

# 簡易視覚記号を用いた学習用コンテンツの自動編集システム

井上 亮文

東京工科大学 コンピュータサイエンス学部

〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

## An Automatic Indexing System for Lecture Videos using Simple Highlighting

Akifumi Inoue

School of Computer Science, Tokyo University of Technology

1404-1, Katakuramachi, Hachioji, Tokyo 192-0982, Japan

### 1 はじめに

大学が講義をインターネットで無料配信する OCW (Open Course Ware) や、オンライン受講に加えて試験やレポートを課して修了証を発行可能な MOOCs (Massively Open Online Courses) といった学習環境が普及し始めている。特に EU 諸国における MOOCs は 2014 年 9 月時点で 770 ものコースが開講されるなど大きな注目を集めている [1]。このような背景から、オンライン学習用講義動画コンテンツの需要が急速に高まっている。

現在主流のスライドを用いた講義では、講師が事前に作成済みのスライドに沿って説明をしていく。1 枚のスライドは見出しと内容から構成され、スライドの切り替わりは内容の切り替わりを示す。講義の進行と教材の構造は定型化されており、電子的に処理がしやすい。そのため、講義中の見たいスライドへ移動するなどのランダムアクセスが可能な動画を自動生成する研究や製品は多い [2, 3]。

これに対し、数学や物理などの基礎教養科目では、現在でも黒板を用いて実施する。また、語学やゼミなど少人数クラスではホワイトボードも多用される。この種の講義は手書きの板書を多用するため、電子的な自動編集を施すのが難しい。結果として、編集側が手動でランダムアクセスのためのインデックスを作成したり、視聴者が動画の再生位置を手動で探したりしているのが現状である。

本研究では、黒板やホワイトボードを使った板書を用いる講義や議論を収録した動画から、学習に有用なコンテンツを自動的に生成するシステムの構築を目的とする。この目的達成のため、板書担当者が簡単に記入可能な「簡易視覚記号」を用いたプロトタイプシステムを 2 種類開発し、評価した。

本論文の構成を以下に示す。2 章では開発するシステムの要求条件について述べる。3 章では黒板を用いた板

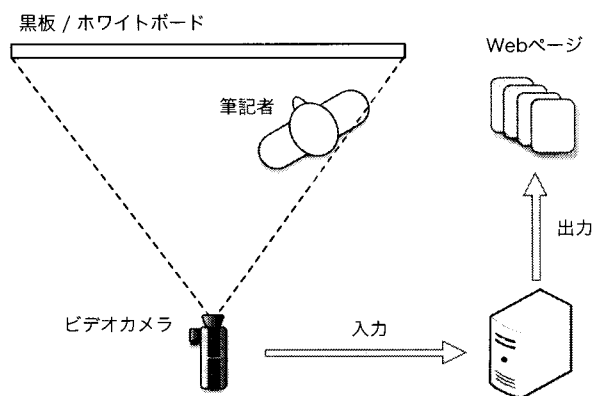


図1 想定する撮影環境

書講義向けシステム Orcus について述べる。4 章ではホワイトボードを用いた議論向けシステム MeetingShelf について述べ、5 章で本研究をまとめる。

### 2 要求条件

本研究でシステムを設計・実装するにあたり、以下の 3 点を重視した。

1. 簡易な撮影機材
2. 板書担当者への負担が少ない収録
3. 振り返り視聴への特化

#### 2.1 撮影機材

本研究では、黒板やホワイトボードに板書する様子を、市販の Full-HD 対応ビデオカメラ 1 台で撮影する環境を想定する (図 1)。黒板やホワイトボードに電子的な機能は不要である。

これまでの板書収録システムの多くは、電子黒板や自動追跡カメラなど特殊な設備を必要とする [4]。すでに設置済みの機材や、一般家庭でも普及している機材で撮影設備を整えることができれば、導入にかかるコストを大幅に抑えることが可能である。

## 2.2 収録方法

動画を撮影するにあたっては、板書担当者は可能な限り機器操作や特殊な動作をせず、通常の講義と同じように振る舞えるようにする。操作に気を取られて説明の円滑な進行が妨げられるのは本末転倒であり、受講側のモチベーション低下にもつながってしまう。

## 2.3 振り返り機能

学習コンテンツは、その講義を初めて受講する学生による新規視聴と、受講済みの学生による復習視聴による2種類の形態が考えられる。本研究では後者を扱う。

新規視聴では、撮影した動画を最初から最後までひと通り視聴することが求められる。これに対して復習視聴では、公式や講義中にわかりにくかった説明を選択して視聴する。必要な説明に即座に移動できたり、その説明を時間・場所を問わず繰り返し確認できることが重要である。

## 3 板書講義の自動編集システム Orcus

2章の要求条件に従い、板書講義の映像から復習に適した形式でコンテンツを出力するシステム Orcus を開発した。紙面の都合から、本稿ではシステムとその機能の紹介に留める。性能やアルゴリズムの詳細については文献 [5] を参照されたい。

### 3.1 システム概要

図2に Orcus を用いた板書講義の進め方を示す。講師は講義開始前、黒板全体が映る位置にビデオカメラを設置して録画ボタンを押す。講義終了後にはこの動画をコンテンツサーバにアップロードするだけでよい。講義の撮影に関して、講師には特別な知識や技術は必要ない。

講師は講義中、図2のようにカラーマグネットシートで板書を囲いながら講義を進める。講師はどの板書にどのマグネットを付与するかを意識する必要があるが、この動作はチョークによる下線や色の使い分けと類似している。マグネットを貼り付けるタイミングは、板書を書きながらでも、後になってからでもよい。講義方法による講師への負担はチョークのみの場合と比較して大きく変わらない。

サーバは動画からマグネットを貼った位置や時間などを自動的に解析し、図3のようなコンテンツを生成する。トップページである講義一覧ページ (a) には、アップロードされた講義の板書のサムネイルが表示されている。講義を選択した後に表示される講義配信ページ (b) 上部 (1) には、その講義の見出しを表す板書のサムネイルが表示されている。ページ中央左 (2) には、講師だけをズームアップした講師付近動画が表示される。ページ中央右 (3) にはシステムが生成したインデックスが表示

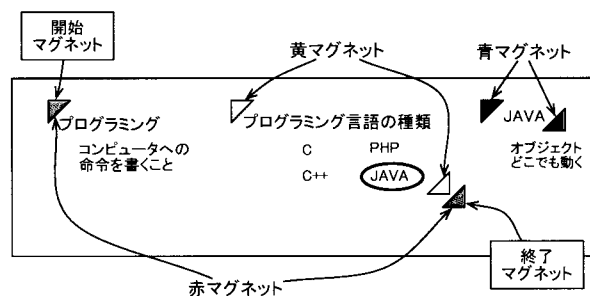


図2 Orcus を用いた板書講義の進め方

される。ページ下部 (4) には、文献 [6] の技術を用いて講師の姿を除去した画像が (2) の動画と同期して表示される。

### 3.2 講義インデックス

Orcus では、数式や図に黄マグネットを、重要なキーワードに青マグネットを付与しながら講義をすすめる。このマグネットに囲まれた板書領域はサーバ上で切り抜かれた後でサムネイル化し、講義一覧ページや講義配信ページに表示される。これを講義インデックスと呼ぶ。講義インデックスにより、視聴者は複数の動画を1つ1つ再生しなくても復習したい内容を含む動画の特定が容易になる。

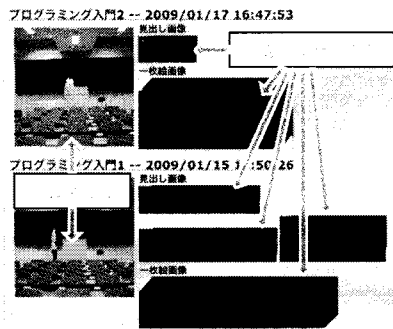
### 3.3 説明インデックス

重要なキーワードに付与された青マグネット内のサムネイルは、動画の再生時刻を移動するインデックスとしても利用できる。これを説明インデックスと呼ぶ。

説明インデックスの動作を図4に示す。Orcus の視聴者は、主に講師付近動画と講師除去画像を閲覧しながら学習をする。図4上部では動画の再生時間が4:15を示している。この状態でインデックス表示部にある説明インデックスの見出し画像を選択すると、その見出しを書き始めた再生時間である0:18にジャンプしているのが確認できる。説明インデックスにより、視聴者は再生カーソルを調整しなくても復習したい説明に即座にアクセスできる。

### 3.4 区間インデックス

Orcus では、数式の証明のように一部分だけでもコンテンツとして成立するものに赤マグネットを付与しながら講義を進める。このとき生成されるインデックスを区間インデックスと呼ぶ。



(a) 講義一覧ページ



(b) 講義配信ページ

図3 Orcus が生成するコンテンツ

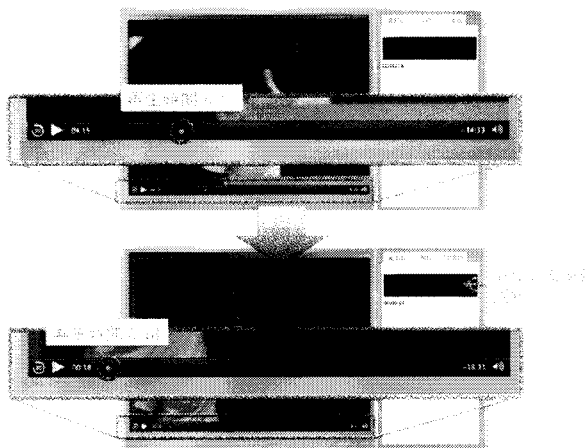


図4 説明インデックス

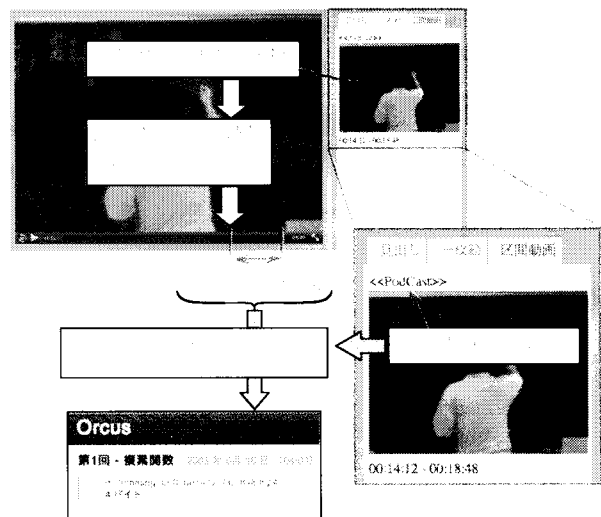


図5 区間インデックス

区間インデックスの動作を図5に示す。図5右上にある区間インデックスの画像を選択すると、説明インデックスと同様、その説明の開始時間である 14:12 へ再生カーソルが移動する。また、区間インデックスの画像下部には 00:14:12 - 00:18:48 のように、説明の開始時刻と終了時刻が表示されている。“PodCast”のリンクを選択するとこの区間だけを切り出した動画のRSSが配信される。これを iTunes などに登録すればこの区間動画を携帯端末で持ち出し、いつでもどこでもくり返し復習をすることができる。

### 3.5 システムの利用評価

#### 3.5.1 方法

提案システムがどの程度講師の負担になるかを知るために、講義歴 10 年以上の男性講師に、実際にシステムを利用した講義を行ってもらった。講義後、システムについてのアンケートとインタビューを実施した。

アンケートの項目を表1に示す。アンケートでは、マグネットを貼る・剥がすなどの行為に対して「かなり○した・○○した・あまり○○しない・○○しない」の4

段階で答えてもらった。また、項目(1)(2)(3)ではその選択肢を選んだ理由も記入してもらった。このアンケートにより、講師がマグネットを付与しながら講義を行うことをどのように感じたかを把握する。インタビューでは、講師とともに撮影した動画を視聴しながら講義を振り返った。これにより、ある板書に対してマグネットを貼ったことの是非や、講義を振り返って気になったことを聴取した。

講義の科目は数学とし、1回20分の講義を異なる内容で計3回行った。1回目は、講師自身が講義を円滑に行うために板書内容を事前に整理したノート(以下、講義ノート)を用いて講義を行った。2回目は、講義ノートを用いた上で問題を解くための演習時間を設けて講義を行った。3回目は、講義ノートを用いずに講義を行った。これにより、講義方法の違いによるマグネットの付与方法の違いを比較する。アンケートは1回目の講義の後に行った。インタビューは各講義の終了後に行った。

表1 アンケートの内容と結果

項目	回答
(1) 講義をする際に「マグネットによる編集」を意識したか?	あまり意識しない
(2) 講義中にマグネットを貼る行為は負担になるか?	あまり負担にならない
(3) 講義中にマグネットを剥がす行為は負担になるか?	あまり負担にならない
(4) その他, 自由意見を記入	後述

講義は 250 人程度が入れる教室で行った。黒板のサイズは幅 7.2m × 高さ 1.2m である。Full-HD 対応ビデオカメラは黒板全体が撮影できるように黒板から 11m 後方に設置した。

### 3.5.2 結果および考察

表 1 のアンケート結果から「マグネットによる編集」をあまり意識しないという回答が得られた。この理由としては「数学の講義ではある程度講義資料がまとめてあり、その時点で構造化が終わっているため、それに沿ってマグネットを貼り付ければよいから」ということであつた。「マグネットを貼る・剥がす行為」は負担になるかというという問に対しては、「マグネットを貼らないことに越したことはないが、あまり負担にならない」という回答が得られた。

次に、講義ノート（事前準備）の有無で結果を比較した。講義ノートありでは、ノート上で内容の構造化がされているため講師は迷うことなくマグネットを貼り付けていた。また、講義後のインタビューでも「講義ノートがあるとマグネットの貼り忘れが発生しない」との意見が得られた。一方、講義ノートなしでは、「マグネットの色や位置を迷う」や「(マグネットでの編集を) 多少意識する」という意見が得られた。実際にマグネットで囲った領域を、マグネットを貼り直すことで拡張する事例が見られた。

講義内容がインタラクティブに変化する場合、講義ノートを用いてもマグネットの付与で迷う可能性がある。これは講義回数を重ねることによる「慣れ」で発生頻度が減少していくと考えられる。インタビューでも「回数を重ねるごとに慣れてくる」という意見を聞くことができた。

以上の結果から、マグネットを付与しながら講義を行うことはそれほど負担にならないと考えられる。講義ノートを用いた場合と用いない場合とでは、講義ノートを用いた方がよりシステムをうまく利用できることがわかった。講義ノートを用いない場合やインタラクティブに講義が進行する場合でも、システムの利用回数が増えることで「慣れ」が発生し、より自然にマグネットを付与しながら講義が行えるようになっていくと考えられる。

## 4 ホワイトボードの振り返り支援システム MeetingShelf

板書講義が大学等の教育機関で需要が高いのに対し、ホワイトボードは企業や小規模グループでのディスカッションやアイデア出しに広く利用されている。そこで Orcus での成果をもとに、ホワイトボードを用いた議論の動画を効率的に振り返るシステム MeetingShelf を開発した。紙面の都合から、技術的な詳細は文献 [7] を参照されたい。

### 4.1 システム概要

Orcus 同様、MeetingShelf もホワイトボードで議論している様子を固定した市販のビデオカメラで撮影するだけでよい。Orcus では 3 色のカラーマグネットを用いて重要箇所を強調していたが、MeetingShelf では任意のタイミングで緑色の下線を引くだけで良いよう改良した。

サーバは動画から下線が書き込まれた場所や時刻を解析し、(1) カタログビュー、(2) スライドビュー、の 2 つの閲覧画面で構成されるコンテンツを生成する。この画面は Dickson らのシステム [8] のようにホワイトボード全体を映したのではなく、ホワイトボード中の重要な箇所をより見やすく、探しやすくしたものであり、これにより動画の振り返りを支援する。

### 4.2 カタログビュー

図 6 にカタログビューの外観を示す。カタログビューは記録された過去の議論群から振り返りたい議論を見つけるための画面である。カタログビューでは、入力された動画から抽出された強調板書の画像がサムネイルとなって動画ごとに一覧表示される。なお、MeetingShelf では 1 つの動画に 1 回の議論が記録されていることが想定されている。例えば 6 中の上から 2 つ目の動画は、「開発環境」「AndroidSDK」などの画像が表示されている。これらの画像の文字から、該当する動画では Android 用アプリケーションの開発に関する議論がされていたことが推測できる。

カタログビューを用いると、強調板書の画像から議論の大きな内容を知ることができるため、動画を 1 つ 1

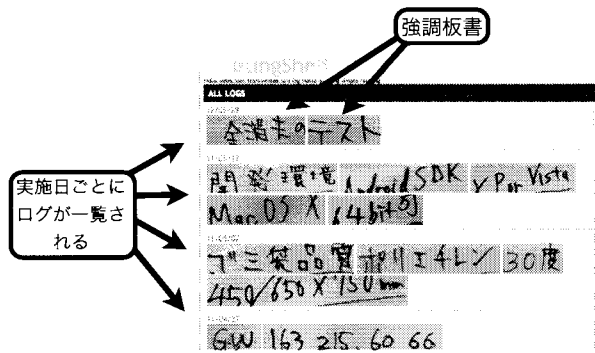


図6 カタログビューの外観

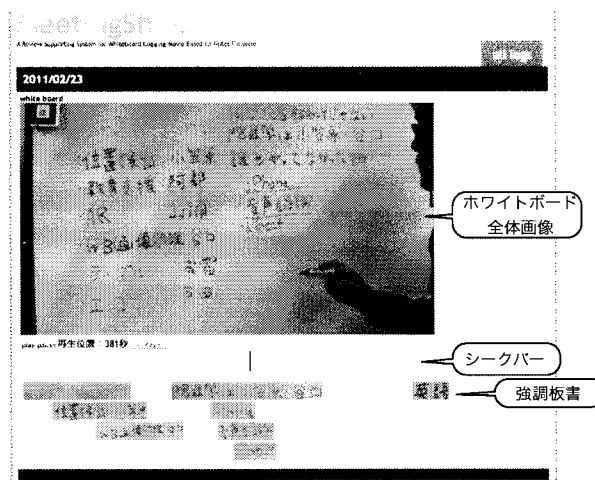


図7 スライドビュー外観

つ再生して内容を確認することに比べ、目的の議論を容易に探すことができる。また、強調板書の画像はすべてシステムにより自動的に特定・抽出がされる。ユーザは下線を引く以外の動作をする必要はない。

### 4.3 スライドビュー

カタログビュー上の強調板書の画像をクリックするとスライドビュー（図7）に移行する。スライドビューはクリックした議論の詳細な内容を振り返るための画面である。画面上部にはホワイトボードの全体を映した画像、その下には時間軸を示すシークバーが表示される。ホワイトボードの全体画像はシークバー上のスライダーを操作することで任意の時刻の全体画像に切り替えることができる。

画面下部には強調板書の画像がスライダーを操作する際のインデックスとして利用できるように並べられている。スライダーの位置を各画像の左端に合わせることで、それぞれの強調板書が書き始められるタイミングのホワイトボード全体画像を表示することができる（図8）。また、強調板書の画像をクリックすることで、その強調板書が書き終わられたタイミングのホワイトボード

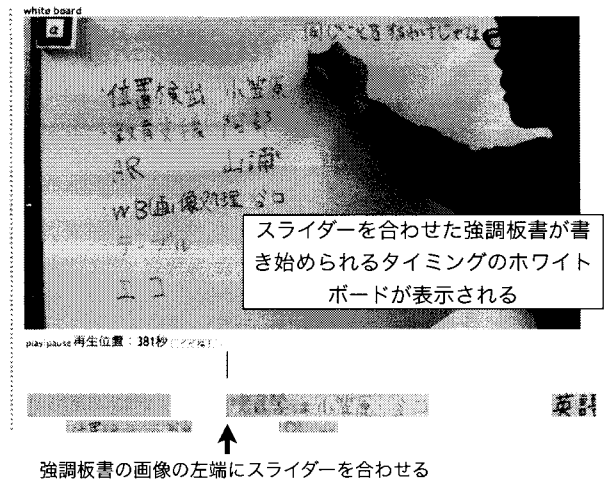


図8 スライドビュー: 書き出しインデックス

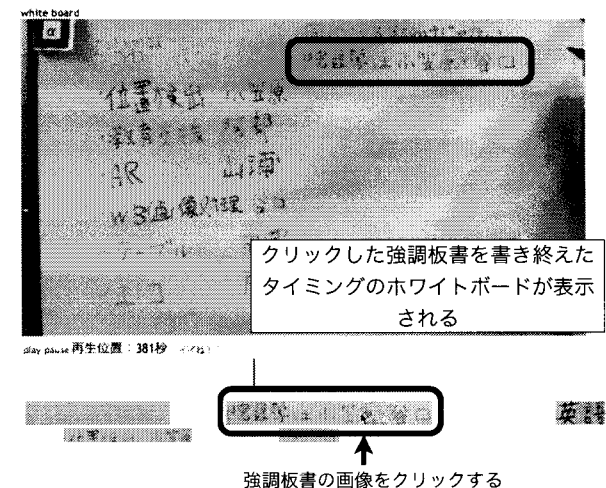


図9 スライドビュー: 書き終えインデックス

全体画像を表示することができる（図9）。

スライドビューを用いると、動画において重要な書き込みがされた場面に素早くアクセスができるため、長時間議論したログであっても容易に議論の結果や流れを振り返ることができる。また、カタログビューと同様に、スライドビューも動画から自動的に生成される。ユーザの特別な操作は必要としない。

### 4.4 システムの性能評価

#### 4.4.1 方法

実装したプロトタイプを用いてホワイトボード上の単語（以降、文字ブロック）の特定の精度評価を行った。評価には、実際の議論を模した動画5本を使用した。動画内の文字ブロックの数を  $C_b$ 、システムが文字ブロックとして特定した数を  $N_b$ 、 $N_b$  のうち正しく特定された数を  $M_b$  として適合率  $P_b$  と再現率  $R_b$  を求めた。 $P_b$ 、 $R_b$  は式1、2により算出することができる。

表2 文字ブロック特定の精度評価結果

	$C_b$	$N_b$	$M_b$	適合率 (%)	再現率 (%)
動画 1	20	16	12	75	60
動画 2	23	23	17	74	74
動画 3	25	17	12	71	48
動画 4	21	19	17	89	81
動画 5	21	20	18	90	86
合計	110	95	76	80	69

$$P_b = \frac{M_b}{N_b} \times 100(\%) \quad (1)$$

$$R_b = \frac{M_b}{C_b} \times 100(\%) \quad (2)$$

#### 4.4.2 結果および考察

評価結果を表2に示す。5本の動画全体の結果として、適合率80%、再現率69%という結果が得られた。動画4, 5については適合率, 再現率ともに8割を超えた結果が得られた。しかし, 動画3については他に比べ悪い結果となり, 再現率は5割を下回る結果となった。この原因として, 動画3では他の動画と比較して文字が細かく, 斜めに書かれていた文字も多かったために文字ブロックを包括する矩形領域の特定が期待した通りの動作をしなかったと考えられる。

文字の細かさに関する問題については, 板書の文字の大きさから文字ブロックを包括する矩形の特定の座標条件を動的に設定できるように実装を変えることで対処できると考えられる。また, 斜め書きの問題については, 文字ブロック矩形を特定する際に矩形の回転を考慮することで対処できると考えられる。

その他の問題として, 蛍光灯の映り込みにより, 下線の色が判定しにくい場合があった。このような映り込みについては, 文献[9]のような映り込みによって消えてしまった映像中の板書を補正する手法を実装することで対応できると考えられる。

## 5 おわりに

本研究では, 板書者への負担が少なく, かつ, 簡易な撮影設備で利用できる板書動画自動編集システムの開発を目的とし, 黒板講義の動画に対して Orcus を, ホワイトボードを用いた議論の動画に対して MeetingShelf を開発した。両システムともに, 現実的な精度のもとで復習や振り返りに適したコンテンツを自動生成できることが確認できた。

今後は講師や受講生側の声など音声情報と組み合わせることで板書の認識精度を向上させたいと考えている。また, 別の簡易視覚記号を用いることで, 新しい振り返り方法が実現できないかを検討している。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり, 公益財団法人 高柳記念財団の助成を受けました。ここに記し, 感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] [http://www.openeducationeuropa.eu/en/european\\_scoreboard\\_moocs](http://www.openeducationeuropa.eu/en/european_scoreboard_moocs) (2014年10月確認).
- [2] 井上宗徳, 下川俊彦, “講義スライドのフッターを用いたラベル付けによる講義映像のインデックス作成に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.391, pp.1-6 (2007).
- [3] 小澤憲秋, 武部浩明, 勝山 裕, 直井 聡, 横田治夫, “文字認識を利用した講義動画中のスライド同定”, 情報科学技術フォーラム2002, pp.133134 (2002).
- [4] 野田潤, 倉本到, 藤本典幸, 萩原兼一, “検索可能な樹状ヒストリ機能を備えたホワイトボードシステム S.W. ボード の提案と実装”, 情報処理学会研究報告 [グループウェア], Vol.2000, No.97, pp.55-60 (2000).
- [5] 井上亮文, 品田良太, 市村哲, 星徹, “板書の意識的な強調を利用した復習用コンテンツ自動生成システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.49-60, 2012年1月.
- [6] 市村哲, 井上亮文, 宇田隆也, 伊藤雅仁, 田胡和哉, 松下温, “ChalkTalk: 講師動画と板書静止画の同時記録が可能な講義自動収録システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.924-931 (2006).
- [7] 谷口禎英, 堀口悟史, 井垣宏, 井上亮文, 星徹, “書き込みの時間軸表示によるホワイトボードログの振り返り支援システムの実装”, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-GN-85, No.29, pp.1-6, 2012年9月.
- [8] Paul E. Dickson, W. Richards Adrion, Allen R. Hanson, “Automatic Creation of Indexed Presentations from Classroom Lectures”, ITiCSE'08: Proc. 13th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, pp.12-16 (2008).
- [9] Zhengyou Zhang, LiWei He, “Whiteboard scanning and image enhancement”, Digital Signal Processing, Vol.17, No.2, pp.414-432, March, 2007.