

IT 教育サポートツール「MultiVNC」の開発

北川 健司[†] 上原 光晶[†] 大橋 拓郎[†] 中山 亮[†] 川本 良太[†] 千葉 大作[†]

[†](株)アルファシステムズ

〒211-0053 神奈川県川崎市中原区上小田中 6-6-1

E-mail: [†]{kitagake, ueharam, oohasht, nakayar, kawamory, chibad}@alpha.co.jp

あらまし ここ数年、組織内教育として e-learning が盛んに導入されるようになってきたが、本格的な普及には至っていない。今回、e-learning の導入を推進するための基盤ツールとして、各生徒のデスクトップ画面を教師側の画面上に並べて表示し、生徒 PC の画面の閲覧及び教師-生徒間や生徒同士による協調作業を可能にするソフトウェア「MultiVNC」の開発を行った。従来からも同様のソフトウェアがいくつか販売されているが、今回はこれをオープンソースとして無償で公開することで、抵抗無く導入されることを目的とする。本論文では、現在開発中の MultiVNC で、実際の教育現場での使用を想定した環境を再現し、その有効性を検証する。

キーワード 協調学習, e-ラーニング, 相互運用性, コラボレーション, 企業内教育

Development of “MultiVNC”, a support tool for IT education

Kenji KITAGAWA[†] Mitsuaki UEHARA[‡] Takuro OHASHI[‡] Ryo NAKAYAMA[‡]

Ryota KAWAMOTO[‡] and Daisaku CHIBA[‡]

[†] Alpha Systems Inc. 6-6-1 Kamikodanaka, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 211-0053 Japan

E-mail: [†]{kitagake, ueharam, oohasht, nakayar, kawamory, chibad}@alpha.co.jp

Abstract E-learning has not yet led to full-scale diffusion despite brisk introduction in the past several years. Based on the current situation, MultiVNC is developed as the acceleration tool of e-learning, which enables to view and interact with several desktops of students from a desktop of a teacher and makes accommodative teaching and collaborative learning come true. In order to be freely used, MultiVNC goes out to the public as open source software following GPL, unlike some other educator-targeted e-learning software on sale. This paper also verifies practical effectiveness by simulating actual educational environment adopting MultiVNC.

Keyword Cooperation study, e-learning, Interoperability, Collaboration, Education in a company

1. はじめに

近年、各教育機関や企業内の研修等で、より効率のよい学習を行うという目的で PC を利用した教育に時間を割くという傾向にある。教育に特化した PC の利用方法は、一般に e-learning と呼ばれ、様々な教育機関やコンテンツプロバイダにより、多種多様な教材が作成されており、インターネット接続を利用したコンテンツも少なくない。しかし日本では、欧米に比べ e-learning の普及割合が低い。その理由は、インターネット普及率の遅れや資源配分の集中的な投資(トップダウン方式)が可能な文化の定着など様々な観点から原因が指摘されている。最近では、e-learning は役に立たないというレッテルを貼られがちであるが、何故これほどまでに e-learning が活用されないのか、日本の IT 企業を対象に行ったアンケートなどを参考に、その主な理由を以下に挙げる。

- (1) 遠隔教育やシステムの情報化など、インフラの構築に多くの予算・人手が必要

- (2) e-learning 向けに作成されたソフトウェア・コンテンツの活用事例の稀少さによる必要性の不明瞭さ
- (3) e-learning を導入する体制・考え方の未熟さ

これらの問題点を是正しなければ、e-learning の重要性に理解が得られず、普及の障害になるため、早急な対応が必要な状況となっている。

一方、オープンソースソフトウェアは、ソースコードを公開していることにより、プログラミング技術の習得やセキュリティ等の状況に応じた対応が容易であるため、教育の現場には適しているが、手軽に試せるシステムがないために利用が進んでいない。このようなシステムがあれば、利用の促進とともに、公開されたリファレンスコードとして状況に応じたシステムをより容易に構築できるソフトウェアが増えると期待されている。

2. 目的

インフラ構築に予算・人手を抑えるには、一般の PC と LAN 環境のみで環境構築でき、高価なサーバ等の基盤を必要としないことが求められる。一方、体制・考え方の未熟さを是正するには、教師が多数の生徒の学習状況を逐一把握でき、場合に応じて学生との学習のサポートやナビゲーションを行うなど学習に対する動機付けを働きかけると共に、教師・生徒間または生徒同士での協調学習が容易にできるようにして、e-learning ならではの学習方法を確立して学習効果を高めることで理解を得られる必要がある。

既存技術である VNC[1][2]は、リモートからデスクトップを操作する機能、複数ユーザでデスクトップを共有する機能を持ち、オープンソースソフトウェアとして提供されている。また、VNC プロトコルではデスクトップの動作を全て画像の送受信として扱うため、比較的容易に画像処理を施す事ができる。『IT 教育向けデスクトップ管理ツール「MultiVNC」の開発』[5]で提案された MultiVNC は、この VNC ソフトウェアを改良し、複数の学生のデスクトップ画面を閲覧、操作、共有するソフトウェアであり、同論文において MultiVNC プロトタイプを作成し、40 人規模の同時接続が PC の負荷、ネットワークトラフィックの面において PC 性能に依存はするものの性能的な有効性を得られたことから、製品版 MultiVNC をオープンソースとして開発・配布する経緯に至った。この MultiVNC は、オープンソースという形態で配布することで、低予算によるインフラ構築を可能とするだけでなく、最大の特徴として相互運用性の高いシステムとして生徒の学習状況の把握とサポート、ナビゲーション、教師・生徒間あるいは生徒同士での協調学習を提供できる。相互運用性とは、例えば、日本国内におけるコンセンツのように、どの家庭のコンセンツにも電源プラグを挿すことができることを「相互運用性」があるといい、e-learning でも、ある LMS(Learning Management System)で複数ベンダのコンテンツを利用できたり、逆にあるコンテンツを複数ベンダの LMS で利用できることを相互運用性があるという。MultiVNC はこの点において OS における描画情報の閲覧、操作、協調作業を行うことができるため、既存の e-learning コンテンツは勿論、いままで e-learning として利用されていなかったものもその対象とするなど、e-learning に固有な学習方法の確立を補助することで、e-learning の普及を促進することができる。

また、オープンソースソフトウェアを集めた Linux ディストリビューションの KNOPPIX[3]は、CD のみで起動するため、既存の PC の環境に手を加えることなく利用でき、バンドルされているソフトウェアを簡単に使用出来る。MultiVNC の普及方法の一つとして、KNOPPIX による配布を行うことで、気軽にソフトウェアの導入を行うことを可能とする。

本論文では、自動接続や画面送信、生徒画面ロック、DB サーバとの連携による出席管理システムなどの機能を実装した MultiVNC の実際の利用を想定した性能測定を行うことにより、その有効性の評価を行う。

3. システムの全体像

複数の生徒 (MultiVNC クライアント) のデスクトップ画面を、教師の MultiVNC サーバ上から閲覧と操作ができ、また、サーバークライアント間やクライアント同士の協調した相互接続、及びクライアント管理ができるツールの開発を行った。これにより、IT 教育における手取り足取りの授業や、教師・生徒間や生徒同士による密着した協調学習が可能となる。

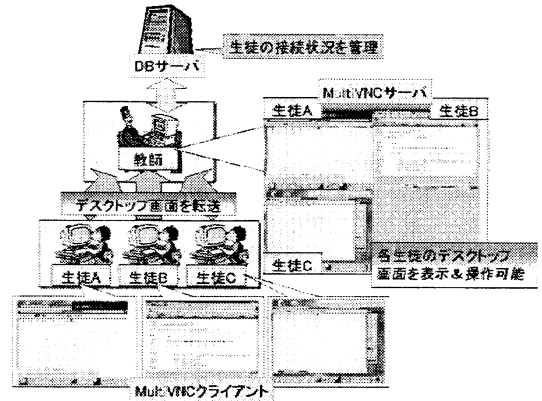


図.1 MultiVNC システム全体像

4. 活用イメージ

40 人程度のコンピュータールームで、生徒各自のデスクには MultiVNC クライアントがあり、教師のデスクには MultiVNC サーバ、その横には MultiVNC サーバと連携する DB サーバがある。それぞれはスイッチングハブを介して 100Mbps のネットワーク環境で結ばれている。

授業を開始し、教師、生徒がそれぞれ MultiVNC サーバ、MultiVNC クライアントを起動すると、教師のデスクトップ画面に、起動している生徒の画面が自動的に並べて表示される (同時表示可能画面数は最大 16、40 人程度の生徒の画面をタブ切替により表示可能)。

授業の内容によってはグループ分けによる生徒管理の方が効率がよい場合があり、MultiVNC サーバでは、参加したクライアントをグループに分けタブによるグループ表示が可能である。これにより、例えば試験結果によるグループ分けでは、理解度に応じた指導・コンテンツを利用することで、学習効果の向上を狙うことができる。

また、出席管理 DB へ MultiVNC サーバの Web ブラウザからアクセスすることで、出席している生徒一覧を見ることが出来る。

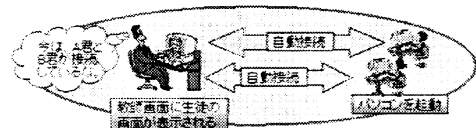


図.2 自動接続

授業の始めに、教師が生徒全員に対して操作方法のお手本を送信する。生徒側の各 MultiVNC クライアントでは、教師の操作する VNC のデスクトップ画面(教師専用仮想デスクトップ)が新規ウィンドウで表示される。

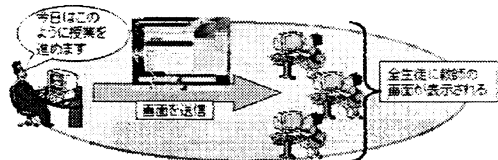


図3 教師画面送信

授業中は、MultiVNC サーバ上に各生徒の MultiVNC クライアントの画面が表示される。作業の遅れている生徒や、不要なアプリケーションを起動している生徒がいないかを閲覧できる。

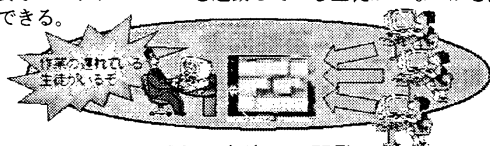


図4 生徒画面閲覧

作業の遅れている生徒の画面を拡大表示し、教師が代わりに操作すると、それがその生徒の MultiVNC クライアントの画面に反映される。教師がサポートを行うことにより、生徒に動機付けを行う。

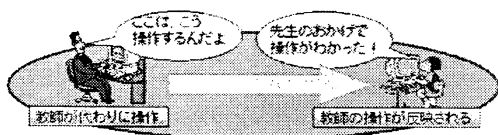


図5 生徒画面操作

MultiVNC サーバから、MultiVNC クライアントの動作を止めることができ、メリハリのある教育が行える。



図6 生徒画面ロック

作業の進んでいる生徒の画面を他の生徒へ送信することで、操作方法を他の生徒に教えさせたり、生徒に発表させたりすることができる(協調作業)。



図7 生徒画面送信

5. MultiVNC の機能的特徴

MultiVNC サーバでは、複数のクライアントそれぞれに対し、VNC セッションを開いて画面データの送受信を行っており、現時点では最大 16 人のデスクトップ画面を縮小処理と同時にクライアント画面の描画を行う。また、教師/生徒画面送信では、クライアント数増加によるサーバ負荷の軽減のためにマルチキャスト通信による画面配信を行う。以下では、画面縮小・並列表示と画面配信について論述する。

◆ 画面縮小・並列表示

VNC サーバから送信されるデスクトップ画面を縮小し、MultiVNC 画面上に並べて表示する。画像縮小アルゴリズムとしては、主に表.1 の 3 つの方法があるが、処理時間と画質とを考慮し、線形補間法を採用した。

名称	処理時間	画質
最近傍法	小	悪
平均画素法	小～大	良
線形補間法	中	良

表.1 画像縮小アルゴリズム

線形補間法とは、図.8 において縮小後の座標(X1,Y1)に対し、縮小前の座標の値(X2,Y2)が整数にならない場合、最近傍の 4 点(P1,P2,P3,P4)とそれぞれの画素値(C1,C2,C3,C4)、及び(X2,Y2)との距離(D1,D2,D3,D4)から、以下の式で画素値を求める方法である。また、作成した MultiVNC の画像を図.9 に示す。

$$C = \frac{C1 \cdot D4 + C2 \cdot D3 + C3 \cdot D2 + C4 \cdot D1}{D1 + D2 + D3 + D4}$$

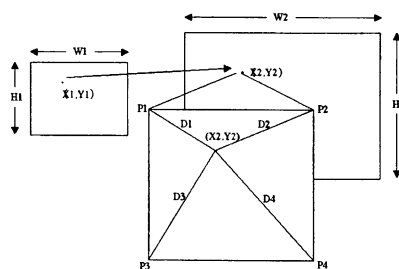


図.8 線形補間法



図.9 MultiVNC

◆ 画面配信

教師／生徒画面送信を1対1のユニキャスト通信ではなく、1対多のマルチキャスト通信で行うことで、クライアント数の増大によるサーバ及びネットワークの負荷を軽減する。

マルチキャスト通信とはマルチキャストグループに参加したクライアントだけパケットを受け取ることができる通信方式で、特徴として、送信者の一回の送信で、マルチキャストグループに参加したすべての受信者にパケットを届けることができ、受信者が多数になった際の送信者のPC負荷、ネットワーク負荷を抑えることができる。

MultiVNCでは、サーバ及びネットワークの負荷を考慮し、マルチキャスト通信を採用したが、マルチキャスト通信はトランスポート層にTCPではなくUDPの実装であるため、単純にUDPパケットを送信するとデータパケットが落ち、信頼性に欠ける。そのため、受信グループの最遅RTTを利用した転送速度制御を施しUDPの転送速度を抑制した配送を行う。しかし、そのために送信元生徒A-教師と教師-送信先生徒Bの間に通信速度に差が生じてしまい(図10)、TCPによる受信後、UDPによる送信を完了するまで、生徒Aは次の画像データを送ることができず、教師端末がボトルネックとなり生徒Aの操作性が悪くなる。

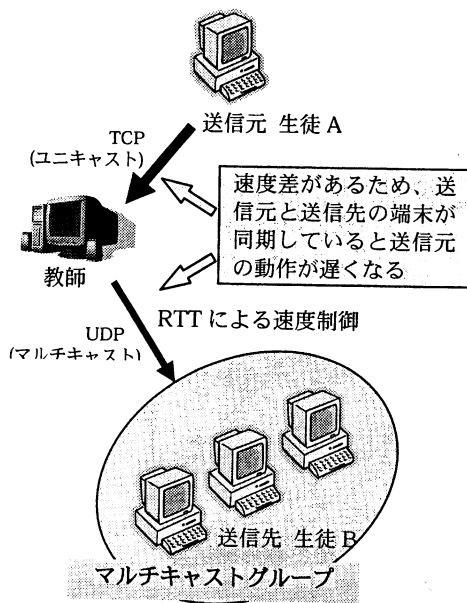


図.10 生徒画面送信時の問題

そこで、MultiVNCサーバでは、画面配送用のマルチキャスト送信プロセスを新たに生成し、受信プロセスと送信プロセスでバッファ(図11)と制御情報を共有し、生徒A-教師と教師-生徒Bの速度差をバッファで緩衝することにより、バッファの許容量だけ非同期で通信を行うことができるため、生徒Aの操作性の悪化は抑えられる。

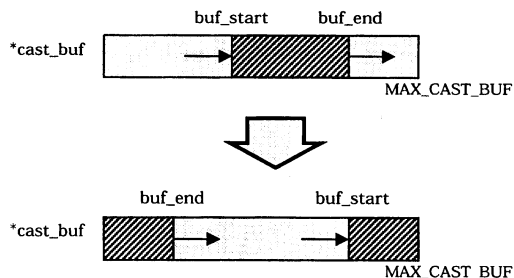


図.11 教師／生徒画面送受信共有バッファ

6. MultiVNC による性能測定

6.1 実験の目的

今回の実験では、実際にMultiVNCを使用する環境を準備し、前頁で述べたMultiVNCの活用イメージの主要な機能を抜粋し、クライアント数の変化(2人と15人+それぞれ教師用仮想端末1人)によるサーバPCの負荷及びネットワーク帯域の負荷に焦点を当て計測を行う。

- (1) 生徒画面閲覧
自動接続を行った生徒を閲覧する。
- (2) 教師／生徒画面送信
生徒Aの画面を生徒Bへ送信する。
- (3) 生徒画面操作
生徒の画面を操作する。

6.2 実験環境

6.1で示した実験項目を表2に示すスペックの端末で行う。このとき、MultiVNCクライアントはPC3台で、それぞれ複数クライアントを起動し、計16人でサーバとの接続を行う。また、LAN環境は100Mbpsとし、それぞれの端末はスイッチングハブで接続されているものとする。

計測の流れはMultiVNCサーバを起動しているLinuxに対してMultiVNCクライアントが自動接続した後、前項で述べた3つの項目について約3分間計測して検証を行う。また、この時のクライアントはブラウザによる作業を行っているものと仮定する。手動で操作できないものに関しては、論文[6]による負荷計測の予備実験により、シェルにてvmstat 4を実行し、一定の負荷を与えた。

計測方法として、サーバPCへの負荷はprocmeter3(ver3.4)を用いてユーザプロセスにおけるCPU使用率を計測する。ネットワークの負荷に関しては実験端末とは別に計測端末を準備し、Ethereal(ver0.10.4)にてセッションごとの計測を行う。

MultiVNC サーバ(教師側)	
CPU	PentiumIII 933MHz
メモリ	256MB
備考	出席管理システム兼用 PC 負荷計測
MultiVNC クライアント(生徒 A)	
CPU	Pentium4 3.2GHz
メモリ	512MB (Virtual PC 256MB)
備考	Virtual PC 上の端末で実行 MultiVNC クライアント数 : 6
MultiVNC クライアント(生徒 B)	
CPU	PentiumIII 600MHz
メモリ	128MB
備考	MultiVNC クライアント数 : 4
MultiVNC クライアント(生徒 C)	
CPU	Pentium4 2.8GHz
メモリ	1GB
備考	MultiVNC クライアント数 : 5

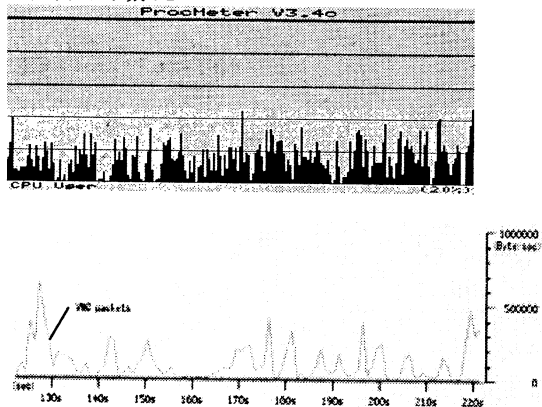
表.2 実験環境

6.3 性能測定結果

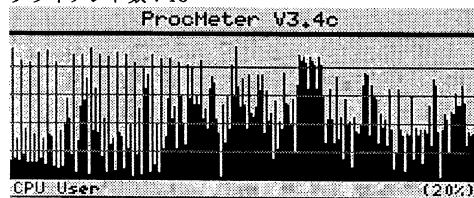
6.1 で示した実験項目について計測を行った。以下が結果となる。それぞれの項目についてサーバのユーザプロセスにおける CPU 負荷 (横軸 : 時間(sec), 縦軸 : CPU 使用率(%)) とネットワーク帯域の負荷 (横軸 : 時間(sec), 縦軸 : 転送速度(Byte/sec)) を 1 セットとして、クライアント数毎に列挙する。

(1) 生徒画面閲覧

クライアント数 : 2

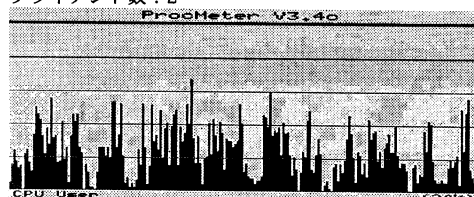


クライアント数 : 15

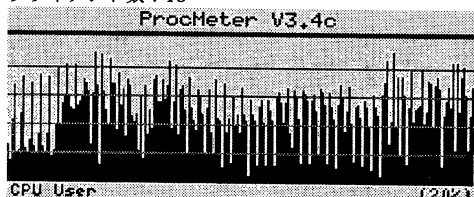


(2) 教師/生徒画面送信

クライアント数 : 2

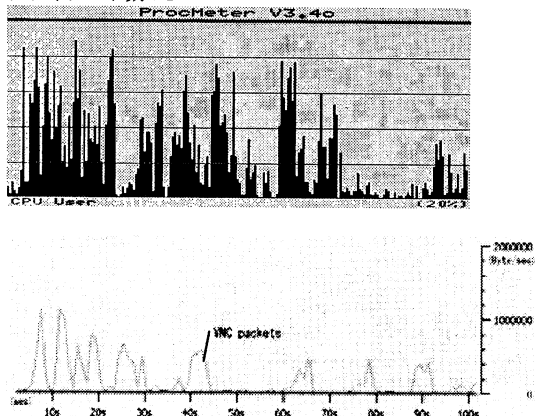


クライアント数 : 15

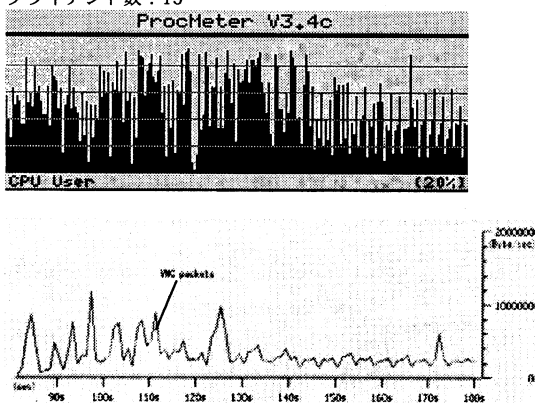


(3) 生徒画面操作

クライアント数：2



クライアント数：15



7. まとめ

すべての計測においてクライアント数の増加による比例的な負荷は生じないことが分かる。これは、送受信する画像データのエンコード形式が負荷状況により動的に変更されるため、より多くの MultiVNC クライアントが参加し、セッションを開始したとしても、実験結果の単純な倍数とはならない。

生徒画面閲覧、生徒画面操作においても一定の負荷を与え続けるクライアント数の違いと、サーバマシンのスペックを考慮するとよい結果であったといえる。

教師／生徒画面送信では、バッファの非同期によるレスポンスの向上は図れたが、全体的に転送速度が落ち込むという結果になった。転送抑制アルゴリズムの改良と非同期バッファ動作プロセスの見直しなどが今後の課題である。

また、非表示のタブにグループ分けされたクライアントの VNC コネクションを切断することでネットワークトラフィックの抑制が可能か等、今後の調査事項もある。

8. 今後の予定

今回の開発完了後は、以下の課題を満足するソフトウェアとして改良を続けていく予定となっている。

- 画像縮小アルゴリズムの改良
- 送受信データのセキュア化
- ファイアウォール越えの仕組みの導入
- 認証機能の追加
- VNC プロトコルの改良も含めた性能改善
- Windows, Mac OS-X 等への移植
- 利用シーンや組み合わせるコンテンツの検討

9. おわりに

現在開発中の MultiVNC は、これまでに紹介した機能を実装し、実用的な性能を満たしたソフトウェアとして 12 月に GPL で公開する予定となっている。今回は LAN 内部の同一セグメント内での利用に制限しているが、今後は e-learning の特徴のひとつである遠隔授業を実現するためにも、異なるセグメントやインターネット経由で授業に参加できるよう検討する。

本ソフトウェアは、IPA（独立行政法人情報処理推進機構）の、2004 年度 第 1 回オープンソースソフトウェア活用基盤整備事業の公募の助成により開発を行う。

参考文献

- [1] RealVNC: <http://www.realvnc.com/>
- [2] TightVNC: <http://www.tightvnc.com/>
- [3] Knopper, Klaus: <http://www.knopper.net/knoppix/>
- [4] xf4vnc: <http://xf4vnc.sourceforge.net/>
- [5] 情報教育シンポジウム論文集

Vol.2004, No.9, pp.129-134(2004)