

モバイル・アドホックネットワーク

間瀬憲一

新潟大学工学部情報工学科

〒950-2181 新潟市五十嵐2の町 8050

TEL: 025-262-7446 FAX: 025-262-7446

E-mail: mase@ie.niigata-u.ac.jp

概要： モバイル・アドホックネットワークは基地局や固定網に依存せず、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。端末がパケツリレー的に（マルチホップで）データ転送を行う。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。無線通信の実現手段として、パケット交換形の無線LAN、回線交換形のPHS、その両方をサポートするBluetooth等がある。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。地域経済・コミュニティ活性化、環境・健康ビジネスの基盤形成、移動通信産業の構造改革等、様々な波及効果が期待される。

1. はじめに

携帯電話サービスが爆発的に普及し、インターネットアクセスの手段としても、利用が進展している。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さら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ひとつのアプローチとして、従来のセルラー形移動通信ネットワークとは根本的に異なる無線アドホックネットワークあるいはモバイル・アドホックネットワークと呼ばれる形態が考えられる。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。

本文では、アドホックネットワークのコンセプト、位置付け、ネットワーク技術、社会へのインパクト等について、考察する。

2. モバイル・アドホックネットワークとは

モバイル・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固定網に利用しない、②無線通信手段を有する端末（以下では、ノードと呼ぶ）は互いに対等で自律分散的にふるまう、③ノード同士が無線通信により、直接データを交換する、④電波が届かず直接データ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、データ交換が可能である、等の特徴を持つ。この場合、ノードさえあれば、どのようなエリアに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ポロジ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。

モバイル・アドホックネットワークに関する研究の歴史は長い。1970年代にパケット交換ベースのアドホックネットワークが，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始された。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。近年，IEEE 802.11 無線 LAN の標準化進展により，無線 LAN とインターネットプロトコルをベースとするアドホックネットワークの研究が活発化しており，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，ルーティング，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，回線交換ベースのアドホックネットワークの形態として，PHS の子機間通信を利用するものがある。近年注目されるのは，パケット交換と回線交換の特徴を併せ持つ Bluetooth ベースのアドホックネットワークに関する研究の進展である。

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[2]-[6]。例えば，設備監視のための管理用ネットワーク，教室等の閉空間に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，移動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言える。

3. 次世代アドホックネットワークへの期待

今後，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，次々世代のインターネットに向けた研究が内外で活発化している。今後10年—20年のうちには家庭，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[7]。このような環境に対応するため，移動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，次々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うる。(図1)。

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ー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。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言える。次世代アドホックネットワークは従来形のアドホックネットワークの特徴を包含し、さらに多様なものになることが想定される(図2)。次章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[8],[9]を中心にいくつかの技術課題と解決へのアプローチを紹介する。

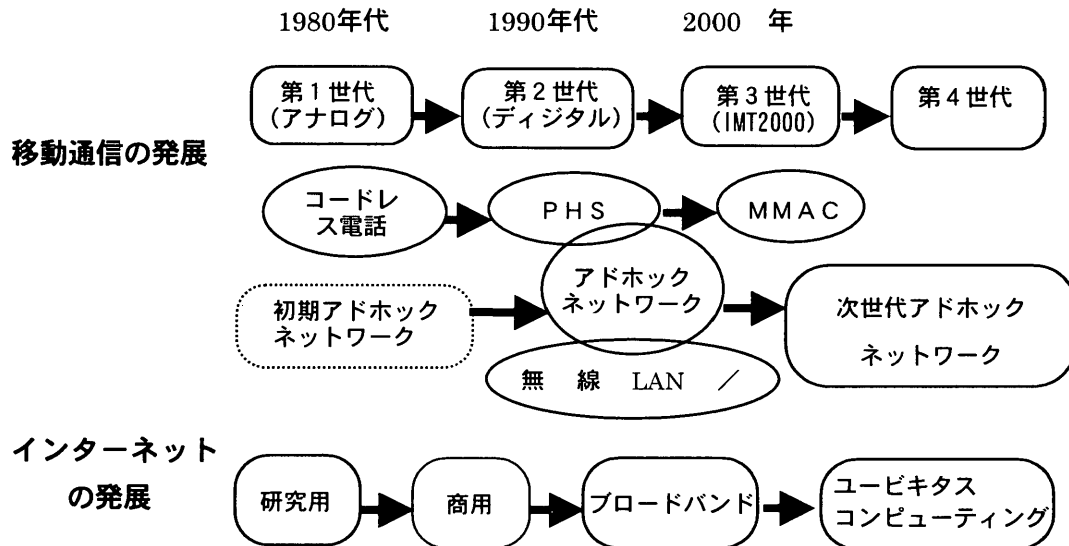


図1 次世代アドホックネットワークの位置付け

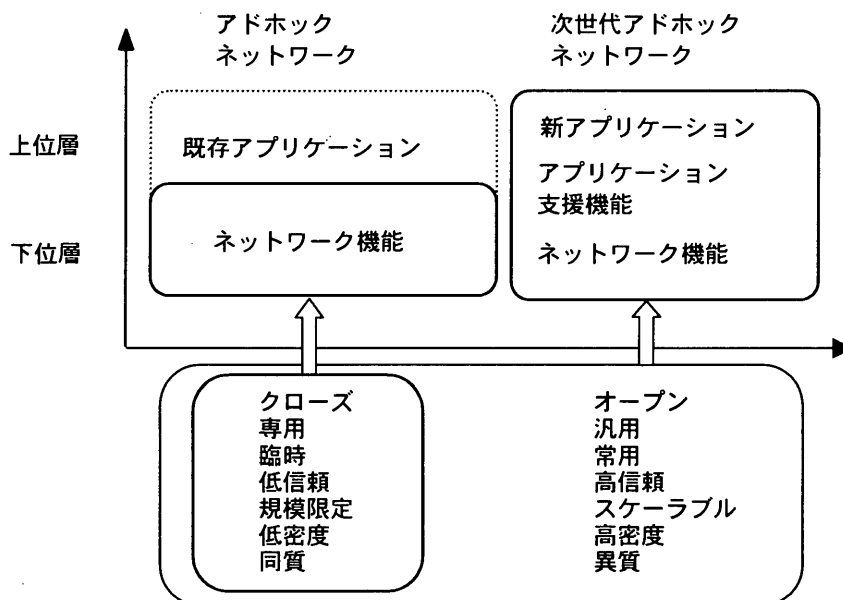


図2 次世代アドホックネットワークの特徴

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)通常のモバイル・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)情報の受け・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[10]、(d)従来の移動通信ネットワークと併用される形態[11]、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。さらに、無線 LAN のアクセスポイント間をアドホックネットワークで接続する新たな網構成が提案されている[12]。

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 2 M ビット/秒）、802.11b（伝送速度 11 M ビット/秒）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。パケット無線をベースに発ノードと着ノード間に中継ノード経由でエンド・エンドの VC（バーチャル・チャンネル）を確立する方法[13]も考えられるが、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・エンドの回線維持が困難なこと等によるものであろう。

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。

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 回の送信でひとつのノードに情報転送される。ひと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。

無線マルチホップの新たな実現手段として注目されるものに Bluetooth（伝送速度 1 M ビット/秒）[14]がある。Bluetooth は近距離のケーブル接続を無線に置き換えることをねらいとして開発されたオープンな仕様であり、元来は無線 1 ホップの技術である。無線 LAN に比べて低価格であり、各種携帯機器や家電製品にコンピュータチップと共に組み込まれ、パーソナル・エリア・ネットワークやホームネットワークとして利用されることが期待されている。上述した無線 LAN ベースのアドホックネットワークでは、多くの場合、すべてのノードはひとつの通信チャンネルを共有する。一方、Bluetooth では複数チャンネルが利用するため、ピコネット、マスター・スレーブ、ピコネット間のブリッジといったトポロジー構造（スキヤッタネット）が必要であるところ

が、無線 LAN の場合と大きく異なる。一旦、ピコネットを確立すれば、マスターとスレーブ間で回線交換形及びパケット交換形のデータ転送をサポートできる。また、ブリッジを経由して、異なるピコネット間のデータ転送ができる。Bluetooth ベースのアドホックネットワークのキーになるのは、自律分散的にスキヤットネットを構成するプロトコルの開発である。

5. 無線 LAN を利用した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[15]-[17]。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(図3)。紙面の都合により、詳細は割愛するが、いくつかのプロトコルの概要と課題等を以下に紹介する。

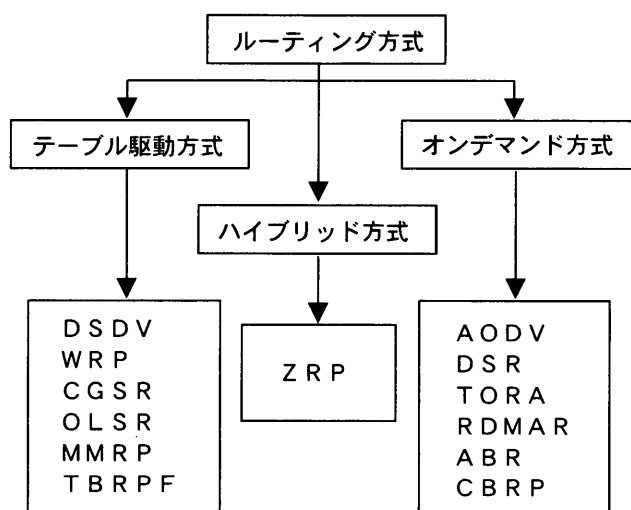


図3 パケット無線形アドホックネットワークにおけるルーティング方式の分類

(1) テーブル駆動方式

各ノードはパケットの宛先と次ホップノードを対応させるルーティ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宛先からルーティ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を採用する場合、制御パケットにより転送されるルート情報の新鮮さを識別する必要がある。DSDV

(Destination Sequence Distance Vector) [18]では、シーケンス番号を使用している。また、WRP (Wireless Routing Protocol) [19]では、宛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。

複数のチャンネルが利用できるアドホックネットワークでは、各ノードが独立に移動する条件のもとで、どのような単位にチャンネルを割り当てるかが問題になる。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、ルーティング等を制御することが考えられる[20],[21]。CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing) [22]はDSDVを基盤とし、クラスタを利用するルーティング方式である。

リンク状態経路制御方式を採用するものとしては、OLSR [23], [24]MMRP [25]-[27], TBRPF [28]がある。これらの方式では、各ノードがネットワークトポロジーに関する情報を多ノードにブロードキャストする際、フラッディングするノードを限定したり、遠方になるほど情報の転送周期を長くする。これにより、単純にすべてのノードがフラッディングする場合に比べて、制御パケットによる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宛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後述するフラッディング方式により、すべてのノードに転送する。問合せパケットを受信した宛先ノードがソースに応答する。この過程で発見されたルートにより、ソースから宛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つ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。

種々の特徴をもったルーティング方式が数多く提案されている。AODV (Ad hoc On demand Distance Vector) [29]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) [30]はソースから宛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ティングする方式、TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm) [31]は宛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)[32]は、ソースと宛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宛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よいとは限らず、寿命の長いルートの方が好都合の場合もある。ABR (Associativity-Based Routing) [33]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宛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、両者の長を併せもつハイブリッド方式も考えられる [34]。その他、位置情報利用方式[35],[36]、電池寿命に基づく方式[37]、伝染方式 [38]等がある。

5.2 マルチキャスト・ルーティング

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・ルーティングには、ルーティ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、さらに、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。いく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。但し、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転送するブロードキャスト方式である。ノードの移動速度が高い場合には、オンデマンドのルーティ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、ルーティング方式の代替案として使用可能である。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。フラッディングトラフィックを削減する方式が提案されている[39]-[42]。

(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[43]。

(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、CBT, PIM はソースごとに木を構成するのではなく、共有木を利用するものである[44], [45]。この場合、コアと呼ばれるいくつかのノードを維持する必要がある。また、ソースから宛先ノードまで最短経路をとるとは限らない。さらに、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接続性を提供するだけであり、リンクのひとつが切れると、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

CAMP (Core-Assisted Mesh Protocol)[46]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・ルーティ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)[47]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も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。

(6) 位置情報に基づくマルチキャスト・ルーティング[48], [49]

ある領域に位置するすべてのノードに情報配信するものであり、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. PHS を利用したアドホックネットワークにおける情報配信方式

6. 1 ルーティング方式

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宛先ノード、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・ラーニングにより、ルーティングテーブルを構成する方法が提案されている[50]。

6. 2 マルチキャスト方式

(1) ソースがひとつの場合

各ノードがひと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回にひとつのノードにしか、情報を転送できない。その後はふたつのノードが同一の情報をもつので、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・ルーティング）。

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[51]、[52]。また、ソースがそのようなネットワークのトポロジーを如何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[53]。

(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、かけ直しがさら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る[54]-[56]。

(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、上述したように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bの形態で有用な方式と考えられる[57]。

7. Bluetooth を利用したアドホックネットワークにおける情報配信方式

ふたつのノードが互いにマスターとスレーブの関係にあるとき、通信が可能になる。ひとつのマスターは複数のスレーブを持てる。マスターとそれに属するスレーブの集まりはピコネットと呼ばれる。ピコネット内ではひとつのチャンネルを時分割で利用する。マスターは偶数スロット、スレーブは奇数スロットを使用する。1ピコネット内でチャンネルにアクセス可能な（アクティブな）スレーブの数は最大7個である。ひとつのノードは複数のピコネットに所属することができる。この場合、ひとつのピコネットでマスターであれば、他のピコネットでマスターにはなれない。複数のピコネットに所属するノードはブリッジと呼ばれる。あるピコネットから別のピコネットへブリッジ経由でデータ転送が可能である。

多数のノードが相互にデータ転送を行う場合やノードの分布範囲が広く、ひとつのノードから他のすべてのノードに直接電波が届かない場合、ピコネットを複数作り、任意のピコネットから任意のピコネットにデータ転送が可能となるように、ブリッジを決める必要がある。このような複数のピコネットとその連結関係は前述のようにスキヤッタネットと呼ばれる。従来のスキヤッタネット形成に関する研究では、全ノードが直接通信可能であることを前提として、1ノードがスキヤッタネット全体のトポロジー構成を決めるもの[58]、ノードが近傍のノード情報を知っていることを前提に特定のノードから順次、木構造のトポロジーを作成するもの[59]等が提案されている。アドホック会議等のパーソナル・エリア・ネットワークやホームネットワークを考慮すると、ノードの新たな追加や削除、位置の変化、あるいは、低速での移動等に対応すること不可欠と考えられる。直接電波が届かなくても、途中のノードを経由して、情報伝達が可能であることが望まれる。また、どれかひとつのノードに全体の制御を任せる方法では、利用上の制約が多く、信頼性の点からも好ましくはない。このような条件のもとで、自律分散的にスキヤッタネットを形成するプロトコルを検討する必要がある。

8. アドホックネットワークの波及効果

固定、移動を問わず、コンピュータチップが至るところに埋め込まれ、情報の蓄積、処理、共有が行われる。インターネットにもつながる。こうした将来のコンピュータ利用のイメージは、IP on Everything, ubiquitous computing, nomadic computing, pervasive computing, decoupled computing 等の多くの用語で表現される。しかし、それを実現するのに有効なネットワークモデルは確立しているとは言えない。アドホックネットワークはそのような新世代コンピューティングの実現に向けて鍵となるコンセプト、ネットワークモデルである。アドホックネットワークの利用が様々な分野で進展することにより、社会・経済的なインパクトも拡大する。そのいくつかのシナリオを以下に示す。

(1) 地域コミュニティの活性化

アドホックネットワークが地域イントラネットを形成する。これにより、地域内の情報共有が進展し、地域コミュニティや地域経済が活性化すると考えられる。例えば、行政サービスの充実、

地域住民の交流促進，商店街の活性化等の効果が期待できる。

(2) ホットスポットサービスの地域展開

アドホックネットワークがインターネットへの常時アクセスを提供する。これにより，ホットスポットサービスの広域展開が可能になる。ホットスポットサービスの普及により，生活環境の利便化，社会経済活動の活性化が期待できる。

(3) 環境ビジネスの基盤形成

アドホックネットワークを利用して，環境センシングネットワークを広域展開する[60]-[62]。温度，湿度，振動，化学物質等，各種センサーを環境に配置する。環境を継続的に観測し，異常検出等に対応することにより，快適な生活環境の維持，自然・人為災害の防止等が期待できる。アドホックネットワークが環境ビジネス発展の基盤となる。

(4) 健康ビジネスの基盤形成

アドホックネットワークを利用して，健康センシングネットワークを形成する。体温，脈，鼓動等，各種センサーを人体に配置する。健康状態を継続的に観測し，異常検出等に対応することにより，健康管理，病気予防等が期待できる。アドホックネットワークが健康ビジネス発展の基盤となる。

(5) 移動通信事業の構造改革

アドホックネットワークが実現するサービスの中には，ホットスポットサービスのように携帯電話サービスと競合するものも考えられ，移動電話サービスのマーケット，位置付け等も現在とは激変する可能性もある。競争環境の中で，新たなビジネスモデルや新規アプリケーションの出現も考えられる。アドホックネットワークの開発と展開を推進することにより，移動通信事業の多様性や先進性が高まり，我が国がグローバルマーケットで優位に立つことが期待される。

9. 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，無線 LAN を利用するパケット無線方式，PHS を利用する回線接続方式，Bluetooth 等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，ルーティング，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社会，経済面への波及効果を展望した。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。

参考文献

[1]<http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>

[2]http://www.fujielectric.co.jp/solutionplaza/components/musen/musen_frame.htm

[3]<http://www.trl.ibm.co.jp/projects/ginjo/index.htm>

[4] 田中利憲，近藤靖，“PHS-WRAN の提案”，信学会ソサイエティ大会，B-5-89，1997.

[5] 川合誠，行田弘一，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ーネットワーク”，信学総大，No. B-7-234，pp.363，1997.

[6] 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 ET

98-74, pp.13-19, 1998.

- [7] 青山友紀, “ネットワークの進化と IP 技術,” 信学会誌, Vol. 83, No. 4, pp.248-256, 2000
- [8] 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—”, 信学技報, IN2000-7, pp. 37-42, 2000.
- [9] 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司, “アドホックネットワーク,” Vol.84, No.2, pp.127-134, 2001.
- [10] 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,” 信学ソサイエティ特別企画, 2000
- [11] A. Ishida, J. -G. Yoo, M. Yamamoto, H. Okada, and Y. Tezuka, “Layered self-organizing packet networks,” IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E75-A, No. 12, pp. 1720-1726, 1992.
- [12] K. Mase, N. Karasawa, M. Kusumi, K. Nakano, and M. Sengoku, “Wireless LAN with wireless multihop backbone network (WMLAN),” IEEE International conference on Wireless LANs and Home Networks (ICWLHN'01), 2001.
- [13] A. Alwan, R. Bagrodia, N. Bambos, M. Gerla, L. Kleinrock, J. Short, and J. Villasenor, “Adaptive mobile multimedia networks,” IEEE Personal Communications, pp. 34-51, April 1996.
- [14] Bluetooth SIG, “Bluetooth baseband specification Version 1.1,” <http://www.bluetooth.com/>.
- [15] E. M. Royer and C-K Toh, “A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks,” IEEE Personal Communications Magazine, pp. 46-55, 1999.
- [16] M. Gerla, G. Pei and S-J. Lee, “Wireless, mobile ad-hoc network routing,”
- [17] C.-C. Chiang and M. Gerla, “Routing and multicast in multihop, mobile wireless networks”, Proc. IEEE, ICUPC'97.
- [18] C. E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers,” Computer Communications Rev, pp. 234-244, 1994.
- [19] S. Murthy and J. J. Garcia-Luna-Aceves, “An efficient routing protocol for wireless networks,” ACM MONET Journal, pp. 183-197, 1996.
- [20] 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.
- [21] M. Gerla and J. T. -C. Tsai, “Multicluster, mobile, multimedia radio networks”, ACM Journal on Wireless Networks, Vol 1, No.3, pp.255-265, 1995.
- [22] C. -C. Chiang, H. -K. Wu, W. Liu, and M. Gerla, “Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel, In Proceedings of IEEE Singapore International Conference on Networks (SICON '97), 1997.
- [23] 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.
- [24] 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>

- [25] http://www.mitre.org/tech_transfer/mobilemesh/
- [26] K. Grace, " Mobile mesh link discovery protocol", Internet-draft, draft-grace-manet-mmlpd-00.txt, 2000.
- [27] K. Grace, " Mobile mesh routing protocol", Internet-draft, draft-grace-manet-mmrp-00.txt, 2000.
- [28] B. Bellur, R. G. Ogier, F. L. Templin, "Topology broadcast based on reverse-path forwarding (TBRPF)," Internet-draft, draft-ietf-manet-tbrpf-00.txt, 2000.
- [29] 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.
- [30] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," Mobile Computing, Kluwer Publishers, Chapter 5, pp. 153-181,
- [31] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," INFOCOM '97, 1997.
- [32] G. Aggelou and R. Tafazolli, "RDMAR: A bandwidth-efficient routing protocol for mobile ad hoc networks," In Proceedings of the Second ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia (WoWMoM), 1999.
- [33] C. -K. Toh, "Associativity-based routing for ad-hoc mobile networks," Wireless Personal Communications Journal, Vol. 4, No. 2, pp. 103-139, 1997.
- [34] Z. J. Haas, "The zone routing protocol (ZRP) for as hoc networks",
<draft-ietf-manet-zone-zrp-02.txt>, 1999.
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-01.txt>.
- [35] Y. -B. Ko and N H. Vaidya, " Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," In ACM/IEEE the 4th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '98), 1998.
- [36] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)," In Proceedings of ACM/IEEE MOBICOM '98, pp. 76-84, 1998.
- [37] S. Singh, M. Woo, and C. C. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," ACM MOBICOM Conference, pp. 181-190, 1998.
- [38] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks," <http://www.cs.duke.edu-vahdat/ps/epidemic.pdf>.
- [39] E. Pagani, G. P. Rossi, "Providing reliable and fault tolerant broadcast delivery in mobile ad-hoc networks", Mobile Networks and Applications, 4, pp175-192, 1999.
- [40] 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式—", 信学総大, 2000.
- [41] Kenichi Mase, Yoshiyuki Wada, Nobuhito Mari, Keisuke Nakano, Masakazu Sengoku, Shoji Shinoda, "Flooding schemes for a universal ad hoc network," IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), 2000.
- [42] K. Mase, T. Sato, K. Nakano, M. Sengoku, and S. Shinoda, "Efficient flooding schemes in mobile ad hoc networks," Multi-Dimensional Mobile Communicaitons 2001 (MDMC '01), pp.152-

157, 2001.

[43] C. -C. Chiang, M. Gerla, and L.Zhang, "Fowarding Group Multicast Protocol (FGMP) for Multihop, Mobile Wireless Networks," Baltzer Cluster Computing, vol. 1, no.2, pp. 187-196, 1998.

[44] A. Ballardie, P. Francis, and J. Crowcroft, "Core based trees (CBT): an architecture for scalable inter-domain multicast routing," in Proc. ACM SIGCOMM '93, pp. 85-95, 1993.

[45] 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.

[46] J. J. Garcia-Luna-Aceves, "The core-assisted mesh protocol," IEEE JSAC, vol. 17, no. 8, pp.1380-1394, 1999.

[47] C. -C. Chiang and M. Gerla, "On-demand multicast in mobile wireless networks," In Proceedings of IEEE ICNP '98, 1998.

[48] Y. -B. Ko and N. H. Vaidya, "Using location information in wireless ad hoc networks," VTC, pp. 1952-1956, 1999.

[49] S. Basagni, I. Chlamtac, and V. R. Syrotiuk, "Geographic messaging in wireless ad hoc networks," VTC, pp157-1961, 1999

[50] 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," 信学会総合大会, B-5-149, 1998.

[51] 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, B-5-147, 1998.

[52] 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, 2000.

[53] 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", 信学ソ大, B-5-70, 1998.

[54] 柄沢直之, 間瀬憲一, 中野敬介, 仙石正和, 篠田庄司和, "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ッディング方式—", 信学総大, 2000.

[55] 能登利津子, 間瀬憲一, 柄沢直之, 中野敬介, 仙石正和, "ユニバーサルネットワークの検討—PHS を 2 台装備する端末を用いた情報配信実験—", 信学総大, 2000.

[56] Naoyuki Karasawa, Ritsuko Noto, Kenichi Mase, Keisuke Nakano, Masakazu Senogku, Shoji Shinoda, " PHS based ad hoc networks," IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON-2000), 2000

[57] Kenichi Mase, Ritsuko Noto, Keisuke Nakano, Naoyuki Karasawa, and Masakazu Sengoku, "A PHS-based multihop wireless infrastructure for local communities," The Third International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'00), 2000

[58] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassiulas, and R. LaMaire, "Distributed topology construction of Bluetooth personal area networks," INFOCOM 2001, 2001.

[59] G. V. Zaruba, S. Basagni, and I. Chlamtac, "Bluetrees-Scatternet formation to enable Bluetooth-based as hoc networks," ICC 2001, 2001.

[60] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next century challenges: scalable

coordination in sensor networks,” In Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 263-270, 1999.

[61] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks,” In Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 174-185, 1999.

[62] J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister, “Next century challenges: mobile networking for smart dust,” In Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 271-278, 1999.