

平成 30 年度

博士學位論文

内容の要旨および

審査結果の要旨

第 26 号

(平成 31 年 3 月授与)

北九州市立大学大学院

国際環境工学研究科

目 次

学位の種類	学位番号	氏 名	頁
博士(工学)	甲第 124 号	カン チメイ	1
博士(工学)	甲第 125 号	ルンパンサ ノイチャン	5
博士(工学)	甲第 126 号	伊藤 友輔	10
博士(学術)	甲第 008 号	二宮 純子	14
博士(工学)	甲第 127 号	佐当 百合野	17

フリガナ 氏名（本籍）	カン チメイ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第124号
学位授与年月日	平成31年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	Hydrodynamic study of feed spacer geometry in spiral wound membrane modules (スパイラル膜モジュールのスペーサ形状に関する流体解析)
論文審査委員	主 査 安井 英斉 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 伊藤 洋 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 寺嶋 光春 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（学術）) 審査委員 奥田 正浩 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）)

論文内容の要旨

In membrane technology, the two most used configurations of commercial membrane elements are spiral-wound and hollow-fiber. Spiral wound modules (SWM) wrap a leaf around a tube for perforated permeate collection to create a compact structure. Two flat membranes sheets separated by a spacer to form a channel for feed flow are assembled into a leaf. Spacer as an essential parts of SWM not only create feed channel but also promote mixing of feed fluid at same time which affected the flow pattern near membrane surface related with fouling trend and concentration gradient. The performance of conventional spacer woven and non-woven used to enhance mass transfer has been investigated by extensive works. Spacer geometry and dead zone behind spacer were focused on through many numerical and experimental studies. Based on numerical simulation results indicated that fully woven spacers showed better performance than other configurations in mitigating concentration polarization and delivering water flux by mesh angle of 60° , but higher pressure drop was caused than their nonwoven counterpart.

Along with the experimental techniques, the time, cost, and risks were reduced by the computational techniques. As a reliable and efficient numerical analysis tool, CFD has been extensively applied to the flow conditions of the SW membrane modules. The interaction of the many different processes could be assessed through computational simulation. Without building spacers, CFD simulation can investigate hydrodynamics under various feed spacer geometry parameters. With the ongoing developments in CFD techniques and computational resources three-dimensional studies are being conducted, which can provide in-depth analysis of concentration patterns and hydrodynamics in membrane modules. In this thesis three-dimensional modelling of flow through spacer filled narrow channels is carried out using CFD package ANSYS CFX to investigate the impact of feed spacer filament on shear stress exerted on membrane surfaces and pressure drop, which two kinds of feed spacers were designed to improve flow pattern.

The processing of the results revealed the characteristics of the feed spacers. For the pillar-like spacer, through reductions in the connecting filament's diameter, the channel porosity reached 0.979. Regarding the maximum porosity, the dimensionless power number was reduced by 47.31% at Reynolds number 150 in comparison with a previously studied commercial spacer. The modified friction factor, as a dimensionless parameter, was employed to investigate the shear stress at the membrane's surface. At dimensionless power number 10^6 , the enhancement of the modified friction factor

increased by approximately 22.27% in comparison with the results of a previous study. Based on the numerical prediction, the homogenization of shear stress distribution, which changed the flow profile near the membrane, was featured through contour plots. For the arc-like spacer, from 2D velocity vectors and shear stress contour mixing, the flow pattern and dead zone flushing were depicted. The ratio of low shear stress area to the total area increased with the inlet velocity closed to 20%. The energy consumption with respect to flow direction for the arched filament was 80% lower than that in the zigzag filament. Compared with previous commercial spacers' simulation, the friction factor was lower when the main flow was normal to the arched filament and the modified friction factor was close to the commercial spacers. The homogenization was realized through the flow pattern created by the modified spacer.

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、海水淡水化を主たる対象とする逆浸透膜モジュールにおけるスペーサの構造最適化に関するもので、海水淡水化処理等の電力消費の節減に資することを目的とした研究である。

本学位論文の構成は以下の 6 章で成り立っている。

第 1 章では、逆浸透膜システムの原理ならびにモジュールの基本的な特性（膜同士に配置するスペーサがモジュール内の水の流れ度合いに影響を与えること）を概括し、スペーサの構造を改良する必要性を整理した。第 2 章では、これらに関する現状の研究開発動向をレビューし、研究課題の独自性・新規性に直結するエンジニアリングパラメータ（圧損、摩擦係数、死領域等）を流体解析の検討項目に定義した。第 3 章では、流体解析を実施するためのコンピューティング要件を整理し、流体解析ソフトウェア (ANSYS, CFX) 上でプログラムのコード化をまとめた。第 4 章では、新規に設計した凸型 (Pillar-like) スペーサの形状・構造を様々に変えて流体解析をおこない、低いレイノルズ数の領域で消費動力が市販のスペーサよりも大幅に低減できることを見出した。これを元にスペーサの形状・構造を更に最適化し、最も消費動力が低減できる可能性がある凸型のサイズ・配置密度等を得た。続く第 5 章では、凸型 (Pillar-like) スペーサでは十分に解決できなかった死領域の低減を図るために 3 次元的な構造を強化した弧型 (Arc-like) のスペーサを新たに考案して、弧の周囲における局所的な水の乱れを詳細に計算した。この形状ではスペーサ周辺の広い範囲に亘って剪断力の均一化が発生するようで、世界でほぼ標準仕様となっている DOW ケミカル製の格子型スペーサよりも電力消費は 7%ほど低減できると見積もられた。最終の第 6 章では、本研究で開発した 2 種類のスペーサでそれぞれの特性を比較評価し、各スペーサの適用範囲や今後の開発方向を整理した。

本学位論文で述べた 2 種類のスペーサに関する流体解析は、査読付国際学術誌 (2 報) にそれぞれ掲載された。また、これらの数学構造開発についてもそれぞれ本人が国際学会 (2 件) で口頭・ポスター発表をおこなった。これらは十分な学術成果と判断される。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。

フリガナ 氏名 (本籍)	ルンパンサ ノイチャン (タイ)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第125号
学位授与年月日	平成31年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	A study on Urban Mass Transit Node based on Passenger Evaluation (利用者評価に基づく都市圏大量輸送の交通結節点に関する研究)
論文審査委員	主 査 デワンカー バート (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 福田 展淳 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 審査委員 高 偉俊 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 野上 敦嗣 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)

論文内容の要旨

Urban mass transit is significant to the urbanization of cities, and the demand for public transit has rapidly increased. Bangkok, the capital of Thailand, is experiencing an imbalance between demand and supply. Bangkok is facing a transportation problem, especially Bangkok seems to have an urban transit system in which urban and transport planning is not necessarily executed in the interest of the people in terms of public transport that because Bangkok suffers from many standalone projects across the city, which can cause troubles with urban design efficiency. The provision of rapid transit to serve people as mass transit mode could not solve transport issues in Bangkok. Transit node is one of the issues that should be addressed as soon as possible, as it is one of the most important aspects of mass transit system. Therefore, the existing affordable mass transit station in term of transit node stations had been placed to investigate and review. The three mass transit node's stations, Mo Chit station, Victory Monument station, and Saphan Taksin station was investigated based on passenger evaluation and compared transit performance in difference aspects.

Gathering information of three stations by questionnaire and field survey were analyzed with statistical method approach. 46 variables associated with service, safety, environment, accessibility, operation, and facilities revealed that passengers' satisfaction of Saphan Taksin station could be improve the quality of transit service, safety, environment, and station facilities as high beta coefficient value. Meanwhile, Mo Chit station could be improve the convenient access, and transit operation as lower satisfaction score and high beta coefficient. These influenced factors are specially synthesis on three aspects; transit service performance analysis with feeder modes at transit station, accessibility in order to create convenient access to transit station, then the facilities has been analyzed to identify activities during passengers' transfer and the provision of facilities that can be useful for provide the facilities in transit station. To deal with mass transit node development, we need to understand how passengers do concern on mass transit system with the difference aspects and difference passengers' characteristic. High income and middle income passengers prefer fast and flexible of access to transit nodes, while low income passenger pay attention in the transit cost. The passengers who purpose their trip for work and study concerned about service time and frequency of the vehicle. Moreover, the passengers preferred more facilities at transit station to spend their time during their transfer. It is very useful for the authorities of public transit to promote and enhance a transportation project to all passengers.

The results of this research provide unique information from which improvements in future mass transit node projects could be made. The results of research into the influenced factors of case study may assist the authorities of public transit to prioritize specific actions. This result enables analytical platform of in-depth mass transit node study to identify the way in improving the quality of transit for passengers through convenient access and service condition.

論文審査の結果の要旨

本論文は、都市圏大量輸送の交通結節点の潜在的な長所と短所を特定し、都市圏大量輸送の交通結節点の満足度に焦点を当てながら、公共交通機関の駅の品質を改善するための有用な方法論的枠組みを提案することを目的とした研究である。

第1章では、研究の背景、目的および論文の構成が述べられている。

第2章では、公共交通機関利用者評価をはじめ、公共交通機関のシステムや主に利用者の満足度に関連する既往研究を列記し、本論文の位置づけが示されている。

第3章では、ロジスティック回帰分析、T検定、一元配置分散分析を使用して、グループ間の平均を比較し、複数の独立変数の影響を判断し、街路網と建築空間の間の接近性と空間的關係について分析を行った。

第4章では、450件数のアンケートをバンコク市内の3つの駅に配布し、6つの側面における46の変数に基づくグループ分けによって、多指標評価モデルを見出し、さらに乗客の特性と旅行パターンを現地調査に基づいて分析を行った。

第5章では、都市圏大量輸送の交通結節点の計画に影響を与えるアクセシビリティにおける乗客の態度の要因を明確にすることを目的としており、ロジスティック回帰によって3つの駅の高い満足度を予測するための最も高いベータ係数値としての影響変数であることを見出した。平均得点満足度は、性別、職業、所得、1回の移動での移動頻度、移動時間、および移動目的のグループ間の有意差が明らかになった。

第6章では、都市圏大量輸送の交通結節点におけるフィーダモードに基づく乗客の満足度の調査において乗客の三つの所得レベルの満足度の影響因子を示すことによって乗客の態度およびフィーダモードのサービス品質について分析を行った。すべての所得層において、交通機関利用の際の待ち時間に注目が高まっていた。加えて、中所得層と高所得者層は利便性についてより高い配慮をしている一方で、低所得者層はコストに注目していることが明らかになった。

第7章では、バンコクのマストランジットノード駅でのアクセシビリティパフォーマンスの評価と比較し、都市規模の道路システムと建築面でのデザインスペースに応じたトランジットモードの動向について示した。その結果、環状道路システムは高いアクセシビリティ価値を持ち、アクセスがより便利になることが明らかになった。

第8章では、マストランジットノード駅におけるフィーダモードに基づく乗客の満足度の調査を行い、利用者の態度およびフィーダモードのサービス品質を示した。

第9章では、本研究成果の都市交通計画への適用可能性について示すとともに、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、都市圏大量輸送運行スケジュール調査の分析プラットフォームは、便利なアクセスとサービス条件を通じて、乗客の輸送品質を向上させる方法を提案することができる。大量輸送機関、特にタイの公共交通機関の駅についてのさらなる研究に貢献し、今後の都市交通計画分野に大きく寄与するものである。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。

フリガナ 氏名（本籍）	イトウ ユウスケ 伊藤 友輔（福岡県）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第126号
学位授与年月日	平成31年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	A Study on Resource Allocation Schemes in Edge Cloud Computing (エッジクラウドコンピューティングにおける資源割当手法に関する研究)
論文審査委員	主 査 佐藤 雅之 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 佐藤 敬 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 山崎 恭 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学）) 審査委員 李 丞祐 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 飯田 勝吉 (北海道大学 准教授 博士（情報工学）)

論文内容の要旨

エッジクラウドコンピューティングの実現は人々の日常生活を支える新しいネットワークアーキテクチャとして期待されている。クラウドサーバによって電子メールやファイル共有などの遅延に寛容なサービスが提供される一方、エッジサーバによって拡張現実や車の自動運転支援などの遅延要求が厳しいサービスが提供される。ただし、エッジサーバの計算資源は制限されるため、処理に必要な計算資源が十分でない場合には、エッジサーバはクラウドサーバとの連携を図る。このような分担・連携により、ユーザによる様々なサービス利用を可能とする。エッジクラウドコンピューティング環境では、ユーザは様々な場所からアクセスすると同時に、その要求は多種多様である。そのため、エッジクラウドコンピューティングにおいて、ユーザの位置に依らず、その要求に応じたサービス品質を提供するためには、いくつかの重要な課題 (1) クラウドコンピューティング環境における公平なサービス提供, (2) エッジコンピューティング環境における要求に応じたサービス提供, (3) エッジクラウドコンピューティング環境における効率的な情報伝送を解決する必要がある。

そこで、本研究では、エッジクラウドコンピューティングにおける (1) ~ (3) の課題を解決するための効率的な資源割当および伝送手法について提案し、その有効性をシミュレーション評価によって明らかにした。

本論文は、全 8 章から構成されている。まず、第 1 章では、研究背景や目的、論文の構成について述べた。

第 2 章では、本論文の理解を深めるために TCP の概要について述べ、関連研究について紹介した。

第 3 章と 4 章では、課題 (1) に着目し、クラウドコンピューティングにおける公平な帯域割当方法について検討した。第 3 章では、データセンタネットワークにおける公平性改善のための収集可能な情報に基づく帯域割当手法を提案し、本手法の基礎特性を評価した。シミュレーション評価により、本手法は各フローの伝送レート調節に使用する割当係数を適切に設定することで公平性およびリンク利用率を改善できることを明らかにした。第 4 章では、データセンタ内のリンク利用率を改善するために、第 3 章で提案した手法を基に余剰帯域を他の競合フローに再割当する手法を提案し、その有効性を示した。さらに、詳細な性能評価により、フロー情報の通知間隔等の適切なパラメータ設定の方法について明らかにするとともに、適切なパラメータ設定によって公平性とリンク利用率を改善できることを示した。

第 5 章と 6 章では、課題 (2) に着目し、エッジコンピューティングにおける

要求に応じた帯域割当方法について検討した。第 5 章では、各フロー要求を満たすための収集可能な情報に基づく帯域割当手法を提案した。シミュレーション評価により、本手法がフロー要求に応じて適切な伝送レートを割り当てることができることを明らかにした。しかし、本手法は残余帯域が十分でないパスを経由するフローに余剰帯域を再割当してしまい、アクセス網のリンク利用率を低下させるという問題がある。そこで、第 6 章では、アクセス網のリンク利用率を改善するために、各リンクの残余帯域情報に基づく帯域割当手法を提案し、その有効性を示した。

第 7 章では、課題 (3) に着目し、エッジクラウドコンピューティングにおける効率的な情報伝送方法について検討し、スループット特性を改善するためのフロー分割・集約手法を提案した。シミュレーション評価により、本手法はフロー集約およびフロー制御の効果によってスループット特性を大きく改善できることを示した。

第 8 章では、本研究のまとめと今後の課題について述べた。以上の提案手法を統合利用することで、ユーザの位置に依らず、要求に応じたサービス品質の提供が可能となる。

論文審査の結果の要旨

本論文では、これからの高度情報化社会を支えるエッジクラウドコンピューティングの実現に対して、3つの重要な課題(1)クラウドコンピューティング環境における公平なサービス提供、(2)エッジコンピューティング環境における要求に応じたサービス提供、(3)エッジクラウドコンピューティング環境における効率的な情報伝送に着目し、これらの課題を解決するための資源割当および伝送手法について提案している。さらに、シミュレーション評価によって提案手法の有効性を明らかにしている。

第1章では、研究背景や目的、論文の構成について述べている。第2章では、本研究に関連するTCPの概要と既存研究について解説し、本論文の位置づけを示している。第3章では、クラウドコンピューティング環境において公平性を改善するための帯域割当手法を提案し、その基礎特性および設計指針を明らかにしている。第4章では、同環境において公平性とリンク利用効率向上の両立を図るために、第3章で提案した手法を基に、ボトルネックにより生じた利用できていない余剰帯域を他のフローへ再割当する手法を提案している。詳細な性能評価により、提案手法の有効性および適切なパラメータの設定指針を明らかにしている。第5章では、エッジコンピューティング環境におけるフロー要求に応じた帯域割当手法を提案し、その有効性を明らかにしている。第6章では、第5章で提案した手法を基に、同環境において余剰帯域が生じた際に、各フローが経由するリンクの残余帯域情報に基づき適切なフローへ帯域を再割当する手法を提案している。詳細な性能評価により、フロー要求に応じた帯域割当を達成しつつリンク利用効率も改善できることを示している。第7章では、エッジクラウドコンピューティング環境において効率的な帯域利用のためのフロー分割・集約手法を提案し、スループット特性を大きく改善できることを示している。

本研究で提案されている手法を統合利用することで、ユーザの位置に依らず要求に応じたサービス提供の実現が期待できる。これらは学術的に新しく意義があり、かつ産業応用における有用性も高く評価できる。また、本審査会においても満足のいく質疑応答が行われた。

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。

フリガナ 氏名（本籍）	ニノミヤ ジュンコ 二宮 純子（福岡県）
学位の種類	博士（学術）
学位番号	甲第008号
学位授与年月日	平成31年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	発光細菌を用いたバイオアッセイの構築 (Construction of bioassay using luminescent bacteria)
論文審査委員	主 査 森田 洋 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（農学）) 審査委員 上江洲 一也 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 中澤 浩二 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 中武 繁寿 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）)

論文内容の要旨

世界で流通している化学物質の中には、人間生活を豊かにする一方で、環境や生態系に望ましくない性質をもつものもある。環境中のリスク評価には、化学分析を補完する有力な方法として生物を用いた毒性評価法のバイオアッセイがある。近年、発光細菌は化学物質の生物への影響を迅速かつ簡便に評価するバイオアッセイの供試生物として利用されているが、菌株や培地条件といった試験方法が標準化されておらず、再現性や互換性が困難である。そこで、発光細菌を用いたバイオアッセイの構築に向け、毒物に対する発光細菌の菌株および毒物暴露時間の適合性ならびに担持膜へ発光細菌を固定化したバイオアッセイについて検討した。

本研究では NaCl 添加を必要としない淡水性発光細菌 *Photorhabdus luminescens* (ATCC 29999) と一般的に供試生物として利用されている海洋性発光細菌 *Vibrio fischeri* (ATCC 49387) を用いて、重金属 (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+}) の単体とそれらの混合種に対する感受性試験を行った。発光細菌は重金属に対して穏やかに反応するため、暴露時間 30 分が適当であった。 Hg^{2+} 5 mg/L 以上では *V. fischeri* と *P. luminescens* に発光阻害を示した。また、 Cd^{2+} 1 mg/L 以上では *P. luminescens* にのみ発光阻害を示した。複数の金属を混合した場合、*P. luminescens* は共存物質の影響を受けずに毒性評価することがわかった。硫黄源要求性の *V. fischeri* は界面活性剤の直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩 (LAS) 1~10 mg/L と LAS を含む洗濯用洗剤 (3 種) の希薄溶液に対して発光増加を示した。*V. fischeri* の発光増加を利用したバイオアッセイは、複数の化学物質が混合する条件下で LAS の検出が可能であることが示唆された。不溶性フィブロインフィルム (Insoluble Fibroin Film : IFF) に固定化した *V. fischeri* は、防ばい剤の OPP と OPPNa が 10 mg/L 以下の低濃度において毒性影響を示した。また、菌株が異なる *Vibrio (Aliivibrio) fischeri* (ATCC 7744) は、同一の毒物に対して影響濃度が異なることが明らかとなった。タンパク質を基質とする IFF に固定化した発光細菌は、IFF と毒性物質の吸着性により接触確率が高く、従来 of 菌液に毒物を暴露する方法に比べて低濃度で毒性評価を示したと考えられる。IFF に発光細菌を固定化したバイオアッセイは、固定化する発光細菌の菌株を選択し、それぞれの結果を総合評価することで、迅速で、再現性・互換性の高い発光測定方法になることが示唆された。

発光細菌を用いたバイオアッセイは、化学物質を利用する消費者にはほとんど認知されていない。そこで、工学研究の科学的知見、技術と環境教育の融合を目指し、発光細菌を用いたバイオアッセイを環境教育の体験型学習教材への展開を試みた。

論文審査の結果の要旨

環境中における毒性を評価する際には、迅速かつ簡便に生態系への影響を含めた総合的な有害性の判別ができるスクリーニング手法が求められる。そこで近年着目されている手法が「発光細菌」を用いたバイオアッセイ技術である。本論文では発光細菌を用いたバイオアッセイの構築を目的に研究を行った。また環境教育という観点から、実践的な取り組みを行うことにより体験型学習教材の構築を図った。

第 1 章では、発光細菌を用いたバイオアッセイ技術について包括的にまとめ、発光細菌を用いた毒性評価の問題点について課題の抽出を行った。第 2 章では重金属（水銀、銅、カドミウム）に焦点をあてて、これらの重金属に対する海洋性発光細菌（*Vibrio fischeri*）及び淡水性発光細菌（*Photobacterium luminescens*）の挙動を解析し、毒物暴露条件の最適化を図った。その結果、*V. fischeri* は水銀に対して、*P. luminescens* は水銀とカドミウムに対して高い感受性を有していることが明らかとなった。淡水性発光細菌はこれまでに報告例がほとんどないことに加えて、培養や反応の際に塩分を要求しないことから、より簡便な手法の構築につながった。第 3 章では、合成洗剤の界面活性剤として広く知られている直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩（LAS）に焦点をあてて、バイオアッセイの構築を行った。その結果、*V. fischeri* は LAS の濃度上昇に伴う発光強度の増加が認められた。更に市販の洗濯用洗剤に対する感受性試験においても LAS の影響評価が可能であった。従来法では対象物質との接触で発光が阻害される原理を利用して測定するものであるが、同氏が構築したシステムは「増光現象」を利用するものであり、これまでにない新たな手法を確立することができた。第 4 章では発光細菌の不溶性フィブロイン膜への固定化を図り、防黴剤として広く使用されているオルトフェニルフェノールとその塩に対する感受性の検討を行った。その結果、本膜への固定化により感受性は増大し、細菌懸濁液の暴露に比べ約 100 分の 1 の低濃度で評価することができた。第 5 章では、小学校や高等専門学校における実践的な環境教育の取り組みを行い、バイオアッセイの環境教育への応用可能性について検討を行った。第 6 章では総括を行い、今後の展望について述べた。

同氏の研究成果は、工学と教育の融合（オープンイノベーション）も含んでおり、応用微生物学、生物工学、食品工学といった従来の工学的な見地からだけでなく、環境教育学、理科教育学の発展にも大きく貢献するものである。よって本論文の著者は博士（学術）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	サトウ ユリノ 佐当 百合野（福岡県）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第127号
学位授与年月日	平成31年3月23日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	A Study on Performance Improvement of TCP using Forward Error Correction (前方誤り訂正技術を用いた TCP の性能向上に関する研究)
論文審査委員	主 査 上原 聡 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士(情報工学)) 審査委員 佐藤 敬 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士(工学)) 審査委員 山崎 恭 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士(工学)) 審査委員 高 偉俊 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 飯田 勝吉 (北海道大学 准教授 博士(情報工学))

論文内容の要旨

インターネット技術は進歩し、多種多様なネットワークサービスが提供されるようになってきたが、特に Delay-sensitive サービスに対する需要が高まっている。そのようなサービスの品質は特に伝送遅延に依存するが、主要な通信プロトコルである TCP はその点に関して本質的な問題を抱えている。それは TCP では信頼性を提供するため、パケットロスを送再送、つまり「リアクティブ」な制御により回復し、その回復中は伝送速度を低く抑えるためである。そのため、遅延特性の改善には再送を可能な限り抑える必要がある。

パケットロスを「プロアクティブ」な制御によって防止する効率的な方法の 1 つとして、前方誤り訂正 (FEC) 技術が挙げられる。FEC はパケット送信時に冗長情報を付加し、受信側において冗長情報から回復を行う技術である。一般的に一定の伝送速度である UDP 通信に利用され、伝送速度が大きく変動する TCP 通信には適用が困難である。そのため、これまでの研究では主に TCP に対して FEC を限定的に利用するだけにとどまっている。

本研究では、Delay-sensitive サービスの提供に必要となる TCP の性能向上のために TCP の動作全体に FEC 技術を適用する手法を提案する。本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章および第 2 章では、研究背景や目的、関連研究などを述べる。

第 3 章では、まず FEC を TCP に適用し、伝送速度に応じて動的に冗長度を制御する基本的な手法を提案し、その基礎特性を明らかにした。

第 4 章では、提案手法の特性を詳細に調査し、単純な FEC 適用で生じる問題を解決するため、最小冗長度制御および重複 ACK 抑制手法を提案する。ランダムパケットロスが発生する環境において評価を行い、有効性を明らかにした。

第 5 章では、より実環境を想定したバーストパケットロス発生環境において効果的にパケットロスを回復するため、冗長パケットのインタリーブ制御および伝送速度制御手法を提案する。性能評価により、提案手法は従来手法よりも高い性能を達成することを明らかにした。

最後に第 6 章では、本研究の結論および今後の課題について述べる。

論文審査の結果の要旨

本研究は今後さらに需要が高まる Delay-sensitive サービスの実現に対して、主要な通信プロトコルである TCP が持つ本質的な問題に着目し、TCP の通信性能を向上させる手法を提案している。従来の TCP ではパケットロスを送（「リアクティブ」な制御）により回復するため、伝送遅延の低減が難しく、通信性能が劣化する。提案手法では、新しく「プロアクティブ」な制御として前方誤り訂正（FEC）技術を TCP に導入しており、再送に依存することなくパケットロスを回復することが可能となる。提案手法の有効性をシミュレーション評価により明らかにしている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景や従来手法が抱える問題、プロアクティブ制御の重要性等について述べている。第 2 章では、本研究に関連する要素技術や既存研究について解説し、本論文の位置づけを示している。第 3 章では、まず FEC を TCP に適用し、伝送速度に応じて動的に冗長度を制御する手法を提案し、その基礎特性を明らかにしている。第 4 章では、提案手法の特性を詳細に調査し、単純な FEC 適用で生じる問題を解決するため、最小冗長度制御および重複 ACK 抑制手法を提案している。ランダムパケットロスが発生する環境を想定した性能評価により、提案手法は遅延時間に関わらず高い通信性能を獲得することを明らかにしている。第 5 章では、より実環境を想定したバーストパケットロスが発生する環境において効果的にパケットロスを回復するため、冗長パケットのインタリーブ制御および伝送速度制御手法を提案している。性能評価により、提案手法は従来手法よりも高い通信性能を達成することを明らかにしている。第 6 章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

本論文で提案している FEC 技術によるプロアクティブ制御を TCP に導入する手法は、新しく学術的に意義があり、かつ産業応用における有効性も有しており、高く評価できる。また、本審査会の質問に対しても満足のいく質疑応答が行われている。

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。

博士學位論文 内容の要旨および審査結果の要旨
第26号（平成31年3月授与）

発行日 平成31年4月
編集・発行 北九州市立大学 学務第二課
〒808-0135
北九州市若松区ひびきの1-1
TEL 093-695-3330