

アドホックネットワーク技術への取組み

Introduction of Applications and Activities for Ad-hoc Networks

あらまし

「いつでも」、「どこでも」で表現されるユビキタスコンピューティングは、「いつでも」、「どこでも」、「意識せず」につながることでできるネットワークインフラが存在して成立するものである。その夢のようなネットワークは、今後、様々な技術により実現されると考えられている。富士通は、その技術の一つになると考えるアドホックネットワーク（Ad-hoc Network）技術へ取り組んでいる。本技術は、新社会インフラ（基本通信網）としての活用や、センサネットワークインフラ、災害現場での臨時的ネットワーク構築、ITS領域での車々間通信などへの応用が期待されている。

本稿では、アドホックネットワークに求められる要件と、富士通の本技術への取組み、および適用事例を紹介する。

Abstract

Ubiquitous computing that can be performed anywhere and anytime is based on network infrastructures that people can use anytime and anywhere without any awareness of said use. Ideal networks for ubiquitous computing will be realized through several technologies in the near future. Among these promising technologies, ad-hoc network technology is expected to provide a new social infrastructure in public telecommunications, sensor networks, temporary networks for disaster areas, and inter-vehicle communications in the intelligent transport systems (ITS). Therefore, the ad-hoc network technology is important for realizing a ubiquitous society. This paper describes the requirements for ad-hoc networks and introduces activities and applications of ad-hoc networks at Fujitsu.



野村浩司
（のむら こうじ）

ユビキタスソリューション部 所属
現在、センサネットワーク開発に従事。



岩尾忠重
（いわお ただしげ）

ユビキタスソリューション部 所属
現在、センサネットワーク開発に従事。



細川武司
（ほそかわ たけし）

ユビキタスソリューション部 所属
現在、センサネットワーク開発に従事。



山田健二
（やまだ けんじ）

富士通九州ネットワークテクノロジーズ(株) 第四開発部 所属
現在、センサネットワーク開発に従事。

まえがき

近年、ユビキタス（遍在）社会と言われるように、生活の隅々までネットワークやコンピュータが存在するようになりつつある。こうした中、ITをより意識することなく活用し、現実の社会へ適用するには、社会科学を踏まえた広い視野、およびそれを実現するための技術が必要になっている。例えば、携帯電話の普及は、料金の廉価だけでなく、どこでも簡単に接続でき、コミュニケーションが実現できるといった便利さが大きな要因として挙げられる。しかし、このようなどこでもつながるネットワークを形成するには、膨大なインフラ設備と費用、時間が課題となる。富士通は、この課題を解決するには、アドホックネットワーク技術の確立が一つの策と考え、その開発に取り組んでいる。

本稿では、まずアドホックネットワークについて技術的な概要を述べ、つぎに富士通としての製品化への取組み、およびその事例について述べる。最後に今後の展望について述べる。

アドホックネットワークとは

アドホックネットワークとは、「特別に」、「その場に限り」といった意味をもつラテン語からきたアドホック（ad-hoc）と、ネットワークインフラを組み合わせた言葉である。アドホックネットワークは、パソコン、PDA、携帯電話といった無線で接続できる端末のみで構成されたネットワーク形態のことで、必要に応じてダイナミックなネットワークシステムの構成が可能である。従来のインターネットや企業内システムのネットワークのように、詳細なネットワーク設計を実施した後、構築するネットワークと性質が異なっている。このアドホックネットワークを実現することにより、利便性が向上し、インフラ敷設コストを削減するネットワークインフラを構築することができる。また、ネットワーク装置間で自律的に最適な通信網を検出し、動的にネットワークを再構成することにより、常に最適な環境でのネットワークインフラを構築することが可能となる。さらに、各装置がデータを中継する構成も可能であり、装置間をリレー方式で接続することにより、これまで線のつながりであったネットワークを面でつなぐことが可能となった。例えば、

災害時に、不通となってしまった地域にアドホックネットワークを構築することにより、柔軟かつ迅速に通信インフラを確保するといったことなどが可能である。

アドホックネットワークは、各研究所やメーカーで標準化が進められている。現在、大きく分類すると、Proactive方式、Reactive方式、Hybrid方式に分類され、富士通では、Reactive方式を推進している¹⁾。また、アドホックネットワークの問題点である電波を複数のノードの共有による弊害（通信フレームの衝突によるスループット低下問題や帯域幅の半減問題）や、環境ノイズがネットワーク性能にクリティカルに影響する問題などを解決するために、次章で述べるような方式を適用している。

アドホックネットワークへの要件

アドホックネットワークは、動的にノードが追加、削除されても通信を継続することができる。このノードは、目的ノードにデータを送るのに適切な隣接ノードを選択し、受信データの転送を繰り返す。この結果、いくつかのノードを経由してデータを転送することが一つの特徴である。ノードは、目的ノードへの経路を作成し、データを転送する能力を持つ自律的な挙動を行える通信モジュールである。アドホックネットワークでは、ユーザが容易にセンサノードを配備するのを可能にする。

アドホックネットワークでは、以下の機能が重要である。

- (1) 経路の発見：二つのノードの間の適切な通信経路を見つけることである。
- (2) データ転送：ノードがデータをほかのノードにどのように転送するかということである。
- (3) リンクの維持：ノードがルーティング経路の隣接ノードと通信可能であるかどうかをチェックすることである。隣接ノードが交信することができないなら、ノードは別ルートを見つける必要がある。

これらの機能の関係を図-1に示す。

通信ノードは、目標ノードへの経路を見つける必要がある。経路の発見により、ノードは目標ノードに送り届けるための隣接ノードを知ることができる。ノードは、隣接ノードが利用可能である間、データを隣接ノードに送ることによって、データを目標

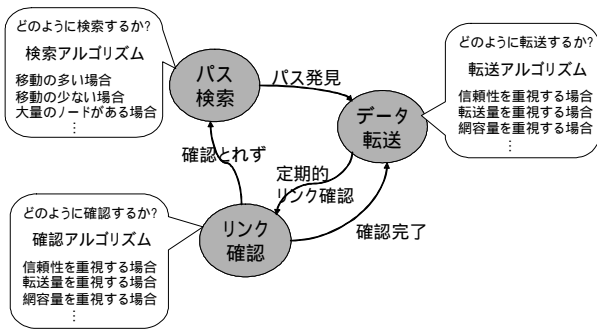


図-1 アドホックネットワークの機能の関係
Fig.1-Relationship among basic functions in ad-hoc networks.

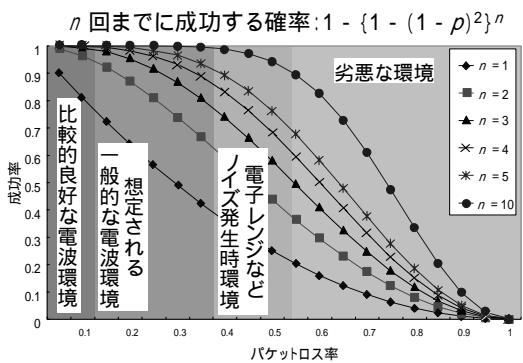
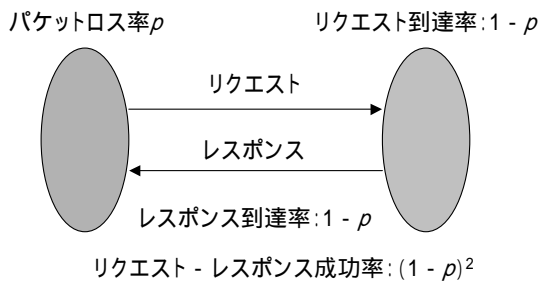


図-2 リトライ回数と成功率の関係
Fig.2-Relationship between retry counts and success rate.

ノードに送ることができる。ノードは、隣接ノードの移動や機能不全が起こることも考慮し、隣接ノードが利用可能であるかどうかチェックする必要がある。隣接ノードが利用不能であることを検出したとき、ノードは別の経路を見つける必要がある。この後に、ノードは同じルーチンを繰り返す。

このリンクの維持を実施するに当たり、確認のためのリクエストを発行する。このときのリクエストのリトライ回数における到達率の関係を様々な電波環境において示したものを図-2に示す。

この図から、劣悪な電波環境下においてもリトラ

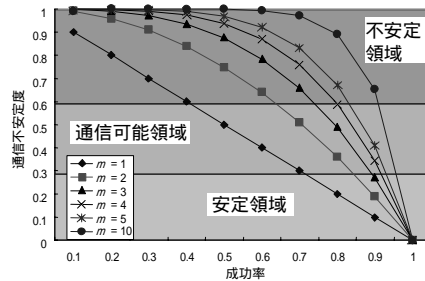
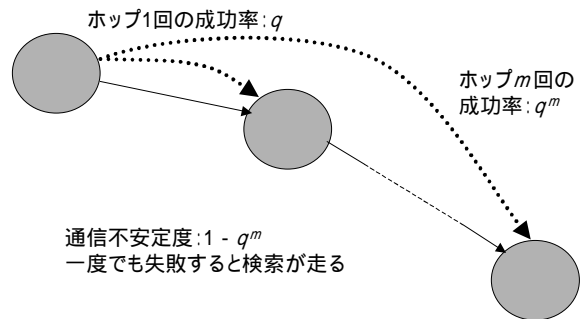


図-3 ネットワークの安定度とホップ数の関係
Fig.3-Relationship between numbers of hops and network stable rate.

イ回数を増加させることにより成功率が維持できることが分かる。

一方、最終の目的ノードへ到達するまでに複数のノードを経由する必要がある。このときに経路するノードの数(ホップ数)とネットワークの安定度の関係を様々な電波環境において示したものが図-3である。

ホップ数が増えるほど、あらゆる電波環境下において不安定な状況が続くことが分かる。この二つの図から分かるように、アドホックネットワークの利点を活用するような適正值を見出す必要がある。しかし適正值は、様々な環境下で随時変化するものであり、今後、環境に合わせた学習機能などが必要となると考えられる。また、ネットワークを全体的な視点で考えると、各ノードがうまく動作しているように見えても、ネットワークとして動作していないのでは意味がない。ネットワークのトラフィックが許容量を超えても、アドホックネットワークは安定しているべきである。個々のノードの状態コントロールと機能がネットワーク全体の振舞いを決めてしまう。例えば、複数のノードが一つのメディアを共有しているため、多くのノードがパス検索を始めると、容易に通信不能となる。したがって、これらのアルゴリズムには、ネットワーク閉鎖を防ぐ機

能が必要となる。

製品化への取組み

富士通におけるアドホックネットワーク装置の製品化へ向けた取組みを二つ紹介する。

(1) 無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置

アドホックネットワークの活用として、富士通では「無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置」(図-4)の開発に取り組んでいる。アドホックネットワークのアプリケーションの一つとして、アクティブ型のRFIDリーダと組み合わせることで、位置検出ソリューションを提供可能となり、人や物にアクティブ型のRFIDタグを持たせ、その所在や動線情報を把握することが実現可能となった。

従来から利用されている、13.56 MHz帯のRFIDタグでは、能動的にRFIDタグをリーダに近づけるなどの行為が必要であったが、アクティブ型のタグを利用することで自動的に検知することが可能となる。また、リーダで検知した情報も、無線のアドホックネットワークインフラで送信することで、従来のようにリーダの設置位置を限定しなければならないなどのデメリットが解消された。

(2) マルチリンク・マルチレイヤ型無線アドホックネットワーク

アドホックネットワークは、従来のネットワーク領域などへの活用の期待が高まってきている。前述の無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置

は、アクティブ型のタグのデータを転送する程度の転送能力があれば十分であるため、無線通信速度は低速(160 kbps程度)であり、プロトコルも独自のものを使っている。しかし、従来のネットワーク領域へ適用する場合、標準化されたプロトコルと通信規格、および高速データ通信の実現が必至となる。その課題への解決の取組みとして、富士通では、マルチリンク・マルチレイヤ型無線アドホック技術を開発した。本技術は、複数の通信パスと、複数の周波数大域の無線ネットワークを活用することで、安定・高速かつ高品質な通信を実現できるものである。具体的には、IEEE802.11a規格の無線通信モジュール(5.2 GHz帯)とIEEE802.11g規格の無線通信モジュール(2.4 GHz帯)の二つの周波数帯域の異なるレイヤを同時に利用し、二つの通信パスを確保することで実現した。本技術を使うことで、干渉に弱いとされる家庭の電子レンジ利用環境においても、UDP(User Datagram Protocol)のビデオストリーミングデータ(12 Mbps程度)を、全く劣化させないで無線通信で再生させることができる。

本技術は今後、安定・高品質が求められるクリティカルな業務領域への適用を検討する予定である。

適用事例紹介(実証実験を例に)

前述した取組みの一環として実施した実証実験をいくつか紹介する。

(1) 富士通事務所内における位置管理実験

本実証実験では、富士通事務所内における従業員の所在把握の検証を実施した。複数箇所に無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置を配置し、従業員の動線把握や、所在把握を実施した。本実験では、富士通事務所の1, 3, 5階の各フロアに装置を設置したが、すべてのネットワークを設置、構成するまでわずか20分程度であった。また、本装置のメリットである配線の敷設不要による作業コスト削減が実証された。

(2) アミューズメントパークにおける情報提供サービス

アミューズメントパーク内の各アトラクションポイントに無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置を設置し、来場者にアクティブ型RFIDタグを配布し、アミューズメントパーク内において、各種アトラクションの案内や、待ち時間情報、子ど



図-4 無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置
Fig.4-Active RFID reader using wireless ad-hoc technology.

もや友人，知人の所在場所確認を実施した。事前に登録された携帯電話のメールに自分の欲しい情報の分類を登録しておくことにより，タイムリな情報を受信したり，自分の欲しい情報をオンデマンドで取得したりすることができる。

(3) 地元商店街に根付いたサービスの提供

個々の商店が，観光客や一般客に対して，特売品やセール情報をリアルタイムに通知する。

商店街一帯に20台程度の無線アドホックネットワーク対応RFIDリーダ装置を設置し，アクティブ型RFIDタグを配布された観光客など約100名が買い物を楽しむ。趣味・嗜好や，欲しい情報（お土産リストなど）を事前に登録しておくことにより，関連するお店が近づいたときに，メールなどにより特売品情報や，サービス情報の提供を実施する。これによって，利用者は買い忘れや，お得な情報を逃がすことなくショッピングを楽しむことが可能となる。

(4) 百貨店における匿名型CRMへの適用

これまでお店側のメリットが高かったタグの活用をボタン付型のアクティブRFIDタグを顧客側にも提供することで，以下のように顧客満足度の向上を実現した。

百貨店側は，優良顧客の来店や，所在地をリアルタイムに確認でき，販売機会の損失をなくすことが可能となる。また，動線の把握により，顧客の趣味や，人気のあるショップなどの把握もでき，今後の店舗のリニューアルなどの情報を得ることができる。

一方，顧客は，必要なときだけボタンを押すだけで，おなじみの販売員を呼出したり，欲しい情報を欲しいときに要求したりできる。必要以上の接客を受けることがなく，ショッピングを楽しむことができる。このような匿名型サービスを実施することで，顧客満足度の向上と販売力の向上が期待されている。

今後求められる要件と期待される領域

アドホックネットワークへの期待は，前章で述べたような実証実験などの実施を経て高まっている。しかし，市場においてはまだ，様々な期待（メリット）と不安（デメリット）を天秤にかけ状況を見守っている感もある。例えば，市場における位置検

知システムへの認識も課題であると考ええる。従来からSFA（Sales Force Automaiton）のような作業日報や，作業報告の仕組みにおいても，システム価値を費用対効果で試算される前に，従業員，社員を管理する仕組みとして判断される風潮にあると受け止めている。すなわち，プライバシーやセキュリティに関する解決も同時に取り組む必要があると認識している。アクティブ型RFIDタグを利用することで，利用者に意識させないで情報が取得できる反面，意識していないうちに情報を取得されていたなどといった，ネガティブな要素もクローズアップされている。そのような問題に対し，暗号化や，通信秘匿といった技術にも取り組んでいる。

また，タグそのものの価格の問題もある。現在，アクティブ型RFIDタグは，数千円の価格になっており，個品の管理などには費用面でのメリットが出ず，実証実験の枠を越えた実市場での利活用面においてハードルが高くなっている。

む す び

本稿では，アドホックネットワークについて技術的な解説，製品化への取組みとその事例，今後の展望について述べた。

本格的なユビキタス社会が到来すると，モノや場所に埋め込まれた無数のセンサ類から検知される情報を収集し，蓄積・解析するネットワークインフラが必要となる。従来のインフラ設備だけでは様々な問題で限界を迎えると想定される。そのため，現行のインフラとアドホックネットワークのような新しいインフラをうまく組み合わせたハイブリットネットワークが新社会基盤インフラとして必須となり，今後のユビキタス社会を支えていくネットワークインフラとなると考えている。

参考文献

- (1) T. Iwao et al. : Autonomous Access Control among Nodes in Sensor Networks with Security Policies . *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology* , Vol.52 , Nos.1/2 p.203-211 (2005) .