

第二章 數位相機系統簡介



2.1 系統介紹

典型的數位相機系統如圖 2-1 所示[21]，包含了主要的信號處理器、光學變焦鏡頭、CCD/CMOS 影像感測器、音訊輸出入電路、閃光燈電路、內部快閃記憶體與隨機存取記憶體、使用者介面、電視訊號輸出、平面液晶顯示器輸出、USB、記憶卡介面與無線傳輸模組等模組。信號處理器由 ARM、DSP、彩色影像處理晶片、CCD 前置處理器(preprocessor)、其他協同處理器(coprocessor)以及其他硬體模組共同組成的系統晶片，ARM 是專門為嵌入式系統開發的精簡指令集微處理器(RISC CPU)，具有低耗電、高性能與成本較低的特性；DSP 則是一強大的數學運算處理器，對於矩陣運算有極高的效能，具有單一指令多重資料流的特性；彩色影像處理晶片包含色彩內插、白平衡、色調調整、雜訊濾除、邊緣增強、色彩飽和度增強等處理過程，可將原始數位影像資料處理成彩色影像。情境由影像感測器感測到原始的類比訊號，經由類比轉數位處理電路轉換成原始的數位影像資料後，經過信號處理器進行彩色影像處理與影像壓縮，再將影像儲存在快閃記憶體中，可藉由使用者介面顯示影像在液晶顯示器上，這整個流程需要仰賴嵌入式軟體來完成所有的處理程序控制。

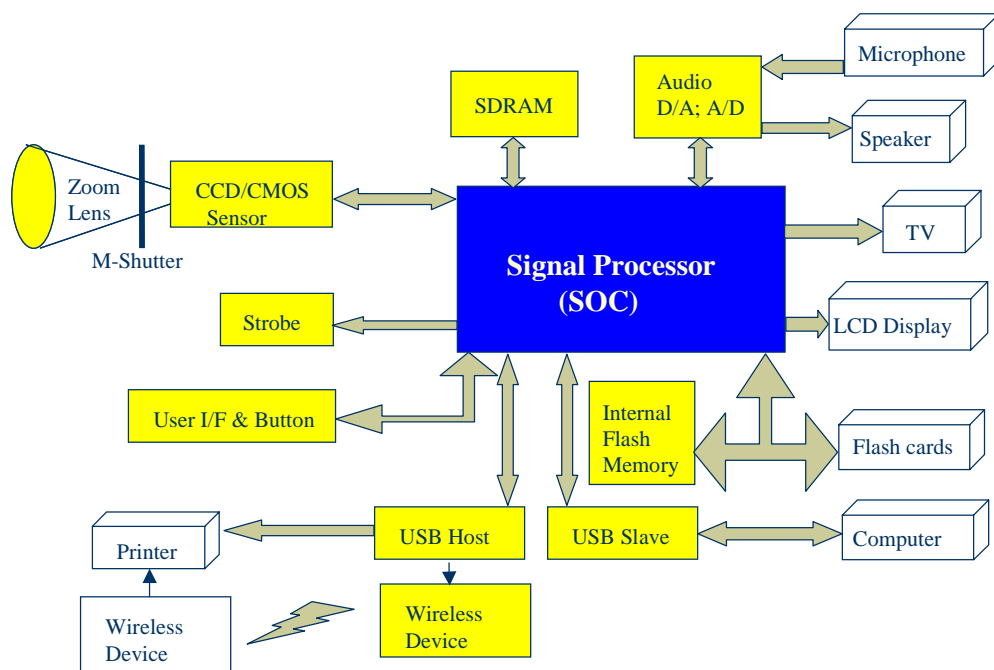


圖 2-1 數位相機系統

2.2 系統晶片硬體平台

數位相機系統晶片架構如圖 2-2 所示，其中系統晶片整合了相機幾乎所有的電路，其中 ARM 微處理器為系統核心，時脈產生器(Timing Generator)讀取各個硬體裝置的控制訊號產生系統時脈與影像感測器時脈；音訊轉碼器(Audio Codec)將類比聲音訊號編碼成數位聲音訊號，或將數位聲音訊號解碼成類比聲音訊號；JPEG(Joint Photographic Equipment Group)靜態影像壓縮模組內含 ISO 所制訂的影像壓縮標準，提供一個兼顧壓縮比與影像品質的編碼方式，作為靜態影像最後輸出的影像格式之一；MPEG-4(Moving Pictures Experts Group)是一種多媒體應用技術規格，處理視訊與音訊融合的影音資料；典型 DSP 內部有 16 x 32 個乘法累加器(MAC)，且執行一道指令可同時運算多個運算元，對於乘積累加與矩陣運算具有很高的計算速度，用來做影音編解碼壓縮的大量計算；影像處理模組則是利用

管路方式加速影像處理演算法。相關硬體模組則是影像感測器、記憶體模組與無線通訊模組。

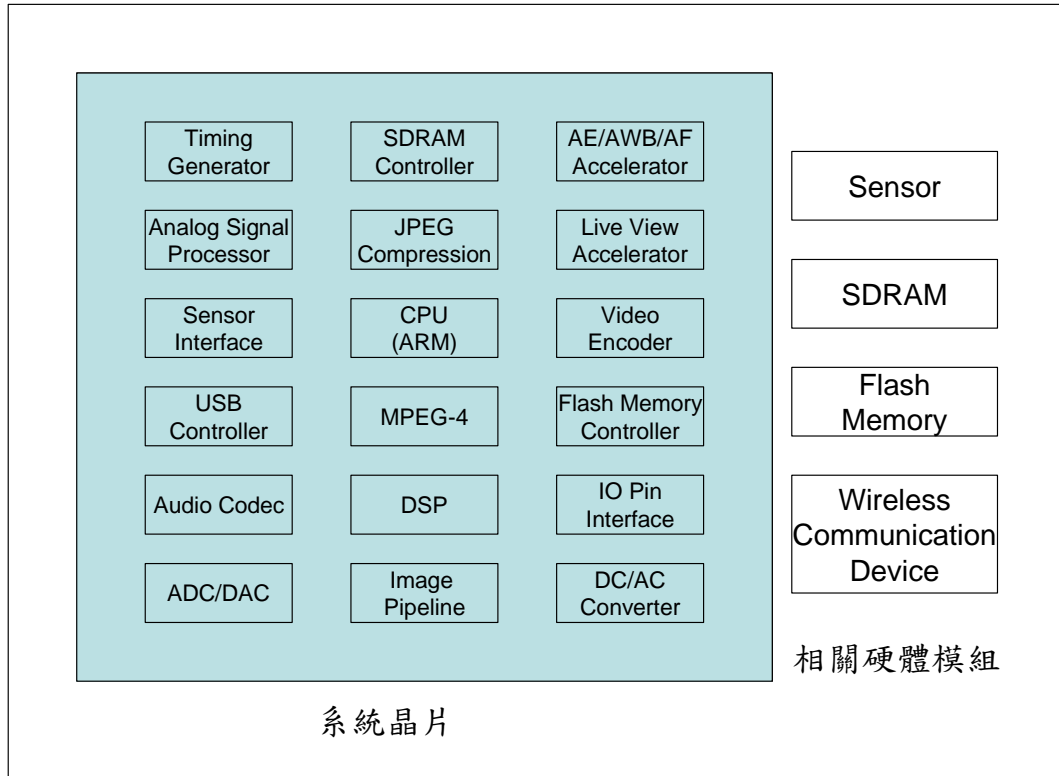


圖 2-2 系統晶片與相關硬體模組圖

2.3 嵌入式軟體平台

數位相機嵌入式軟體主宰所有並行的處理程序[21]，如圖 2-3 所示，分為三個層次，分別為應用層(application layer)、功能層(function layer)與系統層(system layer)，每一層皆有對應的程式模組，越底層代表程式碼越貼近硬體，層與層之間都有溝通介面。其中系統層主要包含所有硬體的驅動程式以及其他與硬體有直接相關的程式，透過元件驅動介面函數集(device driver interface)提供各項服務給功能層的各個模組來呼叫使用。而即時作業系統(real-time OS)可自動地合理配置硬體資源與多工排程，因此隸屬於系統層中。系統層主要目的在於將硬體抽象化，

使得更換硬體模組時直接修改系統層程式，不需修改功能層與應用層的程式。功能層中針對每一種功能建立一個功能模組，有靜態影像擷取模組、錄影模組、檔案管理模組、USB 模組、選單顯示(OSD)模組、電源管理模組、錄影模組以及人機介面模組等，不同模組有可能會使用到相同硬體資源，但功能在模組之間是獨立的，藉由應用程式介面函數集(API)給應用層呼叫功能。應用層針對使用者需求設計使用者介面程式(GUI)，使用者只需透過使用者介面點選介面功能即可完成從應用層到功能層與功能層到系統層的呼叫，並提供介面讓系統維護人員對系統作參數更新。

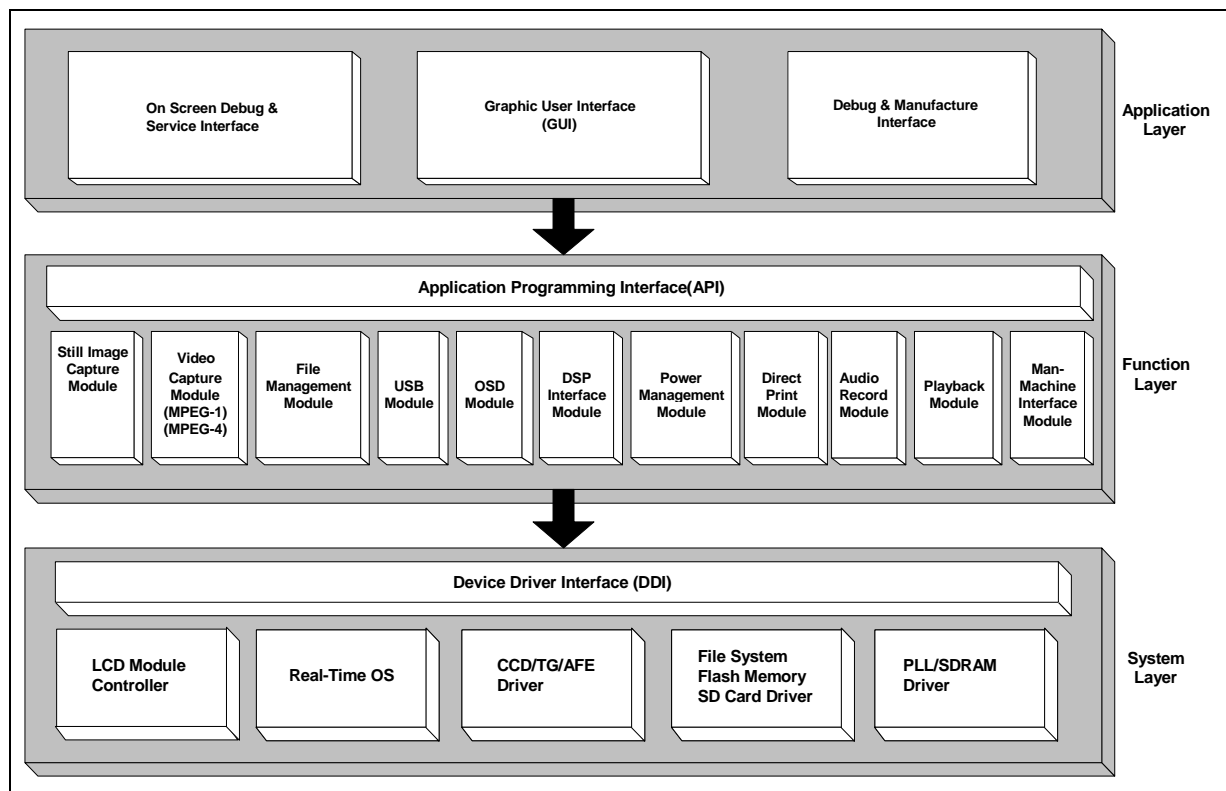


圖 2-3 嵌入式軟體系統架構圖

2.4 動態影像錄製流程

典型的動態影像流程如圖 2-4 所示[21]，微處理器(ARM)根據當時情境的亮

度、光源與內容做自動曝光、自動白平衡與自動對焦，交由 CCD Controller 控制 CCD 影像感測器收集了一張原始影像資料，由於錄影模式處理的影像尺寸比原始影像資料尺寸小很多，因此即時預覽引擎(Live View Engine)對影像重新剪裁且經由影像處理流程，得到彩色影像，將之存入影像緩衝記憶體(frame buffer)，以供之後 DSP 或 ARM 處理，DSP 先針對前後畫面間整體的移動向量做計算，將影像壓縮成較小容量以減低儲存空間；在微處理器作 3A(AE、AWB 與 AF)，配合如圖 2-5 所示的自動曝光與自動白平衡控制狀態圖，CCD Controller 收集原始影像資料的同時，原始聲音訊號也由 DMA Controller 作動態存取，交由 DSP 作雜訊濾除以及音訊資料壓縮之後，壓縮完的影像與聲音作串流的同步，將混合影像與聲音的資料存入快閃記憶體，最後以 MPEG-4 輸出格式 ASF 輸出。

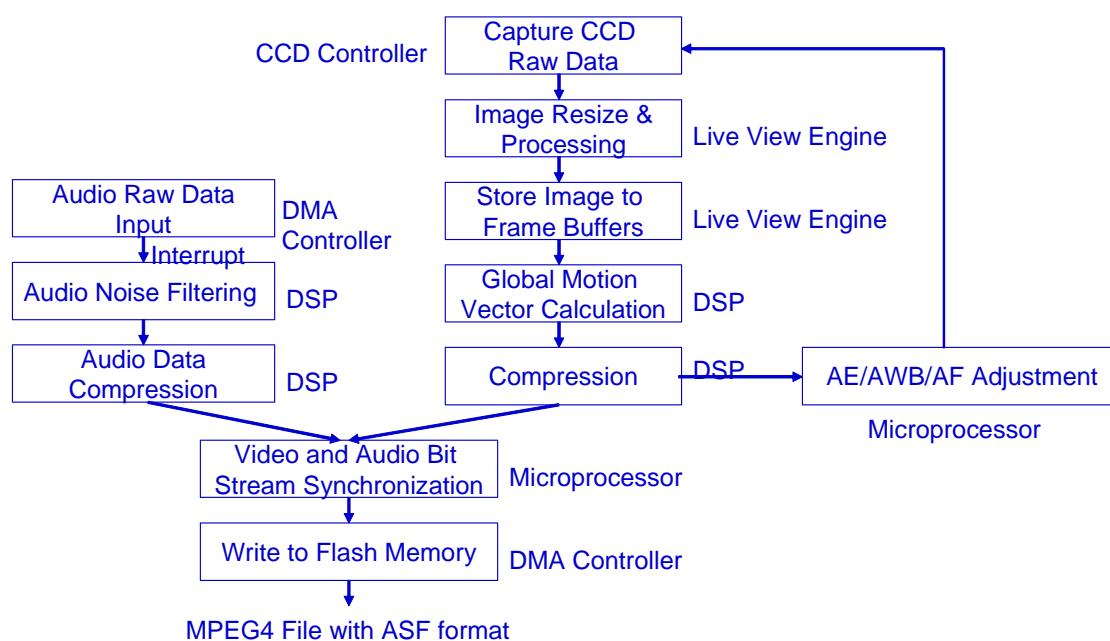


圖 2-4 動態影像錄製流程圖

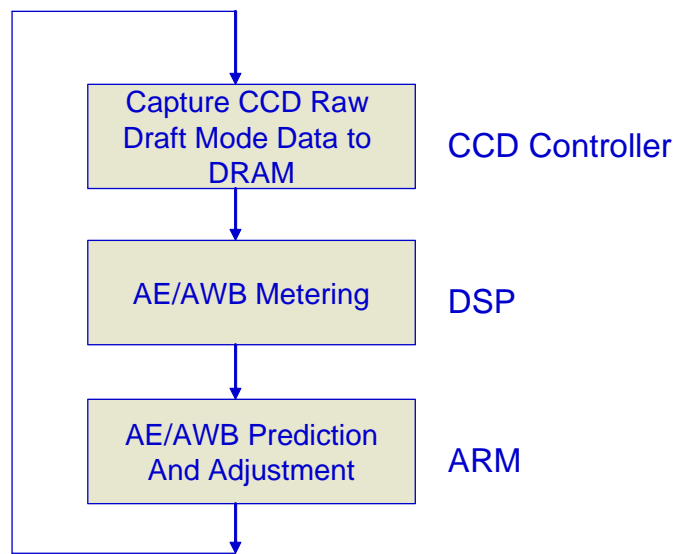


圖 2-5 自動曝光與自動白平衡流程圖

由於影像融合處理的是多重曝光的影像，但多重曝光是以自動曝光得到的曝光設定當作參考點，進而調整出多重倍率的曝光設定，因此我們需了解自動曝光的機制是如何運作的。自動曝光的目的在於決定適當的光圈大小、增益設定與曝光時間，使得曝光值分佈能最符合 CCD 的動態範圍。動態影像錄製不像靜態影像處理可以採用高複雜度計算的演算法，例如統計圖分析、情境分析或其他後處理步驟等，因此在動態畫面擷取時自動曝光預測應該要非常準確[21]。

自動曝光在亮度測量時是依據影像壓縮得到的離散餘弦轉換(discrete cosine transform, DCT)係數，且只針對每個 16×16 區塊中的 Y 的直流數值進行自動曝光測量，如圖 2-6 所示，影像被分為 5×5 個區域，越趨近中間的權值越高，而最後的量測結果是根據這 25 個權值所組成的權值向量 $W_{25 \times 1}$ 而來。而這權值矩陣的設計則是根據以下的公式(1)而來，收集 p 張供訓練的影像，而 $1 \leq n \leq p$ ，其中每個區域的平均亮度值可以表示為 25×1 的行向量 X_n ，去找尋可以使得公式(1)的 d 最小的權值向量 $W_{25 \times 1}$ 。此權值矩陣是依據超過兩千張影像的訓練而來，且權

值經過正規化後將之趨近到 2 的指數，根據此權值矩陣，影像資料的加權值計算可變成簡單的位移計算。

$$d = \sum_{n=1}^p |W^T X_n - c|^2 / c, \text{ 其中 } c \text{ 為常數} \quad (1)$$

2	0	2	0	2
0	2	4	2	0
2	4	16	4	2
0	2	4	2	0
4	1	4	1	4

圖 2-6 自動曝光權值矩陣

曝光調整機制包含了光圈大小、曝光時間與增益設定，曝光時間與增益的調整必須在下個畫面的曝光週期前執行完畢，而曝光調整機制的演算法是依照如圖 2-7 的查表的曲線而來，為了加速自動曝光調整流程，曲線通常換為兩個對照表 (look up table)，如圖 2-8 所示，當拍攝情境由陰暗的環境移到明亮的環境時，將使用 Backward Table 的設定，反之將使用 Forward Table。自動曝光對照表中每隔一個曝光設定，就差了 1/8 倍曝光值 (Exposure Value, EV)，而曝光值等於 1.09。另外調整增益值時需注意增益值不能太大，因為增益值太大會導致雜訊一起被明顯地放大。

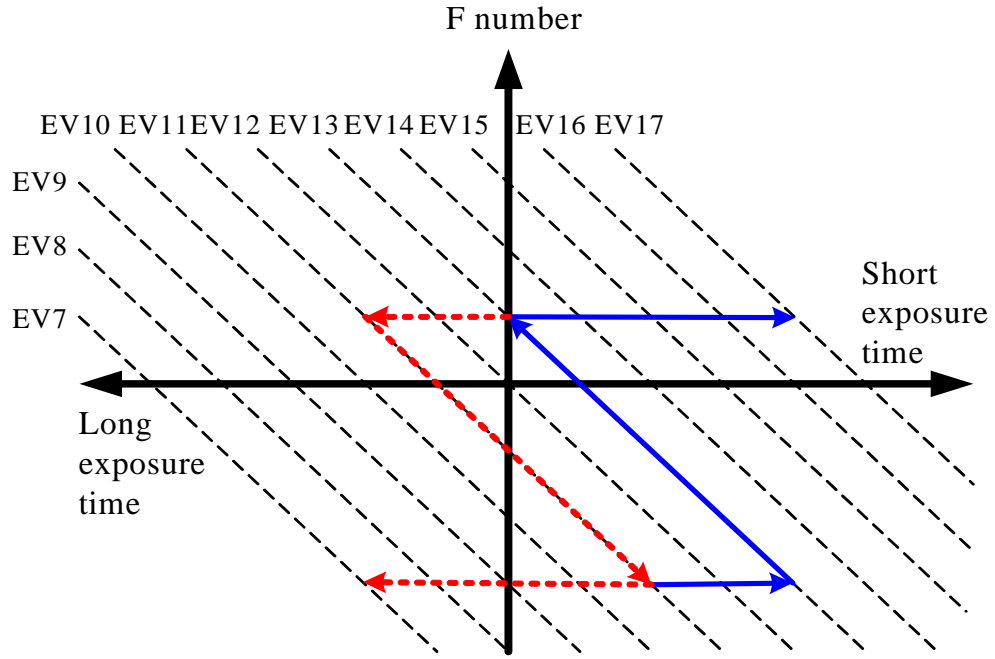


圖 2-7 自動曝光控制曲線

	Aperture Size	Gain Setting	Exposure Time	
Backward Table	B	4X	32 ms	
	B	3.67X	32 ms	
	B	3.37X	32 ms	
	B	.	32 ms	
	B	.	32 ms	
	B	1.09X	32 ms	
	B	1X	32 ms	
	B	1X	.	
	B	1X	.	
	B	1X	1.09 ms	
	S	1X	4 ms	
	S	1X	.	
	S	1X	.	
	S	1X	1.19 ms	
	S	1X	1.09 ms	
	S	1X	1 ms	
	Forward Table	B	4X	32 ms
		B	3.67X	32 ms
B		3.37X	32 ms	
B		.	32 ms	
B		.	32 ms	
B		1.09X	32 ms	
B		1X	32 ms	
S		3.67X	32 ms	
S		.	.	
S		1X	32 ms	
S		1X	.	
S		1X	4 ms	
S		1X	.	
S		1X	1.19 ms	
S		1X	1.09 ms	
S		1X	1 ms	

圖 2-8 自動曝光對照表

2.5 靜態影像擷取流程

數位相機的靜態影像擷取流程如圖 2-9，當使用者按下快門鍵後，首先對情境的亮度進行預先量測的自動曝光，決定好最適當的曝光設定之後，將擷取下來的原始影像資料儲存到 SDRAM 中，並且進行音訊的錄製，再進行彩色影像處理與影像壓縮，輸出包含著音訊的註解的 JPEG 影像。其中彩色影像處理演算法大大地影響靜態影像擷取模組的表現，我們將在後續描述。

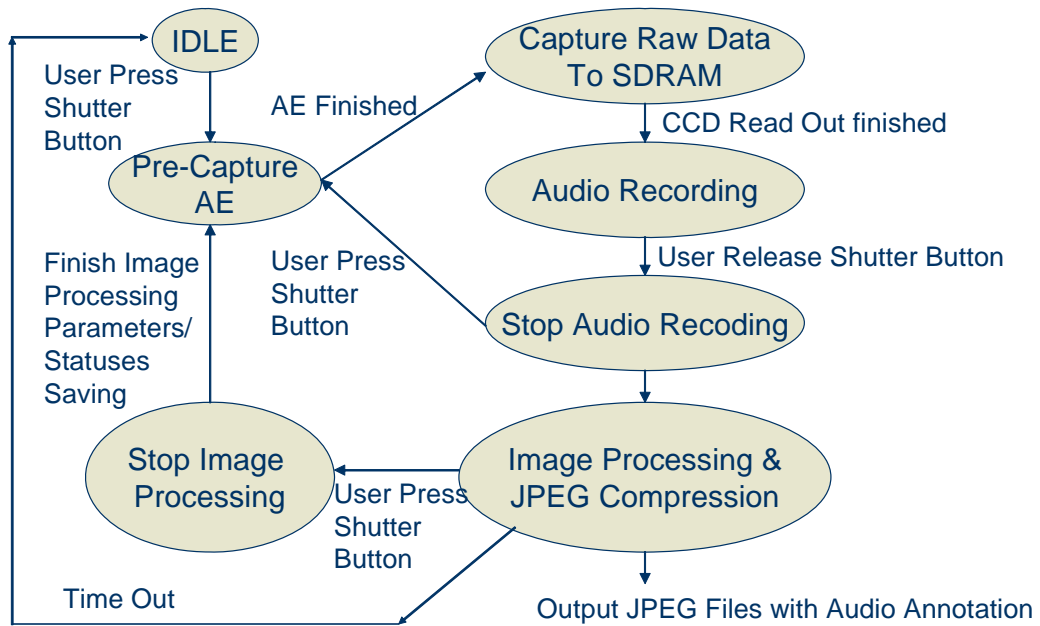


圖 2-9 靜態影像擷取控制流程圖

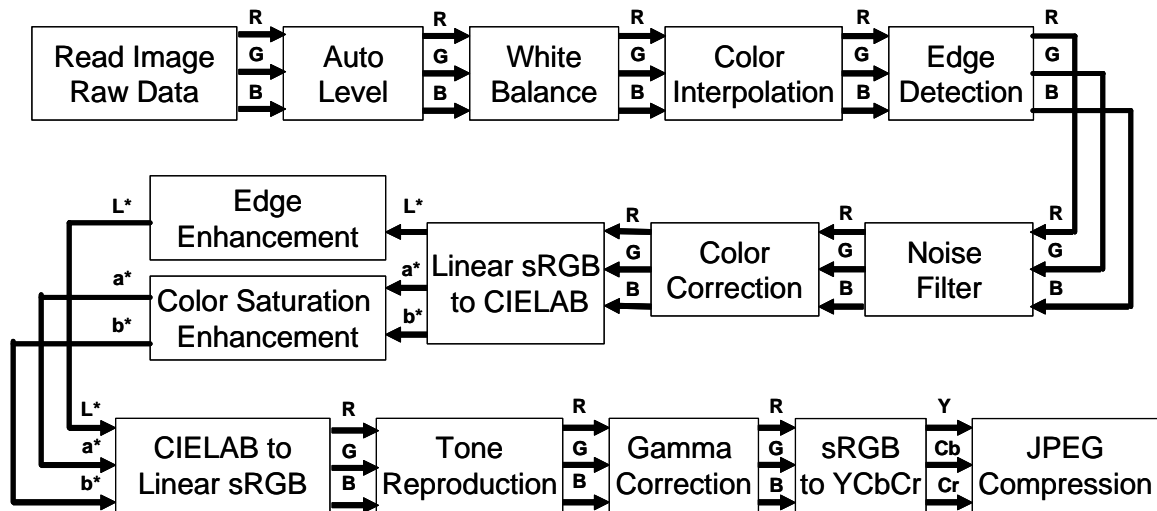


圖 2-10 彩色影像處理流程

彩色影像處理流程必須將原始影像資料處理成高品質的輸出影像，如此才能提高使用者對數位相機的評價，本實驗室根據色彩學的理论與影像處理的技術，提出一全新的影像處理流程[22]，此處理流程分成自動白平衡調整、色彩內插、雜訊濾除、色彩空間座標轉換、影像邊緣增強、色彩飽和度增強、色彩校正、色調調整與 Gamma 校正等步驟。分別說明如下：

1. 自動白平衡

由於在不同光源情境拍攝下會導致影像色差的現象，因此本實驗室提出的自動白平衡演算法運用色彩學原理，計算環境光源的色溫值，並補償光源所造成的色差。由於自動白平衡不需要每個像素所有的紅藍綠三顏色資料，只需要每個影像區塊的紅藍綠平均值，因此放在色彩內插前面的步驟，可減少計算的複雜度。

2. 色彩內插

由於消費性數位相機通常只有單一 CCD，因此擷取出的原始影像資料只有紅藍綠三原色的其中一個原色，通常排列成 Bayer Pattern 的圖樣，使用色彩內插可為每一個像素產生紅藍綠三色成份值，色彩內插需偵測影像邊緣與

影像中高頻成分，盡量避免假色(alias) 的產生。

3. 雜訊濾除

數位相機內的影像感測器雜訊與電路雜訊會造成影像上產生隨機雜訊或瑕疵，雜訊濾除可能會導致影像的邊緣被模糊化，因此本實驗室提出一個改良式的雜訊濾除演算法[24]，除了可以有效濾除影像中的雜訊，亦能保持邊緣的銳利度。

4. 色彩空間座標轉換

處理過程中將會轉換影像資料從線性座標(linear domain)至對數座標(log domain)，主要是因為人眼對光線與色彩的反應曲線是接近對數座標，並便於後續資料處理。例如轉換色彩空間從標準 RGB 至 CIE $L^*a^*b^*$ ，主要原因是這個色彩空間具有亮度與色彩分離的效果。

5. 影像邊緣增強與色彩飽和度增強

影像邊緣增強在 CIE $L^*a^*b^*$ 色彩空間的 L^* 上處理，而色彩飽和度增強在 a^*b^* 上處理。由於其他色彩空間例如 sRGB、YCbCr、HSI 與 CIE-XYZ 等空間上的值(tri-stimulus value)並沒有配合色差的考量做良好定義，使得這些空間上相差一個很小距離的兩個顏色，在數值上居然相差很大，這些色彩空間為不均勻(non-uniform)的空間。而 CIE $L^*a^*b^*$ 是屬於均勻的色彩空間，因此才被廣為使用。

6. 色彩校正

利用影像校正技術(color calibration) 將 CCD 影像感測器的頻譜反應轉換至標準 RGB 色彩空間。

7. 色調調整

由於數位相機通常在拍照前會進行自動曝光控制，但是仍然難以將整個情境的動態範圍給包含進來，最基本的問題便是影像感測器的動態範圍小於情境的動態範圍。經由重現人眼對原始情境的亮度感覺的處理演算法稱為色調調整，主要在於增強動態範圍使得影像細微的地方為明顯可見[23]。

8. 伽瑪校正

調整過暗或過亮的 Gamma 值，Gamma 值越低顏色越淺，過暗影像看起來就會變亮，藉此使輸出影像符合 TV 輸出的反應特性曲線。