

## 指向性アンテナを用いたオポチュニスティック型通信方式

加藤 泰大      萬代 雅希      渡辺 尚

静岡大学情報学部

### 1 まえがき

近年、アドホックネットワークに指向性アンテナを用いる MAC (Medium Access Control) プロトコルが注目されている [1]. 指向性アンテナは電子的にビーム制御可能なアンテナであり、無指向性アンテナと比較し通信距離延長や空間利用効率向上が期待できる。しかし、指向性 MAC プロトコルには無指向性アンテナを用いる際にはない deafness 問題が発生する。deafness 問題は、通信したい相手が通信不能であることを知らず通信を試みるために発生する。一方、オポチュニスティック通信は特定の端末との通信に固執せず、その時に通信可能な端末を利用する手法である。

本稿では deafness 問題の解決によるスループット向上を目的とし、オポチュニスティック型通信を適用した指向性 MAC プロトコル DOMAC (Directional Opportunistic MAC) を提案する。

### 2 関連研究

#### 2.1 deafness 問題

DMAC (Directional MAC) [2] に代表される指向性 MAC プロトコルでは一方向にビームを向けることを仮定している。そのため送信端末の送信ビーム範囲内にいない端末はこれから周囲の端末が通信開始するということを知ることが出来ない。結果として、通信中の端末との通信を確立しようと周囲の端末が無駄な RTS 再送を繰り返す deafness 問題が発生し無線資源を浪費する。

#### 2.2 オポチュニスティック型プロトコル

DSR や AODV などのルーティングプロトコルでは、送信元から宛先までのルート構築をする。ルート上において中継を担う端末はパケットを受信するとそのパケットを次の中継端末、または宛先端末に対し送信する。パケットの中継を繰り返すことで送信元から宛先までデータを送信する。しかし、中継端末が通信失敗を繰り返すとルートを再構築することになりスループットが低下してしまう。

[3] ではルートの構築を事前に行わずパケットをたまたま受信することができた端末が中継を繰り返すことで最終的に宛先までパケットを届ける ExOR が提案されている。ExOR では送信元端末は無指向性ブロードキャストし、そのパケットをたまたま受信した端末が再び無指向性ブロードキャストをする。この基本動作を繰り返すことでパケットを宛先まで転送し届ける。ExOR では通信可能な端末を積極的に利用することでパケットの到達率を向上しスループットが向上する。しかし、すべての端末が無指向性ブロードキャストを行うためネットワークのトラフィックが増大するという欠点がある。

### 3 提案方式 DOMAC

#### 3.1 概要

DOMAC は DMAC [2] を基本とし、特定の状況においてオポチュニスティック型の通信を利用する MAC プロトコルである。ある構築済みのルートにおいて宛先までパケットを転送中に deafness 問題や物理層レベルのデータ損失が発生したと仮定する。この場合、本来なら転送失敗によりデータは宛先まで届かないが、その通信をたまたまオーバーヒアしていた端末が代わりに転送を請け負う。これにより deafness 問題の発生を回避し無駄な RTS の送信やデータの損失を防ぐ。

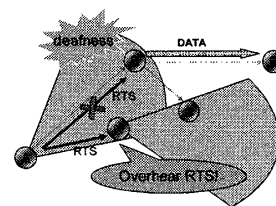


図 1: DOMAC の動作例

DOMAC の動作例を図 1 に示す。A → B → C のルートと、B → D のルートが構築済みであると仮定する。B が D と通信中に A が B に対してデータを送信しようと RTS を送信すると deafness 問題が発生する。DOMAC では A からの RTS をたまたまオーバーヒアした X が B の代わりに A に CTS を送信する。X は B の代わりにデータを受信後、次ホップ先である C に対してデータを代理送信することで deafness 問題の発生を抑えスループットの向上を図る。

An Opportunistic Protocol for Ad Hoc Networks Using Directional Antennas  
Yasuhiro Kato, Masaki Bandai and Takashi Watanabe  
Faculty of Informatics, Shizuoka University

### 3.2 動作詳細

送信元端末は RTS の送信後 CTS 受信待機状態に入る。何らかの要因により送信元端末に CTS が届かず CTS 受信待機時間をタイムアウトした場合、RTS を再送する。

図 2 に示すように RTS 送信範囲内に端末が複数いる場合、受信成功した全端末が即座に CTS を送信すると衝突が発生する。この問題を回避するため、CTS 待機時間を CTS 送信にかかる時間を 1 スロットとして  $N$  個に分割する。RTS をオーバーヒアした端末は最初のスロットを除いた  $N-1$  個のスロットの中からランダムに選択されたスロット時間まで待機した後 CTS を送信することで衝突確率を低減する。ただし、自端末宛ての RTS を受信した端末は必ず最初のスロットを選ぶことで本来のルートを保つ端末に優先度を与える。送信元端末は最初に受信した CTS を送信した端末に対してデータを送信する。

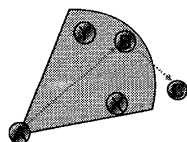


図 2: RTS 送信範囲内に複数端末がいた場合

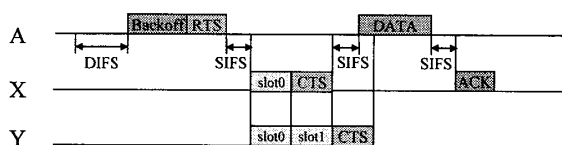


図 3: CTS 送信シーケンスチャート

図 2 の状況において  $N = 3$  とした場合のシーケンスチャートを図 3 に示す。A は本来の次ホップ先である B がビジーであることを知らずに通信を試み deafness 問題が発生する。この時その通信をオーバーヒアした X と Y は slot0 を除く slot をランダムに選択し CTS を送信する。A は X からの CTS を受信後 X へデータを送信し、X は A との通信を終了すると B に代わり次ホップ先端末 C へ代理通信を開始する。

代理送信を担う端末は本来のルートを知らないため次ホップ先の位置情報を知る必要がある。この情報は RTS ではなく DATA に付与する。これは DATA と違い RTS は再送の可能性があるため RTS に付与することでオーバーヘッドが増加する可能性があるためである。

### 4 基礎評価

シミュレーションを用いて deafness 問題が発生する環境におけるスループットを評価する。シミュレーション

環境を図 4 に示す。S1 → D1, S2 → D2 という 2 フローが構築済みである環境を想定し、評価は 10 回試行の平均値をとる。

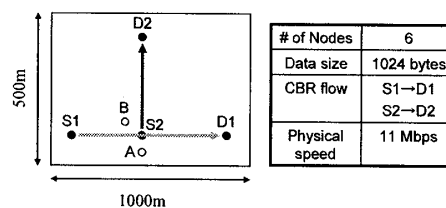


図 4: シミュレーション環境

DMAC と DOMAC のスループットを図 5 に示す。スループットは 2 フローの合計スループットとする。

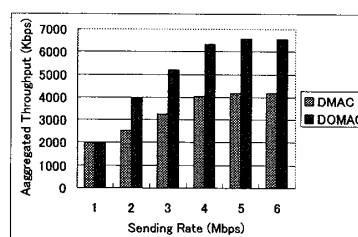


図 5: DOMAC と DMAC のスループット比較

DOMAC はデータ発生レートが増加するに従って DMAC と比較し性能が向上することがわかる。これは S1 から S2 への通信において DMAC では deafness 問題が発生するが、DOMAC では A, B が D1 へ代理送信することで deafness 問題を回避しているためである。基礎評価において DOMAC の deafness 問題発生回数は DMAC と比較し 20%以上低減されている。

### 5 むすび

本稿では deafness 問題の解決によりスループットを向上する DOMAC を提案した。シミュレーションにより DOMAC の有効性を示した。今後は、より一般的なトポロジでの性能評価を行い、提案方式の有効性を示す。

### 参考文献

- [1] O. Bazan and M. Jassemudin, "An Opportunistic Directional MAC Protocol for Multihop Wireless Networks with Switched Beam Directional Antennas," *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 2775–2779.
- [2] R. R. Choudhury, et al, "On designing MAC protocols for wireless networks using directional antennas," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.5, no.5, pp.477–491, 2002.
- [3] S. Biswas and R. Morris, "ExOR: Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks," *Proc. ACM SIGCOMM*, 2005, pp.133–144.