

円柱体の ID・位置検出のための円筒マーカとその応用

理学専攻・情報科学コース 奥山瑞希 (指導教員：椎尾 一郎)

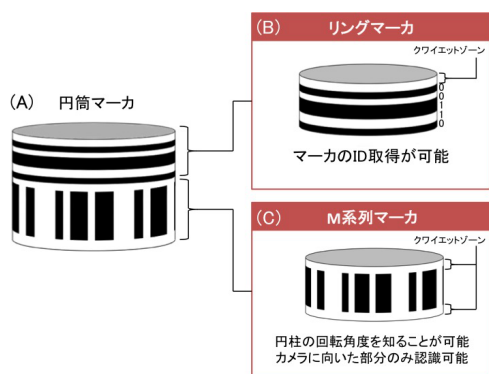


図 1: (A) 円筒マーカ ; (B) ID をエンコードしたリングマーカ ; (C) 角度をエンコードした M 系列マーカ.

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、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。円柱物体は、AR マーカを側面に貼付することで位置検出可能であるが、複数マーカを貼付・登録する必要がある上、曲面による変形のために認識率が低下する。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て、円筒形のバーコード光学マーカを提案する。

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、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、図 1 (B) に示す従来のバーコードに準じたリング状のパターンと図 1 (C) に示す後述する M 系列をエンコードした縦縞状のパターンの 2 種類のバーコードを巻きつけるように配置する。以下では、それぞれをリングマーカ、M 系列マーカと呼ぶ。図 1 (A) では、2 種類のマーカを組み合わせて使用しているが、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可能である。

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

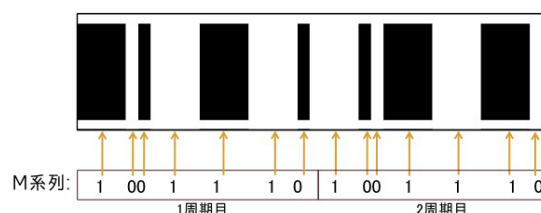


図 2: M 系列マーカのバーコードパターン。

筒マーカに 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、歪みの影響を除去可能である。

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 を付加することができる。例えば図 1 (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ため、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。

M 系列は、周期 $2^p - 1$ の数列であり、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。

このような M 系列のビット列をバーコードにし回転体周囲に配置すれば、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、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ると、1 ビット目と $2^p - 1$ ビット目のバーの色が同じ黒色になる。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 周期分数列を使用すると、同じ部分数列は 2 回出現することになるため、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・黒の組み合わせであり、一方で 2 周期目の 100 は白・黒・白の組み合わせになり識別可能である。

¹<http://1leedd.com/blog/2011/05/23/>

²本川達雄. 生きものは円柱形—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.

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。

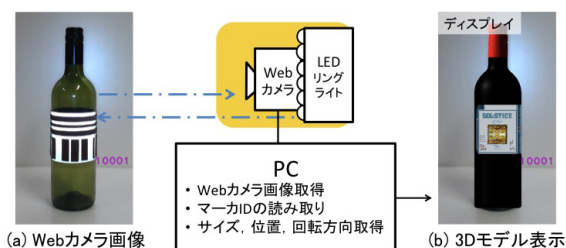


図 3: 認識システムと円筒マーカ。

3 認識システム

円筒マーカとその認識システムを図 3 に示す。

3.1 作製した円筒マーカ

図 3 (a) のカメラ画像に映る円筒マーカでは、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。リングマーカ部のバー幅の比は 2:1, M 系列マーカ部は 3:1 とした。

現在のシステムでは、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。再帰反射材で白のバー幅を表現し、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。マーカに赤外線や照明を当てることで、再帰反射材部分が高輝度に映る RGB 画像を得られる。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。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、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 認識システム

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 3 (a) のように再帰反射材部分の輝度が著しく高い RGB 映像が得られる。この画像より、再帰反射材部分が白く他は黒く映る二値画像を得る。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、矩形領域の上から i 画素目を左から右に走査し、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する。これから円筒マーカの回転角度を取得する。

今回の実装では、リングマーカ部が 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各座標点から領域外へ、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 3 (a) では、マーカ ID である 10001 を円筒マーカ右下に表示している。また、図 3 (b) 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 応用例

円筒マーカの応用例として、和服帯の AR 試着システムを作成した (図 4)。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 帯を重畳表示するシステムである。複数マーカの ID 識別は不



図 4: 作成した和服帯 AR 試着システム。

要であり、M 系列マーカ部だけの円筒マーカを使用する。被験者 4 名に体験してもらい、評価を行った。4 名全員からシステムとして有用であるという評価を得た。また、CG による帯の再現性やマーカ認識できない姿勢があるなど課題を確認した。

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、プロジェクタから 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 系列を円筒光学マーカに適用した。

Uchiyama らはランダムなドットパターンを使用し、オクルージョンに対しロバストなマーカ [2] を作成した。これを使用し非平面への応用例 [1] を示した。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、高精度なベ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でできる棒状の 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、単一のマーカを物体周囲に貼付することを目的としている。複数マーカの登録を必要とせず、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

リング状のバーコードによる ID 識別機能と M 系列のバーコードによる回転検出機能を備えた円筒光学マーカを提案、作製した。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柱物体の検出に使用可能である。

参考文献

- [1] U. Hideaki and M. Eric. Deformable random dot markers. In *Proc. of the 10th IEEE ISMAR*, VR '11, pp. 237–238, 2011.
- [2] U. Hideaki and S. Hideo. Random dot markers. In *Proc. of the 2011 IEEE VR*, VR '11, pp. 271–272, 2011.
- [3] U. Makoto, M. Kyohei, and I. Masao. Augmented Reality System to use 3-dimensional Marker for 360-degrees Graphic Rotations Seamlessly in Hand-Motions. In *Proc. of MBL*, Vol. 72, pp. 1–8, 2014.
- [4] P. Wu, R. Wang, K. Kin, C. Twigg, S. Han, M. Yang, and S. Chien. DodecaPen: Accurate 6DoF Tracking of a Passive Stylus. In *Proc. of ACM Symposium on UIST*, pp. 365–374, 2017.
- [5] R. Xiao, C. Harrison, K. D. Willis, I. Poupyrev, and S. E. Hudson. Lumitrack: Low Cost, High Precision, High Speed Tracking with Projected M-sequences. In *Proc. of the 26th Annual ACM Symposium on UIST*, UIST '13, pp. 3–12. ACM, 2013.