

遠隔印刷機能を持つ遠隔教育システム(edutab)の開発

鈴木新一^{†1} 水越一貴^{†2} 深澤昌志^{†2} 八代一浩^{†3} 鳥養映子^{†1}

インターネットを利用した遠隔教育を支援するシステムとして edutab を開発した。edutab では遠隔の一人の教師が 5,6 名程度の学習者に対して遠隔会議システムと併用して利用することを想定したシステムである。edutab システムでは教師が PC を持ち、学習者はそれぞれタブレット端末を持っている。この環境下でインタラクティブなコミュニケーションを実現するために、学習者がタブレット上で行う活動をモニタする機能、学習者それぞれと教師の間で共有する個別ホワイトボード機能を実装した。また、児童の IT 機器操作を低減するため、教師 PC のコンソール画面から、学習者のタブレット端末へテキスト、静止画、動画、スライドを遠隔提示する機能を実装した。

しかしながら、実際の教育現場では紙を利用した教育活動が広く使われている。そこで、教師と遠隔の学習者の間で紙教材を相互に交換できる機能を edutab に加えた。具体的には従来、1 台のデータセンターに配置したサーバだけで実装していたコアサーバに加えて教師および学習者の近傍にエッジサーバを配置する。エッジサーバにはプリンタおよびスキャナを接続する。コアサーバとエッジサーバの間は HTML5 技術を用いた通信を行う。これにより HTTP が利用できる環境であれば、紙教材を配布することができる。

edutab a Distance Education System with Remote Printing Functions

SHINNICHI SUZUKI^{†1} KAZUTAKA MIZUKOSHI^{†2}
MASASHI FUKASAWA^{†2}
KAZUHIRO YATSUSHIRO^{†3} EIKO TORIKAI^{†1}

We developed the edutab system that is a support system for distance education with the Internet. The edutab system assumes that a teacher educates remote 5 or 6 students with a TV conference system. A teacher uses a PC and students use a tablet terminal for the edutab system. In order to realize the interactive communication, we implement a monitoring function, individual white board function, and remote presentation function for educational activities between teachers PC and tablet terminals.

Papers, however, are commonly used for educational activities in a usual educational environment. Therefore we add a feature that teacher can exchange papers with remote students in educational activities, for the edutab system. The edutab system was originally designed as a concentrate system and the core server placed in a data center. New edutab system was implemented as distributed system because we have to control remote devices. Edge servers are introduced nearby teacher and students to control devices. A printer and a scanner are connected to this edge server. The HTML5 technologies are used for communication between the core server and edge servers. Therefore we can distribute papers to a remote classroom if edge servers can reach the core server with HTTP.

1. はじめに

インターネットの普及に伴い遠隔教育は広く行われるようになってきている。特にネットワークの高速化に伴い、遠隔会議システムを利用して離れた学習者と教師が高品質な動画像を用いて遠隔教育が行われるようになってきた。遠隔教育の対象は国内だけでなく、海外とも行われ、商用のサービスも存在している。

地域においても遠隔教育は重要である。地域には児童数が少ない学校もある。児童数が少ないことで、社会性の育成が困難になったり、グループ活動が行えなくなったりする問題が発生する。このような地域では、遠隔の教師と接続して授業を行うことにより、児童数が少ないことに起因する問題を解決できる場合がある。

遠隔教育を実施するために、遠隔会議システムが利用されることが多い。遠隔会議システムには、TV 会議システム[1]、Web 会議システム[2]、ビデオ会議システム[3]があるが、それぞれの用途に分けて利用することにより、高品質でしかも安価な遠隔教育環境を整えることができる。実際に、これらのシステムを利用した教育実践は数多くある。

しかしながら、これらのシステムを用いて児童を対象とした遠隔教育を行うためにはいくつかの課題がある。第一は教師と学習者の間の距離である。遠隔教育では物理的な距離があることから、心理的な距離も離れてしまい信頼関係を構築するのが難しいという問題がある[4]。特に、教師が複数の学習者を対象とした場合にはこの問題は顕著となる。第二は観察の方法に限られる点である。例えば通常の教室であれば、教師が机間巡視することにより発見できる問題も、遠隔授業では観察の方法がカメラしかないため、カメラに表示されないものは観察が行えない。例えば、学習者が漢字を書いているときなどに書き順などをリアルタイムで観察することが困難である。

このように児童を対象とした遠隔教育の場合には大学生

^{†1} 山梨大学大学院医学工学総合教育部
Interdisciplinary Graduate School of Medical and Engineering,
University of Yamanashi

^{†2} 株式会社 デジタルアライアンス
Digital Alliance Co., Ltd.

^{†3} 山梨県立大学国際政策学部
Faculty of International Studies Yamanashi Prefectural University

や社会人を対象とした場合と比較して、教育上の課題が多く、単に遠隔会議システムを導入するだけでなく支援するためのシステムが必要である。そこで我々は、これらの課題を解決するためにタブレット端末を使ったシステムの開発を行った[5][6]。

しかし、このシステムはタブレット端末を常に用いなければ遠隔教育が実施できない。実際の教育現場ではタブレット端末がない場合や、紙教材を使った教育を行いたい場合もある。紙教材は臨機応変な対応、記録を残す、一覧性といった点で大変すぐれており、教育活動の中では必要な教材である。そこで、我々が開発した edutab においてもプリンタとスキャナを利用して紙教材を教師と学習者の間でやりとりできる機能を実装した。

2. 構築上の課題

遠隔教育を行う上で、紙を利用するための手法としてはプリンタやスキャナなどの装置を利用する方法がある。しかしながら、これらの装置は基本的にはローカルネットワーク上で利用することを想定して作られている。そのため遠隔教育で装置を利用するためには、学習者が操作して印刷やスキャン操作を行う必要がある。学習者に相応のスキルがある場合には問題はないが、スキルがない場合や、年齢の低い小学生、外国人を対象とした場合には困難がある。

そこで、プリンタを遠隔の教師が操作し、教師側から教材を送ったり、学習者側にあるスキャナから情報を読み取ったりする必要がある。このような状況においてプリンタやスキャナを遠隔操作するためには、下記のような技術的な課題がある。

- (1) 同一ネットワーク以外のプリンタを利用する手法の開発。
- (2) 遠隔装置の制御（スケジューラのオン・オフ、スキャンの開始等）ができる。
- (3) 遠隔装置の状態（ビジー・アイドル等）観測ができる。

上記のような課題を解決する方法として、VPN を利用した方法がある。この手法は会社の事業所間を結んで利用する場合や、遠隔地から自宅のプリンタに印刷を行う際に利用される方法である。この手法は学校の対外ルータに VPN 機能を持たせて、対地があらかじめ想定されている学校であれば利用することが可能である。しかしながら、一般的には学校単位でのルータの管理は行われておらず、市町村単位の教育委員会で管理されているため、実現が困難である。特に市町村をまたいだ学校間ネットワークではほぼ実現はできない。

クラウドプリントサービスがある[7]。丸山らは大学内における教育用計算機システムの印刷サービスを学外の印刷システムと連携させたシステムの構築を行っている。学内の PC から印刷されたジョブは一度学外のプリントサーバ

に蓄積される。そして、利用者はジョブを指定することで、学内のプリンタやコンビニのプリンタを利用して印刷を行うことができる。このサービスを利用して学外のプリンタで印刷を行うことができるものの、利用できるプリンタは学外のプリントサービス会社の管理下におけるものに限定される。また、印刷を行う PC にもドライバ等のソフトウェアをインストールする必要がある。

Google 社が行っているクラウドプリンタサービス[8]はアプリケーションによって実現されている。Google クラウドプリンタサービスは非常に優れた仕組みであるが、プリンタが Google クラウドサービスに対応していないと利用できない。また、このサービスを利用して印刷ができるアプリケーションは限られたものである。特に学校では、教員が利用できるコンピュータにアプリケーションをインストールすることはセキュリティポリシー等により制限を受けている場合が多く、新しいアプリケーションのインストールが困難な場合もある。

HP 社[9]が行っている遠隔プリントサービス(ePrint)がある。このサービスも利用者は印刷を行いたいファイルをあらかじめ登録したメールアドレスにファイル添付を行いメールを送信する。ネットワークに接続されたプリンタは Web サービスを使って、クラウドサーバへ接続し、印刷対象のファイルをダウンロードする。そして、ダウンロードしたファイルを印刷することで実現している。この方法ではファイルを送る側が操作をしなくてはならない。教師側から学習者側に印刷を行う場合には問題はないが、学習者側から印刷を行うには問題がある。また、スキャナで読み取ったファイルを相手側に印刷する機能がない。

Epson 社[10]が行っている Epson Connect サービスがある。このサービスでは利用者が遠隔のプリンタを利用したい場合には、あらかじめ登録した Epson 社のメールアドレスにファイルを添付して送信する。Epson 社のメールサーバと遠隔プリンタは XMPP[11]を用いて通信を行い、このファイルをプリンタにダウンロードし印刷を行う。また、スキャナで読み取ったデータもメールアドレスに送信することで、相手側のプリンタに印刷することも可能である。しかし、HP 社の場合と同様に、学習者側から教師側に印刷を行う際には、学習者が操作を行わなくてはならないという問題がある。

3. 接続モデルの提案

前章で示した課題を解決する接続モデルを図 1 に示す。まず、学校間ネットワークを HTTP によるセッション開始が行える仮想ネットワークによってシームレスに相互接続する。セッションは学校側(Virtual Network Edge)からデータセンター側(Virtual Network Core)に向けて接続要求を行って開始する。これは、HTTP であればファイヤウォールや NAT の影響を受けにくく接続が開始できるためである。

この仮想ネットワーク上にデバイスコントローラとデバイスマネージャを配置する。デバイスマネージャはプリンタやスキャナなどの装置を直接管理し、入出力制御や装置の状態監視を行う。デバイスマネージャは管理下のデバイスがどのデバイスコントローラに接続されているかを管理し、要求に応じて適切なデバイスコントローラへメッセージ転送を行う。また、デバイスの状態も一括管理できるようにする。デバイスマネージャは仮想ネットワークが常に構成されているデータセンターに配置する。デバイスコントローラはデバイスが接続されている場所に配置する。

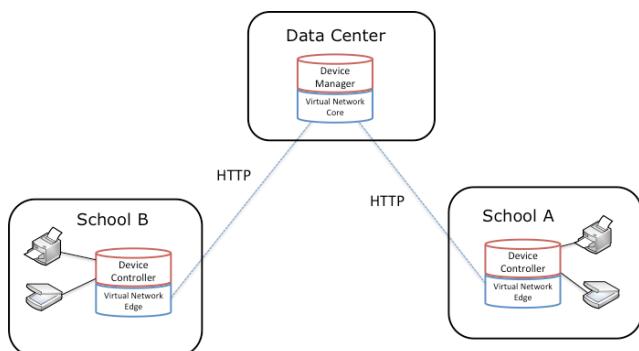


図 1 接続モデル

デバイスマネージャはこの環境上に接続するデバイスの状況を監視、制御ができるので、アプリケーションはデバイスマネージャに対して要求を行うことで、プリンタやスキャナの制御が行える他、指定したプリンタにファイルを印刷することもできる。

4. 通信の詳細

前章で示した接続モデル上で実際に行う通信についてより詳細に図 2 に示す。ここでは、仮想ネットワークには我々が開発を行った edutab ネットワークを一実装として説明をする。

- ① School A の PC から仮想ネットワークのセッション開始要求を HTTP を使って Data Center の HTTP サーバへ送る。
- ② HTTP サーバはセッションコントローラへ要求を送る。
- ③ セッションコントローラはセッションを開始できるようにであれば、その応答を HTTP サーバへ返す。
- ④ 応答を HTTP を使って返す。
- ⑤ edutab ネットワーク通信へ移行する（現在の実装では WebSocket と XMLHttpRequest を利用できる）。
- ⑥ edutab ネットワークを用いてデバイスマネージャとデバイスコントローラが通信を行う。

同様な通信手順を使って、School B と Data Center 間も通信の確立ができると、School A と School B の間においても通信を行うことができる。

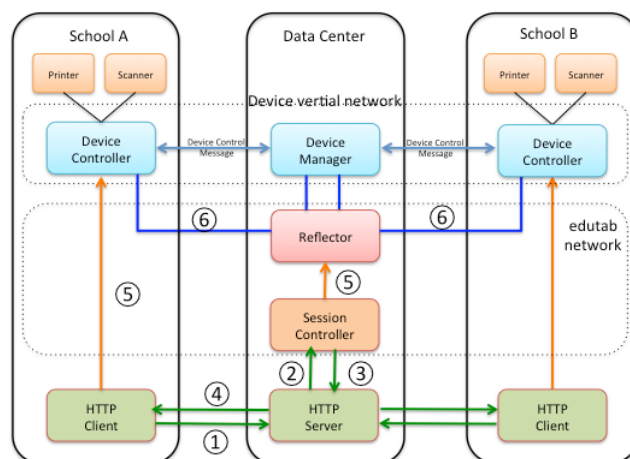


図 2 通信の詳細

5. 実装

提案した接続モデルに基づき実装を行った。

5.1 通信システム

通信の概要を図 3 に示す。一般的な小学校では、ファイヤウォール等が設置されており、エンドツーエンドの通信は困難である。そこで、この問題を解決する方法を我々は edutab ネットワークとして開発した[12]。まず、edutab ネットワークについて説明する。教師 PC と学習者タブレット端末間の通信は、HTTP トンネル技術を用いて、ブラウザからコアサーバに対して接続を行う。次にブラウザとコアサーバの間でネゴシエーションを行い双方向通信が可能なプロトコルを選択する。現在の実装では WebSocket と XHR(XML Http Request)が選択可能である。次にこれらの通信プロトコルを用いて、edutab メッセージを相互に交換して、教材提示や個別ホワイトボード機能の実現をしている。

次に、今回提案する接続モデル部分であるコアサーバとエッジサーバ間の通信について説明する。データセンターに配置されたコアサーバは HTTP サーバとして起動している。各学校のエッジサーバが起動すると、まず、管理下のデバイスの状況を確認する。そして利用できるデバイスが存在すると、コアサーバへ HTTP を用いて接続する。そして、接続が行えると WebSocket での接続を試みる。もし、WebSocket での接続が行えない場合は、XMLHttpRequest を用いた通信に移行する。これにより仮想的な edutab ネットワークが構築できたことになる。edutab ネットワーク上でデバイスコントローラであるコアサーバとデバイスマネージャであるエッジサーバが通信を行い、コアサーバへ接続している教師 PC からのデバイス制御命令を末端に接続されているプリンタ・スキャナへと伝える。

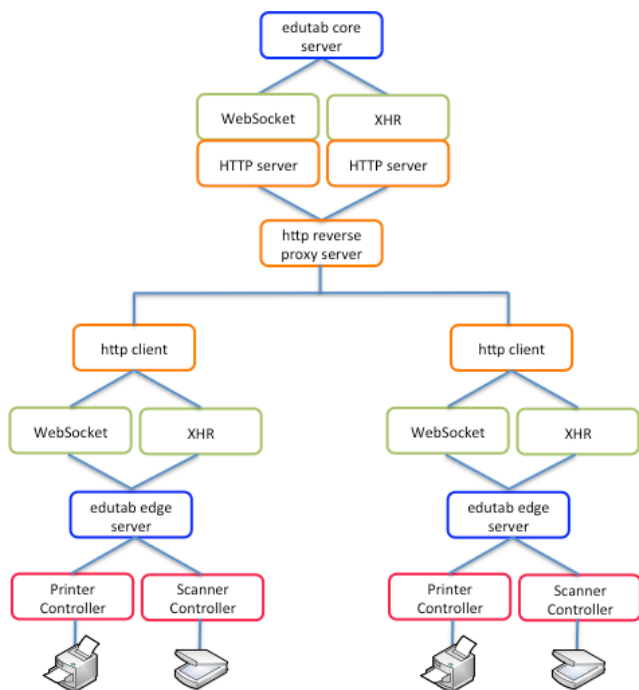


図 3 通信システム

edutab ネットワークにおける教材提示や個別ホワイトボード機能は、edutab メッセージとしてそれぞれのブラウザで発生したイベント情報を送り合って実現している。デバイス制御機能では制御情報を edutab メッセージとしてコアサーバとエッジサーバでやり取りする。制御情報の主な edutab メッセージを表 1 に示す。

表 1 edutab メッセージの例

Table 1 Examples of edutab message.

Function	Type	target	message
ファイルを受信	download	edge1	download.pdf
ファイルを送信	upload	edge1	upload.pdf
プリンタ情報取得	printerinfo	edge1	
スキャナ情報取得	scannerinfo	edge1	
印刷実行	pint	edge1	printout.pdf
スキャン実行	scan	edge1	scanfile.pdf

5.2 ソフトウェア構成

まず Data Center に配置されたコアサーバについて説明する。コアサーバは HTTP サーバ、リフレクタ、セッションマネージャ、デバイスマネージャから構成されている。それぞれはサーバサイド JavaScript(Node.js)によって構築した。各学校にはエッジサーバが配置されている。エッジサーバには、HTTP クライアント機能とデバイスコントローラ機能がある。HTTP クライアント機能は Node.js を用いて構築した。デバイスコントローラ部は、スキャナの制御には SANE(Scanner Access Now Easy)[13]、プリンタの制御には CUPS(Common Unix Printing System)[14]を用いて、それを Node.js を用いたプログラムによってデバイスサーバと通信できるようにした。プリンタとスキャナはこのエッジサーバに USB で直接接続されている。

5.3 スキャン機能

教師が指定したスキャナを操作することができる。教師 PC はコアサーバと通信を行っている。そのため、デバイスマネージャから指定したスキャナが接続されているデバイスコントローラへメッセージが届き、スキャナが起動する。スキャナから読み取ったデータは PDF 形式で、一度エッジサーバへ保存された後、コアサーバ内に保存される。

スキャン以外にもデバイスコントローラでは、スキャナの状態監視機能を持っている。

5.4 印刷機能

教師はスキャナ機能を用いてスキャンしてコアサーバ内に保存されている PDF 形式のファイルを指定したプリンタに印刷することができる。具体的には、コアサーバ内の PDF ファイルは指定されたプリンタを管理するエッジサーバへ送られる。そして、エッジサーバがデバイスコントローラにこのファイルを引き渡して印刷を行う。

印刷以外にもデバイスコントローラでは、プリントスケジューラの開始・停止、キューの削除機能も持っている。

5.5 ユーザーインターフェイス

プリンタの制御およびスキャナの制御は edutab の教員画面から行える。実装した画面を図 4 に示す。現在の実装では、それぞれのエッジサーバに接続されているデバイスの表示と印刷、スキャン機能のみを実装している。

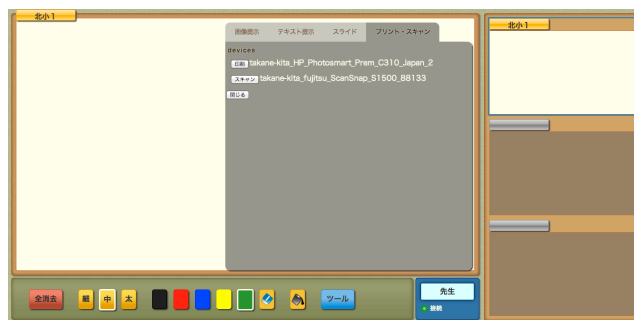


図 4 教師画面

6. 実験

6.1 実験内容

実装したシステムを利用して遠隔機能を実環境で利用した。山梨県北杜市の A 小学校と岩手県山田町の B 小学校の間では一昨年度から交流活動を行っている。2012 年度は Polycom 社の TV 会議システムと edutab を利用した交流を行った。2012 年度の edutab システムでは、プリンタおよびスキャナの機能は実装されていなかったため、PC と iPad を使ってクイズのやりとりなどに利用していた。2013 年度はこれに加えて遠隔印刷機能を実装することができた。

そこで、両小学校の児童会長が今年度の交流活動を行うことを確認した確認書の交換に本システムを用いた。具体的には、A 校の児童会長が確認書にサインをし、それを A 校のスキャナに挿入する。それを教師がコアサーバと接続

しているブラウザから操作を行い、コアサーバ内にスキャナの読み取り結果を格納する。次に、格納した PDF ファイルを B 校のプリンタに遠隔印刷する。B 校では印刷された確認書に B 校の児童会長がサインをし、B 校のスキャナに挿入する。A 校にいる教師は挿入されたことを TV 会議システムで口頭確認し、A 校からスキャナを操作し確認書をスキャンしてファイルをコアサーバへ格納する。そして、コアサーバ内のファイルを A 校のプリンタへ印字する。

この確認書の交換実験で、転送速度、ネットワーク負荷、印字品質の評価を行った。

6.2 実験結果

2013年7月19日に行った交流会で用いた環境を図5に、また機器の仕様を表2示す。

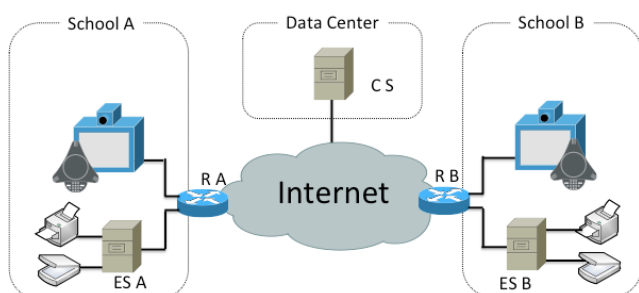


図 5 システム環境

表 2 仕様

Equipment	Specifications
Core Server(CS)	Linux CentOS Core2Duo 3.4GHz
Edge Server(ES A,B)	Mac mini Corei7 2.3GHz 4GB Memory
Printer	HP Photo Smart C310C
Scanner	PFU Scan Snap S1500M
Router(R A,B)	Yamaha RT1000
TV Conference	Polycom ViewStation

交流会の活動中の A 校, B 校のインターネットへ接続しているルータにおけるネットワークトラフィック (21 分平均) をそれぞれ図 6 及び図 7 に示す。

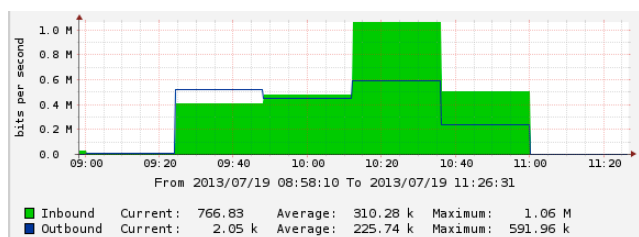


図 6 A 校のネットワークトラフィック

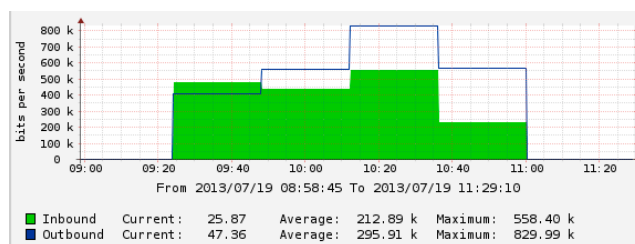


図 7 B 校のネットワークトラフィック

交流会で確認書の交換を行っている様子を図 8 に示す。

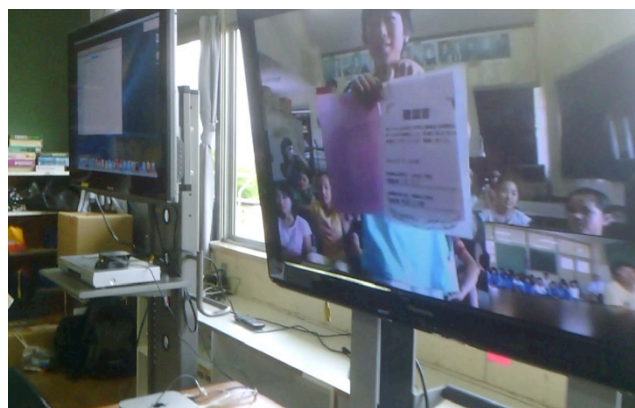


図 8 確認書の交換

6.3 考察

転送速度は、当日撮影したビデオを解析したところ、A 校でスキャナに紙をセットしてから、B 校で印字が開始されるまでに約 28 秒かかっている。この程度の時間であれば、交流活動を行っていく上では、交流活動のテンポを止めてしまうこともなく、活動を行うことができる。

ネットワークトラフィックは、9:25 から 11:00 までの活動の様子を記録している。まず、全体に平均して 500Kbps 程度のトラフィックが流れているが、これは TV 会議システムが消費するトラフィックである。10:15 分から 10:35 分の間は 1.0Mbps のトラフィックが流れている。この間に確認書のファイル転送が発生している。21 分平均のトラフィックになっているため、このような値となっているが、インターネットへの接続速度はそれぞれ 100Mbps となっているため、実際には短時間に 1.5Mbyte 程度のファイル転送が往復でされていた。トラフィックに関しては、より短い時間間隔での観察が必要であるが、これらの機器構成でインターネットへの接続が 100Mbps 程度あれば十分に短い時間で転送が行える。

今回の確認書は A4, カラー, 300DPI で行った。確認書は文字と背景にイラストが入っているだけであるため、この程度の解像度でまったく問題なく活字や手書き文字の識別が行えた。一方で、写真などを教材とする場合には、より精細な解像度も要求されるかもしれないが、これらについてはより詳細な評価が必要である。

7. おわりに

小学生を対象とした遠隔教育を支援するためのシステムとして edutab システムの開発を行った。edutab システムは HTTP トンネル技術を用いて実装されており、学校間の接続が困難であった場合でも接続ができる。このネットワーク上に教師と学習者の間で紙媒体を扱えるようにシステムに機能を付加した。この機能追加によりこれまでの集中処理方式から分散処理方式へとシステム構成も変更した。

実装したシステムを実環境において小学校の交流活動で実験した。実験した結果からは、転送速度、ネットワーク不可、印字品質に大きな問題はなく、円滑な交流活動を行うことができた。

今後の課題として、現在は単純に相手のスキャナから読み取ったファイルを印刷する機能しか実装していない。状態監視や多様な印刷形式に対応する必要がある。また、より詳細な評価項目を用いて実験を行い、システムの評価を行う必要もある。

謝辞 本研究の一部は平成 24-25 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援下に行われた。これらの関係者に深く感謝する。

参考文献

- 1) Polycom: <http://www.polycom.com/>
- 2) CISCO: Webex, <http://www.webex.co.jp/microsite/service/>
- 3) Microsoft: Skype, <http://www.skype.com/ja/features/>
- 4) 鄭 仁星, 他: 遠隔教育と e ラーニング, 北大路書房, 2006 年
- 5) 水越一貴, 鈴木新一, 安藤淑子, 八代一浩: 遠隔授業におけるタブレット端末を利用した教材提示の方法とシステム開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-CE-114, No. 9, pp. 1-8, (2012).
- 6) 片野雅弘, 八代一浩, 安藤淑子, 鈴木新一, 水越一貴: 多様なコミュニケーション手法を用いた遠隔日本語授業システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-CE-114, No. 10, pp. 1-7, (2012).
- 7) 丸山一貴, 関谷貴之: 学外システム連携による教育用計算機システムプリントサービス, 電子情報通信学会技術研究報告: 信学技報 111(484), 49-54, 2012-03-15
- 8) Google inc.:
<http://www.google.co.jp/cloudprint/learn/index.html>(2013).
- 9) HP: HP ePrint,
<http://h50146.www5.hp.com/products/printers/inkjet/eprint/>(2013).
- 10) EPSON Connect:
https://www.epsonconnect.com/guide/ja/html/probl_5.htm(2013.11.1)
- 11) EPSON Connect:XMPP,
https://www.epsonconnect.com/guide/ja/html/probl_1.htm(2013.11.1)
- 12) 鈴木新一,水越一貴,深澤昌志,八代一浩,鳥養映子: 学校間ネットワーク上に構築した遠隔教育支援システムの接続手法の提案とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.3, pp.1050-1060(2013).
- 13) SANE - Scanner Access Now Easy,
<http://www.sane-project.org/>,(2013.11.1)
- 14) CUPS: Common Unix Printing System, <http://www.cups.org/>, (2013.11.1)