

## 第三章 Intra 預測編碼

在影像壓縮的領域，畫面是由背景（Back Scene）加上景物（Object Scene）所構成。畫面中的背景與景物依其所在位置，由影像壓縮器切割成固定大小的區塊（Macroblock），逐一進行壓縮處理。由於影像處理的主題，多為自然界的事物，因此多數畫面的背景色彩單一，而景物的數量也不多。背景的色調單一，表示位於背景位置的相鄰區塊擁有近似的像素值。而景物的數量少，並且表面織體（Face Texture）通常也呈現單調或固定的條紋，花色。如此的景物特徵表示景物區域的相鄰區塊也擁有近似的像素值。因此我們知道，單一畫面中的相鄰區塊有近似的像素值。利用畫面中相鄰區塊有近似像素值的特徵，我們可以提高影像壓縮率。而這種藉由找尋，比對並消除區塊之間近似處以提高壓縮率的特別技巧我們叫做 Intra 預測編碼（Intra Prediction Coding）。

Intra 預測編碼先選擇最近似的鄰近區塊，也就是比對模式（Prediction Mode）；比對模式的概念類似於 Inter 預測編碼中，區塊與標準畫面進行動態預測後所產生的移動向量（Inter 預測編碼的過程詳見第四章）。Intra 預測編碼器找到比對模式後，隨即對比對模式進行編碼，並且顯示在畫面以及區塊標頭中。比對模式的位元數目直接影響動態位元數目，因此比對模式的編碼設計深深影響了壓縮表現。我們在 3.1.3，3.2.3，3.2.4 以及 3.3.4 等四節介紹並深入比較 H.263++ Annex I、H.264、與 MPEG4 的畫面層以及區塊層標頭的比對模式語法。

Intra 預測模式選擇後，區塊內的像素經由比對，轉換，Coefficients 熵編碼（Coefficients 熵編碼請參考第二章）後產生像素位元（Residue Bits）。Intra 預測編碼減少了像素位元數目，卻多了動態位元數目；而預測模式選擇過程中更需要耗費計算機運算能力。**如何在最少的計算機運算次數下產生最少的動態位元與最少的像素位元是 Intra 預測的終極目的。**

本章重點在於探究 MPEG4 [19]，H.263++ Annex I [20] 與 H.264 [21] 的 Intra 預測編碼。探究的重點環繞在三者的比對模式：

- **比對模式**：介紹不同方格大小 Intra 預測下的比對模式（H.264 使用 4x4 與 16x16 的方格進行 Intra 預測，H.263++ Annex I 與 MPEG4 使用 8x8 的方格進行 Intra 預測）。
- **比對模式選擇**：繁複的模式選擇方式耗費比較多計算機運算次數，卻產生比較少動態位元數。我們討論研究不同的比對模式選擇方法，包括 H.263++ Annex I 絕對值差方法，H.264 拉氏最佳化方法。
- **比對模式的編碼方式**：編碼器對比對模式進行編碼，產生的區塊欄位告知解碼器 Intra 預測模式。比對模式的位元數目直接影響壓縮表現。我們在 3.1.3，3.2.3，3.2.4 以及 3.3.4 等四節介紹並深入比較三個標準的畫面層以及區塊層的比對模式語法。

本章並且模擬比較 MPEG4，H.263++ Annex I 與 H.264 的 Intra 預測表現。模擬結果顯示，三個標準在使用各自的轉換與編碼方式下，H.264 的預測表現最好，也花費最多計算機效能。最後我們表列比較三個 Intra 預測的異同。



### 3.1 H.264 Intra 預測編碼

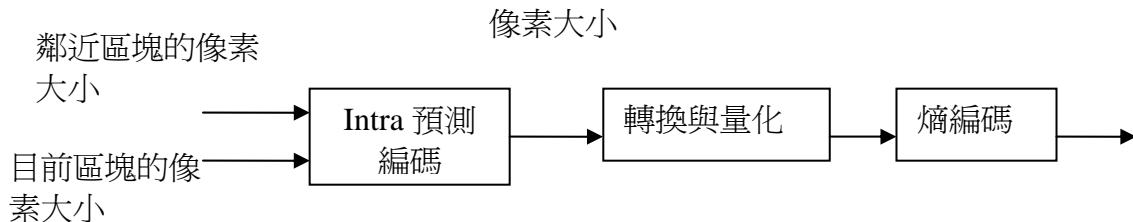


圖 3-1 Intra 預測編碼方塊圖

如圖 3-1，H.264 的預測編碼是在像素值域進行 [21]。Intra 預測器先將區塊的像素值與鄰近區塊的像素值比對，產生的結果再進行核心轉換編碼。核心轉換的做法請參考 1.3 節。

#### 3.1.1 比對模式

H.264 提供 9 種 Intra4x4 比對模式與 4 種 Intra16x16 比對模式讓壓縮器為 16x16 大小的明度方格 (Luminance Block) 進行預測。H.264 同時提供四種比對模式讓壓縮器為兩個 8x8 大小的色度方格 (Chrominance Blocks) 進行預測。

按照 H.264 的定義，執行 Intra4x4 模式的預測會將 16x16 的明度方格，切割成 16 個大小 4x4 的方格。按照圖 3-2 所示 4x4 方格的所在位置以及 PartIdx 編號次序，壓縮器依序為每個 4x4 的明度方格進行預測編碼，將方格內像素值與鄰近的 4x4 方格裡的像素值進行比對。每個 Intra4x4 模式定義不同的像素比對對象，在 3.1.1.1 我們有更深入的介紹。壓縮器從 9 種 Intra4x4 模式中，為每一個 4x4 方格找尋一個最合適的模式，然後以差分編碼之。模式的選擇方式以及模式的編碼方式見 3.2 節與 3.3 節。

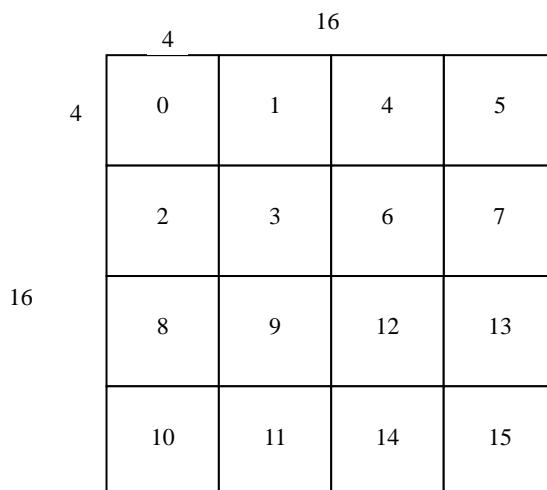


圖 3-2 16 個 4x4 方格的位置與 PartIdx 編號

### 3.1.1.1 9 種 Intra4x4 模式 (明度方格)

9 種 Intra4x4 模式編號 0 至 8，分別是 Vertical Mode、Horizontal Mode、DC Mode、Diagonal\_Down\_Left Mode、Diagonal\_Down\_Right Mode、Vertical\_Right Mode、Horizontal\_Down Mode、Vertical\_Left Mode，與 Horizontal\_Up Mode。以下介紹這 9 種 Intra4x4 模式的比對對象。 $(x,y)$ 表示明度像素所在位置， $x,y = 0,1,2,3$ ； $p(x,y)$ 表示所在位置的明度像素大小。 $\text{pred}(x,y)$ 表示 $(x,y)$ 對應的比對對象值。

#### 模式編號 0，Vertical Mode：

$$\text{pred}(x,y) = p(x,-1), x,y = 0\dots3$$

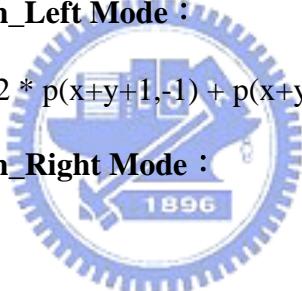
#### 模式編號 1，Horizontal Mode：

$$\text{pred}(x,y) = p(-1,y), x,y = 0\dots3$$

#### 模式編號 2，DC Mode：

$$\text{pred}(x,y) = ( p(0,-1) + p(1,-1) + p(2,-1) + p(3,-1) + p(-1,0) + p(-1,1) + p(-1,2) + p(-1,3) + 4 ) \gg 3, x,y = 0\dots3$$

#### 模式編號 3，Diagonal\_Down\_Left Mode：


$$\text{pred}(x,y) = ( p(x+y,-1) + 2 * p(x+y+1,-1) + p(x+y+2,-1) + 2 ) \gg 2, x,y = 0\dots3$$

#### 模式編號 4，Diagonal\_Down\_Right Mode：

for  $x > y$ ,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(x-y-2,-1) + 2 * p(x-y-1,-1) + p(x-y,-1) + 2 ) \gg 2, x,y = 0\dots3$$

for  $x < y$ ,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,y-x-2) + 2 * p(-1,y-x-1) + p(-1,y-x) + 2 ) \gg 2, x,y = 0\dots3$$

Otherwise,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(0,-1) + 2 * p(-1,-1) + p(-1,0) + 2 ) \gg 2, x,y = 0\dots3$$

#### 模式編號 5，Vertical\_Right Mode：

for  $(2 * x - y) = 0,2,4,6$ ,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(x-(y>>1)-1,-1) + p(x-(y>>1),-1) + 1 ) \gg 1$$

for  $(2 * x - y) = 1,3,5$ ,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(x-(y>>1)-2,-1) + 2 * p(x-(y>>1)-1,-1) + p(x-(y>>1),-1) + 2 ) \gg 2$$

for  $(2 * x - y) = -1$ ,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,0) + 2 * p(-1,-1) + p(0,-1) + 2 ) >> 2$$

Otherwise,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,y-1) + 2 * p(-1,y-2) + p(-1,y-3) + 2 ) >> 2$$

### **模式編號 6 , Horizontal\_Down Mode :**

for  $(2 * y - x) = 0, 2, 4, 6,$

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,y-(x>>1)-1) + p(-1, y-(x>>1)) + 1 ) >> 1$$

for  $(2 * y - x) = 1, 3, 5,$

$$\begin{aligned} \text{pred}(x,y) = ( p(-1, y-(x>>1)-2) + 2 * p(-1, y-(x>>1)-1) + \\ p(-1, y-(x>>1)) + 2 ) >> 2 \end{aligned}$$

for  $(2 * y - x) = -1,$

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,0) + 2 * p(-1,-1) + p(0,-1) + 2 ) >> 2$$

Otherwise,

$$\text{pred}(x,y) = ( p(x-1,-1) + 2 * p(x-2,-1) + p(x-3,-1) + 2 ) >> 2$$

### **模式編號 7 , Vertical\_Left Mode :**

for  $y = 0$  or  $y = 2,$

$$\text{pred}(x,y) = ( p(x+(y>>1),-1) + p(x+(y>>1)+1,-1) + 1 ) >> 1$$

Otherwise,

$$\begin{aligned} \text{pred}(x,y) = ( p(x+(y>>1),-1) + 2 * p(x+(y>>1)+1,-1) + \\ p(x+(y>>1)+2,-1) + 2 ) >> 2 \end{aligned}$$

### **模式編號 8 , Horizontal\_Up Mode :**

for  $(2 * y + x) = 0, 2, 4,$

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,y+(x>>1)-1) + p(-1, y+(x>>1)) + 1 ) >> 1$$

for  $(2 * y + x) = 1, 3,$

$$\begin{aligned} \text{pred}(x,y) = ( p(-1, y+(x>>1)-2) + 2 * p(-1, y+(x>>1)+1) + \\ p(-1, y+(x>>1)) + 2 ) >> 2 \end{aligned}$$

for  $(2 * y + x) = 5,$

$$\text{pred}(x,y) = ( p(-1,2) + 3 * p(-1,3) + 2 ) >> 2$$

for  $(2 * y + x) > 5$ ,

$$\text{pred}(x,y) = p(-1,3)$$

將 9 種比對模式的比對對象繪製如圖 3-3 [ 22 ]。

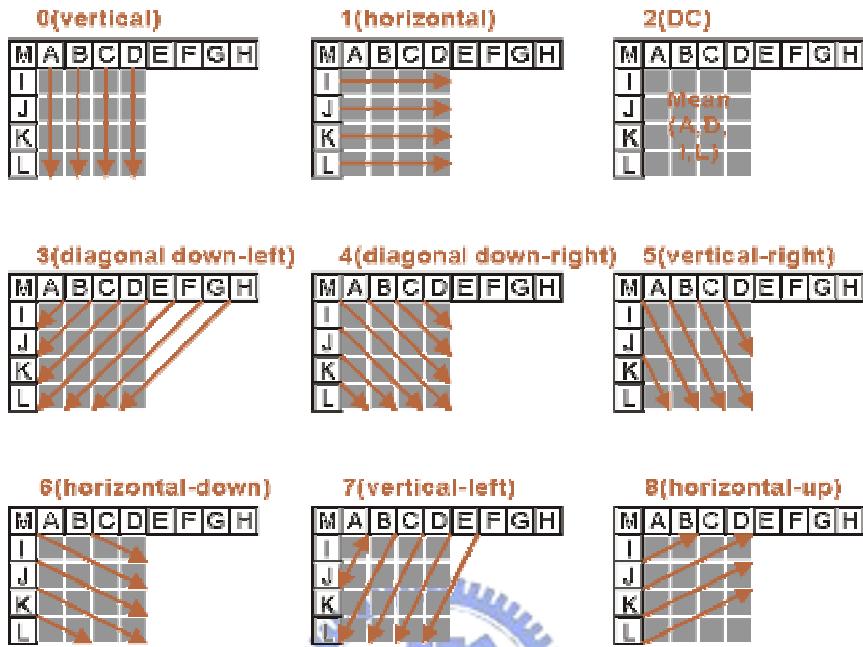


圖 3-3 Intra4x4 比對模式

圖 3-3 中編號 0 至 8，代表相對應的 9 種 Intra4x4 比對模式。每個比對模式由灰色格子與大寫英文字母格子來表示像素的位置。灰色的格子代表目前方格的像素位置；大寫英文字母格子則代表鄰近像素相對的位置。9 種比對模式的比對對象以橙色的箭頭表示。

### 3.1.1.2 4 種 Intra16x16 模式（明度方格）

H.264 定義 4 種 Intra16x16 模式供壓縮器預測編碼選擇。4 種 Intra16x16 模式編號 0 至 3，分別是 Vertical Mode、Horizontal Mode、DC Mode，與 Plane Mode。以下描述這 4 種 Intra16x16 模式的比對對象。 $(x,y)$ 表示明度像素所在位置， $x,y = 0 \dots 15$ ； $p(x,y)$ 表示所在位置的明度像素大小。 $\text{pred}(x,y)$ 表示 $(x,y)$ 對應的比對對象值。

#### 模式編號 0，Vertical Mode：

$$\text{pred}(x,y) = p(x,-1), x,y = 0 \dots 15$$

#### 模式編號 1，Horizontal Mode：

$$\text{pred}(x,y) = p(-1,y), x,y = 0 \dots 15$$

#### 模式編號 2，DC Mode：

$$\text{pred}(x,y) = \left( \sum_{x'=0}^{15} p(x', -1) + \sum_{y'=0}^{15} p(-1, y') + 16 \right) \gg 5, x,y = 0 \dots 15$$

### 模式編號 3 , Plane Mode :

$$\text{pred}(x,y) = (a + b * (x - 7) + c * (y - 7) + 16) \gg 5, x,y = 0 \dots 15$$

$$a = 16 * (p(-1, 15) + p(15, -1))$$

$$b = (5 * H + 32) \gg 6$$

$$c = (5 * V + 32) \gg 6$$

$$H = \sum_{x'=0}^7 (x' + 1) * (p(8+x', -1) - p(6-x', -1))$$

$$V = \sum_{y'=0}^7 (y' + 1) * (p(-1, 8+y') - p(-1, 6-y'))$$

圖 3-4 顯示 Intra16x16 的 4 種模式中，16x16 明度方格與比對像素之間的位置關係。[23]

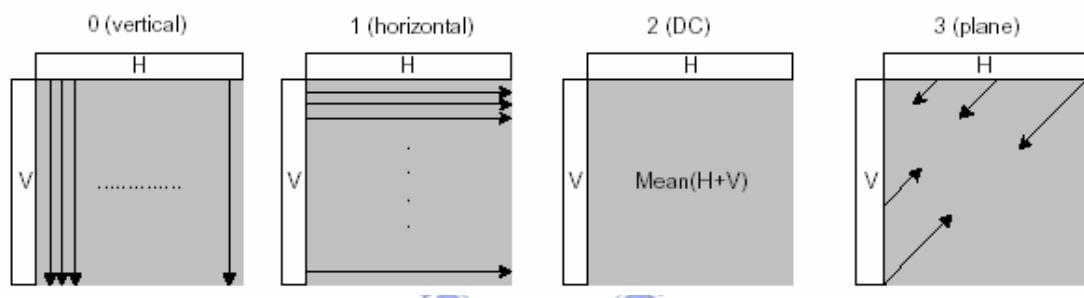


圖 3-4 Intra 16x16 比對模式

#### 3.1.1.3 4 種色度方格的 Intra 模式

4 種色度方格 Intra 模式編號 0 至 3，分別是 Intra\_Chroma\_DC Mode、Intra\_Chroma\_Horizontal Mode、Intra\_Chroma\_Vertical Mode、與 Intra\_Chroma\_Plane Mode。以下描述這 4 種色度方格 Intra 模式的比對對象。公式中  $p(x,y)$  表示  $(x,y)$  所在位置對應的色度像素大小。 $\text{pred}(x,y)$  表示  $(x,y)$  對應的比對對象值， $x,y = 0 \dots 7$ 。色度 Intra 模式中，Cb 色度方格與上側或左側區塊 (Macroblock) 的 Cb 色度像素比對；Cr 色度方格與上側或左側區塊的 Cr 色度像素比對。

### 模式編號 0 , Intra\_Chroma\_DC Mode :

Intra\_Chroma\_DC Mode 將兩個 8x8 大小的色度方格 Cb 與 Cr，切割成四個 4x4 色度方塊，**a**、**b**、**c**、**d** 如圖 3-5 所示。當進行 Cb 方格的 Intra 預測，圖 3-5 中的 S0 表示上側區塊的 Cb 方格中，第 8 列左側四個色度像素大小的總合。S1 表示上側 Cb 方格中，第 8 列右側四個色度像素大小的總合。S2 表示左側 Cb 方格中，第 8 行上側四個色度像素大小的總合。S3 表示上側 Cb 方格中，第 8 列左側四個色度像素大小的總合。當進行 Cr 方格的 Intra 預測， S0 表示上側區塊的 Cr 方

格中，第 8 列左側四個色度像素大小的總合。S1 表示上側 Cr 方格中，第 8 列右側四個色度像素大小的總合。S2 表示左側 Cr 方格中，第 8 行上側四個色度像素大小的總合。S3 表示上側 Cr 方格中，第 8 列左側四個色度像素大小的總合。

	S0	S1
S2	a	b
S3	c	d

圖 3-5 4 個 4x4 色度方塊與比對對象示意圖

根據表 3-1，色度方塊 **a**，**b**，**c**，**d** 分別從 Pred0，Pred1，Pred2，Pred3 選擇比對對象。Pred0，Pred1，Pred2，與 Pred3 是 S0，S1，S2，S3 的線性組合。S0，S1，S2，S3 不一定存在。如果 S0，S1，S2，S3 中有任何一個不存在，導致無法計算 Pred0，便選擇 Pred1；如果 Pred1 計算不出來，選擇 Pred2.....以此不斷嘗試直到 Pred3。根據這樣的選擇機制，尋找色度方塊的比對對象，這就是 Intra\_Chroma\_DC Mode。

範例：如果 S0 與 S3 存在，而 S1 與 S2 不存在；則 **a**，**b**，**c**，**d** 的比對對象分別是 Pred1，Pred3，Pred0，與 Pred2。

表 3-1 Intra\_Chroma\_DC Mode 中 4 個色度方塊的比對對象

色度方塊	Pred0	Pred1	Pred2	Pred3
a	$(S0 + S2 + 4) \gg 3$	$(S0 + 2) \gg 2$	$(S2 + 2) \gg 2$	128
b	$(S1 + 2) \gg 2$	$(S1 + 2) \gg 2$	$(S2 + 2) \gg 2$	128
c	$(S3 + 2) \gg 2$	$(S0 + 2) \gg 2$	$(S3 + 2) \gg 2$	128
d	$(S1 + S3 + 4) \gg 3$	$(S1 + 2) \gg 2$	$(S3 + 2) \gg 2$	128

**模式編號 1，Intra\_Chroma\_Horizontal Mode：**

$$\text{pred}(x,y) = p(-1,y), x,y = 0 \dots 7$$

**模式編號 2，Intra\_Chroma\_Vertical Mode：**

$$\text{pred}(x,y) = p(x,-1), x,y = 0 \dots 7$$

**模式編號 3，Intra\_Chroma\_Plane Mode：**

$$\text{pred}(x,y) = (a + b * (x - 3) + c * (y - 3) + 16) \gg 5, x,y = 0 \dots 7$$

$$\begin{aligned} a &= 16 * (p(-1,7) + p(7,-1)) \\ b &= (17 * H + 16) \gg 5 \\ c &= (17 * V + 16) \gg 5 \end{aligned}$$

$$H = \sum_{x=0}^3 (x+1) * (p(4+x,-1)-p(2-x,-1))$$

$$V = \sum_{y=0}^3 (y+1) * (p(-1,4+y)-p(-1,2-y))$$

### 3.1.2 拉氏比對模式選擇方法

JM7.1 (Joint Model Edition 7.1, [18]) 為 H.264 定義區塊的比對模式選擇方法。JM7.1 以拉氏最佳化方法 (Lagrange Optimum Method) 選擇區塊內的比對模式。拉氏最佳化方法為  $16 \times 16$  的明度方格選出一個 Intra  $16 \times 16$  模式或者 16 個 Intra  $4 \times 4$  模式；並且為兩個色度方格選出兩個 Intra 色度模式。

利用拉氏最佳化方法選擇比對模式的做法如下：計算每一個特定模式為方格編碼所產生的失真與位元數。經由拉氏比重求取失真與位元數的合，稱為拉氏總合。不同的比對模式產生不同大小的拉氏總合，比對模式中，拉氏總合最小的模式成為選擇的結果。

在進行拉氏最佳化方法時，有三個重要參數：失真，位元數與拉氏比重。其中失真與位元數是比對模式的函數，拉氏比重是量化參數的函數，三者的物理意義與計算方式如下：



#### 失真：

原始區塊 (Original Macroblock) 經由預測比對，轉換，量化，以及其反向運算後產生重建區塊 (Reconstructed Macroblock)。失真定義為重建區塊與原始區塊的差別。其計算方式定義為原始方格與重建方格之間，大小  $16 \times 16$  的明度方格的差距平方總合 (Summation of Squared Difference，簡稱 SSD)，加上兩個  $8 \times 8$  色度方格的差距平方總合。SSD 的公式如下：

$$SSD(s, c, MODE | QP) = \sum_{x=1, y=1}^{16, 16} (s_Y[x, y] - c_Y[x, y, MODE | QP])^2 + \sum_{x=1, y=1}^{8, 8} (s_U[x, y] - c_U[x, y, MODE | QP])^2 + \sum_{x=1, y=1}^{8, 8} (s_V[x, y] - c_V[x, y, MODE | QP])^2 \quad (3.1)$$

在 (3.1) 中， $s_Y$ 、 $s_U$ 、 $s_V$  分別代表原始區塊裡的明度方格像素值與兩個色度方格像素值； $c_Y$ 、 $c_U$ 、 $c_V$  分別代表重建區塊裡的明度方格像素值與兩個色度方格像素值。比對模式與量化參數大小決定了重建區塊內的像素大小，如 (3.1) 所示， $c_Y$ 、 $c_U$ 、 $c_V$  是比對模式與量化參數的函數。

#### 位元數：

經過比對產生的位元數是模式的函數。此處位元數定義為經由特定模式預測編碼產生的區塊位元數，包含區塊層級標頭與像素位元。

### **拉氏比重：**

$\lambda$  是失真與位元率兩者的權重，其計算方式為：

$$\lambda = 0.85 \times 2^{\frac{QP}{3}} \quad (3.2)$$

$QP$  為區塊編碼的量化參數。

有了  $SSD$  的定義，JM2.0 模式選擇的公式如( 3.3 )：

$$J(MODE) = SSD(MODE) + \lambda \times R(MODE) \quad (3.3)$$

#### **3.1.2.1 I 畫面裡的區塊的預測模式決定方式**

我們先介紹 I 畫面裡區塊的模式選擇方式。選擇步驟如下：

步驟一：選擇 Intra 4x4 模式，並計算總合 A；

步驟二：選擇 Intra 16x16 模式，並計算總合 B；

步驟三：從總合 A 與 B 中選一個較小的值，其預測模式就是選擇的結果。

現在我們深入介紹每一個步驟：

##### **1. 步驟一：選擇 Intra 4x4**

將目前的 16x16 明度方格切割成 16 個 4x4 的方格，每個 4x4 方格獨立進行 Intra 預測。編譯器根據( 3.3 )，替每個 4x4 方格計算出九個拉氏總合，找出其中最小的，作為其 Intra 4x4 模式。經過選擇，每個 4x4 方格都各有其 Intra 4x4 模式；每個 4x4 方格也都有其拉氏總合。我們再將這 16 個拉氏總合相加，得到總合 A。

##### **2. 步驟二：選擇 Intra 16x16**

將目前的 16x16 明度方格進行 Intra 16x16 預測，並且根據( 3.3 )，從四種 Intra 16x16 模式中，計算四個拉氏總合。我們從四個拉氏總合中找出最小的，將其定義為總合 B。

##### **3. 步驟三：由步驟一與步驟二中得到結果**

比較總合 A 與 B 的大小；如果 A 小，以步驟一的 16 個 Intra 4x4 模式作為目前區塊的預測模式；如果 B 小，以步驟二的 Intra 16x16 模式作為目前區塊的預測模式。

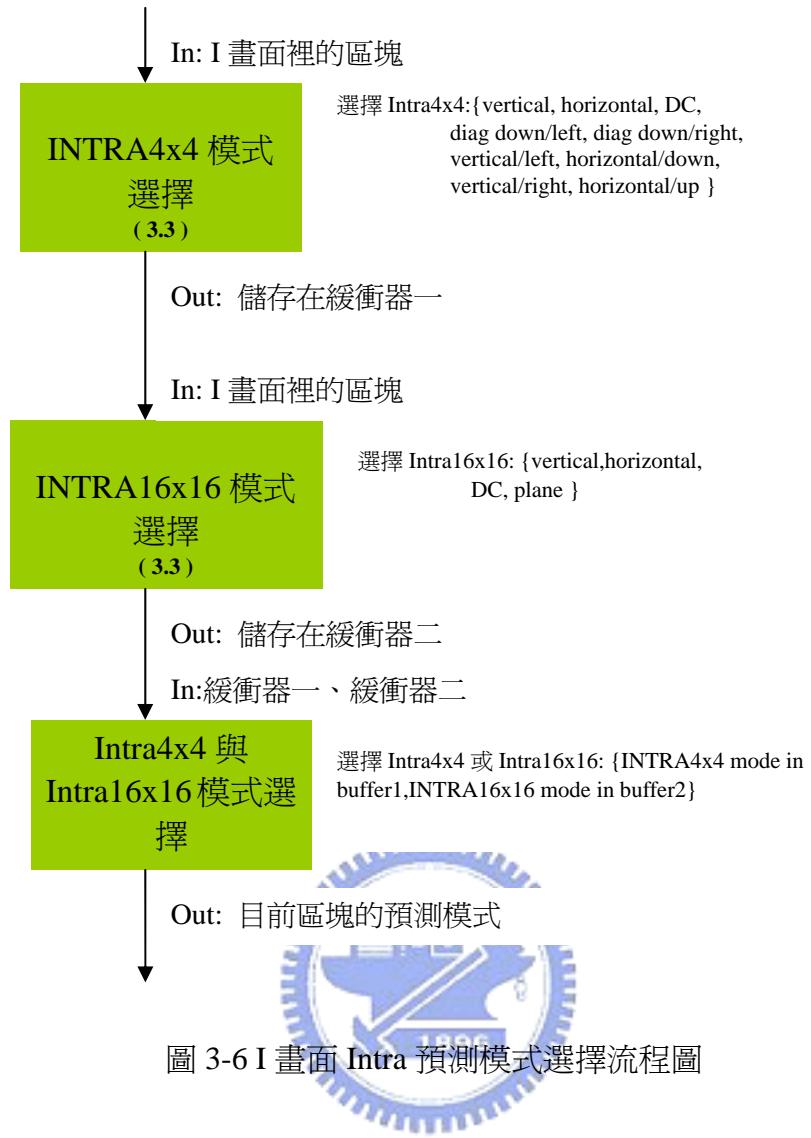


圖 3-6 I 畫面 Intra 預測模式選擇流程圖

### 3.1.2.2 P 畫面裡的方格的預測模式決定方式

P 畫面同時有 Intra 區塊與 Inter 區塊，而 H.264 使用變化方格大小動態補償，有七種不同大小的方格動態補償，因此與 I 畫面裡的方格相較，H.264 P 畫面裡的方格多了七種區塊的預測型態。有關 H.264 的變化方格大小動態補償請見 4.3 節。除此之外 H.264 還有 Skip Mode，預測模式的選擇方式與 I 畫面裡的方格近似，都是根據等式(3.3)計算不同預測模式 (Intra4x4、Intra16x16、Inter 與 Skip) 的拉氏總合，選擇最小值所代表的模式。

圖 3-7 是 P 畫面裡區塊的模式選擇流程圖。先算 Skip Mode 所導致的失真與總位元數，儲存在緩衝器一裡；皆下來用 3.1.2.1 節中介紹的 Intra 預測模式選擇方式分別找出最佳的 Intra 4x4 與 Intra 16x16 Prediction Mode (與 I 畫面相同)，並將失真與總位元數儲存在緩衝器二與三裡；皆下來進行變化方格大小動態預測 (預測方式請參考第 4.3 節) 並找出七種樹狀結構切割方式的移動向量，差值能量，並將七種切割方式所導致的失真與總位元數儲存在緩衝器四裡。最後從各緩衝器的資料 (Skip Mode，兩個 Intra Prediction Mode，七個 Inter Prediction Mode) 根據拉式最佳化方法(3.3)找出最少的拉式總合。

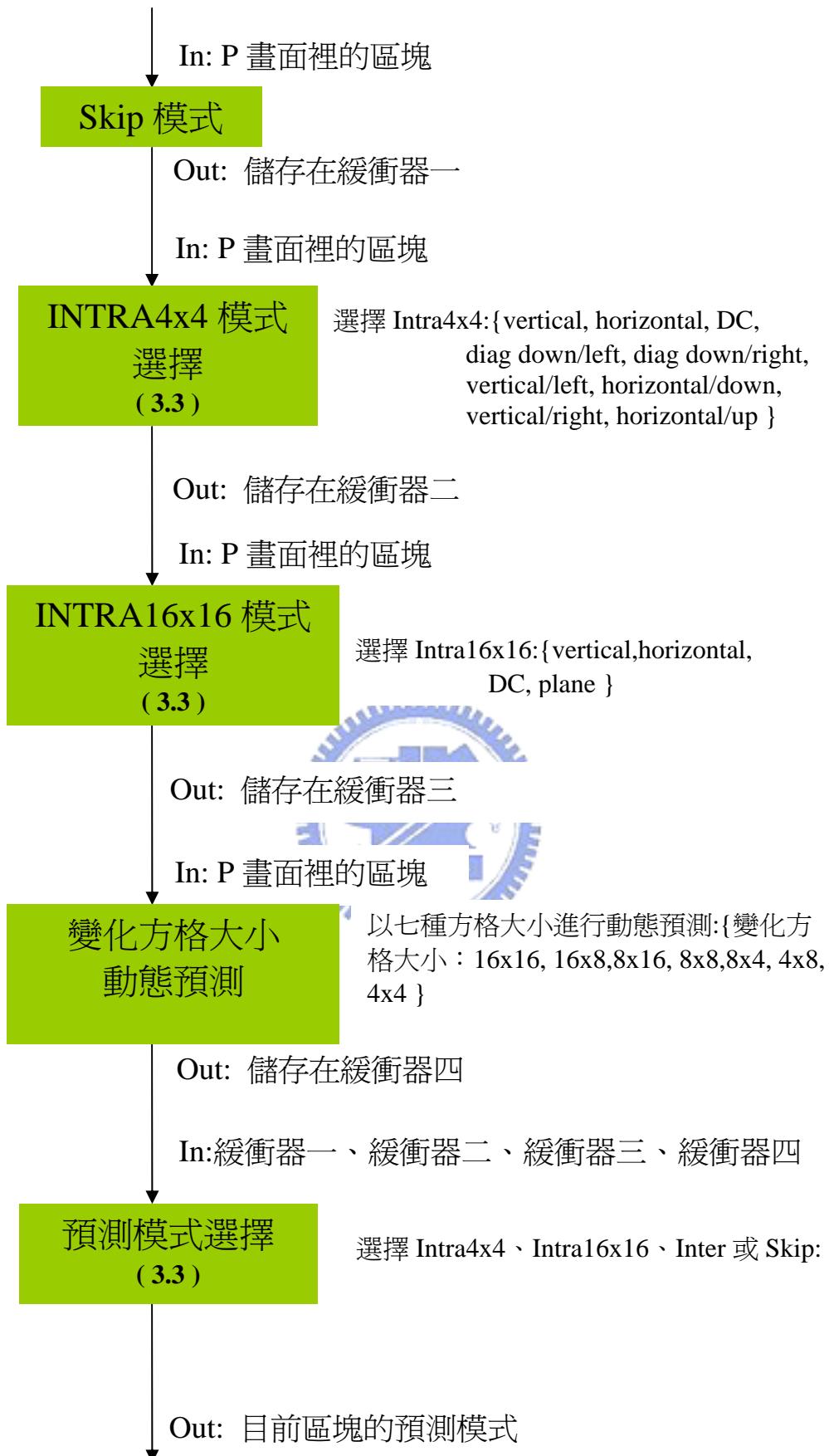


圖 3-7 P 畫面預測模式選擇流程圖

### 3.1.3 H.264 比對模式的顯示方式

2.2.3 節介紹了 H.264 區塊層級語法，本節介紹區塊裡 Intra 模式的顯示方式〔14〕〔15〕。當 Intra 預測的結果明度方格是 Intra16x16 模式，Intra 模式顯示在欄位 MB TYPE。根據 Coded Block Pattern Luma 與 Coded Block Pattern Chroma 的值，MB TYPE 的索引號碼從 1 至 25 (I 畫面)，6 至 30 (P 畫面)。見表 3-2。

表 3-2 H.264 的 MB TYPE 以及對應的 Exp – Golomb Codeword

MB TYPE Index	MB TYPE	Prediction Mode	Prediction Mode	Coded Block Pattern Chroma	Coded Block Pattern Luma	Exp – Golomb Codeword	Coded bits number
0	I_4x4	Intra_4x4	na	na	na	1	1
1	I_16x16_0_0_0	Intra_16x16	0	0	0	010	3
2	I_16x16_1_0_0	Intra_16x16	1	0	0	011	3
3	I_16x16_2_0_0	Intra_16x16	2	0	0	00100	5
4	I_16x16_3_0_0	Intra_16x16	3	0	0	00101	5
5	I_16x16_0_1_0	Intra_16x16	0	1	0	00110	5
6	I_16x16_1_1_0	Intra_16x16	1	1	0	00111	5
7	I_16x16_2_1_0	Intra_16x16	2	1	0	0001000	7
8	I_16x16_3_1_0	Intra_16x16	3	1	0	0001001	7
9	I_16x16_0_2_0	Intra_16x16	0	2	0	0001010	7
10	I_16x16_1_2_0	Intra_16x16	1	2	0	0001011	7
11	I_16x16_2_2_0	Intra_16x16	2	2	0	0001100	7
12	I_16x16_3_2_0	Intra_16x16	3	2	0	0001101	7
13	I_16x16_0_0_1	Intra_16x16	0	0	15	0001110	7
14	I_16x16_1_0_1	Intra_16x16	1	0	15	0001111	7
15	I_16x16_2_0_1	Intra_16x16	2	0	15	000010000	9
16	I_16x16_3_0_1	Intra_16x16	3	0	15	000010001	9
17	I_16x16_0_1_1	Intra_16x16	0	1	15	000010010	9
18	I_16x16_1_1_1	Intra_16x16	1	1	15	000010011	9
19	I_16x16_2_1_1	Intra_16x16	2	1	15	000010100	9
20	I_16x16_3_1_1	Intra_16x16	3	1	15	000010101	9
21	I_16x16_0_2_1	Intra_16x16	0	2	15	000010110	9
22	I_16x16_1_2_1	Intra_16x16	1	2	15	000010111	9
23	I_16x16_2_2_1	Intra_16x16	2	2	15	000011000	9
24	I_16x16_3_2_1	Intra_16x16	3	2	15	000011001	9

當模式是 Intra4x4，MB TYPE 的索引號碼是 0 (I 畫面) 或是 5 (P 畫面)。明度方格裡的 16 個 4x4 方格，每個 4x4 方格的 Intra4x4 模式由欄位 **pred\_mode\_flag** 以及 **rem\_intra4x4\_pred\_mode** 來顯示。Intra4x4 使用差分編碼，以旗標 **pred\_mode\_flag** 顯示 4x4 方格與前一個 4x4 方格之間比對模式是否有差異。如

圖 3-3，Intra4x4 編號從 0 到 8。Intra 4x4 使用差分編碼時，目前方格的比對模式編號先與前一個方格的比對模式編號相減，如果相減結果是 0，表示兩者的比對模式相同，則 **pred\_mode\_flag** 等於 0，然後進行下一個方格的比對模式編碼。反之當 **pred\_mode\_flag** 等於 1，表示兩個方格的比對模式不相同，兩者的差以 **rem\_intra4x4\_pred\_mode** 編碼。表 3-3 顯示目前方格與前一個方格的比對模式不相同時，**rem\_intra4x4\_pred\_mode** 的號碼。表 3-3 橫軸表示前一個方格的比對模式號碼；縱軸表示目前方格的比對模式號碼。比對模式的編號從 0 到 8，當目前方格與前一個方格的比對模式相同時，**rem\_intra4x4\_pred\_mode** 不表述（此時 **pred\_mode\_flag** 等於 0）。當目前方格的比對模式小於前一個方格的比對模式，**rem\_intra4x4\_pred\_mode** 等於目前方格的比對模式減 1；反之，**rem\_intra4x4\_pred\_mode** 等於目前方格的比對模式。**rem\_intra4x4\_pred\_mode** 如此的設計，使得 **rem\_intra4x4\_pred\_mode** 的大小從 0 到 7；如此的設計目的，為了使 **rem\_intra4x4\_pred\_mode** 能用三個固定位元長度描述 9 種 Intra4x4 模式。<sup>[24]</sup>

表 3-3 rem\_intra4x4\_pred\_mode  
與目前方格的 Intra4x4 預測模式以及  
先前方格的 Intra4x4 預測模式的關係

前一個方格的 Intra4x4 模式號碼									
目前方格 Intra4x4 模式號碼	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	不表 述	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	不表 述	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	不表 述	2	2	2	2	2
	3	2	2	2	不表 述	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	不表 述	4	4	4
	5	4	4	4	4	4	不表 述	5	5
	6	5	5	5	5	5	不表 述	6	6
	7	6	6	6	6	6	6	不表 述	7
	8	7	7	7	7	7	7	7	不表 述

### 3.2 H.263 Intra 預測編碼

H.263++的 Intra 預測定義在 Annex I 裡 [20]。Annex I 是附屬功能，編碼器可彈性選擇是否進行 Annex I Intra 預測編碼。Annex I 是在頻率值域進行，也就是像素值經由轉換編碼與量化後，產生的頻率值再與鄰近方格的頻率值進行比對（圖 3-8）。

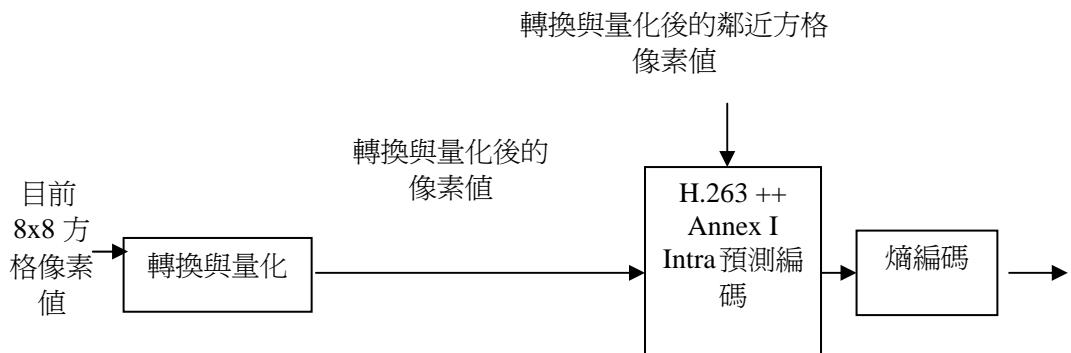


圖 3-8 Annex I Intra 預測方塊圖

Annex I 定義的 Intra 預測是以 8x8 方格為單位來進行，目前的 8x8 方格與左側方格與上側方格比對。目前方格，左側方格，與上側方格的相對位置如圖 3-9：

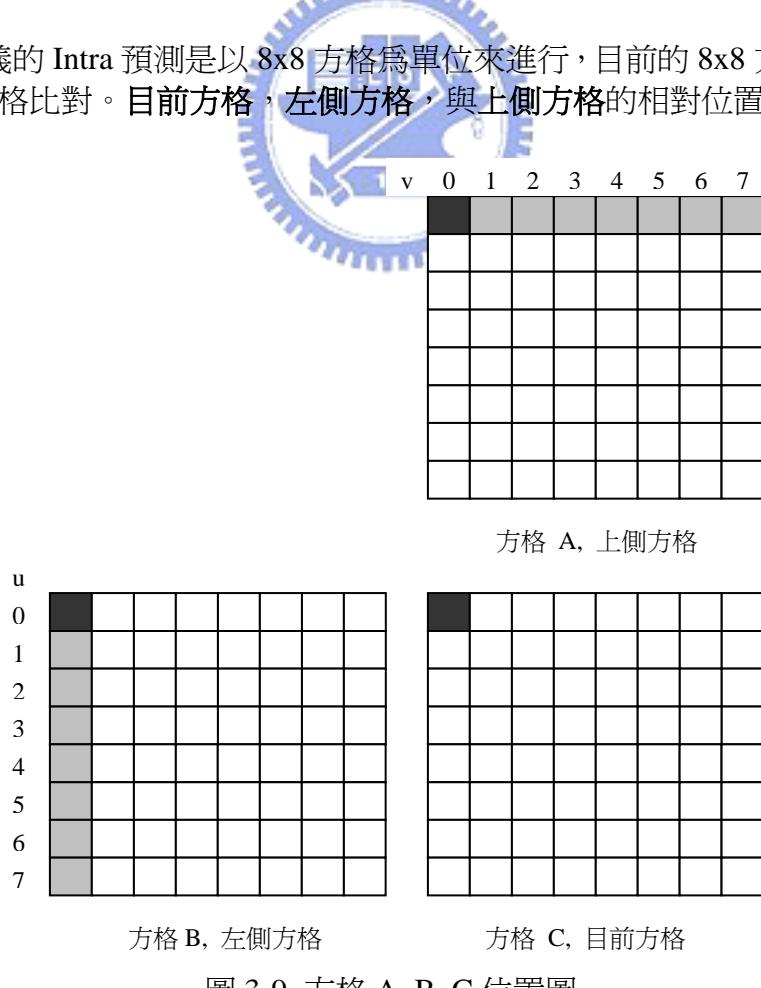


圖 3-9 方格 A, B, C 位置圖

圖 3-9 裡的方格 A, B, C 分別代表了 8x8 Intra 預測時的上側方格，左側方格，與目前方格。三個方格裡都有 64 個小格子；每個小格子代表轉換並且量化後的頻率值。上側方格、左側方格與目前方格裡的頻率值，我們分別用  $A(u,v)$ 、 $B(u,v)$  與  $C(u,v)$  表示，其中  $u,v$  代表位置， $u,v = 0,1,2,\dots,7$ 。三個方格的量化參數為  $QP_A$ 、 $QP_B$ ，與  $QP_C$ 。

### 3.2.1 比對模式

Annex I 定義了 DC、垂直、與水平模式。

- DC 模式：目前方格的 DC 值與上側方格 DC 及左側方格 DC 的平均值比對。在這個模式下，除了 DC 值，其他 63 個頻率都不進行預測。(3.4) 中  $E_0(u,v)$  代表經由 DC 模式比對後的結果。

$$E_0(0,0) = C(0,0) - \left( A(0,0) \times \frac{QP_A}{QP_C} + B(0,0) \times \frac{QP_B}{QP_C} \right) // 2, \quad \text{when } (u,v) = (0,0)$$

$$E_0(u,v) = C(u,v), \quad \text{when } (u,v) \neq (0,0) \quad (3.4)$$



- 垂直模式：目前方格的第一列 AC 與上側方格的第一列 AC 比對。(3.5) 中  $E_1(u,v)$  代表經由垂直模式比對後的結果。

$$E_1(0,v) = C(0,v) - A(0,v) \times \frac{QP_A}{QP_C}, \quad v = 0,1,2,\dots,7$$

$$E_1(u,v) = C(u,v), \quad u = 1,2,\dots,7, v = 0,1,2,\dots,7 \quad (3.5)$$

- 水平模式：目前方格第一行 AC 與左側方格的第一行 AC 比對。(3.6) 中  $E_2(u,v)$  代表經由水平模式比對後的結果。

$$E_2(u,0) = C(u,0) - B(u,0) \times \frac{QP_B}{QP_C}, \quad u = 0,1,2,\dots,7$$

$$E_2(u,v) = C(u,v), \quad u = 0,1,2,\dots,7, v = 1,2,\dots,7 \quad (3.6)$$

### 3.2.2 比對模式選擇方法：

H.263++ Annex I 並無定義比對模式的選擇方式，由 University of British Columbia 所提供的 **H.263 TMN8** (Test Model Number 8, [17]) 是一個開放的 H.263 壓縮／解壓縮軟體，現在我們介紹其比對模式的選擇方式。

以下我們使用方格 A、B、C 代表 Intra 預測時的上側方格、左側方格、與目前方格。TMN8 先計算三個值：**SAD0**、**SAD1**、**SAD2**。三者的計算方式如下：

**SAD0**：方格 C 的 DC 絶對值加上方格 C 的第一列 AC 絶對值與第一行 AC 絶對值

**SAD1**：方格 C 的第一行 AC 絶對值加上方格 C 與方格 A 的第一列 AC 絶對值的差

**SAD2**：方格 C 的第一列 AC 絶對值加上方格 C 與方格 B 的第一行 AC 絶對值的差

接著計算其他五個 8x8 方格的 **SAD0**、**SAD1**、**SAD2**。分別將六個 8x8 方格的 **SAD0**、**SAD1**、**SAD2** 加總，從 **SAD0**、**SAD1**、**SAD2** 選擇最小值。如果最小值是 **SAD0**，以 DC 模式為比對模式；如果最小值是 **SAD1**，以垂直模式為比對模式；如果最小值是 **SAD2**，以水平模式為比對模式。

### 3.2.3 Annex I 畫面標頭 (Annex I 啓動的顯示方式)

Annex I 是 H.263 的附屬功能，編碼器需要在畫面標頭以特別的位元告知解碼器 Annex I 是否啟動。當 Annex I 啓動，畫面層級的標頭如下：[25]

表 3-4 Annex I 畫面標頭

欄位名稱	號碼	位元數
Picture Start Code (PSC)	000000000xxx1	22
TR	x	8
<b>PTYPE</b>	<b>xxxxx111</b>	<b>8</b>
<b>PLUSPTYPE</b>	<b>xxx1x</b>	<b>5</b>
UFEP	x	3
OPPTYPE	x	18
MPPTYPE	x	9
CPCFC	x	8
ETR	x	2
UUI	x	變化長度碼
SSS	x	變化長度碼
ELNUM	x	變化長度碼
PQUANT	x	5

當編碼器選擇啓動 Annex I 作為編碼的模式，**PTYPE** 的後三個位元是” 111 ”，而 **PLUSPTYPE** 的第四個位元是 1 ( 告知解碼器 Annex I 啓動 )。當編碼器選擇啓動 Annex I 作為編碼的模式，畫面層級的標頭內容會多出 **PLUSPTYPE**，**UFEP**，**OPPTYPE** 以及 **MPPTYPE** 四個欄位。因此當編碼器選擇啓動 Annex I 作為編碼的模式，每張畫面在畫面層級標頭會多出 35 個位元。

### 3.2.4 Annex I 區塊標頭（比對模式的顯示方式）

當解碼器透過畫面表頭得知 Annex I 啓動，解碼器會對每個區塊的 INTRA\_MODE 欄位進行解碼，從而得知每個區塊的 Intra 模式。當 Annex I 啓動，區塊標頭的架構以及各欄位名稱顯示如圖 3-10：[ 20 ] [ 26 ]

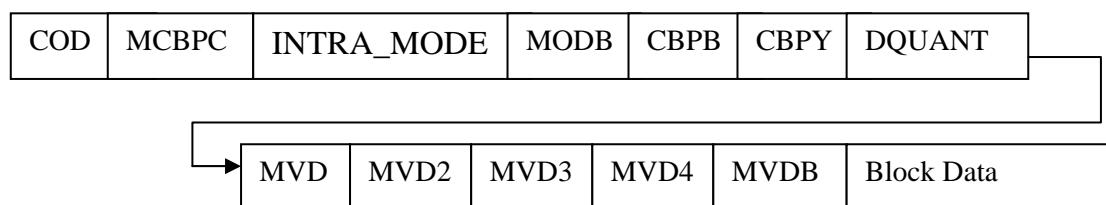


圖 3-10 Annex I 區塊標頭欄位名稱

欄位 INTRA\_MODE 以變化長度碼表示區塊的比對模式。見表 3-5：

表 3-5 INTRA\_MODE 的變化長度碼

Index	Intra 預測模式	變化長度碼
0	0 ( DC only )	<b>0</b>
1	1 ( Vertical DC and AC )	<b>10</b>
2	2 ( Horizontal DC and AC )	<b>11</b>

從表 3-5，為了顯示區塊的比對模式，每個區塊多出了 1 到 2 個位元。

### 3.3 MPEG4 Intra 預測編碼

與 H.263++ Annex I 相同，兩者的 Intra 預測皆在頻率值域進行，也都是以 8x8 大小的方格為單位進行；不同的是，MPEG4 強迫每個區塊進行 Intra 預測，而比對模式則規定與上側或左側方格進行預測。

MPEG4 Intra 預測壓縮的工作分為三個步驟：1. 比對模式選擇 2. DC Intra 預測 3. AC Intra 預測。[ 19 ]

#### 1. 比對模式選擇：

MPEG4 定義了比對模式的選擇方式。MPEG4 比對模式選擇方式，以左側、左上以及上側的 8x8 方格的 DC 值為判斷的依據。MPEG4 分別將左側、左上以及上側的方格定義為方格 A、方格 B、與方格 C。見圖 3-11。

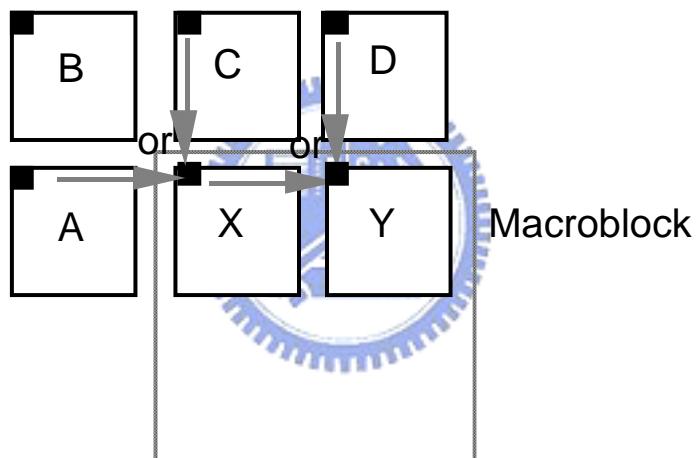


圖 3-11 方格 A、B、C 在 MPEG4 Intra 預測的位置

當方格 B 與方格 A 的 DC 值差異小於方格 B 與方格 C 的平均值差異，則目前方格與方格 C 比對（與上側方格比對）；反之與方格 A 比對。

$$\begin{aligned} \text{if } & \left( |F_A[0][0] - F_B[0][0]| < |F_B[0][0] - F_C[0][0]| \right) \\ & \quad \text{predict from block C} \\ \text{else} & \\ & \quad \text{predict from block A} \end{aligned} \tag{3.7}$$

(3.7) 中， $F_A[0][0]$ 、 $F_B[0][0]$ 、 $F_C[0][0]$  分別代表方格 A、B、C 量化前的 DC 值。

## 2. DC Intra 預測：

從(3.7)判斷比對的方格後，接下來進行 DC Intra 預測，也就是求  $PQF_x[0][0]$ ：

```
if (predict from block C)
     $PQF_x[0][0] = QF_x[0][0] - F_C[0][0] // dc_scaler$ 
else
     $PQF_x[0][0] = QF_x[0][0] - F_A[0][0] // dc_scaler$ 
( 3.8 )
```

## 3. AC Intra 預測：

完成 DC 預測後，接下來進行 AC Intra 預測：

```
if (predict from block C)
     $PQF_x[0][u] = QF_x[0][u] + (QF_c[0][u] \times QP_c) // QP_x, u = 1 \sim 7$ 
else
     $PQF_x[v][0] = QF_x[v][0] + (QF_A[v][0] \times QP_A) // QP_x, v = 1 \sim 7$ 
( 3.9 )
```

### 3.3.4 MPEG4 的比對模式顯示方式

MPEG4 強制每一個畫面的每一個方格都要執行 Intra 預測，因此畫面層級的標頭不須顯示目前畫面是否進行 Intra 預測編碼。MPEG4 定義了比對模式的選擇方式((3.7))，由方格 A，方格 B，與方格 C 的 DC 值來決定。解碼器可以由方格 A，方格 B，與方格 C 的 DC 值來判斷比對模式，因此區塊層級的標頭不須顯示比對模式。MPEG4 的區塊標頭欄位如圖 3-12。欄位標記所對應的代碼請參考〔27〕。

mcbpc	cbpy	dquant	block_data( )
-------	------	--------	---------------

圖 3-12 MPEG4 區塊標頭欄位

## 3.4 模擬

### 3.4.1 模擬方式與測試序列

模擬過程選用 Akiyo, Coastguard, Container 以及 Foreman 四個測試序列。我們選用這四個測試序列的原因如下：Akiyo 的背景是單純色系的攝影棚。整個畫面只有兩個主色：播報員的粉紅色衣著與背景的藍黑色。這個測試序列可以測出畫面在相鄰區塊，顏色相近下的 Intra 預測表現。Coastguard 與 Container 的特徵是畫面上有固定的水面波紋。這個特徵有利於 Intra 預測時，Intra 預測器消除鄰近區塊間的近似像素。Foreman 中，建築工人的表情以及頭部運動誇張，而背景顏色則迥然不同。畫面中的線條複雜，相鄰區塊的近似性也不大。Intra 預測在這種畫面下的表現有限。（圖 3-13）



圖 3-13 測試序列 Akiyo、Coastguard、Container、與 Foreman 的樣本畫面

每個測試序列取一百張連續的 4:2:0 QCIF 畫面，也就是每張 QCIF 畫面有  $176 \times 144$  個明度像素， $2 \times 88 \times 72$  個彩度像素。每個像素佔用一個位元組（八個位元）的記憶體空間，則一百張 4:2:0 QCIF 畫面的總共位元數：

$$8 \times 176 \times 144 \times 100 + 8 \times 2 \times 88 \times 72 \times 100 = 30412800$$

模擬時採用以下的編譯／解譯器（Source Codec）：H.263 用 TMN8 [17]，H.264 用 JM7.1 [18]，MPEG4 用 VM5 [28]。下面四張圖分別顯示了模擬的結果。橫軸表示視訊壓縮標準使用 Intra 預測編碼後產生的位元總數。縱軸是平均噪訊比（Average Signal to Noise Ratio），以對數表示。橫軸表示壓縮的表現，位元總數愈多，壓縮比越少。縱軸表示畫質，平均訊噪比高，畫質高。

我們以量化參數調整各視訊壓縮標準在不同的壓縮比下的畫質表現。H.263 量化參數由 10 到 30；H.264 量化參數由 10 到 50；MPEG4 量化參數由 10 到 30。完成模擬後，再將不同的量化參數所產生的位元總數以及平均訊噪比繪製在圖 3-10 到 3-13 上，並且以曲線連接之。藍色曲線是 H.264，紫紅色曲線是啓動 Annex I 的 H.263++，綠色曲線是 MPEG4，紅色曲線是未經預測的 H.263。

### 3.4.2 模擬結果

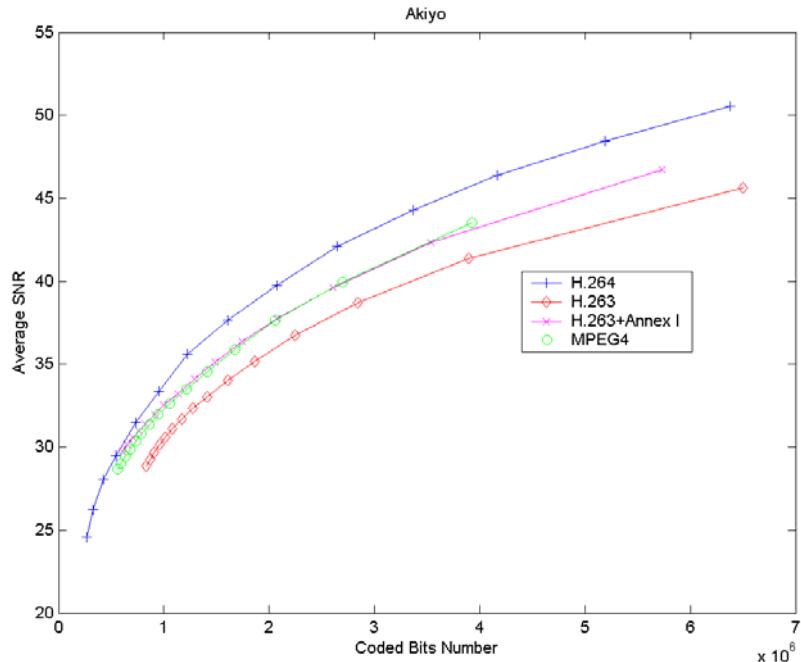


圖 3-14 Akiyo，三種 Intra 預測編碼綜合比較

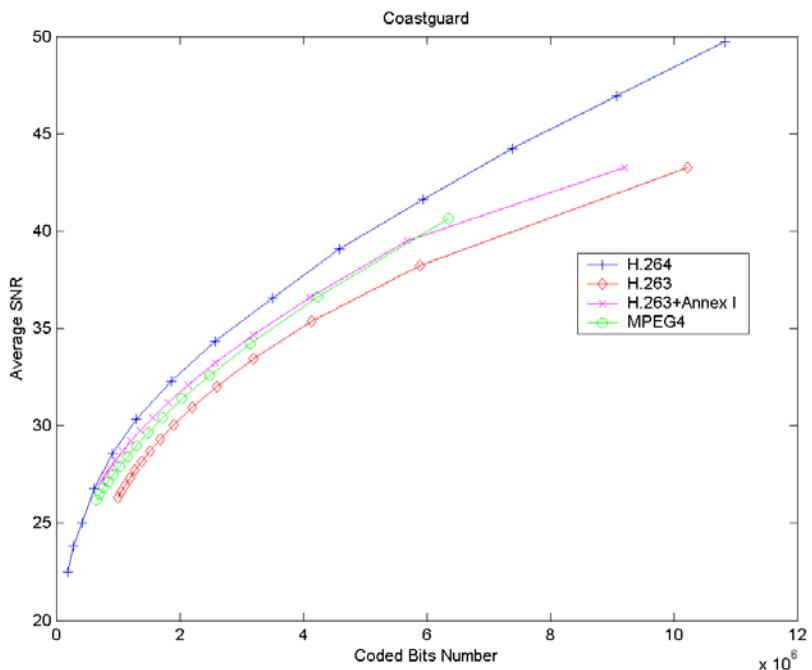


圖 3-15 Coastguard，三種 Intra 預測編碼綜合比較

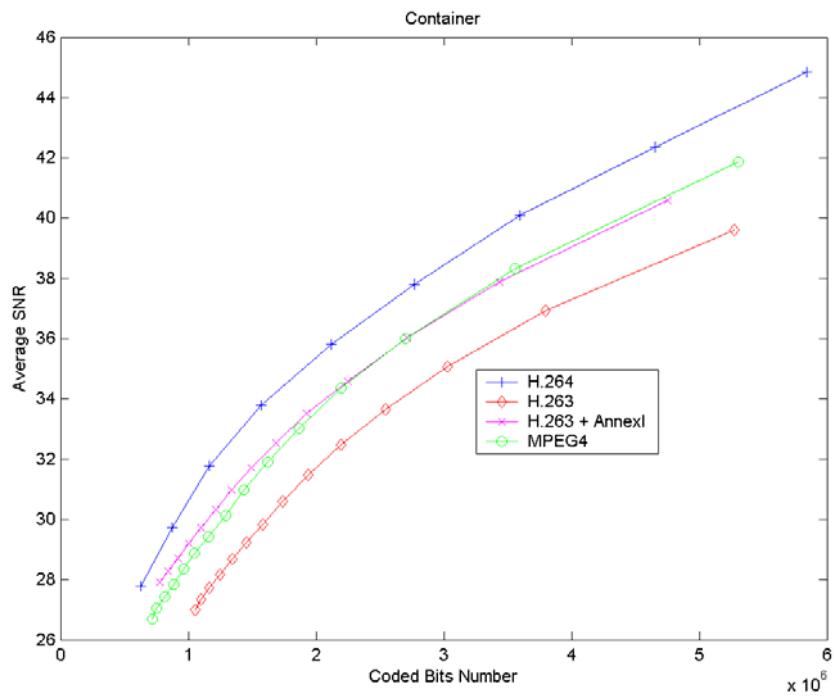


圖 3-16 Container，三種 Intra 預測編碼綜合比較

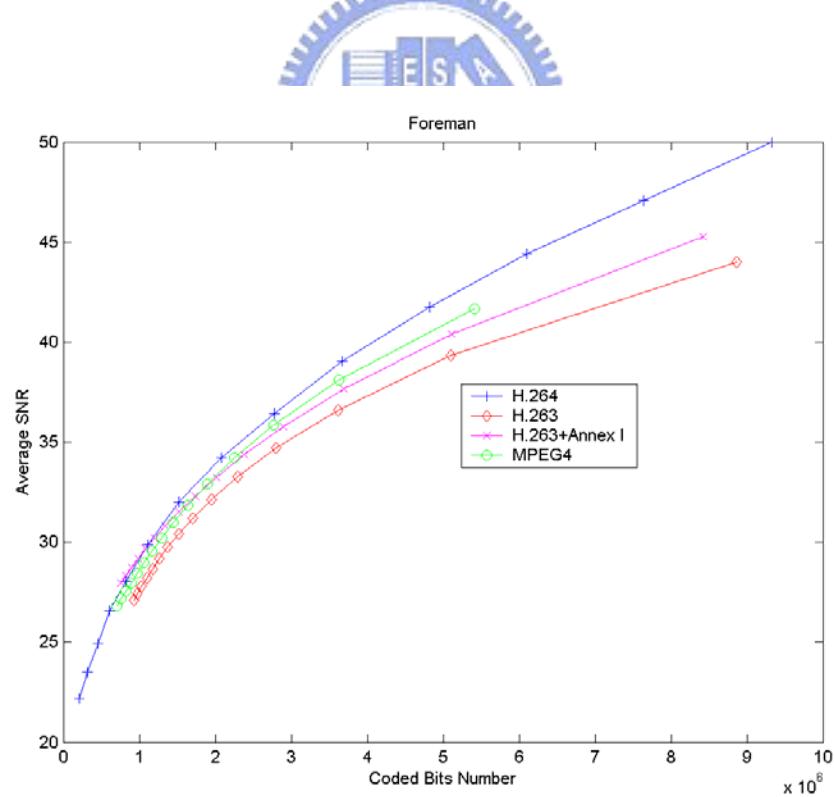


圖 3-17 Foreman，三種 Intra 預測編碼綜合比較

## 模擬結果分析：

- 啟動 Annex I 與沒有啟動 Annex I 之間的比較：

從圖 3-14 到圖 3-17，我們看出 H.263 在啟動 Annex I 後的壓縮表現更好。

- H. 263++ Annex I 與 MPEG4 之間的比較：

Annex I 與 MPEG4 的表現幾乎一樣，原因很有可能是兩者都在頻率值域進行 Intra 預測。仔細觀察可發現， Annex I 在低位元率下（Low Bit Rate）的表現較好；測試序列 Foreman，鄰近的方格近似性不大（參考圖 3-13），MPEG4 的表現比較好。

- H. 264 與 H. 263++ Annex I 之間的比較：

H.264 大幅度優於其他兩種 Intra 預測，但是否因為 H.264 的 Intra 預測設計佳或者因為 CAVLC 的設計佳（參考 2.2 節）才使得 H.264 脫穎而出，我們尚不能妄下斷言。

### 3.4.3 比對模式語法對壓縮表現的影響

本章介紹了三種視訊壓縮， Intra 預測編碼時畫面層級以及區塊層級的語法。H.263++ Annex I 語法定義的二進位代號（Codeword），在畫面層級告知解碼器預測編碼是否啟動，並且在區塊層級告知解碼器使用何種預測比對模式。H.263++ 在畫面層級的 PLUSPTYPE 以及 ELTYPE 兩個欄位用去了 35 個位元以告知解碼器 Annex I 啓動；而每一個區塊則用掉 1 到 2 個位元告知區塊的比對模式。（表 3-3，表 3-4）

H.264 的每一張畫面都進行 Intra 預測，畫面標頭不需額外的編碼來顯示是否進行 Intra 預測。當比對模式是 Intra16x16，H.264 將比對模式顯示在區塊標頭欄位 MB TYPE。Intra16x16 的 MB TYPE 編號從 1 號到 24 號，變化長度碼的長度從 3 到 9 個位元（表 3-1）。當比對模式是 Intra 4x4，MB TYPE 編號是 0 號，並且以 pred\_mode\_flag 以及 rem\_intra4x4\_pred\_mode 差分編碼描述每個方格之間的比對模式差距。pred\_mode\_flag 佔 1 個位元，rem\_intra4x4\_pred\_mode 則佔 3 個位元。一個方格有 16 個 4x4 大小的明度方格，由此可知，H.264 為了顯示 Intra4x4 比對模式，需要多出 16 到數十個位元。

MPEG4 的解碼器依據等式( 3.7 )判斷編譯器的比對模式，因此 Intra 預測編碼器不需要在畫面以及方格標頭額外告知比對模式。

### 3.5 Intra 預測編碼綜合比較

本節表列比較三個 Intra 預測編碼的異同。

表 3-6 頻率值域或像素值域預測

H.263++ Annex I	H.264	MPEG4
頻率值域預測	像素值域預測	頻率值域預測
Optional ( Annex I )	強迫每一個區塊進行	強迫每一個區塊進行
固定方格大小 Intra 預測 ( 8 x 8 )	變化方格大小 Intra 預測 ( 16 x 16 or 4 x 4 )	固定方格大小 Intra 預測 ( 8 x 8 )

表 3-7 比對模式與選擇方法

比對模式以及比對模式選擇方式比較			
	H.263++ Annex I	H.264	MPEG4
比對模式	直流 (DC) ,水平 (Horizontal) ,與 垂直 (Vertical)	4 個 Intra16x16 模式, 9 個 Intra4x4 模式。每個模式代表一個比對的方向, 請參考圖 3-3 與圖 3-4	兩種模式：與上側的 8x8 方格進行比對或與左側的 8x8 方格進行比對
比對模式選擇方式	絕對值差大小決定 (TMN8, 計算 SAD0、SAD1、SAD2, 並選擇最小值)	拉氏最佳化方法 (JM2.0, 選擇失真與位元總數合最少的模式, 請參考等式(3.3))	由左, 左上, 上側的方格 DC 值決定 (請參考等式(3.7))

表 3-8 畫面與方格階層語法

語法如何描述比對模式			
	H.263++ Annex I	H.264	MPEG4
畫面階層	PTYPE 與 PLUSPTYPE , 35 個額外位元表示 Annex I 啓動	不需要額外表示	不需要額外表示
區塊階層	欄位 INTRA_MODE , 1 或 2 個位元描述區塊的比對模式	當比對模式為 Intra16x16 時, MB TYPE 用長度 3 至 9 個位元的 Exp - Golomb Codeword 描述比對模式 (參考表 3-2); 當比對模式為 Intra4x4 時, 使用欄位 pred_mode_flag 以及 rem_intra4x4_pred_mode 描述比對模式, 此時位元數為 16 至數十個	不需要額外表示