

アドホックネットワークにおける通信フローを考慮した指向性通信方式

大塚 強史[†] 山本 潮[‡]

群馬大学 大学院 理工学府^{†‡}

1 背景と目的

近年、アドホックネットワークに指向性アンテナを使用することが研究されている。指向性アンテナは特定の方向に電波を放射するため、周囲との干渉を減らすことができる。そのため、空間利用効率が良く、同時に通信を行える端末が増える。

これまでに、指向性アンテナに対応した MAC プロトコルやルーティングプロトコルに関して様々な方式が提案されてきた[1][2]。しかし、その中で指向性アンテナ特有の問題が発生することも分かってきた。本稿では、その問題の中で特に Deafness 問題について焦点を当て、中継ノードの指向性通信中にそのノードへの通信を抑制することで問題を軽減する。特に、通信抑制のためのコストを低減させるため、本稿では多方向からのフローの中継を抑えるように経路構築を行うことで通信性能を向上させる方式を提案する。

2 Deafness 問題

Deafness 問題とは、指向性ビームにより方向を指定することによって起こる問題である。方向を指定することによって同時に通信を行える端末数は増えるが、近隣ノードはそのノードが通信中であること知ることが出来ない。そのため、他ノードと通信中のノードに対して、通信が発生した時、通信終了をまたずに RTS を送ってしまい、再送をくり返す。これによって、誤った経路の切断による経路の再構築での通信遅延やパケット損失、再送による消費電力の増大が問題となっている。

Deafness 問題を軽減する手法として、近隣ノードに対して自身のデータフレーム送信前に制御フレームの指向性通信により近隣ノードの送信を抑制する方式がいくつか提案されている。その一つである DMAC/DA (Directional MAC/Deafness Avoidance) [3]では、次に自身にデータフレームを送信すると伝えてきた近隣ノードの方向に対して WTS (Wait To Send) という制御フレーム送信して近隣ノードの自身への送信を抑制する。しかし、これらの方式では一つのノードに多数の方向から送信されてくる複数

の通信フローが集中してしまうと通知の制御フレームの送信数が多くなり、性能が低下してしまう可能性がある。

3 提案方式

上記の問題に対処するために、本稿では多方向からの通信フローの中継を抑制するように経路構築を行うことで MAC での近隣ノードに対する送信抑制のための制御フレーム送信を低減させる方式を提案する。本稿では、各ノードは全方位の放射または特定方向のみに一定角度の範囲（本稿のシミュレーションでは 6 方向に 60 度）での放射を切り替え可能な指向性アンテナを装備していると仮定する。また、ルーティングプロトコルは AODV のようなリアクティブ型を想定し、経路構築時には送信元ノードが宛先ノードに対する経路発見要求 (RREQ) パケットをフラッディングし、宛先ノードは RREQ パケット受信後に経路発見応答 (RREP) パケットを送信元ノードに返送するものとする。また、MAC プロトコルは DMAC/DA のように自身へのフレーム送信を行う可能性がある近隣ノードの方向に対して送信抑制のための制御フレームを送信する方式を採用する。

提案方式では、各ノードは通信フローの情報を管理する。この通信フローの情報は、<送信元ノード, 宛先ノード, 自身から 1 ホップ前ノード, 1 ホップ後のノード, 更新時刻>として保持される。通信フロー情報は経路構築時に通信フローテーブルに保存され、データパケットを受信することでその通信フローの更新時刻を更新する。

この通信フロー情報を用いて、送信元ノードから宛先ノードまでの経路構築を行う。ここで、RREQ パケットにはコスト情報を含めるとする。あるノード n_i がノード n_{i-1} から RREQ パケットを受信したとき、自身が宛先ノードでなければそれに含まれるコスト c_{i-1} を用いて以下のようにコスト c_i を求める。

$$c_i = c_{i-1} + \alpha \times f_i + 1$$

ここで、 f_i はノード n_i が通信フローテーブルに保持する更新時刻が現在より一定時間内の通信フローにおける 1 ホップ前のノードの方向の数である。例えば、図 1 の左の場合は、保持する通信フロー数が 3 つあり、1 ホップ前のノードが別方向にあるため、3 とカウントする。右の場合は、保持する通信フローが 3 つあるが、1 ホップ前のノードが全て同じ方向にあるため、1 とカウントする。最後に 1 を加え

Communication method considering data flows in ad-hoc networks with directional antenna

[†]Tsuyoshi Otsuka · Gunma University

[‡]Ushio Yamamoto · Gunma University

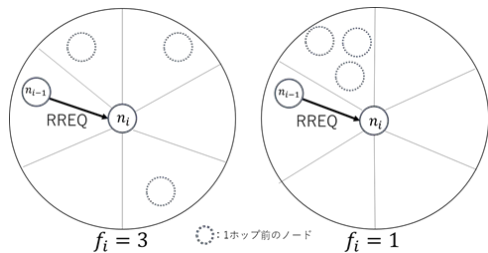


図1：ノード n_i における通信フロー数 f_i

ているのはホップ数を意味する。 α はウェイト係数である。本稿では、ホップ数よりも通信フロー数を重視するため、2にしている。

以下に提案方式における送信元ノード S から宛先ノード D への経路構築の手順を示す。

- (1) ノード S は宛先ノードを D とし、コストを 0 とし RREQ パケットをブロードキャストする。
- (2) RREQ パケットを受信したノード n_i は、自身が宛先ノードでなければ RREQ パケットに含まれているコスト c_{i-1} と自身の通信フローテーブルの情報を用いてコスト c_i を計算し、RREQ パケットのコストを書き換える。初めて RREQ パケットを受信した場合は一定時間待機してから RREQ パケットをブロードキャストする。すでに同一 ID の RREQ パケットを受信してかつまだブロードキャストしていない場合は、コストを比較して小さい方の情報を残す。
- (3) RREQ パケットを受信した宛先ノード D は、一定時間待機後に RREP パケットをノード S に返送する。すでに同一 ID の RREQ パケットを受信してかつまだ返送していない場合は、コストを比較して小さい方の情報を残す。
- (4) RREP パケットを受信したノードは、自身が中継ノードになるため、この通信フローの情報を通信フローテーブルに保存する。

4 評価

提案方式の有効性をシミュレーションによって評価する。シミュレーション環境を表1に示す。ノードはエリアサイズ内にランダムに配置する。

シミュレータ	NS3
エリアサイズ	2000m×2000m
ノード数	100
フロー数	2~10
リンク速度	2Mbps
データレート	200kbps
データサイズ	500byte
シミュレーション時間	100sec

表1:シミュレーション環境

乱数を変化させ各 100 回のシミュレーション評価を行い、その結果の平均をとった値を評価の結果とする。測定は、DMAC/DA と提案方式について行った。ルーティングプロトコルは AODV を使

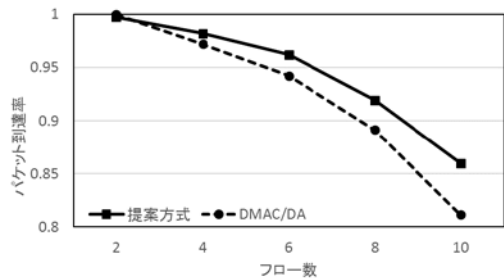


図2: パケット到達率

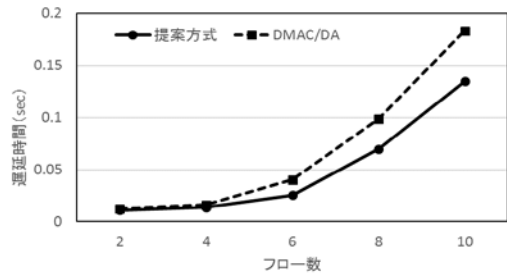


図3: 遅延時間

用した。フロー数を2~10と変化させ、それぞれのパケット到達率と遅延時間を比較した。パケット到達率の結果を図2に遅延時間の結果を図3にそれぞれ示す。

図2, 3よりフロー数が大きい時、提案方式がDMAC/DAよりもパケット到達率、遅延時間ともに上回っていることがわかる。経路構築によって通信抑制のための制御パケット数を減らすことで、通信性能が向上したと考えられる。フローの集中が起こりやすい多通信フローの場合では提案方式は有効であると言える。

5 まとめと今後の課題

指向性アンテナ特有の問題の多くはMACプロトコルの問題であるが、MACプロトコルからのアプローチだけではなくルーティングプロトコルも考えることで、さらなる性能の向上が期待できる。今後の課題として、経路を構築する際のコストの再検討や、様々な環境での指向性アンテナ特有の問題の発生メカニズムを研究し、それらを踏まえた経路の構築方式の検討などの研究を進め、性能の向上を目指す。

参考文献

- [1] R. R. Choudhury, S. Yang, R. Ramanathan and N. H. Vaidya "Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks," Proc. ACM Mobile Computing and Networking, pp.59-70, Sept.2002.
- [2] R. R. Choudhury and N. H. Vaidya, "Impact of Directional Antennas on Ad Hoc Routing," Proc. IEEE Personal Wireless Communication, pp.590-600, Sept.2003.
- [3] Masanori Takata, Masaki Bandai and Takashi Watanabe "A MAC Protocol with Directional Antennas for Deafness Avoidance in Ad Hoc Networks," Proc. Of IEEE GLOBECOM'07, pp.620-625, 2007