

國立臺灣大學工學院工業工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Industrial Engineering


College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

應用小波轉換技術於藥罐污點檢測之方法

Applying Wavelet Transfor technology to
the examination of pharmaceutical bottles stain



楊洲權

Chou-Chuan Yang

指導教授：楊烽正 博士

Advisor : Fang-Cheng Yang, Ph.D.

中華民國 100 年 07 月

July, 2011

摘要

在微利時代的來臨與產品品質要求日益嚴苛之際，在提升產能的同時降低生產成本與節省人力並保持一定的品質水準本為當今製造業的一項重要的課題。在製造業中供應穩定品質的原物料，保持產品的一致性則在後道工程中可減少繁複非必要的檢測工作，進而簡化製造流程。

本論文以醫藥製罐業為例，其所生產的醫藥用罐。在外觀上是消費服用者對其醫藥產品的第一印象及信心指標；雖然其藥罐的外觀品質並不會影響到醫藥本身的品質，但表面的污損或任何製造上的瑕疵卻會明顯地影響到該藥服用者對該藥物實際的品質信心。因此醫藥用罐的表面污損 (stain)、瑕疵檢測是醫藥製罐業將其列為一道重要檢測程序的原因。

小波分析是目前信號處理領域的有效技術，如在特徵提取、信號檢測具有低熵性、多分辨、去相關性、選基靈活性等特性，使它成為在信號去噪領域內的有力工具。

論文中以小波轉換在影像處理上的應用技術為基礎，帶入醫藥製罐業生產做為研究案例，進行藥罐曲面上的污損檢測。在不損及原始圖像下以 2D 小波轉換 (2D Wavelet Transform) 進行去噪使藥罐表面上細微的凹凸平滑化與圖像質量縮減。再以 1D 小波轉換 (1D Wavelet Transform) 中的奇異點檢測方式取代傳統以圖樣比對 (pattern matching) 的比對方式突破影像閾值 (threshold) 的限制，在曲面上區分辨別出藥罐上的污損 (stain) 與細小凹陷刻度的不同。本研究將使用已在各業界實用領域已有相當基礎與實績的 NI (National Instruments) LabVIEW 應用軟體進程式設計，預期開發一影像檢測方法，使本研究之成果能讓醫藥製罐業界實際進行應用。

關鍵字：小波轉換、LabVIEW、曲面瑕疵檢測、數位式濾波器、視窗法、奇異點。

Abstract

In today's world, the trend to seek superior quality and utmost profit has become an absolute priority. To increase production quantity while decreasing costs and labors becomes one single most important challenge in the field of product productions. The ability to provide stable quality in raw materials helps to maintain consistent quality in final products. This can greatly reduce complex or unnecessary testing procedures, hence, simplifying the production process as a whole.

This thesis provides an example of such, targeting specifically at the bottling production of the pharmaceutical industry. A consumer perceives the first impression and confidence rating of a pharmaceutical product mainly from the bottling or packaging. Even though the bottling appearance does not actually affect the quality of a drug, any impurity or stain in the packaging can drastically impair a consumer's confidence in the quality of the medicine. This is the reason why the bottling industry for pharmaceutical companies includes the evaluation for visible stain and impurity as one of their main testing procedures.

Wavelet Transform is an excellent technique for signal analysis. It offers technologies to determine specified signal, to evaluate low entropy, to form multiresolution analysis, to extract from correlation analysis, and it provides extensive wavelet bases. All of which makes Wavelet Transform exceptional in signal De-noise.

This thesis proposes a method applying Wavelet Transform to the testing of pharmaceutical bottles. Wavelet Transform gives advantages to the De-noise of bottle surface resolution. 2D Wavelet Transform can De-noise signal resolutions from coarse to smooth without damaging the original resolutions, while compressing the resolution. Furthermore, using the singular points function from 1D Wavelet Transform can replace the traditional pattern matching function and its threshold limitation. Such method can detect stain from the coarseness on the bottle surface much more in-depth.

Using the LabVIEW software from *National Instruments*, this thesis presents an integrated software program including all of the Wavelet Transform functions mentioned above. The proposed program offers an innovative strategy for the testing and analysis of bottle surface stain. It elevates the functionality and effectiveness of the bottle stain examination used by the current pharmaceutical industry.

Key words : Wavelet, Daubechies, LabVIEW, curved surface, Digital Filter, Windowing , singular points, stain.

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	VII
符號列表	VIII
第 1 章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	4
1.4 研究方法	5
第 2 章 文獻回顧	6
2.1. 影像和視覺	6
2.2. 紋路分析 (TEXTURE ANALYSIS) 演算法	9
2.3. DAUBECHIES 小波函數	21
2.4. 小波轉換用於信號的特徵擷取	24
2.5. 小波轉換和濾波器組	26
2.6. 文獻探討與現行解決方案	29
第 3 章 數位訊號處理與影像處理	32
3.1. LABVIEW 簡介	32
3.2. 視窗法 (WINDOWING)	34
3.3. 數位濾波器 (DIGITAL FILTER)	41
第 4 章 小波轉換理論	46
4.1. 小波轉換的簡介	46
4.2. 傅立葉轉換 (FOURIER TRANSFORM) 的基本概念	47
4.3. 小波轉換 (WAVELET TRANSFORM)	49
4.4. DAUBECHIES 小波函數	55
4.5. 小波轉換和濾波器組	57
第 5 章 研究方法	60
5.1. 醫藥用罐分類與特徵	60
5.2. 影像處理與分析流程	64
第 6 章 結論與未來研究建議	80
6.1. 結論	80
6.2. 未來研究建議	81

參考文獻..... 82
附錄..... 85



圖目錄

圖 2-1 SHORT-TIME FOURIER TRANSFORM SAMPLING GRID.....	12
圖 2-2 小波轉換在時、頻域上的解析度劃分.....	13
圖 2-3 WAVELET TRANSFORM SAMPLING GRID	15
圖 2-4 TIME AND FREQUENCY RESOLUTIONS OF WAVELETS.....	18
圖 2-5 短時傅立葉轉換在時、頻域的解析度.....	18
圖 2-6 小波轉換在時、頻域的解析度.....	19
圖 2-7 連續小波轉換的解析度變化與時、頻域視窗函數.....	19
圖 2-8 DAUBECHIES 小波不同階的 MOTHER WAVELET 波形.....	24
圖 2-9 濾波器通用符號.....	26
圖 2-10 TWO-CHANNELS PERFECT RECONSTRUCTION FILTER BANKS.....	27
圖 2-11 TWO-CHANNELS PROCESSING.....	27
圖 2-12 小波轉換出的訊號分布.....	28
圖 2-13 小波轉換的影像訊號分布與重構後的影像.....	28
圖 2-14 BANNER PAGEO 影像檢測系統.....	30
圖 3-1 函式工具庫.....	33
圖 3-2 人機介面.....	33
圖 3-3 程式介面.....	33
圖 3-4 PERIODIC WAVEFORM CREATED FROM SAMPLED PERIOD.....	34
圖 3-5 DFT 運算後顯示異常的頻率能量.....	34
圖 3-6 視窗使用比較 (LABVIEW 範例).....	35
圖 3-7 視窗法波形比較 (LABVIEW 範例).....	36
圖 3-8 理論濾波 (LABVIEW 範例).....	42
圖 3-9 實際濾波 (LABVIEW 範例).....	43
圖 3-10 BUTTERWORTH FILTER 與濾波階數 (LABVIEW 範例).....	45
圖 4-1 STFT (NI, IMAGE PROCESSING WITH LABVIEW AND IMAQ VISION).....	48
圖 4-2 小波轉換在時、頻域上的解析度	49
圖 4-3 WAVELET TRANSFORM SAMPLING GRID.....	51
圖 4-4 小波時、頻域的變化 TIME AND FREQUENCY RESOLUTIONS OF WAVELET.....	52
圖 4-5 DAUBECHIES 小波不同階的 MOTHER WAVELET 波形 (I. DAUBECHIES, 1988).....	57
圖 4-6 TWO-CHANNEL PERFECT RECONSTRUCTION FILTER BANKS.....	58
圖 4-7 2D SIGNAL PROCESSING (NI, LABVIEW SIGNAL PROCESSING).....	58
圖 4-8 左圖：為小波轉換出的訊號分布；右圖：為處理 3 階的影像資料分布.....	59
圖 4-9 小波轉換的影像訊號分布與重構之後的影像.....	59
圖 5-1 錠劑瓶的形狀與瓶口特徵.....	61
圖 5-2 錠劑瓶的旋蓋式瓶口特徵.....	61
圖 5-3 液劑瓶的形狀與瓶口特徵.....	62
圖 5-4 液劑瓶的密蓋式瓶口特徵.....	62
圖 5-5 瓶身表面的粗糙度.....	63
圖 5-6 瓶身不同區域取像像素值與霧面的像素值.....	64
圖 5-7 影像擷取與分割流程.....	65
圖 5-8 影像擷取與分割.....	66

圖 5-9 影像擷取與分割-程式.....	67
圖 5-10 特徵強化.....	68
圖 5-11 DB 3 濾波後污點部分強化.....	69
圖 5-12 DB 3 濾波還原後污點部分強化 (污點部分放大圖).....	70
圖 5-13 DB 3 濾波分離.....	70
圖 5-14 污點在不同 DBN 下的變化.....	71
圖 5-15 DB1 ~ DB5.....	72
圖 5-16 兩次 DB2 減量與濾波.....	73
圖 5-17 DB2 濾波程式.....	73
圖 5-18 檢測污損流程.....	75
圖 5-19 小波濾波去雜訊後的 1D 訊號比較.....	76
圖 5-20 小波奇異點程式.....	77
圖 5-21 模擬檢測.....	78
圖 5-22 BANNER PAGEO 影像檢測設定.....	79



表目錄

表 2-1 檢測次數和擷取範圍.....	31
表 3-1 窗口函數與應用.....	39
表 3-2 窗口函數與訊號類型.....	40
表 3-3 IIR 與 FIR 比較.....	43
表 3-4 IIR 濾波器性質比較.....	44
表 5-1 醫療用藥的型態分類.....	60
表 5-2 影像取樣比較.....	74
表 5-3 測試結果比較（一）.....	78
表 5-4 測試結果比較（二）.....	79



符號列表

$WT_x(a, \tau)$	小波轉換函數 (Wavelet Transform, WT)
$CWT_x(a, \tau)$	連續小波轉換函數 (Continuous Wavelet Transform, CWT)
$CWT_x(a, \tau)$	連續小波轉換函數 (Continuous Wavelet Transform, CWT)
dbN	Daubechies 小波, 簡稱 db, N 表示階層數
ω	頻率
t	時間變量
τ	位移參數
a	尺度參數 (Scaling Factor), $a > 0$ (Daubechies 將尺度 a 定義, $a = 2^j, j \in +Z$)
b	平移參數 (Translation Factor)
a^m	Daubechies 將尺度 a 按冪級數, 既取 $a_m = a_0^m$ ($m \in +Z, a_0 \geq 2$)
T_s	尺度 $m=0$ 時, τ 的間隔的間隔時間
Δ	取樣間隔, 取樣間隔需滿足 Nyquist 取樣定理
i	序列索引, $i = 1, 2, 3, \dots, n$
j	序列索引, $j = 1, 2, 3, \dots, n$
$L^2(\mathbb{R})$	滿足 $\int f(t) ^2 dt < +\infty$ 有限能量函數空間
$\psi(\omega)$	頻率域函數 (傅立葉轉換函數)
$g(t)$	窗口函數
$\varphi(t)$	尺度函數, 母小波函數 (mother wavelet)
$\varphi(\omega)$	頻率域函數
$\varphi_{a,\tau}(t)$	依賴於 a, τ 的小波基函數
$\varphi_{jk}(t)$	小波框架, $[\varphi_{jk}(t) j \in +Z, k \in Z]$
A	離散小波序列框架上界

B	離散小波序列框架下界
$P_M(Z)$	
$h_N(n)$	小波函數係數(wavelet function coefficient)
h_k	Daubechies 雙尺度差分方程係數
$G_N(z)$	Daubechies 低通濾波函數
$H_N(z)$	Daubechies 低通濾波函數
F_c	小波的中心頻率
f	輸入信號
\hat{f}	重構信號
G	高通濾波器
H	低通濾波器
G_1	the analysis highpass filter coefficients
G_0	the analysis lowpass filter coefficients
H_1	the analysis highpass filter coefficients
H_0	the analysis lowpass filter coefficients
$\downarrow 2$	符號表示隔點取樣運算，則稱之為隔點取樣器
$\uparrow 2$	符號表示隔點補零運算 (Zero-Padding)，則稱之為隔點補零器。 或是「對稱補插」(Symmetric)。

第 1 章 序論

電腦影像(信號)處理在生物醫學、遙感、工業生產、軍事、多媒體等領域有著廣泛的應用影像處理是針對性很強的處理技術，根據不同應用、要求與條件需要採取不同的處理方法。

傳統廣泛的應用是以圖樣比對 (pattern matching) 的比對方式來判別接受與否，且判別區域受限於影像閾值(threshold)的範圍限制。若是影像取自曲面其影像灰階值依曲面成一梯度分佈此時閾值已無法使用與判別。本研究以小波轉換 (Wavelet Transform) 及奇異點檢測方式取代傳統以圖樣比對 (pattern matching) 的比對方式突破影像閾值(threshold)的限制。在不損及原始圖像特徵下以 2D 小波轉換進行去噪使表面平滑化與圖像質量縮減。再以 1D 小波轉換中的奇異點檢測方式在曲面上區分辦別出藥罐上的污損 (stain) 與細小凹陷刻度的不同。

本章為序論，第一節說明研究背景；第二節描述研究動機；第三節研究目的；最後敘述研究方法說明如何將在立體曲面空間上取得的影像特徵 (刻度) 與瑕疵 (污點 stain) 部分做分辨與篩選則是本論文的主要研究。

1.1 研究背景

在醫藥製罐業，所生產的醫藥用罐其最終使用者是藥品的服用者。產品在密閉性、抗變性等其他非藥用產品方面會有更高的要求。然而藥罐外觀品質，則是消費服用者對該醫藥產品的第一印象及信心指標；僅管藥罐的外觀品質不會影響到醫藥本身的效能，但表面的污損或任何的缺陷卻影響到該藥服用者對該藥的安定性品質信心。因此製藥廠會對藥罐製造商所供應的藥瓶有強烈的品質要求。醫藥用罐的表面瑕疵、污點 (stain) 等的檢測則有其絕對的必要性，而此檢測成為醫藥製罐業一道重要的產品檢測程序。

塑膠原料在製瓶過程中的填加劑或因本身聚合生成時的順向結晶度差異，在

中空成型機台 (blow molding) 的熱澆道 (Hot Runner) 管路內的黏度效應等等因素下。藥罐成型製造過程中會在藥罐的表面產生有黑點 (Black Spot)、多凹洞 (Porosity) 及流紋 (Flow Mark) 等等的瑕疵。

人工檢測方式檢視這些瑕疵通常難以維持一快速、穩定及一致性的的檢測品質，當產能增大時更加困難。導入以機械視覺的檢測方式可改善人為的缺失，達到一定程度的檢測標準及控制。但機器視覺在立體曲面空間上的辨識和細膩的視別程度，現有的技術在分辨效果與肉眼相比仍有一定的差距。

目前廣泛使用以平面樣版為基礎的圖樣比對 (pattern matching) 做影像處理方式。但對於非平面的曲面物體排除光源強弱的影響，物體本身的影像數據表現亦是隨形體表面高低變化呈一不同的影像數據強度。在圖樣比對時則不易正確找出圖案邊界做出正確的比對。而圖樣若能比對所使用的閾值 (Threshold) 也因為物體曲面影像灰階值的強度 (intensity) 範圍比閾值範圍更廣而無法使用。這也是為什麼圖樣比對 (pattern matching) 只能使用在特定及處理過的樣本 (pattern)。

小波轉換 (Wavelet Transform) 在影像處理技術上有濾波 (filter)、去噪 (noices) 功能與影像減量壓縮的特性。若將醫藥容器立體曲面所取得的影像資料把細微特徵與瑕疵部分去噪並減量保存下來，使影像後處理的資料更為單純簡化和快速辨識與篩選將有瑕疵的不良品剔除。

1.2 研究動機

現今的影像視覺系統檢測技術所應用的對象多是以電子業等高附加價值的產品為主。對污損 (stain) 缺陷部分，其檢測使用的影像視覺技術以樣版 (Pattern)、二值化閾值 (Threshold) 等方式做快速比對的檢測。此技術應用在平面與固定形體的影像處理上已有一定的成效。

對於平面的圖樣比對 (pattern matching) 實際應用時待測物會因環境照射光源的自然衰減與周邊環境移動物體的反光影響造成取像的誤差。

同樣在立體曲面空間裡機器視覺對於固定的形體，在不同的距離、面積範圍和光線方位角度用現有的辨識技術在細膩程度上並無法完全快速的和肉眼相比擬。其中取像範圍、解析度及不同光源角度、取像方位與樣版 (Pattern) 的匹配程度常有一定程度的差異，也造成圖樣比對(pattern matching)的困難。

本研究將應用小波轉換 (Wavelet Transform) 在影像處理技術上的濾波 (filter) 去噪 (noices) 功能、影像減量壓縮與特徵保存強化等的特性。將在曲面所取得的 2D 影像資料，透過小波的濾波器組 (Filter Banks) 將影像特徵保存及圖像減量方式找出一種簡易、快速小波轉換 (Fast Wavelet Transform, FWT) 的檢測方法，應用在分辨藥罐曲面上的污損、表面霧面處理與凹陷刻度等的不同特徵，並篩選挑出有污點 (stain) 的藥罐。提供給製造者除圖樣比對 (pattern matching) 的方式外另一種更廣泛應用的解決方式。



1.3 研究目的

本研究探討現行的影像檢測技術是在平面以快速取樣、區域搜尋、影像萃取與二值化閾值、樣版 (Pattern) 等比對方式，與在非平面、無特定樣版 (Pattern) 等影像處理應用上以高資訊量及長時間的分析之外。研究在現今的影像基礎理論與設備基礎上尋求一種可供業界對曲面快速檢測的影像檢測方式。期可將其影像檢測系統設置在大量、快速生產和低單價的產品線上，除了可節省人力成本外，不良品的檢出可由電腦訂定統一標準，減少人為的誤差。再將熟練度高的人力集中放置在高單價的產線上做更有效的應用。

根據上述研究動機，本研究的主要目的如下：

1. 擷取有限解析度的影像做減量與瑕疵即時判別運算。
2. 規劃出一套可作為瑕疵判斷的影像檢測方法。
3. 探討自動化影像檢測技術運用在實際生產線上作業中的可行性和所需具備的系統特性。
4. 使製造流程更能合理的產能、品質提升與成本的降低。

1.4 研究方法

本研究架構為影像處理應用於醫藥用罐（曲面）上的污損（stain）檢測。研究主要的內容為將小波轉換（Wavelet Transform）的特性做混合應用，研究分為兩大部分：（一）小波轉換在曲面上的影像處理應用（二）小波轉換在影像信號奇異點檢測中的應用。

（一） 小波轉換在曲面上的影像處理應用：

高解析度等於高資訊量，即時運算在硬體設備的限制下很難取得一個理想點。本研究試從擷取適當的影像信號量透過小波轉換的濾波器組（Filter Banks）運算將其原始影像數據裡其污損（stain）及特徵部分（低頻部分）擷取保存下來，並濾除對表面因霧面處理後所形成的細微凹凸部分（高頻部分）進行去噪與最終影像訊號的平滑化。2D 的小波轉換在去噪同時也會將影像數據減量達到可使後端程序可進行即時處理的運算量。

（二） 小波轉換在信號奇異點檢測中的應用：

小波轉換的另一個重要性質是小波函數具有在時、頻兩個域中突顯信號的局部特徵能力。信號中的奇異點及不規則的急遽變化處常是分析特性（異常）的關鍵處，在本研究中此步驟即將已在去噪與減量的曲面影像資料上透過 1D 小波轉換中的奇異點檢測方式來分析影像之污損（stain）、邊緣和其他特徵（如：刻劃、數字接縫處）等變化的差異。將不同特徵分辨，並篩選挑出有污點（stain）特徵的藥罐。

本論文在 1D 小波轉換部分在克服曲面上所取得的影像灰階值在 不同梯度的強度(intensity)分佈，單獨取其污損（stain）在同一維度訊號的急遽變化作為異常的判別依據。而 2D 小波轉換部分則是將所取得的影像資料做前置處理，進行去噪、平滑減少多餘的訊號凸波同時也將影像數據減量藉以方便處理和提升運算效率。

第 2 章 文獻回顧

影像分析與處理，作業相當複雜，牽涉的專業領域包括光學、數學、電腦（軟體）等屬於一種綜合性或系統性的應用科學。相較於人類的眼睛（Eyes）及大腦（Brains）功能，電腦影像及視覺系統的功能及解決的問題能力，仍僅止於“嬰兒時期”。縱然如此，電腦影像/視覺系統快速、大量的資訊量化處理能力，卻是人類的眼睛能力所不及。本研究以應用小波轉換在特徵強化和信號減量上的處理，因此將目前對影像處理和執行方式進行說明，最後將應用小波轉換此特性求在立體曲面上的處理方式。

2.1. 影像和視覺

影像資訊處理常先的來源，通常處理影像物件是依其影像的特徵來做處理，其特徵有外型特徵、結構特徵和紋路特徵。擷取清晰的影像是必要的條件，清晰的影像資訊可以減少後端不必要的處理，也可增加影像資訊的正確性。但實際上除了硬體上的限制與誤差（如：CCD 的像素限制，物理性雜訊），環境的限制與光源的照射（如：取樣空間的限制或待測物的不規則形狀）。均為所擷取的影像帶來或多或少的誤差。為減少這類的影響干擾誤差，會針對所擷取的影像做處理。其方式有去除不必要的資訊影像（Noise），如：濾波（filter）；強化、分離影像特徵，如閾值化（thresholding）；初步處理過的影像再經過所要的目的再進行再處理如影像辨識，樣版比對（Template Matching）等等，取得所要的影像資訊。

● 圖形處理與辨識

A. 灰階處理

灰階處理轉換會改變圖像中的資訊結構灰階處理能對圖像圖素強度（intensity）進行濾波或平滑處理，包括噪聲濾波、不均勻背景修正和灰階級特性提取等。

灰階處理會針對一個圖素與圍繞它的圖素進行比較基本灰階處理功能包括侵蝕、擴張、打開和關閉。這些功能擴大明亮區域減少陰暗區域，（或者相反），從而改變區域的形狀。這些功能能夠對漸變圖進行平滑處理，並增加邊界區域的對

比度。

如果周圍圖素灰階較低，就可以用侵蝕功能降低被包圍圖素的亮度，周圍這個概念可以用一個預置的結構要素來定義。如果周圍圖素灰階較高，該功能也可用來增加被包圍圖素的亮度。灰階擴張具有與侵蝕相反的效果，因為擴張亮區也就等於侵蝕了暗區。

閾值化 (thresholding) 則是在影像的灰階值中取一邊界值將影像直接區分為擷取部份與捨棄部分。所擷取的部分是需要再做不同的處理。

B. 邊緣檢測

邊緣檢測的典型用途是測量產品兩個邊緣的間距來判定產品缺陷，這類測量很容易用PC實現產品線上檢測自動化。也可以用邊緣檢測來檢查部件上某個特定部份，它對部件上的邊緣數進行計數，然後將這個數與預置數據相比較，依此完成搜索。如果值匹配，說明部件上找到這一部份，如果值不匹配，就認為部件有缺陷。

邊緣的定義是指圖像中相鄰圖素灰階值出現明顯變化的區域。邊緣檢測沿搜索區域對單一個圖素值進行一維區域的搜索。一維搜索區域可以是直線、圓弧、橢圓弧、矩形或多邊形的邊界，或者手繪區域的邊線，軟體對沿線圖素值進行分析，檢測是否有明顯的強度(intensity)變化。可以指定強度(intensity)變化的臨界值，以判定什麼樣的變化構成邊緣，這些參數包括：邊緣強度，用來定義背景和邊緣之間灰階值最小差；邊緣長度，指邊緣和背景之間產生所需灰階差必需最大距離；邊緣極性，判斷邊緣是往上升的邊還是往下降的邊；邊緣位置，用來確定圖像中邊緣的X,Y坐標。藉由改變這些值，可以用編程方式定義各種臨界值，以尋求不同成像環境下的各個邊緣。當圖像解析度足夠高時，大多數測量以圖素所具有的精度進行精確測量，然而有時由於所用感測器尺寸限制，很難達到機器視像應用所需最小圖像解析度，此時再利用次級圖素精度來尋求邊緣位置。

次級圖素分析是一種軟體分析方法，用來估算更高解析度圖像系統的圖素值。採用次級圖素精度計算邊緣位置時，邊緣檢測軟體以二次或三次函數之類的高次插入函數擬合圖素強度(intensity)數據。插入函數藉由原圖素值之間的圖素強度值得到邊緣檢測算法，軟體然後使用強度資訊找到具有次級圖素精度的邊緣位置。

利用成像系統所用的元件和軟體工具，能夠可靠地估算出低於單位圖素的精度，不過其結果主要仍取決於成像設置，如像照明和攝像鏡頭等條件的解析度。

C. 圖形匹配

所謂圖形匹配，就是先有一個已知圖案模板 (Template)，然後判定這種圖案在被檢部件上是否存在，或是將其當作基準作為進行其它測量的起點。傳統圖形匹配技術包括標準互相關、錐度匹配和比例常數匹配。

標準互相關是在圖像中尋找圖案最常用的方法。由於基本原理是基於系列乘法作業，所以相關運算過程很費時間，但使用平行乘法技術可減少總計算時間。亦即藉由縮小圖像尺寸或限制圖像匹配區域加速匹配過程。不過基本標準互相關技術還是無法滿足許多應用對速度的要求。

錐度匹配是一種藉由縮小圖像和模板圖案的尺寸減少計算時間的技術。在這種方法裡，對圖像 (Image) 和模板 (Template) 兩者都進行部份採樣，使其空間解析度變小，甚至可以將圖像和模板尺寸減至它們原始尺寸的四分之一。這樣首先在縮小的圖像中進行匹配運算，因為圖像小使匹配更加快速，處理完成後只有原始圖像具有高匹配度才考慮繼續進行餘下匹配處理。

當圖像沒有縮放和旋轉時，標準互相關是圖形探查的一個很好方式，互相關同一尺寸圖形一般能檢測旋轉 5 至 10 度後的圖像。但將圖形比例變化和旋轉較大角度後的圖形，其互相關進行計算延伸範圍的檢測則相對比較困難，對於按比例變化的圖形，必須重復縮放或調整模板尺寸，然後進行相關運算，這給匹配過程增加很大工作量；而對於旋轉的處理更加困難，如果能夠從圖像中找到有關旋轉的線索，則可以簡單地旋轉模板並進行相關運算，但如果旋轉的性質不知道，尋找最佳匹配需要對模板進行盡可能多的旋轉處理。

2.2. 紋路分析 (Texture analysis) 演算法

在本研究中，污點檢測的研究歸類為紋路分析 (Texture analysis)。紋路分析為機器視覺技術重要課題之一，有關紋路分析的研究大致可分為空間域 (Spatial domain) 方法及頻率域方法 (Spectral domain)。

空間域分析方式主要是直接利用感測影像的灰階訊號進行紋路分析；而頻率域的分析方式則是將影像的灰階訊號作一轉換，並於頻譜中進行紋路分析。因此，將以空間域及頻率域的瑕疵檢測方式進行相關文獻之探討。

● 空間域紋路分析 (Spatial domain analysis)

空間域之分析方法主要利用影像灰階值的特徵進行分析。在空間域中進行紋路分析最具代表性的技術為相關矩陣法 (Co-occurrence matrix) (Haralick, et al., 1973)，此方法主要是以原始影像中像素點在特定鄰近位置之灰階變化的機率密度函數來建立空間灰階之相關矩陣，並由此相關矩陣建立統計指標以評估紋路特徵，其中二階灰階統計量 (Second-order gray level statistics) 為建立相關矩陣的一種常用方法。而所謂二階灰階統計量方法是藉由估計二階的灰階連接條件之機率密度函數，來建立空間灰階相關矩陣 (Spatial gray level dependence matrix)，亦即統計二維影像中特定的兩個灰階值在特定方向和特定距離下發生的機率，並依此機率來建立空間灰階相關矩陣。

● 頻率域紋路分析 (Spectral domain analysis)

頻率域分析方法是對於空間域的方法只使用影像中像素點的灰階訊號，容易受雜訊影響的缺點發展的方式；頻率域分析方法是將空間域影像訊號轉換為頻率域之頻譜，而後經由功率頻譜攫取代表紋路的特徵，故於頻率域中進行處理可以降低灰階影像受雜訊影響之敏感性，且較不受位移之影響。頻率域中常用來做紋路特徵攫取的方法主要有傅立葉轉換 (Fourier transform)、小波轉換 (Wavelet transform) 等。

傅立葉轉換 (Fourier transform) 分析方式，即是將空間域之二維灰階影像訊號轉換為頻率域之傅立葉頻譜，藉由分析傅立葉頻譜上的影像特徵資訊，來降

低空間域中灰階訊號分布易受雜訊干擾的現象。Liu and Jernigan(1990)介紹如何由傅立葉頻譜中攫取 28 種特徵指標的方法，以二維傅立葉頻譜的功率譜 (Power spectrum) 和相位角 (Phase angle) 為基礎，並透過統計方法以及傅立葉頻譜中某些特定頻率要素的值，來產生一組可以描述影像特徵或區分影像差異的指標。Tsai and Hsieh(1999)針對方向性紋路之表面瑕疵檢測作一研究，藉由傅立葉轉換技術突顯紋路之週期性特徵，並以霍氏轉換技巧將影像紋理於頻譜中之響應去除，之後透過反傅立葉轉換 (Inverse Fourier transform) 將圖形還原，最後再利用統計管制界限的方法將影像中瑕疵部分突顯出來。

小波轉換具有局部性處理能力，對於小區域的瑕疵能有效突顯，且其運算處理速度較快，近來廣為應用於影像處理、地震勘探、海洋工程、機械故障診斷與及時監控…等領域實務上。Kim 等人(1999)利用小波轉換 (Wavelet transform) 進行線上視覺的瑕疵檢測，首先由小波轉換來攫取瑕疵的特徵值，並配合雜訊比來檢測紡織品的瑕疵。另外，Amet 等人(1998)利用小波濾波器以及由小波轉換的子影像中擷取共變異矩陣作為特徵值來決定紡織品的瑕疵位置及分布面積。Lambert and Bock(1997)利用小波轉換來擷取紋路的特徵與分類，進行方向性與統計性紋路的表面瑕疵檢測。Chan and Pang(2000)以小波轉換來檢測多層陶瓷電容的表面裂痕 (Crack)。下一章節將對傅立葉轉換 (Fourier transform) 與小波轉換 (Wavelet transform) 的關係與演變做較詳細的探討。

● 傅立葉轉換 (Fourier Transform) 的基本概念

十九世紀法國的數學家傅立葉 (Joseph Fourier) 發現了任何的訊號 (例如：聲音、影像等等訊號) 均可被拆解為不同頻率、振幅、相位角等正弦波的組合，而每個正弦波最大差異即在於頻率。根據傅立葉定理，一個訊號除了可由空間域之函數來表達外，亦可在頻率域觀察描述此訊號，將訊號表示成由不同頻率之正弦波組合 (或餘弦波) 的變化函數 (Oppenheim et al., 1998)。

因此，同一訊號亦可表示為隨著頻率 (即正弦波) 而改變之函數，以空間域或頻率域的方式來描述是完全等同的。

訊號的轉換是在使用不同的基底下做轉換，傅立葉轉換 (Fourier Transform) 是以三角函數 $\sin(x)$ 、 $\cos(x)$ 及指數函數 e^{ix} 為基底，將訊號由時間域轉換到頻率域，在分析訊號之頻率特性時，傅立葉轉換是相當有用的分析工具，其轉換式表示如下：

$$f^f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int f(x) e^{-i\omega x} dx \quad (2.-1)$$

而其逆轉換為

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int f^f(\omega) e^{i\omega x} dx \quad (2.-2)$$

對於處理一離散時間點之訊號，傅立葉轉換與逆轉換式則修改如 (2.-1) 式與 (2.-2) 式，將訊號轉至離散之頻率域，稱之為離散傅立葉轉換 (Discrete Fourier transform, DFT)，若訊號向量長度為 N ，則表示如下：

$$f^f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-\frac{2\pi}{N}nk}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.-3)$$

$$f(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f^f(k) e^{\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.-4)$$

● 短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT)

傅立葉轉換 (Fourier Transform) 後從頻域上可探知有暫態訊號產生，但卻無法得知在何時發生。Dennis Gabor (1946) 將視窗 (windowing) 的觀念引進傅立葉轉換中，把訊號劃分成許多相同的時間間隔，用傅立葉轉換分析每一個時間區間，以確定該時間區間內所存在的頻率，改善了傅立葉分析無法偵測時間區段內頻率特性的不足。其方法為在傅立葉轉換前先乘上一個窗口函數，則至少可知暫態發生在哪一個窗口範圍內，設此窗口函數為 $g(x)$ ，則此種傅立葉轉換稱為短時傅立葉轉換 (Short-Time Fourier Transform, STFT)，可寫成：

$$f^f(\omega, \tau) = \int f(x)g^* e^{-i\omega x} (x - \tau) dx \quad (2. -5)$$

$g(x - \tau)$ ：窗口移動函數。

ω ：頻率。

τ ：平移參數。

當窗口函數 $g(x)$ 為高斯函數時，STFT 則稱之為 Gabor 轉換。STFT 有固定持續時間的窗口函數，以及固定的頻率解析度，在時、頻域平面上的解析度可由圖 2-1 所示。但由於 STFT 的視窗大小為固定，需要更詳細解析度分析的部分時，並無法進行部分調整其解析度，相對於較細微部分的訊息則會被忽略，造成訊息模糊不清的問題。而小波轉換理論則是更進一步的將的利用函式的縮放改變窗口大小，具備了 STFT 的優點更提升了其解析度。

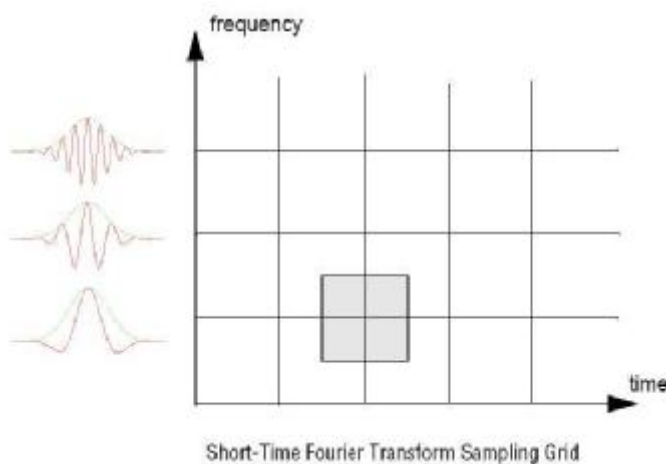


圖 2-1 Short-Time Fourier Transform Sampling Grid (NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

● 小波轉換 (Wavelet Transform)

小波分析 (Wavelet Analysis) 是傅立葉分析方法的發展與延伸。小波轉換提供了可變換尺寸區間的窗口，可以在需要低頻資訊時使用長時間的區間 (視窗)，與高頻資訊時使用短時間的區間 (視窗)，得到更高的精度。它既繼承和發展了傅立葉轉換與短時傅立葉轉換 (STFT) 的局部化觀念，同時又克服了視窗大小不隨頻率變化的缺點，是進行信號時頻分析，處理時變非穩態信號的比較理想的工具。

小波轉換的概念來源於伸縮 (dilation) 與平移 (translation)。其概念由法國地球物理學家 J. Morlet (1984) 為分析地震數據所提出。基底函數具有短持續時間且高頻率，以及長持續時間且低頻率的特性，因此相當適合表現出高頻的突發暫態訊號或是長時間變化緩慢的訊號。正是這種特性，使小波轉換具有對信號的自適應性。小波轉換在時、頻域上的解析度劃分，如圖 2-1 所示。小波的發展依其需求及特性發展出各種不同的小波函數，常見的小波函數及其代表符號，參照附錄 A。其各種不同的小波函數及其特性，參照附錄附 B。

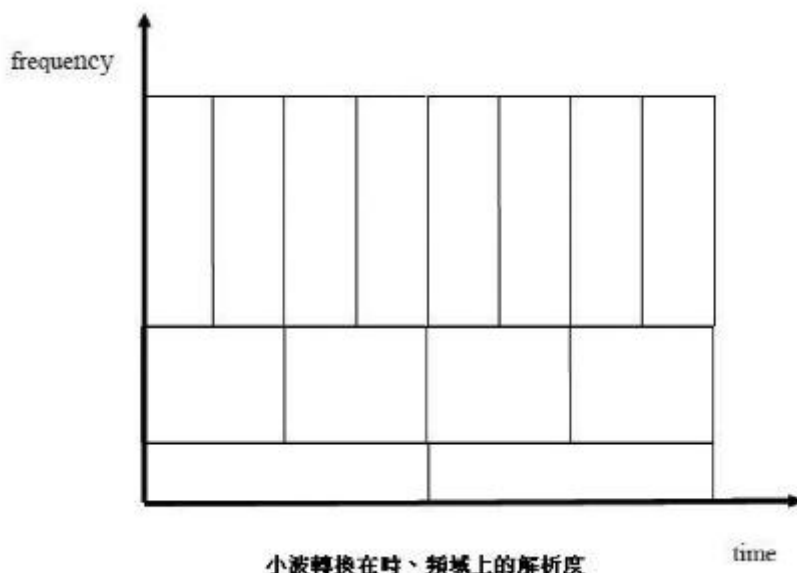


圖 2-2 小波轉換在時、頻域上的解析度劃分
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

● 小波的基本定義與類型

對於一個有限涵蓋函數 $\varphi(x)$ ，符合以下三點：

其全域積分值為零，即

$$(1) \int \varphi(x) dx = 0$$

且滿足 $\int \varphi(x)^2 dx = 1$ ，也就是

$$(2) \int \varphi(x)^2 dx = 1$$

(3) $\{\varphi(2^j x - k) | j, k \in Z\}$ 形成 $L^2(R)$ 的一組基底

由於 (1) 式，此函數 $\varphi(x)$ 的圖形必定上下起伏，且由 (2) 式可知 $|\varphi(x)|$ 下所圍之面積亦不會很大，故名之小波或凌波。例如 Harr 函數就是這樣一個函數，且為眾多小波函數族類中最基本的一個，亦稱之為一階小波函數，而所謂的小波函數族類包括了，正交、雙正交、半正交，區間中的小波函數等等，如 Daubechies wavelets、Coiflets、Symlets、Biorthogonal wavelets，這些族類內的函數隨著階數而變化。在做小波轉換時，首先必須選擇一個小波函數 $|\varphi(x)|$ ，一般稱之為母小波 (mother wavelet)，而母小波經由尺度的縮張與平移後之函數 $\varphi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 一般稱之為子小波，其中 a 稱為尺度參數 (Scaling Factor)， b 稱為平移參數 (Translation Factor)。

小波轉換的基本定義如下：

設 $\varphi(t) \in L^2(R)$ ，其傅立葉轉換為 $\psi(\omega)$ 。

當 $\psi(\omega)$ 滿足條件：

$$C_v = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (2.-6)$$

時，稱為一個基本小波或母小波函數 (mother wavelet)，(2.-6) 式為小波容許條件。

連續小波轉換的定義為：

$$W(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}_{a,\tau}(t) dt \quad (2.-7)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a^{-2} w(a, \tau) \psi_{a,\tau}(t) da d\tau \quad (2.-8)$$

● 尺度與頻率

連續小波試圖以一組連續變化的伸縮平移基 $\varphi_{a,\tau}(t)$ ， φ 稱為連續小波基函數，來代替短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT) 中的

$g'_{a,\tau}(t) = g(t-\tau)e^{-j\omega t}$ ，使它的時頻域的窗口能隨頻率的變化而變化，如圖 2-3 圖

所示，以實現對低頻分量採用大時窗，對高頻分量採用小時窗的自然規律分析法。

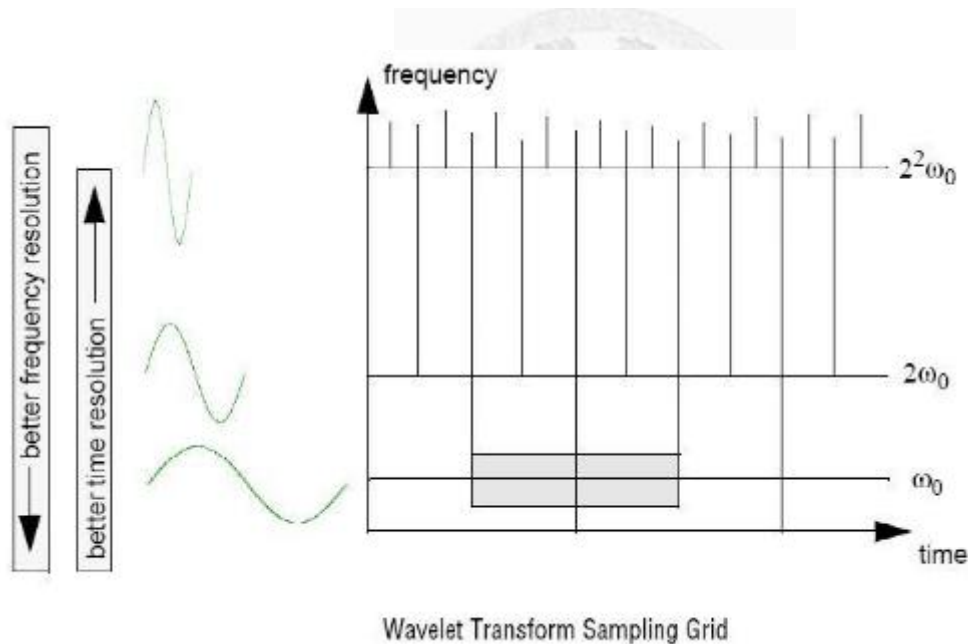


圖 2-3 Wavelet Transform Sampling Grid
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

當連續小波定義為：

設 $\varphi(t)$ 為一平方可積函數，亦既 $\varphi(t) \in L^2(R)$ ，若其傅立葉轉換 $\psi(\omega)$ 滿足條件

$$\int_{\mathbb{R}} \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (2.-9)$$

若要將母小波函數 $\varphi(t)$ 進行伸縮和平移，則其函數定義為：

$$\varphi_{a,\tau}(t) = a^{\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right), a > 0, \tau \in \mathbb{R} \quad (2.-10)$$

a ：尺度因子。
 τ ：平移因子。
 ω ：頻率。
 t ：時間。

由於尺度因子 a （伸縮因子）、平移因子 τ 是取連續變化的值，因此 $\varphi_{a,\tau}(t)$ 為連續小波基函數。

● 尺度與頻率的關係：

將 (2.-10) 式 $\varphi(t)$ 函式窗口寬度定義為： Δt ，窗口中心定義為： t_0 ，則所求得窗口中心為：

$$t_{a,\tau} = at_0 + \tau \quad (2.-11)$$

$$\Delta t_{a,\tau} = a\Delta t \quad (2.-12)$$

同樣，設 $\psi(\omega)$ 為 $\varphi(t)$ 的傅力葉轉換，頻域函式窗口寬度定義為： $\Delta \omega$ ，窗口中心定義為： ω_0 ，則所求得窗口中心為：

$$\omega_{a,\tau} = \frac{1}{a} \omega_0 \quad (2.-14)$$

$$\Delta \omega_{a,\tau} = \frac{1}{a} \Delta \omega \quad (2.-15)$$

由其結果可知連續小波 $\varphi_{a,\tau}(t)$ 的時、頻域窗口中心及其寬度均隨尺度 a 的變化而伸縮。若定義 $\Delta t \cdot \Delta \omega$ 為窗口的面積。則得

$$\Delta t_{a,\tau} \cdot \Delta \omega_{a,\tau} = a\Delta t \cdot \frac{1}{a} \Delta \omega = \Delta t \cdot \Delta \omega \quad (2.-16)$$

因此，連續小波基函數的窗口面積不隨參數 a, τ 而變化。依海森保測不準定理 $\Delta t \cdot \Delta \omega$ 的值是相互制約。當 $\Delta t \cdot \Delta \omega \geq \frac{1}{2}$ ，且 $\varphi(t)$ 為 Gaussian 函數時等式才成立。

$\frac{1}{a}$

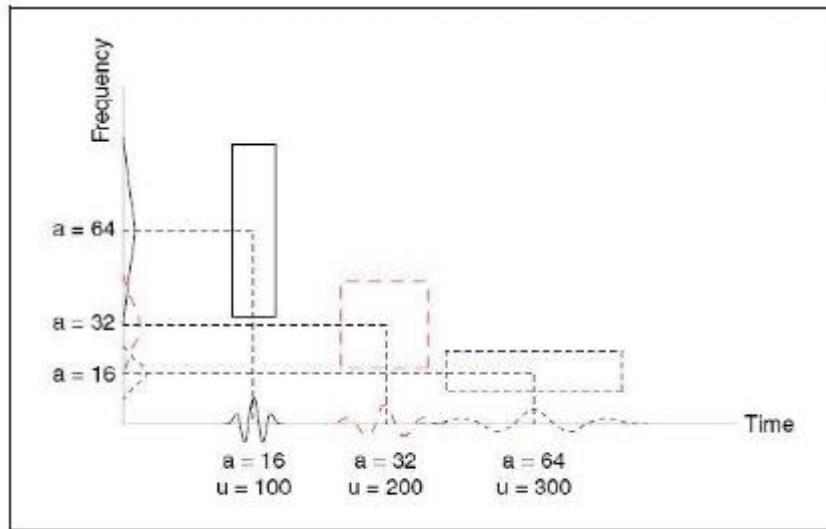
因此在尺度為 a 時對應於頻率 ω 會呈如下尺度與頻率之間的對應的關係：

尺度越小，小波函數衰減越快，頻率越高。

尺度越大，小波函數衰減越慢，頻率越低。



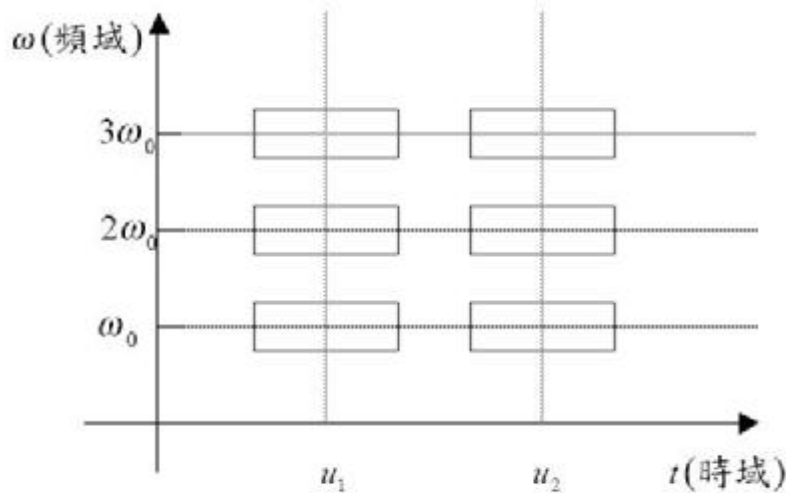
當尺度因子 a 改變時，其小波函式時、頻域的窗口面積 $\Delta t \cdot \Delta \omega$ 變化為保持不變，如圖 2-4 所示：



Time and Frequency Resolutions of Wavelets

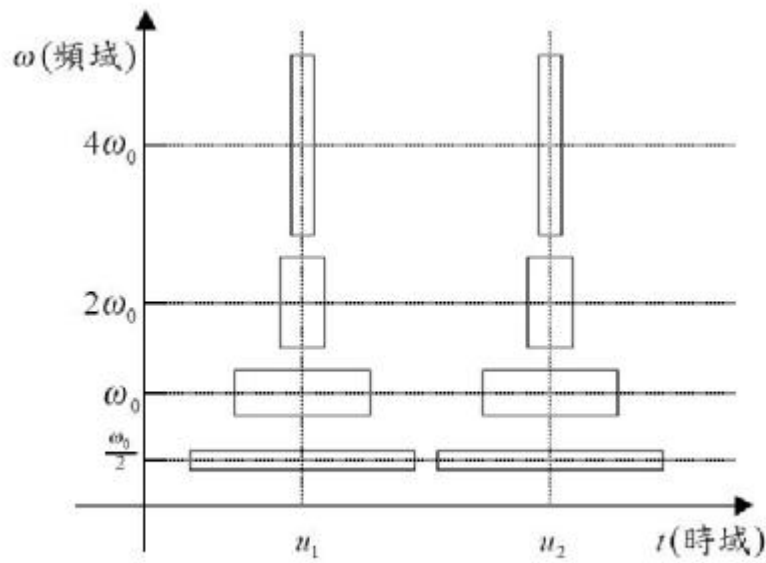
圖 2-4 Time and Frequency Resolutions of Wavelets
 a ：尺度參數； u ：偏移量
 (NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

小波函數改善了短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT) 在個別時、頻域上解析度分析的缺點，如圖 2-5，圖 2-6。解析度變化及時、頻域視窗函數，如圖 2-7 所示。



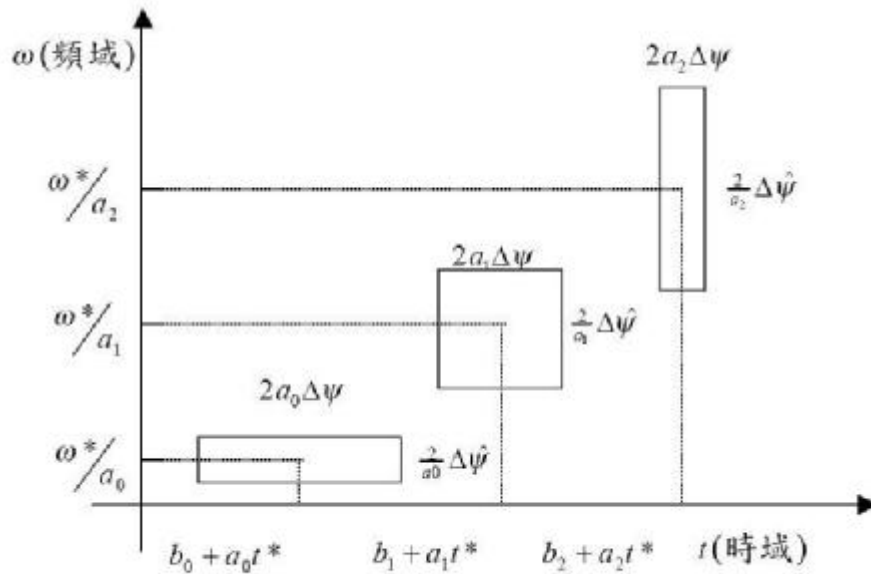
短時傅利葉轉換在時頻域的解析度

圖 2-5 短時傅立葉轉換在時、頻域的解析度



小波轉換在時頻域的解析度

圖 2-6 小波轉換在時、頻域的解析度
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)



連續小波轉換的時頻域視窗函數

圖 2-7 連續小波轉換的解析度變化與時、頻域視窗函數
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

● 離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform, DWT) 的基本概念

減小小波轉換係數冗餘度的作法是將小波基函數 $\varphi_{a,\tau}(t) = a^{\frac{1}{2}} \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$ 中的 a, τ 限定在一些離散點上取值。最通常的離散方是就是將尺度按幕級數進行離散化，既取 $a_m = a_0^m$ ($m \in +Z, a_0 \geq 2$)。

對於位移的離散化，當 $\alpha = 2^0 = 1$ 時， $\varphi_{\alpha, \tau}(t) = \varphi(t - \tau)$ 。通常對 τ 進行離散取值，以覆蓋整個時間軸。以 τ 進行間隔取樣需滿足 Nyquist 取樣定理，既取樣頻率需大於或等於該尺度下頻率的二倍。每當 m 增加 1，尺度 α 既增加一倍，對應的頻帶減小一半，取樣率可以降低一半，也就是取樣間隔可以增大一倍。

若當尺度 $m = 0$ 時 τ 的間隔為 T_s ，則在尺度為 2^m 時，間隔則可取 $2^m T_s$ 。此時 $\varphi_{\alpha, \tau}(t)$ 可表示為：

$$\frac{1}{\sqrt{2^m}} \varphi\left(\frac{t - 2^m n \cdot T_s}{2^m}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \varphi\left(\frac{t}{2^m} - n \cdot T_s\right) \xrightarrow{\text{ZFT}} \varphi_{m,n}(t); m, n \in Z \quad (2. -17)$$

將 t 軸歸於 T_s ，簡化為

$$\varphi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \varphi(2^{-m} t - n) \quad (2. -18)$$

而任意函數 $f(t)$ 的離散小波函數轉換為

$$DWT_f(m, n) = \int_{\mathbb{R}} f(t) \cdot \overline{\varphi_{m,n}(t)} dt \quad (2. -19)$$

● 離散小波轉換的逆轉換

若離散小波序列 $\{\varphi_{j,k}\}_{j,k \in Z}$ 構成一個框架，其上、下界分別為 A 和 B ，則當 $A=B$ 時（緊致框架），由框架概念可知離散小波轉換的逆轉換為

$$f(t) = \sum_{j,k} (f, \varphi_{j,k}) \cdot \tilde{\varphi}_{j,k}(t) = \frac{1}{A} \sum_{j,k} WT_f(j, k) \cdot \varphi_{j,k}(t) \quad (2. -20)$$

當 $A \neq B$ ，而 A, B 比較接近時，做一階逼近，可得

$$\tilde{\varphi}_{j,k}(t) = \frac{2}{A+B} \varphi_{j,k}(t) \quad (2. -21)$$

重建公近似為

$$f(t) = \sum_{j,k} (f, \varphi_{j,k}) \cdot \tilde{\varphi}_{j,k}(t) = \frac{2}{A+B} \sum_{j,k} WT_f(j, k) \cdot \varphi_{j,k}(t) \quad (2. -22)$$

逼近誤差為 $\|R\| \cdot \|f\| \leq \frac{A-B}{A+B} \|f\| \quad (2. -23)$

由 (2. -23) 式得知， A 與 B 越接近，逼近誤差就越小。

(I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelet, Capital City Press ,

1992)

2.3. Daubechies 小波函數

Daubechies 小波^[18]是由著名小波學者 Ingrid Daubechies 所創建。她發明的緊支集正交小波函數 (Orthonormal Base of Compactly Supported Wavelet) 是小波領域的里程碑，使的小波的研究由理論轉到應用可行。Daubechies 小波函數不具有對稱性，但它是緊支集的正交小波函數，具有快速算法，也是目前應用最為廣泛的小波函數之一。也是本研究所使用的小波函數。

Daubechies 系列的小波簡稱為 dbN，其中 N 表示階數，db 是小波名稱的前綴，除 db1 (等同於 Harr 小波函數) 外，其餘的 db 系列小波函數都沒有解析的表達式。

db 小波函數雖然沒有解析型式的表達式，但是其雙尺度差分方程的係數 h_k 可以用很簡單的解析形式表達：

設 $P(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k$ ，其中 C_k^{N-1+k} 是二項式係數，那麼 h_k 就可以用如下的形式表示：

$$|m_0(\omega)|^2 = (\cos^2(\frac{\omega}{2}))^N P(\sin^2(\frac{\omega}{2})) \quad (2.-24)$$

其中

$$m_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{2N-1} h_k e^{-ik\omega} \quad (2.-25)$$

特性為以下幾點：

- (1) 小波函數 ϕ 和尺度函數 φ 的有效支撐長度為 $2N-1$ ，小波函數 ϕ 的消失矩階數為 N 。
- (2) dbN 大多數不具有對稱性；對於有些小波函數，不對稱性是非常明顯的。
- (3) 正則性隨著序號 N 的增加而增加。
- (4) 函數具有正交性。

Daubechies 所構成的緊支集正交小波 (Orthonormal Base of Compactly Supported Wavelet) 不但是緊支集正交小波，而且是連續的。選擇 Daubechies

小波函數作為解析函數，因其具有正交性、有限承載、多分辨分析的尺度函數、良好的頻域及時域局部定位解析特性。雖然 Daubechies 小波是連續性的，但光滑性比較差。而隨者 N 的增大，尺度函數 φ 和小波函數 ψ 的光滑性也會越來越好。

M. Unser. (1996)



● Daubechies 尺度函數和小波函數的構造

Daubechies 尺度函數的尺度係數的生成算法如下：

- (1). 選取自然數 $N \geq 2$ ；
- (2). 令

$$P_M(z) = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1+k}{k} z^{N-1+k} \left(-\frac{1}{4}z^2 + \frac{1}{2}z - \frac{1}{4} \right)^k \quad (2. -26)$$

求 $P_M(z)$ 的零點；

從 $P_M(z)$ 的零點中每 4 個復零點中取 2 個，每對實零點中取一個。設所選得的實零點 v_j 有 K 個，虛零點 z_j 有 J 個， $P_M(z)$ 的最高係數為 a_N ，則 $P_M(z)$ 可以寫成

$$P_N(z) = \left[a_N \prod_{k=1}^K |v_k|^{-1} \prod_{j=1}^J z_j^{-2} \right]^{\frac{1}{2}} \times \left(\prod_{k=1}^K (z - v_k) \prod_{j=1}^J (z^2 - 2z \operatorname{Re} z_j + |z_j|^2) \right) \quad (2. -27)$$

- (3). 寫出 $H(\omega)$ 的表示式

$$H(\omega) = \left[\frac{1}{2} (1 + e^{-j\omega}) \right]^M P_N(e^{-j\omega}) = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{2M-1} h_N(n) e^{-jn\omega} \quad (2. -28)$$

則 $h_N(n)$ 既為 Daubechies 尺度係數。

當 $N = 1$ 時，對應的 Harr 尺度函數和小波都不是連續的。

當 $N = 2$ 時，對應的 Daubechies 尺度函數和小波都雖然是連續的，但不是光滑的，既無連續的導函數。

當 $N = 3$ 時，對應的尺度函數和小波有連續的導函數。

隨著 N 的增大，Daubechies 小波的光滑性也增大，但求解過程會比較慢。一般說來，對於給定的 N ，所對應的尺度函數和小波函數可求導的次數大約為 $N/3$ 。例如：尺度函數和小波函數若要達到 10 次導數，就要取 $N \approx 30$ 。圖 2-8 為 Daubechies 小波不同階的 mother wavelet 波形。

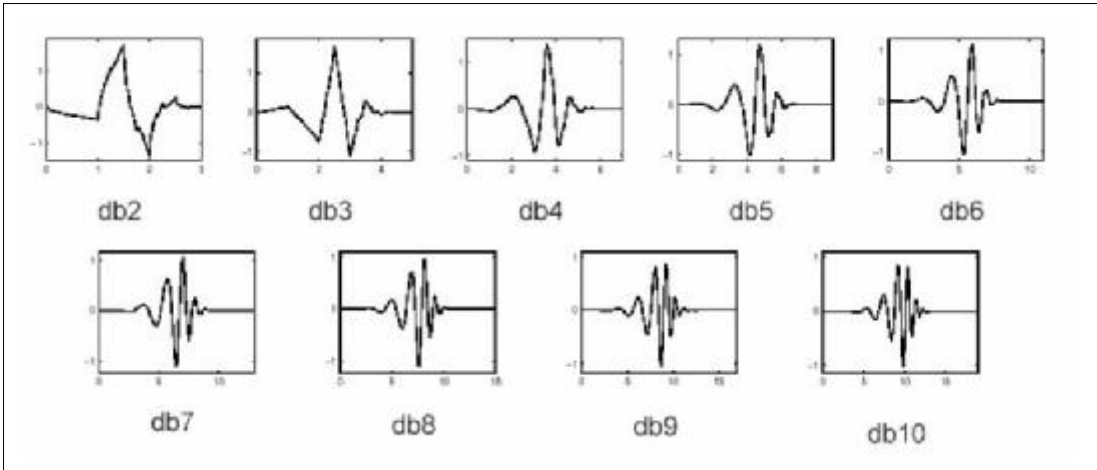


圖 2-8 Daubechies 小波不同階的 mother wavelet 波形
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

2.4. 小波轉換用於信號的特徵擷取

瞬間信號與影像訊號中的突變或奇異點通常包含了許多重要的資訊。小波函數除了在多分辨率分析、信號擷取、數據壓縮外，另一個重要性質是小波函數具有在時、頻兩個域中突顯信號的局部特能力。在實際的應用上地質探測、心電圖等所發生的背景不同，但在訊號的測試與判斷卻是相同的。亦就是如何擷取異常點的位置極其奇異點的判斷。^[19]

信號中的奇異點及不規則的急遽變化處常是分析特性（異常）的關鍵處，而影像亦中突變的影像點通常對應與圖像的紋裡或邊緣。

● 奇異點分析

連續小波轉換另一個優越之處是對信號進行局部分析。小波係數集中在發生間斷位置的各個尺度上，將間斷信號突顯出來。而傳統傅立葉轉換卻無此能力，其原因在於間斷部分的能量在整個信號中所佔的比例太小，且傅立葉轉換也無時間局部化的能力。

信號快速變化的核心性質可能包括的有間斷、一階或二階導數的部份連續等。其分為兩類，第一類型間斷點（Breakdown Points I）為：信號訊息在某一時刻內，其幅值發生突變，引發信號的不連續。第二類型間斷點（Breakdown Points II）為：信號訊息在外觀上是連續的，其幅值沒有突變，但信號的一階導數有突變發生。引發一階導數信號是不連續。離散 小波轉換亦是相同的處理方式。

● 處理技巧

依連續小波轉換處理信號第 i 階導數的間斷，使用消失矩 (Vanishing Movement) 為 i 的小波。因為消失矩越大，支集長度也越大，所以為了權衡定位的精確性與分析結果的可能性，則選擇能夠識別 i 階導數的支集最短的小波。

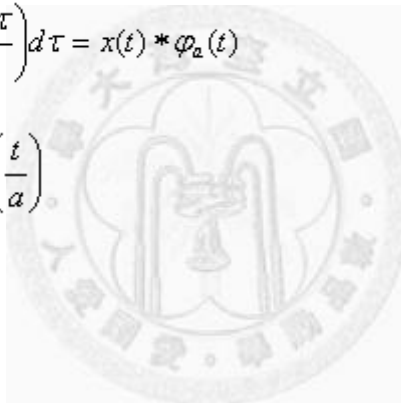
● 處理方式

實際的信號處理過程中經常含有噪音 (noises) 的存在，因此第一層分解通常是用來分離噪音的，因為如果能在第一、二層就盡可能的將噪音分離出去，其後的分解層便可較容易的去分析及找出斷裂點或奇異點。

既使用小波此特性來擷取、分析影像之邊緣、斷裂點等變化。

$$WT_a x(t) = \frac{1}{a} \int x(\tau) \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) d\tau = x(t) * \varphi_a(t) \quad (2.-29)$$

(2.-29) 式中， $\varphi_a(t) = \frac{1}{a} \varphi\left(\frac{t}{a}\right)$



2.5. 小波轉換和濾波器組

實際工程中所分析的訊號通常為離散訊號，在應用處理上並不使用尺度函數與小波函式，而是直接利用兩通道（Two-channels）濾波器進行一維離散數列或二維影像的小波轉換。在二分情況下 Mallat 在小波轉換中引入多分辨分析理論，找出一種快速小波轉換（Fast Wavelet Transform, FWT）的方法，並把二進小波轉換與能夠完全重構（Perfect reconstruction, FR）的兩通道濾波器組（Filter Banks）緊密結合起來。

濾波器（組）通用的符號表示，如圖 2-9 所示。

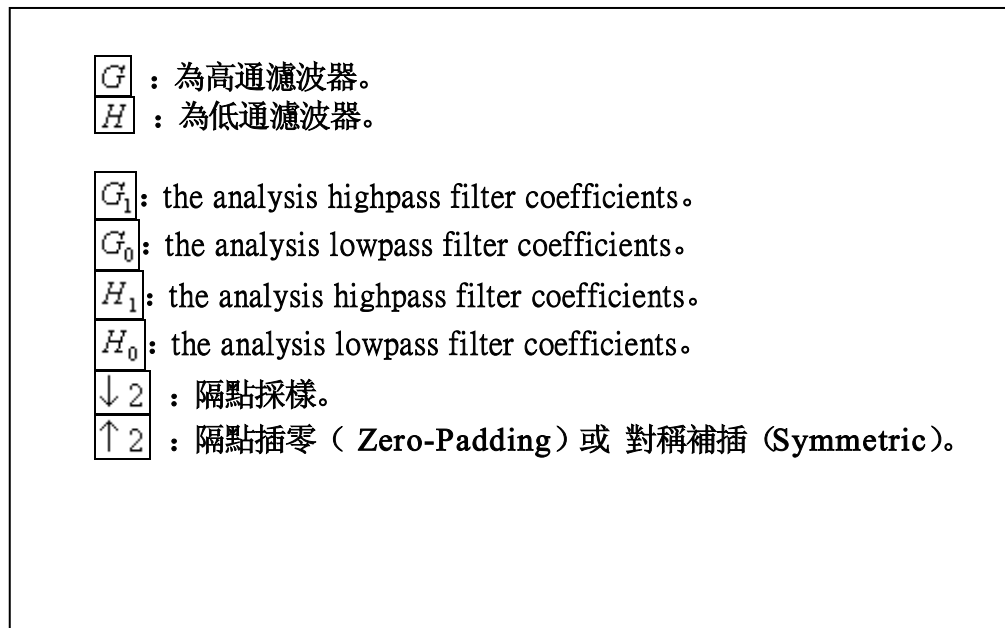


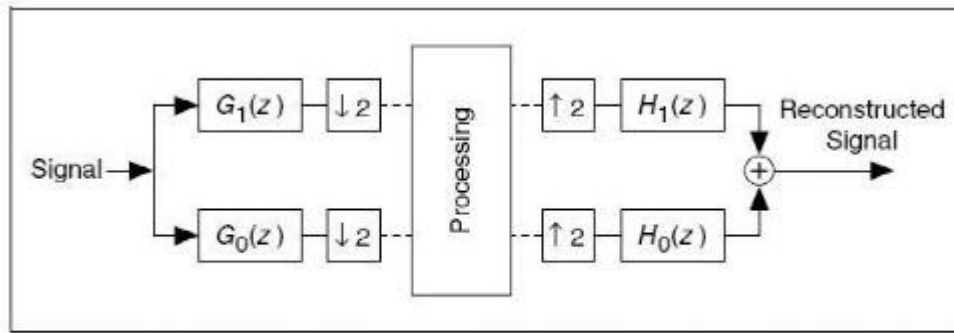
圖 2-9 濾波器通用符號

兩通道（Two-channels）濾波器組可用圖示的形式表示，如圖 2-10 所示。信號 f 由濾波器 G_0 和 G_1 分解到兩個通道上，然後分別經過各點的採樣（使用符號 $\downarrow 2$ 表示）；分解後得到的信號經過各點插零（使用符號 $\uparrow 2$ 表示），再分別由兩個 H_0 和 H_1 濾波處理後再將兩個通道上的信號相加，既得到重構信號 \hat{f} 。此分解與重構的結構通常用於信號的分解、壓縮、降噪等處理。

影像的小波轉換過程亦同，因為影像是 2D 的資料所以需透過兩組（兩次）、

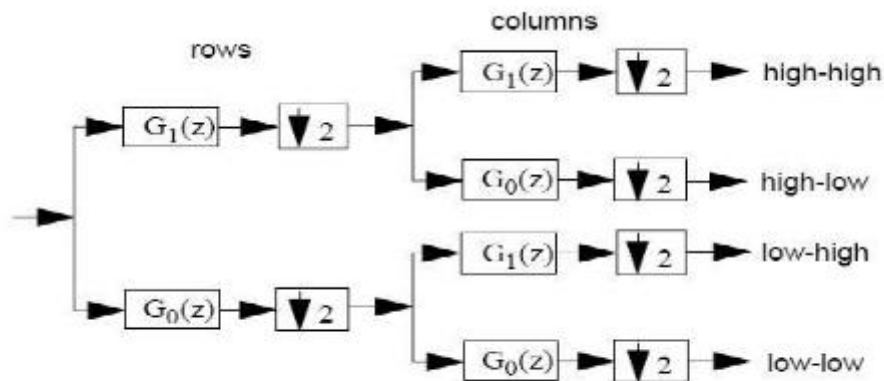
兩通道 (Two-channels) 濾波器組處理，一般是先經過列 (rows) 的濾波後再做行 (columns) 的濾波，其過程可用圖示的形式表示，如圖 2-11 所示。而處理圖像的階層數、結果與影像資料分布的表示法，如圖 2-12 所示。而小波轉換後的影像訊號分布與重構之後的影像，如圖 2-13 所示。

在影像還原過程有時並不使用「隔點插零」(Zero-Padding) 隔點補零運算，則此一方式在補入為「0」時其所表示的灰階值會產生的黑點雜訊。影像處理通常使用「對稱補插」(Symmetric) 方式，即在補入的數值不為「0」，所填入而是與前一鄰近位置相同的數值，則此一方式可減少因補入為「0」時所產生的黑點雜訊。



Two-Channel Perfect Reconstruction Filter Banks

圖 2-10 Two-channels Perfect Recon Struction Filter Banks



2D Signal Processing

圖 2-11 Two-channels Processing

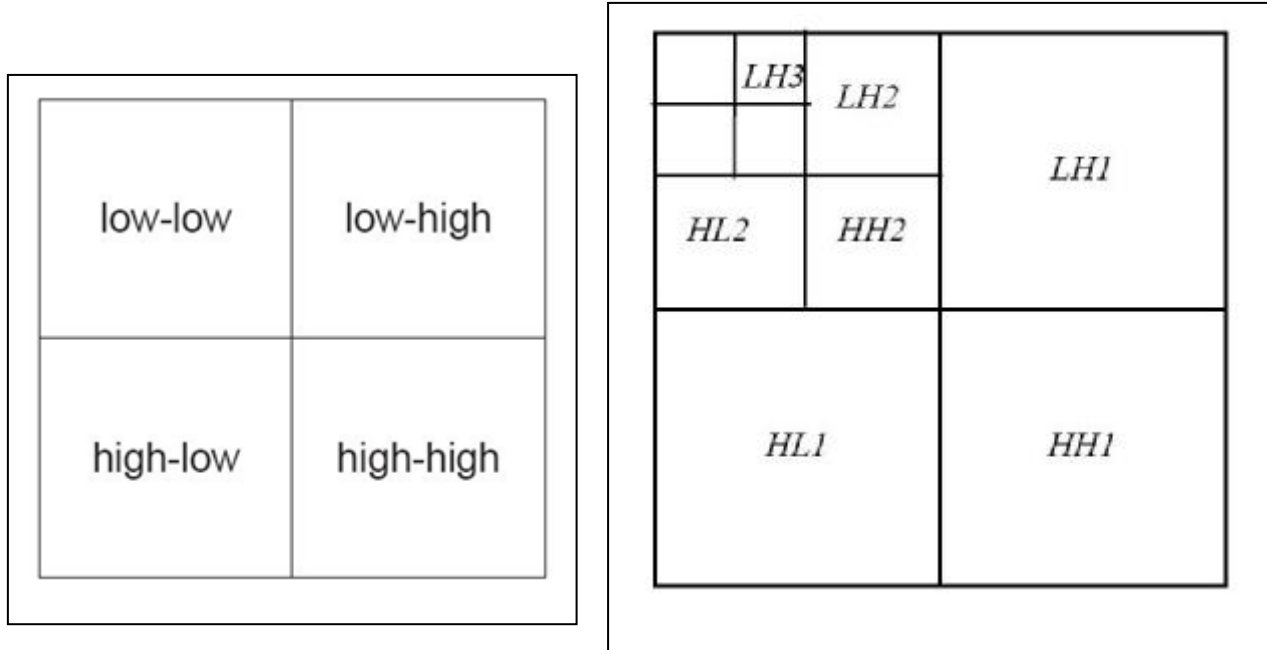


圖 2-12 小波轉換出的訊號分布
 左圖：為小波轉換出的訊號分布；右圖：為處理 3 階的影像資料分布

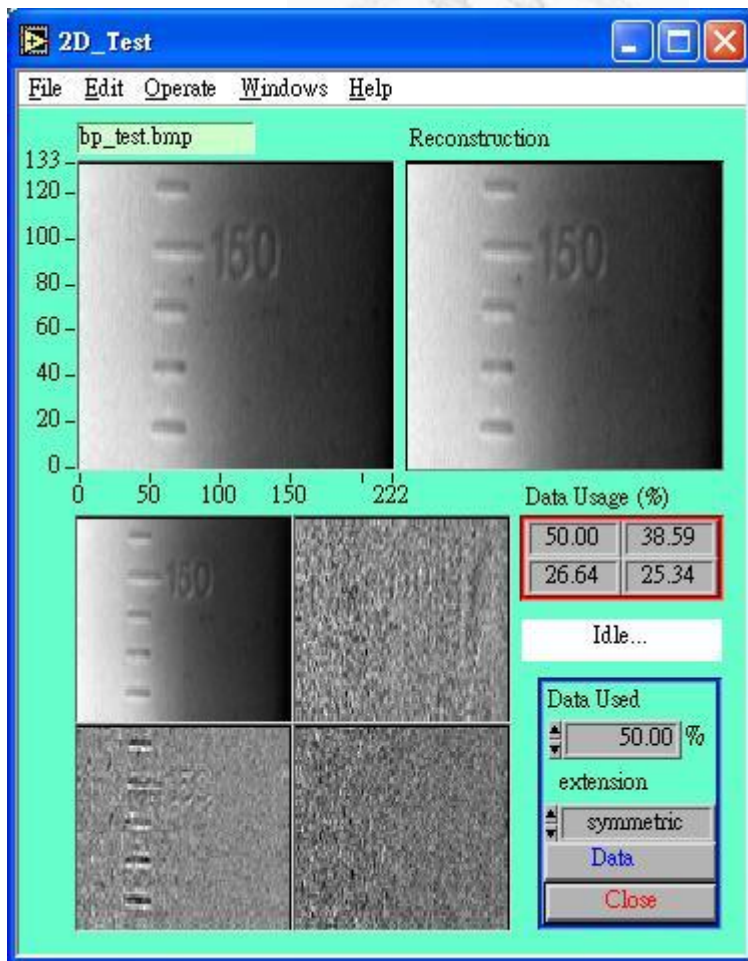


圖 2-13 小波轉換的影像訊號分布與重構後的影像

2.6. 文獻探討與現行解決方案

● 文獻探討

在演算法方面，在 1986 年 Sutton^[14]提出使用數位相關性的方法 (Digital Correlation Method, DCM) 來檢測物體平面變形與否，經由相似係數的計算，由係數的高低來分辨正常與變形處之間的差異，因此可得知平面中變形的區域。

Moganti et al.^[15] 探討以各種比對方式包括:特徵比對法、圖論比對法、及圓形視窗比對法，應用於印刷電路板缺陷檢測。

在其演算法的影像技術發展先決條件是平面上尋找或製作一原始標準特定樣版 (Pattern) 做一快速的比對。在原始影像與待測影像之間有一一定的空間誤差。

在頻率域的分析中，最常被使用的便是快速傅立葉轉換 (FFT)，但是單獨以 FFT 來處理非穩態訊號時，結果會比較不理想。由於本研究的實驗並非固定、週期性的影像訊號，亦有振動、位移致使頻率位置 (影像訊號) 的改變；相對的也會使得 Pixel 灰階值的量值改變，使得要比較差異時會出現困難。

在影像訊號的處理方面，所探討的是以平面、低景深、有原始標準特定樣版 (Pattern) 做一快速的比對的模式加以研究。關於非平面、高景深、無特定樣版可做比對的演算法在實際應用上有著其困難點。以本研究為例，待測物的觀測面 (瓶身表面) 是隨機的取樣，無一固定的角度 (360° 隨機取樣)；在取樣與打光的困難度上 (如：光影深度) 會隨取樣的角度有所不同。造成有著其相當大的取樣誤差。

在影像檢測仍然是一個未臻完全成熟的研究領域，還有許多問題需要解決，其理論基礎雖然有一定的方向可循，但實際應用上大多數演算法還是依經驗性的。本研究提供一非平面、無固定樣版 (Pattern) 做比對的研究方式。

現行的影像技術發展是以平面取樣、區域快速搜尋、影像萃取與二值化、樣版 (Pattern) 等比對方式之運算為主軸。在非平面、無特定樣版 (Pattern) 等影像處理應用上通常是高資訊量及需長時間的分析為主要對象。本研究計畫在現今的影像基礎理論與設備基礎上尋求一種可供業界對曲面檢測使用的影像檢測方

式。再者其使用自動化影像檢測系統則可配合機台 24 hrs 無間斷的生產、檢測。而不良品的檢出可由電腦訂定統一標準，減少人為的誤差。並可藉由其系統統計其不良品的數量、計算發生週期、發生缺點位置讓其現場工作人員能夠即時反推可能發生問題之流程及發生之原因而做及時的處理與改善。期可將其影像檢測系統放置在較低單價的產品線上的檢測，除了可節省人力成本外，亦可將熟練度高的人力集中放置在高單價的產線上做更有效的應用。

● 現行解決方案

現有的生產線上所使用的影像檢測系統為 Banner 公司的 Smart camera P4GEO 所使用的解決方案為如圖 2-14 所示，在所擷取的影像上做出不同的樣版 (Pattern) 區塊，再將不同的區塊設定不同的二值化閾值 (Threshold) 來搭配不同藥罐瓶身的曲面所產生不相同的灰階值區域的方式來檢測。檢測的次數與範圍如表 2-1 所示。此種方式方式的缺點為在不同的取像範圍、解析度、不同光源角度和取像方位常會發生與樣版 (Pattern) 的匹配一定程度的差異，也造成圖樣比對 (pattern matching) 的困難。再加上光源的自然衰減和檢測系統周圍環境的人員和物體移動時的反光所造成的干擾因素常使檢測結果產生誤差。



圖 2-14 Banner P4GEO 影像檢測系統

表 2-1 檢測次數和擷取範圍

設定總檢測時間 (sec)	瓶身轉速 (圈/sec)	CCD 擷取影像和檢測時間 (ms)	每秒檢測次數	平均擷取範圍角度
1.5	1.5	56.3	27	20°



第 3 章 數位訊號處理與影像處理

在本研究中所使用的工具軟體是以NI(National Instruments Corporation)所開發的 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)為程式開發平台，再導入NI 為各種不同的需求所開發的 Tools Kit : WFBD (Wavelet and Filter Banks Designer)、IMAQ Vision (Image Acquisition Development) 作為本研究中程式開發工具。

3.1. LabVIEW 簡介

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是由NI (National Instruments Corporation) 所發展出來的程式開發工具。它是一種圖形程式化語言，目前已廣泛的被工業界、學術與研究機構所使用作為資料擷取與儀器控制的軟體標準規格。LabVIEW 軟體可以使用於麥金塔 (Macintoshes & Mac clones)、昇陽的工作站 (Sun SPARCstation)、惠普 (HP) 的 9000/700 系列工作站與執行在 Windows 2000/XP 或 Linux 平台下的個人電腦，LabVIEW 是一種擁有強大功能與可攜性的儀控與分析軟體。

使用 LabVIEW 的電腦比一般標準的工業儀器設備有著更高的使用彈性，透過標準的協定其硬體可控制對象包含有：單晶片 (如：Z80、8051.. 等)、 PLC 控制 (如：Z80、8051.. 等)，設計、使用 FPGA、DSP... 等晶片，以及 PDA、PC 及工業上各種儀器設備的控制。在 LabVIEW 所建立的程式或虛擬儀表 (Virtual Instrument, 簡稱 VI) 很容易修改制式的硬體設備來符合本身的需求。LabVIEW 跳脫傳統的程式設計環境進入到容易使用的圖形化語言 (Graphic Language, 簡稱 G 語言) 之作業環境，如次頁 圖 3-1，圖 3-2，圖 3-3 所示。LabVIEW 包括資料擷取 (DAQ)、資料分析與結果呈現等所有必須使用的工具。藉由圖形化程式設計語言的協助，將所使用的圖形化程式方塊圖編譯成機械碼，縮短了程式編輯的時間，也正因此特點，減少了類似傳統程式製作上的麻煩。而所撰寫完成的程式碼 (VI) 在完全不用轉換下，可在上述的電腦中直接載入使用。傳統程式語言上所爭辯的許多問題，LabVIEW 都可以在短時間之內解決，呈現多數科學與工程運用上的想法。

LabVIEW 的高彈性不只在硬體方面，在軟體方面不僅可呼叫使用 Matlab 的函數庫，VC++、BCC... 等所編譯的 DLL 檔。網路上亦可與 Java 結合使用，甚至亦可將 LabVIEW (VI) 程式碼編譯為 DLL 檔提供給其他開發程式平台使用，充分顯示出 LabVIEW 的高相容性。



圖 3-1 函式工具庫

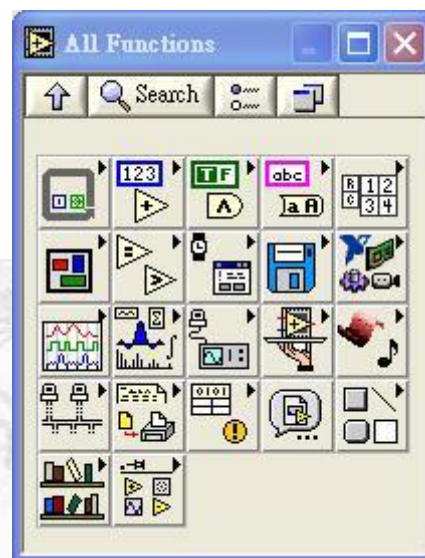


圖 3-2 人機介面

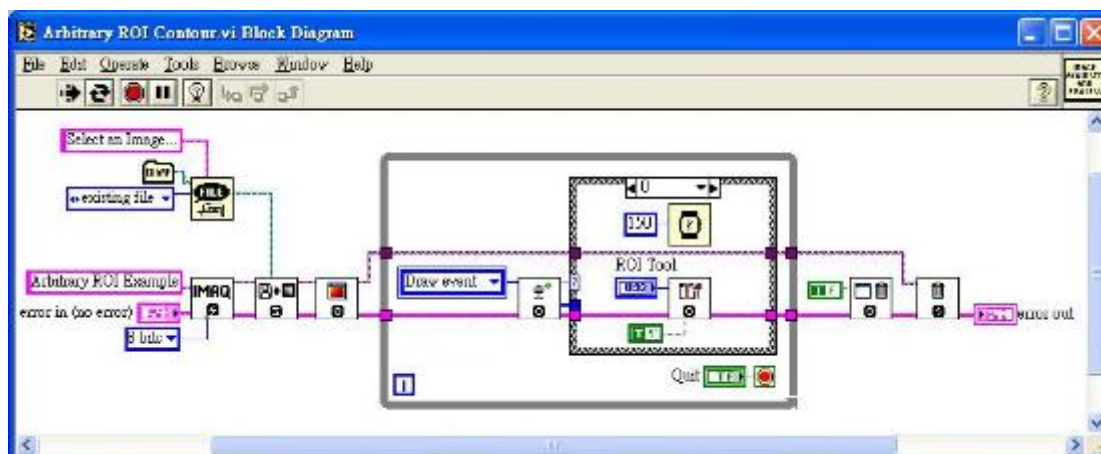
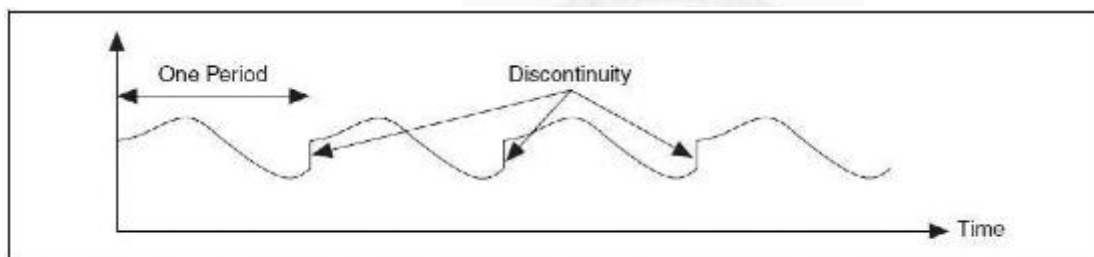


圖 3-3 程式介面

3.2. 視窗法 (Windowing)

在實際即時動態的運算處理上，於一定時間內所擷取的訊號定為一有限取樣訊號，而取樣時間並不一定和頻率週期相符。就算是一持續週期性的訊號輸入在擷取時間的不同下亦會在其銜接處產生不連續的現象，而所取得的影像訊號將為一非穩定、週期性的訊號資料，如圖 3-4 所示。這種在交界處由於輸入的不連續數位訊號點（因不連續）所產生的高頻雜訊使的頻率能量不再集中於真正的訊號頻譜上，而是分布到一個廣大的範圍。造成這種現象稱為「頻譜漏失」(Spectral leakage) 而該現象使得運算的資料不易判讀或誤判，如由圖 3-5 中將其所輸入的 Sin wave 做非同頻率週期的擷取再經 DFT 運算後將會產生如該圖下方異常的頻率能量。



Periodic Waveform Created from Sampled Period

圖 3-4 Periodic Waveform Created from Sampled Period
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

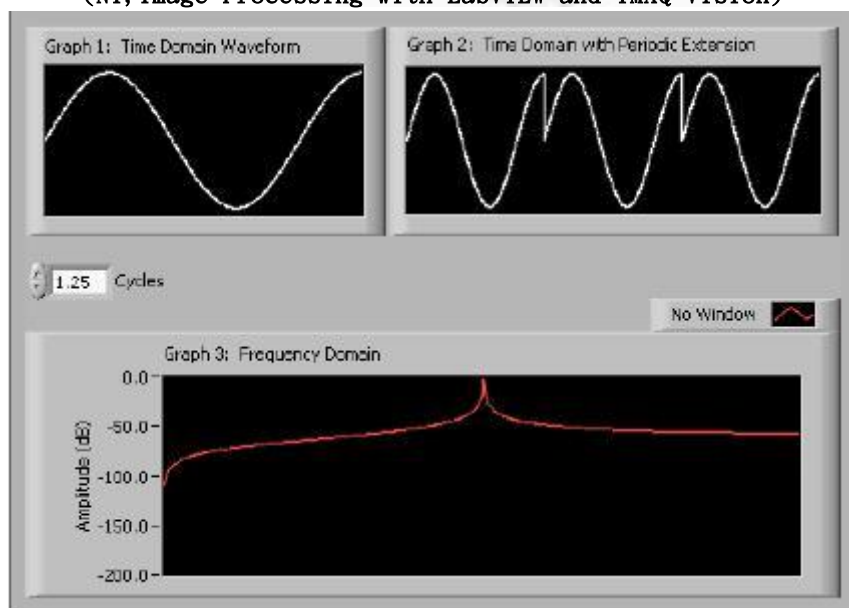


圖 3-5 DFT 運算後顯示異常的頻率能量
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

頻譜漏失的能量取決於不連續點銜接處振幅的大小差異。振幅差異越大頻

漏失就越嚴重，在 DSP（Digital Signal Processing）中常用的視窗法（Windowing）就是將每一個週期邊界附近的振幅減小，以減少不連續點的振幅變化。修正因訊號輸入在訊號銜接處所產生的高頻訊號。

視窗法是為了解決傅立葉轉換在不同的時域中分析、比較其頻域特性於 1946 年由 Gabor 所提出的窗口傅立葉所發展而來。窗口函數具有保留分析信號的局部特徵作用，如圖 3-6 所示所輸入並非一完整週期的 Sin wave，若直接做頻譜分析可以發現會在主頻率周圍呈現許多實際上不存在的頻率。若經過視窗處理，可以看到頻譜明顯的集中在實際的頻率中。為了因應各種不同的需要分析於是發展出需多的窗口函式，如圖 3-7 所示。

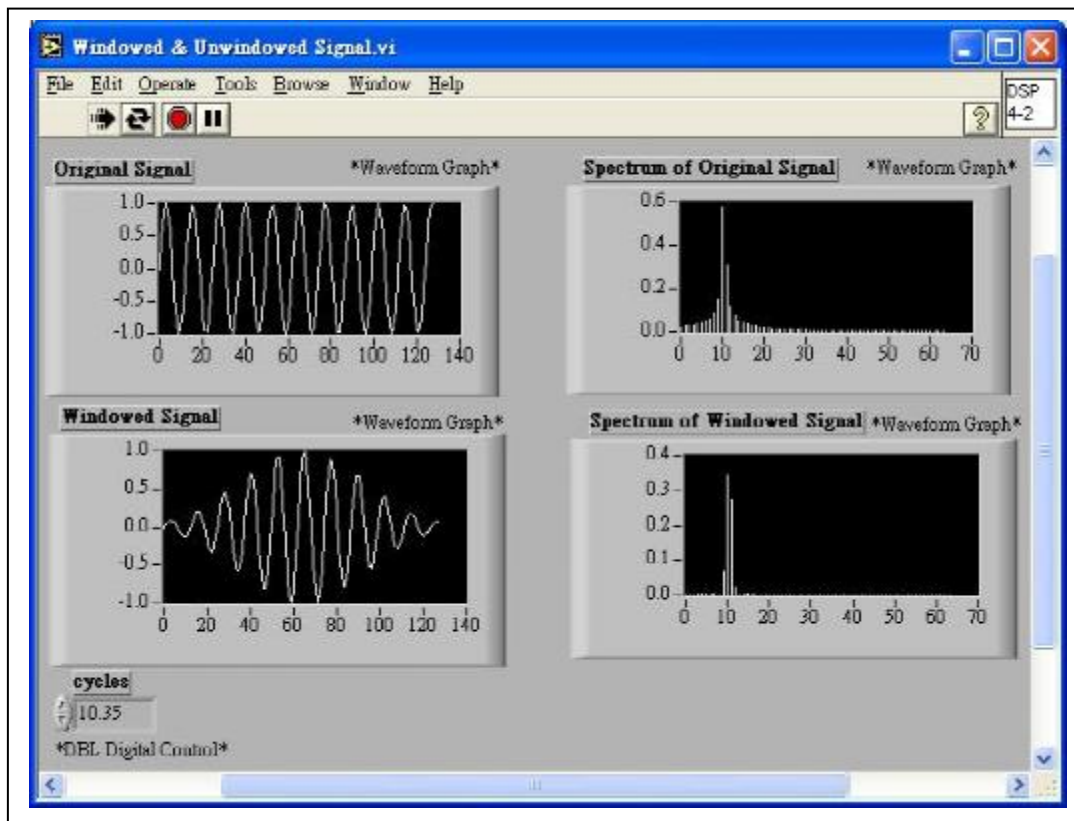


圖 3-6 視窗使用比較
(LabView 範例)

● 理論方法

視窗法是利用窗口函數與一段在時域中取樣的數列相乘，達到調製取樣數列的目的。因為兩個函數在時域的乘積就相當於此兩個函數在頻域的旋積（Convolution）。應用上就是將取樣所得到的數列「乘上」「一個相同長度」

口函數。

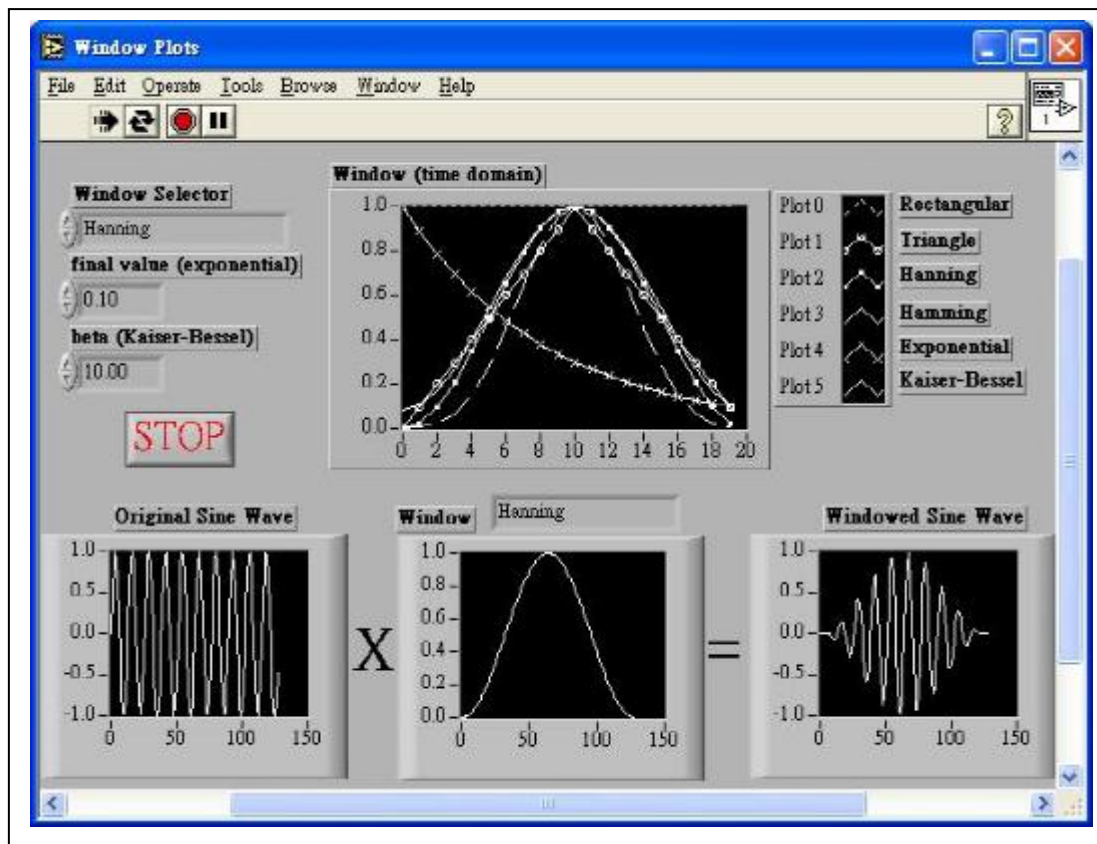


圖 3-7 視窗法波形比較
(LabView 範例)

● 窗口函數

LabVIEW 中提供了多種的視窗函數其函數波形如圖 3-7 圖 3.2-4 中所示，函數簡介如下：

- (1). **矩形窗 (Force)**：矩形 (Rectangular) 窗函數。
為在定義的時間區間中值皆為 1。

數學式表示如下：

$$w[n] = 1.0 \quad \text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

- (2). **海寧窗 (Hanning)**：海寧窗函數。
海寧窗口的圖形與半個餘弦數相似。

數學式表示如下：

$$w[n] = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\pi n / N) \quad \text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

- (3). **漢明窗 (Hamming)**：漢明窗函數。
海寧窗口改變自 Hanning 窗口，其圖形也類似餘弦數。

數學式表示如下：

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n / N) \quad \text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

- (4). **指數窗 (Exponential)**：指數窗函數。
此窗口函數的振幅試以指數型態衰減。

數學式表示如下：

$$w[n] = \exp\left(\frac{n}{N-1} \times \ln(f)\right) \quad \text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

- (5). **三角形窗 (Triangle)**：三角形窗函數。

此窗口函數的振幅試以三角形型態呈現。

數學式表示如下：

$$w[n] = 1 - \left| \frac{2n - N}{N} \right| \quad \text{其中 } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$



各窗口函數的應用時機和處理訊號類型，如表 3-1，表 3-2 所示。

表 3-1 窗口函數與應用

窗口函數	數學式	應用
矩形窗 (Force)	$w[n] = 1.0$	訊號變化時間比取樣時間短。 Order Tracking。 分離兩個頻率接近，但振幅相差不多的訊號。 系統響應。
海寧窗 (Hanning)	$w[n] = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$	1. 一般的應用。 2. 系統分析。 3. 訊號變化時間比取樣時間長。
漢明窗 (Hamming)	$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$	1. 訊號變化時間比取樣時間長。
指數窗 (Exponential)	$w[n] = \exp\left(\frac{n}{N-1} \times \ln(f)\right)$	
Kaiser-Bessel 窗	$w[n] = \frac{I_0(\beta\sqrt{1-a^2})}{I_0(\beta)}$	1. 分離兩個頻率接近，但振幅相差很多的訊號。
三角形窗 (Triangle)	$w[n] = 1 - \left \frac{2n - N}{N} \right $	

表 3-2 窗口函數與訊號類型

訊號類型	應用的窗口函數
訊號變化時間比取樣時間短。	1. 矩形窗
訊號變化時間比取樣時間長。	1. 指數窗、Hanning 窗
一般的應用。	1. Hanning 窗
Order Tracking。	1. 矩形窗
系統分析 (測量頻率響應)。	1. Hanning 窗 (隨機激發) 矩形窗 (似隨機激發)
分離兩個頻率接近，但振幅相差很多的訊號。	1. Kaiser-Bessel 窗
分離兩個頻率接近，但振幅相差不多的訊號。	2. 矩形窗

● 使用理由

信號在時域內進行分段，等於用位置不同的窗函式在處理訊號。在本研究中影像處理使用視窗法的亦是基於相同的理由，實驗中每一幅影像是由一 2D 的資料型態所組成。當經過小波轉換減量時圖像四周邊框會因為小波不同的階數與參數使用而有不同的程度大小的邊框區域產生，當影像資料以 1D 方式一列一列的方式輸入時，其每一列均可視為一個不連續的波形。截面訊號是以一不規則的訊號方式呈現而兩端呈一不同接續的落差訊號，如圖 1.5. -1, 1.5. -2 所示。透過窗函式處理後可將小波處理後所產生的邊緣訊號給平整化。

3.3. 數位濾波器 (Digital Filter)

濾波器是一種改變訊號頻率成分的處理過程，其中一個主要的原因是因為濾波器可以減小訊號中的雜訊。本研究中小波轉換也是一種濾波過程，但小波的濾波動作卻是「整體數據」的濾波無法針對某些頻率（特徵值）進行處理，當影像數據被減量至一定程度後，小波轉換的運算濾波值的變動相對就顯的變動很大，因此使用數位濾波器的原因在於僅對「不需要」的頻率（特徵值）進行濾波去除作用。而本研究使用數位濾撥器的目的在於將影像資料以 1D 方式一列的方式接續輸入窗函式前時降低影像數據接續處端的影像數據變化，其濾波變化如圖 3.3-2 實際濾波所示。一般的數位濾波器的作用：

1. 抑制噪音干擾。
2. 做頻率補償器使測量頻帶擴展。
3. 擷取某部頻率分量。

● 濾波頻帶

濾撥器改變訊號中頻率或移除掉或保留特定的頻率其方式有：

低通濾波 (Lowpass)：低頻部分通過，衰減高頻部分。

高通濾波 (Highpass)：高頻部分通過，衰減低頻部分。

帶通濾波 (Bandpass)：中間頻率部分通過，衰減兩旁頻率部分。

帶禁止濾波 (Bandstop)：衰減中間頻率部分，讓兩旁頻率部分通過。

理論濾波，如圖 3-8 所示，實際濾波，如圖 3-9 所示。

Y 軸: Amplitude 振幅。
X 軸: Frequency 頻率。

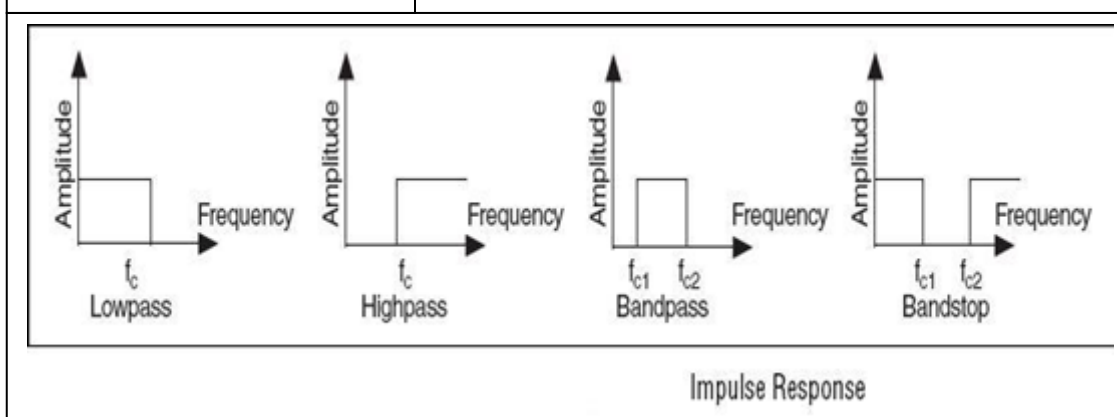


圖 3-8 理論濾波
(LabView 範例)



Y 軸: Amplitude 振幅。
X 軸: Frequency 頻率。

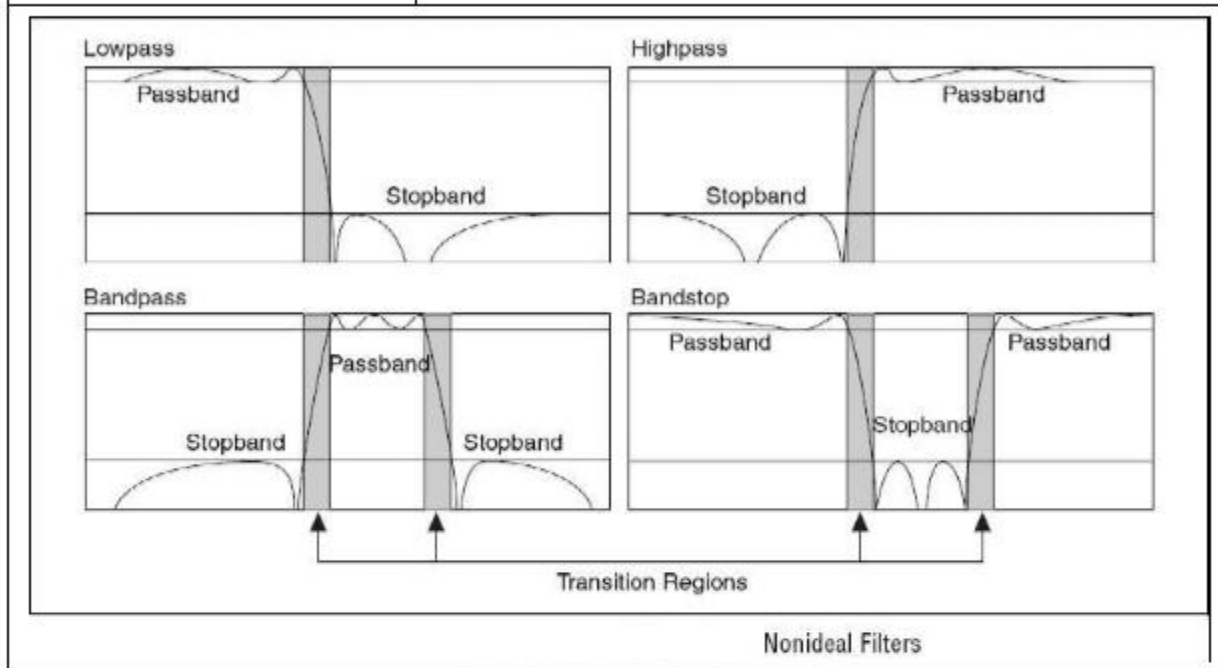


圖 3-9 實際濾波
(LabView 範例)

● 數位濾波器種類

數位濾波器通常分為兩大類

- FIR (Finite Impulse Response filter)
- IIR (Infinite Impulse Response filter)

其差異比較，如表 3-3 所示。

表 3-3 IIR 與 FIR 比較

Filter	差異					
FIR	線性	有限 response	非遞回	相位	係數較多	
IIR	非線性	無限 response	遞回	無相位	係數較少	運算速度快

IIR 相較於 FIR 其優點：

在於只需要比較少的濾波器係數。

執行速度較快。在電腦運算時不需額外的記憶空間。

- **濾波器設計部分：**

一般在(高級)濾波器設計部分,如濾波係數(Coefficients)和濾波器(Filter type)是「分開」的。因為,濾波器的設計很費時間,而濾波過程則很快。

- **IIR type :**

Butterworth filter

Chebyshev filter

Chebyshev II filter

Elliptic filter

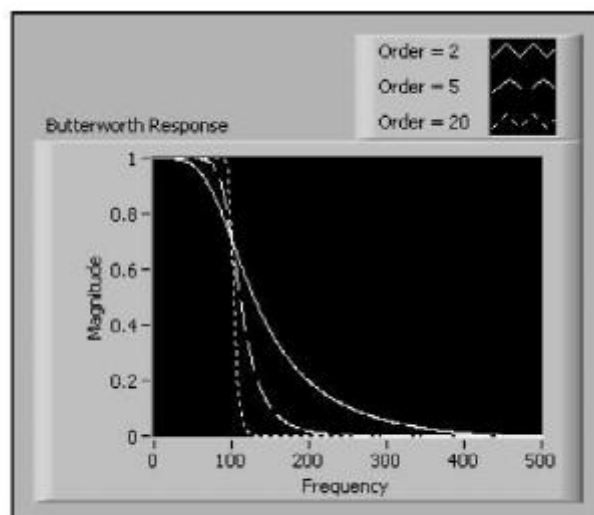
本研究採用 Butterworth filter 其理由,如表 3-4 所示。

表 3-4 IIR 濾波器性質比較

IIR 濾波器種類	頻率響應的性質	同一階數過渡頻帶的寬度	達到較好濾波效果所需的階數
Butterworth	沒有鏈波	最寬	最高
Chebyshev	在通過頻帶有擾動		
Inverse Chebyshev	在禁止頻帶有擾動		
Elliptic	在帶通頻帶及禁止頻帶都有鏈波	最窄	最低

● Butterworth filter

Butterworth filter 無論是在帶通頻帶 (Bandpass) 或是禁止頻帶 (Bandstop) 都沒有鏈波 (Ripple)。由於減少擾動，Butterworth filter 是一個最平滑的濾波器，在不同的濾波階數的比較，如圖 3-10 所示。



Frequency Response of a Lowpass Butterworth Filter

圖 3-10 Butterworth Filter 與濾波階數
(LabView 範例)

第 4 章 小波轉換理論

本研究從小波的基本觀點出發，討論小波的原理。透過小波的特性將其應用在影像處理上，在應用上技術分析多於實際應用。其主要原因在於運算的時效上，本研究從現今小波在影像訊號上的 4 channels 處理程序，去除不再需還原 (Reconstruction) 過程時的數據匯集，經過 1~2 階的數據減量後，再簡化為僅作特徵分析的 2 channels 的運算部分，並在分析特徵值時導入前章節所討論的數位濾波器 (Digital Filter) 強化小波在影像訊號分析上不足的相關課題。

4.1. 小波轉換的簡介

十九世紀法國的數學家傅立葉 (Joseph Fourier) 發現了任何的訊號 (例如聲音、影像等等) 均可被拆解為由不同頻率、振幅、相位角等正弦波的組合，而每個正弦波最大差異即在於頻率。因此，同一訊號亦可表示為隨頻率 (即正弦波) 而改變之函數，以空間域或頻率域的方式來描述是完全等同的。

根據傅立葉定理，一個訊號除了可由空間域之函數來表達外，亦可在頻率域觀察描述此訊號，將訊號表示成由不同頻率之正弦波組合 (或餘弦波) 的變化函數 (Oppenheim et al., 1998)。

傅立葉轉換 (Fourier Transform) 是將空間域的數值轉換到頻率域，為了研究訊號在局部時間範圍內的特徵，Gabor (1946) 提出了著名的 Gabor 變換，之後又進一步發展為短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT) 又稱為窗口傅立葉轉換。STFT 定義了窗口函數的大小與形狀，在期望高頻訊號使用小視窗分析，低頻訊號使用較大的視窗進行分析。STFT 的固定視窗限制了對不同情況下訊號針對特性的分析。

小波分析 (Wavelet Analysis) 是傅立葉分析方法的發展與延拓提供了可變換尺寸區間的窗口，可以在需要低頻資訊時使用長時間的區間 (視窗)，與高頻資訊時使用短時間的區間 (視窗)，得到更高的精度。它既繼承和發展了傅立葉轉換與短時傅立葉轉換 (STFT) 的局部化觀念，同時又克服了視窗大小不隨頻率變化的缺點，是進行信號時頻分析，處理時變非穩態信號的比較理想的工具。小波轉

換具有局部性處理能力，對於小區域的瑕疵能有效突顯，且其運算處理速度較快，近來廣為應用於影像處理、地震勘探、海洋工程、機械故障診斷與及時監控…等領域上。

4.2. 傅立葉轉換 (Fourier Transform) 的基本概念

● 傅立葉轉換 (Fourier Transform)

訊號的轉換是在使用不同的基底下做轉換，傅立葉轉換(Fourier Transform)是以三角函數 $\sin(x)$ 、 $\cos(x)$ 及指數函數 e^{ix} 為基底，將訊號由時域轉換到頻域，在分析訊號之頻率特性時，傅立葉轉換是相當有用的分析工具，其轉換式表示如下：

$$f^f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int f(x)e^{-i\omega x} dx \quad (4.-1)$$

而其逆轉換為

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int f^f(\omega)e^{i\omega x} dx \quad (4.-2)$$

對於處理一離散時間點之訊號，傅立葉轉換與逆轉換式則修改如 (4.-1) 式與 (4.-2) 式，將訊號轉至離散之頻率域，稱之為離散傅立葉轉換 (Discrete Fourier transform, DFT)，若訊號向量長度為 N ，則表示如下：

$$f^f(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)e^{-\frac{2\pi}{N}nk}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.-3)$$

$$f(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f^f(k)e^{\frac{2\pi}{N}nk}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.-4)$$

● 短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT)

傅立葉轉換 (Fourier Transform) 後從頻域上可探知有暫態訊號產生，但卻無法得知在何時發生。Dennis Gabor (1946) 將視窗 (windowing) 的觀念引進傅立葉轉換中，把訊號劃分成許多相同的時間間隔，用傅立葉轉換分析每一個時間區間，以確定該時間區間內所存在的頻率，改善了傅立葉分析無法偵測時間區段內頻率特性的不足。取傅立葉轉換前先乘上一個窗口函數，則至少可知暫態發生在哪一個窗口範圍內，設此窗口函數為 $g(x)$ ，則此種傅立葉轉換稱為短時傅立葉轉換 (Short-Time Fourier Transform, STFT)，可寫成：

$$f^f(\omega, \tau) = \int f(x)g^* e^{-i\omega x} (x-\tau)dx \quad (4.-5)$$

$g(x-\tau)$ ：窗口移動函數。

τ ：平移參數。

當窗口函數 $g(x)$ 為高斯函數時，STFT 則稱之為 Gabor 轉換。STFT 有固定持續時間的窗口函數，以及固定的頻率解析度，在時、頻域平面上的解析度可由圖 4-1 所示。但由於 STFT 的視窗大小為固定，有一些需要更佳解析度時，並無法進行調整，對於較細微的部分訊息被忽略，造成訊息模糊不清的問題。而小波轉換理論則是更進一步的將的利用函式的縮放改變窗口大小，具備了 STFT 的優點更提升了其解析度。

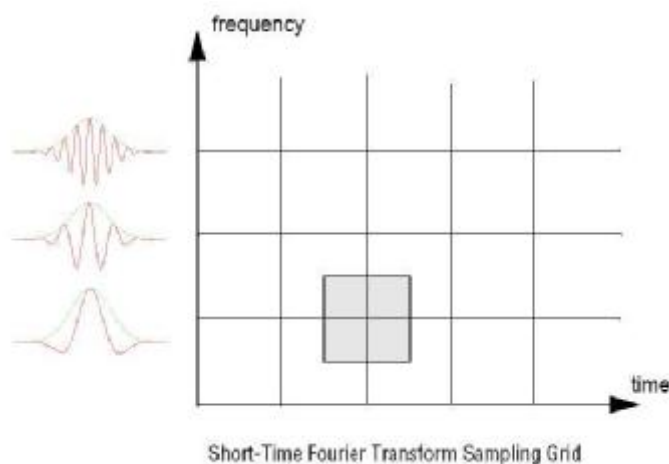
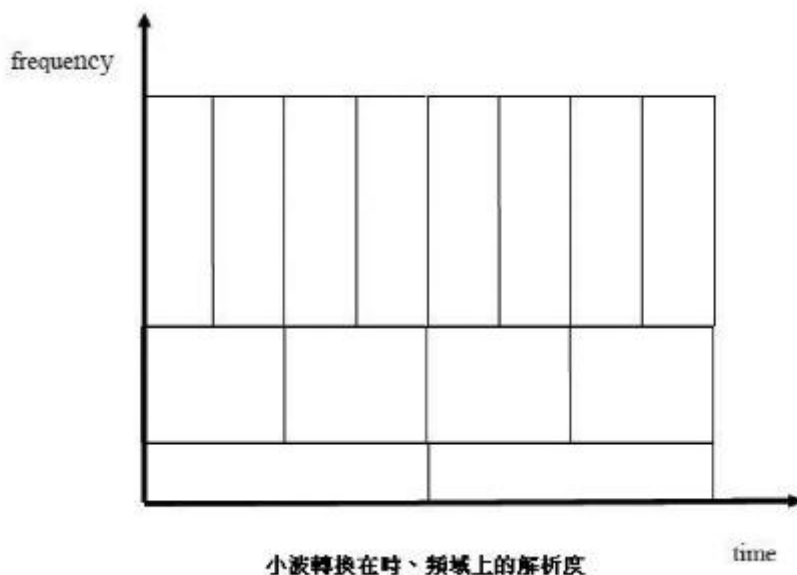


圖 4-1 STFT

(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

4.3. 小波轉換 (Wavelet Transform)

小波轉換的概念來源是伸縮 (dilation) 與平移 (translation) 所形成的。其概念由法國地球物理學家 J. Morlet (1984) 為分析地震數據所提出。基底函數具有短持續時間且高頻率，以及長持續時間且低頻率的特性，因此相當適合表現出高頻的突發暫態訊號或是長時間變化緩慢的訊號。正是這種特性，使小波轉換具有對信號的自適應性。小波轉換在時、頻域上的解析度，如圖 4-2 所示。



小波轉換在時、頻域上的解析度

圖 4-2 小波轉換在時、頻域上的解析度
(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

● 小波的基本定義

對於一個有限函蓋函數 $\psi(x)$ ，符合以下三點：

其全域積分值為零，即

$$(1) \int \psi(x) dx = 0$$

且滿足 $\|\psi(x)\| = 1$ ，也就是

$$(2) \int \psi(x)^2 dx = 1$$

(3) $\{\psi(2^j x - k) | j, k \in Z\}$ 形成 $L^2(R)$ 的一組基底

由於 (1) 式，此函數 $\psi(x)$ 的圖形必定上下起伏，且由 (2) 式可知 $|\psi(x)|$ 下所圍之面積亦不會很大，故名之小波或凌波。例如 Harr 函數就是這樣一個函數，且為眾多小波函數族類中最基本的一個，亦稱之為一階小波函數，而所謂的小波函數族類包括了，正交、雙正交、半正交，區間中的小波函數等等，如 Daubechies wavelets、Coiflets、Symlets、Biorthogonal wavelets，這些族類內的函數隨著階數而變化。在做小波轉換時，首先必須挑選一個小波函數 $\psi(x)$ ，一般稱之為母小波 (mother wavelet)，而母小波經由尺度的縮張與平移後之函數 $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 一般稱之為子小波，其中 a 稱為尺度參數， b 稱為平移參數。

小波轉換的基本定義如下：

設 $\psi(t) \in L^2(R)$ ，其傅立葉轉換為 $\psi(\omega)$ 。

當 $\psi(\omega)$ 滿足條件：

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (4.-6)$$

時，稱為一個基本小波或母小波函數，式 (4.-6) 為小波容許條件。連續小波轉換的定義為：

$$W(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}_{a,\tau}(t) dt \quad (4.-7)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a^{-2} w(a, \tau) \psi_{a,\tau}(t) da d\tau \quad (4.-8)$$

● 尺度與頻率

連續小波試圖以一組連續變化的伸縮平移基 $\psi_{a,\tau}(t)$ ， ψ 稱為連續小波基函數，來代替短時傅立葉轉換 (Short Time Fourier Transform, STFT) 中的

$g'_{\omega,\tau}(t) = g(t-\tau)e^{-j\omega t}$ ，使它的時頻域的窗口能隨頻率的變化而變化，如圖 4-3 所示，以實現對低頻分量採用大時窗，對高頻分量採用小時窗的自然規律分析法。

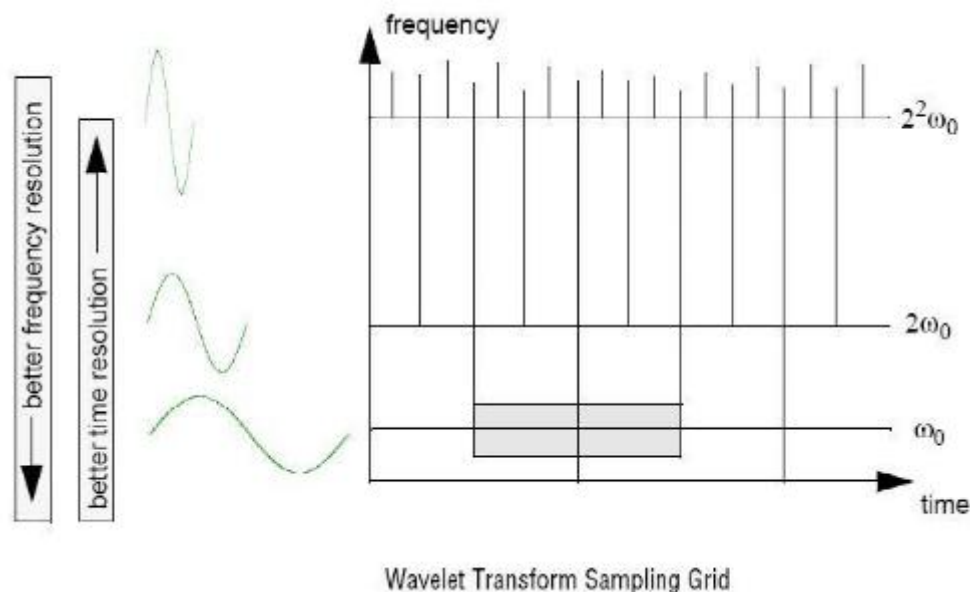


圖 4-3 Wavelet Transform Sampling Grid (NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

連續小波定義為：設 $\psi(t)$ 為一平方可積函數，亦既 $\psi(t) \in L^2(R)$ ，若其傅立葉轉換 $\psi(\omega)$ 滿足條件

$$\int_{\mathbb{R}} \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty$$

則 $\psi(t)$ 為一個基本小波或母小波函數 (mother wavelet)。

若要將母小波函數 $\psi(t)$ 進行伸縮和平移，則其函數定義為：

$$\psi_{a,\tau}(t) = a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right), a > 0, \tau \in \mathbb{R}$$

a ：尺度因子。

τ ：平移因子。

ω ：頻率。

t ：時間。

由於尺度因子 a (伸縮因子)、平移因子 τ 是取連續變化的值，因此 $\psi_{a,\tau}(t)$ 為連續小波基函數。

● 尺度與頻率的關係：

尺度越小，小波函數衰減越快，頻率越高。

尺度越大，小波函數衰減越慢，頻率越低。

尺度與頻率之間的對應的關係如下：

$$F_a = \frac{\Delta \cdot F_c}{a}$$

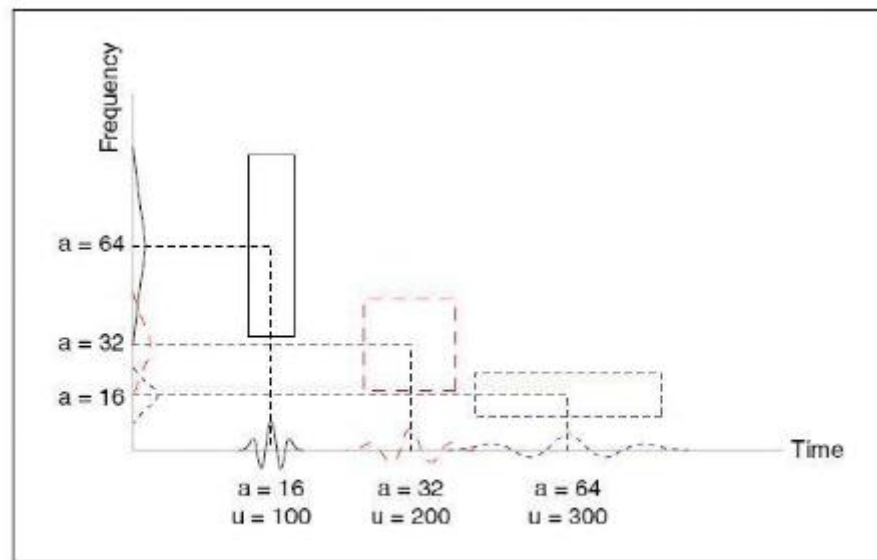
a ：尺度因子。

Δ ：取樣間隔。

F_c ：小波的中心頻率。

F_a ：偽頻率。

當尺度因子 a 改變時，其小波時、頻域的變化，如圖 4-4 圖 4.3.2-2 所示：



Time and Frequency Resolutions of Wavelets

圖 4-4 小波時、頻域的變化

(NI, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision)

● 離散小波轉換 (Discrete Wavelet Transform, DWT) 的基本概念

減小小波轉換係數冗餘度的作法是將小波基函數 $\psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{a} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$ 中的 a, τ 限定在一些離散點上取值。最通常的離散方是就是將尺度按幕級數進行離散化，既取 $a_m = a_0^m$ ($m \in +Z, a_0 \geq 2$)。

對於位移的離散化，當 $a = 2^0 = 1$ 時， $\psi_{a,\tau}(t) = \psi(t-\tau)$ 。通常對 τ 進行離散取值，以覆蓋整個時間軸。以 τ 進行間隔取樣需滿足 Nyquist 取樣定理，既取樣頻率需大於或等於該尺度下頻率的二倍。每當 m 增加 1，尺度 a 既增加一倍，對應的頻帶減小一半，取樣率可以降低一半，也就是取樣間隔可以增大一倍。

若當尺度 $m = 0$ 時 τ 的間隔為 T_s ，則在尺度為 2^m 時，間隔則可取 $2^m T_s$ 。

此時 $\psi_{a,\tau}(t)$ 可表示為：

$$\frac{1}{\sqrt{2^m}} \psi\left(\frac{t - 2^m n \cdot T_s}{2^m}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \psi\left(\frac{t}{2^m} - n \cdot T_s\right) \xrightarrow{\text{取} \tau} \psi_{m,n}(t), m, n \in Z$$

將 t 軸歸於 T_s ，簡化為

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} \psi(2^{-m} t - n)$$

而任意函數 $f(t)$ 的離散小波函數轉換為

$$WT_f(m, n) = \int_{\mathbb{R}} f(t) \cdot \overline{\psi_{m,n}(t)} dt$$

● 離散小波轉換的逆轉換

若離散小波序列 $\{\psi_{j,k}\}_{j,k \in Z}$ 構成一個框架，其上、下界分別為 A 和 B，則當 A=B 時 (緊框架)，由框架概念可知離散小波轉換的逆轉換為

$$f(t) = \sum_{j,k} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \cdot \tilde{\psi}_{j,k}(t) = \frac{1}{A} \sum_{j,k} WT_f(j, k) \cdot \psi_{j,k}(t)$$

當 $A \neq B$ ，而 A, B 比較接近時，做一階逼近，可得

$$\tilde{\varphi}_{j,k}(t) = \frac{2}{A+B} \psi_{j,k}(t)$$

重建公近似為

$$f(t) = \sum_{j,k} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \cdot \tilde{\varphi}_{j,k}(t) = \frac{2}{A+B} \sum_{j,k} WT_f(j,k) \cdot \psi_{j,k}(t)$$

逼近誤差為 $\|R\| \cdot \|f\| \leq \frac{A-B}{A+B} \|f\|$

(I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelet, Capital City Press , 1992)



4.4. Daubechies 小波函數

Daubechies 小波[30]是由著名小波學者 Ingrid Daubechies 所創建。她發明的緊支集正交小波函數是小波領域的里程碑，使的小波的研究由理論轉到可行。Daubechies 小波函數不具有對稱性，但他是緊支集的正交小波函數，具有快速算法，也是目前應用最為廣泛的小波函數之一。也是本研究所使用的小波函數。

Daubechies 系列的小波簡稱為 dbN，其中 N 表示階數，db 是小波名稱的前綴，除 db1（等同於 Harr 小波函數）外，其餘的 db 系列小波函數都沒有解析的表達式。

db 小波函數雖然沒有解析型式的表達式，但是其雙尺度差分方程的係數 h_k 可以用很簡單的解析形式表達：

設 $P(y) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k^{N-1+k} y^k$ ，其中 C_k^{N-1+k} 是二項式係數，那麼 h_k 就可以用如下的形式表示：

$$|m_0(\omega)|^2 = (\cos^2(\frac{\omega}{2}))^N P(\sin^2(\frac{\omega}{2}))$$

其中

$$m_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{2N-1} h_k e^{-ik\omega}$$

Daubechies 所構成的緊支集正交小波（Daubechies 小波）不但是緊支集正交小波，而且是連續的。選擇 Daubechies 小波函數作為解析函數，因其具有正交性、有限承載、多分辨分析的尺度函數、良好的頻域及時域局部定位解析特性。雖然 Daubechies 小波是連續性的，但光滑性比較差。而隨者 N 的增大，尺度函數 φ 和小波函數 ψ 的光滑性也會越來越好。

● Daubechies 尺度函數和小波函數的構造

Daubechies 尺度函數的尺度係數的生成算法如下：

選取自然數 $N \geq 2$ ；

令

$$P_M(z) = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1+k}{k} z^{N-1+k} \left(-\frac{1}{4}z^2 + \frac{1}{2}z - \frac{1}{4} \right)^k \dots\dots\dots (4.-9)$$

求 $P_M(z)$ 的零點；

從 $P_M(z)$ 的零點中每 4 個復零點中取 2 個，每對實零點中取一個。設所選得的實零點 v_j 有 K 個，虛零點 z_j 有 J 個， $P_M(z)$ 的最高係數為 α_N ，則 $P_M(z)$ 可以寫成

$$P_N(z) = \left[\alpha_N \prod_{k=1}^K |v_k|^{-1} \prod_{j=1}^J z_j^{-2} \right]^{\frac{1}{2}} \times \left(\prod_{k=1}^K (z - v_k) \prod_{j=1}^J (z^2 - 2z \operatorname{Re} z_j + |z_j|^2) \right)$$

寫出 $H(\omega)$ 的表示式

$$H(\omega) = \left[\frac{1}{2} (1 + e^{-j\omega}) \right]^N P_N(e^{-j\omega}) = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{2N-1} h_N(n) e^{-jn\omega}$$

則 $h_N(n)$ 既為 Daubechies 尺度係數。

當 $N = 1$ 時，對應的 Harr 尺度函數和小波都不是連續的。

當 $N = 2$ 時，對應的 Daubechies 尺度函數和小波都雖然是連續的，但不是光滑的，既沒有連續的導函數。

當 $N = 3$ 時，對應的尺度函數和小波有連續的導函數。

隨著 N 的增大，Daubechies 小波的光滑性也增大，但會比較慢。一般說來，對於給定的 N ，對應的尺度函數和小波函數可求導的次數大約為 $N/3$ 。例如：尺度函數和小波函數要達到有 10 次導數，就要取 $N \approx 30$ 。圖 4-5 圖 4.4.-1 為 Daubechies 小波不同階的 mother waverlet 波形。

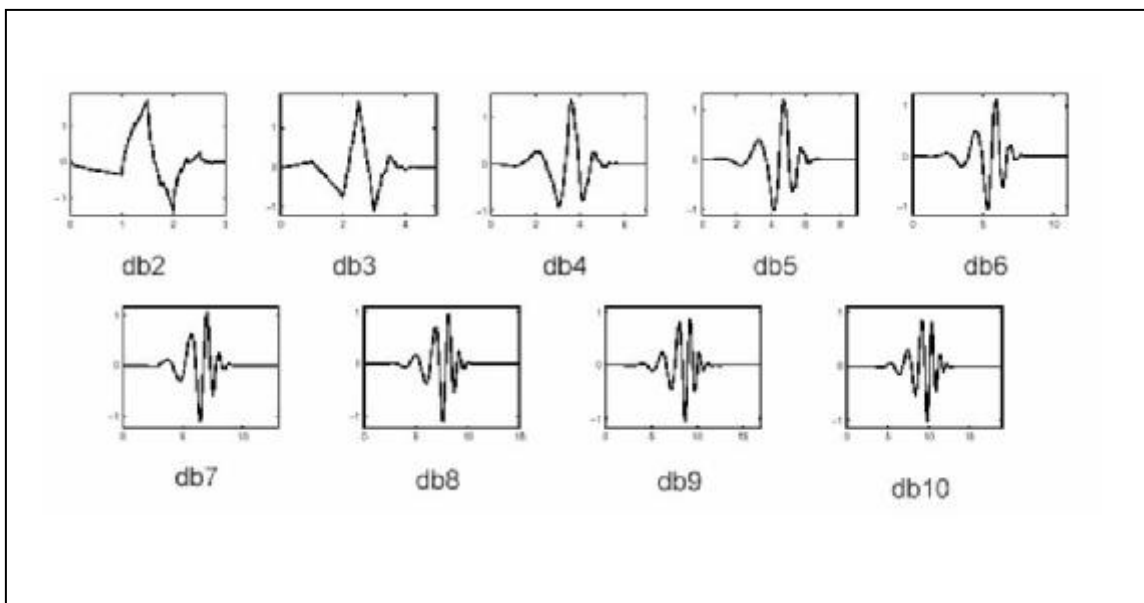


圖 4-5 Daubechies 小波不同階的 mother waverlet 波形
(I. Daubechies ,1988)

4.5. 小波轉換和濾波器組

Mallat 在小波轉換中引入多分辨分析理論，找出一種快速小波轉換 (Fast Wavelet Transform, FWT) 的方法，並把二進小波轉換與能夠完全重構 (Perfect reconstruction, FR) 的兩通道濾波器組 (Filter Banks) 緊密結合起來。濾波器 (組) 通用的符號表示如下：

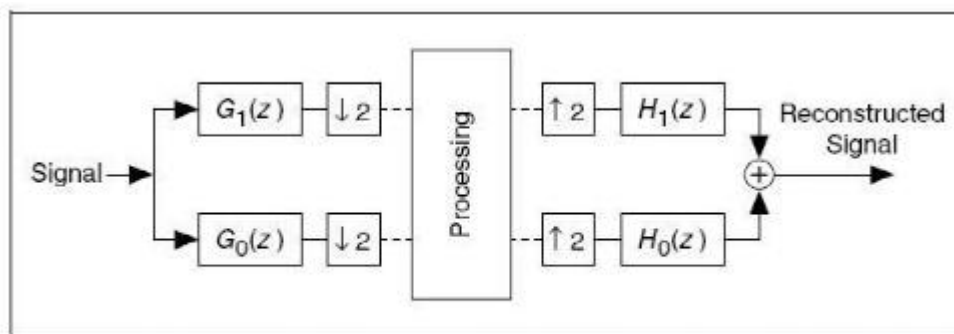
\boxed{G} : 為高通濾波器。
 \boxed{H} : 為低通濾波器。

$\boxed{G_1}$: the analysis **highpass** filter coefficients.
 $\boxed{G_0}$: the analysis **lowpass** filter coefficients.
 $\boxed{H_1}$: the analysis **highpass** filter coefficients.
 $\boxed{H_0}$: the analysis **lowpass** filter coefficients.
 $\boxed{\downarrow 2}$: 隔點採樣。
 $\boxed{\uparrow 2}$: 隔點插零。

兩通 (Two-channels) 道濾波器組可用圖示的形式表示，如圖 4-6 所示。信號 f 由濾波器 $\boxed{G_0}$ 和 $\boxed{G_1}$ 分解到兩個通道上，然後分別經過各點的採樣 (使

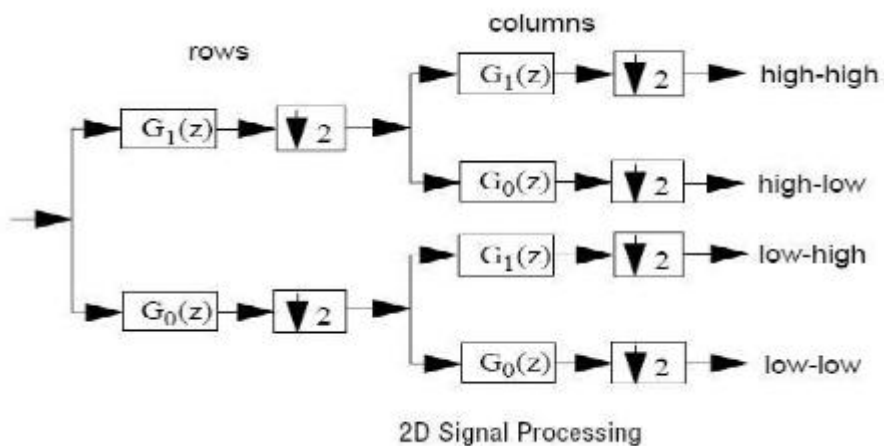
號 $\downarrow 2$ 表示)；分解後得到的信號經過各點插零 (使用符號 $\uparrow 2$ 表示)，再分別由兩個 H_0 和 H_1 濾波處理後再將兩個通道上的信號相加，既得到重構信號 \hat{f} 。此分解與重構的結構通常用於信號的分解、壓縮、降噪等處理。

影像的小波轉換過程亦同，因為影像是 2D 的資料所以需透過兩組 (兩次)、兩通道 (Two-channels) 濾波器組處理，一般是先經過列 (rows) 的濾波後再做行 (columns) 的濾波，其過程可用圖示的形式表示，如圖 4-7 所示。而處理圖像的階層數、結果與影像資料分布的表示法，如圖 4-8 所示。而小波轉換後的影像訊號分布與重構之後的影像，如圖 4-9 所示。



Two-Channel Perfect Reconstruction Filter Banks

圖 4-6 Two-Channel Perfect Reconstruction Filter Banks
(NI, LabVIEW SIGNAL PROCESSING)



2D Signal Processing

圖 4-7 2D Signal Processing
(NI, LabVIEW SIGNAL PROCESSING)

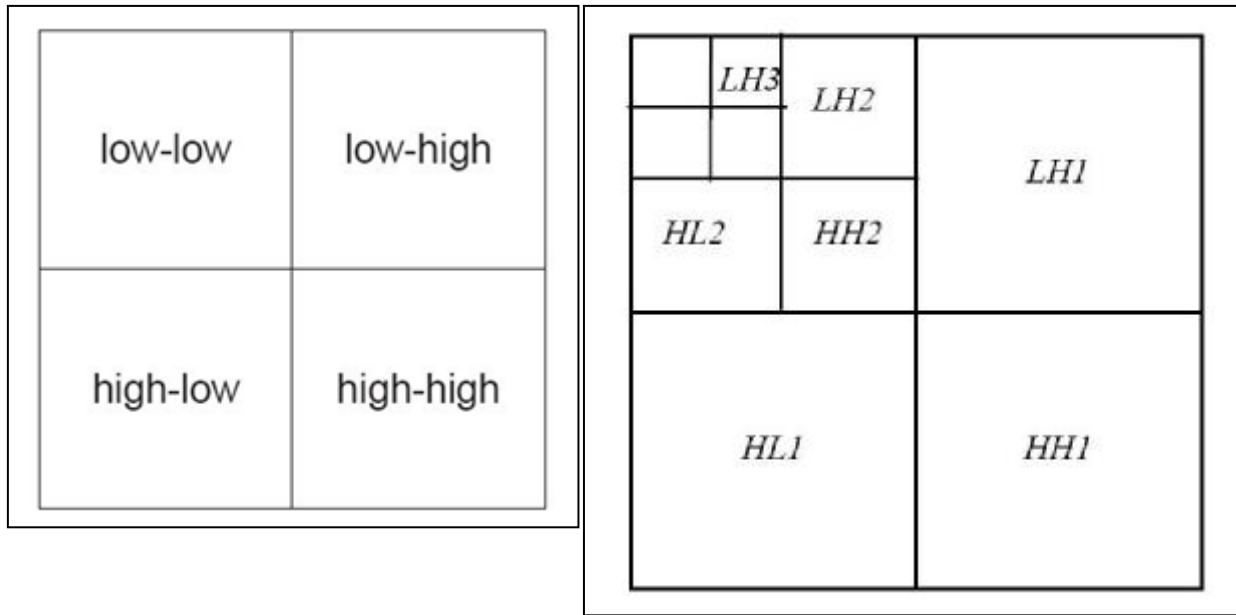


圖 4-8 左圖：為小波轉換出的訊號分布；右圖：為處理 3 階的影像資料分布 (NI, LabVIEW SIGNAL PROCESSING)

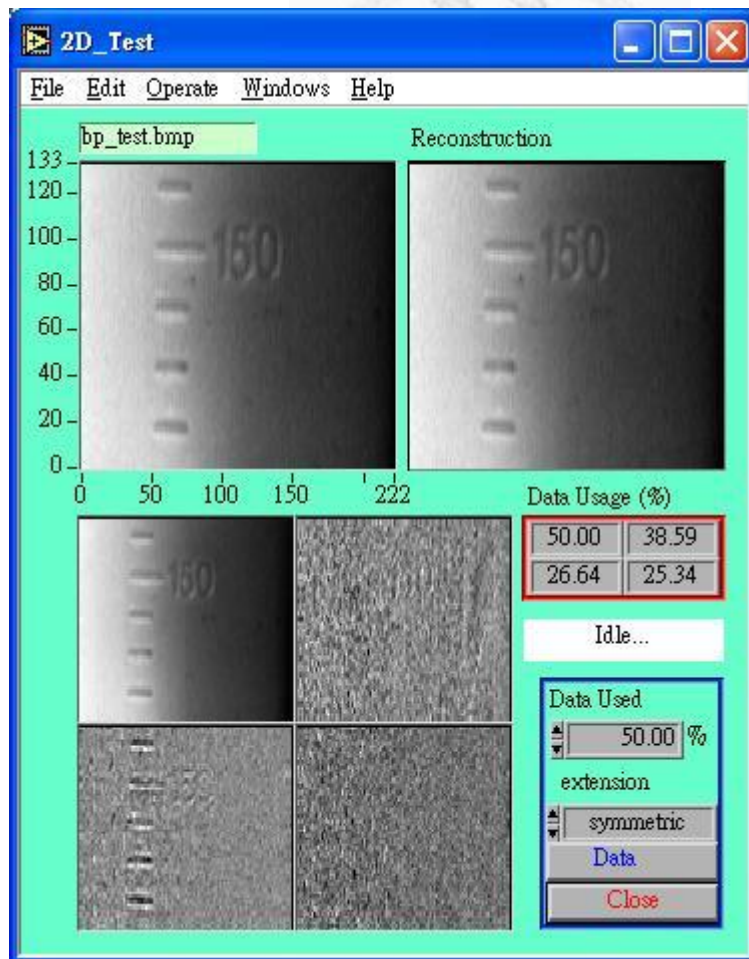


圖 4-9 小波轉換的影像訊號分布與重構之後的影像

第 5 章 研究方法

本研究的目的是以實際生產中可行的解決方案去設計，本研究以病患服用週期較短和使用量較大的液劑瓶為主要研究測試對象。在軟體方面的小波轉換演算外並需考慮將來直接移植到硬體的方便性。因此，影像處理流程中除小波轉換外並加入窗口函數的使用。待測物的外觀種類與解決方案分下幾章節說明。

5.1. 醫藥用罐分類與特徵

醫藥用罐是依醫療用藥的型態不同而分類，分類醫藥用罐可依醫療藥劑的型態不同而分類醫療藥劑主要分為固態與非固態(液態)兩大類，如表 5-1 所示。

表 5-1 醫療用藥的型態分類

固態	錠劑	藥丸 (pill / tablet)·膠囊 (capsule)
	粉劑	藥粉 (medicinal powder)
非固態(液態)	糖漿	糖漿 (syrupus)
	乳液	乳液 (emulsion)
	salve	藥膏 (ointment)

醫藥用罐分類與型態特徵

錠劑瓶：儲存固態的藥劑如藥錠、膠囊。特徵為藥瓶與藥蓋以螺牙旋緊密合為主，形狀、特徵如圖 5-1 所示。瓶口分為旋蓋式，螺旋牙紋。底部有旋斷式螺牙，如圖 5-2 所示。瓶身呈桶（圓柱）狀、瓶狀等，瓶身無液位刻劃。



圖 5-1 錠劑瓶的形狀與瓶口特徵

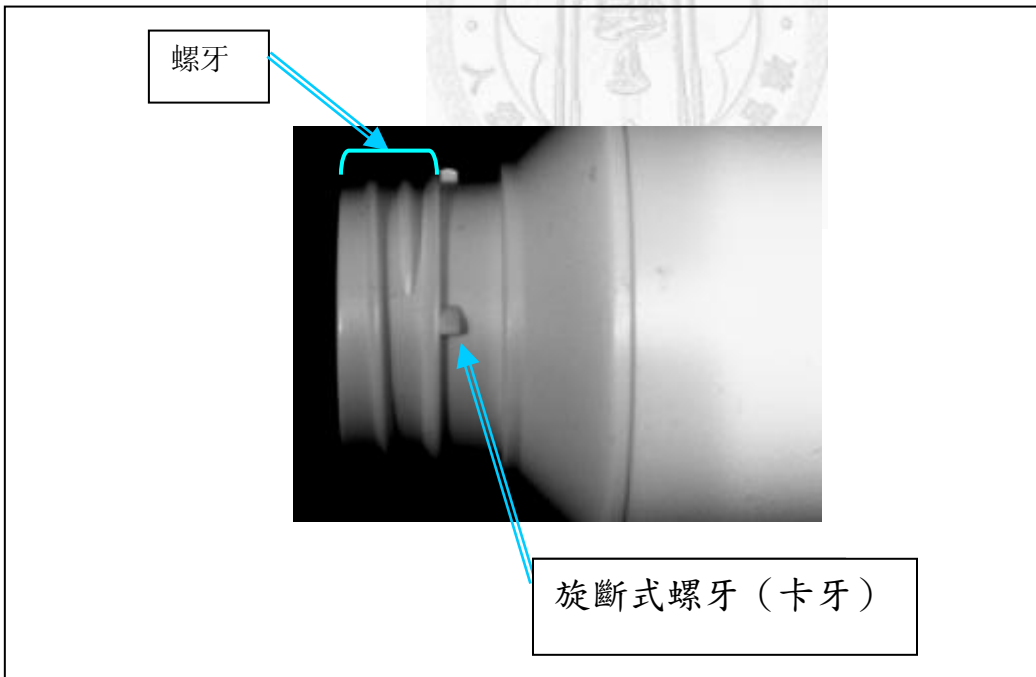


圖 5-2 錠劑瓶的旋蓋式瓶口特徵

液劑瓶：儲存液態的藥劑如液劑、乳液。特徵為藥瓶與藥蓋以紋環形牙紋壓扣密合為主，形狀、特徵如圖 5-3，所示。瓶口分為密蓋式，橫紋環形牙紋，如圖 5-4 所示。瓶身：瓶狀，膠囊狀等，瓶身有液位刻劃（用於量測使用劑量）。



圖 5-3 液劑瓶的形狀與瓶口特徵

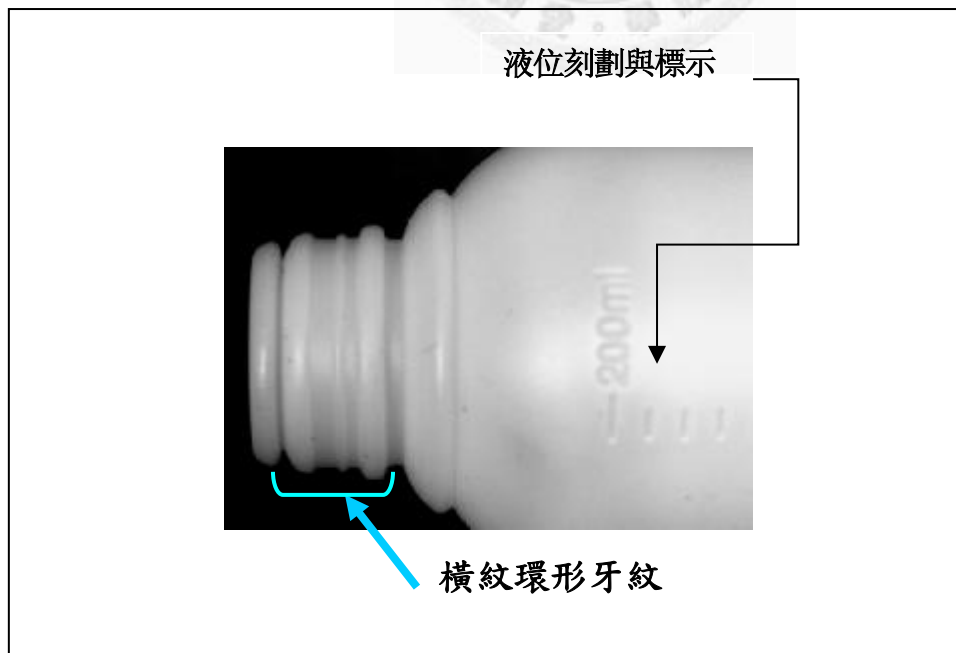


圖 5-4 液劑瓶的密蓋式瓶口特徵

藥罐瓶身表面影像特徵

藥罐瓶身表面霧面處理（噴沙），為製程中做排氣作用所做的處理。表面的粗糙度可由所擷取的 pixels 影像分佈來顯示出肉眼無法分辨的粗糙程度，如圖 5-5 所示。

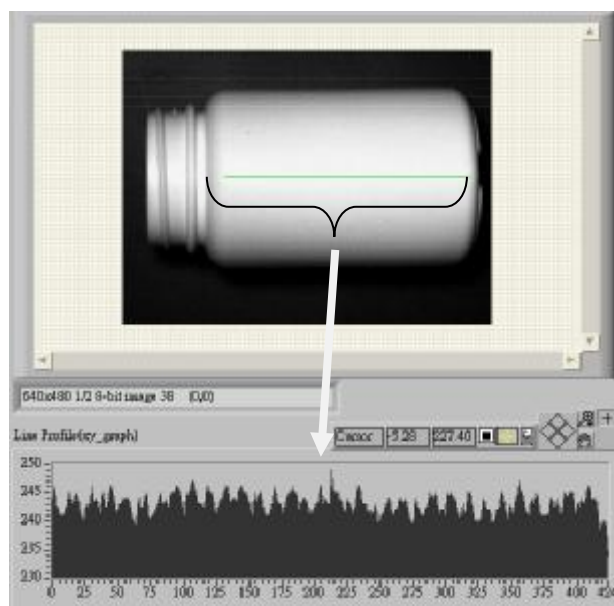


圖 5-5 瓶身 表面的粗糙度

表霧化處理形成的不平整以及影像擷取時物體表面各部因成型時冷卻收縮程度差異不同形成表面不同的收縮率（水平高低差）。造成影像數據呈高頻此種影像訊號與污點影像產生干擾。圖 5-6 分佈瓶身縱向取樣雖然是在同一水平高度，但因為取樣距離與光線反射的不同造成表面細微度的差異。此種影像訊號的差異會使不同區域的取像像素值和霧面的像素值無法使用一般的二值法進行分離。

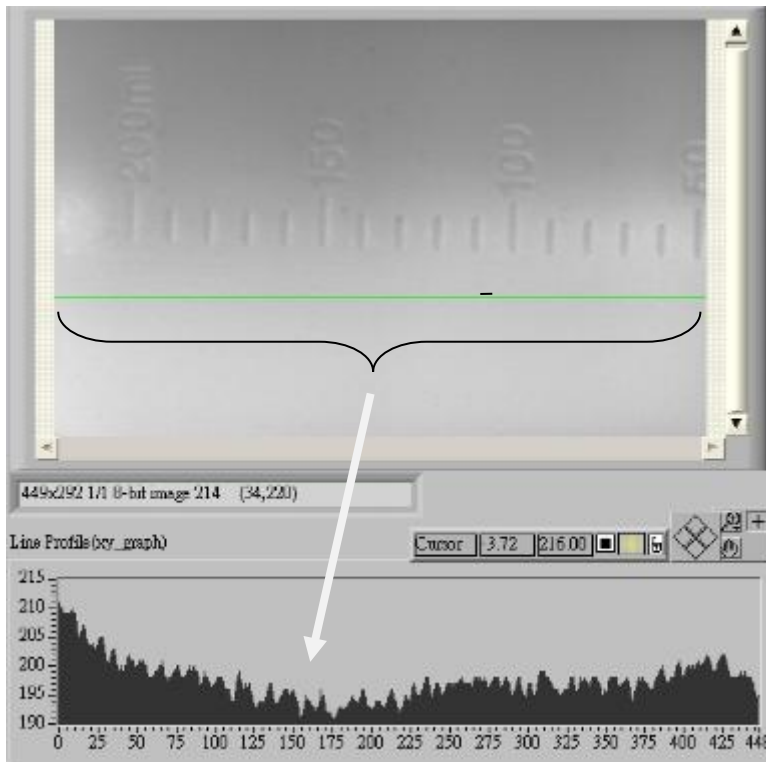


圖 5-6 瓶身不同區域取像像素值與霧面的像素值

缺點種類與檢測

本研究以瓶身表面的缺陷污損 (stain) 為主要檢測對象。污損種類有黑點、雜質 (異物)、油污..... 等, 附著或嵌入表面之異物。產生的原因為原料內含之異物、管路內壁長期累積之原料、管路射出口外圍表面的原料附著、高溫熱融切刀上沾附的碳化原料、機台油污。檢測標準為瓶身表面直徑大於 0.3mm 的污損 (stain)。

5.2. 影像處理與分析流程

本節將介紹本研究影像處理過程主要流程, 分前處理輸入與影像分析兩大部分。(1)前處理作影像擷取與分割(2)影像分析則作影像訊號的資料減量與處理, 其主要流程, 如圖 5-7 所示。

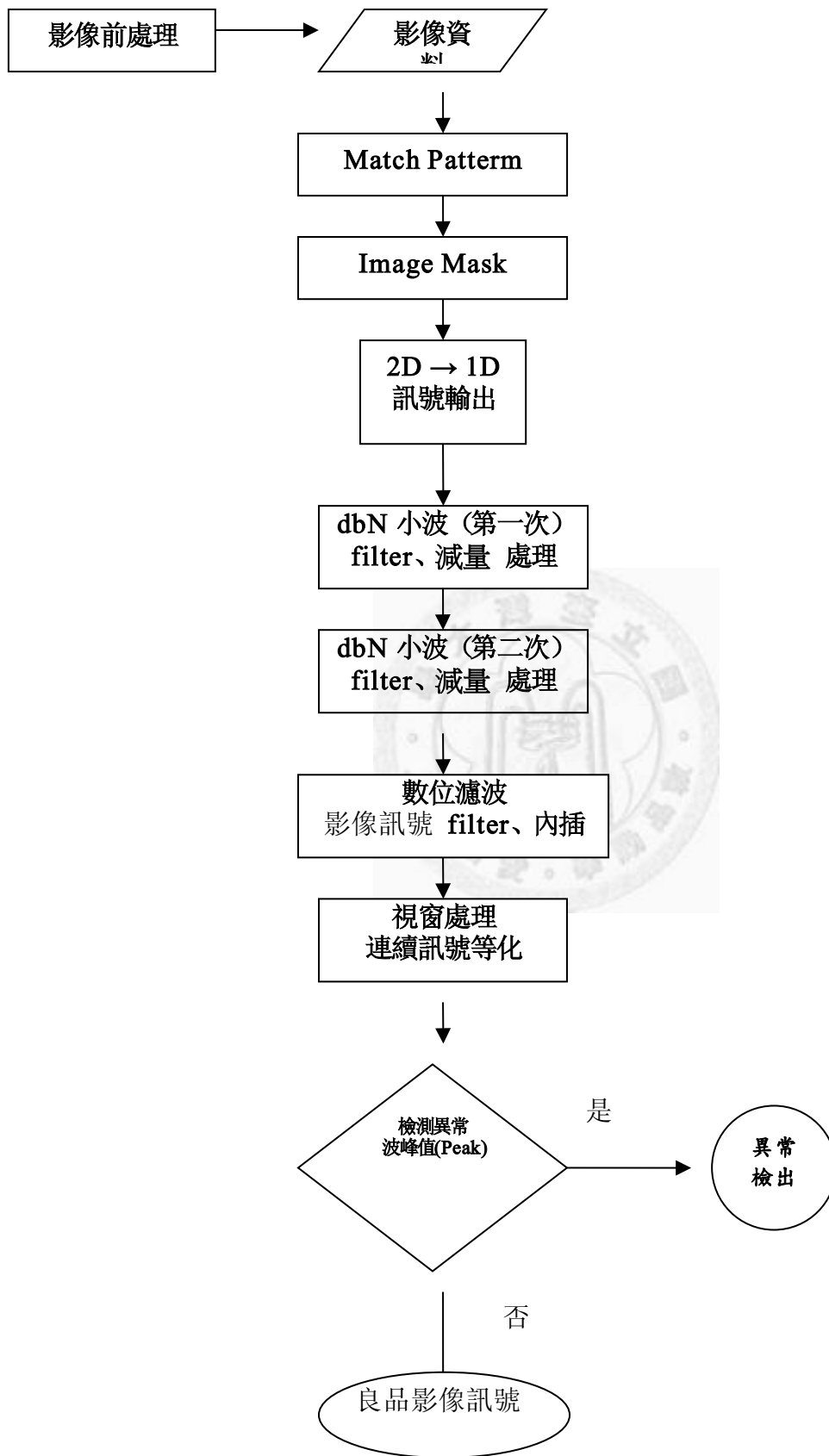


圖 5-7 影像擷取與分割流程

● 前處理

前處理的作用是将 CCD 所取得的影像擷取與分割尋找待測物的兩個邊緣，再由所偵測出的邊緣作出定位點再設定所需檢測的範圍，以此設定檢測的範圍大小做影像切割擷取要檢測分析的影像部分，CCD 的設定與影像的前處理，如圖 5-8 所示，程式如圖 5-9 所示。

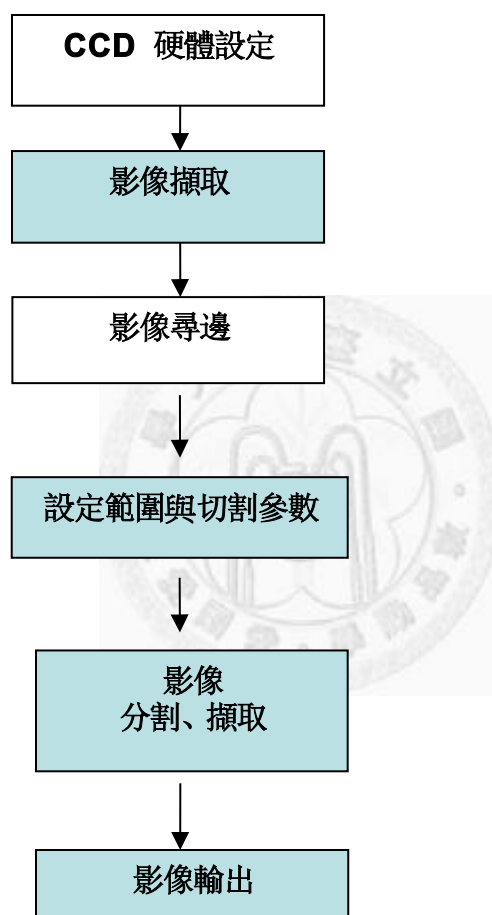


圖 5-8 影像擷取與分割

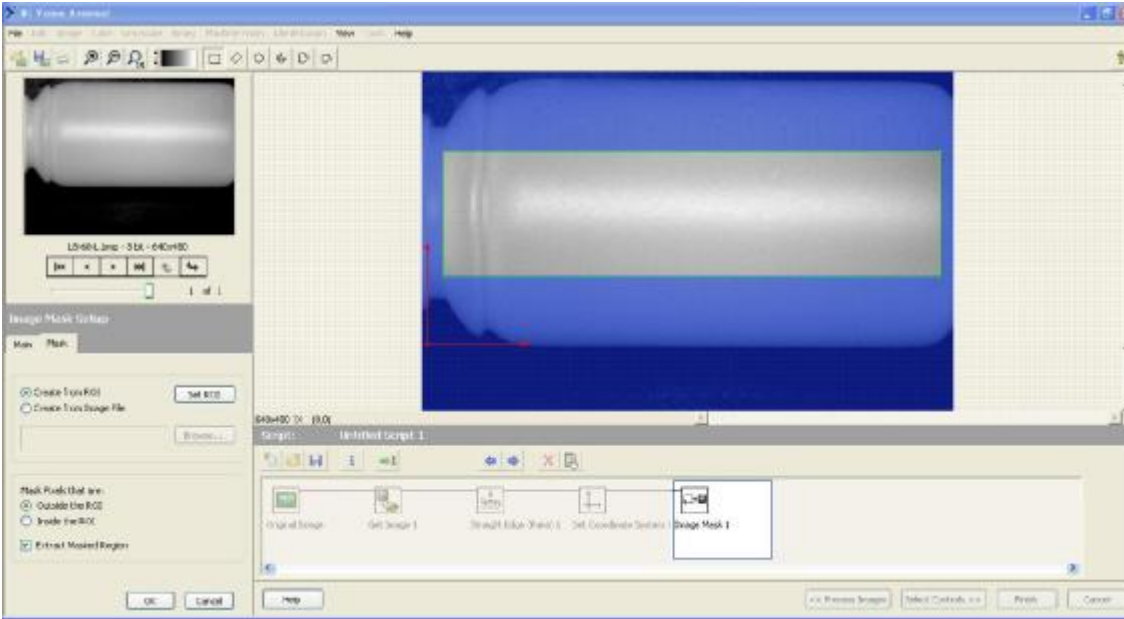


圖 5-9 影像擷取與分割-程式

● 特徵強化

本研究中使用小波轉換對影像特徵強化處理作用，其作用分為 (1) 雜訊濾除作濾除表面因霧化所造成的散射高頻雜訊部分，降低雜訊所造成偏差 (2) 降低影像數據量將影像數據減量到「肉眼」仍可辨識污點的程度與機械影像仍可分析的程度 (3) 強化特徵將污點範圍收斂集中與加強 Pixel 影像值。影像特徵強化處理過程，如圖 5-10 所示。

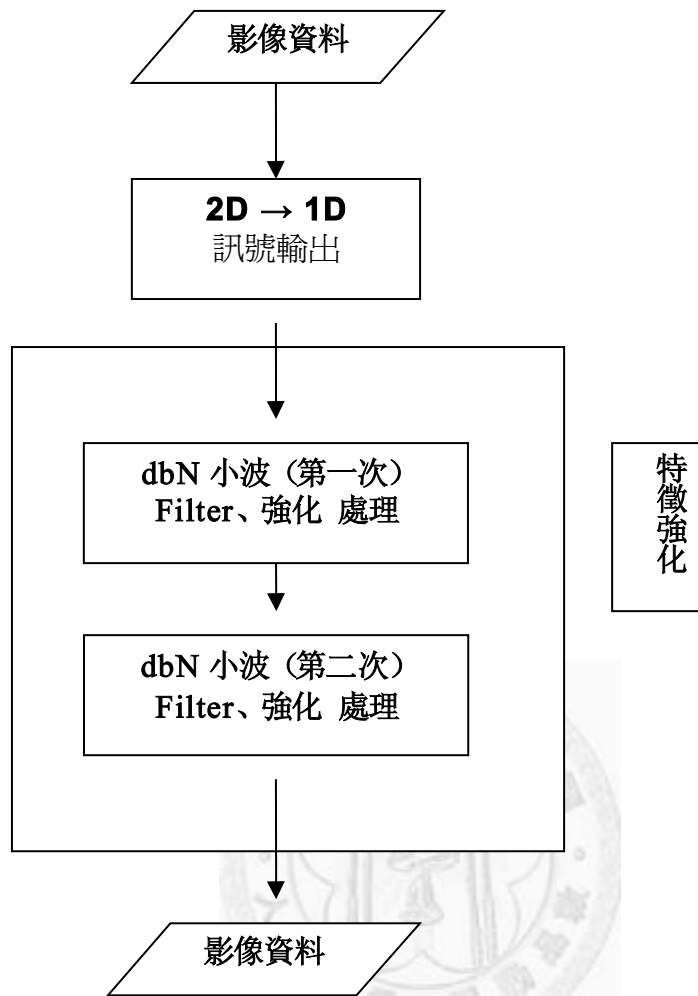


圖 5-10 特徵強化.

本研究中所檢測的污點 (stain) 因為檢側面為曲面的緣故，在灰階值上無法使用強化或隔離的方式來辨識。本研究採用另一方式，將污點 (stain) 當作一邊界 (Edge) 來處理。在影像處理中強化邊界最常用的簡便方式是使用高通的濾波器來強化邊界。但高通濾波可以加強高頻的部分，但卻連帶的將其他雜訊一起增強。因瓶身表面經過霧面處理在非污點的訊號區也因高頻濾波後被強化當成污點。

小波函數除了在多分辨率分析、信號擷取、數據壓縮外，另一個重要性質是小波函數具有在時、頻兩個域中突顯信號的局部特殊能力。因此本研究採用小波函數此一特性中將取樣後的圖像加強，如圖 5-11、圖 5-12 中所示，原始圖像經過小波函數濾波處理後再還原成原始圖像大小，可以明顯的看出影像較清晰污點部分亦已經被強化，而污點周圍的較次階灰階影像則被集中至污點中心部分。小波處理過濾與強化的圖像部分其過濾掉的雜頻部分圖像，，如圖 5-13 所示。

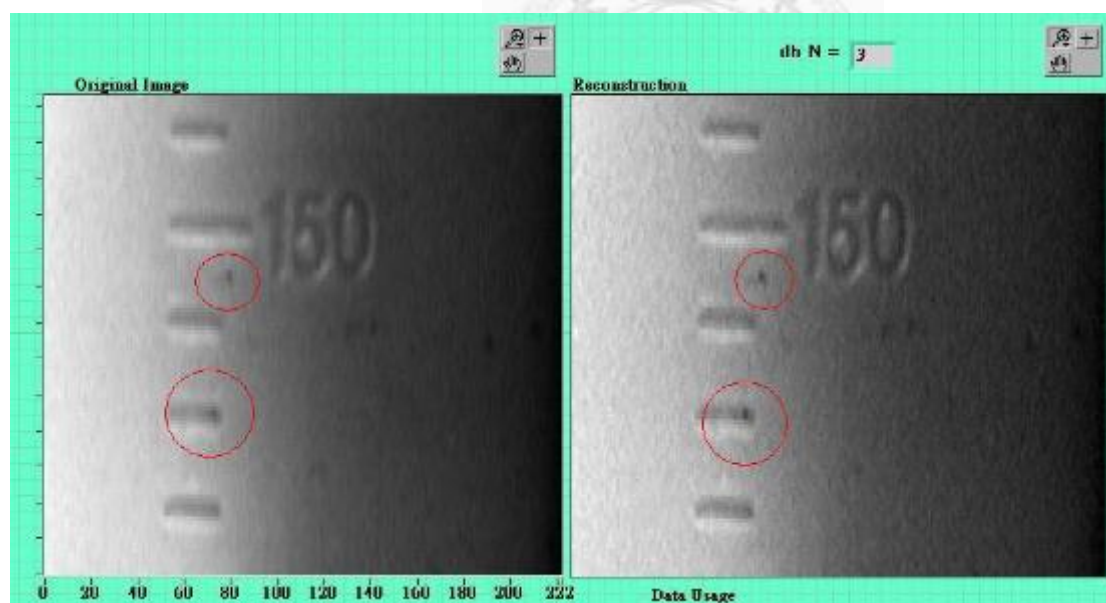


圖 5-11 db 3 濾波後污點部分強化

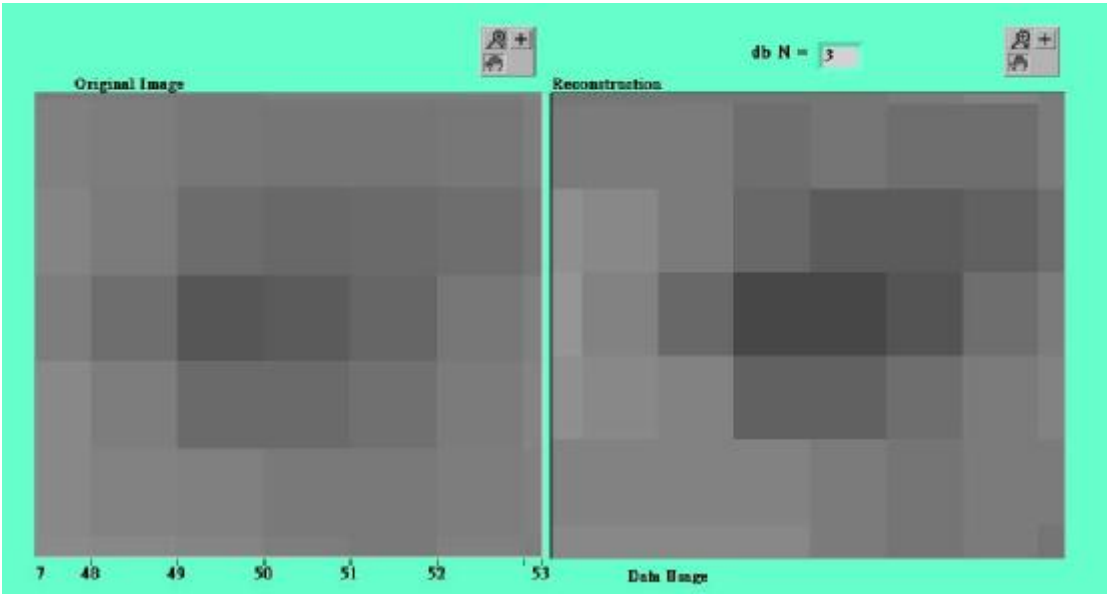


圖 5-12 db 3 濾波還原後污點部分強化（污點部分放大圖）

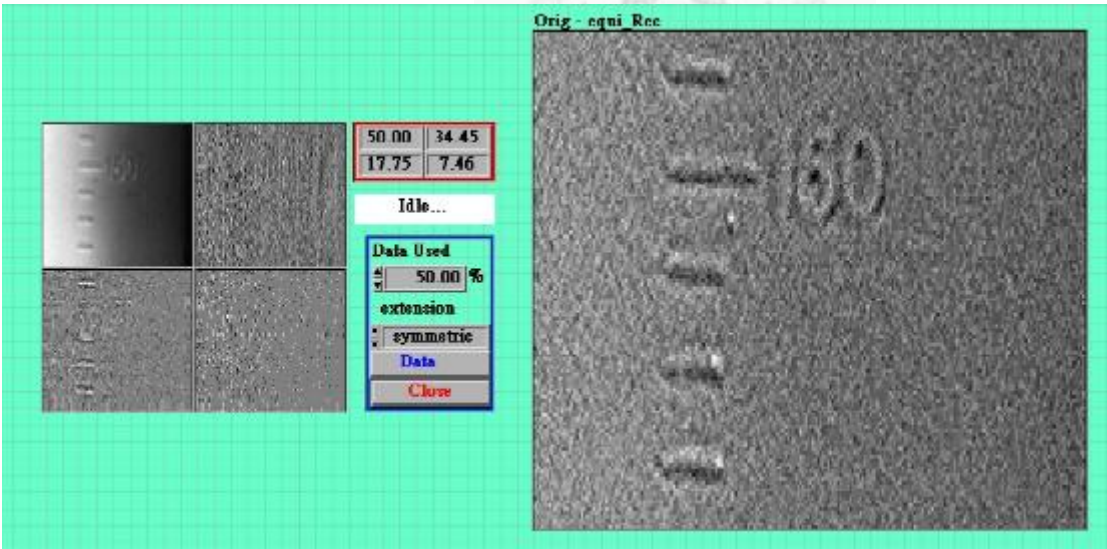


圖 5-13 db 3 濾波分離
LL、LH、HL、HH（左），過濾出雜頻部分圖像（右）

不同小波函數濾頻後還原圖像有加強特徵的現象，但當 P 值大到一定程度時所還原的圖像特徵值會有所偏移，而其他的非必要部分也有被放大，如圖 5-14 中當 db4 時非必要部分明顯的被放大。在不同階數所強化與濾出的雜頻也有所不同，如圖 5-15 中當 db3 時高頻部分已經開始分離出非雜訊訊號。

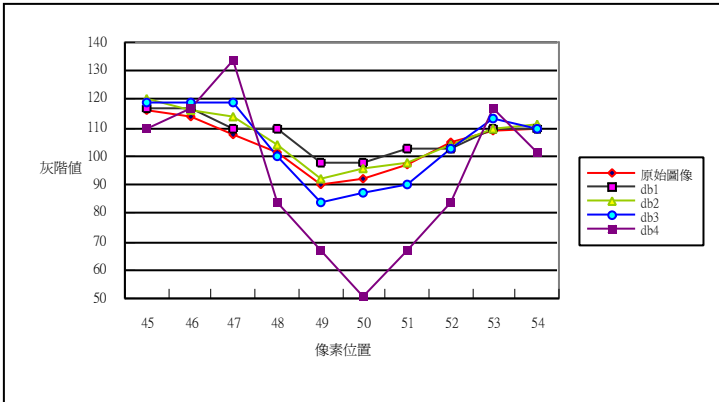


圖 5-14 污點在不同 dbN 下的變化
 污點中心位置 $i = 49$ ，邊緣 $i = 47, 53$ 。在不同的階數下的變化



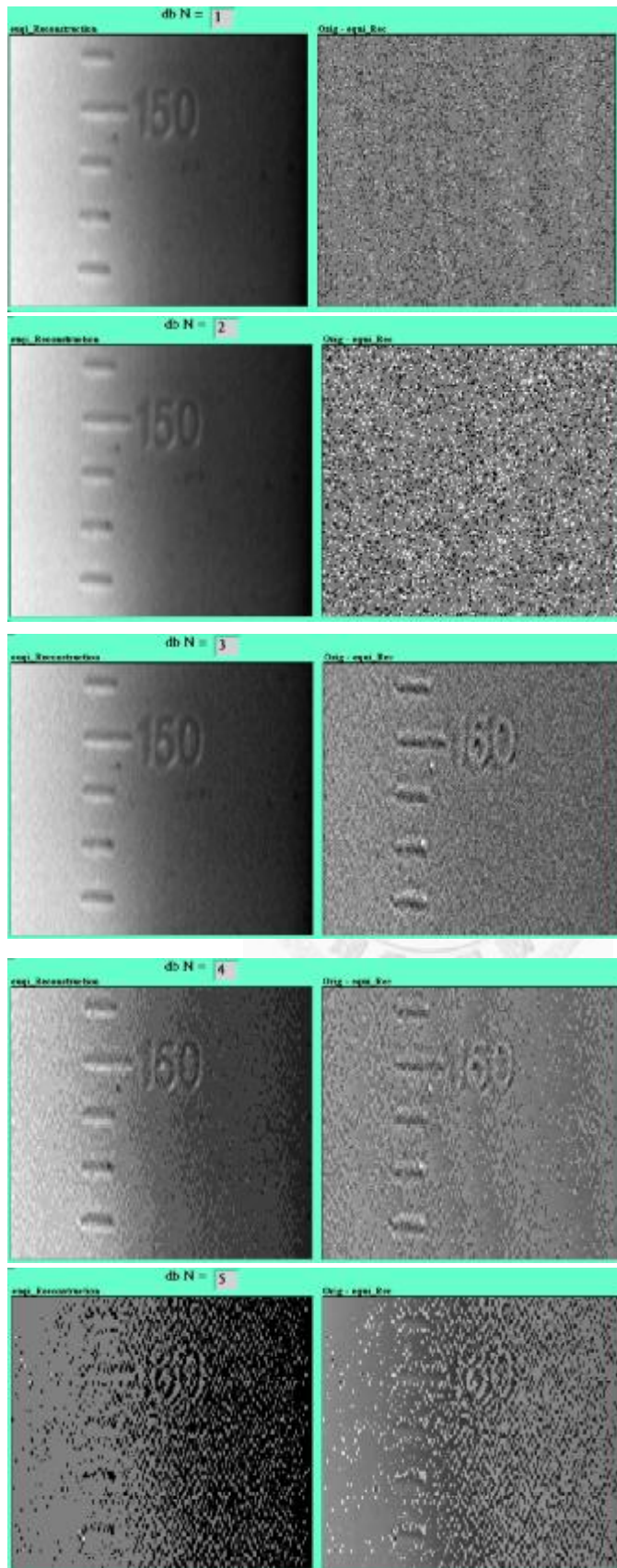


圖 5-15 db1 ~ db5
濾波還原 (左)，過濾出的雜頻的部分 (右)

小波影像經過兩次 db2 減量與濾波影像處理圖像訊號減量為原四分之一但圖像特徵與污損點仍保存下來，如圖 5-16 所示，程式碼如圖 5-17 所示。

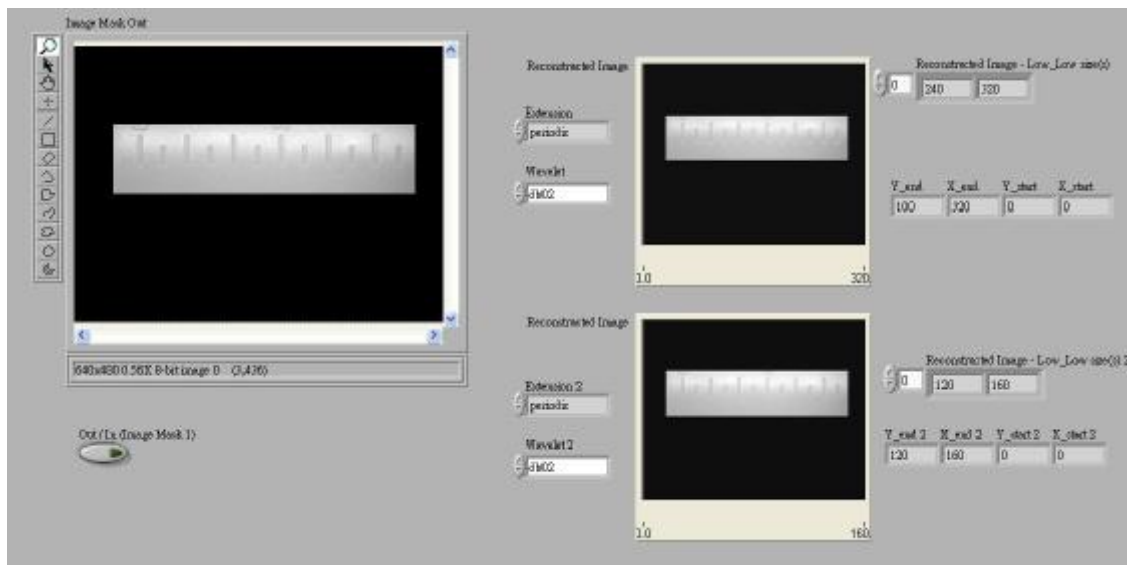


圖 5-16 兩次 db2 減量與濾波

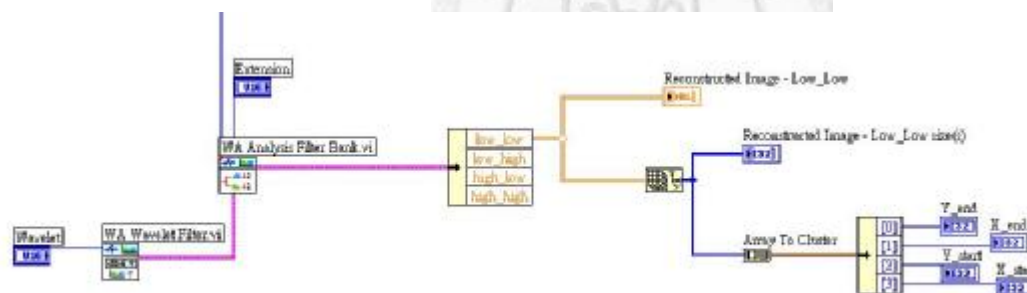


圖 5-17 db2 濾波程式

● 特徵分析

本研究中所檢測的污點 (stain) 為主要的特徵對象。在前一節特徵強化中所擷取的影像在特徵的強化同時定將影像訊號減量。其結果並無損壞所要分析的影像數據，一般需微細及快速分析的工業影像取樣，其視野範圍約在 48~64 mm 之間，為防止影像扭曲變形運作距離也保持在 200 mm 之內。景深部分不超出 5mm。取樣比較，如表 5-2 所示。

表 5-2 影像取樣比較

	一般工業尺寸取樣範圍	本研究取樣範圍
視野範圍	48 ~ 64 mm	100 ~ 130 mm
運作距離	200 mm 內	200 ~ 350 mm
景深	5 mm 內	100 mm 內

但推算出的解析度值在 CCD 的實際作用所擷取的訊號，實際所擷取到的影像與解析度理論上影像應該是十分模糊根據 CCD 放大倍率 (Primary Magnification, PMAG) 計算，參考附錄 H。

所擷取的影像範圍和 CCD 的解析度在本研究中未處理前的可處理影像數據如下：

規格：

$$\text{CCD size} : \frac{1}{2}'' = 6.4 \text{ mm}$$

瓶身：120 mm (FOV：120~130 mm)

污點 (stain)：0.3 mm

量測值：

$$PMAG = \frac{6.4 \text{ mm}}{120 \text{ mm}} = 0.053 \quad PMAG = \frac{6.4 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} = 0.04923$$

$$\begin{aligned} \text{Horizontal Camera Res. } (\mu m) &= \frac{\text{Horiz. TV line} \times 1.333}{2 \times \text{Sensor Size (Horiz.)}} = 570 \times \frac{1.333}{2 \times 6.4 \text{ mm}} \\ &= 59.375 \text{ lp/mm which converts to } = 16.8 \mu m \end{aligned}$$

$$\text{System Resolution } (\mu m) = \frac{\text{Camera Res. } (\mu m)}{PMAG} = \frac{16.8}{0.0533} = 315 (\mu m)$$

$$\text{System Resolution } (\mu m) = \frac{\text{Camera Res. } (\mu m)}{PMAG} = \frac{16.8}{0.04923} = 341.25 (\mu m)$$

精密度 (誤差)：

$$\begin{aligned} \text{Measurement Accuracy } (\mu m) &= \frac{\text{Pixel Error} \times FOV (\text{horiz. mm}) \times 1000}{\text{Pixel in Image}} \\ &= \frac{3 \times 120 \times 1000}{640} = 562.5 (\mu m) \end{aligned}$$

但推算出的解析度值在 CCD 的實作用和擷取訊號後進行特徵強化，在特徵強化與影像減量後污損點影像訊號並未被削弱反經過小波轉換的運算而加強。在雜訊方面也經過小波濾波處理而分離。因此，進行特徵分析在效能和速度上更能提高其分辨率。污損檢測流程如圖 5-18 所示。

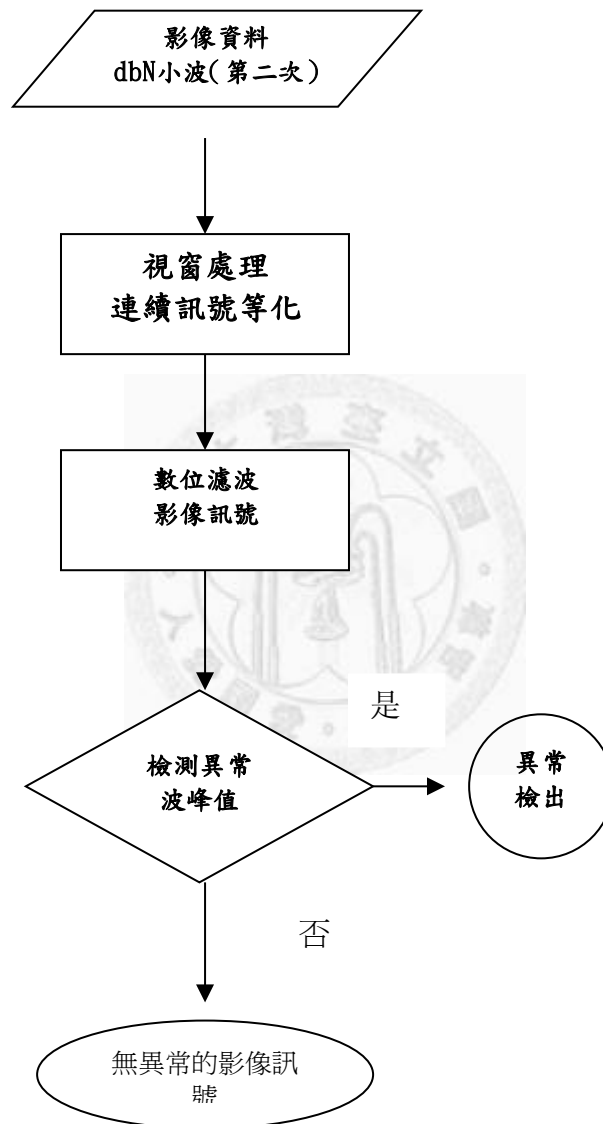


圖 5-18 檢測污損流程

本研究針對特徵值分析採用 1D 小波轉換分析，卻不採用 2D 小波轉換分析。其理由為小波分析在一維線性的奇異點分析有著良好的經驗與特性，經過特徵強化的影像訊號有著更加平滑的影像訊號如圖 5-19 所示，因此針對本研究的表面污損檢測 1D 小波轉換分析在應用和效率上比 2D 小波轉換分析更為合適。

小波函數對濾波處理的數據在邊緣處會依不同的參數與小波類型「內插」一適當的數據進去一般值為零。若考慮軟體未來的直接移植性在以 1D 小波轉換分析中便會有 1D 的影像訊號邊緣接續問題。此邊緣訊號並非本研究所要檢測的異常值，因此本研究導入窗口函數的使用，來平滑影像訊號邊緣接續問題。

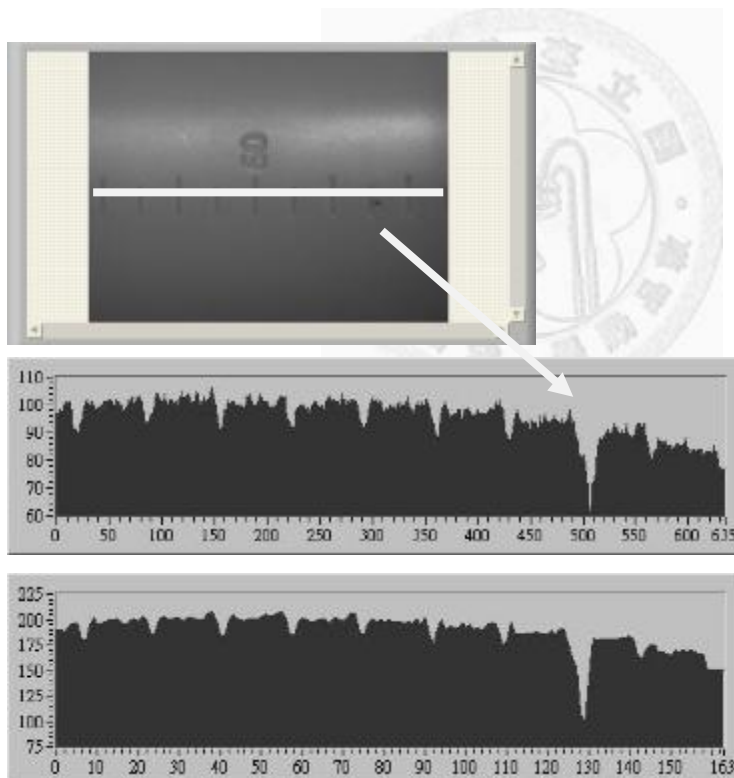


圖 5-19 小波濾波去雜訊後的 1D 訊號比較

在所擷取的影像數據污點的特徵值呈現在波谷 (valleys)，刻劃處邊緣經過小波處理後會有呈現部份波峰 (peak) 的正值，其旁邊刻劃底部的波谷 (valleys) 數據會因此有一相對的極小值 (負值)。如圖 5-19 所示。將數位濾波、小波處理後的數據擷取出來，將刻劃底部的波谷 (valleys) 設定為門檻值 (threshold: rejects valleys that are too small.) 將所擷取分離出污點的波谷值 (valleys) 進行判別動作。程式如圖 5-20 所示。實際模擬檢測以影像圖樣 20 張中污損點於不同的部位有 5 張該樣品為線上現有影像檢測系統通過無法檢測出的異常瓶罐如圖 5-21 所示，測試結果可明確檢驗出證明本研究方式為依實際可行方案。

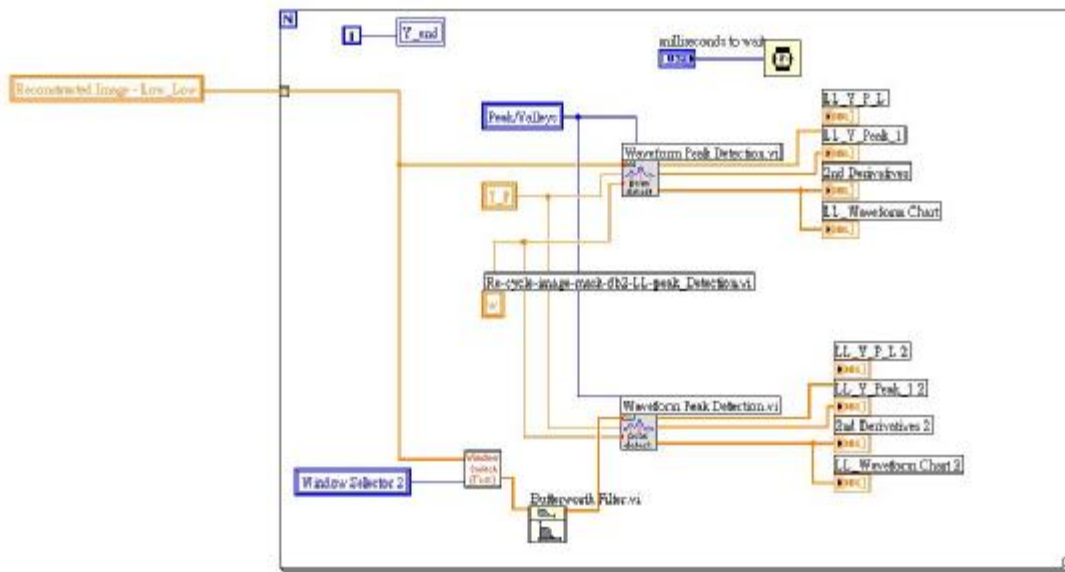


圖 5-20 小波奇異點程式

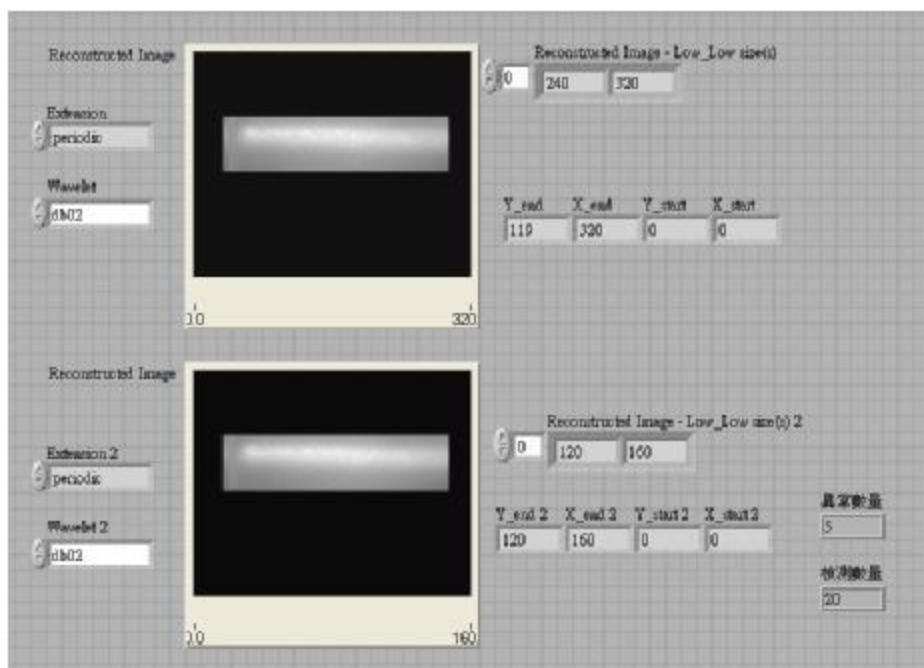


圖 5-21 模擬檢測

● 結果比較

由生產線上影像檢測系統 (Banner P4GEO) 線上檢測後所流出經客戶反應所退回的異常不良品。影像檢測系統 Banner P4GEO 調整檢測參數後異常不良品再放回檢驗與本研究小波轉換以不同的位置比較結果如表 5-3 所示。

表 5-3 測試結果比較 (一)

	異常品	正常品	總檢驗數量	異常檢出數量	異常未檢出數量	未檢出異常品編號
小波轉換	5	15	20	5	0	
Banner P4GEO	5	15	20	2	3	#1、#4

將表 5-2 未檢出的異常不良品放回影像檢測系統 Banner P4GE0 再調整檢測參數後再放入異常不良品檢驗並與本研究小波轉換做比較結果如表 5-4 所示。異常檢出量雖然相同但所檢測出的卻是不同的品異常不良品。

表 5-4 測試結果比較 (二)

	異常品	正常品	總檢驗數量	異常檢出數量	異常未檢出數量	未檢出異常品編號
小波轉換	5	15	20	5	0	
Banner P4GE0	5	15	20	2	3	#2、#3

結果顯示在現有的影像檢測系統檢測方式如圖 5-22 所示在調整灰階閾值時相對的會影響到其他原有檢測樣本的閾值檢測參數導致檢測結果變異。但本研究所使用的小波檢測方式卻能檢驗出異常不良品。



圖 5-22 Banner P4GE0 影像檢測設定

第 6 章 結論與未來研究建議

6.1. 結論

本研究使用小波轉換在影像訊號處理上的特性和分析能力在影像檢測技術設計與構建一能實際應用的影像訊號處理架構方式。本研究並利用此小波影像處理架構延伸至非平面上的檢測應用。結果顯示在此方式下，此影像影像檢測技術能順利且如預期的展現。

本研究使用小波轉換影像處理應用於醫藥用罐（曲面）上的污損（stain）檢測。研究主要的內容為將小波轉換的特性做混合應用，其結果小波轉換在影像訊號在不失真和資訊減量下有著顯著的效果。小波轉換在影像信號奇異點檢測在本研究的應用中亦有確切的成效。比較實際和模擬的效果，本研究能對線上現有影像檢測系統通過無法檢測出的異常瓶罐檢出比較現有的樣版（Pattern）、二值化閾值（Threshold）等檢測方式。此技術應用在平面與固定形體的影像處理上有一定的成效。



6.2. 未來研究建議

本研究所使用的小波轉換影像檢測技術在非平面（曲面）上污損（stain）的檢測符合本研究對此污損做檢測篩選的結果。運用小波轉換不同的特性搭配應用在不同情況下的影像檢測，後續的研究可以朝下列幾個方向進行：

- **實作應用處理系統開發**

本研究以業界應用的 LabVIEW 為基礎提供工程師在直接應用環境下的操作工具。並在軟體和硬體（韌體）的轉換中已先加入多種的視窗函數功能，減少在硬體中處理訊號接續端非線性的問題。

- **影像系統的參考模型**

透過本研究設計的小波轉換影像檢測技術參考模型，提供工程師處在不完整的影像資訊機制時，如不同曲度表面和取樣面積也能有一個有系統評估的參考模式。

- **影像系統的發展運用**

針對相關的影像檢測技術在其他非平面、較複雜的曲面甚至不規則表面的檢測仍有一定程度的困難度。提供小波函數不同的應用方式和分析方法，再利用所得的資料提供高度的建構參考價值。

參考文獻

- [1] 林佳芬，(2004)，「CCD 影像儀光學系統測試之效能分析」，國立成功大學物理學系碩士論文，台南市。
- [2] 陳彥甫，(2001)，「影像控制微致動二維光學對正系統之設計開發與特性研究」，國立臺灣大學化學工程學研究所碩士論文，台北市。
- [3] 黃永杰，(2000)，「表面科學實驗室之實驗自動控制與影像處理分析」，國立成功大學物理學系碩士論文，台南市。
- [4] 劉宜德，(2000)，「軟性電路板自動化視覺導引鑽孔系統之研發」，國立中山大學電機工程學系研究所碩士論文，高雄市。
- [5] 李啟銘，(2000)，「影像處理卡之設計與製作及其在即時影像追蹤控制之應用」，國立交通大學電機與控制工程學系碩士論文，新竹市。
- [6] 潘敏治，丁鏞，張義鋒，章明，康淵，(1998)，「影像處理技術於晶元取放機之應用研究」 中華民國工程學會第 15 屆全國學術研討會，台南市，pp. 185-192.
- [7] M. A. Sutton, M. Cheng, W. H. Peter, Y. J. Chao and S. R. Mchneill (1986), "Application of an optimized digital correlation method to planar deformation analysis", Image and Vision Computing, Vol. 4, No. 3, Page(s). 143-150.
- [8] M. Moganti, F. C. Ercal, H. Dagli, S. Tsunekawa (1996), "Automatic PCB inspection algorithms: a survey", Computer Vision and Image understanding, Vol. 63, No.2, Page(s):287-313
- [9] 「Image Acquisition and Processing with LabVIEW」。
- [10] 「LabVIEW SIGNAL PROCESSING」, Mahesh L. Chungani, Abhay R. Samant, Michael Cerna。
- [11] I. Daubechies (1988), Orthonormal bases of compactly supported wavelets, Comm. Pure & Appl. Math. 41, 909~996
- [12] S. Mallat, wavelet for vision, Proc. IEEE, 1996. 84(4), 605~614
- [13] S. Mallat, Zero-crossing of a wavelet transforms IEEE trans. IT, 1991. 37(4) : 1019~1033
- [14] S. Mallat (1989), A wavelet theory of multiresolution signal decomposition: The wavelet transform, IEEE Trans. , PAMI-11(7), 674~693.

- [15]N. Asada, H. Fujiwara, and T. Matsuyama, 1998, "Edge and Depth from Focus" International J. of Computer Vision, vol. 26, 1998, pp. 153-163.
- [16]T. Sentenac, J.-J. Orteu, Y.L. Maoult, M. Devy, and G. Boucourt, 2001, "Load movement measurement using a near-infrared CCD camera for aircraft cargo surveillance," Emerging Technologies and Factory Automation, 2001. Proceedings. 2001 8th IEEE International Conference on, pp.23-30 vol.1, 2001.
- [17]X. Wang, Getald G.L. Seet, Micheal W.S. Lau, E. Low, and K.C Tan, 2000, " Exploiting force feedback in pilot training and control of an underwater robotics vehicle: an implementation in LabVIEW, 2000, " OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, pp.2037-2042 vol.3, 2000.
- [18]Ito, K., Ohara, M., Takahashi, Y., et al., (1998), " Development of unmanned autonomous vehicle control system based on 1D image sensor," International Congress & Exposition, Detroit, Michigan, SAE technical paper series 980611.
- [19]Kosecka, J., Blasi, R., Taylor, C.J., Malik, J., (1997), "Vision-based lateral control of vehicles," IEEE conference on Intelligent Transportation System, (1997), pp.900-905.
- [20]Betke, M., Haritaoglu, E., Davis, L.S., (2000), "Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle," Machine Vision and Applications , Vol.12, 2000, pp.69-83
- [21]Kakinami, T., Sato, J., Saiki, M. and Soshi, K.,(1995), "Autonomous Vehicle Control System Using an Image Processing Sensor," International Congress & Exposition. Detroit, Michigan, SAE technical paper series 950470..
- [22]Rajagopalan, A.N.; Chellappa, R.,(2000), "Vehicle detection and tracking in video," IEEE International Conference on Image processing, Vol.1, 2000, pp. 351-354.
- [23]Huang, R.-F., J.-T. Xi, et al. (2004). "Design and implement of an automatic camera automatic calibration method." Journal of Test and Measurement Technology 18(2): 122-127.
- [24]Thai, C. N. and B. L. Upchurch (2004). "Tele-experimentation for machine vision course using net meeting and LabVIEW software." Computers in Education Journal 14(1): 2-11.
- [25]Wei, C.-H. and C.-H. Wu (2004). A simulator of winding machine

controller using lab view environment, Kunming, China, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, NY 10016-5997, United States.



附錄

A. 常見的小波函數及其代表符號

代表符號	小波函數名稱
mor1	Mor1 小波函數
mexh	墨西哥草帽
meyr	Meyr 小波函數
harr	Harr 小波函數
dbN	Daubechies 小波函數
symN	Symlets 小波函數
coifN	Coiflets 小波函數
biorNr, Nd	雙正交小波函數
rbiorNr, Nd	逆雙正交小波函數
gaus	高斯小波函數
dmey	離散的近似 Meyer 小波函數
cgau	複數高斯小波函數
cmor	複數 Morlet 小波函數
fbsp	頻域 β 小波函數
shan	Shannon 小波函數

B. 常見的小波函數及其特性

小波	morl	mexh	meyr	harr	dbN	symN	coifN	bioNr. Nd	shan	gaus	dmey	cgau	cmor	fbsp	rbioNr. Nd
特性															
無限光滑	是	是	是						是	是		是	是	是	
緊支正交				是	是	是	是								
緊支雙正交								是							是
對稱	是	是	是	是				是	是	是	是	是	是	是	是
不對稱					是										
接近對稱						是	是								
任意階消失矩					是	是	是	是							是
φ 具有消失矩							是								
任意規則					是	是	是	是							是
φ 存在			是	是	是	是	是	是							是
正交分析			是	是	是	是	是	是							
雙正交分析			是	是	是	是	是	是							是
準確重構			是	是	是	是	是	是							是
FIR 濾波器				是	是	是	是	是							是
連續轉換	可	可	可	可	可	可	可	可	可						可
離散轉換			可	可	可	可	可	可							可
快速算法											近似	是	是		
顯示表示式	有	有	有		有	有	有	有	有		有	有			有

C. 採樣 (Sampling) 及濾波器 (Filter) :

在工程應用中，連續訊號（或是模擬訊號）的離散化是由模數轉換器 (Analog-to-Digital Converter, ADC) 來進行。進行間隔取樣需滿足 Nyquist 取樣定理，既取樣頻率需大於或等於該尺度下頻率的二倍。

$$F_M : \text{Nyquist 取樣數}, F_M = \frac{f_s}{2}。$$

Mallat 在小波轉換中引入多分辨率理論，找到一種快速的小波轉換 (Fast Wavelet Transform, FWT) 的方法，並將二進制小波能夠完全重構 (Perfect reconstruction, PR) 與兩通道濾波器組 (Filter Banks) 的完整的結合。

1. 隔點取樣 (Down sampling of keeping one sample out of two):
降低取樣頻率的一種方法，其作法是在信號樣本點中隔一個點選取一個點。做一次隔點取樣，信號取樣頻率就減少一半，數據量自然也減少一半。
若是以 $\boxed{\downarrow 2}$ 符號表示隔點取樣運算，則稱之為隔點取樣器。
2. 隔點補零 (Up sampling of putting one zero between each sample):
就是在離散時間信號的每兩個取樣點之間補插入一個零值。
若是以 $\boxed{\uparrow 2}$ 符號表示隔點補零運算，則稱之為隔點補零器。

在影像還原過程使用「隔點插零」(Zero-Padding) 隔點補零運算，則此一方式在補入為「0」時其所表示的灰階值會產生的黑點雜訊。影像處理方面可使用「對稱補插」(Symmetric) 方式，即在補入的數值不為「0」，所填入而是與前一鄰近位置相同的數值，則此一方式可減少因補入為「0」時所產生的黑點雜訊。

D. 影像和圖形的檔案格式：

1. BMP：Bitmap(點陣圖)，一種最常用的非破壞性圖檔格式。也是 PC 個人電腦中為最常用的檔案格式。Microsoft 內的標準的點陣圖檔格式，24 bits，全彩。亦可設定為 8 bit 灰階格式。
2. JPG：在 MAC 稱為 JPEG，是由 Joint Photographic Experts Group 所發展，是一個工業標準的檔案壓縮格式，是在 WWW 網頁上最受歡迎的檔案格式，如照片所用的壓縮格式。JPG 可提供 100：1 的壓縮比，因被當作國際標準。不過 JPEG 在壓縮時會損失一些原始的資料，在壓縮超過 25：1 時，影像的尖銳度就會受到影響，在儲存 JPG 檔時，在 Image Quality 處可以設定檔案壓縮品質，品質設定越高，檔案會越大，而檔案的大小比約為：Low：Medium：High：Maximum=1：1.4：2.8：5.2。儲存 JPEG 檔後，再開啟時，檔案會自動解壓縮。JPEG 無法像 GIF 檔案可作交錯(Interlaced)的呈現。
3. TIFF：Tagged Image File Format 是一用以說明標準點矩陣資料的檔案格式，色別是掃描檔案最常使用，此一靈活的標準可以記存黑白、灰階和彩色影像，並為多種應用程式所使用。
4. GIF：Graphic Interchange Format 是由美國電訊網路公司的 Compu Serve 所制定的一個數位影像標準格式。GIF87a (交錯顯式)，GIF89a (透明檔，動態圖檔)。
5. RIFF：Raster Image File Format，Letraset 專屬以和 TIFF 互別苗頭的影像檔案格式，它的特點是有壓縮檔案功能。
6. TIF：Tagged Image File format(在 PC 縮寫為 TIF；在 MAC 縮寫為 TIFF)，是由 Aldus 和 Microsoft 公司為促進桌上排版及影像掃描之使用所發展出來的影像檔案格式。使用 LZW (Lempel-Ziv and Welch) 的壓縮方式來壓縮檔案適合與其它平台作檔案轉換。

格式化： 內文 + 段落對齊：兩端對齊，段落下端間距：1 行，編號 + 階層：1 + 編號樣式：1,2,3,... + 起始編號：1 + 對齊方式：左 + 對齊位置：0 公分 + 定位點之後：0.85 公分 + 縮排位置：0.85 公分

E. 數位攝影中經常使用的術語和詞彙

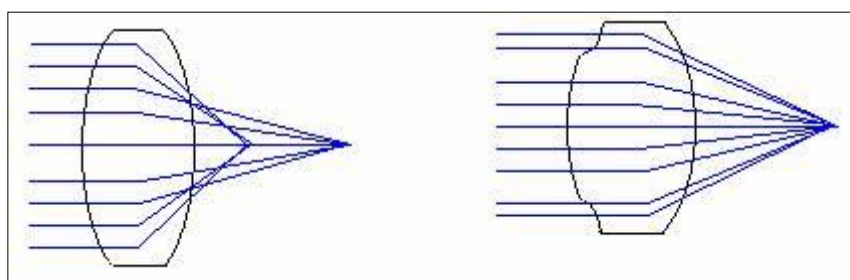
1. 環境光：場景中的自然光。
2. 鏡徑：鏡頭內的一個小而圓形的開口，能夠變更其直徑，以便在拍攝相片時，控制到達攝影機感應器的光線量。鏡徑的直徑乃是以光圈值來表達的，數值越低，鏡徑越大。例如，鏡徑開口在設定為 $f/2.8$ 時，就比設定為 $f/8$ 時來得大。鏡徑和快門速度一起控制了到達感應器的總光線量。較大的鏡徑可以讓較多的光線穿透至感應器。許多攝影機擁有鏡徑優先曝光模式，可讓您依喜好調整鏡徑。請參見快門速度。
3. CCD：電荷耦合裝置：數位相機常用的兩種主要的影像感應器之一。當拍攝相片時，CCD 會被進入攝影機鏡頭的光線所觸發。CCD 是由上千或上百萬的微小像素所組成，每一個像素都可以將此光線轉換成電子訊號。電子訊號的數目，通常會以像素累積的電荷表示，經過測量之後會轉化為數位數值。最後的這個步驟是在 CCD 之外進行的，在攝影機的元件上稱之為類比至數位的轉換器。
4. CMOS：補充性金屬氧化物半導體：數位相機常用的兩種主要的影像感應器之一。它的基本功能和 CCD 是相同的。CMOS 感應器目前只能在少數幾款數位相機上見到。
5. 對比：一張相片中最暗和最亮區域的差距。差距越大，對比越高。
6. 淡化：使用影像編輯程式選擇性地將相片的局部變淡。
7. DPI：每吋點數：數位相片或數位裝置解析度的度量單位，包括數位相機和印表機。數值越高，解析度越高。
8. 補光閃光燈：用來將深色陰影區域加亮的閃光燈技巧，通常用在晴朗的戶外。某些含有補光閃光燈模式的數位相機可以強迫閃光燈點亮，甚至在明亮的光線下亦然。
9. FireWire：一種以高速將資料由數位裝置傳送進出的纜線技術。FireWire 也稱之為 IEEE 1394，它是由 Apple Computer 所研發的，但是現在也廣泛由 Windows 系統的 PC 所使用。
10. 灰階：由黑白色調的不同變化所組成的相片。灰階是黑白照片的同義字。
11. 高光區：一相片最明亮的部份。
12. 長條圖：一種代表相片中由暗到亮的色調範圍的圖形。某些數位相機含有長條圖功能，可以讓您對相片成品結果進行精確的檢查。
13. 圖像解析度 - 數位相片中的像素數目通常就是指它的圖像解析度。
14. ISO 速度：膠捲對光線敏感度的分級。雖然數位相機不使用膠捲，它們仍然採用同樣的分級系統，以說明相機的影像感應器的敏感度。數位相機通常有一個調整 ISO 速度的控制項，某些會依據光線狀況自動加以調整，在可用光線較為暗淡時，將它加以調高。一般而言，ISO 速度越高，圖像品質越差。
15. 像素：圖片元素：數位相片都是由上千或上百萬的像素所組成的，它們是數位相片的建構單位。
16. RAW：RAW 圖像格式是直接來自 CCD 的資料，不含任何相機內的處理操作。
17. 紅眼：主題的眼睛因為閃光燈的光線反射在眼睛視網膜後的血管，所產生的紅色光暈。在光線較暗、夜晚的戶外，或是光線暗淡的室內，最常見到這種效果。

18. RGB：紅、綠、藍：人類視覺系統、數位相機和許多其他裝置所感受的三種顏色。
19. 飽和度：一相片中顏色的豐富程度。
20. 銳利度：一相片細節部份的清晰度。
21. 快門速度：相機的快門速度，是指其快門在拍攝相片時，保持開啟的時間長度。快門速度越慢，曝光時間越長。當快門速度設定為 $1/125$ 或 125 時，也就意味著快門會正好在一秒的第 $1/125$ 時間開啟。快門速度和鏡徑一起控制了到達感應器的總光線量。
22. 白平衡：相機上用來彌補不同光源所散發的光線顏色差異的功能。



F. Lens 與相關用語

1. 球面鏡，如附圖 1 (L) 所示。其鏡面邊緣的光線經折射後無法與中間鏡面的光線匯聚在同一焦距上，因此使的受光面積變小感光度也較差，在螢幕上的畫面其周圍四個角落會有較暗的情況發生。
2. 非球面鏡，如附圖 1 (R) 所示。其光線折射後能夠與中間鏡面的光線匯聚在同一焦距上，因此受光面積變大感光度也較佳。



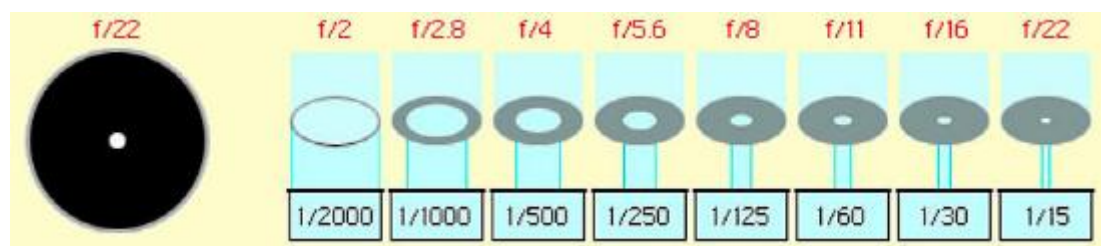
附圖 1 球面鏡 (L)，非球面鏡 (R) (光學，趙凱華，1992)

3. **F# (光圈數值)**：數值是光通過鏡頭量大小的表示。F 數值愈小表示通過的光量多，F 數值是焦距長和有效開口的比值。
$$F \text{ number} = \frac{f}{D}$$

f : focal length

D : effective diameter

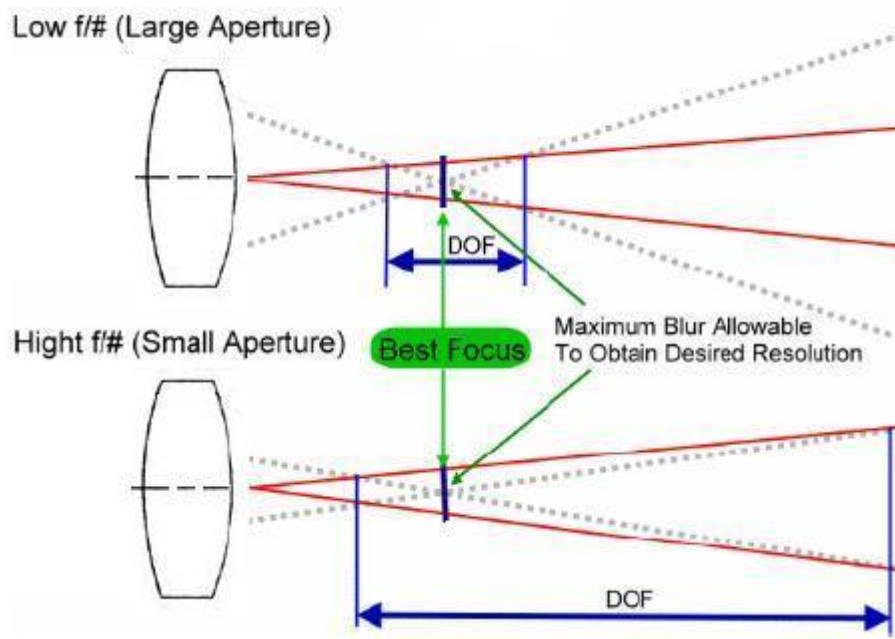
F# 通常為 16、11、8、5.6、4、2.8、2、1.4 等值(如圖示)，每個之間的進光量約為前值的二分之一，如附圖 2 所示。



附圖 2 F# (光圈數值) (數位影像坊 www.digital.idv.tw)

4. **f (焦距)**：其單位為 mm，當 f 數值越小時所取景的視野就越廣，適合近距離用，f 數值越大時所取景的視野就越窄，適合長距離或是特寫取景用。

5. **DOF (Depth of Field)**：景深 (Depth of Field) 表示聚焦清楚的範圍 (如圖示)，長景深表示聚焦清楚範圍大，短景深表示聚焦清楚範圍小，受鏡頭焦距長及光圈大小影響。降低焦距長及光圈縮小，景深就會增加，如附圖 3 所示。

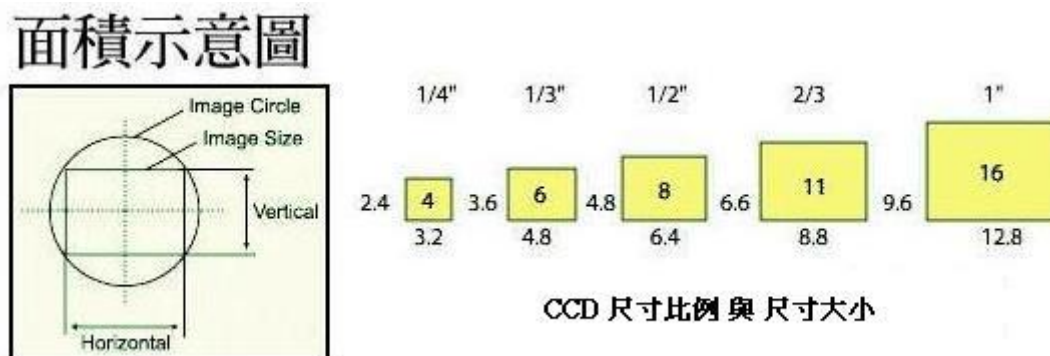


附圖 3 景深 (Depth of Field, DOF) (光學, 趙凱華, 1992)

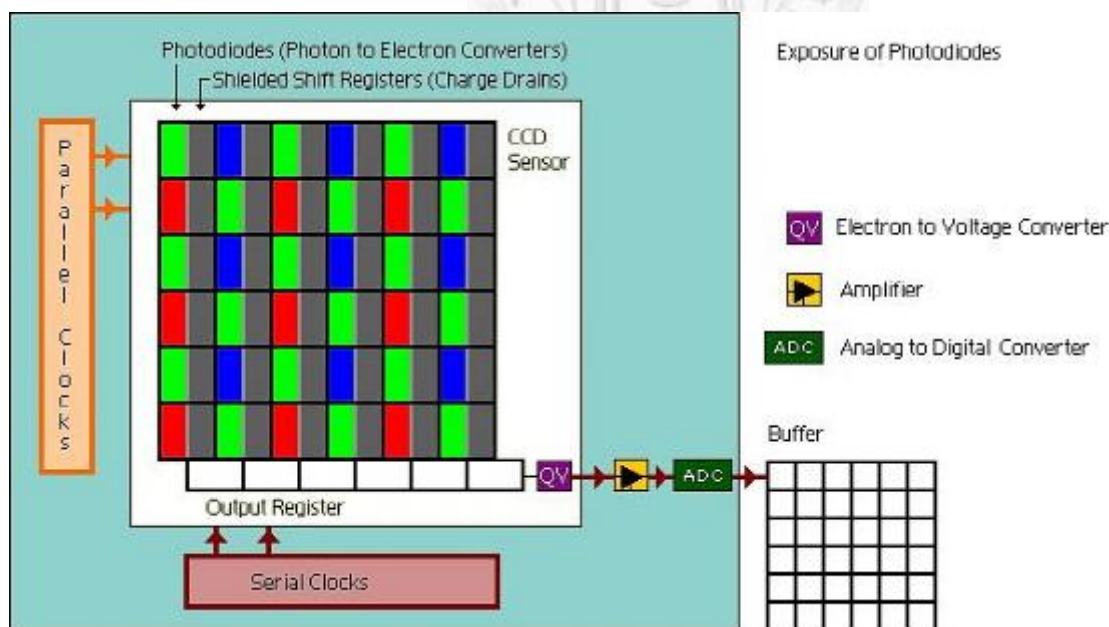
6. **FOV (Field of View)**：視野範圍 (Field of View, FOV)
7. **MTF (Modulation Transfer Function)**：定義鏡頭的解析度能力，是以反差對比的概念方式來檢定鏡頭解像力。大部分鏡頭在光圈開口中間位置時 MTF 是最佳的。
8. **WD (working distance)**：指的是物體到鏡頭前的工作距離。
9. **C-mount**：在鏡頭後面mounting面到攝影機的CCD面距離為 17.526mm是聚焦清楚的距離。
10. **CS-mount**：在鏡頭後面mounting面到攝影機的CCD面距離為 12.5mm是聚焦清楚的距離。

G. CCD (Charge Coupled Device) 與相關用語

CCD (Charge Coupled Device, 感光耦合元件) 為可記錄光線變化的半導體，通常以像素 (pixel) 為單位。指的就是 CCD 的解析度，也代表著 CCD 上有多少感光元件其尺寸大小表示，如附圖 4 所示。CCD 主要材質為矽晶半導體，基本原理為透過光電效應應用。當 CCD 表面接受到鏡頭進來的光線照射時，即會將光線的能量轉換成電荷，光線越強、電荷也就越多，這些電荷就成為判斷光線強弱大小的依據。CCD 元件上排有通道線路，將這些電荷傳輸至放大解碼原件，就能還原所有 CCD 上感光元件產生的訊號，並構成了一幅完整的畫面，CCD 作用過程，如附圖 5 所示。



附圖 4 (數位影像坊 www.digital.idv.tw)

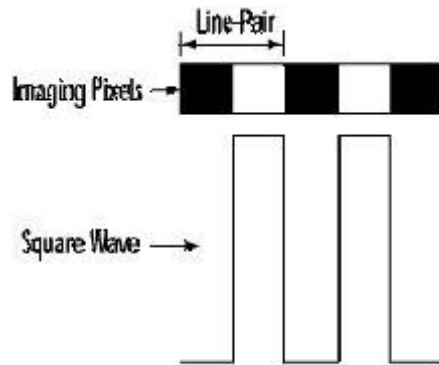


附圖 5 (數位影像坊 www.digital.idv.tw)

1. **CCD Sensor Size** : CCD Sensor Size 一般是以電子式攝影機 Sensor 的直徑來表示。攝影機感光元件有效面積尺寸，通常以水平大小表示，這個參數在決定放大倍率所得的 FOV，大部分類比式攝影機有 4:3 (H:V) 的比例 (aspect ratio) CCD Sensor Size，如圖 C-3 所示。
2. **Cell size** : 一個 CCD 感光元件的大小，單位通常以 (μm) 表示。
3. **Line-Pair** : 影像可分辨之最細條紋 (Line Pair)，此條紋之寬度即代表被測鏡組之解像力，如附圖 6 所示。

$$\text{Line-Pair (lp/mm)} = 1 / \text{Spacing (mm)}$$

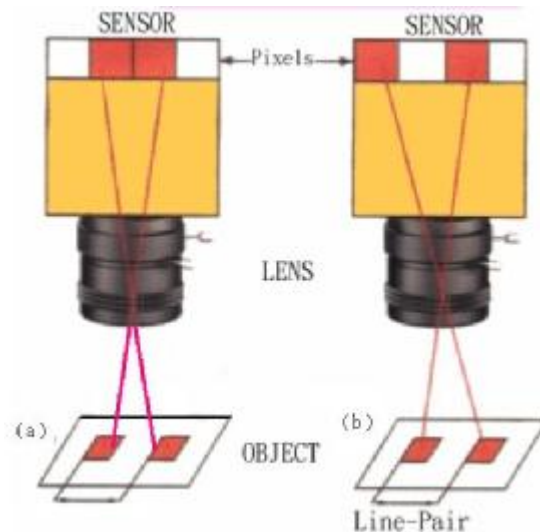
$$\text{Line-Pair (lp)} = 2 \text{ Pixels} = \text{camera resolution (for digital camera only)}$$



附圖 6 Line-Pair

(Edmund Industrial Optics - 1999 Optics and Optical Instruments Catalog)

4. **Linepairs per millimeter (lp / mm)** : 解析度是以 Linepairs per millimeter (lp / mm) 數目表示。在 CCD cell 中一條 Linepair 表示在二個 cell 中間加上一個空白的 cell (如圖示)，這是為什麼解析度常常以頻率表示。頻率的倒數產生 2 個可解析物體，紅色 cell 之間的空間通常以 mm 表示。這種規範可以適用於鏡頭及攝影機，如附圖 7 所示。



附圖 7 Linepairs per millimeter

(Edmund Industrial Optics - 1999 Optics and Optical Instruments Catalog)

5. **Interlace Scanning** : 掃瞄方法為 (奇數線) 的掃瞄線被掃成一個圖場，另

- 外一半（偶數線）掃瞄線被掃成另一個圖場。當影像Refresh Rate高於25 /30 frame/sec時，交錯掃瞄並不適用。
6. **Progressive Scan**：掃瞄方法為能同時抓取奇、偶圖場。Progressive Scan在高速應用下能提供全部垂直解析度輸出。
 7. **IT (Interline Transfer)**：CCD傳送的一種方法，把被感光畫素的電荷立刻傳送到旁邊的不曝光垂直讀出區。IT裝置是容易製造且比FT (Frame Transfer) 便宜，常用在工業及消費用的攝影機上。
 8. **Field**：圖場 (Field) 影像的一半，由奇數線或偶數線組成。NTSC/EIA訊號規格是每秒 60個 262.5 (525 / 2) 掃瞄線的圖場。PAL/CCIR訊號規格是每秒 50個 312.5 (625 / 2) 掃瞄線的圖場。奇/偶圖場對再合組成Frame。
 9. **Frame**：一個完全的TV影像，由兩個交錯掃瞄的圖場所構成。NTSC/EIA規格每秒有30張Frame，每個Frame有525掃瞄線。PAL/CCIR規格每秒有25張Frame，每個Frame有625掃瞄線。
 10. **Field / Frame Integration**：在CCD交錯掃瞄輸出中兩種不同畫素 (Pixels) 讀出的技術以積分時間說明，Field積分時間 (16.6ms NTSC / EIA或20ms PAL / CCIR)，Frame積分時間 (33.3ms NTSC / EIA 或40ms PAL / CCIR)。在Field Integration 2條相鄰的Pixels同時以一個Pixel輸出。所以全部CCD是以圖場 (Field) 輸出，達到更高影像輸出，但降低了垂直解析度。現在此模式大部份應用在抓取高速移動影像。在Frame Integration Pixels是個別讀出的，在2個圖場 (Field) 後，全部CCD讀出，全部垂直解析度可以達到。Progressive Scan CCD 只能在Frame Integration下操作。
 11. **EIA (Electronics Industries Association)**：黑白視訊標準，每個Frame有525條線及2個交錯圖場，每秒有30 Frames。NTSC的黑白版本常以RS-170表示。
 12. **CCIR**：歐規黑白標準視訊信號，每個Frame有625條掃瞄線及2個交錯圖場，每秒有25 Frames，PAL的黑白版本。
 13. **NTSC (National Television System Committee)**：彩色信號標準，主要使用在美國、日本。NTSC每張影像使用525條掃瞄線，每秒30個Frames，每個Frame是由2個圖場以 Interlace方式構成。
 14. **PAL (Phase Alternation Line)**：彩色訊號標準，歐洲是先驅使用者，也被使用在世界其他地方。PAL每張影像有625條掃瞄線，每秒有25 Frames，每個Frame是由2個圖場以Interlace方式構成。
 15. **Gain**：訊號的電子放大功能。
 16. **S /N (Signal To Noise Ratio)**：常以dB為單位表示，是正常訊號輸出和電子訊號內的雜訊比。
 17. **靈敏度 (Sensitivity)**：通常定義為「在一定曝光時間內的訊噪比 (S/N) 大小」。
 18. **暗電流 (Dark Noise Current)**：在某特定工作溫度的條件下，遮蔽CCD的感應器，使其避免任何光源的照射或感光，而經由感測元件本身產生的電荷數 (Electrons)。雜訊值的大小，以特定溫度，每秒產生的電荷數為主要單位。
 19. **量子效益 (Quantum Efficiency)**：直接進入或投射在感測元件上的光子

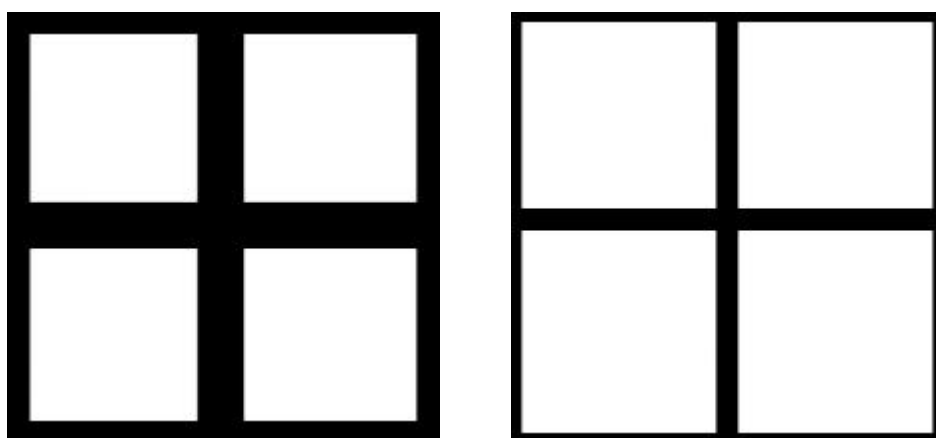
總數 (Photons) ，與被感測器換成電荷數的比率，通常用百分比 (%) 來表示。

20. **電位井容量 (Full-well Capacity)**: 每個圖素所有容納的電荷總數量。數目愈多，影像的動態範圍 (Dynamic Range) 愈大；更能表現影像上，任何微小明暗度的變化。
21. **類比數位化 (Analog To Digital)** : 類比轉數位 (ADC) 電路的數位化是 CCD 攝影機輸出影像訊號的格式。早期所制定的標準型的 CCD，多採用類比訊號輸出。攝影機所能提供的影像灰階度，則取決於 A/D 轉換電路的位元數。譬如，8 位元攝影機，可提供 $2^8=256$ 灰階影像輸出，而 10 位元，則代表 1024 灰階度表現力，依此類推。
22. **像素 (Pixel)** : 影像的解析度一般由攝影機 (camera) 中的影像感測元件 (Image sensor) 和影像擷取卡 (Frame grabber) 所決定。例如 640x480 就是一般 CCTV 的解析度。而當中的水平線具有 640 點，垂直線具有 480 點這就稱為像素點，也就是畫面上所解析的最小點。
23. **電子快門 (Electronic Shutter)** : CCD Camera 操作模式，積分時間可以縮短，不需任何機械裝置被用來降低抓取快速移動物體產生的模糊現象。
24. **Gamma** : 為補償 Video Monitor CRT 非線性問題面對攝影機輸出訊號所作的校正法則。典型的 Gamma 值是 0.45，它會使 CRT 的影像亮度呈現線性。
$$s = cr^\gamma \quad (c = 1, r: \text{輸入灰度值}, \gamma: \text{Gamma 值})$$
25. **Blooming** : 輝散 (blooming) 是 CCD 因過度曝光 - 所產生的電子數量超過像元電位井 (full well) 所能的容納電子量 - 導致訊號飽和而沿行或列方向溢流 " 污染 " 其他影像區域 (使其他區域也飽和) 的情形。
26. **Anti-Blooming Gate (ABG) /NABG** : 當光源過亮時，在這區域的 Sensor 的反應會造成鄰近 Sensor 也產生亮度增加，就像是溢出來到鄰近 sensor 一般，而有 ABG circuitry 的 CCD 則可以減小此現象。
27. **數位訊號處理 (DSP)** : 攝影機內的動作，感光 Sensor 輸出訊號在被顯示及傳送前必須被處理。一般處理的步驟有訊號放大，Gamma 校正，Black Level 校正，邊緣加強，彩色處理，彩色平衡，彩色校正，輸出訊號編碼。影像品質是非常依賴這些處理器的精確性及穩定性。

28. 開口率 (Aperture Ratio):

Aperture Ratio = 單一畫素有效穿透面積 / 單一畫素總面積有效穿透面積

當解析度越高或是面板尺寸越小，即畫素越來越小時。高開口率的設計是非常重要的(亮度需求)。CCD 所需的像素越大，理應所需空間應該越多，相對的 CCD 的面積尺寸應該越大。對照目前的生產技術來說並非完全如此。事實上，面積大小與線路佈局精細度才是影響 CCD 尺寸的關鍵因素；也就是說，當製程技術越精密，線路所需佔得的空間就越小，相對像素開口面積固定下，可以使 CCD Sensor 靠得更緊密，也就可以達到進一步縮小面積的目的此即所謂的開口率，相同單位面積下開口率越高，CCD 密度相對越高，如附圖 8 所示。



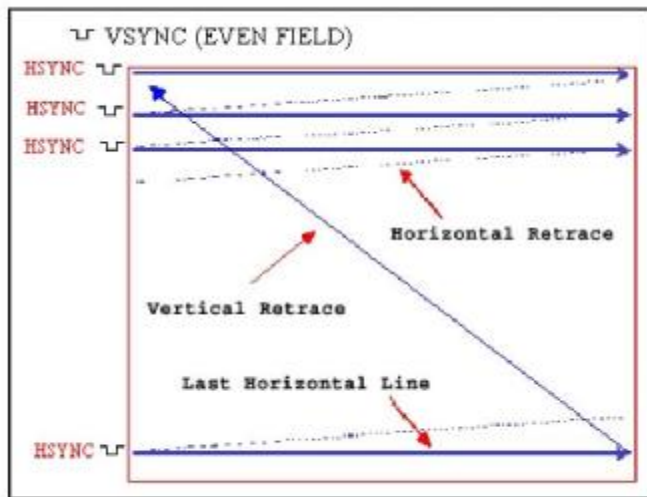
附圖 8 開口率 (數位影像坊 www.digital.idv.tw)



H. CCD 影像擷取與相關計算公式

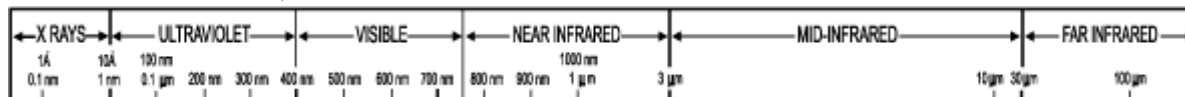
擷取方式：

1. 依掃描方式分：交錯式掃描（Interlace）如附圖 9 所示，非交錯式掃描（Non-Interlace）



附圖 9 掃描方式(電視工程，蔡駿康，1997)

2. 依Sensor形狀分：面形（Area），線形（Line），TDI（Time Delay Integration）形
3. 依訊號輸出分：
 - A. 類比訊號（RS170/NTSC/Progressive Scan）
 - B. 數位訊號（RS422/LVDS/Camera Link / IEEE 1394）
4. 依Camera Mount分：
 - A. C-mount/CS-mount
 - B. F-mount
 - C. 12mm/ 17mm
 - D. 特殊Mount
5. 依感應頻譜分：
 - A. 可見光
 - B. 近紅外線
 - C. 紅外線
 - d. UV
 - e. X-Ray
6. 依解析度分：高解析度（1024 pixels以上）/低解析度（512 pixels）
7. 光頻譜波長參考，如附圖 10 所示。



附圖 10 波長參考(Digital Color Image Processing,, Andreas Koschan, 2009)

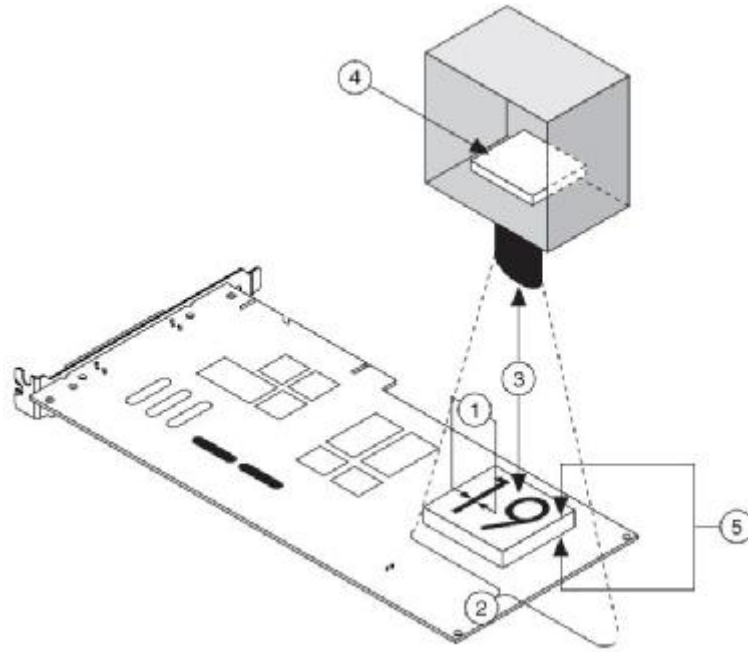
8. 頻譜特性（Spectral Characteristics）：CCD感測器對外界不同波長的光，對應的響應係數（Responsibility）或感應強度。一般常見的攝影機最佳頻譜特性，多半座落於可見光範圍，即400~800nm。

影像處理：

1. 影像處理系統基本參數：

在處理影像系統有 5 個基本參數，影響影像取樣的品質，如附圖 11 所示。

- 解析度 (Resolution)。
- 視野 (Field of View, FOV)。
- 運作距離 (Working Distance, WD)。
- 感應器尺寸。
- 景深 (Depth of Field, DOF)。



附圖 11 影像擷取系統圖(NI, Vision)

2. CCD 解析度計算：

解析度 (Resolution, Res.) 在單位長度下所能解析的影像數，通常以 Line pairs per millimeter (lp / mm) 來表示。

- 放大倍率 (Primary Magnification, PMAG)：

$$PMAG = \frac{\text{Sensor Size (Horiz.)}}{\text{Field of View (Horiz.)}}$$

$$\text{System Magnification} = PMAG \times \frac{\text{Monitor Size (對角線)}}{\text{Sensor Size (對角線)}}$$

- Camera：

$$\text{Camera Res. } (\mu m) = \frac{1000}{\text{Camera Res. (lp / mm)}}$$

- Analog (類比式)：

$$\text{Horizontal Camera Res. } (\mu m) = \frac{\text{Horiz. TV line} \times 1.333}{2 \times \text{Sensor Size (Horiz.)}}$$

$$\text{Vertical Camera Res. } (\mu m) = \frac{\text{Vertical TV line}}{2 \times \text{Sensor Size (Vert.)}}$$

$$\text{Horiz./Vert.} = \frac{4}{3} = 1.333$$

- Digital (數位式):

$$\text{Camera Res. (lp/mm)} = \frac{\text{Pixels}}{2 \times \text{Sensor Size (Horiz.)}}$$

$$\text{Camera Res. } (\mu\text{m}) = 2 \times \text{Pixels Size } (\mu\text{m})$$

- System:

Measurement Accuracy (精密度 (誤差)):

$$\text{Measurement Accuracy } (\mu\text{m}) = \frac{\text{Pixel Error} \times \text{FOV (horiz. mm)} \times 1000}{\text{Pixel in Image}}$$

I. 影像前處理作業

影像處理作業，通常，複雜的影像較不利於進行準確地辨識 (identifying) 作業或降低後續分析用結果的精確程度，其中，棘手的狀況，如下所列：

1. 雜訊干擾。
2. 輔助光源不適當，造成影像亮度不均勻。
3. 由攝影機的內部雜訊，亦或背景不良因素。
4. 待測物體相鄰或接觸。
5. 難以區隔物體與背景。

影像加強 (enhancement) 處理作業，即是被用來解決上述各種常遇到的難題。不過，目前工具軟體所提供的加強處理功能，種類相當多，操作者運用特定技術或幾個適當的前處理作業，有效地加以解決特殊案例所面臨的複雜影像。

J. 成型方式與使用材料

醫藥用罐的塑膠成型製造過程可分為如下述三大類：

1. 複合射出成型 (Compound Injection Molding)
2. 複合中空成型 (Compound Blow Molding)
3. 射出吹氣成型 (Injection Stretch-Blow Molding)

其因製作特性與過程不同，所使用的材料亦有所區別。

4. 複合射出成型 (Compound Injection Molding)：

射出成型之成型方式，為塑膠原料於料管中加熱熔融之後由螺桿押出，以高溫高壓注入已經鎖模的模具之中，經過保壓階段、冷卻階段之後開模將產品頂出，完成整個製程。

一般的射出成型也提供了模內貼標的複合射出成型，將事前印刷好之標籤置於模具中，使標籤與產品熔融在一起，成型完成之後產品已經貼標完成不須再二次加工，是兼具美觀及經濟的生產方式。

射出成型產品廣泛應用於日常生活之中，一般而言複雜形狀、中空成型無法成型的都是由射出成型完成。

常用材料：PE、PP、PS、AS 等

5. 複合中空成型 (Compound Blow Molding)：

中空成型（押出中空成型）之成型方式，為塑膠原料於料管中加熱熔融之後由螺桿押出，經過模頭製成如管狀之料胚，然後將仍為高溫軟質之料型胚置於模具中，經由吹氣、冷卻然後脫模，完成整個製程。

一般的中空成型也提供了模內貼標的複合中空成型，將事前印刷好之標籤與型胚一並置於模具中，使標籤與瓶子熔融在一起，成型完成之後瓶子已經貼標完成不須再二次加工，是兼具美觀及經濟的生產方式。

中空成型最常見的產品就是日常生活中常見的瓶瓶罐罐，像是洗髮精瓶、清潔劑瓶、洗衣精桶、飲料瓶等多樣產品。當然除了小型的容器，中空成型也有大至數十公升的水桶、水缸等產品。

常用材料：PE、PP、PETG、PVC 等

6. 射出吹氣成型 (Injection Stretch-Blow Molding)：

射出延伸吹氣成型結合了中空成型及中空成型，首先以射出方式射出如試管狀之瓶胚，然後再以中空成型方式吹製成瓶子，與一般中空成型不同的是射出吹

氣成型在中空成型吹製過程中，會加入延伸瓶胚的動作，延伸過後的瓶胚會使瓶子增加強度。


射出吹氣成型產品就是一般俗稱的寶特瓶(PET 瓶)，PET 瓶並不只侷限於一般裝飲料而已，以射出吹氣成型製作的產品，因為具有高透明、硬度強度佳，類似玻璃瓶的質感，被廣泛應用於化妝品、個人用品的領域。

常用材料：PET

K. 塑膠原料分類、特性與用途

塑膠材質因為種類繁多，辨識不易。由美國塑膠工業協會（Society of Plastic Industry, SPI）制定一套由三個順時針方向循環箭頭所構成的三角形號碼標誌，分別編上 1 至 7 號，代表七類不同的塑膠材質，如附表 3 所示。

附表 1 塑膠原料分類

	聚乙烯對苯二甲酸酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)
	高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, HDPE)
	聚氯乙烯 (Polyvinylchloride,PVC)
	低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, LDPE)
	聚丙烯 (Polypropylene, PP)
	聚苯乙烯 (Polystyrene, PS)
	其他類 (OTHERS)

1、PET（聚乙烯對苯二甲酸酯，Polyethylene Terphthalate）

PET 容器就是俗稱的寶特瓶。PET 最初的用途是做為人造纖維，及底片、磁帶等，於 1976 年才使用於飲料瓶。PET 容器的硬度、韌性、透明度極佳以及質量輕，生產時能量消耗少，再加上不透氣、不揮發，耐酸鹼等特性，廣為飲料瓶使用。PET 已是容器的主流，除飲料外，如清潔劑、洗髮精、食品、藥品、化妝品、及含酒精飲料的包裝瓶子，都已在大量使用寶特瓶。

2、HDPE（高密度聚乙烯，High Density Polyethylene）

PE(聚乙烯)是工業、生活上應用最廣的塑膠，一般常分為高密度聚乙烯(HDPE)與低密度聚乙烯(LDPE)兩種，HDPE 較 LDPE 熔點高、硬度大，且更耐腐蝕性液體之侵蝕。PE 對於酸性和鹼性的抵抗力都很優良，目前市面上所見到的塑膠袋及各種半透明或不透明的塑膠瓶幾乎都是 PE 所製造，像清潔劑、洗髮精、沐浴乳、食用油、農藥…等，大部份以 HDPE 瓶來盛裝。

3、PVC（聚氯乙炔，Polyvinylchloride）

PVC 材質的發明相當早，且多方應用於工業產品中，由於 PVC 同樣具有其他塑膠材質的優點，且在加工上、可塑性上相當優良，加上價錢便宜，使用量很普遍，像水管、雨衣、書包、建材、塑膠膜、塑膠盒等等。PVC 材質的透明性、光澤不錯但耐熱、耐冷特性較差，目前已禁止食品容器使用 P V C 材質來製作。

4、LDPE（低密度聚乙炔，Low Density Polyethylene）

LDPE 於現代生活中可謂無所不在，以塑膠袋為大宗。但許多容器是由 LDPE 做成的，像是牛奶瓶、軟片盒…等，LDPE 的透明性較差，若不加色即為白色半透明，LDPE 相較於 HDPE 對腐蝕性液體之侵蝕較差且材質較軟。

5、PP（聚丙烯，Polypropylene）

熔點高達 167°C 耐熱其製品可用蒸氣消毒是其特點。PP 與 PE 可說是兄弟，但若干物理性能及機械性能比 PE 好，因此製瓶商常以 PE 製造瓶身，瓶蓋用有較大硬度與強度的 PP 來製造，PP 材質的產品最常見的是米漿瓶、沙拉油瓶、乳製品瓶、罐及盛裝食品的塑膠盒…等。不過比較大的容器像水桶、垃圾桶、籃子…等多是以 PP 做成。PP 和 PE 很難分出，一般來說 PP 的硬度較高，且表面較有光澤。

6、P S（聚苯乙烯，Polystyrene）

P S 吸水性低，且其尺寸安定性佳，可用於射模、壓模、擠壓、熱成型加工等等。P S 主要應用於建材、玩具、文具、滾輪、鑲襯（如：冰箱內的白色內襯）等，及工業的包裝緩衝材料。未發泡的 P S 在食品容器上像是養樂多罐、優酪乳瓶、布丁盒、外帶奶茶杯、速食店飲料的杯蓋..等。