

円柱体の ID・位置検出のための円筒マーカ

奥山 瑞希^{1,a)} 的場 やすし^{1,b)} 椎尾 一郎^{1,c)}

概要: AR システムで一般的に使用されている光学マーカは、平面に貼り付けることを前提としたものである。一方、実世界の構造物、家具、調度品や人体には円筒形の部分が多く存在する。そこで本研究では、円筒面を持つ立体物に取り付けることを目的とした、円筒形のバーコード光学マーカを提案する。バーコードの円柱への配置方法として、円周方向にリング状に並べる方法と円柱の高さ方向に平行に並べる方法が考えられる。全周から同じバーが見える前者はマーカの ID を取得するのに適し、異なるバーが見える後者はマーカの回転方向を取得することが可能である。筆者らはこれまで、ID が不要なアプリケーションを想定し、後者のみを実装したマーカを実装した。本稿では、両者を実装したマーカを作成し、ID 付き円筒バーコードマーカとして動作することを確認した。

Cylindrical Markers for position detecting and the ID of Cylinders

MIZUKI OKUYAMA^{1,a)} YASUSHI MATOBA^{1,b)} ITIRO SHIO^{1,c)}

Abstract: We propose an m -sequence marker, which is an optical barcode marker combined the marker ID that can be applied on cylindrical objects, such as parts of a human body and everyday things such as furniture, bottles, and cups. There are two ways to arrange the barcode on the cylinder, one arranging them in a ring-shaped in the circumferential direction or arranging them parallel to the height direction of the cylinder are conceivable. The former is suitable for obtaining the marker ID because same bars can be seen from the whole circumference. The latter that is different bars can be seen is possible to obtain the direction of rotation of the marker. We have assumed applications that do not require ID, we implemented markers implementing the latter so far. In this paper, we made the marker implemented both and confirmed that it works as a cylindrical barcode marker with ID.

1. はじめに

実世界の物や場所に情報を提示する拡張現実感 (Augmented Reality: AR) の手法では、矩形平面に 2 次元コードを印刷した光学マーカ (以下 AR マーカ) が一般的に使用される。壁、天井、机、本や書類など、生活空間内に多く存在する平面の認識には、平面に貼り付けることを前提とした AR マーカは有用である。しかし、調度品 (例、花瓶、植木鉢)、生活空間の構造物 (柱)、機械部品、家具 (脚)、さらには人の胴、四肢、頭、首など、人体や工業製品には円柱形の部分も多く存在し、世界は平面と円柱で構成され

ていると言える^{*1 *2}。

筆者らは、円筒面を持つ立体物に M 系列のバーコードを取り付けることで、その回転方向を検出できる円筒形 M 系列マーカを提案し、AR 和服帯試着システムを開発した [7]。この試着システムでは、単一のマーカのみを使用するため、複数のマーカを ID により識別する機能は不要であった。しかし、複数物体を検出対象とするアプリケーションのためには、ID 機能を持ったマーカが必要である。そこで本論文では、M 系列マーカに、ID をエンコードしたリング状のバーコードを付加したマーカを提案する。また、この方式で円筒マーカを作成し、動作を確認した。

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo, Japan

a) okuyama.mizuki@is.ocha.ac.jp

b) y.matoba2011@gmail.com

c) siio@is.ocha.ac.jp

^{*1} <http://l1eedd.com/blog/2011/05/23/>

^{*2} 本川達雄. 生きものは円柱形一時代を拓く生物の発想 (NHK ライブラリー), 日本放送出版協会, pp. 354, 1998.

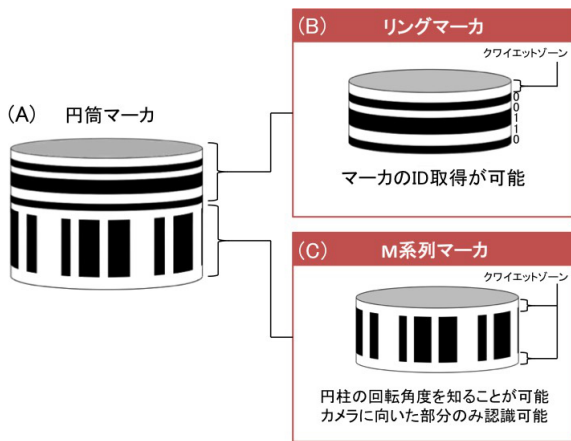


図 1 (A) 開発した円筒マーカ; (B) ID をエンコードしたリングマーカ; (C) 角度をエンコードした M 系列マーカ.

Fig. 1 (A) Image of cylindrical marker; (B) Ring marker encoded the ID; (C) M-sequence marker encoded angles.

2. 円筒マーカ

本研究では、円筒状の光学マーカを提案する。これは、生活空間や人体部位に多い円柱状の立体物に貼付することで、全周囲から認識できる光学マーカであり、マーカ ID 用バーコードと回転方向検出用バーコードを組み合わせたものである。提案する円筒型バーコードは、円柱物体に 2 種類のバーコードを巻きつけるように配置する。この例を図 1 (A) に示す。円柱側面へのバーの配置方法には、図 1 (B) 及び (C) に示すように、円柱の円周方向にリング状に並べる方法と、それぞれのバーを円柱の高さ方向に平行に並べる方法が考えられる。前者は全周囲から同一のパターンを読むことができるため、マーカ ID 取得に適している。後者はカメラに向けた部分しか認識できない制約があるものの読み取るバーの組み合わせから円柱の回転方向を検知することが可能である。両者を組み合わせることでマーカ ID と回転方向を検知可能なマーカを作成可能である。

本研究で提案する円筒マーカでは、図 1 (B) のリング状のパターンに従来のバーコードに準じたマーカを、図 1 (C) の縦縞状のパターンに後述する M 系列をエンコードした。以下では、それぞれをリングマーカ、M 系列マーカ [7] と呼ぶ。図 1 (A) では、2 種類のマーカを組み合わせで使用しているが、複数物体の ID のみが必要とされるアプリケーションであればリングマーカだけを、また、単一物体の回転方向検出が必要なアプリケーションであれば M 系列マーカだけを使用することもできる。

2.1 リングマーカ

一般的なバーコードは、交互に並んだ 2 種類の線幅の白と黒のバーで構成される。太いバー、細いバーに、1 または 0 を割り当てることで 2 進数を表現する。円筒マーカに

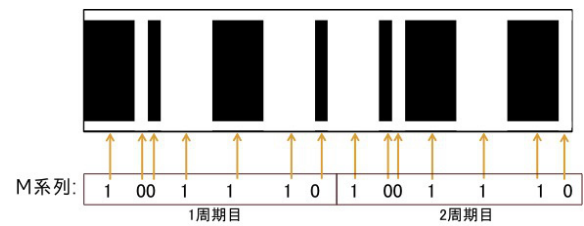


図 2 M 系列マーカのバーコードパターン.

Fig. 2 The barcode pattern of m-sequence marker.

ID を付加する目的で、図 1 (B) のように、マーカ上部にリング状バーコードを配置した。リング状のバーは、読み取り方向によっては円周方向に歪みが生じるが、円筒の高さ方向にバーコード読み取りを行うことで、歪みの影響を除去できる。

図 1 の例では、黒白黒白黒からなる 5 本のバーとスペースを用いている。このうち 3 本を細く (0)、2 本を太く (1) することで、10 種類^{*3}の ID を付加できる。例えば図 1 (A), (B) に示す ID は上から読むと 00110 である。

2.2 M 系列マーカ

従来の 2 次元光学マーカと同様な手法で、光学マーカ検出用カメラから見る円筒マーカの大きさや形状から、円筒マーカの 3 次元位置と角度の一部を検出することが可能である。しかし、円筒マーカは回転体であるので、マーカ形状から回転角度を検出することはできない。そこで回転角度の検出のために、回転角度に対して変化するパターンを図 1 (C) のように、マーカ下部に配置した。このパターンには、部分数列が一度しか現れない M 系列により生成された 2 進数を 2 周期分エンコードした。このマーカを“M 系列マーカ”と呼ぶ。

M 系列は以下の式より生成される数列である。 \oplus は排他的論理和を表す。

$$X_n = X_{n-p} \oplus X_{n-q} \quad (p > q > 0) \quad (1)$$

生成された数列は、周期 $2^p - 1$ であり、数列内の連続する各 p ビットは一意である。例えば $p = 3$ を初期値として M 系列を生成すると、1001110 の数列が生成され、周期は 7 となる。この数列内で、100,001,011 などの 3 ビットの連続した部分数列は一意となる。この数列の 1 周期分を円環状に並べ、任意の箇所から読み取りを開始した場合、どこから読み始めても、連続する 3 個の部分数列は他の箇所には出現しない。

このような M 系列のビット列をバーコードにして回転体の周囲に配置すれば、連続した p 個以上の数列を光学的に読み取ることで、円周上の場所を特定できる。しかしながら M 系列の 1 周期は奇数個であるため、奇数番目のビットを黒、偶数番目のビットを白が該当するように割り当て

*3 リングマーカのみを使用する場合は対称の組み合わせを除外して 5 種類。



図 3 (A), (B) 試作した円筒マーカ; (A) 灰色の再帰反射材の上に茶色の布を貼付; (B) 再帰反射材とバー素材の色を合わせたもの。

Fig. 3 (A), (B) Prototype of cylindrical marker; (A) Examples of the marker which put brown cloth on a gray retro-reflective material; (B) Examples of the marker combined a retroreflective material and a bar material of the same color.

ると、1 ビット目 (最初) と $2^p - 1$ ビット目 (最後) のバーの色が同じ黒色になってしまう。これを円環状に繋げた場合、接続部のビットが、同色のバーになり識別が行えない。

そこで本方式では、M 系列を 2 周期分 (偶数個) 使用する。ただし、2 周期の数列を使用すると、同じ部分数列は 2 回出現することになるため、この数列内で唯一でなくなる。しかしながら、これらは白黒の組み合わせが反転するため区別することが可能である。例えば図 2 の数列で 100 は 2 回出現する。ここで、数列最初の 1 を黒いバーに割り当てたとすると、1 周期目に出現する 100 は黒・白・黒の組み合わせになり、一方で 2 周期目に出現する 100 は白・黒・白の組み合わせになり、識別可能である。

3. 試作と認識実験

提案する円筒マーカの有用性を確認するために、マーカの試作を行い、認識実験を実施した。

3.1 円筒マーカの試作

開発した円筒マーカを図 3(A), (B) に示す。ガラス瓶のラベル部分に貼りつけた円筒マーカの、上部にリングマーカを、下部に M 系列マーカを配置している。リングマーカ部分のバー幅の比は 2:1 とし、M 系列マーカ部は 3:1 とした。比を大きくすれば認識は堅牢になるものの、マーカのサイズが増大する。

今回の試作では、認識を容易にするために、再帰反射材を下地に用いて円筒マーカを実装した。認識プログラムの完成度を高めれば、従来の AR コードと同様に白紙に黒く

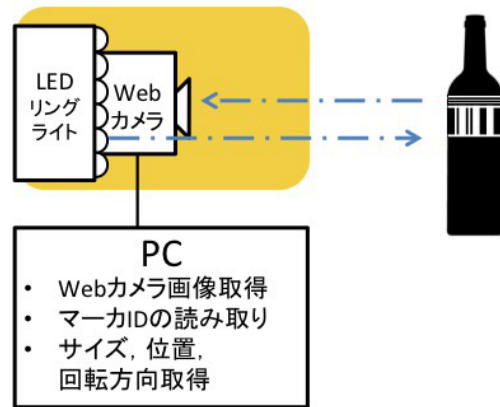


図 4 認識システム構成。

Fig. 4 Recognition system configuration.

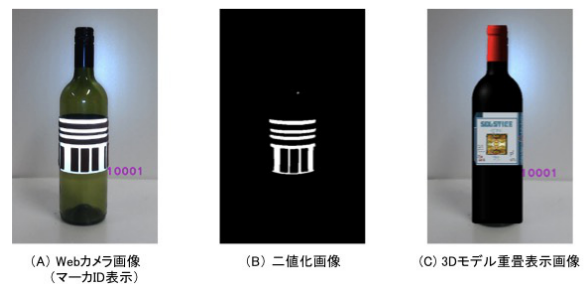


図 5 認識過程と結果。

Fig. 5 Recognition process and results.

印刷したマーカでも実用的な動作が可能だと考えている。図 3(A) では、再帰反射素材で白のバーの幅を表現し、この上に貼った茶色の薄いフェルト布で黒のバーの幅を表現した。同系色の再帰反射材と非再帰反射材を用いることで、十分な反射率の違いを確保しつつ、人の目には目立たない光学マーカを作ることにも可能である。図 3(B) は、赤色の再帰反射材に赤色のテープを組み合わせた例である。

図 3(A) のリングマーカ ID は 10001 であり、図 3(B) は 01010 である。M 系列は $p = 4$ を初期値とし、2 周期分すなわち 30 ビットをバーコード化した。全周囲は、貼付するガラス瓶に合わせて 23.5cm である。円筒マーカの径サイズは p の値とバー幅で調整可能であり、高さはバーの高さや幅を調整することで変更可能である。

3.2 認識実験

試作した円筒マーカを認識する実験を行った。実験は図 4 に示す、Web カメラ*4、LED リングライト*5、PC*6 の構成で行った。LED リングライトは Web カメラ周囲に設置した。LED リングライトより照射された光は物体に貼付した円筒マーカの再帰反射材に反射される。そのため、Web カメラには、図 5 (A) のように再帰反射材部分の輝

*4 Logicool C920r

*5 FALCONEYES DVR-300VC

*6 MacBook Air

度が著しく高い RGB 映像が得られる。この画像より図 5 (B) に示す二値画像を得る。この処理によって円筒マーカ部分はほぼ検出されるが、白い物体や背景によりノイズが現れることがある。M 系列マーカ部分は大きな塊として撮影されている。そこで、配布されているクラス*7を利用してラベリング（連結成分抽出）を行なう。これにより小さな領域として現れるノイズを除去及び M 系列マーカの映る矩形領域の特定が可能である。M 系列マーカの映る矩形領域を二値画像より切り出し、この矩形の位置、サイズ、傾きから、円筒マーカの位置と傾きを取得する。また、矩形領域を長辺方向に走査し、黒と白のランレングスを取得し、M 系列の部分数列を検出し、これから円筒マーカの回転角度を取得する。

リングマーカ部分は M 系列マーカ部から分断され、より小さな白色の固まりとして二値画像に映る。今回の実装では、M 系列マーカ部に隣接して配置されていることを利用し、M 系列マーカの映る矩形領域の長辺部分の点から領域外へ、矩形短辺方向に画素列を読み出し、その黒と白のランレングスからリングマーカ ID を取得した。

図 5 (A) では、マーカ ID である 10001 を M 系列マーカ右下に表示している。また、図 5 (C) は、マーカを付加したワインボトルの画像上に、3D のワインボトルモデルを重畳表示した例である。

4. 応用と展開

筆者らはこれまで、M 系列マーカのみを使った円筒マーカを使用して、和服帯の AR 試着システム [7] を作成した。これは、マーカ貼付したベルトを装着した一人のユーザの映像に、CG 帯を重畳表示するアプリケーションであったため、複数マーカの ID 識別は不要であった。

ID を持ったリングマーカを M 系列マーカに組み合わせることで、異なる複数の物体に同じ M 系列を使用した M 系列マーカを貼付した場合でも、マーカを区別することが可能となった。例えば、人体に対して、右腕、左腕、胴体などに円筒マーカを貼付すれば、それぞれが識別可能になる。M 系列マーカを身につけた複数人の人間がカメラに映り込む場合でも、それぞれの人、人体の部位の識別と、位置、回転方向を検出可能である。また、日常生活の中にある様々な円柱体に円筒マーカを貼付することで、従来の平面光学マーカに比べて効率よくこれらの識別、位置・回転検出が可能になるであろう。

5. 関連研究

部分パターンが一度のみ出現する M 系列は、物体の位置検出に利用されている。Xiao らの Lumitrack [5] では、プロジェクトから M 系列バーコードパターンを投影し、これ

を 1 次元イメージセンサで読み取ることで双方の位置関係を計測する。Lumitrack ではパターンを平面的に読み取っているが、本研究では M 系列を円筒形光学マーカに適用した。

光学マーカの非平面への適用を目指す研究として、AR マーカの黒枠部分に複数の白点を一列に並べたマーカを作成し、白点の並びからマーカの曲がり具合を推定し、認識する手法が提案されている。これにより、笹沼らは折り曲げたマーカ [6] を、鈴木らは円筒面に貼り付けたマーカ [9] を検出可能であることを示した。小野らは、通常の QR コードにカラー補助線を格子状に重畳したマーカ [8] を提案した。この手法は補助線の着色パターンを利用して、局所的な歪みの補正を行う。しかし、立体物を全周囲から認識可能にするためには、複数のマーカを貼付する必要がある。本研究では円筒状バーコードに M 系列パターンを採用することで、歪みの少ない正面部分の部分的な画像を用いての認識を可能にした。

Uchiyama らはランダムなドットパターンよりマーカを作成し、オクルージョンに対するロバストなマーカを作成した。[2]。これを使用し、非平面への応用例を示した [1]。DodecaPen [4] は、ペン尻に固定された十二面体に複数のマーカを付け、高精度なペントラッキングを提案している。Usami ら [3] は、様々な角度の L 字型に手で曲げることのできる棒状の RGB のカラーコードを作成した。本研究で提案したマーカも、円筒状の立体的な構造をしているが、物体周囲に貼付することを目的としている。また、カメラと物体の間を遮蔽されマーカの一部が欠けた場合でも機能するよう工夫した。

6. まとめと今後の展望

ID 識別機能と回転検出機能を備えた円筒マーカを提案、試作した。これは、リング状のバーコードと、M 系列によるバーコードを組み合わせた光学マーカである。円筒マーカは、人体の各部位や、マグカップ、植木鉢、ワインボトルや花瓶など日常空間における円筒形物体の検出に使用可能である。

本方式のマーカは円筒形であるために、撮影されたマーカ画像の端に歪みが生じる。円筒中心軸方向のバーで構成された M 系列マーカではこの歪みにより線幅が変化するため、現在の実装では歪みの少ない正面部分を使用している。歪みを考慮した補正を行うことで、読み取り可能な領域を増やして、堅牢性を高めることが可能である。また、円筒中心軸以外の回転角度は、マーカ領域を矩形とみなしてその変形から計算している。このため大きく前後に傾いた場合は不正確である。これまでに実装した AR 和服帯試着システムでは、ユーザが大きく前かがみ・後ろに反る状況は発生しないと考えたため、十分な対応を行っていなかった。今後はバーの湾曲、傾きなどを利用することを検討し、よ

*7 <http://imura-lab.org/products/labeling/>

り正確で確実な検出が可能となるよう改善したい。

参考文献

- [1] Hideaki, U. and Eric, M.: Deformable random dot markers, In *Proceedings of 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, VR' 11 , pp. 237–238 (2011).
- [2] Hideaki, U. and Hideo, S.: Random dot markers, In *Proceedings of the 2011 IEEE Virtual Reality Conference*, VR' 11 , pp. 271–272 (2011).
- [3] Makoto, U., Kyohei, M. and Masao, I.: Augmented Reality System to use 3-dimensional Marker for 360-degrees Graphic Rotations Seamlessly in Hand-Motions, In *Proceedings of MBL*, Vol. 72, No. 13, pp. 1–8 (2014).
- [4] Wu, P., Wang, R., Kin, K., Twigg, C., Han, S., Yang, M. and Chien, S.: DodecaPen: Accurate 6DoF Tracking of a Passive Stylus, In *Proceedings of ACM Symposium on UIST*, pp. 365–374 (2017).
- [5] Xiao, R., Harrison, C., Willis, K. D., Poupyrev, I. and Hudson, S. E.: Lumitrack: Low Cost, High Precision, High Speed Tracking with Projected M-sequences, In *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on UIST*, UIST '13, ACM, pp. 3–12 (2013).
- [6] 笹沼 啓, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: 4-8 折れ曲がる面で利用可能な AR マーカの提案 (第 4 部門映像表現 (CG,AR, 計測技術)), 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, p. 4.8(オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009933695/>) (2014).
- [7] 奥山瑞希, 的場やすし, 椎尾一郎: M 系列円筒バーコードと AR 和服帯試着システムへの応用, 第 25 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2017), pp. 17–22 (2017).
- [8] 小野智司, 川上雄大, 伊藤拓也, 澤井陽輔, 川崎 洋, 中山 茂: ゴミ袋に貼付された歪んだ 2 次元コードの復号, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 26, 人工知能学会, pp. 1–4 (2012).
- [9] 鈴木朝日, 眞鍋佳嗣, 矢田紀子: 7-1 円筒面で利用可能な AR マーカの提案 (第 7 部門 AR のためのメディア処理), 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, p. 7.1 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009669654/>) (2012).