

# アドホックネットワークが開く 新しい世界 (後編)

前編ではアドホックネットワークの基礎的な解説を行った。後編ではアドホックネットワークを用いた具体的な応用、研究事例を説明する。

## ● DECENTRA ●

DECENTRA<sup>TM</sup>はスカイリー・ネットワークス社<sup>1)</sup>が提供する、無線デバイス同士のアドホックネットワークを可能にするソフトウェアである。DECENTRA それ自体がIPと同レイヤに位置する独立したプロトコルであり、自動的な暗号化や無線環境に最適化されたトランスポート機構も提供する。ここではDECENTRAの経路制御方式と、センサネットワークへの応用を解説する。

### 経路制御方式

DECENTRA ルーティングプロトコルではまず、隣接端末間でリンク状態を一定間隔ごとに交換しあい、データ送信のタイミングと無関係に経路表をあらかじめ構築しておくテーブル駆動型経路制御を実行する。その際、自分の知っているすべてのリンク情報を一度に交換するのではなく、端末のスコープ（相手までのホップ数）に応じてリフレッシュレートを変化させる。なぜならマルチホップ環境では経路の変化が激しいため、必要以上に遠いスコープにある端末のリンク情報は、それが相手にリレー伝達されるまでに無効になっている確率が高いためである。

しかしその場合、端末はスコープ外の端末とパケットを交換できないことになる。一方でこのためにリンク状態交換のスコープを広げると、伝達にかかるホップ数の時間差を埋めるためリフレッシュレートを上げる必要があり、通信帯域を消費してしまう。そのためDECENTRAではリンク状態交換のスコープはそのまま



ATR 適応コミュニケーション研究所  
小菅 昌克 [kosuga@atr.co.jp](mailto:kosuga@atr.co.jp)

ATR 適応コミュニケーション研究所  
板谷 聡子 [itaya@atr.co.jp](mailto:itaya@atr.co.jp)

ATR 適応コミュニケーション研究所  
Peter Davis [davis@atr.co.jp](mailto:davis@atr.co.jp)

(株) スカイリー・ネットワークス  
梅田 英和 [hidekazu.ueda@skyley.com](mailto:hidekazu.ueda@skyley.com)



図-1 DECENTRA の経路制御機構

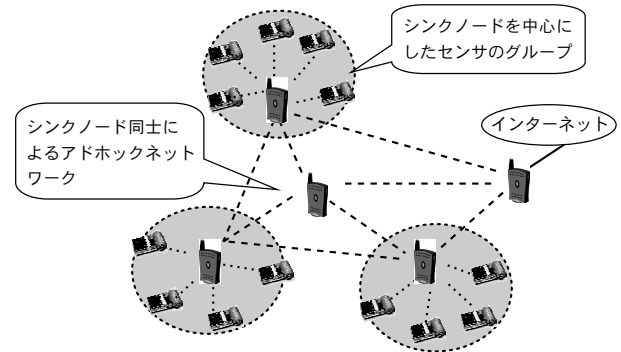


図-2 センサネットワークの一般的な構成

まで、代わりにパケット構造を利用したオンデマンド型の動的経路発見を併用している。

具体的には、パケット送信の要求があると最初に自端末の経路表を引く。もし送信先までの経路が表内にあるならば経路表のネクストホップにパケットを転送する。もし経路表に送信先のエントリが存在しなければ、動的な経路発見を行う。動的な経路発見では、要求があったパケット送信先を対象にして経路発見要求をネットワーク全体に流通させる。経路発見対象となった端末がその要求を受け取ると、それをすぐに送信元に送り返す。その際パケットは、各パケットに含まれるソースルーティング用の経路情報を利用して、逆向きのルートを遡って送信元まで戻っていく (図-1)。

経路発見対象から戻ってきたパケットには送信先までの経路情報が書き込まれているため、これを経路表に一時的に反映させて再び経路表を引く。その結果、経路表に存在しない経路であってもそのネクストホップを動的に取得することができる。このようにしてDECENTRAでは経路表と経路の動的発見を併用しながら柔軟な経路制御を行っている。

## センサネットワーク

DECENTRAはMANET<sup>2), 3)</sup>と同様に、主に無線LANとIPネットワークでの利用を想定している。一方でアドホックネットワークの最新の応用分野として、センサネットワークが注目を浴びるようになってきた。

センサネットワークとは、温度・湿度・震動など従来型のセンサに無線モジュールを付加し、センシングしたデータを無線を用いてホストまで伝送するシステムのことである。この際、センサ同士が無線でアドホックネットワークを自律的に組み、ホストまで無線が直接届かない場合は途中のセンサがデータを中継するようになっている。農地における土壌の品質管理やビル全体のセキュリティ管理、工場内における機械の稼働状況の監視など、

さまざまな応用が考えられている。

センサネットワークで用いられるハードウェアは一般にきわめて非力であり、8ビットまたは16ビットのCPUに、数キロバイト程度のメモリ容量である。また長時間の電池駆動が必須とされるため、無線LANなどPC向けの短距離無線メディアは使えず、通信速度や通信距離の短い低周波数帯域の無線を用いて省電力化を図る必要がある。すなわちアドホックネットワークを構築するプロトコル、経路制御機能、データ通信の信頼性を高める誤り訂正などの必要な機能を、限られた資源の中に、バッテリーの消費を最小限に抑えつつ詰め込まなくてはならない。センサネットワークの実用化における技術的課題は、このようにデバイスと無線の小型・省電力化に起因しているといってもよい。

そこでDECENTRAでは、交換する経路表の形式をより小型化し、数十バイト程度のフレームサイズで経路表形成が行えるようにしている。また省電力化を実現するため、周期的な経路表の交換を廃止し、端末数が確定しているという条件の下で経路表の収束を判定するように改良している。これによって経路収束後に行う制御用の通信を省けるため、電力消費を抑えることができ、結果としてセンサの駆動時間を延ばすことができる。

より現実的なネットワーク構成としては、センサモジュール同士は通信・中継せず、いわゆるシンクノードと呼ばれる無線端末がセンシングデータを一元的に集める方法がある。そしてシンクノード同士が互いにアドホックネットワークを形成し、より遠くまでデータを運ぶ役割を果たす。一般にシンクノードは末端のセンサネットワークモジュールよりもCPUやメモリの資源が豊富で、場合によってはAC電源の利用も許される場合が多い。そのためアドホックネットワークに必要な多くの機能をシンクノードに持たせ、各センサネットワークモジュールはシンクノードへの単一リンクだけを確立する、いわゆるクラスタ構成が理想的である (図-2)。

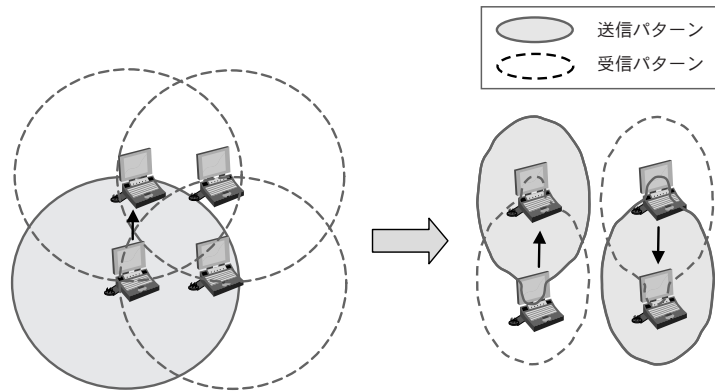


図-3 指向性アンテナを利用した空間分割効果による同時接続数の向上

## ● ATR 適応コミュニケーション研究所の ● ● 取り組み ●

ATR 適応コミュニケーション研究所では、通信・放送機構の支援で、複数の企業や大学から研究員を集め、アンテナからアプリケーションまで、総合的にアドホックネットワークの研究開発を進めている<sup>4)</sup>。

本章では、ATR 適応コミュニケーション研究所におけるアドホック無線ネットワークに関する研究について紹介する。

まず、アドホックネットワーク用の適応型アンテナの研究開発で多くの成果を上げている。端末間の直接通信を行うアドホックノードを試作し、実験を行っている。アドホックな端末は、アクセスポイントや基地局の信号処理能力や中央制御能力に頼ることができない。そのため、自律的に通信をする必要がある。このとき、電池の残量や、周辺への電波干渉への注意が必要となる。指向性ビームを任意の方向に向けることができる適応型アンテナを利用しビームを絞ることで、送信に使う電力を節約できる。さらに、空間分割効果により、無指向性アンテナでは不可能だった領域で、複数の隣接ノードが同時に発信できる(図-3)。

指向性アンテナの利点を得るには、メディアアクセス方式(MAC)を工夫する必要がある。具体的には、802.11を基盤にし、RTS/CTSの手順を工夫して、各ノードが“いつ・どの方向に発信してよいか”を自律的に判断できるようにしなければならない。また、隣接ノードの配置角度情報を利用したマルチホップ経路制御方式の研究にも取り組んでいる。さらに、無線特有の問題である電波環境に依存した通信の不安定性に着目し、MACやルーティングプロトコルの開発を行っている。たとえば、ノード間の受信電波情報をルーティングの基準に利用することで、切断の起こりにくい安定したルー

トを構築するためのプロトコルを提案している。

また、マルチホップ無線通信の大きな課題として、無線環境では有線環境に比べてTCP(Transmission Control Protocol)の性能が劣化するという問題がある。TCPでは、無線環境における高い誤り率に起因するパケットロス、輻輳によるロスと区別できないため、輻輳状態でないにもかかわらず不必要にデータ通信速度を抑制する場合があります。スループットの低下を招くことがある。また、端末の移動に伴うリンク切断や経路変更によっても、TCPの性能が劣化する。これらの問題を解決できるよう、TCPの改良方法を提案している。

アドホックネットワークのもう1つの問題は、ネットワークの構造や規模が大きく変動することにある。そのため、ネットワークの状況の把握とそれに合わせた通信制御は非常に重要である。ATRでは、隣接ノードの数、受信電力など、各ノードが独自に獲得できる情報を用い、ネットワークの拡大・縮小に柔軟に対応できるような情報配信方法などを提案している。たとえば、フラッディングを用いた情報配信において、転送確率や転送の時間間隔を適応的に制御するスケジュール方法を用いることにより、情報の配信時間を短縮したり、電池の寿命を延長したりすることができる。

また、ゲームやロボット制御など、リアルタイム性が要求されるようなアドホック通信のアプリケーションでは、パケット遅延とそのバースト的な変動が大きな問題となる。パケット遅延のバースト的な変動が発生する条件が、ノードの数やトラフィック量などに依存して、どのように変化するかを解析し、対策を提案している。

もう1つ注目している課題にコンテンツに基づいた通信制御がある。1つの活用領域として、不特定多数の人々の中でのコミュニケーションを支援するようなネットワークが期待される。たとえば、街角や展示会、地域のコミュニティや被災地などでのコミュニケーションがこれ

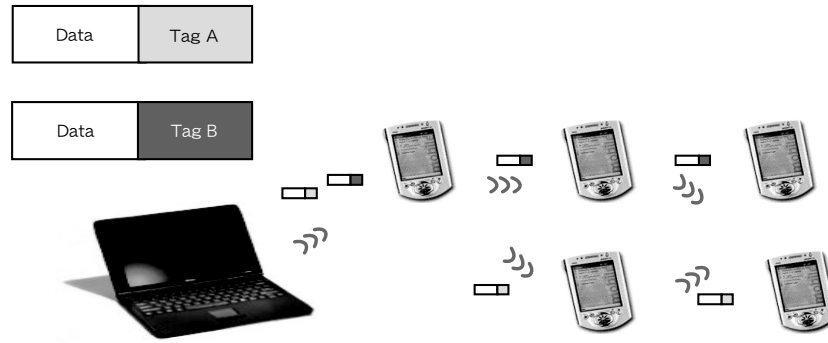


図-4 コンテンツとマルチホップ配信

にあたる。自由に参加できる開かれたアドホックネットワークにおいては、無駄な情報の爆発的増加が心配される。ユーザレベルでの迷惑だけでなく、貴重な通信帯域や電池資源を無駄にすることが問題である。この問題を解決するために、情報フィルタリングにポイントをおいてプロトコルの開発が必要である。ATRで研究を進めている通信制御では、送信コンテンツに即した「タグ」を設定することにより、コンテンツベースのフィルタリングを可能にする。

ブロードキャスト的に送信された共通の情報を自分好みにフィルタリングする方法や、情報を配信する相手を特定し、ユニキャスト通信でコンテンツの送信許可を得てから送信する方法を提案している(図-4)。また、相手の応答状況から学習することによって、無駄な情報の転送をさらに抑えることもできる。これらの機能により、情報の発信/受信を容易にし、情報の量と質の両面からアドホック通信の使い勝手の向上を目指している。

### ●アドホックネットワークの商用化動向●

この数年の短距離無線技術、特に無線LANの発展とともに、アドホックネットワーク関連の製品を提供する企業も増えてきた。

米 Mesh Networks, Inc. は、QDMA と呼ばれる 2.4GHz 帯の独自無線方式を用いたアドホックネットワーク製品群をリリースしている。主な用途として ITS(車車間・路車間通信) を想定しており、高速に移動する車の中でもストリーミングによる動画の再生を可能としている。近く日本でも ITS の実証実験が始まる見通しである。

米 Green Packet, Inc. は、PC と PDA を対象として、アドホックネットワークを用いた音声通話、インスタントメッセージ、ファイル共有、共有ホワイトボード

などのグループウェアを提供している。

米 SRI International では、PacketHop という独自の経路制御ソフトウェアを開発し、米 SPEEDCOM Wireless Corporation にライセンス提供している。同時に Packet Hop, Inc. を設立してアドホックネットワークの普及にあたっている。

センサネットワークではカルフォルニア大学バークレイ校の研究成果を Crossbow Technology, Inc. が Mica の名称で商用化しており、主に大学機関で研究用に広く利用されている。

日本においては三菱商事が独 DETECON, Inc. と共同でアドホックネットワーク製品を開発し、社内の無線 LAN アクセスポイントの代替として PC によるマルチホップネットワークによるコスト削減を目指している。

また日本のスカイリー・ネットワークス社では、「DECENTRA」の章で解説したように、無線LANを用いたアドホックネットワークプロトコル「DECENTRA」、およびセンサネットワーク向け経路制御プロトコル「MicroDECENTRA」をリリースしており、応用事例として大規模被災地向け無線通信網や博物館向け情報配信などの各種アプリケーションを開発している。

#### 後編参考文献

- 1) (株) スカイリー・ネットワークス, <http://www.skyley.com/>
- 2) Mobile Ad-hoc Network (MANET), [http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet\\_home.html](http://protean.itd.nrl.navy.mil/manet/manet_home.html)
- 3) Toh, C. K. 著: 構造計画研究所訳: アドホックモバイルワイヤレスネットワークプロトコルとシステム, 共立出版 (2003).
- 4) ATR 適応コミュニケーション研究所, <http://www.atr.co.jp/acr/> (平成 15 年 7 月 29 日受付)