

座標認識コードの形状変化を用いたサークルコードの傾き検出とその評価

○ 早苗 孝将* 河野 清尊*

* 米子工業高等専門学校

A Tilt Angle Detection for the Circle-Code using Shape Variation of Coordinates-Recognition-Code and its Evaluation

○ Takamasa Sanae* and Kiyotaka Kohno*

*National Institute of Technology, Yonago College

Abstract: We originally devised a round bar code, which is named "Circle-Code". A recognition program of the Circle-Code for smart phone was developed in order to apply the Circle-Code to Augmented Reality (AR). However, tilt angle detecting function has not been implemented in the Circle-Code. In this paper we propose tilt detecting method using form change of the Circle-Code.

1. はじめに

独自に考案した円形バーコード（サークルコード）を用いて、本型入力インタフェースおよびカード型入力インタフェースを開発してきた¹⁾。しかし、これまでの研究では、傾き検出機能が実装されておらず、今後応用が期待されるAR(拡張現実)コードとしての利用には不十分であった。

そこで、サークルコードの傾き検出方法として、サークルコードの構成要素である座標認識コードの形状変化、特に、面積(ピクセル数)の変化を利用した方法を提案し、iOSに実装して評価を行った。しかし、この方法では座標認識コードの直径およびカメラとの距離を仮定しなければならず、実環境での利用には不向きであった²⁾。

本研究では、座標認識コードの形状変化として、中心座標から上下左右の内側円までの距離(ピクセル数)を用いて傾きを推定する方法を提案するとともに、その有用性を評価した。

2. サークルコード

独自に考案したサークルコードの構成をFig.1に示す。サークルコードは4つの同心円で構成される。最も内側の同心円を座標認識コード(Fig.1(a))と呼び、この閉じた円を検出することによりサークルコードの2次元座標と大きさを決定する。最も外側の同心円を回転角度認識コード(Fig.1(b))と呼び、回転角度を認識するとともに、16ビット情報コードの読み取り開始位置を決定する。残りの2つの同心円を16ビット情報コード(Fig.1(c)、Fig.1(d))と呼ぶ。

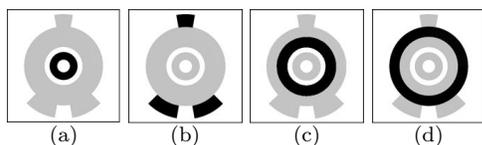


Fig.1 Structure of the Circle-Code

サークルコードは、表すことのできる情報量は16ビットと少ないものの、2次元座標、回転角度、拡大率など情報の種類の豊富さおよび認識の容易さに優れ、複数のコードを同時に認識でき、しかも70°まで傾いても認識できるという特長を有している。

3. 傾き検出方法

3.1 傾き検出の概要

Fig.2に示すように、座標認識コードの中心を原点としたX、Y、Zの3方向の回転軸を考える。Z軸についての回転は、回転角度認識コードを用いて検出が可能である。残るX、Y軸の回転を「傾き」と定義し、それぞれの回転角度を θ_x 、 θ_y とし、原点に向かって時計回りを正、逆を負とする。

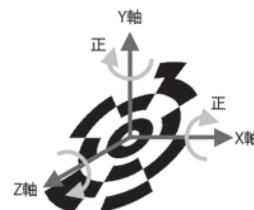


Fig.2 Rotational direction

3.2 座標認識コードの形状変化

座標認識コードをX軸のみ、Y軸のみ、およびX軸・Y軸共に0~60°まで15°ずつ傾けたときの形状変化をFig.3に示す。Fig.3より、座標認識コードの形状には、原点を中心とした対称性のあることがわかる。すなわち、ある角度に傾けた形状を原点を中心に反時計回りに90°回転させると、その位置にある形状と同じになることがわかる。例えば、 $\theta_x = +45^\circ$ 、 $\theta_y = +45^\circ$ の形状を反時計回りに90°回転させると、 $\theta_x - 45^\circ$ 、 $\theta_y = +45^\circ$ の形状と同じになる。

回転方向の判定および回転角度の推定については、Fig.4に示すように、撮影した座標認識コードにおいて上下左右の端の4点を通る長方形を考え、長方形の中心座標から垂直・水平方向の内側円までの距離(ピクセル数)を、それぞれ a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 とし、この距離を用いて行うことにした。

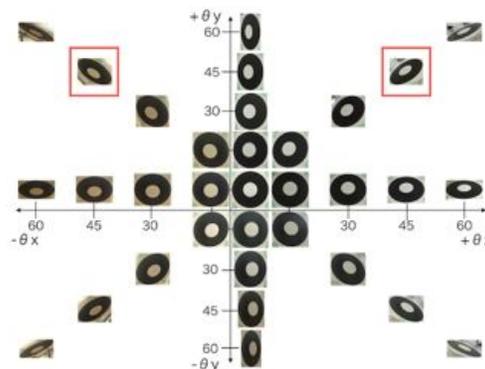


Fig.3 Shape variation of Coordinates-Recognition-Code

3.3 回転方向の判定

回転方向の正負の判定は、Table.1に示すように、 a_2 と a_4 および a_3 と a_1 の大小関係を用いて行う。例えば、 θ_x と θ_y が共にゼロのときは $a_2 = a_4$ かつ $a_3 = a_1$ となり、 $\theta_x > 0$ 、 $\theta_y > 0$ のときはFig.4からわかるように、 $a_2 > a_4$ かつ $a_3 > a_1$ となる。

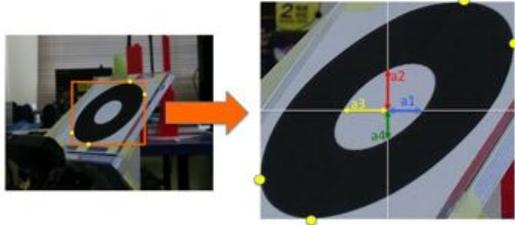


Fig.4 Distance to the inner circle from the center($\theta_x > 0, \theta_y > 0$)

Table 1 Determining of rotational direction

回転方向	回転方向の判定条件	α_1	α_2
$\theta_x = 0, \theta_y = 0$	$a_2 = a_4$ かつ $a_3 = a_1$	a_2/a_4	a_3/a_1
$\theta_x > 0, \theta_y = 0$	$a_2 > a_4$ かつ $a_3 = a_1$	a_2/a_4	a_3/a_1
$\theta_x < 0, \theta_y = 0$	$a_2 < a_4$ かつ $a_3 = a_1$	a_4/a_2	a_3/a_1
$\theta_x = 0, \theta_y > 0$	$a_2 = a_4$ かつ $a_3 > a_1$	a_2/a_4	a_3/a_1
$\theta_x = 0, \theta_y < 0$	$a_2 = a_4$ かつ $a_3 < a_1$	a_2/a_4	a_1/a_3
$\theta_x > 0, \theta_y > 0$	$a_2 > a_4$ かつ $a_3 > a_1$	a_2/a_4	a_3/a_1
$\theta_x > 0, \theta_y < 0$	$a_2 > a_4$ かつ $a_3 < a_1$	a_2/a_4	a_1/a_3
$\theta_x < 0, \theta_y > 0$	$a_2 < a_4$ かつ $a_3 > a_1$	a_4/a_2	a_3/a_1
$\theta_x < 0, \theta_y < 0$	$a_2 < a_4$ かつ $a_3 < a_1$	a_4/a_2	a_1/a_3

3.4 回転角度の推定

Fig.3より、座標認識コードの形状変化には原点について対称性があることが分かったので、回転角度の推定はX軸およびY軸ともに正方向に傾いた場合のみで考える。すなわち、絶対値で求め回転方向の判定に応じて回転角度に符号をつけることにする。

回転角度の推定にはTable.1に示す a_2 と a_4 の比 α_1 および a_3 と a_1 の比 α_2 を用いる。 α_1 と α_2 はそれぞれ a_2 と a_4 、 a_3 と a_1 のうち数値が大きい方を分子、小さい方を分母として算出し、 $\alpha_1, \alpha_2 \geq 1$ となるようにする。

Fig.5にX軸およびY軸それぞれに正方向に $0 \sim 60^\circ$ まで 15° ずつ傾けた場合の形状変化を示す。これら25個の形状について α_1, α_2 を求め、 θ_x に対する α_1 (θ_y をパラメータ)、 θ_y に対する α_2 (θ_x をパラメータ)の関係を一つのグラフにまとめ、回帰分析を行った結果をFig.6に示す。 θ と α の関係は、回帰分析により式(1)のように表すことができる。この式を用いて回転角度の推定を行うことにする。

$$\theta = 33.2 \alpha - 32.5 \quad (1)$$

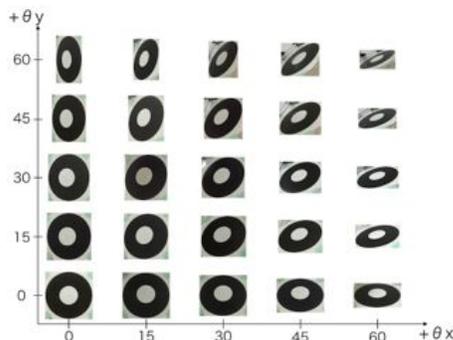


Fig.5 Shape variation of Coordinates-Recognition-Code ($\theta_x \geq 0, \theta_y \geq 0$)

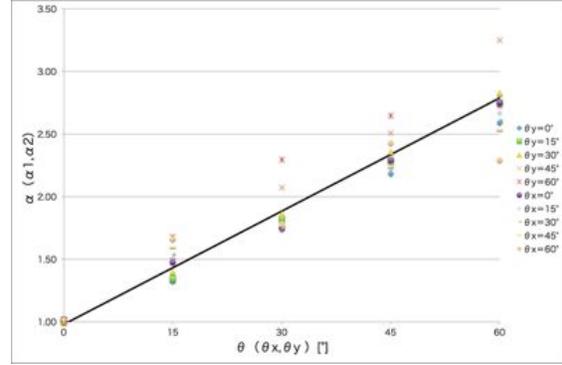


Fig.6 Result of regression analysis

4. 傾き検出方法の評価

任意の方向と角度に設定した座標認識コードを撮影し、 a_2 と a_4 、 a_3 と a_1 を測定し、そこから α_1, α_2 を算出して、Table.1より回転方向を判定し、式(1)より回転角度を推定した。測定に用いた画像をFig.7に、判定および推定結果をTable.2に示す。

Table.2より、回転方向の判定は正しく行われることが分かった。しかし、回転角度の推定では、最大で $+27.1^\circ$ の誤差が生じた。



(a) $\theta_x = +55^\circ, \theta_y = +40^\circ$ (b) $\theta_x = -10^\circ, \theta_y = +60^\circ$

Fig.7 Image of an experiment

Table 2 Experimental results

	Fig.7(a)	Fig.7(b)
a_2	183	153
a_4	53	240
a_1	100	59
a_3	250	177
α_1	3.45	1.57
α_2	2.50	3.00
θ_x 推定値	$+82.1^\circ$	-19.6°
θ_y 推定値	$+50.5^\circ$	$+67.1^\circ$
θ_x 誤差	$+27.1^\circ$	$+9.6^\circ$
θ_y 誤差	$+10.5^\circ$	$+7.1^\circ$

5. おわりに

座標認識コードの形状変化である a_1, a_2, a_3, a_4 の大小関係と比を用いた、回転方向の判定および回転角度の推定方法を提案した。

評価実験より誤差の大きいことが分かったので、今後は、回転角度の推定を $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の5段階で大まかに行う方法を検討するとともに、実際のサークルコードでの評価実験を行う。

参考文献

- 1) 村田大介, 河野清尊:サークルコードを用いた入力インターフェースとその応用, 第18回計測自動制御学会中国支部学術講演論文集, pp.108-109(2009)
- 2) 山根祐紀, 和田泰浩, 河野清尊:サークルコードへの傾き検出機能の実装, 第20回計測自動制御学会中国支部学術講演論文集, pp.188-189(2011)