

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01046

研究課題名 (和文) 疑似学習者との協同演習を可能とするIPネットワーク構築演習支援システムの開発

研究課題名 (英文) Development of hands-on IP network practice system enabling collaboration practice with software agent

研究代表者

井口 信和 (IGUCHI, Nobukazu)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：50351565

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要 (和文) : 本研究では、仮想Linux環境を活用したIPネットワークの構築演習において、学習者と疑似学習者によるIPネットワークの協同構築演習を実現する機能を開発した。開発した各機能によって、共同学習者が身近にいない環境でも、協同演習が可能となる。

開発した主な機能は、1) IPネットワークの構築技能をもつ疑似学習者エージェント機能、2) 疑似学習者エージェントとの協同構築演習を可能とする機能、3) 協同演習の結果を自動的に採点する機能である。さらに課題自動作成機能を開発した。実験の結果から、本システムの各機能は正常に動作しており、疑似学習者との協同構築演習が可能であることを確認した。

研究成果の概要 (英文) : In this research, I developed functions to realize cooperative practice of IP networks by learners and software agents in practice of IP networks utilizing the virtual Linux environment. Even without cooperative learner, learners are able to practice of IP networks as cooperative practice.

The main functions that I have developed are 1) software agent function with IP network construction skills, 2) ability to make collaborative practice with software agent, 3) automatic scoring function. I also developed an automatic problem creation function. From experimental results, I confirmed that each function of this system is operating normally, and it is possible to collaborate with software agents.

研究分野：学習支援システム

キーワード：ネットワーク構築演習 協調演習 疑似学習者 仮想マシン

1. 研究開始当初の背景

コンピュータネットワークの普及に伴い、IP ネットワークの構築技術に精通した技術者の需要が高まっている。しかし、国内の IP ネットワーク技術者は不足しており、高い専門知識とスキルを持った IP ネットワーク技術者の早期の養成が必要とされている。このため、大学や専門学校では、ルータ等の実機を用いたネットワークの構築演習の授業が開講されている。事例の一つとして、シスコ・ネットワーキングアカデミーが世界中の教育機関で実施されている。シスコ・ネットワーキングアカデミーは、一人の学習者が小規模のネットワークを構築する演習の他に、複数の学習者が中規模のネットワークを協同構築する演習も実施されている。協同演習を通して観察学習やリフレクションを実施することで、高い学習効果をあげている。

しかし、実機を用いた演習では、多数のネットワーク機器が必要となるため、学習者がいつでも手軽に自学自習できる環境を整えるのは難しい。そこで、申請者は、これまでに仮想マシンを活用することで、一台の標準的な仕様の PC 上で、IP ネットワークの構築演習の支援を可能とするシステムを開発した。本システムを用いることで、①ルータのインターフェイスの設定、②ルータへの静的ルーティングの設定、③ルータへの方式の異なる複数の動的ルーティングの設定、④ホストのインターフェイスの設定の演習が可能である。IP ネットワーク構築演習のカリキュラムの参考にしたシスコ・ネットワーキングアカデミー（CCNA）の中級レベルの課題までに対応できることを確認した。さらに設定の正誤を自動的に判定する自動採点機能と課題作成を支援する機能を開発した。

このような仮想マシンを活用したネットワーク技術者のためのシステムは、多くの研究開発がなされているが、対象とする演習内容が異なり、まだいくつかの未開発の機能が残されている。また、実用化への展開に関しても検討することが多い。特に、複数の学習者が協同で中規模のネットワークを構築する協同演習への対応に関しては検討が必要である。

そこで、本研究では、IP ネットワークの協同構築演習を支援するための機能として、IP ネットワーク構築の技能を持つ疑似学習者エージェント機能を開発することで、学習者と疑似学習者による IP ネットワークの共同構築演習を実現する。

2. 研究の目的

本研究課題では、仮想 Linux 環境を活用したネットワーク構築演習システムを用いて、ルータ等の設定演習を実施する IP ネットワークの構築演習において、学習者と複数の疑似学習者による IP ネットワークの協同構築演習を実現する機能の開発を目的とする。本機能によって、共同学習者が身近にいない環

境、たとえば学習者が自宅で演習を行う場合でも、協同演習が可能となる。本研究では、主に以下の 3 つの機能を開発する。

- ① IP ネットワークの構築技能をもつ疑似学習者エージェント機能を実装する。本研究課題において開発するエージェントは、共同学習者として IP ネットワークの構築演習を可能とする。さらにエージェントは学習者の演習の進捗を監視することで、学習者の演習の進捗に合わせた動作の実行を可能とする。
- ② 複数の疑似学習者エージェントとの協同構築演習を可能とする機能を実装する。学習者の技能レベルにあわせて疑似学習者の行動を制御することで、学習者の技能レベルにあった協同演習を可能とする。
- ③ 協同演習の結果を自動的に採点する機能を実装する。設定の正誤の判定を行うと同時に、学習者が正しい設定のためのヒントを疑似学習者の設定や手順から学習可能とする。さらに学習者が一人で学習する環境においても協同演習を実施可能とする。

3. 研究の方法

本研究では、IP ネットワークの構築技能をもつ疑似学習者として動作するエージェント機能と、エージェントを共同学習者として IP ネットワークの協同構築演習を可能とする協同構築演習支援機能および協同演習自動採点機能を開発する。学習者は、申請者がこれまでに開発した IP ネットワーク構築演習支援システムを用いて、複数の疑似学習者と協同で、一台の PC 上に IP ネットワークを構築していく。

具体的な開発機能は、①IP ネットワーク構築技能を持つ疑似学習者としてのエージェント機能、②協同構築演習支援機能、③協同演習自動採点機能の 3 つである。本システムは、これまでに開発した IP ネットワーク構築演習支援システムを基盤として、本研究において開発した疑似学習者エージェント機能、共同構築演習支援機能および協同演習自動採点機能から構成する。図 1 にシステムの構成図を示す。

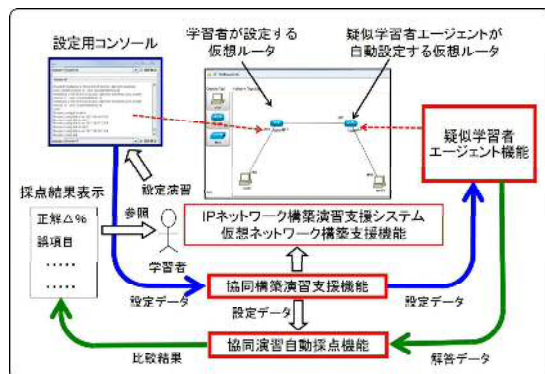


図 1：システム構成図

仮想ネットワーク構築支援機能は、これまでに開発したシステムを活用する。このシステムは、仮想 Linux 環境を活用することで実装した。これは、ルータなどのネットワーク機器の役割をする仮想マシンを、仮想的なネットワーク機器として、一台の PC 上に多数起動させ、それらを相互に接続することで、仮想的にネットワークの構築演習を実施するものである。今回は、学習者が設定する仮想ルータと疑似学習者エージェントが自動設定する仮想ルータを通信させることで一台の PC 上に IP ネットワークを構築する。演習課題の内容に応じて、同時に複数の疑似学習者エージェントを動作させることを可能とする。

まず、本研究課題の基盤機能となる、IP ネットワークの構築技能をもつエージェント機能の開発した。疑似学習者エージェント機能を実現するために開発した項目は次の通りである。

- ・コンパニオンエージェント部
- ・演習課題選択・読み込み部
- ・学習者コンソール入力情報取得管理部
- ・エージェント用正解ファイル読み込み部
- ・仮想マシン制御管理部

開発したエージェントは共同学習者として IP ネットワークの構築演習を可能とする。疑似学習者エージェントは、学習者の入力したコマンドを取得し、それに対応するコマンドを自身の担当する仮想ルータへ発行することで、学習者の演習の進捗に合わせて、仮想ルータを自動的に設定する。疑似学習者エージェントが設定に使用するコマンドおよびパラメータは、XML 化された正解ファイルから随時取り出す。

次に協同構築演習支援機能を開発した。本機能を実現するために開発した項目は次の通りである。

- ・設定進捗管理部
- ・エージェント制御部
- ・エージェントレベル設定部
- ・トラブルシューティング用設定生成部

学習者の技能レベルにあわせて疑似学習者の行動を制御することで、学習者の技能レベルに合った協同演習が可能となる。本研究では3つの学習者レベルを想定した。初級者レベルでは、学習者が間違ったコマンドを入力しても、エージェントは常に正解のコマンドを発行する。さらにエージェントは、自身のコマンドの履歴をその都度、学習者に全て公開する。学習者はエージェントが発行したコマンドと手順を観察することで、自身の誤りに気付く。中級者レベルの場合、エージェントは全ての設定が完了した後に、次に開発する協同演習自動採点機能の結果と合わせて、自身のコマンド履歴を公開する。上級者レベルでは、トラブルシューティングの学習が実施できる。

さらに、協同演習の結果を自動的に採点する機能を開発する。本機能は、これまでに開

発した自動採点機能を活用する。これまでに開発した機能は一人の学習者の演習が正しく実施されたかを自動的に判定する機能である。本研究課題は、この機能を活用して、疑似学習者を含む複数の学習者による協同構築演習の結果を自動的に判定する機能を開発した。本機能を実現するために開発した項目は次の通りである。

- ・ネットワーク設定ファイル比較部
- ・結果表示部およびアドバイス表示部

本機能は、設定の正誤の判定を行うと同時に、正しい設定のためのヒントを疑似学習者のコマンドや手順から学習することを可能とする。さらに、学習者のレベルに合わせた課題を自動的に作成する機能を開発した。

4. 研究成果

研究計画に従って各機能を開発した。まず、図2にネットワーク構築支援 GUI を示す。学習者は本 GUI を使って構築演習を実施できる。本 GUI の特徴は、チャット部である。エージェントは、チャット部を用いて構築の進捗状況を学習者へ報告する。人間と協調演習を実施する場合は、コミュニケーションツールとして利用するが、エージェントと協調演習を実施する場合は、エージェントからの進捗報告機能として利用する。

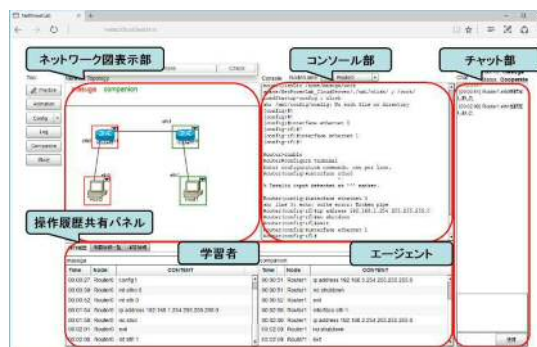


図2：ネットワーク構築支援 GUI

自動採点機能を利用すると、図3に示すとおり、採点結果が表示される。



図3：採点結果

採点結果はネットワーク構築の進捗状況だけでなく、間違っている項目や演習に不必要な設定項目も表示する。採点結果は、(正解項目数/採点項目数)×100で求めた演習正解率と採点結果ツリーとして提示する。本機能によって、学習者の学習進度を定量的に把握できる。

次にエージェントとの協調演習について述べる。本システムでは、チュートリアルモードとトラブルシューティングモードの2つのモードを用意した。

チュートリアルモードはネットワークコマンドの使用法に不慣れた学習者やネットワークコマンドを覚えていない学習者を対象とする。本モードでは、学習者がネットワークコマンドの使い方に慣れることが目的となる。本モードでのエージェントは学習者を助ける熟練者として振る舞う。各課題にエージェントの動作を決定するキーコマンドが設定されており、学習者がどのキーコマンドを入力するかによってエージェントが入力するコマンドが変化する。図4にチュートリアルモードの動作例を示す。

トラブルシューティングモードはチュートリアルモードを修了した学習者および、ネットワークコマンドの使い方に慣れた学習者を対象とする。本モードでは、学習者がネットワークの設定の誤りを自力で発見し、修正できるようになることが目的となる。本モードのエージェントには、チュートリアルモードとは異なり、課題ごとにキーコマンドが設定されていない。エージェントは設定された時間ごとにエージェントの担当するネットワーク機器にネットワークコマンドを入力する。本モードでのエージェントは補助の必要な初学者として振る舞うため、エージェントの施した設定には誤りが含まれる。学習者がトラブルシューティングモードでエージェントと協調演習を実施する際は、一時的にエージェントの担当機器を操作することにより、エージェントが起こした誤りを発見、修正し、ネットワークを正しく構築する。

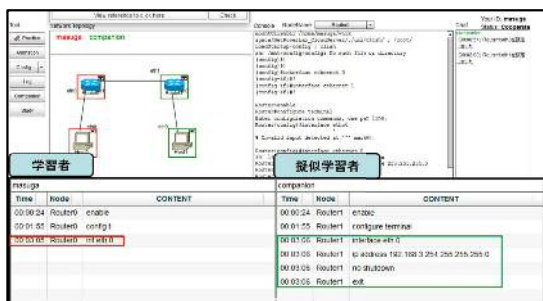


図4：チュートリアルモード動作例

次に本システムにおける演習課題の作成方法について述べる。作成の手順を図5に示す。指導者はあらかじめ各機器に設定を一切行っていないネットワークトポロジだけを構築し、XMLファイルとして保存する。このXMLファイルにはネットワークを構築する

機器の一覧と機器間の結線の情報が記載されている。これにより、システムはネットワークのブロードキャストドメインを認識する。システムはこのXMLファイルに対して、IPアドレスの数値を設定し、静的ルーティング、RIP、OSPFからルーティング方式を選択し、ACLを設定するか決定する。図5の手順3と4においては直前の課題成績が考慮され、ルーティングおよびACLについての設定が決められる。また手順6においても直前の課題成績を考慮したものとなる。

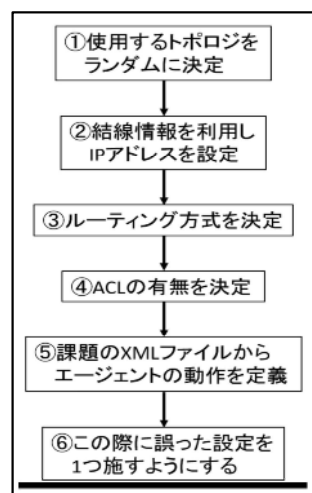


図5：課題作成の流れ

最後に課題自動作成機能について述べる。課題自動作成機能はトラブルシューティングモードにおいて動作する。課題自動作成機能を用いたトラブルシューティングモードの演習の流れを図6に示す。

学習者が初めてトラブルシューティングモードで課題演習を実施した場合、システムは先に述べた方法で課題を作成し、その課題でエージェントは自身の担当する機器に無作為に誤った設定を1つだけ施し、その他は正しい設定を施す。そして、演習結果に応じて次の課題を学習者に提供する。学習者が全ての項目を正しく設定できた場合、エージェントは再度、無作為に誤った設定を施す。ここまですべてを1サイクルとして、学習者はこのサイクルを繰り返すことで、設定の間違いを減らすことができる。

さらに、課題の種類が増えることにより様々なネットワークに対する設定を学べる。演習を終了する場合は、自動採点機能を使用したタイミングで中断できる。終了したタイミングの課題の分析結果は保存され、サイクルの途中から演習をいつでも再開できる。

課題自動作成機能は、自動採点機能を利用して、学習者の間違える頻度の高い設定項目を自動で判断する。システムは、自動採点機能の結果からその時点での設定項目の正否を記録し、最も間違いが多かった設定項目に重点を置いた課題を作成し、次の課題として提供する。分析する項目は以下に示す6つとした。

- 初期設定
- インターフェイス
- 静的ルーティング
- RIP
- OSPF
- ACL

表 1: 課題作成時の課題内容内訳

	初期設定	インターフェース	静的ルーティング	RIP	OSPF	ACL
10回	2	2	0	4	1	1
20回	4	3	2	6	3	2
50回	9	8	8	14	5	6
100回	22	11	23	21	10	13

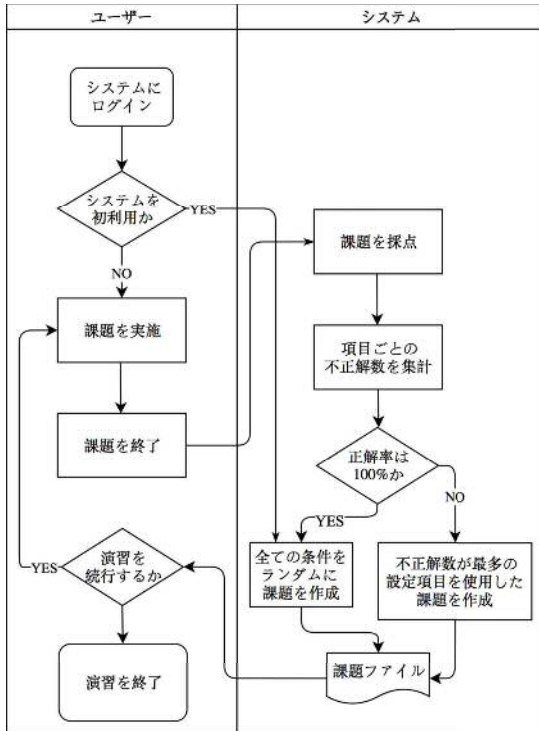


図 6: 演習フローチャート

開発した機能について、動作検証性と性能評価実験を行った。

まず、演習結果に合わせた課題が作成されているか、設定項目ごとに最も多く間違えた際の次回の課題を 20 回ずつ確認した。その後、全項目正解時の課題作成を 100 回実施した。この際に使用したトポロジを図 7 に示す。また出題数の内訳を表 1 に示す。

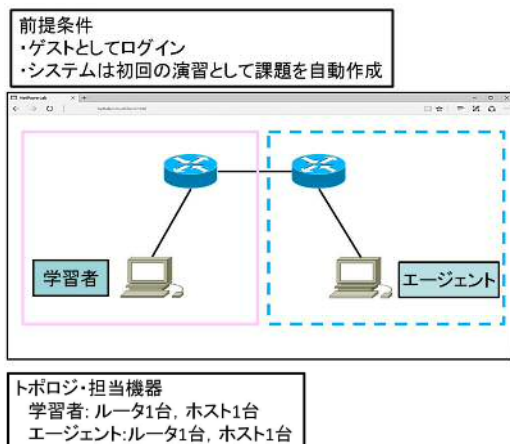


図 7: 動作検証に使用したトポロジ

動作検証後に本システムの性能評価を実施した。本システムは複数人から同時に利用されることを想定しているため、1人分の処理に必要なリソースは少ないことが望ましい。また本システムはクライアントサーバ方式で動作するシステムであり、画面表示と入力機能以外はサーバ側で動作する。そのため、システム利用時のサーバへの負荷や反応速度を計測し、本システムを評価する。計測環境は OS: Ubuntu 14.04 32bit, CPU: Core i7-4790 3.60GHz, メモリ: 8GB のサーバを用い、OS に標準搭載されているシステムモニターでメモリの使用量および CPU 使用率を計測した。

本システムで用いる仮想的なネットワーク機器は User Mode Linux (UML) という仮想化技術を用いて再現している。UML は通常のプロセスと同様に動作するため、機器 1 台ごとのメモリ使用量を計測できる。計測の結果、ホスト: 450KB, ルータ: 1MB, 機器間の結線は 1 本あたり 72KB であることがわかった。

また、1人ずつ順にシステムに接続し、ルータとホストを 2 台ずつ用いた課題を実施した際の負荷を計測した。その結果を表 2 に示す。なお、CPU の使用率は仮想マシン生成時において変動幅が大きいため、その際の最大値と最小値を記載する。この結果から、本システムは仮想マシンの生成時に CPU の使用率が高まるが、生成後は安定しており、メモリの消費量および CPU の使用率は低いことがわかる。

次に、仮想マシンを順次ではなく何台まで同時に起動できるかテストした。UML はメモリ消費量や CPU の使用率を多く要求しないため、順次起動していくとメモリが足りる限りの台数を起動できる。しかし、一斉に起動した場合は 10 台程度を超えると起動にかかる時間が微増し、20 台を超えると新規に生成する予定の仮想マシンの起動処理が停止する。そして、起動開始順に 3, 4 台の仮想マシンの処理が進み、1 台の処理が完了すると順次仮想マシンが起動処理に入る。これは 1 人が多くの仮想マシンを同時に起動した場合も、複数人が同時に課題を開始した結果多くの仮想マシンを起動した場合も同様である。その際の起動時間について表 3 に示す。

最後に、課題の作成に必要な時間を計測した。学習者が課題を達成したと判断し、採点機能により採点結果ウィンドウを表示した時点で課題は XML ファイルとして作成される。このウィンドウが表示されるまでの時間は、課題ファイルの作成を含めて 1 秒未満である。性能評価の結果から、本システムは動作に多くのリソースを要求としないことがわかった。

た. しかし, 同時に多数の仮想マシンの起動要求があった場合にはリソースに余裕があっても処理に著しく時間がかかってしまう. 多人数の利用においては課題開始のリクエストが同時に送られることが予想されるため, 処理を分散する機能が必要である. これはホストとルータの基となるUMLのカーネルファイルが1つしかなく, 起動マシンの生成時に同時にそのファイルを参照しているためと推測される. この問題を解決するには, 本システム自体はリソースを多く必要としないことを利用して Docker などを用いて複数のサーバを立てる, あるいはカーネルを複数用意し, 処理分散の機能を実装するなどの手段が有効と考える.

表 2: 学習者が順次接続した場合の負荷

	CPU (%)	メモリ (MB)
待機時	10	430
1人目の課題開始後 仮想マシン生成時	Min: 36 Max: 76	473
1人目の課題開始後 待機時	12	473
2人目の課題開始後 仮想マシン生成時	Min: 38 Max: 74	480
2人目の課題開始後 待機時	12	480
3人目の課題開始後 仮想マシン生成時	Min: 36 Max: 78	490
3人目の課題開始後 待機時	12	490
コマンドの入力等 操作時	25	変化なし

表 3: 仮想マシンの同時起動に要する時間

	1台の起動時間(秒)	全体の起動時間(秒)
~10台	9	9
11~15台	15	15
16~20台	18	18
21~30台	20	18~68

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① Nobukazu Iguchi, Virtual IP Network Practice System with Software Agent, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 査読有, Volume 611, 2017, 711-720, DOI:10.1007/978-3-319-61566-0

[学会発表] (計4件)

- ① 烏野 貴也, 谷口義明, 井口信和, IP ネットワーク構築演習支援システムにおける課題自動作成機能の性能評価, 第42回教育システム情報学会全国大会, 2017年8月24日, 北九州国際会議場 (福岡県北九州市)
- ② 烏野 貴也, 谷口義明, 井口信和, IP ネットワーク構築演習支援システムにおける課題自動作成機能の実装, 2016年度教育システム情報学会学生研究発表会関西支部, 2017年2月28日, 関西学院大学 (大阪府大阪市)

- ③ 烏野 貴也, 谷口義明, 井口信和, IP ネットワーク構築演習支援システムにおける協調学習エージェントの検討, 情報処理学会インターネットと運用技術研究会第9回インターネットと運用技術シンポジウム, 査読有, 2016年12月2日, 福山大学宮地茂記念館 (広島県福山市)
- ④ Takaya Kasuno, Kazuhiko Masuga, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi, A Study on Pseudo Cooperatice Practice in a Cloud-based Hands-on IP Network Practice System, 2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, 査読有, 2016年10月13日, メルパルク京都 (京都府京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井口 信和 (IGUCHI, Nobukazu)
近畿大学・理工学部・教授
研究者番号: 50351565