

## 国際会議 MobiHoc2001 出席報告

蓮池 和夫      小宮山 牧兒

ATR 適応コミュニケーション研究所  
〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台2-2-2

E-mail: {hasuike, komiyama}@atr.co.jp

あらまし ACM主催のMobiHoc(International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing)が2001年10月4日から5日までの2日間、米国ロングビーチ市内のハイアットリージェンシーホテルにおいて開催された。セッション数7、論文発表件数24件、基調講演、招待講演各1件、ポスター15件と比較的小規模の会議であったが、アドホックネットワークに特化した会議で、この分野の最新研究成果が集中的に発表された。日本からの発表は1件、出席者数はわずか2名であった。本稿では会議の概要ならびに発表分野の動向について報告する。特に、最近研究が活発化してきた、指向性アンテナを用いた無線アドホックネットワークに着目して詳しく紹介報告する。

キーワード 会議報告、アドホックネットワーク、指向性アンテナ

## A Report on the 2001 ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing : MobiHoc 2001

Kazuo HASUIKE, and Bokuji KOMIYAMA

ATR Adaptive Communications Research Labs.  
2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan

E-mail: {hasuike, komiyama}@atr.co.jp

**Abstract** The 2001 ACM International Symposium on mobile Ad Hoc Networking & Computing : MobiHoc 2001 was held at Hyatt Regency Hotel in Long Beach, U.S.A. from October 4 to 5. The number of sessions and presented technical papers were 7 and 24, respectively, and the attendee from Japan were 2. The authors review topics in the technical field of wireless ad hoc networks, especially the one with directional antenna.

**Keywords** conference report, wireless ad hoc networks, directional antenna

## 1. 会議の概要

MobiHoc (International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing) は、ACM 主催のアドホックネットワーク関連だけのシンポジウムで、この分野の最新研究成果が集中的に発表される。今年は第 2 回目で、1 年目の 1 日開催の成功から、今年は 2 日間の開催となった。出席者は 200 名程度で、セッション数 7、招待講演 2 件、一般講演 24 件、ポスター 15 件の発表があった。会議へは 144 件の論文が投稿され、査読の結果、24 件の論文が一般セッションに、15 件がポスターセッションに採択された。一般セッションは、ルーティング、トランスポート、リンク及び物理レイヤ、センサーネットワークとエネルギー管理、セキュリティとテストベッドとアプリケーション、bluetooth、分析技術の多岐にわたる分野が取上げられている。発表機関別で見ると、大学からの発表件数が最も多く全体の 64% を占めた。国別で見ると、米国からの発表件数が最も多く全体の 64% を占めた。会議全体をとおして日本からの発表が 1 件で、また日本からの出席者も 2 名と少なかった。特に、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークに関して、招待講演が 1 件、一般講演が 1 件、ポスター 1 件があり、この分野の研究の広がりが感じられ、また、アドホックネットワーク一般の最新の研究動向を把握することができた。なお、MobiHoc2002 は、2002 年 6 月 9 日から 11 日までの 3 日間、スイス、ローザンヌで開催される。

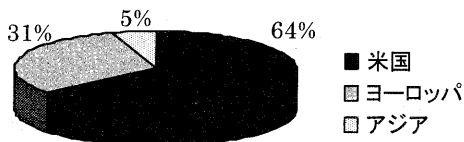


図1. 国別発表件数統計(発表件数計 39 件)

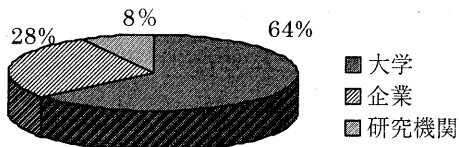


図2. 機関分類別発表件数統計(発表件数計 39 件)

## 2. 一般講演

### 2.1 基調講演

基調講演は、メリーランド大学の Ephremides 教授による“Wireless Networks: Where is the Beef?”で、アドホックネットワークを、ワイヤレスリンク、OSI、アルゴリズム、電力効率など様々な観点からオーバービューし、将来性を示し、これらの中に“beef”があるのでおそれるなど強調した。

### 2.2 ルーティング

“Implicit Source Routes for On-Demand Ad Hoc Network Routing”では、Source routing の利点を保ちつつ、パケット毎のオーバーヘッドを解消する Implicit source routing を提案している。フロー確立パケットにより中間ノードにフローテーブルを作成することにより、パケット毎のオーバーヘッドを解消している。DSR に適用して、詳細に simulation した結果、ルーティングパケットのオーバーヘッドは 12.3% 増えたが、全体のオーバーヘッドは 4.4 から 8.6% 減り、DSR の他の特性は維持又は改善された。

“Neighborhood Aware Source Routing”では、2 hop 隣接 node の情報を維持することによる利点を追加した source routing の新しいアプローチとして、Neighborhood Aware Source Routing (NSR) を提案し Dynamic Source Routing (DSR) と性能比較している。シミュレーションによると、NSR は DSR と同数のパケットを配信するのにより少ない制御パケットで可能であることを示している。

“Making Link-State Routing Scale for Ad Hoc Networks”では、link-state の更新の時間的空間的 scope を制限することにより link-state routing を縮小する試みとして、Fuzzy Slighted Link State Routing を提案している。プロトコルのオーバーヘッドの視点から、最良の algorithm を導き出す解析的モデルを定式化した。任意の routing algorithm-proactive も reactive にもほぼ最適なオーバーヘッドとなることを示している。

### 2.3 ルーティングとトランスポート

“Adaptive Demand-Driven Multicast Routing”では、新しい on-demand multicast routing Protocol として、ADMR (Adaptive

Demand-Driven Multicast Routing protocol)を提案し、評価している。Multicast routing stateは、senderとreceiverの間のnodeのactive groupだけにdynamicに確立、維持され、Multicastデータパケットは、最小遅延パスに沿ってforwardされる。networkの変化に従ってoverheadをバランスしMulticast routing stateを維持するために、Receiverは、senderのsending patternにダイナミックに適應する。50nodeでのsimulation結果として、Flooding baseのprotocolに比べ、overheadが、1/2から1/4となることを示している。

“Geometric Spanner for Routing in Mobile Networks”では、新しいrouting graphとして、RDG (Restricted Delaunay Graph)を提案。Node clustering algorithmとの組み合わせで、geographic routing protocolの基本となるgraphとして使える。特徴は、Planar graphであり、どの2つのnode間にも可能な最小値の定数倍の長さのpathがあり、ノードが動きまわってもgraphは、分散的に維持でき、さらにroutingの決定に要する時間が一定であることである。シミュレーションにより、GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing) protocolのrouting graphよりも性能がいいことを示している。さらに、GPSRにより発見されるpathの品質の理論的上限についても言及している。

“A Comparison of TCP Performance over Three Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks”では、アドホックネットワークにおけるbulk transferのTCP protocolの性能を調べた。2つのon-demandアルゴリズム(AODV, DSR)とadaptive proactive (ADV)アルゴリズムについて、TCP connectionの数を変化させて性能を比較した。TCPのcongestion control mechanismがwireless網の一時的broken routeのために逆にpacket lossを起こすことがわかった。このためfixed RTOと呼ぶ簡単なheuristicを提案し、route lossとnetwork congestionを区別しrouting algorithmの性能を向上させた。ns-2シミュレータを用い、3つのrouting algorithmにたいして、RenoとReno with fixed RTOの性能を評価した。いろいろな条件下で、proactive ADVの性能がよく、fixed RTOが二つのon-demand algorithmの性能を改善したことを示している。

## 2.4 リンクおよび物理レイヤ

“SEEDEX : A MAC Protocol for Ad Hoc Networks”では、パケット毎に明に予約することなしに衝突を避けることを目指したMACプロトコルを提案している。擬似乱数発生によるランダムスケジューリングと2ホップ先の隣接ノードと擬似乱数の初期値を交換することにより、すべてのhidden nodeおよびexposed nodeにスケジュールを通知し、各ノードは適切に伝送スロットを選ぶことになる。これはIEEE802.11等のプロトコルの予約フェーズにも適用できるとしている。

“Medium Access and Radio Resource Management for Ad hoc Networks based on UTRA TDD”は、ヨーロッパのFleetNetプロジェクトにおける車車間通信と道路telematicsの開発へのアドホックネットワークの応用に関する話題である。無線インターフェイスとして、UTRA TDD (UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex)の改良を行い、急速なトポロジーの変化に対応するようMACおよび無線リソース管理レイヤの必要な修正について述べている。アプリケーションとしては、FCD (Floating Car Data)の収集配信による、事故時の緊急信号、さらに自動運転や強調運転を目指している。

“Effect of Wireless Physical Layer Modeling in Mobile Ad Hoc Networks”では、従来のアドホックネットワークの研究の問題点として、シミュレーションモデルが高位レイヤ焦点が当てられ、他のレイヤ、特に物理レイヤとの関連が無視されていたことを挙げ、信号受信、パロス、フェーディング、干渉/ノイズ計算、プリアンブル長などの要素を考慮に入れたシミュレーションを提案している。

## 2.5 センサーネットワークとエネルギー管理

“Localized Algorithms in Wireless Ad-Hoc Networks: Location Discovery and Sensor Exposure”では、無線アドホックセンサーネットワーク(WASN)における局所的なアルゴリズムを提案している。局所アルゴリズムは、WASNのサブセットのノードだけが参加し、測定、通信、計算を行う分散アルゴリズムの一種である。データ取得、最適化メカニズム、探索拡張ルール、境界条件、終了ルールを持つ一般的な局所アルゴリズム

を開発し、位置発見、exposure-based coverage の2つの問題に応用し有効性をしめ示している。

“Effects of Power Conservation, Wireless Coverage and Cooperation on Data Dissemination among Mobile Devices”では、新しい peer-to-peer のデータ共有システム、7DSについて述べている。7DSは、必ずしもインターネットに接続されていない peer 間のデータ交換を可能にするアーキテクチャ、プロトコル集合、実装であり、peer はモバイル、静止の両者を含む。いくつかのデータ配信方式をモデル化し無線カバレッジ範囲、ホスト密度、問い合わせ間隔、協力ストラテジの影響を調べ、シミュレーション結果を分析している。

“Maximum Flow-Life Curve for a Wireless Ad Hoc Network”では、バッテリーに制限のあるノードに対して、トラフィックフローの利用度を最大化する power aware routing を提案している。全体のパワーを最小化する、あるいはネットワークの分割の時間を最大化する問題をより簡単な数学的問題におきかえ、リニアプログラミングに基づくアルゴリズムを提案している。

“Birthday Protocols for Low Energy Deployment and Flexible Neighbor Discovery in Ad Hoc Wireless Networks”では、静的なアドホックネットワークの2つの問題、ノード展開時のエネルギー節約と効率的な隣接ノード発見のために、birthday protocol と呼ぶファミリーを導入し、隣接ノード発見のためにランダムで独立なデータ伝送を行う。数学モデルにより、決定的ラウンドロビンスケジュールに相似の確率的なモードのプロトコルを導き出している。

## 2.6 セキュリティとテストベッドとアプリケーション

“The Quest for Security in Mobile Ad Hoc Networks”では、アドホックネットワークのこれまでの研究の動向がルーティングに偏っていたことを反省し、セキュリティの問題に重点をおいてサーベイし、基本的メカニズムに対する脅威とセキュリティメカニズムに対する脅威を区別し、セキュリティメカニズムを保護する解を示している。この解は、完全に分散で、すべてのノードが対等の役割を担っている。

“Secure Pebblenets”では、大規模アドホック

ネットワークとして、マイクロセンシング、監視、制御などのセンサーネットワークのセキュリティ問題を論じている。小さくて多数のノード (pebble と呼ぶ) のリソースは限られているため、対称型鍵暗号が適しており、すべての pebble において使われる対称鍵の定期的更新管理方式を提案している。モビリティに適応したクラスタリングと効率的な鍵生成ノードの選択により、pebblenet の生き残りに必要な効率性、スケーラビリティ、セキュリティの要求を満足している。

“Testbed on a Desktop: Strategies and Techniques to Support Multi-hop MANET Routing Protocol Development”では、アドホックネットワークのルーティングプロトコルの研究における実装と実世界テストの困難性を指摘し、小規模のテストベッドでプロトコルの実験をサポートする方式を提案している。NIC (ネットワークインタフェースカード) を厳重にシールドし、電波到達範囲を小さくし、さらに有線接続でのエミュレーションも可能とし、変数の制御、条件の再現性を実現している。

“Time Synchronization in Ad Hoc Networks”では、スマートと呼ばれるセンサーを持ったモバイルコンピューティングデバイスによるアドホックネットワークとしてのユビキタスコンピューティング環境を取上げ、物理的時間と実時間問題のためのクロック同期に従来のアルゴリズムが使えないことから、このような疎なアドホックネットワークに適したクロック同期アルゴリズムを提案している。

## 2.7 Bluetooth

“Performance of a New Bluetooth Scatternet Formation protocol”では、bluetooth の scatternet が、アドホックネットワークを効率的に構成するのに適しているとして、分散 bluetooth scatternet forming protocol を提案している。作られた scatternet は、どのノードも最大2つの piconet のメンバであり、piconet の数は最適に近く、それぞれのデバイスのオーバーロードをなくし、master、slave 間の接続を並列に確立できる。Scatternet 構成の時間、必要な総パケット数、piconet の直径などを数学的に解析している。

“A Pseudo Random Coordinated Scheduling

Algorithm for Bluetooth Scatternets”では、piconetをscatternetに構成する際にブリッジとなるノードにおける時分割のためのスケジューリング、PCSS(擬似ランダム scatternet スケジューリング)アルゴリズムを提案している。ノードは各peer に対して擬似ランダムプロセスに従ったmeeting point を割当て、衝突を避けている。このためノード間の明な信号が不要となり、現在の仕様に従いながら展開が容易であるとしている。

“JUMP Mode - A Dynamic Window-based Scheduling Framework for Bluetooth Scatternets”は、やはりPMP(複数のpiconetに属するノード)における時分割スケジュールのために新しいJUMPモードを提案している。JUMPモードは、通信ルールのセットをもち、トラフィック条件に柔軟に適應した動作をさせる。擬似ランダム長を持つ時間ウィンドウを定義し、scatternet からの協調なしで衝突を避けている。そのほかにもパワー節減も実現している。

## 2. 8 分析技術

“A Probabilistic Analysis for the Range Assignment Problem in Ad Hoc Networks”では、1次元から3次元の分散したアドホックネットワークにおいて、ネットワークの結合度の確率的な上限と下限を決めて、これらとノードの数と電波到達距離との関係を数学的に解析している。決定論的なケースより、エネルギー節約が可能としている。

“On Max-min Fairness and Scheduling in Wireless Ad-Hoc Networks: Analytical Framework and implementation”では、従来有線ネットワークで論じられてきたfairnessを修正して、無線ネットワークに適用している。最下位レイヤ(MAC)におけるfair shareのmax-minのfair shareを計算する理論的フレームワークをあたえている。ネットワーク全体のトポロジーを知ることなくリンク毎のfair shareを各ノードで決定できる分散アルゴリズムである。

“Scenario-Based Stability Analysis of the Distributed Mobility-Adaptive Clustering (DMAC) Algorithm”では、アドホックネットワークでノードをグループ化し、階層化する適應分散クラスタリングアルゴリズムとそのプロトコルとして、DMAC(Distributed Mobility-Adaptive

Clustering)を提案している。クラスタヘッドの選定回数、時間毎のクラスタの変化、ライフタイムなどのクラスタの安定性がノードのスピード、重みの選択、誤り率などにどう影響を受けるかを、ホットスポット、ストリートを含むキャンパス内の現実的なシナリオでrandom mobilityを拡張したモデルでシミュレーションし、評価している。

## 3. ポスターセッション

ポスターセッションは、会場内で、一般講演とシリアルに1時間45分にわたっておこなわれ、その間ほとんどの出席者が参加した。主なポスターの概要は以下のとおりである。

- ・ワイヤレスLANデバイスを持つ車車間のハイウェイでのアドホックネットワーク、
- ・センサーネットワークにおける最短パスの紹介からのリカバリにエネルギー効率のいいマルチパス方式の提案、
- ・空間再利用TDMAスケジューリングの2つの方式 - グラフベースと干渉ベースの比較、
- ・Fleetnetプロジェクトにおける車車間通信のための、位置情報によるルーティングプロトコル、
- ・位置情報によるルーティングにおける位置情報の配布方式、GRSS (Geographical Region Summary Service)、
- ・ハンドヘルドマシンからなるアドホックネットワークにおける、並列処理と分散処理による並列コンピューティングプラットフォーム、
- ・静的アドホックネットワークの最大スループットのモデルによるトポロジーの変化、トラフィック発生アルゴリズム、その他のネットワーク特性の予測、
- ・ASN.1とそのBluetoothサービス発見プロトコルのための符号化制御記法と、それに基づくextensibilityに関する拡張、
- ・信頼性が低く、時間変化が大きく、放送型の無線メディアにおける適應型forwarding方式、SDF (Selection Diversity Forwarding) ,
- ・位置情報を有効に利用したパワー効率ルーティング、
- ・delivery rateとflooding rateの改善を目的としたルーティング方式の提案、
- ・リンク層、物理層を考慮して、帯域とパワーの有効利用を可能とするマルチキャストプロトコル、

- ・センサーネットワークにおいて、ほんの数バイトからなるトラフィックのオーバーヘッドを削減するための、dynamic MAC アドレスの提案、
- ・セキュリティをルート発見のメトリックとして通信ノードでのプロテクションレベルに従った振る舞いをする SAR (Security-Aware ad hoc Routing).

#### 4. 指向性アンテナを用いたアドホックネットワーク

今回の MobiHoc で特徴的であったのは、招待講演、一般講演、ポスターセッションを通じて、指向性アンテナの利用の話題の盛り上がりを感じられたことである。

招待講演、“Mobile Ad Hoc Networking with Directional Antennas for Future Combat Systems”では、DARPA の James A. Freebersyser が、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) における FCS (Future Combat System) の一環として、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークを研究していることを明らかにした。FCS の要求条件として、robotic sensor, fire control のための高速通信と低被検知率をあげ、これらのために3次元の指向性アンテナを利用し干渉の除去による空間再利用、チャネルアクセス、データ転送の高速化によるネットワークパフォーマンスの向上、プロトコルセットの統合などを研究するとしている。UDAAN (Using Directional Antenna for Ad Hoc Networking) プロジェクトの研究テーマとして、neighbor discovery, MAC, 位置情報に基づくルーティング、QoS, トポロジー制御、シミュレーションツールを挙げている。また、研究成果のデモとして以下の計画を発表した。

2001年11月 low-band モデムとオムニアンテナ

2002年2月 low-band モデムと指向性アンテナ

2002年9月 high-band モデムと指向性アンテナ

一般講演、“On the Performance of Ad Hoc Networks with Beamforming Antennas”は、指向性アンテナを用いたアドホックネットワークの最初の本格的な研究と考えられる。ここでは、指向性アンテナ (beamforming アンテナ) のアンテナパターン、ビーム幅の関係を定式化し、steered model と switched model と、比較としてオムニアンテナを対象にしている。これらの利用においては、従来のチャネルアクセス CSMA/CA における

RTS-CTS が必ずしも有効でないとし、aggressive CA を提案している。また、パケット毎の link power 制御を想定し、その影響を調べている。また、neighbor discovery では、Hello パケットを、オムニで送るか指向性で送るかの比較をしている。ルーティングについては、link-state ルーティングを用いているが、オムニアンテナと指向性アンテナでの差はないとして、比較の対象から外している。これらを考慮したシミュレーションの結果、指向性アンテナの利用は、最大 118% のスループットの向上と最大 1/28 の遅延の改善が得られたとしている。

ポスター、“An Adaptive MAC and Directional Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Network Using ESPAR Antenna”は、小型の指向性アンテナであるエスパアンテナの開発とそれアドホックネットワークに適用するための、MAC プロトコル、ルーティングプロトコルの提案である。エスパアンテナは、オムニモード、セクターモード、アダプティブモードの3つのモードを電子的に選択でき、セクターモードを回転することにより、隣接ノードの方向と近似的な距離を知ることができ、この情報を元に、周波数の有効利用を実現する MAC 方式を提案している。またルーティングでは、リンクステート型のプロトコルに、隣接ノードとの間の結合度に相当する affinity を定義し、これをメトリックとして、経路選択を行い、また、そのトポロジー情報の flooding を減少させている。

#### 5. むすび

この会議はアドホックネットワークに特化した ACM 主催の会議で、日本からの研究発表や、出席者が少数であったことは残念であった。次回以降、日本の大学や企業からの投稿が期待される。

なお、プログラム・セッション一覧表はウェブサイト URL: <http://www.cs.ucla.edu/mobihoc/> で閲覧できる。