

早稲田大学大学院国際情報通信研究科

博士論文概要

論文題目

マルチホップワイヤレスネットワークにおける
アクセス方式に関する研究

Studies on Access Methods for Multi-hop Wireless
Networks

申請者

Yukiko	Nasu
那須	有希子

国際情報通信学専攻・情報通信システム分野
無線・衛星通信研究Ⅱ

2010年2月

現在、主に用いられている無線通信システムは、基地局などのインフラに依存しているため、無線端末の通信可能エリアは基地局がカバーするエリアのみと制約されてしまう。そのため、インフラが機能しなくなると、通信が不可能となる。本論文ではこのような課題を解決するため、MANET で提案されているマルチホップワイヤレスネットワークを無線通信へ適宜応用するモデルを考案した。マルチホップネットワークを用いれば端末がルーターの役割を果たし自律分散的にネットワークを構築できるので、インフラレスな通信が可能となる。本提案により、より快適な無線通信ネットワークの構築が可能となる。

本論文ではまず、「マルチホップモバイル通信モデル」を提案した。本モデルは既存のモバイル通信方式であるセルラ方式を利用し通話する前提のもと、圏外端末はマルチホップネットワークを利用して、圏内端末-圏外端末間通信にマルチホップネットワークを構築して通話を行う。圏外端末は近くの端末を中継端末とし、圏内端末までのネットワークを構築することで、基地局との通常通りの通信を可能とする。

マルチホップネットワークをモバイル通信へ適用する際の課題として、端末が逐次移動するモバイル環境でのルーチング方式の確立がある。まず本研究ではルーチング方式として移動に適した AODV を基底とした「AODV 適用型モデル」を提案した。提案モデルにより既存の基地局のカバーエリア拡大が図れるが、ルーチング時に制御パケットをフラグディングするため、パケットの衝突、トラヒック増加などの問題が生じる。

問題を解決するため、ルーチングを行う際のアクセス方式に論点をおき、通信品質を考慮した柔軟なネットワークの構築を目指した。AODV 方式はルート構築の際に、制御パケットをブロードキャスト転送するため、制御パケットが急増し非常に効率が悪い。本論文では制御パケット削減と中継端末の負担減を目的とするため、制御パケットをユニキャスト送信するユニキャスト方式を提案した。ユニキャスト送信先となる転送依頼端末の選択方法として「バーチャルマップモデル」と「圏外経過時間考慮モデル」を提案した。

バーチャルマップモデルとは、端末が無線通信を行った際の送受信電力レベルを距離のパラメータへ変換しバーチャルマップ作成し、近くにある端末同士をグルーピングして、そのグループの中から1端末を転送依頼端末に決定するモデルである。グループから1端末を選択する方法として、端末間の送受信電力レベルが任意に定める推奨 E_b/N_0 値に近い端末を選択する方法も提案した。呼発生端末ないし中継端末からある一定の距離だけ離れた端末を優先的に中継端末として選択することで、ネットワーク接続時間を長くするルートの確立が可能となる。

圏外経過時間考慮モデルは、基地局のカバーエリアに最も近いと推測される端末を転送依頼端末に決定するモデルである。圏外にいる時間が短い端末がカバーエリアに近いと推測し、転送依頼端末に選択することでネットワークの早期発見が実現できる。

バーチャルマップモデルと圏外経過時間考慮モデルとを、既存の方式を適用した AODV 適用型モデルと比較評価した結果、ユニキャスト方式による制御パケットの送信抑制により、パケット衝突問題が改善され、端末負荷も軽減できることが証明された。本論文ではそれぞれのモデルに適した通信場面についての考察結果も述べた。

また、他の無線通信分野へのマルチホップネットワーク適用についても検討を行った。無線通信は使用する周波数によりその性質が異なり、通信のスケールもさまざまであるため、その使用用途も異なる。アンテナの長さも周波数により変化するためモビリティ性も制限される。いくつかの無線通信形態において、マルチホップを利用する総括的なネットワークの構築を目指し、その適応範囲について検討した。本論文では、家庭用固定無線端末と HF 帯（短波帯）通信に着目し、マルチホップネットワークを効果的に適用する新たな通信モデルを提案した。

はじめに各家庭にある無線通信の固定端末間の通信においてマルチホップネットワークを構築する通信システムとして「家庭用固定無線端末によるマルチホップ通信モデル」を提案した。メトロポリタンエリア内通話では交換局を介さず端末同士がインフラフリーに通話するため無料通信サービスが実現でき、非常時用の通信としても役立つ。

次に大規模な災害の影響により既存の通信インフラが使用不可能になった際、簡易で即座にネットワーク構築ができる「HF 帯を用いた広域マルチホップ通信モデル」を提案した。これは、緊急時に被害エリアで即時的にアンテナ局を設置しネットワークを構築するモデルである。安価な通信を実現し、広域エリアを網羅するため HF 帯アンテナにはフェーズドアレイアンテナを適用した。本モデルにより、緊急時に配置される被害エリアにあるすべての局間で被害状況等の情報パケットを送受信できる。

以下に本論文の構成を示す。

第1章は序論であり、研究の背景と目的、及び論文の構成について述べる。マルチホップネットワークを適用する無線通信分野としてモバイル通信について焦点をおき、ルーチング時のアクセス方式の課題を示し、解決方法として「ユニキャスト方式」を提案した。また、家庭用固定無線端末通信、HF 帯通信へマルチホップを用いる意図を述べた。

第2章では新しい技術として MANET で提案されているマルチホップワイヤレスネットワークの具体的な概要を述べた。また、フラッドイングをベースとした既存のルーチング方式である AODV などのアルゴリズムを詳しく説明し、フラッドイングによる制御パケットの衝突や大量流出、中継端末の負担増加といった、マルチホップ特有の課題を示した。

第3章はモバイル通信へマルチホップネットワークを導入した「マルチホップモバイル通信モデル」のアクセス方式について検討した結果を述べた。マルチホップネットワークのルーチング方式として既存の AODV を用いた「AODV 適用型モデル」を提案し、計算機シミュレーションにより性能評価することで、その利点と問題点を示した。また圈内端末が中継端末として複数端末存在する場合の中継端末決定方法として「基地局下り受信電力を考慮した圈内端末決定モデル」を提案しその有効性を示した。最終的に、AODV 適用型モデルの問題解決策として、ユニキャスト方式を提案し、適切なユニキャスト先となる端末の選択方法について考察し結論を導いた。

第4章ではマルチホップモバイル通信のアクセス方式に、ユニキャスト方式を適用した「バーチャルマップモデル」を提案した。このモデルは 360° あらゆる方向へ制御パケットを送信することを目的としており、近隣端末や近隣端末同士の位置情報をもとに転送依

頼端末を決定し制御パケットをユニキャスト送信するモデルである。またマルチホップネットワークを構築した後、通話時間が長くなるといった QoS のパフォーマンスにおいても改善されるよう、更なるモデルの最適化も検討した。まず本モデルに適したパラメータの推奨値算出を図った。次にバーチャルマップモデルを AODV 適用型モデルと比較するためシミュレーションにより性能評価した結果、QoS 制御ができ性能が向上することを示した。

第 5 章では、ユニキャスト先の端末を決定する方法として、即座にネットワークを構築することを目的とした「圏外経過時間考慮モデル」を提案した。これにより、圏内端末を早期に発見でき、ネットワークの早期構築が可能となる。圏外経過時間考慮モデルを計算機シミュレーションにより性能評価し、AODV 適用型モデルとの性能を多角的に比較検討した結果、端末負担を軽減し、早期にネットワークを構築できることを示した。

第 6 章では各家庭にある家庭用無線端末にマルチホップネットワークを適用する「家庭用固定無線端末を用いたマルチホップ通信モデル」を提案した。本提案モデルの適用範囲としてメトロポリタンエリアを想定し、メトロポリタンエリア内の通信にはマルチホップネットワークを用い、それ以外へは通常通り既存の交換局を用いた通信を行う。本モデルの呼損率について理論解析により理論式を導き、計算機シミュレーションとあわせた評価を行うことで、理論式とシミュレーションの整合性を示した。また、提案モデルをシミュレーションにより評価することで強制切断率と呼損率との関係を明らかとし、家庭用無線端末の通信可能距離の違いが強制切断率に与える影響についても言及した。

第 7 章では、災害時においてマルチホップネットワーク通信を導入する「広域 HF 帯マルチホップ通信モデル」を提案した。HF 帯の性質である電離層反射波を効果的に用いることで広域通信を可能とし通信の拡張性を高めた。ただし、電離層反射波の通信特性は一定とは限らず、スキップゾーンが生じるといった課題があるため、この問題解決法を検討した。まずスキップゾーンを縮小させるためにフェーズドアレーアンテナ適用を提案した。フェーズドアレーアンテナは電波の送受信時に高利得を得ることができ、電離層反射波の通信距離を変動させることが可能となる。フェーズドアレーアンテナの仰角制御を行えばスキップゾーンは縮小するが、完全になくすことは困難である。そこでマルチホップネットワークを導入することでスキップゾーンの補完を図った。更にマルチホップ特有の問題であるフラディングによるパケット衝突増加を回避するために、パケット受信電力をもとに転送タイミングを制御する「送信タイミング選択方式」を導入した。本章では、フェーズドアレーアンテナの仰角を変化させた場合における電波の伝搬特性を実験により測定し、測定結果をもとに本モデルを計算機シミュレーションにより評価した。その結果、局の負担が軽減し、転送抑制によりパケットロスを削減できることを証明した。

第 8 章では結論として本論文の研究成果と今後の課題を述べた。本論文では最終的に、無線通信ネットワーク技術とマルチホップネットワークとを効果的に融合させることで、あらゆる通信スケールに対応し、かつ、モビリティ性をも網羅したグローバルネットワークの構築が期待できることも示唆した。