

平成27年度 卒業論文

色情報を用いたARマーカの認識性能の向上

平成28年2月19日

12111002

伊藤 学歩

指導教員 三浦 元喜 准教授

九州工業大学 工学部 総合システム工学科

概要

双方向型の授業を実現するため、紙を用いたレスポンスアナライザシステムが研究されている。このシステムでは学習者がAR マーカが印刷された紙を掲げて回答するシステムであるが、教室で用いるため多くの遮蔽が起こると考える。そこで、印刷するAR マーカとして、隠蔽に強いランダムドットマーカを採択した。ランダムドットマーカは事前に登録した特徴点の配置からキーポイントマッチングを行うため、遠くからマーカを認識しようとするとき必然的にマーカ認識に必要な特徴点の数が増え、認識速度が低下する。そこで、色情報を用いて必要な特徴点を取り除き、認識の効率化を図った。色情報を用いるこの手法は、特に特徴点が多く存在する環境において有効な手法であることを実証できた。

目次

第1章 序論	3
1.1 レスポンスアナライザについて	3
1.1.1 レスポンスアナライザとは	3
1.1.2 紙を用いたレスポンスアナライザ	4
1.2 ランダムドットマーカ	4
1.2.1 一般的な AR マーカ	5
1.2.2 ランダムドットマーカとは	6
1.2.3 認識の仕組み	6
1.2.4 レスポンスアナライザとしてのランダムドットマーカ	7
1.3 研究目的	8
第2章 関連研究	9
2.1 色情報と直線検出を用いた AR マーカ検出手法	9
2.2 2次元カラーコード実現を目指した画像中の色認識	9
第3章 提案手法 1:ドット色の変更	11
3.1 評価実験	11
3.1.1 実験内容	11
3.1.2 使用する物・環境	12
3.2 実験方法	12
3.3 結果と考察	13
第4章 提案手法 2:マーカ背景色の変更	15
4.1 マーカデザイン	15
4.2 色認識によるマーカ検索範囲の限定	15

4.3	想定される問題	17
第5章	評価実験	18
5.1	概要	18
5.1.1	実験内容	18
5.1.2	使用する物・環境	18
5.2	実験方法	19
5.3	実験結果	20
5.4	特徴点の多い環境での実験	20
5.5	認識距離について	22
5.6	考察	24
第6章	結論	25
6.1	まとめ	25
6.2	課題と今後の展望	26
	謝辞	28
	参考文献	29

第1章 序論

本論文ではレスポンスアナライザとして用いる際の色情報を利用した AR マーカの認識速度と周りの環境からの影響の関係について論ずる。この章では、レスポンスアナライザシステムについてとその種類、またレスポンスアナライザに用いる AR マーカについて紹介したのち、最後に本論文における研究目的について述べる。

1.1 レスポンスアナライザについて

レスポンスアナライザとはどのようなシステムで、どのような種類があるのかを説明する。

1.1.1 レスポンスアナライザとは

参加型のインタラクティブな授業は、学習者の授業に対する能動的な姿勢を生み出すとして期待されている。そのような授業を行うため、複数のボタンを備えている赤外線リモコンであるクリッカーツールやスマートフォンなどの電子デバイスを用いたレスポンスアナライザシステムが研究されている [1]。このシステムの特徴は、学習者の意見や問題の回答などを即座に教師に集約できることである。また、匿名性を保った上での回答も可能であるので、口頭での発表と違い、学習者は間違いを恐れずに問題に対して回答できることも特徴である。答えが間違っていた場合、なぜ間違っていたかを学習者自身が考えることで学習効率が上昇し、教師も不正解である学習者の人数に応じて、授業展開の改善がリアルタイムで行える。レスポンスアナライザシステムに用いるクリッカーツールは、ボタンを有していることから択一問題に対する回答に長けている。また国内外を問わず、多数の生徒がクリッカーを利用した双方向型授業の実現を評価している [2, 3]。スマートフォンやタブレット端末を用いたレスポンスアナライザは、それぞれ

のデバイスの通信環境が必要になるものの、自由筆記で学習者が教師または他の学習者に意見を伝えられることがクリッカーとは異なる特徴を持つ。スマートフォンをレスポンスアナライザとして用いた研究 [4] では、学習者同士による学び合いによる学習意欲の向上も見受けられたと述べられている。このように、電子デバイスを用いたシステムの有用性は実証されているが、授業を運営する教師への負担は大きい。普及してきたとはいえスマートフォンを学習者全員が持っているとは限らないこともあり、教師は授業の度にデバイスの用意、運搬、配布を行わなければならない。また、日常的にそれらのデバイスの充電や管理などを行う必要もある。さらに、大量の電子デバイスの購入のコストを考えると、レスポンスアナライザシステムが普段の授業に導入されにくいといったことも考えうる。

1.1.2 紙を用いたレスポンスアナライザ

上記のような教師への負担を減らすために、紙を用いたレスポンスアナライザシステムが研究されている [5, 6]。このシステムは、図 1.1 のように、教室前方に設置しているカメラに向かって紙を掲げることにより回答するシステムである。紙には PC、カメラにとって情報が存在する位置の目印となる AR マーカなどが印刷されている。印刷された AR マーカは個人を識別できるように、それぞれ ID 情報を持っている。また、回答をする際には AR マーカの向きを利用することが多い。[5] では、紙の四隅に黒いコードを印刷し、そのうち三つを向きの認識に用いて残り一つを個人の識別 ID として利用している。充電やメンテナンスが必要な電子デバイスに比べ、紙の方が管理が容易であり、また授業導入へのコストも紙にマーカを印刷することとカメラを備えた PC を用意すればよいので、電子デバイスを利用したシステムより比較的安価に収まる。

1.2 ランダムドットマーカ

一般的な AR マーカとランダムドットマーカの特徴、またそれらの認識手法の違いについて述べる。



図 1.1: 紙を用いたレスポンスアナライザ認識の様子

1.2.1 一般的な AR マーカ

AR マーカは、黒く四角い枠を伴うデザインが一般的である。枠の中にはそれぞれの ID 情報を識別するため黒い四角形などの図形や文字が印刷される。このようなマーカデザインは、オープンソースの ARToolkit[7] などに使用され広く普及している。このシステムのマーカ認識の仕組みは、入力画像をグレースケール化、次いで 2 値化を行い、輪郭検出により黒い枠の領域を検出し、位置・姿勢計算を行った後、ID 部分のマッチングを行う。また、ARToolkit を改良した ARTag[8] といったマーカシステムにも枠を持つマーカが使用される。しかしながら、四角く黒い枠の中というデザインに限定されてしまうことが不都合になる使用状況がある。それは、枠の一部が隠れてしまうと認識が不可能になることが大きく関係している。このことは、教室で多数のマーカを認識する際に、レスポンスアナライザとして致命的な弱点と言える。なぜなら、紙を掲げた時、手がマーカの枠に重なってしまったり、前方の人の体で隠れてしまいマーカが認識されないという場合が想定できるからである。

1.2.2 ランダムドットマーカとは

以上の理由より黒い枠のないマーカが研究されている。その中で、ランダムドットマーカ [9] という AR マーカが存在する。このランダムドットマーカは内山らによって開発されたマーカの一部隠蔽に対するロバスト性と自由なマーカデザイン性を持つマーカである。従来のマーカとの違いは四角い枠を必要としない代わりに多数のドットを持つことである。ARTag のようにマーカの枠内のビットで ID を表現するものとは違い、事前にランダムにドットを生成して座標を登録しておき、登録されたマーカとのマッチングを行い、マーカを判別する。図 1.2 のように、点への一部遮蔽があつたとしても、マーカを認識している。

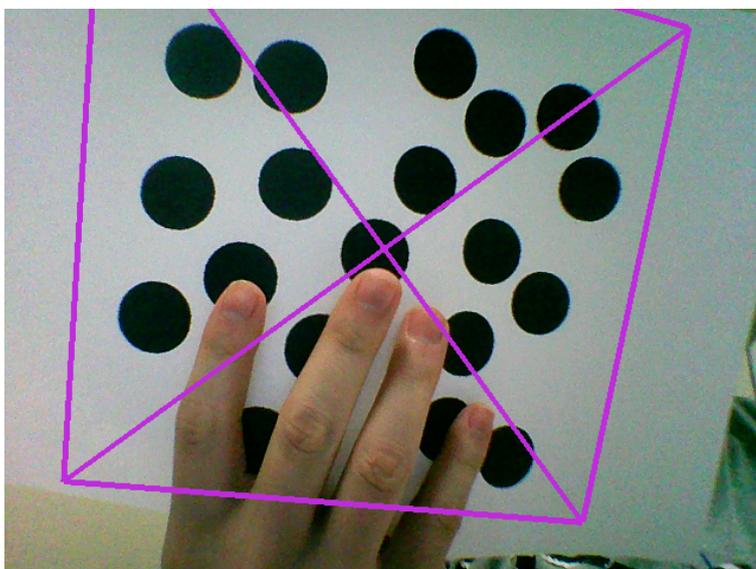


図 1.2: 隠蔽に対するロバスト性

1.2.3 認識の仕組み

まずカメラからの入力画像をグレースケール化し、それを事前に設定してある閾値で 2 値化を行う。2 値化を行った画像の白い領域に対し、それぞれの重心を計算し特徴点とする。その特徴点の並び方から、事前に登録しておいたドットパターンと一致するものを LLAH(Locally Likely Arrangement Hashing) に基づくキーポイントマッチングにより

1つのマーカとして認識する。LLAHとは、リアルタイム文書画像検索を行うため開発された手法であり、カメラからの入力画像が射影歪みを受けた場合においてもロバストにキーポイントマッチングを行えることが特徴である [10]。マッチングに利用する特徴量として、同一平面上の近傍4点から導かれる三角形の面積比(アフィン不変量)を用いる。しかし、カメラの入力画像の角度によっては、単純に近傍4点を抜き出すと、図1.3のように違う近傍点をとることがある。ゆえに、近傍n点のうちm点を共通とみなし、共通のm点の中から4点を選び、特徴量を算出する。図1.3では、近傍7点のうち6点が共通である。

しかし、LLAHを用いたキーポイントマッチングだけでは、「マーカ候補」を選出したにすぎない。その候補の中から射影変換を計算し、最終的に「マーカ候補」の中からどのマーカが正しいマーカかを判断する。射影変換の計算には、RANSACを用いる。RANSAC[11]は、最小二乗法などと違い、外れ値を多く含んでいたとしてもロバストに射影変換などを特定できる推定法である。登録してある点群とLLAHによって入力画像からの点群のそれぞれの点のいくつかのセットを抜き出し、サンプルの射影変換を作り、そのサンプルを用いた結果が正しいかどうかを判断する。その処理を繰り返し行い最終的に正しい射影変換を導くことができる。

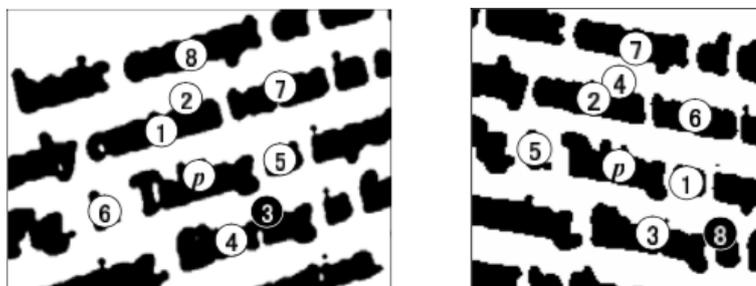


図 1.3: 特徴点 p の近傍は角度によって異なる ([10] の図 3 を引用)

1.2.4 レスポンスアナライザとしてのランダムドットマーカ

紙を用いたレスポンスアナライザシステムは、前述したようにカメラを教室前方に設置して運用される。必然的に教室全体を撮影することになるので、認識すべき対象であるマーカは小さくなるとともに、図1.4のように周囲の環境の不要な特徴点(マーカ

が持つドット以外の点) は多くなる。Random Dot Markers[9] には、RANSAC を用いて外れ値を除いて射影変換を計算しているために、それぞれドットを 40 個持つ 6 つのマーカを同時に読み込む際のマーカ検出には 100ms ほど時間がかかると述べられている。前述したように RANSAC は繰り返し処理を行うため、不要な特徴点が多ければ多いほど計算に時間がかかってしまうと考える。



図 1.4: 実際の教室での特徴点 (およそ 100 個の特徴点)

1.3 研究目的

紙を用いたレスポンスアナライザは導入も容易であり双方向型授業の促進につながる。我々は遮蔽が多く起こると予想される教室で AR マーカをレスポンスアナライザとして用いるためランダムドットマーカを採択した。ランダムドットマーカを教室などで用いる場合、マーカのドット以外にも、周りの環境 (学習者の衣服、髪の毛など) も特徴点として認識してしまう。そこで色情報を追加することにより、マーカ検索範囲を限定する。範囲を限定することによって、キーポイントマッチングに用いる必要のない特徴点の数を減らし、マーカ検出時間を短くできると考えた。

第2章 関連研究

本章では関連研究である色情報を用いたマーカベースのARに関する論文を紹介する。

2.1 色情報と直線検出を用いたARマーカ検出手法

武井らの研究 [12] では、黒い枠ではなく色のついた枠を持ったARマーカを用いてマーカ検出を行っている。マーカの検出システムには前述したARToolkit[7]を使用しているが、その問題点として照明などの光や、それによって起こる影が影響してマーカ認識率が低下することを指摘している。その原因は入力画像をグレースケール化し、2値化を行う過程にあると述べられている。そこで黒い枠を持ったARマーカではなく、赤色の枠を持ったマーカを認識対象とする。グレースケール化の過程の代わりに、入力画像を明度という明るさの値を表すことのできるHSV空間に変換したあとで、2値化を行っている。また、輪郭線検出を用いるのではなく直線検出を用いることで、マーカが入力画像外にはみ出してしまう場合にも認識できるような手法を提案している。結果として、従来のARToolkitで用いるグレースケール化を行うより、HSV色空間に変換しマーカ認識する提案手法の方が光の当たり方によって左右されない認識方法であると述べている。

2.2 2次元カラーコード実現を目指した画像中の色認識

寺田は2次元カラーコードの認識精度の向上を目指した研究を行っている [13]。2次元カラーコードとは、複数の色を持つ四角形を並べたマーカで、色の順番などによって1つのマーカと認識される。カラーコードを実装する際、紙に印刷された色は印刷機やインクの色、カメラの特性、撮影環境によって変化してしまい、これは避けようのない問題である。したがって、実用化に至っているカラーコードはどれも色数が少ない。この研究では、上記の問題を解決するため、光による色変化に対応できる色認識手法を用い

て、2次元カラーコードの色数の増加やそれに伴うデザイン性の向上を目的としている。色を正確に認識するために、この研究では2つの手法を提案している。1つは見本色を用いて色のマッチングを行う手法である。64色のカラーコードの上部に見本色を用意し、それ以外の色をマーカ評価に用いる。見本色と評価部において同様に変化すると考えられるので、色変化に対応したロバストな色認識を実現できる。ニューラルネットワークによる見本色の学習を行い、9割以上の高い認識率を示した。もう1つは、1つ目の手法を含めた3つのロバストな色認識手法による多数決で色認識を行う手法である。それぞれの手法で間違いの起こる傾向に違いがあるが、多数決を利用することにより色認識率の向上を示している。

第3章 提案手法1:ドット色の変更

色情報を用いてマーカー周囲の不要な特徴点を減らす1つの手法として、図3.1のような白色の背景で赤色のドットを持つ「赤色ドットマーカー」を用いて、赤色部分を特徴点として抽出する手法を考案した。ドットの色をそのまま抽出することによって、計算コストを抑えつつ不要な特徴点を除くことができる手法だと考えたため、実装に至った。[14]で述べられているように、青色は明度が低く認識されやすいため、赤という色を選択した。マーカーの認識には内山らが公開しているサイト¹にあるランダムドットマーカーのシステムを用いたが、従来手法のグレースケール化と2値化を行う過程を、赤色部分を検出する以下の方法に変更する。まず、入力画像の平滑化を行い、次にHSV色空間に変換する。そして、赤色の部分を白色、他の部分を黒色に塗りつぶし、バイナリ画像を作成した。提案手法1を用いて、マーカー認識が正確に行われるか、認識距離はどうなるかについて以下の実験を行った。

3.1 評価実験

実験内容や実験に使用する機材、環境などについて述べる。

3.1.1 実験内容

提案手法1と従来手法(グレースケール化と2値化)における特徴点検出の数、マーカー認識距離の比較を行う。

¹http://limu.ait.kyushu-u.ac.jp/~uchiyama/me/index_e.html

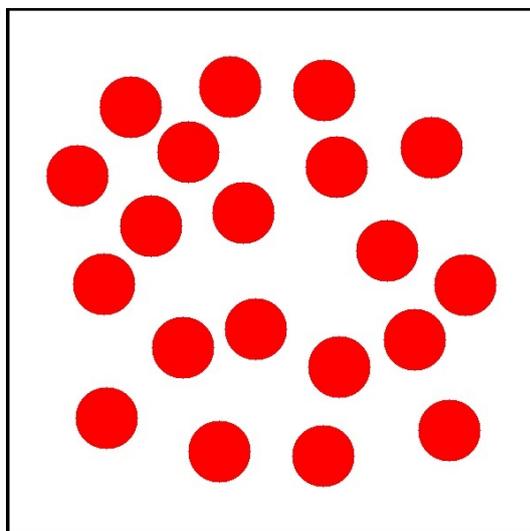


図 3.1: 赤色ドットマーカ

3.1.2 使用する物・環境

マーカ認識のために、PC は Panasonic 社の CF-SX1(Core i5-2540M vPro 2.60GHz, メモリ 4GB) で、カメラは Microsoft 社の LifeCam Studio(解像度 640×480) をそれぞれ用いた。認識するマーカサイズは 210×210 の正方形で、ドット半径は約 1cm, 一つのマーカが持つドット数は 20 個とした。実験を行う場所は人のいない本学の教室である。照明環境について、日光は遮断していて蛍光灯を 21 本点灯させた室内で実験を行った。

3.2 実験方法

教室の机の上に置かれたマーカを 5 つ設置する。マーカはそれぞれ 20 個のドットを持っている。カメラからの距離は約 1.5m の距離に 2 つ (図 3.2 前方), 2.4m(図 3.2 中央), 3.4m(図 3.2 左), 4.0m(図 3.2 右) である。両手法において、5 つのマーカを認識できるかどうかを確認した。

3.3 結果と考察

結果は従来手法 (図 3.2) は 3 つのマーカを認識していたが, 赤色ドットマーカ (図 3.3) は 2 つのマーカしか認識しなかった. 従来手法で 3 つのマーカを認識した時のドットの数 は 109 個であるのに対し, 赤色ドットマーカで 2 つのマーカを認識した時のドットの数 は 240 個であった. 赤色ドットマーカを用いた手法では認識距離も低下し, 特徴点の数も増えてしまった. 原因は以下の 2 つが考えられる.

- ドットの色をそのまま抽出すると, 環境によっては特徴点を増やしてしまうことになる
- ドットの間隔が狭すぎると遠くから認識した時に, 複数のドットを 1 つのドットと認識してしまう

2 値化した際の白い部分の面積は従来手法より提案手法 1 の方が少なくなっているが, 特徴点の数は増加してしまった. その 1 番の原因として, 今回の実験で用いた環境の赤色の机と机の前方の椅子の穴による特徴点が考えられる. また, 認識距離に関して赤色のドットを抽出する際に 2 つのドットを合わせた重心をとって特徴点としている箇所がいくつか見受けられる. これはドットの間隔が狭く, ドットの間も赤色と誤認識してしまったことが原因と考える. このように, ドットの色をそのまま用いると, 光の加減などによる影響に対応できず, 領域の重心である特徴点のずれからマーカ認識が困難になってしまう.

赤色のドットをそのまま特徴点として用いる手法は不必要な特徴点を増やしてしまう, またある閾値で 2 値化する手法より光の影響を受けやすい不安定な認識になることがわかった. そこで, より幅広い環境で用いるための安定的なマーカ認識手法を次章で提案する.

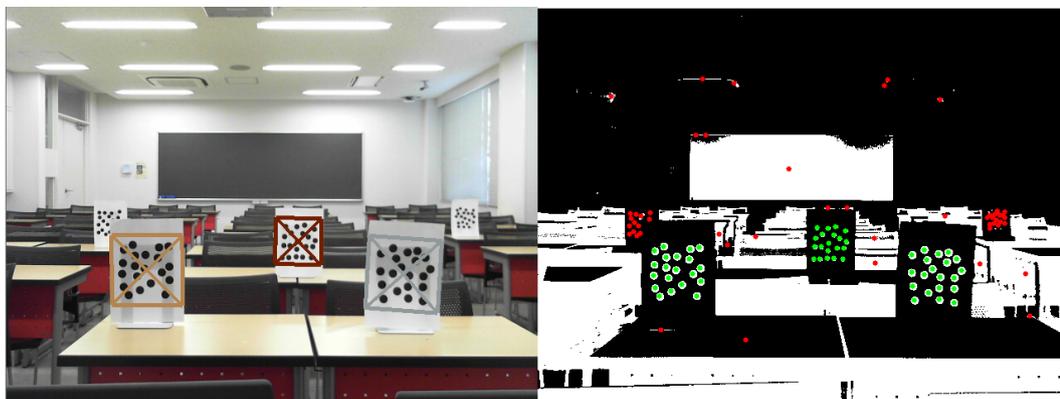


図 3.2: 従来手法の認識結果

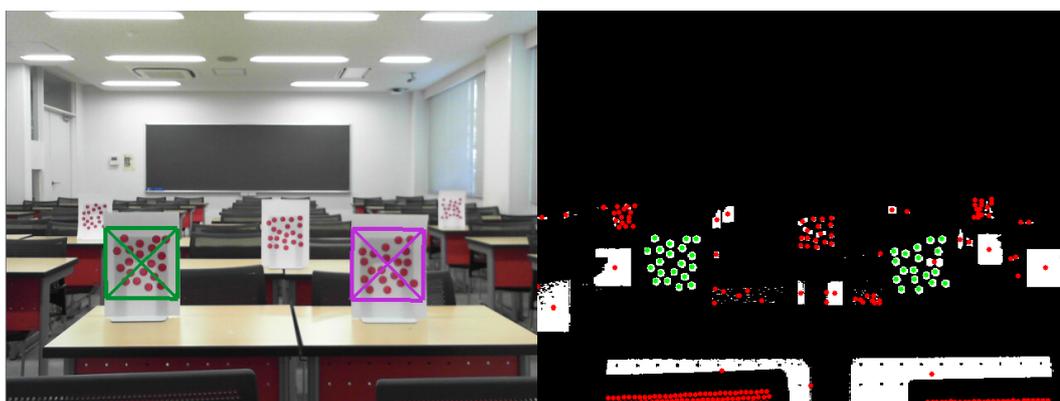


図 3.3: 赤色ドットマーカの認識結果

第4章 提案手法2:マーカ背景色の変更

提案手法1の評価実験の結果を受けて、マーカの検索範囲の限定を行う以下の手法を提案する。

4.1 マーカデザイン

図4.1のような、赤色のシートに白色のドットを配置した水玉のマーカを用いる。紙に印刷されたマーカは照明環境によっては白とびと呼ばれる現象の影響を受ける。ゆえにドットの色を白色に設定し、ドットが受ける光の影響を少なくするようにした。また、遠くから認識した時にドットがつぶれないように、マーカの間隔を一定以上広く設定した。

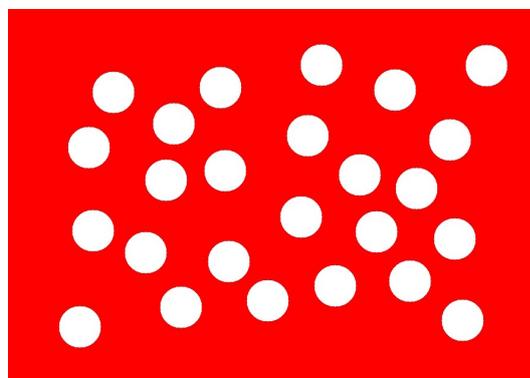


図 4.1: マーカデザイン

4.2 色認識によるマーカ検索範囲の限定

図4.1のようなマーカを認識するために、赤色の領域を抽出する手法を提案する。はじめに、カメラからの入力画像(図4.2)から赤色部分を抜き出す作業を行う。まずガウシア

ンフィルタによる平滑化処理を行う。これはある注目画素まわりの輝度値をただ平均化するのではなく、近ければ近いほど輝度値に重みをつけ足し合わせ、注目画素の輝度値とする方法である。平滑化を行ったあと、画像の解像度を下げる。解像度を下げることにより全体の画素数が減少するので、正確な位置はつかめない代わりに、入力画像の赤色領域のおおよその位置を素早く知ることができる。[12]で述べられているように、光の影響をなるべく受けないようにするため、解像度を下げた画像をHSV色空間に変換する。HSVの色相、彩度、明度の範囲を指定し、赤色部分の座標を得る。そこから得た座標とその周り8画素の座標を元に、入力画像の赤色領域を得る。赤色領域の画素値はそのまま、他の領域は黒として入力画像を変換する(図4.3)。抽出された赤色領域画像をグレースケール化し、あらかじめ設定された閾値によって2値化する。この手法であれば、手にマーカを持った時でも、周りの特徴点の数を減らした上でマーカの認識が可能であると考えた。

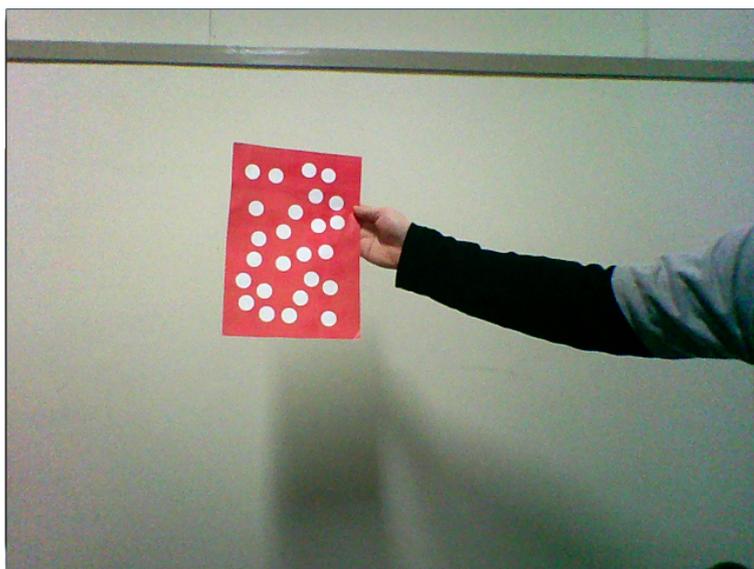


図 4.2: 入力画像

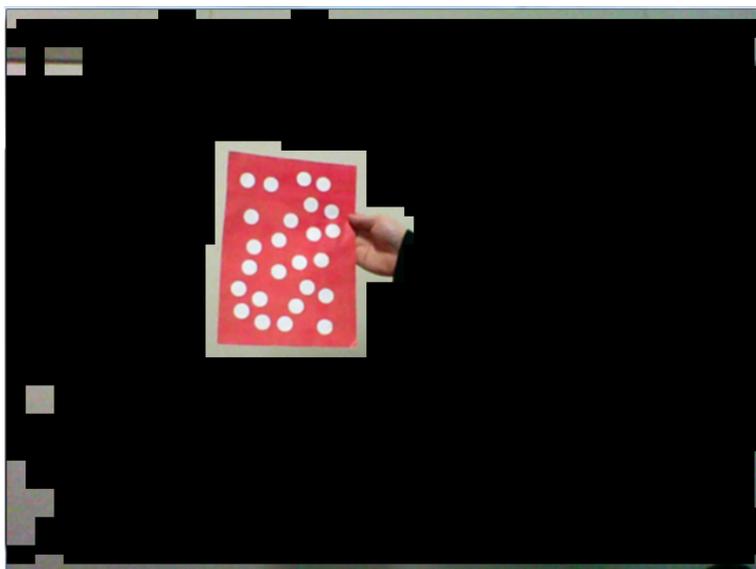


図 4.3: 出力画像

4.3 想定される問題

色の抽出の際に、適切な抽出が行えないとマーカを認識できなくなる可能性がある。HSV 色空間の色相、彩度、明度の範囲を大きくすると、指定の色以外を抽出してしまう。しかし、狭く設定すると光による微妙な色の変化に対応できないため、その範囲を適切に設定することが重要である。また、赤色の衣服を着た学習者がいる場合は、ドットの数が増加してしまうことが考えられる。

第5章 評価実験

本章では、提案手法2の有効性を検証するため様々な環境で評価実験を行った。具体的には、従来手法と提案手法2それぞれのドットの数とマーカ検出処理時間、認識距離の比較を行った。また、特徴点を増やした環境のような特別な環境でも実験を行った。

5.1 概要

実験内容や実験に使用する機材、環境について述べる。

5.1.1 実験内容

設定された閾値で2値化を行う従来手法と色情報を用いて範囲を限定した上での2値化を行う提案手法2とのマーカの検出処理時間、周囲の環境が持つドットとマーカの持つドットの合計数についてそれぞれの数値を比較する。マーカ4つをカメラの前に設置し、初めて4つのマーカを同時に認識した時の処理時間を検出処理時間とする。それぞれの実験を3つの教室や部屋で5回ずつ行う。

5.1.2 使用する物・環境

マーカ認識のために、PCはPanasonic社のCF-SX1(Core i5-2540M vPro 2.60GHz, メモリ4GB)で、カメラは同PCの内蔵カメラ(解像度640×480)をそれぞれ用いた。認識するマーカサイズはおおよそA4サイズ(210×297ミリ)、ドット半径は約1cm、一つのマーカが持つドット数は25個とした。実験を行う環境は人のいない本学の教室や部屋であり、3種類の場所で実験を行った。環境1(図5.1)は蛍光灯4本、環境2(図5.2)は蛍光灯27本、環境3(図5.3)は蛍光灯76本を点灯させた。それぞれの環境で日光は遮断している。



図 5.1: 環境 1



図 5.2: 環境 2

5.2 実験方法

実際の教室における机の位置で実験を行ったため、マーカを設置する距離は環境によって異なる。環境 1 では 2.5m の位置に、環境 2 では 3.4m、環境 3 では 3.0m の位置に横一列に 4 つマーカを並べた。プログラムをスタートし、初めて 4 つのマーカを同時に検出した時の検出処理時間を計測し、またそのときのドットの数を記録する。



図 5.3: 環境 3

5.3 実験結果

比較実験の結果は表 5.1, 表 5.2 のようになった。表 5.1 から、いずれの環境においてもドットの数の減少が見られた。しかし、検出処理時間は従来手法と比べて短くなっているものの、2つの手法間であまり差が見られなかった。これは、人がいない教室であり、図 5.4 のように白い領域をラベリングで連続領域にする際に、人で遮られ分割もされていないため特徴点の数に差がつかなかったことが原因と考えられる。

表 5.1: 各環境において認識されたドットの数 [個]

	環境 1		環境 2		環境 3	
	従来手法	提案手法 2	従来手法	提案手法 2	従来手法	提案手法 2
1 回目	192	130	166	131	136	127
2 回目	205	130	182	136	155	126
3 回目	210	130	181	132	158	126
4 回目	197	127	175	130	158	120
5 回目	199	129	177	129	158	124
平均	199.8	129.2	176.2	131.6	153.2	124.6

5.4 特徴点の多い環境での実験

特徴点が多い環境で提案手法 2 を評価するために、人為的に特徴点を増やして比較実験を行った。同じくマーカの検出処理時間とドットの数について比較した。実験場所は

表 5.2: 各環境における検出処理時間 [ms]

	環境 1		環境 2		環境 3	
	従来手法	提案手法 2	従来手法	提案手法 2	従来手法	提案手法 2
1 回目	103	75	111	86	58	91
2 回目	98	100	108	86	142	90
3 回目	104	99	200	74	102	80
4 回目	111	109	120	107	123	93
5 回目	106	78	111	92	126	105
平均	104.4	92.2	130	89	110.2	91.8

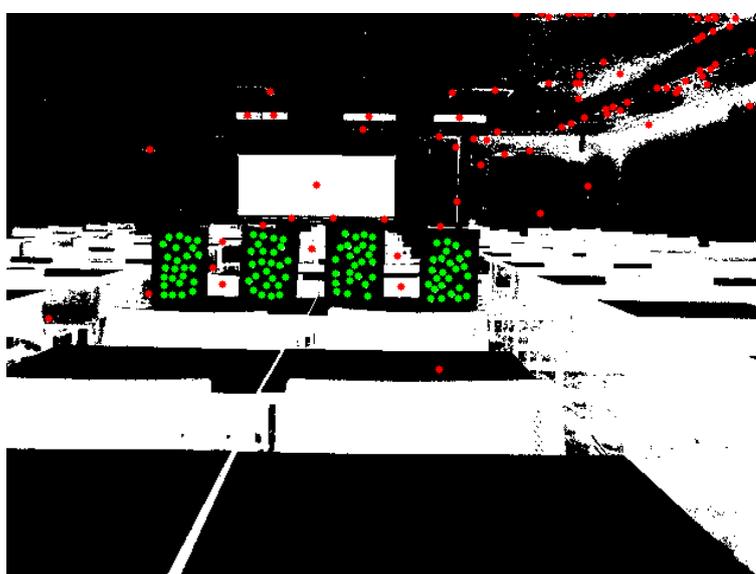


図 5.4: 環境 2 における従来手法の特徴点の一例

本実験の環境 1 で行い、図 5.5 のように登録されていない白黒のマーカを画面内に設置することでマーカ認識の妨げとなりうる特徴点を 100 個増やし、カメラから 2.5m の距離にあるマーカに対し実験を行った。利用した PC などは上記の実験と同一のものを用いた。結果は表 5.1 のようになった。従来手法では処理時間が平均 226.8ms かかっていることに対し、提案手法 2 では半分以下の平均 98.2ms の処理時間であった。



図 5.5: 特徴点が多い環境での実験の様子

表 5.3: ドットが多い環境での比較結果

	ドット数 [個]		処理時間 [ms]	
	従来手法	提案手法 2	従来手法	提案手法 2
1 回目	288	129	188	99
2 回目	294	125	212	86
3 回目	291	126	229	196
4 回目	286	128	196	91
5 回目	292	126	309	110
平均	290.2	126.8	226.8	98.2

5.5 認識距離について

認識距離において、従来手法と提案手法 2 の比較実験についても行った。提案手法 1 の評価実験と同じように、カメラからマーカの距離が 1.5m の位置に 2 つ、2.4m に 1 つ、3.4m に 1 つ、4.0m に 1 つの計 5 つのマーカが認識可能であるか両手法で実験を行った。機材については本実験と同じものを用いた。照明環境について、日光は遮断して蛍光灯を点灯させた室内で実験を行った。結果は、従来手法については図 5.6、提案手法 2 については図 5.7 のようになった。従来手法では 3.4m までの位置にある 4 つのマーカを認識できた。提案手法 2 では 3.4m のマーカまで認識できているが、1.5m 位置の右側の

マーカが認識されなかった。図 5.8 から、赤色領域の抽出はできているため、2 値化処理の際に特徴点の抽出に失敗していることが原因であると考える。今回はマーカを設置した台の影がドットの抽出を邪魔して、解決策としては厚紙に印刷して裏写りしないようにすることが挙げられる。したがって、提案手法 2 の認識距離は従来手法と同等であると考える。

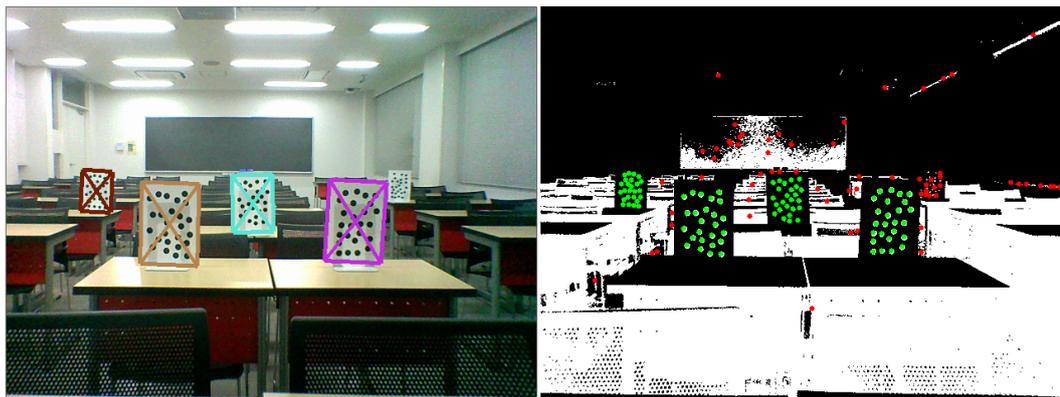


図 5.6: 従来手法の認識距離

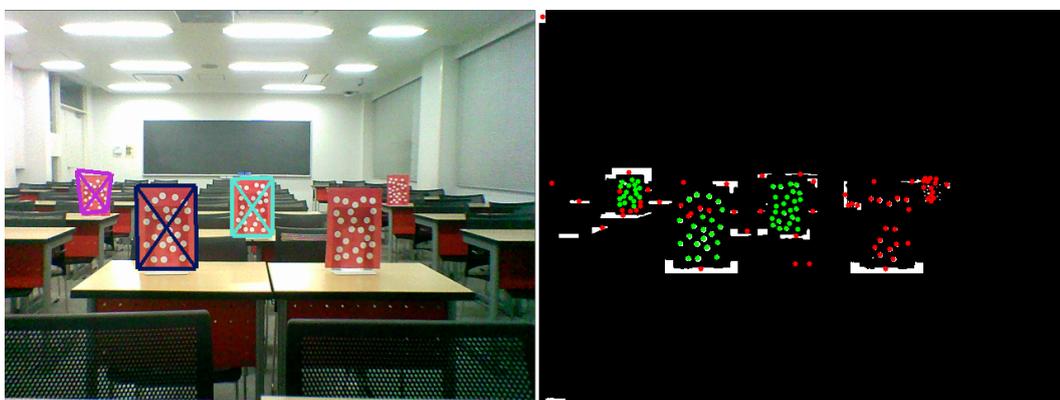


図 5.7: 提案手法 2 の認識距離

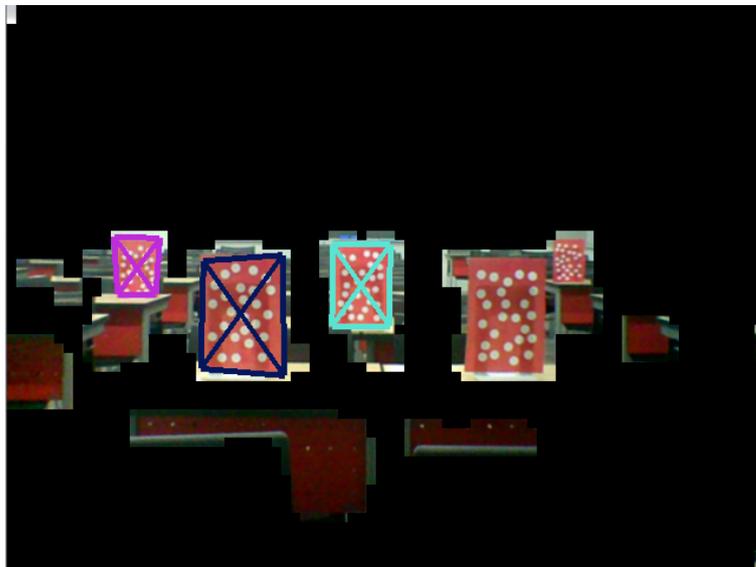


図 5.8: 提案手法 2 における赤色領域

5.6 考察

全ての実験を通して、提案手法 2 ではドットの数約 130 個、処理時間が 100ms 以下と従来手法と比べて安定な認識ができていることがわかる。環境によっては、従来手法より倍近く早く認識できる結果を得た。これは、教室のような特徴点が多くなると予想される場所でランダムドットマーカを用いる際に有効な手法だと考える。また、認識距離については従来手法と同等の精度であると考えられる。

第6章 結論

以上、前章までの結果を総評し、今後の課題や最終的な目標について述べる。

6.1 まとめ

本論文において、環境によらず安定した処理速度で検出できる色情報を用いた AR マーカのシステムを提案した。色は伝達情報の少ない紙を用いたレスポンスアナライザにおいて有益な情報であり、それをマーカの位置の目印にすることによって、より効率の良いマーカ検出ができると考えた。ただ、マーカのドットを特定の色に変えるだけでは、特徴点となる領域の重心が光の影響などで微妙にずれてしまい、ドットの配置でキーポイントマッチングを行うランダムドットマーカのシステムでは認識距離が短くなってしまった。そこで、マーカの背景を赤色、ドットの色を白色にすることによりマーカ検索範囲の限定を行い、その範囲の中で2値化処理をするマーカ認識方法を考えた。HSV 色空間で色を抽出し、ドットの色を白色にすることによって、マーカが受ける光の影響を少なくするように設計した。また、3種類の環境での実験において、従来手法と提案手法2の両手法での検出処理速度の比較を行い、特に特徴点の多い場面での色情報を用いたシステムの有用性について示した。提案手法2の認識距離は従来手法と比べ同程度であった。提案手法2を用いるとレスポンスアナライザとして用いる以外にも様々な用途に適用できると考える。ランダムドットマーカは黒い枠を持たない AR マーカであるため、日常に溶け込みやすく教室以外に屋外などにも違和感なく設置できる。赤色などカラフルさを取り入れることで、親しみやすさも表れると考える。

6.2 課題と今後の展望

今後は実際にレスポンスアナライザとして運用する準備としてインタフェースの整備と人がいる教室での実験と評価を行う。今回は人が存在しない教室や部屋で実験を行った。しかし、実際に教室でレスポンスアナライザとして用いる場合に、前方からカメラで見た際の人の重なり合いによる特徴点への影響、また照明による光の影響などが、ドットの数にどのように影響してくるかを調査する必要があると考える。また、紙を用いたレスポンスアナライザは回答できる選択肢が少ないことが問題点として挙げられる。正確な色認識を実現できれば、色情報を用いた選択肢の増加を行えると考える。例えば、マークに4色の色を印刷し、その中の1色を手で覆って隠すことで回答を行うといった使い方ができる。

我々は図6.1のようなランダムドットマークを用いた置き型レスポンスアナライザを提案する予定である [15]。紙を掲げる必要がある紙を用いたレスポンスアナライザは、ノートに筆記するなどの作業を中断して回答をしなくてはならない。そこで、AR マークを四角錐などの立体に印刷し、回転させるという少ない動作で問題に回答できることがメリットである。また、置き型にすることで授業理解度を常に提示できるのも利点である。今回の色情報を用いるマーク認識手法と置き型マークを組み合わせ、教師、学習者とも扱いやすく、より効果的なレスポンスアナライザになると期待している。

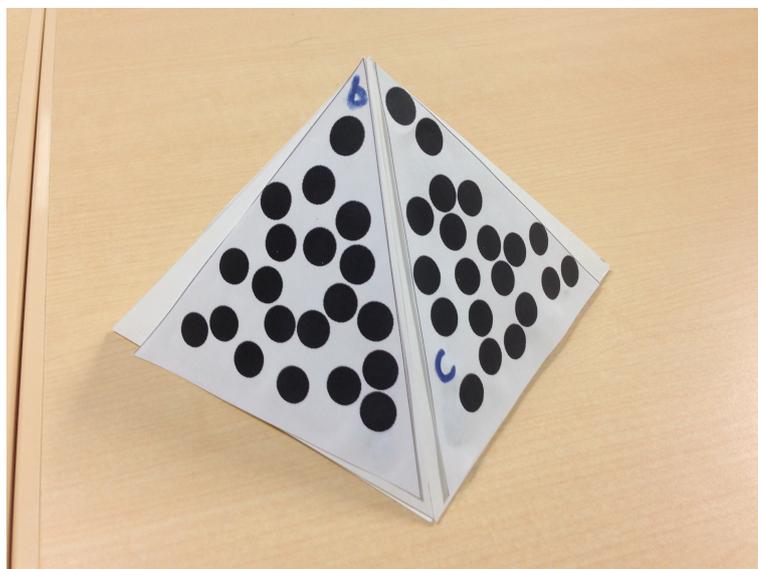


図 6.1: 置き型マーカの例

謝辞

本論文の完成にあたり、技術的なことから論文の書き方まで様々な面でご指導いただきました三浦元喜准教授に心からお礼申し上げます。また、日頃よりアドバイスをくださり相談に乗ってくれる西原さん、谷口さん、山口さんをはじめとする先輩方や、何気ないことで笑いあえ励ましあって進んできた前田くんをはじめとする仲間、何より大学進学を勧めてくれ、いつも遠方から応援してくれている母親、兄弟、祖父母に感謝いたします。

参考文献

- [1] Jen-Kai Liang Huang, Chi-Wei and Hsu-Yie Wang. Educlick: A computer-supported formative evaluation system with wireless devices in ordinary classroom. In *Proceedings of ICCE 2001 (2001)*: 1462-1469.
- [2] Jane E. Caldwell. Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. In *CBE-Life Sciences Education 6.1 (2007)*: 9-20.
- [3] 武田直仁, 田口忠雄. クリッカー (授業応答システム) を用いた双方向授業の比較と評価: 学生中心学習の構築を目指して. 名城大学教育年報.” (2012): 11-19.
- [4] 小林建太郎, 林宏昭, 山本敏幸, 北村知昭, 中原孝洋, 小酒井正和, 合志智子, 鈴木映司, デジタル・ナレッジ, 関西大学, 九州歯科大学, 玉川大学, 関西学院千里国際中等部・高等部, 葦山高等学. スマートデバイスを利用した参加型授業の実践. 教育システム情報学会研究報告, 28(5), 49-56., 2014.
- [5] Andrew Cross, Edward Cutrell, and William Thies. Low-cost audience polling using computer vision. *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '12*, pp. 4554, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [6] Motoki Miura and Toyohisa Nakada. Device-Free Personal Response System based on Fiducial Markers. In *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Wireless, Mobile, and Ubiquitous Technologies in Education (WMUTE2012), Takamatsu, Kagawa, pp. 87-91.*, 2012.
- [7] Hirokazu Kato and Mark Billinghurst. Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system. In *Augmented Reality, 1999.(IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on* (pp. 85-94). *IEEE, 1999.*

- [8] Mark Fiala. ARTag, a fiducial marker system using digital techniques. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. (Vol. 2, pp. 590-596). IEEE, 2005.*
- [9] Hideaki Uchiyama and Hideo Saito. Random Dot Markers. In *Virtual Reality Conference (VR), 2011 IEEE (pp. 35-38).*
- [10] Tomohiro Nakai, Koichi Kise, and Masakazu Iwamura. Use of affine invariants in locally likely arrangement hashing for camera-based document image retrieval. In *Document Analysis Systems VII. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 541-552.*
- [11] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. In *Communications of the ACM 24.6 (1981): 381-395.*
- [12] 武井隼人, 武田敦志. 色情報と直線検出を用いた AR マーカー検出手法. 情報処理学会東北支部研究報告 Vol.2013.
- [13] 寺田健二. 2次元カラーコード実現を目指した画像中の色認識. 三重大学修士論文, 2011.
- [14] 有賀治人, 豊浦正広, 茅暁陽. 動きぶれや焦点ぼけがある画像からでも抽出できる拡張現実マーカーの実現. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) 論文集 2011 (2011): 496-503.
- [15] 伊藤学歩, 三浦元喜. ランダムドットマーカーを用いた置き型レスポンスアナライザの提案. 情報処理学会インタラクシオン 2016(to appear).

発表論文リスト

- 伊藤 学歩, 三浦 元喜: ランダムドットマーカを用いた置き型レスポンスアナライザの提案, 情報処理学会インタラクシオン 2016, 東京, (to appear), 2016 年 3 月.
- Manabu Ito, Motoki Miura: Portable Vision-based Response Analyzer with Sheet Bending Recognition, Proceedings of GCCE 2015, Osaka, Japan, pp. 143-144, October 2015.