

審査の結果の要旨

氏名 藤田 祥

本論文は、「透過的モバイルネットワークシステムのアーキテクチャに関する研究（英訳：ATMOS: Architecture for Transparent Mobile Networking Systems）」と題して、モバイルネットワーク上の分散システムの構築と運用の課題を解決する新しいネットワークアーキテクチャについての提案と評価を行なったものであって、全体で9章からなる。

将来のインターネットでは、アプリケーションが頼れる一貫したインターフェースがなく、結果として、アプリケーションをモバイルネットワークへの対応させるための負担が増え、本来取り組むべき問題に割かれる時間が減るなどの問題が起きている。本論文では、このモバイルネットワークに関する問題点を分析し、その問題点を系統的に解決する、透過型モバイルネットワークシステムのアーキテクチャ(ATMOS)を提案する。

第1章は「序論」、第2章は「従来ネットワークのモデル化」、第3章は「モバイルネットワークのモデル化」と題し、モバイルネットワークが登場する背景と従来ネットワークとの差異について述べている。Web、メール、その他のインターネット上のサービスは、我々の日々の生活における問題解決にも欠かせないツールとして定着している。そして、これらのツールをどこでも、いつでも利用するために、インターネットのカバレッジに対する要求が高まっている。カバレッジを向上させる手段の中でも 1)複数のアクセスネットワークを使い分けるモバイルホスト、2)IP リンクモデルに適合しないアドホックリンクは一般的になると考えられる。本論文では、2)によってつながるホスト集合を無線オーバーレイネットワークと呼び、現実のインターネットに広がりつつある 3)NAPT やファイアウォールによる非透過的なネットワークによってつながる 1)の集合をオーバーレイアドホックネットワークと呼ぶ。これらのネットワークはより広いカバレッジを提供するが、従来ネットワークと同じようには扱えないという問題を持つ；従来ネットワークではホスト間に安定した直接の到達性が得られたのに対し、ホスト間に到達性が得られるとは限らず、またそれが時間の経過に応じて変化するからである。このような特性を持つネットワークを総称して本論文ではモバイルネットワークと呼ぶ。第2章では従来ネットワークから、第3章ではモバイルネットワークから、到達性に関する側面を抽出しモデル化し、その差異を比較している。

第4章は、「モバイルネットワークの課題と関連研究」と題し、第2章と第3章で導入した、到達性に関する2つのネットワークモデルの差異がアプリケーションに負担を与えていると指摘し、この差異を埋めるための既存研究を挙げている。Mobile IP, Name-Oriented Socket, Resilient Overlay Network, Mobile Ad-hoc Network に関する研究を取り上げている。その中でモバイルネットワーク中では、アプリケーションインターフェースとしてマルチキャスト送信のインターフェースが一貫性を欠いていることとそれぞれの手法の適用性が限定されていることを指摘している。

第5章は「透過的モバイルネットワークシステムのアーキテクチャ」と題し、透過的モバイルネットワークシステムのアーキテクチャ(ATMOS)の提案を行なっている。ATMOS はインターネットアーキテクチャを拡張し、リンク層とネットワーク層の間にリンク補完層を導入している。リンク補完層は上位層に対して仮想リンクという一定のインターフェースを提供する。仮想リンクは、一定の IP アドレスを利用したユニキャスト送信だけでなく、一定のリンク IP ブロードキャストアドレスやリンクローカル IP マルチキャストアドレスを用いたマルチキャスト送信を提供する。つまり、一貫した、多くの既存アプリケーションが利用している、マルチキャスト送信インターフェースが提供されている。また、リンク補完層は下位のネットワーク構造を隠蔽するオーバーレイを構成する。このオーバーレイによりモバイルネットワークから時間変化にする有向グラフという特性のみが抽出され、下位構

造が無線アドホックネットワークなのか、あるいはオーバレイアドホックネットワークなのかに関係なく、ネットワークの到達性に関する特性のみを扱うアルゴリズムが適用できる。オーバレイ自体は自律分散的に構築されるため、自律分散的なアドホック経路制御アルゴリズムを利用すれば、全体として自律分散的にモバイルネットワーク上に従来ネットワークへの互換性を持つオーバレイを構築できる。

第 6 章は、「提案アーキテクチャの実装と評価」と題し、ATMOS を実装するプロトコルスタック(ATMOS スタック)の実装について述べる。ATMOS スタックは、既存アプリケーションとオペレーティングシステムとのインターフェース変更を必要とせず既存アプリケーションにバイナリレベルの互換性を提供している。またリンク補完層の経路制御処理や中継処理などの処理は TUN/TAP デバイスを通してユーザ空間に実装されている、ATMOS スタックは拡張性と移植性を保持している。ATMOS スタック上に IETF で標準中の実用的なユニキャスト経路制御プロトコルである DYMO と、同じ IETF で標準中の実用的フラッドイングプロトコルである SMF をベースとした処理を実装し、半自律高機能移動ロボット群による被災建造物内の情報インフラ構築と情報収集システムの開発プロジェクトに統合し、運用を行なった。被災環境を想定した状況で作られた無線アドホックネットワークの上で既存アプリケーションがそのまま利用できること、また ATMOS スタックは、ボトルネックにならず、無線ネットワークの性能を引き出せることを確認した。

第 7 章は、「無線ネットワークの自律分散観測フレームワーク」と題し、無線ネットワーク中の障害診断を目的とする自律分散観測フレームワークについて述べる。本論文では、既存研究は、無線ネットワークを構成するノードとは別に、観測用の機器とそれを接続する有線ネットワークを前提とするため、実際に運用されている無線ネットワークへの適用が現実的ではないと指摘している。そこで、無線ネットワークを構成するノード自体が自律分散的にネットワーク中を流れるフレームの送受信イベントを記録し、その記録情報を各ノードから収集、同期、結合し、無線ネットワーク中に何が起こっていたかを診断するフレームワークを提案する。無線ネットワークを構成するノードが観測した記録情報は、無線ネットワークデバイスの本質的な制約と現状のアーキテクチャ上の一時的な制約の両方によって、ネットワーク外部の観測用の機器によって得られる情報より少なくなる。このため、従来の手法では収集した記録情報を同期、結合ができなかった。本論文では、この問題を解決するために、プロトコルの固定間隔フレームに注目して記録情報の欠けている情報を補完し、正確な同期と結合が可能になるアルゴリズムを提案している。

第 8 章は、「議論」と題して、ATMOS が提供する仮想リンクという上位層へのインターフェースの問題点と自律分散観測フレームワークの今後について議論し、最後に第 9 章は、「結び」と題して、本論文の貢献をまとめている。

以上を要するに、本論文は、将来のインターネットで一般的なモバイルネットワークを総合的に分析し、個別の問題を解くだけでなく、多様なモバイルネットワークの問題を横断的かつ系統的に解決するネットワークアーキテクチャを提案しており、次世代インターネットアーキテクチャなど、電子情報学関連分野の今後の発展に寄与・貢献することが少なくない。

よって、本論文は、博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。