

氏名（本籍）	たけうち まりお 竹内 麻利央（大阪府）
学位の種類	博士（情報工学）
学位記番号	甲第 101 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 22 日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第 31 条第 2 項及び学位規程第 3 条第 2 項の規定による
学位論文題目	A Study of Routing Protocols for Assurance in Mobile Ad Hoc Networks （モバイルアドホックネットワークにおけるアシュアランスなルーティングプロトコルに関する研究）
論文審査委員	主 査 教 授 角 田 良 明 副 査 教 授 石 田 賢 治 副 査 准教授 舟 阪 淳 一 副 査 准教授 大 田 知 行

## 論文内容の要旨

モバイルアドホックネットワーク(MANET)は有線リンクや基地局などの固定インフラを必要としない、自律分散ネットワークである。MANET はルーティング機能を備えたモバイル端末(ノード)と無線リンクで構成される。あるノードが他のノードと直接通信できない場合でも、中間にあるノードを経由することで通信できる。MANET ではノードが移動するため、トポロジが頻繁に変化する。そのため経路切断が頻繁に起こるので、ルーティングプロトコルは経路を維持し、データを転送しなければならない。

アシュアランスネットワークは新世代の信頼性の高い“モノのインターネット”を実現するために設計されるネットワークである。アシュアランスネットワークは、次のような場合にもタイムリーなサービスを提供できるネットワークと定義される。(1) ネットワークサイズが変化したとき(スケーラビリティ)、(2) ネットワークの要求・環境が動的に変化したとき(ダイナミシティ)、(3) サイバー攻撃が起こったとき(セキュリティ)(4) 故障が起こったとき(フォールトトレランス)。

大規模 MANET でアシュアランスネットワークを構築するには多くの課題があるが、本論文では上述のアシュアランスネットワークの課題のうちダイナミシティ、フォールトトレランス、スケーラビリティの3つの課題に MANET ルーティングプロトコルの観点から取り組み3つのルーティングプロトコルを提案する。

第 2 章ではダイナミシティの課題に取り組む。ネットワーク状態が動的に変化する時にもタイムリーにサービスを提供するためには、送信元ノードへのネットワーク状態の通知が必要になると考えられるので、ダイナミシティを満たすためには双方向通信が必要になる。送信元ノードから宛先ノードへのデータパケットと、宛先ノードから送信元ノードへの応答パケットが、同一の経路で配送される場合、データパケットと応答パケットが衝突し、ネットワークのパフ

パフォーマンスが低下することが考えられる。第 2 章ではこの問題に取り組み、パケットの衝突の軽減を目指したルーティングプロトコルを提案する。データパケットと応答パケットの衝突を軽減するためには複数の経路を用いて、データパケットと応答パケットの別の経路で配送することが有効であると考えられるが、大規模 MANET において送信元ノード・宛先ノード間で複数の経路を構築・維持するには大量の制御パケットが必要になる。提案法では、送信元ノードと宛先ノード間を複数のエリアに分割し、分割されたエリア中で経路を 2 本構築・維持する。それぞれのエリアの部分経路は連結され、送信元ノード・宛先ノード間で見ると、2 本の別の経路となる。そのうち一方はデータパケットに用いられ、他方は応答パケットに用いられる。経路分割により制御パケットの増加を抑制しつつ、2 本の経路を用いてデータパケットと応答パケットの衝突の軽減を目指す。シミュレーションにより提案法がパケットの衝突を軽減し、大規模 MANET における双方向通信で高いスループットで通信できることを確認した。

第 3 章ではフォールトトレランスの課題に取り組む。MANET のノードはバッテリーで駆動する。経路上のノードのバッテリーが枯渇した場合、経路修復が完了するまでデータを配送できないため、スループットが低下することが考えられる。ネットワークの規模が大きくなると経路長が長くなるため、この問題が起こる可能性が高くなる。Route-split routing (RSR) は経路故障を素早く修復でき、大規模 MANET で高いスループットで通信できるルーティングプロトコルである。しかし、SMN (Sub-route management node) と呼ばれる、経路維持に重要な役割を持つノードがバッテリー枯渇などにより通信不能になった場合、RSR は経路修復に時間がかかり、スループットが低下する。第 3 章では、経路上のノードがバッテリー枯渇した場合にもタイムリーなサービスを提供するための、RSR をベースにしたバッテリー枯渇への耐性を改善したルーティングプロトコルを提案する。提案法では、SMN の初期設定の際に、バッテリー残量が十分なノードが選ばれる。また、SMN のバッテリー残量が少なくなった場合には、動的に SMN の役割を他のノードに委譲し、SMN のバッテリー枯渇を防ぐ。シミュレーションにより、ノードのバッテリー枯渇がある大規模 MANET で、提案法は高スループットを維持でき、スループットが下がった場合にも早く回復できることを確かめた。

第 4 章ではスケーラビリティの課題に取り組む。大規模 MANET ではノードは均一な密度では分布せず、建物の中など、あるエリアに密集して分布すると考えられる。多くのリアクティブ型のルーティングプロトコルは経路探索にフラッディングを用いるが、ノード密度の高いエリアでフラッディングをすると輻輳・パケット衝突によりスループットが低下すると考えられる。この問題を回避するため、第 4 章では追加の制御パケットを用いずに各ノードが周辺のノード密度を推定し、推定したノード密度を用いて、フラッディングの packets を転送するかどうかを動的に決めるルーティングプロトコルを提案する。シミュレーションにより提案法がこの問題を回避でき、不均一なノード密度の大規模 MANET において高いスループットで通信できることを確認した。

最後に第 5 章で論文のまとめを述べる。

## 論文審査の結果の要旨

平成25年2月1日午後3時00分から4時45分まで博士学位論文発表会を開催した。申請者が論文内容について説明を行い、その後、論文内容および専門知識に関する質疑応答を行った。

本論文では、送信元ノードと宛先ノードの間の経路上に一定間隔のホップ数毎に管理ノードを設置し、ノードの移動に起因する経路上のリンク切断が発生した場合、管理ノード間の経路を局所的に修復するルーティングRSR (Route-Split Routing)を対象として、アシュアランスネットワークで定義されるスケーラビリティ、ダイナミシティ、フォールトトレランスの性質を満たす、モバイルアドホックネットワーク(MANET)向けのルーティングプロトコルを提案している。

第1章では、本研究の背景、目的、構成を述べている。第2章では、管理ノード間の経路をデータパケットを転送する経路と応答パケットを転送する経路に分けて構築・維持することにより、データパケットと応答パケットの衝突を回避する方法を提案している。提案法はデータ転送が動的に要求されるネットワークにおいてパケットの衝突を回避しスループットを向上させるものである。第3章では、管理ノードのバッテリー枯渇に起因する故障による管理ノード間の経路修復の遅延を回避する方法を提案している。提案法は経路の初期設定時にバッテリー残量の十分なノードを管理ノードとして選び、バッテリー残量が少なくなったら管理ノードを他のノードに委譲することによりスループットの低下を防ぐものである。第4章では、不均一にノードが分布している大規模ネットワークにおいて経路探索のためのフラッディングの頻度を制御する方法を提案している。提案法は周辺のノード密度を推定し、フラッディング時の制御パケットの転送間隔を調節している。最後に第5章で結論を述べている。

提案されたルーティングプロトコルは、ルーティングRSRの特徴を活かしてアシュアランスネットワークの性質のいずれかを満たすMANETルーティングを実現した、新規性、有効性とも高い方法である。上述した研究成果は、国内外の論文誌2編、査読付国際会議5編等に公表済みあるいは公表予定である。以上により、論文審査は合格と判定した。