

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25750082

研究課題名(和文)共有仮想インフラを利用した指導支援機能を有するネットワーク管理演習システムの研究

研究課題名(英文)A study on network management exercise system with guidance support function using shared virtual infrastructure

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)：ネットワーク上に分散配置された仮想マシンプロセスをノードとするネットワークを集中管理し、そのネットワークを学習者の計算機から制御するシステムを実現した。仮想マシンによるネットワークに対する学習者の操作手順や設定情報を収集し、分析結果をグラフ表示するシステムを実現した。また、ルータ実機によるネットワークに対する学習者の操作を収集し分析するシステムを実現した。プログラム解析技術を用いて、学習者のネットワーク設定に潜む誤りを絞り込む手法を設計した。ネットワーク機器内での通信データ処理を可視化し、正しい処理との差をヒントとして比較表示するシステムを実現した。

研究成果の概要(英文)：We realized a system that centrally manages a network with virtual machine processes distributed as nodes on the network and controls the network from learner's computer. We have realized a system which gathers operation procedure and setting information of learner on network by virtual machine and graphically displays analysis result. In addition, we realized a system that collects and analyzes the learner's operation on the network by real routers. Using a program analysis technique, we designed a method to narrow down errors that hide in the learner's network settings. We have realized a system which visualizes communication data processing in the network equipment and compares and displays the difference from the correct processing as a hint.

研究分野：教育工学

キーワード：仮想マシン ネットワーク 演習 e-learning 誤り局所化 ヒント 進捗分析

## 1. 研究開始当初の背景

大学や専門学校におけるネットワーク管理演習では、学習者が演習問題に従いサーバやルータでネットワークを構築する。この演習の実施において、1)専用機材の導入、2)演習毎の機材の調整、3)演習中のトラブルの対応のために多くの資金や人手が必要となることが問題となっている。

問題1と2に対して国内外で仮想マシンによる演習が提案されている。例えば、Anisettiらは、ネットワークに接続された高性能なサーバ計算機と仮想マシンソフトウェア Xenにより、学習者がサーバ計算機上のLinux仮想マシンを遠隔で操作する演習環境を構築した[文献1]。中川らは、パソコン、高性能ネットワーク機器、および仮想マシンソフトウェア VMware Workstation でネットワーク管理演習室を構築した[文献2]。これらの研究は、仮想マシンにより専用機材の数を減らすことで専用機材の導入資金を減らし(問題1に対応)と、機材の調整をソフトウェアで一括して行うことで機材調整の手間を減らす(問題2)ものである。一方、問題3に関しては、プログラミング演習などにおいて学習状態分析やヒント提示などの研究がされているが、ネットワーク管理演習に対する同様の研究は見当たらない。

申請者は、「ネットワーク管理演習を手軽に」をコンセプトとし、PC演習室のLinux環境でネットワーク演習環境を実現するためのシステム LiNeS を開発してきた。LiNeS は、仮想マシンソフトウェア User-mode Linux(以下 UML)、および VMware Player により仮想的なネットワーク(以降、仮想マシンネットワーク)を実現し(図1)、演習問題と答案(学習者の作成したネットワークの情報)を管理する。LiNeS は問題1と問題2に対して一定の効果があるが、演習室のシステム環境(例えば、WindowsPCしか存在しない)や運用ポリシーによっては導入できない場合が存在する。また、学習者の自宅は WindowsPC が主流であるため、自宅 PC への導入には高いハードルが存在することや、

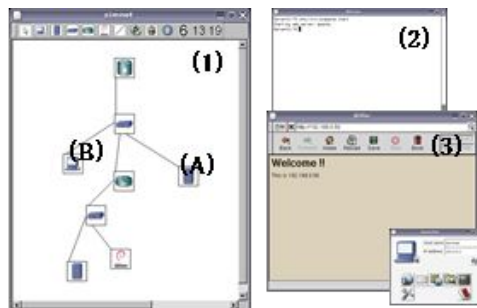


図1: LiNeS の実行例

(1)は仮想マシンネットワークのトポロジー設計画面の例である。(2)は仮想サーバ(A)の制御端末、(3)は仮想クライアント(B)のブラウザで仮想サーバ(A)上のウェブサイトを表示している。

自宅 PC から遠隔操作で教育機関の演習室で稼働する LiNeS を利用することも演習室のネットワーク環境や運用ポリシーのためできない場合が存在する。このように、現状の LiNeS の仕組みでは演習を「手軽に」実施できないケースがある。また、問題3に対しては解決のためのいくつかの試みを始めているが、未だ決定的な解決方法には至っていない。

[文献1] Anisetti, M., et al., "Learning Computer Networking on Open Paravirtual Laboratories", IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, Vol. 50, No.4, pp.302-311 (2007).

[文献2] 中川泰宏, 須田宇宙, 三井田惇郎, 浮貝雅裕: VMware を利用した学習用 LAN 構築支援システムの開発, 教育システム学会誌, Vol.24, 教育システム情報学会, pp.126-136 (2007).

## 2. 研究の目的

本研究では図2に示すような、共用仮想インフラを用いて実現した演習用ネットワークにて演習を行い、学習者への指導の支援機能を有するネットワーク管理演習システムを開発する。

(1) LiNeS と共用仮想インフラによる演習用ネットワークの実現機能

仮想インフラは、ネットワーク接続された複数の計算機上に稼働された仮想マシン群とそれらの仮想マシンに接続されたネットワークである。共用仮想インフラは組織により運用されており、ユーザが仮想マシンとその仮想マシンに接続されたネットワークを借りて利用するものである。LiNeS と仮想インフラの連携により、遠隔操作可能な演習用ネットワークを実現できれば、これまで以上に手軽にネットワーク管理演習を実施できる。しかし通常、実運用されている仮想インフラは、運用ポリシーにより利用に様々な制約(例えば、仮想インフラを構成するハードウェアの追加や変更は不許可)が課せられている。先行研究[文献1][文献2]は、独自の仮想インフラの構築により実現した演習環境であるため、このような制約は考慮されておらず、共用インフラの利用による演習環境の実現は困難であるといえる。本研究では、運用ポリシーを満たす範囲内で、仮想マシンの構成方法や仮想マシン上で稼働するソフトウェアの開発・導入により演習用ネットワークの実現手法を確立する。

(2) 進捗状況と躓き原因の分析機能

演習中に教師や TA(以降、指導者)は進捗の遅い学生(例えば、誤り箇所を発見できずに試行錯誤している、解法の誤りに気付かずに無意味な作業を続けている)に対し、演習を進展させるためのヒントを与える。しかし、このためには、学習者の作業しているネットワークを指導者が操作し、進捗の把握と躓きの原因を発見する必要がある。これには、

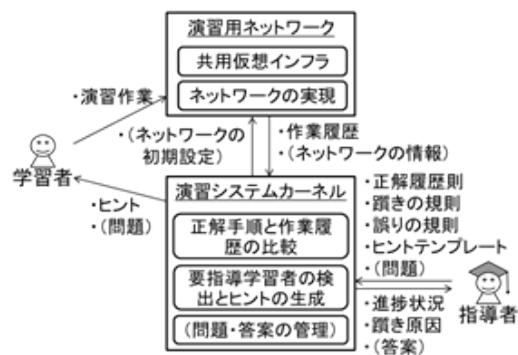


図 2：提案システムの構成

熟練者である教師であってもある程度の時間がかかり、TA であればそれ以上に時間がかかる。このため、当該の学習者の演習時間だけでなく、指導者による他の学習者への指導時間も消費されてしまう。このような問題を解決するために、各学習者の作業履歴を収集し、それを正解履歴則（問題の要求を満たす作業履歴の規則）と比較することにより、学習者の進捗状況および躓き原因を指導者が簡単に把握できる機能を開発する。

### (3) ヒント提示機能

目的(2)において述べた問題をより効果的に解決するために、学習者の作業履歴に基づいて指導の必要な学習者（以降、要指導学習者）を自動的に検出し、ヒントを生成する機能を開発する。学習者が躓いたときの作業履歴には、ある規則（以降、躓きの規則）が潜んでいるものがある。この機能は登録された規則と学習者の作業履歴とを比較し、規則に適合した学習者を指導の必要な学習者として検出する。また、躓いた学習者の作業履歴と正解履歴則との違いには、ある規則（以降、誤りの規則）が潜んでいるものがある。本機能は誤りの規則と作業履歴と正解履歴則との違いとを比較し、誤りの規則に関連付けられて登録されたヒントテンプレートからヒントを生成する。これにより、一部の学習者への指導をシステムが引き受けられるようになるため、指導者は別の学習者への指導へ時間を割り当てられるようになる。

## 3. 研究の方法

目的(1)のために、LiNeS の仮想マシンと仮想インフラの仮想マシンによる演習用ネットワークの実現法の確立と、学習者用のユーザインタフェースを開発する。

本学情報基盤センターは仮想インフラを運用している。そこで、利用者へ向けて公開されている運用ポリシーだけではなく、センター関係者から運用ポリシー決定の経緯をヒアリングし、様々な運用ポリシーの制限緩和の可能性を検討する。

仮想インフラを利用した演習用ネットワークの実現法の一つは、LiNeS を仮想インフラの仮想マシン上で動作させることである。しかし、現状では、仮想マシン上で仮想マシンを動作させることをサポートしていない仮想マシンは多く、サポートしていたとして

も性能が著しく低下してしまう。過去に、筆者らは VMware Workstation にて User-mode Linux の正常稼働と、VMware Player の性能劣化での稼働を確認した。最新の仮想インフラにおいてうまくいく場合には、LiNeS の移植により簡単に済ませることができる。しかし、うまくいかない場合には、仮想インフラの仮想マシンを VMware Player の代役として用いる。この場合、仮想インフラの仮想マシンと User-mode Linux をネットワーク接続する手法と、そのネットワークを学習者が制御する手法（ユーザインタフェースを含む）を考案する必要がある。これらは、申請者の過去の研究成果（ネットワーク上に分散配置された計算機にて稼働している異種構成の仮想マシンによるネットワークの実現法とそれを実装したシステム）を参考に解決を試みる。

目的(2)のために、作業履歴はこれまでの研究成果で取得できるものにとどめ、その分析方法の確立に注力する。このときに必要となる正解履歴則は、正規表現による表現と作業間の関係の規則による表現を用いて簡単に定義する方法を確立する。そして、要指導学習者の進捗状況と躓き原因を指導者にわかりやすく表現するためのユーザインタフェースを開発する。

この機能の開発にあたっては、作業履歴の取得方法、正解履歴則の定義方法が課題となる。LiNeS は User-mode Linux のみを利用したネットワークにおいて、User-mode Linux のコマンドライン制御での作業によるネットワーク管理の作業履歴を取得する機能を有する。加えて、サーバ設定やルータ設定の演習において、GUI を使わずにコマンドラインのみで行う演習問題（例えば、GUI のブラウザではなく CUI のブラウザを用いる）も作成済である。一方、VMware Player および VMware ESXi（想定する仮想インフラの仮想マシンで、設備備品目にて購入）は同梱のツールによりユーザとの I/O 情報を取得できるが、LiNeS においてそれを利用した学習者の作業履歴の取得は未実現である。本研究では、作業履歴の取得方法の実現よりも、分析方法の確立の方が学術的価値が高いと考えられる。このため、現状の LiNeS とその演習問題により取得した作業履歴を用い、時間の余裕があった場合に、User-mode Linux の GUI やそのほかの仮想マシンでの作業履歴の取得機能の実現を行う。

作業履歴は演習問題に対する必須の作業、誤った作業、および冗長な作業と、それらの順序関係から構成される。正解となる作業履歴は、演習問題の抽象度に比例して様々な構成となるが、それらをすべて定義するのは指導者にとって負担が大きいため、正解となる作業履歴を規則で表現（正解履歴則）できるようにする。問題での抽象的な要求（例えば、「サーバ A に対して IP アドレス 192.168.0.1 を設定せよ」が 1 つの IP アドレスが正解で

あることに対して、「サーバAにIPアドレスを設定せよ」は任意のIPアドレスが正解となる)には、正解履歴則を正規表現により定義可能にすることで効率的に定義できるようにする。

加えて、作業間の関係を定義した“作業間共通規則”を定義可能とし、正解履歴則の定義に利用可能にする。例えば、設定の上書きを意味する2つの作業を作業間共通規則に定義しておけば、正しい設定の後に誤った設定の実施を不正解と判断する正解履歴則を簡単に定義できる。あるいは、ある設定の反映に必要な一連の作業を作業間共通規則に定義しておくことで、必要な作業の欠落した演習履歴を不正解と判断する正解履歴則を簡単に定義できる。作業間共通規則は問題に依存しないため、すべての問題の正解履歴則に共通して利用でき、指導者による正解履歴則の定義の負担を減らすことができる。

以上ができたら、指導者に進捗状況と躓き原因をわかりやすく表現するためのユーザインタフェースを開発する。表現方法は、プロジェクトの進捗状況の管理に有名なガントチャートや、プロジェクトネットワーク図を参考にする。

目的(3)のために、先述の目的Bでのユーザインタフェースにより躓きの規則と誤りの規則を見つける。作業履歴と誤りの規則の比較により抽出した誤りの内容によりヒントテンプレートを具体化して表示する方法を確立する。

この機能の開発にあたっては、躓きの規則と誤りの規則の発見が課題となる。そこで、目的(2)で開発したユーザインタフェースを用いて、要指導学習者の作業履歴から躓きの規則と誤りの規則を発見する。視覚的に表現されているため、規則の発見が成功しやすくなる。また、ヒントテンプレートをタグやマークアップ言語により定義しておき、作業履歴と誤りの規則との比較により抽出した誤り内容により、テンプレートからヒントを生成して表示できるようにする。

#### 4. 研究成果

(1) LiNeS と共用仮想インフラによる演習用ネットワークの実現機能

ネットワーク協働構築演習システム[1]: 複数の計算機上の仮想マシンプロセスをノードとするネットワークを集中管理し、そのネットワークを学習者の計算機から制御するシステムを開発した。これにより、たとえば、一般的な性能の計算機上で稼働させた仮想マシンや、クラウドサービスなどにより提供されている仮想マシンを利用することで、演習用のネットワークを実現できるため、専用で高性能な計算機を導入する必要がなくなる。また、学習者のネットワーク管理ツールとしてブラウザ上で動作するアプリケーションを開発した。これにより、学習者は、たとえば、自宅などのPCから、特に準備することなく、演習を行えるようになる。

(2) 進捗状況と躓き原因の分析機能

解答課程分析システム[13]: 仮想マシンを用いたネットワーク構築演習において、教師が学習者の構築したネットワーク(以降、VMNと呼ぶ)を把握するには時間がかかるため、学習者の作業を妨げたり、迅速な救援を行えなかったりする。このシステムは、以下の機能を有する: 操作履歴収集機能) 学習者によるVMNへの操作とその結果をネットワークを介して収集しD.B.へ保存する機能、進捗グラフ生成機能) 問題文に対する正しい操作の依存関係と学習者のVMNへの操作から進捗を表現するグラフ(進捗グラフと呼ぶ)を生成する機能、解答過程分析支援情報表示機能) 進捗グラフと操作履歴と次に実行する正しい操作をネットワークを介して教師の端末に表示する機能。

ルータ監視システム[2][5]: 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にルータ設定内容の変化やネットワークポロジの変化を把握したい。このシステムは特徴を持つ; 特徴1) ルータ設定状態のスナップショット、コマンド入力ログ、ルータによる出力ログを外付け端末で収集する、特徴2) ルータのログに基づきネットワークポロジを推定する。

設定誤り検出法[6][11]: 初学者向けネットワーク構築演習で、学習者の構築したネットワーク(答案と呼ぶ)において、通信の到達性に関する設定誤りが潜在する領域(誤り潜在域と呼ぶ)を導出する手法である。この手法は、演習問題と答案を入力とし、答案による通信シミュレーションの実行履歴を求め、演習問題から正解の実行履歴パターンを求め、両者の照合結果と誤り潜在域のテンプレート表とを照らし合わせて誤り潜在域を求め、それを出力とする。この手法の特徴は、プログラム解析技術に基づいていること、ネットワークの正解例を必要とせず、演習問題の通信例で代用していること、誤り潜在域をテンプレート化していることである。

自動攻撃・評価機能を有するネットワークセキュリティ演習システム[12]: 受講者がネットワークに対する攻撃の痕跡を分析し、結果答案として提出するネットワークセキュリティ演習を対象とする。このシステムは次の特徴を持つ: 特徴1) 仮想マシンを用いたネットワーク構築機能により、少ない機材で同時複数の受講者が演習できる。特徴2) 指導者の設定に従って攻撃する機能、及び答案を正誤判実現して、指導者の負荷を減じるとともに、受講者の利便性向上させる。

ネットワーク状態の再現用ファイル生成システム[9]:作業履歴の別利用として,システムが学習者の作業履歴を学習者に提示し,学習者がその履歴から一つを選択すると,その作業までの作業を再実行する設定ファイルを生成するシステムを開発した.これにより,学習者が過去の設定のネットワークから作業をやり直すことができるようになるため,より効率的に演習できるようになる.

### (3) ヒント提示機能

ヒント生成手法とヒント提示システム[3][7][8][10]:初学者向けのネットワーク構築演習では,「ネットワークが繋がらない/繋がってしまう」という,通信データの到達性に関する要件の達成に躓く学習者が多い.このような学習者への救援において,教師は学習者のネットワークの動作の誤り(以降,動作誤りと呼ぶ)を解説する.従来の演習では,ネットワーク機器の台数不足によりグループ単位でネットワークを構築していた.しかし,近年,仮想マシンにより個人単位でネットワークを構築できるようになった.このため,救援を仰ぐ学習者数に対して教師数が不足し,学習者の救援待機時間が増加するようになった.そこで,我々は動作誤りをヒントとして表示するヒント生成システムを開発した.このシステムは,学習者のネットワーク設定と演習問題を入力とし,学習者のネットワークの動作と正しいネットワークの動作を求める.そして,それら进行分析することで動作誤りを特定する.最後に,学習者のネットワークの動作と正しいネットワークの動作を静止画像で並列表示し,誤りの詳細をメッセージで表示する.これにより,指導者は学習者の設定誤りを即座に指摘でき,学習者は独力で自身の誤りを見つけられるようになることが期待できる.

ヒント生成のための簡易通信シミュレータ[4]:仮想マシンを相互接続することでPC上にネットワークを実現できる.これを活用することで,初学者向けネットワーク構築演習においてグループ毎ではなく学習者毎にネットワークを構築することができるようになった.演習中,学習者はネットワークの正誤確認やデバッグ支援を教師に依頼するが,学習者数に対して教師数が不足するため,学習者の待機時間が大きくなった.このような問題に対する有効な解決法の一つは,学習者のネットワークの正誤を判定したり,学習者のネットワークの動作をヒントとして提示したりするシステムの実現である.このようなシステムの実現には,詳細なネットワーク動作のログが必要である.そこで,要求/応答通信(ICMP エコー要求などの要求データの伝達と,それに対する応答データの伝達)によるネットワーク動作を詳細に記録する通信シミュレータを提案する.

## 5. 主な発表論文等

[学会発表](計 13 件)

[1] 大岡義旺,立岩佑一郎,高橋直久, ``仮想マシンを用いたネットワーク協働構築演習システムの開発'', 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2017/03, 沖縄県.

[2] 村上侑多,金鎔煥,立岩佑一郎,片山喜章,高橋直久, ``ネットワーク構築演習におけるルータ監視システムの実現とトポロジー推定機能への応用'', 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2017/03, 沖縄県.

[3] Yuichiro TATEIWA, Naohisa TAKAHASHI, ``A System for Generating Hints on Network Construction Exercises for Beginners'', Proceedings of the 11th International Conference on Computer Science & Education, 2016/08, Nagoya(Aichi).

[4] Yuichiro TATEIWA, Naohisa TAKAHASHI, ``Communication Simulator with Network Behavior Logging Function for Supporting Network Construction Exercise for Beginners'', Proceedings of Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services 2016, 2016/06, Spain.

[5] 村上侑多,金鎔煥,立岩佑一郎,片山喜章,高橋直久, ``ネットワーク構築演習におけるルータ設定内容及びコマンド実行内容収集システムの提案'', 電子情報通信学会総大会, 2016/03, 福岡県.

[6] 立岩佑一郎,高橋直久, ``初学者向けネットワーク構築演習におけるプログラム解析技術に基づく設定誤り検出法の提案'', 電子情報通信学会教育工学研究会, 2016/03, 香川県.

[7] 立岩佑一郎,高橋直久, ``初学者向けネットワーク構築演習のためのヒント生成システムにおける誤り潜在範囲絞り込み機能の開発'', 第40回教育システム情報学会全国大会, 2015/09, 徳島県.

[8] 立岩佑一郎,高橋直久, ``初学者向けネットワーク構築演習のためのヒント生成システムの評価'', 情報処理学会全国大会, 2015/03, 京都府.

[9] 渥美心悟,立岩佑一郎,山本大介,高橋直久, ``仮想マシンを用いたネットワーク構築演習のためのネットワーク状態の再現用ファイル生成システムの開発'', 2014年度JSISE学生研究発表会東海地区, 2015/03, 愛知県.

[10] 立岩佑一郎,高橋直久, ``初学者向けネットワーク構築演習のためのヒント生成システム'', 電子情報通信学会教育工学研究会, 2014/11, 大阪府.

[11] 立岩佑一郎,高橋直久, ``仮想マシンを用いたネットワーク構築演習における正解トレースに基づく答案評価システムの提案'', マルチメディア,分散,協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, 2014/07, 新潟県.

[12] 鈴木翔太,立岩佑一郎,山本大介,高橋直久, ``仮想マシンを用いた自動攻撃・評価機能を有するネットワークセキュリティ演習システムの開発'', 2013年度 JSiSE 学生研究発表会 東海地区, 2014/03, 名古屋市(愛知県).

[13] Yuichiro TATEIWA,Junya NOUMI ,Daisuke YAMAMOTO,Naohisa TAKAHASHI, ``Support System for Analyzing the Solution Process for Network Construction Exercises with Virtual Machines,' ' Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, 2013/06, Sesimbra(Portugal).

〔その他〕  
ホームページ等

名古屋工業大学 高橋・片山研究室 / 研究紹介 / E-Learning グループ  
<https://tk-www.elcom.nitech.ac.jp/intro2/lines.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

立岩 佑一郎 (YUICHIRO TATEIWA)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：30534367