

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00129

研究課題名(和文) 省電力を指向した仮想網マッピング技術の確立

研究課題名(英文) Development of energy-efficient virtual network mapping technologies

研究代表者

福島 行信 (Fukushima, Yukinobu)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：00432625

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)：インターネットの消費電力は年々増加しており、その低減は急務の課題である。本研究では、消費電力の低減を目的関数として仮想網を物理網に収容する問題(仮想網マッピング問題)を対象として、まずは、数理計画法を用いて仮想網マッピングに伴う消費電力の下限値を導出し、次に、多項式時間で極力下限値に近い解を得られる仮想網マッピング技術を考案した。

研究成果の概要(英文)：It is indispensable to decrease the Internet's power consumption. In this research, we tackle an energy-efficient virtual network mapping problem where we map requested virtual networks on the physical network so that the power consumption associated with the mapping is minimized. We first obtain the theoretical lower bound on the power consumption with mathematical programming. Then, we develop a heuristic that achieves the near-optimal power consumption in polynomial time.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：網仮想化 仮想網 仮想網マッピング問題 省電力

1. 研究開始当初の背景

コンピュータやネットワーク機器の仮想化技術およびそれらを制御するソフトウェア技術の進展により、仮想化されたノード(仮想ノード)およびリンク(仮想リンク)で構成される複数の仮想網を単一の物理網上で運用する技術(網仮想化技術)が注目を集めている。網仮想化の導入により、網設備の利用効率の向上、網サービスの早期展開、需要に応じた網資源量の柔軟な調整、網設備費用(CAPEX)および網運用費用(OPEX)の削減といった恩恵がもたらされる。

仮想網の運用に際しては、事前に仮想網の構成要素である仮想ノードおよび仮想リンクをそれぞれ物理網上のどの物理ノードおよびどの物理経路に対応づけるのかを決定しなければならない(以下、この問題を仮想網マッピング問題と呼ぶ)。従来、仮想網マッピング問題を解く際の目的関数としては、仮想網の通信品質(QoS)の最適化や仮想網マッピング事業者の収入の最大化が採用されていた。一方で、インターネットの消費電力は年々増加しているとの報告があり、また、日本国内では2020年にはインターネットの消費電力が2005年の国内総発電量に達するとの報告がある。これらのことから、近い将来には消費電力の制約により網設備の増強が不可能となり、その結果、年々増加するトラフィックをインターネットが収容できなくなることが予想される。この問題を解決するためには、インターネットの消費電力の低減が必要不可欠である。本研究では、近い将来にはインターネットで広く用いられると考えられている仮想網の消費電力に着目し、その省電力化を試みる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、消費電力の低減を目的関数として仮想網を物理網に収容する問題(仮想網マッピング問題)を対象として、1) 数理計画法により消費電力の下限値を導出すること、および、2) 多項式時間で極力下限値に近い解を得られる仮想網マッピング技術を確立することである。

3. 研究の方法

(1) 数理計画法による消費電力下限値の導出

省電力を指向した仮想網マッピング問題に取り組んでいる従来研究では、省電力を指向した仮想網マッピング問題を混合整数計画問題として定式化しており、それを解くことで、仮想網のマッピングに伴う消費電力を最小化するように仮想網をマッピングしている。しかしながら、この従来研究では物理ノードや物理リンクの省電力性能が低いこと、すなわち、物理ノードや物理リンクはその利用率が0である場合には電力を消費しない一方で、その利用率が0より大きい場合(アクティブである場合)には利用率の大きさにかかわらず一定の電力を消費してしまうことを仮定していた。そのため、物理ノードや物理リンクの省電力性能が低い場合にはこの手法は仮想網マッピングに伴う消費電力を最小化できるが、物理ノードや物理リンクの省電力性能が高い場合、すなわち、それらがアクティブである場合の消費電力が利用率に応じて変化する場合には、この手法は必ずしも仮想網マッピングに伴う消費電力を最小化できるとは限らない。近年、省電力性能が高いICT機器の研究・開発が進んでおり、今後は物理網が、省電力性能が高い物理ノードや物理リンクで構成されることが現実的になりつつあることから、そのような状況においても仮想網マッピングに伴う消費電力を最小化できる仮想網マッピング手法が必要である。

本研究では、物理ノードや物理リンクの省電力性能が低い場合だけでなく高い場合にも仮

仮想網マッピングに伴う消費電力を最小化できるように、従来の仮想網マッピング手法を拡張する。拡張手法は、物理ノードや物理リンクの利用率和消費電力の関係を表す消費電力モデルとして、変動消費電力モデルを採用する。変動消費電力モデルでは機器の消費電力が、機器の利用率にかかわらず一定である基礎消費電力と、機器の利用率に応じて変動する変動消費電力となる。拡張手法では、変動消費電力モデルを前提として仮想網マッピングに伴う消費電力を最小化するために、従来手法で定式化されている混合整数計画問題に対して下記の拡張を施す：(1) 仮想網マッピングに伴う消費電力を、変動消費電力に基づいて算出するように目的関数を拡張、(2) 物理ノードや物理リンクの利用率を算出するために必要な決定変数や制約条件の追加。そして、拡張手法と従来手法の性能を計算機シミュレーションにより比較する。

(2) 仮想網マッピング技術の確立

本研究では3-(1)と同様に、変動消費電力モデルを想定した上で、仮想網のマッピングに伴う消費電力の最小化を図る。この消費電力モデルを前提として仮想網のマッピングに伴う消費電力を低減するために、従来のヒューリスティック手法(従来手法)に対して次の拡張を施す：1) ノードマッピング時には、それに伴う消費電力の増分が極力小さい物理ノードを優先的に選択する、2) リンクマッピング時には、リンクマッピングに伴う消費電力の増分が極力小さい物理ノードを通る物理経路を優先的に選択する。このような拡張を施した手法(拡張手法)の性能を計算機シミュレーションで評価する。

さらに、様々な仮想網マッピング手法の実環境での性能を評価するために、実際に物理網上に仮想網を構築・運用できる仮想網マッピングエミュレータを開発する。この仮想網マッピングエミュレータでは、

IaaS クラウドサービスの基盤システムである OpenStack と、SDN による集中制御を可能とする OpenFlow を利用する。

4. 研究成果

(1) 数理計画法による消費電力下限値の導出

拡張手法と従来手法の消費電力を図1に示す。拡張手法は従来手法と比較して、消費電力を最大で25.1%低減している。これは、従来手法は機器の利用率に応じた消費電力の変化を考慮できていないのに対して、拡張手法はそれを考慮した上で機器の消費電力を正確に算出できているためである。

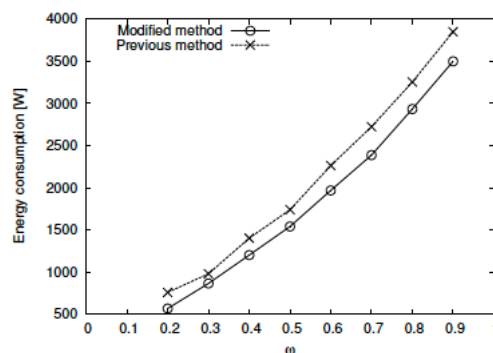


図1 数理計画法による仮想網マッピングに伴う消費電力

(2) 仮想網マッピング技術の確立

拡張手法と従来手法の消費電力を図2に示す。拡張手法は従来手法と比較して、消費電力を最大で40%低減している。これは、従来手法では、アクティブでない物理ノードを含む物理経路上に仮想リンクをマッピングし、その結果、大きな基礎消費電力が発生してしまうことが多いのに対して、拡張手法では、マッピングに伴う消費電力の増分を正確に算出することにより、上述したように大きな基礎消費電力が発生してしまう状況を避けることができているためである。以上の結果から、拡張手法を用いることでインターネットの消費電力の大幅な低減が期待できる。

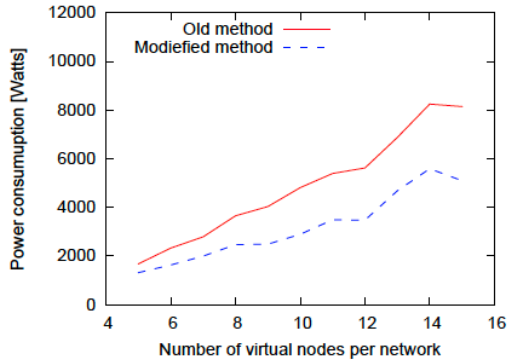


図2 ヒューリスティック手法による仮想網マッピングに伴う消費電力

続いて、図3に示す実験ネットワークを用いて仮想網マッピングエミュレータの動作確認実験を行った。実験の結果、開発した仮想網マッピングエミュレータが、要求された仮想網を適切に構築できること(図4)、および、仮想ノードと仮想リンクのそれぞれに対して要求通りのノード資源とリンク資源を割り当てられていることが確認できた。

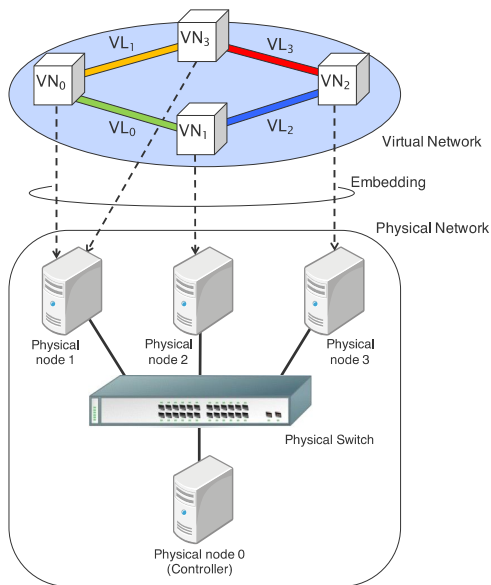


図3 実験ネットワーク

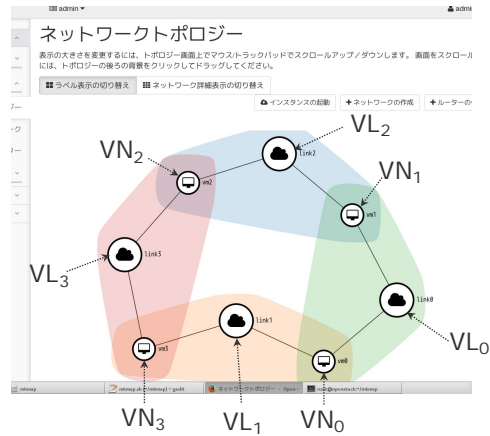


図4 仮想網マッピングエミュレータ上で構築された仮想網

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Y. Fukushima, K. Sato, I. Goda, H. G. Ryu and T. Yokohira, "A Prototype Virtual Network Embedding System Using OpenStack," IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, Vol. 6, No. 1, pp. 60-65, February 2017. 査読有.

H. Sugiyama, Y. Fukushima and T. Yokohira, "Modification of an Energy-Efficient Virtual Network Mapping Method for a Load-Dependent Power Consumption Model," WSEAS Transactions on Communications, Vol. 15, pp. 240-250, August 2016. 査読有.

〔学会発表〕(計2件)

I. Goda, K. Sato, Y. Fukushima, H. G. Ryu and T. Yokohira, "Prototype Development of a Virtual Network Embedding System Using OpenStack," in Proceedings of the 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and

Communications (ITC-CSCC 2016), pp. 21-24, July 2016 .

H. Sugiyama, Y. Fukushima and T. Yokohira, "Performance Evaluation of an Energy Efficient Virtual Network Mapping Method - In the case of load-depending power consumption model -," in Proceedings of the International Conference on Electronics and Software Science (ICESS 2015), 11 pages, July 2015.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

福島 行信 (FUKUSHIMA, Yukinobu)
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：00432625