2005－CE－80（5）
2005／6／18

P2P 技術を利用した教育支援システム SOLAR-CATS の機能

山之上卓[†1]

P2P 技術を利用した教育支援システム SOLAR-CATS の機能について述べる。SOLAR-CATS を利用することにより、端末教室において、教師が行う SOLAR-CATS の応用プログラムの操作を、全学生端末上で、実時間で同時に見せたり、学生間で共同作業を行ったり、教師や学生が行う操作の記録と再生を行ったりすることができる。ファイヤーウォールで隔てられた遠隔地にある教室のネットワーク間を結んで利用することも可能である。SOLAR-CATS は、お絵かきプログラム、テキストエディタ、簡単なプログラミング環境、Web ブラウザ、英作文支援システムなどの応用プログラムを備えている。

Functions of a Computer Assisted Teaching System, SOLAR-CATS, which uses P2P technology

Takashi Yamanoue[†1]

A computer assisted teaching system, SOLAR-CATS, which uses P2P technology, is shown. In a computer laboratory, the teacher can show operation of application programs of the SOLAR-CATS at his/her terminal to students at their terminals in real-time by using the SOLAR-CATS. Students can do a co-operative work by using the SOLAR-CATS. Teacher's and students' operations can be recorded and the operations can be re-played. Terminals at remote classrooms, which are separated by firewalls, can be combined by the SOLAR-CATS. SOLAR-CATS is equipped with application programs such like a draw, a text editor, a simple programming environment of a simple programming language, an Web browser, a writer's assistant for English writing.

1. はじめに

小中学校、高校、大学の教育現場では、多数のコンピュータ端末で構成された分散システムを持ったコンピュータ端末教室が一般的に設置されており、この分散システムを有効に利用した様々な教育支援システムも開発されている。このなかで、教師端末の画像を、学生端末に一斉に表示する機能を持った教育支援システムは、歴史も古く、最もよく利用されているものの一つである。

この種の教育支援システムには、教師端末のディスプレイに入る信号を、専用の配線を使って学生端末のディスプレイに配信するタイプのものと、コンピュータネットワークを使って、教師端末の画像や操作を学生端末に配信し、表示するタイプのものがある。

専用配線を使うタイプのものは、信頼性が高く性能も良いが、分配器の設置や配線工事などが必要となるので、導入コストが高くなり、端末の入れ替えや教室のレイアウト変更があった場合などに対応することが難しくなる。

コンピュータネットワークを使ったものは、

†1 鹿児島大学学術情報基盤センター, Computing and Communications Center, Kagoshima University

導入コストは低くできるが、市販されているものの多くは、特定の機種やOSを対象にしており、また、サブネットをまたいで利用できるものは少ない。また、遠隔地にある端末教室同士をインターネットで接続して授業を行おうとする場合、それぞれの教室のネットワークはファイヤーウォールで防御されている場合も多く、遠隔地にいる教師と学生が同期した端末を使った授業を行うことを難しくしている。

本論文は、後者のタイプであるが、教師から学生への一方向送信だけでなく、グループ内で操作を共有することにより、共同作業も行うことができる教育支援システム SOLAR-CATS について示す。SOLAR-CATS はファイヤーウォールで隔てられた遠隔地にある教室の端末同士を接続する機能も持っている。プラットフォーム独立であり、異なったOS が混在した環境でも利用できる。サーバに多数のネットワーク端末を接続したような分散システムでも利用することができる。端末で行われる操作の記録と再生を行うこともできる。

2. SOLAR-CATS の概要

SOLAR-CATS は、お絵かきプログラム、テキストエディタ、Web ブラウザ、簡単なプログラミング言語のプログラミング環境、英作文支援システムなどのアプリケーションを備えた一種のWISIWYS(What I See Is What You See)システムである。SOLAR-CATS は

- グループに参加している教師のアプリケーション操作を学生端末上で、実時間で表示する
- 教師や学生が独立してアプリケーションを操作する
- グループに参加している教師や学生がクラス内でアプリケーション操作を共有することにより、共同作業を行う
- それぞれの端末において、アプリケーション操作の記録と再生を行う
- ファイヤーウォールで隔てられた端末教室の端末を接続して、1つのグループを作り、その中で操作の共有を行う

などの機能を持つ。JAVA で開発しているため、プラットフォーム独立であり、様々な OS が混在した環境でも利用できる。Xwindow 端末や、Windows Terminal Edition を使ったシステムのように、1つのコンピュータを複数の端末で共有する場合でも利用できる。

グループ内で1つの操作を共有し、なおかつグループ内の誰でもその操作を可能とするためには、グループ内のメンバーが勝手に独自の操作を行うことがないよう、排他制御が必要になる。SOLAR-CATS は排他制御の機構も持っている。

SOLAR-CATS は「教師ノードシステム(teacher's node system)」,「学生ノードシステム(student's node system)」,「グループマネージャ(group manager)」の3種類のプログラムで構成されている．図1に SOLAR-CATS の構成を示す.

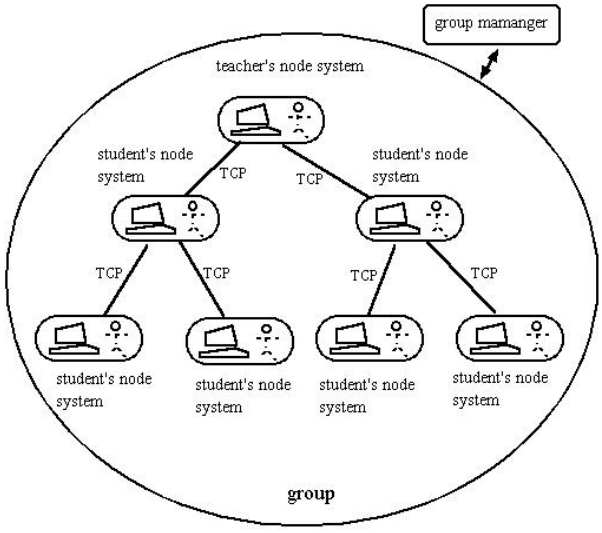


図 1．SOLAR-CATS の構成

2.1 教師ノードシステム

教師ノードシステムは教育用分散システムの教師用端末で使用される。このノードシステムは教師の操作を記録し,その操作を再生する。教師ノードシステムはすべての学生ノードシステムに対して教師ノードと同じ操作を同時にさせることもできる。このことにより、教師によるアプリケーション操作を学生に実時間

で見せることが可能になる。これは，教師の操作に対応したコマンドを教師ノードシステムからすべての学生ノードシステムへ信頼性を持って放送することにより実現している．

2.2 学生ノードシステム

学生ノードシステムは，教育用分散システムの学生用端末で使用される。学生ノードシステムは学生の操作を記録し，その操作を再生する。学生ノードシステムは，教師ノードシステムから送られるコマンドを解釈実行することによって，教師ノードで行われる操作を学生ノードで再現することもできる．

2.3 グループマネージャ

グループマネージャは，教師ノードシステムと，学生ノードシステムのグループの結合状態を管理する。教師の操作を学生に見せるとき、教師ノードシステムから放送されたコマンドは、すべての学生ノードシステムに短時間で、間違いなく受信されなければならない。

これを実現するために、SOLAR-CATS は一種の P2P 技術を利用している。グループ内のすべてのノードシステムは，すくなくとも１つの他のノードシステムと TCP で結合されている。１つのノードシステムが他のノードシステムから TCP 結合を通じてコマンドを受け取ったとき，もしそのノードシステムがコマンドを受け取ったTCP結合以外のTCP結合を持っていたら，その TCP 結合を通じて他のノードシステムへそのコマンドを送信する。その後，そのノードシステムは受け取ったコマンドを解釈実行する。

グループ内のノードシステムは，完全２分木状になるよう、TCP で結合される。教師ノードシステムはこの２分木の根のノードである。もしグループ内のすべての TCP 結合が同時にデータを流すことができる場合、教師ノードシステムからコマンドが送信されてからすべての学生ノードシステムがコマンドを受け取り終わるまで時間は O(log N) となる。ここで N はグループ内のノードシステム数である。

グループマネージャは，グループに参加しているノードシステムの結合状態を記憶している。新規ノードシステムがグループに参加するとき、そのノードシステムはまずグループマネージャに問い合わせを行う。これに対して、グループマネージャは新規ノードシステムがグループに参加した時にグループ内のノードシステムの結合の形が完全２分木状になるよう、新規ノードシステムの接続先ノードシステムを探し出し、新規ノードシステムがグループに参加した状態を記憶し、新規ノードシステムに対して接続先ノードシステムの IP アドレスを教える。最後に新規ノードシステムが接続先ノードシステムに TCP 接続を行って新規ノードシステムのグループ参加手続きが終了する。

根に位置する教師ノードシステムが最初にグループに参加する。このとき教師ノードシステムは別のノードシステムに接続しない。

2．4 ノードシステムの構成

教師ノードシステムや学生ノードシステムは，「メインコントローラ」，「アプリケーション」，「イベントレコーダ/プレイヤ」，「コマンドトランシーバ」を含んでいる．図 2 にノードシステムの概略を示す．

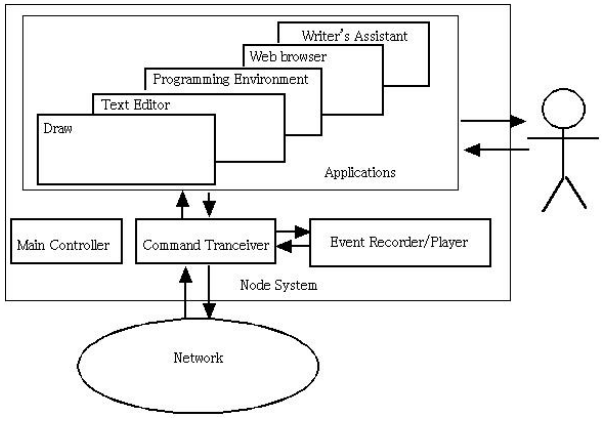


図 2．ノードシステムの構成

2.4.1 メインコントローラ

メインコントローラはグループへの参加や離脱，アプリケーションやイベントレコーダ/プレイヤの起動，グループ内のチャットを行う

プログラムである．図 3 に，メインコントローラの GUI を示す。

2.4.2 アプリケーション

ノードシステムは講義演習を行うのに比較的頻繁に利用されている、お絵かきソフト、テキストエディタ、BASIC に類似したプログラミング言語のプログラミング環境、Web ブラウザを単純化したアプリケーション、英作文支援システムなどを持っている。東京農工大で実施されている「情報」入試で使われている日本語プログラミング言語のプログラミング環境として、大阪学院大学と大阪市立大学で開発されている PEN もアプリケーションの一つとして利用できる。

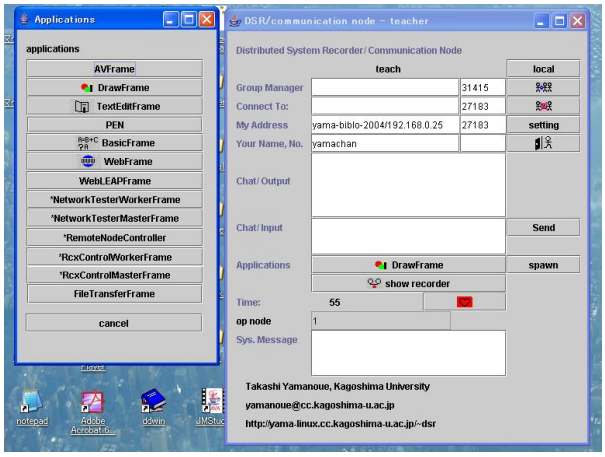


図 3．メインコントローラ

図 4 にお絵かきソフトと BASIC に類似したプログラミング言語のプログラミング環境を示す．この図において，写真がお絵かきソフト上に貼り付けられており，その上に，プログラミング環境のプログラムが幾何学模様を描いている．図 5 は Web ブラウザと英作文支援システムを示している．この英作文支援システムは，入力された文に含まれる文節の，インターネット上の出現頻度のグラフィカル表示などを行うものである。文節のインターネット上の出現頻度として，その文節をサーチエンジンで検索したときに表示される件数を使用している。図 6 に日本語プログラミング言語プログラミング環境の GUI を示す。

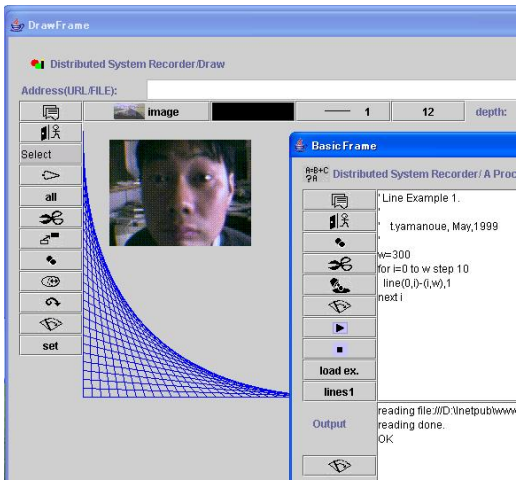


図 4．お絵かきソフトと BASIC に類似したプログラミング言語のプログラミング環境

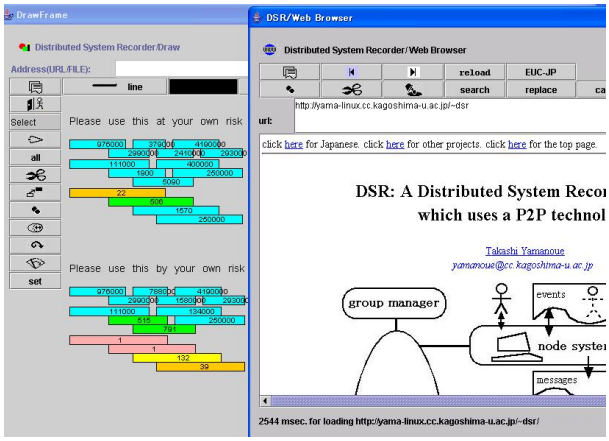


図 5．Web ブラウザと英作文支援システム

2.5 操作の記録再生の方法とグループの状態

操作の記録と再生は、イベントレコーダで行われる。グループの状態を変更はリモートノードコントローラで行われる。グループのアプリケーション操作状態として、教師のアプリケーション操作を学生に一斉に見せる教示(teaching)状態、すべてのノードが独立して操作を行える独立(local)状態、すべてのノード間で一つの操作を共有し、共同作業を行える共有(common)状態などがある。

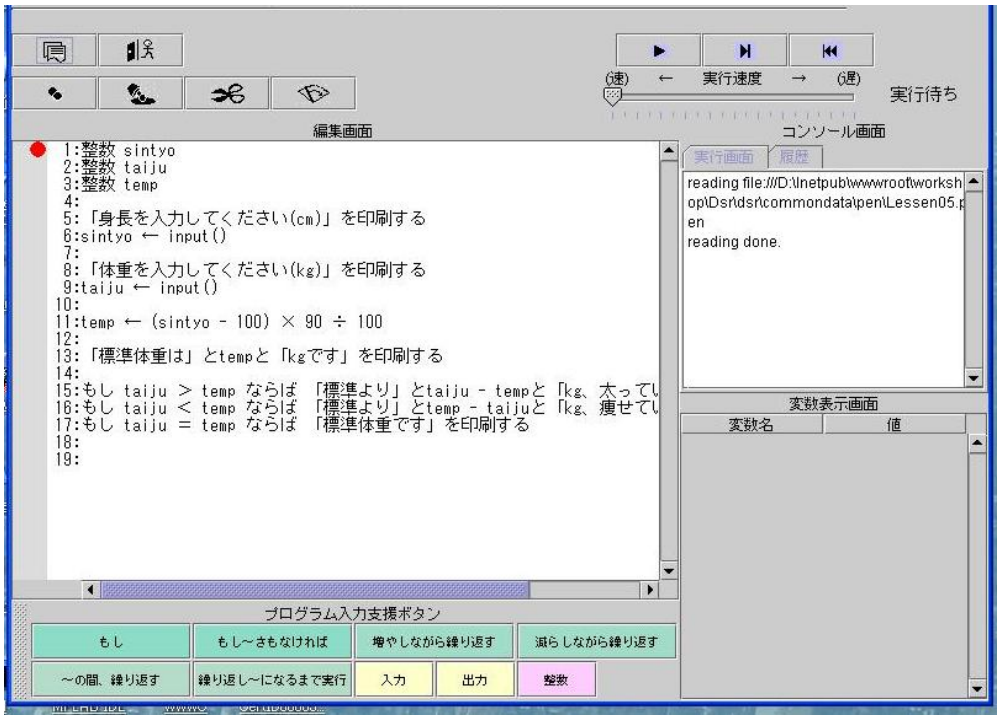


図 6．SOLAR-CATS に組み込まれた日本語プログラミング環境

アプリケーションの状態とは独立して、イベントレコーダについても、その遠隔作(remote)状態や local 状態がある。アプリケーション操作可能な個別操作(local)状態などがある。

アプリケーションを teaching 状態、イベントレコーダを local 状態にして、教師が学生に操作説明をしながら、その操作の記録を行い、次に、アプリケーションを local 状態、イベントレコーダを remote 状態にして、学生に演習させて、そのときのすべての学生が行う操作を一斉に記録することができる。

2.5.1 イベントレコーダ/プレイヤ

イベントレコーダ/プレイヤは教師ノードシステムなどの他のノードシステムから受け取ったコマンドの列や，そのノードシステム自身が生成したコマンドの列を，時刻と共に記録する．時刻を記録するために，イベントレコーダ/プレイヤはタイマーを持っている．このタイマーの時刻は，グループ内の他のノードシステムと同期が取られている．イベントレコーダが記録されたコマンド列をそれが記録された時刻に従ってコマンドトランシーバに与えることにより，記録された操作を再生することができる．図 7 に，イベントレコーダ/プレイヤと，それに記録されたコマンドの列の例を示す．コマンドの列の各行の左端の数字が，記録開始から，そのコマンドが記録された時までの経過時刻をミリセカンド単位で示している．その左の"m-" は，このコマンドが，自分自身のノードシステムのアプリケーションが生成したものであることを示す．他のノードシステムのアプリケーションが生成したものである場合は，"o-"となる．この右に続く文字列が，コマンド
である．

2.5.2 リモートノードコントローラ

リモートノードコントローラはグループ内アプリケーションの操作状態とイベントレコーダ/プレイヤの操作状態を制御する GUI で、教師ノードシステムのみで利用できる(図 8)。

コンボボックスで状態を選択し、send ボ

タンをクリックすると、その状態情報が状態を変更すべきノードすべてに送信され、それぞれのノードで状態が変わる。

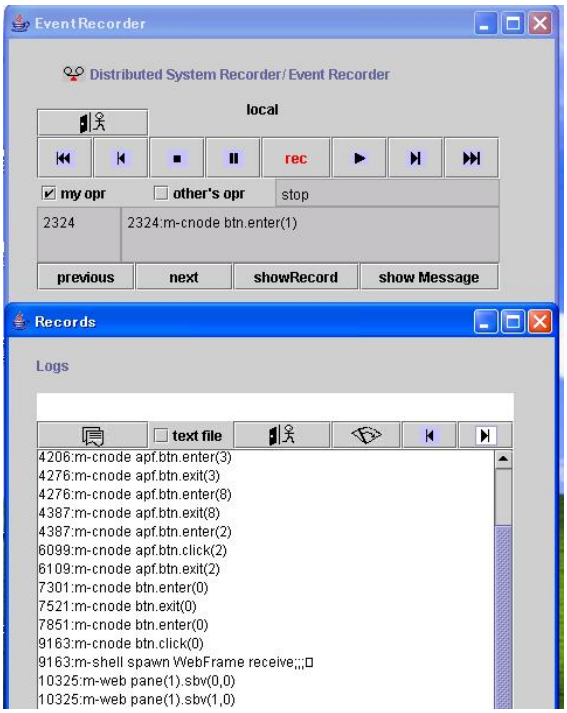


図 7. イベントレコーダ/プレイヤと記録されたコマンドの列

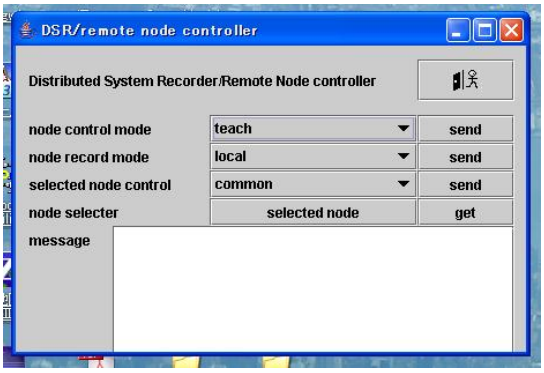


図 8. リモートノードコントローラ

3. 実験

SOLAR-CATS を使って以下のような実験を行った。

3.1 黒板の代替としての利用

教室の黒板で板書をする代わりに、SOLAR-CATS のお絵かきソフトを使い、実際の授業で WWW の概要を説明した(図 9)。学生は教師が指し示す場所を目の前で見ながら説明を聞けるため、黒板から遠い位置にいる学生も、差し障りなく授業を受けることができる。なお、このお絵かきソフトはハイパーリンクの機能を持っており、あらかじめ教材を作成しておけば、リンクを辿りながら説明を行うことができる。



図 9. SOLAR-CATS を使った授業の様子

3.2 遠隔地間での共同作業

SOLAR-CATS ではノード間は TCP で接続されているため、IP リーチャブルであれば異なるネットワーク(サブネット)に分散して配置された端末の上でも利用できる。このことを確認するため，本システムを使って、遠隔地にいるユーザ間で実時間オンラインゲームができるかどうかの実験を行った。複数のユーザで行う実時間ゲームは一種の実時間共同作業である。このことは，本システムがリアルタイムで行われる共同作業を伴った遠隔教育にも利用できることを表す。

このゲームは、約 40Km 離れた九州工業大学情報科学センターの戸畑と飯塚で、それぞれ 10 台のノードをグループに参加させ、戸畑と飯塚のそれぞれ 1 ノードで五目並べの対戦を行い、残りのノードでその対戦を観戦するものである。戸畑と飯塚の端末はそれぞれ異なるサブネットに接続されている。

この五目並べは本システムのお絵かきソフトを用いて行った。最初に画面上に碁盤を描き、その上に遠隔地にいるユーザが黒と白の円盤を順番に描くことによって対戦が行われる。

この実験で、遠隔地にいるユーザ間でスム

ーズに対戦が行われ、本システムが遠隔地間の操作共有型教育支援システムとして利用できることを確認できた(図 10)。ファイヤーウォールで隔てられた環境での利用については、別の機会に報告する。



図 10. 遠隔地間で五目並べを行っている様子

3.3 操作の記録と多数の端末上での一斉再生

1 つのノードでファイルの読み書きやマウスの操作を行わせ、その操作を記録し、端末教室の端末を最大 75 台使って同じ操作を再生する実験を行った。操作時間は約 6 分間で、端末台数を 1,2,10,75 と変化させて同じ操作を一斉に行うことができた(図 11)。この実験は Linux の端末で行ったが、同じ操作を Windows パソコンでも行うことができた。



図 11. 記録した操作を多数の端末で一斉再生

4. 関連研究

SOLAR-CATS の開発において、1 つのノードの操作を他の大量のノードに信頼性を持って短時間で伝えるため、文献[12][14]の研究成果を利用している。排他制御機構については文献[18]の研究成果を利用している。操作記録とその再生については、文献[19][19]の研究成果を利用している。アプリケーションの一つである英作文支援システムについては文献[13][15]の研究成果を利用している。

WISIWYS に関しては他に非常に多くの研究や実践が行なわれている([1][2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][16]など)。しかしながら、SOLAR-CATS が備えているすべての機能を持っているものは見当たらない。

5. 終わりに

P2P 技術を用いた教育支援システム SOLAR- CATS の機能について述べた。

SOLAR-CATS は大量の記録情報を生成する。現在この情報を整理解析するシステムがないため、授業の評価を行うことが簡単でない。今後、このような解析システムを加える必要がある。SOLAR-CATS でグループ内の一斉操作を行っているときに途中でノードが参加した場合、そのノードに他のノードの状態が反映する必要があるが、まだその実現を行っていない。葉以外のノードに障害が発生した場合、グループの一部にグループの情報が伝わらなくなる場合がある。遠隔講義を行うためには、音声の送信機能が必要であるがあるが、現在はまだ音声も利用できない。バグもまだ残っている。現在、これらの問題解決にあたっている。

謝辞

日本語プログラミング環境 PEN をご提供いただいた、大阪学院大学と大阪市立大学の関係者の皆様に感謝します。本研究の一部は平成 17 年度科学研究補助金基盤研究(C) 17500041 の補助を受けました。

参考文献

[1] Abdel-Wahab, H.M., Feit, M.A. “XTV: a framework for sharing X Window clients in remote synchronous collaboration”, Proceedings of

TRICOMM '91. IEEE Conference on Communications Software: Communications for Distributed Applications and Systems, pp.159-167, x+257.(1991)

[2] Maeno, K., Sakata, S., Ohmori, T. “Distributed desktop conferencing system (MERMAID) based on group communication architecture” ICC 91. International Conference on Communications Conference Record, IEEE, New York, NY, USA_ 520-5 vol.1, 3 vol. xxix + 1755, (1991)

[3] John Bazik, ” XMX - An X Protocol Multiplexor”, http://www.cs.brown.edu/software/xmx/home.html

[4] LBNL's Network Research Group, http://www-nrg.ee.lbl.gov/

[5] Andreas Rozek, ” TeleDraw”, http://www.uni-stuttgart.de/ Rus/Projekte/ MERCI/ MERCI/TeleDraw/Info.html

[6] Yamanoue, T., Shimizu, M., Fujiki, T., "Development of an electronic chalkboard for a large classroom by parallel programming and its application to English classes", Proceedings APITITE94, vol.2, pp.651-656, (1994)

[7] Kawai, T., Ikeda, M., Okada, M. “Point-to Multipoint Communication protocol on Window-based Network Presentation System”, Trans. IEICE Inf. & Syst. Vol. E80-D, No.2, pp.154-161. (1997)

[8] 池端裕子, 安達理, ”Universal Canvas, Java を用いた WWW ページ上での自由度の高い統合型協同作業支援システム”, 情報処理学会研究会グループウェア研究会報告, 22-8, pp.43-48, (1997)

[9] 吉野孝ほか, “インターネットを介したパーソナルコンピュータによる遠隔授業支援システムの開発と適用”, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2788-2791, (1998)

[10] 中川健一, 国藤進, ”アウェアネス支援に基づくリアルタイムな WWW コラボレーション環境の構築”, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2820-2827, (1998)

[11] 片山薫ほか, ”遠隔教育のための柔軟な講義検索手法”, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.10, pp.2837-2845, (1998)

[12] Hirahara, T., Yamanoue, T., Anzai, H. and Arita, I., ”SENDING AN IMAGE TO A LARGE NUMBER OF NODES IN SHORT TIME USING TCP”, Proceedings of the ICME2000, IEEE International Conference on Multimedia and Expo, New York City, USA, July 30-Aug.2, pp.987-990, (2000)

[13] Takashi Yamanoue, Toshiro Minami and Ian Ruxton, “Using the WebLEAP(Web Language Evaluation Assistant Program) to Write English Composition”, FLEAT IV, The Fourth Conference on Foreign Language Education and Technology-July 28 to August 1, (2000)

[14] 平原貴行, 山之上卓, 安在弘幸, 有田五次郎, “ TCP を利用した分散ネットワーク環境のための電子黒板システム”, 情報処理学会論文誌, vol.43, No.1, pp.176-184, (2002)

[15] Takashi Yamanoue. Toshiro Minami, Ian Ruxton, Wataru Sakurai, "Learning Usage of English KWICly with WebLEAP/DSR", Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology and Applications (ICITA-2004), 14-6, Harbin, China, 8-11 Jan. (2004)

[16] 上原ほか, “IT 教育向けデスクトップ管理ツール「MultiVNC」の開発”, 情報処理学会情報教育シンポジウム(SSS2004),pp.129-134, (2004)

[17] Takashi Yamanoue, "A Platform Independent Tool for Evaluating Performance of Computing Equipment for a Computer Laboratory", Proceedings of the 32nd annual ACM SIGUCCS conference on User services, pp.241-246, Baltimore, Maryland, US. 10-13 Oct. (2004)

[18] 山之上　卓, "P2P 技術を利用した分散システム上の実時間操作共有システム", 情報処理学会論文誌, vol.46, No.2, p.392-402, (2005)

[19] 山之上　卓, "プラットフォーム独立な教育用分散システムの性能評価ツール", 情報処理学会論文誌, vol.46, No.4, pp.912-921, (2005)