

令和 3 年 5 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11570

研究課題名(和文) 物理的インタフェースを持つ情報ネットワーク技術学習教材の開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on Development of Network Learning Materials based on a Concept of the Physical Interface

研究代表者

渡辺 健次 (Watanabe, Kenzi)

広島大学・人間社会科学研究科(教)・教授

研究者番号：00220880

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、物理的可視化 および物理的直接操作からなる物理的インタフェースというコンセプトを提唱し、それに基づいて中学校および高等学校向けの情報ネットワーク技術の学習ができる教材を開発する研究を行っている。本研究の目的は、経路制御の仕組みを学ぶ教材「ルータ」をSDN技術を用いて開発し、既に開発したIPアドレスを学習する教材と合わせて実際に授業で用いることを通して、学習コンテンツとしての提供を目指すことである。物理的インタフェースにより直感的に扱える新しい教材による実践は、情報ネットワーク技術を学んだ人材を育成し、高度情報化社会の進展に貢献するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した教材は、物理的可視化および物理的直接操作からなる物理的インタフェースと呼ぶコンセプトに基づき、情報ネットワークに触れ、また見ることを可能にし、情報ネットワークを構築する実験を通して情報ネットワークの仕組みを学ぶことを可能にする。物理的インタフェースは、特に中学生や高校生に対して、単にコンピュータを操作するだけでは実感することができないリアリティを提供することができるため、学習指導要領で示されている「情報通信ネットワークの構成と、情報を利用するための基本的な仕組みを理解」するための「ものづくりなどの技術に関する実践的・体験的な活動」を通して、学習機会を提供する。

研究成果の概要(英文)：We have been developing teaching materials of network technology learning based on the concepts of the physical visualizations and the physical direct manipulations. The purpose of this research is to develop a teaching material "router" using SDN framework. This teaching material has the same functions of the router on the Internet. Students can study routing functions using this teaching material. We believe this teaching material contributes professional developments for networking technologies and future ICT society.

研究分野：学習支援システム

キーワード：ネットワーク技術学習 物理的可視化 物理的直接操作 教材開発 学習支援

1. 研究開始当初の背景

現行の学習指導要領および次期学習指導要領において、中学校技術・家庭科技術分野（以下では「技術科」と記す）および高等学校情報科において、情報ネットワークの仕組みについて学ぶ内容が含まれている。具体的に、中学校の技術科では、平成 29 年 3 月に公示された新学習指導要領において「情報通信ネットワークの構成と、情報を利用するための基本的な仕組みを理解し」と示されており、「ものづくりなどの技術に関する実践的・体験的な活動を通して」学習することを目指す」と記されている。

情報ネットワーク技術の実践的・体験的な学習として、情報系の大学を中心に情報ネットワーク構築の演習を行っているところも多い。多くの場合、ルータや Linux の設定を行いながら情報ネットワークを構築する演習となっている。しかし、中学校や高等学校において情報ネットワーク構築の演習を行うことを考えると、ルータや Linux の設定を行うのは難しいと考えざるを得ない。このように、学習指導要領で中学校や高等学校で情報ネットワークを学習することが求められているにも関わらず、学ぶための良い教材が無いことが情報ネットワークの実験や実習を行うことを難しくしていると考えた。

一方で、情報ネットワークは既に社会インフラとなっており、我々が通常目にしていないところで働いているシステムとなっている。そのため、情報ネットワークを見たり触れたりする機会がほとんどないため、情報ネットワークに対する実感が乏しく、情報ネットワークの仕組みを学ぶ際に具体的なイメージを構築することができないことも、学習を難しくしていると考えた。

2. 研究の目的

我々は、情報ネットワークに触れ、また見ることを可能にし、情報ネットワークを構築する実験を通して情報ネットワークの仕組みを学ぶことができる教材の開発を行っている。教材は物理的可視化および物理的直接操作からなる物理的インタフェースと呼ぶコンセプトを実現している。物理的可視化とは、コンピュータのモニターで可視化するのではなく、例えば LED の点灯や物の動きのような物理的な現象により可視化を行うことを意味している。物理的直接操作とは、マウス等でコンピュータの画面上のアイコンを操作する GUI による直接操作ではなく、ダイヤルやボタンなどの物理的なモノを操作することを意味している。

物理的インタフェースは、特に中学生や高校生に対して、単にコンピュータを操作するだけでは実感することができないリアリティを提供することができるように考える。学習支援システムの研究分野では、このような物理的なインタフェースを持つ教材や教育システムを開発・実践している研究は他に例が無く、本研究は非常に独創的であると言える。

既に我々は、物理的インタフェースのコンセプトに基づいた、中学校や高等学校で利用できる情報ネットワーク学習教材として、情報ネットワーク技術の中心である「IP アドレス」の仕組みを学ぶ教材を開発している。教材を用いた授業実践を通して、開発した教材の有効性、物理的可視化および物理的直接操作の有効性を確認している。

情報ネットワーク技術は、様々な技術の集合体である。その中でも「経路制御」は、情報ネットワーク技術を支えるパケット転送を実現する技術であり、情報ネットワーク技術の理解にかかせないものである。本研究の目的は、経路制御の仕組みを学ぶ教材「ルータ」を開発し、既に開発した IP アドレスを学習する教材と合わせて実際に授業で用いることを通じて、学習コンテンツとして提供を目指すことである。教材の開発では既存のルータを転用するのではなく、ルータの重要な機能を再現し、ルータの動きを物理的可視化し、物理的直接操作によって設定が行える教材として開発する。このような物理的インタフェースによる情報ネットワーク学習教材は既存の他の研究には例が無く、本研究の独創的なものである。

3. 研究の方法

実際に情報ネットワークで用いられているルータは機能が固定されており、開発基盤としては適していないため、本研究では実際のルータと同じ機能を実装し、それを教材の開発基盤として用いる。機能の実装に当たっては近年発展してきた SDN (Software Defined Network) を用い、経路表の作成および維持、経路の選択、パケットの転送等の必要な機能を実装する。なお、SDN の研究分野においても、SDN 技術を教材の実装基板とした用いた例は無く、SDN の分野においても新たな応用を切り開くものとなっている。

4. 研究成果

(1) OpenFlow を用いたネットワーク学習教材の開発

OpenFlow はネットワーク機能をソフトウェアで実装できる技術であり、ネットワークの機能に応じた特別なハードウェアを必要としない。そのため、教材として専用のハードウェアを複数用意する必要はなく、OpenFlow に対応した一つのコンピュータで様々なネットワーク機能を実装することができる。

実際のネットワーク機器を用いた学習では、教員が多数のネットワーク機器を学習者が操作できる状態に準備する必要があったり、学習者は個々のネットワーク機器の操作方法や技術の習得に多くの時間を割いてしまい、情報通信ネットワークの基礎となる原理の学習に十分時間をとれない傾向がある。

一方、OpenFlow は OpenFlow コントローラと呼ばれる制御部分と OpenFlow スイッチと呼ばれる転送部分に分離していることから、複数の OpenFlow スイッチに実装するネットワーク機能の切替えや設定などを OpenFlow コントローラで一元管理することができる。そのため、教員の準備時間の短縮にもなりうる。また、OpenFlow ではネットワークの設定方法もソフトウェアで定義することができるため、学習者がわかりやすい方法で設定を行えるように開発することができる。

本教材では、OpenFlow コントローラで OpenFlow スイッチの転送機能を制御することで、ルータ、L2 スイッチ、Firewall、動的経路制御といったネットワーク機能を Raspberry Pi に実装した。また、本教材では実装したネットワーク機能を小型キャラクタ LCD で表示し、ネットワーク上を流れるパケットを LED テープの光で可視化した。これにより、学習者にとって理解しやすい教材となるように工夫した。

本研究では Raspberry Pi3 Model B V1.2 を 4 機用いて教材の開発を行った。各 Raspberry Pi は無線で通信を行う。また、3 機の Raspberry Pi と 2 機のホストは有線 LAN ケーブルで接続されている。本研究では、無線の通信機能を OpenFlow による制御などのシステムの管理に用い、有線 LAN で教材のネットワークを構築する。本教材では、各 LAN ケーブルに対応する LED テープを用いてパケットを LED の点灯により可視化する (図 1)。

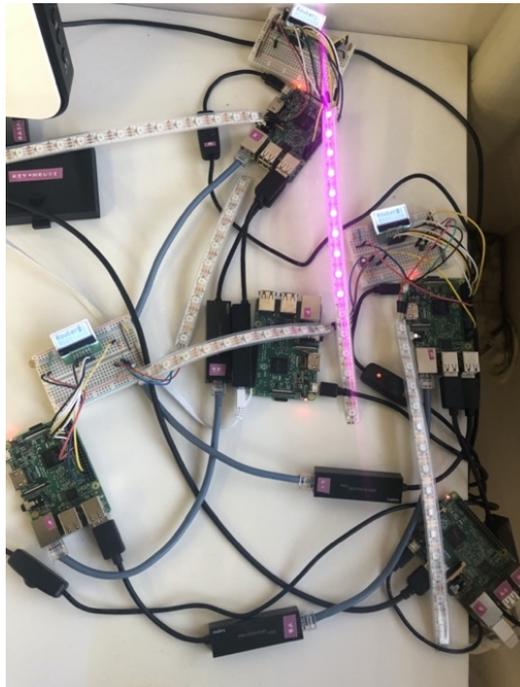


図 1 パケットを可視化した様子

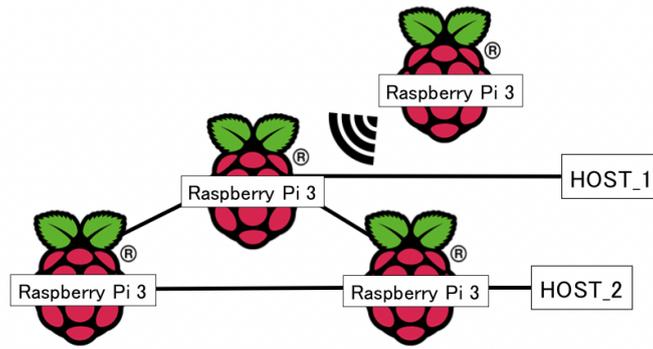


図 2 機器の配置図

Raspberry Pi はデフォルトで1つのLANポート (NIC) を搭載している。本研究では有線接続できるポートを増設するために、1つのRaspberry Piにつき最大2つのUSB LANアダプタを接続した。これにより1つのRaspberry Piが持つNICはeth0、eth1、eth2、wlan0(無線用)となる。機器の配置図を図2に示す。

OpenFlow コントローラとしてRyuを用いた。Ryuにはネットワーク機能を実装するためのアプリケーションがいくつか用意されており、本教材ではルータとL2スイッチ、Firewallの実装を、提供されたアプリケーションを修正して行った。

OpenFlow コントローラとして用いたRyuにはWebサーバの機能が搭載されており、HTTPリクエストを送信することでネットワークの設定を追加したり、設定した情報を取得したりすることができる。本教材ではWebのアーキテクチャスタイルであるREST APIを作成することで、設定機能を実装した。本教材でHTTPリクエストを送信する方法は、curlコマンドを実行する方法と設定プログラムを編集して実行する方法がある。

ルータの演習では3機のOpenFlowスイッチの各インターフェイスのIPアドレスと、ゲートウェイの設定を行う。L2スイッチの演習では1つのOpenFlowスイッチのMACアドレステーブルの作成を行う。Firewallの演習では1機のOpenFlowスイッチのFirewallの有効化と、ルールの設定を行う。Ryuで提供されているFirewallのアプリケーションでは、ルールとして宛先IPアドレスやプロトコルを指定することができる。しかし、本教材では外部ネットワークと内部ネットワークの間にFirewallを実装し、「どんなパケットでも通過を許可する」場合と、「内部ネットワークから送信されたパケットのみ通過を許可する」場合を、演習内容として想定している。動的経路制御の演習では3機のOpenFlowスイッチのIPアドレスとポート番号の設定を行う。

本教材ではホストから送信されたICMPパケットを、フルカラーシリアルLEDテープの光で可視化する。可視化するICMPパケットは有線LANケーブルによって転送されるものである。本研究では1本のLANケーブルにつき1本のLEDテープを用意した。

フルカラーシリアルLEDテープは、光の色や光るパターンなどをプログラムで自由に制御することができる。本教材では、ネットワーク上をパケットが流れているような表現にするため、LEDテープの端から端へ、光が移動するような動きにした。また、光の色はネットワークアドレスに基づいて決定する。これにより、例えばパケットがルータを介して別ネットワークへ移動するとLEDテープの光の色は変化するが、L2スイッチを介した場合は色に変化しない、といった様子も確認することができる。

本研究ではICMPパケットのキャプチャをOpenFlowコントローラで行っている。OpenFlowコントローラはキャプチャしたパケットの解析結果に基づいてメッセージを生成し、UDP通信でLEDテープを制御するRaspberry Piに送信する。LEDテープを制御するRaspberry Piは、そのメッセージの情報に基づいてLEDテープの光の色、光の向き、光るタイミングを決定して光らせる。

Ryuには小規模ネットワークにおいて動的経路制御を行うアプリケーションが提供されていない。そこで本研究では、小規模ネットワークにおける代表的なルーティングプロトコルの一つであるRIPに倣って、動的経路制御を行うアプリケーションを開発した。

動的経路制御のアプリケーションでは、以下のような機能をRyuで実装した。

- ・ 学習者がIPアドレスとポート番号を設定する機能
- ・ 設定された情報から経路表を自動的に作成する機能
- ・ LANケーブルが引き抜かれるなど、物理的な障害がOpenFlowスイッチに発生した時、該当する経路を経路表から削除する機能

(2) 経路図を作成するWebインタフェースの開発

上記の(1)で開発した教材は、それぞれのルータのIPアドレスの設定やゲートウェイの設定が難しいため、学習者が直感的に経路を設定できるWebインタフェースの開発を行なった。

Web ページ上で、ラズベリーパイに見立てたアイコンを追加し、それらをデータの流れを表す矢印で結線することで経路図を作成することができる。アイコン及び矢印を動的に描画できるように実装した。具体的にはドラッグされている最中に都度マウスカーソルの座標を取得し、その座標を、アイコンを描画する関数に入れることで再描画を行う。また、矢印の結線についてはアイコンについているハンドルをそれぞれ識別し、ドラッグすることで矢印を動的に描画することができる。図 3 は Web ページ上で作成した HOST(タブレットのアイコン)から Switch3、1、2 を経由して別の HOST (ディスプレイのアイコン) にデータを送信する時の経路図である。

作成した経路図のルータのアイコンについているハンドルをクリックすることで、ルータに IP アドレスを設定することができる。本研究では Ajax により HTTP メソッドの POST を利用して、ウィンドウに入力された IP アドレスをディクショナリ型に整形してルータに渡している。

また、ルータにゲートウェイを設定する機能を実装した。図中のハンドル同士を矢印で結線することで、結線元のルータにゲートウェイを設定することができる。実装方法は IP アドレスの設定と同様である。

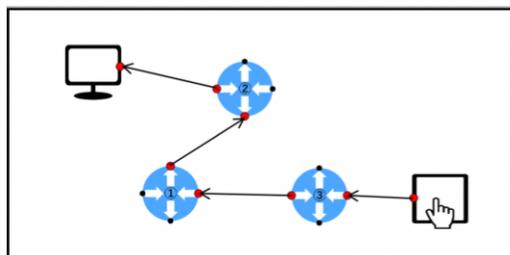


図 3 Web インタフェース上で作成した経路図

(3) 今後の課題

教材に実装する物理的インタフェースについて検討を行なったが、実装は令和 3 年度に持ち越しとなった。現在 Raspberry Pi に電子回路を組み合わせ、物理的インタフェースの実装を進めており、開発後、学会等で発表することを通して研究成果を公開する。また、実装後、本研究で開発した教材「ルータ」と既に開発している IP アドレスを学習する教材を合わせて、実際に授業で用いて物理的インタフェースによる教材の有効性を示し、学習コンテンツとして提供する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Arisa Ishikawa, Kazuaki Yoshihara, Nobukazu Iguchi and Kenzi Watanabe	4. 巻 1194
2. 論文標題 Development of Learning Materials for Routing by Using OpenFlow	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 In: Barolli L., Poniszewska-Maranda A., Enokido T. (eds) Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. CISIS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 540-547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-50454-0_56	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arisa Ishikawa, Kazuaki Yoshihara, Kenzi Watanabe	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Teaching Materials for Routing of Network Using a Full Color LED Tape as Physical Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 13th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS-2019)	6. 最初と最後の頁 789-797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-22354-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 井口信和, 渡辺健次
2. 発表標題 OpenFlow を用いた ルーティング学習教材の開発
3. 学会等名 第45回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 井口信和, 渡辺健次
2. 発表標題 ネットワーク学習教材の開発 - OpenFlow を用いたルーティングの学習 -
3. 学会等名 日本産業 技術教育学会第 63 回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 井口信和, 渡辺健次
2. 発表標題 OpenFlow を用いたネットワーク学習教材の開発
3. 学会等名 教育システム情報学会2020年度第5回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 井口信和, 渡辺健次
2. 発表標題 OpenFlowを用いたネットワーク学習教材の開発
3. 学会等名 情報処理学会インターネットと運用技術 (IoT) 研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 渡辺健次
2. 発表標題 フルカラーシリアルLEDテープを用いたルーティングの可視化による経路制御学習教材の開発
3. 学会等名 第44回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川有彩, 吉原和明, 渡辺健次
2. 発表標題 物理的インターフェイスを用いた経路制御学習教材の開発に関する研究 -LED テープを用いた ルーティングの可視化-
3. 学会等名 日本産業技術教育学会第62回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉原和明, 渡辺健次
2. 発表標題 物理的インタフェースを用いた経路制御学習のための「ルータ」教材開発に関する研究
3. 学会等名 第 43 回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉原和明, 石川有彩, 渡辺健次
2. 発表標題 物理的インタフェースを用いた経路制御学習教材の開発に関する研究
3. 学会等名 2018年度教育システム情報学会学生研究発表会（中国地区）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関