

氏名(本籍)	森 慎太郎 (日本)
専攻	信頼性情報システム工学専攻
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博甲第 94 号
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学位授与の年月日	平成 26 年 3 月 24 日
学位論文題目	無線ネットワークにおけるクロスレイヤ設計に基づく QoS フレームワーク
論文審査委員	(主査)生越 重章 (副査)今井 慈郎 (副査)最所 圭三

論文内容の要旨

本研究では、アプリケーション層から物理層までの Quality of Service (QoS) 情報を統合的に取り扱うことを目的として、クロスレイヤ設計に基づく QoS フレームワークを提案する。具体的には、複数のプロトコルレイヤ間で QoS 情報の共有法、クロスレイヤ設計に基づく適応制御法、ヘテロジニアスネットワークへの対応、新たな計算機シミュレータの実装と評価である。

第 1 章では、提案手法が必要とされている背景について述べる。具体的には、近年、多様な形態のモバイル機器の普及に伴い、無線ネットワークを介したアプリケーションサービスは爆発的に増大している。一方、無線ネットワークにおける通信は、マルチパス伝搬に起因する固有の問題を有する。このような動的に変化する無線ネットワーク環境において、多彩なマルチメディアサービスを提供させる場合であっても快適な通信環境を実現させるためには、無線通信制御を適応的に行う必要がある。このような状況を鑑みて、特定の無線通信システム、または特定のプロトコルの改善を目的とするのではなく、将来の無線通信システムに幅広く導入することを目的とした、QoS フレームワークが必要不可欠である。

第 2 章では、提案するクロスレイヤ設計に基づく QoS フレームワークに対するスキームを述べる。従来手法と提案手法の大きく異なる点は、Cross-layer converter を経由して受け取ったユーザの所望 QoS 情報に基づき、Cross-layer optimizer が適応的な無線通信制御を実現する点である。ユーザの所望 QoS に基づく適応的な無線通信制御を実現するためには、レイヤごとに定義・分類が異なる QoS 情報の関係を明確にして、レイヤ間で情報共有する必要がある。その QoS 情報に対応づけるために、提案手法では Cross-layer converter を導入する。

第 3 章では、クロスレイヤ設計に基づく適応的な無線伝送制御について述べる。とくに、

適応パケット長制御および適応レート制御に焦点をあて、無線 LAN に導入する場合を想定して理論的な解析を行う。具体的には、MAC プロトコルの設計、パケット遅延および適応制御パラメータの決定尺度の定義、パケット長制御およびレート制御のアルゴリズムを提案する。

第 4 章では、複数のシステム間で QoS 情報を共有するために必要である QoS 情報管理手法を述べる。具体的には、QoS 情報を QoS ポリシーとして規格化した上で、ブローカを通して管理データベースを用いてシステム間で共有する。その際に必要なネットワークプロトコルを、Session Initiation Protocol (SIP) を用いて設計する。本手法を導入することにより、ユーザ端末が他のシステムに移動した場合、その共有した QoS 情報に基づき適応的な無線通信制御が可能になる。

第 5 章では、提案手法を評価するために、新たに評価シミュレータを実装する。このシミュレータでは、将来の無線ネットワーク環境に幅広く対応できるようにするために、新たな無線通信モデルを作成する。その無線通信モデルに基づき提案クロスレイヤ適応制御を解析するために、C++言語を用いてデータリンク層および物理層のプロトコルスタックを実装する。また、トランスポート層およびネットワーク層のプロトコルスタックは、既存の広域ネットワークシミュレータ ns2 を用いて TCP/IP および UDP/IP を実現する。計算機シミュレーション結果より、単独のフローを伝送するとき、TCP および UDP に対して、パケット遅延は、ともに、50.0%、スループットは、各々、30.6%および 31.3%改善できる点、2 本のフローを混在して伝送するとき、TCP および UDP のフローに対して、パケット遅延は、各々、33.2%および 33.3%、スループットは、各々、68.7%および 55.2%改善できる点を確認する。さらに、クロスレイヤ設計をシステムに導入する際のオーバーヘッドを加味しても、ネットワーク特性を改善できることを示す。

第 6 章では、本論文を結論付け、今後の課題を議論する。

審査結果の要旨

本論文は、アプリケーション層から物理層までの Quality of Service (QoS) 情報を統合的に取り扱うことを目的として、クロスレイヤ設計に基づく QoS フレームワークを提案している。具体的には、複数プロトコルレイヤ間での QoS 情報の共有法、クロスレイヤ設計に基づく適応制御法、ヘテロジニアスネットワークへの対応、計算機シミュレータの実装と評価について言及している。

第 1 章では、提案手法が必要とされている背景について述べている。近年、多様な形態のモバイル機器の普及に伴い、無線ネットワークを介したアプリケーションサービスは爆発的に増大している。一方、無線ネットワークにおける通信は、マルチパス伝搬に起因する固有の問題を有する。このような動的に変化する無線ネットワーク環境において、多彩なマルチメディアサービスを提供するためには、無線通信制御を適応的に行う必要がある。

この場合、将来の無線通信システムに幅広く導入することを目的とした QoS フレームワークが必要不可欠である。

第 2 章では、提案するクロスレイヤ設計に基づく QoS フレームワークに対するスキームについて述べている。従来手法との相違点は、cross-layer converter を経由して得たユーザの所望 QoS 情報に基づき、cross-layer optimizer が適応的な無線通信制御を実現する点にある。このためには、レイヤ毎に定義・分類が異なる QoS 情報の関係を明確にして、レイヤ間で情報共有する必要がある。その QoS 情報を対応づけるために、提案手法では cross-layer converter を導入している。

第 3 章では、クロスレイヤ設計に基づく適応的無線伝送制御について述べている。とくに、適応パケット長制御および適応レート制御に焦点をあて、無線 LAN に導入する場合を想定して理論的な解析を行っている。具体的には、MAC プロトコルの設計、パケット遅延および適応制御パラメータの決定尺度の定義を行い、パケット長制御およびレート制御のアルゴリズムを提案している。

第 4 章では、複数システム間で QoS 情報を共有するための管理手法について述べている。具体的には、QoS 情報を QoS ポリシーとして規格化した上で、ブローカを通して管理データベースを用いてシステム間で共有する。その際に必要なネットワークプロトコルを、Session Initiation Protocol (SIP) を用いて設計する。本手法を導入することにより、ユーザ端末が他のシステムに移動した場合にも、共有 QoS 情報に基づき適応的な無線通信制御が可能となることを示している。

第 5 章では、提案手法を評価するため、計算機シミュレータの実装について述べている。将来の無線ネットワーク環境に幅広く対応できるように、新たな無線通信モデルを作成している。無線通信モデルに基づき、提案クロスレイヤ適応制御を解析するため、C++言語を用いてデータリンク層および物理層のプロトコルスタックを実装している。また、トランスポート層およびネットワーク層のプロトコルスタックは、既存の広域ネットワークシミュレータ ns2 を用いて、TCP/IP および UDP/IP を実現している。計算機シミュレーション結果より、単独フローを通すとき、TCP および UDP に対して、パケット遅延は、ともに、50.0%、スループットは、各々、30.6%および 31.3%改善できること、混在する 2 本のフローを伝送するとき、TCP および UDP のフローに対して、パケット遅延は、各々、33.2%および 33.3%、スループットは、各々、68.7%および 55.2%改善できることを示している。さらに、クロスレイヤ設計をシステムに導入する際のオーバーヘッドを加味しても、ネットワーク特性を改善できることを示している。

第 6 章では、本論文を結論付け、今後の課題として、提案クロスレイヤ設計の高度化とあわせて、種々の無線ネットワークシステムへの導入および提案手法の標準化に向けた検討の必要性について言及している。

上記内容について審査した結果、審査委員の一致した結論として、学位論文を合格と判定した。

最終試験結果の要旨

公聴会（1 時間）では、学位論文の内容について詳細な説明が行われた。最終試験（1 時間）では、いずれの質問に対しても適切な応答がなされた。質疑応答の一部を以下に示す。

- (Q) プロトコルレイヤを飛越えたクロスレイヤ設計も意識しているのか。
- (A) プロトコルレイヤ間（アプリケーション層とデータリンク層・物理層）の情報共有を図るために cross-layer converter を導入し、レイヤ毎に定義が異なる QoS 情報の差異を吸収し、適切な対応づけを行うことで、プロトコルレイヤを飛越えた設計が実現可能である。
- (Q) QoS を実現するためのフロー制御手法に対するクロスレイヤ設計の位置づけは。
- (A) フロー制御手法は、アプリケーションサービス毎にフロー分離し、QoS を付与しているため、QoS 実現のためには高度な技術的検討が必要である。無線ネットワークシステムでは、時々刻々変化するチャネル状況を考慮した柔軟性に富んだネットワーク設計が求められるため、クロスレイヤ設計手法が有効である。
- (Q) クロスレイヤ設計がプライオリティを加味したフロー制御を行うならば、提案手法に合致するユーザのみが優先されるのでは。
- (A) 提案手法は QoS 差別化を図ることに主眼をおいており、QoS は提供できるがユーザ間の公平性は確保できない。別途検討が必要である。
- (Q) マクロセルからフェムトセルにハンドオーバーしたとき、サービス品質変化が想定されるが、提案手法はどのように対応するのか。
- (A) QoS ポリシーに基づく QoS 情報管理法を導入し、ハンドオーバー時の QoS を担保している。
- (Q) 複数ノードに対する提案手法の有効性は。もし不足部分を補うとすれば、どのような研究が必要か。
- (A) 複数ノードは対象外である。QoS ポリシー相互調停法、エンド-エンド接続性確保の研究が必要である。
- (Q) 将来の無線ネットワークをユーザにとってよいものとするための課題の解決をどのように図っていくのか。
- (A) クロスレイヤ設計システムの高度化、種々のネットワークシステムへの導入、標準化が重要である。高度化の検討は必要不可欠であるが、これに関して、パケット再送制御効率化のため、ネットワークコーディングを応用した新手法を提案し、主論文には含まれない関連研究として国際会議での採録が決定している。

以上より、審査委員の一致した結論として、最終試験を合格と判定した。