

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00480

研究課題名(和文)電子黒板とタブレット端末を利用した学習支援システムの構築

研究課題名(英文) Development of a learning-support system by using an electronic blackboard and tablet PCs

研究代表者

宮尾 秀俊 (MIYAO, Hidetoshi)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：10239353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：電子黒板(教師側)と複数のタブレット端末(学生側)を利用したデジタルペン筆記を主体とした授業を想定して、下記2点から研究を行った：電子黒板側の筆記とタブレット端末側での筆記情報の同期と自動整形を行うシステムの構築、複数キーワードに基づく講義ビデオの検索システムの構築。その結果、電子黒板の筆記・編集情報をタブレット端末側にリアルタイムで転送して情報の同期をさせることに成功し、自動整形については一部の機能を実現した。講義ビデオの検索については、目的のキーワードを発声しているビデオ映像を素早く見つけることに成功している。

研究成果の概要(英文)：In a class, I assumed that there are an electronic blackboard by using a teacher and some tablet PCs by using students. In order to accelerate their learning, we have developed the following systems: (1) The system can synchronize writing information on the blackboard with those on the tablets in real time, (2) The system can search an object lecture video using multiple keyword queries. As experimental results, development of these systems was almost realized.

研究分野：知能情報学

キーワード：パソコンコンピュータ 電子黒板 学習支援システム 手書き文書の自動整形

### 1. 研究開始当初の背景

現在でも、主な授業形態は、教師が黒板に板書をして、それを学習者がノートに写しながら、授業を受ける形態である。しかし、このような授業では、学習者が板書内容を写すことにだけ注力してしまい、内容を理解して必要な点をノートにメモすることがおろそかになってしまったり、教師が学習者の板書を終えるまで、待っていなければいけない。また、ノートには文字などの筆記情報しか残らず、教師の口頭説明した音声などの情報は残らないといった欠点がある。

そこで、最近では、電子黒板とタブレット端末を用いた授業システムが開発されている。eトーカー製のGL50 for schoolでは、電子黒板にペン筆記した内容を学習者側のタブレット端末にリアルタイムに表示する機能を備えている。しかし、単に相互の筆記情報を表示するだけであり、教師側の筆記と学習者側の筆記を行った場合に発生する表示上の問題については考慮されていない。例えば、教師側が筆記した後に、学習者がそこに説明メモを追記し、さらにその後に教師が追記した場合、学習者メモと教師の追記文書が重複表示されてしまう可能性がある。このような場合でも、文書を見栄え良く自動整形してくれると良い。また、ペンでの手書き筆記の過程では、すでに筆記した部分に追加・削除・移動・コピーなどの編集を加えたい場合があるが、これらの編集後に筆記内容の配置を自動整形するシステムは見当たらない。

一方、筆記以外の情報をノートに付加する試みとしては、デジタルペンとICレコーダーを組み合わせた製品が開発されている。学研製のエコスマートペンは、ペン筆記と同時に、その際の音声情報を記録することにより、後に筆記された部分にペンを置くと、そのペン筆記の際に録音した音声部分が再生される機能を持つ。しかし、メモを書いている時間も音声は流れており、その場合には、目的の音声を探し出すために、該当箇所の音声を長時間、聞かなければいけないことになってしまう。一般に、ユーザーは音声全体を聞いて目的の箇所を探し出す作業より、その音声をテキスト化した文字情報を見て、目的の箇所を探し出す作業の方が、より高速に行えると考えられる。また、復習時には、授業音声だけでなく、授業の動画を見たい場合も多い。そこで、授業をビデオ撮影するとともに、そこから抽出した音声を音声認識して、ノートの要所に音声テキストの要約(キャプション)を表示し、さらにキャプションから目的のビデオ動画・音声テキストを呼び出せる機能があると良い。これにより、学習者が復習の際に、再度、講義ビデオを観たい場合に、目的の箇所を素早く探し出して再生することが可能になると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、電子黒板(教師側)と複数のタ

ブレット端末(学習者側)を利用したペン筆記を主体とした授業を想定し、通常の板書・ノート筆記に比べて、より理解力が向上する学習環境を構築することを目的とする。そのために、電子黒板とノート(タブレット側)における編集機能を備えた筆記環境を構築し、同時に電子黒板とタブレット端末筆記のリアルタイム連動・内容整形を実現する。また、ノートへの音声キャプション付加と講義ビデオ再生を実現する。

### 3. 研究の方法

本研究では、次の2つのシステム開発を行った。(1)電子黒板の筆記情報を複数台のタブレット端末に同期させるとともに、筆記情報を自動整形し、編集できる機能をもつシステムを実装する、(2)講義ビデオから音声部分を抽出し、音声認識結果に基づき、複数キーワードを用いた直感的なビデオ検索システムを構築する。以下、上記(1)、(2)の手法について、その概略を説明する。

#### (1) 電子黒板とタブレット端末を利用したペン筆記の同期

##### ① 手書きメモの自動整形システム

本研究に先立って、従来研究では、電子黒板単独で動作する手書きメモの自動整形システムを構築している。システムのスクリーンショットを図1に示す。ここで、左側に並んだアイコンから、文字記述モード・図形記述モード・編集モードの切り替えを行い、右側のメインウィンドウで手書きメモの筆記ができる。なお、編集モードでは、2ストロークで表現される4種類の編集ジェスチャを自動識別して文字・図形の編集(挿入、削除、移動など)を行えるようになっている。

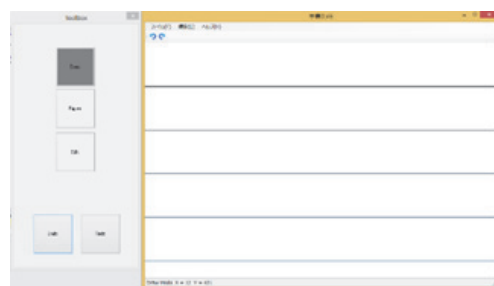


図1 手書きメモ自動整形システム

##### ② 筆記情報の同期システム

本研究では、筆記情報を送信するサーバシステム(電子黒板側)と、筆記情報を受信するクライアントシステム(タブレット端末側)を実装した。サーバとクライアントは非同期のTCP/IP通信で接続する。クライアントはシステム起動時にサーバのIPアドレスを入力することでサーバと接続する。また、複数ページでの筆記が可能のように、それぞれ独立した筆記領域を持つ「ページ」を導入した(図2右下)。

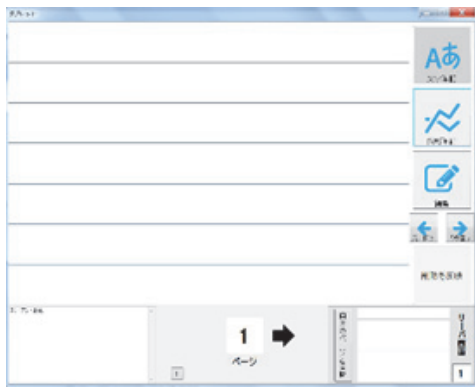


図2 クライアントの筆記環境

### ③文字・図形筆記の同期

サーバの文字筆記情報のクライアントへの転送は図3に示す下記3段階で行う。

- サーバで1ストローク筆記が終わる毎に、各点の座標値を「x 座標:y 座標:」に整形 (図3の①)
- 1点ずつクライアントに送信。最後に、ストロークの終わりを示すデータ「End:」を送信 (図3の②)
- 受信したデータを「:」で分割、ストロークを再表現 (図3の③)

図形筆記情報の同期もほぼ同じ流れだが、作業B)については、1つの図形のストロークを全て送信し終わったあとに、図形の終わりを示すデータを送信して、文字と区別している。

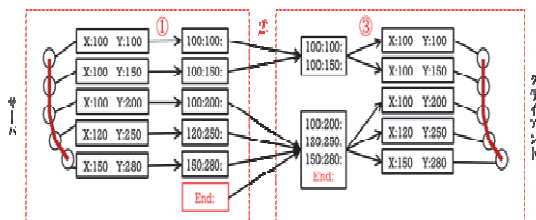


図3 文字ストローク情報の転送

なお、クライアント側では、サーバ側とは無関係にメモを書くことができるため、サーバから受信した筆記情報をそのまま、クライアント側の画面に表示しようとする、両者が重なってしまう場合がある。このような場合は、下記ルールで文字や図形を重ねないように移動させる。

- 文字同士・図形同士が重なった場合は、クライアント側の文字 (図形) を移動させる。
- 文字と図形が重なった場合は、サーバ、クライアント関係なく文字の方を移動させる。

### ④ 編集機能の同期

サーバ側で行った文字・図形に対する編集情報のクライアント側への転送は次のように行う。サーバ側では実行した編集機能名と編集ジェスチャ (2 ストロークで表現) の始

点、終点情報をクライアントに送信し、クライアント側では、受信した編集機能名と編集ジェスチャ情報から、対象の文字・図形に対して編集を実行する。ただし、削除の反映は、そのまま、自動的に削除されると支障がある場合があるので、確認機能を設けた。具体的には、クライアント側での削除対象ストロークの色を薄く表示して削除が保留されていることを知らせ、システム画面でアイコン「削除を反映」が押された場合に、ストロークを削除するようにした (図2参照)。一方、ボタンを押さずに筆記を続けると色が元に戻り、削除は行われなかったこととする。また、移動機能は、クライアントで既に移動させていた文字や図形には反映させないこととした。

(2) キーワードを用いた講義ビデオの検索システムの構築

① 講義ビデオからの音声抽出とテキスト化  
まず、講義ビデオから音声部分の抽出を行う必要がある。これには、フリーソフトの Any Audio Converter を利用した。次に、抽出音声に対して、商用ソフトである AmiVoice SP2 ((株)アドバンスト・メディア) を用いて、音声認識を行い、音声をテキスト化する。AmiVoice には、事前に語句を登録しておく、それらの語句を優先的に認識してくれる機能が備わっている。そこで、本システムでは、あらかじめ授業担当教師が指定したキーワード (後にユーザーがこれらの中から目的のキーワードを指定する) を登録することによって、指定キーワードを音声認識されやすくなるように設定した。AmiVoice によって得られる音声認識の結果は、図4のような、XML形式データファイルである。

```
<content endPos="6112" startPos="5872">この</content>
<content endPos="6662" startPos="6112">音声</content>
<content endPos="7042" startPos="6662">講義</content>
...
```

図4 音声認識結果のデータ形式

ここで、startPos 部は音声の発話時刻 (ビデオ先頭からの経過時間[ms])、endPos 部は音声の終了時刻、content タグで囲まれた部分は発音語句である。これらのデータファイルから語句・発音時刻・終了時刻の情報を持つ要素を発音時刻順につなげたリストを生成し、これを用いて次節のキーワード検索とビデオ表示を行う。

### ② キーワード検索と GUI の開発

実装したシステムのスクリーンショットを図5に示す。画面の下部には、授業担当教師が指定したキーワード群を表示し、ユーザーはこの中から、複数の検索キーワードを指定

可能である（現行では、最大3つまで指定可能）。選択された各キーワードについて、前述の音声認識結果のリストをたどることにより、キーワード文字列に一致する語句を抽出し、対応する要素の発音時刻情報に基づき、キーワードバー（図5参照）に縦棒を表示する。ユーザーが、各キーワードの出現状況を見ながら、キーワードバーの任意の部分をクリックすることにより、その時刻からのビデオ映像を上部ウィンドウで視聴可能である。

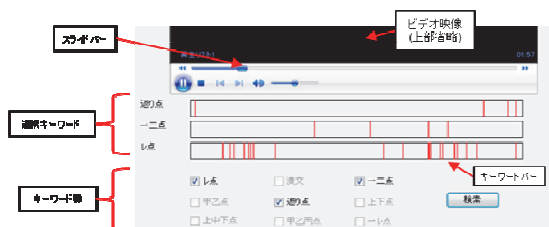


図5 検索システムのスクリーンショット

なお、ビデオ映像下にスライダーを配置し、ユーザーがこれを操作することによって、検索キーワード出現位置前後の映像にも簡単に移動できるようにした。

#### 4. 研究成果

##### (1) ペン筆記システムの研究成果

実験では、サーバ1台、クライアント11台でシステムを構成し、サーバ側で筆記した文字・図形・挿入操作がクライアント側に反映されるまでの時間を3回測定した。それぞれの平均値を図6に示す。文字・図形の反映時間の平均は0.3秒程度であり、挿入の平均は0.4秒程度であった。したがって、ほぼリアルタイムで反映されていることが分かる。しかし、クライアントGの文字反映時間の平均が662.8[ms]と、他に比べて遅かった。このことから通信状況や端末により反映時間が遅くなる可能性があることもわかった。この問題は、送受信するストロークのサンプリング点を減らし、データ量を削減するなどの手法を適用することで解決できると考えられる。

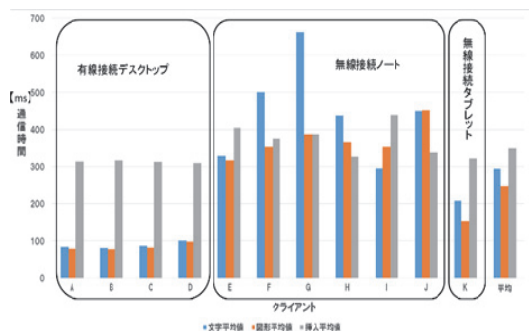


図6 反応速度に関する実験結果

一方、本システムを被験者5名に使用してもらい、5分間の授業を行ない、システムの使い勝手に関する評価実験を行った。アンケート結果を表1に示す。アンケートは5段階

評定で、5が最も良い、1が最も悪いを示す。ユーザーインターフェースに関しては、「現在どのモードを使用しているか分かりづらい」「サーバの筆記画面が小さくて見づらい」といった理由から、それらに関する評価が低くなっている。このことからユーザーインターフェースについてはさらなる改良が必要である。筆記情報の反映については、文字や挿入がユーザーの意図しない位置に反映されてしまうという問題が多く指摘された。これはサーバ側の筆記・編集操作した位置にあるクライアントのオブジェクト（文字や図）にそのまま反映しようとするためである。この問題は、サーバ側のオブジェクトとクライアントのオブジェクトの対応を正確に取ってから、反映位置を決定することで解決できると考えられる。また、クライアントが筆記中はサーバ側の筆記を反映しないよう、変更が必要である。

表1 ユーザー評価実験の結果

評価項目	評価平均値
IPアドレス入力画面	4.4
モード切り替えボタン	3.8
ページ切り替えボタン	4.2
サーバの筆記表示画面	3.8
サーバの文字・図形の反映	3.3
サーバの編集の反映	4.0
システム全体	3.8

##### (2) 講義ビデオの検索システムの研究成果

音声認識結果の性能を測るため、被験者1人が録音した約18分の音声を用い、11個のキーワードを指定して認識実験を行った（キーワードの合計出現回数は114回である）。その結果、適合率が平均91%、再現率が平均49%であった。また、AmiVoiceに登録した場合は、適合率が平均97%、再現率が平均81%に向上した。これより、指定キーワードの登録が有効であることが確認できるとともに、十分な認識性能が得られていることが確認できた。

次に実際の講義ビデオ5本（長さは8分～14分）について、複数キーワードを設定して、システムの使い勝手を検証した。その結果、キーワードを指定してからキーワードバーを表示するまでの時間、バーをクリックしてから映像再生までの時間も短く、かつ目的のキーワードを発声しているビデオ映像を素早く見つけることができた。また、複数キーワードの出現状況を見ながら検索できる優位性についても確認できた。ただし、問題点としては、キーワードに完全一致している部分しか検索できない点、教師があらかじめキーワードを指定しなければいけない点が挙げられる。

以上、本研究では、ペン筆記システムにおける電子黒板側（サーバ側）の筆記とタブレット端末側（クライアント側）での筆記情報

の同期と整形についてのシステム構築、ペン筆記システムに組み込む予定のビデオ映像検索システムの構築を行ってきた。これにより、教師の板書と学習者の筆記の整合性を考慮した手書きシステム構築の実現可能性を示すことができ、かつ復習時に利用する講義ビデオの検索についても、キーワードに基づく検索が行えるシステムを構築することができた。しかし、当初の目的である、使い勝手の良い学習システムにはなっていない。特に電子黒板側の情報に基づくタブレット側での自動整形に不具合がみられる点、講義ビデオ音声から自動的に授業の音声キャプションを作成してノートに付加する機能が未実装な点が問題点として挙げられる。今後は、これらの点を中心にシステムの改良・拡張を行っていく予定である。

## 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計2件)

- ① Hidetoshi Miyao, Keisuke Nakamura, Shinya Nakazawa, and Minoru Maruyama, A Pen Gesture-Based Editing System for Online Handwritten Objects on a Pen Computer, Proc. of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction, Part I, CCIS 713, pp.177-184, 2017.
- ② 宮澤卓士、白井啓一郎、宮尾秀俊、丸山稔、キーワードを用いた講義ビデオの検索システムの構築、電子情報通信学会信越支部大会、7B-2、p. 92、2016.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮尾 秀俊 (MIYAO, Hidetoshi)  
信州大学・学術研究院工学系・准教授  
研究者番号：10239353