

MANETにおけるバッテリー消費に関する公平性の改善

バッテリー指向型ルーティングと指向性MACの効果

佐伯 春彦[†] 太田 能[†] 森井 昌克[†]

[†] 徳島大学工学部

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1

E-mail: †{haruhiko,ohta,morii}@is.tokushima-u.ac.jp

あらまし MANET では、RFC2501 で記述されているようにノードがバッテリーで駆動される場合が想定されている。この場合、特定ノードに中継が集中すると、バッテリーが不公平に消費される可能性がある。この問題に対し、C. -K. Toh らは、バッテリー指向型ルーティングを検討している。しかし、C. -K. Toh らの実験では、データ受信時のバッテリー消費特性が十分に考慮されていなかった。そこで我々は、受信時のバッテリー消費特性を考慮したシミュレーションをおこない、バッテリー指向型ルーティングの有効性を検証した。これにより、オムニアンテナではバッテリー指向型ルーティングの効果は小さいことを明らかにした。また、指向性アンテナを用いた指向性 MAC を用いることで、バッテリー指向型ルーティングを効果的に機能させることができることを明らかにした。

キーワード MANET, バッテリー指向型ルーティング, 指向性アンテナ, 公平性

Improvement on Power Consumption in MANET

Effect of Battery-aware Routing and Directional MAC

Haruhiko SAIKI[†], Chikara OHTA[†], and Masakatu MORII[†]

[†] Faculty of Engineering, University of Tokushima

Minamijosanjima-cho 2-1, Tokushima, 770-8506 Japan

E-mail: †{haruhiko,ohta,morii}@is.tokushima-u.ac.jp

Abstract As described in RFC2501, nodes are possibly operated by battery in MANET. In this case, if transmission relay is concentrated for a certain node, the node consumes battery unfairly. For this problem, C. -K. Toh et al. considered battery-aware routings. The simulation experiment by C. -K. Toh et al., however, did not take account of power consumption to receive packets. In this study, we investigated effectiveness of power-aware routing by more realistic simulation where we consider power consumption to receive packets. As results, we revealed that power-aware routing can not be very effective in combination with omni-antenna. Further, we clarified that battery-aware routing is effective in combination with directional MAC using directional-antenna.

Key words MANET, battery aware routing, directional antenna, fairness

1. ま え が き

モバイルアドホックネットワーク (MANET: Mobile Ad-hoc Network) は、無線インタフェースとルーティング機能をもつ複数の自律分散型ノードからなるネットワークであり、現在、IETF MANET WG [1] で活発に議論されている。MANET のアプリケーションとしては、センサーネットワークや災害時の緊急ネットワークが考えられている。

RFC2501 [2] では、MANET の評価項目や問題点が示され

ている。なかでも、全てまたは一部のノードはバッテリーにより駆動される可能性があること、その場合、バッテリー駆動時間が MANET の重要な設計指標になることが指摘されている。

バッテリー制約に関してはこれまで、バッテリー消費そのものを削減する試みや、ノード間での不公平なバッテリー消費を改善するといった試みがなされている。前者のバッテリー消費を削減する試みとしては、MAC 層においてスリープモードを導入する方法 [4] がある。後者のノード間での不公平なバッテリー消費は、中継負荷が集中した特定ノードのバッテリーがはやく消耗すると

といった問題である。本稿では、以後この問題をバッテリー消費不公平問題とよぶ。バッテリー消費不公平問題に対する試みとしては、メトリックにバッテリー消耗情報を考慮することでバッテリー残余の少ないノードへの中継負荷を避けるバッテリー指向型ルーティング方式がある。文献[3]で C.-K. Toh らは、バッテリー指向型ルーティングによりバッテリー消費の公平性が改善されることをシミュレーション実験により示している。

しかしながら、C.-K. Toh らのシミュレーション実験は、無線機の電力消費特性のモデル化が不十分である。文献[6]では、IEEE 802.11 DCF 無線機の電力消費測定実験の結果が示されている。ここでは、送信電力が 1.65W、受信電力が 1.4W であることが示されており、現時点では、データ受信による電力消費は無視できない値である。C.-K. Toh らのシミュレーション実験では、データ送信における電力消費のみが考慮されており、データ受信における電力消費は考慮されていない。MANET では、ノードは受信データが自ノード宛かどうかは復号しなければ判断できない。そこでアンテナからの受信信号が一定値を越えると復号を試みる。このため、パケット送信ノードのコミュニケーションエリアにあるノードは、たとえ自ノード宛でなくとも復号を試み、バッテリーを消費する。従って、データ受信における電力消費の影響を無視できないと我々は考える。

そこで本研究では、受信電力も考慮したシミュレーションをおこない、バッテリー指向型ルーティングの有効性を検証した。その結果、バッテリー指向型ルーティングは有効とはいえないことが明らかになった。この実験ではオムニアンテナを用いた。この場合、バッテリー指向型ルーティングによりバッテリー残量が少ないノードを迂回しても、バッテリー残量の少ないノードが近傍のノードが他ノードに送信したデータを受信すると、電力を消費する。これがバッテリー指向型ルーティングが必ずしも有効ではない理由である。

上記の問題は、不必要な受信によりバッテリーが消費することが原因である。不必要な受信を減少させる方法としては、指向性アンテナの使用[7]、送信電力制御[8]がある。しかし送信電力制御は、その制御によりトポロジが変化するため、経路制御情報のオーバーヘッドが大きくなる可能性がある。

そこで本研究では、指向性アンテナとバッテリー指向型ルーティングを併用しバッテリー消費不公平問題を改善することを試みた。現在の IEEE 802.11 はオムニアンテナベースで設計されているため、指向性アンテナの特性を十分に発揮できない。本研究では、適応アンテナのために提案された DVCS (Directional Virtual Carrier Sensing) [9] を指向性アンテナに適応した MAC 方式を用いて評価実験を行った。その結果、バッテリー指向型ルーティングによりバッテリー消費不公平問題を改善できることが明らかになった。

以下、2. では、本研究で対象としたバッテリー指向型ルーティングの概要をのべる。3. では、指向性アンテナベースの MAC である指向性 MAC について説明する。4. では、シミュレーションによる性能評価結果を示す。5. では、まとめと今後の課題を述べる。

2. バッテリー指向型ルーティング

文献[3]によると、バッテリー指向型ルーティングの目的は、

- 各ノードのパワー消費率を等しく分散させること
- 各接続要求に対して総送信電力を最小化すること

であると述べられている。これらの一方あるいは両方を達成するものとして、文献[3]では、MTPR (Minimum Total Transmission Power Routing)、MBCR (Minimum Battery Cost Routing)、MMBCR (Min-Max Battery Cost Routing)、CMMBCR (Conditional Max-Min Battery Capacity Routing) が示されている。この中で MMBCR は、常にバッテリー残量が最小のノードを避けたパスを選択する。これにより、特定ノードへの中継集中が無くなりバッテリー消費不平等問題が改善できると考える。以上の理由から、本稿ではバッテリー指向ルーティングとして MMBCR を選択した。次に MMBCR について説明する。

2.1 MMBCR

MMBCR は、パス上のノードの最小バッテリー残量が最も大きいパスを選択するルーティングである。パス発見手順を以下に示す。

はじめに、各ノード n_j はバッテリーコスト R_j を次式によって計算する。

$$R_j = \max_{i \in \text{route}_j} f_i(C_i^t) \quad (1)$$

ここで C_i^t は時間 t におけるノード n_i のバッテリーキャパシティであり、 $f_i()$ はノード n_i のバッテリーコスト関数である。バッテリーコスト関数を変更することで、バッテリーキャパシティがパス選択に及ぼす影響を変更することができる。本稿では、デフォルトである $f_i(C_i^t) = 1/C_i^t$ を用いた。

次に、各ノード n_j は隣接ノード $n_i \in R_j$ を送信する。各ノード n_i は、受信した R_j の最小値を R_i として決定する。以上の操作を目的局に達するまで繰り返す。

2.2 本稿における変更点

文献[3]で示された各ルーティング方式は、テーブル駆動型をベースに設計されている。テーブル駆動型では、パス発見に分散 Bellman-Ford アルゴリズムを用いる。これは隣接ノード間でルート情報を持つテーブルを交換し合うことで、ネットワーク全体のルート情報を各ノードが保持する方式である。このため、大規模ネットワークになると、交換するテーブルが大きくなるため、オーバーヘッドが大きく、パス発見に要するバッテリー消費量が増加する。

そこで本稿では、オンデマンド型ルーティングベースに変更した。オンデマンド型ルーティングは、パス発見必要時に、送信局が Request メッセージを送り、目的局が Reply メッセージを送り返すことでパスを発見する方式である。そのため、経路情報の送信量が少なく、バッテリー消費量を削減できると考える。

IETF MANET WG では、AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) や DSR (Dynamic Source Routing) 等のオンデマンド型ルーティングが検討されている。本稿では、制御オーバーヘッドが特に小さく、マルチキャスト通信に対応し

ている AODV に MMBCR を実装しシミュレーションをおこなった。

2.3 バッテリ指向型ルーティングの問題点

オンデマンド型ルーティングでは、ルートが必要になった時、パス発見をおこなう。具体的には、送信局が Request メッセージをブロードキャストし、受信した中継局がまた Request メッセージをブロードキャストすることで受信局までのパスを発見する。ブロードキャストパケットの送信回数は 1 回であり、衝突などでパケットロスが発生しても、再送されない。そのため、バッテリ指向型ルーティングを用いても、望ましいパスが選択されないことがある。

これを図 1 で説明する。ノード A を送信局、ノード I を受信局とし、ノード H のバッテリ残量はノード F よりも少ないものとする。ノード I へ到達するには、ノード F か H を経由しなくてはならないが、バッテリ指向型ルーティングでは、バッテリ残量の多い、ノード F を経由するパスを選択したい。しかし、ノード E の送信した Request メッセージと、ノード C の送信した Request メッセージがノード F で衝突すると、ノード F から I への Request メッセージは送信されず、バッテリ残量の多いノード F がパスに選択されることはない。結果、バッテリ残量の少ないノード H を経由するパスが選択される。

上記のように、バッテリ指向型ルーティングを用いた場合でも、バッテリ残量の少ないノードがパスに選ばれないとは限らない。よってバッテリ指向型ルーティングの性能を十分に発揮するには、ネットワーク全体のバッテリ情報を反映するために、Request メッセージを損失しないフラッディング方式が必要である。ただし、ブロードキャストする Request メッセージはサイズが小さく、衝突する確率は小さい。

3. 指向性 MAC

本章では、指向性アンテナの利用を前提とした MAC である指向性 MAC について説明する。まず既存の IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function) [10] について述べ、次に文献 [7] で提案された D-MAC について述べる。最後に、D-MAC の問題点及びその解決方法を述べる。

3.1 IEEE 802.11 DCF の概要

IEEE 802.11 DCF は、自律分散型制御方式であり、隠れ端末問題 [11] への対策として RTS/CTS (Request To Send/Clear

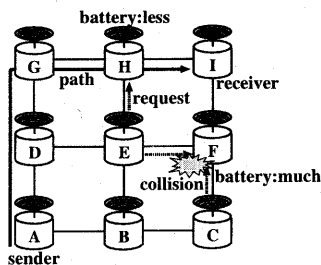


図 1 バッテリ指向型ルーティングの問題点

To Send) 交換メカニズムを利用することができる。そのため、MANET の性能評価の際や、ルーティング方式を実装する際の MAC として広く用いられている。次に、RTS/CTS 交換について説明する。

IEEE 802.11 DCF では、隠れ端末問題を回避するため、DATA フレーム送信前に RTS/CTS フレームを交換し、チャンネル予約をおこなう。RTS フレーム、CTS フレームには、送信局が受信局からの ACK フレームを受信するまで他局が送信を延期すべき時間が記入されている。RTS フレーム、CTS フレームを受信した局は、この間チャンネルがビジーであると判断する。この時間は NAV (Network Allocation Vector) で管理される。NAV は一定速度で経過時間だけ 0 まで減少するカウンタである。NAV 値が非零ならばチャンネルをビジーと判断し、零ならばアイドルと判断する。次に、RTS/CTS 交換の手順について説明する。

送信局は受信局に RTS フレームを送信し、チャンネル予約を試みる。受信局は、RTS フレームを正しく受信すると、送信局に CTS フレームを送信する。送信局は、CTS フレームを正しく受信すると、DATA フレームを送信する。受信局は、DATA フレームを正しく受信すると ACK フレームを送信する。RTS フレームあるいは CTS フレームを受信した他局は、フレームに記述された延期時間が現在の NAV 値よりも大きければ、NAV 値を更新する。この RTS/CTS 交換により、DATA/ACK 交換間のフレーム送信を抑制する。

3.2 D-MAC

IEEE 802.DCF はオムニアンテナの使用を想定しているため、指向性アンテナの性能を十分に発揮することができない。本節では、文献 [7] で提案された指向性アンテナベースの MAC プロトコルである、D-MAC 方式 1、方式 2 を説明し、その問題点を述べる。

D-MAC 方式 1 では、RTS フレームは指向性アンテナを使い特定方向にのみ送信し、CTS フレームは全方向に送信する。以下に通信の流れを示す。送信局は、受信局向きのアンテナを使い、DRTS (Directional Request To Send) フレームを送信する。受信局は、DRTS フレームを正しく受信すると、全方向に OCTS (Omnidirectional Clear To Send) フレームを送信する。ただし、1 つでも使用不可能なアンテナが存在する場合は、使用可能になるまで待機する。送信局は、OCTS フレームを正しく受信すると、受信局向きのアンテナのみを使い、DATA フレームを送信する。受信局は、DATA フレームを正しく受信すると、送信局向きのアンテナのみを使い、ACK パケットを送信する。

方式 1 の利点は、オムニアンテナベースでは実現できない同時伝送を実現できる可能性が高いことである。また欠点は制御パケット衝突確率が高いことである。同時伝送が実現できることから、コネクション数が多く、複雑なトポロジーで有効である。

D-MAC 方式 2 では、ORTS と DRTS を使い分ける。全て指向性アンテナが使用可能ならば、全方向に ORTS (Omnidirectional Request To Send) フレームを送信し、1

つでも使用不可能な指向性アンテナが存在すれば、DRTS フレームを送信する。

方式 2 の利点は、制御パケット衝突確率が低いことである。また欠点は同時伝送の可能性が方式 1 に比べ低いことである。同時転送をさほど期待しなくともよい、コネクション数が少なく、単純なトポロジで有効である。

D-MAC には、ACK フレームが衝突する問題点がある。方式 1, 2 とも RTS フレームを指向性で送信する場合があるため、送信局近傍の全ノードのパケット送信を抑制することができない。そのため、受信局からの OCTS フレームあるいは ACK フレームと送信局への他ノードからのパケットが衝突する可能性がある。既存の IEEE 802.11 では、ACK 受信完了時までチャンネル予約が行われるため、ACK は衝突しない。

また、方式 1, 2 とも CTS を無指向性で送信するため、必要以上にノードの送信を抑制し、同時伝送率が低くなる。これを図 2 を例に説明する。ノード A から B へ送信が開始されると、ノード C の B 方向の指向性アンテナは使用不可になる。この時、ノード D から C へ RTS が送信されても、C は CTS をリプライすることはできない。よって、ノード C, D 間の通信は行えない。しかし、指向性アンテナを使用して通信するならば、ノード C, D の通信はノード A, B の通信に衝突することはない。

3.3 D-MAC の改善

文献 [9] では、適応アンテナを想定した DVCS が提案されている。DVCS では、複数の NAV を設定し、角度毎に送受信を行うことで、高いスループットを実現している。本稿では、D-MAC の問題点を解決し、より高い同時伝送率を達成するために、DVCS を指向性アンテナに適用した。RTS, CTS フレーム送信はマルチキャスト化し、各指向性アンテナの電源制御をおこなっている。ここではまず、D-MAC 方式の問題点を解決する方法について説明し、次に通信の手順について説明する。

通信中の制御パケット衝突を回避するために、送受信局は、送受信中使用していない指向性アンテナを OFF にする。実際には、通信時間中は送受信方向以外の指向性アンテナからの電波を合成しない。これにより、通信時間中に他方向からパケットを受信しても、実際に復号されたデータには影響が無く、パケット衝突は発生しない。

同時伝送率を向上させるために、RTS と CTS をマルチキャストで送信する。RTS をマルチキャスト化することで、できるだけ多くの隣接ノードに通信を検知させる。これにより、隣接ノードが無駄な RTS の再送を繰り返し、リンク誤切断することを防ぐことができる。

CTS をマルチキャスト化することで、使用不可能な指向性

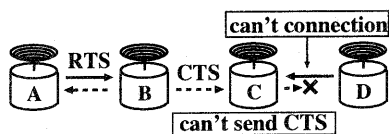


図 2 D-MAC 方式の問題点

アンテナがあっても通信をおこなえるようになり、より同時伝送が可能になる。CTS が送信されなかった方向からパケットが送られてきたとしても、上で述べたように送受信方向以外のアンテナは OFF になっているため、パケット衝突は起こらない。

次に通信の手順について説明する。送信局は、送信可能な指向性アンテナを全て使い、MRTS (Multicast Request To Send) フレームを送信する。受信局は、MRTS フレームを正しく受信すると、使用可能な指向性アンテナを全て使い、MCTS (Multicast Clear To Send) フレームを送信する。MCTS フレーム送信後、送信局向きでない全ての指向性アンテナの電源を OFF にする。送信局は、MCTS フレームを正しく受信すると、受信局向きの指向性アンテナのみを使い、DATA フレームを送信する。同時に、受信局向きでない全ての指向性アンテナの電源を OFF にする。受信局は、DATA フレームを正しく受信すると、送信局向きの指向性アンテナのみを使い、ACK フレームを送信する。ACK フレーム送信後、OFF にしていた指向性アンテナ全ての電源を ON にする。また、MRTS, MCTS フレームを受信したその他の局は、フレームに記述された延期時間、受信した指向性アンテナの電源を OFF にする。

上記のような指向性アンテナの電源制御をおこなうことにより、データは受信局方向へのみ送られる。また、使用する指向性アンテナの伝送範囲にある他のノードは、アンテナ電源が OFF になっているのでデータを受信しない。このように、受信局以外はデータの受信をしなくなるため、選択したパス上の近傍ノードが不必要なデータ受信により、バッテリーを消費することはない。よって、バッテリー指向型ルーティングが有効になり公平性が改善されると考える。また、1 回の通信に要する総消費電力が削減されることから、ネットワーク全体のライフタイムが向上すると考える。

4. 性能評価

オムニアンテナ使用でのバッテリー指向型ルーティングの検証、指向性アンテナ使用でのバッテリー指向型ルーティングの有効性を確認するためにシミュレーションをおこなった。使用したシミュレータは NS-2 [12] である。シミュレーション条件はできるだけ文献 [7] と同一になるようにした。改良 D-MAC 方式は NS-2 の IEEE 802.11 モジュール、指向性アンテナは Wireless-phy モジュールを変更して実装した。

本稿では、バッテリー指向型ルーティングにおいて指向性アンテナを使用することによりバッテリー消費不平等問題が改善されることを確認するために、ノードが全バッテリーを消費し尽くすまでの時間であるライフタイムを比較した。

4.1 シミュレーション条件

ノードは、図 3 のように、5 × 5 の格子状に配置し、ノードの間隔は 200 m とした。本稿のシミュレーションでは、ノードの移動については考慮しない。無線通信範囲は NS-2 のデフォルトである 250 m とした。ノードには 90 度の範囲で送受信できる指向性アンテナを 4 機搭載し、全方向をカバーした。また、それぞれの指向性アンテナの通信範囲には、図 3 のように隣接する 1 つのノードのみが存在すると仮定した (サイドローブは

無視した)。消費電力は、文献 [6] で示された値を適用し、送信消費電力 1.65 w、受信消費電力 1.4 w とした。ノードの初期バッテリー容量は 1,000 J とした。TCP セグメントサイズは 1,460 byte とした。TCP には Reno を用いた。ルーティング方式には AODV 及び、バッテリー指向型 AODV を用いた。シミュレーション時間 10,000s とし、乱数系列を変更しながら、50 試行おこない、各試行で測定されたライフタイムの平均値を求めた。

各ノードは、平均 30s の指数分布に従い、FTP によるデータ転送をおこなう。送信先のノードは、全 25 ノードの中からランダムで設定する。送信時間は、平均 5s とする。本稿の設定は、センサーネットワークでの使用を考慮し、常に大容量のデータを送信するのではなく、小容量のデータを定期的に送信する場合を仮定した。

4.2 実験結果

バッテリー指向型ルーティングとデフォルトルーティングを比較を、オムニアンテナと指向性アンテナを用いたそれぞれの場合についておこなう。

図 4 に、各ノードのライフタイムの変化を示す。ただし、ノードの半分以上がバッテリーを消費し尽し通信できなくなると、送信先のノードが受信できない確率、及び送信先までの経路が確保できない確率が高くなり、正常に通信できない。これにより、タイムアウトを待つことが多くなり、ライフタイムが長くなる。そこで今回は、13 ノードまでのライフタイムについて示す。

4.2.1 オムニアンテナ使用時の比較

まず、オムニアンテナを使用した場合の結果について述べる。バッテリー指向型ルーティングを用いた場合、全体的にライフタイムが増加していることがわかる。しかし、ライフタイムの変化は、デフォルトルーティングの場合とほぼ同様で、公平性の改善はされていない。また、1 番目のノードのライフタイムを比較すると、デフォルトルーティング使用時は 866.3s。バッテリー指向型ルーティング使用時は 958.0s と差が小さく、バッテリー消費不平等問題は解決されていない。

これは、送信パスの隣接ノードがデータを受信することと、

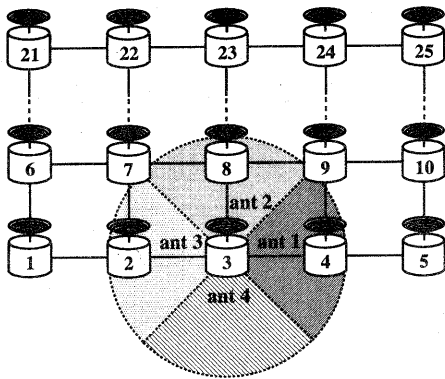


図 3 ノード配置

受信消費電力が多いことが原因である。そのため、中央付近に位置するノードは、送信パスに選ばれなかったとしても、データを受信しバッテリーを消費する。これを、図 5 を例に説明する。ノード 1 を送信局、ノード 11 を受信局とし、ノード 7 のバッテリー残量が他ノードに比べ少ないとする。バッテリー指向型ルーティングを用いると、ノード 7 は送信パスに含まれないので、送信パスは、ノード 1, 6, 10, 11 となる。しかし、ノード 7 は、ノード 6 と ノード 11 の伝搬範囲に入っているため、ノード 6 が中継したデータパケットと ACK パケット、及びノード 11 がリプライした ACK パケットを受信することになる。同様に、送信パスに選択されなかった、ノード 2 も、ノード 1 の送信するデータパケットを受信する。このように、送信パスに選ばれなかったとしても、不必要にバッテリーを消費する。

以上のように、オムニアンテナを使用する場合、バッテリー指向型ルーティングでは公平性を実現できず、有効性を確認できなかった。

4.2.2 指向性アンテナ使用時の比較

次に、指向性アンテナを使用した場合の結果について述べる。バッテリー指向型ルーティングを用いた場合、全体的にライフタイムが増加していることがわかる。オムニアンテナ使用時とは異なり、バッテリー指向型ルーティングでは、1 番目のノードから、10 番目のノードのライフタイムがほぼ同等になった。また、1 番目のノードのライフタイムを比較すると、デフォルトルーティング使用時は 2049.2s。バッテリー指向型ルーティング使用時は 2541.9s と約 500s の差があった。

これは次のように説明できる。先に述べたように、オムニアンテナを使用した場合は、バッテリー残量の少ないノードを避け

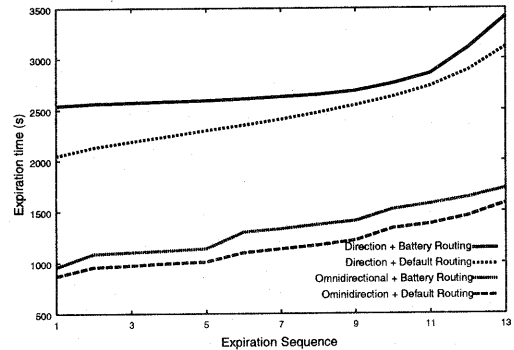


図 4 ノードのライフタイム

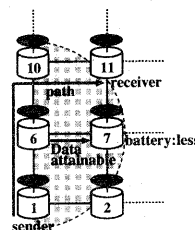


図 5 オムニアンテナ

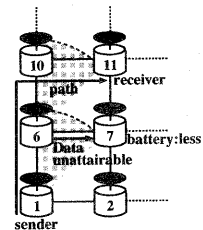


図 6 指向性アンテナ

て送信パスを設定しても、データ受信によりバッテリーを消費する。しかし、データを指向性アンテナで送信することにより、バッテリー残量の少ないノードは、データを受信しなくなるので、バッテリー消費量が軽減できる。これを、図6を例に説明する。送受信局、バッテリー残量の少ないノード等、設定はオムニアンテナ使用時と同様とする。指向性アンテナを用いて、送信方向へのみデータを送信することにより、ノード6の転送するデータパケットはノード7へ到達しない。同様にノード2もノード1の送信するデータパケットは到達しない。

送信パスに選ばれなかったノード2, 11は、送信パス発見時に伝送されるブロードキャストパケットの送受信にのみバッテリーを消費する。しかし、ブロードキャストされるRequestメッセージはサイズが小さい。よって、送受信に要する消費電力は、データパケットの消費量に比べ非常に小さく、ライフタイムへの影響はほとんどない。

送信指向性アンテナに含まれる受信ノードのバッテリーのみが消費されるため、バッテリーをより公平に消費できる。このように、指向性アンテナとバッテリー指向型ルーティングを併用することで、公平性が改善されバッテリー消費不平等が解決できる。

次に、全体的なライフタイムの向上について述べる。オムニアンテナ使用時には、ライフタイムの平均値は、1300s程度であった。一方、バッテリー指向型ルーティングでは2700s、デフォルトルーティングでは2500sまで上昇した。これは、データを指向性アンテナを使用し、受信局方向へのみ送信したため、近傍のノードが無駄なデータ受信でバッテリーを消費しなくなったからである。このように、指向性アンテナを使用することで、ネットワーク全体のライフタイムが向上する。これは、基本的にバッテリー駆動であるMANETでは重要であると考えられる。

5. まとめ

MANETでは、特定のノードに中継が集中し、バッテリー消費に不平等が発生する場合がある。これを解決するために、C.-K. Tohらはバッテリー指向型ルーティングを提案した。本稿では、C.-K. Tohらのシミュレーションを検証し、オムニアンテナ使用時のバッテリー指向型ルーティングが有効でないことを示した。また、バッテリー指向型ルーティングを有効に用いるために、指向性アンテナを併用することを提案した。本稿で示したシミュレーション結果においては、バッテリー指向型ルーティングと指向性アンテナを併用することで、バッテリー消費における公平性が改善されることが示された。

我々が得た知見をまとめると次のようになる。

- バス上にないノードが不必要にパケットを受信することによる電力消費(干渉による電力消費)は電力消費の公平性を達成する上で無視できない。
- 干渉による電力消費を削減する一つとして指向性アンテナを用いたMACは有効である。

今回の評価はノードが固定した場合のシミュレーションのみであった。また、指向性アンテナの送信角度が90度のみであり、目的とした受信局しか送信範囲にノードが存在しない限られた環境であった。今後の課題としては、ノードが移動する場

合での評価や、アンテナ送信角度を変更した場合の評価があげられる。

文 献

- [1] IETF MANET WG, "http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html".
- [2] S. Corson, et al. "Mobile ad hoc networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations," IETF RFC2501, Jan. 1999.
- [3] C.-K. Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," IEEE Commun. Mag., pp.138-147, Jun. 2001.
- [4] Y. Xu, et al. "Adaptive energy-conserving routing for multihop ad-hoc networks," USC-ISI Research Report 527, Oct. 2000.
- [5] C. E. Perkins, et al. "Ad Hoc On Demand Distance Vector(AODV)Routing," IETF Internet Draft, "http://www.ietf.org/internet-draft/draft-ietf-manet-aodv-10.txt".
- [6] L. M. Feeney, et al. "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in ad hoc networking," Proc. of IEEE INFOCOM'01, pp.1548-1557, 2001.
- [7] Young-Bea Ko, et al. "Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks," Proc of IEEE INFOCOM 2000, pp.13-21, 2000.
- [8] 澤田, 中西, 福田, "省電力指向可変レベルアドホックネットワークルーティング," DICO 2001, pp.139-144, Jun. 2001.
- [9] Mineo Takai, et al. "Directional Virtual Carrier Sensing for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks," Proc of International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiHoc 2002, Jun. 2002.
- [10] ANSI/IEEE Std 802.11, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," 1999.
- [11] L. Kleinrock and F. Tobagi, "Packet switching in radio channels, Part II —The hidden terminal problem in carrier sense multiple access and the busy tone solution," IEEE Trans. Commun., vol.COM-23, no.12, pp.1417-1433, Dec. 1975.
- [12] Network Simulator NS-2 "http://www.isi.edu/nsnam/ns/".