

令和元年6月19日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06058

研究課題名（和文）高速障害復旧と省電力化を実現する仮想網のトポロジ設計法とトラヒック制御技術

研究課題名（英文）Topology Design of Virtual Networks and Its Traffic Engineering for Fast Failure Recovery and Low-Energy Consumption

研究代表者

橋 拓至（Tachibana, Takuji）

福井大学・学術研究院工学系部門・准教授

研究者番号：20415847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ユーザに仮想網を提供する将来ネットワークに対して、高速障害復旧と省電力化を実現する仮想網のトポロジ設計法とトラヒック制御技術を確立した。提案したトポロジ設計法では、グラフ理論の概念と最適化問題を用いて、高速障害普及可能なネットワーク形態を維持しつつ使用リンク数が少ないトポロジを設計した。このとき、ネットワークの輻輳状況も考慮してトポロジを決定している。またトラヒック制御技術では、各リンクのトラヒック負荷を考慮したデータ転送を行うために、経路選択確率を最適化問題によって導出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、通信ネットワークで必要不可欠な高速障害復旧と、将来の省電力化を目指した低消費電力を同時に実現する新たな方式を提案している。本研究の成果は将来の通信ネットワークでの利用が期待でき、通信ネットワークの信頼性を向上しながらシステムのエコ化も実現できる。そのため本研究の社会的意義は高い。

また、高速障害復旧と省電力化を実現するために最適化問題を利用しており、最適化問題の定式化および遺伝的アルゴリズムによる解の導出を行っている。またシミュレーションによる性能評価もっており学術的意義が高い。

研究成果の概要（英文）：In this research, we proposed a topology design of virtual networks and traffic engineering over virtual networks for fast failure recovery and low-energy consumption. In the proposed topology design, network topology whose number of used links is small is designed with the optimization problem by considering graph theory. In this design, the amount of traffic is also considered for the topology design. Moreover, in the traffic engineering, the route selection probability is derived with the optimization problem to transmit data based on the traffic load on each link.

研究分野：通信ネットワーク工学

キーワード：高速障害復旧 省電力化 仮想網 トポロジ設計 トラヒック制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ユーザに仮想網を提供する将来ネットワークでは、通信トラフィック量やロバスト性を考慮して仮想網を構築することが必須であり、様々な方式が国内外で検討されている。今後、この仮想網が様々な用途で広く利用されるためには、障害からの高速復旧や省電力化を考慮した仮想網の構築・利用が必要不可欠である。図1は、本研究の背景を示している。この図に示されるように、仮想網に対する高速障害復旧と省電力化が必要不可欠であり、複数仮想網に対して少ない資源での高速障害を実現するトラフィック制御も重要となる。しかしながら、高速障害復旧と省電力化を同時に実現するための仮想網構築法は未だに確立されていない。この主な理由としては、既存の高速障害復旧技術では多くのリンク利用を必要とする一方、省電力化手法ではリンク使用を最小限に留めることが期待されており、両方式の同時利用が容易ではないためである。

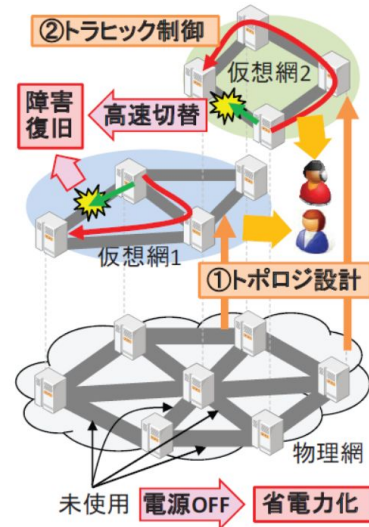


図1 研究の背景・目的

2. 研究の目的

ユーザに仮想網を提供する将来ネットワークに対して、高速障害復旧と消費電力化を実現する仮想網のトポロジ設計法とトラフィック制御技術を確立する。トポロジ設計法では、グラフ理論の概念と最適化問題を用いて、高速障害復旧可能なネットワーク形態を維持しつつ使用リンク数が少ないトポロジを設計する。この際、ネットワークの輻輳状況も考慮してトポロジを決定する。一方、

トラフィック制御技術では、各リンクのトラフィック負荷を考慮したデータ転送を行うために、経路選択確率を最適化問題によって導出する。両技術を利用することによって、障害から迅速に復旧可能で、かつ消費電力な将来ネットワークを構築できるため、仮想網の利用が進むにつれて両方式の普及が期待できる。

特に本研究では、高速障害復旧と省電力を実現する2つの仮想網トポロジ設計法の確立、統合トポロジ設計とトラフィック制御技術の確立、確立した方式の実装実験・方式改善の3点を目標とする(図2参照)。

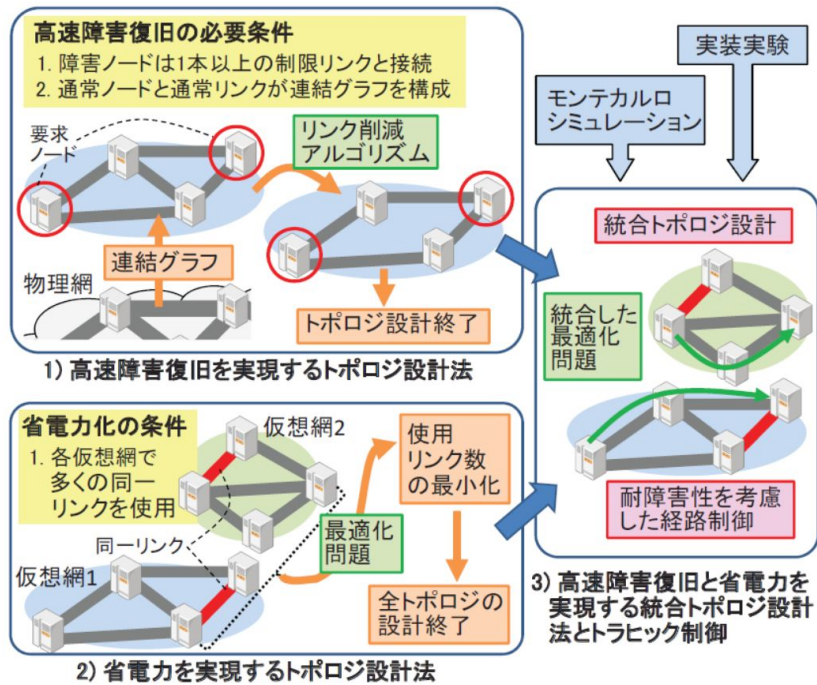


図2 研究方法の概要

3. 研究の方法

最初に、高速障害復旧が可能な仮想網のトポロジ設計法を確立する(図3参照)。今、仮想網が経由すべきユーザからの要求ノード集合を V_r とする。本方式では、ノード集合 V_r を含む連結グラフ G_r を生成する。そして、高速障害復旧に関する2つの条件から、仮想網内で必須となるノード集合 V^* およびリンク集合 E^* を導出する。最後に、不要なノード集合 \bar{V}^* とリンク集合 \bar{E}^* を G_r から削除して、仮想網トポロジ G^* を設計する。 G^* では K 個のルーティング構成を必ず生成できるため、障害発生時にも適切なルーティング構成に切り替えて障害から迅速に復旧できる。

次に、省電力効果の高い仮想網トポロジ設計法を確立する。以下では、ノード数 N でリンク数 L の物理網上で M 個の仮想網トポロジを設計する場合を考える。今、物理網内の j 番目のリンク l_j の資源量を R_j とし、 m 番目の仮想網が l_j で使用する資源量を r_j^m とする。また、 m 番目の仮想網の要求ノード集合を V_r^m とする。このとき、図4の最適化問題によって M 個の仮想網トポロジを設計する。ここで、 $x_{s,t} > 0$ の時 $I_x = 1$ となり、ノード $s-t$ 間に経路が存在する場合に $P_{st} = 1$ となる。本問題の近似解は、焼きなまし法などの発見的解法を利用して導出する。

本トポロジ設計法では、リンクの電源を切ることで輻輳が生じやすくなる。そこで実際は、ラ

ブラシアン行列を利用して通信トラフィック量からトラフィック負荷を導出し、電源を切るリンク数を決定する。

確立した両設計法の性能は、モンテカルロシミュレーションで評価する。シミュレーションでは、様々な環境下での性能を入念に調査して、提案法の有効性を明らかにする。もし結果が不十分であれば、連結グラフ G_r の設定方法や発見的解法を再検討し、設定パラメータの再調整も行なう。

さらに、高速障害復旧と省電力化を実現する2つのトポロジ設計法を確立したが、これらを用いても両方の目的を同時に実現できない。

そこで次に、これまでの成果を踏まえて、高速障害復旧と省電力化を同時に実現する統合トポロジ設計法を確立する。本方式では、 M 個の仮想網と各仮想網に対する K 個のルーティング構成、合計 $M \times K$ 個のトポロジを設計する。具体的には、新たな最適化問題を定式化し、この最適化問題の近似解を導出してトポロジを設計する。

なお、この最適化問題では、各仮想網内のノードとリンクを、それぞれ通常ノード、障害ノード、通常リンク、障害リンク、制限リンクに分類している。それゆえ、この最適化問題は図4の最適化問題よりも複雑になるため、解の導出に長時間を要することになる。したがって、発見的解法の高速度化や適切なパラメータ設定を行う。また、シミュレーション評価も行なう。

次に、障害発生時の影響を考慮したトラフィック制御技術を確立する。本技術では、各仮想網に対して、トラフィック量からラブラシアン行列を計算して、各リンクの負荷を計算する。それから、各リンクの負荷を一定にするパケット転送確率を最適化問題によって導出する。トラフィック制御技術の性能はシミュレーションで評価し、転送確率の有用性を調査しながら方式の改良も行なう。

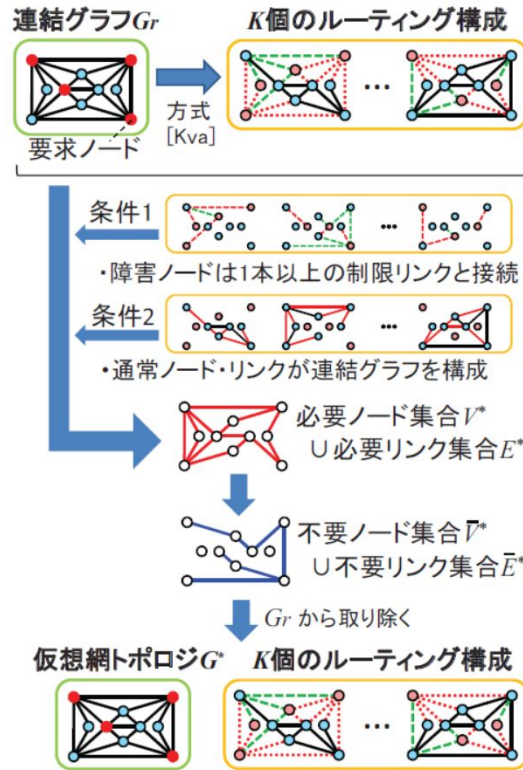


図3 トポロジ設計手順

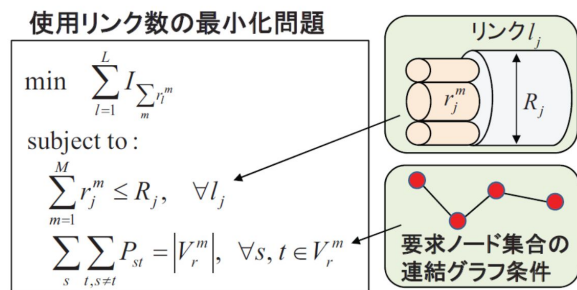


図4 最適化問題

4. 研究成果

提案方式による省電力効果とトラフィックエンジニアリングによるロバスト性維持の効果について評価する。以下に示す結果は、最適化問題の解を遺伝的アルゴリズムで導出したものである。また、最適化問題をモンテカルロシミュレーションによって評価している。

図5は、提案法によって設計された高速障害復旧を実現するネットワークで、設定パラメータが提案方式の省電力効果に与える影響を示している。この図では、提案法による消費電力効果を、ランダム方式と比較している。性能比較から、提案方式を用いることで、ネットワークトポロジによらず提案方式の消費電力が低くなることがわかる。

図6は、消費電力を削減するためにリンクの電源をOFFにした場合に、ネットワークのロバスト性がどのように変化するかを示している。この図から、提案方式によって消費電力を低下させるとロバスト性が悪化する

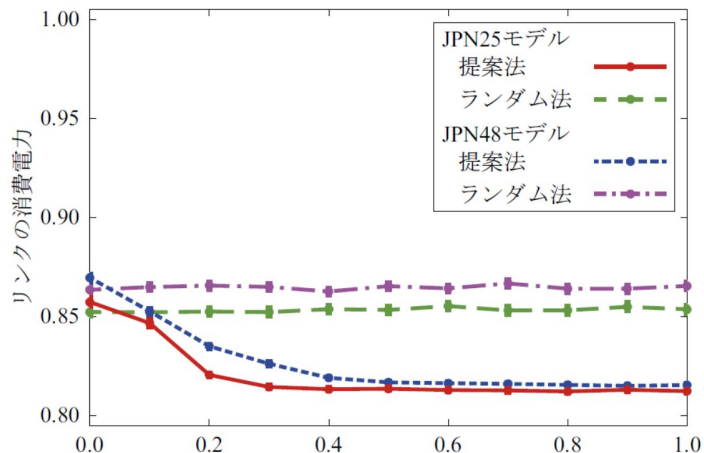


図5 設定パラメータが消費電力に与える影響

ことがわかる。しかしながら、設定パラメータの値を調整することによって、ロバスト性の悪化を最小限に抑制できることがわかる。

以上のことから、提案方式を用いることで高速障害復旧を行いながら、消費電力の削減が可能であることがわかる。

図7は、複数の仮想網に提案方式を用いた場合に、仮想網数が高速障害復旧用の資源量に与える影響を示している。この図では、ランダムに高速障害復旧用資源を用意した場合と、提案法によって最適化問題によって高速障害復旧用資源を用意した場合の結果を示している。ここで、トポロジが異なる2つのネットワークに対して評価を行っている。この図から、復旧対象となる仮想網が増加するにつれて、復旧用に用意される資源量が増加することがわかる。これは、復旧対象により多くのリンク資源が必要になるためである。しかしながら、提案方式を用いることで、少ない資源量で高速障害が実現できることがわかる。特に、対象となる仮想網とネットワークトポロジによらず有効であることがわかる。

さらに、トラヒックエンジニアリングによってネットワークのロバスト性を維持した場合に、提案法によって高速障害復旧に必要な資源量を抑制する効果について調査する。図8は、高速復旧対象となる仮想網の数が、障害復旧用に用意されている資源量に与える影響を示している。この図8と図7を比較すると、いずれの場合も、仮想網数とトポロジによらず、提案方式によって資源量を抑制可能なことがわかる。また、図8はトラヒックエンジニアリングによるロバスト性維持の効果が低い場合を示しているが、図7と図8から、トラヒックエンジニアリングの効果が低いトポロジであっても、少ない資源量で高速障害復旧が実現できることがわかる。

図5、図6、図7、および図8に示した結果から、提案方式を用いることで、複数の仮想網に対して高速障害復旧を実現しつつ、省電力化も達成できることがわかる。また、トラヒックエンジニアリングによって、障害復旧用に用意される資源量を抑制できることがわかる。以上の結果から、提案方式は将来の仮想化環境で必要不可欠な技術であり、本研究の結果から、提案方式が広く利用されることが期待できる。

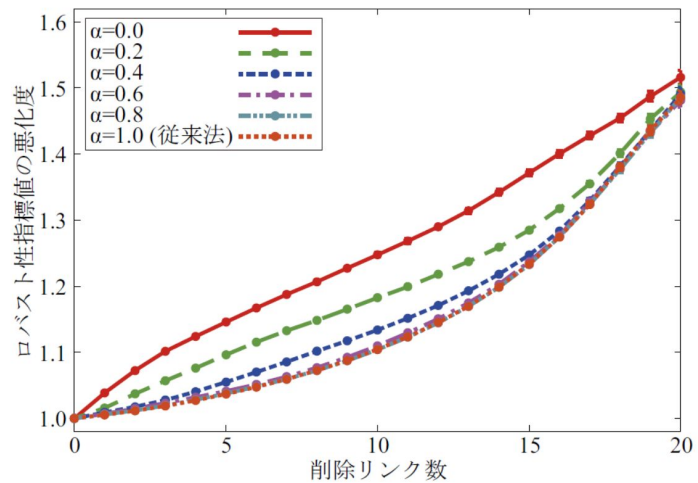


図6 削除リンク数が消費電力に与える影響

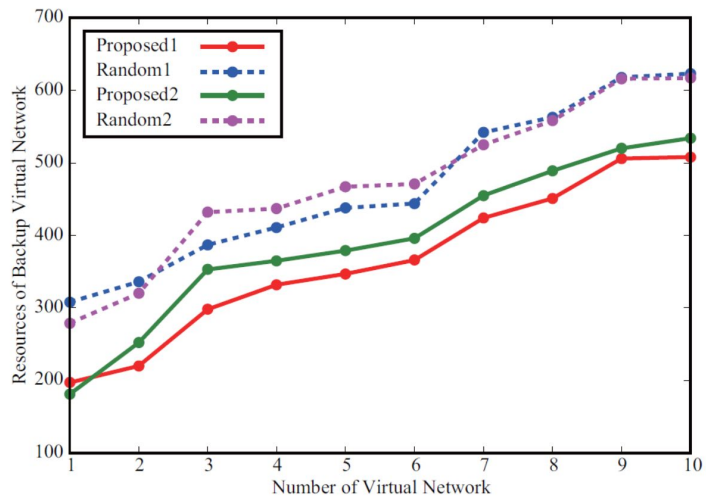


図7 仮想網が高速復旧用の資源量に与える影響

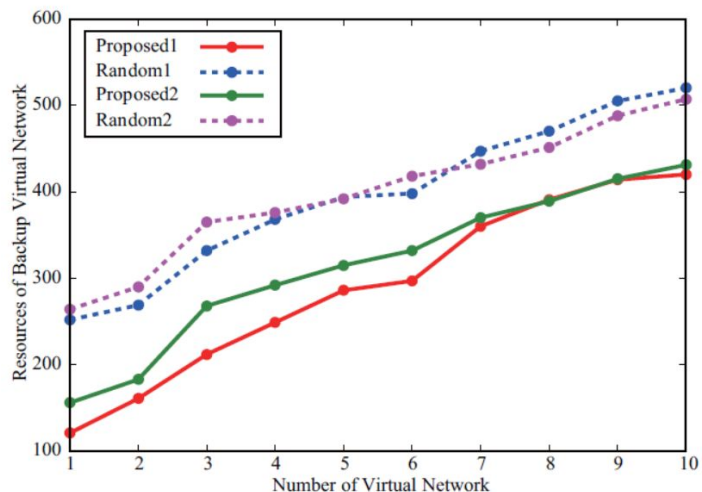


図8 仮想網が高速復旧用の資源量に与える影響
(トラヒックエンジニアリングによるロバスト性維持の効果が低い場合)

5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計8件)

畑中 崇志, 橘 拓至, 総消費電力量を低減する RLE-MRC の改善アルゴリズム, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2018 年

Takayuki Hatanaka and Takuji Tachibana, Robustness based Low-Energy Multiple Routing Configurations for Fast Failure Recovery ,2018 International Conference on Computer and Electrical Engineering , 2018 年

Dhanu Dwiardhika, Takuji Tachibana, Performance Evaluation of Security-Aware Virtual Network Embedding with VNF Placement, 電子情報通信学会総合大会, 2018 年

Dhanu Dwiardhika, Takuji Tachibana, Virtual Network Embedding Based on Security Level with VNF Placement, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2017 年

畑中崇志, 橘 拓至, 複数トポロジ構成法に対する消費電力とリンク長を考慮したリンク削除法, 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 2016 年

浦山 康洋, 橘 拓至, 物理網のロバスト性と伝送距離を考慮した仮想網構築法, 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会, 2016 年

浦山 康洋, 橘 拓至, 収益と遅延を考慮した最適仮想網構築スケジューリング, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2015 年

浦山 康洋, 橘 拓至, ネットワーク資源の有効利用を実現するロバスト性と資源量に基づいた仮想網構築スケジューリングの検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2015 年

〔その他〕

ホームページ <http://ginyu.fuis.u-fukui.ac.jp/members/takuji-t/>

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。