

タイピング情報に着目したターミナル共有システムとその応用

河合 貴嗣[†], 梶 克彦[†], 河口 信夫[†]

[†] 名古屋大学大学院工学研究科

近年, 様々な情報機器が日常的に多数利用されており, ネットワーク管理者の負担が増している. 主なネットワークデバイスは設定に CLI を用いるが, CLI だと初心者はコマンドを調べながら操作しなければならない. 初心者が CLI の技術を学習するために上級者の CLI 操作を見られるターミナル共有が注目されているが, 既存のターミナル共有システムではユーザのタイピング情報の一部しか画面に表示されないため, ショートカットキーの情報が共有できない. また, 他ユーザが入力したコマンドの意味が分からなければ何を行っているのか分からないという問題がある. もう 1 つの問題点として, 既存のターミナル共有システムは接続先のホストにソフトウェアを導入し実現するものが多いが, そのほとんどが UNIX 系のソフトウェアでありネットワークデバイスの OS である Cisco IOS や JUNOS などでは使用できない. 本研究では他ユーザのショートカットキーやコマンドの意味といった情報を共有でき, さらにあらゆる OS で使用できるターミナル共有システムを提案する. そして, そのシステムによって得られる情報を用いた応用システムを提案する. 既存のターミナル共有システムではターミナルの表示テキスト情報だけを共有しているが, それだけでは共有できない情報が存在するので, 本研究では表示テキスト情報だけでなくユーザのタイピング情報を用いる. また, あらゆる OS のホストで使用するために接続先ホストへはソフトウェアを導入せず, ユーザのターミナル自体に実装する仕組みとした. このターミナル共有システムを使用する時に収集する表示テキスト情報とタイピング情報を用いた応用システムの例としてターミナルセッション解説システムとネットワークコンフィグ支援システムを提案する.

A shared terminal system focused on typing information and its application systems

Takashi Kawaai[†], Katsuhiko Kaji[†], Nobuo Kawaguchi[†]

[†] Graduate School of Engineering, Nagoya University

In recent years, a variety of information devices has been used on a daily basis, so the burden of network administrators is increasing. Although the primary network device configuration using the CLI, beginner must operation with examining the command. Terminal sharing that beginners seen advanced CLI operations to learn has been paid attraction to. But, only a part of the user's typing information will be displayed on the screen for an existing shared terminal system, so the information of shortcut keys can not be shared. In addition, there is a problem that beginners do not know what others are doing if beginners do not know the meaning of the commands entered by others. One more problem, the an existing shared terminal system run with the introduction of software on the host connected to. Almost all the softwares are UNIX like, and can not be used such as Cisco IOS and JUNOS that is a network device. In this paper, we propose a shared terminal system that can share information such as the meaning of other user's command and shortcut key, and application systems using the information obtained by the system. Although existing shared terminal system share only displayed text, we propose terminal system share not only displayed text but also user's typing information. In addition, I've implemented in the user's terminal without the introduction of the software in destination host to use in any host OS. We propose terminal commentary system and network configuration support system as examples of application systems using displayed text and typing information to be collected at that time.

1 はじめに

近年, 様々な情報機器が日常的に多数利用されており, ネットワーク管理者の負担が増している. ネットワークデバイスでは, PC のような GUI は搭載されておらず, CLI でのコンフィグが基本である.

また, CLI が使われる理由はネットワークへの負荷が低いからである. GUI を搭載したサーバやマシンの場合, 遠隔から操作をする場合も GUI で操作できる. しかし, GUI で操作をしようするとネットワークに負荷がかかってしまうが, CLI での

操作なら文字による入出力しか行わないためネットワークの負荷が低い。

これらの理由から、GUIが普及してきた現代でもCLIを扱う機会が多い。しかし、直感的で分かりやすいGUIと違いCLIは使い方を知らなければ使うことができない。CLIのコマンドを一つ一つ調べながら扱うのは非効率的であり、苦痛である。また、一つ一つのコマンドの意味は分かっているにもかかわらず、効率の良いコマンドの使い方は熟練しなければ分からない。このような理由から初心者にとってCLIはGUIに比べて扱いづらいと思われる。

初心者がCLIの学習をするには上級者のCLI操作を見て真似るのが効率がよい。しかし、それには上級者と初心者がCLIの画面を並べて、同じペースでCLI操作を進めていかなければならない。そこで初心者が上級者のCLI操作を遠隔で見るためにターミナル共有という仕組みが使われている。

CLIでは、シェルやプログラムなどとの文字ベースの入出力をターミナルで行う。ターミナルに表示されるテキスト情報を遠隔にいる人と共有するのがターミナル共有である。この仕組みによって初心者は上級者の操作しているCLIの画面を見ながらCLIの操作を学習できる。また、ターミナル共有を使えば遠隔でのペアプログラミングも可能となる。

しかし、既存のターミナル共有システムではユーザのタイピング情報の一部しか画面に表示されないため、ショートカットキーの情報が共有できない。また、他ユーザが入力したコマンドの意味が分からなければ何を行っているのか分からないという問題がある。もう1つの問題点として、既存のターミナル共有システムは接続先のホストにソフトウェアを導入し実現するが、そのほとんどがUNIX系のソフトウェアでありネットワークデバイスのOSであるCisco IOSやJUNOSなどでは使用できない。

本研究では他ユーザのショートカットキーやコマンドの意味といった情報を共有でき、さらにあらゆるOSで使用できるターミナル共有システムを提案する。そして、そのシステムによって得られる情報を用いた応用システムを提案する。2章では既存のターミナル共有システムとその問題点や一般的なエディタ共有システムにおける共有すべき情報の研究を紹介する。3章では初心者がCLIの操作を学習するためのシステムを提案する。4章では3章で述べたシステムの実装方法について述べる。5章では4章で実装したシステムの利用法について説明する。6,7章では本システムを利用する時に収集する情報を用いた応用システムについて述べる。

本研究によって下記のことが可能となった。

- ・ターミナル共有時の解説ウィンドウの表示
- ・あらゆるOSのCLIでのターミナル共有
- ・CLI学習のための教材の作成
- ・ネットワークコンフィグの支援

2 関連研究

古橋らが開発したペアプログラミングやプログラミングの講習を遠隔で行うためにターミナルを共有できるシステムとして、partty!.org¹⁾がある。このシステムを使ってターミナル共有を行うと、そのセッションがサーバに保存され、さらにwebで公開されるのでいつでもそのセッションを見られる。

UNIX系のOSで使われるコマンドとしてscreenコマンド²⁾がある。screenコマンドは一つのウィンドウで複数のシェルを起動するコマンドだが、-xオプションを用いると別ウィンドウで同一シェルの操作が可能になる。

しかし、これらのシステムでターミナル共有を行う場合、接続までに様々な準備が必要になる。例えば、共有したいCLIを持つホストにあらかじめターミナル共有のためのソフトウェアをインストールする必要がある。そのため、そのソフトウェアをインストールできるOSでしかターミナル共有が行えないという問題がある。また、これらのシステムはターミナルの表示テキスト情報のみを共有するので共有できない情報が存在する。

富田らが開発したエディタを共有する遠隔でのペアプログラミングを支援するシステム³⁾やプログラミングの講習を遠隔で行うためのシステム⁴⁾などは数多くあるが、これらのシステムはそのシステム専用のエディタを用いるものが多く任意のCLIを共有できるものではない。しかしこれらのシステムのように遠隔でのペアプログラミングやプログラミング講習をする際に重要な情報を取得できれば、より高度な遠隔サポートが可能となる。例えば、富田らのシステムのようにXP手法に基づく遠隔でのペアプログラミングの場合、いつ、誰が、誰と、何をしたかが分かる仕組みがあれば作業効率が向上すると考えられる。

3 タイピング情報に着目したターミナル共有システムの提案

本研究では主に初心者と上級者のようなスキルの違う人がターミナル共有をしたい時に役立つシステムを提案する。本システムを利用すれば、リモートでのプログラミング講習への応用が期待できる。

3.1 システムの目的

本システムの目的は二つある。既存のターミナル共有では共有できなかった情報の共有と、接続先ホストがあらゆる OS の場合での利用である。

既存のターミナル共有では共有できない情報として、他ユーザのショートカットキーとコマンドの意味がある。図 1 のように既存のターミナル共有では表示テキスト情報に現れないショートカットキーの情報が他ユーザと共有できない。また、他ユーザが入力したコマンドの意味が分からないと何を行っているのか理解できない。本システムではこれらの情報を他ユーザも共有し、より詳しい相手の操作の理解を目的とする。

あらゆる OS でターミナル共有を使用できれば、既存のターミナル共有ではできなかった、ネットワークデバイスに対するターミナル共有が可能となる。ネットワークデバイスでのターミナル共有を応用すれば、ネットワークコンフィグ支援システムを構築できる。ネットワークコンフィグ支援システムについては 7 章で述べる。

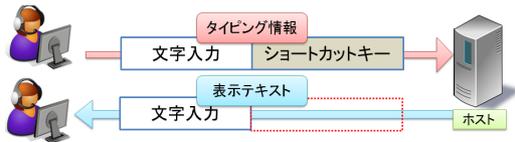


図 1: 共有されない情報

3.2 アプローチ

ターミナル共有を実現するための仕組みはいくつかある。partty.org では図 2 のようにターミナル共有のために接続先ホストへ専用のソフトウェアを導入し、そのソフトウェア上のシェルに表示されるテキスト情報を情報共有サーバへ送信し、情報共有サーバが他ユーザへ情報を送信する。screen コマンドでは図 3 のようにターミナル共有をしたいユーザが直接ホストへ接続する。しかしこの仕組みの場合ターミナル共有をしたいユーザは全員ホストへ接続できる権限が必要になる。また、partty.org や screen のような仕組みでターミナル共有を行う場合、ホストへソフトウェアを導入する必要があるため、そのソフトウェアが対応していない OS では使用できない。ただし screen の場合はユーザのターミナル側で screen コマンドを使用すれば、接続ホストへの導入は不要であり様々な OS で使用できるが、ユーザが使用しているマシンへ他ユーザがログインする必要がある。

そこで本研究ではターミナル共有のために図 4 のようにターミナルにプラグインを用いた仕組み

を使う。ホストへ接続するターミナル自体にプラグインを導入し、そのプラグインによってターミナルの表示テキスト情報やタイピング情報を情報共有サーバと通信する。この仕組みであれば、接続先ホストへのソフトウェアの導入は不要であるため、screen や partty.org を導入できないネットワークデバイスなど任意の CLI でターミナル共有を行える。また、ターミナル自体にプラグインを導入するだけなので一度導入してしまえばあらゆるホストに対してターミナル共有システムを使用できる。

本システムではユーザのタイピング情報を利用するが、パスワードの情報は送信するべきでない。よってターミナルのプラグインではタイピング情報の送信を on/off する機能を付ける。

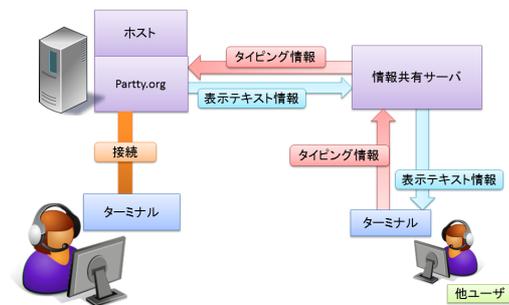


図 2: partty.org でのターミナル共有の仕組み

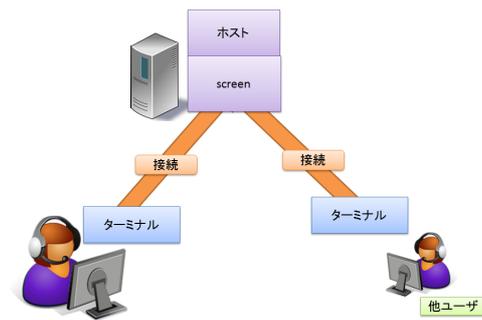


図 3: screen でのターミナル共有の仕組み

また、図 5 のように本研究のターミナル共有システムでは既存手法では共有できなかった情報を共有するために、ユーザのタイピング情報を利用する。ユーザのタイピング情報を取得、加工、送信する仕組みがあれば、他ユーザのショートカットキーとコマンドの意味といった既存手法では共有できなかった情報を共有できると期待できる。

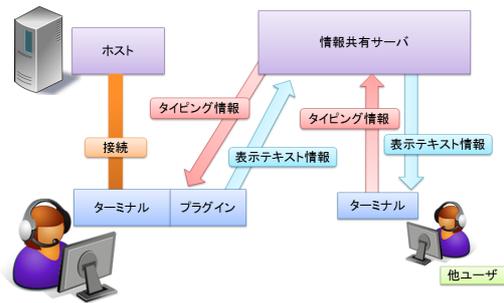


図 4: 本研究のターミナル共有の仕組み

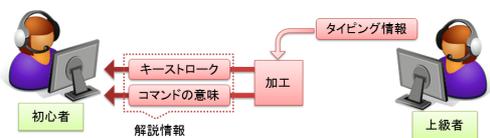


図 5: タイピング情報から解説情報の生成

4 実装

本システムはターミナルとして TeraTerm を用い、そのプラグインと情報共有サーバで実装する。

4.1 TeraTerm のプラグイン

TeraTerm のプラグインではユーザが入力したタイピング情報とホストから受信した表示テキスト情報を情報共有サーバに送信する機能と、情報共有サーバからの入力をホストへ送信する機能がある。通常、ユーザの入力はホストへ送信されるだけであるが、プラグインによってホストと情報共有サーバの両方に送信する。情報共有サーバへの送信はユーザ側で on/off の切り替えができる。また、ホストからの表示テキスト情報も受信したタイピングで同じ情報を情報共有サーバへ送信する。そして他ユーザの操作は情報共有サーバを経由して TeraTerm のプラグインが受信し、入力としてホストへ送信する。

本システムは、図 6 のようにホストへのシステム導入は不要である。情報共有サーバと TeraTerm との通信はすべて TeraTerm のプラグインで行うので、TeraTerm から接続できるあらゆる OS に対応でき、ホストへのシステム導入やログインユーザ情報の変更なども不要である。

4.2 情報共有サーバ

情報共有サーバでは基本的なターミナル共有機能、キーストローク表示機能、コマンド解釈機能、記録・再生機能を実装した。

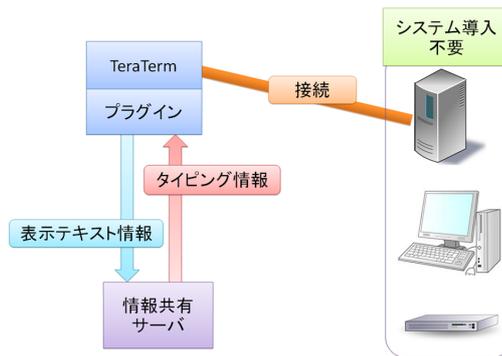


図 6: TeraTerm プラグインを介したサーバとの通信

4.2.1 ターミナル共有機能

情報共有サーバでは TeraTerm のプラグイン用いたターミナル共有を実現する。TeraTerm のプラグインから送信された表示テキスト情報を各ユーザに送信し、表示テキスト情報の共有を行い、各ユーザからのタイピング情報を TeraTerm のプラグインに送信し、ホストへの入力とする。

複数人でのターミナル共有も可能である。情報共有サーバに接続すれば何人でもターミナル共有ができるのでプログラミング講習への応用ができる。

4.2.2 キーストローク表示機能

情報共有サーバではタイピング情報からキーストロークを作成する。タイピング情報に含まれる [ESC] や [Ctrl]+d などは表示テキスト情報に表示されないため、図 7 のようにターミナルに表示されない特殊キーを表示可能な情報へと変換する。

キーストロークを解説情報として各ユーザに送信する。情報共有サーバで作成したキーストロークはリアルタイムで他ユーザに送信されるので、表示テキスト情報を見ながら他ユーザが今どのようなタイピングをしたのかが理解できる。

4.2.3 コマンド解釈機能

情報共有サーバではユーザのタイピング情報からコマンドの意味を推測する。情報共有サーバにはあらかじめコマンドデータを保存しておき、タイピング情報と一致するコマンドデータを検索しそのコマンドの意味を表示する。

ホストのソフトウェアの状態によってコマンドの意味は異なるので、現在ホストがどのようなモードになっているかを推測しなければならない。モードの遷移はコマンドによって行われるので、コマンドデータにモード遷移の情報も保存して、そのコマンドが実行されたときにモードが遷移したと推

測し、遷移後のモードを保持する。そして保持しているモードでのコマンドの解釈を実行する。モードは段階ごとによって変わっていくので、モード毎にディレクトリを作り、そのモードに対するコマンドデータをディレクトリに保存する。ターミナルで操作している CLI のモードが遷移するとともにプログラム内のモードディレクトリが遷移していく。

情報共有サーバのコマンドデータの扱いを図 7 に示す。図 7 に vim モード時のタイピング情報の流れを示す。コマンドデータの赤字はディレクトリ、黒字はコマンドファイルを表している。vim モードの場合、vim ディレクトリにあるコマンドデータを参照し、コマンド解釈を生成する。

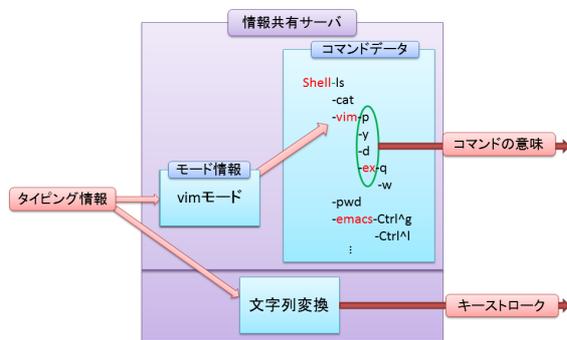


図 7: ディレクトリ構造でコマンドデータを保存する情報共有サーバ

4.2.4 記録・再生機能

本システムでは情報共有サーバに送られてくるタイピング情報、表示テキスト情報、キーストロークの表示やコマンドの解釈のような解説情報をすべて記録している。情報共有サーバが受信または送信した情報をその時間とともにファイルに保存する。

再生時には再生速度を指定できる。一つ一つの情報をそれぞれ時間とともに保存するので、あとから同じ速度での再生や、スロー再生、倍速再生なども可能である。

5 システム利用の流れ

本システムでは、TeraTerm を用いてホストへ接続する一人に対してターミナル共有を一人、または複数で行うことが可能である。

5.1 システムの導入

本システムは、ユーザの TeraTerm にプラグインを追加するだけで使用できる。プラグインの追

加は TeraTerm 本体があるディレクトリにプラグインの DLL ファイルをコピーすれば完了する。

情報共有サーバは TeraTerm や他のユーザとネットワークで繋がっている場所に一つ構築する。情報共有サーバでは TeraTerm との通信を暗号化するため OpenSSL を導入する必要がある。あとはソースをダウンロードし、コンパイル、実行すれば情報共有サーバとして動作する。

5.2 1対1の利用

1対1の利用では主に初心者が上級者へ相談する際にシステムを利用する。まず、初心者が本システムのプラグインを導入した TeraTerm を用いてホストへ接続していることを前提とする。そして初心者が上級者へ Skype などでも連絡を取りターミナル共有をしたいと伝える。初心者は TeraTerm のメニューからプラグインを有効にし、情報共有サーバへと接続する。上級者は Telnet を用いて情報共有サーバへ接続する。これでターミナル共有が実現する。

さらに、初心者は上級者の操作の解説情報を見られる。初心者が上級者とターミナル共有をする時にも解説情報が欲しい場合は、初心者は Telnet で情報共有サーバへ接続し、解説情報を受信できる。この解説情報には、上級者のキーストロークとコマンドの意味が表示される。

5.3 1対Nの利用

1対Nの利用ではプログラミング講習が可能である。講師がプラグインを導入した TeraTerm でホストへ接続し、プラグインを有効にする。そして複数の生徒は情報共有サーバへ Telnet で接続し、講師とターミナル共有ができる。

生徒は講師の操作の解説情報を見られる。講師のタイピング情報は TeraTerm のプラグインから情報共有サーバへ送信されるので、情報共有サーバへ接続すれば講師の操作の解説情報を見られる。

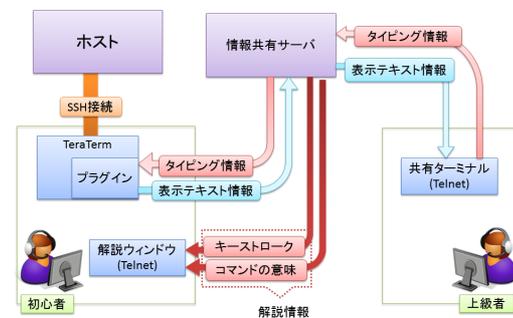


図 9: システムの全体

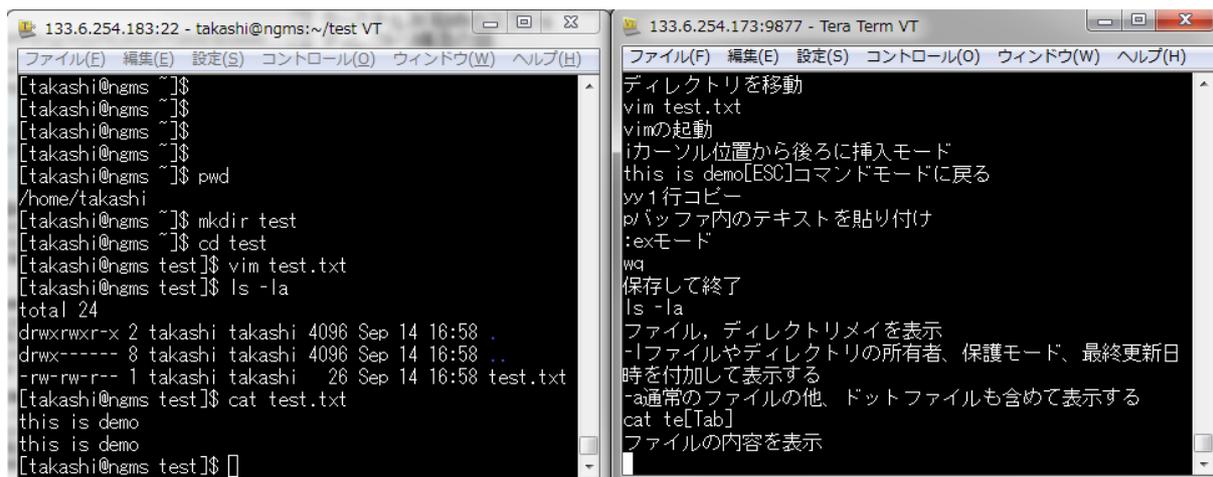


図 8: システム利用の様子

5.4 利用時の設定

ユーザは Telnet クライアントの設定が必要である。本システムでは情報共有サーバからの情報を受信するために Telnet を用いるが、ユーザの Telnet クライアントの設定を変更しなければ正常に動作しない。変更する設定は、行単位送信モードの解除とローカルエコーの解除である。設定の方法は Telnet クライアントに依存する。

また、情報共有サーバのポート番号を決めなければならない。情報共有サーバに Telnet で接続する際、ポート番号を指定するが、そのポート番号は情報共有サーバの設定で決められている。

6 ターミナルセッション解説システム

本システムではターミナルの表示テキスト情報とユーザのタイピング情報を時間とともにサーバに保存する。この情報は別のシステムに応用可能である。その例として、ターミナルセッション解説システムを提案する。

ターミナル共有システムで収集できた情報を用いて CLI 学習のための教材を作る。ターミナル共有システムの記録・再生機能にコメントを付ける仕組みがあれば、CLI 学習の手助けになると考えられる。

近年注目されているニコニコ動画のように動画の時系列ごとにコメントを付加すれば、コメントでの解説を見ながら上級者の CLI 操作を再生できる。解説を見ながら再生できれば、より CLI 学習効果が高まると期待できる。

7 ネットワークコンフィグ支援システム

本研究のターミナル共有システムは、接続先ホストの OS を選ばない。よって、Cisco IOS⁵⁾ や

JUNOS⁶⁾ などのネットワークデバイスに搭載された OS に対してのターミナル共有でも本システムを活用できる。そこで、本システムをネットワークデバイスに対して使用した際に収集できる情報を用いれば、ネットワークコンフィグを支援するシステムが構築できると考える。

例えば、本システムでは、ターミナルの表示テキスト情報を全て収集するので、その情報の中からデバイスの設定情報を抽出し、見やすい形式で表示する。デバイスの設定情報が見やすくなれば、ネットワークコンフィグの効率が良くなると考えられる。

デバイスの設定情報の抽出は、タイピング情報から設定情報の表示を行うコマンドが入力されたと判断した時に、表示テキスト情報を抽出する。また、この時の表示テキスト情報は、インデントを含む形で表示が多いので、このインデントから設定情報を構造化し保存する。デバイスの機種ごとに、設定構造体のテンプレートをあらかじめ保存しておけば、より正確な構造化が可能になると期待できる。図 10 に示すようなテキスト情報から設定情報を構造化し保存すれば、図 11 のようにユーザが求める設定情報をより早く表示できる。

また、ネットワークの管理への応用が期待できる。ネットワークデバイスの多くは、そのネットワークにある管理サーバによって管理されている。一般的に管理サーバは管理対象のネットワークデバイスから SNMP(Simple Network Management Protocol)⁷⁾ というプロトコルを使い情報を収集している^{8) 9) 10)}。しかし、SNMP はネットワークデバイスのベンダや機種によっては情報が収集できないなどの問題がある¹¹⁾。そこで本研究のターミナル共有システムで得られたネットワークコンフィ

```

133.6.254.183:22 - takashi@ngms:~ VT
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

interface FastEthernet0
ip address 133.6.254.166 255.255.255.0
ip nat outside
ip virtual-reassembly in
duplex auto
speed auto

interface FastEthernet1
no ip address
duplex auto
speed auto
ipv6 nd ra lifetime 0

interface FastEthernet2
switchport access vlan 30
no ip address

interface FastEthernet3
switchport access vlan 501
no ip address

interface FastEthernet4
switchport access vlan 503
no ip address

interface FastEthernet5
switchport access vlan 30
no ip address

interface FastEthernet6
switchport access vlan 600
no ip address

interface FastEthernet7
switchport access vlan 30
no ip address

interface FastEthernet8
--More--

```

図 10: 通常のコンフィグ情報

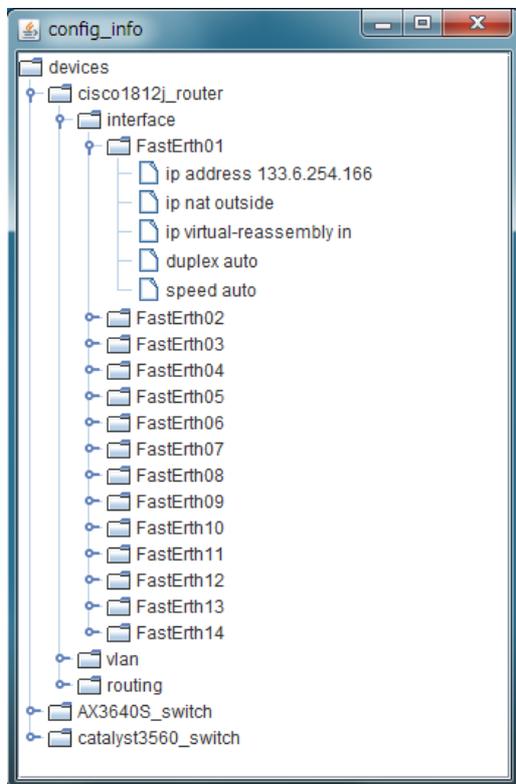


図 11: 応用システムのコンフィグウィンドウ

グ情報を SNMP の代わりにネットワーク管理情報として使用できると考える。ネットワークコンフィグを本研究のターミナル共有システムで行ったときに、自動的に管理サーバへネットワークコンフィグ情報を送信する仕組みがあれば、ネットワーク管理のための情報収集の手助けになると期待できる。本研究のネットワークコンフィグ支援システムの概要を図 12 に示す。

名古屋大学ではオープンソースのネットワーク管理システムとして NGMS(Next Generation Management System)¹²⁾ の開発を行っている。今後本研究のターミナル共有システムを用いたネットワークコンフィグ支援システムからの情報を NGMS で使用できるよう検討している。

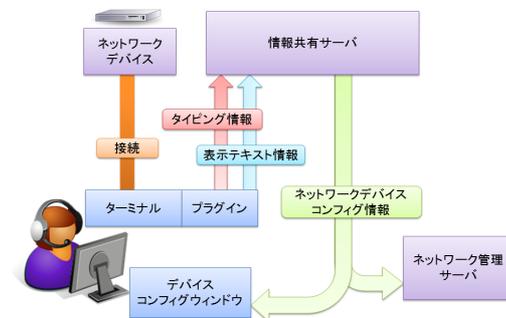


図 12: ネットワークコンフィグ支援システム

8 おわりに

本稿では既存のターミナル共有における問題点である、共有できない情報の存在を軽減するためにユーザのタイピング情報を加工し解説情報として他ユーザに送信する仕組みを実装した。そして、そのシステムで得られる情報を用いた応用システムとしてターミナルセッション解説システムとネットワークコンフィグ支援システムの二つを提案した。

今後の課題として評価実験を検討している。本研究のターミナル共有システムを使用してもらった多数のユーザからのアンケート収集を想定している。

本研究の今後の課題としては、解説情報生成するためのコマンドデータの収集方法やより正確なモード情報の推測法の検討などが挙げられる。また、現在のシステムではコマンド解釈にユーザのタイピング情報のみを用いているので、コマンド補完を使用した場合解釈ができないという問題がある。これは、コマンド解釈のときにタイピング情報だけでなく表示テキスト情報を用いれば解決できるので

はないかと考えている。

参考文献

- 1) 古橋貞之. party!.org. <http://d.hatena.ne.jp/viver/20080313/p1>, 2008-03-13.
- 2) 笠原義晃. screen の利用について. <http://www.cc.kyushu-u.ac.jp/publish/kohobkno/genkoVol2No3/kasahara.pdf>.
- 3) 富田宣也, 片岡裕雅, 郷原麻衣子, 箱崎正洋, バトバータル, 長尾和彦. XP に基づいたプログラミング学習システムの評価 (遠隔教育/一般). 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, Vol. 105, No. 632, pp. 121-124, 2006-02-25.
- 4) 未踏ソフトウェア創造事業. 2007 年度第 ii 期末踏ユース プログラミング教育を変える! remote pair programming system 「reppsy」. <http://www.ipa.go.jp/jinzai/esp/2007youth/mdata/2/98-06.pdf>, 2007.
- 5) Cisco IOS ソフトウェア. <http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/ios/index.html>.
- 6) JUNOS. <http://www.juniper.net/jp/jp/products-services/nos/junos/>.
- 7) SNMP. <http://www.net-snmp.org/>.
- 8) 藤田俊輔, 吉田和幸. Layer2 ネットワーク構成情報表示システムにおける構成推測条件の適用順序の影響について (シングルセッション, インターネットと情報倫理教育, 一般). 情報処理学会研究報告. IOT, [インターネットと運用技術], Vol. 2009, No. 21, pp. 185-190, 2009-02-26.
- 9) 大浦昇. VLAN を考慮した layer2 ネットワーク構成情報推測アルゴリズムについて. 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006) 論文集, 2006.
- 10) 河野優. Layer2 ネットワーク構成情報の推測アルゴリズムの改良について. 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム 2005 論文集, 2005.
- 11) 藤田俊輔, 吉田和幸. Layer2 ネットワーク構成情報推測・表示システムのための構成情報の収集: 構成情報のベンダ依存性について (試作・評価・実用化, サービス管理, ビジネス管理, 料金管理, 及び一般). 電子情報通信学会技術研究報告. ICM, 情報通信マネジメント, Vol. 108, No. 24, pp. 41-46, 2008-05-01.
- 12) 河口信夫. NGMS:資産の木構造情報に基づく次世代情報基盤管理システム. インターネットコンファレンス 2010, デモンストレーション (2010), 2010-10-25.