

屋内位置推定用マーカにおける不可視化の検討

山本 眞也^{1,a)} 柴田 直樹^{2,b)} 勝間 亮^{3,c)}

概要：

これまでに、屋内位置推定に関連する研究として、マーカをカメラで撮影しそれを画像解析することでマーカとカメラの相対位置を推定する手法が提案されている。この手法は、印刷したマーカ、Web カメラ、PC やスマートフォンといった一般に普及している安価な機材のみを利用するため、設置コスト、運用コストが低く、手軽に利用することができる。また、近年ではカメラや PC が高性能化しており検出精度、推定精度も高い。一方、この手法は画像解析によるマーカの検出においてマーカが特徴的な形状であることや背景に対しマーカが高いコントラスト比であることを必要とするため、モノクロの正方形のマーカを利用することが多く、マーカの設置することによって景観を損ねるという大きな欠点がある。そこで、一般に普及している塗料や素材を用いて、人間には容易に認識させず景観を損ねないような屋内位置推定手法に適した不可視マーカを試作し、実用に耐えうるかを検討した。

1. はじめに

屋内における位置推定技術として、マーカをカメラで撮影し、それを画像解析することでマーカとカメラの相対位置を推定する手法が提案されている [1], [2], [3]。この手法は、マーカ、Web カメラ、PC やスマートフォンといった一般に普及している安価な機材のみを利用するため、設置コスト、運用コストが低く、手軽に利用することができる。また、近年ではスマートフォンなどの情報端末が高性能になり、高解像度のカメラと GPU が搭載されるようになったことにより、精度が向上し、屋内位置推定手法として有望と言える。しかし、この手法は、カメラによって得た入力画像から隣合うピクセルとのコントラスト比によって連結成分を抽出し、それらからマーカ形状に合うものを取捨選択したうえで、大きさや形状からカメラとマーカの相対的な距離や角度の推定を行うため、使用するマーカは、マーカを規定する外枠とマーカ ID を表すためのデータを埋め込むペイロード部分が背景と比較して高いコントラスト比でなければならないので、モノクロのマーカが一般的に用いられる。しかし、コントラスト比が高いものは人間の目にも認識されやすく、マーカを設置することが景観を損なうことにつながってしまう。

そこで、本論文では人間になるべく認識させないような出来る限り違和感のないマーカについて提案する。人間に認識されにくいマーカを作成する上で、我々は赤外線や紫外線の不可視光線に注目し、それらを利用したマーカについて試作し、実用に耐えうるかについて検討を行った。

2. 関連研究

これまでに、屋内位置推定手法として、カメラからの映像を入力として対象物の相対位置を推定する手法がいくつか提案されている。我々は、特に AR(Augmented Reality)を実現するためのシステムが、AR を違和感なく実現するためにカメラと対象物の相対的な位置・向きを正確に検出する位置推定システムを内包している点に注目した。屋内位置推定技術を用いた AR システムは、マーカを用いたマーカベース AR システムと特徴点を用いたマーカレス AR システムの 2 つに分類することができる。

マーカベース AR システムでは、2 次元バーコード状のマーカにモデリングデータを関連付けておく。入力された画像から画像解析によってマーカを検出し、そのマーカとカメラの相対位置・姿勢をもとにモデリングデータを入力画像に上書きして出力する。中でも、ARToolKit[1] は最も良く知られるマーカベース AR システムであり、異なるマーカを識別するためのペイロード部のデザインを自由に決められることに特徴がある。ペイロード部のデザインは 16×16 のを 4 方向分サンプリングし、テキストデータに変換したものを用いて指定する。ARToolKit は、公式サイトにてライブラリが公開されており、各プラットフォームへ

¹ 山口東京理科大学 工学部 電気工学科

² 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

³ 大阪府立大学 第 2 学群 電気情報系

a) shiny-ya@rs.tus.ac.jp

b) n-sibata@is.naist.jp

c) ryo-k@mi.s.osakafu-u.ac.jp

移植したものなどが第三者により提供されている。

マーカレス AR システムでは、まずあらかじめ、AR を行う環境を十分に撮影し、それを入力として特徴点を抽出し、得られた特徴点群の関係性をマッピングし、そのマップに対し、モデリングデータの表示位置・表示姿勢を決めておく。その後、新たに入力された画像から特徴点群を抽出し、それらがあらかじめ作成しておいた特徴点マップのどこに一番近いかを判定し、それに合わせてモデリングデータの位置・姿勢を決め、入力画像に上書きして出力する。代表的なものとして、PTAM(Parallel Tracking and Mapping)[4] とその拡張である PTAMM[5] が上げられる。

これらの手法を屋内位置推定手法として用いた場合、いくつかの課題が存在する。既存研究共通の課題として、高解像度・高フレームレートに対応しておらず、画像解析による位置・角度の推定精度が低いことが挙げられる。これは、入力画像の解像度が高くなるほど、また単位時間あたりの入力画像数が増えるほど、位置・角度の推定精度は向上するが、それにともない計算量も膨大になるためである。特に、AR システムでは、半径数メートル以内の狭い空間における位置推定を行うため、マーカなどの目標物が比較的近くに存在し、対象物を大きく撮影できるため、それほど高い解像度を必要とせず、またリアルタイム性が非常に重要であることから、計算量をリアルタイムに処理できる程度に抑えなければならないことが理由に挙げられる。

マーカベース AR システムは、マーカの検出の際に、使用するマーカが背景と比べ高いコントラスト比であることが要件となるため、人間の目にも認識しやすいモノクロのマーカを用いることが多く、マーカを設置することによって景観を損なうという大きな課題がある。

マーカレス AR システムは、最初に作成した特徴点マップと入力画像から得た特徴点群のマッチングを行うため、はたらく旗やそよぐ木の枝など特徴点の位置関係が頻繁に変化する環境や、模様替えや経年劣化などによる特徴点の欠損・増加に弱いという課題があり、環境が変化した際には、特徴点の再マッピングが必要となるため、屋内位置推定手法としては運用コストが高くなる。

これまでに、著者らは GPGPU による画像解析を用いることで高解像度・高フレームレートに対応した精度の高い屋内位置推定システムを提案し、一般公開している [2], [3]。この手法は、マーカベース AR システムと同様にマーカを用いるため、マーカの設置によって景観を損なう問題を解決できていない。そこで、本論文では、景観を損なわないような人間に認識されにくいマーカの提案を行う。

3. マーカの不可視化

我々は、マーカの不可視化を行うため、紫外線や赤外線などの不可視光線に注目し、これらを利用したマーカの作成をおこなった。

3.1 節では、紫外線を利用した不可視化について、3.2 節では、赤外線を利用した不可視化について、3.3 節では、偏光を用いた不可視化について説明する。

3.1 紫外線を利用した不可視化

紫外線を利用した不可視化では、マーカを作成する際に素材ごとの紫外線の反射率の違いを利用し、ブラックライトによって紫外線を照射した際に浮かび上がるマーカを考える。紫外線を良く反射する最も一般的な素材として画用紙が挙げられる。すなわち、画用紙をマーカ形状に切り取り、コピー紙に貼り付けたり、画用紙に紫外線反射率の低い塗料をマーカ形状に塗ることで目的のマーカを作成することができる。また、シンロイヒ製マジックルミノペイントなど紫外線を反射する工作用塗料も存在し、作成は比較的容易である。

図 1 に実際に画用紙に一般的なペンキをマーカ形状に塗ったものを作成し、マーカ検出を行った様子を示す。この作成例では、画用紙を背景に用いてマーカ周辺を光らせることでマーカを浮かび上がらせているが、紫外線を反射しない素材を背景に、紫外線を反射する素材をマーカに用いて、図 1 とは逆にマーカ側を光らせる場合でも、あらかじめ色調の反転処理を行うことで問題なく動作する。

この不可視マーカは、紫外線を反射するという特性から、ブラックライトによる照射が必須であるため、夜間や暗所でしか利用できないということ、また、素材の多くが白いものであるということが欠点として挙げられる。しかし、素材が容易に入手でき、加工も簡単であることは非常に大きな利点である。

3.2 赤外線を利用した不可視化

赤外線を利用した不可視化では、web カメラに赤外線のみを透過するフィルムを貼り付けた簡易赤外線カメラと、遮熱用の赤外線反射素材によってマーカを作成し、マーカと背景の温度差を利用する。この手法は、熱反射フィルムを利用したものと遮熱塗料を利用したものの 2 種類を考案した。

3.2.1 赤外線反射フィルム

熱反射フィルムを利用したマーカには金属蒸着されたポリエステルフィルムを利用した。このフィルムは、ガラス窓に貼り付けることで赤外線の透過を軽減し、室内の温度上昇を抑え、冷房機器の効率を上げることを目的として一般に市販されている。

図 2 に実際に金属蒸着されたポリエステルフィルムでマーカを作成し、マーカ検出を行った様子を示す。

この不可視マーカの欠点は、赤外線が透過することを前提とした半透明フィルムであるため、フィルムを中心に光源をカメラの反対に置かなくてはならず、また背景がマーカ内に映り込むため、入力画像を得るためのカメラが逆光

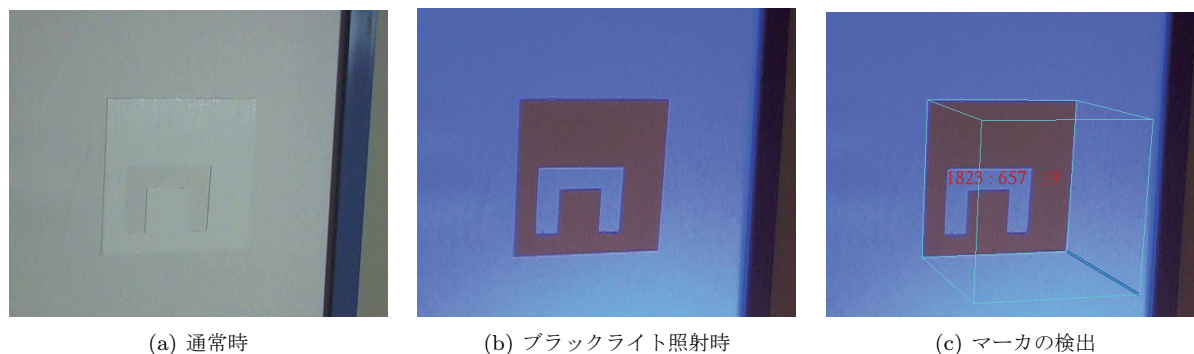


図 1 画用紙を用いたマーカ

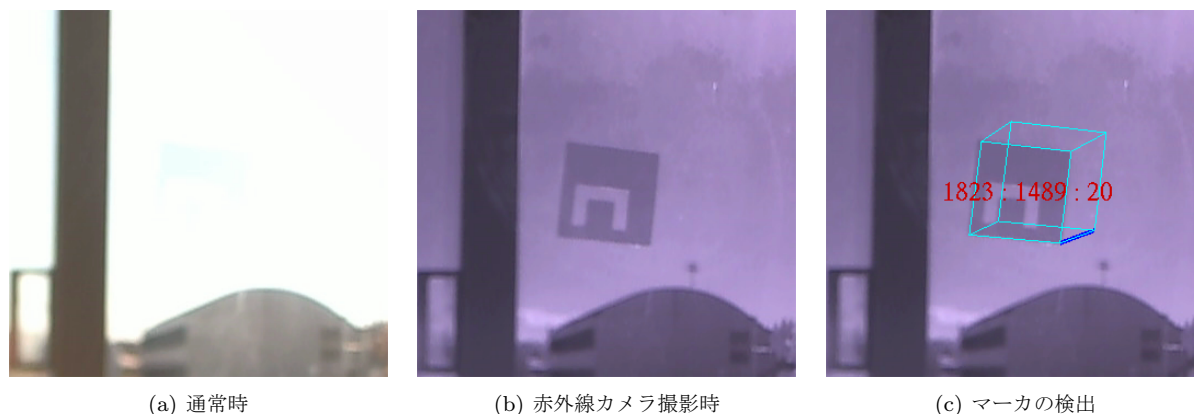


図 2 熱反射フィルムを用いたマーカ

の位置にある場合にしかマーカとして機能しないことである。よって、太陽光による逆光を利用できない場合には、このマーカを貼り付けたガラスの反対側から赤外線ライトなどを使って赤外線を照射する必要がある。また、半透明フィルムであるため、若干色がつき、完全な不可視化を達成できるわけではない。ただし、これらの欠点を考慮に入れたとしても、ビルの窓際や中庭などマーカを設置する場所がガラスしかない場合においては、他の手法と比べて、十分に不可視化を達成できる。

3.2.2 赤外線反射塗料

赤外線反射塗料を利用した不可視化として、アクリルやシリコンなどを含む合成樹脂による塗料を利用した。この塗料は、塗布することによって赤外線を乱反射させ、吸収を抑え、建造物の屋根や壁の表面温度上昇を抑えることを目的として一般に市販されている。

図 3 に実際にマーカを作成し、マーカ検出を行った様子を示す。

この不可視マーカの欠点として、太陽光などの赤外線が十分に照射される場所に設置する必要があることが挙げられる。よって、屋内で用いる際には、十分に強い赤外線を照射できる赤外線ライトなどを使ってマーカに赤外線を照射する必要がある。しかし、建築物に塗布するための塗料を用いるため、さまざまな色の塗料が市販されており、背景に合わせた色のマーカを作成でき、作成も容易であるこ

とは大きなメリットである。

3.3 偏光を用いた不可視化

偏光を利用した不可視化では、偏光板の特定方向に偏波した光以外を遮断する特性を利用する。すなわち、偏光板を 2 枚重ねたとき、偏光板の偏光方向が同じだった場合には偏光された光を通すが、偏光方向が違う場合にはそれぞれの偏光板が別方向の光を遮断するため、光を通さないという特性である。この特性を使って、偏光フィルムを使ってマーカ形状を構成するものと、液晶ディスプレイに使われている偏光フィルムを利用したものの 2 種類を考案した。

3.3.1 偏光フィルム

偏光フィルムを利用したマーカでは、一般的な偏光フィルムを正方形に切り、それをマーカ部分と背景部分とで異なる偏光方向となるように並べる。このように作成したマーカを更に別の偏光フィルムを通して見ることで、完全に光が遮断される部分と偏光された光が通過する部分ができる。例えば、背景部分の偏光方向を縦、マーカ部分の偏光方向を横となるようにフィルムを並べてマーカを作成し、このマーカを縦方向の偏光板を通して見た場合、背景部分は縦・縦の偏光となるので横方向の光を通し透明に見える。マーカ部分は横・縦の偏光となるので、縦方向、横方向両方の光を遮断するため、黒く見えることになる。このようなマーカを偏光フィルムを貼り付けた web カメラ

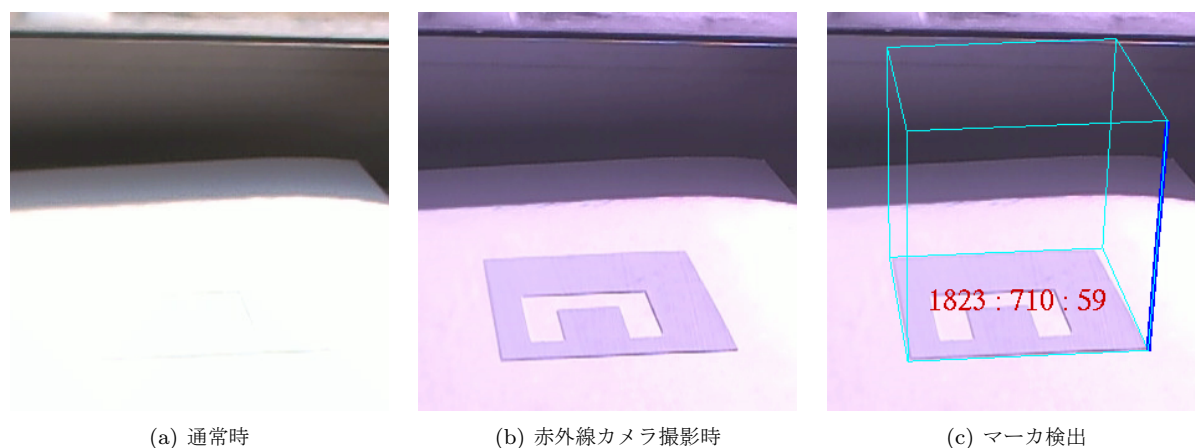


図 3 赤外線反射塗料を用いたマーカ

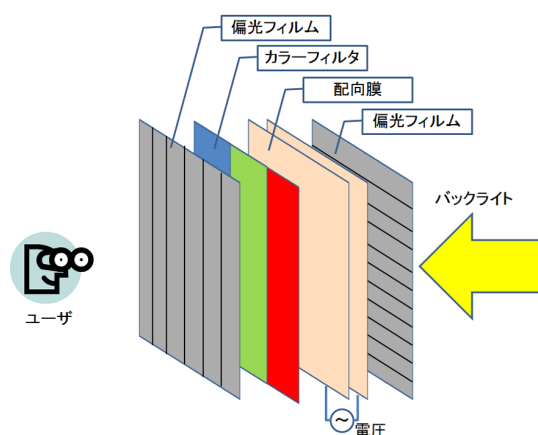


図 5 液晶ディスプレイの基本的な構造

を使って撮影する。

図 4 に、実際に偏光フィルムでマーカを作成し、マーカ検出を行った様子を示す。

この不可視マーカは、偏光フィルムを重ねてみるまで偏光方向が判別できないことを除けば、大きな欠点がなく非常に使いやすい。偏光フィルムは黒みがかっており、マーカ形状の偏光フィルムをそのまま用いた場合には不可視化を達成できないが、偏光方向を変えた偏光フィルムを背景として用いることで人間の目には背景とマーカを区別することができなくなり不可視化を達成できる。よって、壁一面を偏光フィルムで覆うことができるような場所では、十分に有用である。

3.3.2 液晶ディスプレイの改造

液晶ディスプレイは、おおまかに図 5 のような構造になっている。まず、バックライトから照射される光を偏光フィルムに通すことで光の偏光角度を揃える。図 5 の例では、水平方向の偏光フィルムを通すことで垂直方向の振動成分を持つ光だけが通過する。次に、配向膜に電圧をかけることでその間に挟まれた液晶を調整し、画素ごとに光の偏光角度と透過率を調整する。図 5 において、水平方向の

偏光フィルムを透過した垂直方向の光を水平方向の光へと旋光させる。また液晶にかかる電圧の差によって透過率を変えることで輝度を調整する。さらに、カラーフィルタを通し、任意の可視光のみを透過させる。これは、液晶ディスプレイが光の三原色に従った赤・青・緑の 3 つのサブ画素のセットによって画素を構築するためである。最後に、偏光フィルムを通すことで、液晶によって旋光された光のみが透過する状態となる。図 5 では、垂直方向の偏光フィルムを通す。すなわち液晶によって旋光されなかった光はこの偏光フィルムによって遮断されるため、任意のサブ画素のみを点灯させることができる。この点灯するサブ画素も液晶によって輝度が調節されているため、光の三原色の効果により多彩な色を表現することができるようになる。

このように、市販の一般的な液晶ディスプレイは表面に偏光フィルムが貼り付けられている。この偏光フィルムがない場合、カラーフィルタを通した後でも、全ての光がユーザの目に届く状態となるので、光の三原色の効果によって白く光って見える。すなわち、色を再現するには、液晶によって偏光角度を調整されなかった光を表面に貼り付けられた偏光フィルムによって遮断する必要がある。そこで、液晶ディスプレイの一番表面に貼り付けられた偏光フィルムを取り除き、別の偏光板を通して見ることによって始めて通常通りの液晶ディスプレイとして動作するような、バックライトが光っているだけのように見える色のないディスプレイを作成することができる。このような改造を施した液晶ディスプレイにマーカを表示することによって、裸眼では光る矩形パネルにしか見えないが、偏光フィルムを通してみるとマーカが浮びあがるデバイスを作成することができる。このデバイスに表示されたマーカを偏光フィルムを貼り付けた web カメラを使って撮影する。

図 6 に、実際に市販の液晶ディスプレイを改造したデバイスを作成したうえでマーカを表示させ、マーカ検出を行った様子を示す。

この不可視マーカの欠点として、液晶ディスプレイを改

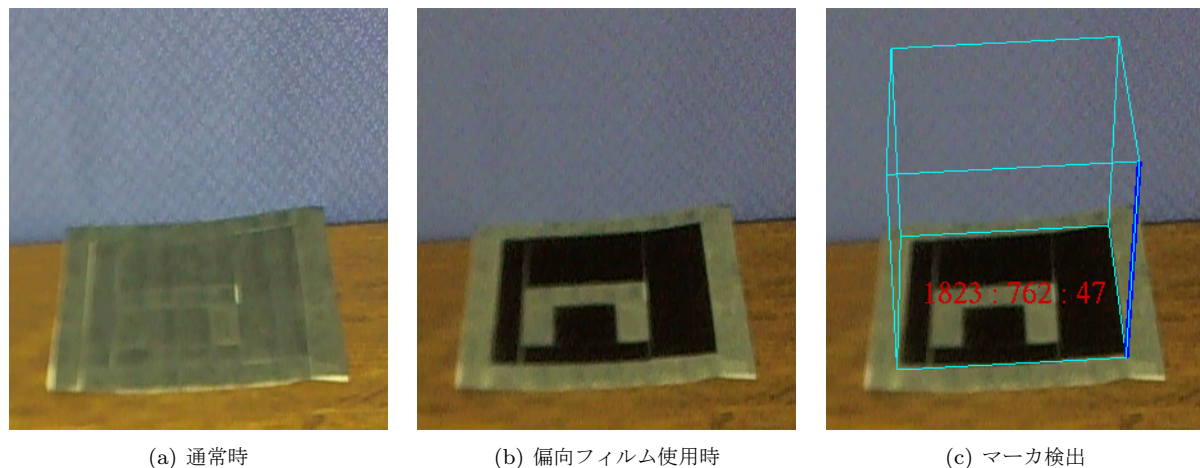


図 4 偏光フィルムを用いたマーカ



図 6 改造液晶ディスプレイを用いたマーカ

造したものであるため、他の不可視化手法と比べ高価なところが挙げられる。しかし、この不可視マーカは幅広い活用が考えられる。例として、フットライトや非常灯にこの機構を組込むことによって、人間には普通のライトとして見えるが、巡回ロボットなどの偏光フィルム付きカメラを通して見るものにとってはマーカとして動作させることが可能となる。

4. デモンストレーション

本デモでは、赤外線手法、紫外線手法、偏光手法による不可視化処理したマーカをそれぞれ用意する。また、デモに用いる屋内位置推定システムを動作させるため、一般的な web カメラを接続した 1 台の PC を用いる。この PC で動作させる屋内位置推定システムは、著者らが提案し公開している GPGPU Marker Tracker1.31, およびその動作に必要な Java SE 7, OpenCV 2.4.5, JOCL 0.1.9, JOGL 1.1.1a を用いる。この環境において、用意した不可視処理されたマーカを裸眼で見た場合と、赤外線フィルタや偏光フィルタを用いた場合とで違いを確認しながら、屋内位置推定システムによってマーカ検出を実演することで、各手法によってマーカをどの程度景観を損ねないように不可視化できたか、不可視化によって検出ミスや精度の悪化などの悪影響をどの程度及ぼすのかについて示す。

参考文献

- [1] Kato, H. and Billinghurst, M. : “Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System,” Proc. of 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality(IWAR '99), pp.85-94, 1999.
- [2] Shibata, N. and Yamamoto, S.: “GPGPU-Assisted Sub-pixel Tracking Method for Fiducial Markers,” Journal of Information Processing, Vol.55, No.1, pp.19-28, (January 2014).
- [3] GPGPU Marker Tracker:
<http://ito-lab.naist.jp/~n-sibata/software/index.html>
- [4] Klein, G. and Murray, W. D. : “Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces,” Proc. of International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '07), pp.1-10, 2007.
- [5] Castle, R., Klein, G. and Murray, W. D. : “Video-rate Localization in Multiple Maps for Wearable Augmented Reality,” Proc. of 12th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '08), pp.15-22, 2008.