

通用螺旋型彈簧影像量測系統

嚴茂旭¹ 胡有值端¹ 馬永昌¹ 黃政諺¹ 陳秋國² 謝樹明³

¹ 國立台灣海洋大學資訊工程學系

² 經濟部標準檢驗局

³ 華夏科技大學資訊工程學系

E-mail: ymh@email.ntou.edu.tw

摘要

本文將提出一個新的「通用螺旋型彈簧影像量測系統」，可精準量測彈簧的外徑與長度，量測的彈簧種類有拉伸、壓縮、塔型彈簧、...等。當工具機生產彈簧時，常因為彈簧擺動、傾斜角度不同，導致嚴重的量測誤差。本系統提出「圓角點偵測演算法」，用來精確計算彈簧的頂點圓角點位置，來找出正確的彈簧軸心斜率 S ，進而精準測量彈簧的外徑與長度。圓角點偵測演算法主要是，透過數值分析的概念，重複趨近找出彈簧軸心斜率，根據實驗我們只要重複兩次就可達到 0.1% 的斜率誤差。本演算法主要有四個步驟，(1) 取得彈簧邊緣鏈碼，(2) 計算圓角點位置與軸心斜率 S ，(3) 計算彈簧開始處，(4) 量測彈簧的長度。藉由彈簧的圓角點位置和軸心斜率，可精確計算出彈簧的長度、外徑。

在使用 1600×1200 解析度之 CCD 攝影機，個人電腦 Intel i5, 4G 記憶體，待測彈簧外徑 10 mm，彈簧的傾斜角度在正負 45 度的範圍內變動時，實驗證明，本演算法量測外徑的最大誤差在 0.3% 以內，精密度可達 0.01 mm/pixel，系統每分鐘可正確辨識 720 個彈簧，因此本系統確實可以搭配於生產彈簧的工具機上。

關鍵詞：彈簧、圓角點偵測演算法、彈簧檢長機

1. 前言

目前基礎工業的彈簧製造商有往高精度、高質化方向發展的趨勢，據中國製造網的統計資訊[1]，中國的彈簧年生產量已達 40 億件，用

於汽機車、內燃機、儀器[2]、...等，持續的工業生產帶動對彈簧的需求，近期中國市場上低檔普通彈簧有供過於求的趨勢，隨著市場的變化各家彈簧廠商陸續往高精度的生產發展[3]，其中對彈簧的品質與良率的提升更是急需改善的課題[4]。

現今各種新的演算法不斷的被提出，搭配現代電腦技術，許多已可用於實際的運作，其中有不少的研究方向是往特徵的辨識、物體的識別和精密的量測，但在彈簧量測方面相關的演算法[5]卻很少被提出，我們經由觀察和對影像辨識相關演算法的研究與實驗發現，在良好的環境下，取得攝影機畫面中彈簧輪廓的座標位置，可以得到準確的彈簧外觀，透過計算彈簧的特徵，進而實現彈簧尺寸[6-7]的精準量測。

因此我們提出一個新的「通用螺旋型彈簧影像量測系統」，使用 CCD 攝影機與圓角點偵測演算法，可以精準的計算出彈簧的頂點圓角點位置，搭配彈簧生產工具機，可做到與生產同步的每條彈簧精密量測，取得每條彈簧的長度與外徑大小，同時藉由彈簧的分類與工具機的即時修正達到彈簧生產良率提升。

本研究第二節將介紹圓角點偵測演算法，第三節展現出本演算法的實驗結果，結論將於第四節說明。

2. 圓角點偵測演算法

本研究是改進圓角點偵測演算法[8]，使用此演算法辨識彈簧的條件之一是彈簧必需要有直線軸心，且彈簧影像要清晰無雜訊。以下將介紹本演算法的主要四個步驟：(1) 取得彈簧邊緣鏈碼，(2) 計算圓角點位置與軸心斜率 S ，(3) 計算彈簧開始處，(4) 量測彈簧的長度。

2.1 取得彈簧邊緣鏈碼

首先設定彈簧影像辨識的範圍，避免畫面中出現雜物與干擾，如圖 1 彈簧所在區塊，然後對辨識範圍內的區域用 Otsu 演算法[9] 做門檻值的偵測或手動設定門檻值(threshold)，把影像二值化，再來對二值化的影像做鏈碼輪廓追蹤(Freeman-Code) [10-11]，取得彈簧邊緣輪廓上的每個座標位置，並以串列(List)儲存此彈簧的外緣座標，如圖 3 所示。

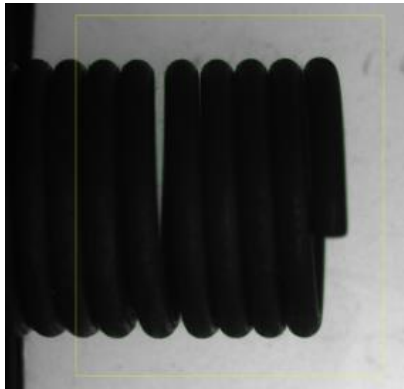


圖 1 設定彈簧影像辨識的範圍

關於鏈碼輪廓追蹤(Freeman-Code)的方式，我們利用彈簧邊緣輪廓連續的特性，一開始需要先找到輪廓上任意一點做為起始點，再來是沿著彈簧的邊緣做八方向搜尋，如圖 2，擷取邊緣的坐標位置，在搜尋回到開始坐標或到達辨識範圍的邊界時，便算是完成邊緣輪廓的擷取。

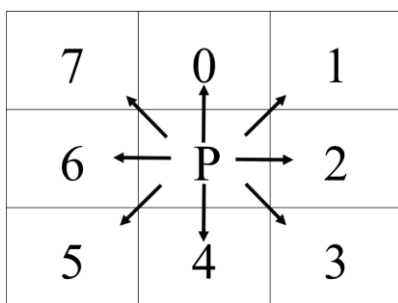


圖 2 八方向鏈碼輪廓追蹤

我們假設彈簧影像至少占畫面的四分之一大，因此彈簧的輪廓點數不可能少於特定的數目，若是輪廓的點數太少，則可能是沒有成功的擷取到彈簧的輪廓，需調整起始點的搜尋範圍，重新搜尋、擷取。

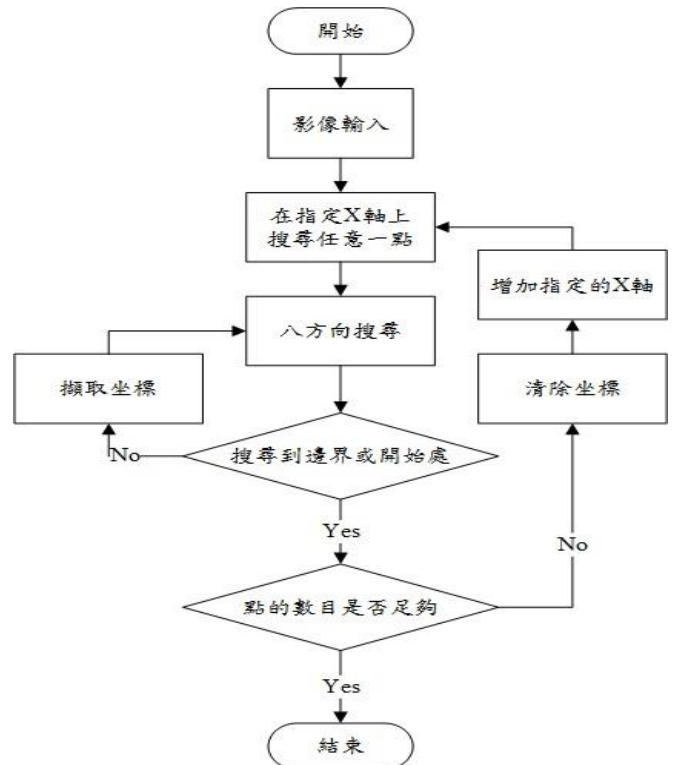


圖 3 鏈碼輪廓追蹤流程圖

在成功取得彈簧輪廓後，開始計算邊緣輪廓上每個點的斜率，我們使用一個參數 k ，在邊緣串列(List)中，一個一個點計算，選取與目前點間隔 k 個索引的左右兩個點，利用這兩點的座標，計算兩點連線的斜率值，做為目前點的斜率值，如圖 4。把每個符合斜率值要求且不是內角的點選為候選角點。同時，候選的角點需要按照 x 座標的變化情況分為上下群，並且按照點與點在邊緣串列(List)索引的差距分組，以便之後做圓角點位置與彈簧斜率的計算，其中 k 值的大小與彈簧金屬線寬度成正比。表示第 i 點的斜率計算公式如下：

$$S_i = \frac{y_{i+k} - y_{i-k}}{x_{i+k} - x_{i-k}} \quad (1)$$

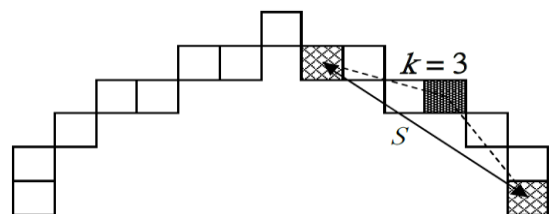


圖 4 點的斜率計算方式

2.2 計算圓角點位置與軸心斜率 S

我們將使用彈簧影像中的候選角點組計算出彈簧的斜率與圓角點位置，分組情況如圖 5。



圖 5 已分組的候選角點

初始狀態時，假設彈簧軸心斜率 S 為零，在候選角點中找到斜率等於彈簧軸心斜率的候選角點，在每一組中分別算出一個角點位置代表這組的圓角點可能位置，然後使用圓角點可能位置，計算兩兩相鄰的連線斜率，把每組連線的斜率平均，做為彈簧的斜率，利用數值分析的概念，在不斷重複的計算彈簧斜率與角點位置後，彈簧斜率會趨近於一個穩定的數值，在彈簧斜率達到穩定時，便可得到彈簧的斜率與圓角點位置，我們用此方法分別算出彈簧的圓角點位置、上下斜率與平均斜率，並以平均斜率做為彈簧的軸心斜率，如圖 6、圖 7 所示。

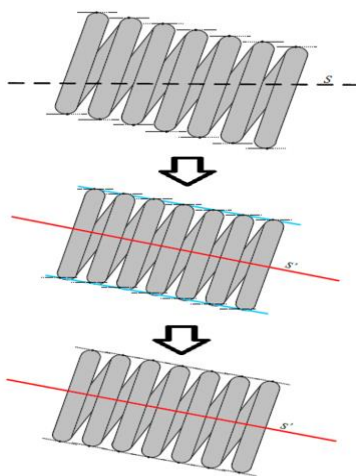


圖 6 圓角點偵測演算法示意圖

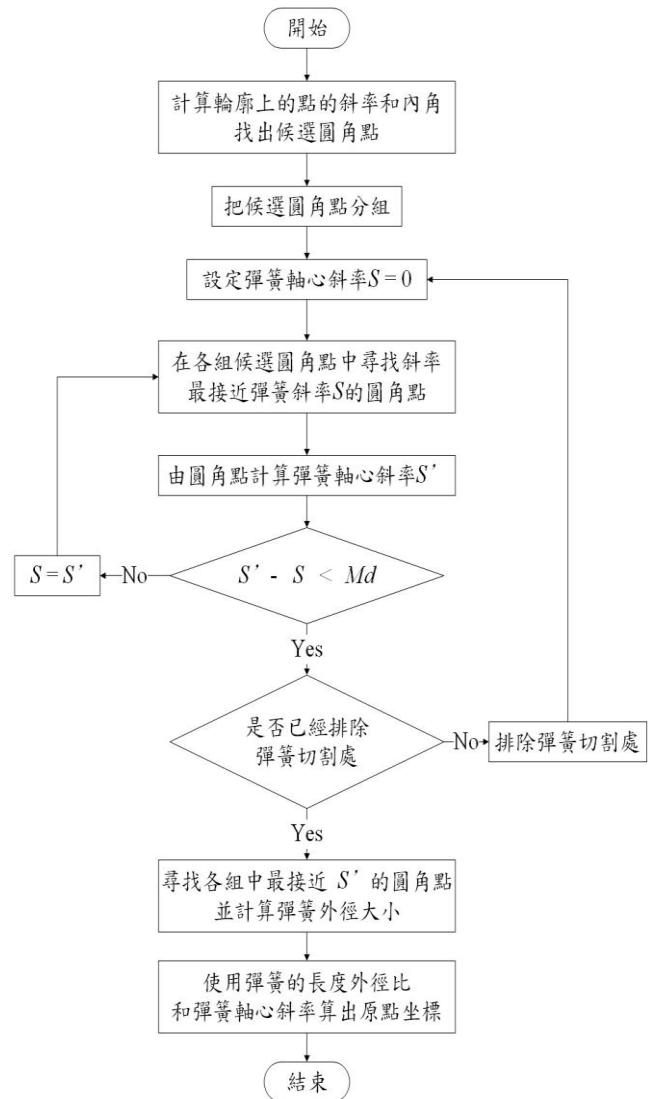


圖 7 圓角點偵測演算法流程圖

2.2.1 排除彈簧切割處

彈簧的切割處可能會被誤判為圓角點，嚴重影響計算彈簧斜率的準確度，因此，如未排除切割處，需使用目前的彈簧斜率配合手動設定切割處可能出現的範圍，把範圍內的候選角點移除，再做一次圓角點的偵測，如圖 8 所示。

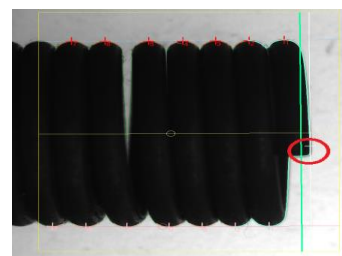


圖 8 彈簧的切割點

2.3 計算彈簧開始處

使用彈簧軸心斜率、彈簧圓角點位置和使用
者輸入的設定，我們可以計算出彈簧的外徑與
彈簧開始處，做彈簧的生產量測。

2.3.1 使用者指定彈簧外徑

在開始做彈簧的生產量測前，需要先設定彈
簧的外徑位置與標準寬度，我們使用的是三點
式外徑量測法設定彈簧外徑，如圖 9，使用者需
選取三個彈簧圓角點位置，我們利用這三個圓
角點位置模擬游標卡尺的量測，計算出指定的
外徑在影像中的寬度，接著使用者輸入外徑的
實際寬度，開始自動計算出每個 pixel 代表的
mm 大小，如此在彈簧生產過程即可量測外徑的
寬度，公式如下：

$$mm_pixel = \frac{\text{外徑尺寸}(mm)}{\text{外徑圖素}(pixel)} \quad (2)$$

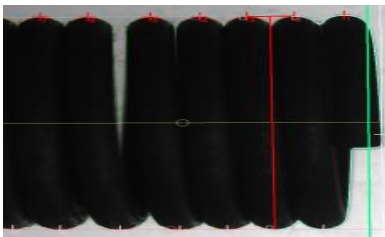


圖 9 三點式外徑量測法

2.3.2 使用者輸入彈簧的實際長度

彈簧影像中可能沒有完整的彈簧畫面，但有
彈簧的最右邊位置，使用者輸入彈簧的實際長
度後，我們便可按照彈簧的軸心斜率、軸心和
公式(2)中的 mm_pixel 計算彈簧工具機的彈簧切
斷位置，如圖 10，彈簧切斷位置就是彈簧開始
處，因為彈簧開始處是固定的，在算出彈簧開
始處後，便可在生產過程中量測每條彈簧的長
度。

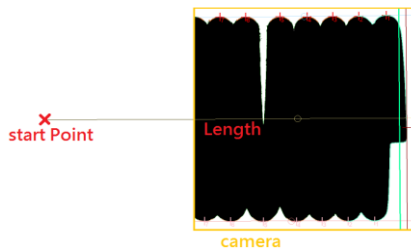


圖 10 彈簧開始處示意

2.4 量測彈簧的長度

使用彈簧的最右邊位置和彈簧開始處算出
彈簧長度，如圖 10，然後換算成 mm，得到彈
簧的長度量測值。

3. 實驗數據

實驗環境的電腦規格為 Intel i5, 4G 記憶體，
使用 1600x1200 解析度之 CCD 攝影機，待測的
彈簧外徑為 10 mm。

為了驗證彈簧軸心改變時，量測是否能保有
足夠的準確性，我們在正負 45 度內的範圍選轉
彈簧，並記錄外徑寬度的變動情況，實驗物件
如表 1 所示。

表 1 實驗影像物件規格

	一般彈簧	緊密彈簧
物件 影像		

3.1 彈簧旋轉角度實驗

此實驗將驗證彈簧的角度改變時，彈簧外徑
量測的準確性是否足夠，每一種彈簧都用固定
的參數去量測，使用量測外徑的誤差當作判斷
依據。此外，也記錄重複計算斜率的次數和演
算法計算所花的時間。彈簧的角度改變情況如
表 2、表 3、表 5 及表 6 所示。

表 2(a) 一般彈簧 0° 和左旋轉 10°、20°

	0°	10°	20°
左 旋 轉			
	0	L10	L20

表 2(b) 一般彈簧左旋轉 30°、40°、45°

	30°	40°	45°
左 旋 轉			
	L30	L40	L45

表 3(a) 一般彈簧 0° 和右旋轉 10°、20°



右 旋 轉	0°	10°	20°
			
	0	R10	R20

表 3(b) 一般彈簧右旋轉 30°、40°、45°



右 旋 轉	30°	40°	45°
			
	R30	R40	R45

表 4 一般彈簧外徑偵測結果統計表

角 度	S'	次 數	Diameter (Pixel)	±%	時間 (ms)
0	-0.019	1	439.75	-	4.18
L10	-0.196	2	439.33	-0.095%	4.43
L20	-0.383	2	439.17	-0.132%	4.25
L30	-0.598	2	439.00	-0.171%	4.44
L40	-0.859	2	440.08	0.075%	5.21
L45	-1.020	2	438.83	-0.209%	5.30
R10	0.157	2	438.50	-0.284%	4.36
R20	0.346	2	439.08	-0.152%	4.54
R30	0.558	2	439.17	-0.132%	4.47
R40	0.816	2	439.08	-0.152%	4.67
R45	0.980	2	439.42	-0.075%	4.96

從表 4 中可發現，用本演算法在一般彈簧旋轉正負 45 度以內的範圍做量測，外徑的誤差皆在 0.3% 以內，且辨識速度在 5ms 左右。

表 5(a) 緊密彈簧 0° 和左旋轉 10°、20°




左 旋 轉	0°	10°	20°
			
	0	L10	L20

表 5(b) 緊密彈簧左旋轉 30°、40°、45°




左 旋 轉	30°	40°	45°
			
	L30	L40	L45

表 6(a) 緊密彈簧 0° 和右旋轉 10°、20°




右 旋 轉	0°	10°	20°
			
	0	R10	R20

表 6(b) 緊密彈簧右旋轉 30°、40°、45°

右 旋 轉	30°	40°	45°
			
	R30	R40	R45

表 7 緊密彈簧外徑偵測結果統計表

彈 簧	S'	次 數	Diameter (Pixel)	±%	時間 (ms)
0	-0.009	1	422.22	-	5.78
L10	-0.185	2	422.39	0.040%	6.28
L20	-0.372	2	422.22	0.000%	4.67
L30	-0.585	2	422.22	0.000%	5.89
L40	-0.856	2	422.22	0.000%	4.62
L45	-1.026	2	422.56	0.080%	6.30
R10	0.167	2	422.83	0.144%	5.82
R20	0.352	2	422.78	0.132%	4.71
R30	0.566	2	422.50	0.066%	4.88
R40	0.824	2	422.22	0.000%	6.23
R45	0.978	2	422.67	0.107%	4.78

表 7 顯示，在正負 45 度的範圍內旋轉，緊密彈簧的外徑寬度量測誤差值較小，能有 0.2% 以內的誤差。

在此實驗中，對不同節距的彈簧做外徑的量測，以正負 45 度的範圍內旋轉，都能達到 0.3% 以下的誤差值，有可接受的效果。

3.2 彈簧參數 k 實驗

此實驗的目的是要探討適合的 k 值範圍，除了參數 k 以外，其他參數固定不變，在正負 45 度內的範圍旋轉，並以外徑的變化當作依據。

表 8(a) 一般彈簧左旋角度與參數 k 的關係表

θ k	original	L10	L20
10	439.83	439.41	439.16
15	439.75	439.33	439.16
20	439.83	439.08	438.83
25	439.75	438.91	438.83
30	439.75	438.66	439
35	439	438.75	439.16
40	438.08	438.16	436.66
45	437	436.36	435.58
50	436.09	436.18	436.36
55	436.18	435.81	435.63
60	435.66	435.33	435.75
65	435.58	435.5	429.23
70	436.18	436.09	435.16
75	436.18	435.9	435.63

表 9(a) 一般彈簧右旋角度與參數 k 的關係表

θ k	original	R10	R20
10	439.83	439.08	438.66
15	439.75	438.5	439.08
20	439.83	438.41	438.91
25	439.75	438.33	438.91
30	439.75	437.91	439.33
35	439	438.08	438.25
40	438.08	436.66	436
45	437	436.36	436.36
50	436.09	435.81	435.81
55	436.18	435.81	436.08
60	435.66	435	435.25
65	435.58	435	428.46
70	436.18	435.9	436.27
75	436.18	435.9	435.9

表 8(b) 一般彈簧左旋角度與參數 k 的關係表

θ k	L30	L40	L45
10	439.5	439.5	438.76
15	439	440.08	438.83
20	438.91	439.75	439.08
25	438.91	439.25	438.75
30	439.16	439.83	439.08
35	438.25	438.25	438.91
40	436.66	436.5	436.54
45	436.45	436.27	435.27
50	436.36	435.18	435
55	436.25	436.09	435
60	435.83	436.18	435.09
65	435.5	436.54	434.27
70	436.18	434.91	435.72
75	436.33	436.09	435.54

表 9(b) 一般彈簧右旋角度與參數 k 的關係表

θ k	R30	R40	R45
10	438.33	439.46	438.75
15	439.16	439.08	439.41
20	438.91	438.83	439.41
25	439.25	439.5	439.41
30	438.75	438.91	439.41
35	438	438.08	439.54
40	436.41	437.81	437.72
45	436.36	436.09	437
50	435.9	435.63	435.81
55	435.81	435.63	438
60	437.45	437.36	437.72
65	437	436.63	437.54
70	436.18	435.72	436.45
75	435.09	435.45	436

在此實驗中，我們發現參數 k 設定在介於 10 到 35 之間的值，能有較好的準確度，如表 8、表 9 的實驗數據，若 k 太大會導致點的斜率計算不準確，以至於找到不準確的圓角點位置，使外徑的量測準確度下降。

4. 結論

本演算法利用螺旋型彈簧的特性，選出候選的角點，並使用斜率的比對和數值分析的概念，重複的在候選角點中選出圓角點和計算彈簧軸心斜率，最後算出準確的彈簧軸心斜率和圓角點位置，並利用圓角點位置做外徑寬度的量測，用算出的彈簧開始處做長度測量。

經過驗證，不同節距的螺旋型彈簧，各別在正負 45 度的範圍內做旋轉，外徑的量測誤差皆在 0.3% 以下，若偵測的螺旋型彈簧的外徑約為 400 pixels，電腦的處理器為 Intel i5，在最差的情況下，辨識所用的時間也不超過 10ms，本演算法在精準度和執行速度上大致符合彈簧生產過程的量測需求。

若提高攝影機的畫素、縮小彈簧軸心比對的允許誤差，可能可以降低誤差，做到更準確的測量，但演算法執行的時間也會增加，相對的就需要降低速度或增加硬體的效能。

5. 參考文獻

- [1] 我國彈簧產業的現狀及發展趨勢分析 - 中國製造網商業資訊 [Online] Available: <http://tcbig5.made-in-china.com/info/article-253194.html>
- [2] 精密彈簧生產製程 | 抉懋企業有限公司 [Online] Available: <http://www.jmsgroup.com.tw/capability-2.php?id=5>
- [3] 精一彈簧五金有限公司 [Online] Available: <http://www.jispring.com.tw/index.html>
- [4] 金屬工業研究發展中心-產業資訊-產業動向 [Online] Available: http://www.mirdc.org.tw/information/IndustryNews01_detail.aspx?cond=3185&sty=07
- [5] 林毅欽、陳銘哲、王君婷、陳慕鴻、林映谷，視覺輔助彈簧長度之自動化線上量測，崑山科技大學，機械工程系，專題研究報告，

2010.

- [6] 李榮華，機件原理 I，龍騰文化，2015.
- [7] 李平雄、黃郁婷、王文德，機件原理 I，華興文化，2015.
- [8] 黃政諺，「圓角點偵測演算法運用在螺旋型壓縮彈簧量測」，國立臺灣海洋大學資訊工程學系，碩士學位論文，2012.
- [9] Dongju Liu and Jian Yu, "Otsu Method and K-means," *International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Shenyang, Liaoning, 2009, Volume:1, pp 344-349.
- [10] Jongan Park and Khaled Mohammad Mohiuddin Chisty and Jimin Lee and Youngeun An and Youngil Choi, "Image Retrieval Technique Using Rearranged Freeman Chain Code," *International Conference on Informatics and Computational Intelligence (ICI)*, Bandung, West Java, 2011, pp 283-286.
- [11] Lihong Yang and Xingxiang Zhang and Jianyue Ren, "Precision detection of CCD splicing based on template matching algorithm," *IEEE International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE)*, Wuhan, Hubei, 2011, Volume:2, pp 224-227.