

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 以 DSP 實現數位影像自動曝光分類與補償系統 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 97-2218-E-040-002-  
執行期間：97年08月01日至98年07月31日  
執行單位：中山醫學大學應用資訊科學學系(所)

計畫主持人：秦群立

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 98年10月30日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告

## 以 DSP 實現數位影像自動曝光分類與補償系統

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC 97-2218-E-040-002-

執行期間：2008年8月1日至2009年7月31日

計畫主持人：秦群立

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學應用資訊科學學系

中華民國 98年 10月 30日

## 中文摘要

這篇論文主要是提出一種智慧型的演算法來解決影像自動曝光的問題，而這個所提出來的的方法可以解決常使用於影像增強之處理方法的問題，例如過度飽合和對比失真等，此方法主要是由兩個部分所組成的：影像的分類與補償階段。

在分類階段中，我們會先利用邊緣偵測找出邊緣，並利用邊緣數來做為第一個特徵將影像區分為正常影像以及不正常影像，接著我們使用空間位置的特性、影像亮度的直方統計圖、累進機率函數所形成的面積大小以及影像中灰階值的標準差來獲得另外四個影像特徵的指標，接下來利用這四個特徵指標依照模糊推論的方法決定出影像是屬於曝光不足、曝光過度或是逆光；另外在影像補償階段，我們則提出一個合適的三次補償曲線去補償分類好的影像，這個補償曲線會依據偵測出來的影像類型去決定他的反曲點，藉由反曲點的設定可以有效並快速的補償影像的亮度。

經由實驗的證明，我們所提出的這個嶄新的演算法，無論是在分類或是補償上都能得到好的結果，因此它可以快速且正確的將影像的亮度做調整。最後我們將使用DSP來實踐我們所提出的演算法，我們將演算法放入DSP中執行，一張1024\*768的影像大約0.5秒就會偵測並且補償完成。

關鍵字：模糊理論、三次曲線、自動曝光和補償。

# Abstract

This project proposes the intelligent technique algorithm for solving of Auto-Exposure Problem. The proposed technique attacks the weakness of the conventional image processing methods such as over-saturation, losing contrast and so on. It consists of two operation phases: classification and compensation phases.

In the detection phase, we use the spatial position characteristic and histogram of image to obtain three image indices, which can determine the exposure degree of an image. Fuzzy inference is then used to integrate these three indices into a final determine index. In the compensation phase, we propose the adaptive compensation-curve scheme to compensate the brightness of different class images. The luminance of a typical image is adjusted according to the compensation curve, which is adapted dynamically according to the degree obtained by detection phase.

The performance of the proposed technique is tested in large database of images covering various kinds of typical images conditions and degrees. The experimental and comparison results clearly show the superiority of the proposed technique. And, we also implement our algorithm on DSP hardware and discovered that the time of implementation an image which has 1024\*768 resolutions is 0.5 second.

**Keywords:** Fuzzy inference, Cubic curve, Auto-exposure, Compensation

# 一.前言

在我們日常生活中，相機已然成為我們留下美好回憶時不可或缺的工具之一，同時隨著科技發展與時代的進步，數位相機已逐漸取代了傳統相機，雖然現今相關的數位產品已提供了許多強大簡單的功能，如:自動對焦、自動曝光、逆光補償和近物拍攝等，讓使用者可以簡單的上手。

但相信很多人出去玩時所拍攝回來的照片，通常還是會發現有幾張照片是曝光不足、曝光過度和逆光的影像，為了避免這樣的情形發生，我們想到一個研究的方向，關於影像整體品質的分類與補償的問題，而目前先進的相機中，都有所謂自動補償的功能，但是由於拍攝環境的不同，相機所提供的自動補償功能並無法完全解決全部的問題，而且解決這類問題就是本研究的方向。

## 二.研究目的

由於一般使用者也對拍攝環境與攝影技術的不瞭解，所以容易造成拍攝時整體亮度不足或是過度的情形，這就是曝光不足及曝光過度的影像，此外光線由拍攝主體後方照射過來白光勾畫出景物的邊緣，並與景物之間造成縱深感，使得拍攝主體產生亮度不足的情形，這也就是逆光的影像。

本研究希望提出一個新的快速解決方法，用來解決不同曝光的問題所產生的影像，首先藉由不同的影像特徵，將影像分類成曝光不足、曝光過度和逆光三大類，經由分類後，利用一個整合的方法來調整各種不同類型影像的亮度，同時也可以減少電腦計算時間的複雜度，另外在未來我們可以將他以硬體的方式來實踐並運用到各種數位的取像裝置上，改進各種不同曝光程度所產生的影像。

## 三.文獻探討

這個章節中，針對本研究所提出的二大部分進行相關文獻之探討，首先為分類的相關技術，因為常用到的分類方法有很多，所以我們針對目前常用到的相關分類方法進行探討及說明，其次為影像補償的方法，常用的彩色影像補償方法大致上可以分為在影像空間的強化及影像頻率域的強化二種，本研究所提出之補償方式較接近於影像空間強化的方式，

因此我們將針對此種方法進行文獻的探討與說明。

## 1. 分類方法

目前在分類的相關文獻非常的多，所以我們針對目前常用到的相關分類方法進行探討及說明，大致上可分為：

1. 決策樹(Decision Tree)
2. 類神經網路(Artificial Neural Networks, ANNs)
3. 分割式群組化演算法(Partition Clustering Methods)
4. 模糊理論(Fuzzy Logic)

## 2. 影像補償

一般常用的色彩影像強化(Color Image Enhancement)演算法有很多種，大致上可以分為在影像空間的強化及影像頻率域的強化二種，本研究所提出之補償方式較接近於影像空間強化的方式，因此我們將針對此種方法進行文獻的探討與說明：

R. C. Gonzalez[13]等人所提出空間的強化方式為直方圖均化處理，直方圖均化是一個簡單且基本的方法，它是將影像中各像素之灰階值以直方圖排列後，利用累積機率密度函數向直線逼近，因此處理後的直方圖灰階值較均勻，並增強影像的對比，但是使用直方圖均化法進行影像處理時，因將其中的灰階值均化，會把數個灰階值分佈較少的像素合併於一個新的灰階值中，因此影像的明暗對比雖然增大，但也損失了部份的資訊量，而且常常使影像過度強化，而針對這個問題Wen-Chung Kao [14]等人就曾提出以直方圖均化為基礎的演算法，進行影像亮度直方圖的高峰值均化調整，不過這個方法要是原始影像過度偏暗，經處理過後的影像將會變成明亮對比過大。

另外一種方式則是G. J. Braun [15]等人所提出S曲線對應增強法(Sigmoidal Contrast Enhancement Function)，主要是針對每一點像素點處理的方式，將輸入影像經過S曲線強化把整體亮度作線性的轉換後得到了較為清晰的輸出影像，因此影像的色階分佈也比原先均勻許多，對於影像的暗部以及亮部的描述增加，可以更清楚的識別出影像內容，像是利用S曲線強化配合上膚色的識別來進行影像亮度的修正[16][17]，但是這些方法因為利用膚色來進行識別，所以在沒有膚色的影像時，會產生修正上的錯誤，另外因為只是單純修正影像亮度的問題，並沒有考慮到影像的飽合度，所以在調整過後影像會產生色

調改變的問題，所以Guo Li [18]提出了以S曲線對應增強法調整亮度後，則使用調整後的亮度值進行新的影像飽合度求取，以改進以往單純只修正影像亮度的問題。

P. A. Mlsna所提出的對比延伸法[19]，是一種透過簡單的線性轉換方式，來調整影像階調的方法。目的在於根據輸入影像之內容，如針對Low-Key Image或High-Key Image做彈性調整，並增加輸出稿對比表現的範圍。首先將原稿以及複製稿的色階分別置於座標空間的X軸與Y軸，如果原始稿與複製稿完全相同，則可以在座標空間中畫出一條45度的直線，也就是一般所說的Tone Reproduction Curve (TRC)，若是要針對輸入稿，也就是原稿進行處理，則可以在階調複製曲線中增加節點，而藉由調整節點在座標空間的位置，則可以將輸入稿的階調延伸，以達到將輸入稿影像強化的作用。

### 3. 系統整體架構

因為在本研究中，主要是要分類曝光不足、曝光過度及逆光的影像，而在這三種影像各有不同的程度分別，所以我們經由參考相關的分類及補償文獻後，發現利用模糊理論來進行影像的分類，可以簡單的將這三種類型的影像分類出來，也可以了解所屬的程度值，另外在補償的部分，可以利用三次曲線來補償不同類型的影像，因此本研究提出一個新的快速解決方法，解決各種不同曝光問題所產生的影像，而系統的整體架構如圖 2.1 所示，它主要可以分成二個部份：影像的分類(Image classification)及影像的補償(Image compensation)。

首先在影像分類的方法有很多種，而最常被使用的是以影像的平均亮度來進行分類，但是單純以平均亮度來區分影像時，則無法完全正確的將各種類型的影像分類開來，因此在分類部分我們使用五種不同的影像特徵，這些特徵包含有影像的邊緣、影像的標準差、影像的空間特性、影像亮度的直方統計圖(Histogram)和經由累計機率函數(Cumulative Distribution Function, CDF)所形成的區域面積。

接下來在影像的補償部分，通常使用的影像補償方法有很多種，但是均是針對特定類型的影像來進行補償，並無一種整合型的方法來解決影像曝光所產生的問題(曝光不足、過度與逆光)，所以在本研究中發現利用以三次曲線為基礎的補償方法，藉由三次曲線不同的反曲點設定，如圖 2.1 所示。

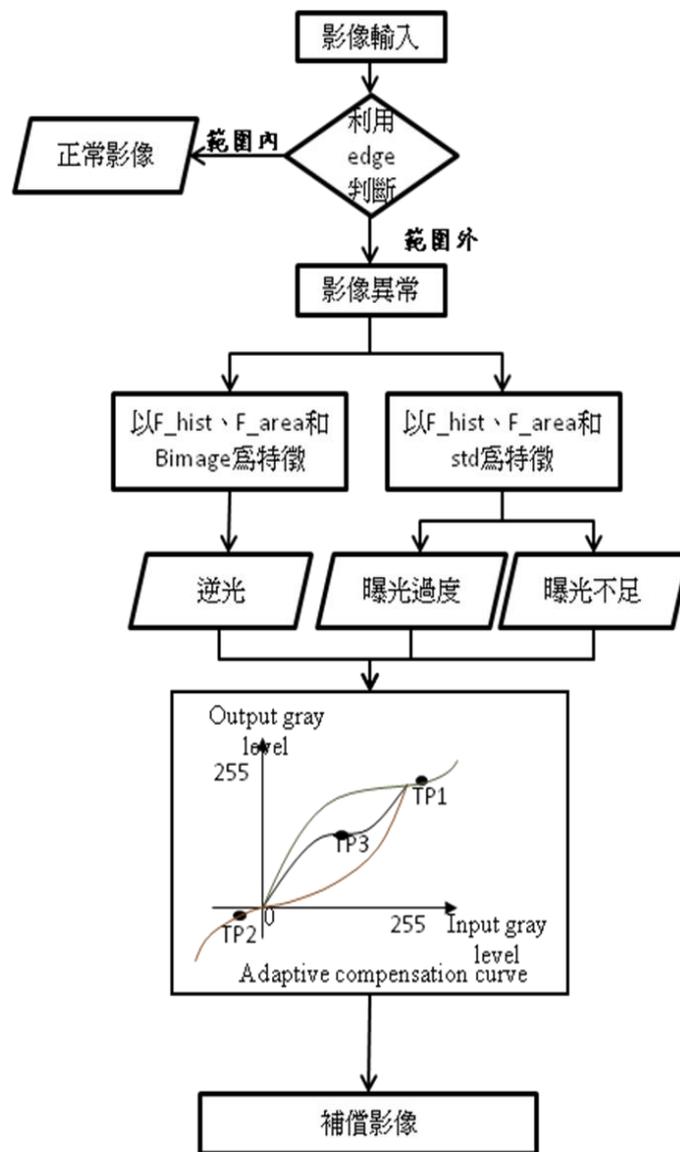


圖 2.1 系統流程圖

## 四.研究方法

### 1. 影像分類演算法:

一般來說使用者所拍攝出來的影像，大致上可以分成四類，有正常、曝光不足、曝光過度及逆光這幾種情形，而以往在分類這些影像時，最常使用的是單純的影像亮度，但是單靠這個影像的特徵是無法完全正確地將各類型的影像分類開來的，因此在影像分類的部份，本研究使用各種不同類型影像所產生的特徵為基礎進行模糊推論，將影像分類成三大類。

首先我們將影像轉換成灰階影像，之後經由影像處理中的 Sobel 邊緣偵測將邊緣數偵測出來，之後將觀察偵測出來的邊緣數我們發現，正常影像與其他三類影像之邊緣數

有著明顯的不同，所以我們將邊緣數列為第一個分類的特徵指標，藉以將正常影像與其他三類影像分類出來。

接下來我們觀察影像的亮度直方統計圖特徵，可以發現在逆光影像的亮度直方統計圖，在亮度表現上較為分散且可分成二大群，分別是影像中主體和背景的亮度，而曝光過度影像的亮度直方統計圖，在亮度表現上則是屬於偏亮，反之曝光不足影像的亮度直方統計圖，在亮度表現上則是屬於偏暗，所以我們觀查不同影像的亮度直方統計圖的特性後，因此我們將其分成三大區域，然後計算出每個區域的機率總合，利用不同區域的機率總合進行相減，將其計算好的值帶入我們定義好的成員函數  $Image_{F\_hist}(x)$  中，利用這個成員函數我們可以將此特徵分成 S(Small), M (Medium) and L (Large) 三種不同的程度，如此我們可以得到第一個判斷影像曝光不足和曝光過度的指標。

另外我們使用累計機率函數(Cumulative Distribution Function, CDF)做為第二個特徵抽取的依據，主要分成二個步驟進行，首先我們將影像亮度的直方統計圖 (i.e. PDF)轉換成 CDF，接下來將 CDF 所形成的區域看成圖形，計算出圖形的面積後，我們發現逆光影像在 CDF 圖形上所形成的區域大小上較為中等，而曝光過度影像所形成的區域較為小，另外曝光不足影像所形成的區域則較大，因此我們將所求出的面積大小帶入我們定義好的成員函數  $Image_{F\_area}(x)$  中，將形成的面積大小區分成 S, M 和 L 三種不同的程度，因此得到第二個特徵指標。

接下來我們利用空間特性當第三個特徵指標，通常我們在照相時會將主體放在影像的中間，如果影像是屬於逆光的話，主體的亮度是偏暗，背景的亮變則是偏亮，所以我們使用空間特性，分別計算出主體和背景的平均亮度，利用主體減背景的差值，帶入我們定義好的成員函數  $B_{image}(x)$  中，將此特徵區分成 S, M 和 L 三種不同的程度，因此得到第三個特徵指標。

我們的最後一個特徵指標則是特過簡單的數學運算得到的灰階值標準差，之所以會使用灰階值的標準差做為指標是因為我們發現當影像為曝光過度或曝光不足時，由於整體亮度的不同，影像的灰階值也會有所變化，而這些變化可以從灰階值的標準差看出來，並且這些變化更會隨著影像曝光程度的不同而變化，所以我們將其值帶入定義好的成員

函數  $Std(x)$  中，將此特徵分為 S, M 和 L 三種不同的程度，因此得到最後一個特徵指標。

在得到這四個特徵指標後，我們使用模糊推論的方法將影像分類，然而這四個特徵指標可以產生 81 條的規則，但是其中有 27 條的規則在實際的情形上是不會產生的，所以我們利用剩下的規則推論出影像是屬於曝光不足、曝光過度或是逆光，相關定義規則列舉幾項如下：

1. If F\_hist is S, F\_area is S, STD is S, and B\_image is S, then I<sub>oe</sub> is S.
2. If F\_hist is S, F\_area is S, STD is M, and B\_image is S, then I<sub>oe</sub> is M.
3. If F\_hist is S, F\_area is S, STD is L, and B\_image is S, then I<sub>oe</sub> is L.
4. If F\_hist is M, F\_area is M, STD is S, and B\_image is S, then I<sub>ue</sub> is S.
5. If F\_hist is M, F\_area is M, STD is M, and B\_image is S, then I<sub>ue</sub> is M.
6. If F\_hist is M, F\_area is M, STD is L, and B\_image is S, then I<sub>ue</sub> is L.
7. If F\_hist is L, F\_area is L, STD is S, and B\_image is S, then B<sub>hist</sub> is S.
8. If F\_hist is L, F\_area is L, STD is S, and B\_image is M, then B<sub>hist</sub> is M.
9. If F\_hist is L, F\_area is L, STD is S, and B\_image is L, then B<sub>hist</sub> is L.

接下來將所推論出來的類型，代入我們定義好的成員函數中，之後利用重心法解模糊化，將各別影像所屬類型的程度值及所需要的補償值計算出後，我們將獲得的補償值帶入補償階段中，決定補償曲線中的反曲點位置，藉此將影像中的亮度進行調整。

## 2. 影像亮度補償演算法:

在上述所提的分類階段中，我們可以從一張影像中得到不同類型的程度值及所需要的補償值，之後，我們利用分類階段所得到的補償值，我們提出了一個合適的補償曲線來調整影像的亮度，而這個合適的補償曲線如下圖 4.1 所示，由圖中可以看出這條合適的補償曲線中包含一個反曲點，透過反曲點的控制可以產生各種不同彎曲程度的曲線，因此我們利用決定補償曲線中反曲點的位置來補償的影像亮度。

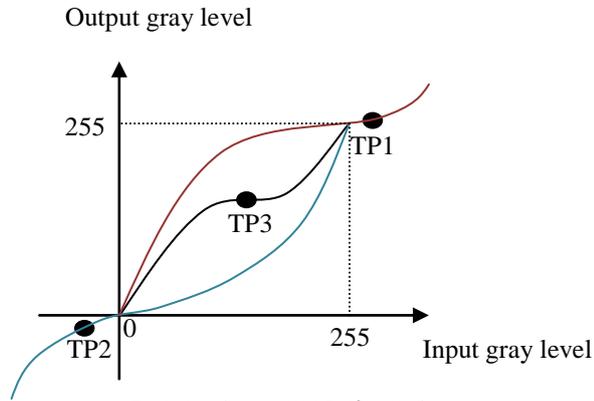


圖 4.1 合適的補償曲線

首先針對曝光不足的影像，我們依據偵測出影像不足的程度，將補償曲線的反曲點設定在  $255 + defuzzification(I_{UE}(x))$  的地方，如圖 4.1 中 TP1 所示，利用三次曲線所產生出來的特性，將影像中整體的亮度提高，而在曝光過度的部分，則依據影像過度的程度，將補償曲線的反曲點設定在  $0 - defuzzification(I_{OE}(x))$  的地方，如圖 4.1 中 TP2 所示，因此它能將影像的亮度降低，另外在逆光影像的部分，我們依據逆光程度將曲線點設定介於 0 和 255 之間，如圖 4.1 中 TP3 所示，將逆光影像中背景區域中的亮度保持不變，而主體區域中的亮度提高，因此可知藉由三次曲線的反曲點設定的位置，我們可以簡單快速和有效的補償各種不同類型影像的亮度。

## 五、結果與討論

### 1. 實驗結果

在影像分類部分，我們為了比較在不同的環境下分類的結果，所以我們影像中包含室外和室內不同的環境，經過我們所提議的分類方法分類後，我們將影像分類成曝光不足、曝光過度和逆光三大類，如圖 5.1 所示，藉由我們所定義好的成員函數進行模糊推論後，每個成員函數可分 S, M 和 L 三種不同的程度，分別計算出所屬影像的程度值後，藉由所屬影像的程度值我們可以得到在補償階段所需要的補償值來設定三次曲線反曲點的位置，如圖 5.2 所示，我們將原始影像經過分類後，利用不同反曲點的設定所得到的補償曲線去補償影像的亮度，在圖 5.2 中，我們分別將曝光不足、曝光過度和逆光的影像亮度的直方統計圖顯示出來，可以看到原始影像的亮度直方統計圖，經過不同的補償曲線補償過後所得到的結果，可以有效的將影像調整成正確的亮度。

	曝光過度	曝光不足	逆光
			
地點	室內	室內	室內
F_hist	-0.8369	0.9995	0.3019
F_area	28.65	222.98	162.32
B_image	19	12	50
Standard Deviation	49.91	18.89	92.79
Degree	Ioe=0.9	Iue=0.85	B <sub>hist</sub> =0.45
			
地點	室外	室外	室外
F_hist	-0.8723	0.9999	-0.1412
F_area	21.18	214.86	112.96
B_image	19	25	95
Standard Deviation	46.92	23.57	97.42
Degree	Ioe=0.75	Iue=0.9	B <sub>hist</sub> =0.8

圖 5.1 影像分類之特徵值

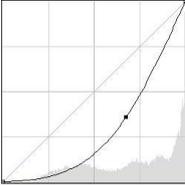
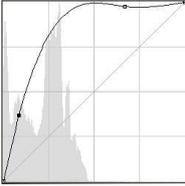
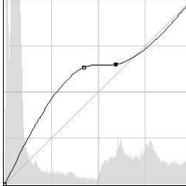
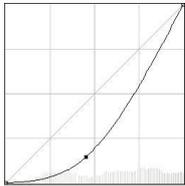
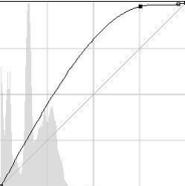
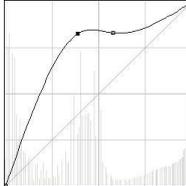
	曝光過度	曝光不足	逆光
原始影像			
補償曲線			
補償影像			
原始影像			
補償曲線			
補償影像			

圖 5.2 影像補償的曲線與補償結果

## 2. 演算法的硬體實踐

數位信號處理器已廣泛應用於通訊、控制、消費性電子、電腦週邊設備、儀表、醫學儀器和軍用電子設備等，為現代電子工程師最有用的利器。因此在本計劃將使用 DMA-DSP 2407 控制單板如圖 5.3 是以德州儀器所生產的數位信號處理器 DPS TMS320LF2407A 為基礎所設計的控制單板作為演算法之硬體實踐，他是用高效率的 CMOS 技術所製成的，以定點式(fix)的運算方式。它內部的程式記憶體分為 Flash ROM(LF240x)及 PROM(LC240x)。最適於學習、研發及商業成品用。

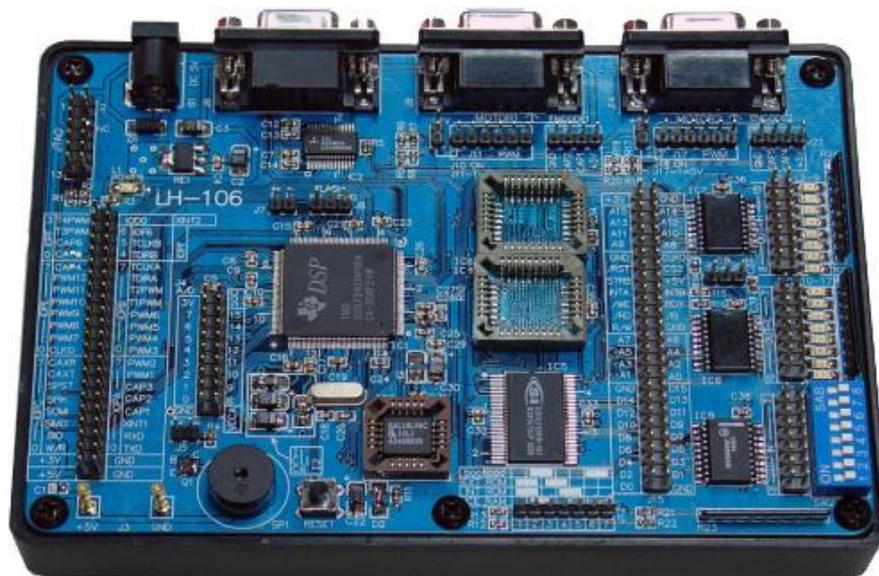


圖 5.3 DMA-DSP 2407 控制單板

另外，我們可以將寫好的程式，經過組譯，連結後，可由模擬器來做程式的除錯，顯示，修改及運行等操作。在硬體方面，保留 CPU 本身全部功能外，也在這塊控制器上規劃設計了 64K 程式記憶體及 64K 的資料記憶體混合組合，方便載入程式運行，除錯，也可直接將完成的程式碼置放在預先設計好的 IC 槽座上，達成獨立單晶控制器；而且更增加設計有串聯通訊介面 RS232，及兩組靈活的 MOTOR 接頭及兩組光學編碼器，可運用於單相及三相的伺服馬達介面，因此本計劃使用此 DSP 來實現我們所提出的演算法，經由實驗我們發現當我們的分類與補償的演算法放入次 DSP 中並執行一張 1024\*768 的影像時需要花費 0.5 秒的時間完成，這表示我們所發展的演算法還有進步的空間。

## 可供推廣之研發成果資料表

■ 可申請專利

■ 可技術移轉

日期：98年10月30日

<b>國科會補助計畫</b>	計畫名稱：以 DSP 實現數位影像自動曝光分類與補償系統 計畫主持人：秦群立 計畫編號：NSC 97-2218-E-040-002- 學門領域：影像處理
<b>技術/創作名稱</b>	數位影像自動曝光分類與補償演算法
<b>發明人/創作人</b>	秦群立
<b>技術說明</b>	<p>中文： 在分類階段中，我們會先利用邊緣偵測找出邊緣，並利用邊緣數來做為第一個特徵將影像區分為正常影像以及不正常影像，接著我們使用空間位置的特性、影像亮度的直方統計圖、累進機率函數所形成的面積大小以及影像中灰階值的標準差來獲得另外四個影像特徵的指標，接下來利用這四個特徵指標依照模糊推論的方法決定出影像是屬於曝光不足、曝光過度或是逆光；另外在影像補償階段，我們則提出一個合適的三次補償曲線去補償分類好的影像，這個補償曲線會依據偵測出來的影像類型去決定他的反曲點，藉由反曲點的設定可以有效並快速的補償影像的亮度。</p> <p>英文： In the detection phase, we use the spatial position characteristic and histogram of image to obtain three image indices, which can determine the exposure degree of an image. Fuzzy inference is then used to integrate these three indices into a final determine index. In the compensation phase, we propose the adaptive compensation-curve scheme to compensate the brightness of different class images. The luminance of a typical image is adjusted according to the compensation curve, which is adapted dynamically according to the degree obtained by detection phase.</p>
<b>可利用之產業 及 可開發之產品</b>	數位相機、數位攝影機、數位取像裝置與輸出裝置之相關產品
<b>技術特點</b>	運算簡單，適合在硬體上實踐

推廣及運用的價值	能增加現今數位取像裝置的分類與補償能力，帶來更多的收益。
----------	------------------------------