

講義撮影のためのホワイトボードマーカによる 拡張現実空間内講義資料への手書き機能の試作について

伊東 佑真^{1,a)} 菊地 真人^{1,b)} 大園 忠親^{1,c)}

概要: 拡張現実感技術を利用した講義撮影は、講義中にリアルタイムに視覚演出を付加する事が可能である。拡張現実空間内にデジタル表示された講義資料は、資料を鮮明に表示する事が可能である反面、資料へのインタラクションが制限される問題がある。本研究では、空間拡張現実として、拡張現実空間内講義資料と位置・大きさ・内容が同期した講義資料をホワイトボード上に投影を行い、拡張現実空間内講義資料への直感的なインタラクションを目指す。具体的には、拡張現実空間内講義資料に対する、講師自身によるポインティングや、現実のホワイトボードマーカによる手書きを可能とする機能を試作する。本稿では、本機能の実現方法について示す。

キーワード: 拡張現実感技術 AR, 空間拡張現実 SAR, 講義動画作成支援, 画像処理, 手書き領域抽出,

1. はじめに

教育機関では、オンライン授業や反転講義等、学習環境が多様化しており、従来の一般的な対面授業とは異なった授業形態が見られる。その中で講義の配信や録画を行い、アーカイブとして保存する方法がある。本研究で対象とする講義は、講師がスライド資料やホワイトボードを使って講義を進める形を前提とする。

そのような講義の撮影は、講義資料の見づらさが課題として考えられる。講義の撮影方法は様々であるが、其々同様の課題が存在する。例えば、講義室内で講義を行う方法では、カメラの角度や室内の照明等の撮影環境や、講師との位置関係などの物理的な要因がある。また他の方法として、PowerPoint や Keynote のような一般的なプレゼンテーションツールを用いてスライドを表示し、カメラで撮影された発表者の画面をオーバーレイする方法も考えられる。そのような方法では、視聴側が、資料と発表者間の目線の行き来が起こり、同時に複数のコンテンツに注目する必要がある。加えて、発表者は資料と紐づいたジェスチャーを行う事が困難である。

本研究の目的は、拡張現実感 (AR) 技術の特長を有効活用し、新たな講義動画作成支援環境を実現することである。そのためにシステムの試作と評価を探索的に繰り返してい

る。本稿では、対象とする講義の撮影における講義資料の見づらさを課題とし、これらの解決を図るシステムを提案する。そのために、拡張現実空間内に表示されたデジタルな講義資料 (以降、AR 資料と呼称) への直感的なインタラクションを可能にしたシステムを試作する。具体的には、講師自身による AR 資料へのポインティングや、AR 資料への手書きを可能にする機能を実現する。

以降の本稿の構成を以下に示す。まず、関連研究と、本研究の先行研究とその課題について述べる。そして、提案システムについて、本研究の先行研究のシステムの課題を踏まえながら説明する。続いて、AR 資料への手書き機能の実装方法について述べる。最後に、本稿についてまとめる。

2. 関連研究

本研究における課題は、講師自身が撮影後の動画編集の負担なく、講義資料の見づらさを改善する事である。このような課題を解決する手法として、Saquib ら [1] は、発表者の姿勢やジェスチャーにより、画面中に表示されたデジタルなグラフや図の資料をインタラクティブに操作するシステムを開発した。また、Matulic ら [2] は、デジタルなスライド上に、発表者自身の動きに紐づいたアバターを投影するプレゼンテーションツールを試作した。

本研究の先行研究として、拡張現実空間内で、AR 資料や講義の進行を補助するエージェントを用いて、講義動画の作成支援するシステムを開発した [3]。それらのシステム

¹ 名古屋工業大学大学院 情報工学専攻

^{a)} higashi@ozlab.org

^{b)} kikuchi@ozlab.org

^{c)} ozono@ozlab.org

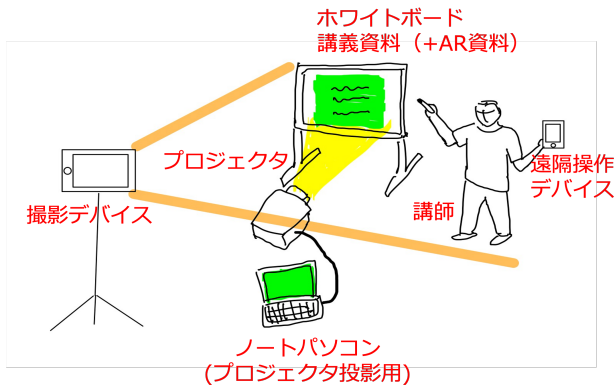


図 1 システムのハードウェア構成.

を、従来の AR 講義システムと呼称し、本稿における提案システムと区別するものとする。従来の AR 講義システムの特徴は、講師が講義室内で講義資料とのインタラクションを行いつつ、デジタル化された講義資料を表示できる事である。また、空間内に表示された AR 資料のレイアウトの調整や変更、操作が容易に行えるという点がある [4]。

従来の AR 講義システムでは、予め用意したスライドを表示し、システムを通じて間接的にポインティングやレイアウトの操作を行う。しかし、拡張現実空間内にある講義資料に対して、現実空間内に存在する講師が、直接資料内へのインタラクションを行う事が困難であるという課題がある。拡張現実空間内で講義撮影を行いつつ、講師が普段通りの対面授業のように講義を行える事が望ましい。そのためには、講師が拡張現実空間内に表示された講義資料に対して、直感的なインタラクションを可能とする事が必要であると考えられる。

デジタルな情報を、デバイス上の画面だけでなく、実空間上にプロジェクタ等を通して投影する方法を、空間拡張現実 (Spatial Augmented Reality, SAR) という。AR デバイスと SAR を組み合わせ、拡張現実空間内の情報を実空間上に投影する事により、デバイスを持たない第三者との共同作業や、拡張現実空間へのインタラクションが可能になる [5]。本稿では、従来の AR 講義システムに加えて、プロジェクタを用いて、拡張現実空間内に存在する講義資料と位置・大きさ・内容が同期した資料を、実空間の垂直面へ投影する。そして、そのような SAR 環境を利用し、AR 資料への直感的なインタラクションを可能とする事を目指す。例えば、本稿における手書き機能においては、ホワイトボードマーカを用いて、ホワイトボードに投影された資料の任意の位置に書き込みを行う事によって、その書き込み内容が AR 資料に反映される仕組みである。

3. 提案システム

3.1 提案システムのハードウェア構成

まず、提案システムのハードウェア構成を図 1 に示す。

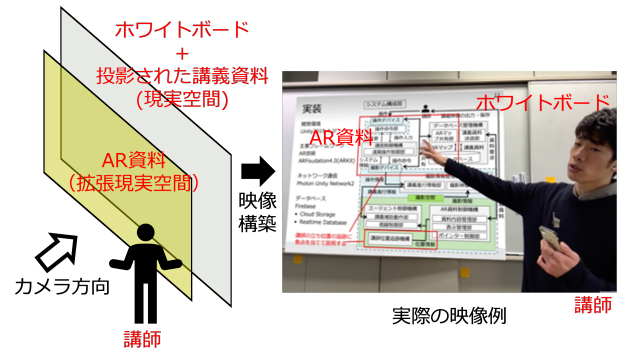


図 2 本システムによる講義資料の表示の仕組み。ピープルオクルージョン機能により、講師 (人) と AR 資料 (AR オブジェクト)、ホワイトボードと投影映像 (現実の物体) の前後関係を考慮し適切に表示する。

本システムでは、撮影デバイス、遠隔操作デバイス、ノートパソコン、及びプロジェクタの 4 つの部分で構成される。撮影デバイスは、拡張現実空間内のオブジェクトと、現実空間内の物体を合成した AR 映像 (講義動画) を構築する。遠隔操作デバイスは、システムを遠隔制御するためのデバイスである。システムの根幹を担う撮影デバイスや、その補助機能を担うノートパソコンを、講義中に直接操作するのは困難なためである。

ノートパソコンはプロジェクタの投影映像を制御するためのシステムであり、AR 資料と、内容が同期した講義資料を画面上に表示する。プロジェクタは、そのノートパソコンの画面をホワイトボード上に投影する役割である。講師は拡張現実空間内のオブジェクトである AR 資料を直接視認する事は不可能であり、AR 映像を通してのみ視認できる。従来の AR 講義システムでは、撮影デバイス画面を、別途モニターを準備し、画面をミラーリングする事で資料の確認が可能であった。しかし、この方法では、講師は講義資料内容の確認や資料のポインティングをする際に、適宜ミラーリングされた映像を確認しつつ講義を進行する必要があり、講義の進行の障害となる事が考えられる。そのため、提案システムでは、別途ノートパソコンとプロジェクタを用いて、拡張現実空間内に存在する AR 資料を直接視認できるようにシステムを構成した。

撮影デバイスと遠隔操作デバイスは Unity 2019.4.1 (開発言語は C#) を用いて iOS アプリ、ノートパソコンはデスクトップアプリとして実装した。本稿における実行環境は、撮影デバイスに iPad Pro 第 2 世代 iOS 14.4、遠隔操作デバイスに iPhone 8 iOS 14.6、ノートパソコンには MacBook Pro macOS Big Sur 11.4、プロジェクタは RICOH 社の短焦点プロジェクタ WX4152 を用いた。

3.2 AR 技術を利用した講義資料の表示

ここで、本システムにおける AR 技術を利用した講義資料の表示に関して説明をする。講師は、AR 資料を用いて

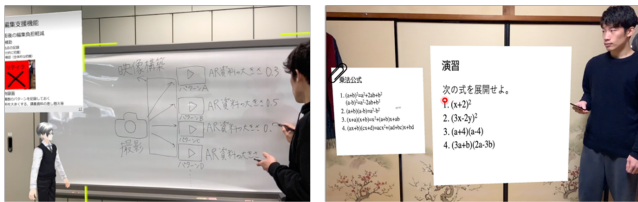


図 3 AR 資料のレイアウトの変更例. 左図: AR 資料を画面左上に移動させ、ホワイトボードで手書きの説明を行っている. 右図: 複数の資料を同時に表示しながら、講義を行っている.

講義を進める. AR 資料は, AR 技術により, 空間内に立体的に配置された仮想オブジェクトである. そのため, 本システムでは, AR 資料の内容は, ホワイトボードに投影された講義資料を通じて確認する. 図 2 に, 仮想オブジェクトである AR 資料と, 現実空間に存在する講師やホワイトボードの位置関係を示す. カメラに向かって, 最も手前に講師が位置し, 最も奥にはホワイトボードと, その平面にプロジェクタで投影された講義資料が映る. AR 資料は, 平面認識技術により, ホワイトボードの垂直面を認識し, 垂直面に平行に, 講師とホワイトボードの間に配置される. 講師とホワイトボード, 投影された講義資料は実際の空間上に存在するが, AR 資料は拡張現実空間上に存在する, 実際には存在しない仮想オブジェクトであり, この位置関係はシステムが判断するものである.

AR 技術には, 深度情報に基づき, AR オブジェクトと人間の前後関係を把握し, 実際の位置関係に則した表示が可能になる. 本機能をピープルオクルージョンと呼ぶ. 本システムは, ピープルオクルージョンにより, 仮想オブジェクトである AR 資料と, 現実の物体である講師・ホワイトボード・投影資料の立体的な位置関係を映像で表現できる. 講師が AR 資料に隠れることがなく, プロジェクタの投影映像やホワイトボードの内容が AR 資料に隠れるようになっていない. 図 2 の実際の映像例が示す通り, 講師が手を使って, 資料を直接指し示すような動作が可能である.

3.3 提案システムによる課題の解決案

従来の AR 講義システムでは, 撮影デバイス画面をミラーリングしたモニターを別途準備し, 映像を通して講義資料の内容や, 講師自身と資料の位置関係を把握する必要があった. 例えば, 資料の直接指し示す動作を行う際に, モニターで講義資料と自身の手の位置を確認しながら行わなければならない. 提案手法によるシステムでは, プロジェクタにより, 拡張現実空間内に存在する講義資料と, 位置・大きさ・内容が同期した資料を投影する. 講師はより直感的に資料のポインティングをすることができる.

AR 資料は, そのレイアウトを自由に変更できる. 講義資料を表示しつつも, 画面の隅に移動させる事により, ホワイトボードや黒板で手書きの説明を行うといった, 複数の資料を使いながら講義を進めるといった方法が考えられ

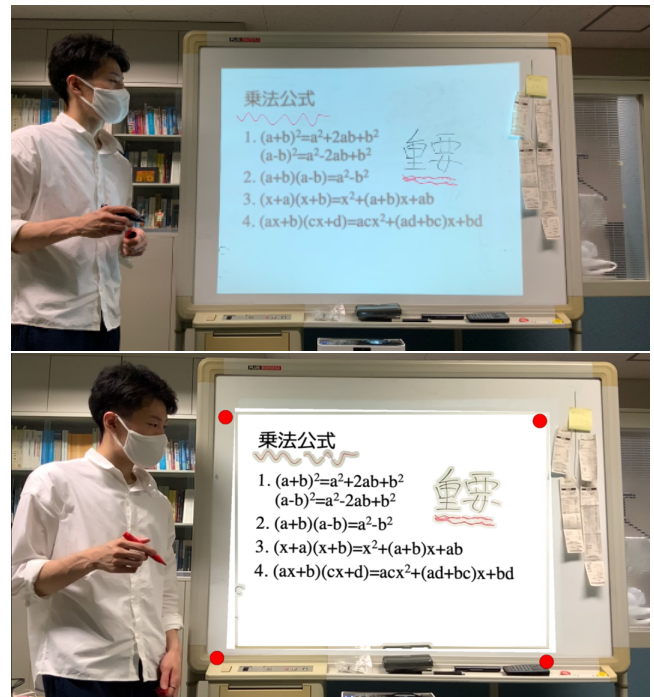


図 4 上図は, 単純にホワイトボード上に講義資料を投影し, その上からマーカで書き込んだものを撮影したものである. 下図は, 本システムによる拡張現実空間内講義資料への手書き機能の実行画面である.

る (図 3).

しかしながら, 前述した手書きの方法では, あくまで講義資料と手書きの部分が分かれており, 講義資料と上手く連動した説明を行う事は難しい. そこで, 本稿では, 拡張現実空間上に存在する仮想オブジェクトである講義資料へのインタラクションを可能にする機能として, AR 資料上への手書き機能を試作する. 本機能は, 講師が専用のデバイスである手書き用のタブレット等を用いる事なく, あくまでホワイトボード上に貼られた資料上へ書き込むような操作感を目標とする. AR 資料への手書き機能は, あくまで見易さを重視したデジタルな表示が可能である AR 資料を用いつつも, それらと連動した講義が可能になる事が期待される. 図 4 上図は, システムを用いる事なく, 単純にホワイトボード上へ講義資料を投影し, マーカで書き込んだものを撮影したものである. 一方, 図 4 下図は, 本稿で試作した AR 資料上への手書き機能の実行画面である. ホワイトボード上に書き込まれた手書きの文字や線が, AR 資料上に表示されている. 実際には書き込まれた手書きの文字や線は, 本来 AR 資料に隠れているが, 手書き機能によって, それらの手書き部分が, 拡張現実空間上の講義資料へ反映されている.

4. 講義資料への手書き機能の実装

本システムによる講義資料への手書き機能の一連の流れを図 5 に示す. 画像処理には, 画像処理に関連する機能を

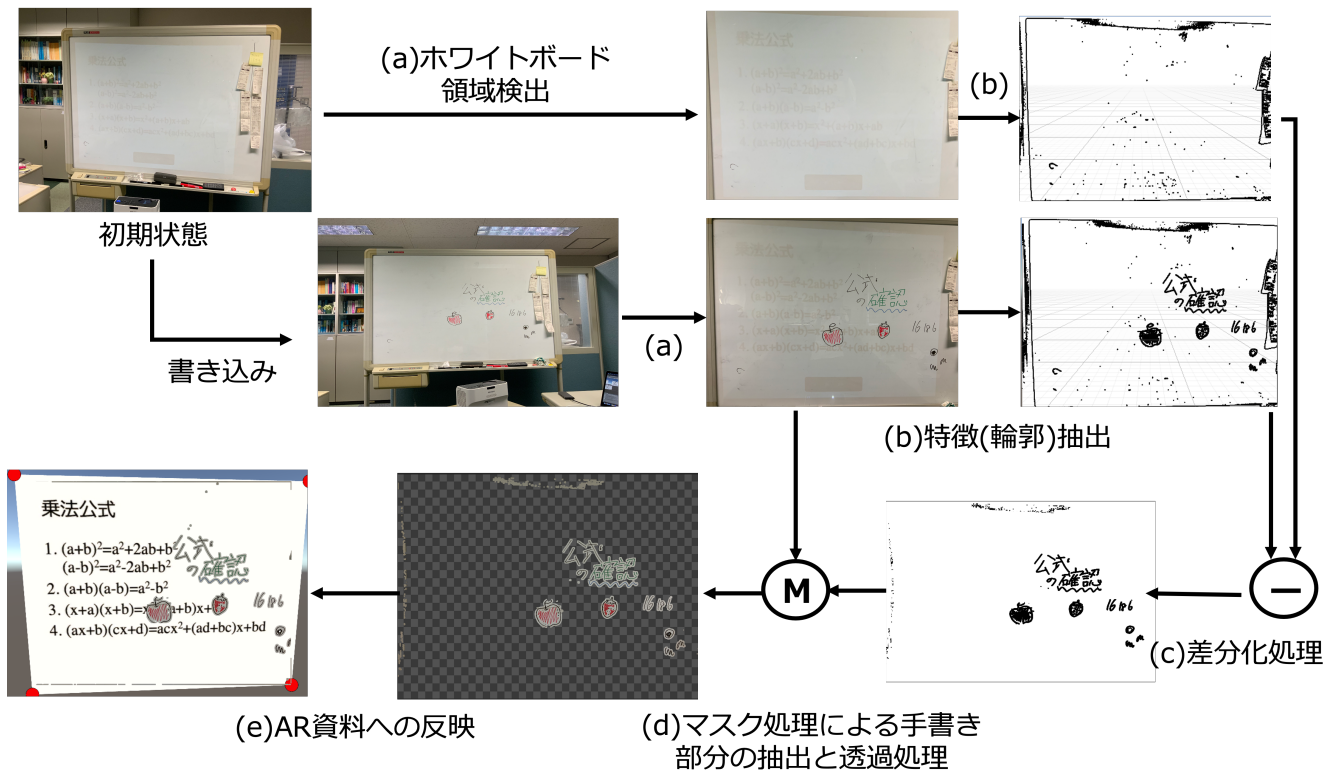


図 5 手書き機能の一連処理の模式図

提供するライブラリである OpenCV の、C#用ラッパーライブラリである OpenCvSharp^{*1}を用いて実装した。

4.1 ホワイトボード領域の検出

図 5(a) では、ホワイトボード内における、プロジェクトで投影された講義資料の領域部分を切り取る。ホワイトボード内の特定の領域を検出する方法としては、特定色に限定したマグネット [6] や、マーカーで四角形の線で囲む [7] などのやり方が考えられる。本システムでは、プロジェクトに投影された講義資料と AR 資料の位置や大きさは同期しており、予めシステムを用いて撮影を行う前に設定を行う。投影資料と AR 資料の同期は、平面検出を用いた位置調整と、AR オブジェクトである AR 資料の大きさ調整を行う事により、設定が可能である [3]。そのため、本手法では、AR 資料の 4 隅の 3 次元座標から、カメラ画像内における投影された講義資料の 4 隅の 2 次元座標を算出し、ホワイトボードの特定領域を切り取る方法を取る。

まず、資料 4 隅の 3 次元座標を、カメラを原点とするビュー座標系に変換する。本システムのカメラは透視投影により、空間内の描画が行われ、カメラに映る範囲を表した空間（視錐台）は台形となる。視錐台内における対象座標を算出するため、描画範囲を正規化された座標空間に変換するプロジェクション座標変換を行う。得られた値に取得画像の大きさを掛ける事により、カメラ画像内における

資料の位置が算出される。

4.2 画像処理による手書き部分の抽出

図 5(b) では、画像中における手書き部分を取得するため、まず画像中における輪郭を抽出する。輪郭抽出アルゴリズムには、2 値画像から輪郭抽出を行う Suzuki85 のアルゴリズム [8] を用いた。

本システムはホワイトボード上へ、拡張現実空間内の資料と同期した講義資料を、プロジェクトを用いて投影している。それによって、拡張現実空間上に存在する仮想オブジェクトである AR 資料へ、内容・位置を直感的に確認しながら書き込みが行える。本手法では、手書き部分の抽出に、画像中の輪郭抽出を用いる。この手法では、本来想定される手書き部分の抽出以外に、プロジェクトにより投影された講義資料まで認識し、輪郭線を検出してしまいう可能性がある。この問題に関しては、事前実験にて、ノートパソコンのシステム側で、投影する講義資料の輝度やコントラストを調整し、薄く投影する事により、講師が問題なく資料を確認できる範囲で、投影資料の輪郭線の誤検出を十分に減らす事を確認した。よって、本システムでは、ノートパソコンのシステムにより、投影資料の調整を行う事で、輪郭線の誤検出に対応した。もし投影資料の悪影響が大きければ、HSV 色空間のパラメータからフィルタリングする方法や、マーカーを特定色に限定して取り出す方法が考えられるが、今回はそれらの対応は必要ないものとする。

^{*1} <https://github.com/shimat/opencvsharp>

輪郭抽出は、手書きした部分とは無関係の部分も、輪郭線として取得してしまう。(c)の差分処理では、そのような無関係の部分を削除するための処理である。方法としては、まず書き込む前の状態を初期状態として、それらの輪郭情報を取得しておく。取得した手書き画像の輪郭情報から、初期状態の輪郭情報の差分を取得する事で、手書き情報のみを抽出する。この処理は、講義撮影は講師一人で行う事から、カメラは固定される事が前提である。

(d)では、最終的に(c)で得られた手書き部分をマスクとして、元のカメラ画像から、その部分のみを抽出する。抽出画像はRGBA画像であり、抽出部分以外は、透過処理を行い、透明となる。本システムは輪郭特徴からマスクを生成し、元の画像から取得する仕様のため、使用するマーカ色の制限はなく、これは講師が普段通りの対面授業のように講義を行えるという目標に一致する。

4.3 講義資料上への反映

ホワイトボード領域の検出で説明した通り、カメラ画像上における講義資料の位置は算出できる。そのため、(d)で得られた手書き部分が抽出された透過画像を、カメラ上の講義資料に対応する位置に表示する事は可能である。これらの一連の処理を繰り返す事により、講義資料への手書きに対応する。本システムは、0.5秒間隔の頻度で手書き部分を更新する。これに関してはより高いリアルタイム性が求められるため、改善が必要である。

5. おわりに

本論文では、本研究の先行研究によるシステムでは、拡張現実空間内講義資料へのインタラクションが制限されるという課題に対して、拡張現実空間上のデジタルな講義資料上への手書き機能を試作した。提案システムでは、空間拡張現実として、プロジェクタを用いた拡張現実空間内の講義資料と同期した資料の投影を行い、画像処理技術によって手書き機能の実装を行なった。提案システムによって、拡張現実空間内講義資料への直感的なインタラクションが可能なる事が期待できる。今後の課題としては、提案手法によるシステム性能の評価実験や、現状の動作環境以外の、様々な撮影環境でシステムの実験を行い、システムの完成度を高める必要がある。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費JP19K12266の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] N. Saquib, R. H. Kazi, L.-Y. Wei, W. Li, “Interactive Body-Driven Graphics for Augmented Video Performance” In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, No.622, p.1-12, 2019.
- [2] F. Matulic, L. Engein, C. Träger, R. Dachsel, “Embodied Interactions for Novel Immersive Presentational Experiences” Conference: the 2016 CHI Conference Extended Abstracts, p.1713-1720, 2016.
- [3] Y. Ito, M. Kikuchi, T. Ozono, T. Shintani, “Developing a Lecture Video Recording System Using Augmented Reality”, 10th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), IEEE p.65-70, 2021.
- [4] 伊東佑真, 大園忠親, 新谷虎松, “撮影空間の立体的利用のための拡張現実感技術に基づく講義録画システムの開発” 情報処理学会 第83回全国大会, 2pp, 2021.
- [5] J. Hartmann, Y.T. Yeh, D. Vogel, “AAR: Augmenting a Wearable Augmented Reality Display with an Actuated Head-Mounted Projector”, In Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, p.445-458, 2020.
- [6] 塚田 裕太, 牛田 啓太, 鶴見 智, “AR ホワイトボード : 実物体インタフェースを用いて実空間情報とデジタル情報を融合する拡張板書環境”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 17 卷 4 号, p.505-508, 2012.
- [7] 井上 亮文, 小林 未宇, 市村 哲, 星 徹, “簡易書式の認識に基づくホワイトボードログの整理・共有システム”, 情報処理学会論文誌, Vol.50 No.1, p.278-288, 2009.
- [8] S. Suzuki, K. Abe, “Topological structural analysis of digitized binary images by border following”, Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.30, p.32-46, 1985.