

Technical Survey

アドホックネットワーク

解説

間瀬憲一 中野敬介 仙石正和 篠田庄司

間瀬憲一 正員 新潟大学工学部情報工学科
E-mail mase@ie.niigata-u.ac.jp
中野敬介 正員 新潟大学工学部情報工学科
仙石正和 正員 新潟大学工学部情報工学科
篠田庄司 正員：フェロー 中央大学理工学部電気電
子情報通信工学科

Ad Hoc Networks. By Kenichi MASE, Keisuke NAKANO, Masakazu SENGOKU, Members (Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-2181 Japan), and Shoji SHINOBU, Fellow (Department of Electrical, Electronic, and Communication Engineering, Faculty of Science and Engineering, Chuo University, Tokyo 112-8551, Japan).

Abstract

アドホックネットワークは基地局や有線網に依存せず、移動端末を構成要素とする自律分散形のネットワークである。21世紀の情報通信基盤に不可欠な要素として、発展が期待される。アドホックネットワークに特徴的な無線マルチホップ通信を実現するため、パケット無線方式と無線回線接続方式の利用が考えられる。無線マルチホップを用いて、情報通信・情報流通を効率的に行うため、ルーティング、マルチキャスト、ブロードキャストに関する技術課題がある。会合等での効率的な情報交換、地域情報の案内、安全・快適なコミュニティ実現等、様々な応用が期待される。

キーワード：アドホックネットワーク、マルチホップ、移動通信、無線通信、次世代インターネット

1. はじめに

携帯電話、PHS等が爆発的に普及し、電子メール、Webアクセス、位置案内、等、サービスも多様化している。21世紀の社会において快適な移動通信へのニーズはますます多様化・高度化すると予想される。従来型の移動通信技術の更なる技術革新はもちろん必要であるが、それだけで移動通信への多様なニーズに対応するには限界もあろう。

このような課題に対応する一つのアプローチとして、従来の移動通信ネットワークとは根本的に異なる無線あるいはモバイルアドホックネットワークと呼ばれるコンセプトの利用が考えられる。アドホックネットワークは従来のネットワークが対応できない新たなコミュニケーション環境の実現手段として、大きな潜在的可能性を有し、今後の急速な発展が期待できる分野である。

本稿では、アドホックネットワークが今なぜ関心を集めているのか、今後どのような発展が考えられるか、どのような技術が必要になるか、どのようなサービスが考えられるか、等の諸点について解説を行う。

2. アドホックネットワークとは

アドホックネットワークは、

- ① 従来の移動通信ネットワークの構成に不可欠な要素である基地局とそれらを結ぶ有線網に依存しない
- ② モバイル端末（以下では、ノードと呼ぶ）は互いに対等で自律分散的に振る舞う
- ③ ノード同士が無線通信により、直接情報を交換する
- ④ 電波が届かず直接情報を交換できないノード同士も、途中のノードが中継すること（無線マルチホップ通信）により、情報交換が可能である

等の特徴を持つ。この場合、ノードさえあれば、どのようなエリアでも即席にネットワークを形成できることから、アドホックネットワークの名がある。このようなネットワークでは、ノード移動に伴うネットワークトポロジーや伝送品質の急激な変化、利用可能な無線周波数帯域の限界、バッテリーに依存するノードの電力消費の制約といった厳しい条件がある。このため、

- (a) ルーティングやチャネルアクセスの制御
- (b) 周波数帯域の有効利用
- (c) ノードの電力消費の節約

等、多くの課題がある。

アドホックネットワークに関する研究の歴史は長い。1970年代にARPAプロジェクトの一環として軍事利用の観点から研究が開発された。この時代にはパケット無

線ネットワークと呼ばれた。また、ネットワーク全体を集中管理する固定局が使用されていた。このように、元々インターネットと同じ源から研究が発しており、インターネットの技術標準化を行う組織であるIETFでは、アドホックネットワークに関するワーキンググループ(MANET)が活動している⁽¹⁾。特に、ルーチング、マルチキャストに関して各種の方式が提案されている。一方、アドホックネットワーク実現の別の形態として、PHSの子機間通信を利用するものがあり、近年、研究開発が行われている⁽²⁾。

アドホックネットワークを用いたシステム、サービス開発も活発化している^{(3)~(7)}。例えば、設備監視のための管理用ネットワーク、教室内で教材等を配布するネットワーク、駐車場の空き情報等を周辺に流すネットワーク等が開発されている。

上記のように、近年のインターネット、移动通信技術の発展により、アドホックネットワークに関する研究開発は活発化する状況にある。しかし、これまでのところアドホックネットワークの利用分野は比較的限定されており、主に軍事、災害、イベント、個別サービス等が想定されてきた。言い換えれば、一時的な利用のための即席のネットワーク、特定の利用目的のために、特定の仲間うちで使う閉鎖的なネットワークという位置付けであったといえる。

3. 次世代アドホックネットワークへの期待

21世紀に向けてアドホックネットワークはどのような形で進化し、利用されるであろうか。この問題を考察するには、インターネットとの関連を論じないわけにはいかない。現在のインターネットは、品質や信頼性の面で

は十分ではなく、抜本的な変革が求められている。そこで、次世代インターネットに向けた研究が内外で活発化している。21世紀には家庭、オフィス、街路等のあらゆる機器にもコンピュータが埋め込まれ、これらがインターネットに接続することが考えられる。いわゆるIP on Everythingの時代である⁽⁸⁾。このような環境に対応するため、移动通信においても新たなコンセプトが要求され、アドホックネットワークがその鍵を握る可能性がある。すなわち、アドホックネットワークは、次世代インターネットの提供基盤として不可欠の技術になり得る(図1)⁽⁹⁾。

このような時代には従来形のアドホックネットワークだけでは不十分である。不特定多数が使えるようなオープンなアドホックネットワークや特定の目的ではなく、汎用の目的で使用されるアドホックネットワークが登場することが望まれる。アドホックネットワークがセルラ形のネットワークと並んで、一種のインフラになることが想定されるのである(この意味ではアドホックネットワークという呼称も適切ではないかもしれない)。インフラとしてアドホックネットワークが利用されるならば、ノードの構成や性能も多様化すると考えられる⁽¹⁰⁾。また、高い信頼性やセキュリティも要求されるであろう。本来、アドホックネットワークはその性格上、信頼性の低いものである。インフラ的な用途にアドホックネットワークを利用することは困難であると同時にチャレンジングな課題であるといえる。次世代アドホックネットワークの要求条件を従来形のアドホックネットワークと対比して図2に示す⁽⁹⁾。4.ではアドホックネットワークのネットワークレベルの課題⁽¹¹⁾を中心に幾つかの技術課題と解決へのアプローチを紹介する。

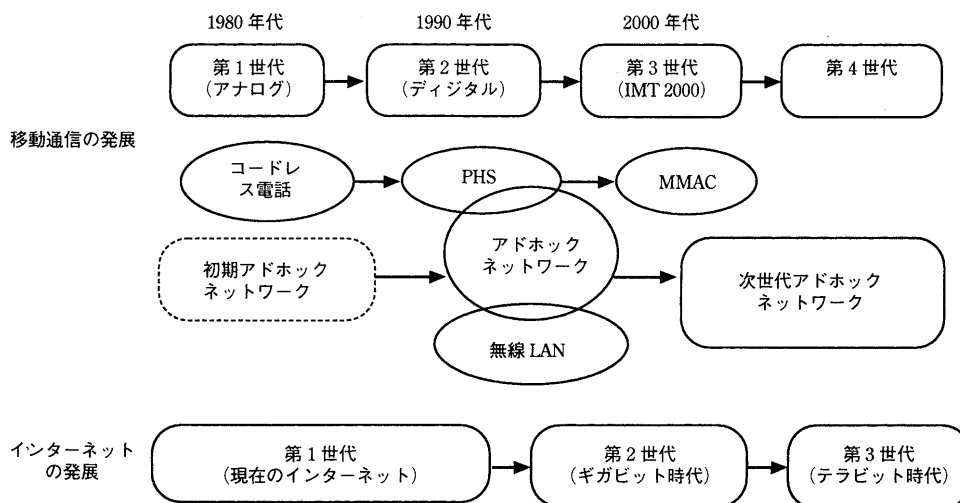


図1 次世代アドホックネットワークの発展 次世代アドホックネットワークは、従来の移动通信とは異なるコンセプトに基づき、研究開発が進められている。「IP on Everything」といわれる第3世代のインターネットに不可欠な要素である。

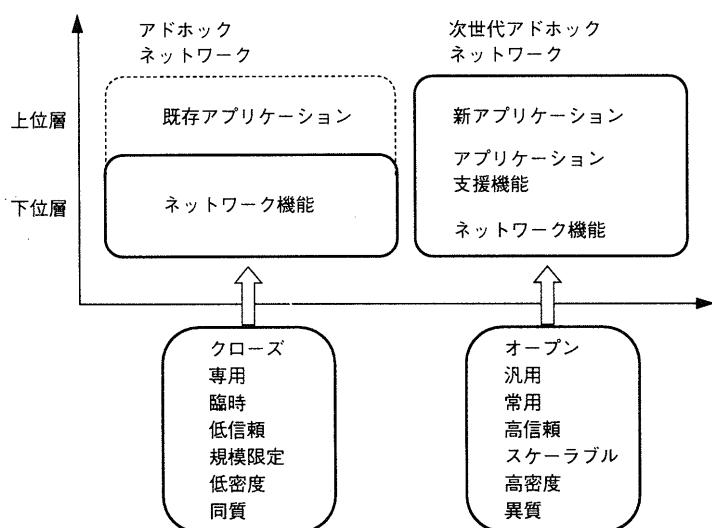


図2 次世代アドホックネットワークの要求条件 次世代アドホックネットワークはインフラとして発展し、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティング等の概念や家電技術、各種センサ技術が結びつき、新規アプリケーションの創出が促進される。

4. アドホックネットワークの基盤技術

4.1 アドホックネットワークの構成要素

アドホックネットワークの構成形態として

- (a) 通常のノードのみからなる形態
- (b) ノードの一部が固定的に配置される形態
- (c) 情報の受付・中継・蓄積・分配等を専門に行うノード（コミュニケーションポート）を使用する形態⁽¹²⁾
- (d) 従来の移動通信ネットワークと併用される形態⁽¹³⁾

等が考えられる。MANETでは、主として(a)の形態が検討対象であるが、インフラとしての利用を考えると(b)~(d)の形態も重要である。これらの形態に共通するのは、無線マルチホップ通信を利用することである。

4.2 無線マルチホップ通信の実現手段

パケット無線方式と無線回線接続方式が考えられる。MANETでは、パケット無線方式を前提として、ルーティングプロトコルの検討が進められている。パケット無線方式の具体例としては、IEEE802.11（伝送速度が最大2 Mbit/s）、802.11b（伝送速度が最大11Mbit/s）等の無線LAN仕様の標準規格が利用できる。アドホックモードでノード間を接続し、ノードがルータの役割を果たすことにより、マルチホップを実現する。一方、無線回線接続方式では、隣接ノード間で回線確立、情報転送、回線切断を行う。これにより、情報が1ホップ移動する。これを目的のノードまで繰り返す。具体例としてはPHSの子機間通信機能を用いることが考えられる。発

ノードと着ノード間に中継ノード経由でエンドツーエンドのVC（バーチャルチャネル）を確立する方法⁽¹⁴⁾も考えられるが、アドホックネットワークでは十分には検討されていない。これはノードの機能が複雑化すること、ノードの移動度が高い場合にエンドツーエンドの回線維持が困難なこと等によるものであろう。

パケット無線方式の場合、周辺の電波が届く範囲（通信範囲）に複数のノードがあるとき、1回のパケット送信でそれらの全ノードにブロードキャスト的に情報転送を行うことが可能である。もちろん、相手を指定すれば、ユニキャスト形の通信も可能である。これに対して、無線回線接続形では、1回の送信で一つのノードに情報転送される。一つのノードに無線回線接続形の通信装置を複数装備させる構成も可能である。これにより、情報の送受信を複数のノードと同時並行的に行うことが可能になり、通信性能の向上が考えられる。現在のところ、無線パケット形と無線回線接続形の利用に関しては、それぞれ検討が進められているが、両者の利点を併せ持つ複合形の利用価値も今後は注目に値するであろう。Bluetooth⁽¹⁵⁾はパケット無線方式と無線回線接続方式の両方をサポートできる新たな規格であり、アドホックネットワークでの利用が期待される。

5. パケット無線形アドホックネットワークにおける情報配信方式

5.1 ルーティング方式

様々なルーティングプロトコルが検討されている^{(16)~(18)}。提案方式の一例を図3に示す。大きくはテーブル駆動方式とオンデマンド方式に分類される。紙面の都合により、

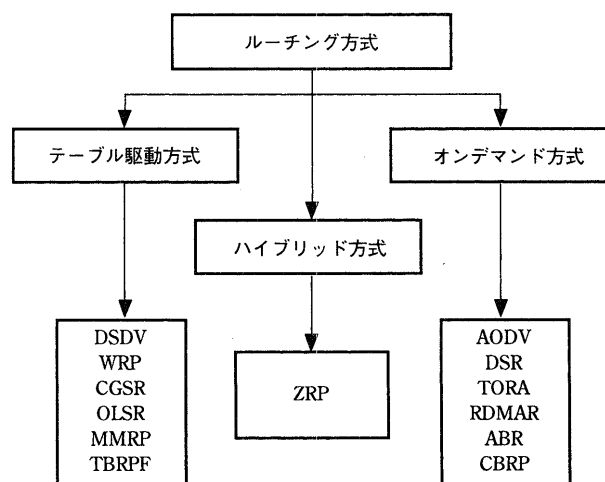


図3 パケット無線形アドホックネットワークにおけるルーティング方式の分類 ノードの移動速度が低く、活動度が高い場合にはテーブル駆動方式が、その逆の場合にはオンデマンド方式が有利になる。

詳細は割愛するが、幾つかのプロトコルの概要と課題等を以下に紹介する。

(1) テーブル駆動方式

各ノードはパケットのあて先と次ホップノードを対応させるルーチングテーブルを維持する。このテーブルは制御パケットにより、周期的に更新される。ノードはパケットのあて先からルーチングテーブルを用いて、次ホップノードを決定する。距離ベクトル経路制御方式において制御パケットを転送する際、ノードの移動にかかわらず、ルート情報の新鮮さを識別する必要があり、DSDV (Destination Sequence Distance Vector)⁽¹⁹⁾では、シーケンス番号を使用している。また、WRP (Wireless Routing Protocol)⁽²⁰⁾では、あて先ノードへの距離と最短ルート情報を維持することにより、無限カウントやループ発生を防止するメカニズムを採用している。

アドホックネットワークでは、各ノードは独立に移動する。このような条件のもとでチャンネル割当等を効率的に行うことは重要な課題である。ノードが隣接ノードとハローパケットを交換することにより、自律分散的にクラスタ (ノードのグループ) を構成し、クラスタを管理するノード (クラスタヘッド) がチャンネル割当、ルーチング等を制御することが考えられる^{(21),(22)}。CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing)⁽²³⁾はDSDVを基盤とし、クラスタを利用するルーチング方式である。

リンク状態経路制御方式を採用するものとしては、OLSR (Optimized Link State Routing)^{(24),(25)}がある。本方式では、各ノードがネットワークトポロジーに関する情報を、後述するフラッディング方式を用いて他ノードに広告する。この際、フラッディングするノードを限定することにより、すべてのノードがフラッディングする場合に比べて、制御パケットのオーバーヘッド削減を図っている。

(2) オンデマンド方式

情報の発生源のノード (ソース) がパケット転送の要求発生時にあて先ノードへのルート発見を行う方式である。まず、ソースは問合せパケットをフラッディング方式により、すべてのノードに転送する。この際、各ノードはソースへの逆向きのルートを学習する (バックワードラーニング)。問合せパケットを受信したあて先ノードがソースに応答する。このようにして発見されたルートにより、ソースからあて先ノードへパケット転送を行う。ノードの移動等により、ルートが使用できなかった場合には局所的なフラッディングにより、ルートの再構築を行う。ルート情報を短時間保持するため、キャッシングが使用される場合もある。

種々の特徴を持ったルーチング方式が数多く提案されている。AODV (Ad hoc On demand Distance Vector)⁽²⁶⁾

はDSDVと同様、シーケンス番号を利用して、ループフリーとルートの最新性を保証する。DSR (Dynamic Source Routing)⁽²⁷⁾はソースからあて先ノードまでの中継ノードのリスト (ルート情報) をパケットのヘッダに載せてルーチングする方式、TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm)⁽²⁸⁾はあて先に向けて複数のルートを維持することにより、トポロジー変化に対するルート再構成のオーバーヘッドを削減する方式である。また、RDMAR (Relative Distance Micro-discovery Ad hoc Routing protocol)⁽²⁹⁾は、ソースとあて先ノードの相対距離推定値に基づき問合せパケットのフラッディングの範囲を限定することにより、オーバーヘッド削減を図る方式である。これらの方式では、基本的にはソースとあて先ノード間の最短ルートが選択される。ノードの移動を考慮すると、最短ルートの選択が良いとは限らず、寿命の長いルートの方が好都合の場合もある。ABR (Associativity-Based Routing)⁽³⁰⁾は、各ノードが周期的に発信するビーコン信号をもとに、ソースからの問合せを受信したあて先ノードが複数のルートの中から最も安定なルートを選択する方式である。

ノードの移動速度が低く、活動度が高い場合にはテーブル駆動方式が、その逆の場合にはオンデマンド方式が有利になる。そこで、両者の長を併せ持つハイブリッド方式も考えられる⁽³¹⁾。その他、位置情報利用方式^{(32),(33)}、電池寿命に基づく方式⁽³⁴⁾、伝染方式⁽³⁵⁾等があるが、紙面の都合で省略する。

5.2 マルチキャストルーチング

マルチキャストとは1対多の情報転送方式であり、その特別の場合として、すべてのノードに転送するブロードキャストを含む。マルチキャストルーチングにはルーチング方式の場合と同様にテーブル駆動か、オンデマンドかといった分類が可能であるが、更に、マルチキャストそのものの特徴として、発ノードから複数のノードにどのような経路で情報パケットを送るか、という問題があり、各種の方式が検討されている。幾つかのプロトコルの概要と課題等を以下に紹介する。

(1) フラッディング方式

ソースがパケットを周囲ノードへ発信し、それを受信した各ノードは次々とパケットの再転送を行う。ただし、重複パケットの再転送は行わない。このようにしてすべてのノードに情報パケットをブロードキャストする方式である。ノードの移動速度が高い場合には、オンデマンドのルーチング方式でもルート発見が困難になる。このような場合にはフラッディング方式が唯一の情報配信手段になる。すなわち、ルーチング方式の代替案として仕様可能である。しかし、本方式はネットワークに大きな負荷を与える方式であり、その使用を必要最小限に抑え

る必要がある。

フラッディングはテーブル駆動方式における制御パケット転送、オンデマンド方式におけるルート問合せ、マルチキャストにおけるメンバ広告等でも使用される基本技術であり、その効率化は重要な課題である。クラスタを利用して不要なフラッディングトラフィックを削減する方式等が提案されている^{(36)~(38)}。

(2) ソースを根とする木を利用する方式

最も単純な方式はソースを根とする木を構成し、この木に従ってパケットを分配するものである。具体的にはDVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) がある。DVMRPはインターネット (MBone) で使用されており、無線アドホックネットワークに拡張されている⁽³⁹⁾。

(3) コアを根とする木を利用する方式

DVMRPではソースごとに木が構成される。複数のマルチキャストグループに所属するノードは個々のグループに対するエントリを維持する必要があるため、拡張性に限界がある。そこで、ソースごとに木を構成するのではなく、共有木を利用することが考えられる^{(40),(41)}。この場合、コアと呼ばれる幾つかのノードを維持する必要がある。また、ソースからあて先ノードまで最短経路をとらないという欠点がある。更に、木に基づく方法はマルチキャストグループのノード間に最小の持続性を提供するだけであり、リンクの一つが切れると、グループが分割され、木の再構成が必要になる。

(4) マルチキャストメッシュを用いる方式

木に基づくマルチキャストルーチングは有線網では利用可能であっても、各ノードが移動するような無線アドホックネットワークでの利用は困難と考えられる。CAMP (Core-Assisted Mesh Protocol)⁽⁴²⁾は、コア方式をベースに、木よりも接続性の高いグラフ (マルチキャストメッシュ) を構成し、しかもループを防止する方式として提案されている。基盤となるユニキャストルーチングプロトコルの利用を前提とする方式である。

(5) フォワーディンググループを利用する方式

ODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol)⁽⁴³⁾は、コアや木に依存せず、マルチキャストパケットの転送に責任を持つノードのグループ (フォワーディンググループ) を利用して、最短経路でマルチキャストパケットを転送する方式である。ソースのマルチキャスト広告に対し、参加ノードが加入パケットをフラッディングすることにより、フォワーディンググループが構成される。インターネットドラフトが提案されている。

(6) 位置情報に基づくマルチキャストルーチング^{(44),(45)}

ある領域に位置するすべてのノードに情報配信するのであり、GeoCastとも呼ばれる。ソースの位置と対象

の領域 (マルチキャスト領域) に基づき、転送領域が設定され、転送領域に位置するノードのみがパケット転送を行う。これにより、フラッディングの範囲が限定される。

6. 無線回線接続形アドホックネットワークにおける情報配信方式

6.1 ルーチング方式

無線回線接続形の場合、パケット無線形と異なり、回線接続・切断の処理がオーバーヘッドとなる。従って、比較的短い制御情報を単独で送ると、回線の保留時間も短くなり効率が悪い。このため、周期的な制御情報の転送は困難であり、制御情報を本来送信する情報に相乗りさせて転送する必要がある。また、パケット無線方式とは異なり、問合せを周囲のノードに簡単にブロードキャストすることは困難である。これは相手ノードの番号を知り、個々に回線接続する必要があるためである。このように、パケット無線方式に比べて厳しい条件を考慮するとオンデマンド方式はルート発見時間が長くなるため採用困難であり、テーブル駆動方式が基本になると考えられる。比較的小規模でノードの移動速度が少ないネットワークを対象にソースからあて先ノード、中継ノードに、試行錯誤的な接続を繰り返し、バックワードルーチングにより、ルーチングテーブルを構成する方法が提案されている⁽²⁾。

6.2 マルチキャスト方式

(1) ソースが一つの場合

パケット無線形の場合には各ノードが周囲のノードにパケットをブロードキャストすることが可能である。これに対して、回線接続形では、各ノードが一つの回線接続形通信装置を装備することを前提とすると、1回に一つのノードにしか、情報を転送できない。その後は二つのノードが同一の情報を持つので、並列的に他のノードへの情報転送が可能になる。ソースがネットワーク内のノードの接続関係 (ノード間の無線リンクの有無) を知っていることを前提とすれば、ソースから全ノードに情報を最短時間で配信するため、ソースが情報の配信ルートを決め、配信ルート情報を送信情報と一緒に転送することにより、ソースの指定したルートで情報配信することが考えられる (ソースルーチング)。

今、二つのノードが相互に通信可能範囲にある場合にそれらの間を線で結んで作ったグラフを考えると、そのグラフが完全グラフまたは木グラフとなっている場合、最短時間の配信ルートを検出するアルゴリズムが知られているが、一般グラフの場合には発見的な手法が必要になる^{(46),(47)}。また、ソースがそのようなネットワークのトポロジーをいかに認識するかも課題である。

各ノードが隣接ノードとの接続関係を把握している場合、ノードが配送完了リストを交換することにより、ネットワークのトポロジー情報を使用せずに情報配信する方法も可能である⁽⁴⁸⁾。本方式はパケット無線方式におけるフラッディング方式と類似の手法と位置付けられる。

(2) ソースが複数の場合

(i) 個別接続方式

情報転送の要求の都度、ソースが接続を開始するものである。ソースが複数の場合には、接続相手のノードが話中の状態が頻発することになる。このような場合には、各ソースが独立に最短ルートを選択して配信したとしても、ネットワーク内にボトルネックが生じる可能性がある。また、かけ直しが更に衝突しないようにランダム遅延を与えることが考えられるが、遅延時間の範囲をどのように選択するかが課題である。ノードが複数の通信装置を装備することにより、話中の低減が可能であり、検討が始まっている^{(49)~(51)}。

(ii) 周期的接続方式

個別接続方式は送る情報量が少ない場合には回線の保留時間が短く、効率が悪い。また、上述したような話中の頻発による呼損率増大の問題もある。そこで、各ノードは周期的に回線接続を行い、そのときに発着ノードがそれぞれ所有する情報を交換することが考えられる。これを周期的接続方式と呼ぶ。本方式では、情報転送の開始に時間遅れが生ずるが、話中の減少により、個別接続方式に比べて効率的な情報交換が可能になる。特に4.1に述べた(c)の形態で有用な方式と考えられる⁽⁵²⁾。

7. アドホックネットワークの利用分野

アドホックネットワークの利用に関して、幾つかの例を示す。

(1) 地域密着形の情報案内

駅等の公共的な場所での案内、商店街で道行く人々へのセールス情報伝達、駐車場の空き情報の案内、住宅街への訪問販売のための御用聞き等に活用する。スピーカが不要になり、静寂な生活環境を維持できる。

(2) 安全・快適なコミュニティ

信号機や電柱にセンサを埋め込み、周囲の歩行者や運転者にその情報を流せば、交通事故は激減する。高齢者・障害者の行動支援も考えられる。防犯、省電力、生活環境改善等への寄与も期待できる。

(3) 教室、会議場等での資料配布・共同作業支援紙を使用せず、効率的な資料配布・交換が可能である。

(4) ITS との連携

事故や警戒信号を後続車や歩行者へ連絡する。

(5) ホームネットワークとしての活用

外出、帰宅等に伴い、セキュリティシステム、照明、

エアコン、オーディオ機器等の自動制御を行う。

(6) センサネットワーク

自然現象、産業、生活等あらゆる分野で異常や障害を早期に検出し、対応することは重要である。このような監視を行うため、温度、化学物質、振動等を検知する超小型センサを各種設備に組み込んだり、空気中、水中に漂わせ、情報収集する^{(53)~(55)}。

(7) 災害時対応

緊急時の避難誘導、災害救援等の状況では、被災者と救援者、救援者間の情報通信に威力を発揮する。

8. ま と め

アドホックネットワークが注目される背景、次世代アドホックネットワークの位置付けを述べた。アドホックネットワークに特徴的な無線マルチホップ通信を実現するため、パケット無線方式と無線回線接続方式の二つのアプローチを示した。無線マルチホップ通信を用いて、情報通信・情報流通を効率的に行うため、ルーチング、マルチキャストに関する技術開発の現状を紹介した。最後に、アドホックネットワークの様々な応用分野を示した。本稿では触れなかったが、ノードへのIPアドレスの割当法については、文献(56)を参照されたい。また、アドホックネットワークにおけるTCPの性能、ルーチングプロトコルの実装に関する問題、セキュリティ上の課題等に関しては、機会を改めて述べることにしたい。21世紀の情報通信基盤に不可欠な要素として、アドホックネットワークに関する研究開発の進展が期待される。

文 献

- (1) <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- (2) 藤田義弘, 中野敬介, 仙石正和, “マルチホップ移動通信網に関する基礎研究,” 1998 信学総大, no.B-5-149, 1998.
- (3) http://www.fujielectric.co.jp/solutionplaza/components/musen/musen__frame.htm
- (4) <http://www.trl.ibm.co.jp/projects/ginjo/index.htm>
- (5) 田中利憲, 近藤 靖, “PHS-WRANの提案,” 1997 信学ソ大(通信), no.B-5-89, 1997.
- (6) 川合 誠, 野崎正典, “ワイアレスを利用したアドホックコミュニティネットワーク,” 1997 信学総大, no.B-7-234, pp.363, 1997.
- (7) 名倉武之, 近藤 靖, 大塚裕幸, “PHSを利用した電子講義・電子支援システムの開発,” 信学技報, ET98-74, pp.13-19, 1998.
- (8) 青山友紀, “ネットワークの進化とIP技術,” 信学誌, vol.83, no.4, pp.248-256, April 2000.
- (9) 間瀬憲一, 仙石正和, 篠田庄司, “次世代アドホックネットワークへの展望—ユニバーサル・アドホックネットワーク,” no.PB-1-8, 信学総大, 2000.
- (10) 中川智尋, 森川博之, 青山友紀, “高密度ネットワークにおける適応型アドホックルーチング,” 信学技報, IN99-123, pp.55-60, 2000.
- (11) 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司, “次世代アドホックネットワークの動向と課題—ユニバーサルネット

- ワークの提案一,” 信学技報, IN2000-7, pp.37-42, 2000.
- (12) 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司, “無線マルチホップに基づく地域・情報通信基盤への期待,” 2000 信学ソ大 (通信), 通信ソサイエティ特別企画, 分冊 1, pp.535-536, 2000.
- (13) A. Ishida, J.-G. Yoo, M. Yamamoto, H. Okada, and Y. Tezuka, “Layered self-organizing packet networks,” IEICE Trans. Fundamentals, vol.E75-A, no.12, pp.1720-1726, Dec. 1992.
- (14) A. Alwan, R. Bagrodia, N. Bambos, M. Gerla, L. Kleinrock, J. Short, and J. Villaseñor, “Adaptive mobile multimedia networks,” IEEE Pers. Commun., vol.3, no.2, pp.34-51, April 1996.
- (15) P. Johansson, N. Johansson, U. Korner, J. Elg, and G. Sennarp, “Short range radio based ad-hoc networking: performance and properties,” Proc. IEEE ICC '99, pp.1414-1420, 1999.
- (16) E.M. Royer and C-K Toh, “A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks,” IEEE Pers. Commun., vol.6, no.2, pp.46-55, 1999.
- (17) M. Gerla, G. Pei, and S-J. Lee, “Wireless, mobile ad-hoc network routing,” IEEE/ACM FOCUS '99, 1999.
- (18) C.-C. Chiang and M. Gerla, “Routing and multicast in multihop, mobile wireless networks,” Proc. IEEE, ICUPC '97.
- (19) C. E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers,” Comput. Commun. Rev, pp.234-244, 1994.
- (20) S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, “An efficient routing protocol for wireless networks,” ACM MONET Journal, pp.183-197, 1996.
- (21) A. Ephremides, J. Wieselthier, and D. Baker, “A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling,” Proc. IEEE, vol.75, no.1, pp.56-73, 1987.
- (22) M. Gerla and J.T.-C. Tsai, “Multicenter, mobile, multimedia radio networks,” ACM Journal on Wireless Networks, vol.1, no.3, pp.255-265, 1995.
- (23) C.-C. Chiang, H.-K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, “Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel,” Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Networks (SICON '97), 1997.
- (24) P. Jacquet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, A. Laouiti, L. Viennot, and T. Clausen, “Optimized link state routing protocol,” Internet-draft, draft-ietf-manet-olsr-02. txt, 2000.
- (25) A. Qayyum, L. Viennot, and A. Laouiti, “Multipoint relaying: an efficient technique for flooding in mobile wireless networks,” INRIA Research Report, RR-3898, 2000.
<ftp://ftp.inria.fr/INRIA/publication/publi-ps-gz/RR/RR-3898.ps.gz>
- (26) C. E. Perkins and E. M. Royer, “Ad hoc on-demand distance vector routing,” Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.90-100, 1999.
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-01.txt>.
- (27) D.B. Johnson and D.A. Maltz, “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks,” Mobile Computing, Kluwer Publishers, Chapter 5, pp.153-181, 1996.
- (28) V. D. Park and M. S. Corson, “A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks,” INFOCOM '97, 1997.
- (29) G. Aggelou and R. Tafazolli, “RDMAR: A bandwidth-efficient routing protocol for mobile ad hoc networks,” Proceedings of the Second ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM), 1999.
- (30) C.-K. Toh, “Associativity-based routing for ad-hoc mobile networks,” Wirel. Pers. Commun., vol.4, no.2, pp.103-139, 1997.
- (31) Z. J. Haas, “The zone routing protocol (ZRP) for ad hoc networks,” <draft-ietf-manet-zone-zrp-02.txt>, 1999.
- (32) Y.-B. Ko and N.H. Vaidya, “Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks,” ACM/IEEE the 4th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98), 1998.
- (33) S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, “A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM),” Proceedings of ACM/IEEE MOBI-COM '98, pp.76-84, 1998.
- (34) S. Singh, M. Woo, and C. C. Raghavendra, “Power-aware routing in mobile ad hoc networks,” ACM MOBI-COM Conference, pp.181-190, 1998.
- (35) A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks,” <http://www.cs.duke.edu/~vahdat/ps/epidemic.pdf>
- (36) E. Pagani and G.P. Rossi, “Providing reliable and fault tolerant broadcast delivery in mobile ad-hoc networks,” Mobile Netw. Appl., 4, pp.175-192, 1999.
- (37) 和田義行, 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, “ユニバーサル・ネットワークの検討—効率的なパケットフラディング方針—,” 信学総大, no.B-5-167, 2000.
- (38) K. Mase, Y. Wada, N. Mari, K. Nakano, M. Sengoku, and S. Shinoda, “Flooding Schemes for a Universal Ad Hoc network,” IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), pp.1129-1143, 2000.
- (39) C.-C. Chiang, M. Gerla, and L. Zhang, “Forwarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks,” Baltzer Cluster Computing, vol.1, no.2, pp.187-196, 1998.
- (40) A. Ballardie, P. Francis, and J. Crowcroft, “Core based trees (CBT): an architecture for scalable inter-domain multicast routing,” Proc. ACM SIGCOMM '93, pp.85-95, 1993.
- (41) S. Deering, D. Estrin, D. Farnacci, V. Jacobson, C. G. Liu, and L. Wei, “The PIM architecture for wide-area multicast routing,” IEEE/ACM Tran. on Networking, 4, pp.153-162, 1996.
- (42) J. J. Garcia-Luna-Aceves, “The core-assisted mesh protocol,” IEEE JSAC, vol.17, no.8, pp.1380-1394, 1999.
- (43) C.-C. Chiang and M. Gerla, “On-demand multicast in mobile wireless networks,” Proceedings of IEEE ICNP '98, 1998.
- (44) Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, “Using location information in wireless ad hoc networks,” VTC, pp.1952-1956, 1999.
- (45) S. Basagni, I. Chlamtac, and V.R. Syrotiuk, “Geographic messaging in wireless ad hoc networks,” VTC, pp.157-161, 1999.
- (46) 近藤 靖, 名倉武之, 田中利憲, “PHS-WRAN のファイル配送特性,” 信学総大, no.B-5-147, 1998.
- (47) 角田智之, 田村 裕, 仙石正和, 間瀬憲一, 篠田庄司, “ユニバーサル・アドホックネットワークの検討—木状ネットワークに対する情報配信アルゴリズム—,” 信学総大, no.B-5-168, 2000.
- (48) 高杉耕一, 近藤 靖, 大塚裕幸, 田中利憲, “無線アドホック通信ネットワークにおけるマルチキャスト配送方式,” 1998 信学ソ大 (通信), no.B-5-70, 1998.

- (49) 柄沢直之, 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司, “ユニバーサルネットワークの検討— PHS を 2 台装備する端末の接続制御方式—,” 信学総大, 2000.
- (50) 能登利津子, 間瀬憲一, 柄沢直之, 中野敬介, 仙石正和, “ユニバーサル・アドホックネットワークの検討— PHS 2 台を装備する端末を用いた情報配信実験—,” 信学総大, no.B-5-169, 2000.
- (51) N. Karasawa, R. Noto, K. Mase, K. Nakano, M. Sengoku, and S. Shinoda, “PHS Based Ad Hoc Networks,” IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), pp.1141-1146, 2000.
- (52) K. Mase, R. Noto, K. Nakano, N. Karasawa, and M. Sengoku, “A PHS-based Multihop Wireless Infrastructure for Local Communities,” The Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC '00), pp.437-442, 2000.
- (53) D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, “Next century challenges : scalable coordination in sensor networks,” Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.263-270, 1999.
- (54) W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks,” Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, p.174-185, 1999.
- (55) J.M.Kahn, R.H.Katz, and K.S.J.Pister, “Next century challenges : mobile networking for smart dust,” Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp.271-278, 1999.
- (56) C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. R. Das, “IP address autoconfiguration for ad hoc networks,” Internet-draft, draft-ietf-manet-autoconf-00.txt, 2000.



間瀬 憲一 (正員)

昭 45 早大・理工・電気通信卒。昭 47 同大学院修士課程了。同年電電公社 (現 NTT) 入社。以来、情報通信ネットワークの構成法、設計法、制御法、通信品質の研究に従事。現在、新潟大・工・情報教授、工博。平 5 年度論文賞受賞。編著書「マルチメディアネットワークとコミュニケーション品質」。



中野 敬介 (正員)

平元新潟大・工・情報卒。平 6 同大学院博士課程了。現在、同大学助教授。移动通信ネットワーク、情報通信ネットワークに関する研究に従事。工博。平 8 IEEE ICNNSP 論文賞、平 8 年度論文賞受賞。



仙石 正和 (正員)

昭 42 新潟大・工・電気卒。昭 47 北大大学院博士課程了。工博。同年北大・工・電子助手。新潟大・工・情報助教授を経て、現在、同教授。回路網理論、グラフ・ネットワーク理論、情報伝送、特に移动通信の研究に従事。平 3, 7, 8, 9 年度論文賞受賞。平 8 年, IEEE ICNNSP Best Paper Award 受賞。著書「演習グラフ理論」(共著)、「情報処理ハンドブック」(共著) など。



篠田 庄司 (正員:フェロー)

1941.12.15 生。1973 中大大学院理工学研究科博士課程了 (工博)。現在, 中大教授 (理工)。本学会の回路とシステム研究会委員長, 多次元移動情報ネットワーク研究会委員長, IEICE Trans. Fundamentals の初代 Editor, 基礎・境界ソサイエティ初代編集長などを歴任。現在, 本学会の評議員, 技術と歴史研究会委員長, JABEE 対応委員会副委員長, 並びに日本シミュレーション学会理事 (国際担当) など。受賞歴は本学会論文賞 (1992, 1997, 1998), IEEE 1995 ICSPNN 最優秀論文賞, IEEE Third Millennium Medal (2000)。論文は 100 件を超え, 著書は回路論入門 (1) および (2) (コロナ社, 1996) など。