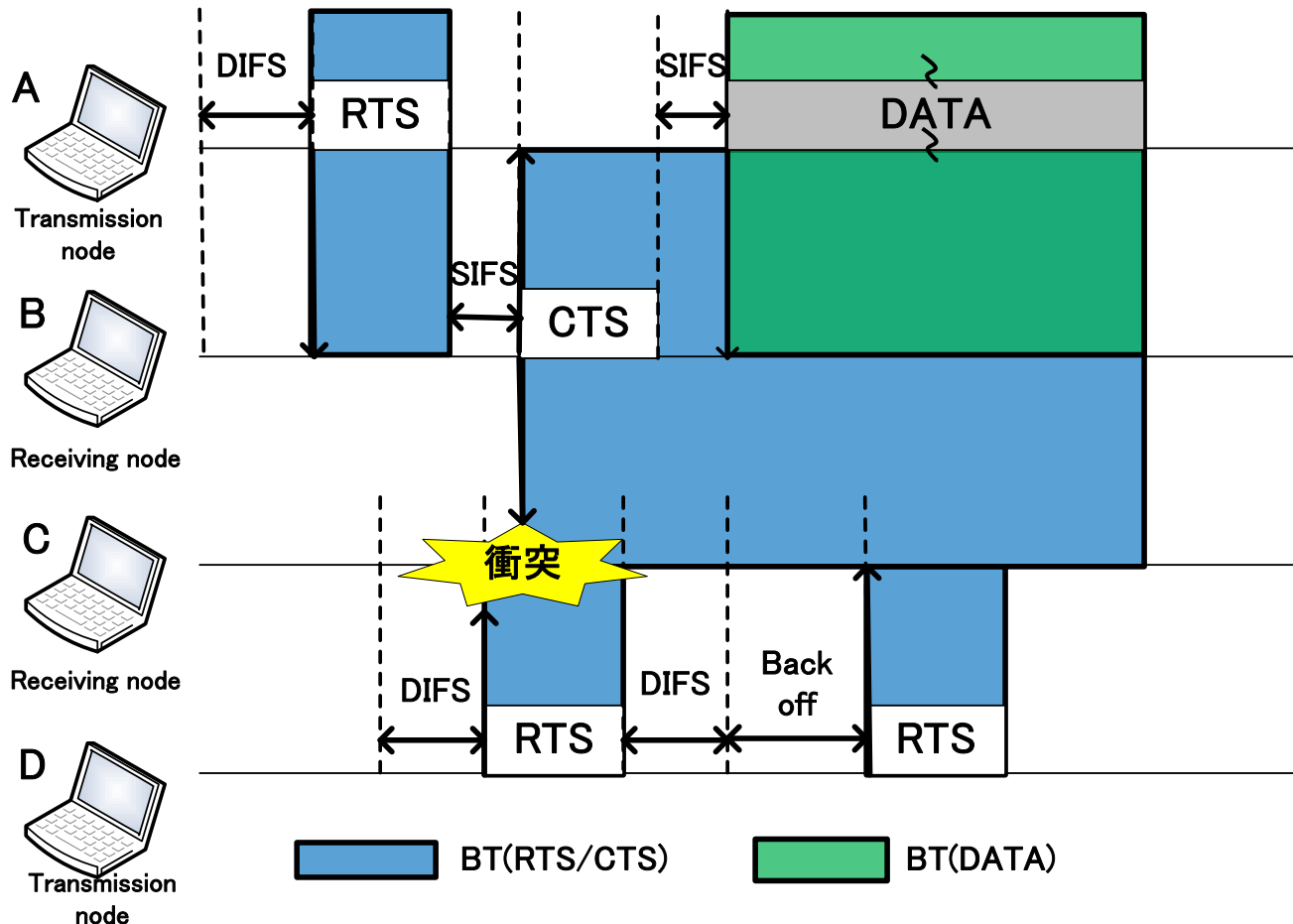
RTS 単位(μs)

ビジートーン

- 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

- 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

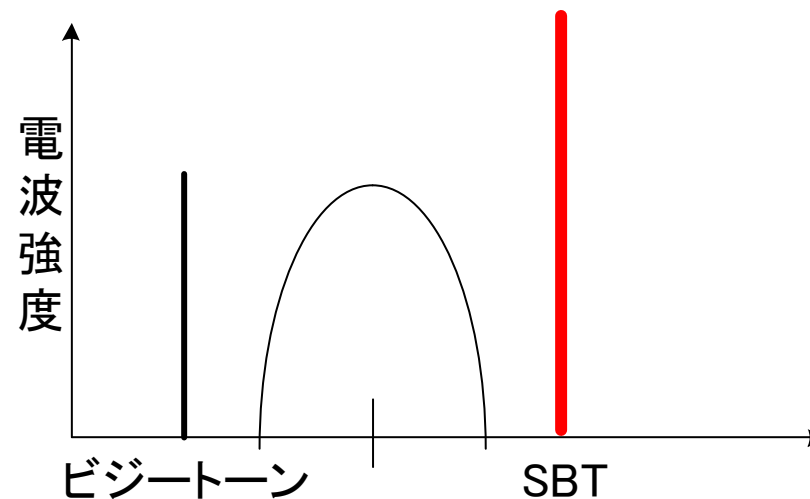


➤ 既存技術では隣接端末までしか制御できない

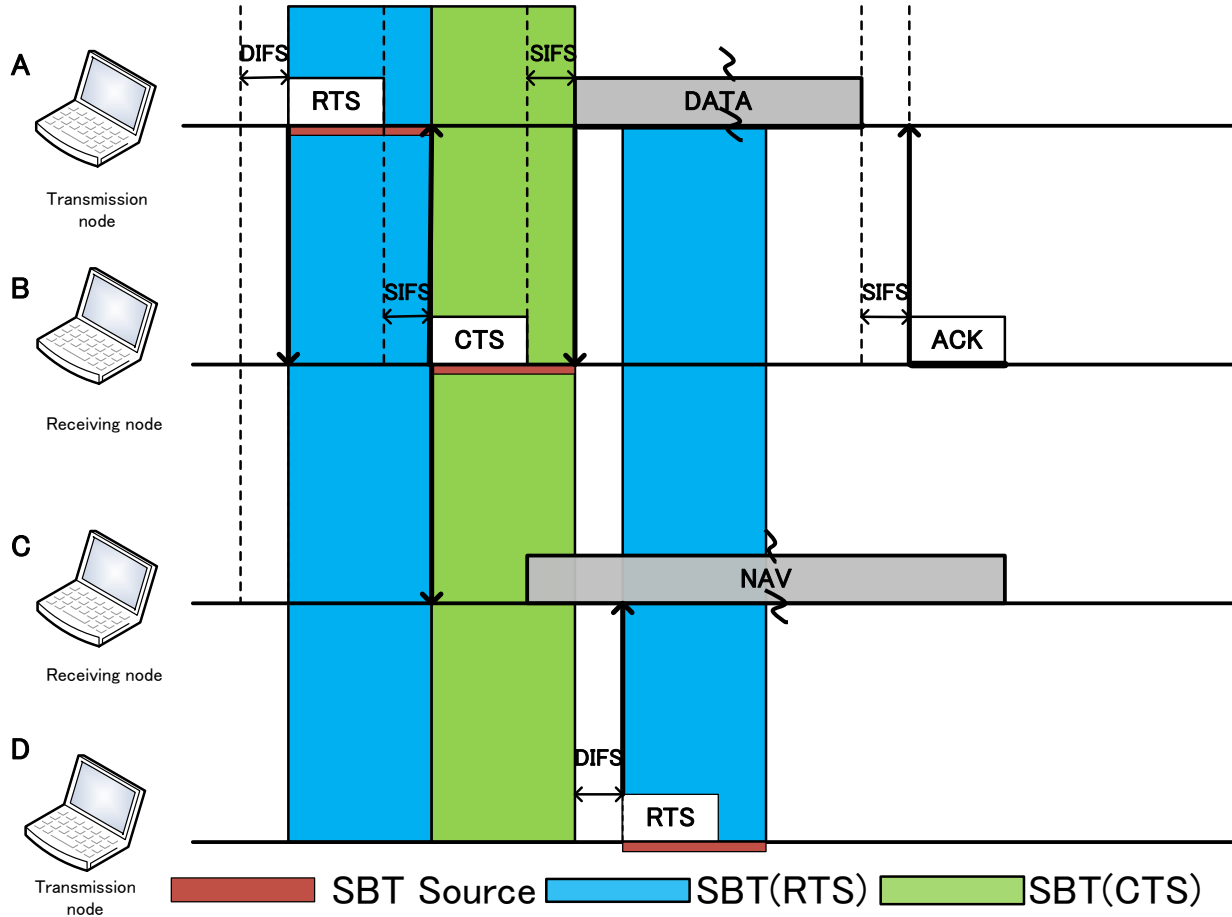
提案方式(SBT)

➤ SBT(Strong Busy Tone)

- 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
- 通信中にSBTを受信しても無視し通信を継続



SBTの動作



➤ **RTS,CTSと同時にSBTを送信**

拡張方式(スロットタイム修正)

- ▶ 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 (Δt)
- ▶ 既存方式で待機時間に無駄がある
 - 待機時間を最適化することで通信性能を向上できる

スロットタイムの修正

➤ IEEE802.11gの規定

- Δt : 9.0 μ s
- CWmin: 15
- CWmax: 1023

➤ Backoff = $\{(CWmin + 1) \times 2^n - 1\} \times \Delta t$

- Δt の値を最適化することで待機時間を短縮する

スロットタイムの内訳

CCATime ($4 \mu s$)	AirPropagationTime ($1 \mu s$)	RxTxTurnaroundTime ($2 \mu s$)	MacProcessingDelay ($2 \mu s$)
--------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

- CCATime :端末の状態判定時間(busy or idel)
- AirPropagationTime:伝搬時間
- RxTxTurnaroundTime:通信往復時間
- MacProcessingDelay:通信処理時間

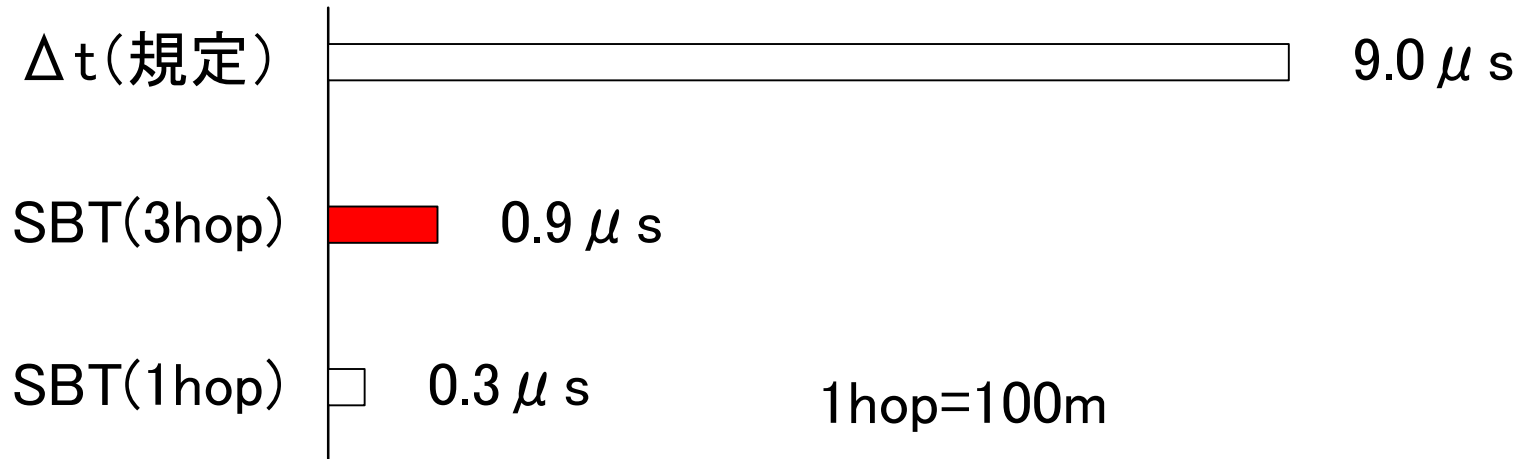
スロットタイムの内訳

- 無線通信では不要な値
 - 衝突を検知不可能
 - 通信の往復時間は不要(RxTxTurnaroundTime)
- SBTを適用することで外せる値
 - 周辺端末を制御するため状態判定時間は不要(CCATime)
 - 情報を一切含まないため処理時間は非常に小さい(MacProcessingDelay)



提案方式では伝搬時間のみを考慮すればよい

スロットタイムの修正



▶ スロットタイムの値を短縮

- 無駄な待機時間の短縮



スループットの向上

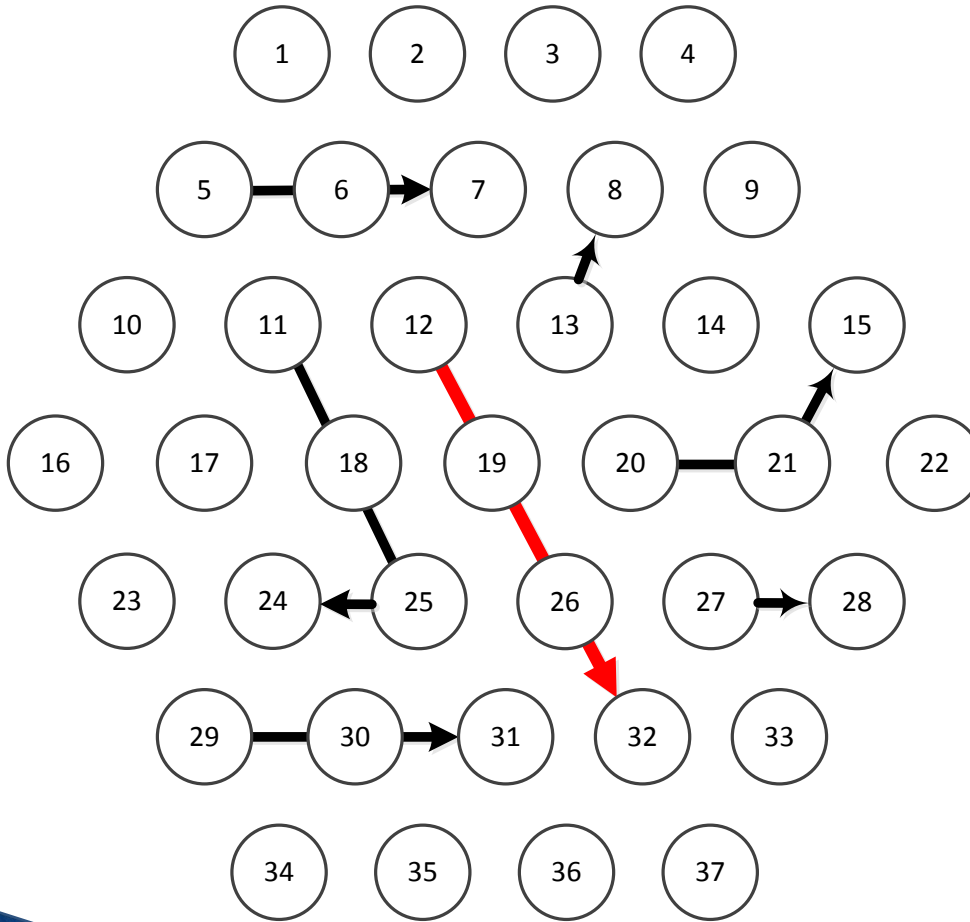
ns-2によるシミュレーション

- ▶ 提案方式の効果測定
 - スループットの推移
 - 衝突防止効果

スループット測定端末	
TCP通信数	1個
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	
UDP通信数	1~60個
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)

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	330(s)
通信形態	802.11g
無線帯域	54(Mbps)

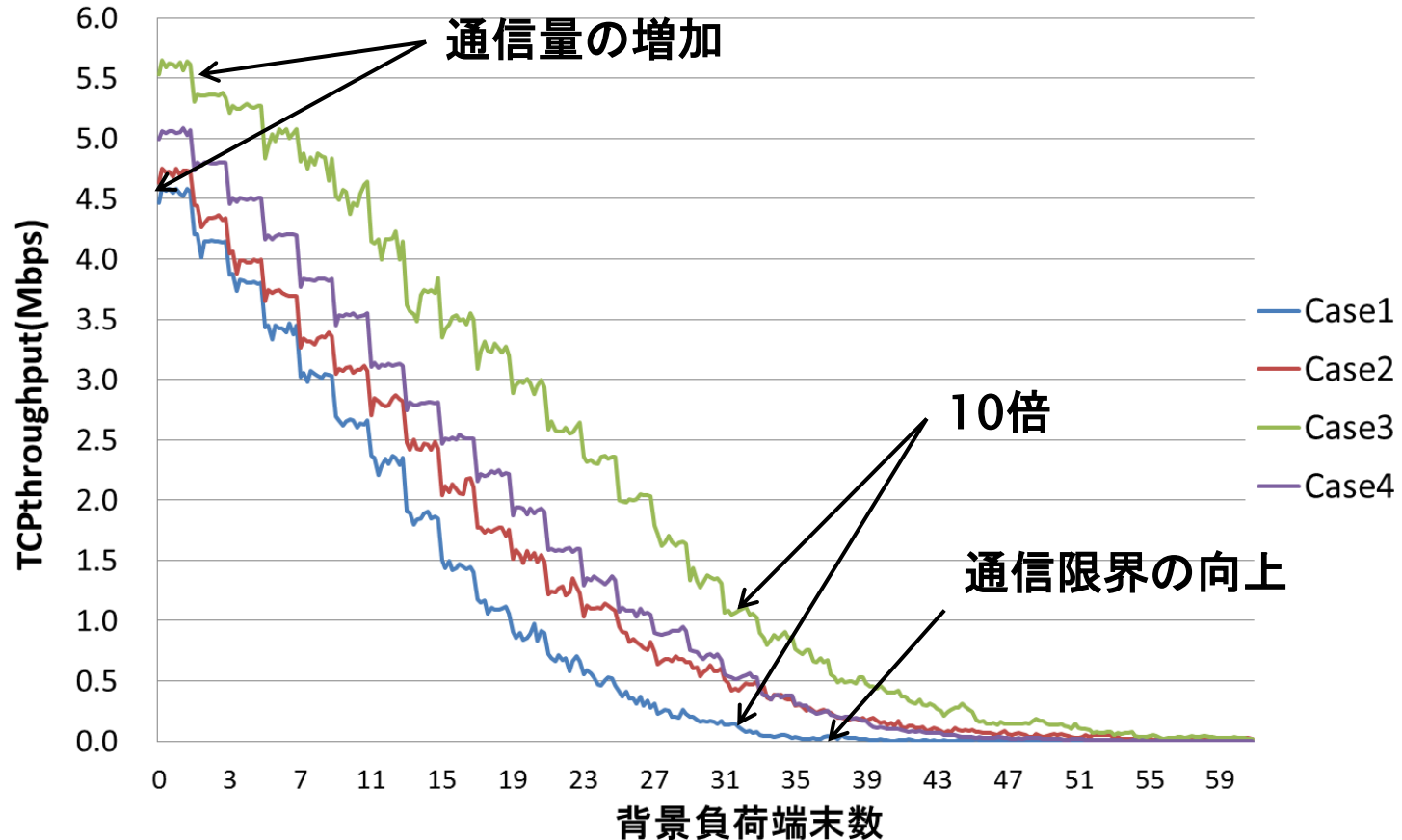
シミュレーション

- ▶ 測定環境を提案方式ごとに測定
 - SBTの有無, Δt の値,乱数の範囲

	SBT	$\Delta t(\mu\text{s})$	CWmin~CWmax
Case1(RTS/CTS方式)	無	9.0	15~1023
Case2(提案)	有	9.0	15~1023
Case3(提案+拡張)	有	1.0	15~1023
Case4(提案+拡張)	有	1.0	135~9207

- ▶ Case4は衝突防止能力を向上したものの
 - 待機時間は従来と同様
 - CWを拡大し衝突を防止

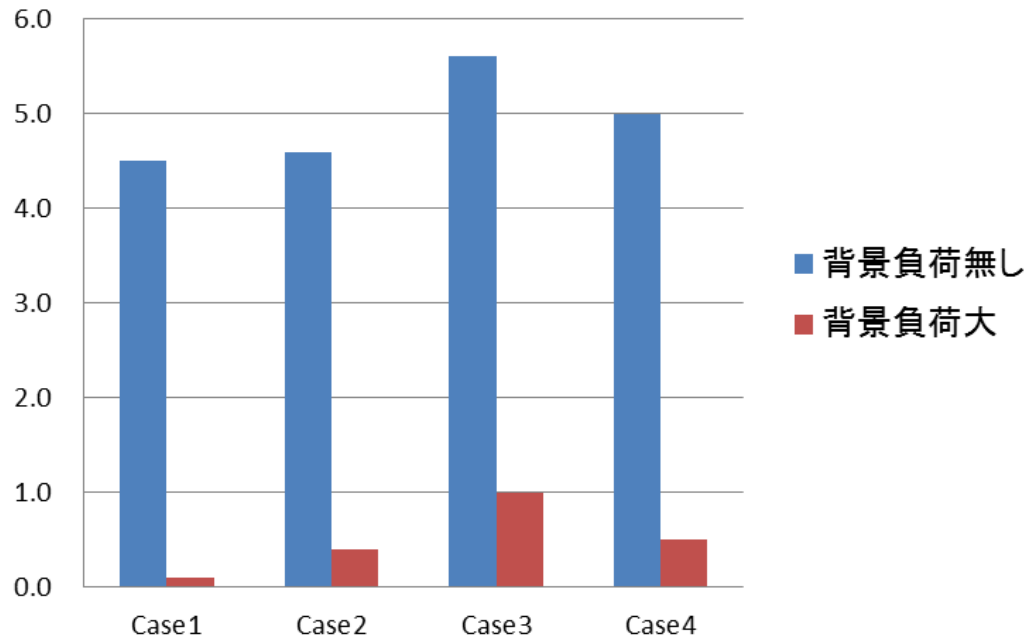
シミュレーション結果



- ▶ 提案方式を用いることでスループットの向上が可能

シミュレーション結果(スループット)

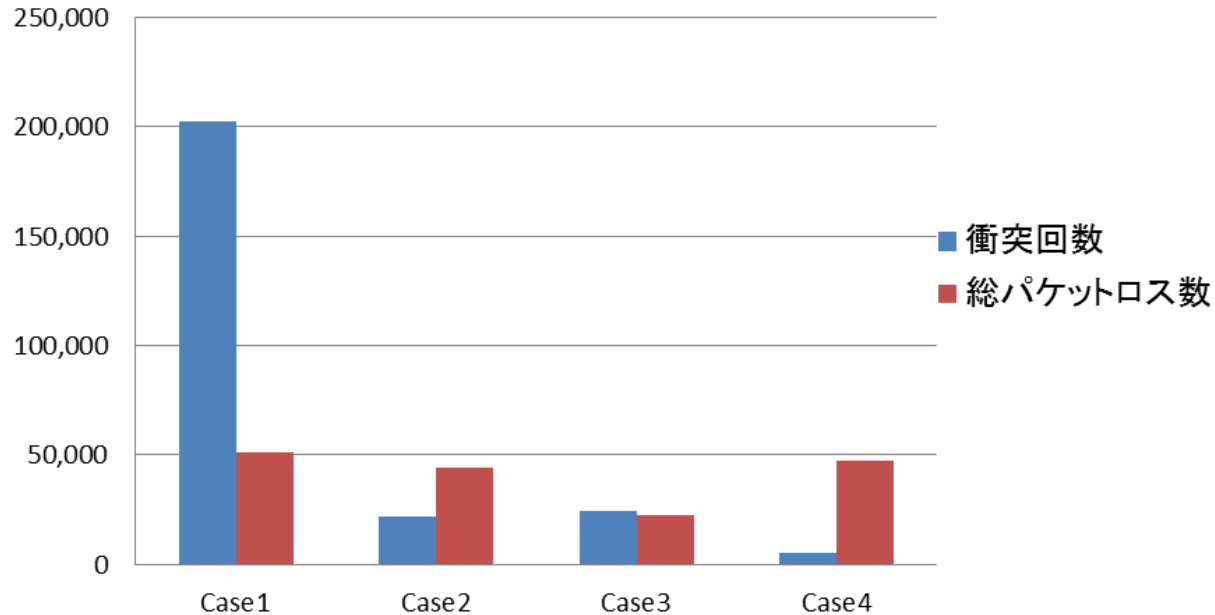
TCPTthroughput(Mbps)



- 待機時間短縮により通信量増加
- Case3が最もスループットが向上

シミュレーション結果(衝突回数)

衝突回数とパケットロス数



- 提案方式を用いることで衝突を大幅に軽減可能
- Case4が最も衝突防止能力が高い

シミュレーション結果

- 待機時間を短縮することでパケットロスを軽減可能
- Case3のみパケットロスが大幅に軽減
 - SBTにより衝突防止
 - 通信の飽和を抑制



衝突防止能力とスループットはトレードオフ

むすび

- SBTの導入とスロットタイム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

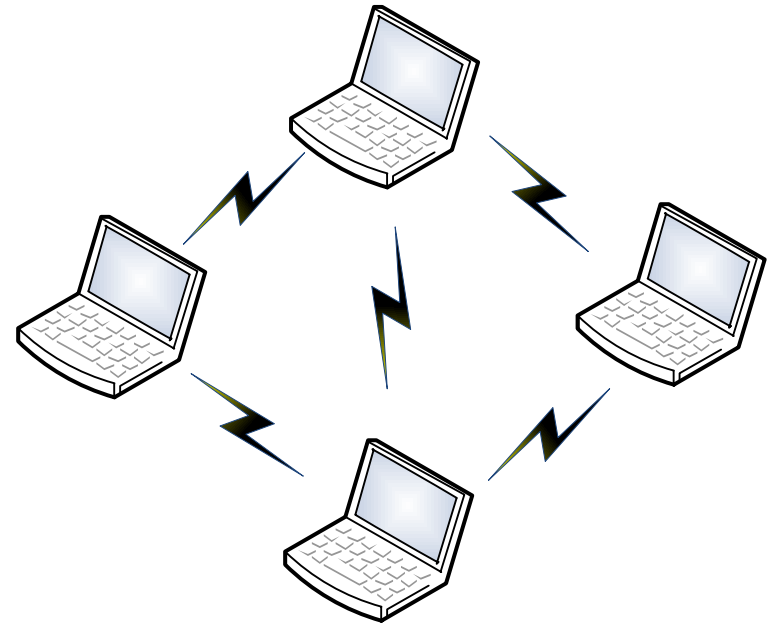
- 今後の課題
 - SBTを用いた様々な方式の検討



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
 - 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



キャリアセンス

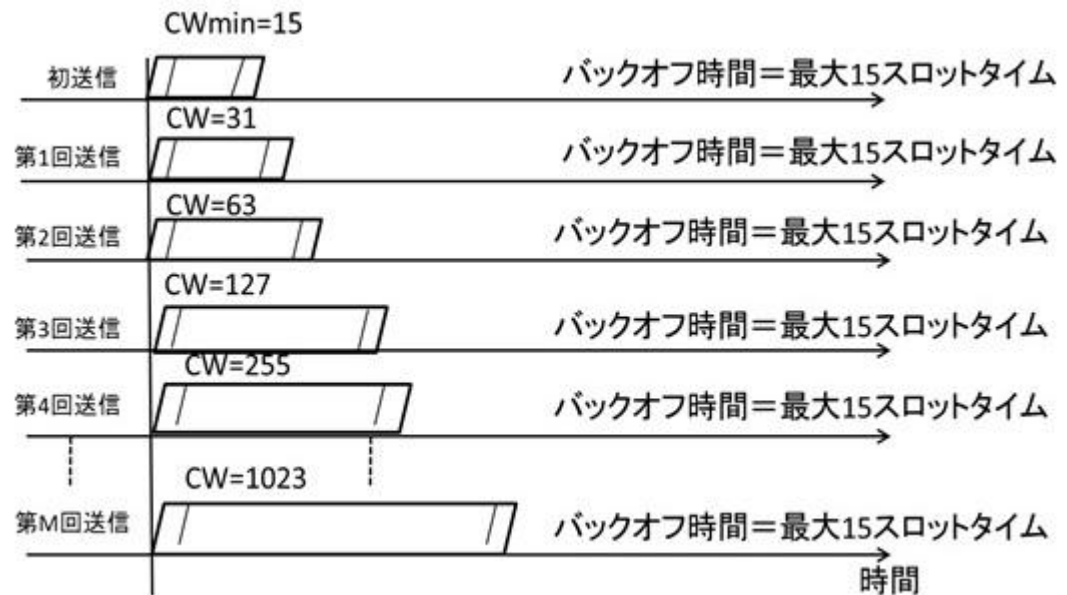
- 各端末は通信開始時にキャリアセンスを行う
⇒ 一定以上の電波を検知した場合通信を控える
- キャリアセンスにおいてビジートーンを検知する
⇒ 受信に関して端末の改造は不要

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。

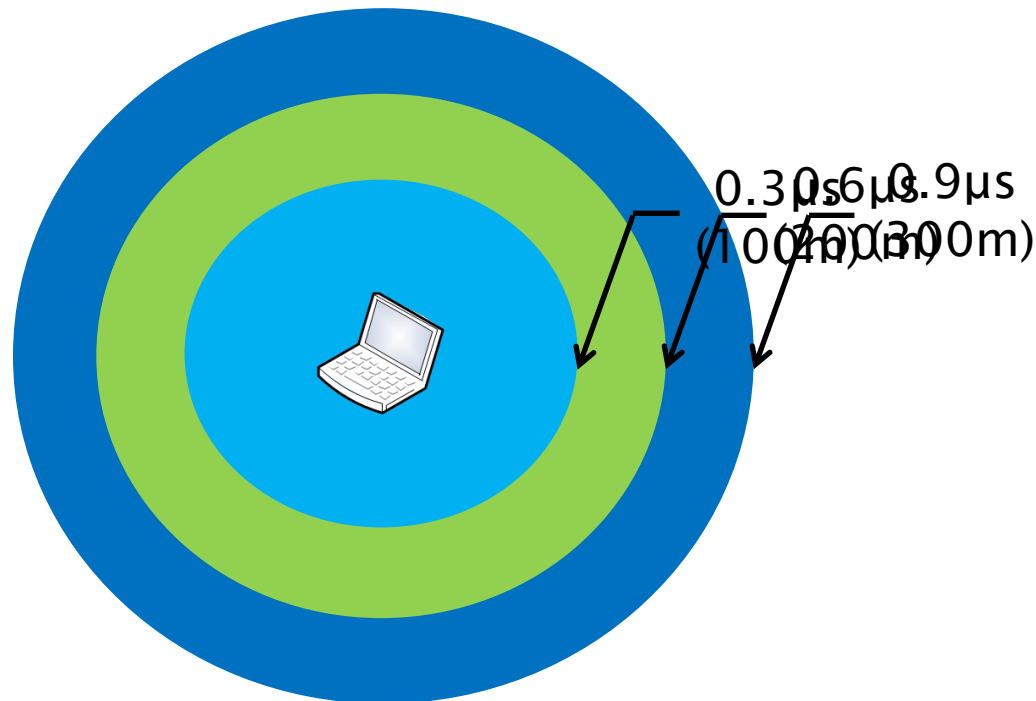


ガードバンド

- 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



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

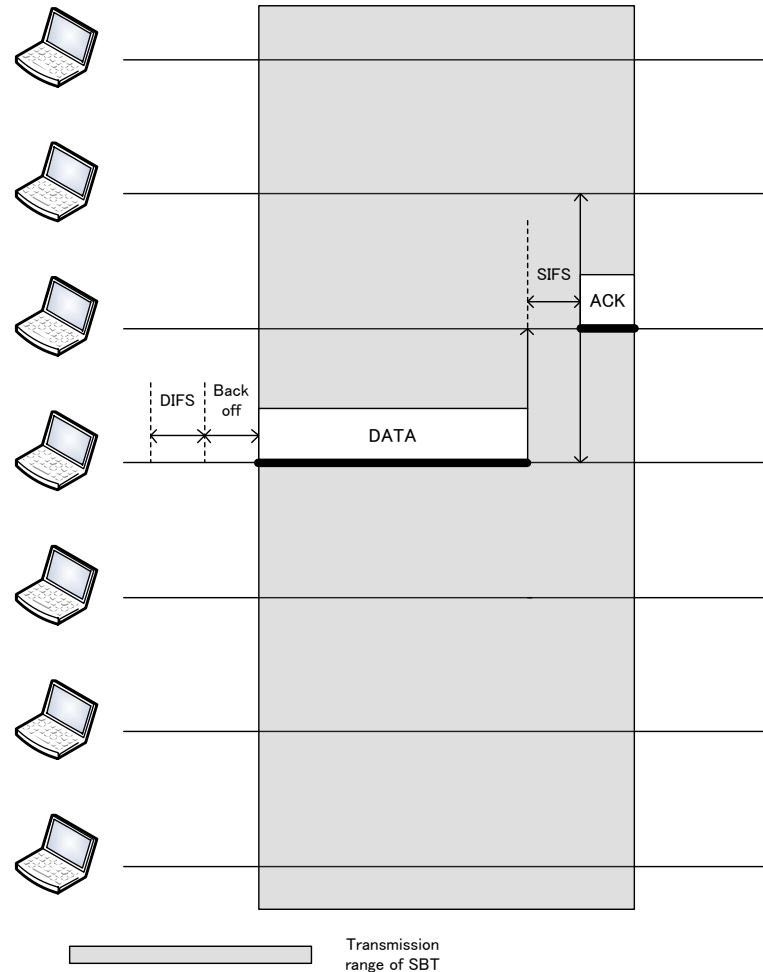
DIFS		34
Back-off		135~9207
RTS	PLCP 本体	26 3
SIFS		10
CTS	PLCP 本体	26 3
DATA	PLCP 本体	26 227
ACK	PLCP 本体	26 3

SBTについて

- ▶ SBTの受信はキャリアセンス時に電波を受信するものと同様
- ▶ SBTを受信した場合は通常の待機と同様
⇒ DIFS + バックオフ時間
- ▶ NAVが発生している訳ではない

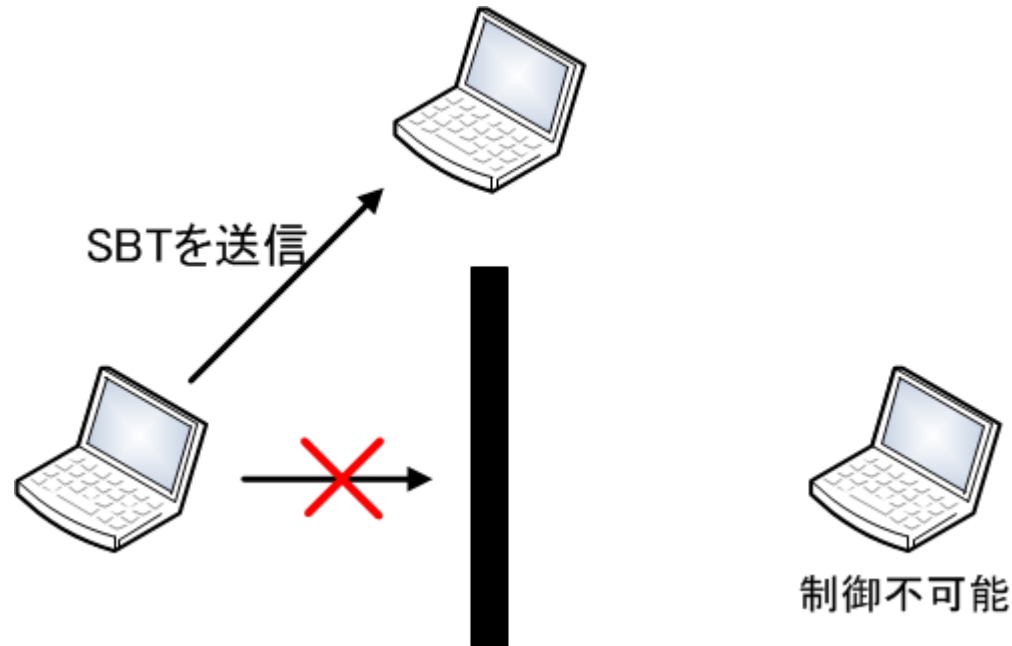
SBTの拡張性

- RTS/CTSをなくす
- DATA部分にSBTを適用



SBT拡張時の課題

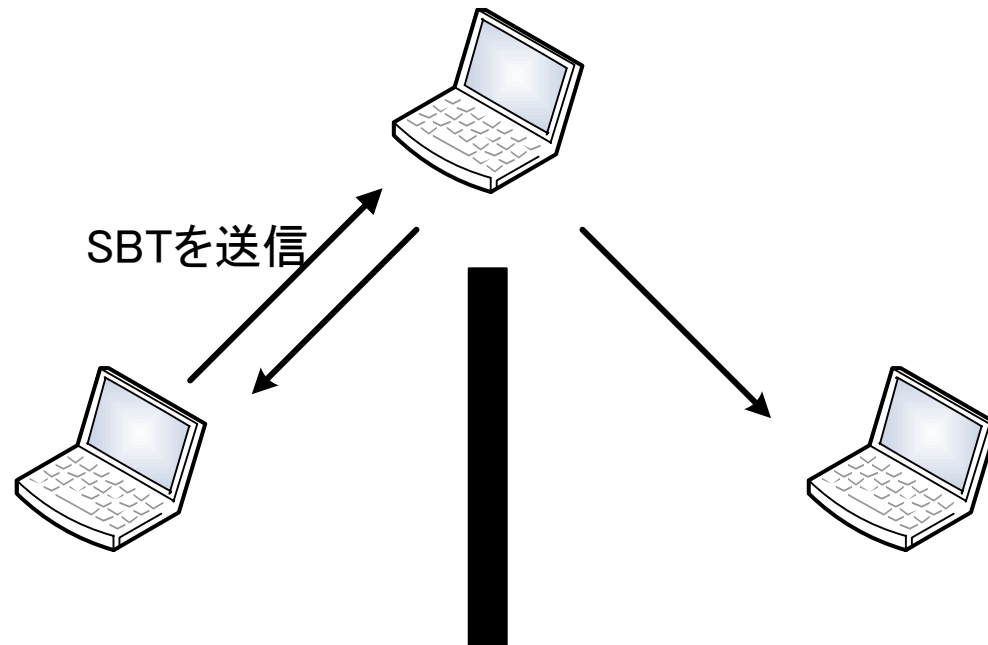
- ▶ 障害物が存在する場合SBTが端末に到達しない
- ▶ RTS/CTSがないため障害物を回避できない



課題の解決手法

- ▶ 受信ノード側でもSBTを送信する
- ▶ 障害物を迂回する手法

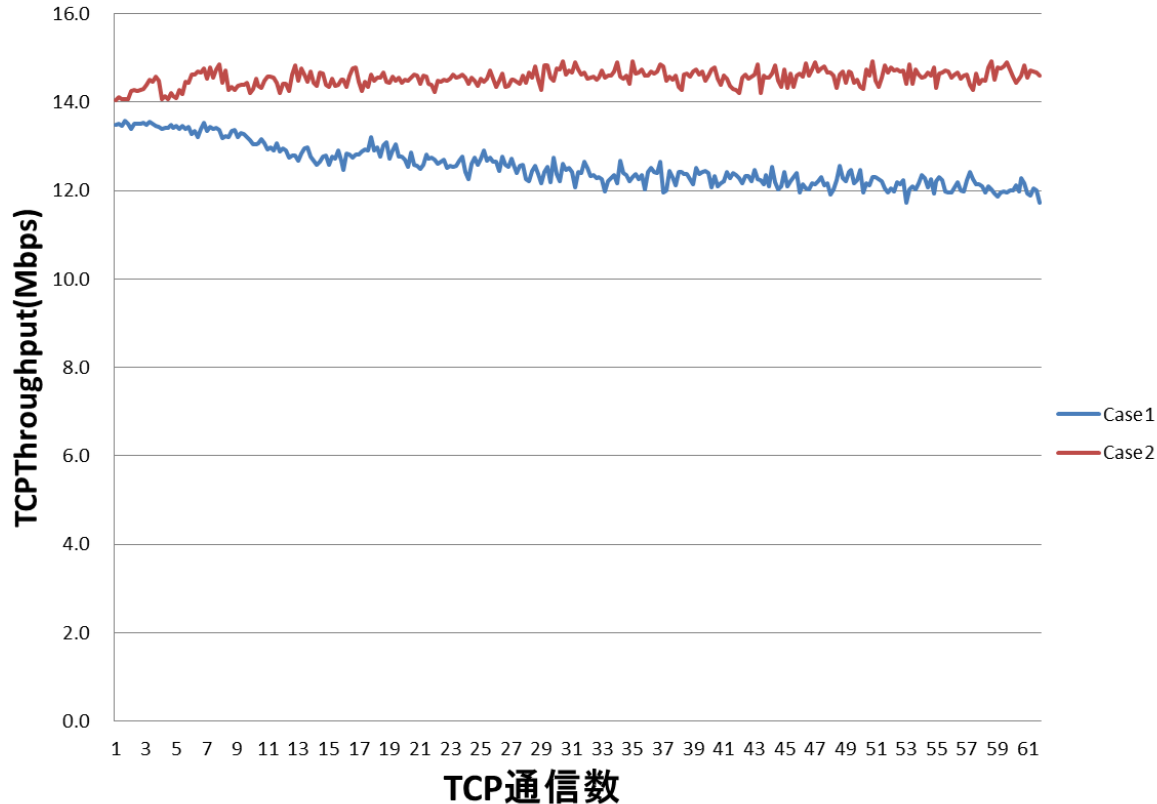
DATA部分受信と同時に
SBTを隣接端末に向け送信



SBTによる通信妨害

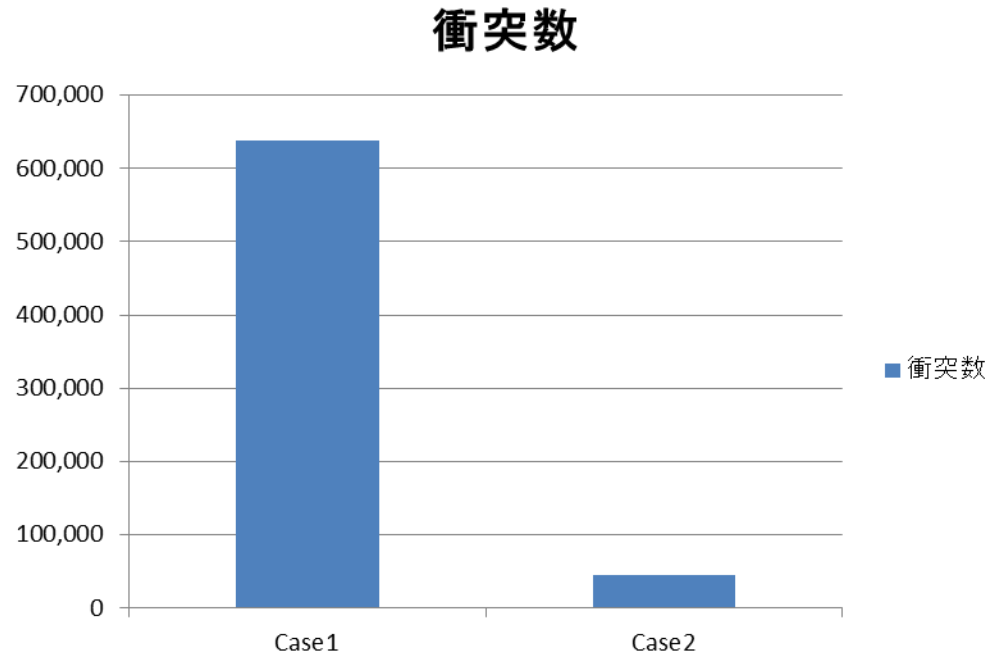
- ▶ SBT送信端末がSBTを送信し続ける
 - 通信妨害となる
- ▶ SBTは逆位相の信号を送信すれば消滅する
- ▶ 通信妨害で電波法に抵触する
- ▶ SBTを送信し続けることは電力的にも厳しい

TCP通信への適用



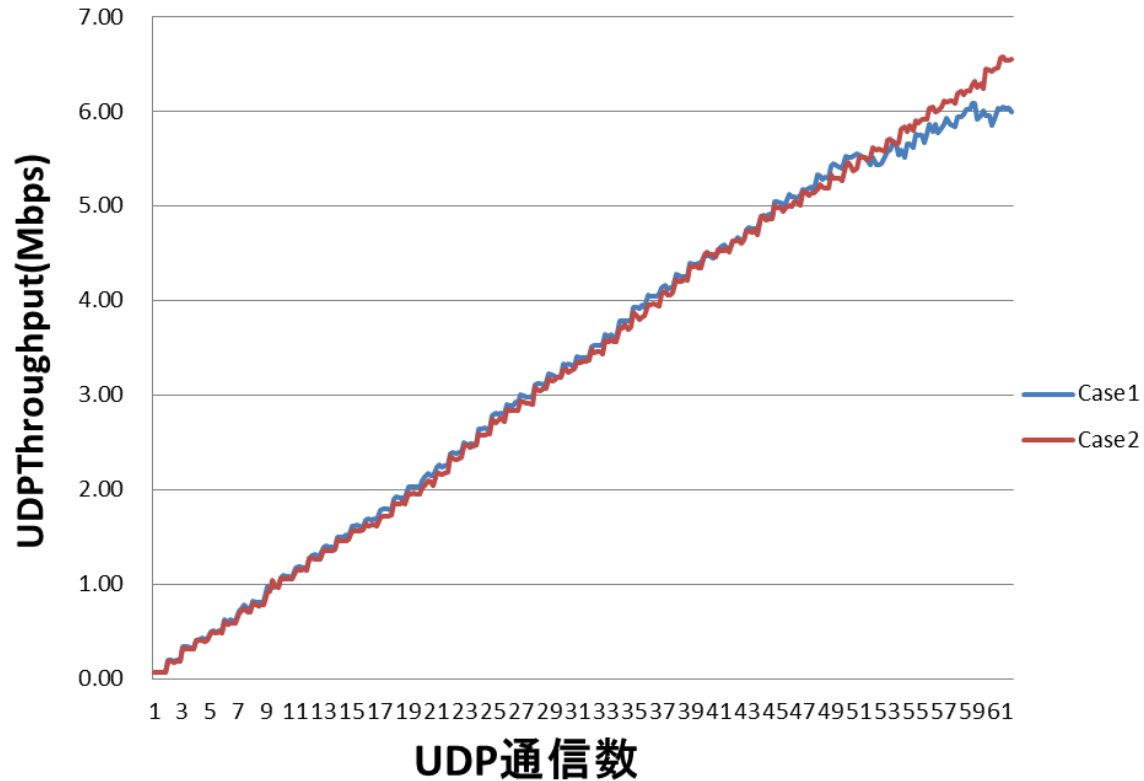
- ▶ TCP通信へ適用することで，飽和を抑制可能

TCP通信への適用



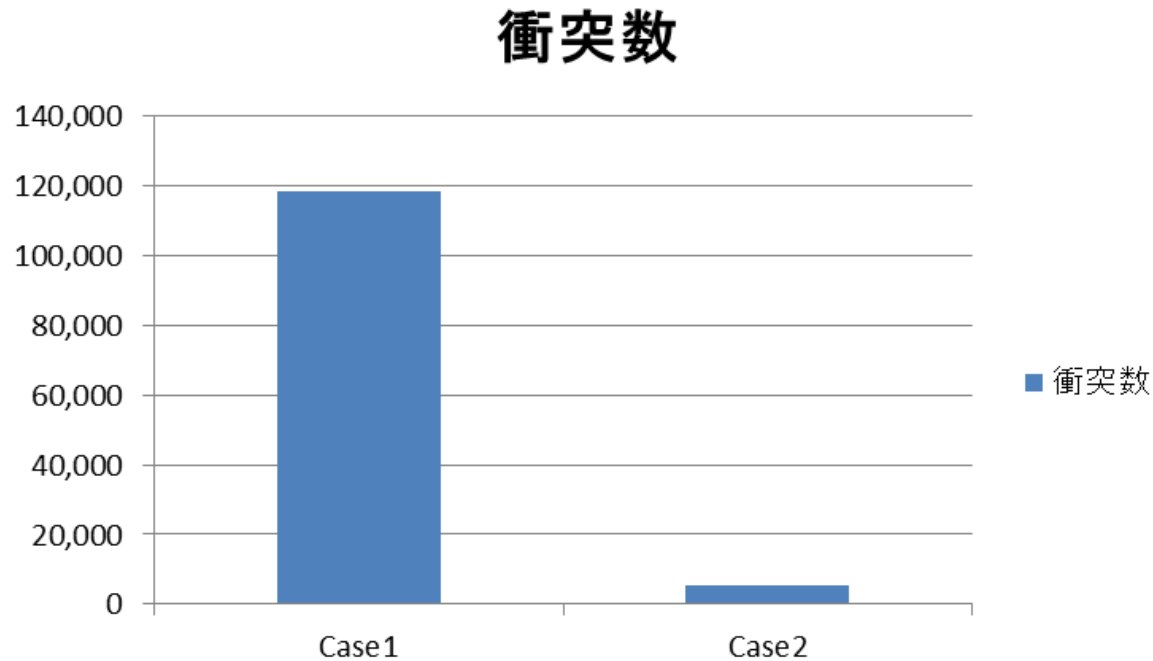
- ▶ 衝突回数を約1 / 14まで軽減可能
- ▶ 再送を防ぎ、通信の飽和を抑制している

UDP通信への適用



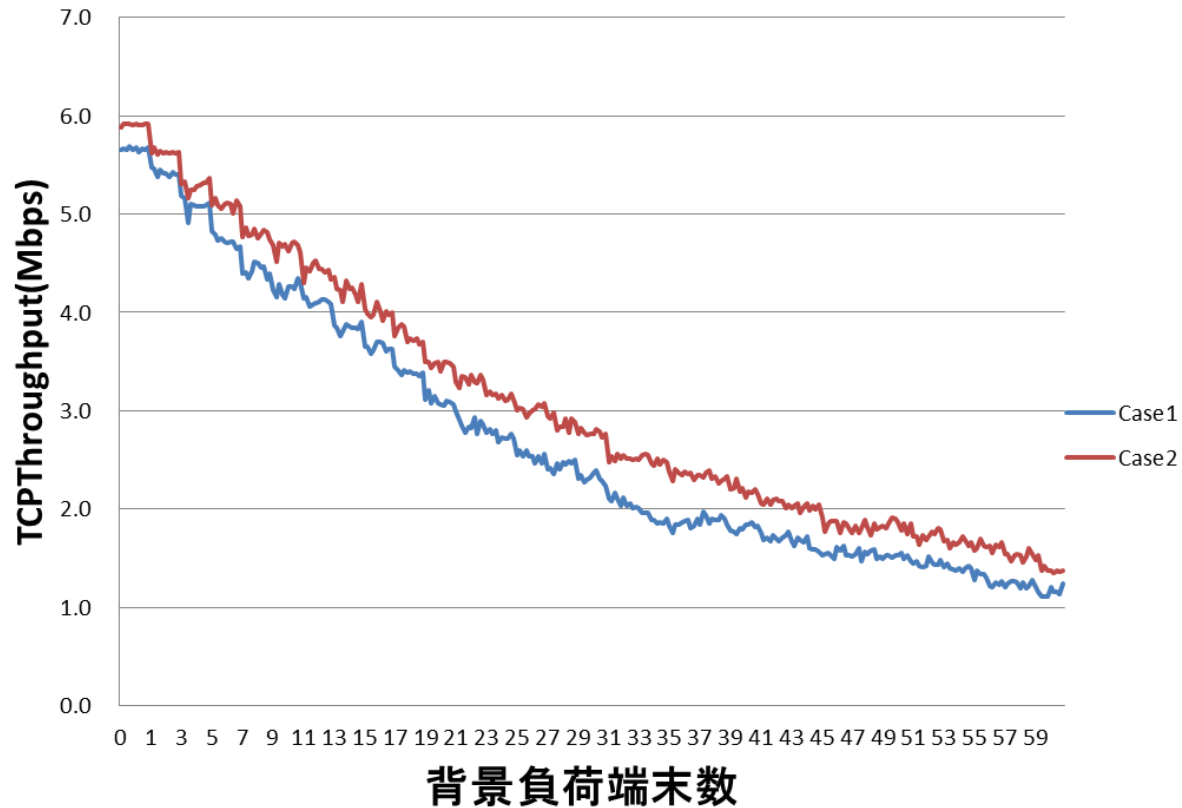
- ▶ UDP通信では, 通信が飽和するにつれ差が出始める

UDP通信への適用



- ▶ 衝突回数を約1 / 22まで軽減可能
- ▶ TCP通信よりも衝突防止効果が高い

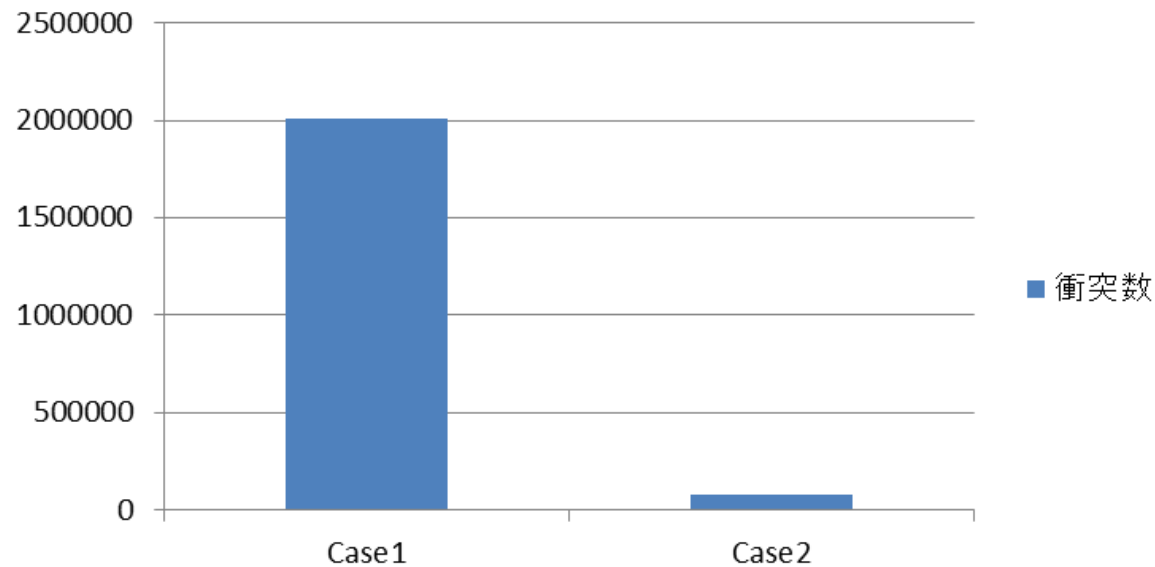
ランダムな配置による効果



▶ どのような状況でもスループットは向上される

ランダムな配置による効果

衝突数



- ▶ 衝突回数を約1 / 25まで軽減可能