

4 安全・安心のためのネットワーク技術

4 Network Technologies for Safety Life with Feeling Relief

4-1 非常時に利用可能なアドホックネットワーク技術の現状と動向

4-1 States and Trends of Technologies in the Ad Hoc Networks Applicable to Emergency Communications

行田弘一

GYODA Koichi

要旨

近年アドホックネットワークと呼ばれる自律分散型ネットワークに関する研究が盛んに行われている。アドホックネットワークはインフラストラクチャを用いないという特徴を持ち、災害時等の非常時においてインフラストラクチャが使えない場合の通信手段として用いることが可能である。

本稿では、アドホックネットワークの概要及び要素技術の現状並びに動向を紹介し、非常時における通信において、アドホックネットワークを用いるための研究について述べる。

Research on the ad hoc networks, which belongs to the type of autonomous distributed network, has been done actively in recent years. The ad hoc networks have the feature that they only consists of user terminals and has no infrastructures. So, it is possible to use as a communication means in the emergencies at the time of disaster, etc. where usual telecommunication infrastructures are damaged.

In this paper, the outline of the ad hoc networks is introduced. The present states and the trends of key technologies in the ad hoc networks are also presented. The researches for using an ad hoc network in the emergency communications are also described.

[キーワード]

アドホックネットワーク

Ad hoc networks

1 まえがき

従来の電話を中心とした通信網は、遠くに離れた人同士の双方向コミュニケーションを即時的に実現することを主要な目的として、これに最適化することにより発展してきた。一方、インターネットに代表される TCP/IP を用いた通信の進展により、従来の通信網が最適化してきた遠距離、双方向性、即時性といった特徴を持

つ通信サービスのみならず、近距離、一方向性、非即時性といった特徴を持つ通信サービスを提供することが可能になっている。一方、伝送方式の面からいうと、無線は有線とともに基幹網の伝送方式として遠距離に到達させることを目的としてきた時期もあったが、臨時的・迅速な設置が可能、端末の携帯・移動性を有している、などの特長を生かし、近年ではむしろ“last 1 hop”という言葉に表されるようにアクセス網の伝送

方式としての要求が高まっている。携帯電話や無線 LAN 等、現在広く普及しているサービスはいずれもこのアクセス網としての無線の特長を生かしたものであるといえる。

このように、無線アクセス網とそれらを相互に接続する基幹網により構成されたネットワークが現在の通信網の主流であるが、このようなネットワークは地震などの大規模な災害が発生した場合、ネットワークを構成する基地局などのインフラストラクチャが被害を受けることにより、通信が不可能になることがある。また、インフラストラクチャに被害がない場合でも、通信トラヒックが急増し輻輳状態になることにより、通信が不可能に近い状態になることがある。このような大規模災害が発生した、いわゆる非常時には一刻も早いインフラストラクチャの復旧により通信網を復活させ、また、輻輳に対しては適切な制御を行うなどの対策をとることが必要となるが、その一方で、臨時的・迅速な設置が可能であり、端末が携帯性・移動性に優れる、などの無線の特長を十分生かすべく、インフラストラクチャを使わずに一時的に集合したユーザ端末間での通信を提供するアドホックネットワークを利用することにより、非常時における通信や情報共有を行うことが考えられる。

本稿では、非常時に利用可能なアドホックネットワークについて、その概要及び要素技術の現状並びに動向、さらに我々が進めるべき非常時における通信のためのアドホックネットワーク研究の方向について示す。

2 アドホックネットワークの概要

2.1 アドホックネットワークとは

アドホック (ad hoc) という言葉は最近いろいろな場面で使われるようになったが、もともとはラテン語 (ad hōc, ad huc) で「...の限りは」、「...までは」という意味であり、ここから派生して現在では「一時的な」、「この問題に限って」、「その場しのぎの」、「特別な」などという意味で用いられている。このことから、アドホックネットワークとは「一時的にその場所に限り作成されたネットワーク」と定義できる。なお、実際に

は前節で述べたとおり、臨時的な設置と端末の移動性といった無線の利点を用いるため、「無線アドホックネットワーク」又は「モバイルアドホックネットワーク」と呼ばれることが多い。

無線アドホックネットワークの特徴をまとめると、以下のとおりである [1]。

- ・基地局やベースステーションのようなインフラストラクチャが存在しない。
- ・いつでもどこでも使うことができる。
- ・必要に応じ生成され、不要になれば消滅する。
- ・各端末がルータ機能を有する。
- ・ピアツーピア (端末同士の直接の) 通信が行える。
- ・ピアツーリモート通信が行える (各端末の持つ中継機能を用いてマルチホップにより通信を行う)。

これらの特徴に加えて、以下に示す特徴を持つことが必要であると考えられる [2]。

- (a) Zeroconf (ユーザが特に面倒な設定をしなくても端末を持ち寄るだけでネットワークに参加できる。)
- (b) スケーラビリティ (端末数の増減に対してもネットワークが対応可能であること) が高い。
- (c) 資源 (周波数、電力) の利用効率が高い。

システムを実現するためには他にも解決しなければならない問題が数多く存在するため、様々な技術を集結させる必要がある。国内外における研究の経緯と動向については **2.2** で、また、個々の要素技術の研究動向や課題については **3** で述べる。

2.2 アドホックネットワーク関連研究の経緯と動向

ARPA プロジェクトにおける軍事利用を目的とした PRN (Packet Radio Network、パケット無線ネットワーク) が現在の無線アドホックネットワークのルーツ的な存在として知られているが、近年は非軍事・商用利用への展開が想定されている。本稿で想定している主目的である「非常時における通信」に限らず、通常時においても会議場、競技場、イベント会場、電車内などの移動空間、といった場所に無線端末を持ち寄るだけ

でネットワークが構築されることにより、これを使ったコミュニティ間通信やインターネット接続の提供といったサービスが考えられる。また、無線アドホックネットワークはセンサーネットワーク、ロボット間ネットワーク、ITSにおける車車間/路車間ネットワークなどのベースとなるネットワークとして有望であり、さらに次世代インターネットの提供基盤としての役割やユビキタスネットワークへの展開が期待されている[3][4]。

上記のような状況を踏まえ、近年国内外において非常に活発にアドホックネットワークに関する研究開発が行われている。国内においては、電子情報通信学会通信ソサイエティの各研究会において発表が行われているが、2004年には更に同ソサイエティ内にアドホックネットワーク時限研究会が設置され、ワークショップが行われている[5]。また、情報処理学会モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会においても活発な研究発表が行われている。国外においては、IETF MANET (Mobile Ad hoc Network) ワーキンググループがアドホックネットワークのルーティングに関して活発に活動しており、また、IEEE Communication Society (COMSOC) の国際会議 GLOBECOM、WCNC、シンポジウム PIMRC や ACM SIGMOBILE の国際会議 MOBICOM、シンポジウム MOBIHOC などにおいて、アドホックネットワークに関する研究発表が行われている。さらに、2004年からIEEE COMSOC によるアドホックネットワークに関する国際会議 SECON も開催されている。

3 アドホックネットワークの要素技術

3.1 低消費電力/高効率化

アドホックネットワークでは前述のとおりネットワークインフラストラクチャを用いないので、これにかかるコストはない。すなわち、コストはユーザ端末に掛かるのみであり、アドホックネットワークの実用化にはユーザ端末の小型軽量化と低コスト化が必須である。様々な小型軽量化/低コスト化の技術の中でも、特に端末の構成部品の中で重量的に大きな割合を占め

るバッテリーを小さくする技術は小型軽量化のポイントの一つであるといえる。特にアドホックネットワークでは他ユーザのパケットをボランティア的に中継するために常時電源オンにしておくことが想定されるため、低消費電力化は必須である。そのためにはバッテリー自体の小型軽量化/高出力化技術と、端末の消費電力をなるべく低く抑える技術が必要である。

バッテリー自体の小型軽量化/高出力化技術としては、現在実用化されているリチウムイオン電池などの更なる高効率化技術や、次世代のエネルギー源として一部実用化されはじめている燃料電池技術[6]などが挙げられる。また、端末の消費電力をなるべく低く抑える技術としては、搭載されたオペレーティングシステムによるプロセッサやディスプレイに関する省電力機能のみならず、無線デバイス、メディアアクセス制御、ルーティングなどの各技術においても端末の電力消費を抑え、効率を高めるしくみを導入することが必要であると考えられており、最近特に活発に研究がなされている。各技術における省電力/高効率化の詳細については 3.2 以降で個別に述べる。

3.2 スマートアンテナ

無線デバイスにおいては、キャリア周波数が高くなると、送信機の電力効率が低くなり、電波伝搬損失及び受信機の雑音指数が大きくなるため、高周波電力が消費電力に占める割合が高くなる。高周波帯の電力増幅器の高効率化が検討されているが、ユーザ端末においては一層の飛躍的な高効率化が望まれる。ユーザ端末の無線デバイスの高効率化を達成するための一つの方法として、従来は単に無指向性であったアンテナに指向性を持たせ、さらにそれを適応的に制御することができるアダプティブアンテナ(スマートアンテナとも呼ばれる)を各ユーザ端末に搭載することができれば、必要な電力を格段に節約することができる可能性がある。アダプティブアンテナは無指向性アンテナに比べて利得が高く、少ない高周波電力で効率良く相手端末へ送信が可能であるとともに受信感度も向上するため、二乗の効果がある。アダプティブアンテナは干渉波抑圧機能も有するので同一チャネ

ル干渉が支配的となるようなネットワーク回線の容量を大幅に拡大することもできる。指向性アンテナを用いることによるメディアアクセス制御における性能向上に関する研究については、**3.3**以降で述べる。

従来開発されてきたアダプティブアンテナは、デジタルビーム形成 (Digital Beam Forming, DBF) をベースとしており、これはアンテナ素子数と同数の高周波回路と高速アナログ-デジタル変換回路を必要とし、コストと消費電力の面からユーザ端末に搭載するのは非現実的とされてきた。DBF とは異なる考え方により、アダプティブアンテナの機能を実現するアプローチとして、空間ビーム形成と呼ばれるコンセプトに基づいた「電子走査導波器アレーアンテナ (エスパアンテナ)」(図 1) [7] が開発され、ユーザ端末用アダプティブアンテナの実用化に向けた研究が行われている。

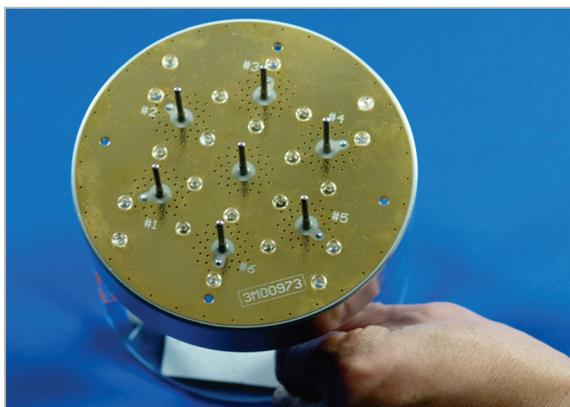


図 1 エスパアンテナ (提供: ATR 波動工学研究所)

3.3 メディアアクセス制御

アドホックネットワークの想定している自律分散環境におけるメディアアクセス制御 (Media Access Control, MAC) については、無線 LAN の標準である IEEE802.11 MAC [8] に採用されている CSMA/CA に基づいた DCF (Distributed Coordination Function) を中心に様々な検討が行われている。**3.2** で述べたとおり、スマートアンテナを用いることにより同時通信可能回線数が増加し、その結果高スループット及び高エネルギー効率を得られることが期待されている。近年、指向性アンテナやスマートアンテナを用

いた MAC プロトコルに関する研究が多数なされており [9] - [13]、いずれの研究においてもその有効性がシミュレーションレベルで示されているが、しかしその一方で、スマートアンテナを用いる場合に新たに生じる問題がある。

第一に、無指向性アンテナを使用する場合と異なり、スマートアンテナを用いる場合にはアンテナビームを通信相手となる端末の方向に向ける必要があるため、どのようにして端末の位置を知るかという問題がある。シミュレーションレベルにおいて端末の位置情報は GPS などの別のメカニズムや上位層のデータにより与えられると仮定することは可能であるが、このようないわゆるクロス層アプローチは、実装の段階において実現性の点で問題が生じることが多い。また、MAC 層での位置問題解決を目指そうとするとプロトコルが複雑化し、オーバーヘッドが増加することにより性能に大きな影響を与えることが考えられる。

第二に、無指向性アンテナを用いた場合の隠れ端末問題はハンドシェイク時に RTS/CTS パケットを導入することにより解決可能であるが、指向性アンテナを用いた場合に新たな隠れ端末問題が生じる可能性がある。これらはアンテナ利得の非対称性及び指向性が向けられていない方向から来る RTS/CTS を受信できないことによって生じる。

第三の問題はいわゆる "deafness" 問題と呼ばれ、アンテナビームが向けられていないため既に行われている通信を受信できない端末が CTS を返さない端末に対し RTS パケットを送り続けてしまうことにより回線を浪費することにより性能低下を引き起こす。

以上のような問題点を克服するのは難しい問題であるが、これらを解決し、実用化するための更なる研究開発が期待される。

また、スマートアンテナを用いる以外の省電力/高効率化を目指したアプローチとして、バッテリー状態を考慮した MAC プロトコル BAMAC (Battery Aware MAC) [14] などの研究が行われている。

さらに、サービス品質 (Quality of Service, QoS) の観点から MAC に関する研究が行われているが、これについては **3.5** で述べる。

3.4 ルーチング

アドホックネットワークにおいて、送信端末-受信端末間の通信経路(ルート)を決定する、いわゆるルーチングは重要な問題の一つである。各ユーザ端末は自分の通信用のパケットを送受するだけでなく、他ユーザのパケットを中継する機能をボランティア的に提供するので、この機能を用いて送信端末からのパケットは必要に応じ多段に中継されて受信端末に到達するが、ルートを構成する各中継端末は移動性を持つため、その移動に伴い無線環境が大きく変動したり、また端末のバッテリー消費により通信不能状態が生じ、通信リンクが切断される可能性がある。このような動的環境に適応し、最適なルートを作成し選択するための様々な方式が提案されている。

ルート作成の手段により、一般的にルーチングプロトコルはリアクティブ型とプロアクティブ型の2種類に大別される。

リアクティブ型プロトコルとは、実際の通信に先立ってルート作成要求を行い、それに応じて生成されたルートを用いて通信を行うためのプロトコルであり、プロアクティブ型プロトコルとは、あらかじめ一定の周期で経路表(ルーチングテーブル)を作成/更新し、それによって通信を行うためのプロトコルである。

アドホックネットワーク用のルーチングプロトコルについて、現時点で IETF MANET WG において Experimental RFC となっているものは以下のとおりである。

- ・ AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector) Routing (RFC3561)
- ・ OLSR (Optimized Link State Routing) Protocol (RFC3626)
- ・ TBRPF (Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding) (RFC3684)

なお、MANET WG では 2005 年に入ってこれまでの憲章を変更し、上記プロトコルを含めたこれまでの成果を用いて以下の二つのルーチングプロトコル仕様を標準化することを目的としている。

- ・ Reactive MANET Protocol (RMP)
- ・ Proactive MANET Protocol (PMP)

AODV や DSR などはリアクティブ型プロト

コルに該当し、OLSR、TBRPF などはプロアクティブ型プロトコルに該当する。

一方、シミュレーションレベルでは上記プロトコルの改良及び新規プロトコルが多数提案され、既存プロトコルとの性能比較がなされている。リアクティブ型プロトコルにおいて、ルート要求やルートメンテナンス情報を各端末に伝達させるフラッディングはトラヒックにおけるルーチングオーバーヘッドの原因の一つであり、これを効率化する研究が従来より行われてきたが、最近では Dominating Set を用いる方法[15]及び Gossiping を用いる方法が提案され[16]、Gossiping を応用したルーチングプロトコルが提案されている[17]。さらに、3.3における MAC の場合と同様にスマートアンテナを使用することにより性能向上を目指したルーチングに関する研究[18][19]、MAC 層からの情報を用いたルーチングに関する研究[20][21]、複数の経路を用いたルーチングに関する研究[19][22]、位置情報を用いたマルチキャストルーチングプロトコルに関する研究[23]などが行われている。これらはアプローチは異なるものの、いずれも性能向上及び省電力/高効率化を目指したものであり、実用化に際してはここでも前述のクロス層アプローチの実現性の問題が存在する。サービス品質の観点からのルーチングに関する研究については 3.5 で述べる。

3.5 サービス品質

アドホックネットワークにおけるサービス品質(Quality of Service、QoS)に関する研究は、評価基準となる QoS パラメータとしてのスループット向上の観点及びビデオ/音声などのリアルタイムトラヒックをブロードキャスト/マルチキャストサービスにより提供するといった観点からのものが主である。ブロードキャスト/マルチキャストサービスの提供を目的とした MAC プロトコルに関する研究[24][25]及びルーチングに関する研究[26]-[28]が行われている。一方、QoS 保証/制御という観点からは、MAC 層において IEEE802.11MAC を拡張し、自律分散制御でかつ優先制御の仕組みを導入することにより QoS 保証/制御を行う IEEE802.11e が提案されており、標準化に向けて活発な活動が行われ[29]、関連研

究も行われている [30]。

また、バッテリー電力、信号強度、帯域幅、遅延などの物理層における QoS パラメータを用いたルーティングに関する研究 [31] や、クロス層アプローチにより QoS 保証を実現する研究 [32] がなされている。さらに、フロー間の公平性の観点からの研究 [33] や、複数の経路を用いたストリーミング方式におけるアプリケーションレベル QoS の評価に関する研究 [34] などが行われている。

3.6 セキュリティ

安心・安全にネットワークを利用するために、セキュリティ技術が必要であることは言を待たない。アドホックネットワークは自律分散という特徴を持ち、中央集権的なサーバを設置することが難しいため、通常のネットワークにおける一般的な認証メカニズムを用いることが難しいという問題がある。これに対し、分散環境における認証を目的とした自律的な公開鍵管理に関する研究が行われており [35] [36]、このような認証スキームなどを用いてルーティングプロトコルのセキュリティを高めるための研究も行われている [37] [38]。また、認証に位置情報を用いるシステムに関する研究 [39]、アドホックネットワークへの悪意を持った侵入の検知に関する研究 [40]、ネットワーク層における秘匿回線についての研究 [41] などが行われている。

3.7 アプリケーション

アドホックネットワークを利用したアプリケーションの観点からの研究開発として、ITS における車車間通信への応用 [42]、有害鳥獣検知警報システムを想定した実験システムの構築などのアプローチがなされている [43]。また、一部ではグループウェアやセンサネットワーク向けの様々な商用化の動きも見られる [44]。しかし、現状ではアドホックネットワークが広く普及する契機となるような魅力あるアプリケーション（いわゆるキラアプリケーション）がいまだ出現していないのが事実であり、この点において今後更なる検討が必要である。

4 非常時における通信へのアドホックネットワークの適用

4.1 アドホックネットワークを利用した非常時における通信に関する研究動向

アドホックネットワークを利用した災害時等の非常時における通信の観点からの研究としては、文部科学省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」において、災害時の情報支援システムに関し、ロバストな通信経路を選択するための手法に関する研究 [45] などが行われている。このほか、災害時に生存している基地局と中継機能を持つ端末から構成される安否確認ネットワークに関する研究 [46] などが行われている。

4.2 情報通信研究機構の取組

衛星等を用いて非常時における通信を確保するための研究は、従来より情報通信研究機構において行われているが、アドホックネットワークを利用した非常時における通信に関しては、他機関と共同で自営無線のための自律分散型マルチホップ通信に関する研究 [48] 及び被災地の状況把握用プラットフォームである、レスキュー用マイクロサーバ間のマルチホップ／アドホック通信に関する研究などを行っている [49]。また、東北大学等と共同で実施している「遠隔ロボットを用いた災害時マルチメディア情報収集技術の研究」において、ロボット間の通信にアドホックネットワークを用いるための検討を行っている。

今後の研究の方向として、非常時のように様々なパラメータが動的かつ劇的に変化する環境においてもユーザにおいては通常と同様、安心して安全に通信が行えることを目指した要素技術の研究開発を行うことが重要であると考えられる。ユーザは通常時になれている通信を非常時においても同様に使えることにより大きな安心感を得ることができる。そのために、2.1 で述べたアドホックネットワークが持つべき特徴、すなわち (a) Zeroconf、(b) 高スケーラビリティ、(c) 高資源利用効率、の実現を目指したアドホックネットワーク構成技術をはじめ、輻輳対策、有無線一体の QoS 保証型通信、自律分散ネットワークにおける認証、通常時にも非常時にも使いやすい通信アプリケーション、などの技術を

研究開発のターゲットとし、推進していくことが必要である。

5 むすび

非常時に利用可能なアドホックネットワークについて、その概要及び要素技術の現状並びに動向、また、我々が進めるべき非常時における通信へのアドホックネットワーク研究の方向などについて述べた。

参考文献

- 1 C.K.Toh, "Wireless ATM and ad-hoc networks", Kluwer Academic Publishers, 1997.
- 2 K.Gyoda, Y.Kado, Y.Ohno, K.Hasuike, and T.Ohira, "WACNet-Wireless ad-hoc community network", Proc.of ISCAS2001, Vol.4, pp.862-865, 2001.
- 3 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", 信学誌, Vol.84, No.2, pp.127-134, 2001.
- 4 山田茂樹, 上岡英史, "ユビキタスコンピューティング; ネットワークとアプリケーション", 信学論(B), Vol.J86-B, No.6, pp.863-875, 2003.
- 5 "第1回アドホックネットワーク・ワークショップ予稿集", 電子情報通信学会アドホックネットワーク時限研究会, 2005.
- 6 "燃料電池の明日", 日経エレクトロニクス, 2004.12.6号, pp.103-129, 2004.
- 7 大平 孝, "エスパアンテナの動作原理とシステム応用", 信学誌, Vol.87, No.12, pp.1061-1064, 2004.
- 8 IEEE802.11, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", IEEE802.11 Std, 1999.
- 9 D.Saha, S.Roy, S.Bandyopadhyay, T.Ueda, and S.Tanaka, "A Network-Aware MAC and Routing Protocol for Effective Load Balancing in Ad Hoc Wireless Networks with Directional Antenna", Proc. of MobiHoc'03, pp.88-97, 2003.
- 10 T.Korakis, G.Jakllari, and L.Tassioulas, "A MAC protocol for full exploitation of Directional Antennas in Ad-hoc Wireless Networks", Proc. of MobiHoc'03, pp.98-107, 2003.
- 11 R.R.Choudhury, X.Yang, R.Ramanathan, and N.Vaidya, "Medium Access Control in Ad Hoc Networks Using Directional Antennas", Proc. of Mobicom2002, 2002.
- 12 A.Arora, M.Krunz, and A.Muqattash, "Directional Medium Access Protocol (DMAP) with Power Control for Wireless Ad Hoc Networks", Proc. of Globecom2004, pp.2797-2801, 2004.
- 13 関戸正規, 高田昌忠, 長島勝城, 萬代雅希, 渡辺尚, "スマートアンテナを用いるアドホックネットワーク MAC プロトコルの性能と改良について", Proc. of DICO2004, pp.477-480, 2004.
- 14 S.Jayashree, B.S.Manoj, and C.S.R.Murthy, "A battery aware medium access control (BAMAC) protocol for ad hoc wireless networks", Proc. of PIMRC 2004, Vol.2, pp995-999, 2004.
- 15 M.Mosko, J.J.Garcia-Luna-Aceves, and C.E.Perkins, "Distribution of route requests using dominating-set neighbor elimination in an on-demand routing protocol", Proc.of GLOBECOM2003, Vol.2, pp.1018-1022, 2003.
- 16 Z.J.Haas, J.Y.Halpern, and L.Li, "Gossip-Based Ad Hoc Routing", Proc. of INFOCOM2002, pp.1707-1716, 2002.
- 17 X.Hou and D.Tipper, "Gossip-based Sleep Protocol (GSP) for Energy Efficient Routing in

- Wireless Ad Hoc Networks", Proc. of WCNC2004, pp.1305-1310, 2004.
- 18 A.K.Saha and D.B. Johnson, "Routing Improvement using Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks", Proc. of GLOBECOM2004, pp.2902-2908, 2004.
 - 19 D.Saha, S.Roy, S.Bandyopadhyay, T.Ueda, and S.Tanaka, "An Adaptive Framework for Multipath Routing via Maximally Zone-Disjoint Shortest Paths in Ad hoc Wireless Networks with Directional Antenna", Proc.of GLOBECOM2003, Vol.1, pp226-230, 2003.
 - 20 X.H.Lin, Y.K.Kwok, and V.K.N.Lau, "On Channel-Adaptive Routing in an IEEE 802.11b Based Ad Hoc Wireless Network", Proc.of GLOBECOM2003, Vol.6, pp.3509-3513, 2003.
 - 21 B.C.Kim, J.Y.Lee, H.S.Lee, and J.S.Ma, "An Ad-hoc Routing Protocol with Minimum Contention Time and Load Balancing", Proc. of GLOBECOM2003, Vol.1, pp.81-85, 2003.
 - 22 Z.Ye, S.V. Krishnamrthy, and S.K.Tripathi, "Effects of Multipath Routing on TCP Performance in Ad Hoc Networks", Proc. of Globecom2004, pp.4125-4131, 2004.
 - 23 A.Mizumoto, H.Yamaguchi, and K.Taniguchi, "Cost-Conscious Geographic Multicast on MANET", Proc. of SECON2004, pp.44-53, Oct. 2004.
 - 24 J.Xie, A.Das, and S.Nandi, "An improvement to the reliability of IEEE 802.11 broadcast scheme for multicasting in mobile ad hoc networks", Proc. of SECON2004, pp.359-366, 2004.
 - 25 宇都宮依子, 萬代雅希, 笹瀬巖, "無線アドホックネットワークにおいて NACK 及び指向性アンテナによるブロードキャストデータ再送信を用いた MAC プロトコル", 信学誌 (B), Vol.J87-B, No.32, pp.144-158, 2004.
 - 26 X.Jia, D.Li, and F.Hung, "Multicast routing with minimum energy cost in ad hoc wireless networks", Proc. of Globecom2004, Vol.5, pp.2897-2901, 2004.
 - 27 M.Maleki and M.Pedram, "LIFETIME-AWARE MULTICAST ROUTING IN WIRELESS AD HOC NETWORKS", Proc. of WCNC2004, pp.1317-1323, 2004.
 - 28 I.Kang and R.Poovendran, "COBRA : Center-Oriented Broadcast Routing Algorithms for Wireless Ad Hoc Networks", Proc. of WCNC2004, pp.813-818, 2004.
 - 29 阪田史郎, "ワイヤレス・ブロードバンド・ユビキタスネットワークと QoS 制御", 信学技報, CQ2004-97, pp.35-40, 2004.
 - 30 C.H.Yeh and T.You, "A QoS MAC Protocol for Differentiated Service in Mobile Ad Hoc Networks", Proc. of ICCP'03, pp.108-117, 2004.
 - 31 S.R.Medidi and K.H.Vik, "Quality of Service-Aware Source-Initiated Ad-hoc Routing", Proc. of SECON2004, pp.108-117, 2004.
 - 32 Y.Yang and R.Kravets, "Distributed QoS Guarantees for Realtime Traffic in Ad Hoc Networks", Proc. of SECON2004, pp118-127, 2004.
 - 33 オユーンチメグ シャグダル, 中川健治, 張 兵, "無線アドホックネットワークにおけるフロー間の公平性の改善", 信学誌 (B), Vol.J88-B, No.3, pp.539-550, 2005.
 - 34 布目敏郎, 田坂修二, "無線アドホックネットワークにおける音声・ビデオマルチパスストリーミング方式のアプリケーションレベル QoS 評価", 2004 年信学ソ大, B-5-123, 2004.
 - 35 S.Capkun, L.Buttyan, and J.P.Hubaux, "Self-Organized Public-Key Management for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol.2, No.1, 2003.
 - 36 O.M.Erdem, "Efficient Self-Organized Key Management for Mobile Ad Hoc Networks", Proc. of GLOBECOM2004, Vol.4, pp.2185-2190, 2004
 - 37 M.Guerrero, "Secure Ad hoc On-demand Distance Vector (SAODV) Routing", INTERNET-DRAFT draft-guerrero-manet-saodv-02.txt, 2004.
 - 38 Y.C.Hu, A.Perrig, and D.B.Johnson, "Ariadne: A Secure On-Demand Routing Protocol for Ad

- Hoc Networks", Proc. of Mobicom'02, 2002.
- 39 R.A.Malaney, "A Location Enabled Wireless Security System", Proc. of GLOBECOM2004, Vol.4, pp.2196-2200, 2004.
- 40 D.Subhadrabandhu, S.Sarkar, and F.Anjum, "Efficacy of Misuse Detection in Adhoc Networks", Proc. of SECON2004, pp.97-107, 2004.
- 41 S.Li and A.Ephremides, "A Network Layer Covert Channel in Ad-hoc Wireless Networks", Proc. of SECON2004, pp.88-96, 2004.
- 42 徳田清仁, "アドホックネットワークの車々間通信応用", アドホックネットワーク・コンソーシアム設立記念シンポジウム予稿集, pp.129-133, 2004.
- 43 "アドホックネットワークの活用に関する調査研究報告書", 総務省信越総合通信局, 2004.
- 44 小菅昌克, 板谷聡子, Peter Davis, 梅田英和, "アドホックネットワークが開く新しい世界(後編)", 情報処理, Vol.44, No.11, pp.1160-63, 2003.
- 45 篠田孝祐, 野田五十樹, 太田正幸, "ロバストな通信経路選択による災害時情報支援システム", Proc. of DICOMO2002, 2002.
- 46 織田将人, 上原秀幸, 横山光雄, 伊藤大雄, "端末の packets 中継機能を用いた安否確認ネットワークの検討", 信学論(B), Vol.J85-B, No.12, pp.2037-2044, 2002.
- 47 児島史秀, 菅田明則, 藤瀬雅行, 大山 卓, 清水 聡, 徳田清仁, "自営無線のための自律分散型マルチホップ端末の開発", 2004 年信学総大, B-5-261, 2004.
- 48 滝澤修, "ユビキタス通信技術の減災応用研究", 情報通信研究機構季報「情報セキュリティ特集」, 2005.



ぎょうだ こういち
行田弘一

情報通信部門セキュアネットワークグループ主任研究員 博士(工学)
アドホックネットワーク