



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_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 間野 暢

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大量の通信を実現する通信ネットワークインフラは欠くことのできない重要なインフラである。通信インフラに対する需要、すなわち、接続機器数、通信総容量は年々増加しており、このような需要増に対応するため、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。このネットワークの仮想化により、現在のクラウドコンピューティング(仮想化された計算資源)のように、安価な汎用機器の上に需要に応じて必要な仮想化されたネットワークを迅速に構築することが可能とな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、柔軟で迅速に仮想ネットワークを構築するためのアルゴリズムや網設計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の必須のプロセスとして、仮想 NW を構築するための物理資源(計算資源、ネットワーク資源)の選択と仮想資源と物理資源の割当を決定する必要がある。このプロセスは仮想 NW を物理 NW に埋め込む操作であるため、仮想ネットワーク埋め込みと呼ばれる。柔軟で迅速な仮想ネットワーク構築のためには3つの課題がある。(A)互いに競合関係にある複数の事業者にまたがり仮想 NW 埋め込みを実行すること。(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決定すること。すなわち、サイズの大きい仮想ネットワーク埋め込みを現実的な時間で実行することである。(C)多様な仮想ネットワークの種別を構築可能な物理網を設計することである。

第2章では(A)複数の事業者にまたがる仮想ネットワークの埋込問題に取り組む。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、効率的な埋込ができない。そこで秘密計算を用いることで、各事業者のもつ機密情報は開示せずに効率的な埋込の計算結果のみを得るアプローチをとる。しかし、秘密計算は分散計算であり、各演算に通信遅延が加わり、既存の埋め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、埋込問題を仮想ネットワークの分割問題としてとらえ、埋込計算は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し、計算時間を高速化する手法を提案し、数値実験により有効性を評価した。

第3章では、第2章で提案した手法を大規模な仮想ネットワークへと拡張する。第2章の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ため、事業者数の指数で分割の場合の数が増加するため、大規模な仮想ネットワークへの適用は困難である。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、それらをどのように組合せるかという計算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、数値実験により有効性を評価した。

第4章では(B)サイズの大きい仮想ネットワークの埋込問題に取り組む。仮想ネットワーク埋込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リンク数が多い仮想ネットワークをリンク数の少ない仮想ネットワークに変換し、埋込を計算する、ネットワーク簡約の枠組みを提案した。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、実験的に評価した。

最後に第 5 章では (C) 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む。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、実験の両面で示した。

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、そして数値実験により通信遅延のある環境でも数分程度の現実的な時間で計算が完了することを確認し、本手法の有効性を示した。

(2) リンク数を多数含む仮想ネットワーク埋込問題において、リンク数の少ない仮想ネットワークに変換して解く、ネットワーク簡約の枠組みを提案し、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、実験的に評価した。

(3) 仮想ネットワークを収容するための非閉塞網を現代的な立場から再設計し、新しい非閉塞網の構築方法を提案し、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効率改善を定量的に評価した。

以上、本論文では、仮想ネットワーク設計において、複数の事業者にまたがる仮想ネットワークやリンク数が多い大規模な仮想ネットワークを高速に埋込む手法と、それらを効率的に収容するための物理網設計手法を提案した。さらに、その正当性と有効性を理論と実験の両面から示している。