



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on Construction Methods of Large-Scale Virtual Networks [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	間野, 暢
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14127号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78443
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Toru_Mano_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 間野 暢

審査担当者 主 査 教 授 有村 博紀

副 査 教 授 吉岡 真治

副 査 准教授 喜田 拓也

学位論文題名

Studies on Construction Methods of Large-Scale Virtual Networks

(大規模仮想ネットワーク構築手法に関する研究)

情報化社会において膨大な端末間の高速大量通信を実現する通信ネットワークは、欠くことのできない重要な社会インフラの1つである。通信ネットワークに対する需要は年々増加しており、これに対応するため、また、ネットワークサービスの利便性向上のためネットワーク仮想化技術の研究が進められている。ネットワークの仮想化により、安価な汎用機器の上に需要に応じて仮想化されたネットワークを迅速に構築することが期待されている。著者はこの仮想ネットワーク構築問題に興味をもち、柔軟で迅速な仮想ネットワークを構築する手法の研究に取り組んできた。

仮想ネットワークを提供するためには構築に必要な物理資源 (計算資源、通信資源) の選択と仮想資源と物理資源の割当、すなわち仮想ネットワーク埋込みが必要となる。著者は、柔軟で迅速な仮想ネットワーク構築のためには以下の3つの課題があると述べている。

(A) 互いに競合関係にある複数の事業者にまたがる仮想ネットワークを構築すること。

(B) 膨大に存在する物理資源の組合せからどの物理資源を使用して仮想ネットワークを構築するかを現実的な時間で決定すること。

(C) 多様な仮想ネットワークを埋込み可能な物理網を設計すること。

本論文ではこれらの3つの課題を扱っている。

第2章では、(A)の課題である複数の事業者にまたがる仮想ネットワークの埋込み問題に取り組んでいる。各事業者は相互接続している一方で競争相手でもあるため、埋込み計算に必要な情報が全て開示されるとは限らず、効率的な埋込みができない。そこで秘密計算の技法を用いることで、各事業者の機密情報は開示せずに良い埋込みの計算結果のみを得るアプローチをとる。ただし、秘密計算は各演算に通信遅延が加わるため、既存の埋込み手法との素朴な組合せでは現実的な時間で計算が終了しない。そこで、埋込み問題をネットワークの分割問題としてとらえ、埋込み計算を各事業者内で独立に計算することで必要な秘密計算の回数を大幅に削減する手法を提案している。さらに実験によりその有効性を評価している。

第2章で提案した上記手法は仮想ネットワークの分割を全て列挙する必要がある、事業者数に対して指数的に計算時間が増加するため、大規模な問題への適用は困難であった。そこで、仮想ネットワークを分割するのではなく、各事業者が提供できる仮想ネットワークの部品を列挙し、それら部品の組合せを求める部分にのみ秘密計算を用いることで計算時間を大幅に高速化する手法を提案し、実験により有効性を評価している。これらの結果は第3章に記載されている。

第4章では、(B)の課題である大規模な仮想ネットワークの埋込み問題に取り組んでいる。仮想

ネットワーク埋込みの典型的な手法である線形計画緩和法は、問題サイズの 3 乗の計算量をもつ。しかしノード間の通信要求として交流行列が与えられるような場合、リンク数はノード数の 2 乗となり、全体の計算量はノード数の 6 乗となってしまう。このような場合でも高速に埋め込みが計算できるように、埋め込み計算をする前に、リンク数が多い仮想ネットワークをリンク数の少ないものに簡約化する枠組みを提案している。また、複数の簡約方式を提案し、それぞれの計算精度と時間のトレードオフを解析的、実験的に評価している。

第 5 章では (C) の課題である多様な仮想ネットワークの種別を構築するための物理網設計に取り組んでいる。非閉塞網は任意の頂点間にパスが確保できる網であるため、これを効率良く構築することで多様な仮想ネットワークをサポートすることができる。古典的非閉塞網である Clos 構成法を現代的な問題に再定式化することで古典的手法に無駄が発生することを示し、これを改善する手法を提案し、構築効率が改善することを理論、実験の両面で示している。

本論文の成果は次のようにまとめられる。

(1) 複数の事業者にまたがる仮想ネットワーク埋込み問題において、秘密計算を効率的に用いることで、競合関係にある事業者間での内部情報開示が不要となる手法を提案し、数値実験によりその有効性を示した。

(2) 仮想ネットワーク埋込み問題において、リンク数が多い仮想ネットワークをリンク数の少ないものに簡約化する枠組みを提案し、複数の簡約方式に関して、それぞれの計算精度と時間のトレードオフを解析的、実験的に評価した。

(3) 仮想ネットワークを収容するための非閉塞網を構築する新手法を提案し、既存手法よりも収容効率が向上することを証明し、典型的な状況における改善を定量的に評価した。

これを要するに、著者は、仮想ネットワーク設計の問題において、より大規模で複雑な仮想ネットワークを高速に物理網に割り当てる手法と、それらを効率的に収容するための物理網の設計手法を提案し、その正当性と有効性を理論的・実験的に示したものであり、通信ネットワーク設計に関する情報科学において貢献するところ大なるものがある。よって著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。