

# はじめに

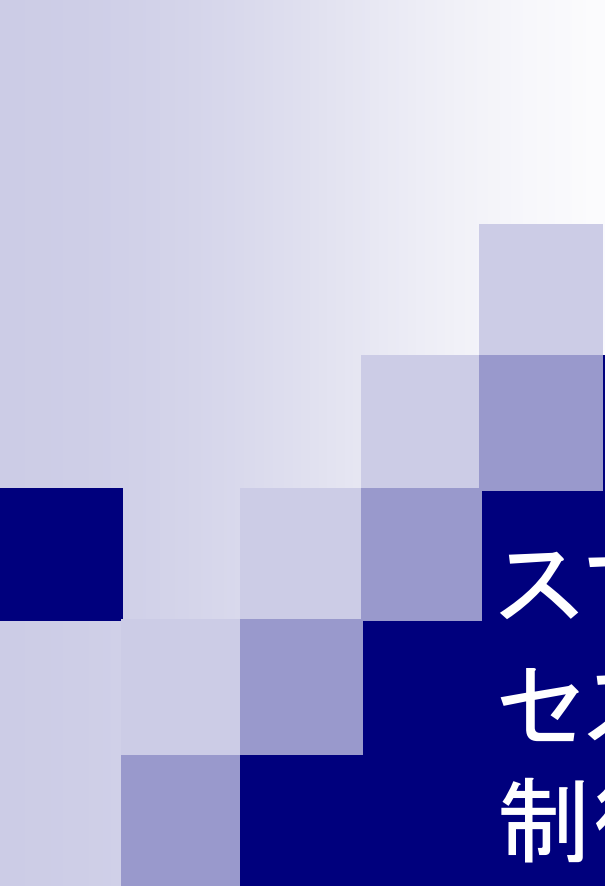
- 本資料は下記論文を基にして作成されたものです。文書の内容の正確さは保障できないため、正確な知識を求める方は原文を参照してください。

論文名 : スマートアンテナを用いた2種アクセス併用指向性メディアアクセス制御プロトコル

著者 : 長島勝城、高田昌忠、渡辺尚

著者所属 : 静岡大学大学院情報学研究科

出展 : 電子情報通信学会論文誌 B Vol. J87-B No.12  
pp.2006-2019 2004年 12月



# スマートアンテナを用いた2種アクセス併用指向性メディアアクセス制御プロトコル

渡邊研究室

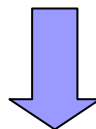
050428027 後藤秀暢

# 研究背景

無線通信技術の進歩と無線機器の普及に伴い、固定インフラを必要とせず、端末だけで一時的に構成される  
無線アドホックネットワークの研究が盛んに行われる

## ■ 特に近年では・・・

通信データの大容量化



スループット性能の向上が重要な技術課題！！

# 研究背景 ~課題~

## ■ しかし・・・

全端末が一つの無線チャンネルを共有する無線アドホックネットワークを考えた場合

無指向性アンテナを前提とする

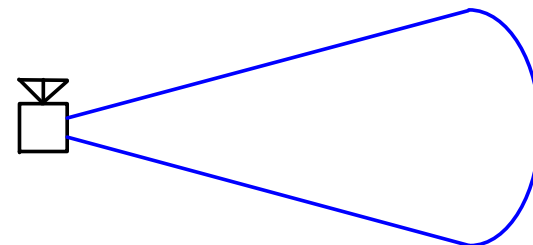
メディアアクセス制御プロトコル  
(MACプロトコル)

隠れ端末

ネットワーク全体の性能を  
制限される！？

さらし端末

# スマートアンテナ



## ■ そこで・・・

電子制御によりアンテナビームの指向性制御が可能な**スマートアンテナ**が有効

## ■ スマートアンテナでは・・・

- ・空間上に存在する同一周波数の通信リンク数が増加
- ・高利得指向性ビームにより通信エリアの拡張が可能

## ■ しかし・・・

スマートアンテナをアドホックネットワークで利用する場合、各端末が自立分散的に移動するため、指向性ビームの方向制御などの従来のMACプロトコルに対してより複雑な機構が必要

アンテナビームの指向性を考慮したMACプロトコルの設計が必要

# 提案方式

## ■ 本論文では・・・

- ・スマートアンテナを効率的に用い
- ・空間利用効率の向上と通信エリアの拡張を提供し
- ・ノード数に伴うオーバーヘッドの増加の少ないアドホックネットワークMACプロトコル

## SWAMP

(Smart antenna based Wider-range Access MAC Protocol)

を提案する

# IEEE802.11DCF

- IEEE802.11DCFが提案プロトコルのベースとなる
  - ・アクセス方式にCSMA/CA方式を用いた衝突型MACプロトコル
  - ・RTS/CTSの制御フレームにより周辺ノードにチャネル利用期間 (NAV : Network Allocation Vector)を通知でき、隠れ端末問題が抑制される
  - ・さらし端末問題は依然として残る

このとき、無指向性アンテナを使用すると・・・

隠れ端末、さらし端末に該当する多くの近隣ノードが自身の通信を延期し、同一周波数における空間利用効率が低下

# SWAMP

- IEEE802.11DCFをベースとし、スマートアンテナによる可変指向性ビームを適用したMACプロトコルSWAMPの特徴
  1. 各端末は、無指向性ビームで2ホップ先に位置するノードの位置情報を取得し、通信エリアを無指向性ビームの2倍に拡張
  2. 無指向性ビームと、利得の異なる3種の指向性ビームを使用し空間利用効率の向上と通信エリアの拡張を提供
  3. 2種類のアクセスモードを併用し、それらをあて先端末と自身の位置に応じて選択し使用
  4. IEEE802.11DCFで定義されたNAVよりも短いomni-NAVを導入し、仮想キャリアセンスによる通信延期期間を短縮



# ノード位置情報の取得

- 指向性ビームを使用したメディアアクセスの場合

指向性ビームの主ビーム方向の決定が必要

- SWAMPが考慮すべき点

1. 無指向性ビームで通信可能なエリア外に存在するノードの方向情報の取得
2. ノードの移動に対応できること
3. 情報取得のために発生するオーバーヘッドが少ないこと

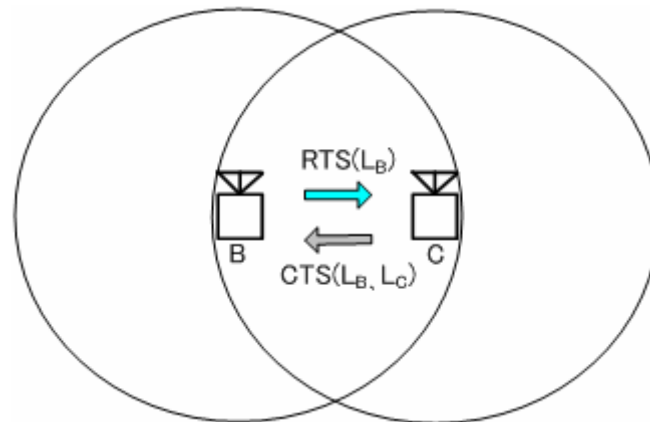
# ノード位置情報の取得

## ■ 端末の移動を考慮する場合

制御フレームを無指向性ビームで送信しあて先ノードを探索する必要がある

SWAMPでは・・・

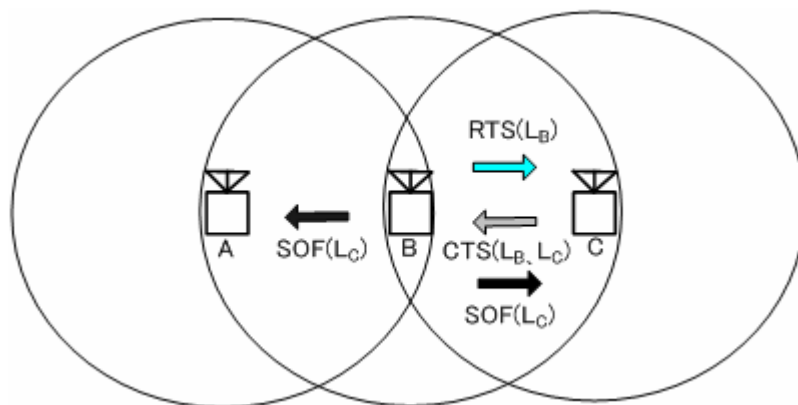
RTS及び返信されるCTSに送信ノードの位置情報を付加し無指向性ビームで送信し、自身の無指向性通信エリア内に位置するあて先ノードの位置情報をデータ通信のたびにオンデマンドで取得する



$L_i$  : ノード*i*の位置情報

# ノード位置情報の取得 ~NHDI~

更に通信エリア拡張に対応するために、通信ペアがオンデマンドに取得した通信相手の位置情報を、制御フレーム(SOF : Start Of Frame)に内包し無指向性ビームで送信する

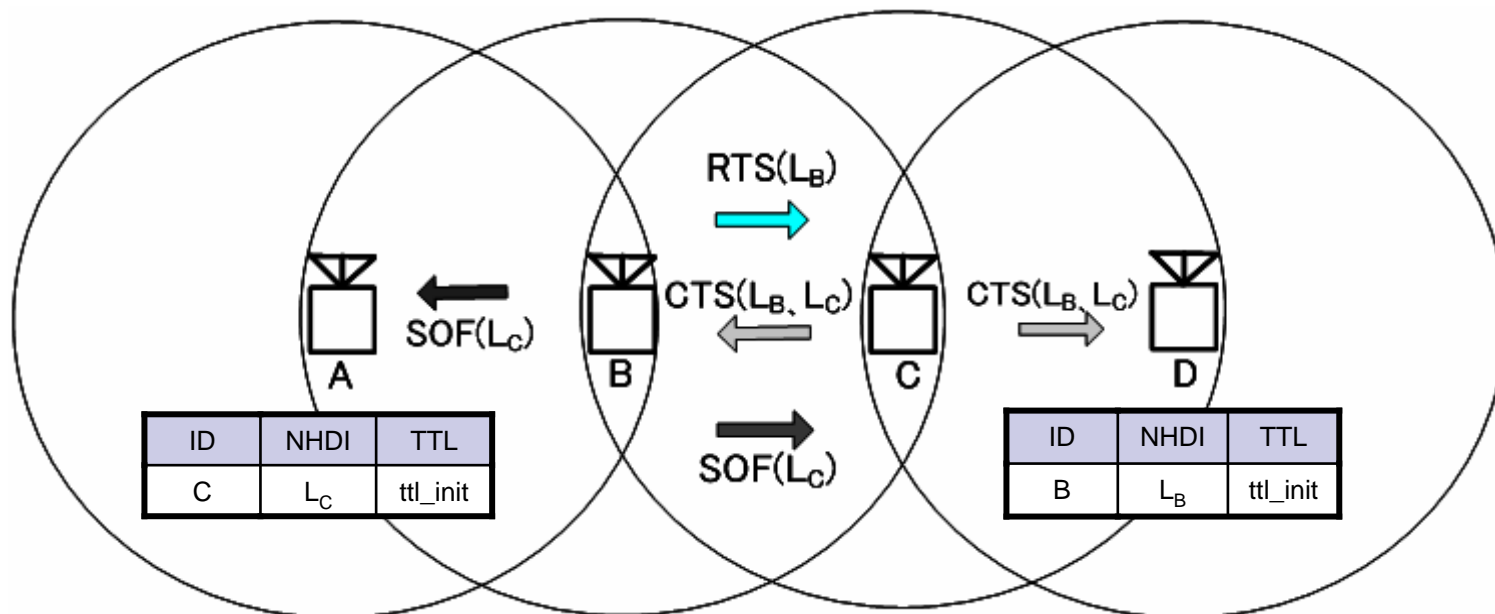


この結果、通信ペアの近隣ノードにおいて、無指向性ビームで2ホップ先に位置するノードの位置情報が取得できる

ここで通信ペアが近隣に通知する通信相手位置情報を  
NHDI (Next Hop Direction Information)と定義する

# NHDI取得の様子

1. ノードBがCに対してRTSを送信する
2. RTSを受信したノードCは送信元ノードのNHDI(RTS受信で取得したBの位置情報)をCTSに内包し返送
3. CTSを受信したノードBはあて先ノードのNHDI(CTS受信で取得したCの位置情報)を新たに追加したSOF (Start Of Frame)へ内包し送信



# NHDIテーブル

各端末は、近隣で発生したCTS、あるいはSOFを受信することによりNHDIを取得し、自身のNHDIテーブルに記録する

NHDIテーブルの構図

- ・無指向性ビームで2ホップ先に位置するノードのノードID
- ・NHDI (位置情報)
- ・TTL (Time To Live)

ID	NHDI	TTL
C	$L_C$	ttl_init

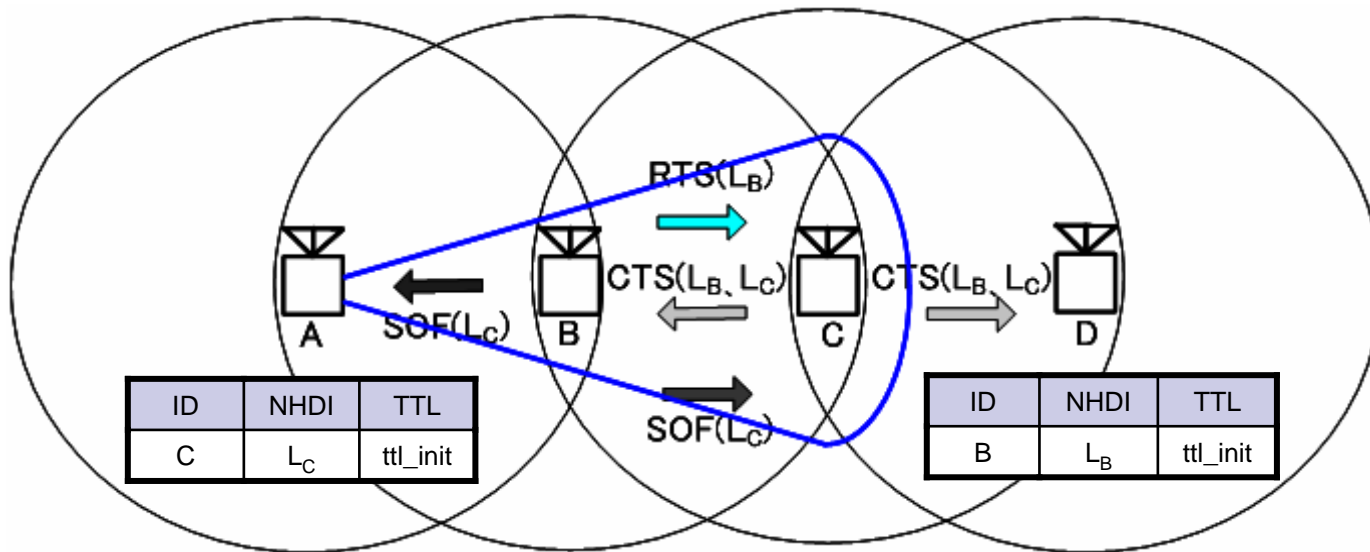
ID	NHDI	TTL
B	$L_B$	ttl_init

TTLについて...

- ・TTLは時間経過とともにデクリメントされる
- ・TTLが0になった時点で、対応するNHDIがテーブルから削除される
- ・既に登録されているノードに対応するNHDIを取得した場合は、登録情報を更新しTTLを初期値に戻す

# 高利得指向性ビーム

- NHDIテーブルに登録されたノードと通信する場合  
登録されている方向情報に従い無指向性ビームよりもアンテナ利得の高い**高利得指向性ビーム**を形成すれば直接通信が可能



ノードAはノードCのNHDIを取得した後は高利得指向性ビームをCの方向へ制御し直接通信できる

# アンテナモデル

## ■ 4種類の理想的アンテナビームのモデル化

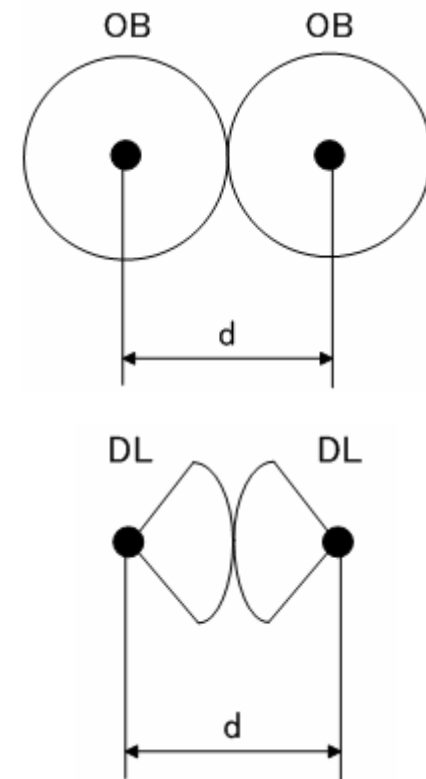
- ・モデル化において、送受信ノードともに無指向性ビームを用いた場合の最大通信距離 $d$ を通信距離の基準とする

### 1. 無指向性ビームフォーム(OB)

- ・全方向に対し利得 $G_0$
- ・同アンテナ対向により距離 $d$ での通信が可能

### 2. 指向性ビームフォーム1(DL)

- ・ビームの角度 $\alpha$
- ・利得 $G_0$
- ・同アンテナ対向により距離 $d$ での通信が可能

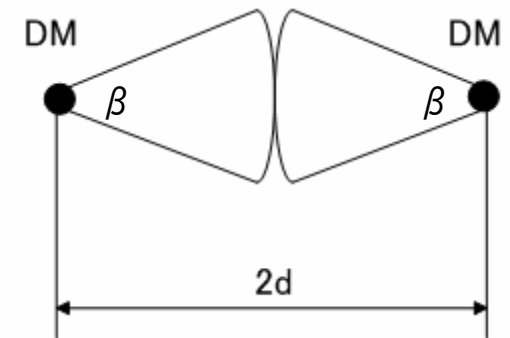


# アンテナモデル

## ■ 4種類の理想的アンテナビームのモデル化

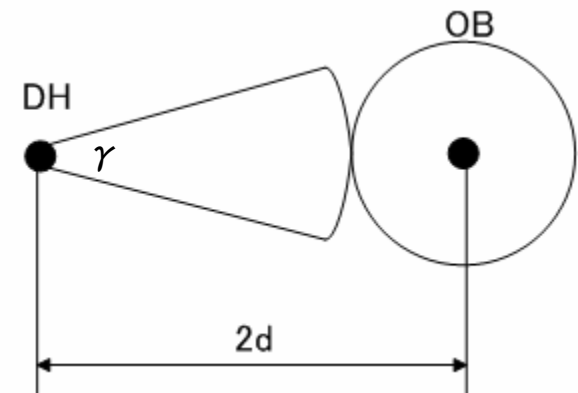
### 3. 指向性ビームフォーム2 (DM)

- ・ビーム角度  $\beta$
- ・利得  $G_m (> G_0)$
- ・同アンテナ対向により距離  $2d$  での通信が可能



### 4. 指向性ビームフォーム3 (DH)

- ・ビーム角度  $\gamma$
- ・利得  $G_h (> G_m)$
- ・利得  $G_0$  アンテナとの対向により距離  $2d$  での通信が可能





# アクセスモード

フレーム交換手順とフレーム送受信時のアンテナビームの組み合わせとしてアクセスモードを定義する

SWAMPは2種類のアクセスモードを併用

OC-mode

(Omni-deirectional area Communication access mode)

EC-mode

(Extend area Communication access mode)

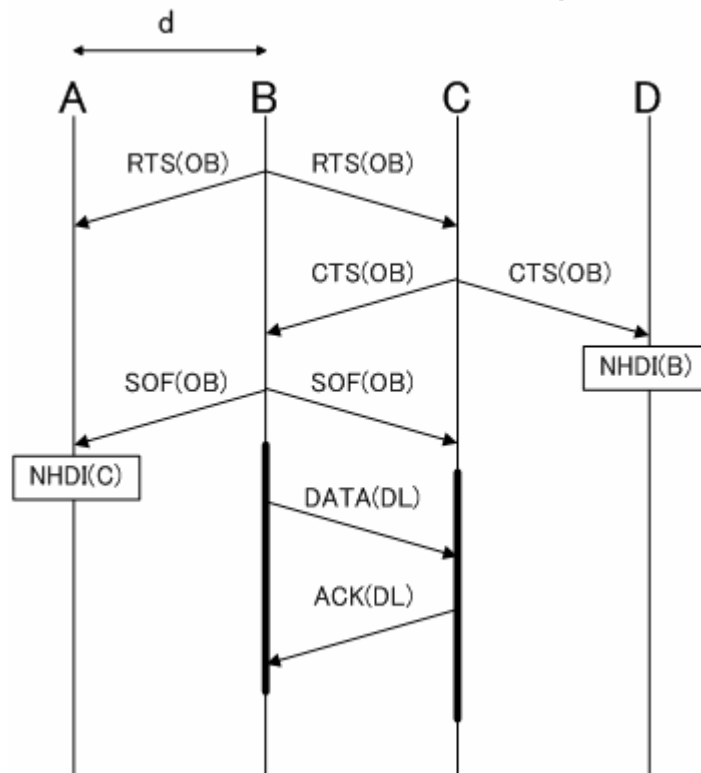
各モードはあて先ノードのNHDI登録有無に応じて選択

# OC-mode

- OC-modeはあて先ノードがNHDIテーブルへ登録されていないとき使用
- 無指向性の制御フレーム交換と指向性のデータフレーム交換から構成

1. RTSによりあて先ノードの探索を行なう
2. CTS/SOFにより近隣ノードへのNHDIの通知を行なう
3. DATA、ACKはオンデマンドに取得した方向情報に従い指向性ビームDLを使用

これにより近隣への不要な電波の送信と干渉波の受信を抑制

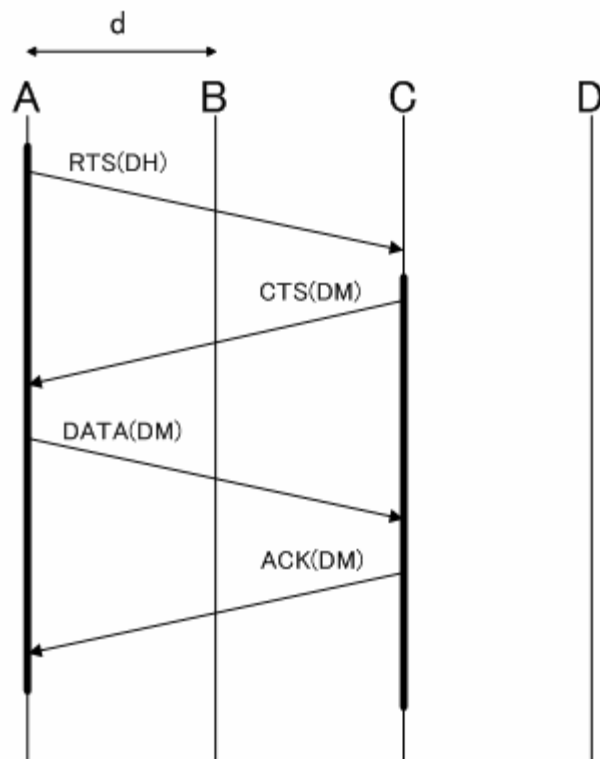


# EC-mode

- EC-modeはあて先ノードがNHDIテーブルへ登録されているとき使用
- NHDIに従って高利得指向性ビームを形成し、無指向性ビームでは直接通信不可能なあて先ノードと直接通信する方式

1. EC-mode通信を要求するRTSフレームはDHを使用
2. 送信元ノードはRTS送信後DMに切り替える
3. あて先ノードはRTS受信後DMに切り替える
4. その後CTS、DATA、ACKを交換

規定回数の再送でもCTSの返信が確認できないときはNHDIテーブルからあて先ノード情報を削除しOC-modeによる再送



# omni-NAV

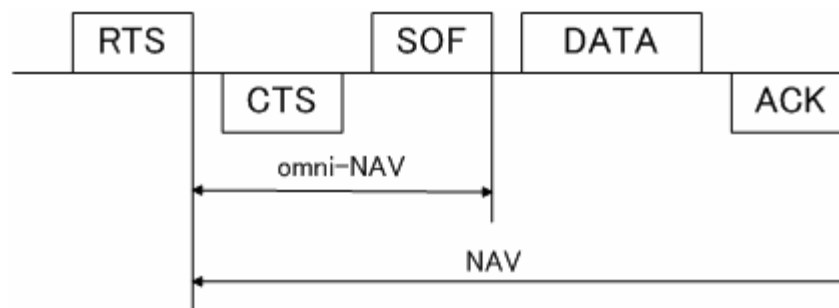
## ■ 従来のIEEE802.11DCFでは・・・

無指向性アンテナを前提としているため、近隣ノードはACK送信完了までの期間であるNAVを管理し、その期間チャンネルの使用を延期

しかし・・・

指向性ビームを用いた場合、主ビーム方向以外からの干渉が抑圧されるためにACK完了を待たずに自身の通信を開始することが可能

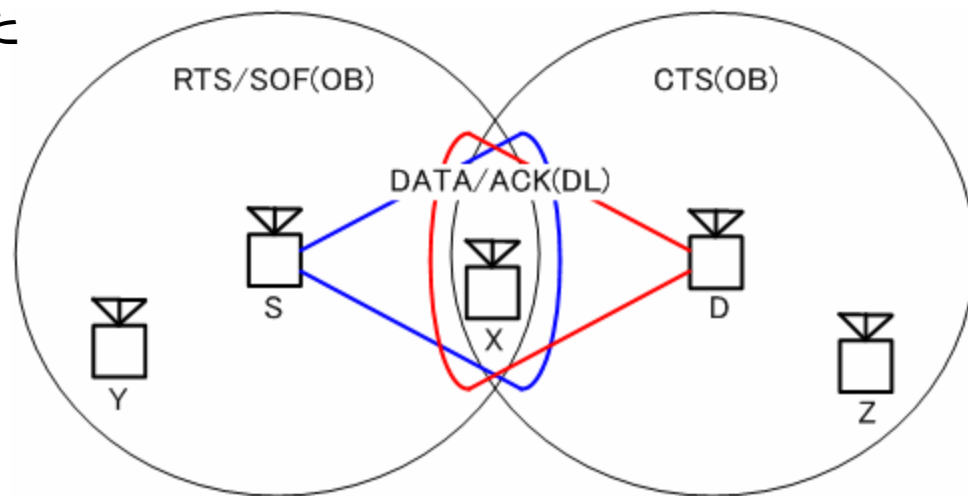
新たにOC-modeの無指向性  
アンテナ通信期間を示す  
omni-NAVを定義する



# omni-NAV

近隣ノードは、受信する制御フレーム種別と自身の起動するアクセスモードに応じて通信延期期間を切り替える

1. 通信ペアS、Dに対してRTSを受信したX、Yはomni-NAVの期間は通信延期
2. CTSを受信したZもomni-NAVの期間通信延期
3. RTS、CTSを受信したXは、CTS受信後にomni-NAVからNAVに切り替える

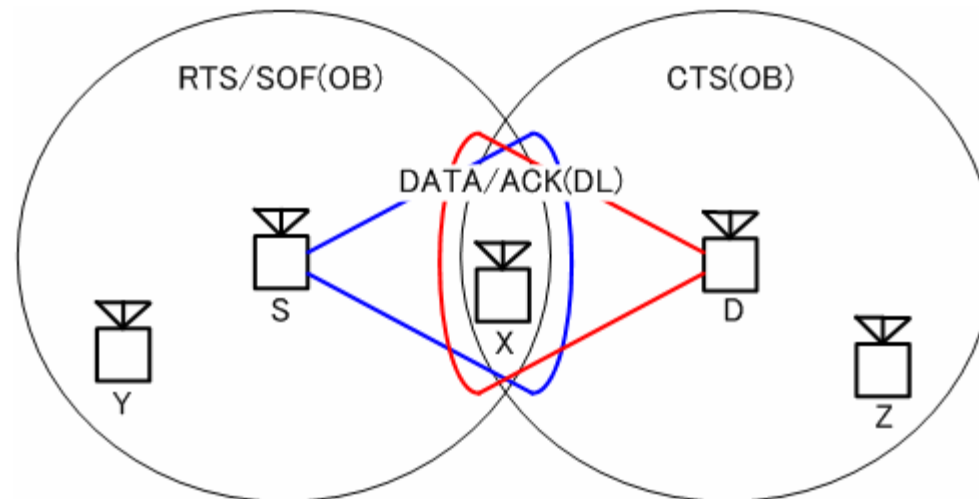


Y、Zは通信ペアS、Dが指向性ビームを形成し、データ通信を開始した後なら自身の通信を行ってもこれらの通信に干渉しない

# omni-NAV

## ■ ノードZがomni-NAV経過後にOC-modeを起動した場合

- ・SはZの無指向性ビーム外
- ・Dが形成する指向性ビームの主ビーム方向にZが位置しない
- ・S、D間の通信はZからの干渉を受けない



# omni-NAV

## ■ omni-NAVの結果

- ・従来よりも通信延期期間が短い
- ・空間利用効率を向上できる

## ■ EC-modeによる通信を起動する場合

高利得指向性ビームを使用するため、受信する制御フレームの種別によらずNAVの期間通信を延期する

# SWAMPの基本特性

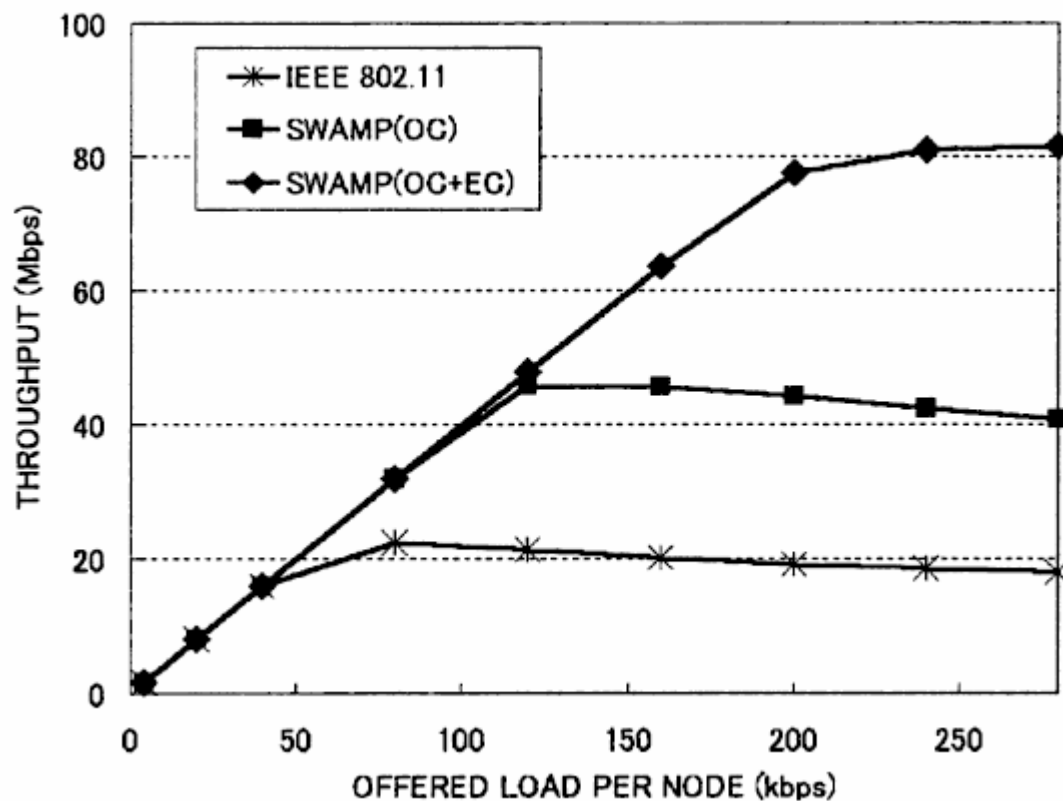
## ■ ネットワーク負荷に対するスループット特性の比較

・ネットワーク容量に注目し  
IEEE802.11DCFと比較

OC-modeのみ 200%

OC-mode+EC-mode 400%

性能改善！！





# 空間利用効率

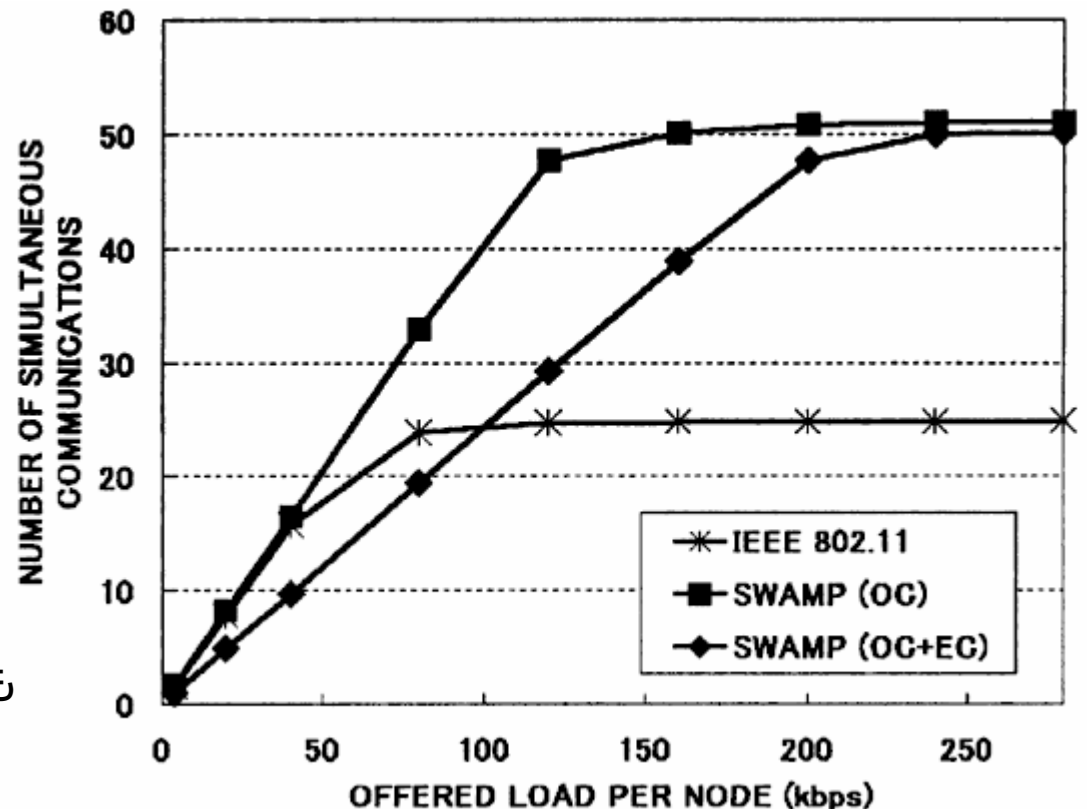
## ■ ネットワーク負荷に対する同時通信数の比較

### ・OC-mode

同時通信数が高く、空間上に多くの同時通信ペアが存在する空間利用効率が高い方式

### ・OC-mode + EC-mode

OC-mode単独よりメディア利用効率は低いが、EC-modeによる通信エリアの拡張が空間利用効率を犠牲にしながらもスループットを向上させる



# モビリティを考慮した性能評価

- ノードの移動を考慮したモデルを想定し、ネットワーク負荷を変化させた場合の各方式のスループット特性

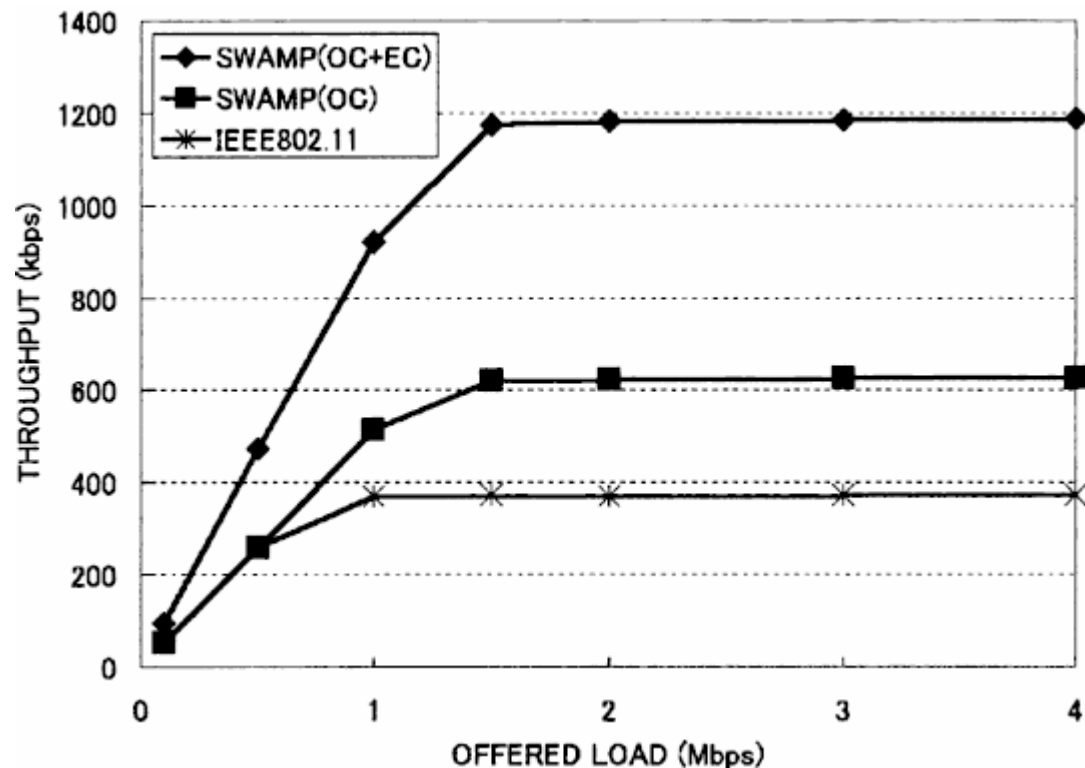
・IEEE802.11DCFと比較

OC-modeのみ 150%

OC-mode+EC-mode 300%

性能改善！！

基本性能評価同様の性能改善  
効果がモビリティを考慮した  
トポロジーにおいても確認

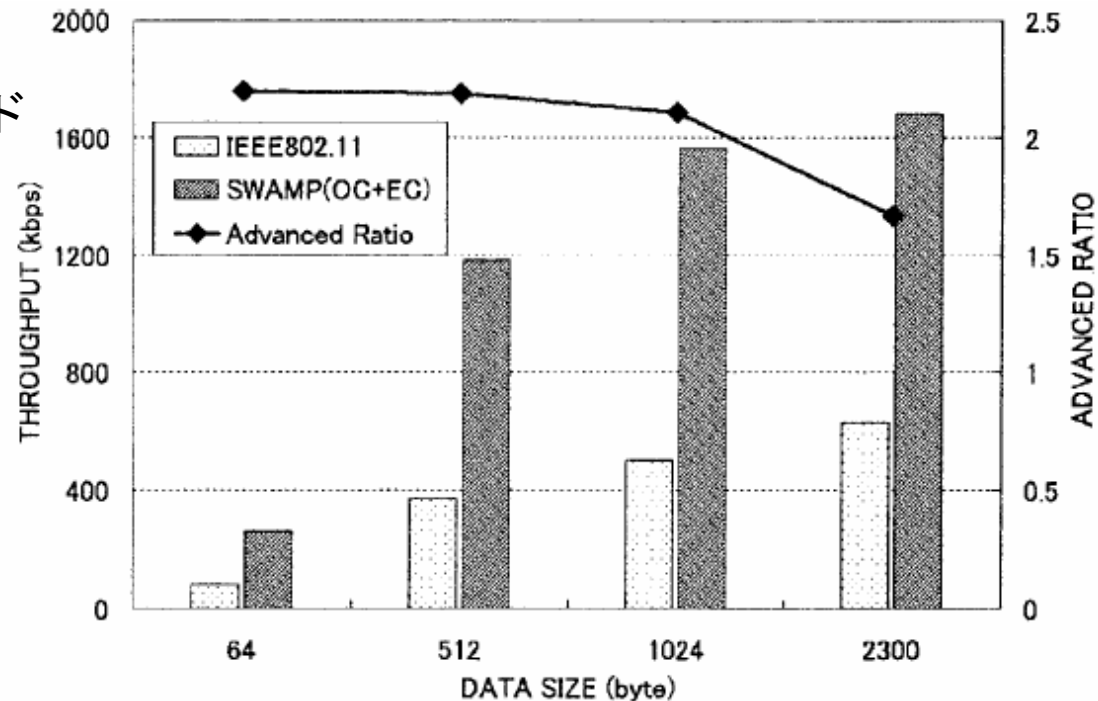


# オーバーヘッドによる影響

## ■ データサイズごとのIEEE802.11DCF、SWAMPのスループット及び、スループット性能比

- ・ SWAMPではRTS、CTSの拡張更にSOFの追加でオーバーヘッドが生じる
- ・ SWAMPとIEEE802.11DCFを比較した場合のスループットはいずれも150%以上の高い改善

提案方式により新たに生じたオーバーヘッドの影響は小さい



# むすび

## ■ まとめ

- ・本論文では、スマートアンテナと2種類のアクセスモードを併用することで空間利用効率を向上させ、かつ通信エリアを無指向性ビーム以上に拡張したモバイルアドホックネットワークMACプロトコルSWAMPを提案
- ・計算機シミュレーションにより、無指向性アンテナを使用したIEEE802.11DCFに比べ高い性能改善があることを確認

## ■ 今後の課題

- ・アンテナモデルやフェージング等の無線伝搬条件など、提案プロトコルの実環境への適用