

第四章 紋路特徵編碼法

在這一個章節中，我們將介紹一套叫做紋路特徵編碼法 (Texture Feature Coding Method, TFCM) 的編碼法則 (scheme) 來產生紋路特徵 (Texture Features)。這個方法設計的基本原理是基於量化 3×3 的紋路單元 (Texture Unit) 中明亮度值的變化，將原始明亮度紋路影像轉換成紋路特徵影像 (Texture Feature Image)。而在這個紋路特徵影像中的每一個元素，都是用紋路特徵數 (Texture Feature Number, TFN) 來加以代表。最後透過由紋路特徵影像產生的紋路特徵數統計圖 (Texture Feature Number Histogram) 及紋路特徵數相互關係矩陣 (Texture Feature Number Co-occurrence Matrix)，我們可以得到有用的紋路特徵 (Texture Feature Descriptors)。

第 4.1 節 紋路特徵數的產生

紋路特徵編碼法是一套編碼法則，它將原始的紋路影像轉換成紋路特徵影像 (Texture Feature Image)，在這個紋路特徵影像中的每一個元素值是以紋路特徵數 (Texture Feature Number, TFN) 來代表。如下圖 4.1 所示，(a) 是一張大小為 64×64 的原始影像，圖中像素點 A 的值是由明亮度 (gray level) 值來表示。而經由紋路特徵編碼法轉換之後所形成的紋路特徵影像，即 (b) 所示，圖中像素點 A' 的值則是由紋路特徵數來代表。

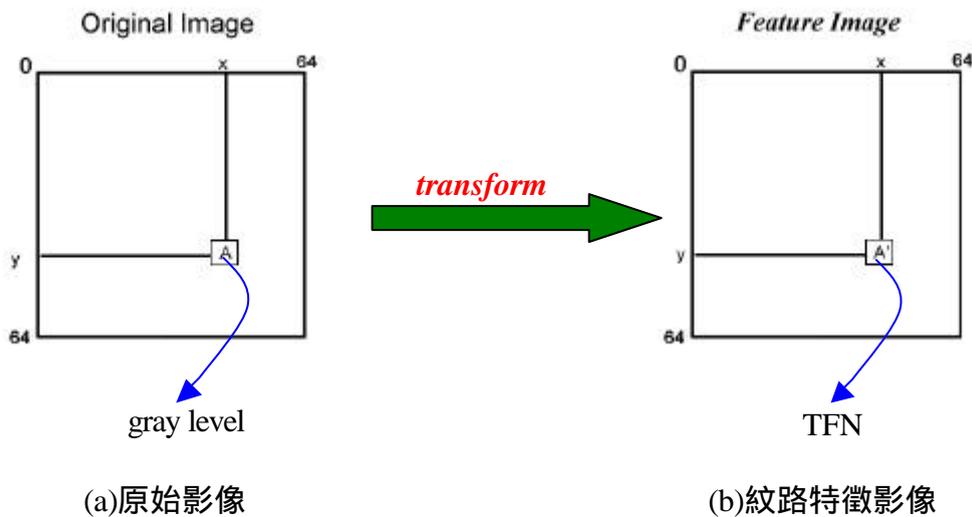


圖 4.1 原始影像與紋路特徵影像

在這裡我們使用了紋路單元 (Texture Unit) 的概念來產生紋路特徵數。如圖 4.2 所示，中央像素點 X 的紋路特徵數是由觀察中央像素點 X 與鄰近八個像素點之間的明亮度值 (gray-level value) 變化，並將這種變化的情形予以量化而得。又這裡所指的紋路單元，即是如第三章第二節紋路頻譜所描述的形式。

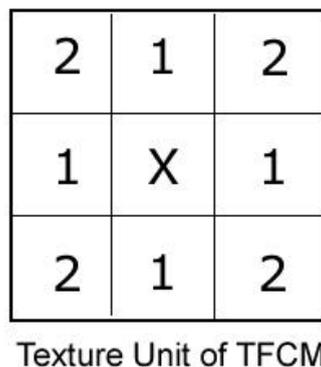


圖 4.2 紋路特徵編碼法的紋路單元

不同於 He 和 Wang 的紋路頻譜方法，我們更考慮了紋路單元的連通性 (connectivity)。紋路單元中的八個鄰近像素點組成了八種連通性，這八種連通性又可以被二分為一階四連通點 (first-order

4-connectivity pixels) 和二階四連通點 (second-order 4-connectivity pixels)。在圖中被標示成 1 的像素點滿足了紋路單元中的一階四連通性，因為它們直接與中央像素點 X 相鄰，所以被當作一階四連通點。而其餘被標示成 2 的像素點，則滿足了紋路單元中的二階四連通性，因為它們以對角線位置的方式與中央像素點 X 相鄰，所以被當作二階四連通點。如圖 4.3 所示， $0^\circ \sim 180^\circ$ 水平掃描線 (scan line 1) 及 $90^\circ \sim 270^\circ$ 垂直掃描線 (scan line 2) 形成了兩組與中央像素點 X 相鄰的三個一階連通點。同樣的如圖 4.4 所示， $45^\circ \sim 225^\circ$ 的對角掃描線 1 (scan line 1) 及 $135^\circ \sim 315^\circ$ 的對角掃描線 2 (scan line 2)，則形成了兩組與中央像素點 X 相鄰的三個二階連通點。

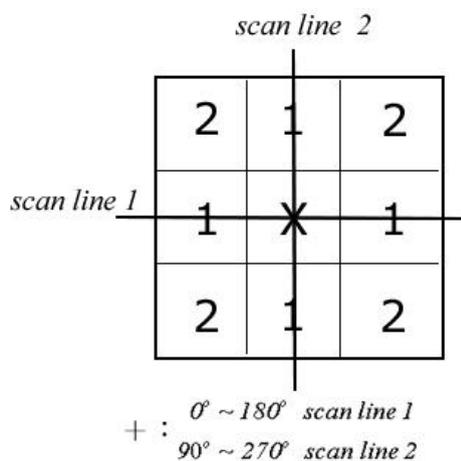


圖 4.3 一階四連通

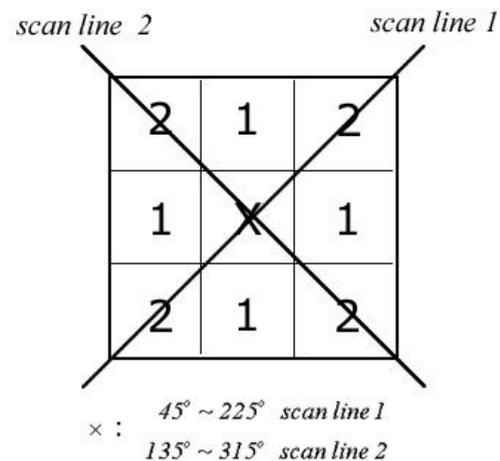


圖 4.4 二階四連通

接下來我們使用了一組整數數對 (a, b) 來對圖 4.2 中的中央像素點 X 進行編碼。在這組整數數對 (a, b) 中， a 代表了在觀察圖 4.3 被 scan line 1 及 scan line 2 掃描到的像素點其明亮度值的變化情形之後，參考圖 4.6 所得的值。同理， b 代表了在觀察圖 4.4 被 scan line 1 及 scan line 2 掃描到的像素點其明亮度值的變化情形之

後，參考圖 4.6 所得的值。

更詳細的說，在圖 4.3 中假設 scan line1 的掃描方向是由左而右，被掃描到的三個連續像素點可以按照掃描的順序依次排列成 (a, b, c) 。假定 (G_a, G_b, G_c) 分別代表這三個連續像素點 (a, b, c) 的明亮度值 (gray level)，我們可以把這三個連續像素點的明亮度值分別拆開成 (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) ，然後再來觀察 (G_a, G_b) 和 (G_b, G_c) 這兩對明亮度值的變化，並根據如表 4.1 所設定的條件來判斷其明亮度值變化的情形是屬於哪一種形式。

形式	規則
(i)	$if (G_a - G_b \leq \Delta) \cap (G_b - G_c \leq \Delta)$
(ii)	$if [(G_a - G_b \leq \Delta) \cap (G_b - G_c \geq \Delta)] \cup [(G_a - G_b \geq \Delta) \cap (G_b - G_c \leq \Delta)]$
(iii)	$if [(G_a - G_b > \Delta) \cap (G_b - G_c > \Delta)] \cup [(G_b - G_a > \Delta) \cap (G_c - G_b > \Delta)]$
(iv)	$if [(G_a - G_b > \Delta) \cap (G_c - G_b > \Delta)] \cup [(G_b - G_a > \Delta) \cap (G_b - G_c > \Delta)]$

表 4.1 明亮度變化的四種不同形式

在表 4.1 中， Δ 代表了在紋路單元裡中央像素點 X 與八個鄰近像素點之間可忍受的明亮度值差異，所以稱 Δ 為明亮度差異容忍值。如表 4.1 的形式 (i)，描述了 (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) 明亮度值的差異是非常接近明亮度差異容忍值 Δ 。形式 (ii) 是描述在 (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) 中，有任一對其明亮度值的差異是在明亮度差異容忍值 Δ 以內的。形式 (iii) 指的是 (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) 的明亮度值之間的差異是大於明亮度差異容忍值 Δ 且呈現連續遞增或連續遞減的情

形。在形式 (iv) 中， (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) 明亮度值的變化是先增加而後減少或是先減少而後增加的情形，且任一對明亮度之間的差異值皆是超過明亮度差異容忍值 Δ 的。我們可以將這四種不同的明亮度變化形式利用圖形結構方式來加以表示，即如圖 4.5。

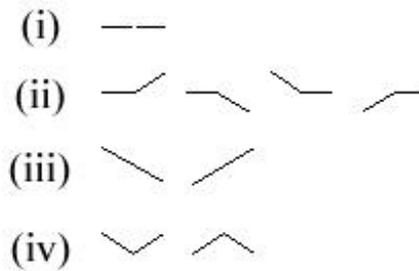


圖 4.5 明亮度圖形結構變化圖

根據圖 4.5 的定義可知，形式的號碼越大代表了 (G_a, G_b) 及 (G_b, G_c) 之間的明亮度值變化越劇烈。又我們使用的整數數對 a 及 b 分別代表了由兩條掃描線 scan line 1 及 scan line 2 所組成的一階及二階連通性，而每一條掃描線都可以產生出一種明亮度變化的形式。所以， a 和 b 能夠被視為是明亮度圖形結構變化圖中某兩種形式所形成的組合。因此，所有明亮度圖形結構變化的組合（包含自己與自己的組合），一共會有 $\frac{4(4+1)}{2} = 10$ 種可能性，這十種可能的組合如圖 4.6 所列。

		scan line1			
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)
scan line 2	(i)	1	2	3	5
	(ii)	2	7	11	13
	(iii)	3	11	17	19
	(iv)	5	13	19	23

圖 4.6 明亮度圖形結構變化組合圖

若我們判斷出 scan line 1 的明亮度值變化情形是屬於哪一種形式之後，再來判斷 scan line 2 明亮度值的變化形式。就可以根據 scan line 1 及 scan line 2 所屬的形式，去對照圖 4.6 找到所屬的明亮度圖形結構變化組合，這樣就可以得到 a 或 b 的值。

舉例來說，如果 $a = 11$ 或 $b = 11$ ，對照圖 4.6 可知其為形式(ii) 和 (iii) 的組合。更精確地解釋，圖 4.6 的直行代表在 a 中 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的水平掃描線(scan line 1)其明亮度值變化的形式，或者代表在 b 中 $45^\circ \sim 225^\circ$ 的對角掃描線1 (scan line 1) 其明亮度值變化的形式。再者，橫列代表在 a 中 $90^\circ \sim 270^\circ$ 的垂直掃描線 (scan line 2) 其明亮度值變化的形式，或在 b 中 $135^\circ \sim 315^\circ$ 的對角掃描線2(scan line 2) 其明亮度值變化的形式。

最後，每個像素點的紋路特徵數 (TFN) 可以由 a 和 b 的乘積來獲得，如公式 4.1 所定義。

定義：令位在空間位置 (x, y) 的像素點其明亮度值為 $G(x, y)$ ，它的紋路特徵數為 $TFN(x, y)$ ，則

$$TFN(x, y) = \mathbf{a}(x, y) \times \mathbf{b}(x, y) \quad 4.1$$

又對於位在空間座標的像素點 (x, y) 而言， $\mathbf{a}(x, y)$ 及 $\mathbf{b}(x, y)$ 的值是對照圖 4.6 來獲得。

第 4.2 節 紋路特徵數統計圖與紋路特徵數相互關係矩陣 紋路特徵數統計圖

根據上一節公式 4.1 的定義可以知道紋路特徵數的範圍是從 1 到 529。然而在這 $\{1 \sim 529\}$ 的範圍中，卻只使用了 55 個紋路特徵數。因此我們可以將未被使用的紋路特徵數去除，使得紋路特徵數由原本的 529 個縮減成 55 個，然後再將這 55 個紋路特徵數由 0 至 54 重新標示，使得紋路特徵數的範圍變成了 $\{0, 1, 2, \dots, 54\}$ ，如表 4.2 所示。

接著，在我們計算完所有的紋路特徵數並予以重新標示之後，便可以統計出每一種紋路特徵數在紋路特徵影像所出現的頻率，進而產生紋路特徵數統計圖 (Texture Feature Number Histogram, TFN Histogram)。即

$$p_{\Delta}(n) = \frac{N_{\Delta}(n)}{N}, n \in \{0, 1, 2, \dots, 54\} \quad 4.2$$

又 Δ 是表 4.1 所給定的明亮度差異容忍值， $N_{\Delta}(n)$ 表示了明亮度差異容忍值為 Δ 時，某紋路特徵數 n 在紋路特徵影像中所出現的次數。而 N 為紋路特徵影像中像素點的總和。所以公式 4.2 的結果為一機率值，表示了重新標示的紋路特徵數 n 在明亮度差異容忍值為 Δ 的情況下，出現在紋路特徵影像的頻率。

紋路特徵數相互關係矩陣

在明亮度相互關係矩陣中，矩陣內的元素是用影像中像素點的明亮度值 (gray-level) 轉換次數來定義。然而在紋路特徵編碼法中，我們則是使用了紋路特徵影像的紋路特徵數來定義一個相互關係矩陣，叫做紋路特徵數相互關係矩陣 (Texture Feature Number Co-occurrence Matrix, TFN Co-occurrence Matrix)。如下圖所示。圖 4.7 為轉換原始紋路影像所得的紋路特徵影像，我們根據紋路特徵影像中的所有元素即可定義出圖 4.8 所示的紋路特徵數相互關係矩陣。

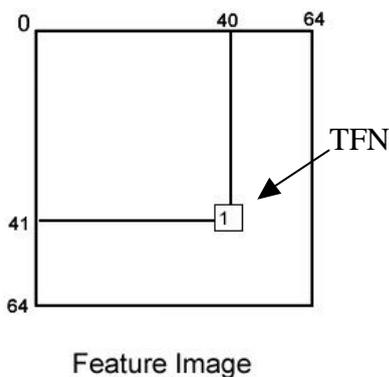


圖 4.7 紋路特徵影像
橫座標及縱座標代表影像的大小
裡面的元素值則是 TFN

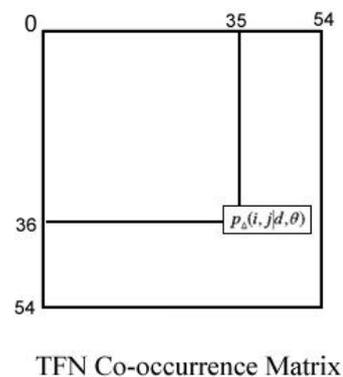
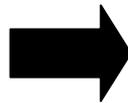


圖 4.8 TFN 相互關係矩陣
橫座標及縱座標代表 TFN 的範圍
裡面的元素值則是代表 $p_{\Delta}(i, j|d, \theta)$

與明亮度相互關係矩陣的公式 3.1 相似，紋路特徵數相互關係矩陣的每一個元素值，代表了在紋路特徵影像中任一對紋路特徵數所共同發生的頻率，如公式 4.3 所定義。

$$p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q}) = \frac{N_{\Delta, d, \mathbf{q}}(i, j)}{N_t}, i, j \in \{0, 1, 2, \dots, 54\} \quad 4.3$$

其中 Δ 是表 4.1 所給定的明亮度差異容忍值。 $N_{\Delta, d, \mathbf{q}}(i, j)$ 被定義為在明亮度差異容忍值為 Δ ，距離為 d ，角度為 \mathbf{q} 的情況下，紋路特徵數 i 與紋路特徵數 j 所共同發生的次數。且 N_t 為紋路特徵數共同發生次數的總合，為一正規化因子（normalization factor）。所以 $p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q})$ 為一機率值，代表了在明亮度差異容忍值為 Δ ，距離為 d ，角度為 \mathbf{q} 的情況下，紋路特徵數 i 與紋路特徵數 j 所共同發生次數的頻率，如圖 4.8 所示。

原始 TFN	重新標示 TFN	原始 TFN	重新標示 TFN
1	<i>0</i>	55	<i>28</i>
2	<i>1</i>	57	<i>29</i>
3	<i>2</i>	65	<i>30</i>
4	<i>3</i>	69	<i>31</i>
5	<i>4</i>	77	<i>32</i>
6	<i>5</i>	85	<i>33</i>
7	<i>6</i>	91	<i>34</i>
9	<i>7</i>	95	<i>35</i>
10	<i>8</i>	115	<i>36</i>
11	<i>9</i>	119	<i>37</i>
13	<i>10</i>	121	<i>38</i>
14	<i>11</i>	133	<i>39</i>
15	<i>12</i>	143	<i>40</i>
17	<i>13</i>	161	<i>41</i>
19	<i>14</i>	169	<i>42</i>
21	<i>15</i>	187	<i>43</i>
22	<i>16</i>	209	<i>44</i>
23	<i>17</i>	221	<i>45</i>
25	<i>18</i>	247	<i>46</i>
26	<i>19</i>	253	<i>47</i>
33	<i>20</i>	289	<i>48</i>
34	<i>21</i>	299	<i>49</i>
35	<i>22</i>	323	<i>50</i>
38	<i>23</i>	361	<i>51</i>
39	<i>24</i>	391	<i>52</i>
46	<i>25</i>	437	<i>53</i>
49	<i>26</i>	529	<i>54</i>
51	<i>27</i>		

表 4.2 TFN 對照表

第 4.3 節 計算紋路特徵數的例子

這裡我們舉出了一個簡單的例子來說明如何產生紋路特徵數。如下圖 4.9。

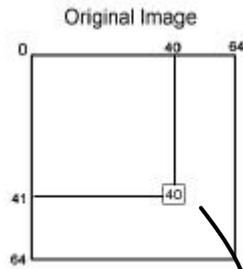
在圖4.9 的(a)中有一灰階紋路影像 I ，其大小為 (64×64) ，明亮度值的範圍為 $(0 \sim 255)$ ，我們舉 I 的某一像素點 $I(40,41)$ 來說明如何計算紋路特徵數。對這一像素點 $I(40,41)$ 而言，其明亮度值的大小為40，我們使用紋路單元來觀察它與相鄰八個像素點之間明亮度的變化形式，如圖中的(b)。我們將圖中的(b)按照連通性分成兩個部分，一為符合一階連通性的一階連通點，即圖中的(c)，另一則為符合階連通性的二階連通點，就是圖中的(d)。

對 a 而言，假設明亮度差異容忍值 $\Delta = 0$ 。則在(c)中，scan line 1 掃描到像素點的明亮度值依次為 $(80,40,35)$ ，我們將這三個像素點依序拆開成 $(80,40)$ 及 $(40,35)$ 兩組像素點來觀察，可以發現這兩組像素點明亮度值的變化是減少再減少，即成遞減的現象，且明亮度值差異的程度是大於明亮度差異容忍值 Δ 。所以我們根據表 4.1 的定義可得知這種變化的情形是屬於形式 (iii)。又 scan line 2 掃描到像素點的明亮度值依次為 $(28,40,40)$ ，將三個像素點依序拆開成 $(28,40)$ 及 $(40,40)$ 兩組像素點來觀察。可以發現這兩組像素點明亮度值變化的情形是先增加而後不變，且明亮度值差異的程度是先大於明亮度差異容忍值 Δ 而後等於明亮度差異容忍值 Δ 。所以我們再根據表 4.1 的定義可得知這種變化的情形是屬於形式 (ii)。

接下來，因為 a 是由 scan line 1 及 scan line 2 兩種形式組合

而得的值，所以我們對照圖 4.6 可以得到 a 的值為 11。同理，我們也可以求出 b 的 scan line 1 及 scan line 2 所屬的形式為 (iv) 及 (iii)，再對照圖 4.6 即可得到 b 的值為 19。

最後，我們根據公式 4.1 的定義計算出這一個像素點的紋路特徵數為 $TFN = a \times b = 11 \times 19 = 209$ ，將這個紋路特徵數去對照表 4.2 就可以知道重新標示後的紋路特徵數為 44。



(a) 原始影像 I ，
橫座標及縱座標代表影像的大小，裡面的元素值則是像素點的明亮度值 (gray-level)。

63	28	45
88	40	35
67	40	21

(b) 與 $I(40,41)$ 相鄰的像素點
 $V = \{63, 28, 45, 35, 21, 40, 67, 88\}$

(c) 一階四連通點

	28	
88	40	35
	40	

假設明亮度差異容忍值 $\Delta = 0$ ，對於 a 而言，

scan line 1 掃描到的點
 $\rightarrow (88, 40, 35)$ 屬
 \rightarrow 為形式 (iii)

scan line 2 掃描到的點
 $\rightarrow (28, 40, 40)$ 屬
 \rightarrow 為形式 (ii)

所以，結合 (iii) 及 (ii) 可
得知： $a = 11$

(d) 二階四連通點

63		45
	40	
67		21

假設明亮度差異容忍值 $\Delta = 0$ ，對於 b 而言，

scan line 1 掃描到的點
 $\rightarrow (45, 40, 67)$ 屬
 \rightarrow 為形式 (iv)

scan line 2 掃描到的點
 $\rightarrow (63, 40, 21)$ 屬
 \rightarrow 為形式 (iii)

所以，結合 (iv) 及 (iii) 可
得知： $b = 19$

紋路特徵數 $TFN = a \times b = 11 \times 19 = 209$

又對照表 4.2 可得，重新標示的 $TFN = 44$

圖 4.9 一個紋路特徵數的例子

第 4.4 節 紋路特徵計算

基於第二節公式 4.2 和公式 4.3 的定義，我們導出了七個紋路特徵。其中前四個紋路特徵是由公式 4.2 所產生之紋路特徵數統計圖所導出來的。第五及第六個紋路特徵是基於公式 4.3 的紋路特徵數相互關係矩陣所產生。另外第七個紋路特徵則考慮到在相同空間位置 (x, y) 的影像像素點下，用不同的明亮度差異容忍值 Δ 所對應的兩個紋路特徵數其聯合發生次數的機率值。

以下為七個紋路特徵：

(1) *Coarseness* (粗糙度)

$$Coarse = \sum_x \sum_y P_{\Delta}(54)$$

Δ 是特定的明亮度差異容忍值， x 及 y 為影像的長寬大小。若一像素點對應的紋路特徵數為 54 則代表其與八個鄰近像素點的明亮度差異甚劇。所以，將所有在特徵影像中的像素點 (x, y) 其紋路特徵數為 54 的加總起來，即可以顯示此紋路影像的粗糙程度。

(2) *Homogeneity* (平滑度)

$$Hom = \sum_x \sum_y P_{\Delta}(0)$$

若一像素點的紋路特徵數為 0，則代表其與八個鄰近像素點的明亮度值並沒有明顯的差異。所以，將在特徵影像中的所有像素點 (x, y) 的紋路特徵數為 0 的總和起來，即可以顯示此影像的平滑度。

(3) *Mean Convergence* (平均收斂)

$$MC = \sum_{n=0}^{54} \frac{|n \cdot p_{\Delta}(n) - \mathbf{m}_{\Delta}|}{\mathbf{s}_{\Delta}}$$

\mathbf{m}_{Δ} 和 \mathbf{s}_{Δ} 分別代表在明亮度差異容忍值 Δ 下，紋路特徵編碼法所產生紋路特徵數的平均數及標準差， n 代表重新標示過後的紋路特徵數。此平均收斂特徵指的是紋路特徵數與其平均數值接近的程度。

(4) *Variance* (變異數)

$$Var = \sum_{n=0}^{54} (n - \mathbf{m}_{\Delta})^2 \times p_{\Delta}(n)$$

變異數即用來測量紋路特徵數與其平均數的偏差程度。

(5) *Code Entropy* (碼熵)

$$CE = - \sum_{i=0}^{54} \sum_{j=0}^{54} p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q}) \times \log p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q})$$

又 $p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q})$ 是在紋路特徵數相互關係矩陣中第 (i, j) 個熵值。

(6) *Code Similarity* (碼相似性)

$$CS = \sum_{i=1}^{54} p_{\Delta}^2(i, i|d, \mathbf{q})$$

我們將上述 $p_{\Delta}(i, j|d, \mathbf{q})$ 中的 j 值令它等於 i ，計算在八鄰近的像素點中紋路特徵數相同的程度。

(7) *Resolution Similarity* (解析度相似性)

$$RS = \sum_x \sum_y \frac{P(i, j; x, y)}{1 + (i - j)^2}$$

這個紋路特徵提供了我們關於像素點 (x,y) 在明亮度差異容忍值 Δ 為 0 , 和在特定的明亮度差異容忍值為 Δ 之下, 發生紋路特徵數為 i 及 j 的聯合機率值資訊。若 RS 的值越高, 則同一像素點其紋路特徵數的值變化越小。因此, 解析度相似性的值越高則表示這張影像的紋路越粗糙。