

学位論文題名

# Studies on Methodology of Structural Design for Dynamic Communication Networks

(動的通信ネットワークの構造設計手法に関する研究)

## 学位論文内容の要旨

近年ユーザーが急増している Skype は、世界中の 1 千万人を超えるユーザーに対して高品質な通話サービスを提供しており、その技術が注目されている。この技術の根幹に、トラフィック遅延を短縮するネットワーク構造を維持するアルゴリズムの存在がある。実社会のネットワークにおいて、ある機能要求を満たす構造を設計する問題は、クラス NP に属する組合せ問題であり、更に、ノード数やトラフィック量が時系列的に変化する動的性質を有しており、解くことが極めて困難である。そこで Skype では、ユーザーのログインに伴うノード数の増加時に、ネットワーク全体の遅延を改善するリンクの生成規則を設計し、構造を制御している。

しかしながら、この生成規則は Skype に固有な特性に依存し、また高度な専門知識を有するエンジニアの試行錯誤によって設計されたものである。従って、他のネットワークに対して適用することは困難である。今後も様々な形態のネットワークアプリケーションの開発が期待されており、動的条件下で機能要求を満たす汎用的な構造生成規則の設計手法の確立が求められている。

本学位論文では、動的な通信ネットワークにおいて、理論的に最適性を考慮し、機能要求を満たす構造を生成する構造生成規則の設計手法を構築することを目的としている。このために最適化法に基づき下記の手順で生成規則を設計する手法を提案し、設計した生成規則で生成される構造を数値実験により評価し、提案手法が有効であることを確かめている。

(1) 時系列的に変化するノード数・トラフィック条件を想定し、その各ステップにおける最適な構造を最適化の手法で求める。具体的には、通信ネットワークを待ち行列ネットワークとしてモデル化し、トラフィック遅延を最小とする構造最適化問題を定式化し、その解法を提案する。

(2) 各ステップ間での最適構造の遷移を理論的に分析し、その結果をもとに生成規則を設計する。具体的には、まず、各ステップで新たにリンクを獲得するノードに関する特徴量、すなわち、次数・平均パス長・サービス率等を分析し、これらの特徴量とリンクの獲得回数との相関を計算する。そして、これらの特徴量の大小に依存してノードがリンクを獲得する生成規則を設計する。

各章の内容を以下に要約する。

第1章では、通信ネットワークの設計に関する従来研究および近年の複雑ネットワーク研究を俯瞰し、研究背景および研究意義について述べている。

第2章では、提案手法の着想および概要について述べている。

第3章では、動的な通信ネットワークを待ち行列ネットワークとしてモデル化し、トラフィック遅延の最小化を目的関数とした構造最適化問題を提案している。ある時刻から次の時刻に遷移する際、トラフィック条件等が変化することを想定し、次のように制約条件・目的関数を設計した。まず、制約条件として各ステップ間での構造遷移を制限する条件を与えた。これは、2条件で独立に構造最適化を実施すると、得られる構造が大きく異なり、ノードの追加時のリンク生成による全体構造の改善がそもそも不可能になるためである。目的関数は、あるステップのある条件下でのみで待ち時間が最小であればよいのでないことから、各ステップにおける待ち時間を平均的に小とするものとして与えた。そして、種々の動的条件下で数値実験を行い、その実験結果を分析し、生成規則の設計法を検討した。

第4章では、前章の数値実験で得られた解をもとに生成規則を設計し、その有効性を検証している。具体的には、まず、最適化で得られた解を分析し、各ステップで新たにリンクを獲得するノードに関する特徴量、すなわち、次数・平均パス長・サービス率等を分析し、これらの特徴量とリンクの獲得回数との相関を計算した。そして、相関のある特徴量の大小に依存してノードがリンクを獲得する生成規則を設計した。ここでは、複雑ネットワーク研究で知られる適応度モデルを基礎として生成規則を得る方法を提案した。得られた生成規則の有効性は数値実験によって検証され、本学位論文で提案した構造生成規則設計手法の有効性が示された。

第5章では、本学位論文の結論について述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東

副 査 教 授 栗 原 正 仁

副 査 教 授 鈴 木 恵 二

学 位 論 文 題 名

## Studies on Methodology of Structural Design for Dynamic Communication Networks

(動的通信ネットワークの構造設計手法に関する研究)

実社会のネットワークにおいて、ある機能要求を満たす構造を設計する問題は、クラス NP に属する組合せ問題であり、更に、ノード数やトラフィック量が時系列的に変化する動的性質を有しており、解くことが極めて困難である。

近年ユーザーが急増している Skype では、トラフィック遅延を短縮する要求に対し、ネットワーク構造を生成する構造生成規則を開発し、1 千万人を超えるユーザーに対して高品質な通話サービスを提供している。

しかしながら、この構造生成規則は Skype に固有な特性に依存しており、他のネットワークに対して適用することは困難である。今後も様々な形態のネットワークアプリケーションの開発が期待されており、汎用的な設計手法の確立が求められている。

本学位論文では、動的な通信ネットワークにおいて、機能要求を満たす構造の生成規則の汎用的な設計手法を構築することを目的としている。

まず、動的な通信ネットワークを待ち行列ネットワークとしてモデル化し、トラフィック遅延を最小とする構造を得る最適化問題を定式化し、その解法を提案している。次に、最適構造において、新たにリンクを獲得するノードに関する特徴量、すなわち、次数・平均パス長・サービス率等を分析し、これらの特徴量とリンクの獲得回数との間に相関があることが明らかにしている。そして、これらの特徴量の大小に依存してノードがリンクを獲得する生成規則を設計している。さらに、生成規則を用いて生成したネットワークを数値実験により評価し、提案手法が有効であることを確かめている。

これを要するに、申請者は、動的な通信ネットワークの構造設計手法について新知見を得たものであり、複雑系工学ならびに調和系工学に貢献するところ大なるものがある。よって申請者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。