

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：52601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01109

研究課題名(和文)映像への情報ハイディング技術に基づく効果的なMOOCs利用能動学習システムの開発

研究課題名(英文)An Effective Active Learning Systems for MOOCs Based on Information Hiding Techniques for Video Data

研究代表者

小嶋 徹也(Kojima, Tetsuya)

東京工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：20293136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、授業の予習用に提供された動画データに電子透かしを埋め込み、学生の自学自習の状況を教員側で常にリアルタイムに把握できるオンライン自学自習システムを開発した。ウェブ形式の教材に学生がログインして動画を閲覧すると、動画像に埋め込まれたマーカが自動的に抽出され、ビデオ教材を閲覧したエビデンスとして教員側に送られる。埋め込まれたマーカは、動画を閲覧する際には人間の視聴覚ではほとんど認識できず、かつ、従来の動画電子透かし技術に比べて高速に抽出できるものとなった。電子透かしには画像特徴量を応用した方式を用い、高い抽出制度を保證することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, an online active learning system based on digital video watermarking techniques has been developed. In the developed system, teachers can grasp how much the students' self studies progress by utilizing the markers embedded into the video learning materials. When a student logs in the web-based system and watches the video materials, the embedded markers can be extracted automatically and sent to the servers on the teachers's side. It is quite difficult to recognize the embedded markers on the stego video materials. The markers can be extracted quite faster than the previously proposed watermarking schemes since image feature quantities such as AKAZE are employed to embed the watermarks. In addition, the embedded watermarks can be extracted successfully by utilizing these image feature quantities.

研究分野：情報理論

キーワード：教材システム 電子透かし スペクトラム拡散系列 MOOCs 能動学習 画像特徴量 反転授業

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的必要性和関連研究

米国を中心として、大規模オンライン講座 (MOOCs: Massive Open Online Courses) などのビデオ教材や情報通信技術 (ICT) を活用した教育サービスが世界的な関心を集め、高い評価を得ている。一方、これらの教材を使用して、学生の学習意欲を高め、従来行なわれてきたような一方的な授業ではなく、学生自らが主体的に学ぶアクティブ・ラーニング (能動学習) 型授業の重要性も叫ばれ、さまざまな取り組みが行なわれている。中でも、ビデオ教材などで学生が自主的に予習を行ない、授業時には予習に基づくグループ討論や高度な演習・実習を行なう、いわゆる反転授業のような取り組みも広がりを見せしている。

このような授業形態においては、学生の自主的学習が極めて重要であるが、学生個人の取り組み方や学習の程度には個人差があり、これらを教員が正確に把握して、成績評価に活かすことは容易ではない。また、反転授業等におけるグループ討論や、授業後のレビューの結果として得られた達成度を明確かつ客観的に評価する方法も必ずしも確立されていないため、教員の裁量による部分が大きく、公平な成績評価、ひいては授業方法そのものの客観的評価が困難であるという実情も指摘されている。

この研究では、ビデオ教材などの動画データに、人間の視聴覚では認知できない形式でマーカを埋め込み、学生が教材をすべて視聴しなければ、授業開始前までに教員にその事実がフィードバックされるなどの仕組みを取り入れる。また、学習後に学生がオンラインで授業のレビューを行なうことで、事前の自学自習と実際の授業による理解度を自動的に記録として残すことにより、自動的に学習のポートフォリオが作成され、学生・教員が学習の進捗や成果を共有し管理できる仕組みも導入する。

電子透かしを応用した教育システムとしては、印刷物に電子透かしを埋め込み、カメラなどで撮影することで、タブレットなどの携帯端末を用いて学習できるものなどが報告されているが、動画像に秘密情報を埋め込み、学習成果や進捗の管理に活用するような取り組みは知られていない。

(2) 既往研究の成果と着想に至った経緯

研究代表者らは、平成 21~23 年度の科学研究費補助金 (基盤研究 (C) 一般) 「関連特性の優れたスペクトル拡散系列に基づく安全性の高い情報ハイディング技術の開発」 (課題番号 21560423)、および平成 24~26 年度と同補助金 「高性能なスペクトル拡散型電子透かしを防災サイレンに応用した防災無線システムの開発」 (課題番号 24510240) において、完全相補系列と呼ばれる理想的な関連特性をもつスペクトル拡散系列を応用した電子透かしを静止画像および音声信号に導入

する技術およびこれを応用したシステム開発に従事してきた。これらの研究で開発された方式は、耐雑音性・耐攻撃性に優れ、透かしが原信号へ与える影響も少なく、かつ埋め込まれた秘密情報を正確に抽出できることが示されている。動画像は原則として静止画像の時間推移によって表現されるため、これまでに開発された方式は動画像信号にも応用が可能である。また、動画像と同様に時間的に推移する音声信号においても、用いた系列の優れた関連特性から、信号の同期捕そくが容易であるなどの特長があり、この点も動画像に適用した際に有効であると考えられる。

以上の成果および考察を踏まえ、研究代表者等は、同方式をビデオ教材に適用することで、改ざんや削除といった不正な攻撃に強く、人間の目や耳で認知することが難しい上、信号の同期をとりながら正確な抽出が可能であるようなマーカを埋め込むことができると考えた。このようなマーカを活用することで、正確かつ公平に学生個々の学習状況の確認や達成度評価を行なうことができると考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究で提案する教材システムは、動画像に適した電子透かし方式、同方式でマーカを埋め込むためのソフトウェア、同ソフトウェアで実際にマーカが埋め込まれたビデオ教材、動画を再生しながら抽出したマーカを用いて進捗管理を行なうためのソフトウェア、および、安全かつ効率的に学習成績等の情報共有ができるオンラインシステムから構成される。本研究の目的は、以下の 3 点に分類できる。

- (1) 完全相補系列を利用した電子透かし方式のビデオ信号への応用および特性解析
- (2) ビデオ信号へ埋め込まれたマーカを活用して学習成果の管理が可能なオンライン教材の開発
- (3) 提案方式を用いた能動学習型モデル授業の構築と運用および評価

まず、(1) では、従来の研究で提案してきた完全相補系列を用いた電子透かし方式を、ビデオ教材を想定した動画像信号へ適用する。埋め込み方式としては、動画像のすべてのフレームではなく、静止画像とみなすことができる、あらかじめ指定された数枚のフレームのみに埋め込むことを考え、これらすべてを読み込むことで必要な情報を抽出することを検討する。その結果として、耐雑音性、抽出精度、処理速度等の面から優れている方式を策定する。また、特性解析においては、現実的なインターネット環境を用いて、オンラインで動画を再生しながら処理した場合の受信特性についても検討する。

一方、(2) では、ビデオ教材に自動的にマーカを埋め込むソフトウェア、学生がビデオ教材を視聴しながら、バックグラウンドでマ

ーカを検出し、再生時間などのデータを教員へフィードバックしたり、データを蓄積したりするソフトウェア、および、学習後のレビューなどをオンラインで提出し、教員と学生が学習の進捗状況などを共有するソフトウェアを開発する。学生がビデオ教材を正しく視聴していることを検出するために、再生時間を記録するほか、ランダムなタイミングで学生に画面をクリックさせるなどの操作を持たせる機能を付する工夫なども取り入れる。

(3)では、上記の(1)、(2)で開発したビデオ教材、オンラインソフトウェアを用いて、効果的に能動学習型の授業を行なえるようなモデル授業を構築し、高専本科生を対象に実施する。事前に予習としてビデオ教材を学生に視聴させ、反転授業を行ない、授業後には学生自身によるレビューを実施する。運用の結果は、同教材を使用しなかった年度と使用した年度における学習への取り組み状況や達成度評価などの指標を用いて、定量的に比較・評価する。

以上の研究成果を、学内外に開示し、アクティブ・ラーニングの実施例として情報共有を行なう。

### 3. 研究の方法

#### (1) 動画電子透かし方式の検討と特性検証

従来の研究で開発した完全相補系列を用いた電子透かしアルゴリズムをビデオ信号に導入するにあたり、静止画像ないし音声信号の周波数領域ではなく、映像の1フレーム画像そのものに透かしを埋め込むことになるため、その場合における映像への影響、抽出精度、処理速度などの特性検証を行ない、本研究でどのような方式を採用するかを検討する。特性の検証は計算機実験で行なうが、実際のインターネット環境でオンライン視聴した場合の性能についても映像の品質や処理速度の面から評価を行なう。

#### (2) マーカの自動埋め込みソフトの開発

ビデオ教材に対して、提案した電子透かし方式を用いてランダムな位置にマーカを自動的に埋め込むプログラムを作成する。また、学習者がランダムな間隔で再生画面をクリックないしタップするような可視マーカも表示し、教材のすべての部分を学習者が視聴しなければならないような仕組みを工夫する。

#### (3) ビデオ教材視聴ソフトの開発

学習者がビデオ教材を視聴しながら、教員に学習の進捗状況を自動的にフィードバックできるソフトウェアを開発する。ビデオ教材を再生中に、埋め込まれているマーカをバックグラウンドで抽出し、これらのマーカがすべて抽出されていることをチェックする。また、前述の通り、このソフトウェアでは、視聴画面上に現れる可視マーカを学習者がすべてクリックまたはタップすることを要求する。埋め込まれたマーカがすべて抽出さ

れ、可視マーカがすべてクリックされれば、学習者がすべてのコンテンツを視聴したと判断し、そうでなければ、学習者の事前視聴が不十分であると判断し、教員に状況をフィードバックするように工夫する。

毎回の授業終了後に学生がオンラインで授業のレビューを行ない、授業前と後における理解度にどの程度の差が出たのか、などのポートフォリオを記録するためのソフトウェアを開発する。また、学生のビデオ視聴による学習状況も合わせてデータベース化し、教員と学生がデータを共有できるようにする。また、教材へのマーカの埋め込みに用いた系列から秘密鍵を生成し、これらを用いて、教員や学生に臨時パスワードを生成して使用させるなどの仕組みを導入し、個人情報などが漏えいしないよう、安全性の高いデータ管理システムとなるように配慮する。

#### (4) 教材の作成と授業の実践および評価

本研究でモデル授業として定める授業のビデオ教材を作成する。開発した教材システムを用いた能動学習型授業のシラバスおよび実施方法について検討を行ない、実際に授業を実施する。また、本研究で開発するシステムを使用する場合と使用しない場合のそれぞれについて、学生の理解度や授業の達成度などの観点から授業アンケートなどを用いて授業評価を行なう。

#### (5) 研究のまとめと研究成果の公表

上記(1)から(4)の研究成果について、口頭発表および論文投稿を行なう。

### 4. 研究成果

研究期間全体を通じた成果としては、能動学習用の動画教材を作成するにあたり、性能の高い画像電子透かし方式および動画電子透かし方式を開発し、その成果を検証することができた。その結果、従来提案されていた方式と比較し、高速に処理することが可能で、動画の再生品質への影響を低く抑えた上で、低い誤り率で情報が抽出可能であることが示された。また、動画教材を公開・閲覧するシステムも開発することができた。具体的な成果について、項目ごとに以下に記す。

#### (1) 画像電子透かし方式の応用

従来まで研究してきたスペクトル拡散系列の相関特性を利用した電子透かし方式をビデオ映像に応用する方法について検討した。具体的には、ビデオ映像から特定のフレームを抽出し、これに画像電子透かしに類似した方式で情報を埋め込む方法を提案し、特性検証の結果、大きな問題なく動作することを確認した。

#### (2) 画像特徴量を用いた電子透かしの導入

情報抽出時に抽出すべきフレームが正しく抽出されない、いわゆるフレーム同期ずれの問題が発生することを指摘し、画像特徴量などを利用することでこれを回避する方法を提案し、有効であることを確認した。

さらに、動画の各フレームに同じ情報を埋

め込み、複数フレームから多数決によって埋め込み情報を特定する方法を実装し、性能を検証した。この結果、多くの動画像において、正確に埋め込まれた情報を抽出できることが示された。

#### (3) DCT-OFDM 方式の応用

静止画像向けの電子透かし方式として知られる DCT-OFDM 型電子透かし方式にロバスト性の高い画像特徴量を導入することにより、同期処理等を高速化し、ビデオ信号に導入してもコマ落ちなどの問題が生じないように改良することができた。

#### (4) ホスト信号を近似する方式の導入

画像用の電子透かし方式の改良として、従来のように埋め込み情報を単に周波数領域に加算するのではなく、ホスト信号の周波数スペクトラムを埋め込み系列を用いて近似し、置き換える方法を提案し、この効果を検証した。その結果、スペクトラムが一定の条件を満たしている周波数成分だけを選択して埋め込むことにより、高い性能を得られることが判明した。

#### (5) 耐攻撃性に関する検討

悪意ある攻撃がステゴ動画データに加えられた場合にも正しく情報抽出が行なわれるかどうか、いわゆる攻撃耐性に関する検討を行なった。その結果、画像特徴量などを導入することで、特定の攻撃については効果は認められたものの、完全に情報の抽出が行なわれない例などもあり、今後課題が残された。

#### (6) 教材システムの開発

マーカを自動的に埋め込む機能とすべてのマーカを抽出しなければ学習のエビデンスとならない機能を付与することは、電子透かしの特性検証に用いたプログラムを拡張することで十分に対応可能であることが確認できた。

また、オンライン教材として公開する際に、独自で開発した動画ビューワにすべての機能を盛り込むのではなく、Blackboard など既存の e-ラーニングプラットフォームを併用することも検討した。さらに、教員が電子透かしを含んだ画像を公開したり、学習者が動画を閲覧したりできるようなプラットフォームをウェブ形式で開発した。このシステムでは、教員側では本研究で開発した方法で電子透かしを埋め込んだ動画教材をアップロードすることができる。学習者は、個別の ID とパスワードでログインした後、公開された教材を閲覧することにより、自動的にマーカが抽出され、閲覧の証拠として、教員側に抽出されたデータがフィードバックされる。これにより、学習者の事前学習状況が教員側で把握できるように設計されている。

#### (7) 授業の実践と評価

実際に本システムを導入するモデル授業科目としては東京高専情報工学科 5 年の「符号理論」を採用し、同科目において事前予習を前提とした反転授業を実施した。事前予習

用の教材は、ウェブページを通じて学生に公開した。本システムを導入せずに実施した半期の授業終了後に受講学生を対象にアンケート調査を行なった結果、通常の座学の授業よりも関心を持って授業に望んでいたこと、また、事前予習を行なわなかった学生もいた反面、授業内容の習熟度は比較的高かったことが検証された。

開発した学習システムを実際の授業に導入して効果を検証することについては、研究期間内に十分な検証までは至らなかった。今後、「符号理論」の授業で段階的に導入し、授業アンケート等で学習効果を検証して、システムを用いなかった場合の検証結果と比較を行なうこととした。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 16 件)

- (1) Tetsuya Kojima, “Spread Spectrum-Based Data Hiding Schemes and Beyond,” Conferences of Communications, Sensing and Coding, 招待講演, 2017 年 11 月 24 日, Melbourne, Australia.
- (2) Tetsuya Kojima and Kakeru Kato, “On the Host Signal Approximation for Image Data Hiding Scheme Based on Complete Complementary Codes,” The Eighth International Workshop on Signal Design and Its Applications in Communications, 2017 年 9 月 27 日, 北海道大学(北海道・札幌市).
- (3) Hiroshi Aoki, Takahiro Matsumoto, Tetsuya Kojima, Hideyuki Torii, Yuta Ida, Shinya Matsufuji, “Study on Rotation Attack Tolerability of Digital Watermarking Based on Two Dimensional Complementary Pairs,” 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia, 2017 年 9 月 8 日, 九州情報大学(福岡県・太宰府市).
- (4) 市岡由偉, 小嶋徹也, “画像特徴量に基づく同期回復を用いた DCT-OFDM 型電子透かし方式,” 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2017 年 3 月 6 日, 宮古島マリンターミナルビル(沖縄県宮古島市).
- (5) 立川徹, 市岡由偉, 佐田悠生, 小嶋徹也, “映像情報ハイディングを応用した能動学習教材における埋め込み・抽出方式の検討,” 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 2016 年 3 月 2 日, 屋久島環境文化

村センター(鹿児島県・熊本郡屋久島町).  
(6) 佐田悠生, 市岡由偉, 立川徹, 小嶋徹也,  
“情報ハイディング技術に基づくオンライン講義システムの提案,” 電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング  
エンリッチメント研究会, 2016年1月18  
日, 東北大学(宮城県・仙台市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小嶋 徹也 (KOJIMA, Tetsuya)  
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号: 20293136

### (2) 研究分担者

土居 信数 (DOI, Nobukazu)  
東京工業高等専門学校・電気工学科・教授  
研究者番号: 80547836

### (3) 研究分担者

田中 晶 (TANAKA, Akira)  
東京工業高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号: 20578132

### (4) 研究分担者

市川 裕子 (ICHIKAWA, Yuko)  
東京工業高等専門学校・一般教育科・教授  
研究者番号: 10290719

### (5) 研究分担者

松元 隆博 (MATSUMOTO, Takahiro)  
山口大学・大学院創成科学研究科・准教授

研究者番号: 10304495

### (6) 研究分担者

秋山 寛子 (AKIYAMA, Hiroko)  
長野工業高等専門学校・電子情報工学科・  
助教  
研究者番号: 20756530

### (7) 研究協力者

パラムバリ ウダヤ (PARAMPALLI Udaya)

### (8) 研究協力者

立川 徹 (TACHIKAWA Toru)

### (9) 研究協力者

市岡 由偉 (ICHIOKA Yui)

### (10) 研究協力者

佐田 悠生 (SADA Yuki)

### (11) 研究協力者

鎌田 寛 (KAMADA Kan)

### (12) 研究協力者

松永 悠斗 (MATSUNAGA Yuto)