

基於環狀取樣以向量為特徵的新式比對技術

林家均
亞洲大學
e-mail :

k73924@yahoo.com.tw

李正宇
亞洲大學
e-mail :

leecheng@asia.edu.tw

摘要

近年來機器視覺領域中圖形比對是非常熱門的一項研究主題，且在影像分析中幾何圖形比對是很重要的步驟。而圖形比對主要問題在於：對於識別效率、縮放與旋轉不變性(scale- and rotation-invariance)，方法的強健性(robustness)此三者之間很難同時達到。其中又以旋轉問題最棘手。環狀取樣方法上，先天就具有較少的計算量以及旋轉不變性的特性。本篇方法是將樣板(template)邊跡化後，利用角度抽取出 24 方位座標點，進行得到比對特徵(feature)---邊跡向量(edge vector)(包含長度及角度)，當目標形相對於樣板有縮放時，在向量長度表現上，僅是二者向量的長度串列有同等比例的改變。當目標形相對於樣板有旋轉時，經過二者向量角度串列的適當平移後，可得到最一致的向量角度差。根據實驗結果顯示出，本篇以簡潔的方法快速地將測試影像中的樣板給識別出來，也解決了樣板縮放的問題，更加提高了比對的速率。

關鍵詞：機器視覺、幾何圖形比對、特徵向量

Abstract

Image registration in machine vision is a very popular and useful research topic in both theoretical and practical problems. Geometric pattern matching is one of the most promising research directions in image registration. Major difficulties for pattern matching are performance, scale- and rotation-invariance, and robustness. It is hard to achieve these three objectives at the same time. Circular template sampling intrinsically bears rotation-invariance with lower computational complexity. In the proposed method, under circular sampling, the templates were sampled uniformly on 24-way to retrieve the consecutive feature vectors from the edge points. The scaling and rotation problem of the target pattern with respect to the template pattern is simplified

as a problem of proportion of the length and an angle difference of the feature vectors. In the proposed, the scale- and rotation-invariance is elegantly achieved with high performance by representing a geometric pattern as a set of feature vectors.

Keywords: machine vision, geometric pattern matching, feature vector.

1. 前言

1996 年 Jain[4] 等人針對圖形識別(pattern recognition)領域中的方法做了分類的探討，大略可分為四大類：

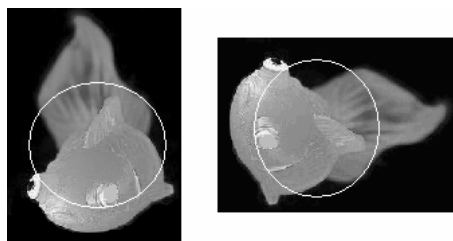
- (1) 樣板比對方法(template matching)
- (2) 結構圖形識別方法(structure approach)
- (3) 統計圖形識別方法(statistical approach)
- (4) 類神經網路圖形識別(neural network approach)

本篇方法是演化自結構圖形識別方法。結構圖形識別是在辨認之前分析樣板(template)，定義樣板上的特徵(feature)，再配合這些特徵之間的結構關係，例如：特徵之間的距離、長度、角度亦或是順序，在辨認的過程中只需找到我們所定義特徵之間的關係(部分特徵可以藉由 hough transform[6] 的方式求得)，依此即可判斷在影像中是否存在樣板圖形。結構圖形識別優點是只考慮特徵之間的關係，不論樣板如何旋轉(rotation)，當找到特徵之間的關係時，樣板就可被辨認出來。缺點在於如背景過於複雜，使得辨認過程的非常緩慢且非常沒有效率。較著名的方法是由 Freeman[7] 所提出的鏈碼(Chain code)，但是此方法在面對較複雜特徵的抽取上顯得沒有效率。為了克服特徵萃取的簡便性，以及樣板本身旋轉的不變性(rotation-invariance)，有些研究開始藉由最簡單的幾何圖形著手，「圓形」便具備了以上的特質。

1.1 環狀樣板取樣

在幾何形狀中，我們不難想到圓形具備了旋轉不變性的特性，即使樣板有旋轉的變化，

可以將之視為整體資料的平移。而圓形擁有循環的特性，資料可以交互接替而不會有遺漏或者是順序錯誤的問題發生。由圖 1，我們可以知道此兩串列的差異只在串列平移的結果。所以在比對時，只需要依序平移串列位置後，亦可得到正確的比對結果(圖 2)。



Template : [60 43 36 21] Test : [36 21 60 43]

圖 1. 左圖是樣板未旋轉的距離串列；右圖是樣板旋轉之後取得的距離串列。

Template : 60 43 36 21 Template : 60 43 36 21
 Test : 36 21 60 43 Test : 60 43 36 21
 Test 串列向左平移兩個位置

圖 2. 距離串列平移後，得到正確的比對結果。

這方面的研究，國內彭國軒[1]、龔威儒[3]以此發展出環狀編碼在任意物件的比對應用。而賴慶霖[2]依據龔威儒的研究方法進一步的做修正。本篇方法是以賴慶霖的研究做進一步的修正。

1.2 八方位取樣比對方法

賴慶霖[2]研究方法是以前板中心為圓心畫圓，取第一象限最靠近十二點鐘方向邊跡(edge point)與圓環的交點作為起始點，順時針方向每 45 度劃一條線，依此類推繪製八條直線，即八方位線。將樣板的外框邊跡與八方位線取得八的點位座標，以起自第一象限依照順時針方向排序座標點，接著計算此八個點座標到樣板中心的距離，而這距離串列即具有旋轉不變的特性如圖 3，為取自賴慶霖文章中的方法範例圖。



圖 3. 左：以樣板中心為圓心畫圓，第一象限最靠近十二點鐘方向邊跡與圓環焦點為起始點；中：依順時針方向每 45 度劃一條線，得八方

位線；右：第一象限順時針方向排序座標，並計算座標到圓心的距離。

我們所取得樣板距離串列(template)為[40 36 35 47 56 30 41 51]，搜尋取樣到的測試串列(test)為[40 36 35 47 56 30 41 51]，前後兩距離串列的數值均吻合，滿足設定條件是為比對成功，紀錄區塊中心座標。由於圖片數位化的結果，往往會有誤差的產生，為避免錯失正確的資訊，通過我們所設定的閾值(threshold)是為比對的參數，每比對一組數字正確，在累加器(Accumulator)上加 1。當累加器超過閾值時，即為比對成功。在此賴慶霖研究方法的閾值設定為 6(圖 4)。

Template: [40 36 35 47 56 30 41 51]
 Test : [40 36 35 47 56 30 41 51]
 Accumulator: 1 2 3 4 5 6 7 8

圖 4. 完全比對成功的狀況

另外一個重要參數設定是比對每一距離參數的容錯度(tolerance)，在比對距離時，距離差的絕對值小於容錯度(在賴慶霖研究方法中設定為 6 pixel)，則視為比對成功，在累加器上加 1(如圖 5)。參數設定的設計，可以減少物件有遺漏的情況發生。

Template : [40 36 35 47 56 30 41 51]
 Test : [41 33 32 47 56 32 41 52]
 Accumulator: 0 0 0 1 2 2 3 3

↓

Template : [40 36 35 47 56 30 41 51]
 Test : [41 33 32 47 56 32 41 52]
 Accumulator: 1 2 3 4 5 6 7 8

圖 5. 在誤差範圍之內的數據，視同比對正確。

以上，是在樣板無旋轉的狀況下，當樣板有經過幾何旋轉由圖 2 中我們可以發現當樣板經過幾何旋轉，在距離串列表現上只有位置上的不同，只需依序遞移比對起始點，在幾次的順時針遞移後，即可得到最佳的比對結果將樣板識別出來。

賴慶霖的方法不僅克服了彭國軒、龔威儒只適用在剛性物件上的缺點，更使得適用範圍

擴大到生物醫學的圖像上，但卻無法解決樣板有縮放(scaling)的問題。本篇方法由八方位增加至二十四方位，增加其取樣的精準度外，利用邊跡向量[9] (edge vector)的角度與長度作為比對的主要特徵，以簡潔的方法精準找到樣板的位置，解決了樣板縮放的問題。

2. 方法

由向量[9](vector)我們可以得到兩個資訊：一是向量長度(vector length)，二是向量角度(vector theta)。由方程式(1)、(2)、(3)我們可以知道， X 、 Y 為原始座標， X^* 、 Y^* 為旋轉後的新座標， r 為向量長度， θ 向量角度， $\Delta\theta$ 旋轉角度差：

$$\begin{aligned} X^* &= r * \cos(\theta + \Delta\theta) \\ &= r[\cos\theta\cos\Delta\theta - \sin\theta\sin\Delta\theta] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Y^* &= r * \sin(\theta + \Delta\theta) \\ &= r[\sin\theta\cos\Delta\theta + \cos\theta\sin\Delta\theta] \\ &= x\sin\Delta\theta + y\cos\Delta\theta \end{aligned} \quad (2)$$

得到

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta & -\sin\Delta\theta \\ \sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

因此，當樣板旋轉，在特徵關係表現上僅只有向量角度有共同角度差，向量長度的比例均為 1；當樣板縮小時，在特徵關係上僅只有向量長度有同比例的變化，理論上角度差為 0。表 1 為樣板與測試(目標形)串列的向量角度，從表 1 中我們可以知道當目標形無旋轉時，樣板與測試(目標形)串列的向量角度差(θ_D)為 0。物件經過幾何旋轉，向量角度差約在 4 5 度之間，其旋轉角度差的範圍很一致。表 2 為樣板與測試(目標形)串列的向量長度，由表 2 我們可以知道當物件在縮放的條件下，向量長度比例(Rate)大約都在 0.7 之間，縮小的範圍很一致。由此向量角度與向量長度兩個資訊當作比對的特徵，是個不錯的方法。

表 1. 樣板與測試(目標形)串列的向量角度

	樣板	目標形	角度差	目標形 (旋轉 45 度)	角度差
	θ	θ	θ_D	θ	θ_D
1	61.69	61.69	0	105.94	44.24
2	73.61	73.61	0	123.69	50.07
3	102.52	102.52	0	143.74	41.21
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	45	45	0	85.23	40.23
23	80.53	80.53	0	124.9	44.45
24	100.30	100.30	0	142.1	41.82

表 2. 樣板與測試(目標形)串列的向量長度

	樣板	目標形	比例	目標形 (縮小)	比例
	Length	Length	Rate	Length	Rate
1	14.76	14.76	1	11.66	0.78
2	17.72	17.72	1	14.31	0.80
3	18.43	18.43	1	14.56	0.78
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	11.31	12.72	1.12	9.89	0.87
23	12.16	12.16	1	9.21	0.75
24	11.18	11.18	1	9.219	0.82

2.1 特徵向量的抽取

首先，使用 Canny[8]取出樣板的邊跡後，計算樣板邊跡的形狀中心(邊跡 x y 座標各自的平均值)，接著計算邊跡到形狀中心的傾角，由 0 度到 345 度以每十五度為一方位依序增加。方位角度的抽取由 0 度開始，邊跡傾角與方位角度相減，最小角度差的邊跡傾角即方位座標點 (或是最接近方位角度的邊跡座標)，圖 6 以八方位作為取樣範例。

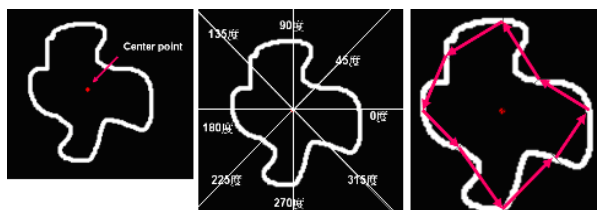


圖 6. 左: 計算出樣板的形狀中心(center point); 中: 計算邊跡到形狀中心的傾角。邊跡傾角減去方位角度所得到的最小角度差, 即方位座標點; 右: 八方位座標點相減, 得到比對的特徵一邊跡向量。

這二十四個座標點相減, 即可得到我們的特徵

---邊跡向量，最後計算此組邊跡向量的角度與長度，而這二十四個邊跡向量角度與長度就是我們欲比對的特徵串列。

2.2 特徵向像量串列的比對

比對的過程當中，在測試影像上擷取跟樣板一樣大小的區塊，此區塊處理方式與樣板的處理一致，進而得到測試串列的比對特徵---測試向量角度與向量長度。執行比對的過程時，樣板向量角度串列與測試向量角度串列相減，其二十四個向量的共同向量角度差為0。但如樣板有經過某種程度上幾何旋轉，只需依序移動比對起始向量角度位置，在幾次順時針遞移之後，即可得到最一致的向量角度差。不僅如此，亦可知道此向量串列遞移n個位置，圖7所示。接著，向量長度串列也跟著移動n的位置後，樣板與測試的向量長度串列相除，得到比例一致的結果。

Template:	61.6	73.6	102.5	149.0	146.3
Test :	85.2	124.9	142.1	105.9	123.6
$\theta_{D D}$:	23.5	51.3	39.5	43.0	-22.6



Template:	61.6	73.6	102.5	149.0	146.3
Test :	105.9	123.6	143.74	193.2	212.0
$\theta_{D D}$:	44.2	50.0	41.2	44.2	46.2

圖 7. 樣板順時遞移 3 個位置後，得到最一致的向量角度差。

但因為數位化的關係，多少會有誤差，因此我們會設置容錯度。當樣板與測試的向量角度串列所得到的向量角度差，其彼此相減的差距絕對值($\theta_{D D}$)小於容錯度，視為角度相同；向量長度的比例差距絕對值($Rate_D$)小於容錯度，即是為比例相同。接著設定閾值作為比對時的參數，當比對一組向量長度(或角度)正確時就在累加器上加 1，當累加器超過閾值時視同比對正確，並紀錄形狀中心的座標，如圖 8。

Template length :	14.76	17.72	18.43	...	11.18
Test length :	11.66	14.31	14.56	.....	9.21
Rate :	0.78	0.80	0.78	.....	0.82
$Rate_D$:	0.02	0.02	0.03	.....	0.04
Accumulator :	1	2	3	.....	22

Template θ_D :	44.24	50.07	41.21	44.20	.....	41.82
Test θ_D :	50.07	41.21	44.20	46.21	.....	44.24
$\theta_{D D}$:	5.83	8.86	2.98	2.01	.....	2.42
accumulator:	0	0	1	2	.....	21

圖 8. 上圖：向量長度比例相減絕對值小於容錯度，閾值加 1；下圖：向量角度差相減絕對值小於容錯度，閾值累加 1。

最後，就可判斷樣板是否存在?縮放比例多少?旋轉多少角度?在此僅處理樣板縮小的狀況。因為在影像圖片上，我們可以把照相機垂直拉離測試物較高的位置，即測試圖上的物件，只有縮小而沒有放大的問題。

3. 結果

所有的實驗皆在 AMD Turion 64 X2 1.61GHz 上之 Microsoft XP 作業系統中，以 MATLAB 7.0 撰寫及執行完成。結果以紅色粗線找出樣板在測試圖片的位置，以及標記樣板的形狀中心。並顯示執行完成所需的時間。接下來是一系列的測試實驗結果圖。圖 9，為標準樣板。圖 10 所示。證實本演算法可以正確的比對出樣板的所在位置。

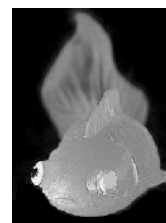


圖 9. 樣板圖片(解析度 130x176)

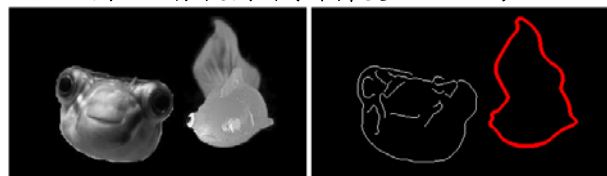


圖 10. 有其他物件存在(解析度 375x218)
Time= 3.78 秒

第一類實驗，由圖 11 的結果可以知道當樣板在沒有缺陷無旋轉與縮小的狀況下，擁有良好的比對與定位的效果。而比對時間為 2.17 秒。圖 12，為物件縮小的例子。不僅縮小的比例計算出來 $scaling=0.69$ ，比對所需的時間為 $time=1.43$ 秒。

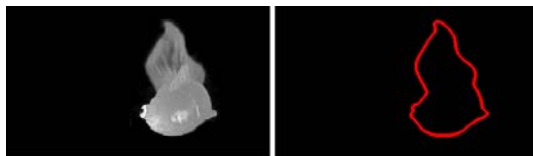


圖 11. 樣板無縮放旋轉(解析度 375x218)
scaling=1.00 ; rotation= -0.03°
time=2.17 秒



圖 12. 樣板縮小(解析度 375x218)
scaling=0.69 ; rotation= -0.35°
time=1.43 秒

圖 13 圖 14, 為樣板有幾何上的旋轉。同樣的, 由結果可以知道不管樣板旋轉的角度是不是整數倍(即 15 度的倍數), 依然可以準確的把樣板位置比對出來。比對時間亦不會花費太多。樣板旋轉 45 度、樣板旋轉 40 度, 所需花費的時間依序為 2.04 秒、1.98 秒。圖 15, 樣板有縮小旋轉的條件下, 同樣的以時間為 1.90 秒快速的將樣板比對出來, Scaling=0.70、rotation=44.17°。

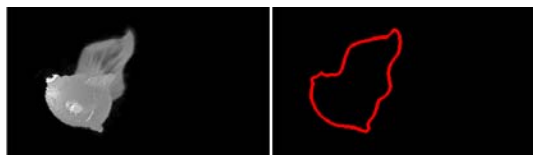


圖 13. 樣板旋轉 45 度(解析度 375x218)
Scaling= 1.00 ; rotation = 44.84°
Time = 2.04 秒

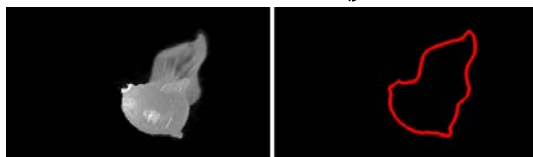


圖 14. 樣板旋轉 40 度(解析度 375x218)
Scaling = 1.04 ; rotation = 29.95°
Time = 1.98 秒



圖 15. 樣板縮小旋轉 45 度(解析度 375x218)
Scaling =0.70 ; rotation = 44.17°
Time = 1.90 秒

第二類實驗為, 樣板有遮蔽缺陷的狀況下。圖 16 結果看出, 即使樣板缺陷的條件下本篇演算法僅花費 2.18 秒的時間, 精確的將樣

板定位出來。



圖 16. 樣板遮蔽(解析度 375x218)
Scaling =1.00 ; rotation= 1.27°
Time = 2.18 秒

圖 17、圖 18 依序是樣板遮蔽縮小, 樣板遮蔽旋轉 45 度的條件下去執行 Scaling=0.72、rotation = -1.00°、時間 = 1.73 秒; scaling =1.04 ; rotation =30.66°、時間=2.32 秒, 如同我們預期的結果, 精確的將樣板比對出來。圖 19 為樣板遮蔽縮小右旋轉的狀況, 由結果可以知道, 再此條件下, 本篇演算法依然可以將樣板定位出來。圖 20、圖 21 為在真實環境之下比對結果。



圖 17. 樣板遮蔽縮小(解析度 375x218)
Scaling =0.72 ; rotation = -1.00°
Time = 1.73 秒

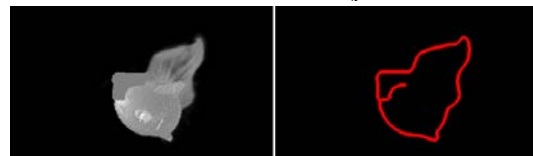


圖 18. 樣板遮蔽旋轉 45 度(解析度 375x218)
Scaling =1.04 ; rotation = 30.66°
Time = 2.32 秒



圖 19. 樣板遮蔽縮小旋轉 45 度
Scaling = 0.72 ; rotation =44.40°
Time =1.75 秒

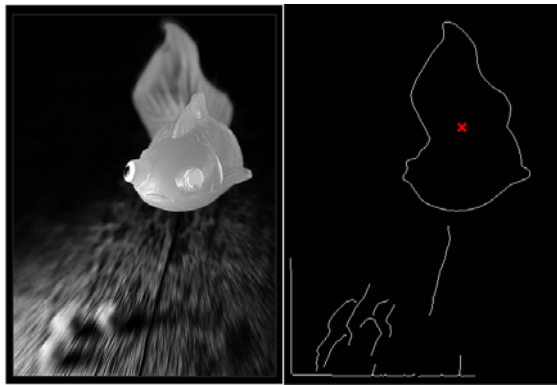


圖 20. 在真實環境之下
(解析度 364x500)

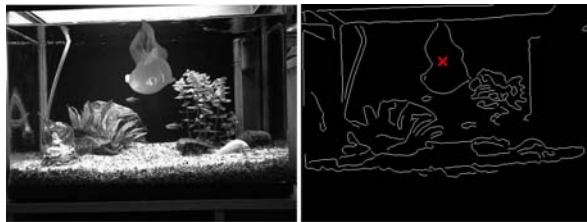


圖 21. 背景為魚缸的環境之下
(解析度 500x375)

以上一系列的結果圖片顯示，本篇用簡潔的方法——向量長度與向量角度，不論樣板是否有縮放或是旋轉的問題，亦或是樣板有遮蔽的狀況，本篇演算法可以精準的把樣板縮小多少比例，旋轉多少的角度，均可計算出來，經測試實驗結果局部影像遮最大不超過整體樣板的 3/8。表 3、表 4 為實驗中一組數據，以樣板、目標物無縮放 (no scale) 以及目標物有縮放 (scale) 的實驗向量角度與向量長度數據。表 3 為向量角度數據我們可以知道當目標物有縮放時，向量角度沒有多大的改變。

表 3. 樣板與測試(目標形)串列的向量角度

	樣板	目標形 No scale	目標形 Scale
	θ	θ	θ
1	59.93	59.93	59.03
2	75.46	75.46	75.96
3	102.52	102.56	104.03
	⋮	⋮	⋮
22	45	45	41.98
23	81.02	81.02	81.86
24	100.0	100.0	98.74
θ_D		0.01	-0.03

表四為向量長度數據，我們僅需把樣板與目標物的向量長度相除，在比例值的顯示上 是一

致的。由此我們就可得知目標物是否有縮小以及縮小的比例是多少。

表 3. 樣板與測試(目標形)串列的向量長度

	樣板	目標形 No Scale	目標形 scale	rate
	length	length	length	
1	21.95	21.95	17.49	0.79
2	27.89	27.89	20.61	0.73
3	27.65	27.65	20.61	0.74
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	18.38	18.38	13.45	0.73
23	19.23	19.23	14.14	0.73
24	17.26	17.26	13.15	0.76
	1.00			0.75

在比對速度上，本篇使用的圖片大小沒有限在解析度為 120X120 上，實驗的圖片的解析度為 375x218、364x500 與 500x375 在比對的所花費的時間在 0 秒到 3 秒之間。

4. 討論

本篇方法 構在環形取樣理論的基 上，出新的比對方法，資訊的抽取上相當的簡潔，在參數上做適當的 整，本篇方法可以達到相當準確的比對結果，也解決了賴慶霖方法中沒有處理樣板縮放的問題。由於本篇方法使用 MATLAB 7.0 撰寫，如使用 C 言撰寫比對所花費的時間 有大 度的提 。最後的實驗結果 證了本篇方法的構想。

參考文

- [1] 彭國軒，快速物件辨認與定位—環狀樣板比對， 大學 論文，2003。
- [2] 賴慶霖，基於環形原理的一種新式比對技術，亞洲大學 論文，2008。
- [3] 龔威儒，局部遮蔽圖形之自動比對， 大學 論文，2004。
- [4] A.K. Jain, et al, "Artificial neural networks: A tutorial, Computer, pp31-44, 1996.
- [5] A.k. Jain, et al, "Statistical pattern recognition : A review," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no.1,pp.4-37, 2000.
- [6] Dimitrios Ioannou, et al, "Circle recognition through a 2D Hough Transform and radius

- histogramming,” *Image and Vision Computing* 17, 1999
- [7] Herbert Freeman., ”Computer processing of line-drawing images,” *Computing Surveys*, 6(1):57-97, March 1974
Blanchard, B. S., ***Logistics Engineering and Management***, 5th ed., Prentice Hall, 1998.
- [8] J. Canny, “A computational approach to edge detection,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.PAMI-8, no.6, pp.679-698, 1986.
- [9] Llado’s, et al, “Finding rotational symmetries by cyclic string matching,” *Pattern Recognition Letters* 18.1435–1442, 1997