

TCP/IP プロトコル学習ツールの開発

田村尚也[†] 荒井正之[‡] 渡辺博芳[‡] 小木曾千秋[‡] 武井恵雄[‡]
帝京平成大学情報学研究科[†] 帝京大学理工学部[‡]

インターネットの普及に伴い、情報の専門教育において TCP/IP プロトコルの教育が極めて重要になってきた。本研究は、TCP/IP プロトコルに対する従来型の学習方法の問題点を分析し、これらを解決するために、2つのツールを提案する。

1つは、TCP/IP プロトコルのデータ構造と通信手順を、抽象的に学んだ後で、学習内容を再確認することを目的にした、実際の通信データを教材として用いる学習ツールである。2つめは、制御方法を学習するために、教科書や講義などでは教授することが困難である複数制御の組み合わせや、実際の通信では発生頻度の低い制御を学習することを目的にした、シミュレーションによる学習ツールである。データ構造と通信手順の学習ツールについては、実習に用いて評価を行い、提案ツールの有効性が明らかになった。

Development of TCP/IP Protocol Learning Tools

TAMURA Naoya[†], ARAI Masayuki[‡], WATANABE Hiroyoshi[‡]
OGISO Chiaki[‡] and TAKEI Shigeo[‡]
Graduate School of Informatics, Teikyo Heisei University[†]
School of Sciences and Engineering, Teikyo University[‡]

This paper describes the design and an implementation of learning tools for TCP/IP protocols. TCP/IP protocols have grown to be fundamental technology for computer networks and the Internet. As a result communication and computer engineers have to learn the protocols. In this paper, we discuss the problems in the TCP/IP course and propose two tools to solve these problems. The first tool is to help with learning communication procedures and data formats of all TCP/IP protocols. We assume that students use the tool after studying the concepts of the protocols. The tool has a packet monitoring function and can display real communication data without special hardware. The second tool is to help with learning control methods. The tool simulates control methods which rarely occur in the real communication and combinations of the control methods. Consequently, students can acquire knowledge and technical skills. We evaluated the first tool through practical use in actual classes.

1. はじめに

インターネットの普及に伴い、情報の専門教育において TCP/IP プロトコルの教育が極めて重要になってきた。従来型の学習では、決まった通信パターンの学習しか行えない、実感がわかないなどの問題点があった。本稿では、これらの問題点を解決するため、実際の通信情報を

教材として用いる「データ構造と通信手順の学習ツール」とシミュレーションによる「制御方式の学習ツール」の2つの TCP/IP プロトコル学習ツールを提案し、これらの実現方法について述べる[1][2]。

従来の TCP/IP プロトコルの学習ソフトウェア（システム）は、学習目的別に次のように分

けられる。

- (1)ネットワークの構築の学習
- (2)プロトコルの誤り検出や訂正の学習
- (3)プロトコル全般の学習

(1)については、実際の機器では実習が難しいネットワーク設計や設定などの構築をシミュレータを用いて行い、ネットワークシステムの動作確認やネットワークに流れるデータの経路の確認をすることにより、ネットワーク構築を学習するソフトウェア[3]などがある。主に、TCP/IP プロトコルにおけるネットワークインターフェイス層、インターネット層を学習することになる。

(2)については、抽象概念の強い通信プロトコルがどのように誤り検出や訂正を行っているのかを、専用のハードウェアを用いて学習するシステムがある。強制的に通信経路(RS-232C)に雑音を発生させ、プロトコルアナライザやオシロスコープを用いて実際の通信データを目視するものである[4][5]。主に、OSI 参照モデルにおける、物理層、データリンク層、アプリケーション層を実際の通信データを用いて学習することになる。

(3)については、初学者を対象として動画や音声の説明により学習するソフトウェアがある[6]。これは、各層ごとに TCP/IP プロトコルの基本概念を学習することになる。また、TCP/IP プロトコルの基本概念を知った学習者を対象としたものとしては、市販のパケットアナライザを用いて実際の通信データを目視して学習するシステムがある[7]。

その他にも、実際の通信データを用いて、セッション単位で TCP/IP パケットの流れを学習するツール[8]がある。

本研究で提案するツールは(3)に分類され、インターネットの技術基盤である TCP/IP プロトコルの基本概念を教科書や講義などで学習した人が、TCP/IP プロトコル全般のデータ構造、通信手順、制御方式を目視し学習するものである。特殊なハードウェアを必要とせず、簡単な操作で学習が行える Windows 上のアプリケーションとして実現した。

2. TCP/IP プロトコルの学習内容と従来の学習方法の問題点

本章では、TCP/IP プロトコルの学習者が習得すべき項目を挙げ、次に従来型の学習方法の問題点について述べる。

TCP/IP プロトコルの学習者は、階層分割可

能性、階層代替性などの特性、誤り検出や訂正、結合性などの機能を学習することによって、プロトコルの概念を的確に習得し、他のプロトコル体系においても応用できる力を着実に身に付けることが大切である。そのためには、TCP/IP プロトコルの各階層において、以下の項目を学習すべきである。

- (1)ネットワークインターフェイス層:プロトコル別に伝送媒体・伝送方式の理解、MAC アドレスの理解。
- (2)インターネット層:IP アドレスと IP データグラムフォーマットの理解。
- (3)トランスポート層:TCP/UDP の違い、TCP セグメントフォーマットと UDP データグラムフォーマットの理解。TCP においては、シーケンス制御、応答確認、ウィンドウ制御、フロー制御の理解。
- (4)アプリケーション層:プロトコル別に通信手順、機能の理解。

次に、従来の学習方法の問題点を挙げる。

- ・教科書を用いた場合、様々なパターンの提示が難しい。プロトコルの機能、データ構造、通信手順などに対する実感がわきづらい。
- ・パケットアナライザなどの専用のハードウェアを用いて、実際の通信データにより習得する方法では、ツールの使用にスキルを要するため、学習に至るまで時間がかかる。
- ・Telnet クライアントなどの汎用的なソフトウェアを学習ツールとして用いる方法では、ユーザインターフェースが優れていないため、わかりづらい。

3. 要求仕様と実現方法

前節で述べた問題点を解決するため学習ツールの要求仕様を以下の通りとした。

- (1)教科書や講義での学習内容を着実に身につけることが可能なこと。
- (2)データ構造、通信手順、制御方式の学習が行えること。
- (3)学習者が学習内容を実感できること。
- (4)学習者がわかりやすい形の情報を得られること。
- (5)専用の機器を必要とせず、使い方が簡単であること。

(3)の要求仕様を満たすには、実際の通信データを教材として用いることが考えられる。しかし、このようなアプローチをとった場合、制御方式の学習においては、次の問題が発生する。

(a)パケットロスなどの偶発的に発生して起きる制御の学習が常に行えるわけではない。

(b)制御は複雑かつ、複数の制御が同時に行われる場合があるため、実際の通信データを教材として用いた場合わかりにくい。

そこで、教科書や講義の内容を補完し、着実に習得するために、次の2つのツールの開発を行うこととした。

- データ構造と通信手順の学習を目的とした、実際の通信データを教材として利用する学習ツール。
- 制御方式の学習を目的とした、シミュレーションによる学習ツール。

4. データ構造と通信手順の学習ツール

SMTP,POP,HTTP などのアプリケーションプロトコルごとにデータ構造と通信手順を学習するツールである。図1に示したメインウィンドウと選択表示可能な図2、図3に示した通信手順表示ウィンドウの3つのウィンドウで構成する。図2、図3のウィンドウは図1の①をチェックすることにより表示、非表示の切り替えが可能である。

4.1 パケットモニタリング

実際の通信データを教材として用いるため学習者が使用しているPCのパケットのモニタリングを行うことにした。学習者は最初に、図1の②に示すようにSMTP,POP,HTTP,TELNETから学習を行うプロトコルを選択する。次に図1の③のStartボタンをクリックして、学習するプロトコルを使用するメーラーやWebブラウザなどのソフトウェアを利用して通信を行う。ツールは、学習者がStopボタンをクリックするまでの通信のパケットモニタリングを行う。

4.2 パケットの表示

図1の④にはモニタリングを行った順に16進でパケットの内容をEthernet Header, IP Header, TCP Header, Dataに区切って表示し、大まかな情報を示す。各ヘッダ情報によるソーティングを可能とすることにより、送信パケットだけ、または、受信パケットだけを順番に見ていくことができるようにした。1行が1つのパケットの情報を表している。各行をクリックすることで、図1の⑤に示すようなパケットの



図1 データ構造と通信手順の学習ツールのメインウィンドウ

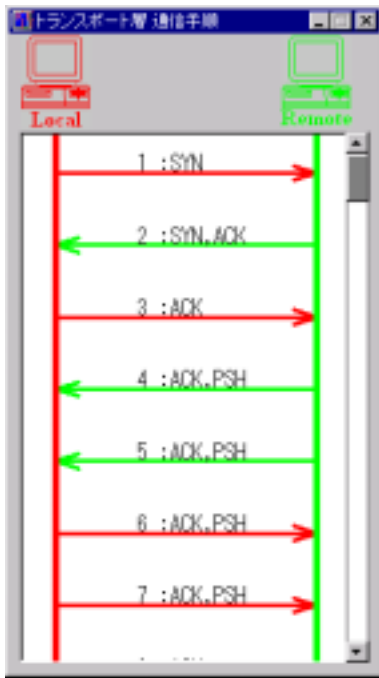


図2 トランスポート層通信手順表示ウィンドウ



図3 アプリケーション層通信手順表示ウィンドウ



図4 IP Configuration

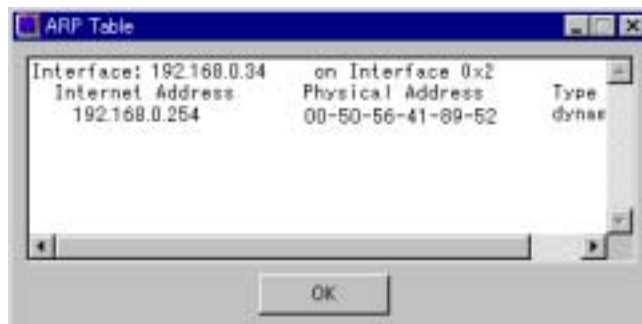


図5 ARP Table

詳細情報を表示する。

4.3 階層別表示

図1の⑤には、各階層のデータ構造を理解しやすくするために、図1の④で選択されたパケットを各階層のフォーマットに従い、フィールド名と対応づけて表示する。図1の⑥にはアプリケーションデータが存在した場合にテキスト表示をする。

4.4 通信手順の表示

通信手順を視覚的に理解させるための工夫として、図2に示したトランスポート層通信手順表示ウィンドウには、トランスポート層での通信手順の流れを、通信の向きや役割とともに表示する。これにより、3way ハンドシェイクと呼ばれるコネクションの確立や切断などがわかりやすくなる。

図3に示したアプリケーション層通信手順表示ウィンドウには、アプリケーション層でのメッセージのやり取りを表示することにより、各アプリケーションプロトコルごとに、実際の通信手順やデータの流れなどの学習が行える。

4.5 IP Configuration と ARP テーブルの表示

学習ツールを使用しながら、使用しているコンピュータのネットワークの設定を、OS に付属のツールなどを使用せずに確認可能とするために、図1の⑦の「IP Configuration」を選択することにより、図4のウィンドウを表示する。学習者はコンピュータやデフォルトゲートウェイの IP アドレスなどを参照して、図1の④や⑤に表示する情報との照合に利用する。

同様に、図1の⑦の「ARP Table」を選択することにより、図5のウィンドウを表示する。IPアドレスとMACアドレスの対応づけをしたARP(Address Resolution Protocol)テーブルが表示することにより、学習者は、図1の④や⑤に表示する MAC アドレスや IP アドレスなどの照合に利用することができる。

5. 制御方式の学習ツール

TCP の信頼性を提供するための制御方式である、ウィンドウ制御、再送制御、フロー制御、輻輳制御を学習するツールである。図6に制御方式の学習ツールのメインウィンドウを示す。

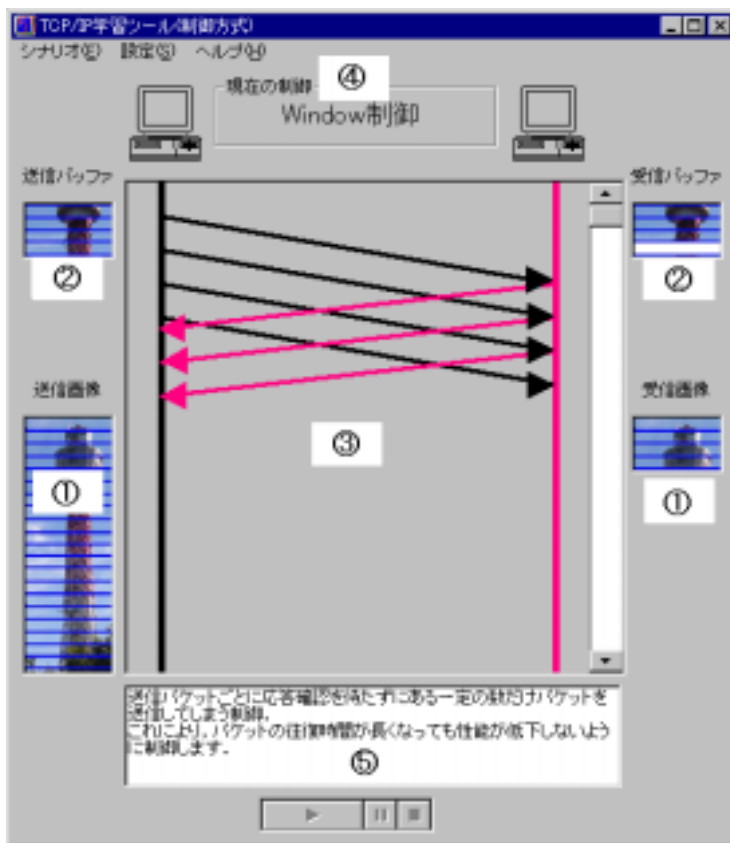


図6 制御方式の学習ツールのメインウィンドウ

5.1 画像送信を例とした表示

通信の状況を視覚的に理解させるようにするため、画像を送信する時の流れを例に取り、送信シミュレーションを行うことにした。図6の①には送受信する画像を表示し、図6の②には送受信バッファの内容を表示する。各画像は通信の状況に応じて変化する。

5.2 通信手順の表示

通信手順を視覚的に理解させるための工夫として、図6の③に通信データの流れを通信の向きとともに表示する。前節で述べた送受信バッファの内容をあわせてみることで、通信の状況が一目でわかるようにする。

5.3 通信のシナリオ設定

図6のメニューバーの「シナリオ」をクリックすると、図7に示す通信のシナリオウィンドウを表示する。選んだシナリオの流れに沿って、制御のシミュレーションを行う。

シナリオを作成するに当たり、1つ1つの制御では、教科書などを用いた場合と変わらない、一方で複数の制御を同時に表示した場合、理解しづらいと考えたため、以下の3つのシナリオを作成した。これにより、シミュレーションではあるが、実際の通信に近い形の学習が可能となる。

- (1) 輻輳制御→ウィンドウ制御
- (2) 輻輳制御→ウィンドウ制御→再送制御
- (3) 輻輳制御→ウィンドウ制御→フロー制御→再送制御

5.4 制御名の表示

シナリオ設定に沿って制御が行われるため、図6の④には現在行っている制御名を表示する。

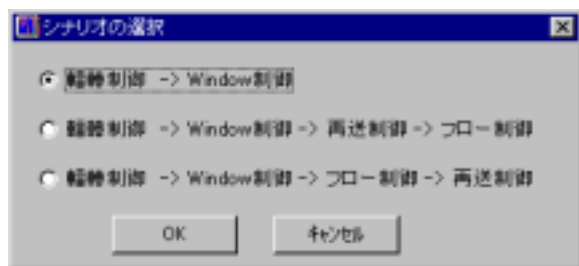


図7 シナリオの選択

5.5 制御の設定

図6のメニューバーの「設定」をクリックすると、図8に示す設定ウィンドウを表示する。各制御の発生状態などの設定を行うことにより、学習者が重点的に学習を行いたい制御の表示を可能とした。各項目の詳細は以下の通りである。

- ・ Window 制御サイズの上限：Window 制御が発生し最大いくつのパケットを同時に送信するかを指定する。
- ・ Window サイズ：フロー制御が発生した場合、現在の Window サイズをいくつまで減らすかを指定する。
- ・ パケットロスの発生率：パケットロスが発生し再送制御が起こる確率を指定する。
- ・ 間隔：何秒の間隔で、送信するパケットの表示が切り替わるのかを指定する。

5.6 説明表示

図6の⑤には、現在シミュレーションを行っている制御に関する説明や通信の状況を表示する。

6. ツールを実習に用いての評価

実習用テキストを用いた講義の後に、「データ構造と通信手順の学習ツール」を用いた実習を行った。実習後に「学習に最も役立ったものは何か」を問うアンケート調査を行った。選択肢として、「実習用テキスト」、「授業での説明」、「学習ツール」、「その他の本」、「その他」を挙げ、学習者117名より回答を得た。

図9に「通信手順の学習で役に立ったもの」、図10に「データ構造の学習で役に立ったもの」の集計結果を示す。図9、図10に示すように、学習者の半数以上が、通信手順の学習、データ構造の学習において、ツールが最も役に立った

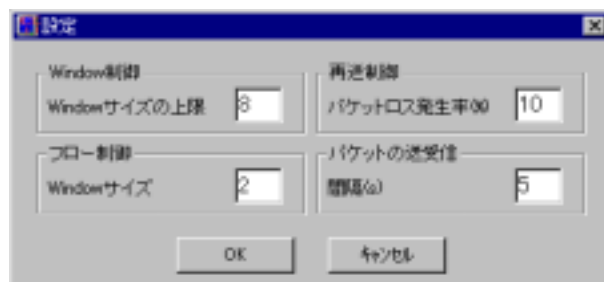


図8 制御の設定

という結果が得られた。よって「データ構造と通信手順の学習ツール」については、学習に有効であることがわかった。学習者からのコメントとして、「通信手順が図で見られてわかりやすかった」「実際の通信を見ることにより、実感しやすかった」という感想があった。

一方、「ヘルプ機能や説明を充実して欲しい」という要望などがあった。これについては今後の課題として対処したい。

7. おわりに

本研究では、従来の TCP/IP プロトコルを学習する上で問題点を分析し、これらを解決するために、パケットモニタリングによる「データ構造と通信手順の学習ツール」とシミュレーションによる「制御方式の学習ツール」の2つの学習ツールの提案と開発を行った。

実際の授業において、「データ構造と通信手順の学習ツール」を用い、評価を行った結果、ツールが TCP/IP プロトコルを学習する上で有効であることがわかった。今後は、アンケートで得られた問題点の改良や「制御方式の学習ツール」の評価を行う予定である。

謝辞

帝京大学工学部情報科学科4年生の勝目謙治君には、プログラムの開発に協力していただきました。ここに感謝の意を表します。

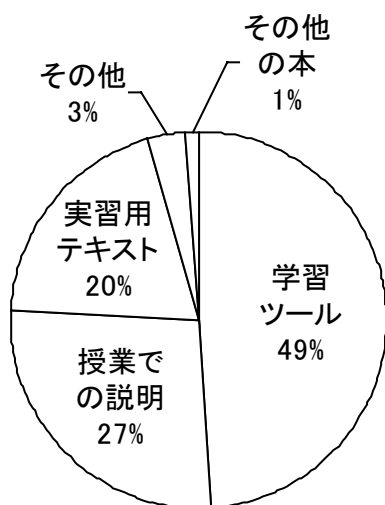


図9 通信手順の学習で役に立ったもの

参考文献

- [1] 田村尚也, 荒井正之, 渡辺博芳, 小木曾千秋: パケットモニタリングによる TCP/IP プロトコル学習ツールの開発, 情報処理学会第 62 回全国大会, 5X-3, pp.229-230, (2001).
- [2] M.Arai, N.Tamura, H.Watanabe, C.Ogiso & S.Takei: Design and Implementation of a Learning Tool for TCP/IP Protocols, Proc. of International Conference on Computers in Education, Vol.2, pp.1010-1015, (2001).
- [3] 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第 26 回全国大会, E5-4, pp.367-368, (2001).
- [4] 市村洋, 中林撰, 佐々木信一, 大野研: 通信プロトコル目視検証システムの試作, 情報処理学会第 41 回全国大会, 1C-5, (1990).
- [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, pp.55-62, (1994)
- [6] 日本電気株式会社, マルチメディア学習ソフト「TCP/IP プロトコル」, (1999).
- [7] David Stratton: "Network Protocols and Services" - a Non-Specialist Approach to Teaching Networking, Innovation and Technology in Computer Science Education, (2000).
- [8] 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, 情報処理学会第 47 回全国大会, 5E-6, pp.197-198, (1994).

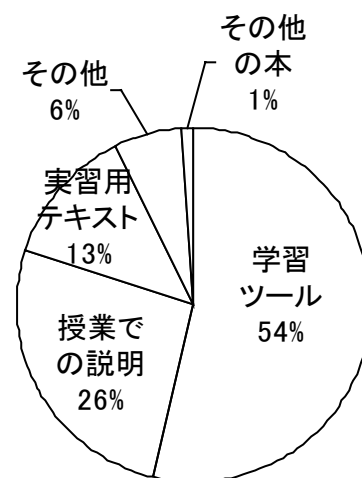


図10 データ構造の学習で役に立ったもの