

消費電力とネットワーク性能を考慮した SDN コントローラ配置を決定するモデルの一検討

近藤 智文^{†1} ギリエルイス^{†2} 和泉 諭^{†3} 阿部 亨^{†1,†2} 水木 敬明^{†1,†2} 菅沼 拓夫^{†1,†2}

^{†1} 東北大学大学院情報科学研究科 ^{†2} 東北大学サイバーサイエンスセンター

^{†3} 仙台高等専門学校

1 はじめに

大規模な Software Defined Network (SDN) 環境ではフロー遅延の制約や耐障害性の観点からコントローラを複数配置する必要がある、その際どのようにコントローラを配置するかを決定する Controller Placement Problem (CPP) [1] が検討されている。また、企業や大学等の組織において電気代の節約や環境への配慮から ICT 機器の消費電力を削減する需要が高まっている。

本研究では、SDN においてネットワーク性能を維持しつつ消費電力を削減することを目的とした CPP のモデルを提案する。

2 関連研究

CPP に関する研究として、スイッチにおけるリンクの消費電力を考慮したアプローチがある [2]。この研究ではアクティブリンク数を減らすことで消費電力の削減を図っているが、スイッチやコントローラでの消費電力や、ネットワーク性能について未考慮である。

リンクとコントローラでの消費電力を考慮した CPP に関する研究として文献 [3] がある。この研究には、スイッチでの消費電力について未考慮であることや、目的関数が不適切で消費電力を最小化できていないこと、経路選択やアクティベーション条件のモデリングが不十分であること等の課題が残されている。

3 提案

SDN におけるリンク・スイッチ・コントローラでの消費電力とネットワーク性能を考慮した CPP のモデルの提案を行う。CPP のモデルは Binary Integer Programming (BIP) として構築する。

本研究ではノードの集合 V とリンクの集合 E から成るグラフ $G = (V, E)$ によって表現されるネットワークを想定する。各ノード $v_i \in V$ には SDN スイッチ s_i が配置され、一部のスイッチにはフローを発生させるデバイスが接続されることを

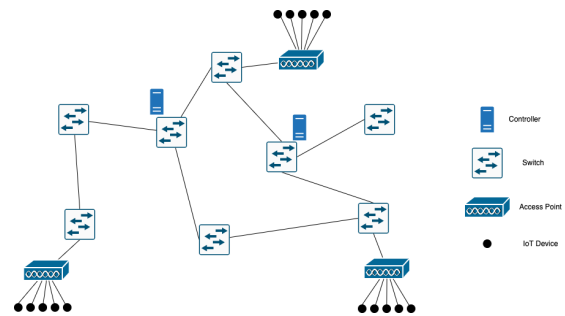


図 1: ネットワークモデル

想定している。SDN コントローラはネットワーク内の一部のノードに配置され、ノード $v_i \in V$ に配置されたコントローラを c_i とする。

各ノードにおけるコントローラの有無を表す決定変数は以下の通り。

$$c(j) = \begin{cases} 1 & \text{if controller } c_j \text{ is placed} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

各スイッチは 1 つのコントローラに制御され、そのマッピングを表す決定変数は以下の通り。

$$sc(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if switch } s_i \text{ is assigned to controller } c_j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

また、ノード i, j を繋ぐリンクを $e_{ij} \in E$ とする。ネットワークモデルの概略図を図 1 に示す。

各スイッチとコントローラ間の経路はあらかじめ短い方から L 個だけ算出し、コントローラ配置を決定する際にその中からどの経路を用いるかも決定する。スイッチ s_i とコントローラ c_j 間の経路の集合を P_{ij} とし、 P_{ij} の中の $l (\leq L)$ 番目の経路を p_{ij}^l とする。また、リンク e_{ij} を通る経路の集合を P_{ij}^e とする。

どの経路が使われるかを表す決定変数は以下の通り。

$$p(i, j, l) = \begin{cases} 1 & \text{if path } p_{ij}^l \text{ is used} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

使用しないリンクとスイッチは消費電力削減のために非アクティブ化される。各リンクとスイッチのアクティベーションを示す決定変数は以下の通り。

$$e(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if link } e_{ij} \text{ is activated} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

A Study on Modeling the Controller Placement Problem considering the Power Consumption and Network Performance.

Tomofumi Kondo^{†1} Guillen Luis^{†2} Satoru Izumi^{†3} Toru Abe^{†1,†2} Takaaki Mizuki^{†1,†2} Takuo Suganuma^{†1,†2}

^{†1} Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

^{†2} Cyberscience Center, Tohoku University ^{†3} National Institute of Technology, Sendai College

$$s(i) = \begin{cases} 1 & \text{if switch } s_i \text{ is activated} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ネットワーク内のフローは一部のスイッチに接続しているデバイスから発生することを仮定し、デバイスが接続しているスイッチの割合を $D = [0, 1]$ とする。また、デバイスからスイッチ s_i に送出されるフロー量は F_i 、各スイッチから発生してコントローラ c_j に到達する PacketIn フロー量は F_j^P 、スイッチとコントローラ間の経路上のリンク e_{ij} を通るフロー量は F_{ij}^P と表される。

各スイッチとコントローラ間の遅延はその間を流れるフローの伝搬遅延を考え、 $W_{ij} = W^E \sum_{p_{ij}^l \in P_{ij}} p_{ij}^l$ (W^E : 各リンクの伝搬遅延) と表される。また、許容遅延を W_{th} とする。

消費電力のモデルについては、リンク・スイッチ・コントローラそれぞれをアクティブ化または配置することで生じる一定のベース消費電力と、それぞれに到達・通過するフロー量に比例して増加する消費電力を仮定する。リンクでの消費電力は $P_{ij}^E = e(i, j)P^{E0} + F_{ij}^P P^{Ef}$ (P^{E0} : Base power consumption of link, P^{Ef} : Power consumption coefficient of link), スイッチでの消費電力は $P_i^S = s(i)P^{S0} + F_i P^{Sf}$ (P^{S0} : Base power consumption of switch, P^{Sf} : Power consumption coefficient of switch), コントローラでの消費電力は $P_j^C = c(j)P^{C0} + F_j^P P^{Cf}$ (P^{C0} : Base power consumption of controller, P^{Cf} : Power consumption coefficient of controller) と表される。

そして、消費電力を抑えるために目的関数を以下のように設定する。

$$\text{Minimize}_{c, sc, p, e, s} \sum_{e_{ij} \in E} P_{ij}^E + \sum_{s_i \in S} P_i^S + \sum_{c_j \in C} P_j^C$$

また、コントローラとスイッチのマッピングや経路選択、伝搬遅延、各機器のアクティベーションやキャパシティに関する制約のモデリングを行った。

4 実験と評価

提案手法の評価を行うため、Python 製の PuLP モデラと Gurobi ソルバを用いて実験を行った。実験は Att トポロジにおいて行い、(1) デバイスが接続しているスイッチの割合と (2) スイッチとコントローラ間の最大許容遅延を変動させた場合について行った。また、性能指標として消費電力、平均遅延、計算実行時間を測定した。

図 2 と 図 3 に各実験の結果を示す。結果から、ネットワーク性能と消費電力の節約量はトレードオフの関係にあり、許容できる遅延が大きいほど消費電力をより節約できることなどが確認できた。

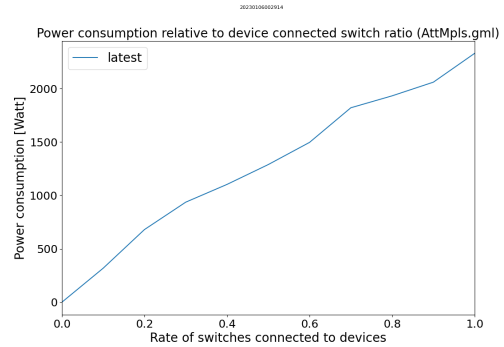


図 2: デバイス接続スイッチの割合に対する消費電力

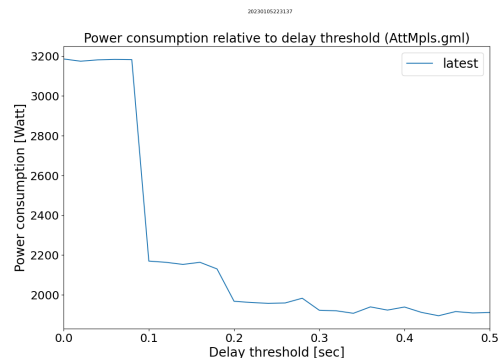


図 3: 許容遅延に対する消費電力

5 まとめと展望

本研究では SDN における遅延を維持しつつ消費電力を削減することを目的としたコントローラ配置手法を提案した。提案した手法により、SDN での消費電力を削減するようなコントローラ配置が行われることや、消費電力を削減した場合にも遅延を許容範囲内に抑えられることが確認できた。

今後は異なるトポロジにおける提案手法の評価や、実機のネットワーク環境における実験、消費電力等のモデルの改良を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Heller, B. and Sherwood, R.: The controller placement problem, *HotSDN '12: Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks*, pp. 7–12 (2012).
- [2] Ruiz-Rivera, A. et al.: GreCo: An Energy Aware Controller Association Algorithm for Software Defined Networks, *IEEE Communications Letters*, Vol. 19, No. 4, pp. 541–544 (2015).
- [3] Maity, I. et al.: EnPlace: Energy-Aware Network Partitioning for Controller Placement in SDN, *IEEE Transactions on Green Communications and Networking (Early Access)*, pp. 1–1 (2022).