

論文審査の結果の要旨

氏名 ロットウィブンチャイ グンティダー

本論文は「A Research on Multi-path Communication Protocols (複数経路通信プロトコルに関する研究)」と題し、各種のネットワークにおける耐故障性や品質を向上させるための有力な手段としての複数経路通信プロトコルに関して、有線と無線、高信頼データ転送とマルチメディアストリーミングという、性質の異なるネットワークおよびアプリケーションの組み合わせに関して、プロトコルの構成法を具体的に示し、シミュレーション評価を通じてその有効性を示したものであって、英文で書かれ、5章から構成されている。

第1章「Introduction (序論)」では、アプリケーションの種別によりプロトコルに要求される品質が異なること、および、耐故障性、品質向上の手段としての複数経路通信の位置づけについて述べた後、本論文の構成を紹介している。

第2章「Multi-path Communication Protocols (複数経路通信プロトコル)」では、インターネット環境とアドホックネットワーク環境のそれぞれにおいて、通信の耐故障性や品質を向上させるためにこれまでに提案されている HSRP (Hot Standby Routing Protocol)、SCTP (Stream Control Transmission Protocol)、MRTP (Multi-flow Real-Time Protocol)、ADTFRC (Ad Hoc TCP Friendly Rate Control) などについて紹介し、それらの利点および欠点を整理している。

第3章「Protocol Design for Multi-path Communication System over the Internet (インターネット上の複数経路通信システムのためのプロトコル設計)」は、有線ネットワーク上で高信頼データ転送を行うためのプロトコルについて述べた章である。まず、第2章での議論をふまえて、プロトコル設計にあたって、インターネット中に存在するルータのソフトウェアに変更を加える必要がなく、通信経路の混雑の状況に柔軟に対応するためトランスポート層の機能として実現すること、特に、従来のTCPプロトコルを用いている多くの既存ソフトとの互換性を維持するために、TCPのオプションとして実装すること、という基本方針が述べられている。続いてM/TCP (Multi-path Transmission Control Protocol) と命名した複数経路通信オプションに関して、レイヤ構造、オプション形式、データ転送方法、確認応答方式、再送方式などについて論じ、プロトコルを設計している。ネットワークシミュレータ ns2 上に M/TCP を実装し、シミュレーション評価を行った結果、M/TCP は単一経路の通信と比べて高いスループットを得られることが確認できたが、単なるラウンドロビンスケジューリングの下ではコネクション間のスループットのばらつきが大きくなることがわかったため、遅延を考慮したスケジューリング手法と ECN (Explicit Congestion Notification) を用いる手法を提案し、改善されることを確認している。

しかし、M/TCP の基本転送原理は従来の TCP から引き継いだものであるため、帯域

遅延積の大きなネットワーク（ロングファットパイプ）の環境においては、輻輳ウィンドウサイズが大きくなるまでに時間がかかり、十分なスループットが得られないこと、輻輳ウィンドウ内のパケットを一度に送ろうとするため輻輳を引き起こしやすいことなどの欠点を有している。そこで、経路中のボトルネックリンクの帯域を推定し、それに応じてパケット間隔を空けて転送を行うことによりこれらの問題を解決する R-M/TCP（Rate-based Multi-path Transmission Control Protocol）を提案している。宛先ホストにパケットができるだけ順序通りに到着するようなスケジューリングを行うことにより、輻輳している経路があってもその影響を受けることなく高いスループットを得ることができることを、シミュレーション評価により確認し、既存の複数経路通信技術との比較において、M/TCP および R-MTCP が TCP と互換性を保ちつつ各経路の状態を把握してその性能を最も良く引き出すことのできる方式であることを述べている。

第 4 章「Protocol Design for Multi-path Communication Systems over Ad Hoc Networks（アドホックネットワーク上の複数経路通信システムのためのプロトコル設計）」では、まず、アドホックネットワークにおけるパケット損失の原因の分析を行い、それに基づきアドホックネットワーク上で複数経路通信を行う場合のアーキテクチャを提案したうえで、具体的なプロトコルとして AMTP（Ad hoc Multi-path sTreaming Protocol）を提案している。AMTP では下位層からの情報などに基づきパケット損失の原因が輻輳、経路変更、切断、チャンネルエラーのいずれであるか判断することにより、適切な送信レート制御を行うようにしている。シミュレーション評価の結果、AMTP のスループットは単一経路通信プロトコルである TFRC や ADTFRC を大きく上回り、遅延特性や制御のオーバーヘッドも ADTFRC とほぼ同等であることが確認された。

第 5 章「Conclusion（結論）」では、本論文の成果をまとめるとともに残された課題を整理している。

以上のように本論文は、有線ネットワーク上の高信頼データ通信とアドホックネットワーク上のマルチメディアストリーミングを例としてとり上げて、通信の信頼性と品質を向上させる手段としての複数経路通信プロトコルを具体的に設計し、シミュレーション評価を通じてその有効性を確認したものであって、情報学の基盤に貢献するところが少なくない。

よって、博士（科学）の学位を授与できると認める。