

# 仮想マシンを用いたネットワーク構築演習のための 演習プロセス管理システム

能見 惇也<sup>†</sup> 立岩佑一郎<sup>†</sup> 山本 大介<sup>†</sup> 高橋 直久<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

E-mail: <sup>†</sup>noumi@moss.elcom.nitech.ac.jp, <sup>††</sup>{tateiwa,yamamoto.daisuke,naohisa}@nitech.ac.jp

あらまし 本稿では、設問に対して正解と受講者の作業過程、進捗の表現を行う演習プロセス管理グラフ EPMG を提案することで、仮想マシンを用いたネットワーク構築演習において指導者が受講者の構築した仮想マシンネットワークを把握し難いという問題の解決を目指す。また、EPMG を用いた以下の機能を有する演習プロセス管理システムを提案し、その実現法を述べる。EPMG 生成機能：設問に対する正解から EPMG を生成。操作履歴収集機能：演習時の操作とその結果をネットワークを介して収集し、操作履歴 DB を作成。演習プロセス管理画面表示機能：EPMG を指導者の利用する端末上に提示。これらの機能により、より容易な受講者の構築した仮想マシンネットワークや進捗の把握を目指す。

キーワード e-ラーニング, ネットワーク構築演習, 仮想マシン, データベース, 進捗管理

## Management system of exercise process for network construction exercise using virtual machines

Junya NOUMI<sup>†</sup>, Yuichiro TATEIWA<sup>†</sup>, Daisuke YAMAMOTO<sup>†</sup>, and Naohisa TAKAHASHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 466-8555 Japan

E-mail: <sup>†</sup>noumi@moss.elcom.nitech.ac.jp, <sup>††</sup>{tateiwa,yamamoto.daisuke,naohisa}@nitech.ac.jp

**Abstract** In this report, we aim at solving a problem that it is difficult for the teacher to grasp the virtual machine network which the student built, by suggesting exercise process management graph (EPMG) which expresses the question's correct answer and students's processes and the students's progress. In addition, I suggest a exercise process management system which has the following functions using EPMG and indicate the realization method EPMG generation function:the function generate EPMG from the question's correct answer. operation history collection function : the function collects the operation of the students and the results through a network and creates operation history DB. exercise process management screen display function:the function shows EPMG on the terminal which the teacher uses. By these functions, we aim to easily grasp of student's progress and status of virtual machine network.

**Key words** E-Learning,network construction exercise ,virtual machine,database,progress management

### 1. はじめに

筆者らは、仮想マシンネットワークを用いたネットワーク演習システム LiNeS [1] を開発・研究し、基礎的なネットワーク構築演習を学習する演習へ適用している。LiNeS は、仮想マシン User-mode Linux (以下、UML) [2] を利用し、仮想マシンによるネットワーク (仮想マシンネットワーク) の構築環境を 1 台の計算機上に提供する。LiNeS による仮想マシンネット

ワークの構築は計算機上に仮想的なネットワーク機器を稼働させて実現される。

ネットワーク構築演習は、複数台のネットワーク機器によりネットワークを構築するものである。演習中に指導者は、受講者全体から見て演習が遅れている受講者や質問者に対して指導を行う。このため指導者は、全受講者の進捗や受講者が仮想マシンネットワークを構築するために行った操作 (以降、作業過程とする)、仮想マシンネットワークを詳しく知る必要がある。

しかし、指導者が受講者の構築した仮想マシンネットワークを知るためには、受講者の利用する LiNeS を操作する必要がある。指導者が仮想マシンネットワークの確認を行っている間は受講者は演習を進めることができない。また、指導者が受講者の作業過程を知るためには、受講者を常時監視している必要があるが、受講者の人数に対して指導者の人数が少ないことにより常時監視することは困難である。これらのことから、以下の問題が生じる。

問題点 1： LiNeS を直接操作することによる演習効率の低下や全受講者の常時監視が難しいことから、指導者が受講者の構築した仮想マシンネットワークと作業過程を知ることが困難である。

問題点 2： 設問によって操作が順序指定されているものや機器操作の規則も存在するため、それらと学習者のネットワークの現状および作業過程との対応がとりづらく、進捗を把握することが困難である。

これらの問題点に対して本研究では、受講者の演習を妨げずに全受講者の作業過程を収集することで仮想マシンネットワークを表現し、指導者が進捗を把握できることを目標としている。そのため、LiNeS に対する受講者の作業をネットワークを介して収集、指導者が利用する端末上で受講者の作業過程と仮想マシンネットワークおよび進捗状況を把握することが可能なシステムを提案する。提案システムでは、各問題に対して以下の方法で解決を試みる。

解決案 1： 全受講者の LiNeS に対する操作と詳細情報をネットワークを介して収集し、サーバ上に格納、指導者の使用する端末上に作業過程を表示する

解決案 2： 仮想マシンネットワークをノード（プロダクトと呼ぶ）とし、操作を実線のアーク（プロセスと呼ぶ）とするグラフにより設問に対する正解を表現する。正解のグラフでは機器操作の規則と設問で要求された操作手順をプロセスとしたグラフに対し、受講者の操作をプロセスとしてマッピング表示する（このグラフを演習プロセス管理グラフと呼ぶ）

受講者の進捗把握を支援する従来研究として、遠隔教育システム [3] を用いた LINUX 授業におけるブレンディッドラーニングシステム [4] や コンピュータ支援評価システム [5], [6] の問題点を解決したプログラミング演習のための進捗モニタリングシステム [7] が挙げられる。これらの従来研究では、受講者の進捗把握を設問単位で行っている。本研究では、1 つの設問における進捗をグラフにより表現することで、操作単位の進捗を表すことが可能である。

## 2. LiNeS によるネットワーク構築演習

LiNeS を用いたネットワーク構築演習では、ネットワーク構築初学者を演習の対象としている。また演習で使用する仮想的なネットワーク機器は、サーバ、ルータ、クライアント、スイッチングハブ、ネットワークケーブルを用いて演習を行う。演習では、仮想マシンネットワークのトポロジー構成、TCP/IP 設定（IP アドレス、サブネットマスク、経路制御）、サーバソフトウェア設定（WWW、MAIL、DNS、FTP、SSH）、ネットワー

ク診断ツール（ping、dig、tcpdump、telnet）を取り扱う。演習で取り扱う設問の例を図 1 に示す。

受講者は図 2 の LiNeS の仮想マシンネットワーク構築画面にてトポロジー構成を行う。トポロジー構成の操作では、仮想マシンの設置、起動、停止、ケーブルの接続、切断を行うことが可能である。また、サーバ、ルータ、クライアントの各仮想マシンでは、起動時に表示されるコマンドプロンプトにて TCP/IP 設定、サーバソフトウェア設定、ネットワーク診断ツールなどの linux コマンド [8] を自由な手順で行うことができる。

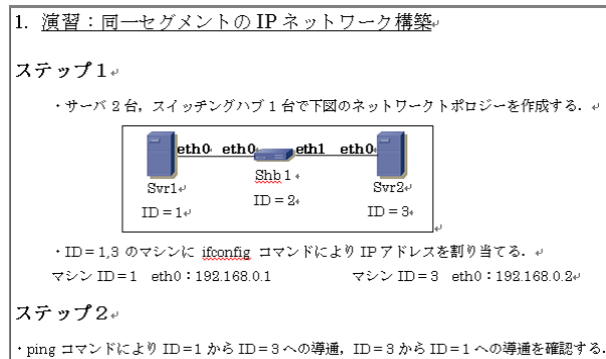


図 1 LiNeS を用いたネットワーク構築演習における設問の例

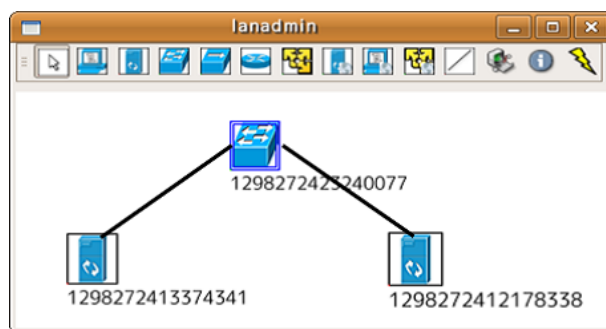


図 2 LiNeS による仮想マシンネットワークの構築

## 3. 提案システム

### 3.1 提案システムの概要

提案システムの目標は、受講者の演習を妨げずに全受講者の作業過程を収集することで仮想マシンネットワークを表現し、指導者が進捗を把握できることである。提案システムは、LiNeS を用いたネットワーク構築演習において、全受講者の LiNeS に対する操作および出力結果などの詳細情報をネットワークを介して収集し、サーバ上のデータベースに格納、指導者の使用する端末上に作業過程を表示するシステムである。

提案システムは図 3 の様に受講者使用端末と指導者使用端末から成り、受講者使用端末上の操作履歴収集機能と指導者使用端末上の演習プロセス管理グラフ作成機能、演習プロセス管理画面表示機能、演習データベースから構成されている。

操作履歴は、操作名や実行時刻といった演習プロセス管理グラフとマッピングを行うための、受講者が LiNeS に対して行った操作の履歴データである。演習プロセス管理グラフ作成入力データは、設問で使用されるマシンの台数やプロセスの順序関係といった演習プロセス管理グラフ構成データを作成するた

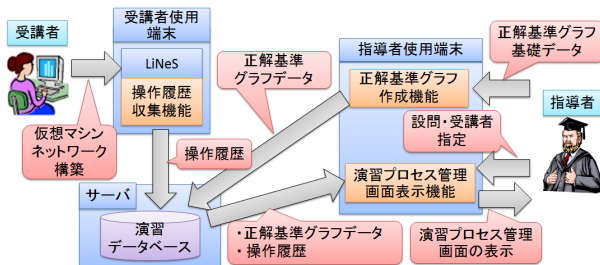


図3 提案システムの構成図

めのデータである。演習プロセス管理グラフ構成データは、プロダクトの座標やプロセスの順序関係といった演習プロセス管理グラフを構成するためのデータである。

操作履歴収集機能は、ネットワークを介して全受講者の操作履歴を収集し、サーバ上の演習データベースに格納する。演習プロセス管理グラフ作成機能は、指導者の入力した演習プロセス管理グラフ作成用入力データをもとに演習プロセス管理グラフ構成データを作成し、演習データベースに格納する。演習プロセス管理画面表示機能は、演習プロセス管理グラフ構成データと操作履歴をもとにマッピングを行った演習プロセス管理グラフ、受講者の操作履歴、受講者が次に実行すべき操作、受講者が最後に実行した操作の実行時刻から経過した時間の4項目を指導者の使用する端末上で表示する。

また、提案システムを利用した演習の流れを以下に示す。  
演習開始前： 指導者は演習プロセス管理グラフ作成機能に対して演習プロセス管理グラフ作成用入力データを入力することで、演習プロセス管理グラフを作成する。

演習中： 受講者がLiNeSに対する操作を行うたびに操作履歴収集機能によって操作履歴をサーバ上の演習データベースに格納する。管理画面表示機能は格納された操作履歴とともに演習プロセス管理グラフを呼び出し、指導者に対して演習プロセス管理グラフ、受講者の操作履歴、受講者が次に実行すべき操作、受講者が最後に実行した操作の実行時刻から経過した時間の表示を行う。

### 3.2 演習プロセス管理グラフ

#### 3.2.1 演習プロセス管理グラフの概要

LiNeSを用いたネットワーク構築演習で指導者は、受講者に対するアドバイスを行うために受講者が次に実行すべき操作を、演習に遅れている受講者に対して指導するために受講者全体における受講者の進捗を知る必要がある。このとき指導者は受講者の進捗を把握する必要がある。しかし、指導者が受講者の進捗を把握するためには、受講者の操作履歴と設問に対する正解の作業過程を比較する必要がある。1.章の問題点2で示したように進捗把握が困難である。ネットワーク構築演習では、ある仮想マシンネットワークから1つの操作を実行することによって別の仮想マシンネットワークへ変化する。このことから、ある仮想マシンネットワークの構築について、仮想マシンネットワークをノードとし、操作をアークとする有効辺グラフで表現することが可能である。そこで設問に対する正解について、仮想マシンネットワークをノード（プロセスと呼ぶ）とし、操作を実線のアーク（プロセスと呼ぶ）とする有効辺グラフで表現する。そしてこのグラフに対して受講者の操作をプロセスとし

て比較し、マッピングすることによって受講者の進捗をグラフ上で視覚的に表現する。正解を表現するグラフ上で受講者の進捗を視覚的に表示することにより、1.章の問題点2の解決を試みた。受講者が次に実行すべき操作は、グラフ上で受講者の操作がマッピングされているプロセスの先にある、操作がマッピングされていないプロセスである。受講者全体における受講者の進捗は、全受講者の作業過程をグラフ上にマッピングし、受講者の進捗と比較することにより知ることが可能となる。

#### 3.2.2 演習プロセス管理グラフの特徴

演習プロセス管理グラフでは、受講者1人1人が設問に沿った仮想マシンネットワークを構築しているかを表現する。演習プロセス管理グラフは、指導者が受講者に対して提示する設問1つに対して1つ作成する。演習プロセス管理グラフ上では、仮想マシンネットワークを仮想マシン毎に表現する。またLiNeSを用いたネットワーク構築演習では、仮想マシンの設置・起動といった順序関係の決まっているプロセスと仮想マシンの起動・ケーブルの接続といった順不同であるプロセスが存在する。プロセスが順不同の場合、1つのプロダクトが複数のプロセスの元となり、グラフは枝分かれした形となる。さらに、pingコマンドによる導通確認などのプロセスでは、仮想マシンの起動・ケーブルの接続といった順不同であるプロセスを事前に実行している必要がある。このようにあるプロセスが順不同なプロセス群を事前に実行している必要がある場合、複数のプロセスの接続先が1つのプロダクトとなる。この時、複数のプロセスの接続先となる1つのプロダクトは、複数の操作を実行した仮想マシンネットワークが表現されてしまうため、指導者は1つ1つのプロセス実行後の仮想マシンネットワークを確認することができない。そこで、これらの仮想マシンネットワークをLiNeSに対する空の操作としてダミープロセスを挟み込むことによりダミープロセス先のプロダクトで表現する。ダミープロセスはグラフ上では破線のアークで表現する。演習プロセス管理グラフの例を図4に示す。図4の演習プロセス管理グラフは、図1を設問とし、1.1を解答し終わった受講者の作業過程をマッピングしたものである。

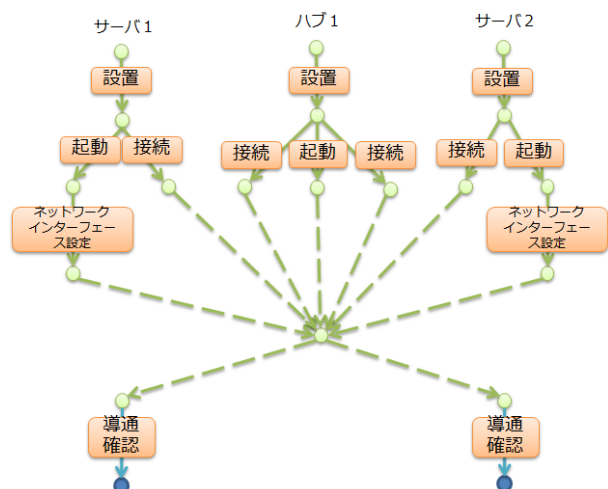


図4 演習プロセス管理グラフの例（強調部分：緑）

### 3.3 提案システムの特徴

提案システムでは特徴として、以下の3つの機能を有する。

#### 特徴1 操作履歴収集機能

LiNeS を用いたネットワーク構築演習において全受講者の LiNeS に対する操作および出力結果などの詳細情報をネットワークを介して収集し、サーバ上の演習データベースに格納する機能 [9]。この機能により、指導者が受講者の使用する LiNeS を直接操作することから、その間に受講者は演習を進めることができないため、受講者の演習を妨げてしまい演習効率が低下するといった問題（問題点1）を解決する。

#### 特徴2 演習プロセス管理グラフ作成機能

演習プロセス管理グラフを表現するのに必要となるデータ（演習プロセス管理グラフ構成データ）を作成し、演習データベースに格納する機能。指導者はこの機能に対して、演習プロセス管理グラフ構成データ作成に必要なデータ（演習プロセス管理グラフ作成用入力データ）の入力を行う。

#### 特徴3 演習プロセス管理画面表示機能

演習プロセス管理グラフ、受講者の操作履歴一覧、受講者が次に実行すべき操作一覧、受講者が最後に操作を行った時刻から経過した時間の4つを表現する機能。この機能により演習プロセス管理グラフを表示することで、LiNeS を用いたネットワーク構築演習における問題点2を解決する。

### 3.4 演習データベース

サーバ上の演習データベースでは、操作履歴を格納する操作履歴テーブルと、演習プロセス管理グラフ構成データを格納する演習プロセス管理グラフ構成テーブルの2つのテーブルをもつ。操作履歴テーブルのデータは操作履歴収集機能により格納され、演習プロセス管理画面表示機能により呼び出される。また、演習プロセス管理グラフ構成テーブルのデータは演習プロセス管理グラフ作成機能により格納され、演習プロセス管理画面表示機能により呼び出される。

## 4. 提案システムの実現法

### 4.1 操作履歴収集機能

LiNeS による仮想マシンネットワークの構築において、受講者の行う操作は GUI 操作によるトポロジー作成と linux コマンドによる各仮想マシンの設定操作がある。そこで操作履歴収集機能では、GUI 操作によるトポロジー作成操作をトポロジー作成履歴、linux コマンドによる各仮想マシンの設定操作を linux コマンド履歴として収集し、サーバ上の演習データベースの操作履歴テーブルに格納する。

#### 4.1.1 トポロジー作成履歴の収集

LiNeS による仮想マシンネットワーク構築におけるトポロジー作成操作では、仮想マシンの設置、起動、停止、ケーブルの接続、切断といった5つの操作がある。トポロジー作成履歴の収集では、各操作が実行されたとき、操作の実行時刻、対象となった仮想マシンを一意に決定する ID、コマンド名、マッピング用オプションデータといった4つのデータを収集する。各操作に対するコマンド名、マッピング用オプションデータは表1に示す。

表1 5つの操作とコマンド名、マッピング用オプションデータの対応表

| 操作     | コマンド名       | マッピング用オプションデータ  |
|--------|-------------|-----------------|
| マシン設置  | NewMachine  | マシン種類（サーバ、ハブなど） |
| マシン起動  | BootMachine |                 |
| マシン停止  | HaltMachine |                 |
| ケーブル接続 | Connect     | 対象となったデバイス名     |
| ケーブル切断 | Disconnect  | ケーブルを一意に決定する ID |

#### 4.1.2 linux コマンド履歴の収集

仮想マシンネットワーク上の linux コマンドによる設定が可能な仮想マシンに対して、実行された linux コマンドの履歴を収集する。linux コマンド履歴の収集では一定期間ごとに履歴の収集を行い、コマンドの実行時刻、対象となった仮想マシンを一意に決定する ID、コマンド名、マッピング用オプションデータといった4つのデータを収集する。linux コマンド履歴の収集におけるマッピング用オプションデータは、linux コマンド実行時にコマンドを実行したプロンプトに対して出力される出力結果とする。linux コマンド履歴の収集について、コマンド実行時刻、コマンド名は history コマンドによって、プロンプトに対する出力結果は script コマンドによって収集を行う。[9]

### 4.2 演習プロセス管理グラフ作成機能

演習プロセス管理グラフ作成機能では指導者からの演習プロセス管理グラフ作成用データの入力をもとに、ダミープロセスの生成、プロダクトの作成、プロダクトの座標決定を行うことで演習プロセス管理グラフ構成データの作成を行う。

#### ステップ1： 演習プロセス管理グラフ作成用データ

演習プロセス管理グラフ作成用データは、使用する仮想マシンの台数と複数のプロセス構成データからなる。プロセス構成データは、コマンド名、マッピング用オプションデータ、前につながるプロセス、後ろにつながるプロセス、対象となる仮想マシンを一意に決定する ID の5つ組で構成する。コマンド名とマッピング用オプションデータは、操作履歴収集機能で示したものと同様である。前につながるプロセスと後ろにつながるプロセスはプロセスの順序を決定する項目である。例として、仮想マシンの設置、起動、ネットワークインターフェース設定の3つの操作を順に行うとき、仮想マシン起動の前につながるプロセスは仮想マシンの設置、後につながるプロセスはネットワークインターフェースの設定となる。

#### ステップ2： ダミープロセスの生成

プロセス構成データにおいて、前につながるプロセスに複数のプロセスが設定されている場合、その数だけダミープロセスの生成を行う。生成されたダミープロセスは生成の原因となった2つのプロセスの間に挟まれる形で前後につながるプロセスの設定を行う。

#### ステップ3： プロダクトの作成

全プロセス、全ダミープロセスの前後にプロダクトを生成し配置する。生成したプロダクトは、プロダクト ID、対象となる仮想マシンを一意に決定する ID、横軸描画位置、縦軸描画位置の4つ組によって表現される。横軸描画位置、縦軸描画位置の値は次のプロダクトの座標決定により値が決定される。

ステップ4： プロダクトの座標決定

各マシン毎に先頭となるプロダクトからプロダクトを順にたどり、プロダクトの描画位置を決定する。プロダクトの縦軸描画位置は、マシン毎に先頭プロダクトからたどり到達するためのたどった回数を設定する。プロダクトの横軸描画位置は、マシン毎に縦軸描画位置の値が同じものを1から順に割り当てる。

ステップ5： 演習プロセス管理グラフ構成データ

演習プロセス管理グラフ構成データはマシン構成データ、プロダクト構成データ、プロセス構成データのデータからなり、各データは以下の構成となる。

マシン構成データ： マシン ID, 先頭のプロダクト ID

プロダクト構成データ： プロダクト ID, 対象マシン ID, 横軸描画位置, 縦軸描画位置

プロセス構成データ： プロセス ID, 対象マシン ID, コマンド名, マッピング用オプションデータ, ダミー判定, 接続元プロダクト ID, 接続先プロダクト ID

#### 4.3 演習プロセス管理画面表示機能

演習プロセス管理画面表示機能では、演習データベースから演習プロセス管理グラフ構成データと受講者の操作履歴を呼び出し、演習プロセス管理グラフ、受講者の操作履歴、受講者が次に実行すべき操作、受講者が最後に操作を行った時刻から経過した時間の4つを表示する。

##### 4.3.1 演習プロセス管理グラフ

演習プロセス管理グラフでは、演習プロセス管理グラフのプロセスと操作履歴との比較を行う。比較した結果、操作履歴がプロセスに対応付けられた場合、そのプロセスをグラフ上で強調表示を行う。

本稿では、集合・配列の各要素の参照はドット表記を用いる。例えば、データ構造  $X = (y, z)$  の変数  $w$  において、 $y$  を参照する場合は  $w.y$  と表す。

演習管理グラフで行われる4つの動作を実現するために以下のものを定義する。マシン構成データを マシン ID:mid, 先頭のプロダクト ID:hpdid の組  $m = (mid, hpdid)$  で表し、この組を要素とする集合を  $M = \{ m_1, m_2, \dots, m_n \}$  とする。プロダクト構成データを プロダクト ID:pdid, 対象マシン ID:mid, 横軸描画位置:column, 縦軸描画位置:row の組  $pd = (pdid, mid, column, row)$  で表し、この組を要素とする集合を  $PD = \{ pd_1, pd_2, \dots, pd_n \}$  とする。プロセス構成データを プロセス ID:psid, 対象マシン ID:mid, コマンド名:cmd, マッピング用オプションデータ:opt, ダミー判定:dummy, 接続元プロダクト ID:srcpdid, 接続先プロダクト ID:dstpdid の組  $ps = (psid, mid, cmd, opt, dummy, srcpdid, dstpdid)$  で表し、この組を要素とする集合を  $PS = \{ ps_1, ps_2, \dots, ps_n \}$  とする。受講者の操作履歴を 操作履歴 ID:orid, 対象マシン ID:mid, コマンド名:cmd, 実行時刻:time, マッピング用オプションデータ:opt の組  $or = (orid, mid, cmd, time, opt)$  で表し、この組を要素とし time 昇順にソートした配列を  $OR = \{ or_1, or_2, \dots, or_n \}$  とする。

各マシンで次に実行すべきプロセスを マシン ID:mid, プロセス ID:psid の組  $nps = (mid, psid)$  で表し、この組を要

素とする集合を  $NPS = \{ nps_1, nps_2, \dots, nps_n \}$  とする。演習プロセス管理グラフ上で強調表示を行うプロセスとプロダクトを  $S = \{ PS, PD \}$  で表す。プロセスと受講者の操作履歴を比較した結果、プロセスに対応付けを行った操作履歴を 操作履歴:or, プロセス:ps の組  $op = (or, ps)$  で表し、この組を要素とし or.time 昇順にソートした配列  $OP = \{ op_1, op_2, \dots, op_n \}$  とする。OP について、操作履歴 or が演習プロセス管理グラフ上のどのプロセスとも対応付けされなかった場合、or の組となる ps は空とする。

説明用関数として以下のものを定義する。入力を ID とし、入力値を ID としてもつ要素を返す関数として、マシン構成データ、プロダクト構成データ、プロセス構成データ、操作履歴それぞれを  $RetM(mid) = m(m \in M), RetPD(pdid) = pd(pd \in PD), RetPS(psid) = ps(ps \in PS), RetOR(orid) = or(or \in OR)$  とする。

また、 $M, PD, PS, OR$  は演習データベースから読み込むものを初期値とする。 $NPS$  の初期値は、 $m \in M$  となる全ての  $m$  について  $m.hpdid = ps.srcpdid$  となる  $ps(ps \in PS)$  を用いて  $nps = (m.mid, ps.psid)$  持つ。 $S.PS$  の初期値は空とする。 $S.PD$  の初期値は、 $m \in M$  となる全ての  $m$  について  $RetPD(m.hpdid)$  を持つ。 $OP$  の初期値は空とする。

##### 1. 演習プロセス管理グラフに対する操作履歴のマッピング

演習プロセス管理グラフに対する操作履歴のマッピングでは、操作履歴とグラフ上プロセスとの比較を行う。比較関数を  $F1$  この関数への入力を  $M, PD, PS, OR, NPS, S, OP$  出力を  $NPS, S, OP$  とし、 $F1(M, PD, PS, OR, NPS, S, OP) \rightarrow NPS, S, OP$  とする。比較関数  $F1$  のアルゴリズムを以下に示す。

**STEP1**  $OR$  の先頭要素  $or$  を取り出す。 $OR$  が空の場合は **STEP7** へ進む。

**STEP2**  $or.mid = nps.mid$  かつ  $or.cmd = RetPS(nps.psid).cmd$  かつ  $or.opt = RetPS(nps.psid).opt$  を満たす  $nps(nps \in NPS)$  を求め、取り出す。 $nps$  が求まった場合、 $OP$  に  $(or, RetPS(nps.psid))$  を格納し、 $S.PS$  に  $RetPS(nps.psid)$  を格納する。 $nps$  が求まらなかった場合、 $OP$  に  $(or, ps = \text{空})$  を格納し、**STEP1** へ戻る。

**STEP3**  $pd (pd \in PD) = RetPD(RetPS(nps.psid).dstpdid)$  とする。

**STEP4**  $pd.pdid = ps.dstpdid$  を満たす  $ps(ps \in PS)$  の集合  $SRCPS$  を求め、 $SRCPS \subset S.PS$  の真偽を確認する。真の場合、 $pd$  を  $S.PD$  に格納する。偽の場合、**STEP1** へ戻る。

**STEP5**  $pd.pdid = ps.srcpdid$  を満たす  $ps(ps \in PS)$  全てについて、ダミーあるか否かを確認する。 $ps.dummy = false$  の場合、 $NPS$  に  $(ps.mid, ps.psid)$  を格納する。 $ps.dummy = true$  の場合、 $S.PS$  に  $ps$  を格納し、 $pd = RetPD(ps.dstpdid)$  として **STEP4** へ戻る。

**STEP6** **STEP1** へ戻る。

**STEP7**  $NPS, S, OP$  を返す。

比較関数  $F1$  を実行後、 $S$  に格納されているプロセス、プロダクトを強調表示することでマッピングする。

## 2. 受講者の進捗表示

演習プロセス管理グラフ上で受講者の操作履歴をマッピングし、強調表示することによって、受講者の進捗を表示する。

## 3. 受講者が次に実行すべき操作

演習プロセスグラフ上で強調表示されたプロダクトに接続されている、強調表示されていないプロセスが次に実行すべき操作となる。演習プロセスグラフ上で受講者の進捗を表示することにより、受講者の次に実行すべき操作を表示する。

## 4. 受講者全体における受講者の進捗表示

マッピングで使用する比較関数 F1 を全受講者の操作履歴に対して実行し、各プロセス、プロダクトで操作履歴の対応付けがされている人数をカウントする。カウントした人数の大きさを、演習プロセス管理グラフ上で表示するプロセス、プロダクトの色の濃淡で表す。プロセス、プロダクトの色の濃淡と受講者の進捗表示を見比べることにより、全受講者における受講者の進捗を表示する。

### 4.3.2 受講者の操作履歴一覧

$op \in OP$  となるすべての  $op$  について、対象となるマシン毎に  $op.or.cmd$  と  $op.or.time$  をリストの形式で表示する。また、 $op.ps$  が空の場合、 $op.or.cmd$  と  $op.or.time$  を強調表示する。

### 4.3.3 受講者が次に実行すべき操作一覧

$nps \in NPS$  となるすべてを  $nps$  について、対象となるマシン毎に  $RetPS(nps.psid).cmd$  をリストの形式で表示する。

### 4.3.4 受講者が最後に操作を行った時刻から経過した時間

受講者が最後に実行した操作となる  $or_n \in OR$  について、現在時刻と  $or.time$  を比較し、その差となる時刻を表示する。

## 5. プロトタイプシステムの実装

実現法をもとにプロトタイプシステムの実装を行った。使用言語は C++ を使用し、Qt ライブラリ [10] を使用した。また、データベースには MySQL [11] を使用した。実装した演習プロセス管理画面表示機能を図 5 に示す。

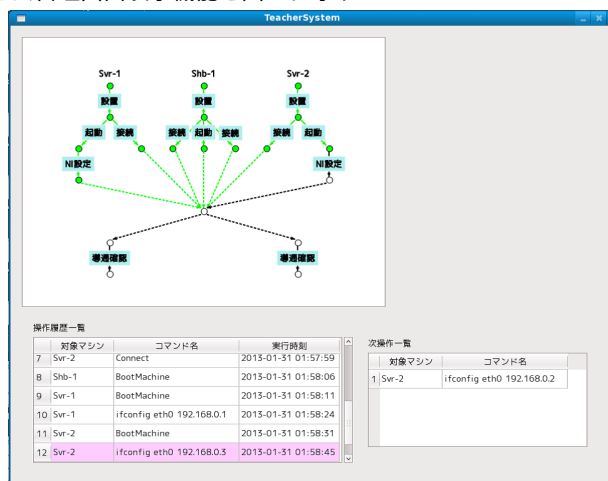


図 5 プロトタイプシステム（演習プロセス管理画面表示機能）

## 6. 評価実験

仮想マシンを用いたネットワーク構築演習における演習プロセス管理グラフを用いた受講者の進捗把握と質問者に対するア

ドバイスについて、有効性を評価する。

### 6.1 評価実験の内容

#### 【評価実験の被験者】

TA（Teaching Assistant）もしくは技術補佐員の経験を持つ、名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻の学生 5 名。

#### 【評価実験の方法】

図 6 に示す設問に対する質問者の解答として、導通確認に失敗する 3 パターンの解答を用意する。

パターン A： Shb2 の起動し忘れ

パターン B： Rtr1 eth1 の IP アドレス設定ミス

パターン C： Svr2 のデフォルトルートの設定ミス

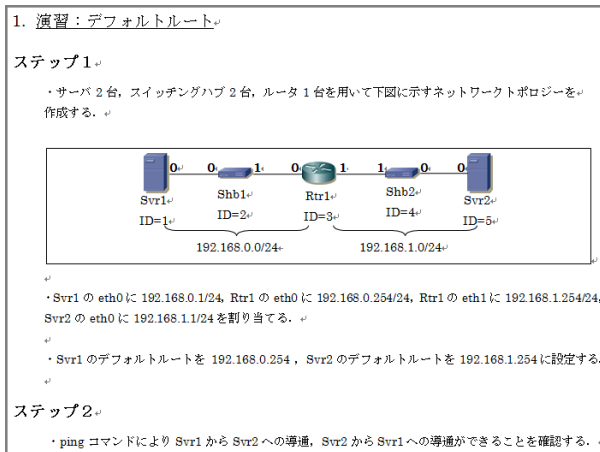


図 6 実験で使った設問

被験者には、上記の 3 パターンの解答それぞれに対してローテーションしながら、以下の手法によって受講者の進捗を把握し、アドバイスとして、誤り箇所の特定、受講者が次に実行すべき操作を発見してもらう。

手法 1： 従来手法である LiNeS を直接操作

手法 2： 対象となるマシン、コマンド名、詳細情報の 3 つ組を時系列順に表示した操作履歴一覧表示

手法 3： 提案手法である演習プロセス管理画面表示機能

進捗把握について以下の手順で受講者の進捗把握を行う。

手順 1： 進捗確認に必要となるデータの決定

手順 2： 進捗確認に必要となるデータの収集

手順 3： 収集したデータを解釈し、進捗を把握

アドバイスについてまた、以下の手順でアドバイスを行う。

手順 1： 受講者の進捗を把握

手順 2： 誤り箇所、もしくは躓き箇所を特定する

手順 3： 次に実行すべき操作を特定し、アドバイスする

受講者の進捗確認、解答に対するアドバイスについて、手法 1 と手法 3 を比較することで、従来手法と比較した提案手法の優位性を評価する。また、操作履歴収集を前提とした際の受講者の進捗確認、解答に対するアドバイスについて、手法 2 と手法 3 を比較することで、演習プロセス管理画面表示機能の優位性を評価する。

評価実験 1 として、アドバイスにかかった時間を計測する。  
評価実験 2 として、被験者にアンケート調査を行う。

#### 【アンケートの内容】

進捗確認の手順とアドバイスの手順、提案システムの総合評価について、5 段階評価のアンケート調査を行った（5 段階評価 {5. そう思う—4. どちらかといえばそう思う—3. どちらともいえない—2. どちらかといえばそう思わない—1. そう思わない}）

アンケート調査の項目を以下に示す。

#### 【進捗把握の手順に関する質問】

項目 1 進捗把握の手順 1 について、進捗把握に必要となるデータの決定は難しかったですか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握

項目 2 進捗把握の手順 1 について、進捗把握に必要となるデータの決定に負担を感じましたか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握

項目 3 進捗把握の手順 2 について、従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握では、必要となるデータの収集に負担を感じましたか

項目 4 進捗把握の手順 3 について、進捗把握は難しかったですか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

項目 5 進捗把握の手順 3 について、進捗把握に負担を感じたか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

#### 【アドバイスの手順に関する質問】

項目 6 アドバイスの手順 2 について、誤り箇所、躓き箇所の特定は難しかったですか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

項目 7 アドバイスの手順 2 について、誤り箇所、躓き箇所の特定に負担を感じましたか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

項目 8 アドバイスの手順 3 について、次実行すべき操作の特定は難しかったですか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

項目 9 アドバイスの手順 3 について、次実行すべき操作の特定に負担を感じましたか

- (1) 従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握
- (3) 提案手法による進捗把握

#### 【総合評価】

項目 10 提案手法は受講者の進捗把握について、従来手法である LiNeS 直接操作による進捗把握、操作リストによる進捗把握と比べて優れていると思いましたが

- (1) 従来手法による進捗把握との比較
- (2) 操作リスト一覧表示による進捗把握との比較

#### 6.2 評価実験の結果

アドバイスにかかった時間の比較による評価 と アンケート調査による評価 の結果を以下に示す。

##### 6.2.1 アドバイスにかかった時間の比較による評価

従来手法、操作履歴一覧表示、提案手法 の 3 手法において、被験者がアドバイスとして誤り箇所もしくは躓き箇所を特定し、次に実行すべき操作を発見するのににかかった時間を表 2 に示す。

表 2 実験 1 の結果

|       | 従来手法          | 操作履歴一覧表示      | 提案手法        |
|-------|---------------|---------------|-------------|
| 被験者 1 | A : 1 0 0 (秒) | B : 9 0 (秒)   | C : 2 7 (秒) |
| 被験者 2 | B : 1 7 7 (秒) | C : 8 6 (秒)   | A : 2 3 (秒) |
| 被験者 3 | C : 1 8 0 (秒) | A : 2 3 6 (秒) | B : 6 0 (秒) |
| 被験者 4 | A : 1 3 3 (秒) | B : 8 9 (秒)   | C : 1 1 (秒) |
| 被験者 5 | B : 1 4 7 (秒) | C : 9 4 (秒)   | A : 5 0 (秒) |
| 平均    | 1 4 7 . 4 (秒) | 1 1 9 (秒)     | 3 4 . 2 (秒) |

解答に対するアドバイスにかかった時間計測の実験結果として、提案手法は従来手法と比較して解答に対するアドバイスにかかった平均時間が約 4 倍速いという結果が得られた。

また、操作履歴の収集を前提とした際の解答に対するアドバイスにかかった時間計測の実験結果として、提案手法は操作履歴一覧表示と比較して解答に対するアドバイスにかかった平均時間が約 3 . 5 倍速いという結果が得られた。

このことから、提案手法の演習プロセス管理画面表示機能が従来手法、操作履歴一覧表示の両手法と比較して、受講者の進捗を把握しやすく表現できていると考えられる。

以上の結果により、提案手法では従来手法と比べて解答に対するアドバイスにかかった時間について、優位の差がでることがわかった。また、操作履歴の収集を前提とした際の解答に対するアドバイスにかかった時間について、提案手法では操作履歴一覧表示と比べて優位の差がでることがわかった。

##### 6.2.2 アンケート調査による評価

アンケート調査の結果を表 3 に示す。また、進捗把握の手順に関する質問の平均点を表 4 に示し、アドバイスの手順に関する質問の平均点を表 5 に示す。

質問 1、質問 4 では、進捗確認の手順 1、手順 3 において被験者が感じた難しさについて調査した。その結果、従来手法については手順 3 において平均値 4 以上、操作履歴一覧表示の手法については手順 3 において平均値 4 以上、提案手法については手順 3 において平均値 2 未満という結果を得ることができた。このことから、進捗確認のためのデータ解釈について、提案手法が従来手法、操作履歴一覧表示の両手法と比較して、容易に進捗を確認できることが明らかになった。

質問 2、質問 3、質問 5 では、進捗確認の手順 1、手順 2、

表 3 実験 2 の結果

| 質問内容             | 項目    | 小項目   | 平均値   |
|------------------|-------|-------|-------|
| 【進捗把握の手順に関する質問】  | 質問 1  | ( 1 ) | 3 . 4 |
|                  |       | ( 2 ) | 2 . 8 |
|                  | 質問 2  | ( 1 ) | 4     |
|                  |       | ( 2 ) | 3 . 2 |
|                  | 質問 3  | ( 1 ) | 4 . 2 |
|                  |       | ( 2 ) | 4 . 2 |
|                  | 質問 4  | ( 3 ) | 1 . 8 |
|                  |       | ( 1 ) | 4 . 6 |
|                  | 質問 5  | ( 2 ) | 3 . 6 |
|                  |       | ( 3 ) | 1 . 4 |
| 【アドバイスの手順に関する質問】 | 質問 6  | ( 1 ) | 4 . 2 |
|                  |       | ( 2 ) | 3 . 4 |
|                  |       | ( 3 ) | 1 . 6 |
|                  | 質問 7  | ( 1 ) | 3 . 4 |
|                  |       | ( 2 ) | 2 . 8 |
|                  |       | ( 3 ) | 1     |
|                  | 質問 8  | ( 1 ) | 1 . 8 |
|                  |       | ( 2 ) | 1 . 8 |
|                  |       | ( 3 ) | 1     |
|                  | 質問 9  | ( 1 ) | 2     |
|                  |       | ( 2 ) | 2     |
|                  |       | ( 3 ) | 1     |
| 【総合評価】           | 質問 10 | ( 1 ) | 5     |
|                  |       | ( 2 ) | 5     |

表 4 進捗把握の手順に関する質問の平均点

| 手法 \ 質問内容 | 【進捗把握の手順に関する質問】 |         |
|-----------|-----------------|---------|
|           | 難しさを感じたか        | 負担を感じたか |
| 従来手法平均点   | 3 . 8           | 4 . 3   |
| 操作履歴平均点   | 3 . 5           | 3 . 4   |
| 提案手法平均点   | 1 . 8           | 1 . 4   |

表 5 アドバイスの手順に関する質問の平均点

| 手法 \ 質問内容 | 【アドバイスの手順に関する質問】 |         |
|-----------|------------------|---------|
|           | 難しさを感じたか         | 負担を感じたか |
| 従来手法平均点   | 3                | 2 . 7   |
| 操作履歴平均点   | 2 . 6            | 2 . 4   |
| 提案手法平均点   | 1 . 3            | 1       |

手順 3 において被験者が感じた負担について調査した。その結果、従来手法についてはすべての手順において平均値 4 以上、操作履歴一覧表示の手法については手順 1、手順 3 において平均値 3 以上、提案手法については手順 1、手順 3 において平均値 2 未満という結果を得ることができた。このことから、提案手法が従来手法、操作履歴一覧表示の両手法と比較して、少ない負担で進捗を確認できることが明らかになった。

質問 6、質問 8 では、アドバイスの手順において被験者が感じた難しさについて調査した。その結果、質問 6 について、従来手法では平均値 4 . 2、操作履歴一覧表示の手法では平均値 3 . 4、提案手法では平均値 1 . 6 という結果を得ることができ、従来手法、操作履歴一覧表示の両手法と比較して提案手法が容易に誤り箇所、躓き箇所の特定が可能であることが明らかになった。しかし、質問 8 については、従来手法では平均値 1 .

8、操作履歴一覧表示の手法では平均値 1 . 8、提案手法では平均値 1 という結果となった。この結果から、進捗確認と誤り箇所、躓き箇所の特定ができていない状態であれば次に実行すべき操作の特定は容易であると考えられる。

質問 7、質問 9 では、アドバイスの手順において被験者が感じた負担について調査した。その結果、質問 7 について、従来手法では平均値 3 . 4、操作履歴一覧表示の手法では平均値 2 . 8、提案手法では平均値 1 という結果を得ることができ、質問 9 については、従来手法では平均値 2、操作履歴一覧表示の手法では平均値 2、提案手法では平均値 1 という結果を得ることができた。この結果から、アドバイスの手順において被験者が感じた負担はどの手法でも少ないということが明らかになった。

質問 10 では、総合評価として、従来手法、操作履歴一覧表示と比較して提案手法が優れているかを調査した。その結果、従来手法との比較、操作履歴一覧表示との比較 双方について、平均値が 5 という結果を得ることができた。

以上のことから、受講者の進捗把握と質問者に対するアドバイスについて、従来手法、操作履歴一覧表示と比較した提案手法の有効性が示された。

## 7. おわりに

本研究では、仮想マシンを用いたネットワーク構築演習のための演習プロセス管理システムの提案を行った。今後の課題として、受講者の操作履歴と演習プロセス管理グラフとのマッチング手法改善が挙げられる。マッチング手法を改善することにより、演習プロセス管理グラフを用いた自動正誤評価機能や受講者に対するヒント提示機能の実現が考えられる。

## 文 献

- [1] 立岩佑一郎: "仮想環境ソフトウェアに基づくネットワーク実習環境提供システムの開発" 名古屋大学情報科学研究科博士論文, 2008.
- [2] UML: <http://user-mode-linux.sourceforge.net/>
- [3] 仲田和宏, 阿久津智則, 梶浦文夫, 市村洋, 吉田幸二, プレンディッドラーニングにおける LINUX 授業の実践, マルチメディア, 分散, 強調とモバイル (DICOMO), シンポジウム情報処理学会, Vol.1.2004.No7, pp245-248, 2004
- [4] 仲田和宏, 阿久津智則, クリス ウォルトン, 藤井論, 市村洋, 吉田幸二, LINUX 授業におけるプレディッドラーニング・システムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 104(342), 21-26, 2004-10-09
- [5] Ala-Mutka, K.: A Survey of Automated Assessment Approaches for Programming Assignments, Computer Science Education, Vol.15, No.2, pp.83-102(2005).
- [6] Douce, C., Livingstone, D. and Orewll, J.: Automatic test-based assessment of programming: A review, Educational Resources in Computing, Col.5, No.3(2005).
- [7] 内藤広志, 齊藤隆, プログラミング演習のための進捗モニタリングシステム, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告 2008(13), 33-40, 2008-02-16
- [8] Linux コマンド一覧: [http://www.k4.dion.ne.jp/~mms/unix/linux\\_com/index.html](http://www.k4.dion.ne.jp/~mms/unix/linux_com/index.html)
- [9] 能見惇也, 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における構築操作履歴の収集と活用, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 2012 年 3 月
- [10] Qt Project <http://qt-project.org/>
- [11] MySQL 世界でもっとも普及している、オープン ソース データベース <http://www-jp.mysql.com/>