

仮想環境ソフトウェアに基づく LAN 構築技能と TCP/IP 理論の 関連付け学習のためのネットワーク動作可視化システムの開発

立岩 佑一郎[†] 安田 孝美[†] 横井 茂樹[†]

多くの大学や専門学校では、ネットワーク管理者育成のための講義が行われている。ネットワーク管理入門者にとって LAN 構築技能と TCP/IP 理論は、各々を習得するのはもちろんのこと、両者を関連付けて考えられるようになることも重要である。しかし従来の代表的なシステムは、各々を学習することには優れていても、両者の関連付けの学習には不向きである。そこで本研究では、学習者が 1 台の PC 上に自由かつ仮想的に構築したネットワークの動作を、TCP/IP 理論と対応付けて可視化表示するシステムを開発した。仮想的なネットワークにより 1 台の PC 上で学習できるので、実ネットワークでの学習と比べて手軽に行える。このシステムを仮想環境ソフトウェア User-mode Linux により実現した。システムの評価実験を、情報系の大学生と大学院生 12 名に対して行った。その結果、本システムの学習支援の効果と機能の充足状況は良い評価であったが、インタフェースの操作性に課題があることが分かった。

Development of a System to Visualize Computer Network Behavior for Learning to Associate LAN Construction Skills with TCP/IP Theory, Based on Virtual Environment Software

YUICHIRO TATEIWA,[†] TAKAMI YASUDA[†] and SHIGEKI YOKOI[†]

Lectures for training network administrators are being given in many universities and many vocational schools. It is important for beginners at network management to not only master both LAN construction skills and TCP/IP theory, but also to comprehend the relationship between them. Although current major teaching materials are excellent for mastering these two fields, they are not appropriate for comprehending the relations between them. Therefore, we have developed a system that can visualize the behavior of networks constructed by learners on one PC freely and virtually, in order to associate their behaviors with TCP/IP theory. Because one learner can learn with just one PC using virtual networks, learning with this system places a lighter burden on learners than learning with an actual network. We have implemented this system by applying the virtual environment software "User-mode Linux." The evaluation, based on results from 12 undergraduate and graduate university students studying informatics, indicates that our system satisfactorily supports learning via its functions. Some problems remained, however, with the user interfaces.

1. はじめに

インターネットや LAN の普及により、ネットワーク管理者の育成は必要不可欠である。ネットワーク管理者育成の場である大学や専門学校の多くでは、ネットワーク管理者育成の一環として LAN 構築の実習と TCP/IP 理論の講義が行われている。ネットワーク管理入門者にとって LAN 構築技能と TCP/IP 理論は各々を理解するのはもちろんのこと、両者を関連付けて考えられるようになることも重要である。これを習

得することは、ネットワークの設定やネットワークのトラブルシューティングなどに非常に有用である。

代表的な両者の関連付けの学習方法として、LAN 構築の実習などで構築したネットワークにおいて、パケットダンププログラムによりパケットを閲覧するという方法がある。この方法は、様々なネットワークパターンで閲覧できたり、実感が湧いたりするなどの利点を持つ。しかし、個々のネットワーク機器で送受信したパケット内容の表示であるため、TCP/IP 理論との関連性を理解しにくかったり、ネットワーク全体の動作を把握しにくかったりするという問題点を持つ。もう 1 つの代表的な学習方法として、講義などで使用する書籍による方法がある。書籍では、ネットワーク

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

の動作を TCP/IP 理論に関連した形で表現できるという利点がある。しかし、静的な情報であるため自由な設定条件による様々なネットワークの動作を学習することができなかつたり、机上の学習であるため実感が湧かなかつたりするという問題点を持つ。

このため我々は、学習者が自由に構築したネットワークの動作を、TCP/IP 理論と対応付けて可視化表示するシステムを仮想環境ソフトウェアの活用により開発してきた¹⁾。このたび、システムの評価実験を行ったので、その結果と考察を加えて本論文で報告する。

本システムは、1 台の PC 上に仮想的にネットワークを構築する機能と、そのネットワークの動作を可視化して表示する機能を持つ。仮想的にすることで、実機と比べて手軽に学習でき、さらに各機器の保持している動作データを可視化表示用データに容易に変換できる。このシステムを仮想環境ソフトウェア User-mode Linux²⁾ (以下 UML) により実現している。

2. 関連研究

本研究に関連するシステムは以下の 3 つに分類できる。TCP/IP 理論の学習のために有効な情報を提示するシステム、LAN 構築の学習のために有効な情報を提示するシステム、LAN 構築の学習のための環境を効率的に提供するシステムである。

荒井らは、ネットワークを流れるデータを取得し可視化表示することでデータ構造と通信手順の学習を支援するツールと、TCP の制御方式をシミュレーションし可視化表示することでその学習を支援するツールを開発し、各々の学習効果の検証を行っている³⁾。山根らは、TCP の学習支援を目的とした、ネットワークを流れるデータを取得し TCP セッション単位に表示するツールの開発を行っている⁴⁾。市村は、ネットワーク中のデータに雑音を強制的に印加する装置と、ネットワーク中のデータを表示する機器などにより、OSI 7 階層モデルにおけるデータリンク層の誤り制御の学習を支援している⁵⁾。田島らは、ネットワークから取得したパケットを、初学者が TCP/IP 理論の基本的仕組みを理解できる程度に表示項目を絞って提示するツールの開発を行っている⁶⁾。これらのシステムは、TCP/IP 理論の学習のための情報を提示するものであり、LAN 構築技能との関連付けの学習に適切な情報を提示できない。

早川らは、TCP/IP 理論のインターネット層の一部の機能とリンク層の一部の機能をシミュレートし、IP アドレスの設定やネットワークケーブル接続など仮想的なネットワーク構築を体験できるツールを開発して

いる⁷⁾。精慮らは、コンピュータ上に仮想的にネットワークを構築でき、そのネットワークの設定を検証するシミュレータツールを開発している⁸⁾。これらのシステムは LAN 構築技能の学習のための情報を提示するものであり、TCP/IP 理論との関連付けの学習に適切な情報を提示できない。

中川らは、仮想環境ソフトウェア VMware を利用することで、実ネットワークにおけるネットワーク構築実習の環境を効率的に構築するためのシステムを開発してきた⁹⁾。VMware の仮想ディスクを選択するだけで、実習目的に適合した OS を搭載する PC にすることができるため、様々なパターンの実習を手軽に行える。しかし、ネットワークを流れるデータを可視化する機能を有していない。また、Network Simulator ns-2¹⁰⁾ や OPNET¹¹⁾ は、仮想的なネットワークによるネットワークシミュレーションを行うシステムである。この特徴を利用し、1 台の PC 上で仮想的にネットワークを構築する作業を体験できるが、この 2 つのシステムもネットワークを流れるデータを可視化する機能を有していない。これらのシステムは LAN 構築技能の学習のための環境を提供するものであり、TCP/IP 理論と LAN 構築技能との関連付けの学習に適切な情報を提示できない。

3. システムの要件

LAN 構築技能と TCP/IP 理論の関連付けを学習するには、学習者が LAN 構築技能により構築したネットワークの動作を、システムが TCP/IP 理論と対応付ける形で提示し、その提示物を学習者が考察することが効果的であると考えられる。ネットワークの構築においては、学習者に LAN 構築技能を使用しているという感覚を与えられることと、可視化対象であるネットワーク動作に技能の使用結果を反映できることが重要である。また、可視化表示においては、学習者の理解しやすさのため、TCP/IP 理論の書籍などに掲載されている図に近いものを提示できることが重要である。たとえば、学習者がウェブサーバ Apache の設定ファイル編集やルータの経路制御設定などを行って構築したネットワークにおいて、ブラウザによるウェブ閲覧や Telnet によるコマンド実行などを行い、システムがその際に発生したネットワークの動作を、TCP/IP 理論の説明に使われるパケットのフォーマットや TCP/IP 階層モデル図などで可視化表示し、学習者がその表示を考察するのである。

本研究の学習に関係のあるネットワーク管理知識と、その関連を学習するための可視化対象を図 1 に示す。

表 1 仮想的なネットワーク機器の主な仕様

Table 1 Main specifications of virtual network machines.

	基本設定機能	クライアント機能	サーバ機能	イーサネット インタフェース
コンピュータ	TCP/IP 設定 ホスト名設定 ユーザ設定	ウェブ メール FTP Telnet SSH DNS ping	ウェブ (Apache) メール (Postfix) FTP (ProFTPD) Telnet (telnetd) SSH (OpenSSH) DNS (BIND)	1 ポート
ルータ	TCP/IP 設定 ホスト名設定	ping	DHCP	2 ポート
スイッチング ハブ	なし	なし	なし	5 ポート

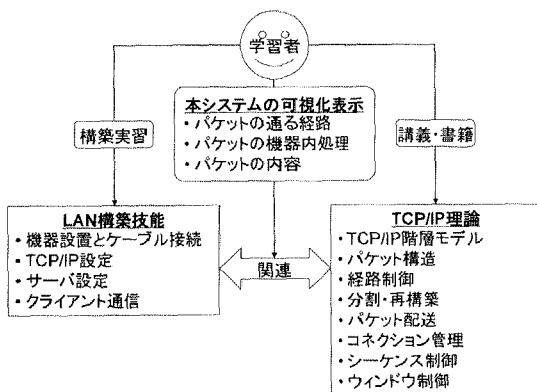


図 1 重要なネットワーク管理知識と可視化対象

Fig. 1 Important knowledge for network management and visualize objects.

対象となるネットワーク管理知識は、両者の中で重要かつ複雑で関連付けが困難な部分としている。可視化対象の「パケットの通る経路」は、ネットワーク全体を表す図において、送信元の機器から送信先の機器までに通る機器とケーブル上を、パケットを表すアイコンの移動表示により表現する。「パケットの機器内処理」は、各ネットワーク機器を TCP/IP 階層モデル図を参考に階層化して表示したものに、各プロトコルの処理機構を示す領域を表示し、その領域内において処理に必要な内部データと処理されているパケットのデータを表示することにより表現する。「パケットの内容」は、経路上と機器内においてパケットの内容を整形して表示する。

LAN 構築の実習で使用するネットワーク機器のうち、本システムでの学習に必要なものを表 1 に示す。また、本システムで構築できるネットワークの規模は、LAN 構築の実習と同じ程度のもので、ネッ

トワーク機器 10~20 台くらいから構成されるものとする。

本研究では、学習者が仮想的に構築したネットワークの動作を可視化表示するシステムを開発する。このシステムでは、実ネットワークを使用せず 1 台の PC を使用するだけであるので、学習を手軽に行うことができる。すなわち、学習者にとってはネットワーク構築などに手間がかかり、教育者にとっては実験環境提供の負担が大きいという実ネットワークでの学習の問題を解決できる。

ここで、本システムでの学習の手順を述べる。まず、学習者は 1 台の PC 上にネットワークを仮想的かつ自由に構築する。仮想的なコンピュータやルータを設置し、各々のネットワークの設定やサーバの設定を行う。次に、構築したネットワークでウェブ閲覧やメール送受信などのネットワーク通信を実行する。通信の実行には、構築したネットワーク中のクライアントに搭載されたソフトウェアを使用する。そして、学習者はネットワーク通信の際のネットワークの動作の可視化表示を見ることで、学習を行う。可視化表示はパケットの内容や配送の様子、ルーティングテーブルなどの情報をアニメーションにより表現したものである。ネットワーク中を流れるパケットの内容を表示したり、各ネットワーク機器内におけるパケットに対するプロトコルの処理を、その際に使用されるルーティングテーブルや ARP テーブルなどの内部変数とともに表示したりする。

4. システムの実現方法

図 2 に本システムの構成を示す。本システムは 1 台

の Linux 端末上で動作するアプリケーションである。仮想的なネットワークを実現するために、仮想環境ソフトウェア UML を利用した。UML の操作の負担を少なくするために GUI (Graphical User Interface) のネットワーク構築画面を用意し、その画面と UML を連携させるために擬似端末という Linux の技術を利用した。可視化表示用のデータであるパケットデータと処理データを UML から取得するために、UML のデバッグ機能とパケットダンププログラムを使用した。取得したデータを基にアニメーションを生成し、可視化表示画面に表示する。

4.1 仮想環境ソフトウェア UML の活用による仮想的なネットワークの実現

本システムでは、UML を利用して仮想的なネットワークを実現した。10~20 台程度の規模のネットワークを構成するためと、LAN 構築の実習で使用するサーバソフトウェアなどを実行できるようにするためである。UML は仮想環境ソフトウェアで、Linux 上で動作する Linux である。ネットワーク構成機能を持ち、サーバソフトウェアなどを実行できる。加えて、Linux 上での Linux のシミュレートに特化していることにより軽快に動作するため、一般的な性能のコンピュータで複数起動することができる。本研究では、この特性により目標とする仮想的なネットワークを実現した。

4.2 擬似端末による GUI からの UML の制御

本システムでは学習者のシステム操作の負担を考慮し、別途作成した GUI のネットワーク構築画面から制御できるようにした。ネットワーク構築において仮想機器として使用する UML は、コマンド入力により制御するものである。そのため学習者は様々なコマンドを覚えなければならず、負担が大きい。GUI のネットワーク構築画面により制御することで、学習者はネットワーク構築をマウス中心の操作により、直感的に行えるようになる。

これを実現するために、コンソールアプリケーションである UML を、Linux の技術の 1 つである擬似端末によりネットワーク構築画面と接続した。ネットワーク構築画面と UML は、図 3 に示すように擬似端末を経由して、制御命令と実行結果を交換する。

擬似端末による UML の制御のためのソースコードの例を図 4 に示す。「:」の左の数値は行番号である。1~18 行目は UML と擬似端末を接続して UML を起動するためのもの、20~22 行目は GUI が擬似端末を介して UML に制御命令を渡すためのもの、24~37 行目は、GUI が擬似端末を介して UML から実行結果を取得するためのものである。

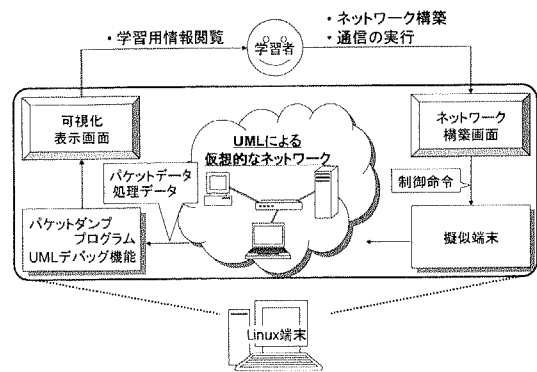


図 2 システムの構成図
Fig.2 System structure.

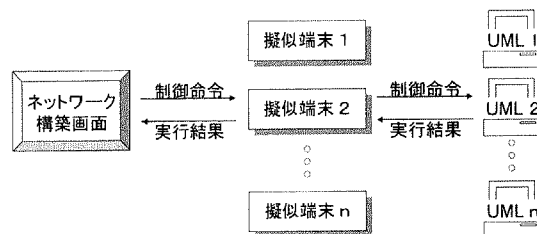


図 3 擬似端末を介しての UML と GUI の連携
Fig.3 Linking UML to GUI by a pseudo-terminal.

4.3 ネットワーク動作可視化のためのデータ取得

本システムでは、図 1 で示した可視化対象をアニメーションで表示する。アニメーションのためには、任意の時刻における可視化対象のデータが必要となる。したがって、任意の時刻におけるパケットの内容、パケットの位置、パケットの処理についてのデータが必要となる。「パケットの通る経路」を表示するためには、各ネットワーク機器のパケット送受信情報が必要となる。「パケットの機器内処理」を表示するためには、行った処理の種類と内容、処理に関わった内部データが必要となる。「パケットの内容」を表示するためには、パケットを構成するデータすべてが必要となる。

そこで、これらのデータを取得するための機能を、UML に新たなソースコードを追加することで新規開発した。UML はソースコードが公開されており、その改変が認められているオープンソースソフトウェアであるため、新しい機能を容易に追加することができるのである。

図 5 に示すような仕組みで、アニメーションに必要なデータをデータベースへ記録する機能を実現した。仮想的なネットワーク中を流れるパケットは、UML 内部のパケット処理機構により生成・破棄・編集される。そこで、パケットの処理を表示するためのデータは、時刻とともにパケット処理機構からデータベースへ記

```

1: void Run(char **bootparam){
2:   openpty(&pfd, &cfd, NULL, NULL, NULL);
3:   pid = fork();
4:
5:   if(pid == 0){
6:     setsid();
7:     ioctl(cfd, TIOCSCTTY, 0);
8:     close(pfd);
9:     dup2(cfd,0);
10:    dup2(cfd,1);
11:    dup2(cfd,2);
12:    close(cfd);
13:
14:    execvp(bootparam[0],bootparam);
15:    exit(1);
16:  }
17:  close(cfd);
18: }
19:
20: void Input(char *command){
21:   write(pfd, command, strlen(command));
22: }
23:
24: void Output(char *result){
25:   char buf[MAX_BUFFER];
26:   pollfd ufds[1];
27:
28:   ufds[0].fd = pfd;
29:   ufds[0].events = POLLIN;
30:   ufds[0].revents = 0;
31:
32:   while(poll(ufds, 1, TIME_OUT) > 0){
33:     int len = read(pfd, buf, sizeof(buf));
34:     if(len > 0)
35:       strncat(result, buf, len);
36:   }
37: }

```

図4 擬似端末による UML 制御のためのソースコードの例

Fig.4 An example of source code for operating UML by using a pseudo terminal.

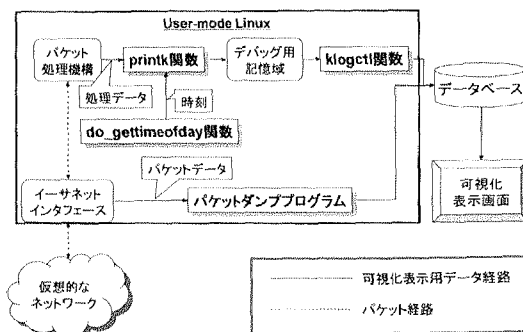


図5 UML から可視化表示用データの取得の仕組み

Fig.5 Structure for obtaining data to visualize network behavior from UML.

録されるようにした。また、UMLは、本システムでの使用において、仮想的なネットワークとのパケットの送受信を、イーサネットインタフェースを通して行う。このため、パケットの内容を表示するためのデータとパケットの位置を表示するためのデータは、パケットダンププログラムによってイーサネットインタフェー

```

1: struct timeval tvp;
2: do_gettimeofday(&tvp);
3: printk(KERN_DEBUG " _VNK_%s%010ld%06ld,%s\n",
4:          VNK_DEV_QUEUE_XMIT,
5:          tvp.tv_sec,
6:          tvp.tv_usec,
7:          skb->id);

```

図6 UML に追加したソースコードの例

Fig.6 An example of source code added to UML.

スから取得し、データベースへ記録されるようにした。可視化表示を行う部分は、このデータベースに記録されているデータに基づきアニメーションデータを作成し、表示を行うようにした。

内部処理をデバッグ用記憶域に出力するために、UMLへ追加したソースコードの例を図6に示す。1, 2行目は時刻を取得するためのものである。3~7行目のprintk関数では、パケットの位置(4行目)、処理時刻(5, 6行目)、パケットのID(7行目)を引数として受け取っている。このようなコードを、UML内部の約300カ所に記述した。

5. システムの実行例

5.1 仮想的なネットワークの構築と通信の実行

仮想的なネットワークを構築している画面を図7に示す。学習者のシステム操作の負担を減らすために、LAN構築の実習での手順(機材の設置→設定→通信)を模倣し、主にマウス操作で作業を行えるようにした。まず、図中(1)のウィンドウでネットワーク機器を選択し、設置スペースをクリックすることでネットワーク機器の設置を行う。次に、図中(2)のようなウィンドウで、TCP/IP設定やサーバ設定を行う。そして、図8のような独自開発したクライアントソフトウェアからネットワーク通信を行う。このソフトウェアは表1に示した独自開発したクライアントソフトウェアの1つで、簡単なウェブブラウザ機能を持っている。学習者がURL入力欄にURLを入力し、ページ取得ボタンを押すと、ソフトウェアはサーバから取得したウェブページを表示する。本システムでは、システムの軽量化・高速化のために、「学習者が通信を行った」という事実と、通信の結果を認識できること」という条件のもとに開発したコンパクトなクライアントソフトウェアを使用する。

本システムでは、学習者のネットワーク構築の手間を省くために、あらかじめ基本的なネットワークを規模別に提供している。ネットワーク機器が6台からなるもの(コンピュータ3台、ルータ1台、スイッチングハブ2台)、13台からなるもの(コンピュータ4台、ルータ4台、スイッチングハブ5台)、19台からなる

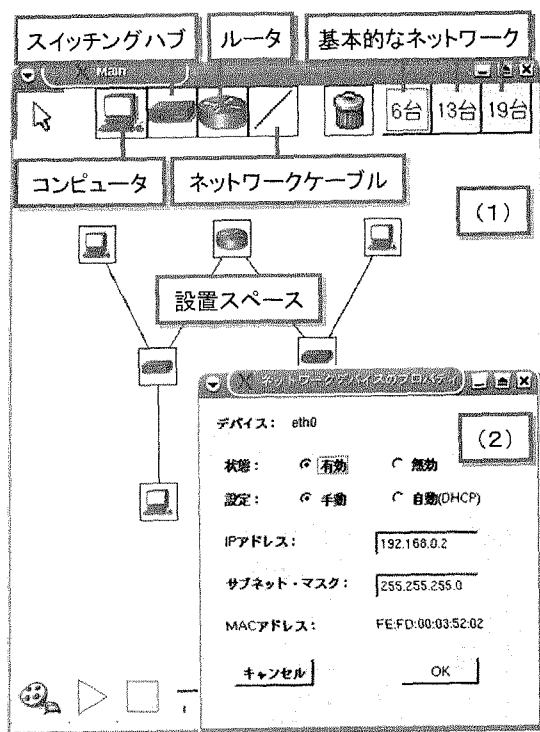


図 7 仮想的なネットワークの構築

Fig. 7 Constructing a virtual network.

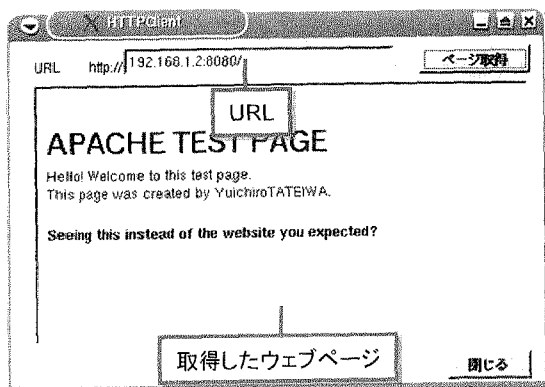


図 8 ウェブページ閲覧

Fig. 8 Web browsing.

もの (コンピュータ 10 台, ルータ 4 台, スwitchングハブ 5 台) の 3 種類である。該当ボタンにより選択すると, 各々の機器が自動的に設置, 起動, 設定された状態で学習者に提供される。学習者は提供されたネットワークに, 新たにネットワーク機器を追加したり, 設定を変更したりすることで目的とするネットワークを構築できる。

5.2 ネットワーク動作可視化表示

本システムは, 図 1 に示す可視化対象をアニメーション

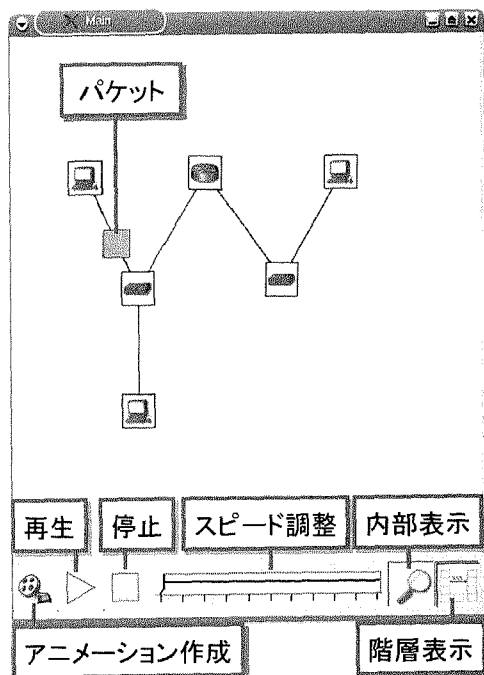


図 9 パケット経路

Fig. 9 Packet routes.

ンで表示することで, ネットワーク動作を表現する。ネットワーク動作の可視化表示画面を, 図 9～図 14 に示す。任意の時点までのネットワーク動作を可視化するために, アニメーション作成ボタンを押すことでその時点までのネットワーク動作のアニメーションを作成するようにした。学習者が興味のないアニメーションをとばしたり, 関心のある処理を吟味したりするために, アニメーション操作を再生ボタン, 停止ボタン, スピード調整バーにより制御できるようにした。

図 9～図 11 はネットワーク全体でのパケットの通る経路, パケットの配送に関わる処理概要, およびパケットの内容について表示するためのものである。図 10 は図 9 の上部中央にあるルータの周囲を抜粋したものである。図 9 では, パケットを示すアイコンが機器間をケーブルに沿って移動していく様子を, アニメーションで表示する。パケットのアイコンをクリックすると, その時点でのパケットのデータを整形して表示する (図 11)。図 10 では, ネットワーク機器内でのパケット配送に関わる処理の解説を表示する。これらにより, 学習者はネットワーク構築において作成したトポロジ, 施した TCP/IP 設定, および実行した通信に対する, TCP/IP 理論におけるパケット配送, 経路制御, パケット構造の関連を学ぶことができる。この例では, たとえば, ブラウザで指定したウェブサー

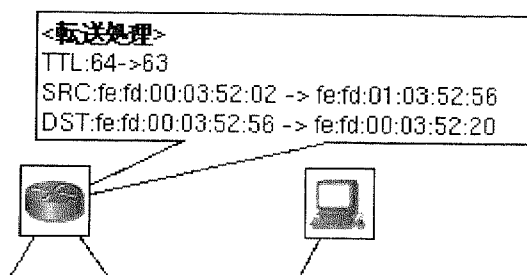


図 10 パケット配送処理

Fig. 10 A process for delivering a packet.

図 11 パケットデータ

Fig. 11 A packet data.

パの IP アドレスや、構築で使った機器の MAC アドレスを使用してパケットが作成されていることを確認することで、TCP/IP 設定に対するパケット構造の関連を学習できる。あるいは、ルータによる転送処理において、パケットデータの変換によりパケット配送が行われていることを確認することで、TCP/IP 設定に対するパケット配送と経路制御の関連を学習できる。

図 12 はネットワーク機器内で行われた階層ごとのパケット処理の概要や目的を表示するためのものである。パケットが送信元の機器から送信先の機器までに通ったネットワークケーブルとネットワーク機器が一列に表示される。各ネットワーク機器は TCP/IP 階層モデルに基づいた形状である。これにより、学習者は実行した通信と TCP/IP 階層モデルの関連を学ぶことができる。この例では、たとえば、ブラウザでウェブページを閲覧するという通信が、コネクション確立という作業を必要とし、それがクライアント機とサーバ機のトランスポート層間で行われているという関連を学習できる。

図 13、図 14 はネットワーク機器内部でのパケット処理を表示するためのものである。図 13 はネット

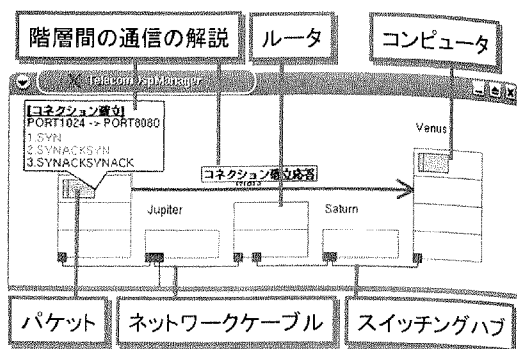


図 12 ネットワーク機器間で行われた階層ごとのパケット処理の概要と目的

Fig. 12 Purpose and summary of packet processing for each layer between network components.

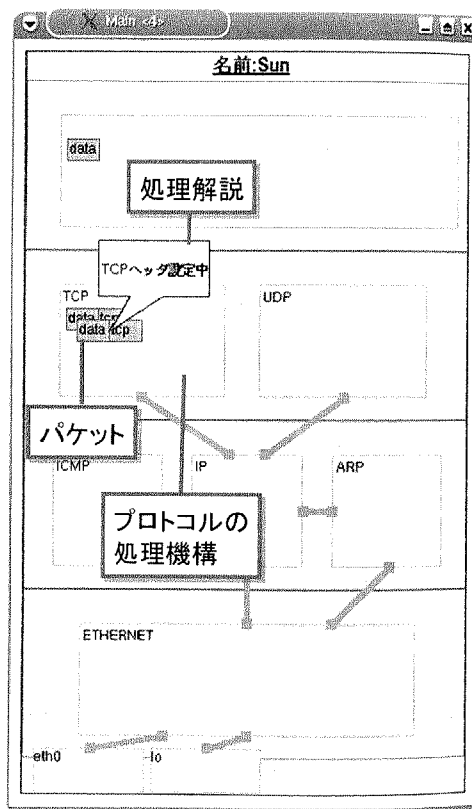


図 13 ネットワーク機器内部でのパケット処理概要

Fig. 13 Summary of packet processing in a network machine.

ワーク機器内部を TCP/IP 階層モデルに基づいて表示したものであり、パケットのデータ構成と、そのパケットを処理しているプロトコルの処理機構を表示する。図 14 は図 13 の各プロトコルの処理機構のパケット処理を詳細に表示する。内部データをもとにパケットヘッダの値を更新したり、パケットヘッダの値をも

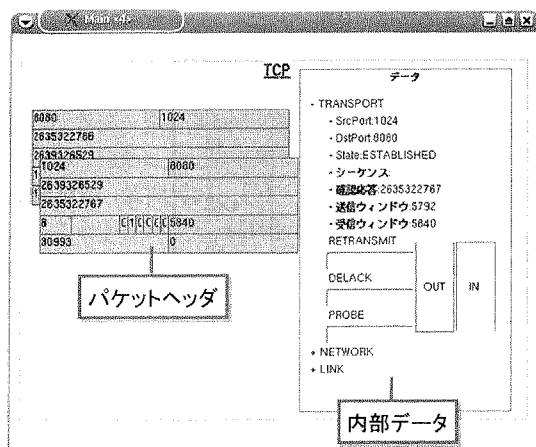


図 14 TCP でのパケット処理

Fig. 14 Packet processing in TCP.

とに内部データを更新したりする様子を表示する。これらにより学習者は、ネットワークに施した TCP/IP 設定と実行したネットワーク通信に対する、図 1 にあげた TCP/IP 理論との関連を学ぶことができる。この例では、たとえば、WEB 閲覧に対するパケット構造やコネクション管理の関連を学んでいる。WEB 閲覧にあたってブラウザの URL 欄に指定したポート番号 8080 番が、TCP の処理機構でコネクションが確立された状態において、パケットへ設定されているという関連を学習できる。

6. 評価実験

LAN 構築技能と TCP/IP 理論の関連付けの学習支援に対する本システムの有効性を測るためにシステムの性能評価とアンケートを行った。実験は、教育現場での本システムの使用を考慮した性能の PC (CPU: PentiumM 1.6 GHz, メモリ: 512 MB) を使用した。この PC で動作すれば、教育現場においても十分に本システムを使用できると考えられる。

6.1 システムの性能評価

学習に使用するネットワークの規模が、システムの使用感に与える影響を測定するため、6 台と 19 台のネットワークでウェブ閲覧通信を行い、システムの負荷を計測した。図 15、図 16 に CPU 使用率の変化のグラフを示す。図中 (1) がネットワークの自動構築開始点で、6 台および 19 台のネットワーク機器が設置、起動、設定される。図中 (3) がウェブサーバの起動開始点である。両ネットワークともに同程度の CPU 使用率により起動できていることが分かる。また、起動に費やした時間は 6 台のネットワークにおいては

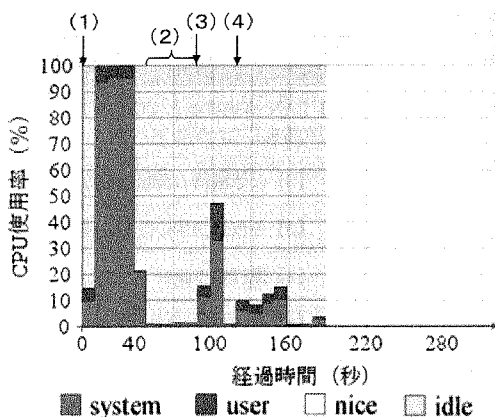


図 15 6 台のネットワークの CPU 使用率

Fig. 15 CPU use rate of the network consisting of 6 components.

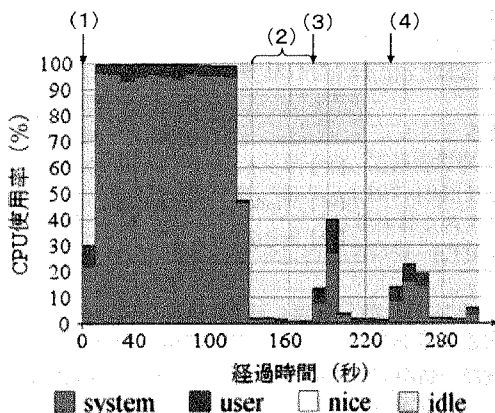


図 16 19 台のネットワークの CPU 使用率

Fig. 16 CPU use rate of the network consisting of 19 components.

0.56 秒 (10 回平均)、19 台のネットワークにおいては 0.68 秒 (10 回平均) と、こちらもほぼ同程度であった。図中 (4) がウェブブラウザによるウェブ閲覧の開始点である。両ネットワークともに同程度の CPU 使用率によりウェブページの閲覧を行えていることが分かる。また、ウェブページ取得に費やした時間は、6 台のネットワークにおいては 1.92 秒 (10 回平均)、19 台のネットワークにおいては 2.76 秒 (10 回平均) で、19 台のネットワークの方が、若干取得に時間がかかっていることが分かった。規模の大きなネットワークでの通信は、パケットが経由する機器が多くなるためレスポンスタイムが増加していると考えられる。

以上により、ウェブ閲覧通信においては 6 台のネットワークでも 19 台のネットワークでも CPU 使用率

表 2 質問項目と平均値と改善点に関する自由記述
Table 2 Question items, average scores, and comments about improvement.

質問項目		平均値
【1】 LAN 構築技能と TCP/IP 理論の関連付けの学習をする上で、本システムは役に立ちましたか？		4.42
構築	【2】 仮想機器の種類は十分でしたか？	4.42
	【3】 各仮想機器の設定の種類は十分でしたか？	4.50
	【4】 操作性は良好でしたか？	3.75
通信	【5】 通信の種類は十分でしたか？	4.33
	【6】 操作性は良好でしたか？	3.58
可視化	【7】 図 9, 図 10, 図 11 のような表示は学習に役に立ちましたか？	4.75
	【8】 図 12 のような表示は学習に役に立ちましたか？	4.50
	【9】 図 13 のような表示は学習に役に立ちましたか？	4.50
	【10】 図 14 のような表示は学習に役に立ちましたか？	4.33
	【11】 可視化表示の種類は十分でしたか？	4.18
	【12】 操作性は良好でしたか？	4.08
改善点に関する自由記述		
【ア】 ファイアウォールの機能が欲しい。		
【イ】 Windows の tracert.exe のような通信を実行したい。		
【ウ】 巻き戻しや、ストーリー表の表示、手順ごとのコマ送りをしたい。		

に大きな差がなく、レスポンスが良好であることが分かった。図中 (2) に示すようにネットワーク機器が起動してしまえば、CPU 使用率は非常に低くなるため、どちらのネットワークでも軽快に操作できる。UML の起動台数が使用感に大きく影響するのではないので、学習者は目的に応じた規模のネットワークで学習を行えるが、通信内容によるシステムへの負荷に留意して行う必要がある。なお、20 台より多い台数のネットワークで学習を行える可能性はあるが、本研究の学習対象は 20 台程度のネットワーク機器から構成されるネットワークにより十分に学習可能なものであるため、これ以上の台数での使用に関して、本論文では言及しない。

また、ネットワーク機器と 3 種類の基本的なネットワークの起動時間を計測した。Linux のキャッシュを利用した起動時間ではなく、Linux の起動完了直後に本システムを起動し、最初に設置したものの起動時間を計測した。各々 10 回計測した平均値は、コンピュータが 9.5 秒、ルータが 9.7 秒、スイッチングハブが 0.2 秒、6 台のネットワークが 41.8 秒、13 台のネットワーク

が 85.3 秒、19 台のネットワークが 148.3 秒であった。実機の起動時間と比較して見劣りするものではないため、学習者が大きなストレスを感じることなくネットワーク構築作業を行うことができると考えられる。

6.2 アンケートと結果

表 2 に示すような質問項目、および自由記述欄から構成されるアンケートを行った。本システムの 3 つの機能である、ネットワーク構築機能、ネットワーク通信機能、ネットワーク可視化表示機能について評価した。アンケート項目に対して「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 あまりそう思わない」「1 そうは思わない」の 5 段階評価と自由記述で評価を実施した。被験者は、情報系大学生・大学院生 12 名で、TCP/IP を学んだことがあり、10 台程度の小規模な LAN を構築できる者である。

6.3 アンケート結果の考察

アンケート結果により、学習支援に対する本システムの効果を確認できた（質問【1】）。また、各機能の充足状況への評価（質問【2】、【3】、【5】、【11】）および学習への効果に関わる評価（質問【7】～【10】）はお

おもね良好であった。しかし、操作性は改善の余地があることが分かった（質問【4】、【6】、【12】）。

6.3.1 ネットワーク構築機能

ネットワーク構築機能の評価において、ネットワーク機器の種類と設定の種類はおおむね十分であることが分かった（質問【2】、【3】）。操作性は改良の余地があることが分かった（質問【4】）。機能の不足点としては、ネットワーク設定でのファイアウォール機能があげられた（自由記述【ア】）。ファイアウォールの仕組みを理解することは、ネットワーク管理者にとって重要であるので、この機能の追加は今後の課題とした。操作性の改良では、構築を誘導するような補助解説の表示、デザインの改良、操作ウィザード導入などを考えている。

6.3.2 ネットワーク通信機能

評価によりネットワーク通信の種類はおおむね十分であることが分かった（質問【5】）。操作性は改善の余地があることが分かった（質問【6】）。機能の不足点としては、Linuxのネットワーク診断ツールの一つである traceroute があげられた（自由記述【イ】）。この通信は、ネットワーク管理に欠かせないものであるため、その仕組みを理解しておくことはネットワーク管理者にとって重要なことである。この機能の追加と操作性の改善は今後の課題としたい。

6.3.3 ネットワーク可視化機能

評価により各可視化表示の学習支援の効果を確認できた（質問【7】～【10】）。可視化表示の種類はおおむね十分であることが分かった（質問【11】）。操作性に改善の余地があることが分かった（質問【12】）。自由記述【ウ】により、アニメーション操作への具体的な要望があった。現システムでは、アニメーションの再生と停止、およびスピード調整をすることができるが、使いやすさという点では十分であるとはいえない。要望のようなアニメーション全体のストーリー表により、学習者はネットワーク通信の概要をつかめたり、進捗状況を把握したりできると思われる。また、巻き戻しやコマ送りにより、見落とした表示を再表示したり、スピード調整の煩わしさを低減したりできると思われる。これらの実装と操作性の改善は今後の課題としたい。

7. ま と め

本研究では、LAN構築技能とTCP/IP理論の関連付けの学習を支援するシステムとして、仮想的なネットワークにおけるネットワーク動作を可視化表示するシステムを開発した。システムは仮想環境ソフトウェ

ア User-mode Linux を活用することにより実現した。開発したシステムの評価実験の結果、学習支援の効果と機能の充足状況には一定の評価を得られたが、システムの操作性については改善の余地があることが分かった。今後の展開として、教育コースへの組み込みの検討を行った後、学習効果の計測実験を行うつもりである。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「社会情報基盤のための音声映像の知的統合 (IMI)」および科研費の研究助成による。

参 考 文 献

- 1) 立岩佑一郎, 安田孝美, 横井茂樹: 仮想環境ソフトウェアに基づくネットワーク処理可視化教育システムの開発, 情報処理学会研究報告, 2005-CE-81, pp.7-14 (2005).
- 2) The User-mode Linux Kernel Home Page.
<http://user-mode-linux.sourceforge.net/>
- 3) 荒井正之, 田村尚也, 渡辺博芳, 小木曾千秋, 武井恵雄: TCP/IP プロトコル学習ツールの開発と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, pp.3242-3251 (2003).
- 4) 山根健一, 矢吹道郎: TCP セッションを考慮したパケットモニタリングツール, 情報処理学会 47 回全国大会講演論文集, 5E-6, pp.197-198 (1994).
- 5) 市村 洋: 誤り検出・訂正の目視検証システムの試作, 電子情報通信学会技術研究報告, ET94-52, pp.55-62 (1994).
- 6) 田島弘隆, 向谷博明: 教科「情報」における TCP/IP を理解するための可視化教材開発, 日本教育工学会研究報告集 ICT 活用と教育評価, pp.7-10 (2005).
- 7) 早川正昭, 丹野克彦, 山本洋雄, 中山 実, 清水康敬: LAN 構築シミュレータの開発と教育手法の改善, 教育システム情報学会 26 回全国大会講演論文集, E5-4, pp.367-368 (2001).
- 8) 精廬幹人, 木村昌史: 教育向けネットワークシミュレータの開発, 情報処理学会 65 回全国大会講演論文集, 2D-2, pp.273-274 (2003).
- 9) 中川泰宏, 須田宇宙, 浮貝雅裕, 三井田惇郎: VMware を利用したネットワーク管理者教育の試み, 情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集, 2D-6, pp.281-282 (2003).
- 10) The Network Simulator-ns2.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 11) ネットワークシミュレータ OPNET Product.
<http://www.johokobo.co.jp/opnet-products/top.html>

(平成 18 年 6 月 9 日受付)

(平成 19 年 1 月 9 日採録)



立岩 佑一郎 (正会員)

1980年生。2002年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業。2004年名古屋大学大学院人間情報学研究科修士課程修了。同年同大学院情報科学研究科博士課程入学。仮想環境ソフトウェア、ネットワーク、情報教育等に興味を持つ。



安田 孝美 (正会員)

1987年名古屋大学大学院博士課程(情報工学)修了。同年同大学助手。1993年同大学情報文化学部助教授。2003年同大学大学院情報科学研究科教授となり、現在に至る。この間、1986年日本学術振興会特別研究員。CG、VRをはじめとするマルチメディア情報処理、メディア技術の社会への応用に興味を持つ。最近ではネットワークを利用したマルチメディアにCG、VRの新たな可能性を求めて研究を行っている。1987年日本ME学会論文賞、同年同学会研究奨励賞、1989年市村学術貢献賞、1994年科学技術庁長官賞、1998年本会坂井記念特別賞、2001年教育システム情報学会論文賞、2006年本会学会活動貢献賞各受賞。平成10年6月～平成11年5月本会論文誌編集委員会応用グループ主査。



横井 茂樹 (正会員)

1977年名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。同年名古屋大学助手。1978年三重大学助教授。1982年名古屋大学助教授。1993年名古屋大学情報文化学部教授。1998年名古屋大学大学院人間情報学研究科教授。2003年名古屋大学大学院情報科学研究科教授。現在に至る。CGとインターネットの技術、電子化社会の研究に従事。オープンソースとデジタル格差の解消の研究。内閣府ソフトウェア懇話会委員、電子情報通信学会MVE研究会委員長、中部経済産業局デジタルビット協議会幹事等を歴任。電子情報通信学会、日本VR学会、情報文化学会、日本社会情報学会各会員。