

國 立 中 央 大 學

資 訊 工 程 研 究 所
碩 士 論 文

利用局部可適性法則改良經驗模態分解法以去
除不良光影

A modified EMD method using the local adaptation strategy and
its application to non-uniform illumination removal

研 究 生：葉 宜 益

指 導 教 授：范 國 清 博 士

溫 敏 澄 博 士

中 華 民 國 一 百 年 六 月

摘要

本論文利用經驗模態分解法(Empirical Mode Decomposition , EMD)原理，提出一個影像光場估測與矯正的方法 AEMD(Adaptive EMD)以解決相機取像影像上的不良光影響；與 EMD 不同的是本論文不需要 IMF 訊號的抽取與下包絡線 (Min-Envelope) 和 均值包絡線 (Mean-Envelope) 計算，只需考慮上包絡線 (Max-Envelope) 計算得到光場描述。本系統主要分成三個部分：1.原始影像光場運算、2. 調整光場描述、3.光影移除。

第一部分:我們首先以一維的方式對輸入灰階值訊號，以最小平方近似法求得上包絡線。第二部分：經由上包絡線的分佈與特徵找出原始訊號光場差最大的點當做分段點並分割原始訊號，之後分別對每段訊號重新做最小平方近似法運算，求得新的局部可適性上包絡線，也就是較佳的光場描述。第三部分:以光場強度來設定對比度並強化灰階值訊號，根據不同光場類型求取影像調整對比度，之後調整灰階值做光影的移除。

實驗證明，本論文的方法對於曝光過度、陰影、反光與透光的文件影像處理都有不錯的效果，在處理的時間上不僅遠遠勝過 EMD，且對文字辨識也可達到與傳統的 EMD 方法相同的效果。

另外針對彩色影像，可適性包絡線的求取改採以三角內插法(Triangle Linear Interpolation)來完成，並對色彩空間中亮度(value)分量進行調整，以保留彩色連續性特質，實驗結果對不良光影移除亦有時顯著的效果。

Abstract

In this thesis, we focus on solving the problem of uneven light effect on document images. A method based on EMD theorem is proposed to estimate and rectify the light-field. Our proposed method does not need to extract the IMF signal and only need to consider the max-envelope instead of all envelopes and residue function in EMD to obtain the light-field distributions of images. Our system consists of three parts including max-envelope calculation, light-field distribution adjustment, and signal scale adjustment.

In the first part, we first use fast method, least-squares approximation, to find max-envelope form input signal scale via one dimensional way. In the second part, we observe the distributions of max-envelope and signal to find the max differential point between light-fields as the cut points. Then, segment the signal by the cut points and calculate local max-envelopes to obtain closer light-field distribution of original signal. In the third part, we will set the contrast value depending on light-field intensity and enhance the gray scale signal. The contrast value will be fixed if it is an over-exposure signal. Last, enhance gray scale signal by contrast value and finally adjust the enhanced gray scale.

Experimental results show that our method exhibits good outcome about removing over-exposure, shadow, reflection and back-light effects on document images. Besides, the execution time is much faster than EMD and the recognition result can achieve the same efficiency of EMD method.

As to the color image uneven light-field effect, we calculate the max-envelope by “Triangle Linear Interpolation”, and adjust the value-element (V of HSV color system) to conserve the property of continuous color information. Experimental results demonstrate that our proposed method performs well on color images too.

目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	III
附圖目錄	V
附表目錄	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.1.1 應用取像	1
1.1.2 相機取像之文字辨識	2
1.2 文獻探討	3
1.3 系統架構	5
1.4 論文架構	7
第二章 經驗模態分解法(EMD)	8
2.1 EMD 介紹	8
2.2 EMD 演算法	10
2.3 EMD 範例	14
第三章 可適性 EMD(Adaptive EMD)	22
3.1 影像光場與 EMD 包絡線關係	22
3.2 上包絡線逼近與光場分析	26
3.2.1 最小平方近似法	26
3.2.2 同一光場分布的包絡線分析	29
3.2.3 不同光場分布的分析	31
3.3 AEMD	33
3.3.1 偏離區間與分段點	33
3.3.2 分段點區域與分段點數	35
3.3.3 AEMD 流程	39
3.4 ABEMD	46
3.4.1 三角形內插法(Triangle Linear Interpolation)	46
3.4.2 上包絡面調整	47
第四章 AEMD 在光場矯正上的應用	49
4.1 曝光過度文字影像的判斷與對比度選取	50
4.2 非曝光過度對比度選取	51
4.3 文字影像光影矯正	52
4.3.1 強化灰階值對比	52
4.3.2 光影去除	55

4.4 彩色影像光影去除.....	56
第五章 實驗結果.....	58
5.1 文件影像不同光影影響實驗結果	58
5.1.1 實驗設備與環境.....	58
5.1.2 不同的文件影像光影去除	58
5.1.3 辨識率與時間比較.....	68
5.2 實驗五：彩色影像.....	70
第六章 結論與未來工作	73
參考文獻	74

附圖目錄

圖 1-1 各種光影問題影像	2
圖 2-1 IMF 訊號	10
圖 2-2 EMD 演算法流程圖	11
圖 2-3 立方雲線(cubic spline)示意圖	13
圖 2-4 受光影影響的文件影像	14
圖 2-5 原始灰階值輸入訊號(圖 2-4 第 112 列).....	14
圖 2-6 上包絡線與下包絡線	15
圖 2-7 原始輸入訊號與均值包絡線.....	15
圖 2-8 第一個差值函數	16
圖 2-9 第一個差值函數均值包絡線。	16
圖 2-10 第二個差值函數	16
圖 2-11 第三個差值函數	17
圖 2-12 第四個差值函數	17
圖 2-13 圖 2-5 訊號的 IMF-1	18
圖 2-14 圖 2-5 訊號的 IMF-2	18
圖 2-15 圖 2-5 訊號的 IMF-3	18
圖 2-16 圖 2-5 訊號的 IMF-4	19
圖 2-17 圖 2-5 訊號的 IMF-5	19
圖 2-18 第一個餘數函數	19
圖 2-19 第二個餘數函數	20
圖 2-20 第三個餘數函數	20
圖 2-21 第四個餘數函數	20
圖 2-22 第五個餘數函數	21
圖 3-1 範例影像.....	23
圖 3-2 圖 3-1 第 217 列灰階訊號的上包絡線	24
圖 3-3 圖 3-1 第 228 列灰階訊號的上包絡線	24
圖 3-4 圖 3-1 第 217 列與 228 列上包絡線	24
圖 3-5 圖 3-1 第 217 列與 218 列下包絡線	25
圖 3-6 圖 3-1 第 217 列與 218 列均值包絡線	25
圖 3-7 上包絡線超越量	26
圖 3-8 三次最小平方近似法示意圖	27
圖 3-9 投影示意圖	28
圖 3-10 圖 3-1 第 217 列灰階值與上包絡線	30
圖 3-11 圖 3-1 第 228 列灰階值與上包絡線	30

圖 3-12 圖 3-1 第 217 列與 228 列上包絡線	31
圖 3-13 反光灰階訊號與上包絡線	31
圖 3-14 曝光過度灰階值與上包絡線	32
圖 3-15 光影斷層的偏離區間	33
圖 3-16 多段偏離區間與分段點選擇	34
圖 3-17 新偏離區間	35
圖 3-18 劇烈光影變化灰階值與上包絡線	36
圖 3-19 上包絡線無極點且具有光影變化	37
圖 3-20 上包絡線有 1 個極點	38
圖 3-21 上包絡線有 2 個極點	38
圖 3-22 AEMD 流程圖	39
圖 3-23 AEMD 流程範例影像	40
圖 3-24 AEMD 流程一 圖 3-23 第 186 列輸入訊號與灰階訊號	40
圖 3-25 AEMD 流程一 考慮找尋分段點的訊號範圍	41
圖 3-26 AEMD 流程一 偏離區間	41
圖 3-27 AEMD 流程一 決定分段點	42
圖 3-28 AEMD 流程一 局部上包絡線計算	42
圖 3-29 AEMD 流程一 光場影像	43
圖 3-30 AEMD 無前景文字影響之光場描述	44
圖 3-31 反光影像與光場	44
圖 3-32 曝光過度影像與光場	45
圖 3-33 ABEMD 流程圖	46
圖 4-1 灰階影像訊號擷取	49
圖 4-2 AEMD 文件影像系統流程	50
圖 4-3 對比度設定示意圖	52
圖 4-4 對比度調整公式 Eq.4-2 示意圖	53
圖 4-5 對比度矯正遮罩 Eq.4-3 示意圖	53
圖 4-6 以矯正遮罩強化對比	54
圖 4-7 灰階值調整基準	54
圖 4-8 灰階值調整 Eq.4-7 示意圖	55
圖 4-9 彩色影像 ABEMD 流程	56
圖 5-1 曝光過度英文文件影像實驗結果	59
圖 5-2 曝光過度中文文件影像與實驗結果	60
圖 5-3 陰影影響的英文文件影像與實驗結果	62
圖 5-4 劇烈光影變化影像實驗結果	63
圖 5-5 英文文件反光影像實驗結果	64
圖 5-6 受反光影影響的文件影像與實驗結果	65
圖 5-7 英文字透光文件影像與實驗結果	66

圖 5-8 中文字透光文件影像與實驗結果	67
圖 5-9 EMD 與 AEMD 時間成長比較	70
圖 5-10 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 1	70
圖 5-11 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 2	71
圖 5-12 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 3	71
圖 5-13 ABEMD 陰影去除	72

附表目錄

表 4-1 對比度設定對應表	51
表 5-1 英文文件影像辨識率	68
表 5-2 中文文件影像辨識率	69
表 5-3 時間效能比較	69

第一章 緒論

1.1 研究動機

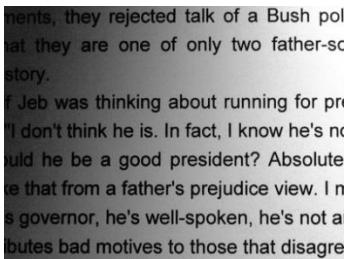
1.1.1 應用取像

過去取像的方法，大多是用傳統的掃描影像裝置所取得，這種掃描裝置不僅設備笨重且取像時間較長，照成諸多不便；而科技的進步使得電子產品的樣式越來越多，體積也越來越小，因而讓我們可以把取像功能的裝置帶在身上活動，不必受限於掃描器，如數位相機取像、網路攝影機取像、手機照相甚至近年來漸漸盛行的平板式電腦也有取像的功能，這些裝置帶給人們多元方便的取像方式。

但是相較於傳統掃描裝置取像時光源充足、機身穩定，這些便利的裝置取像時，卻容易遭受外在環境光線的干擾或無法掌握取像環境的光場強度，如圖 1-1 即是常見影像上因光線問題所造成的現象，包括(1)針孔成像：某些針孔式取像裝置因為硬體的關係，取像時雖然環境光場是均勻的，仍造成離鏡頭較遠的部分取像出來的結果光場較弱。(2)方向光：在三維空間中，取像目標受到單一方向的光源照射，造成取像目標的其他部位因此形成陰影。(3)陰影影響：取像面因為遮蔽物阻擋其他光源，造成取像結果光場強度不一的狀況。(4)反光問題：因為取像裝置與取像目標之間隔一層透明平滑面，平滑面容易倒映其他場景的像，取像後的結果也因而照成影響。(5)透光問題：常發生在文件影像上，因為在取像目標文件的背後有較強烈的光照，使得雙面列印文件的背面文字資訊顯露出來。(6)非共面光影影響：因為取像時是三維實景取像，所以取像目標不見得在同一個平面上，而現實世界的光源強弱不一且多方向，所以很可能造成不同平面的實景有不同受光的強度。(7)曝光過度問題：因為閃光燈或取像時間太長，造成影像每個點的灰階強度皆上升，而失去紋理與細節。這些光影影響不僅可能造成某些實景紋理的消失，應用在 OCR 辨識上效果也會大打折扣。



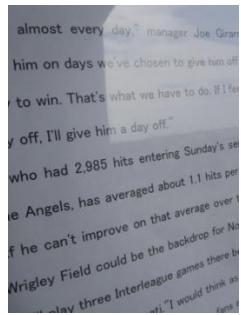
(a)



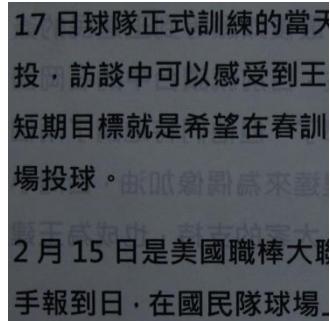
(b)



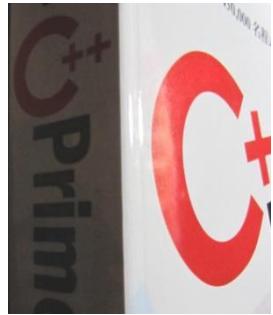
(C)



(d)



(e)



(f)

圖 1-1 各種光影問題影像。(a) 針孔成像。(b) 方向光。(c) 陰影影響。(d) 反光問題。(e) 透光問題。(f) 非共面光影影響。

1.1.2 相機取像之文字辨識

文字辨識（Optical Character Recognition，OCR）的技術從開始研究以來到現在，經過許多人不斷的改進與研究，技術已經慢慢成熟，而精確度也愈來越高，應用在我們的日常生活中也帶來許多便利，例如：圖形上的文字轉變成實際文字省去人工的打字時間、名片上的資料經過掃描後直接轉變成文字資料儲存...等，這些 OCR 的應用配合文字語音輸出、語言翻譯、資訊檢索產生更多元的應用。

然而，文字辨識系統做的再好，欲辨識的輸入影像的品質好壞卻也大大影響文字辨識的效果。基於這些理由，本論文針對受光影影響的影像，提出一個方法來解決光影問題。本論文提出基於經驗模態分解法(Empirical Mode Decomposition)的檢測矯正流程，以解決文件及影像光影不均勻的問題，期望達到快速有效解決光場對影像所造成的影響，並以文件的可辨識率作為處理透光、陰影、平滑面反射、以及曝光過度問題效能指標。

1.2 文獻探討

在自然界中，由於外在環境是我們無法預料與掌握的，取像時遇到不同光影影響的機會非常多，所以也有許多文獻對這方面問題做研究與解決。

最常見的光場偏暗現象，Pei and Chang[3]針對自然影像光影不足做亮度調升的色彩恆常性矯正，提出一個以基準的 RGB 值，運用 Von Kries mode 中的色適應公式對原始影像做光影的調整，達到光影矯正後影像低色偏現象且執行速度快的成果，但是演算法中必須手動決定閾值。Pei and Tzeng[4]使用二維經驗模態分解法(BEMD)解決彩色影像光影不足問題，但是二維內插與經驗模態分解法本身皆需耗比較大的計算量。

我們也常遇到對一個場景或一個文件取像，取像目標與取像裝置之間隔了一層平滑面，造成不同場景影像的混合成一張混影影像，Farid 與 Adelson[5]描述如何運用獨立成分分析(Independent Components Analysis, ICA)，做數學上空間的旋轉，將混影影像分解成兩張不同場景的來源。Chen 與 Xu[6]不只針對混影問題做討論，也描述取像裝置經過非線性的轉換才成像，在影像分析與量化上可能會造成計算不精確的現象，所以他們使用 Kernel-ICA 來解決這些問題。但是 Farid 與 Chen 的方法均需要取得兩張以上影像進行分析才能獲得量好的效果。Chen and Chung[7]根據總變異量與影像邊的特性將影像的邊分成強邊與弱邊，再與模糊程度的資訊當做 Fuzzy 分類器的特徵來對原始影像做第一次分類，分類完的結果再加入區域的特性做調整，調整完的結果再加入由 Prewitt filter 所算出來的邊界資訊來做最後的分類。

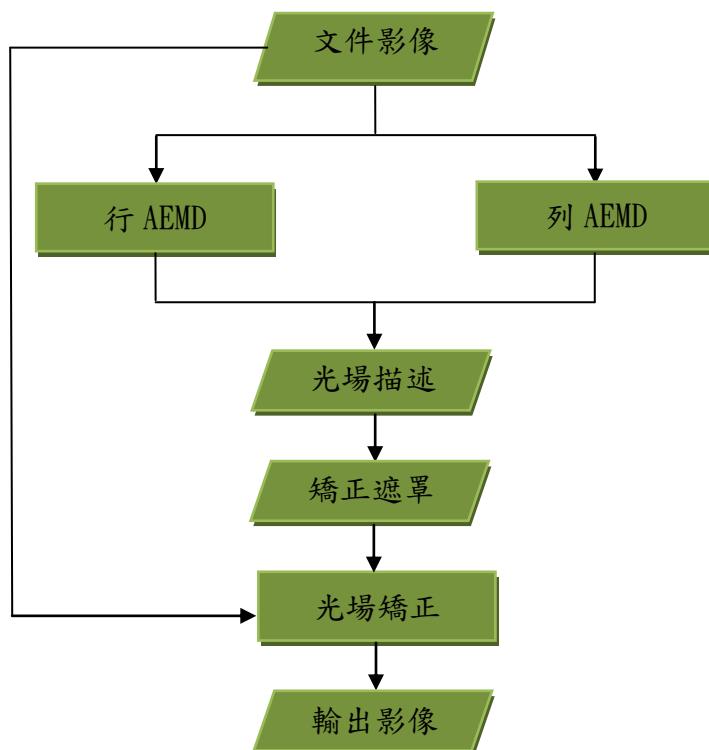
文件的光影問題其實是一般影像中的特例，Pei and Tzeng[4]也針對文件影像的不良光影影響進行研究，使用一維經驗模態分解法來解決，為了節省經驗模態分解法龐大計算量，只使用 3 次的 IMF 信號抽取，求得反射遮罩，同時提出一個增強對比的公式，來加深對比度。

在文件影像二值化方面 Chou and Chang[8]使用基於 Otsu 的方法，將一張影像分成 3×3 的子區塊，計算每個區塊的 4 個特徵值，將這些特徵值以 SVM 的方式分類，當一張影像輸入時，每個區塊經由訓練的結果判斷出各個區塊所需要的 Action，依照所得到的 Action 再求得相對應的 Otsu 閾值做二值化。Lu and Su[9]針對文字從背後滲透到取像面或是有髒汙的文件影像做二值化，首先用反覆式的多項式平滑化來求得背景面，並用此背景面與原圖做灰階值補償得到補償影像，對補償影像使用局部的影像變異算子求得文字邊緣，最後使用遮罩以局部的文字邊緣總量與補償影像值對每個點做二值化的分類。

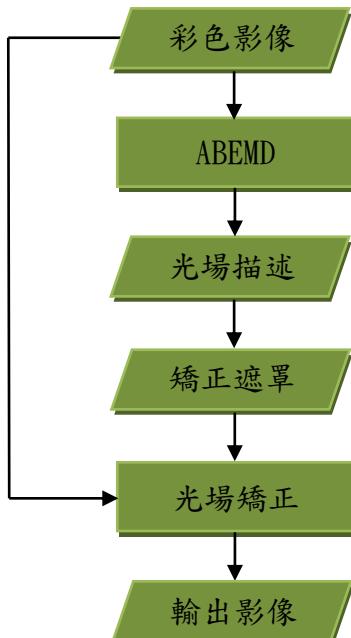
1.3 系統架構

本論文應用傳統經驗模態分解法(Empirical Mode Decomposition, EMD)的改良，提出可適性經驗模態分解法(Adaptive EMD, AEMD)所計算出來的上包絡線與原圖灰階值訊號之間的關係，判斷由最小平方近似法算出的光場(上包絡線)是否在符合原訊號實際的光場描述，若不符合，則再分段計算上包絡線求得較正確的光場描述與較合適的矯正遮罩，並應用在文件影像的光影去除上；同時也以二維 EMD(Bidimensional EMD, BEMD)的概念設計 ABEMD 對彩色影像計算光場分布以解決彩色影像光影不均的問題。

系統流程如圖 1-2，在文件影像的處理上，首先分別以列與行方向的方式經 AEMD 求出文件影像正確的平均光場描述，並調整光場描述得到我們在光影移除上的矯正遮罩，並將矯正遮罩與原始影像作光影的去除，得到光影去除後的文件影像。在彩色影像的處理上，首先對彩色影像轉為 HSV 色彩空間，並對 V 平面做 ABEMD 求得光場描述，並且對光場描述做調整得到光影去除的矯正遮罩，然後依矯正遮罩與原始 V 平面做彩色影像灰階強度上的調整，並與從原始影像保留的 H 與 S 平面資訊轉回 RGB 色彩空間，得到光影去除的彩色影像。



(a)



(b)

圖 1-2 系統流程圖。(a)文件影像光影去除。(b)彩色影像光影去除。

1.4 論文架構

本論文主要分五個章節，各章節的內容如下：第一章介紹本論文的研究動機、相關的文獻探討、本研究的系統流程與論文架構；第二章介紹經驗模態分解法（Empirical Mode Decomposition ,EMD）原理，並用實際例子說明經驗模態分解法的分解流程；第三章詳細說明本研究如何計算上包絡線並做適合的調整以求得正確的影像光場描述；第四章說明 AEMD 在文件影像與 ABEMD 在彩色影像光場矯正上的應用；第五章針對不同光影影響的影像使用本研究的方法(Adaptive EMD)與 EMD 方法的效果與時間效能的比較，並將各方法的輸出結果使用辨識軟體比較辨識率；第五章總結本研究提出的方法與未來工作。

第二章 經驗模態分解法(EMD)

本章節先介紹傳統經驗模態分解法(Empirical Mode Decomposition ,EMD)的原理、演算法、以及舉實際影像的例子來描述分解過程，以增加對經驗模態分解法的認識。

2.1 EMD 介紹

訊號分解在數位訊號處理裡有極重要的價值，由一組基底訊號組合來表示輸入訊號，可以應用在資訊分析、資料壓縮等各種應用。

最著名的訊號分解法傅立葉分析法(Fourier Analysis)，則固定採用三角函數(正弦函數或餘弦函數)做為基底函數，將欲分析的訊號表示成三角函數的線性疊加，並假設輸入訊號滿足線性疊加。而在大自然中的訊號，大多數的訊號都是非線性(non-linear)、非穩態(non-stationary) 的複雜訊號，「非線性」意思是輸入訊號與輸出訊號不成一個比例關係；「非穩態」是指訊號的平均無法表示出訊號的潛藏意義，在自然界中取得的訊息也往往包含或多或少的雜訊，而傅立葉轉換也因為有一些不合理的限制於其欲處理的訊號之特性，譬如訊號必須為線性、穩態，或是最少有一個完整的正弦波或餘弦波震動週期來定義局部頻率值，所以對於大部分的自然訊號，無法處理得很好，

華人科學家黃鍔博士(Dr. Norden Huang)在美國航太暨太空總署(NASA)工作時，研發出一種新的訊號分析的方法 EMD (Empirical Mode Decomposition) [1]。並在 1998 年正式在英國皇家學會(The Royal Society)的期刊上(Proc. R. Soc. London A ,1998) 發表以經驗模態分解法(EMD)為基礎的希爾伯特－黃轉換(Hilbert-Huang Transform ,HHT)[2]。

目前廣泛應用於影像處理、語音訊號、生醫訊號處理、地震訊號、結構損傷檢測、機械元件檢測、氣候分析...等多種領域，應用範圍可看出此方法的成就與

備受學界的肯定。

EMD 是用於訊號的分解，EMD 不需事先定義基底函數，而是根據訊號本身的特性(局部極大值與局部及小值)將訊號從高頻至低頻分解成許多個內建模態函數(Intrinsic Mode Function ,IMF)分量，使得訊號可以被表示成多個 IMF 函數與一個餘數函數(residue)的線性疊加，便利用希爾伯特轉換求出 IMF 的瞬時頻率及振幅，以觀察瞬時變化，而這個抽取 IMF 函數的過程稱為「shifting process」。所以基底函數的產生就是 EMD 與傅立葉分析最大的不同處。總而言之，EMD 對於複雜訊號有很好的解析。

EMD 除了原本一維的訊號解析，目前更被進一步延伸到二維 EMD[10]稱作 BEMD(Bidimensional Empirical Mode Decompositions)，與一維 EMD 相比，其演算法只差在(1)尋找極值點的方式是以 2 維的 mask 找尋極值，(2)極值點間的內插函數以 2 維的曲面內插來完成。

內建模態函數(Intrinsic Mode Function ,IMF)

EMD 使用內建模態函數 IMFs 作為分解訊號的基底而具有意義的瞬時頻率(Instantaneous Frequency)的定義，須滿足二項限制：(1)函數相對於局部零均值(local zero mean)為對稱，(2)跨零點(zero-cross)與極值(extrema)具有相同數量。為了使 EMD 解析出來的 IMF 分量都滿足上述限制條件，我們定義產生 IMFs 的限制條件如下：

- (1) 訊號中，極值(局部極大值與局部極小值)的數目總和與訊號跨零點的數目必須相等或是最多差一。
- (2) 局部極大值包絡線(maximum envelope)及極小值包絡線(minimum envelope)在訊號任一點其兩者平均也就是均值包絡線(mean envelope)其值為零的常數函數。

在上述兩個限制條件中，第一個條件類似傳統平穩高斯過程(stationary Gaussian process)之窄頻寬的要求。第二個條件為將整體性的要求轉變為局部性的要求。

分析訊號的過程中，針對非平穩性的訊號方面，局部均值需要有一個局部的時間尺度(local time scale)定義，但尋找局部時間尺度非常困難。為了達到此要求，使用局部極大值所定義的極大值包絡線及局部極小值所定義的極小值包絡線強迫局部對稱，這是一種對信號可分析的必要近似。如圖 2-1 為典型的 IMF，橫軸為取樣點，縱軸為訊號值。

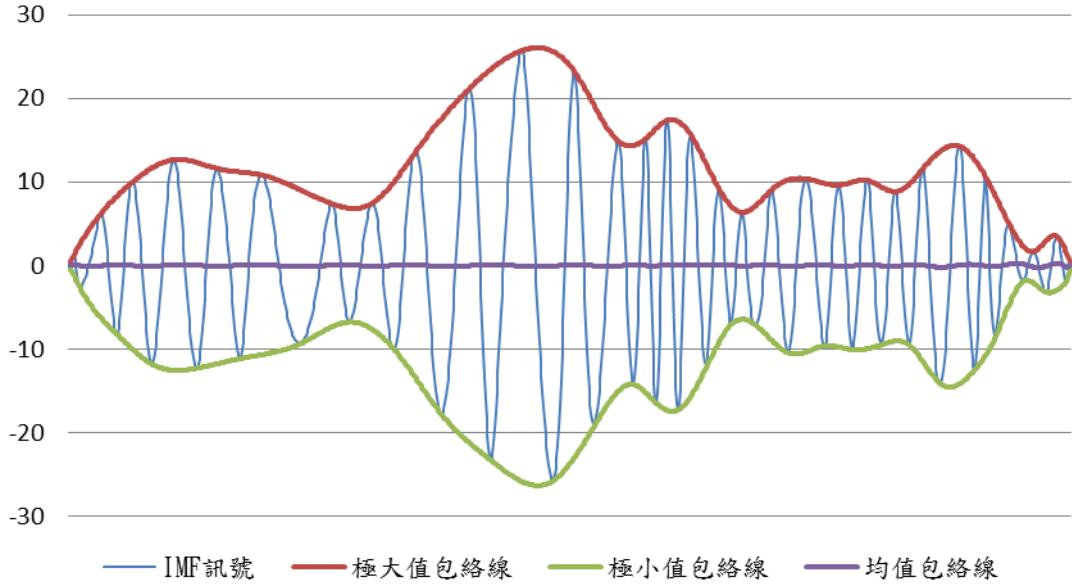


圖 2-1 IMF 訊號

2.2 EMD 演算法

建立 IMF 是為了滿足希爾伯特轉換對於瞬時頻率限制條件之前置處理，同時也是一種訊號轉換的過程。使用 IMF 來做希爾伯特轉換可以得到良好的特性，不幸的是大部分的資料並不符合 IMF 的限制。如此一來，希爾伯特轉換並不能得到正確的瞬時頻率，當然也無法準確的分析資料。為了解決非線性(non-linear)與非穩態(non-stationary)資料在分解成 IMF 時所遇到的困難，黃鍔博士...等提出 EMD 演算法。圖 2-2 為 EMD 的演算法流程圖：

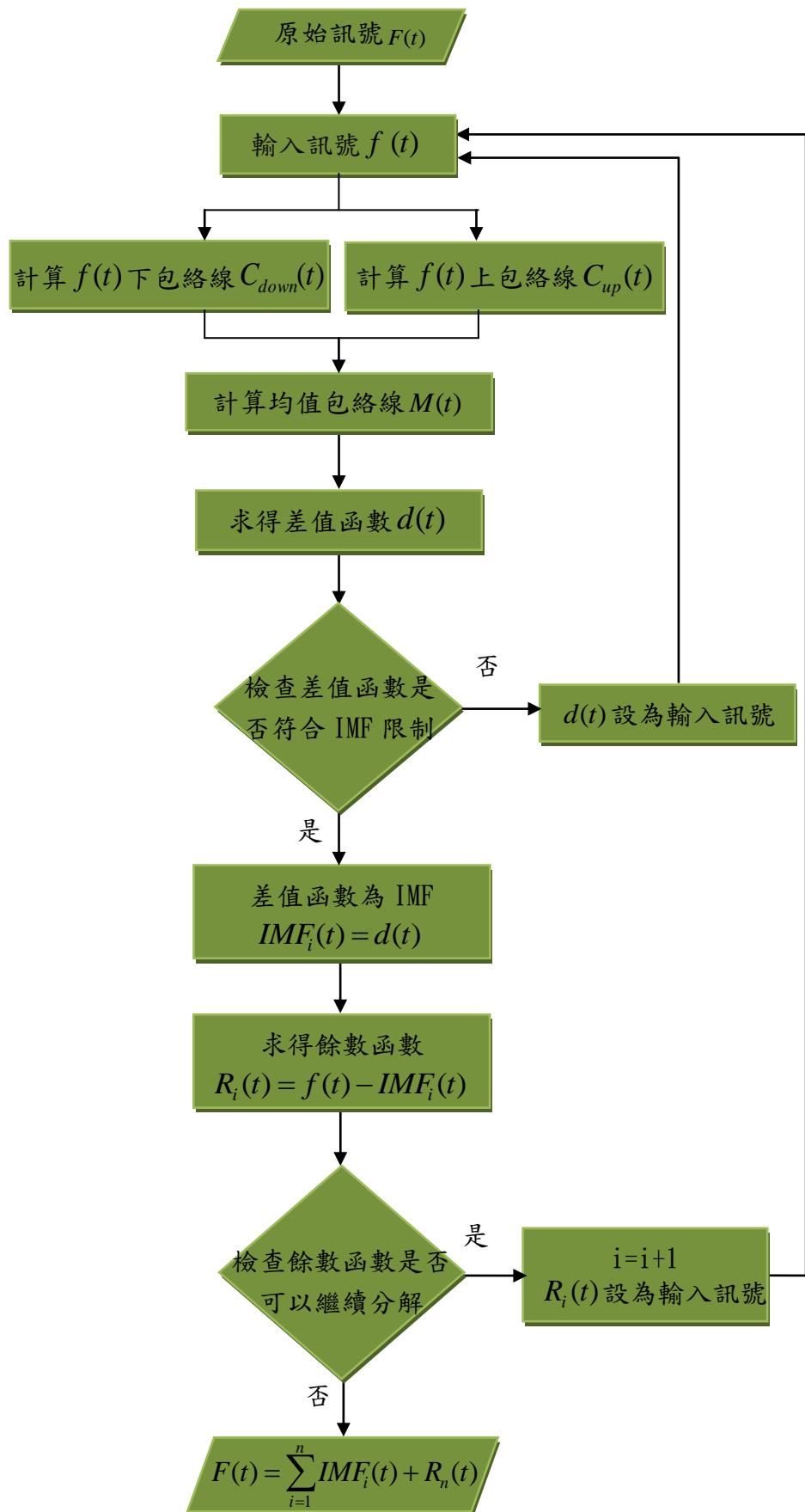


圖 2-2 EMD 演算法流程圖

輸入：原始訊號 $F(t)$

$$\text{輸出} : F(t) = \sum_{i=1}^n IMF_i(t) + R_n(t)$$

令 i=1

[步驟一]輸入訊號

取得原始輸入值 $F(t)$ ，並將 $f(t)$ 的值設為 $F(t)$ 。

[步驟二] 計算均值包絡線(mean envelop)並且求得差值函數

(1) 尋找輸入訊號的局部極大值，並採用立方雲線(cubic spline)內插且將這些局部極大值連接起來，而得到上包絡線，並取名 $C_{up}(t)$ 。

(2) 尋找輸入訊號的局部極小值，同樣地採用立方雲線內插且將這些點連接起來，而得到下包絡線，並取名為 $C_{down}(t)$ 。

(3) 之後，再將上包絡線與下包絡線相加除以 2 得到均值包絡線(mean envelope)，取名為 $M(t)$ 。

$$M(t) = (C_{up}(t) + C_{down}(t)) \div 2 \quad (2-1)$$

(4) 將輸入訊號 $f_i(t)$ 與均值包絡線 $M(t)$ 做相減，得到差值函數(取名為 $d(t)$)。

$$d(t) = f_i(t) - M(t) \quad (2-2)$$

[步驟三]判斷差值函數 $d(t)$ 是否符合 IMF 限制

如果步驟二得到的差值函數不滿足 IMF 的限制，則把差值函數當作是新的輸入，回到步驟二繼續執行，直到差值函數符合 IMF 條件，再做步驟四。

if($d(t) \notin IMF$)

將 $d(t)$ 當作新輸入 $f_{k+1}(t) = d(t)$ 且回到步驟二 (2-3)

else

$$IMF_i(t) = d(t) \quad (2-4)$$

[步驟四] 將 IMF 從訊號中抽離並判斷餘數函數是否為單調函數

(1) 將輸入訊號減掉差值函數(屬於 IMF 訊號)，達成 IMF 訊號抽離的目的，

並得到餘數函數(residue function)，並命名為 $R_i(t)$ 。

$$R_i(t) = f(t) - IMF_i(t) \quad (2-5)$$

$$i = i + 1 \quad (2-6)$$

(2) 判斷餘數函數是否可以繼續被分解，如果可以將此階段的餘數函數當作是下一回合的新輸入訊號，回到步驟二繼續解析訊號

$$f(t) = R_i(t) \quad (2-7)$$

(3) 如果此餘數函數為單調函數(monotonic function)，則完成訊號的解析，而輸入訊號就可以被表示成 n 個 IMF 訊號與一個餘數函數的線性疊加：

$$F(t) = \sum_{i=1}^n IMF_i(t) + R_n(t) \quad (2-8)$$

其中，傳統 EMD 的包絡線是以立方雲線來表示，如圖 2-3，假設有 $n+1$ 個輸入點，欲計算這些點的立方雲線，就必須算出 n 條三次多項式來進行點與點之間的內插，而且由這些多個三次多項式所組成的線必須通過這 $n+1$ 個點。

$$G_i(x) = C_{0,i} + C_{1,i}X + C_{2,i}X^2 + C_{3,i}X^3 \quad (2-9)$$

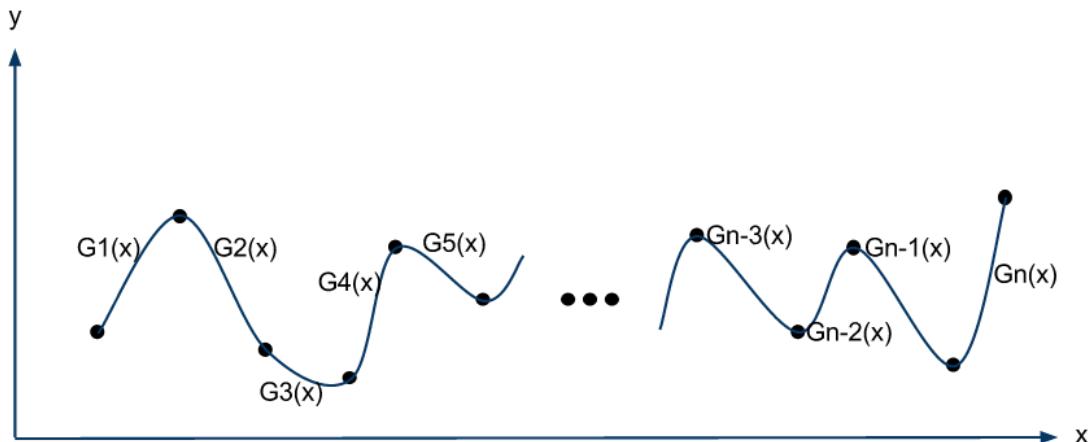


圖 2-3 立方雲線(cubic spline)示意圖

2.3 EMD 範例

我們用實際的影像灰階訊號來了解 EMD 的分解過程是如何的運作的。首先，如圖 2-4 為一受光影影響的文件影像，我們以該文件影像的灰階值為訊號做 EMD 分解，並且以第 112 列(綠色線處)來觀察 EMD 分解過程中的變化。

performed as governor, he's well-spoken, he's not an extremist, he's not a wild guy that attributes bad motives to those that disagree with him, and he's good. And people that know him and hear him say the same thing. I think the bottom line is, he just doesn't want to try, doesn't want to do it."

Both Bushes mentioned former Massachusetts Gov. Mitt Romney as a possible Republican contender for a likely race against incumbent President Barack Obama two years from now.

"He's a reasonable guy," George Bush said of Romney. "He's a conservative fellow, that's good. But no, I think he'd be a good president, a

圖 2-4 受光影影響的文件影像

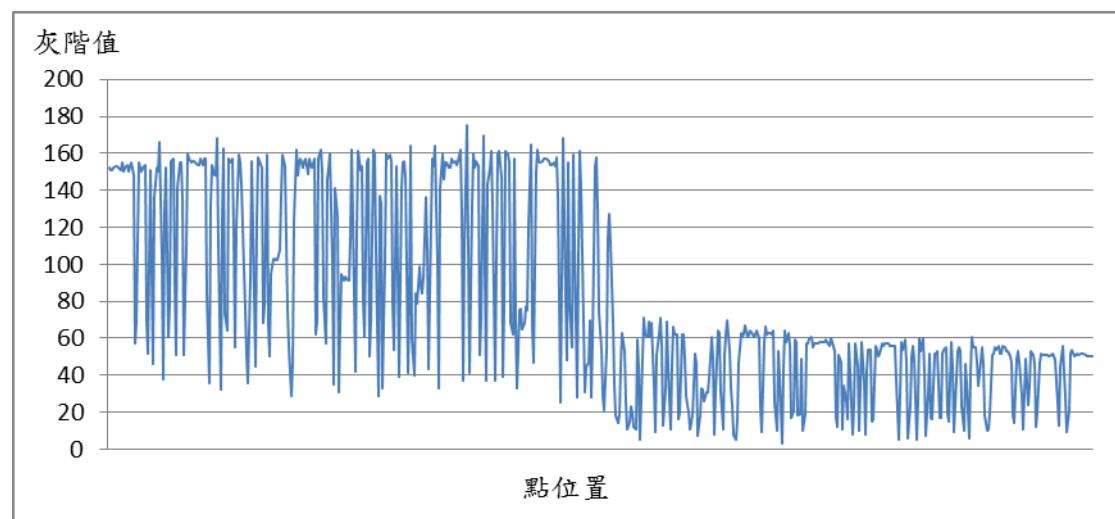


圖 2-5 原始灰階值輸入訊號(圖 2-4 第 112 列)

由圖 2-6 至圖 2-12 可看出在 EMD 分解過程中，隨著以差值函數進行均值包絡線的疊代計算，均值包絡線會漸漸趨近於零軸，直到疊代的差值函數符合 IMF 的限制時，該訊號即為 IMF 訊號，如圖 2-13 中藍色線為 EMD 分解中經過第 42 次疊代後所產生的第一個 IMF 訊號，上包絡線與下包絡線所平均的均值包絡線趨近於零軸，此時輸入訊號的極值數目與訊號過零點的數目只差 1。找到 IMF 訊號之後，保留其值，並且用原始輸入訊號減掉 IMF，得到餘數函數，如圖 2-18

為第一個餘數函數 $R_1(t)$ ，檢查餘數函數是否可繼續分解或是滿足設定的迴圈次數或終止條件，如果餘數函數可以繼續分解或未滿足終止條件，將餘數函數重新帶回步驟二，繼續分解。

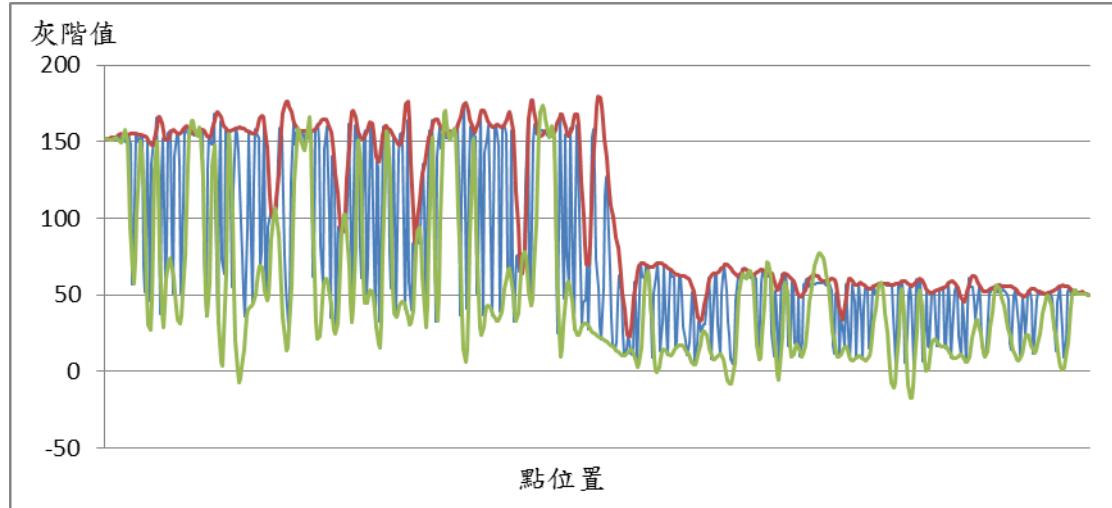


圖 2-6 上包絡線與下包絡線。紅色線為上包絡線。綠色線為下包絡線。

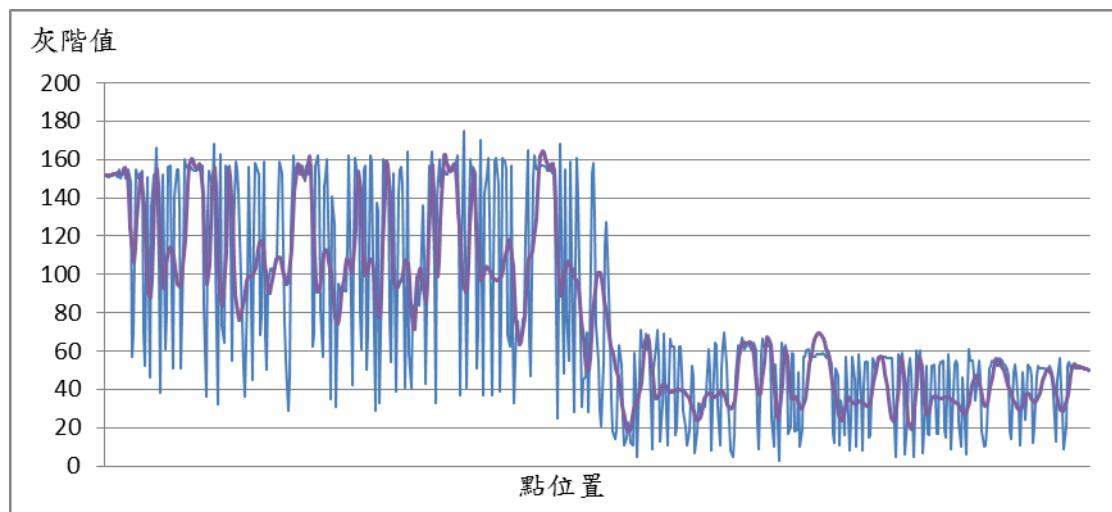


圖 2-7 原始輸入訊號與均值包絡線

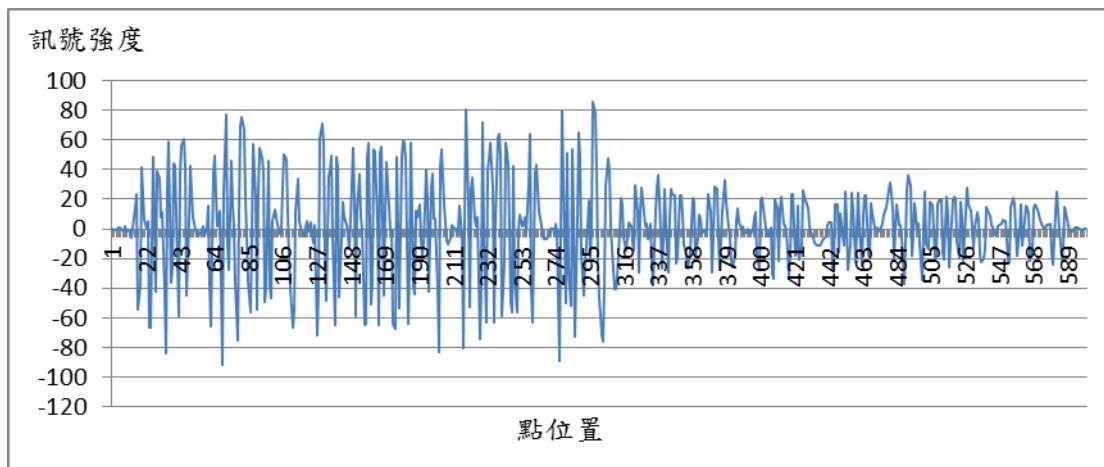


圖 2-8 第一個差值函數

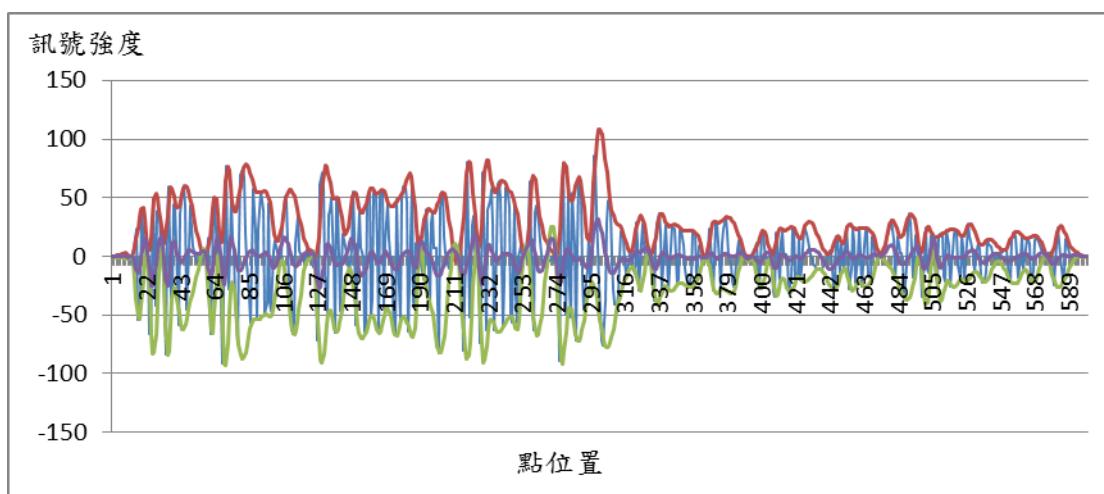


圖 2-9 第一個差值函數均值包絡線。

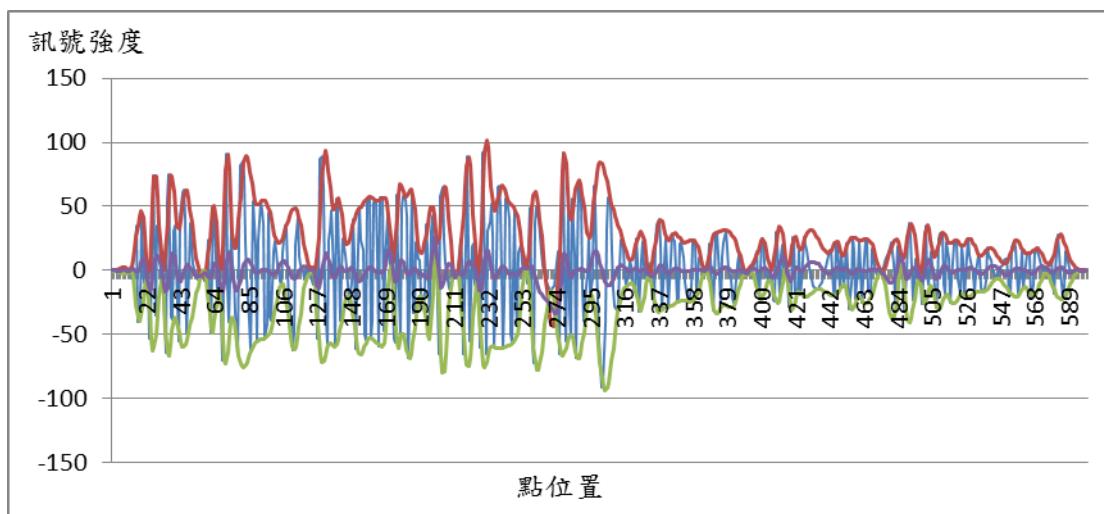


圖 2-10 第二個差值函數

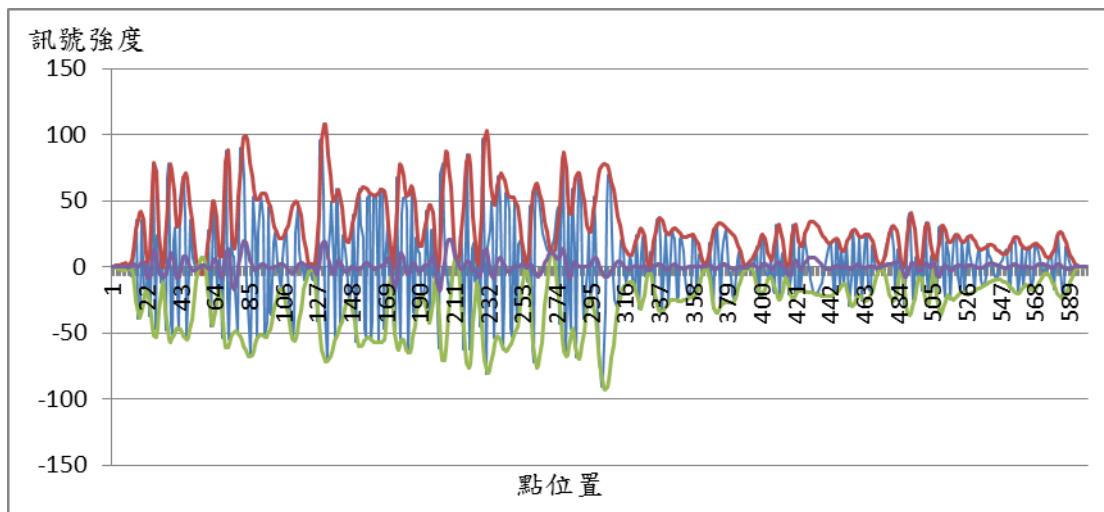


圖 2-11 第三個差值函數

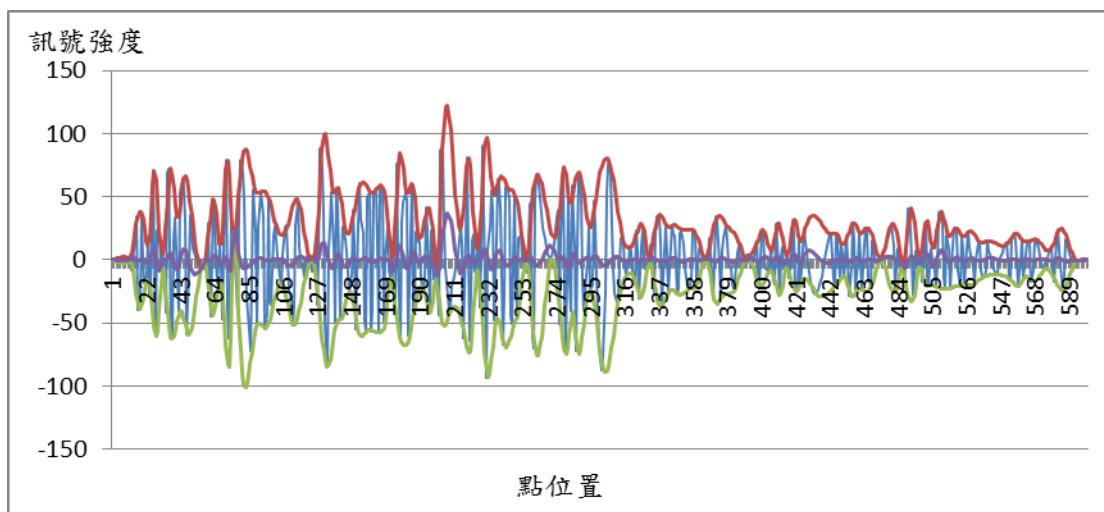


圖 2-12 第四個差值函數

由圖 2-13 至 圖 2-17 是 EMD 演算法所解析產生不同頻率的 IMF ($IMF_1 \sim IMF_5$)我們可以看出 EMD 先將頻率高的 IMF 訊號分解出來，再漸漸將低頻 IMF 訊號分解出來，而且 IMF 值的能量範圍也慢慢縮小。再觀察圖 2-18 至 圖 2-22 中的橘色線，原始訊號抽離 IMF 訊號後的餘數函數(residue function)的變化情形，可以看出餘數函數漸漸平緩，頻率也慢慢變小。

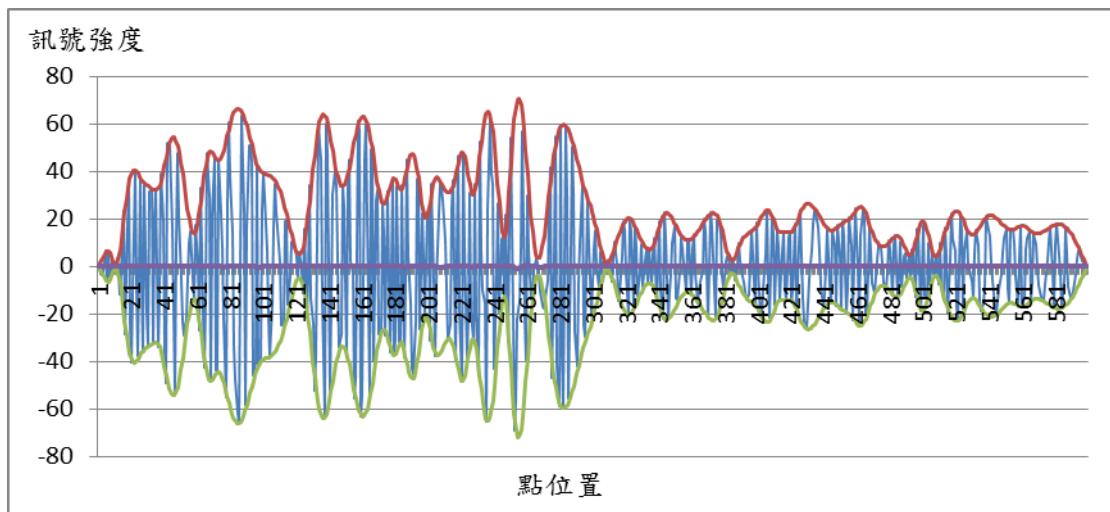


圖 2-13 圖 2-5 訊號的 IMF-1

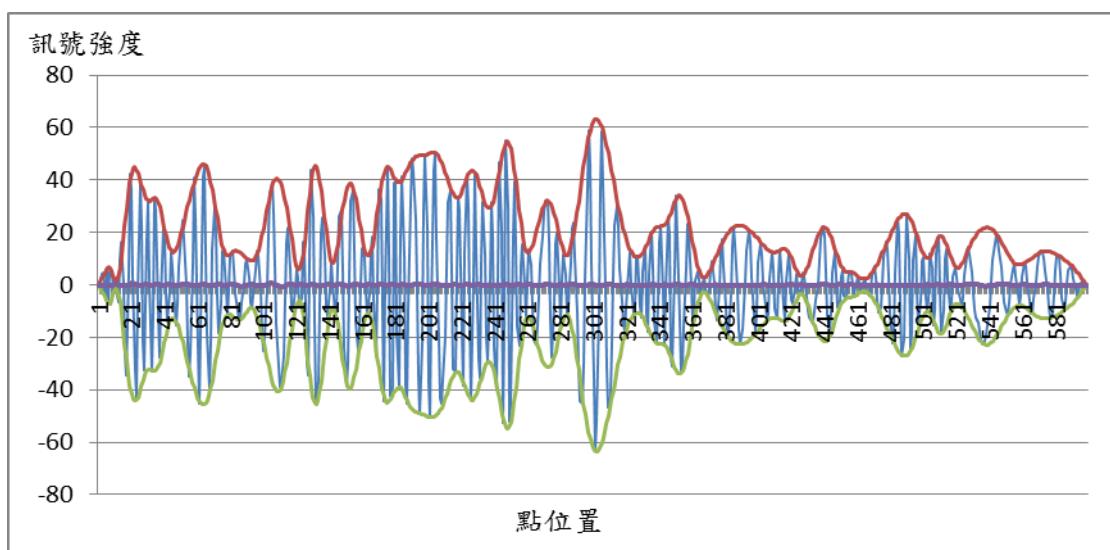


圖 2-14 圖 2-5 訊號的 IMF-2

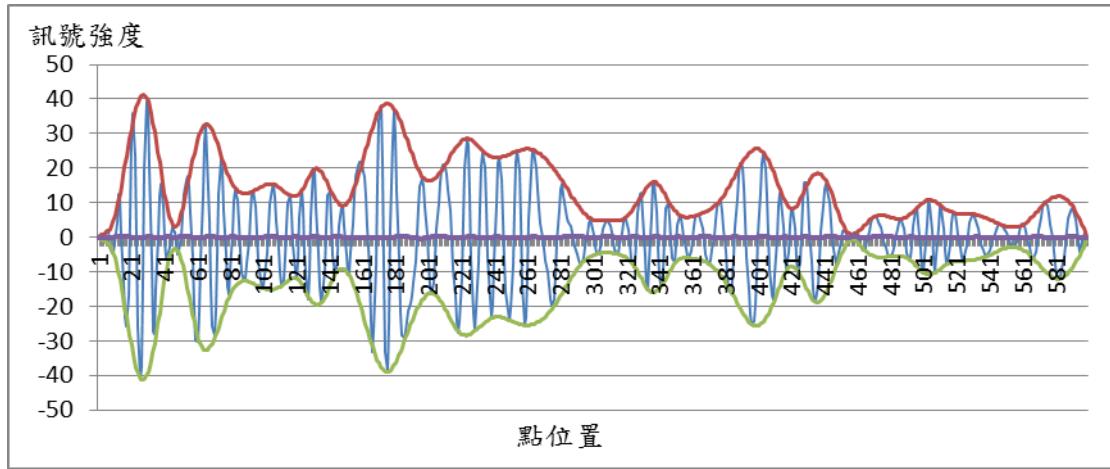


圖 2-15 圖 2-5 訊號的 IMF-3

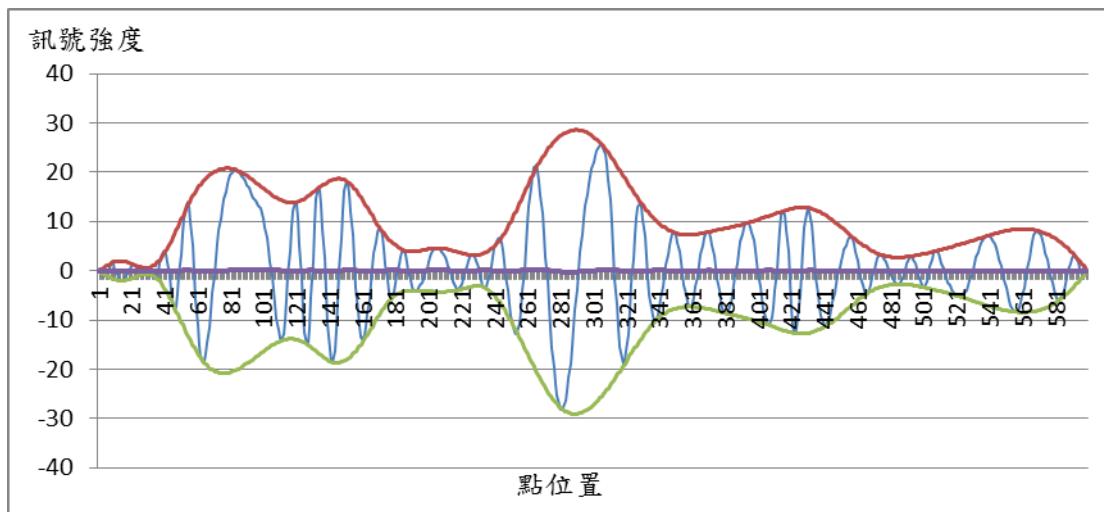


圖 2-16 圖 2-5 訊號的 IMF-4

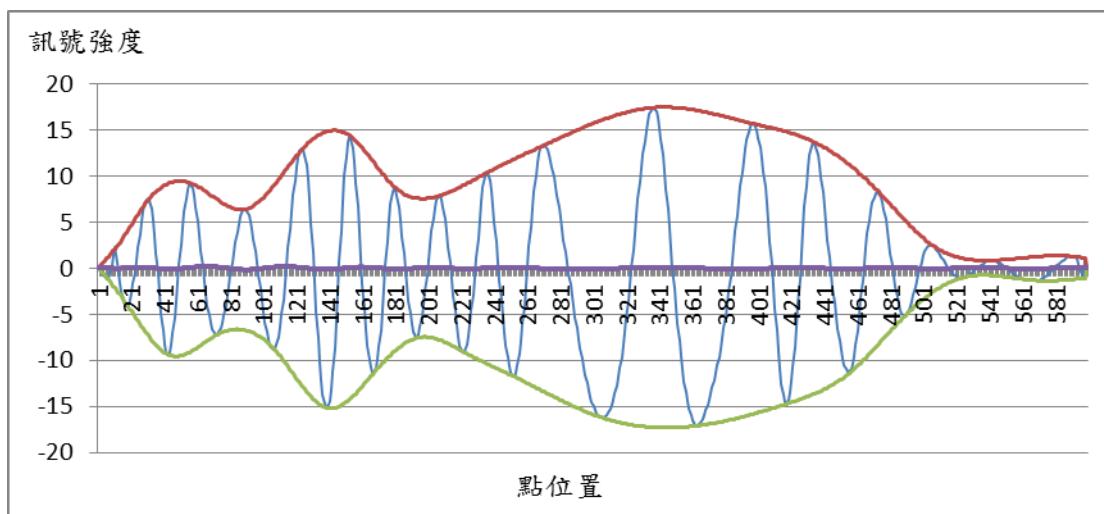


圖 2-17 圖 2-5 訊號的 IMF-5

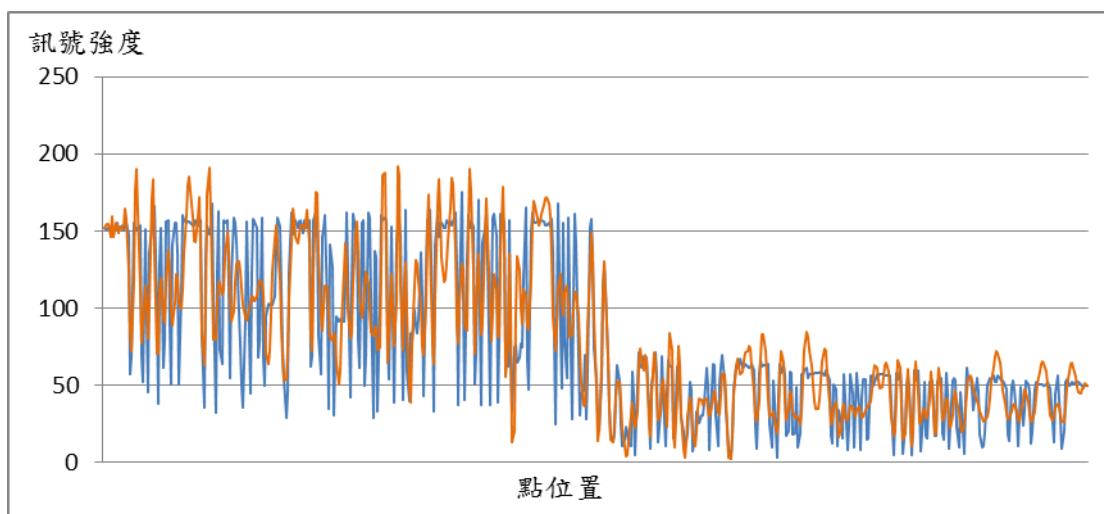


圖 2-18 第一個餘數函數

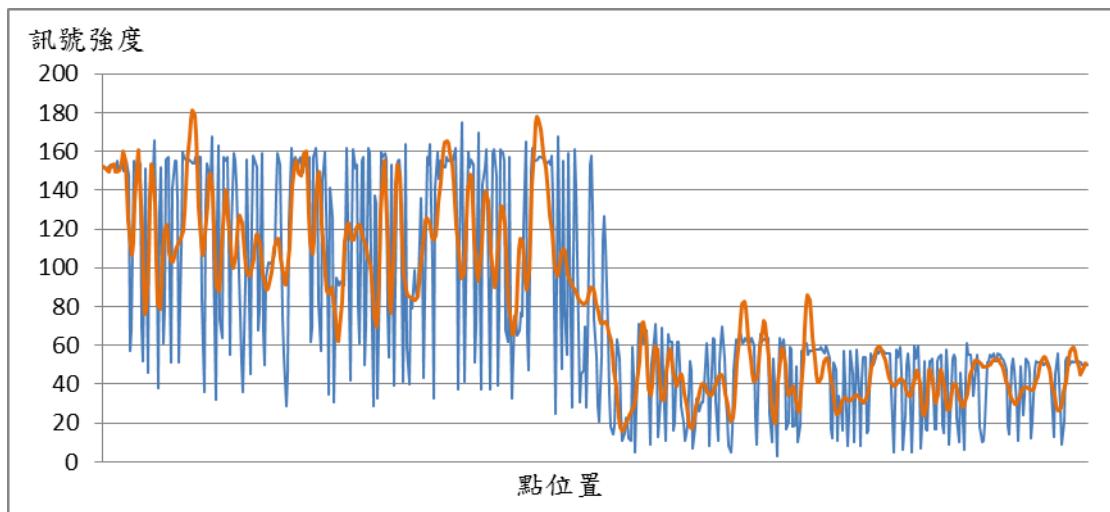


圖 2-19 第二個餘數函數

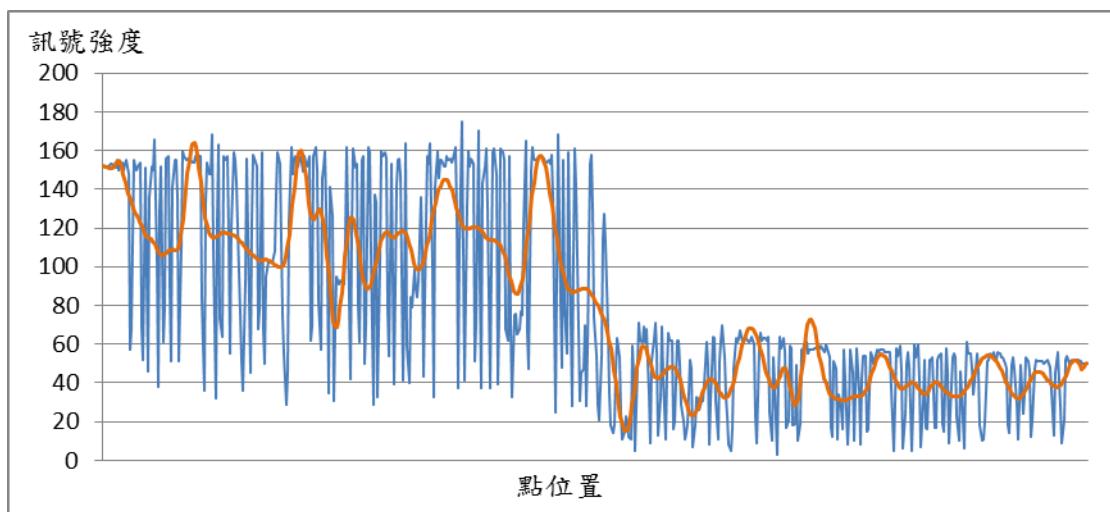


圖 2-20 第三個餘數函數

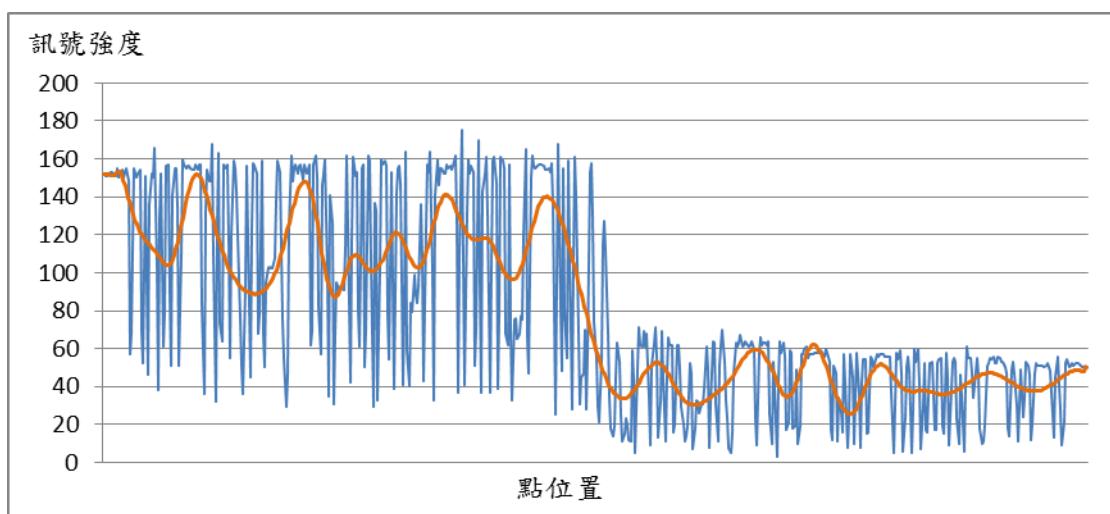


圖 2-21 第四個餘數函數

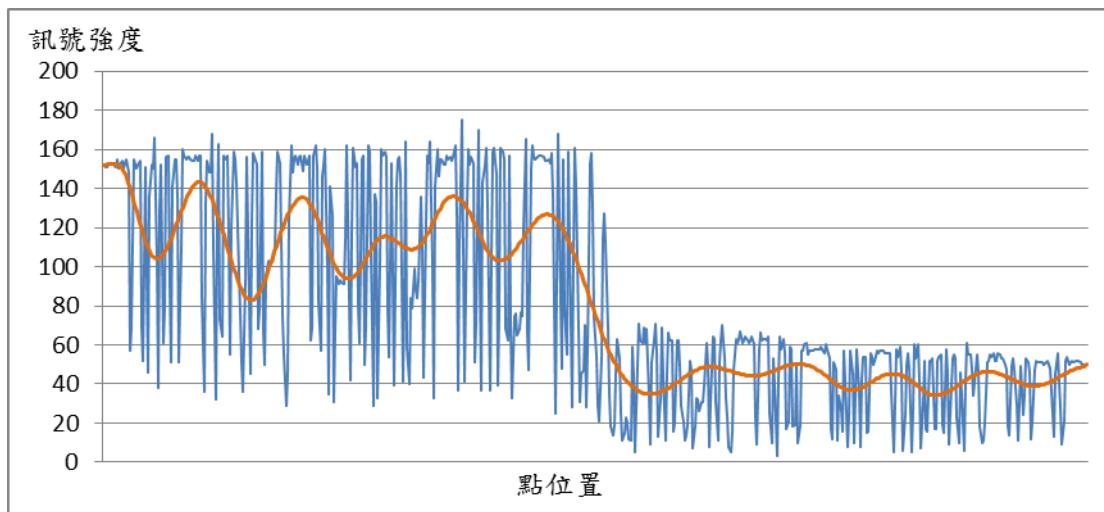


圖 2-22 第五個餘數函數

EMD 對訊號解析有良好的結果，但是整個 EMD 的過程還是有許多重要議題需要探討[11]，如：一、停止準則的選定：探討避免因為 shift process 次數過多而破壞其物理特性；二、產生包絡線(envelope)的演算法：標準 EMD 是利用立方雲線(cubic spline)來連接極值點，但是有時候透過立方雲線會內插出我們不想要的超越量(overshoot or undershoot)；三、邊界效應：由於包絡線在邊界(boundary)很難定義，所以 EMD 過程中會造成訊號震盪或扭曲。

另外 EMD 因為立方雲線的計算與不斷地疊代，造成時間上相當耗費時間，也是值得關注的議題，然而經由我們的觀察，影像光影的分析不需如此精確地訊號分析，即可獲得影像光場的分佈，基於這樣的觀察我們希望以近似與快速的方法，求取訊號包絡線來描述光場，再據以對受光影影響的影像作光影移除。

第三章 可適性 EMD(Adaptive EMD)

在第二章的說明與介紹中，我們知道 EMD 必須計算立方雲線來求出包絡線與經由不斷疊代與抽取 IMF 來算出餘數函數(residue function)。在本章節裡，我們將說明本論文是如何以最小平方近似法快速計算的優點，探討文件影像訊號的光場分佈，而且不用考慮到疊帶次數，並觀察由最小平方近似法運算所得到的上包絡線，來分析上包絡線對訊號的意義與上包絡線和信號之間的關係，藉此來判斷輸入影像是哪種光場影響，再做相對應的光影去除，並且經由一個檢測流程，使得當我們輸入一張影像，而且不知道此輸入影像是否有受光影影響或是不知道是哪種光影影響，都能輸出一張好品質的影像。由於本論文是應用 EMD 訊號分解原理，使用快速算法來算出輸入灰階訊號的光場分布，並依各種不同的灰階情況再做局部光場調整，因此本論文的方法又稱為可適性 EMD (Adaptive EMD , AEMD)

3.1 影像光場與 EMD 包絡線關係

我們分析 EMD 上包絡線與下包絡線所代表的意義。首先取兩段灰階訊號(有前景文字與無前景文字)算出上下包絡線，並分析之。擷取圖 3-1 第 217 列(綠色線)與第 228 列(紅色線)的灰階值，當作輸入資料，而資料數值如圖 3-2 所示，首先我們對擷取出來的灰階訊號找局部極大值與局部極小值，找尋方式如下：

```
if( signal < signali-1 ) {  
    if( 數值狀態是遞增 ) {  
        s i gin 為局部極大值  
    }  
    數值狀態改為遞減  
}
```

```

if( signal > signali-1 ) {

    if( 數值狀態是遞減 ) {

        // signali-1為局部極小值

    }

    數值狀態改為遞增
}

```

其中， $signal$ 為輸入訊號中第 i 位置點的灰階值。

我們以上述的方式來尋找局部極大值與局部極小值並更改數值的遞增或遞減狀態，求得局部極值之後，我們依這些局部極大值與局部極小值的位置與灰階值，

Asked if Jeb was thinking about running for president in 2012, his father responded: "I don't think he is. In fact, I know he's not."

"But would he be a good president? Absolutely," Bush continued. "And don't just take that from a father's prejudice view. I mean, he's a good man, he performed as governor, he's well-spoken, he's not an extremist, he's not a wild guy that attributes bad motives to those that disagree with him, and he's good. And people that know him and hear him say the same thing. I think the bottom line is, he just doesn't want to try, doesn't want to do it."

~~Both Bushes mentioned former Massachusetts Gov. Mitt Romney as a possible Republican contender for a likely race against incumbent President~~

圖 3-1 範例影像

使用立方雲線法求得上包絡線與下包絡線。我們觀察圖 3-2 與圖 3-3 的上包絡線如圖 3-4，可以看出在相同光源的環境條件下，對於有沒有前景文字的存在，上包絡線雖然描述的不太相同，但是基本上都以某個方向的趨勢遞增，而且非常接近；我們也比較圖 3-1 中第 217 列與 228 列的下包絡線(Min-Envelope)與均值包絡線(Mean-Envelope)如圖 3-5 與圖 3-6 所示，在相同光源的情況下，下包絡線與均值包絡線因為前景文字的加入，產生不一樣而且差距極大的分布，因此在不知道下包絡線與均值包線所代表的光場意義的情況下，我們也不採用均值包絡線來參與光影去除的過程；在文件影像中，上包絡線可以代表我們光場分布的資訊與

趨勢，所以在本論文中並不採用下包洛線與均值包絡線來參與光影調整。

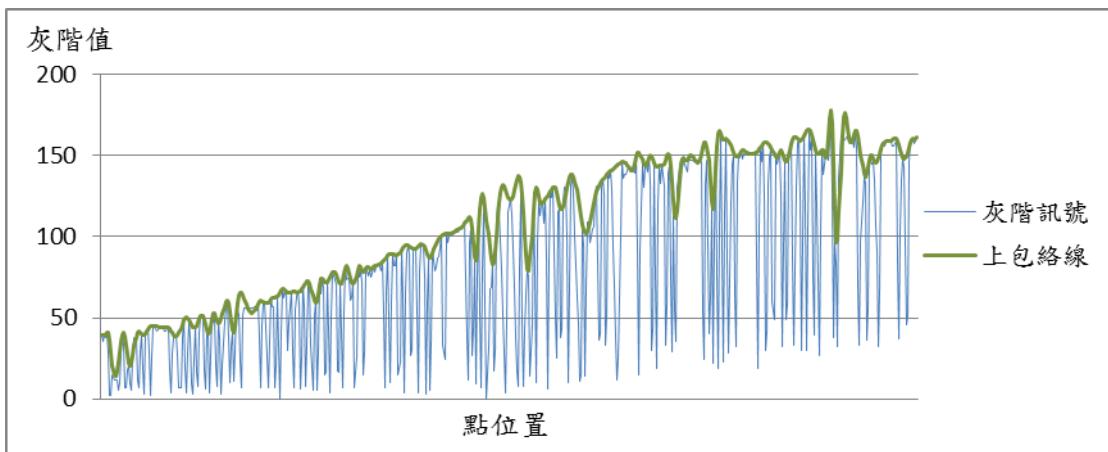


圖 3-2 圖 3-1 第 217 列灰階訊號的上包絡線

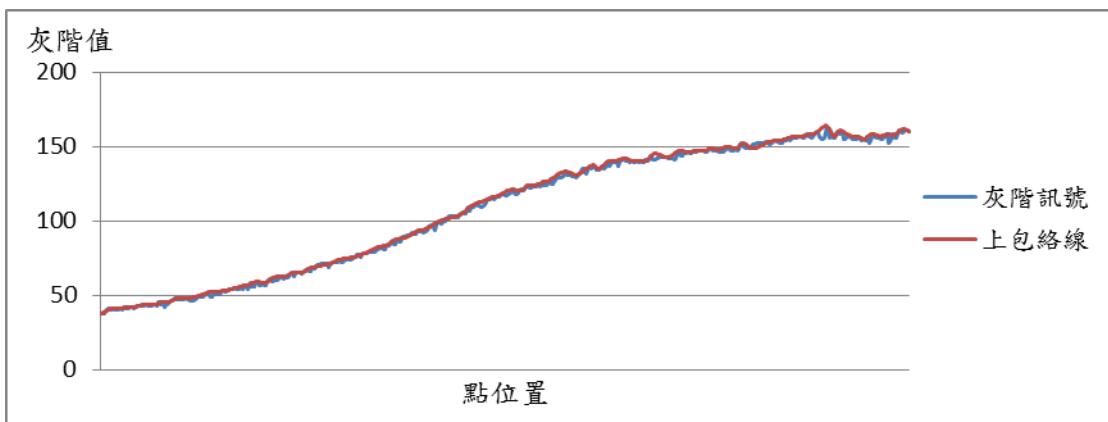


圖 3-3 圖 3-1 第 228 列灰階訊號的上包絡線

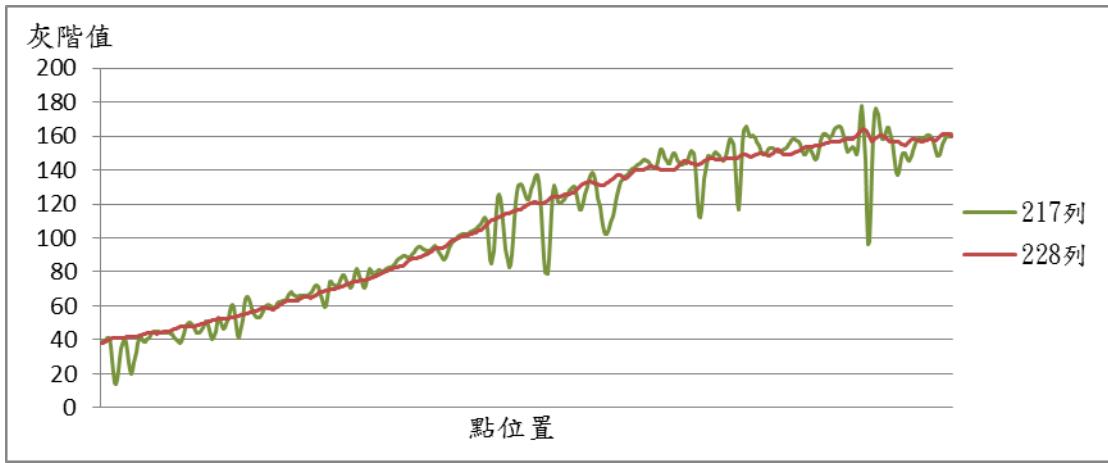


圖 3-4 圖 3-1 第 217 列與 228 列上包絡線

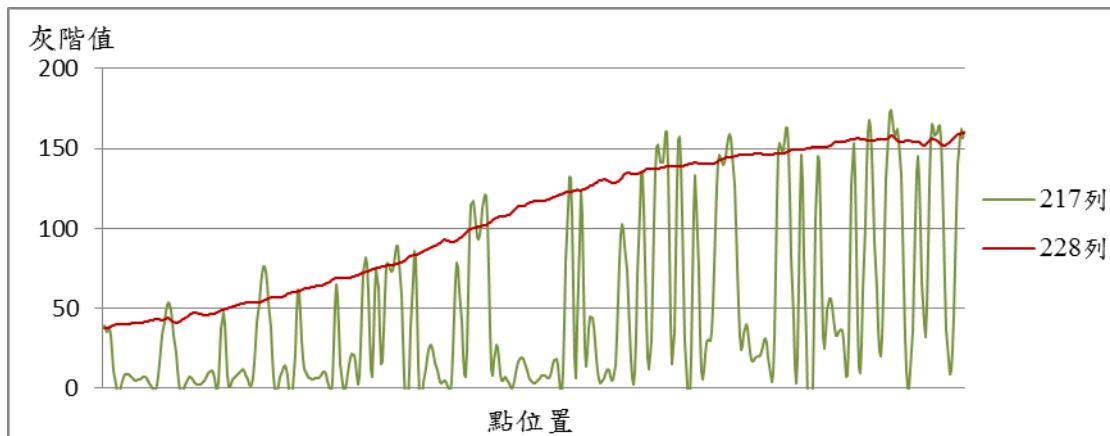


圖 3-5 圖 3-1 第 217 列與 218 列下包絡線

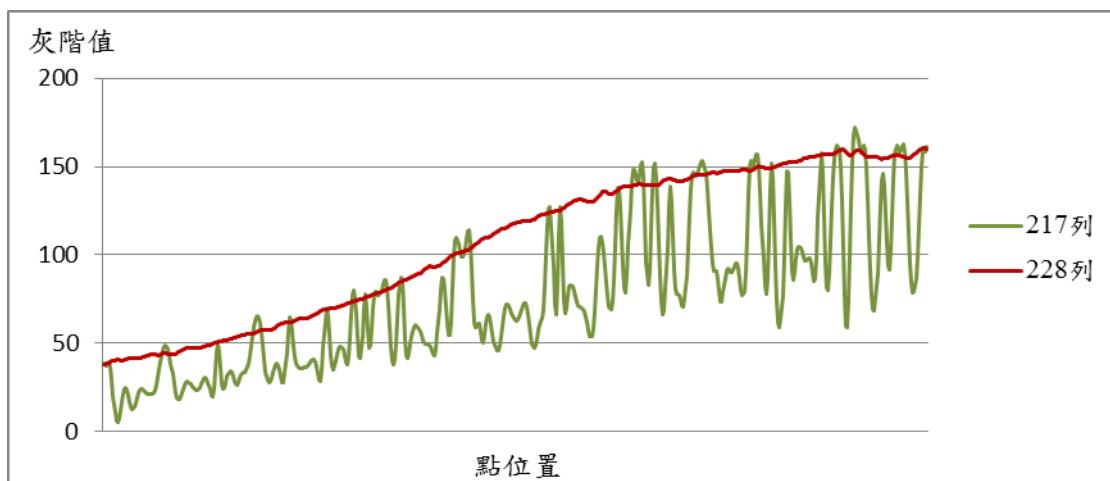


圖 3-6 圖 3-1 第 217 列與 218 列均值包絡線

在上段的說明中，我們知道上包絡線是輸入訊號的光場的分布，從一段相同反射率或反射條件所擷取的灰階值之上包絡線可以反映出光場更精確的趨勢，所以根據圖 3-4 所呈現，228 列的上包絡線是最符合光場描述。由於立方雲線對局部極大值的描述太過詳細，雖然 228 列光場的趨勢與 217 列相同，但是 217 列上包洛線對於光場描述上與 218 列的上包絡線有些差異。當我們對於一段訊號求得極值，並做立方雲線的計算時至少有四項缺點：(1)因為 $n+1$ 個極值點需要 n 條三次多項式的計算，此計算量很龐大，訊號越長計算量越多；(2)立方雲線對每個極值點的描述太詳細，所以導致對光場變化的敏感度太高；(3)立方雲線在點與點的計算上，常會有過多非原訊號引起的超越量問題，如圖 3-7 可能會影響光場去除過程的結果；(4)許多相近點之間的包絡線連接不需使用三次多項式即可

串連。

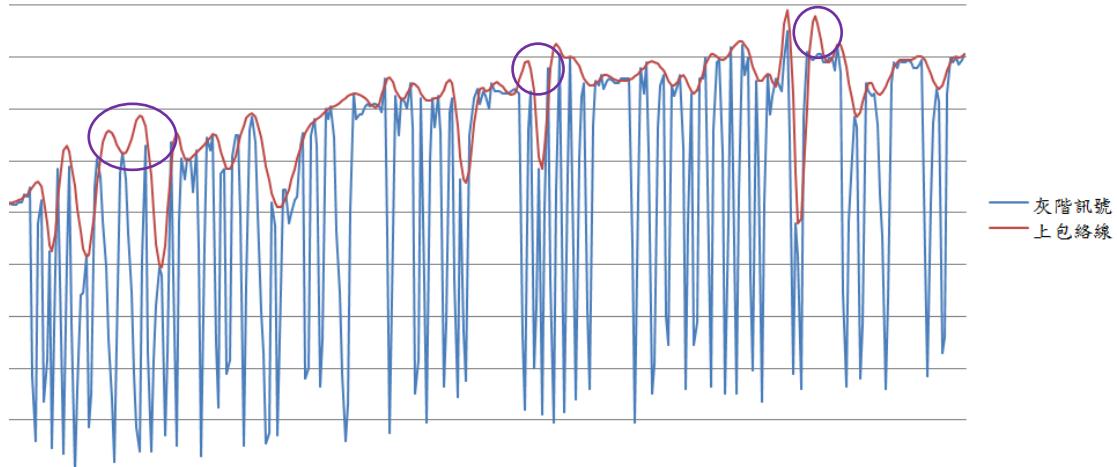


圖 3-7 上包絡線超越量

基於以上的理由本論文使用最小平方近似法來計算上包絡線，以解決立方雲線在光場計算的缺點。

3.2 上包絡線逼近與光場分析

相對於 EMD 使用立方雲線產生內插極值間像素點的包絡線，本研究採用 3 次方逼近法產生包絡線，以此法產生包絡線所需的時間，遠低於使用極值點間立方雲線串接的方法。在本章節中，我們將說明如何使用最小平方近似法快速計算的優點來計算上包絡線，並觀察上包絡線與灰階訊號之間的關係來調整上包絡線對光場的描述。

3.2.1 最小平方近似法

當求得局部極大點後，我們希望將這些點能以 3 次方程式串連這些極值點，但是我們知道由於極點的數量多且值也不盡相同，我們沒辦法以 3 次方程式通過所有點，因此必須以最小平方近似法的概念求出一條近可能逼近這些點的 3 次方程式。

最小平方近似法(least-squares approximation , LSA)是用來求出一組離散(discrete)數據點的近似函數(approximating function)，相較於立方雲線需要算出很

多組 3 次多項式函數，最小平方近似線為一個 n 次多項式函數如 Eq.3-1，雖然函數圖形不會通過所有點，但是會盡可能地逼近這些資料點，讓資料點與函數曲線間的誤差距離和最小。採用 LSA 的 3 次多項式逼近所有資料點，將可大量節省計算時間，曲線也較平滑。以下是最小平方近似法的推導與計算：

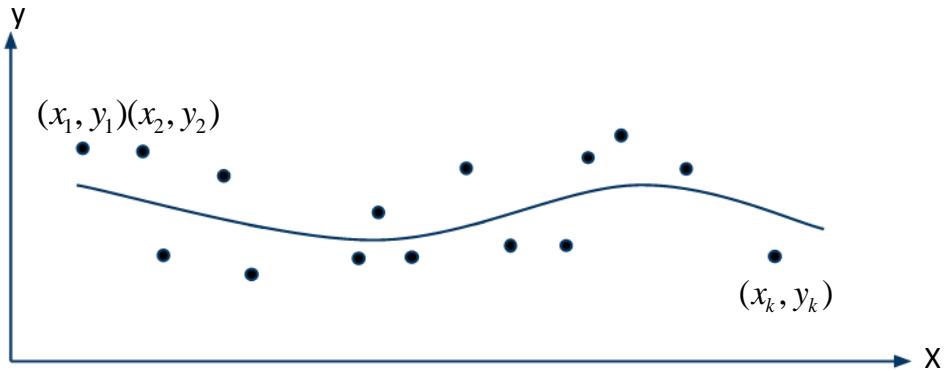


圖 3-8 三次最小平方近似法示意圖

$$f(x) = C_0 + C_1 X + C_2 X^2 + C_3 X^3 \quad (3-1)$$

如圖 3-8 中，假設目前有 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_{n-1}, y_{n-1}), (x_k, y_k)$ k 個資料點，當我們想要以 Eq.3-1 通過每個點時，我們可得到一組聯立方程式如 Eq.3-2:

$$\begin{aligned} f(x_1) &= y_1 \\ f(x_2) &= y_2 \\ &\vdots \\ f(x_k) &= y_k \end{aligned} \quad (3-2)$$

將 $f(x)$ 以 Eq.3-1 帶入可以轉換成以下表示：

$$\begin{aligned} (c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_1^2 + c_3 x_1^3) &= y_1 \\ (c_0 + c_1 x_2 + c_2 x_2^2 + c_3 x_2^3) &= y_2 \\ &\vdots \\ (c_0 + c_1 x_k + c_2 x_k^2 + c_3 x_k^3) &= y_k \end{aligned} \quad (3-3)$$

以矩陣的形式可表示成 Eq.3-4 :

$$\bar{A}\bar{c} = \bar{Y} \quad (3-4)$$

$$\text{其中 } A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & x_1^3 \\ 1 & x_2 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_k & x_k^2 & x_k^3 \end{bmatrix}_{k \times 4} \quad \bar{c} = \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad \bar{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix}$$

理想上我們希望找一組係數 $c_0 \sim c_3$ 使得將點 $x_0 \sim x_k$ 各自帶入 Eq.3-1 可得到值 $y_0 \sim y_k$ ，但是因為一元三次方程式特性沒辦法同時通過那麼多點，所以我們希望求得係數 $c_0 \sim c_3$ 使得將 $x_0 \sim x_k$ 各自帶入 Eq.3-1 會盡可能地接近 $y_0 \sim y_k$ ，換言之，我們希望此最小平方近似線與這些點的距離的平方和是最小。距離平方和公式如 Eq.3-5：

$$[f(x_1) - y_1]^2 + [f(x_2) - y_2]^2 + \dots + [f(x_k) - y_k]^2 \quad (3-5)$$

根據 Eq.3-2、Eq.3-4 與 Eq.3-5 可得到我們希望求得最佳的 \bar{c} 使得 Eq.3-6 為最小。

$$\|\bar{y} - A\bar{c}\|^2 \quad \text{其中 } \bar{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

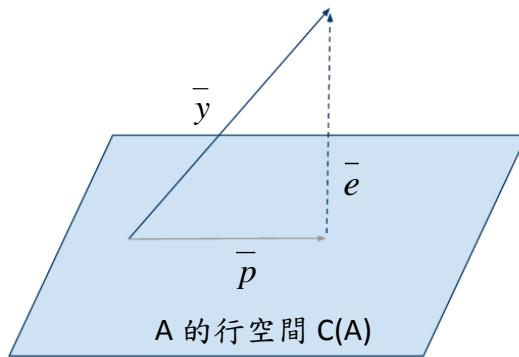


圖 3-9 投影示意圖

考慮線性代數的觀念， $A\bar{c}$ 可看成將 \bar{c} 以一個線性轉換過程投影為 \bar{p} ，其中 $\bar{p} \in R^k$ ，表示為 $\bar{c} \xrightarrow{A} \bar{p}$ ，因此 $\bar{p} = A\bar{c}$ 屬於 A 的行空間 $C(A)$ 。如圖 3-9，令誤

差 $\bar{e} = \bar{y} - \bar{p}$ ，因此我們必須算出在 $C(A)$ 中哪一組 \bar{p} 會最小會使得 $\|\bar{e}\|^2$ 會最小；欲讓 $\|\bar{e}\|^2$ 為最小，則最佳的 \bar{p} 剛好會使 $\bar{e} = \bar{y} - \bar{p}$ 垂直於 \bar{p} ，也就是 \bar{p} 與 \bar{e} 正交，所以最適當的 \bar{p} 即為 \bar{y} 在 $C(A)$ 上的投影。

令 H 為投影到 $C(A)$ 的轉換矩陣，也就是 $\bar{y} \xrightarrow{H} \bar{p}$ 。我們知道某向量的投影與投影的投影一定會是相同的，也就是 $H^2 = HH = H$ ，於是我們可以得到 $H\bar{c} = \bar{p}$ 與 $HH\bar{y} = H\bar{p} = \bar{p}$ ，將這兩個公式相減整理得到 Eq.3-7：

$$H(\bar{y} - \bar{p}) = 0 \quad (3-7)$$

由 Eq.3-7 可以得知， $(\bar{y} - \bar{p})$ 透過 H 將 $(\bar{y} - \bar{p})$ 投影至 $\bar{0}$ ，也就是說 $(\bar{y} - \bar{p})$ 與 $C(A)$ 正交，則 \bar{e} 屬於 $C(A)$ 的正交補集， $N(A^T)$ 。所以：

$$A^T(\bar{e}) = 0 \Rightarrow A^T(\bar{y} - A\bar{c}) = 0 \Rightarrow A^TA\bar{c} = A^T\bar{y} \quad (3-8)$$

總結前段所述，屬於 R^k 空間的 \bar{y} 經線性轉換由 H 投影到 $C(A)$ ，而且也線性轉換由 $(I - H)$ 投影至 $\bar{e} \in N(A^T)$ ，因為當 A 行向量獨立時， $\text{rank}(A) = 4$ ，則 $N(A) = \{0\}$ ，列空間 $C(A^T)$ 充滿整個 R^4 。

利用性質 $\text{rank}(A) = \text{rank}(A^TA)$ ，可知 $\text{rank}(A^TA) = 4$ 且 (A^TA) 為 4×4 矩陣，所以 (A^TA) 是可逆的。因此我們將 Eq.3-8 移項得到 Eq.3-9 解出 $\bar{c} = [c_0, c_1, c_2, c_3]^T$ 。

$$\bar{c} = (A^TA)^{-1}A^T\bar{y} \quad (3-9)$$

了解上包絡線計算方法之後，在下一小節中，我們將討論上包絡線是否符合影像訊號光場分佈的意義。

3.2.2 同一光場分布的包絡線分析

我們進一步分析由最小平方近似法所算出的上包絡線是否也可以當作是對

訊號的光場描述。首先，對圖 3-1 第 217 列(綠色線)與第 228 列(紅色線)，取出灰階值訊號，並算出上包絡線，分別得到這兩列的上包絡線訊號與包絡線分布，如圖 3-10 與 3-11，並且我們再將兩輸入的上包絡線做比較，如圖 3-12，發現在相同光影的影響下，不同輸入的灰階值(有前景字與無前景字)，一樣有相同分布的上包絡線，而且兩訊號的上包絡線值比立方雲線所描述的光場分佈差距極小。基於這個結果，我們也證明了由最小平方近似法所求算出來的上包絡線一樣可視為輸入訊號光場的描述或分佈，而且比立方雲線穩定。

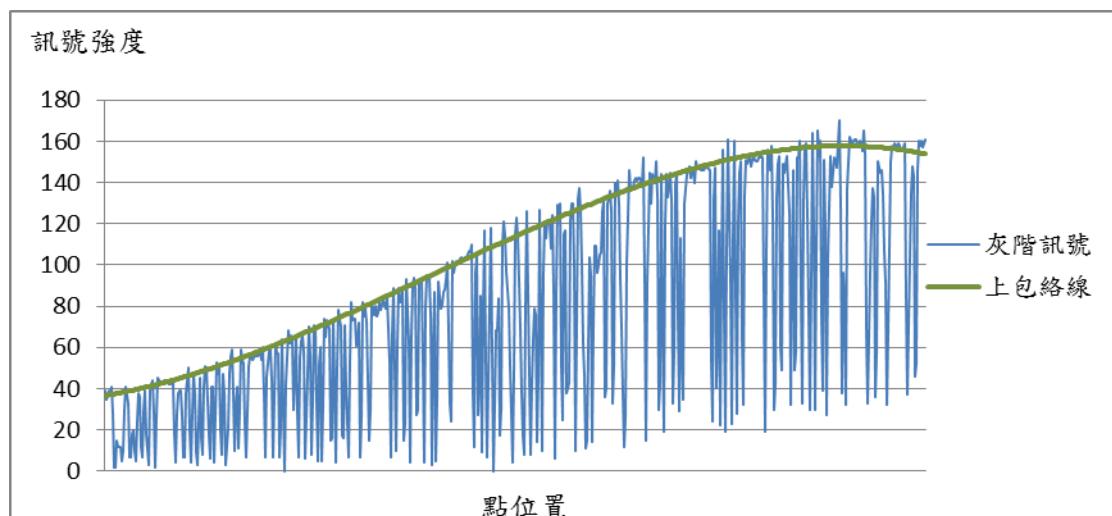


圖 3-10 圖 3-1 第 217 列灰階值與上包絡線

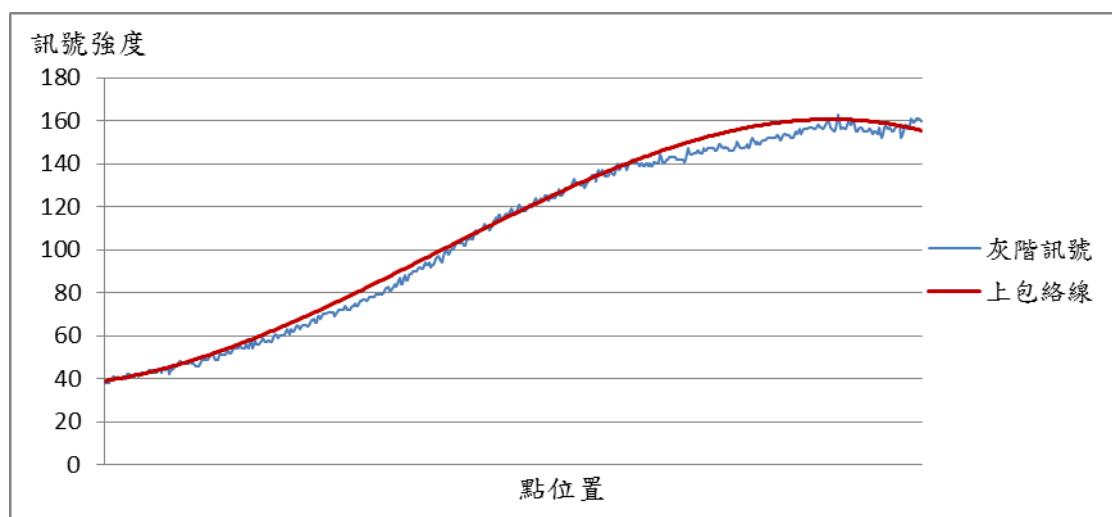


圖 3-11 圖 3-1 第 228 列灰階值與上包絡線

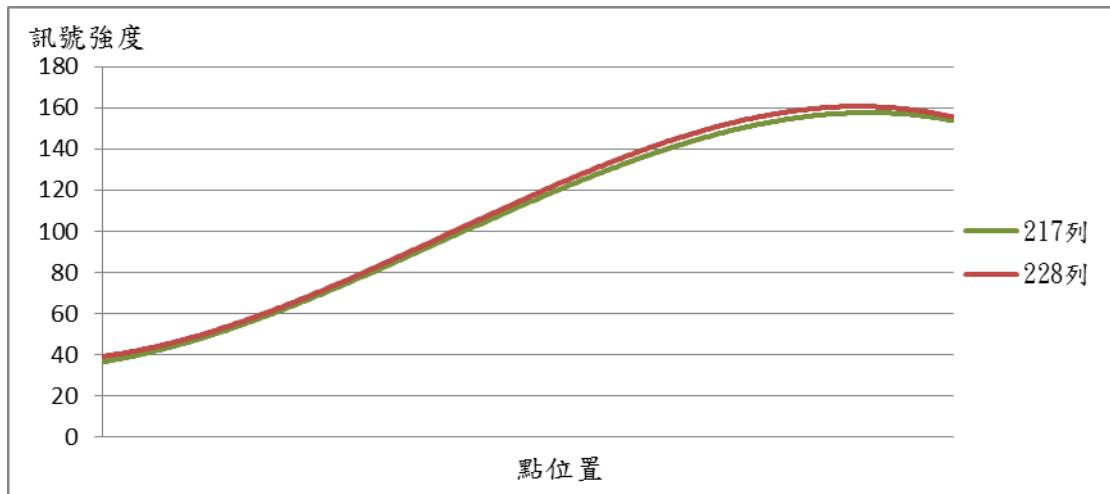


圖 3-12 圖 3-1 第 217 列與 228 列上包絡線

3.2.3 不同光場分布的分析

我們觀察在不同光場分布的情況下，上包絡線所呈現的意義。如圖 3-13 為一張反光影像所得到的灰階值訊號與所計算出來的包絡線，我們從肉眼可以看出灰階訊號右半部的灰階值明顯比較高，而且上包絡線的分佈與趨勢也告訴了我們訊號右半部灰階強度比較高。

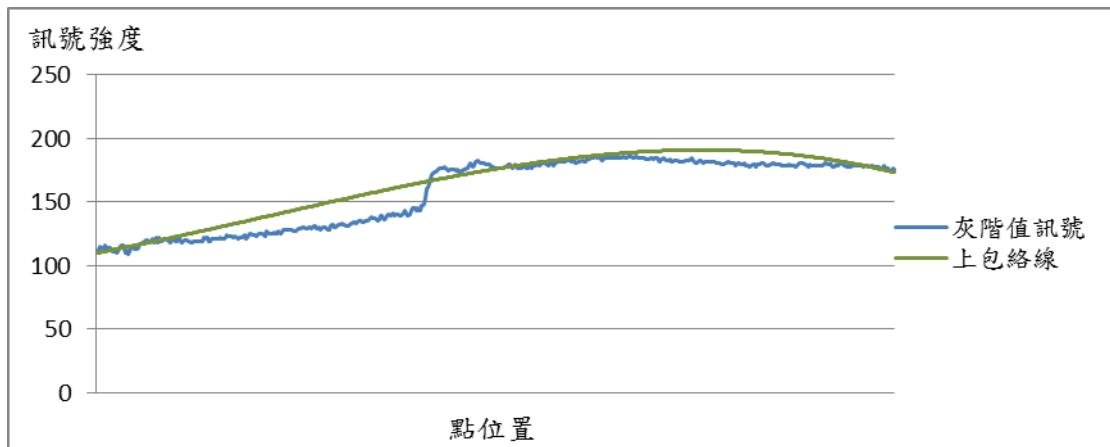


圖 3-13 反光灰階訊號與上包絡線

觀察曝光過度影像的灰階訊號與上包絡線，如圖 3-14，我們可看出上包絡線分佈在 250 灰階強度附近；且經由實驗觀察，我們發現：第一，上包絡線大略描述了光場分佈的大概情況；第二，對於光場變化較劇烈的上包絡線對於訊號光場的描述無法很精確(立方雲線則是過度敏感)，而且影響整段上包絡線分佈狀況最

大的地方，就是輸入訊號光場變化最大的地方，因此本論文為了讓光場描述更精確，我們的解決方式是找出光影變化最劇烈的點，將訊號分段做包絡線的計算。

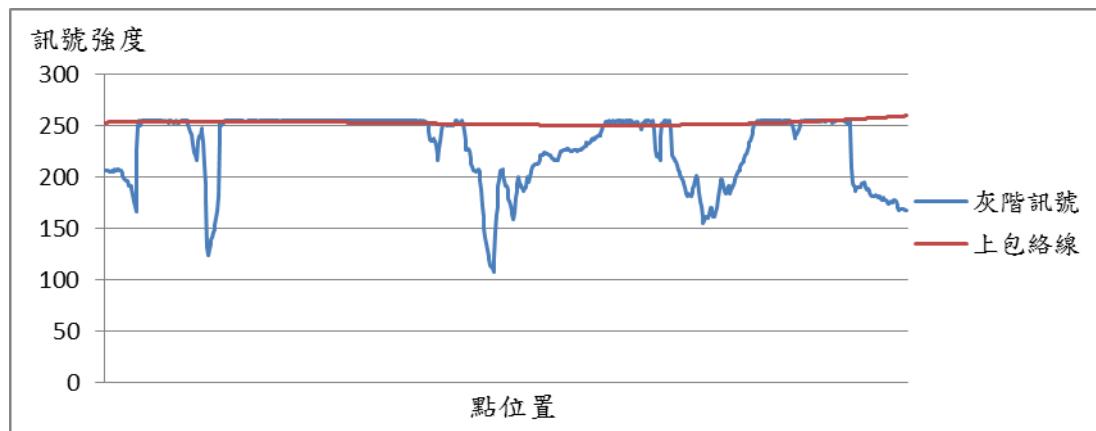


圖 3-14 曝光過度灰階值與上包絡線

3.3 AEMD

在本章節中，我們將說明如何自動決定要找出幾個分段點以及以何種方式尋找且依什麼特徵來尋找分段點。由於上包絡線是由三次多項式所構成，所以上包絡線在描述有劇烈光影變化的輸入影像光場時，無法正確的描述。我們觀察上包絡線與訊號之間的關係，提出 AEMD 演算法以找出分段點，對原始輸入灰階訊號做分段切割，分段重做上包絡線的計算，求得更精確的光場描述分佈。

3.3.1 偏離區間與分段點

在本小節中，將說明我們以什麼特徵來找尋最佳的分段點。如圖 3-15 所示，藍色線為有前景文字的輸入訊號，綠色線為上包絡線，紫色線為實際光場；實際光場測得的方式：我們以同樣的光場對白色紙張照射並取相同位置的灰階值，因為在相同反射物質所呈現的灰階值比較能呈獻光影實際的變化。

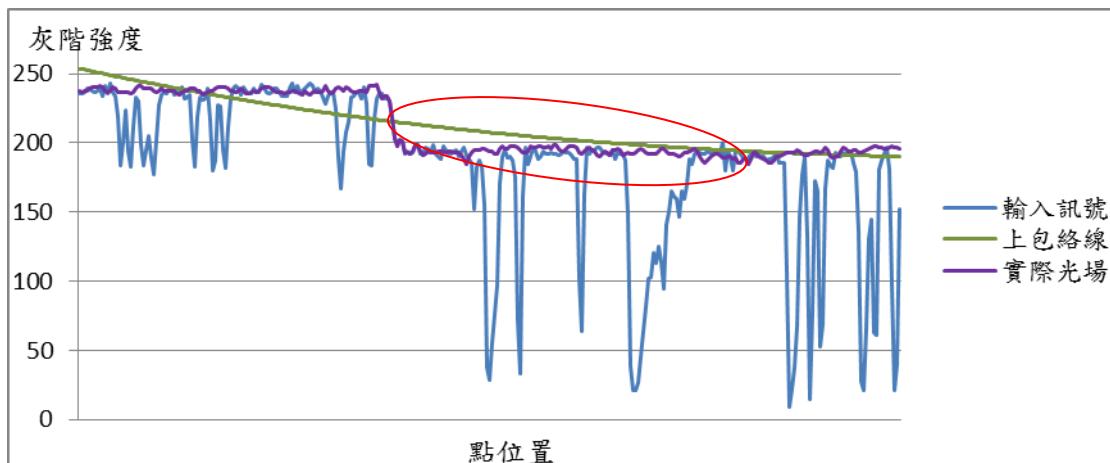
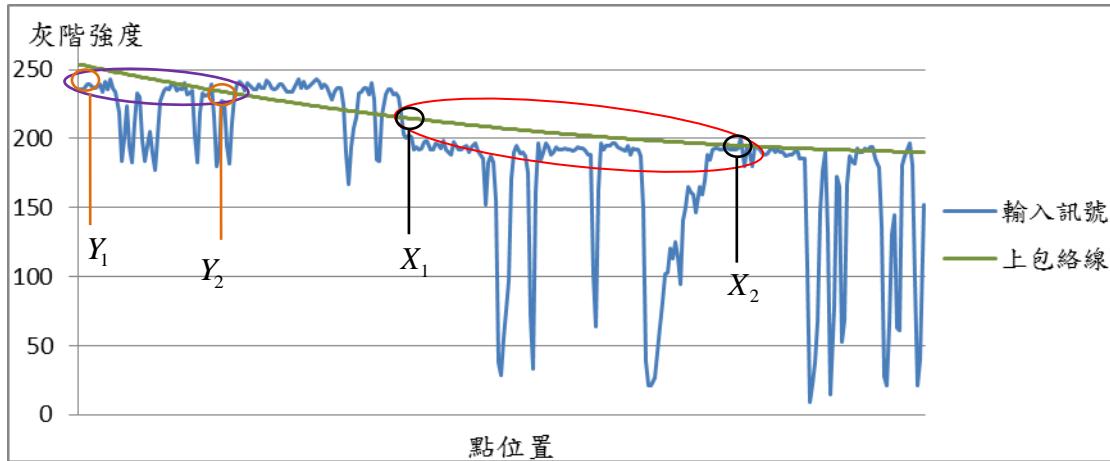
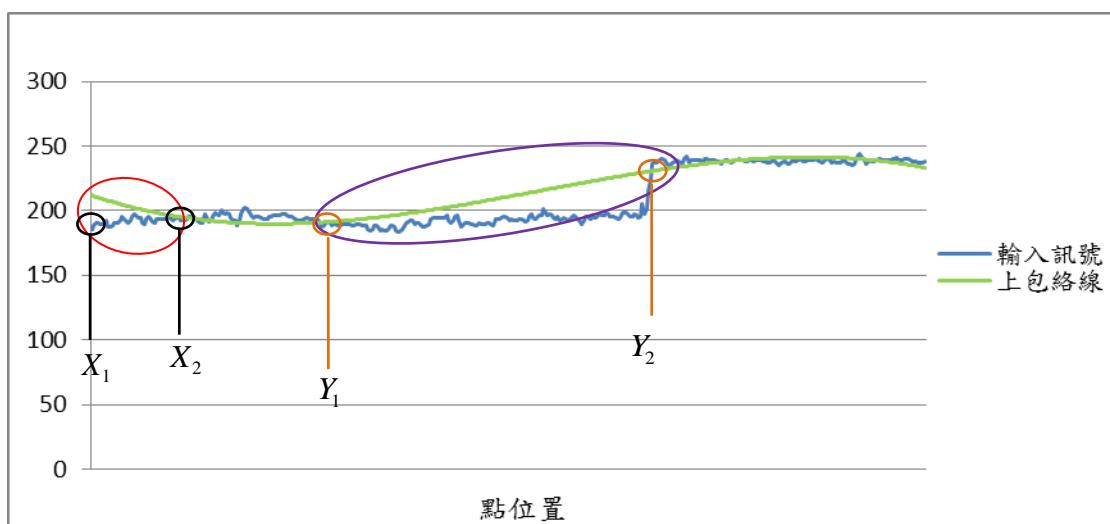


圖 3-15 光影斷層的偏離區間

圖 3-15 上包絡線在光影斷層處很明顯偏離實際光場，再觀察實際光場與上包絡線之間的關係，我們可以發現在光場改變處，很明顯有一段區域是上包絡線皆大於實際光場(圖 3-15 紅色圈處)，而實際光場線必定大於或等於該原始灰階值。基於以上的觀察我們定義「偏離區間」如下：如果找到某個夠大的區間，該區間其上包絡線的值皆大於原始灰階訊號，則該區間稱為「偏離區間」。當輸入訊號含不同光場時，其光場改變處一定有此「偏離區間」。



(a)



(b)

圖 3-16 多段偏離區間與分段點選擇。(a)範例光場。(b)反向光場。

前段描述了「偏離區間」為我們找尋分段點的依據，如果我們找到多個偏離區間，就選擇訊號端點差值最大的區間為「最佳的偏離區間」，如圖 3-16(a)所示，圖中我們找到偏離區間的結果有 2 個，以紅色偏離區間而言，端點差為 $X_{diff} = |X_1 - X_2|$ ，而另一個紫色偏離區間端點差為 $Y_{diff} = |Y_1 - Y_2|$ ，很明顯可看出來 $X_{diff} > Y_{diff}$ ，因此我們選擇紅色偏離區間為我們選定的最佳偏離區間。之後，比較選定的偏離區間兩端點的灰階值較大者，該端點即為分段點，如圖 3-16(a)所示， $X_1 > X_2$ ， X_1 點為最佳的分段點；圖 3-16(b)為圖 3-16(a)輸入訊號的反向

光場情況時所計算的上包絡線，以同樣的機制我們依然可以在圖 3-16(b)找到最佳分段點 Y_2 。

當順利找到分段點，並計算出各區段的局部上包絡線後，對於某些特定的灰階分佈，局部區域的上包絡線依然無法描述的很貼近，而產生新的偏離區間，如圖 3-17，所以我們對整段訊號依新的上包絡線，再找出那些夠大的偏離區間，然後只對這些偏離區間做小區域的上包絡線計算。

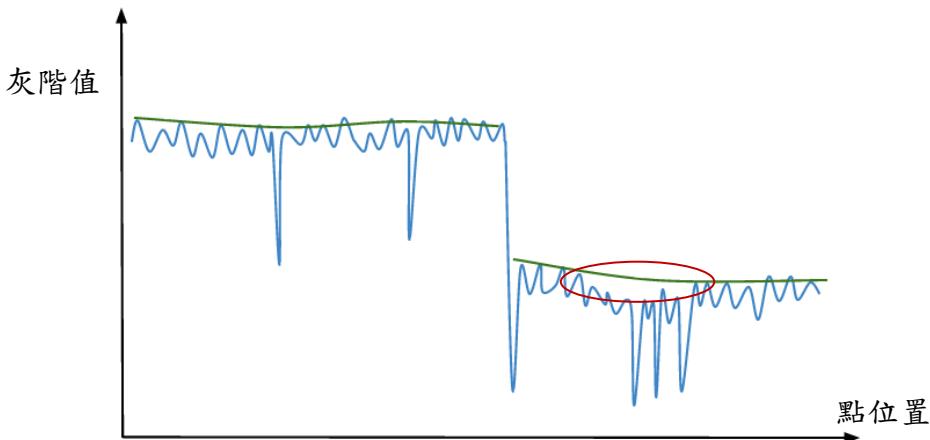


圖 3-17 新偏離區間

3.3.2 分段點區域與分段點數

在上一小節中為了找分段點，必須先找到最佳的偏離區間，但是不知道要將訊號分成幾段使得分段計算上包絡線的效果最好，因此在本小節中，我們依照上包絡線極點(不包括上包絡線兩端點)的分佈來說明某個訊號可能不只需要一個分段點。

我們知道在尚未找到分段點並做局部性的上包絡線計算前，上包絡線雖然不是很精確，但是上包絡線表示了訊號光場大略的分布，當上包絡線出現極點時，代表該極點附近區域的點，其灰階強度在整段灰階值訊號中有相對高或相對低的群聚現象，如圖 3-18(a)為一張受陰影影響影像的灰階值分佈，明顯看出左右兩邊光場的不同，而且出現兩個上包絡線的極點；再觀察圖 3-18 (b)的灰階值與上包絡線，上包絡線在光場強度高的區域產生極點；反之在上包絡線非極點的斜面

處代表光場變化的趨勢，所以不同光場之間的變化處或是光場梯度最強烈的地方一定不是在極點上，因此只要是斜面處，就很有可能是光場變化劇烈的地方。

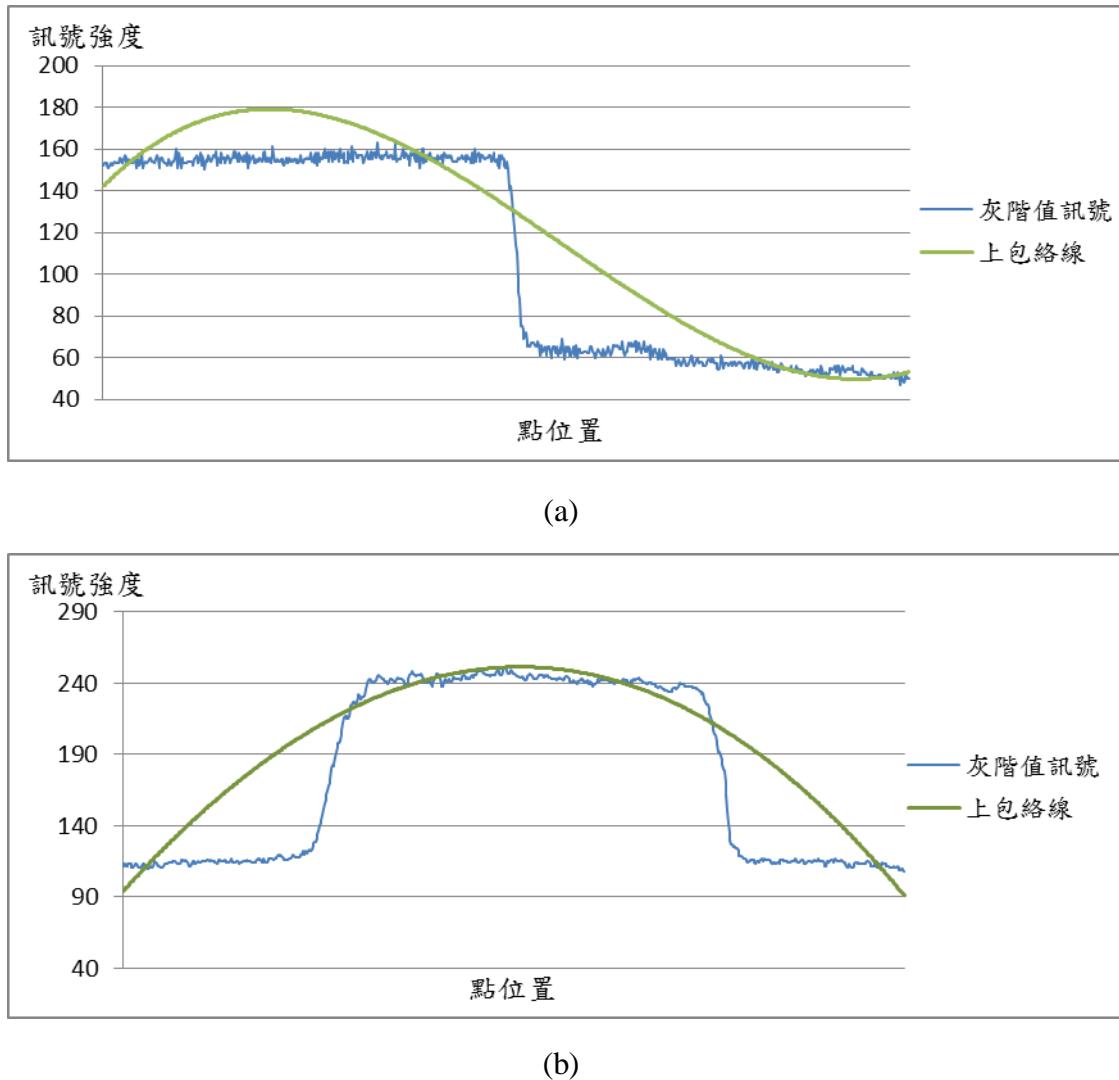


圖 3-18 劇烈光影變化灰階值與上包絡線 (a)左右兩邊不同光場 (b)中間與兩邊不同光場。

所以我們希望在極點與極點之間，或在極點兩旁找尋不同光場之間的分段點或是光場變化最劇烈的點，找到分段點之後，以局部的上包絡線計算，求得更逼近光場的上包絡線。因為上包絡線是以最小平方近似法所求出的三次多項式，在不包括上包絡線兩端點的前提下，最多只會出現 2 個極點，因此我們歸納出以下尋找分段點的情況：

首先，我們先找出整段訊號所有的偏離區間。

Case 1.上包絡線沒有極點：

當上包絡線沒有極點時，代表光場強度以相同趨勢(漸暗或漸亮)變化，但是不代表整段訊號沒有其他光影問題，如圖 3-19 所示，紅色圈處還是有可能有光影變化。因此我們只需要比較各偏離區間，找到 1 個最佳的偏離區間，找到分段點以局部調整上包絡線。所以在此狀況下，最多找到 1 個分段點，將訊號分成兩段。

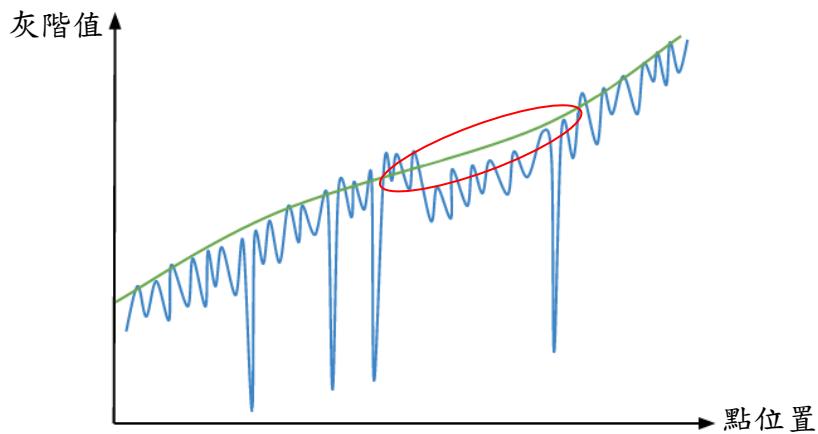


圖 3-19 上包絡線無極點且具有光影變化

Case 2.上包絡線有 1 個極點：

因為此極點為整段訊號的最高點或最低點，所以此極點的兩側都可能存在不同光場變化的現象，我們不考慮極點上的偏離區間，以該極點分成兩邊，將左半邊的偏離區間與右半邊的偏離區間分開並各自找到最佳的偏離區間，來找到分段點。此種情況有可能找到 2 個分段點，將訊號分成 3 段；也有可能只有一邊有找到分段點，所以整段訊號切成兩邊；最後也可能都沒找到分段點，表示上包絡線很貼近訊號的光場。

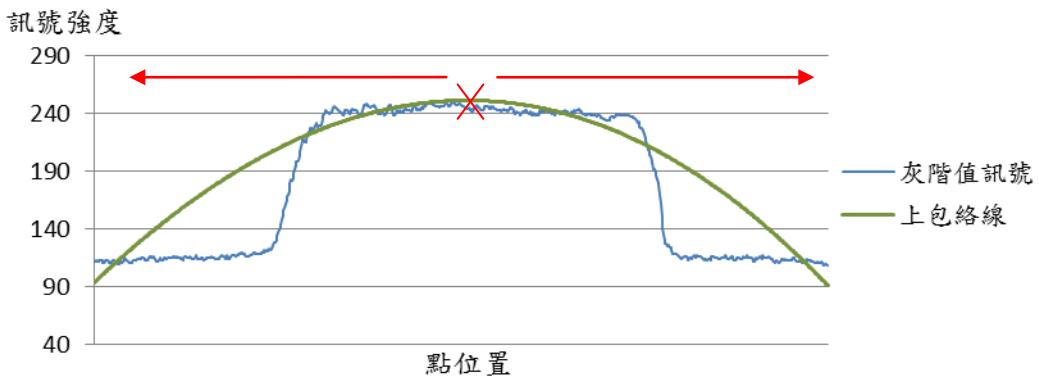


圖 3-20 上包絡線有 1 個極點

Case 3.上包絡線有 2 個極點：

先考慮兩極點之間的偏離區間，如果有找到最佳區間，則將訊號分成兩段，如果都沒有偏離區間，則重新考慮所有偏離區間選出 1 個最佳偏離區間，以找到分段點。所以此情況最多只有 1 個分段點，將訊號分成兩段，如圖 3-21 範例訊號，偵測到上包絡線為 2 個極點，為 Case3 的型態，所以只考慮兩極點之間的偏離區間。

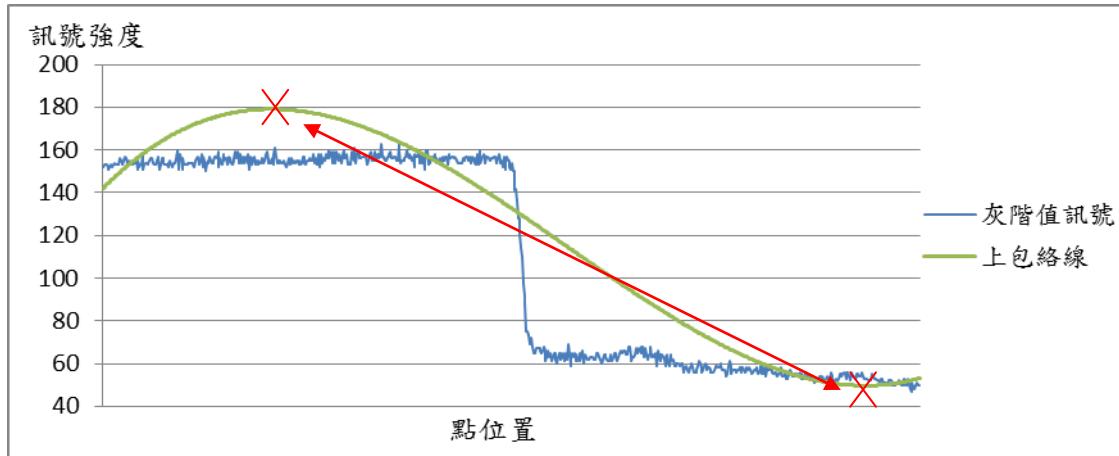


圖 3-21 上包絡線有 2 個極點

以上三種情況如果都沒有找到分段點，代表此上包絡線很接近訊號的實際光場，不必重做上包絡線的調整。

3.3.3 AEMD 流程

結合 3.3.1 與 3.3.2 所敘述，AEMD 的流程如下圖 3-22：

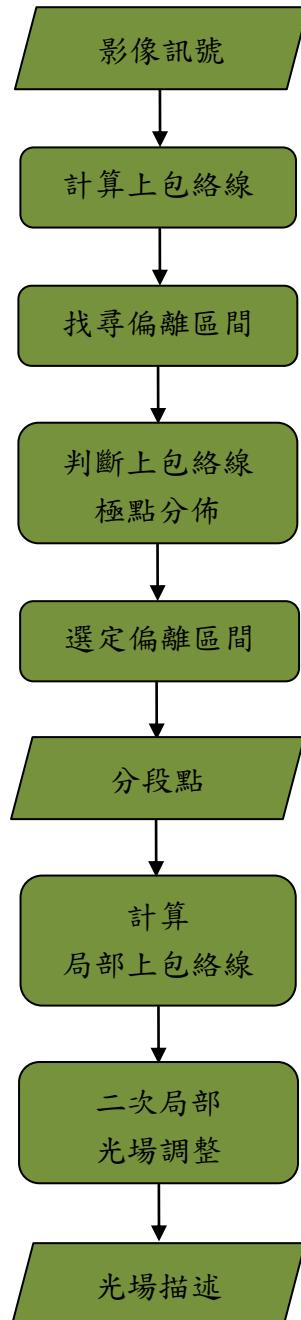


圖 3-22 AEMD 流程圖

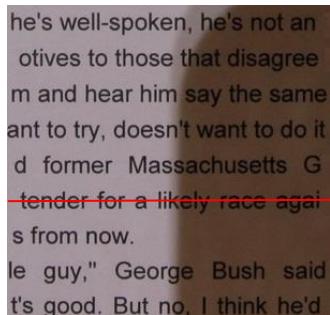


圖 3-23 AEMD 流程範例影像

我們以圖 3-23 為流程的範例影像：

Step1: 計算上包絡線

首先對輸入訊號以最小平方近似法求出上包絡線（在 3.1 節中有詳盡的探討與計算方式）。

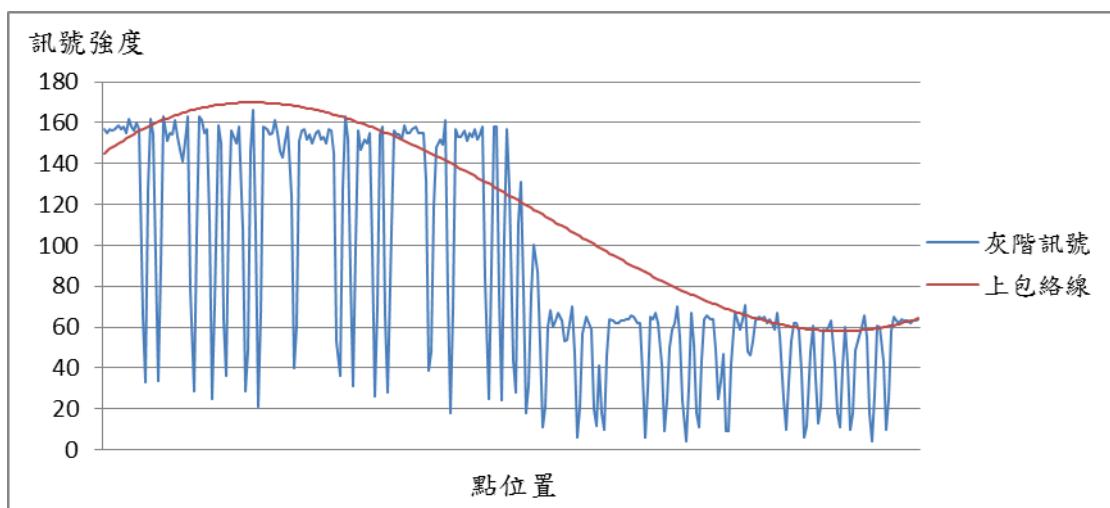


圖 3-24 AEMD 流程一圖 3-23 第 186 列輸入訊號與灰階訊號

Step2: 設定分段點的找尋區間

依照上包絡線極值的狀況，來設定尋找分段點的方向。在範例中，因為有兩個極值點，所以搜尋極值點之間的偏離區間。

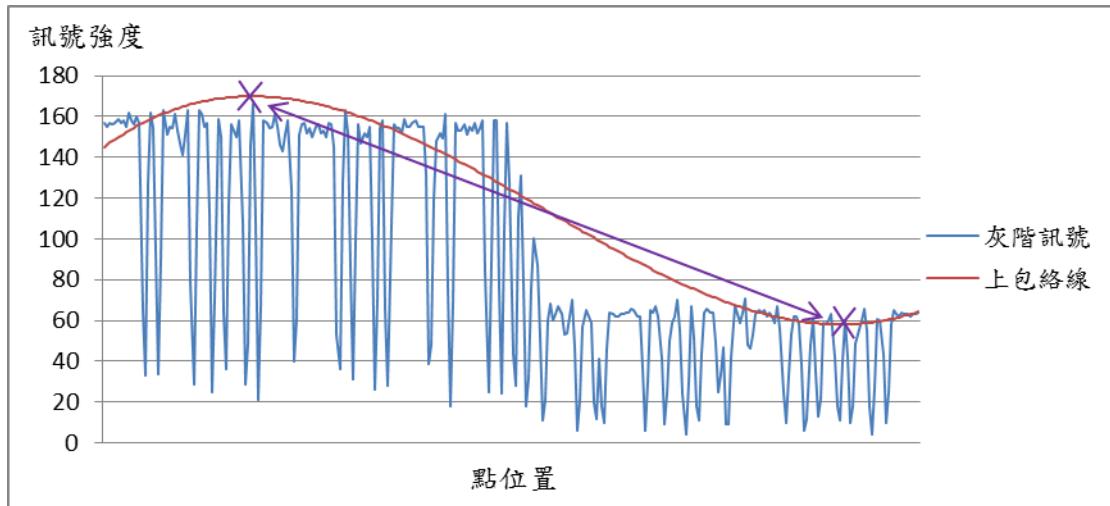


圖 3-25 AEMD 流程－考慮找尋分段點的訊號範圍

Step3：找尋偏離區間

決定找尋的方向之後，我們藉由找尋偏離區間來找尋分段點。找到偏離區間後，如果找到多個，選擇區間端點灰階值差較大的那個區間。

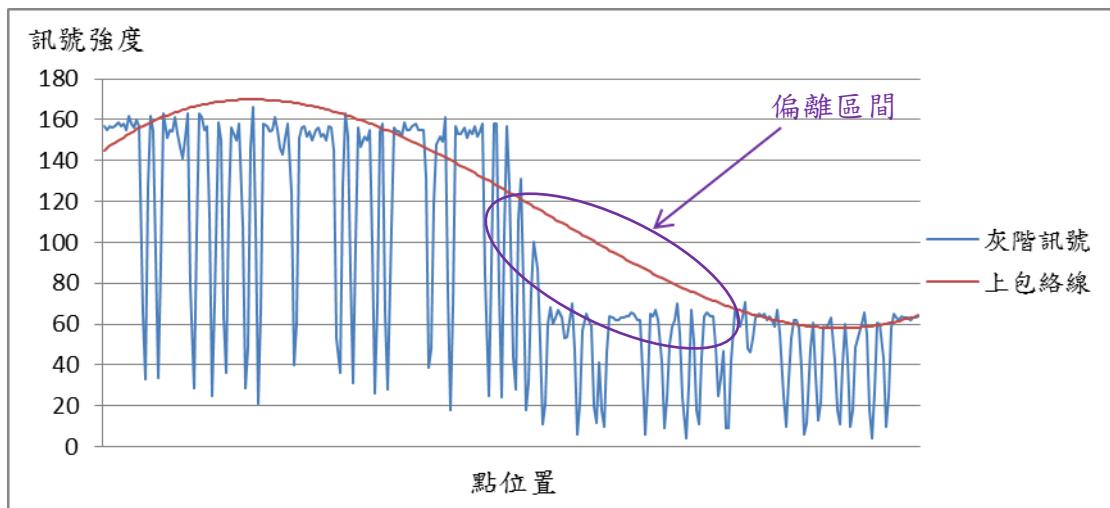


圖 3-26 AEMD 流程－偏離區間

Step4：分段點數

選定區間後，則灰階值較大的那個端點即為分段點。結合 Step2 與 Step3 的結果，我們可得到 0 至 2 個分段點。本範例找到分段點為 155。

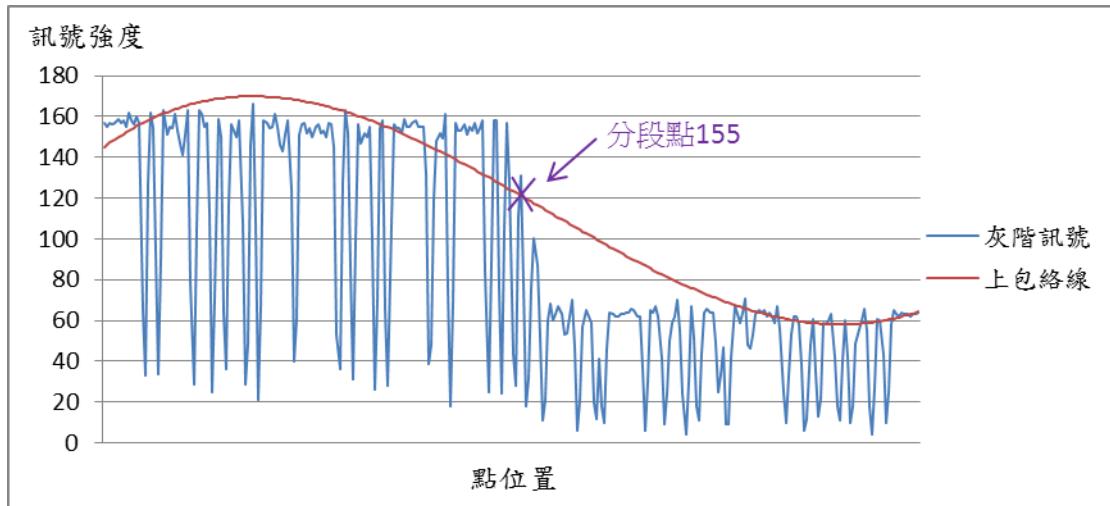


圖 3-27 AEMD 流程－決定分段點

Step5：計算局部包絡線

將訊號由這些分段點切開，並分段做局部的上包絡線計算。

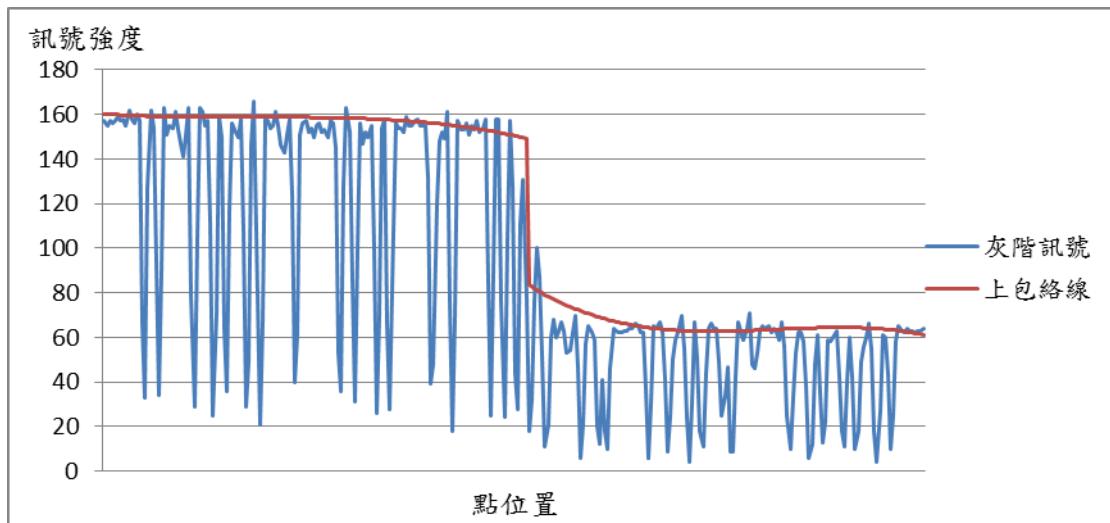


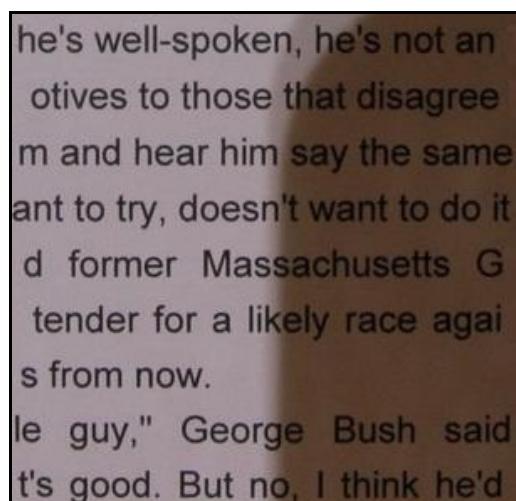
圖 3-28 AEMD 流程－局部上包絡線計算

Step6：二次局部光場調整

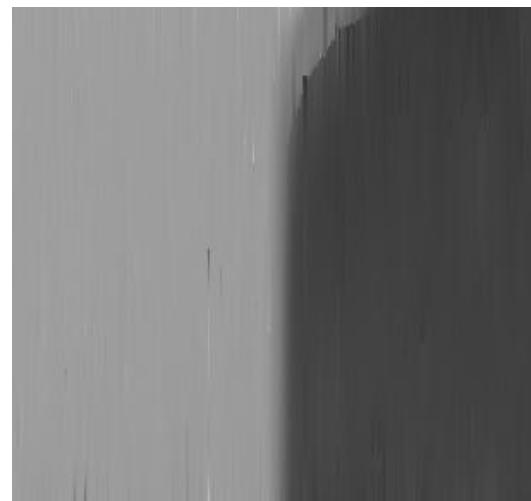
我們再對調整過後的上包絡線找尋偏離區間，然後對這些小偏離區間重做上包絡線調整。本範例做完局部上包絡線計算後，找不到偏離區間，因此不用做二次光場調整。最後得到上包絡線為灰階訊號的光場描述。

因此我們對原始影像圖 3-29(a)分別以行擷取與列擷取的方式擷取出訊號，然後經過 AEMD 的 6 個步驟的運算後會各得到一張行光場描述與列光場描述如圖

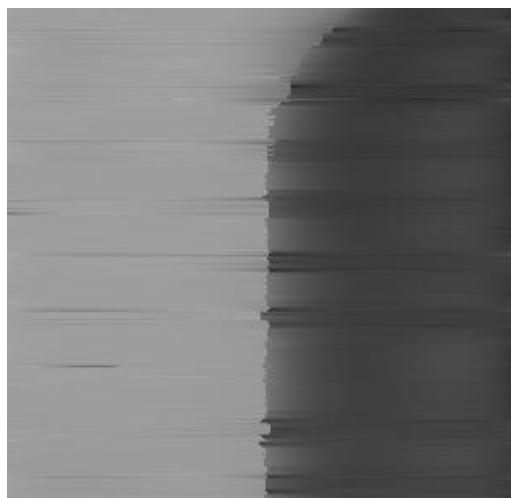
3-29(b)與(c)，再將兩張光場描述相加取平均，得到我們欲求的光場描述如圖3-29(d)。討論另一種情況，如果我們把圖 3-29(a)光場較高的區域去掉前景字如圖 3-30(a)，再使用 AEMD 計算光場描述，則可以得到圖 3-30(b)光場描述，比較圖 3-29(d)與圖 3-30(b)可看出計算出的光場差距極小；同時也可以觀察出當字體資訊較緊密的時候，由於黑色字體的吸光效應使得文字旁的背景資訊比起其他沒有字體區域的背景資訊，其訊號強度較低，因此影響了光場計算的強度，但經由實驗可知不影響光影去除的結果。



(a)



(b)

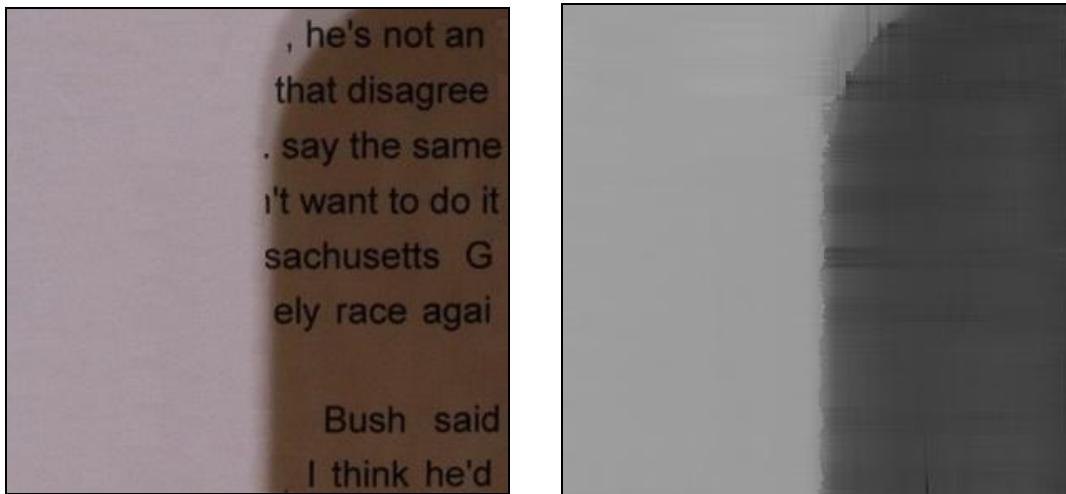


(c)



(d)

圖 3-29 AEMD 流程—光場影像(a)原始影像。(b)行光場描述。(c)列光場描述。(d)平均光場描述。

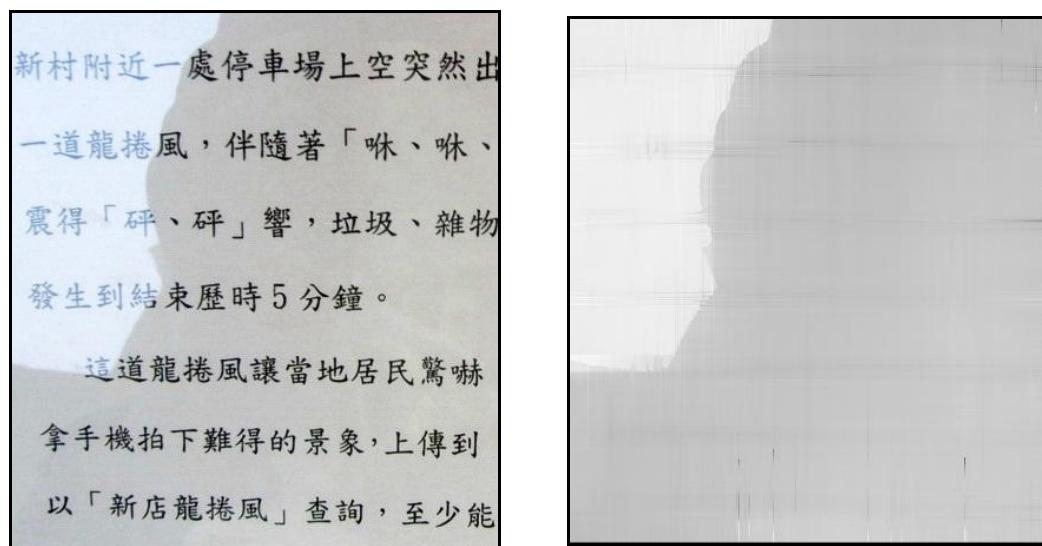


(a)

(b)

圖 3-30 AEMD 無前景文字影響之光場描述(a)原始影像。(b)光場。

其他光影情況所求的光場，由圖 3-29 至圖 3-32 可以看出，上包絡線不論有沒有前景文字，在不同曝光情境下幾乎都可以完整表達其光場描述。

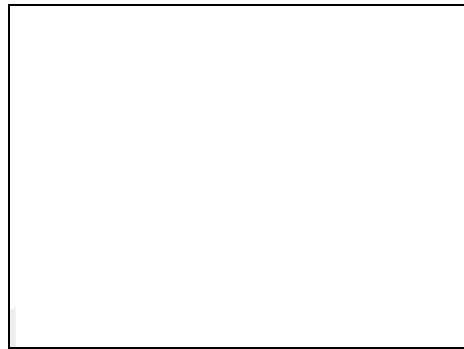


(a)

(b)

圖 3-31 反光影像與光場。(a)原始影像。(b)光場影像。

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?



(a)

(b)

圖 3-32 曝光過度影像與光場。(a)原始影像。(b)光場影像。

3.4 ABEMD

對於彩色影像，本論文利用 AEMD 的概念提出 ABEMD (Adaptive BEMD) 來解決彩色影像光影不均的問題，與 AEMD 不同的是：

- (1.)ABEMD 使用一個 Mask 找尋局部極大值。
- (2.)以三角形線性內插法快速計算上包絡面。
- (3.)因為彩色影像訊號的特徵比較有連續性，所以調整的方式與一維 AEMD 的方式不同。

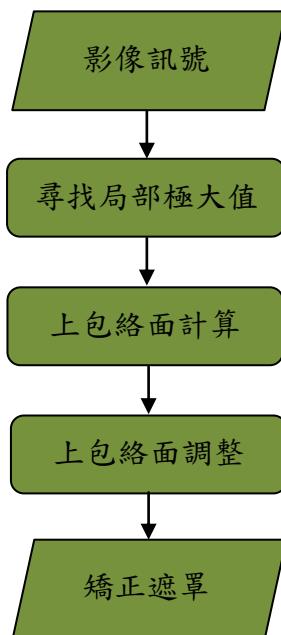


圖 3-33 ABEMD 流程圖

3.4.1 三角形內插法(Triangle Linear Interpolation)

在 2 維空間中，為了能快速地計算出光場描述，因此不使用 2 維的曲面內插法，以三角線性內插法快速求算上包絡面。假設我們有 3 個點形成三角形如圖 3-34，令三角形的 3 個點的座標為 $P_i(x_i, y_i)$ 與點的訊號值為 L_i ，其中 (x_i, y_i) 為二維空間上的座標值，令 $K(x_k, y_k)$ 為我們想要的內插點。首先算出以 P_0 為基準的向量 $\overrightarrow{P_0P_1}$ 、 $\overrightarrow{P_0P_2}$ 與 $\overrightarrow{P_0K}$ ，我們根據向量的計算原理可以將 $\overrightarrow{P_0K}$ 寫成 Eq.3-10：

$$\overrightarrow{P_0K} = s \times \overrightarrow{P_0P_1} + t \times \overrightarrow{P_0P_2} \quad (3-10)$$

也就是把寫 $\overrightarrow{P_0K}$ 成 $\overrightarrow{P_0P_1}$ 與 $\overrightarrow{P_0P_2}$ 的線性組合，並因為 P_0 、 P_1 、 P_2 與 K 皆為已知，因此可解出 s 與 t 的值，求得 s 與 t 的值之後，我們透過 Eq.3-11 求得 K 點的內插值 V_k ，完成三角形的二維線性內插，在本研究中，L 即為光場描述。

$$L_k = L_0 + s(L_1 - L_0) + t(L_2 - L_0) \quad (3-11)$$

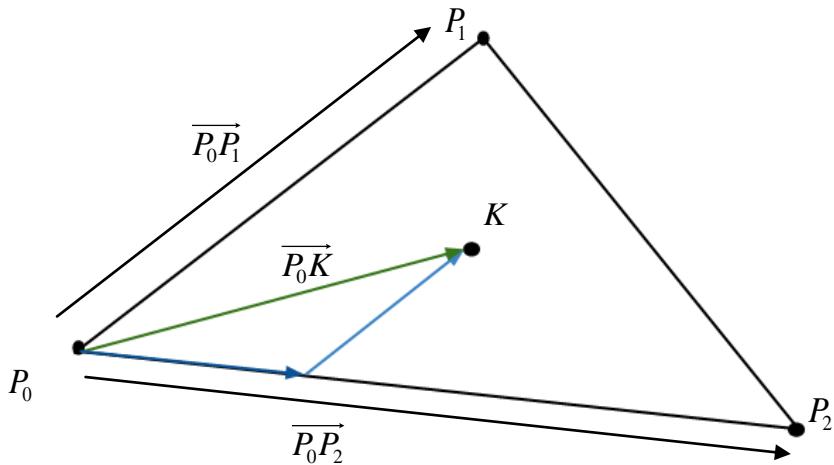


圖 3-34 三角內插示意圖

3.4.2 上包絡面調整

為了讓光場描述 $L(x, y)$ 更加貼近訊號的實際光場，我們依照彩色影像訊號連續的特性，以下列的方式來調整上包絡面：(1.) 將輸入訊號平面 $V(x, y)$ 與光場描述 $L(x, y)$ 做相減(Eq.3-12)，得到訊號與光場的差值 $D(x, y)$ ，(2.) 再利用 Eq.3-13 把相減得到的差值乘上一個小於 1 且大於 0 的倍數 w (本論文設為 0.7)以減弱其差值，(3.) 把乘完後的值 $D(x, y)$ 與灰階訊號平面 $V(x, y)$ 相加得到調整過後的遮罩 $L(x, y)$ 。此動作是為了讓光場描述貼近原始訊號，如圖 3-35 示意圖。

$$D(x, y) = L(x, y) - V(x, y) \quad (3-12)$$

$$D'(x, y) = D(x, y) \times w \quad (3-13)$$

$$L(x, y) = D(x, y) + V(x, y) \quad (3-14)$$

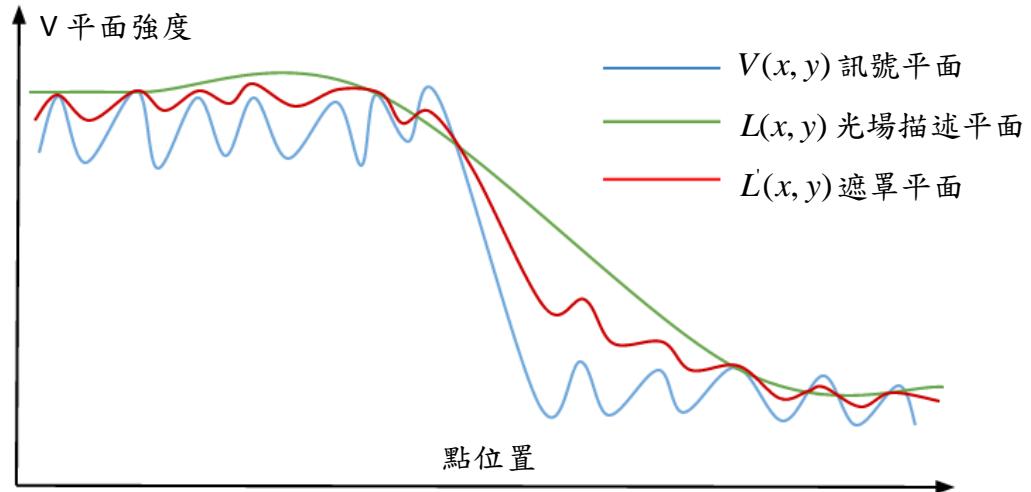


圖 3-35 ABEMD 光場描述調整示意圖

第四章 AEMD 在光場矯正上的應用

本章以文件影像光影問題來說明 AEMD 的應用。在文件影像實驗的前處理過程分成兩小部分。首先對原始輸入影像做灰階化的處理，將影像每個點的 R、G、B 值相加取平均得到灰階化的影像，如式 4-1：

$$Gray(x, y) = \frac{R(x, y) + G(x, y) + B(x, y)}{3} \quad (4-1)$$

再對灰階影像分別以行擷取與列擷取的方式，得到許多一維灰階訊號，之後將這些訊號以 AEMD 做光影的矯正，如圖 4-1 所示：

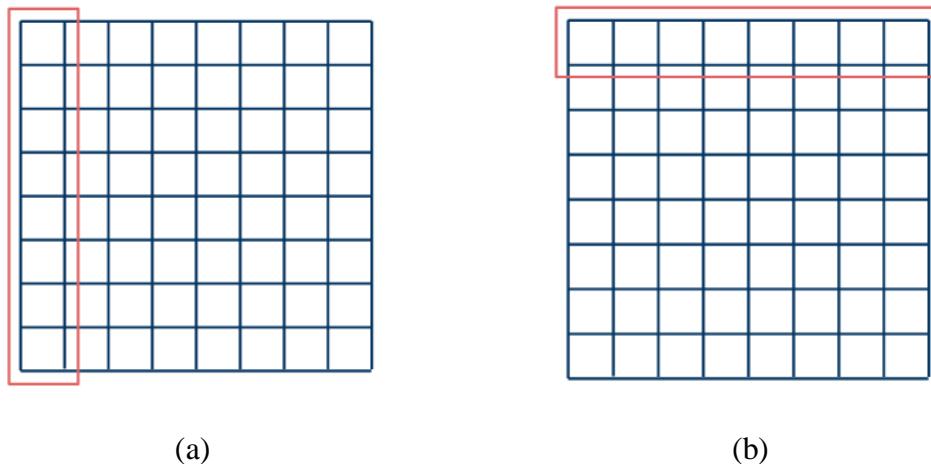


圖 4-1 灰階影像訊號擷取。(a)行擷取。(b)列擷取。

光影矯正的流程如圖 4-2，先對灰階化後所擷取出的文件影像訊號做 AEMD 求得較佳的光場描述，之後判斷該輸入訊號是否為曝光過度訊號並標示；在光影移除中，先是設定對比度值，如果被標示為曝光過度的點則固定對比度值，如果不是則依矯正遮罩設定對比度，最後做光影的移除。

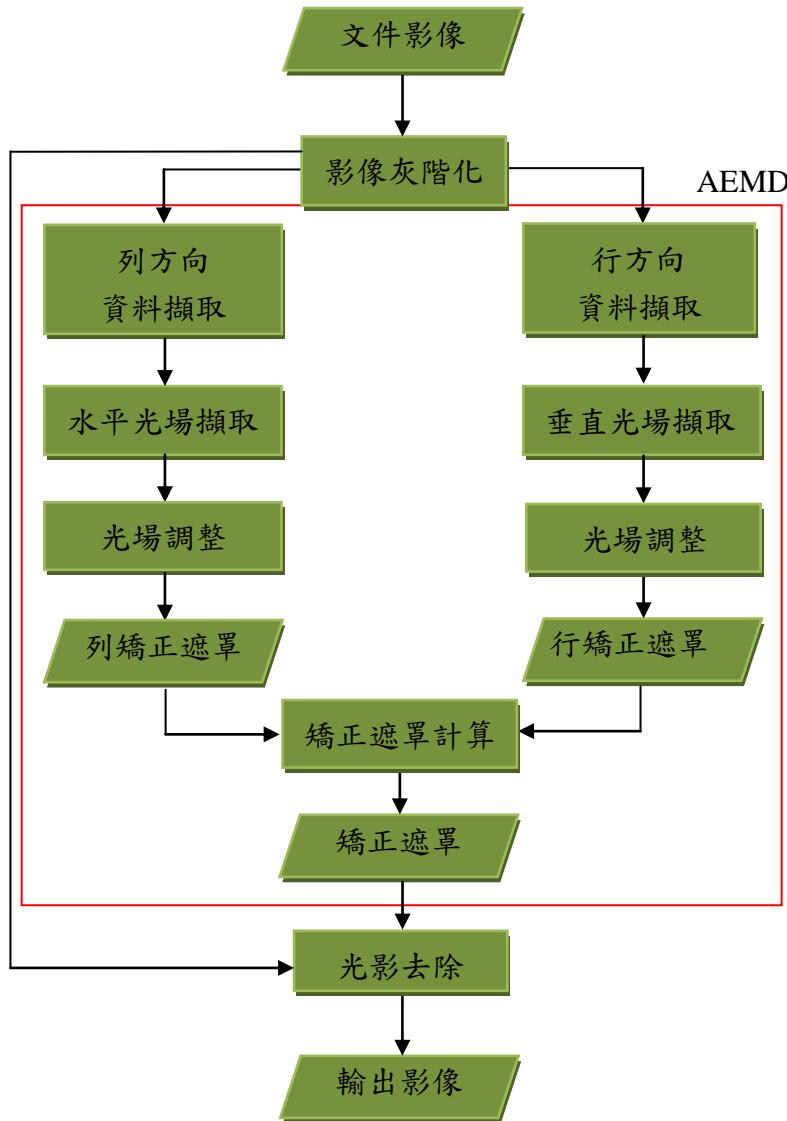


圖 4-2 AEMD 文件影像系統流程

4.1 曝光過度文字影像的判斷與對比度選取

在第三章中，我們說明了上包絡線代表灰階訊號的光場分布，利用 AEMD 對訊號描述不精確影像進行上包絡線調整並據以判斷是否為曝光過度。

在曝光過度的情況下，由於取像後的影像會偏亮，所以影像實際光場值理論上都會較高。而且因為上包絡線代表灰階訊號光場的描述，所以我們用上包絡線對影像是否為曝光過度做判斷。我們取 6 張曝光過度的影像進行實驗，先對每張影像的每一行與每一列求出上包絡線，並求得每一個上包絡線的最小值，這些最

小值形成集合中最小的值為 226。因此，求出上包絡線之後，以上包絡線最小值 ≥ 226 的判斷式來判斷此輸入訊號是否為曝光過度訊號。

對於文件影像，如果曝光過度訊號，將因為受光量偏高導致一些深色文字灰階值也進而提高而降低了與背景之間的對比，為了維護原本文字的可讀資訊，本論文將曝光過度文件對比度提高，來保留深色的文字資訊，但是也不能提高太多而將雜訊強化出來，經實驗本論文在曝光過度文件影像的解決上是將對比度參數 α 值設為固定值 8，再利用 AEMD 矣正遮罩進行矯正，我們將於 4.3 節討論。

4.2 非曝光過度對比度選取

除了曝光過度外，方向光場、陰影光場、反光光場、透光光場是我們需進行光場矯正的四大類型，在陰影的情況中，由於對深色資訊保留較多，所以對文字做灰階值調整較不容易改變前景文字與背景空白處之間的對比；相反地在反光情況時，反光的效應會讓受反光影響的區域光場量提高，在該區域內的文字灰階值也因而提高，對比度減少，為了解決這個問題，解決方式為增加對比度；在方向光的影響下，呈現離光源較近的地方較亮，反之較遠的地方則光場較弱，而如果光場過高則容易造成文字對比度下降；對於透光問題，透光文字資訊在本論文中視為雜訊，因此在對比度強化的過程中，不能將透光文字過度強化。所以綜合以上的光影情況，本論文則依照光場強度，來做相對應的對比度 α 值設定：

表 4-1 對比度設定對應表

上包絡線值	對比度 α 設定	對比度值域範圍
255~128	$\alpha = (\text{上包絡線值}-128) / (127/6) + 2$	2~8 倍
128 以下	2	2 倍

圖 4-3 為表 4-1 的示意圖：

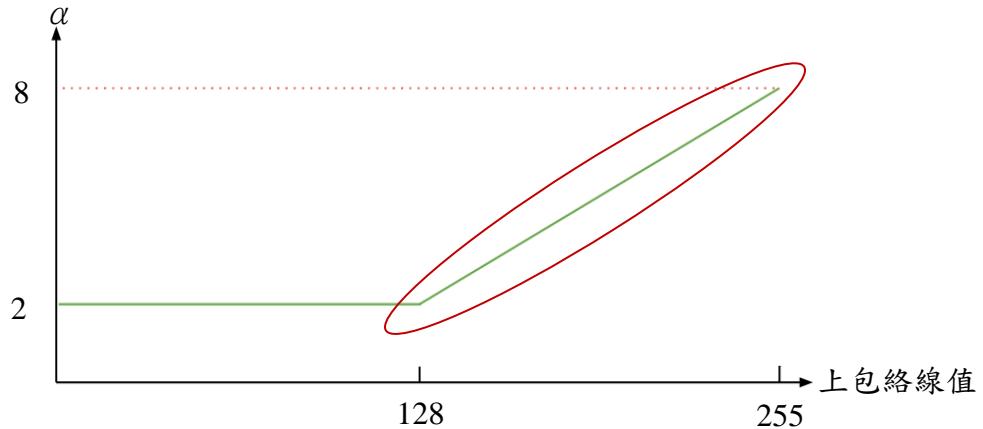


圖 4-3 對比度設定示意圖

我們將光場值分為比 128 大與比 128 小的兩個部分，如果光場值介於 255 至 128 之間，很可能是反光過度的情況發生，所以我們依光場值的增加而自動地選用不同對比度。

4.3 文字影像光影矯正

做完 AEMD 之後，在本小節中，本論文將說明如何依照前面一節所設的對比度來強化灰階值的對比，以進行光影影響因素的去除。

4.3.1 強化灰階值對比

我們先說明本論文是如何依給定的對比度 α 值來做對比度的調整。本論文對比度調整的方式是以光場為灰階值調整的遮罩，公式如 Eq.4-2 所示：

$$I_{con}(x, y) = \alpha(I(x, y) - S(x, y)) + S(x, y) \quad (4-2)$$

此調整機制的概念源至於[4]， $I(x, y)$ 為原始灰階強度， $S(x, y)$ 為光場值(上包絡線)， $I_{con}(x, y)$ 為 $I(x, y)$ 對比度調整過後的灰階強度對照圖 4-4 所示，淺藍色線為輸入灰階訊號，綠色線為逼近光場的上包絡線，在 Eq.4-2 中，先將原始灰階值 $I(x, y)$ 減掉相對應的遮罩值 $S(x, y)$ ，得到灰階強度與光場之間的差值，之後乘上 α (對比度)強化差值， α 值愈高對比度越深，之後再加回遮罩值，得到加深後的灰階強度 $I_{con}(x, y)$ 。

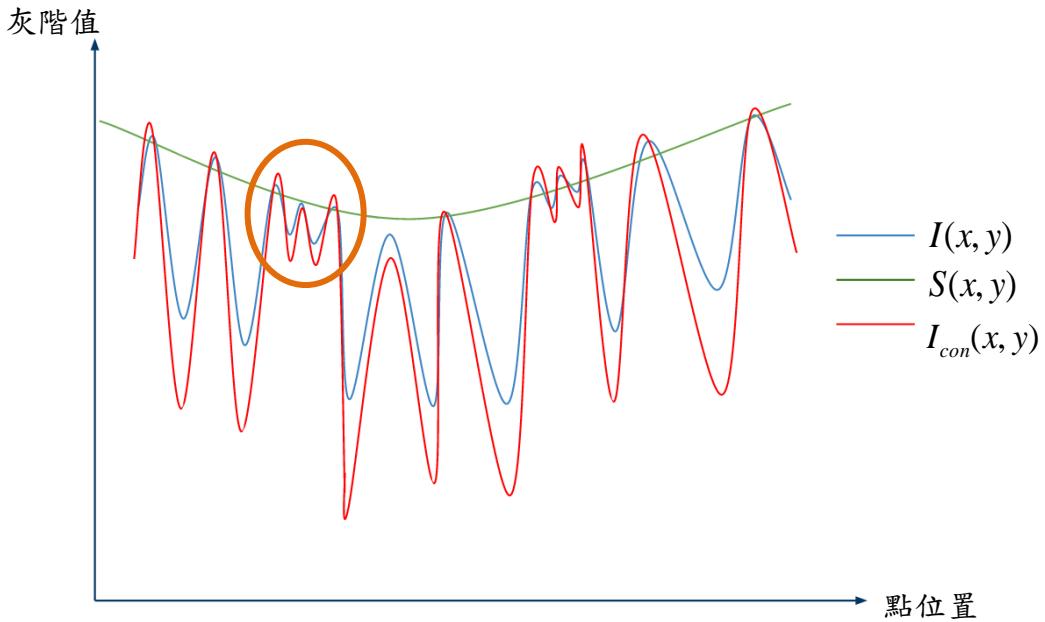


圖 4-4 對比度調整公式 Eq.4-2 示意圖

以這種方式加強對比度的結果我們觀察到將使得比上包絡線稍低的非文字
灰階值被過度強化，為了避免此現象發生，我們將對比度的調整遮罩從原本的光
場遮罩往下移得到矯正遮罩：

$$S'(x, y) = S(x, y) - cut \quad (4-3)$$

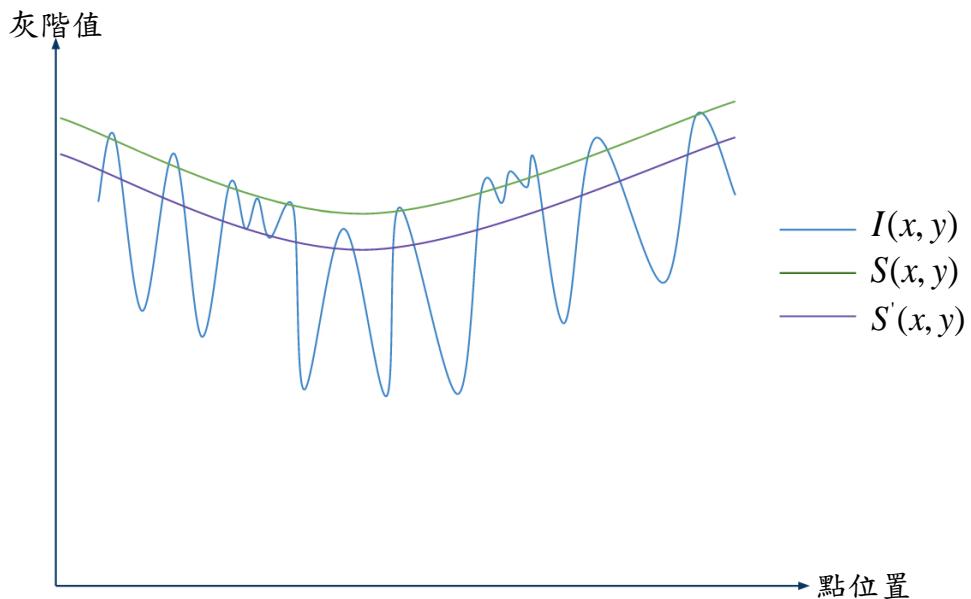


圖 4-5 對比度矯正遮罩 Eq.4-3 示意圖

示意圖如圖 4-5，本論文經過實驗得到最佳效果的 cut 值為 8。此對比度矯正遮罩
 $S'(x, y)$ 也是灰階值調整的基準。因此，Eq.4-2 的調整公式可以修改為 Eq.4-4：

$$I_{con}(x, y) = \alpha(I(x, y) - S'(x, y)) + S'(x, y) \quad (4-4)$$

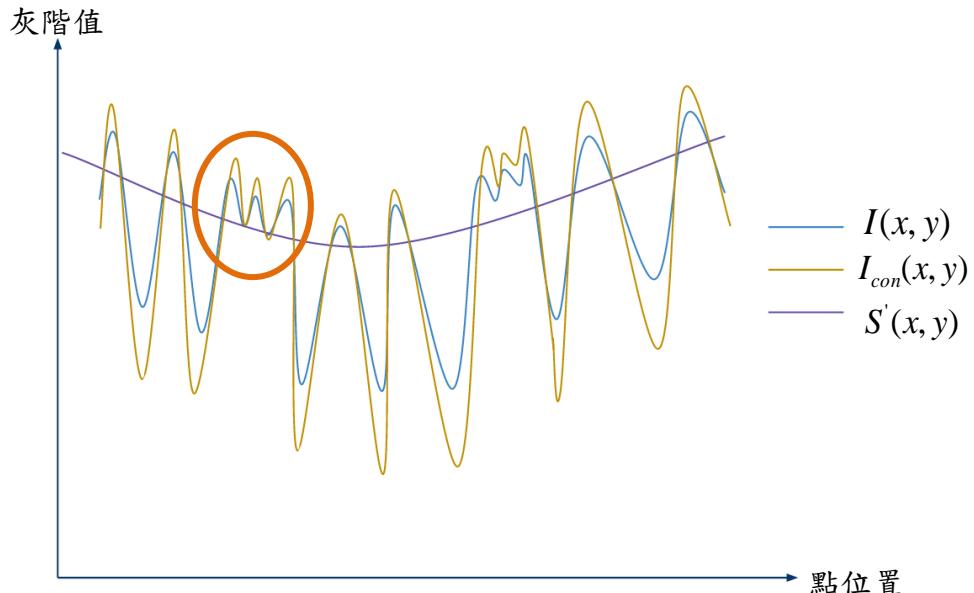


圖 4-6 以矯正遮罩強化對比

我們從圖 4-4 與圖 4-6 橘色圈處明顯看到，遮罩的取用再做對比度強化的差異，我們以實際例子如圖 4-7 可看出實際情況下的差異。

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(a)

(b)

圖 4-7 灰階值調整基準(a)以光場遮罩(b)以矯正遮罩

4.3.2 光影去除

對比度加深後，最後要做灰階值調升達到光影去除的效果。光影去除的公式如下：

$$R_{con}(x, y) = \frac{I_{con}(x, y)}{S'(x, y)} \quad (4-5)$$

我們在 Eq.4-5 取得每一個像素(pixel)的反射率，然後透過一個明亮光源(亮度值 255)的照射(反射率 $\times 255$) Eq.4-6 來重新取得移除光影的灰階

$$I_{adjust}(x, y) = R_{con}(x, y) \times 255 \quad (4-6)$$

結合 Eq.4-5 與 Eq.4-6 公式得到 Eq.4-7，調整效果的示意圖如圖 4-8：

$$I_{adjust}(x, y) = \frac{I_{con}(x, y)}{S'(x, y)} \times 255 \quad (4-7)$$

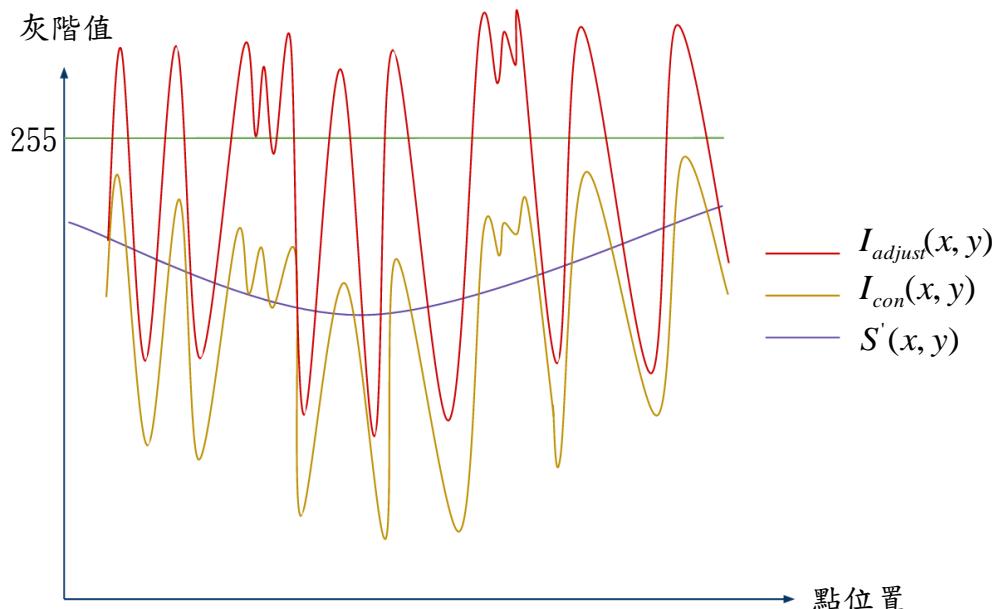


圖 4-8 灰階值調整 Eq.4-7 示意圖

4.4 彩色影像光影去除

在彩色影像的應用上，我們利用二維 EMD(Bidimensional EMD, BEMD)的概念設計 ABEMD 對彩色影像光影不均的問題進行解決。與 AEMD 不同的是，ABEMD 使用一個 Mask 找到局部極大點，並用三角線性內插法快速計算光場分佈。本論文對彩色影像處理的流程如下圖 4-9：

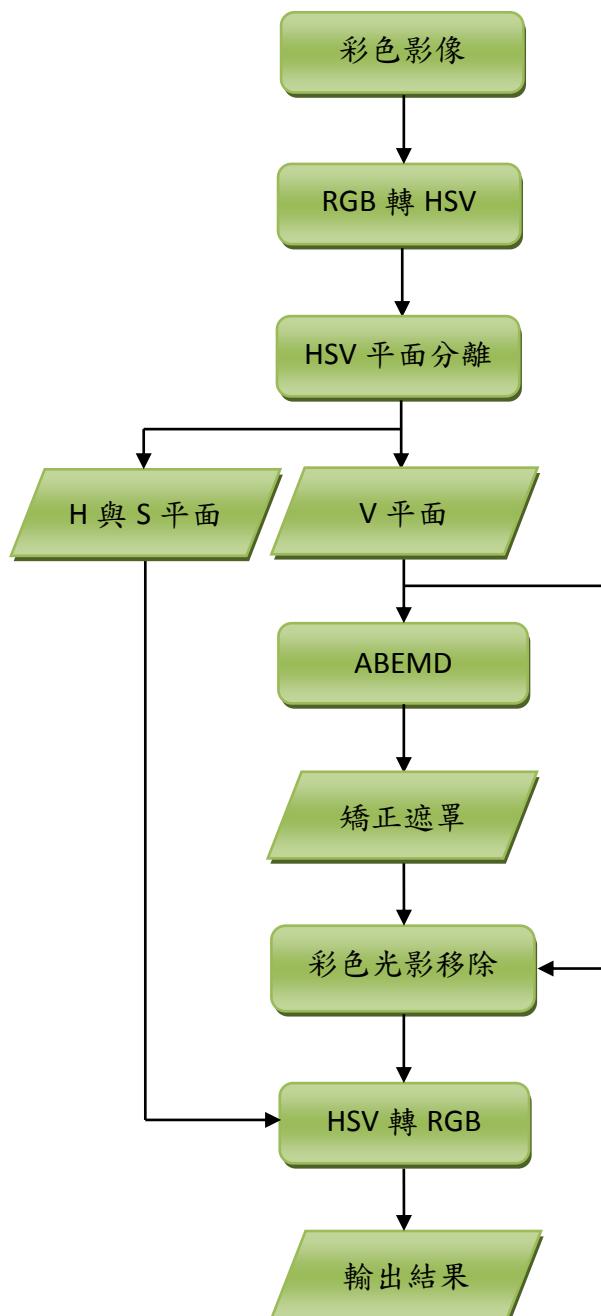


圖 4-9 彩色影像 ABEMD 流程

Step1 : RGB 彩色空間轉成 HSV 彩色空間

其中，我們保留 H 平面與 S 平面的資訊作為光影矯正後彩色影像的分量，

另外擷取 V 平面的資訊來做當做 ABEMD 演算法的輸入資料。

Step2 : ABEMD 流程

(1.)用一個 $n \times n$ mask 以二維的方式尋找 V 平面中的局部極大值。(在本研究中 n 值取 60)

(2.)然後對這些找到的局部極大值以三角線性內插法快速地求出光場描述的上包絡面調整為 $L(x, y)$ 。

Step3 : 光影移除

仿照 AEMD 遮罩移除光影的方法，求得影像反射率 $R(x, y)$ 如 Eq.4-8，並根據反射遮罩及均勻光罩(強度為 255)，獲得調整後的影像亮度平面 $V'(x, y)$ 如 Eq.4-9。

$$R(x, y) = L(x, y) / V(x, y) \quad (4-8)$$

$$V'(x, y) = R(x, y) \times 255 \quad (4-9)$$

Step4 : HSV 彩色空間轉成 RGB 彩色空間

最後將求得的 V' 平面與原本保留的 H 與 S 平面合併後，轉回 RGB 彩色空間，得到光影去除的彩色影像。

第五章 實驗結果

在本章節裡，本論文分別以對不同光影影響的文件影像做光影的去除，並且與 Fast EMD[4]進行影像視覺品質與後續文字辨識率的比較。同時我們也應用 ABEMD 對彩色影像做光影的實驗與比較。

5.1 文件影像不同光影影響實驗結果

本小節對文件影像的光影影響做實驗與比較。

5.1.1 實驗設備與環境

本實驗使用數位照相機進行拍攝，每張實驗的影像皆是拍攝後未經過軟體處理的影像，實驗的環境如下：

取像設備：Canon SX210 IS

硬體環境：Intel Core I7 CPU 2.80GHz，4GB RAM

軟體環境：Windows7，Visual Studio 2008，OpenCV2.1，ABBYY FineReader 10.0

5.1.2 不同的文件影像光影去除

在本小節中，本論文將 AEMD 方法與其他常見的灰階調整方法如：Histogram Equalization(直方圖均化)做比較，針對文件影像進行 OCR 前的二值化方法如：Otsu、Local-Otsu，也用來驗證所提方法的優異性。本論文也將討論快速版本 EMD 去除光影的方法(在本論文稱 Fast EMD[4])所達成去除陰影的結果與比較。

在 5.1.2.1 至 5.1.2.3 的實驗中，主要是探討灰階值調整的效果，所以在這三個小節的實驗裡，FAST EMD[4]、本論文方法的處理結果皆未經過二值化的處理步驟，可用目視來比較光場調整的效果。

5.1.2.1 實驗一：曝光過度影像

第一個實驗，我們將呈現與比較其他灰階值提升方法對於曝光過度文件影像的實驗效果如何。首先我們分別對一張英文及中文文件的曝光過度影像，使用各

種灰階值提升的方法來比較結果。如下圖 5-1 及圖 5-2：

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(a)

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(b)

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(c)

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(d)

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(e)

ANAHEIM -- A 10-game home
an opportunity to record his 3,000
may present a conundrum for his m
off, will the Yankees rest him and
reach the milestone on the road?

(f)

圖 5-1 曝光過度英文文件影像實驗結果。(a)為輸入影像(800x600)。(b) 直方圖均化。(c)Otsu。(d)Local Otsu(267x200 Block)。(e)Fast EMD[4]。(f) AEMD。

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(a)

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(b)

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(c)

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(d)

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(e)

盟各隊春訓在近期陸續展開
是我國旅美投手王建民所屬的
日，王建民在今天進行傳接球
訓練的當天，他將再次進牛棚，
以感受到王建民對於復出的

(f)

圖 5-2 曝光過度中文文件影像與實驗結果。(a)為輸入影像(800x600)。(b) 直方圖均化。(c)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(267x200 Block)。(e)Fast EMD[4]。(f) AEMD。由實驗結果比較可看出，Fast EMD[4]方法因為沒有判斷輸入影像是否為曝光過度影像的機制，而且對比度是固定值 2，所以對於曝光過度的中文字影像而

言，字體過亮的問題依然存在，搭配不同二值化的方法可能會使字體破碎；本論文的方法因為上包絡線本身為光場描述，所以我們依照上包絡線增強對比值，在曝光過度的影響下，本論文因為設定較高的對比值 $\alpha=8$ ，所以保留了詳細的文字資訊。

5.1.2.2 實驗二：陰影影像

ments, they rejected talk of a Bush pol
at they are one of only two father-s
story.
f Jeb was thinking about running for pre
"I don't think he is. In fact, I know he's no
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

ments, they rejected talk of a Bush pol
at they are one of only two father-s
story.
f Jeb was thinking about running for pre
"I don't think he is. In fact, I know he's no
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

(a)

(b)

talk of a Bush pol
only two father-s

about running for pre
In fact, I know he's no
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

ments, they rejected talk of a Bush pol
at they are one of only two father-s
story.
f Jeb was thinking about running for pre
"I don't think he is. In fact, I know he's no
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

(c)

(d)

ents, they rejected talk of a Bush po
at they are one of only two father-s
story.
f Jeb was thinking about running for pr
I don't think he is. In fact, I know he's n
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

ments, they rejected talk of a Bush po
at they are one of only two father-s
story.
f Jeb was thinking about running for pr
"I don't think he is. In fact, I know he's no
uld he be a good president? Absolute
e that from a father's prejudice view. I n
s governor, he's well-spoken, he's not a
butes bad motives to those that disagre

(e)

(f)

圖 5-3 陰影影響的英文文件影像與實驗結果。(a)為輸入影像(400x300)。(b) 直方圖均化。(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(100x75 Block)。(e) Fast EMD[4]。(f) AEMD。

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(a)

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(c)

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(b)

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(d)

國民隊春訓基地，來了兩位王建民的小球迷，他們一早就等在球場外，最後如願等到王建民的簽名球，這兩名台灣學生，目前就讀台中的石岡國中，雖然學校已經開學了，但他們特地請了兩個星期的假，飛到佛羅里達來為偶像加油，台灣小球迷遠渡重洋來打氣，大家的支持，也成為王建民拚戰最大的動力。

國民隊的投捕手在這天才正式報到，但提前啟動春訓的王建民，早已超前大家的進度，美國媒體

(e)

(f)

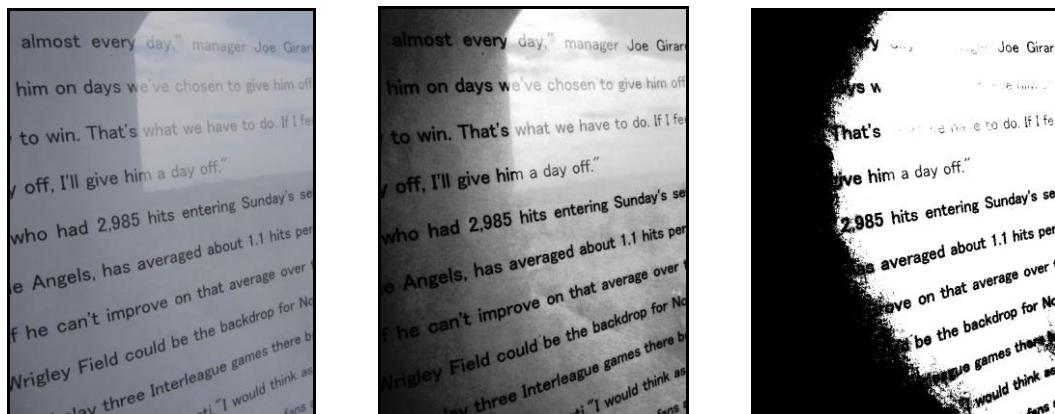
圖 5-4 劇烈光影變化影像實驗結果。(a)為輸入影像(800x600)。(b) 直方圖均化。

(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(400x300 Block)。(e) Fast EMD[4]。(f) AEMD。

在實驗二中，Fast EMD[4]方法對含有陰影影響的文件影像強化，容易引起空白處的雜訊產生，而且對於複雜筆畫的中文字，很容易在文字辨識前處理的二值化步驟中造成字體破碎，特別是筆畫多而雜的字如圖 5-4(e)中第三行「讀」、「灣」或是最後一行的最後一個字「體」，都失去原本細節。本論文的方法不論在普通的陰影影響與劇烈的陰影變化中，都可以處理得很好。

5.1.2.3 實驗三：反光影像

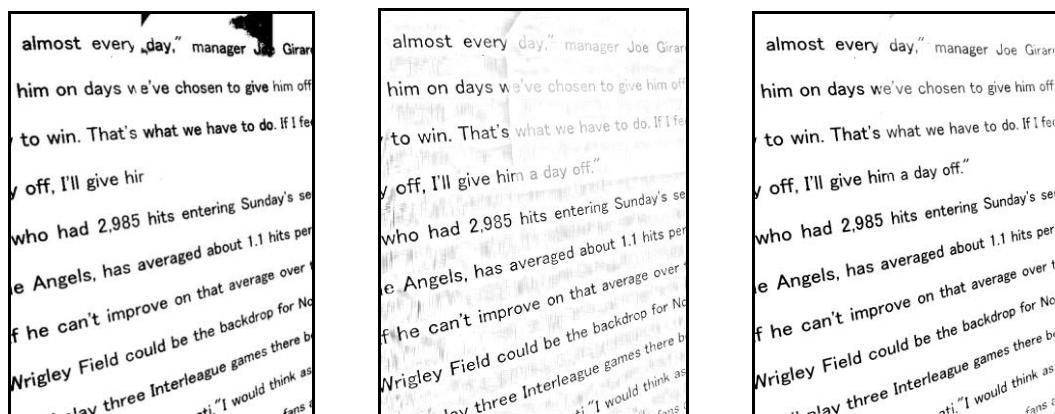
在本小節實驗中，我們比較各方法在受反光影響的影像中的處理效果。此處所指的反光影響為當文件影像與取像裝置間隔了一層平滑面，而且此平滑面反射了一個單調的景物，如反射單一顏色且無花紋的牆壁或是晴朗天空。



(a)

(b)

(c)



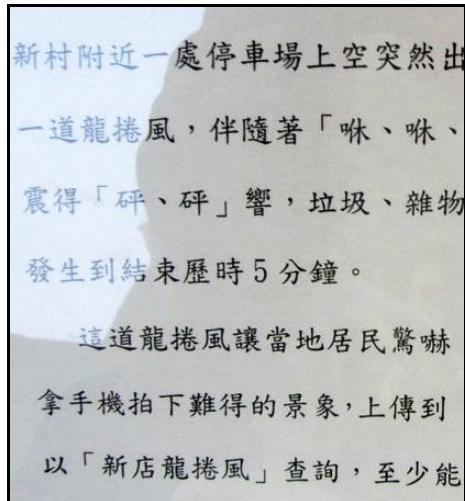
(d)

(e)

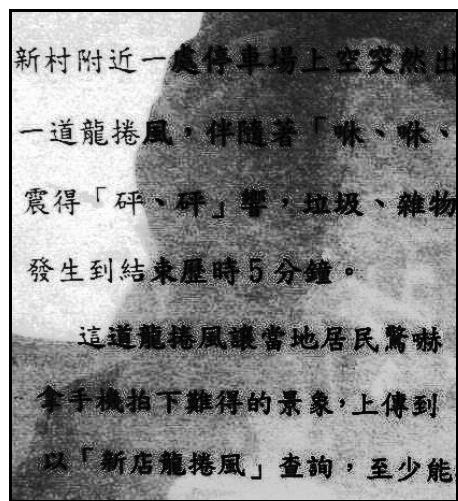
(f)

圖 5-5 英文文件反光影像實驗結果。(a)為輸入影像(800x600)。(b) 直方圖均化。

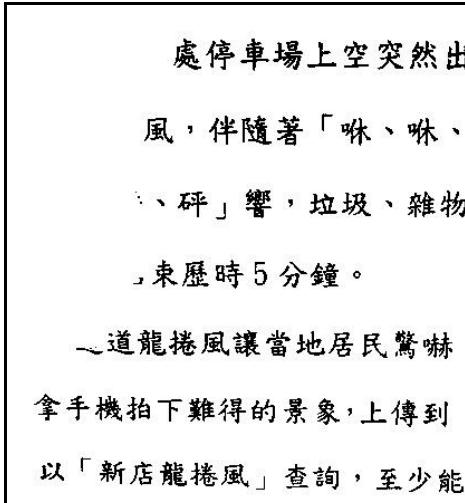
(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(260x260 Block)。(e) Fast EMD[4]。(f) AEMD。



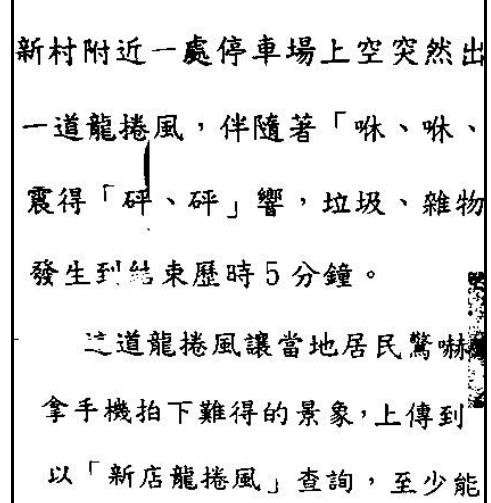
(a)



(b)



(c)



(d)

新村附近一處停車場上空突然出
一道龍捲風，伴隨著「咻、咻、
震得「砰、砰」響，垃圾、雜物
發生到結束歷時 5 分鐘。
這道龍捲風讓當地居民驚嚇
拿手機拍下難得的景象，上傳到
以「新店龍捲風」查詢，至少能

新村附近一處停車場上空突然出
一道龍捲風，伴隨著「咻、咻、
震得「砰、砰」響，垃圾、雜物
發生到結束歷時 5 分鐘。
這道龍捲風讓當地居民驚嚇
拿手機拍下難得的景象，上傳到
以「新店龍捲風」查詢，至少能

(e)

(f)

圖 5-6 受反光影響的文件影像與實驗結果。(a)為輸入影像(414x155)。(b) 直方圖
均化。(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(40x60 Block)。(e)Fast EMD[4]。(f) AEMD。

經實驗結果可以看出，由於反光的影響會使得反光區域文字的灰階值升高，
FAST EMD[4]因為採取餘數函數為光影去除的基準，無法辨別餘數函數的趨勢變
化是受光場的影響或是前景文字訊號的因素所造成；但是本論文依照光場強度的
高低來增強對比度，所以在反光情況可以有不錯的效果，而 Fast EMD[4]並沒有
針對反光的區域做對比度的加深，所以處理完後，文字灰階值依然呈現較高的現
象，因此在 OCR 的文字辨識上將造成不良的影響。

5.1.2.4 實驗四：透光問題：

在本小節中，我們一樣也分別以中文與英文文件的透光問題，來比較各方法
的實驗效果，實驗過程中本論文與 Fast EMD[4]皆執行 Otsu 二值化的步驟來做透
光文字的去除。

hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(a)

hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(b)

hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(c)

hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(d)

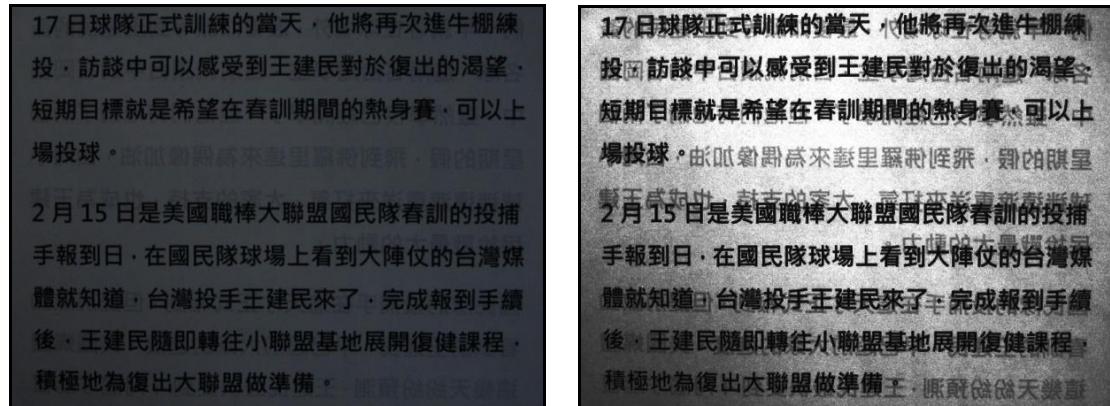
hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(e)

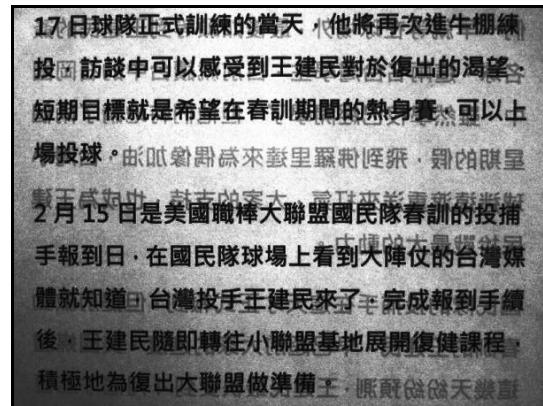
hink he is. In fact, I know he's not."
be a good president? Absolutely," Bu
rom a father's prejudice view. I mean, h
nor, he's well-spoken, he's not an extre
ad motives to those that disagree with
w him and hear him say the same thing.
't want to try, doesn't want to do it."
ioned former Massachusetts Gov. B

(f)

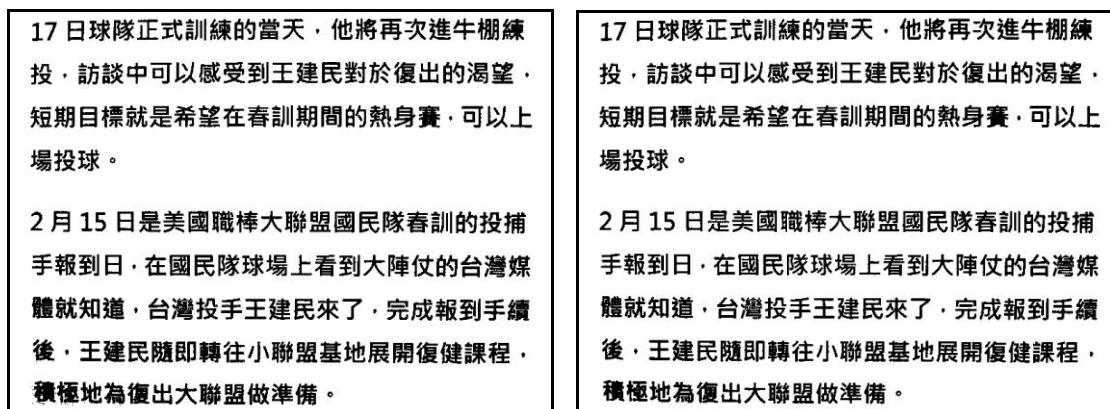
圖 5-7 英文字透光文件影像與實驗結果。(a)為輸入影像(384x267)。(b) 直方圖均化。(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(40x60 Block)。(e)Fast EMD[4]。(f) AEMD。



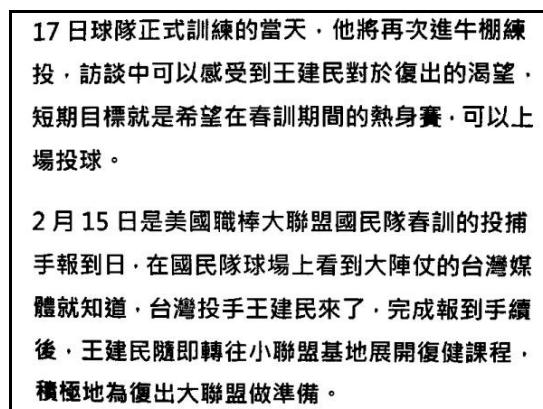
(a)



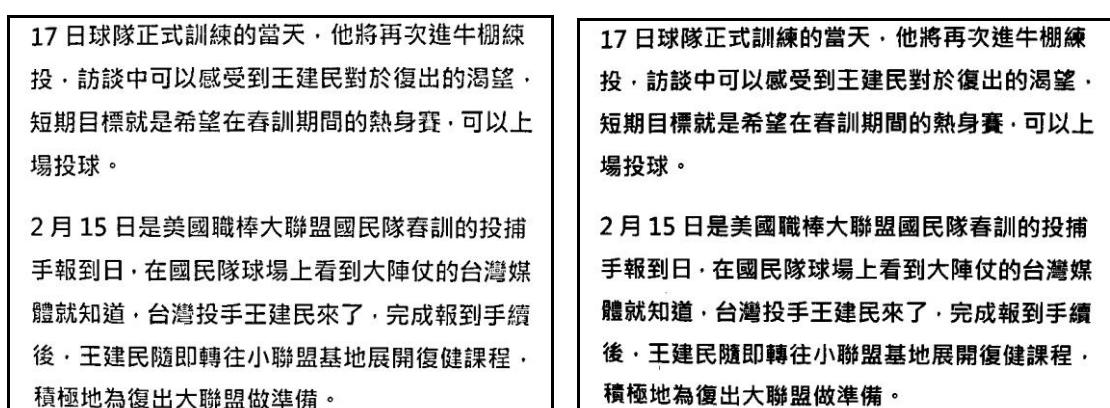
(b)



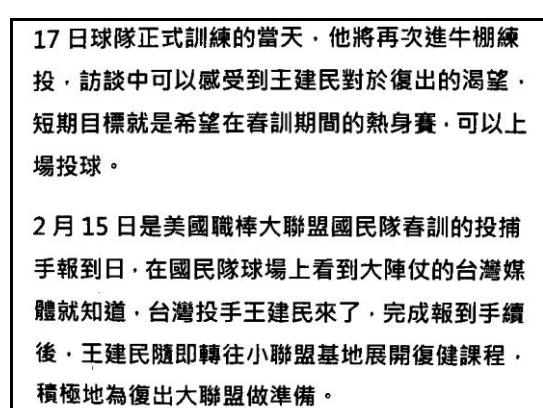
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 5-8 中文字透光文件影像與實驗結果。(a)為輸入影像(800x600)。(b) 直方圖均化。(C)Otsu 二值化。(d)Local Otsu(400x600 Block)。(e)Fast EMD[4]。(f) AEMD。

在透光問題影像的實驗中，我們觀察到經過 Fast EMD[4]與 AEMD 演算法所得到的結果，使用本論文的方法去除透光問題的不良光影類型，不需要搭配或嚴

密規劃去除透光文字影響的方法，只需要搭配最常見的二值化方法 Otsu 就可以去除一般常見的透光文字影響。

5.1.3 辨識率與時間比較

在本小節中，我們比較各方法的辨識率與時間效能。

5.1.3.1 辨識率

本小節針對 EMD 的方法做辨識率與時間的比較，為了避掉某些二值化方法在初始值設定的問題，並有一致的比較基準，所以實驗均以 Otsu 法進行文件二值化。

- (1) Original Image +Otsu 。
- (2) Fast EMD[4]+Otsu 。
- (3) AEMD+Otsu 。

在辨識率的比較上，我們對每種不同類型光影影響的影像各取 5 張，並且分別使用(1)(2)(3)的方法組合來進行 OCR 前處理，接著以 ABBYY FineReader 10.0 對輸出結果做辨識，求得各方法組合在不同光影影響的平均辨識率，探討使用各方法對英文文件影像與中文文件影像的不同光影影響的實驗效果如表 5-1 與表 5-2：

表 5-1 英文文件影像辨識率

方法	曝光過度	陰影	反光	透光
(1)	0.959	0.369	0.759	0.955
(2)	0.991	0.993	0.989	0.991
(3)	0.994	0.982	0.993	0.993
總字數	442	539	437	428

表 5-2 中文文件影像辨識率

方法	曝光過度	陰影	反光	透光
(1)	0.961	0.369	0.759	0.958
(2)	0.932	0.896	0.722	0.986
(3)	0.984	0.920	0.971	0.981
總字數	758	812	840	803

綜合以上結果可看出 AEMD 在不同光場文件影像 OCR 前處理的強化效果上，無論是中文文件還是英文件，辨識結果都可以有不錯的辨識率提升，而 Fast EMD[4]在文件影像光影處理上，對中文文件有複雜筆畫的現象較為不利，尤其在有較明顯的光影變化影像，Fast EMD[4]表現得更是不好。

5.1.3.2 時間

本小節對 EMD 與本論文方法的時間上做比較，而 EMD 在此實驗的比較上，我們將該方法中計算 IMF 的迴圈數固定設為 5 次，來做時間上的比較，本實驗以相同長寬比 4:3 的影像以不同尺寸大小來做實驗，實驗結果如表 5-3：

表 5-3 時間效能比較(秒)

	400x300	500x375	600x450	700x520	800x600	900x675	1000x750
Fast EMD[4]	30.55	56.475	94.973	151.14	202.32	308.08	414.52
AEMD	0.795	1.18	1.682	2.23	2.93	3.84	4.76
時間倍數	38.43	47.86	56.46	67.78	69.05	80.23	86.94

圖 5-9 為表 5-3 的圖形表示，由本實驗結果可以看出，傳統 EMD 去除光影的方法 Fast EMD[4]在時間上，遠大於本論文的方法 40 倍以上的時間，而且影像尺寸越大倍數就越高。

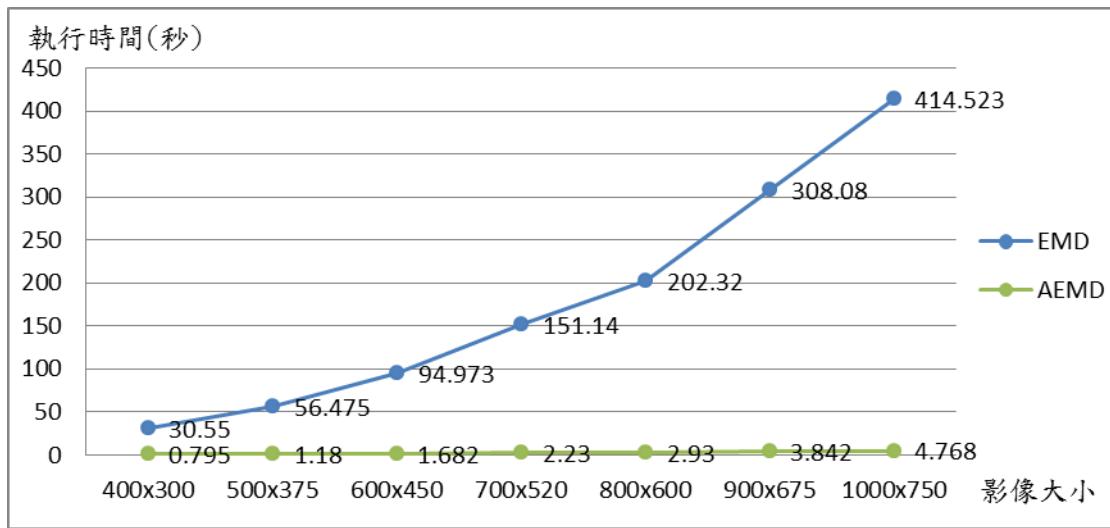


圖 5-9 EMD 與 AEMD 時間成長比較

總結以上實驗，在文件影像上的光影移除，本論文所提方法不僅效果與 EMD 一樣好甚至更好，時間上的效率更是遠優於 EMD 的方法。

5.2 實驗五：彩色影像

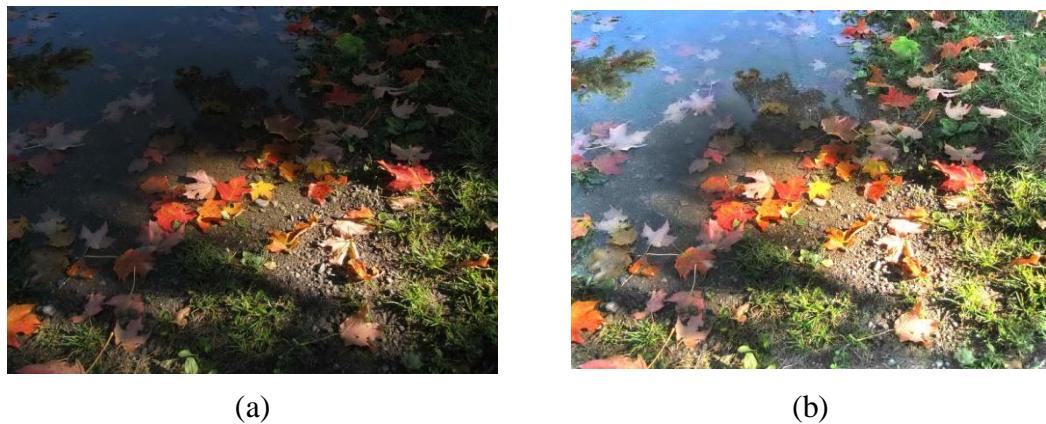


圖 5-10 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 1。(a) 原始影像。(b) ABEMD 實驗結果



(a)



(b)

圖 5-11 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 2。(a) 原始影像。(b) ABEMD 實驗結果



(a)



(b)

圖 5-12 彩色影像做 ABEMD 實驗結果 3。(a) 原始影像。(b) ABEMD 實驗結果

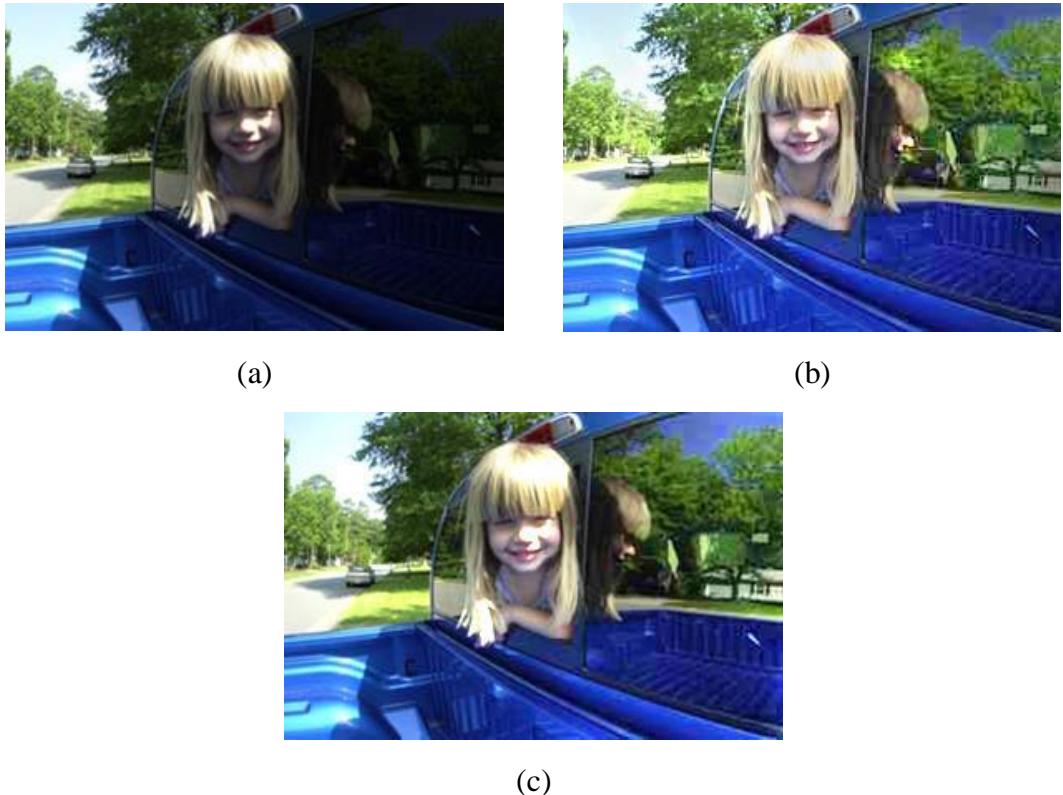


圖 5-13 ABEMD 陰影去除(a)原始影像。(b)Fast BEMD[4](圖片引用至[4])。
(c)ABEMD。

在不良光影的彩色影像實驗上，我們可以看出圖 5-10 至 圖 5-12 輸入彩色影像做光場的調整，經由我們的方法都有不錯的效果。圖 5-13 我們比較[4]的彩色實驗，在該方法中使用 BEMD 的原理，抽取出 n 個 IMF 平面的過程中所獲得的 n 個餘數(residue)面，再對這些餘數面做運算得到增強的影像，從實驗結果可以看出，本論文的方法與跟 Fast BEMD[4]相比效果相當，而且不用像 Fast BEMD [4]需要 2 維 EMD 分解。

第六章 結論與未來工作

文件辨識系統中，不只辨識系統的辨識能力好壞影響辨識結果，辨識的效能常會因為辨識的目標，受光影影響使得辨識效果大打折扣，因此我們需要一個快速與效果良好的方法來移除文件影像上的不良光影。EMD 處理效果雖然很好，但是演算法的疊代次數與立方雲線的計算都耗費大量的計算時間，而我們採用快速的計算方法來改進。

本論文提出 AEMD 的方法針對 EMD 以最小平方近似法來快速計算，並觀察上包絡線與輸入訊號之間的關係，找出訊號光場變化最大處為分割點，並將訊號分割後分段重做上包絡線的計算，得到更逼近訊號實際光場的上包絡線，接著在文件影像的處理上，依照不同光場強度設定對比值，解決 EMD 在光影去除中耗時的缺點；此外在彩色影像中，本論文也使用 AEMD 的觀念帶入到二維空間 ABEMD 來調整彩色影像的不良光影影響，實驗結果也可看出有很好的效果。

經過實驗證實，本論文方法在時間上比 EMD 快速，而且可讓強化後文件影像的文字辨識率與傳統 EMD 方法去除光影的結果有同樣效果。

在雜訊干擾的不良光影影像中，需搭配合適的雜訊去除之前處理，以避免計算出錯誤的光場描述。本論文在未來可進一步處理的工作是 ABEMD 在局部極大值的找尋時 mask 大小的設定，須要有一套嚴密的規則來判斷與選擇，以因應彩色影像連續色調變化與光影區域性的問題。

參考文獻

- [1] Norden E. Huang , "The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-stationary Time Series Analysis , , "NASA.(manuscript) , 1996.
- [2] Norden E. Heng Shen , Steven R. Long , Manli C. Wu , Hsing H. Shih , Quanan Zheng , Nai-Chyuan. Yen , Chi Chao Tung , and Henry H. Liu , "The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non-stationary Time Series Analysis ,," Proc. R. Sec. London A , The Royal Society , pp. 903-995, 1998.
- [3] Soo-Chang Pei and Feng-Ju Chang,"Effective color constancy method under uniform of non-uniform illuminant",23th Conf. in Computer Vision, Graphics and Image Processing(CVGIP), 2010
- [4] Soo-Chang Pei and Mary Tzeng "Uneven Illumination Removal and Image Enhancement Using Empirical Mode Decomposition," 20th Conf. in Computer Vision, Graphics and Image Processing(CVGIP), 2007.
- [5] Hany Farid and Edward H. Adelson,"Separating Reflections and Lighting Using Independent Components Analysis," in IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, June 23-25 , pp. 262-267. 1999
- [6] Yen-Wei Chen,Gang Xu and Masaki Yamazaki , " Separation of Reflection Components by Kernel Independent Component Analysis" in 18th Int. Conf. Pattern Recognition(ICPR), vol. 3, pp. 194-197 , 2006
- [7] Sei-Wang Chen,Yun-Chung Chung ,Shyang-Lih Chang and Jung-Ming Wang, "Interference Reflection Separation from a Single Image" Applications of Computer Vision (WACV),pp.001-006 ,2009

- [8] Chien-Hsing Choua, Wen-Hsiung Linb and Fu Changb , " A binarization method with learning-built rules for document images produced by cameras ",Pattern Recognition ,Volume 43, Issue 4, Pages 1518-1530 , April 2010
- [9] Shijian Lu, Chew Lim Tan and Bolan Su "Document image binarization using background estimation and stroke edges", International Journal on Document Analysis and Recognition , Volume 13 Issue 4, December 2010
- [10] Jean Claude Nunes, Yasmina Bouaoune, Eric Delechelle, Oumar Niang, Philippe Bunel, "Image Analysis by Bidimensional Empirical Mode Decomposition", Image and Vision Computing, vol. 21, pp.1019- 1026, 2003.
- [11] Shuen-De Wu , Liang-Jung Chen , Chiu-Wen Wu,Guan-Yu Chen and Chia-Chi Lin , "Improving the computational efficiency of empirical mode decomposition algorithm by down sampling ", International Journal of Advanced Information Technologies (IJAIT) , Vol. 4 , No. 2 , 2010 。
- [12] 吳順德,陳思予,陳虹伯“經驗模態分解法之研究趨勢探討與問題分析” ,臺北科技大學學報, No.42-1, 2009 。
- [13] 吳政憲，「希爾伯特阻尼頻譜於高樓損傷評估之應用」，國立中央大學土木工程研究所，碩士論文，民國 90 年
- [14] Ron Larson and Bruce H. Edwards, *Elementary Linear Algebra 4th ed.*, Houghton Mifflin Company, 2000.
- [15] Marc Ebner, "Color constancy base on local space average color" ,Machine Vision and Applications, vol. 11, No. 5, July, 2009.
- [16] Joost van de Weijer, Theo Gevers, and Arjan Gijsenij, "Edge-Based Color Constancy" ,IEEE Trans. on image processing, Vol. 16, No. 9, September 2007.