

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12108

研究課題名（和文）通信の仕組み理解のためのネットワーク解析機能を有する通信実験ツールスイートの開発

研究課題名（英文）Development of a Communication Experiment Tool Suite with Network Analysis Features for Understanding Communication Mechanisms

研究代表者

立岩 佑一郎（Tateiwa, Yuichiro）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：30534367

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：通信シミュレータとビジュアライザは、仮想的なネットワークにおいて通信を細かなステップに分割してシミュレーションし、その履歴を視覚的に表示する。ウェブ型演習システムは、遠隔サーバ上に仮想マシンによる仮想ネットワークを実現し、その編集のためのUIをウェブページにより提供する。ChatGPTとの対話機能は、ウェブ型演習システムにおいて学習者の通信実験をスムーズに行えるようにするため、学習者が自身の状況をChatGPTと相談しやすくすることを支援する。ネットワーク構築演習におけるルータ監視システムは、教師が学習者の状況を把握することを支援する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

情報社会を支えるネットワーク技術者の育成において、通信の仕組みを深く理解することは重要である。学習者がネットワークにて通信を実施し、その動作の可視化表示を見ることが理解に大きく役立つ。本研究ではネットワークの動作を可視化するシミュレータとビジュアライザを作成した。そして、その評価のために実際にネットワーク構築の演習に組み込むために、演習を簡単に行えるシステムを開発した。このシステムでの演習をスムーズにするために、構築中のネットワークについてChatGPTと相談する機能を持つ。また、教師による演習状況の把握を支援する仕組みのコンセプトを考え、その予備的評価のためにルータ監視システムを開発した。

研究成果の概要（英文）：A communication simulator and visualizer simulate communication by breaking it down into fine steps within a virtual network and visually display its history. The web-based exercise system implements a virtual network using virtual machines on a remote server and provides a user interface for editing it via web pages. The dialogue feature with ChatGPT supports learners in conducting communication experiments smoothly within the web-based exercise system by making it easier for learners to consult ChatGPT about their situation. The router monitoring system in network construction exercises assists teachers in understanding the learners' situations.

研究分野：教育工学

キーワード：教育工学 e-learning ネットワーク ChatGPT 演習環境 可視化

1. 研究開始当初の背景

ユビキタス社会の到来にあたり、そのインフラ管理やサービス提供を支えるネットワーク技術者の育成が求められている。大学や専門学校などの教育機関において、情報系の学生にネットワーク技術の講義が実施されている。中でも TCP/IP はネットワークの基礎と位置づけられ、ネットワーク管理だけでなく、ネットワークアプリ開発やセキュリティ技術の学習者にも幅広く教えられている。しかし、TCP/IP の実践である通信の仕組み（パケット伝達のために、デバイスの各動作がどのような条件で実行されるか、それらの動作がどのような設定値を参照しているか、など）を十分に理解できない学習者が見られる。

2. 研究の目的

学習者が簡単な通信実験においてネットワークの動作を観測・分析するための通信実験ツールスイートを開発する。このツールスイートは、ステップ実行およびレジューム可能なネットワークシミュレータ、通信設定と通信結果との依存関係を解析可能なビジュアルライザ、通信設定を生成可能なネットワークエディタから構成される。

3. 研究の方法

研究代表者と 2 名の協力者の計 3 名により研究に取り組む。研究代表者がネットワークシミュレータ、ビジュアルライザを開発し、協力者がネットワークエディタを開発し、最後に各ツールの効果を測定する実験を研究代表者が実施する。

4. 研究成果

A) シミュレータとビジュアルライザ

提案ツールは、学習者がネットワークトラフィックを整理するための通信プロトコル、ネットワークのサイズ、トポロジー、トラフィック制御メカニズム、IP フラグメンテーション、およびエラーチェックなどの基本的なネットワークパラメータを用いてパケットを輸送する方法を理解するのを助けるものである。例えば、デバイスが ICMP エコーリクエストを送信する場合、まず、ARP キャッシュから宛先 IP アドレスに対応する MAC アドレスを見つけようとする。この動作を観察することにより、学習者は ARP キャッシュの役割を理解することができる。このようなパラメータの役割を学習者が理解すれば、通信におけるパラメータの使用を考慮してネットワーク構成を設定することができる。

図 1 に示すように、ビジュアルライザにはネットワークを視覚化するための 4 つの主要なボタン（赤枠内の開始、停止、次、前）が含まれる。学習者は開始ボタンを使用してネットワークの視覚化を開始できる。また、シナリオの開始番号から終了番号に達するまでのステップ番号に基づいてネットワーク視覚化を継続することができる。学習者はユーザインタフェースの左上隅に表示される現在のステップ番号（Current step number）を見ることができる。学習者は赤枠内のボタンをクリックすることで、デバイスごとのステップでのパケット生成とプロトコル状態などのデバイス情報を見ることができる。ビジュアルライザはフレームごとにネットワーク状態を表示するアニメーションを提供する。アニメーションでは、青い四角形がネットワークを横切って移動する。例えば、デバイスが ICMP でパケットを送信する場合、情報には宛先ホストと送信元ホスト、イーサネットヘッダ、IP アドレス、および ICMP 情報が含まれる。学習者は停止ボタンを押してシミュレーションをステップで終了することができる。次ボタンを使用して次のステップのシミュレーションを視覚化し、前ボタンを使用して前のステップのシミュレーションを視覚化することができる。

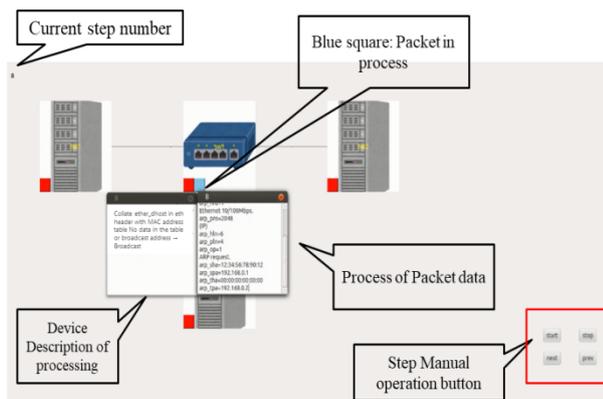


図 1 ビジュアルライザ

図 2 のように、学習者 (Learner) はネットワーク構成ファイル (Network

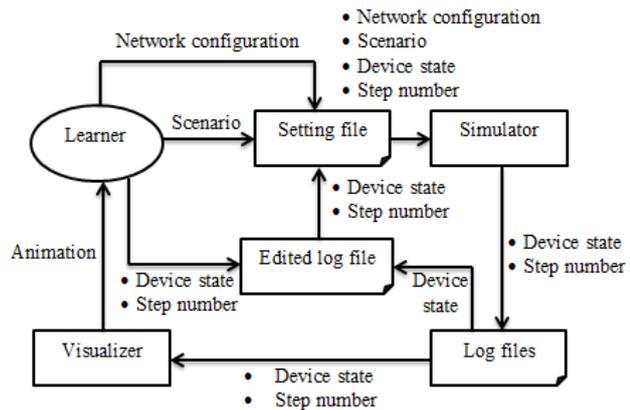


図 2 システム構成とデータフロー

configuration) とシナリオ (Scenario) を入力し、ネットワーク状態をシミュレーションさせる。シミュレータ (Simulator) は入力ファイル (Setting file) に基づいてネットワーク通信状態を計算する。同時に、ステップ番号 (Step number) を増加させ、シナリオに基づいてパケットを計算する。そして、デバイスの状態とステップ番号をログファイルに書き出す。ビジュアライザ (Visualizer) は、最初のステップから最後のステップまでの順次ネットワーク状態をアニメーションで表示する。学習者はビジュアライザを使ってデバイス間のパケット送信方法を観察できる。ステップでネットワーク状態を編集すると、シミュレータはそのステップから編集されたネットワーク状態で再開する。

B) ツールスイートの評価実験のためのウェブ型演習システム

このシステムのユーザインタフェースおよびサーバを拡張して、通信実験ツールスイートの評価実験用環境を構築する。

提案システムにおいて、学習者はウェブブラウザを通じて遠隔サーバ上の仮想ネットワークを操作する。図3はMac版のGoogle Chromeでの実行例で、上からトポロジーページ、コンソールページ、X ページが表示されている。

図中(1)から機器を選択した状態で、領域(2)をクリックすると、選択した機器が描画される。ウィンドウ(3)は機器 cli のプロパティ画面であり、ウィンドウ下部のコンソール領域は模擬サーバ上で稼働している UML のコンソールを描画し、キーボード入力を受け付ける。ボタン(4)を押すと、機器 cli の X ウィンドウマネージャを表示するウィンドウ(5)が表示される。ウィンドウ(5)では、機器 cli で起動したブラウザ (X クライアント) が表示されている。

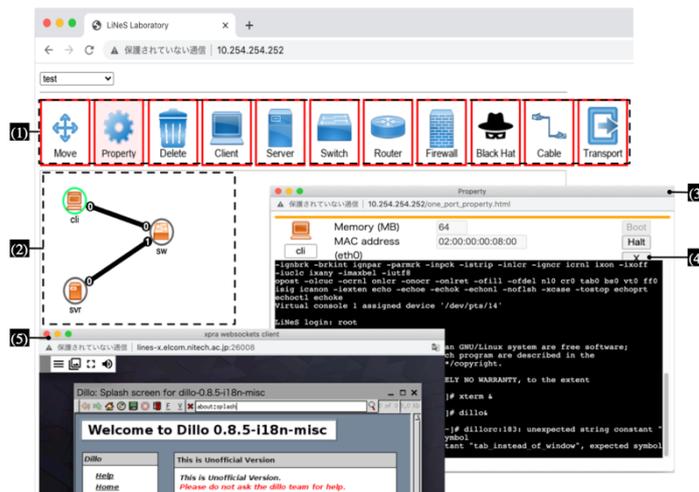


図3 仮想ネットワークの編集画面

図4はシステム構成を示す。模擬サーバ (Simulation server) は設定サーバ (Configuration server) からの遠隔操作を受け付け、仮想機器を稼働させて仮想ネットワークを形成する。仮想機器であるサーバ、クライアント、ルータ、ファイアウォールを仮想マシン User mode Linux で、スイッチングハブを Linux bridge で実現する。設定サーバは、仮想機器間の接続関係を集めるためのウェブページ (以降、トポロジーページと呼ぶ) と、UML のコンソールとの入出力のためのウェブページ (以降、コンソールページと呼ぶ)、および UML の X クライアントとの入出力のためのウェブページ (以降、X ページと呼ぶ) を提供する。中継サーバ (Relay server) は、自身と模擬サーバとの間に作成されたイーサネットトンネルのトンネル口を Bridge で接続することで、二つの模擬サーバのトンネル口間でイーサネットフレームを交換できるようにする。端末サーバはコンソールページと UML のコンソールとの入出力を中継する。X 転送サーバは、X サーバとして UML の X クライアントからの描画要求を受け付け、その出力を X ページに描画する。また、X ページからのユーザ入力を受け付け、X クライアントに送信する。Windows, Mac, Android や IOS のウェブブラウザを通じて、受講者は仮想ネットワークを管理する。

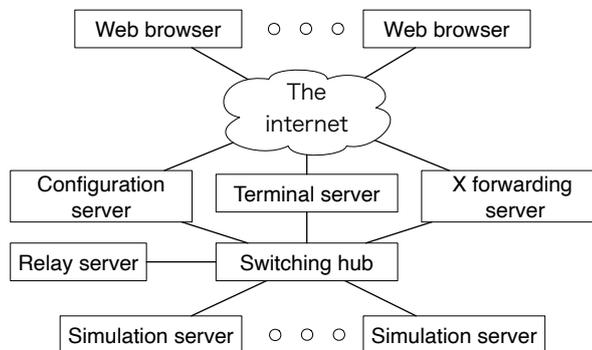


図4 システム構成

C) 演習システムにおける学習者と ChatGPT との対話機能

本機能は、成果 B を用いた演習において学習者の通信実験をスムーズに行えるようにするため、学習者が自身の状況を ChatGPT と相談しやすくすることを支援する。

図5はクライアント上で起動したウェブブラウザにおける対話機能の実行例を示す。受講者は領域 F にてネットワークトポロジーを作成し、別のウィンドウにて各々の機器に設定を施す。受講者が ChatGPT と現在作成中のネットワークについて対話するには、まず、ボタン G を押下して、システムにこのネットワークを ChatGPT に伝達させる。その後、テキストボックス I にメッセージを入力し、ボタン J を押下することで、システムにそのメッセージを ChatGPT に伝達させる。最後に、システムが ChatGPT からの応答を受け取ると、その内容が領域 H に追記される。現在の領域 H では、機器の電源状態や IP アドレスを問合せたり、ping コマンドを生成してもらったりしている。そして、ChatGPT はそれらの依頼を適度な精度で達成している。

図6は受講者が ChatGPT と対話するとき利用される主なデータの流れを示す。受講者がウ

ウェブブラウザ (Web browser) に ChatGPT への質問や LiNeS Cloud への命令などを入力すると、ウェブブラウザはそれら (Request) を Node.js に送信する。Request の内容に応じて Node.js の動作が変わり、受講者のネットワークを ChatGPT に伝達するとき、Node.js はデータベースから仮想ネットワークのデータを取得し、UML から現状のデータを収集する。その後、それらをプロンプトに変換して ChatGPT に送信し、その結果をウェブブラウザに送信する。受講者のメッセージを ChatGPT に伝達するとき、Node.js は受け取ったメッセージ (Request) を ChatGPT に送信し、得られた応答 (Reply) をウェブブラウザに送信する。

D) ネットワーク構築演習におけるルータ監視システム

本システムは教師が学習者の状況を把握することを支援する。ツールスイートの評価実験において、学習者がネットワークを構築する。そのさいに、教師がその状況をスムーズに把握できることを考え、そのコンセプトを予備的に評価するためにプロトタイプを作成した。

ネットワーク構築演習のうち、複数人の学習者が共同で構築を行うものについて、特にルータへコンソール接続しコマンドライン操作により設定を施すといったケースを考える。このとき教員は学習者の進捗管理の為ルータ設定内容の変化やネットワークトポロジーの変化を把握したい。このため、ルータ監視システムを提案する。

図 7 は教員の端末においてルータの設定値を取得したときの実行例を示す。教員は (A) に表示される監視端末の一覧から要求先、(B) から要求項目を選択し入力する。(A) のエリアには教員が登録した監視端末が一覧表示され、該当監視端末が動作中であれば黒文字、そうでなければグレーの文字で表示される。これらの入力に対する応答として、設定内容の取得結果が (C) に出力される。

図 8 は、提案システムの機能構成を示す。提案システムは、ルータ監視のため学習者がルータに設定するパラメータのスナップショットを記録するにあたり、教員が任意のタイミングで任意の項目を取得する方法と、教員が管理端末から任意のタイミングで指定する設定項目について規定時間毎に取得を繰り返し蓄積する方法の 2 種類を実現する。これを行う為、管理端末 (Management device) で発生する監視端末 (Monitoring device) への要求の生成を行うマネージャ (Manager)、及び監視端末で受けた要求を解釈し適切な処理動作と応答を行うエージェント (Agent) を置く。



図 5 ChatGPT との対話

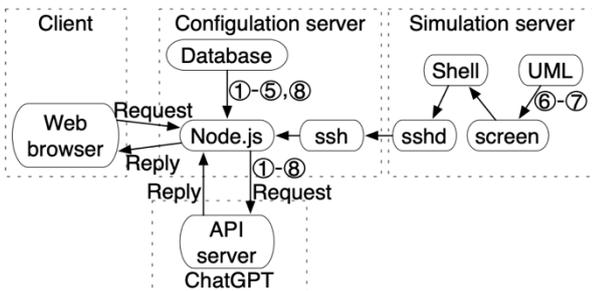


図 6 ChatGPT との対話時のデータフロー

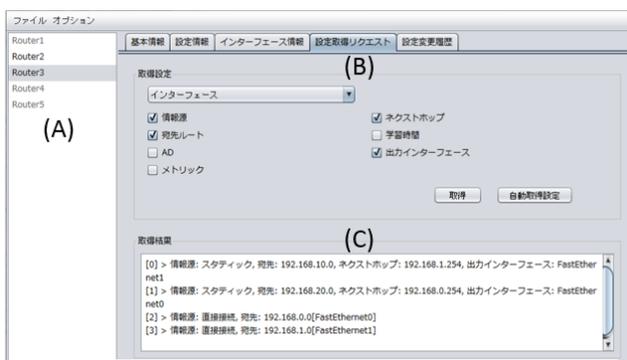


図 7 設定値の取得

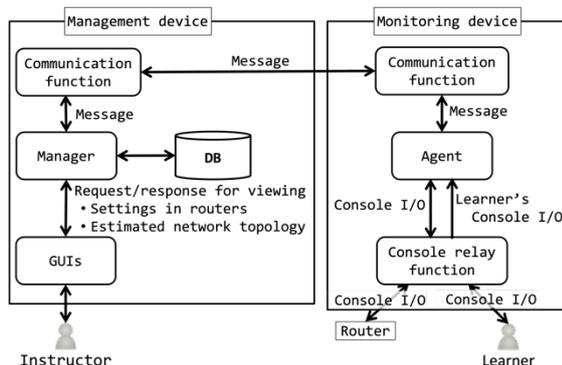


図 8 システム構成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Yuichiro TATEIWA	4. 巻 E105.D(9)
2. 論文標題 LiNeS Cloud: A Web-Based Hands-On System for Network Security Classes with Intuitive and Seamless Operability and Light-Weight Responsiveness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1557, 1567
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 3件）

1. 発表者名 Yuichiro Tateiwa
2. 発表標題 Development of Dialogue Feature between Participants and ChatGPT in Network Security Exercise System
3. 学会等名 2024 the 7th international conference on information and computer technologies (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yuichiro Tateiwa
2. 発表標題 Router Monitoring System with a Function for Estimating Network Topology in Network Construction Exercises
3. 学会等名 2024 the 7th international conference on information and computer technologies (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 立岩佑一郎
2. 発表標題 ネットワークセキュリティ演習システムにおける受講者とChatGPTとの対話機能の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会教育工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立岩佑一郎
2. 発表標題 アプリケーションとChatGPT間においてネットワーク構成情報を共有するためのカスタムYANGモデルの提案
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 立岩佑一郎, 井口信和
2. 発表標題 仮想化技術を用いたネットワーク演習環境
3. 学会等名 電子情報通信学会誌 104(8) 872-878
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立岩佑一郎
2. 発表標題 ネットワークセキュリティ演習のための直感的でシームレスな操作性と軽快な応答性を目指したウェブ型演習システムの評価
3. 学会等名 電子情報通信学会教育工学研究会信学技法 121(294)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hnin Cherry, Yuichiro Tateiwa, and Zin May Aye
2. 発表標題 Network Simulator With Step Execution and Resume Functions for Understanding Mechanism of Communication: A Case Study for Layer 2 Access
3. 学会等名 2021 IEEE Conference on Computer Applications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 立岩佑一郎
2. 発表標題 ネットワークセキュリティ演習のための直感的でシームレスな操作と軽快な応答性を目指したウェブ型演習システムの開発
3. 学会等名 情報処理学会 教育学習支援情報システム研究会
4. 発表年 2021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			
ミャンマー	UCSY			
ミャンマー	University of Computer Studies			