

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月23日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2012

課題番号：21700811

研究課題名（和文）仮想マシン技術に基づくネットワーク演習環境提供システムの研究

研究課題名（英文）Exercise system for network administration based on virtual machine technology

研究代表者

立岩 佑一郎 (TATEIWA YUICHIRO)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：30534367

研究成果の概要（和文）：

申請時以前に申請者らは、仮想マシンソフトウェア User-mode Linux（以下 UML）の活用により、仮想的なネットワーク（以下 仮想マシンネットワーク）に基づくネットワーク管理演習システム LiNeS を開発してきた。本研究では、異種の仮想マシンソフトウェアで仮想マシンネットワークを構成する機能の開発、仮想マシンネットワークを実ネットワーク上の複数の計算機に渡って構築する機能の開発、自動的に攻撃を発生させるネットワークセキュリティ演習環境の開発、学習者のネットワーク操作履歴を収集・分析し教師による答案評価と進捗把握を支援する機能の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

We had developed an exercise system for a new style of network administration exercises based on virtual networks (virtual machine networks) using virtual machine software User-mode Linux (UML). In this study, we developed a function for constructing virtual machine networks with heterogeneous virtual machine software, a function for constructing virtual machine networks over networked PCs, a function for network security exercises based on automatic attacks, and a function for supporting for teachers to evaluate students' solutions and to analyze students' progress by collecting and analyzing students' network operating histories.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：学習環境，仮想マシン，ネットワーク管理，仮想マシンネットワーク，e-learning

1. 研究開始当初の背景

仮想マシン技術の活用により、大学におけるネットワーク管理者育成を、低コストで行うことを目的とした研究は、国内外において

いくつか存在する。Anisetti らは、高性能なサーバ上に仮想マシンソフトウェア Xen により実現した複数の Linux 仮想マシンを、個々の学習者に割り当てるシステムを開発

した。学習者は、遠隔地からサーバにログインし、割り当てられた Linux 仮想マシンにおいてサーバソフトウェアの導入やネットワークプログラミングの演習を行える。中川らは、仮想マシンソフトウェア VMware Workstation と高性能機器による大規模計算機演習室で、Linux ネットワーク管理スキルのうち、ネットワーク構築に関するものを学習するための環境を、効率的に提供するシステムを開発している。

申請者らは、仮想マシンソフトウェア User-mode Linux (以下 UML) の活用により、大学におけるネットワーク管理者育成環境の強化を視野に入れ、仮想ネットワークに基づく新しい形のネットワーク実習環境を提供するためのシステム LiNeS (Linux Network Simulator) を開発してきた(図 1)。LiNeS の学習対象は、ネットワーク構築(図 2(1))、TCP/IP とネットワーク構築技能との関連性(図 2(2))、ネットワークトラブルシューティング(図 2(3))、ネットワークセキュリティ(図 2(4))である。LiNeS は手軽に利用できることを主眼に置き、一般的な PC 演習室の設備で利用可能である。

2. 研究の目的

ネットワーク演習環境提供システム LiNeS を教育現場へ導入するために、LiNeS の各演習機能の補完、専用の教育コースの構築、および授業支援機能の開発を行う。

(1) OS インストール演習機能の開発：LiNeS の基盤機能である仮想ネットワーク構成機能は、UML で実装した仮想ネットワーク機器により実現している。しかし UML の特徴上、Windows 機器や OS のインストールを演習できない。ネットワーク管理者にとってこれらのスキルは大切である。本機能により、学習者が OS インストールの演習と、その演習により作成した仮想ネットワーク機器を用いた仮想ネットワークの演習を行えるようになる。これにより、機器のセットアップから管理まで一連の作業を LiNeS で行うことが可能になり、大学における演習の要件に

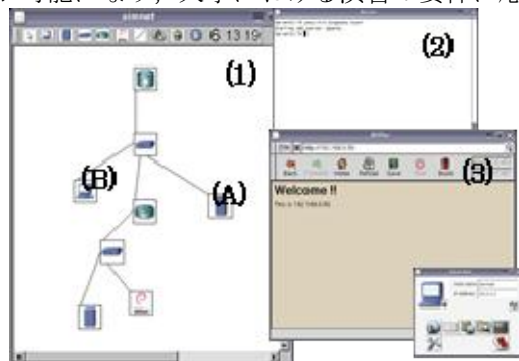


図 1：LiNeS の実行例

ネットワーク構築演習機能において、仮想ネットワークを構築している(1)。(2)は仮想サーバ(A)の制御端末、(3)は仮想クライアント(B)のウェブ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。

えることができるようになる。

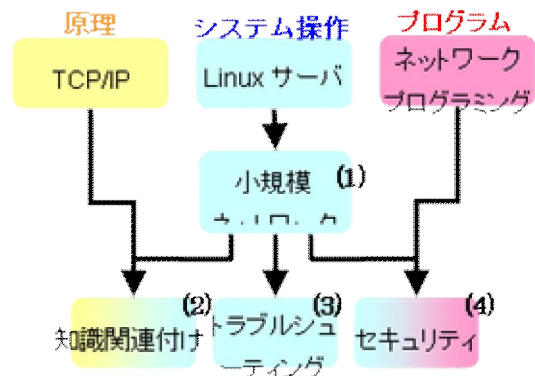


図 2：本研究の学習対象分野

大学でのネットワーク管理者育成に重要な知識とその学習順序を示す。(1)～(4)は多くのネットワーク機器が必要となるため、実施困難な大学も多い。LiNeS はこれらの演習環境を、既存の PC 演習室にて提供する。

(2) 仮想ネットワーク間接続機能の高度化：LiNeS の仮想ネットワーク機器間の接続機能は、UML の機能をそのまま利用したものであるため、帯域幅や遅延時間といった要素のあるネットワークを実現できない。実際のネットワークはこれらの要素を含んでおり、より高度なネットワーク演習を行うために重要な機能である。例えば、ネットワーク構築演習における QOS 制御の演習、ネットワークトラブルシューティング演習におけるボトルネックの要因の実装などに有用である。

(3) 大規模仮想ネットワーク管理機能の開発：これまでの研究で、学習者により個々の PC 上に孤立して構築される仮想ネットワークを VPN 技術によって相互に通信可能にする機能を開発した。しかし、この機能により、様々なパターンの大規模ネットワークを構築するには、教師と学習者に煩雑な作業を強いることになる。この問題を解決しスムーズに演習を進めるために、教師が学習者の仮想ネットワーク同士の接続を管理するための機能を開発する。

(4) 大規模ネットワークトラブルシューティング演習機能の開発：これまでの予備的研究で、学習者個々の PC 上にトラブルのある仮想ネットワークを構築する機能を開発してきた。本研究では、複数の学習者が管理するネットワークにまたがるネットワークトラブルを解決する実習を行うための機能を開発する。これにより他者の管理するネットワークを把握できない状況で、ネットワーク管理者間で協力してトラブルの原因を見つけ出し解決を図る実習を行えるようになるため、より実践的なネットワーク管理を学習することを可能にする。

(5) 教育コースの構築：LiNeS を教育現場において使用し、学習効果計測のためには、カ

リキュラムと教材の作成が必要である。仮想ネットワーク機器による演習となるため、従来の実機による教育コースをそのまま流用することはできない。従来のものを参考に、LiNeSの長所を生かし、短所を補えるような教育コースの作成を試み、新しい演習スタイルの確立を目指す。

(6) 有効性の予備的評価：LiNeSとその教育コースの有効性の評価は、教育現場への導入のために重要である。本研究では、システムの性能評価(CPU使用率や仮想ネットワーク性能)、システムの使用感の評価(体感速度やGUIの操作感など)、および教育コースの評価(仮想ネットワーク中心の演習により得られた知識をどの程度実ネットワークに適用できるか)について計測する。

(7) 答案評価機能の開発：本研究代表者の赴任した研究室には、プログラミング演習支援のためのシステムCAPESがある[文献4]。CAPESには、教師への授業支援として演習問題の出題・回収機能のほか、演習問題の正解例プログラムと答案プログラムとの比較評価機能があり、Pascal, C, SQL, CASL-IIなどに対応している。本研究では、仮想ネットワークへの作業を一種のプログラミングと捉え、LiNeSにおける学習者の演習結果と、教師の作成した正解例とを比較評価するためのCAPESの機能を開発する。LiNeSとCAPESとの連携により、演習過程でつまづいている学生に対してヒントを出すことや、いかげんな設定のネットワークの検出を容易にすることが可能になる。

3. 研究の方法

平成21年度においては、開発および実験環境の構築を行った後、LiNeSの各演習機能((1)~(4))について開発を進める。開発は、申請者および申請者の出身研究室(名古屋大学)の大学院生(平成21年度修士1年)1名の計2名によって行う。平成22年度以降は、平成21年度の各演習機能の開発を継続し、開発完了後にLiNeS専用の教育コースの構築((5), (6)), 授業支援機能((7), (8))の開発を行う。

(1) OSインストール演習機能の開発：以下の要件を満たすような新たな仮想マシンソフトウェアの導入により、本機能の実装を行う。しかし、要件3のような仮想マシンソフトウェアは存在しなく、UMLによる仮想ネットワークに別の仮想マシンソフトウェアによる仮想ネットワーク機器を参加させることは困難であると予想される。そのような場合は、要件4に示すオープンソースソフトウェアの仮想マシンソフトウェアを選択し、ソースコードの改造により対処する。

要件1. LinuxとWindowsのインストールを

行えること

要件2. Linux上で動作すること

要件3. UMLのネットワークに参加できること

要件4. 研究開発のためにはオープンソースソフトウェアが望ましい

(2) 仮想ネットワーク間接続機能の高度化：ns2[文献5]に代表されるネットワークシミュレータをLiNeSに取り込むことによって実現を図る。ネットワークシミュレータは仮想ネットワークをPC1台の上に構築するものである。LiNeSのようなLinuxサーバの演習を行うことができないが、帯域幅や遅延時間といった詳細な設定を行うことができる。

LiNeSの仮想ネットワーク機器間の通信をネットワークシミュレータにシミュレーションさせることで、LiNeS上で詳細な設定を施せる仮想ネットワークを実現する。仮想マシンとネットワークシミュレータの接続については、これまでに報告されていない。LiNeSにおいて採用する仮想マシンソフトに接続機能をもつネットワークシミュレータが存在しない場合は、オープンソースソフトウェアのネットワークシミュレータを採用し、ソースコードの改造を行うことなどによって実現する。

(3) 大規模仮想ネットワーク管理機能の開発：学習者の仮想ネットワーク同士の接続を管理するサーバ(管理サーバ)を開発する。管理サーバは、管理対象となる仮想ネットワークのネットワーク情報(ドメイン名やIPアドレス帯など)を学習者と対応付けて一元管理する。従って、教育現場での使用を考慮したネットワーク接続手順の検討を行い、アカウント制などの導入によって実装する。

(4) 大規模ネットワークトラブルシューティング演習機能の開発：以下の2つの機能の開発により実現する。第1は、3)で述べた管理サーバによって大規模仮想ネットワークを数人の学習者からなる中規模仮想ネットワークにグループ化し、他のグループとの通信を行えないようにする機能である。この実現のために、管理サーバにおける接続手続きの検討とVPNソフトウェアの調整を行う。第2は、管理サーバに接続してきたPCのグループが、管理サーバの統括するネットワーク設計情報を取得し、PC毎にトラブルのあるネットワークを構築できるようにするための機能である。この仕組みの実現のために、新たに接続してきたPCグループの管理とネットワーク設計データの伝達方式を検討し実装することとする。

平成21年度に引き続き、先述した1)~4)の機能の開発を継続し、開発完了後に以下の研究に移行する。

(5) 教育コースの構築：従来の教育コースをそのまま流用することができないため、イン

ストラクショナルデザインに基づき、Li NeS 専用の教育コースを作成する。教育現場の意見を反映したものとするため、申請者の出身校である名古屋大学、および赴任先である名古屋工業大学のネットワーク演習授業の担当者に協力を仰ぎ研究を進める。また、国内外のネットワーク演習の事例、および一般的な書籍も参考にする。

(6) 有効性の予備的評価：学生 10 名程度を募り、実際の授業と同じように半年間 15 回にわたって演習を行う。システムの性能評価は、演習中に各種測定ツールにより計測する。システムの使用感の評価は、演習後に被験者にアンケートをとることで計測する。教育コースの評価は、まず、演習前の学習者に対して、実ネットワークによる問題により演習前の知識を測定しておき、演習後に同じ問題を用いて演習後の知識を測定し、両者の比較により評価する。また、5) で述べた授業担当者にもシステムを簡易的に使用してもらい、教師としての視点および実機によるネットワーク演習の経験者としての視点から評価をしてもらう。

(7) 答案評価機能の開発：学習者の仮想ネットワークの状態を抽出する機能を開発し、この機能により得られたデータと教師の作成した正解例とを比較評価する機能を開発する。仮想ネットワークの状態とは、各仮想ネットワーク機器の設定データやプロセスの状態などの集合である。これを Li NeS が取得するための機能は、文献[研究業績 9]において確立した方法 (Li NeS の GUI が UML 内でシェルコマンドを実行する方法) と、UML のファイル共有機能とを応用することで実現する。比較評価する機能は、学習者の仮想ネットワークの状態のデータと教師の正解例とを解析し照合する手法を確立することで実証する。

4. 研究成果

2009 年度においては、(1) OS インストール演習機能の開発、(2) 大規模仮想ネットワーク管理機能の開発、(3) 大規模ネットワークトラブルシューティング演習機能の開発を行った。

機能(1)のために、異種型の仮想マシンによる仮想ネットワークの構築を可能にする機能を、仮想ネットワークデバイスとブリッジ機能の活用により実現した。OS インストール機能のために VMware Player や KVMなどを、大規模化のために計算機リソースの消費量の少ない User-mode Linux により、仮想ネットワークを実現できるようになった。機能(2)~機能(3)は、トンネリングソフトウェア vtund により各 PC 上の仮想マシンネットワークでオーバーレイネットワーク (仮想マシンオーバーレイネットワークと命名) を実現し、その仮想マシンオーバーレイネットワークを管

理するサーバを実装した。このサーバは、学習者の PC 上で動作する Li NeS から管理対象となる仮想ネットワークのネットワーク情報 (ドメイン名や IP アドレス帯など) を収集し一元管理するものである。これにより、サーバが学習者の PC で動作する Li NeS に様々な指示を与えることや、Li NeS から情報を収集することができるようになるため、大規模仮想ネットワークの管理や、ネットワークトラブルのある仮想マシンオーバーレイネットワークを自動的に構築することが可能となった。

2010 年度においては、2009 年度に研究した(1)~(3)の実現技術を教育システムとして実現することで(1)~(3)を完了し評価実験を行った。その後、(5)、(6)、(7)に着手した。また、ネットワークセキュリティ演習を題材とした研究課題が見つかったため、(4)に代わって研究を進めた。

(1)~(3)の成果として、インターネット上の PC に分散配置した仮想マシンにより、演習用の仮想マシンネットワークを提供できるシステムを開発した。学習者は遠隔地 (たとえば自宅) から演習に簡単に参加できるようになる。すなわち、ネットワーク管理演習用 e-learning システムとしての適用範囲を広げることができたことになる。(4)の代替としてのネットワークセキュリティ演習システムでは、仮想クラッカーの存在する仮想マシンネットワークを学習者に一定期間継続して提供するシステムを構築した。仮想クラッカーの開発により、演習すべき内容を安定的にかつリアルに学習者に提供することが可能となった。(7)においては、仮想マシンネットワークの正解状態を記述する言語を設計し、学習者の仮想マシンネットワークの状態の取得結果とマッチングする評価式を構築している。これにより学習者のネットワークを即座に自動的に採点可能となることや、ネットワークの誤り箇所を指摘することができるため、個々の学習者のペースでの演習を可能にする。

2011 年度においては、2010 年度に引き続きネットワークセキュリティ演習を題材とした研究を進めた。プロトタイプシステムを構築し、評価実験を行い国際会議にて発表した。また、この研究の成果として 2011 年 3 月に電子情報通信学会 ET 研究会にて発表していた論文が研究専門委員会推薦論文となり (2012 年 3 月通達)、同学会論文誌への投稿を準備している。(5)に関しては演習教材を開発し、筆者所属の研究室新規配属生に対して模擬演習を実施し、フィードバックに基づき改良している。(7)は IP ネットワーク構築を対象とした演習課題に対して動作するシステムを開発できた。(5)、(6)、(7)により 2012 年度の新規配属生に対する模擬演習で

の評価を実施し、国際会議への投稿を準備している。また、(7)の別の機能として学習者のネットワーク操作履歴を用いて答案評価するために、演習履歴を収集する機能を開発し、国内の学会にて発表した。この機能により収集した履歴により、最終成果物(答案)だけでなくその過程を評価可能になり、カンニングや偶然により正答した学生を検出することが可能となる。

2012年度においては、昨年度に開発したネットワークセキュリティ演習のためのプロトタイプシステムに対する教材を開発し、授業にて試用して評価実験を行った。評価結果を掲載した論文が電子情報通信学会論文誌Dにて採録された。演習中において教師による学習者のネットワークのデバッグや進捗把握には、学習者の端末を教師が専有したり、学習者の行動を常時監視したりしなければならないため、これは学習者の演習の阻害や人員的な無理を生じさせる。この問題を解決するために答案評価のために学習者のネットワーク操作の履歴をネットワーク経由で収集・蓄積し、それを正解の操作と比較してグラフ表示する機能を開発した。この成果を担当の学生が学会にて発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Yui chiro TATEIWA, Tomohiro IWASAKI, Takami YASUDA, Naohisa TAKAHASHI, "Evaluation of network construction exercise system LiNeS on the basis of heterogeneous and distributed virtual machine network composition function," 査読有, International Journal of Knowledge and Web Intelligence (IJKWI), Vol.1, No.3/4, pp.256-272, 2010.
- ② 立岩佑一郎, 岩崎智弘, 安田孝美, 高橋直久, "高機能仮想ハブによる異種構成・分散配置型仮想マシンネットワークの実現とネットワーク構築演習への応用", 査読有, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-D, No.5, pp.791-802, 2011.
- ③ 立岩佑一郎, 岩崎智弘, 安田孝美, "仮想マシンネットワークによる継続的なクラッキング防衛演習システム", 査読有, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J96-D, No.7, 印刷中, 2013.

[学会発表] (計12件)

- ① Yui chiro TATEIWA, Takami YASUDA,

"Multiuser Network Administration Training in LiNeS: Connection Function between Virtual Networks," 査読有, Proceedings of KES-IIMSS 2009, pp.535-544, 2009/07/17, Italy.

- ② Yui chiro TATEIWA, Shoko TATEMATSU, Tomohiro IWASAKI, Takami YASUDA, "Remotely Accessible Exercise Environment for Intrusion Detection/Defense Exercises Based on Virtual Machine Networks," 査読有, Proceedings of the Second KES International Symposium IDT 2010, pp.455-463, 2010/07/30, U.S.A.
- ③ Yui chiro TATEIWA, Tomohiro IWASAKI, Takami YASUDA, "A Remotely Accessible Exercise System for Network Security Based on an Automatic Cracking Function in a Virtual Machine Network," 査読有, Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, pp.337-346, 2011/07/21, Greece.
- ④ Yui chiro TATEIWA, Junya NOUMI, Dai suke YAMAMOTO, Naohisa TAKAHASHI, "Support System for Analyzing the Solution Process for Network Construction Exercises with Virtual Machines," 査読有, Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services, 採択済, 2013, Portugal.

[その他]

ホームページ等

立岩 佑一郎

<http://tk-www.elcom.nitech.ac.jp/~tateiwa/>

名古屋工業大学 高橋・片山研究室／研究紹介／E-Learningグループ

<http://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 (YUI CHIRO TATEIWA)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：30534367