

黒板講義を対象とした講義自動撮影システムの構築

錦織, 修一郎
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

菅沼, 明
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

谷口, 倫一郎
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

<https://hdl.handle.net/2324/5737>

出版情報：電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解. 100 (701), pp.79-86, 2001-03-15. 電子情報通信学会

バージョン：

権利関係：

黒板講義を対象とした講義自動撮影システムの構築

錦織 修一郎, 菅沼 明, 谷口 倫一郎
九州大学大学院システム情報科学研究科
〒 816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

TEL: 092-583-7618

E-mail: {nshu,suga,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

あらまし 近年、大学およびその他の教育機関において遠隔講義が行われている。これらの遠隔講義においてはカメラを固定して撮影をしているか、カメラマンがカメラを操作して講義を撮影している。しかし、カメラを固定した場合には板書が見づらく、変化のない退屈した映像になってしまう。一方、カメラマンを用意する方法では、人員が確保できたとしてもカメラ操作に関しての素人が撮影した場合には学生側にとって満足できる映像を撮影することが難しく、またプロのカメラマンを雇うのはコスト的に難しい。

本研究では、黒板を使用して進める講義を対象として、カメラで撮影した映像を動画像処理し、カメラの向きやズームを計算機で制御することで講義を自動撮影するシステム ACE(Automatic Camera control system for Education) の構築を目指している。本稿では実際の講義を対象にして、ACEで自動撮影した映像と固定カメラで撮影した映像とを、ノート作成率および学生のアンケートにより評価した結果と考察を述べる。

キーワード 遠隔講義, 動画像処理, カメラ制御

An Automatic Camera Control System for Distance Lecture with Blackboard

Shu'ichiro Nishigori, Akira Suganuma and Rin'ichiro Taniguchi

Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University
6-1, Kasuga-kouen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580 Japan

TEL : 092-583-7618

E-mail: {nshu,suga,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

Abstract The growth of communication network technology enables us to attend a distance lecture. When the lecture scenes are taken for the distance lecture, a camera-person usually controls the camera in order to capture suitable scenes; otherwise, the camera sets up to capture the same position at all times. It is not easy, however, for every occasion to employ a camera-person. And the scene captured by a fixed camera is unable to give us the feeling at the live lecture. It is necessary, consequently, to control a camera automatically. We have developed ACE(Automatic Camera control system for Education) system which control a camera with computer vision techniques. This paper presents ACE system and an experiment with it.

key words distance lecture, image processing, camera control

1 はじめに

現在、通常の講義だけでなく遠隔講義を取り入れる大学や各種学校が増えている。遠隔講義とは、講義を行っている場所から空間的に離れている場所で受講する講義のことである。現在において実際に行われている遠隔講義の形式としては以下の二つに大別できる。

- 講義の映像と音声を送信し、遠隔地でスクリーン等に映像を映し、音声を再生する形式
- 学生が各自の計算機を使用して、提供された電子的な教材をブラウザ等のツールを用いて参照する形式

前者は予備校および放送大学等で現在取り入れられている形式で、講義の雰囲気や臨場感が伝わりやすい。一方、後者は学生が自分のペースで学習することが可能である他、電子的な教材を使用するため、講義終了後も自習を行うことが可能である。

現在行われている大学の講義は多様化してきており、OHPやプレゼンテーションツールを使用する形式や、計算機室において教師と学生が計算機を使用しながら講義を進める形式が増えて来ている。しかし、現在も黒板とチョークを用いた講義が多数を占めており、将来においても黒板講義は続くであろう。

本研究では、黒板講義を対象として、講義映像を遠隔地に転送する形式の遠隔講義を実現することを想定した場合に、カメラマンを必要としない、講義自動撮影システム ACE(Automatic Camera control system for Education) を構築することを目指している。

本稿では、ACEにおけるカメラワークおよび動画処理の内容を説明する。さらに、実際の講義を固定カメラで撮影した映像とACEで自動撮影した映像を学生により評価した結果を述べる。

2 講義自動撮影システム ACE

2.1 ACEの概要

本研究で想定する遠隔講義は、講義をカメラで撮影した映像ならびにマイクで集音した音声を遠隔地で再生する形態である(図1)。

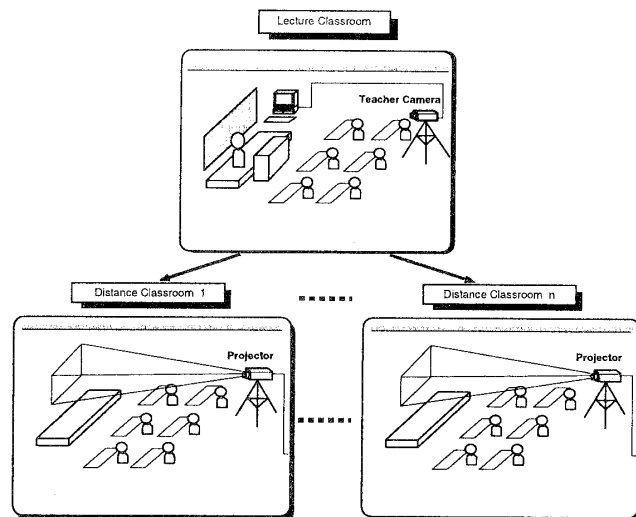


図1: 本研究で想定する遠隔講義の形態

ACEは講義室内に配置したカメラから得られる映像を動画処理することによって、講義撮影に必要な情報を獲得し、得られた情報に基づいて首振りカメラを適切に制御する。ACEでは、動画処理のために講義室の後方に配置する固定カメラ1台と、パン・チルトおよびズーム機能を搭載した首振りカメラを1台使用する。

2.2 ACEのカメラワーク

ACEでは動的にカメラを操作して講義の自動撮影を行う。その際にはカメラの撮影対象および撮影方法が重要である。以下に、講義撮影中においてカメラが撮影する対象の選択と、映像を見る学生に対して効果的な撮影方法を説明する。

2.2.1 ACEの撮影対象

講義の映像を見る学生が複数存在する場合、それぞれの学生が見たいと思う箇所は様々である。そのため、撮影する講義映像の基準を学生側に合わせることは困難である。したがって、ACEでは撮影の対象の選択基準を教師側に合わせて考える。つまり、教師の立場において重要であると考えられる箇所を撮影する。

今までにも講義の自動撮影を行う研究が行われている [1][2][3][4] が、主に教師を追跡して撮影するものが多い。教師の様子を常に確認することも重要だが、実際の講義においては、学生は黑板上に書かれた文字や図形、すなわち板書に注目して

いることが非常に多い。これは、書いた板書の内容について教師が説明を行うため、現在教師が何を説明しているかを知ることが手掛かりとして板書の内容が重要であることと、学生が板書をノートに書き写すために板書の内容に注目することに起因している。

ACEでは、講義中に教師が説明している内容が書かれた板書を、教師側の立場において最も重要であると考え、教師が説明している内容は学生側にとっても重要な情報であり、時間ごとに変化していく教師の説明内容が書かれた板書を主に撮影することで、講義映像として学習効果の高い映像が撮影できると考える。

講義中は常に板書が書き加えられたり消されたりするが、その中で現在の教師の説明内容になる可能性が最も高いのは、教師が最も新しく書き加えた板書(最新の板書)の内容である。ACEでは最新の板書を撮影の対象とする。

2.2.2 撮影対象の撮影方法

講義映像を見る学生にとって、カメラが常に激しく動作する映像や過剰な演出を与える映像は目に負担がかかるだけでなく、学習意欲を減衰させてしまう。そのため、撮影方法は長時間見ても目に負担をかけず、自然な動作であることが望ましい。以上の点を考慮し、ACEでは最新の板書を撮影する際に、まず板書が画面の中央に来るようにセンタリングを行い、その後に板書が画面からはみ出さない程度にまで一定時間の間ズームした映像を撮影する(図2)。このように最小限のカメラ動作で撮影することで、映像を見る学生側に対して板書が読みやすい映像を提供することができる。

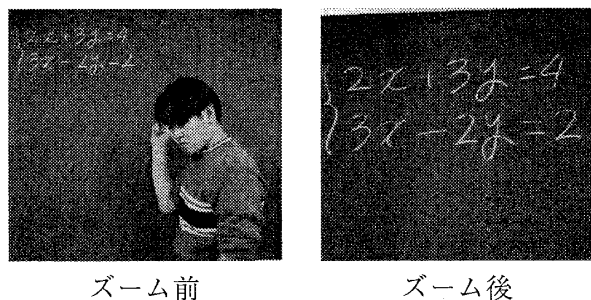


図2: 板書のセンタリングおよびズーム

板書が新たに書き加えられた後に上のカメラ操作を行うが、通常時には学生が落ち着いて講義映

像を見ることができるようカメラを固定して撮影する必要がある。その際に、教師や板書の様子を確認できる程度のズームをする必要がある。現在の大学では、黒板が複数の上下移動式の小黒板で構成されるものが多く、教師は小黒板単位に板書を行っている。また、板書が新たに書き加えられた小黒板の内容がしばらくの間は教師の説明の対象になる可能性が高い。ACEでは、通常時には最新の板書を含む小黒板を画面に収まる程度のズームで撮影する。小黒板に分割されていない黒板の場合は、黒板を一般的な小黒板に相当する大きさに分割して、最新の板書を含む分割領域をズームして撮影する。

3 教師領域の抽出

ACEでは教師の画面内の位置情報を使用するため、動画像中から教師の存在する領域(教師領域)を抽出する必要がある。カメラで撮影した画面内において、常に移動している物体は教師一人のみであると仮定すると、教師領域を抽出する手法として、フレーム間差分 [5][6][7] を用いることが考えられる。ACEではカラー画像を使用せず、一般的に色の変化に強い濃淡画像を使用してフレーム間差分を計算する。フレーム間差分を計算した後、ある閾値で2値化を行い、ノイズ除去を行う。この後、2値画像内で重心を求める。この重心はノイズの影響をあまり受けないため、ほぼ教師の重心とみなすことができる。この重心の近傍に現れた画素の外接矩形を教師領域とする。図3にフレーム間差分を使用して教師領域を抽出した例を示す。矩形が教師の存在する領域を表しており、frame1とframe2において正しく教師領域を求めていることが確認できる。

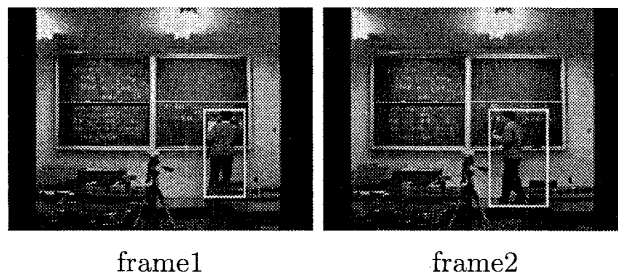


図3: フレーム間差分による教師領域の抽出

4 最新の板書領域の抽出

4.1 背景モデルを使用した前景抽出

画像中から最新の板書領域を抽出するためには、フレームごとの画像処理の初期段階で、画像内の物体を背景(黒板や壁など)と前景(板書および教師)とに分ける必要がある。前景を抽出する手法として頻繁に使用されるものに背景差分の手法が挙げられるが、照明の変化に非常に影響されやすい欠点を持つ。従って、背景差分では長時間の撮影の際に前景の抽出処理に支障があると考えられる。そこで、照明の変化に比較的ロバストである背景モデル [8] を導入する。ACE で使用する背景モデルは画像中の各画素 p に対して以下の二つの値を保持する。

- 画素 p における輝度値の最大値 $Max(p)$
- 画素 p における隣接フレーム間の輝度値の差の最大値 $D(p)$

講義の自動撮影を開始する前に、初期の背景モデルの計算を行う。その際に、教師およびその他の移動物体が画面内に存在せず、黒板には何も書かれていない状態にしておき、一定のフレームを対象として二つの値の更新を行う。

講義撮影中に背景モデルを用いて画像 I から前景を抽出する際には下の式を用いる。ただし、 $I(p)$ および $I_{fore}(p)$ はそれぞれ、画像 I および前景画像 I_{fore} における画素 p の輝度値を表。また $T = 255, F = 0$ とする。

$$I_{fore}(p) = \begin{cases} T & \text{if } I(p) - Max(p) > D(p) \\ F & \text{otherwise} \end{cases}$$

背景モデルを使用した前景の抽出例を図 4 に示す。図 4 において、黒板に板書を書き加えた画像が (a) である。(a) の画像を対象として、背景モデルを使用した前景抽出処理を行った結果が (b) である。(a) で板書が書かれた部分のみが (b) で抽出されていることが確認できる。

4.2 前景画像における教師と板書の分離

前節の方法で前景を抽出するが、実際の講義では教師が黒板の前で説明をしながら移動をする。そのため、講義中の映像に対して前景の抽出を行った

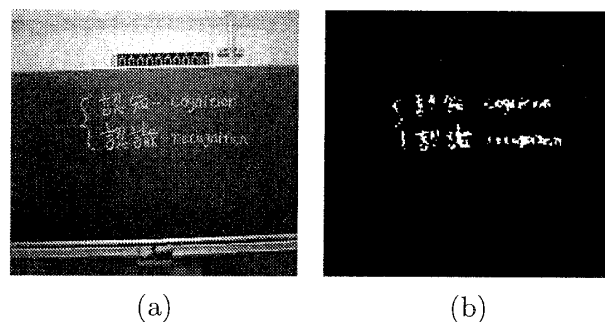


図 4: 背景モデルを使用した前景抽出

場合、板書だけではなく教師も前景として抽出されてしまう。その際に、前景から板書領域を決定すると、図 5 のように点線で囲まれた部分が誤った板書領域として抽出されることになる。

ACE では、前景画像において板書と教師を分離するために、フレーム間差分で抽出された教師領域を利用する。すなわち、前景を抽出した後、 T と F の前景 2 値画像の中で、教師領域の画素値を F にすることでマスクを行う。このようにマスクすることで、前景画像には板書の部分のみが前景として現れる。ACE ではマスク後の前景の外接矩形を板書領域とする。

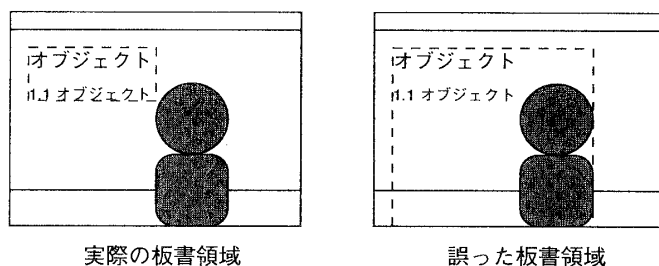


図 5: 板書領域抽出誤りの例

4.3 板書のズーム開始判定

ACE では最新の板書をズームして撮影するが、ズームするタイミングを考慮する必要がある。例えば、教師が板書を書き加えている最中に板書のズームを開始した場合、教師の後ろ姿で板書が隠れた映像がズームで撮影されてしまい、映像を見る学生にとって望ましくない映像になってしまう。

ACE では、教師が板書を書き終えたことを判断して、その時に書かれた分の板書をズームの対象とする。つまり、教師の板書が一段落するごとに、

書かれた板書を一定時間ズームして撮影する。

教師の板書が一段落したかどうかを判定する方法としては、特別な装置を用意しておき、板書を書き終えた時点で教師側にスイッチを押してもらおうといった方法が考えられる。しかし、この方法では教師に負担をかけることになり、望ましくない。また、教師が講義に集中した場合に、スイッチを押すことを忘れてしまう可能性がある。

したがって、教師側に特別な動作を期待せずに、動画像中から板書の書き終りのタイミングを判定することを考える。ACEでは、各フレーム毎に抽出される板書領域の変化に着目する。教師が板書を行っている間に抽出された板書領域は時間毎に常に変化している。これは以下の2点に起因している。

- 教師が各フレーム毎に板書を書き加える、もしくは消すことにより板書領域が増減すること
- 教師の移動に伴って教師領域のマスクの位置も移動するため、板書領域のマスクされる部分が変わること

個人差はあるものの、大半の教師は板書を一旦書き終えると、学生にその板書の内容を見せるために図6のように、今まで板書を書き込んでいた場所から少し離れる。教師が板書から少し離れている間は、前景に新たに板書が加わることが無く、さらに教師領域のマスクによって板書領域がマスクされることが無いため、フレーム毎に抽出された板書領域に変化が無くなる。したがって、板書領域が変化していない状態が一定時間続いた場合には、教師が板書を書き終えたと判断し、その時点で抽出されている板書領域を対象としてズームを行う。

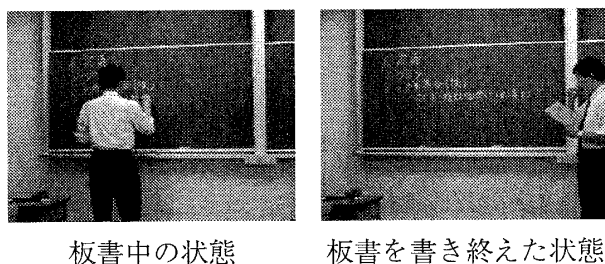


図6: 板書の書き終りの判断

4.4 背景モデルの更新

ACEでは、教師が最後に板書した部分、すなわち最新の板書領域を抽出することを目指している。前節の方法で板書を抽出した場合、教師が板書を新しく書き加える毎に抽出される板書の領域が大きくなり、黒板が板書で埋まるに従ってズームしてもあまり意味の無い映像になる。また、一度最新の板書領域と判断された板書領域が次の抽出の際に再び抽出されることは望ましくない。そこで、板書領域が抽出された後に、抽出された板書領域を対象として背景モデルを更新する。図7において、板書領域を抽出した状態が(a)であり、抽出した板書領域(矩形の内部)の背景モデルを数フレーム分の計算により更新する。その後、新たに板書が追加された場合に、(a)で抽出した板書領域の背景モデルが更新されているため、(b)では追加された板書の部分(最新の板書領域)のみが抽出されていることが分かる。

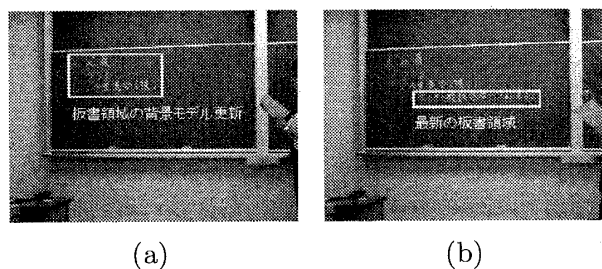


図7: 背景モデル更新による最新の板書領域抽出

5 実験

ACEで提案した手法の有効性を確認するため、実際の講義において適用実験を行った。

5.1 実験システムの構成ならびに設定

実験で使用したシステムの構成を図8に示す。実験では動画像処理用の入力映像を撮影する固定カメラを、黒板全体が画面に収まる程度の距離で中央に配置し、板書が黒板のどの位置に書かれても画面内に収まるようにした。遠隔講義映像を撮影する首振りカメラは、ズームした際に板書が読みやすくなる程度の距離で中央に配置した。固定カメラと首振りカメラの位置が離れているため、事前に簡単なカメラキャリブレーションを行った。

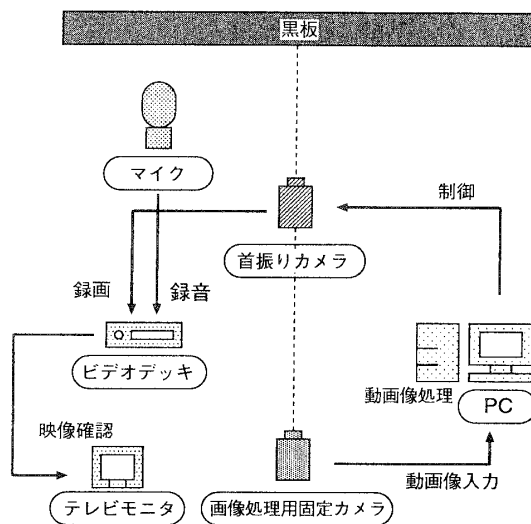


図 8: 実験システム構成

首振りカメラを制御する PC は、PentiumII 300MHz の CPU および 128MB のメモリを搭載し、画像処理を高速に行うための超並列高速画像処理ボード (IMAP-VISION) を PC に装着して使用している。IMAP-VISION ボードは、256 個のプロセッサを搭載し、実験で使用した 256×240 の画像において 1 回の命令で横一列分の画像処理を行う SIMD 型演算が可能である。

講義撮影を開始する前に、初期背景モデルの計算を 100 フレームのサンプルにより行った。その後、数学の講義を約 20 分程度行った。講義は黒板とチョークのみで行い、OHP その他の機材は使用していない。生成される遠隔講義映像はビデオテープに録画し、その際にマイクを用いて音声も録音した。

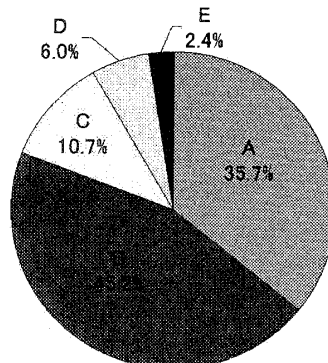
実験の設定は、実際に大学で行われている数学の講義を対象とし、講義日の前に、固定したカメラで講義を撮影した映像 (固定カメラ映像) および ACE で講義を撮影した映像 (ACE 映像) とを学生に見てもらい、評価を行った。

5.2 ACE のノート作成率の評価

一般の大学などの講義においては、学生が板書をノートに書き写すことが非常に重要である。実験において、約 20 分の ACE 映像で教師が板書した内容を学生がノートにどのくらい書き写しているかを評価した。実験前にあらかじめ教師が板書する内容をマスターノートとして作成しておき、学生か

ら回収したノートとの照合を行い、学生のノートの再現性を評価した。84 人の学生のノート作成率の結果を表 1 に示す。完全にノートを書き写している学生が 35.7%、1 箇所のみノートに書き写していない学生が 45.2%、合わせて 80% 以上の学生がノートをほぼ完全に書き写している。これは、ACE の板書のズーム撮影が功を奏していると考えられる。なお、1 箇所だけ書き写せなかった学生が多かったのは、今回の数学の講義において、式に非常に小さな添字がある部分があり、その部分が見づかったことが原因であると考えられる。また、小数ながらもあまりノートが作成できていない学生も見られたが、これは講義映像を投影するスクリーンから距離が離れた場所で板書をノートに書き写していたため、板書の文字が見づかったことが考えられる。この結果から、ACE が学生のノート作成に貢献していることが確認できた。

表 1: ノート作成率の結果



- A: 完全にノートを書き写している
- B: 1 箇所ノートに書き写していない
- C: 2 箇所ノートに書き写していない
- D: 3 箇所ノートに書き写していない
- E: 4 箇所以上ノートに書き写していない

5.2.1 学生によるアンケート評価

固定カメラ映像および ACE 映像によるそれぞれの講義映像を学生に見てもらった後にアンケートに回答してもらった。一つの質問を除いて、固定カメラ映像および ACE 映像両方について同じ質問に回答してもらった。アンケートはそれぞれの質問に対して評価の尺度となる選択肢を五つ用意し、5 段階評価で行った。また、固定カメラ映像と ACE 映像の評価の比較を、統計的仮説検定法の一つで

表 2: アンケート結果

アンケート質問	固定カメラ映像	ACE 映像	有意水準 1%	有意水準 5%
教師の様子がよく分かったか?	3.27	3.19	有意差なし	有意差なし
板書は見やすかったか?	1.58	2.75	有意差あり	有意差あり
講義の臨場感は得られたか?	2.71	2.86	有意差なし	有意差なし
自分の見たい所がよく見えたか?	-	2.49	-	-
講義映像として学習効果があったか?	2.12	2.49	有意差あり	有意差あり

ある t 検定を使用して検定を行った。アンケートの結果を表 2 に示す。表 2 において、数値は固定カメラ映像および ACE 映像の 5 段階評価の平均値を表している。有意水準は t 検定を行う際に有意差があるかどうかを判断する基準を表しており、慣例として 5% と 1% を使用する。

教師の様子が良く分かったかという質問に対する評価に関しては t 検定を行った結果では有意差は見られなかったため、両映像とも同程度の評価と言える。固定カメラ映像では教師が常に画面内に存在し、講義中は終始にわたって教師の様子を確認することが可能だが、黒板全体を画面に映すようにカメラを固定するとカメラのズーム率が低く設定されるため、教師の様子を確認しにくくなる。一方、ACE 映像では基本的に移動式黒板の小黒板を画面に捉える程度のズームをしているため、教師の様子は確認しやすくなるが、板書のズーム中および教師が画面外に出た場合に、教師が全く見えなくなってしまう。この評価については、固定カメラ映像と ACE 映像両方ともに一長一短があり、評価の結果も類似するものとなった。

講義映像を全体的に見て、板書は見やすかったかという質問に対する評価の結果に関しては、ACE 映像が固定カメラ映像よりも評価が高かった。これは、ACE の板書のズーム処理が功を奏していると言える。黒板全体が常に画面に映されている固定カメラ映像では、板書を読み取るだけの十分なズームが得られず、大半の学生が見づらいという評価を行っているのに対し、ACE 映像では板書が見やすかったという評価を行っている学生が多くなっている。 t 検定の結果でも両方の映像の評価に有意差が認められ、ACE の方が優れていることを示している。しかし、ビデオテープの映像の画質が悪く、映像自体が不鮮明になっており、評価の絶対値は高くなかった。

講義の臨場感が得られたかという質問に対する

評価の結果に関しては、両方の映像の評価に有意差は見られなかった。これは、今回の実験ではスピーカから流した音声の質およびビデオの画質があまり良いものではなく、学生にとって通常の講義の雰囲気伝わりにくかったことが最大の原因であると考えられる。講義の臨場感を得るためには、通常の講義を肉眼で見た場合と同程度の鮮明な映像と、教師の肉声に近い音質の音声を用意する必要がある。

自分の見たい所が良く見えたかという質問を ACE 映像のみに対して行った評価結果に関しては、自分の見たい所があまり見えなかったと回答する学生も少なくなかった。ACE では最新の板書領域を抽出した後に板書のズームを開始するが、学生によってはその際に黒板の他の部分を注視している可能性があり、ズームを行うことによって今まで注視していた部分が見えなくなる恐れがある。また、板書をノートに書き写す場合に、学生によっては板書のズームのタイミングとノートに書き写すタイミングが違っていることも自分の見たい所が見えなかった原因として考えられる。

最後に、固定カメラ映像と ACE 映像それぞれの講義映像としての総合的な評価はどうかという質問の評価結果に関しては、固定カメラ映像においては、70% 近くの学生が不満が多いという評価結果が出たため、遠隔講義には不適当であると思われる。一方、ACE 映像も不満が多いという評価を行う学生が存在したが、半数近くの学生は現在の ACE 映像に対して妥協できる程度という評価を行っていた。 t 検定の結果、両方の映像の評価に有意差が認められ、ACE 映像の方が優れていることが確認でき、ACE の有効性が確認できた。

6 おわりに

本稿では、黒板講義を対象とした遠隔講義を実現する際に、動画像処理技術を応用して講義撮影の自動化を行うシステム ACE について述べた。実際の講義において、固定カメラ映像と ACE 映像とを学生に評価してもらった実験の結果より ACE の有効性を確認した。今後の課題としては、以下のことが挙げられる。

[板書抽出アルゴリズムの改良] 実験の際、最新の板書領域の抽出処理については正しく抽出できた場合が多いが、抽出の誤りおよび抽出しない場合も目立った。この原因として以下の点が挙げられる。(1) 板書の色(チョークの色)が薄い場合に、前景として見なされないことがある。(2) 背景モデルの更新の際、対象領域内に教師が入ることがあり、教師の持つ画素値が背景モデルに影響を与えてしまうことがある。(3) 移動式黒板の上下の黒板を入れ替えた場合に、背景が大幅に変わることが以降の板書抽出処理に影響を与えてしまう。講義中に書かれた全ての板書を画像中から正しく抽出するには、これらの問題を解決する必要がある。

[スクリーンを用いた講義への対処] 現状の ACE では黒板のみを使用する講義にのみ対応しているが、一般の大学における講義では、黒板と OHP(またはプロジェクタ)などのスクリーンを使用する機器を併用する場合がある。そのため、教師がスクリーンに投影された内容について説明を行っている時にはスクリーンを中心に撮影すべきである。ACE では今後、黒板とスクリーンを常に監視しておき、どちらを撮影すべきかを自動的に判断するシステムを構築することを目指している。

[音声情報の利用] 現在、ACE では講義の自動撮影に必要な情報を動画像処理によってのみ獲得しているが、講義中に発生する音声も有用な情報である。最新の板書領域を抽出する際に、教師が板書を行う時に発生するチョークと黒板の衝突音や摩擦音を認識し、板書の開始と終了の判定が可能になれば、より良いタイミングで板書のズームを開始することができると考えられる。

[教師の状態推定] 講義中に教師が過去に書いた板書の内容を説明する場合がある。その際、教師が

過去の板書に対して何も書き加えなかった場合には、ACE はその場所を撮影せず、画面に教師が説明している様子が映らない。これに対処する方法として、動画像中の教師の状態を推定し、教師が黒板のどの部分を指し示しているのかといった情報を獲得することが考えられる。

参考文献

- [1] 亀田能成, 宮崎英明, 美濃導彦: “講師追跡によるカメラ映像の自動切り替え”, 情報処理学会第 58 回全国大会 2V-4, 1999.
- [2] 村上昌史, 大西正輝, 福永邦雄: “状況理解と映像評価を考慮した講義の知的自動撮影”, 情報処理学会研究報告, CVIM-125, pp.39-46, 2001.
- [3] 于海波, 米元聡, 有田大作, 菅沼明, 谷口倫一郎: “IMAP を利用した自動講義撮影システムの開発”, 電気学会パターン認識の応用環境の拡大調査専門委員会 九州地区第四回委員会 技術報告書, pp.9-14, 1998.
- [4] 倉成真一: “遠隔講義中継のための自動講義撮影システムの構築”, 九州大学大学院修士論文, 1997.
- [5] Masahiko Yachida, Minoru Asada, Saburo Tsuji: “Automatic Analysis of Moving Images”, IEEE Trans. on PAMI, Vol.3, No.1, pp.12-20, 1981.
- [6] 嶺直道, 八木康史, 谷内田正彦: “時系列差分画像を用いた複数移動物体の抽出および追跡”, 情報研報 CV 81-7, pp.51-56, 1993.
- [7] Akira Suganuma, Shinichi Kuranari, Naoyuki Tsuruta, and Rin-ichiro Taniguchi: “Examination of an Automatic Camera Control System for Lecturing Scenes with CV Techniques”, 3rd Korea-Japan Joint Workshop on Computer Vision, pp.172-177, 1997
- [8] Ismail Haritaoglu, David Harwood and Larry S.Davis: “W⁴: Who?When?Where?What? A Real Time System for Detecting and Tracking People”, International Conference on Face and Gesture Recognition. pp.14-16, 1998.