

# A Study on Performance Improvement in Ubiquitous Service Networks

## (ユビキタスサービスネットワークの性能向上に関する研究)

石 塚 美 加

### 論文の内容の要旨

ユビキタスネットワークは、いつでも、どこでも、何でも、誰でもアクセス可能なネットワーク環境である。ユビキタスネットワークでは、従来のネットワークでは通信の対象ではなかった「モノ」を通信の対象とすることにより、通信パラダイムに変化をもたらすことが期待されている。

本論文では、ユビキタスネットワークに関する課題の中で、特にネットワークの性能問題に着目して研究を行った結果をまとめる。

ユビキタスネットワークでは、アクセスネットワークとして、ADSL、無線LANなどのレガシーネットワークを適用する場合と、センサネットワーク、アドホックネットワークといったマルチホップの無線ネットワークを適用する場合とが考えられる。レガシーネットワークを適用する例としては、機器（例、空調）の遠隔監視・制御、マルチホップの無線ネットワークを適用する例としては、環境センシングが考えられる。本論文では、ユビキタスネットワークにおける品質問題を、アクセスネットワークとしてレガシーネットワークを適用する場合とマルチホップの無線ネットワークを適用する場合に分けて論じる。

アクセスネットワークとしてレガシーネットワークを適用する場合に重要となる性能問題は、エンドーエンドの通信品質の向上である。レガシーネットワークでは、通常、TCP/IPを使用する。よって、本論文では、TCP/IPを前提とした場合の性能問題として、TCP上の通信品質の測定方法、TCPのトラフィック制御とネットワークレイヤとのトラフィック制御の整合性を考慮した通信品質の評価を取り上げる。

一方、アクセスネットワークとしてマルチホップの無線ネットワークを適用する場合に重要となる性能問題は、端末の制約に起因する通信品質劣化を防止することである。アクセスネットワークとしてマルチホップの無線ネットワークを用いる場合では、小型の無線端末を多数屋外に設置することが想定され、無線端末が、機械的な故障、電池容量を使いきることにより使用不能になることにより、ネットワークとしての機能を維持できなくなる。そこで、本論文では、無線端末の故障、電池切れが発生した場合でも、ネットワークとしての性能を極力維持できる制御方式について論じる。

本論文の具体的内容は以下のとおりである。第2章では、測定可能量に基づくTCPスループット推定法を論じる。提案方法では、測定はTCPの解析モデルの計算に必要なパラメータを推定するために行う。数値例により、提案方法が十分な精度でTCPスループットを推定でき、測定に要するトラフィック量が実際のTCPの1/10程度以下であることを示す。

第3章では、TCPのフロー制御とネットワーク層のフロー制御（Available Bit Rate: ABR）の相互作用を考慮した性能評価を論じる。数値例により、ABRでデータ損失を抑えることは、TCPの性能向上のために有効であるが、TCP over ABRの性能を最大限に引き出すためには両制御が干渉しないような設定が必要であることを示す。

第4章では、センサネットワークの耐故障性を向上させるための、センサの配置制御を論じる。ランダム故障、電池切れ故障に強い、センサの確率配置を提案し、数値例により有効性を確認する。更に、第5章では、第4章で提案した配置制御の実現方法について論じる。提案方法は、空中からのセンサの拡散を繰り返すことにより、第4章で提案した確率配置と同等の耐故障性をもつ確率配置を簡単に実現するものである。最後に、第6章では、確率配置と電池の消費を効率化するためのルーチング制御を組み合わせた場合の電池切れ故障耐性を評価する。評価を行うために、簡易解析モデルを提案し、同モデルを用いて、ルーチング制御と確率配置の相互作用を検証し、相互作用を考慮した上での適切な確率配置の選択方法を示す。

以上

## 論文審査の結果の要旨

学士(工学)、修士(工学)石塚美加君の学位請求論文は、「A Study on Performance Improvement in Ubiquitous Service Networks」と題し、7章から構成される。

次世代ネットワーク後のサービスネットワークとして、ユビキタスサービスネットワークが注目を集めている。ユビキタスサービスネットワークは、いつでも、どこでも、何とでも通信可能なネットワークであり、ネットワークサービスプロバイダにより提供される。本論文は、ユビキタスサービスネットワークの品質向上に関する研究を纏めたものである。ユビキタスサービスネットワークは、既存アプリケーションを統一したネットワークで収容する「レガシーネットワーク」と、人手による操作を前提としない端末を収容する「センサーネットワーク」を有しており、本論文は、それぞれのネットワークについて課題を議論している。まず、レガシーネットワークについては、TCPのスループットに関する課題を取り上げている。具体的には、軽量測定によるTCPスループット推定法の検討、データリンク層のフロー制御(ABR)の相互作用を考慮したTCPの運用方法の検討を行っている。また、センサーネットワークについては、耐故障性に関する課題を取り上げている。具体的には、耐故障性を向上させるノード配置方式とその実現方法、ルーチング制御とノード配置方法の組み合わせによる耐故障性の向上を提案している。

第1章は序論であり、研究の目的、概要、研究背景、ユビキタスサービスネットワークにおける課題、従来の諸研究、本研究の位置づけ、論文の構成について説明している。

第2章、第3章では、TCPスループットに関する具体的な研究内容に関して述べている。第2章では、軽量アクティブ測定によるTCPスループット推定方式について述べている。提案方式では、測定はTCP解析モデルの入力パラメータを求めるために行う。計算機シミュレーションにより、提案方式は、従来のアクティブ測定によるTCPスループットの測定と比較して20%以下のトラフィック量で、測定誤差は10%以下でTCPスループットを推定できることを示している。第3章では、TCPとABRのトラフィック制御の相互作用を考慮した上で、ABRの有効性、TCPの運用方法について述べている。計算機シミュレーションにより、TCPの性能を最大限に引き出すためには、2つの制御が干渉しないようなパラメータ設定が必要であり、TCPのパラメータを適切に設定した場合は、ABRを用いることにより、フロー間の公平性、グッドプットを改善できることを示している。

続く第4、5、6章では、センサーネットワークにおける耐故障性に関する具体的な研究内容について述べている。4章では、電池切れ故障耐性、ランダム故障耐性を向上させるためのノードの配置方法(ノードの次数分布がべき分布に従う配置)を提案している。計算機シミュレーションにより、提案配置方法は、パラメータを適切に設定することにより、ランダム故障、電池切れ故障の両方に強い配置となることを示している。5章では、べき配置を簡単に実現するアルゴリズムを提案している。計算機シミュレーションを通じて、提案アルゴリズムにより、べき配置と同等の耐故障性を持つノード配置を実現できることを示している。6章では、電池切れ故障耐性を高めるルーチング方法、べき配置と提案ルーチング法の相互作用を考慮した上で、べき配置のパラメータを最適化を提案している。計算機シミュレーションを通じて、提案ルーチング法により、電池切れ故障耐性が2~5倍向上することを示している。

第7章は、結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上要するに本論文は、高い独自性で、ユビキタスサービスネットワークにおけるTCPスループットの推定方式の提案、ネットワークサービスプロバイダが提供するフロー制御との相互作用の検証、センサーネットワークの耐故障性能を高めるノード配置、ルーチング方式の提案を行い、品質の高いユビキタスサービスネットワークの構築を可能とした点で工学上寄与するところが少なくない。また、これらの成果は著者が自立して研究活動を行うために必要な高度な研究能力、並びにその基礎となる豊かな学識を有する事を示したと言える。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

以上

論文審査担当者：主査	慶應義塾大学教授	工学博士	山中 直明
副査	慶應義塾大学教授	工学博士	笹瀬 巖
	慶應義塾大学教授	工学博士	中川 正雄
	慶應義塾大学教授	工学博士	寺岡 文男