

TCP/IP 学習支援のための可視化シミュレータの開発
 ～表示用データ収集のための User-mode Linux の拡張～
 The Development of Visual Simulator to Support Learning TCP/IP
 ～Expansion of The User-mode Linux to Collect Data for Indication～

立岩佑一郎† 安田孝美† 横井茂樹†
 Yuichiro Tateiwa Takami Yasuda Shigeki Yokoi

1. はじめに

近年、インターネットの普及やネットワークのサービスの普及により、ネットワーク技術者の育成が重要となってきた。現状の育成方法として、大学や専門学校での講義や、書籍での自学自習が一般的である。しかし、これらの方法では「具体例が少ない」、「実感がわかない」、「実際の通信はどのように構成されているのか理解できない」といった問題点がある。この問題点に対し、実際のネットワークを実験的に使用し、様々なネットワーク通信のパケットをパケットキャプチャツールにより閲覧することで、解決を試みるという方法が挙げられる。

しかしこの従来法には、「学習のための情報が充実していない」、「適切な学習環境を用意するための負担が大きい」といった問題点が存在する。我々は従来からこの問題を解決するためのシステムの開発研究に取り組んできており、システムの提案と試作方法についての報告[1]と仮想的なネットワークの構築手法についての報告[2]をしてきた。開発してきたシステムは、学習者が自由に構築したネットワークで、様々なネットワーク通信を行わせ、学習用の情報としてネットワークの振舞を可視化表示できる機能を持っている。

しかし、これまで行ってきた表示用データの収集方法では、収集できるデータの種類と量が少ないため、学習用情報の種類の拡充に支障をきたしていた。そこで今回、仮想的なネットワークをシミュレートしている User-mode Linux(以下 UML)[3]のソースコードを改変することによってこの問題の解決を試みた。目的とした表示機能は

1. 機器内部処理のより詳細な表示
2. 機器のネットワークインタフェース部分の表示

の2点である。項目1では、パケットのプロトコルヘッダへのデータの追加や、ヘッダのデータをルーティングテーブルなどの機器内部データへ反映するなどの表示を行う。学習者はこの表示により、TCP/IPの学習分野において特に抽象的で理解しづらい部分であるプロトコルヘッダとその使用目的などを、具体的な機器内部データと関連づけて学習することができる。項目2は、TCP/IPの根幹であるパケット配送についての仕組みを学習する上で役に立つ表示である。

今回の UML の改良により、システムは上記2項目の表示のためのデータを取得できるようになった。学習者は、システムがこのデータをもとにして作成した学習用情報を見ることで、TCP/IP に関しての理解を深めることができるようになると考えられる。

2. 関連研究

まず、TCP/IP の学習を支援するという点で本研究に類似した研究について述べる。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を学習するツールと、TCP の制御方式を学習するツールを開発し[4][5]、その学習効果の検証を行っている[6]。これらの研究は、ネットワーク通信におけるプロトコルの適用プロセスの学習を目的としている本システムとは、学習分野において異なる。

次に、仮想的にネットワークを構築できるシステムという点で本システムに類似した研究について述べる。早川らは、コンピュータ上に ICMP 機能をシミュレートできるネットワークを仮想的に構築することによって、ネットワークの構築方法の学習を目的とするシステムの開発を行っている[7]。また、南カリフォルニア大学では、仮想的なネットワークの構築を行えるネットワークシミュレータの開発が行われている[8]。このシステムは、ボトルネックの計測といった専門的な利用を目的としている。これらの研究は、仮想的にネットワークを構築するという点では本研究に類似しているが、TCP/IP の学習にとって有益な情報が少ないので、その学習には向かないことがいえる。

最後に、UML を改造することによって、UML 内部で行われているネットワーク処理の履歴を取得するという点で本研究に類似した研究についてであるが、現在のところこのような研究は知られていない。

以上により本研究の特徴は、TCP/IP のプロトコルの学習を、学習者が自由かつ仮想的に構築したネットワークにおける通信のシミュレーション結果に基づき表示された学習用情報を提供している点である。学習用情報はシミュレータの改造により詳細な情報を提供しているため、学習者は TCP/IP の学習にとって有益な情報を、様々なネットワークのケースにおいて見ることができる。

3. 本研究の目的とする学習分野と学習方法

1章で述べたように、本研究は情報系大学生でテキストや講義でTCP/IPを一通り学習した者を対象とし、学習した内容の習得の支援を目的としている。対象となる学習分野は、TCP/IPの中でも重要であるが、複雑で理解しづらい部分とした。本研究での学習対象となるプロトコルを表1に示す。

本研究では、プロトコルを理解するためには、ネットワーク通信のデータが、どのようなプロトコルに基づいた処理をされることによって通信が成り立っているのかを、確認することが大切であると考えている。プロトコルに基づいた処理に関する情報は、以下の4つの項目に分けられる。

1. 処理が行われたデータ

- 2. 処理の方法と結果
- 3. 処理が行われた場所
- 4. 処理が行われたタイミング

以下、この4つの項目について簡単に説明する。ネットワーク通信では、パケットと呼ばれる相手機器への配信データと、ネットワーク機器が内部で保持する内部データが存在する(1)。これらのデータは機器内部において、機器からプロトコルに基づいた処理を受けて変化していく。中でもパケットは送信元となる機器から、宛先となる機器に配送される間に、機器内部のプロトコルが実装されている場所において、データの追加や変更、正誤チェックなどの処理を受ける(2, 3)。配送は、機器内部からネットワークインタフェース、ネットワークケーブルを通り、宛先の機器へ到達する(3)。処理は、送信元の機器、宛先の機器の状態に応じて適切なものが行われる(4)。

本研究では、学習者は自らが適切に設定を行ったネットワークにおいて、「ウェブの閲覧」や「メールの送受信」といった身近なネットワーク通信を実行し、上記4項目に関する表示を見ることで、プロトコルの学習を行う。

表1：本研究の学習対象のプロトコル

学習対象のプロトコル	所属するTCP/IPの階層名
HTTP,SMTP,POP3,FTP,TELNET,SSH,DNS	アプリケーション層
TCP,UDP	トランスポート層
ICMP,IP,ARP	ネットワーク層
Ethernet	リンク層

4. 旧システムの概要

旧システムでは、1章において述べた従来法の問題点の解決を2つの方法によって試みてきた。1つは、学習に役に立つ情報の充実を目的とした通信結果の可視化表示である。学習者は、自らが行った通信の過程と結果がシステムによって可視化表示されたものを見ることで学習を行う。可視化表示されるものは、パケットの内容と通信機器間の移動経路、通信機器内でパケットを処理しているTCP/IPの階層とプロトコル、およびプロトコルの使用結果の補助解説である。

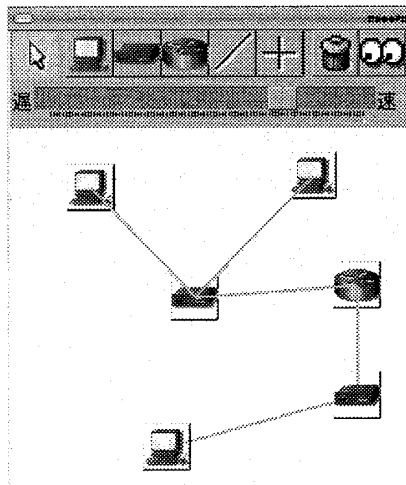


図1：ネットワークの設計例

もう1つは、学習環境準備の負担を軽減するために、学習がPC1台で行うことができるように、シミュレーションによる学習を行えるようにしたことである。学習者は、複数のネットワーク機器を組み合わせることで実際のネットワークを構築して学習を行う代わりに、本システムにおいて一台のPC上に仮想的なネットワークを自由に構築して学習を行うことができる。

以上のようなシステムを、仮想環境ソフトウェアであるUML(User Mode Linux)を活用することで実現した。仮想的なネットワークと通信のシミュレーションを行うための仮想ネットワーク機器(コンピュータ、ルータ、スイッチングハブ)をUMLの機能を活用することで実現し、そこから得られた通信の結果を学習者にわかりやすいように整形し可視化して表示している。

旧システムでは、学習者はまず学習に使用するための仮想的なネットワークを構築する(図1)。構築に使用できるネットワーク機器は表2の通りである。構築は、ネットワーク機器をマウス操作により設置した後に、各々の機器に対してIPアドレスやサーバ用の設定を行うことができる。構築が完了したら、ネットワーク通信を実行することができる。ネットワーク通信は、「ウェブページ取得」や「メールの送受信」といった身近なものを実行できるようにした。ネットワーク通信のシミュレートが完了すると、学習用の情報が表示される(図2, 図3, 図4)。図2では項目1~4についての表示である。各ネットワーク機器をTCP/IP階層モデルに基づいて表示し、階層から別の階層へ、機器から別の機器へとパケット(青い四角)が渡される。階層内でパケットに対して処理を行ったプロトコルが背景に随時表示される。図3では前章で述べた4項目のうちの項目3についての表示で、パケット(青い四角)がネットワーク全体のどの位置にいるのかを表している。学習者がパケットの内容について知りたい場合は、パケットをクリックすることで図4のようなパケットの内容を整形した表示を見ることができる。

表2：設置できるネットワーク機器

ネットワーク機器とケーブル	アイコン
コンピュータ	
ルータ	
スイッチングハブ	
ストレートケーブル	
クロスケーブル	

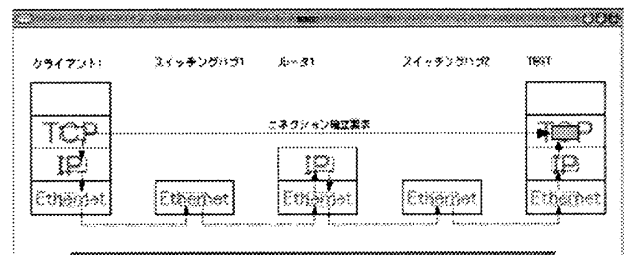


図2：ネットワーク機器内での通信データの経路と使用されたプロトコル例

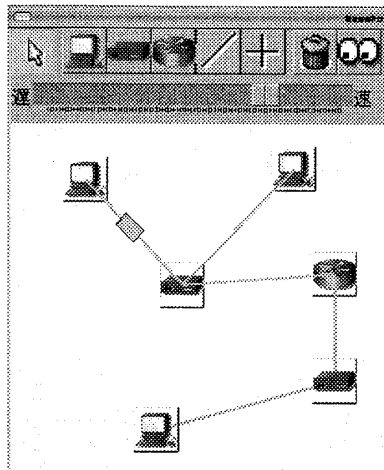


図3：ネットワーク機器外での通信データの経路例

Ethernet	IP	TCP
送信元 宛先 タイプ プロトコル	送信元ポート 宛先ポート シーケンス番号 ウィンドウ	送信元ポート 宛先ポート シーケンス番号 ウィンドウ
192.168.1.1 192.168.2.1 UDP 80	192.168.1.1 192.168.2.1 80 65535	192.168.1.1 192.168.2.1 80 65535

図4：通信データ内容の表示例

5. システムの拡張

5.1 旧システムにおける問題点とその解決方法

旧システムにおいて表示される学習情報では、3章で述べた4項目について表示をしているが、情報の詳細度から見ると本研究の学習分野について習得するのに十分な情報であるとはいえない。具体的には、以下の2点に関する表示が不足している。

(1) 機器内部処理のより詳細な表示

旧システムでは、通信に使用されるデータに対する処理内容と処理結果の表示が、機器の内部データやパケットヘッダの処理の表示まで及んでいない。ここで、機器の内部データとは、例えばルーティングテーブルやIPアドレス、確認応答番号などネットワーク機器内にて保持され、ネットワーク通信の処理の際に参照されるデータのことである。また、パケットヘッダの要素とは、パケットの保持するプロトコルヘッダの要素のことである。例えばIPプロトコルヘッダの中には、宛先IPアドレスやヘッダ長、タイプオブサービスなどの要素を保持している。この内部データとパケットの2つのデータに対する処理として、内部データを参照としたパケットヘッダへのデータの追加や、パケットヘッダからのデータの読取りと内部データへの反映などの処理が挙げられる。

旧システムでは、パケットを処理するプロトコル名の表示はできた。しかし、従来のUMLではプロトコル内部の処理を出力するような機能がなかったため、処理の履歴を

取得できず、どのような処理が行われているのかについて表示できなかった。この表示を行うためには、ネットワーク機器内部でのネットワークに関する処理の履歴と、処理対象となったデータの内容を、シミュレーションの過程においてUMLから得る必要がある。

(2) ネットワークインタフェースの表示

旧システムではパケットの処理を行う場所として、機器内部とネットワークケーブルに関しては表示できていた。しかし、ネットワークインタフェースに関しては表示できていなかった。ネットワークインタフェースの表示は、MACアドレスやブロードキャストの概念を学習する際に有益な情報である。これらの学習にはネットワーク機器のどのネットワークインタフェースからパケットが送信・受信されたのかについて知る必要があるからである。

従来のUMLでは、スイッチングハブのイーサネットポートを識別できなかったため表示を行うことができなかった。この表示を行うためには、パケットの通過したネットワークインタフェースを一意に識別できるようなデータを、シミュレーションの過程から得る必要がある。

5.2 UML への実装

UMLはオープンソースプログラムであるため、インターネット上にソースコードが公開されており、その改変の自由が認められている。本研究では、ソースコードを改変することで、前節で取り上げた問題点を解決できるような機能を実現した。本節では従来のUMLにおけるネットワーク処理の流れについて述べた後、前節で述べた問題点を解決するためのソースコードの改変について述べる。

(1) UMLのネットワーク通信の内部処理

従来のUMLでは、パケットの送信、または受信時に、パケットを格納するための変数の領域をメモリに確保し、その変数にパケットを渡す。各プロトコルの仕様を実装したプロトコルモジュールにパケット格納変数を渡すことで、各プロトコルの仕様に従った処理を行っている。

(2) 仮想ネットワーク機器内のパケットの一意性の確保

前節(1)で述べた表示を実現するためには、ネットワーク機器内部においてパケットの一意性の確保が必須である。パケットは同一ノード内において複数存在し、内容が同一のものとなるケースもあるため、パケット内容の比較では一意に識別できない。従って、機器内部におけるパケットに対する処理を区別することができないため、パケットに対する処理内容や処理結果を表示することができない。そこで、機器内部で処理されているパケットを一意に識別できるように、パケットに識別子を付加した。その際に注意する点として、パケットの内容に影響を及ぼさないようにすることが挙げられる。パケットの内容を変更してしまうと、機器内部での処理にも影響するため、正確なシミュレーションが行われなくなってしまうためである。これを避けるために、パケット本体に直接識別子を付加するのではなく、パケットを運ぶためのパケット格納変数に付加した。識別子を付加するタイミングは、パケットに対する内部処理を開始する以前である必要があるため、送信時および受信時においてUMLがパケット格納変数のメモリ領域を確保したときとした。

(3) 仮想スイッチングハブのイーサネットポート

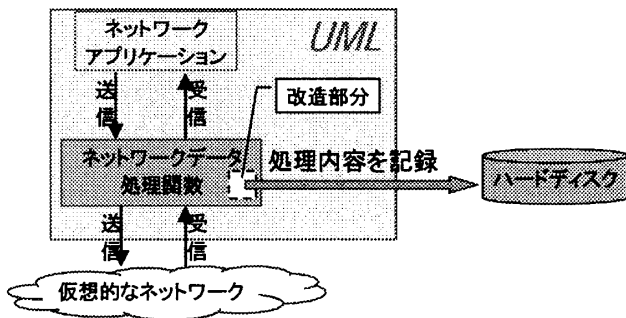


図5: 可視化表示用データの取得方法

の識別

前節(2)で述べた表示を実現するためには、パケットの通過したネットワークインタフェースを特定し、その履歴を記録できるような機能が必要である。従来の UML のスイッチングハブは、接続したイーサネットポートの識別ができない仕様となっていた。そこで、外部のネットワーク機器との通信にあたって、接続先とのデータ転送用にファイルディスクリプタと呼ばれる内部の変数を使用していることに着目した。ファイルディスクリプタはスイッチングハブ個々において一意に識別できる数値であり、一接続につき一つのみ割り当てられるため一意性があるため、イーサネットポートに対応させることでイーサネットポートの識別を可能にした。

(4) 仮想ネットワーク機器の内部処理の記録

前節(1)で述べた表示を実現するためには、本節(2)に加えて、パケットとそれに関連する機器の内部データに対する内部のネットワーク処理の履歴が必要となる。しかし、従来の UML ではネットワーク処理の履歴を記録していないため、以下に述べる UML の改良をすることで必要なデータを取得した。

本節(1)で述べたように、UML はパケットの処理をプロトコルモジュール内のネットワーク処理関数に行っている。そこで、本システムにて表示したい処理を行っているネットワーク処理関数を特定し、処理内容を文字情報としてファイルに出力できるようにした(図5)。

5.3 実装の結果

前節で述べた実装をシステムに施した結果、5.1 で提案した表示のためのデータを取得できるようになった。そのため、文字ベースであるが、学習者は本研究の目的とする学習分野の習得に有益な学習用の情報を閲覧できるようになった。また、この実装によって UML の持った他の機能への影響はほとんどない。

6. まとめと課題

本稿では、我々がこれまでに開発してきた TCP/IP 学習支援システムにおける、学習情報の充実のための拡張方法について述べた。TCP/IP の学習に役立つ情報は、通信時のネットワーク機器内部における通信データの処理である。UML のソースコードを改変することで処理の履歴を取得し、内部の処理内容を閲覧できるようにした。

現段階では、処理内容は文字ベースでの表示となってしまう学習者にとって理解しづらいものとなっている。しかし、この処理内容を可視化して表示するようにシステムを

改良することで学習者にとって直感的に理解することができるようになると考えられる。この点を今後の課題とした。

7. 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)」, 科研費基盤研究 C(2)16500056 の研究助成による。

8. 参考文献

- [1] 立岩佑一郎, 安田孝美, 横井茂樹: TCP/IP 学習のための可視化シミュレータの研究, 第 3 回情報科学技術フォーラム, 情報科学技術レターズ pp.355-357, 2004.
- [2] 立岩佑一郎, 安田孝美, 横井茂樹: TCP/IP 学習支援システムにおける仮想的なネットワークの構築手法について, 平成 16 年度 電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集 O-388, 2004.
- [3] The User-mode Linux Kernel Home Page:
<http://user-mode-linux.sourceforge.net/>
- [4] 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, 情報技術レターズ, Vol.1, pp.243-244, 2002.
- [5] Arai, M., Tamura, N., Watanabe, H., Ogiso, C. and Takei, S.: Design and Implementation of a Learning Tool for TCP/IP Protocols, Proc. International Conference on Computers in Education, Vol.2, pp.1010-1015, 2001.
- [6] 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.
- [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 2 6 回全国大会, E5-4, pp.367-368, 2001.
- [8] The Network Simulator-ns2.2:
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>