

OpenFlow を用いたルーティング学習教材の開発

Development of Learning Materials for Routing by Using the OpenFlow

石川 有彩^{*1}, 吉原 和明^{*2}, 井口 信和^{*3}, 渡辺 健次^{*4}
 Arisa ISHIKAWA^{*1}, Kazuaki YOSHIHARA^{*2}, Nobukazu IGUCHI^{*3}, Kenzi WATANABE^{*4}

^{*1} 広島大学教育学研究科

^{*1} Graduate School of Education, Hiroshima University

^{*2} 福山大学工学部

^{*2} Faculty of Engineering, Fukuyama University

^{*3} 近畿大学理工学部

^{*3} Faculty of Science and Engineering, Kindai University

^{*4} 広島大学人間社会科学研究科

^{*4} Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University

Email: m196554@hiroshima-u.ac.jp

あらまし：高等学校学習指導要領解説情報編¹には、学習内容として「情報通信ネットワークの仕組みと構成要素を理解する」ことが示されている。しかし、実世界の情報通信ネットワークの構成要素である、ルータや L2 スイッチなどは教材として用意することが難しく、体験的な学習が行われていない。そこで本研究では、OpenFlow という技術を用いて、様々なネットワーク機器の演習を行える教材の開発を行っている。

キーワード：教材開発, 情報通信ネットワーク, 演習, OpenFlow, 可視化

1. はじめに

高等学校学習指導要領解説情報編¹には、学習内容として「情報通信ネットワークの仕組みと構成要素を理解する」ことが示されている。しかし、実世界の情報通信ネットワークの構成要素である、ルータや L2 スイッチなどは教材として用意することが難しく、体験的な学習が行われていない。

そこで本研究では、OpenFlow という技術を用いて、様々なネットワーク機器の演習が行える教材の開発を行っている。

2. 教材の開発

2.1 OpenFlow

OpenFlow はソフトウェアによりネットワークの制御機能を自由に設計・実装することができる技術である。OpenFlow は「OpenFlow スイッチ (以下, スイッチ)」と呼ばれる転送部と、「OpenFlow コントローラ (以下, コントローラ)」と呼ばれる制御部に分かれており、コントローラでスイッチの転送機能を自由に設計・実装することができる。

つまり、コントローラからスイッチに指示を与えることで、スイッチにルータの機能を持たせたり、L2 スイッチの機能を持たせたりすることができる。

本研究では、コントローラに「Ryu」を、スイッチには「Open vSwitch (以下, OvS)」を用いた。

また、Ryu には WSGI に対応した Web サーバの機能があり、REST API を作成することができる²。この機能を利用して、外部からスイッチの IP アドレスや経路情報などを設定することができる。

2.2 システムの構成

教材の開発には 4 つの Raspberry Pi 3 を用意し、1 つはコントローラ、残り 3 つはスイッチとして用いた。Raspberry Pi 3 には WiFi モジュールが内蔵されており、無線通信を行うことができる。

システムの構成を図 1 に示す。コントローラとスイッチ間の通信や、スイッチ同士のシステム上の通信は無線で行った。また、OpenFlow で制御するネットワークは有線で構築した。

本研究では、ホストから有線ネットワークに ping を送信し、ICMP パケットが流れる様子を LED テープの光で可視化する。

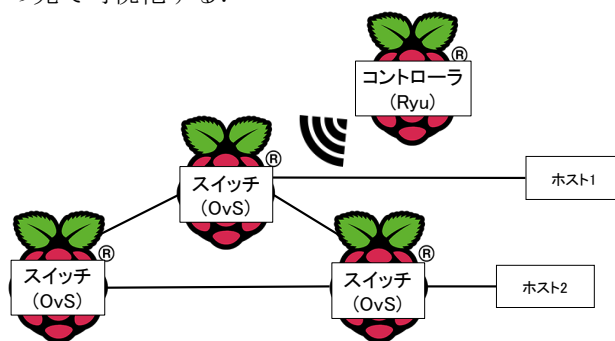


図 1. システムの構成

2.3 パケットキャプチャ

ICMP パケットの流れる様子を LED テープの光で可視化するためには、パケットをキャプチャする必要がある。本研究では、OpenFlow を用いたパケットキャプチャの方法を考案した。

まず、ping を実行した時に送信される、ICMP パケットがスイッチへ来た時、スイッチはそのパケッ

トを適切に処理しつつ、コントローラへ転送する。

パケットを受け取ったコントローラは、そのヘッダ情報を解析し、送信元 IP アドレスや宛先 IP アドレスなど、LED テープを光らせるための情報が入ったメッセージを生成する。そして、そのメッセージを無線でスイッチへ送信する。

メッセージを受け取ったスイッチはその内容から、自機が制御している LED テープをどのように光らせるかを決定する。

2.4 メッセージを用いた LED テープの制御

LED テープは、スイッチとして用いている Raspberry Pi で制御しており、LAN ケーブル一本に LED テープが一本対応するように用意した。

スイッチが LED テープを制御するには、光の流れる方向と光らせるタイミングを決定する必要がある。その判断材料となるのがパケットのヘッダ情報である。そこで、コントローラが Raspberry Pi にメッセージを送ることで、LED テープの制御を行うようにした。

メッセージには、パケットがどのポートから入ってきたかを表す「in_port」と、そのパケットの宛先タイプ、送信元 IP アドレス、宛先 IP アドレスもしくはゲートウェイの IP アドレスの情報が格納されている。

宛先タイプとは、パケットキャプチャしたスイッチにとって、ping の宛先がどの位置にあるかを分けたものである。以下のように分けられる。

- A) ping の宛先が自機
- B) ping の宛先が自機のリンク上にある
- C) ping の宛先が自機のリンク上にはない

このメッセージを用いた LED テープの制御の流れを述べる。

まず、コントローラからパケットキャプチャのメッセージを受け取ったスイッチは、送信元 IP アドレスと自機の IP アドレスを照らし合わせ、ping の送信元がリンク上にあるかどうかを調べる。送信元がリンク上にあれば、自機が制御している LED テープのうち、in_port 側に対応しているものを光らせる。送信元がリンク上になければ、別の Raspberry Pi が送信元から自機のもとへ光を流し終えるまで待機する。

次に、宛先タイプが A なら、光の向きを変えてもう一度光らせる。これで、自機に光が流れ込んだ後、自機から光が出て行く、という ICMP エコー要求と ICMP エコー応答の様子を表現することができる。

宛先タイプが B なら、宛先がある側の LED テープを光らせる。

宛先タイプが C なら、ゲートウェイがある側の LED テープを光らせる。

このように、メッセージの内容に応じて LED テープの制御を行った。

2.5 ルーティングの実験

図 1 の構成で、OpenFlow スwitch にルータの機能を実装して実験を行った。

まず、コントローラでルータのアプリを実行する。次にスイッチで LED テープを制御するためのプログラムを実行する。そして、スイッチの IP アドレスや経路情報を HTTP メソッドでコントローラに送信して設定を行う。

この状態で ping を送信して実験を行った。図 2 はホスト 1 からホスト 2 へ ping を送信し、その流れを LED テープの光で可視化している様子である。右下の LED テープはホスト 2 とスイッチの間のパケットの流れを表現している。

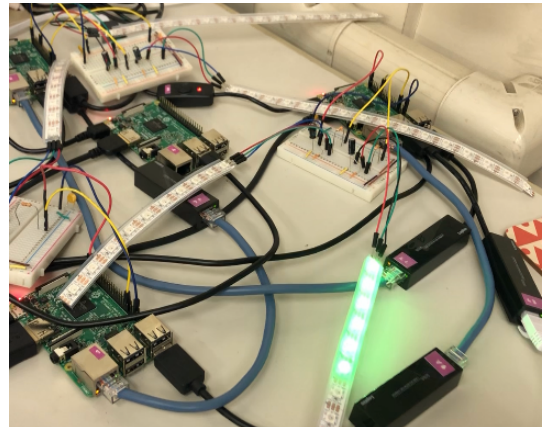


図 2. 実験の結果

ホスト 1 から全てのインターフェイスへ ping を送信した場合と、ホスト 2 から全てのインターフェイスへ ping を送信した場合の実験を行った。結果、全ての場合で正しくパケットの流れを可視化することができた。

3. おわりに

本研究では、OpenFlow を用いたルーティング学習教材の開発を行った。本教材では、コントローラからスイッチにルータの役割をするよう指示して、その際のスイッチの IP アドレスや経路情報を設定することができる。また、そうして構築したネットワークを流れるパケットの流れを LED テープの光の流れで確認できるようにした。

今後は L2 スwitch や Firewall など OpenFlow で実装し、それらで構築されたネットワークを流れるパケットを、LED テープの光で可視化できるようにする。また、生徒が IP アドレスや経路情報を設定する際のインターフェイスについても考える必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K11570 の助成を受けたものです。

参考文献

- (1) 文部科学省:高等学校学習指導要領解説情報編, p.35 (2018)
- (2) RYU project team: "REST 連携-Ryubook1.0 ドキュメント", <https://osrg.github.io/ryu-book/ja/html/rest_api.html> (2020 年 6 月 2 日アクセス)