

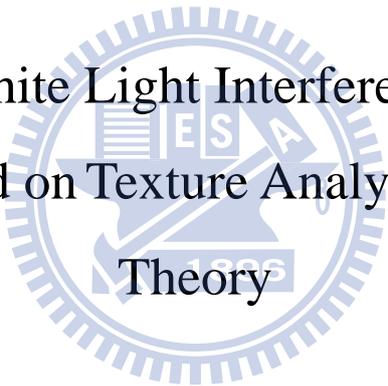
國立交通大學

電控工程研究所

碩士論文

基於紋理分析與模糊理論對白光干涉檢測系統
之研究

A Study of White Light Interference Detection
System Based on Texture Analysis and Fuzzy
Theory



研究生:徐世雄

指導教授:林昇甫博士

中華民國一百年七月

基於紋理分析與模糊理論對白光干涉檢測系統之研究

A Study of White Light Interference Detection System Based on

Texture Analysis and Fuzzy Theory

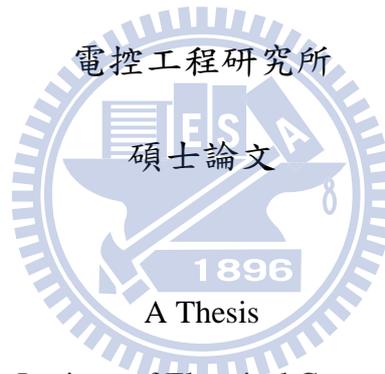
研究生：徐世雄

Student: Shih-Hsiung Hsu

指導教授：林昇甫博士

Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

國立交通大學



Submitted to Institute of Electrical Control Engineering

College of Electrical Engineering

National Chiao-Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Electrical Control Engineering

June 2011

Hsinchu, Taiwan, R.O.C

中華民國一百年七月

基於紋理分析與模糊理論對白光干涉檢測系統 之研究

學生：徐世雄

指導教授：林昇甫 博士

國立交通大學電控工程研究所 碩士班

摘要

在眾多高科技產業中，諸如半導體、平面顯示器、光纖通訊、微機電、生物醫學與電子封裝等，由於微結構表面輪廓的準確性決定了產品的效能與功能，在其製程中皆需針對微結構的表面輪廓品質進行監測。由於大部分白光干涉三維檢測系統的演算法，大多只考慮定點像素在每張影像的關係，也就是只考慮到垂直方向，如此作法並無完善地利用白光干涉產生的紋理特徵。本論文所討論的白光干涉三維檢測系統演算法，考慮到利用白光干涉產生的區域性紋理特徵，使用紋理分析、影像處理以及模糊理論，可濾除無干涉資料點的影響，並減少雜訊造成的錯誤高度數據。垂直解析能力最高達到 $0.1\mu\text{m}$ ，量測重複度可達到 $2\mu\text{m}$ ，並具備多種檢測功能，對於斷差高度、夾角、面積、體積、粗度、起伏以及薄膜厚度等需求，提供一個精確的檢測方案。

關鍵字：白光干涉檢測、模糊理論、紋理分析

A Study of White Light Interference Detection System Based on Texture Analysis and Fuzzy Theory

Student: Shih-Hsiung Hsu

Advisor: Dr. Sheng-Fuu Lin

Institute of Electrical Control Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

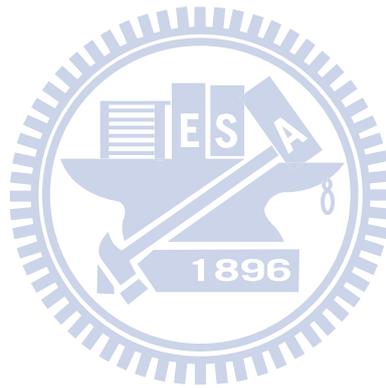
Among the many high-tech industries, such as semiconductors, flat panel displays, optical communications, MEMS, biomedical and electronic packaging, the micro-structure of the surface contour determines the accuracy of product performance and function in its manufacturing process units are required for the micro-structure of the surface contour to conduct quality monitoring. As most of the three-dimensional white light interferometer detection system algorithms, most only consider the fixed relationship between the pixels in each image, that is, taking into account only the vertical direction, so there is no perfect approach to the use of white light interference of the texture features. Discussed in this paper three-dimensional white light interferometer detection system algorithms, taking into account the use of white light interference of regional texture features, the use of texture analysis, image processing and fuzzy theory can filter the data points in addition to non-interference effects, and reduce errors caused by noise height data. Capability of vertical resolution up to $0.1\mu\text{m}$, measured repeatedly degrees up to $2\mu\text{m}$, and have a variety of detection for the off poor height, angle, area, volume, coarse degree, ups and downs as well as film thickness and other requirements, to provide a sperm does the testing program .

Keyword: white-light interferometry detection, fuzzy theory, texture analysis

誌謝

首先要以最誠摯的謝意，感謝我的指導教授林昇甫博士，感謝他在研究上的啟迪與指導，以及細心校閱本論文的謬誤之處。並感謝在工作繁忙中，不辭辛苦地指導我的口試委員戴鴻名博士以及謝祥文博士，同時也要感謝本實驗室的學長東穎、士哲、晉嘉、國育、逸章、俊偉；一起同甘共苦的同學家昌、家興、煒清以及學弟們，由於他們熱心的協助與討論，使得研究過程中的困境能夠迎刃而解。並在平常生活中，像家人般的和睦相處，給予精神上的支持。

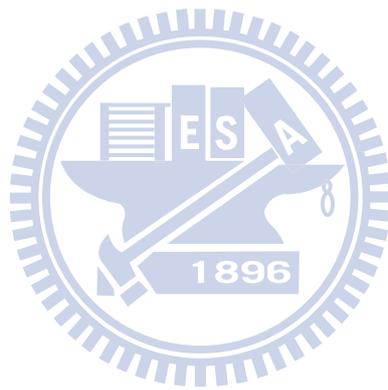
最後要感謝我親愛的父母，感謝他們的養育之恩以及在我求學生涯中給我最大的鼓勵與支持，使我得以在精神與生活上無後顧之憂，順利完成學業。



目錄

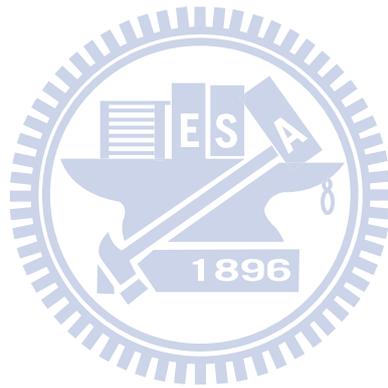
摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機	2
1.3 論文架構	5
第二章 相關知識	6
2.1 影像處理技術	6
2.1.1 紋理分析	6
2.1.2 特徵選擇	9
2.1.3 形態學	11
2.1.4 邊緣偵測	13
2.2 模糊推論系統	14
2.2.1 模糊化機構	15
2.2.2 模糊規則庫	16
2.2.3 模糊推論引擎	17
2.2.4 去模糊化機構	18
2.3 二值化	18
2.3.1 常見二值化方法	19
2.3.2 OTSU 二值化方法	21
2.4 白光干涉原理	22
第三章 系統流程說明	24
3.1 系統流程概述	24
3.2 系統校正	25
3.3 平面高度估測系統	26
3.3.1 資料讀取與影像前處理	27
3.3.2 特徵抽取	33
3.3.3 模糊平面高度估測系統	36
3.4 垂直方向高度估測系統	39

3.5	模糊待測物高度系統.....	42
第四章	實驗結果與分析	45
4.1	硬體介紹	45
4.2	基本資料的處理	46
4.3	實驗結果與分析	62
第五章	結論與未來工作	72
	參考文獻	73



表目錄

表 3.1 模糊平面估測系統的模糊規則。.....	39
表 3.2 模糊待測物高度系統的模糊規則。.....	44
表 4.1 本論文之誤差結果表。.....	67
表 4.2 垂直演算法誤差結果表。.....	69



圖目錄

圖 1.1 三維檢測技術的規格。.....	2
圖 1.2 (a)與(b)為金屬表面常見會出現雜訊的表面輪廓。.....	3
圖 1.3 暗點區域得到的掃描資訊。.....	3
圖 1.4 白光干涉系統量測物體表面的示意圖。.....	4
圖 1.5 為粗糙度較高的物體表面示意圖。.....	4
圖 2.1 具有三個灰階的影像。.....	7
圖 2.2 位置運算子 R 的選擇方式。.....	8
圖 2.3 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。.....	12
圖 2.4 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。.....	12
圖 2.5 一個 3×3 區域 (z 代表灰階) 和 Sobel 遮罩計算 z_5 處，(a) 影像區域，(b) 計算 g_x 的遮罩，(c) 計算 g_y 的遮罩。.....	14
圖 2.6 模糊系統的基本架構。.....	15
圖 2.7 歸屬函數。(a) Z型；(b) 三角形；(c) S型。.....	16
圖 2.8 一個模糊推論過程的例子。.....	19
圖 2.9 像素分佈曲線， T^* 為最佳切割閾值。.....	21
圖 2.10 二值化之結果(a)為原始圖，(b)為經過Otsu之後的影像。.....	22
圖 2.11 (a)各波長同調示意圖，(b)白光干涉波包。.....	23
圖 2.12 白光干涉示意圖。.....	23
圖 3.1 系統架構圖。.....	25
圖 3.2 待測物體的傾角導致掃描範圍加大之示意圖，.. (a) 待測物體調平後的垂直掃描範圍，(b) 待測物體傾斜時的垂直掃描範圍。.....	26
圖 3.3 平面估測高度系統流程圖。.....	27
圖 3.4 列數據(raw data)資料示意圖。.....	27
圖 3.5 將彩色影像轉為灰階的例子(a)為原始彩色圖片，(b)彩色影像轉成灰階影像的例子。.....	29
圖 3.6 Otsu分成多值化流程圖。.....	30
圖 3.7 以Otsu方法分群示意圖。.....	30
圖 3.8 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。.....	32
圖 3.9 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。.....	32
圖 3.10 模糊平面高度估測系統的歸屬函數。(a) NP_{ratio} 的歸屬函數；(b) $Diff_{ratio}$ 的歸屬函數；(c) IV_{degree} 的歸屬函數。.....	38
圖3.11 NP_{ratio} 、 $Diff_{ratio}$ 以及 IV_{degree} 之間的關係。.....	40

圖3.12 垂直方向高度估測系統流程圖。	41
圖3.13 同點像素在不同影像的灰階變化示意圖。	42
圖3.14 模糊待測物高度系統的歸屬函數 (a) H 的歸屬函數(b) IV 的歸屬函數 (c) H_{final} 的歸屬函數。	44
圖 4.1 一片濾波片。	45
圖 4.2 白光干涉三維檢測系統示意圖。	46
圖 4.3 為影像經過 Otsu 多值化之後其中的 30 張影像。a)影像第一張、第五十張、 第六十五張，(b)第六十八張影像、第七十張、第七十一張，(c)影像第七十二 張到第七十四張，(d)影像第七十五張到第七十七張，(e)影像第七十八張到第 八十張，(f)影像第八十一張到第八十三張，(g)影像第八十四張到第八十六張， (h)影像第八十七張到第八十九張，(i)影像第九十張到第九十二張，(j)影像第 九十三張到第九十五張。	49
圖 4.4 連續十張原始影像。(a)為第一張影像(b)為第二張影像(c)為第三張影像(d)為 第四張影像(e)為第五張影像(f)為第六張影像(g)為第七張影像(h)為第八張影像 (i)為第九張影像(j)為第十張影像。	50
圖 4.5 為原始影像第一張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩 大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	51
圖 4.6 為原始影像第七十張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮 罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	52
圖 4.7 為原始影像第七十五張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為 遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大 小 31×29 所形成能量圖。	53
圖 4.8 為原始影像第八十張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮 罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	53
圖 4.9 為原始影像第八十五張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為 遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大 小 31×29 所形成能量圖。	54
圖 4.10 為原始影像第九十張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮 罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	55
圖 4.11 為原始影像第九十五張之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b) 為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩 大小 31×29 所形成能量圖。	55
圖 4.12 為原始影像第一張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量 圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)	

	為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	56
圖 4.13	為原始影像第七十張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	57
圖 4.14	為原始影像第七十五張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	57
圖 4.15	為原始影像第八十張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	58
圖 4.16	為原始影像第八十五張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	59
圖 4.17	為原始影像第九十張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	59
圖 4.18	為原始影像第九十五張經過多值化後之能量圖，(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。	60
圖 4.19	像素屬於 25.5μm 的灰階值變化	61
圖 4.20	高度估測系統對原始圖 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的高度程度 IV_{degree} 。	62
圖 4.21	為 H_{degree} 、 IV 與 H_{final} 高度程度估測之間關係。	63
圖 4.22	為金屬表面常見會出現雜訊的表面輪廓，(a)待測物一之表面輪廓，(b)待測物二之表面輪廓。	64
圖 4.23	三維表面輪廓圖。	65
圖 4.24	標準片實驗圖，(a)本論文實驗圖(b)標準片圖(c)垂直演算法之圖。皆為長、寬、高約 40x40x20μm 的標準片。	66
圖 4.25	誤差結果實驗圖，紅色線為垂直演算法之誤差曲線，藍色線為本論文之誤差曲線。	71

第一章 緒論

在眾多高科技產業中，諸如半導體、平面顯示器、光纖通訊、微機電、生物醫學與電子封裝等，由於微結構表面輪廓的準確性決定了產品的效能與功能，在其製程中皆需針對微結構的表面輪廓品質進行監測[1]-[3]。線上型(on line)白光干涉三維檢測系統，使用創新的掃描演算法與暗點修補方式[4][5]，可濾除無干涉資料點的影響，垂直解析能力最高達到 $0.1\mu\text{m}$ ，量測重複度可達到 $0.2\mu\text{m}$ ，並具備多種檢測功能，對於斷差高度、夾角、面積、體積、粗度、起伏以及薄膜厚度等需求，提供一個精確的檢測方案。

1.1 前言

近年來高科技產業如半導體、電子封裝、平面顯示器、微機電等各產業蓬勃發展，其檢測應用需求也相對龐大，目前各產業皆已大量使用AOI檢測機台取代人工檢測，但由於製程尺度縮小，高精度與快速的檢測能力發展更顯重要，故AOI檢測能力極待提升以因應產業需求，而探討AOI檢測能力提升一般可以分為下列二類：

- (1) 在檢測尺度的需求上，由於製造技術的不斷提升，製程尺度縮小，奈米尺寸之微小結構物如：LCD 間隔物(spacer)、微機電、電子封裝等高科技產品之檢測需求也因應而生，故檢測技術的尺度亦需要提升至奈米等級，才足夠解析產品製程以確保良率。
- (2) 在檢測項目上，除了瑕疵、缺件、汙損等傳統二維方向的檢測，在製程溝槽深度、長晶高度與表面粗糙度等等三維形貌的檢測需求，也成為檢測中重要的一環。

有鑑於上述二點，發展奈米級三維輪廓檢測系統為產業迫切的需求，並且為我國產業升級必備之工具。

分析現有的三維檢測各型式設備，如圖 1.1，探針式輪廓儀(stylus profiler)屬於接觸式的量測，有傷害待測物表面的疑慮，共焦式顯微鏡(confocal gauge)則量測精度較差，至於掃描式探針顯微鏡(scanning probe microscope)雖有較佳的水

準與垂直解析度，但量測速度慢且不適合高斷差測量。相較於前述幾者，白光干涉三維檢測系統的特性有以下優點：

- (1) 採用非接觸式量測技術，不破壞待測物體表面。
- (2) 面量測而非逐點掃描，量測速度快。
- (3) 水準軸方向上可達微米解析度與釐米量測範圍，垂直軸方向上則是擁有奈米解析度與微米量測範圍，量測準確度高。

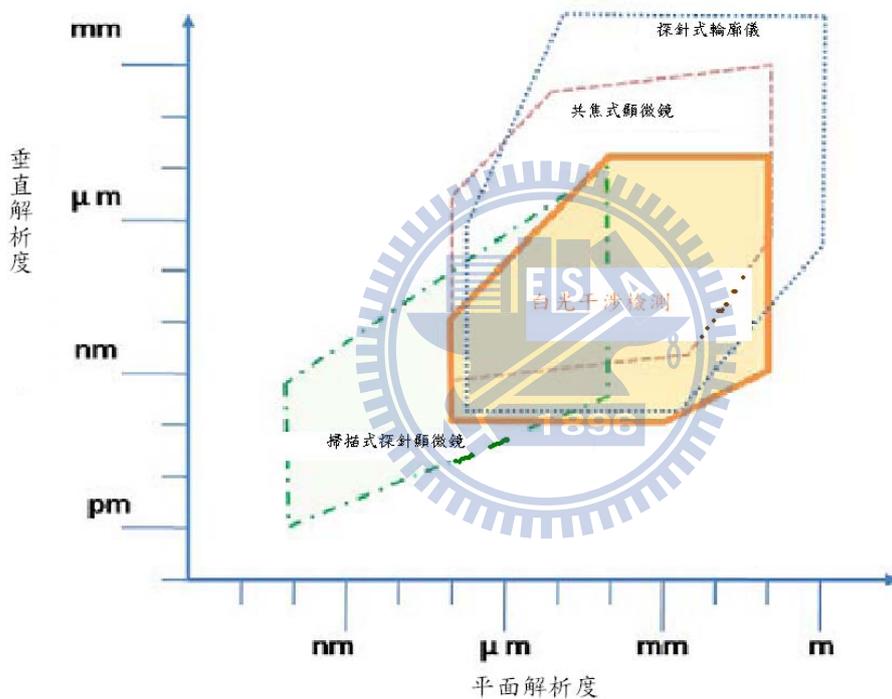


圖 1.1 三維檢測技術的規格。

1.2 研究動機

在做白光干涉量測實驗的時候，發現到金屬表面材質的待測物，容易會有雜訊的產生，造成微結構表面輪廓的準確性造成影響。由於微結構表面輪廓的準確性決定了產品的效能與功能，在其製程中皆需針對微結構的表面輪廓品質進行監測。對於雜訊的消除，本論文提出利用白光干涉區域紋理的特性，並配合模糊系

統，減少雜訊造成不符合常理的表面輪廓。

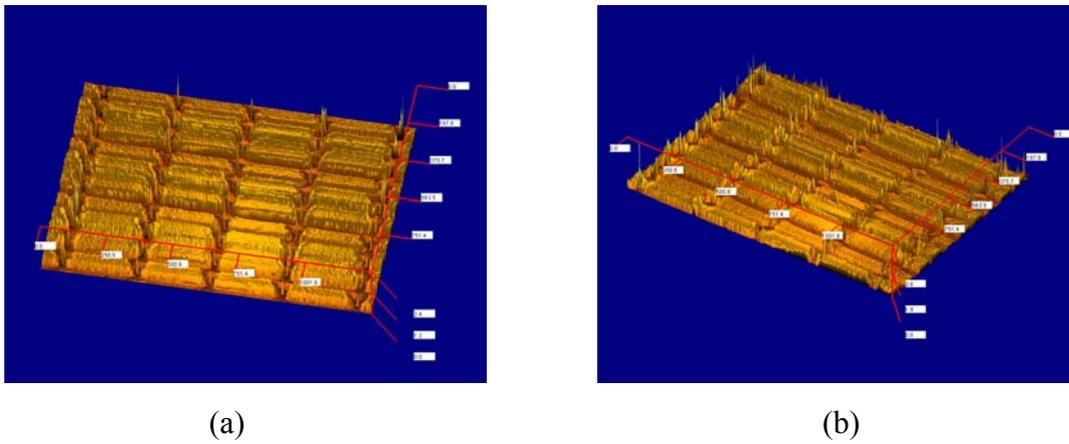


圖 1.2 為金屬表面常見會出現雜訊的表面輪廓，(a)待測物一之表面輪廓，(b)待測物二之表面輪廓。

雜訊的產生主要有兩個：

- (1) 因物體表面反射角過大導致物鏡無法收集反射光獲得正確的干涉資訊。該部分資料本論文稱之為暗點區域，若將該區域的資訊引入垂直掃描演算法之中，將導致輪廓計算錯誤情形發生，造成無法判斷高度所在位置。圖 1.3 暗點區域得到的掃描資訊便可呈現這種結果。

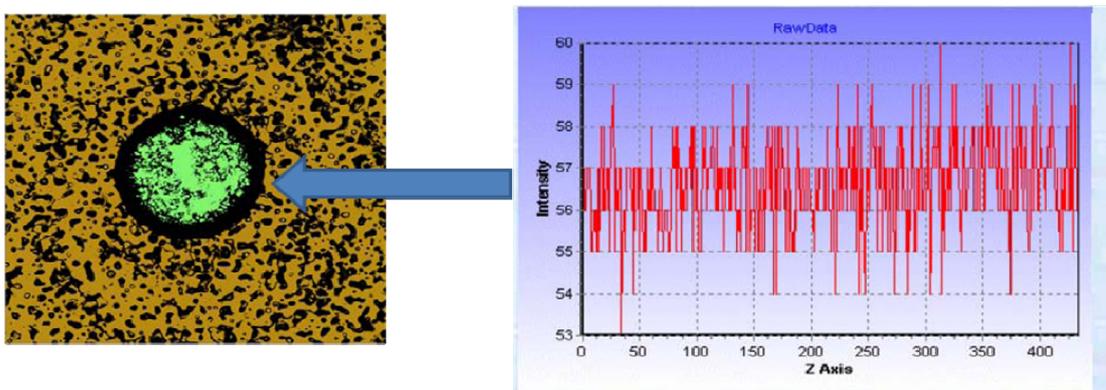


圖 1.3 暗點區域得到的掃描資訊。

下圖 1.4 為白光干涉系統量測物體表面的示意圖，圖中表示物體表面起伏將影響相機影像中每一像素點干涉波包的發生高度，依循此高度變化，求取干涉零光程差位置，即可決定出該像素點之待測物體高度，進而求出待測物的整體表面輪廓。

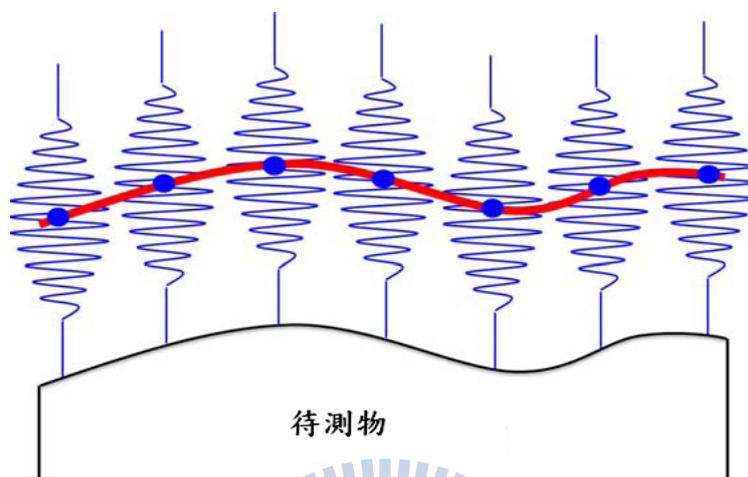


圖 1.4 白光干涉系統量測物體表面的示意圖。

(2) 粗糙度高的表面，容易會有周圍反射面影響，讓儀器誤判物體表面高度。在金屬表面特別容易出現這種情形。加上一般是只採取垂直計算，並未考慮周圍區域相關性，本論文加上附近區域高度做為參考，減少因反射影響產生的錯誤資訊。

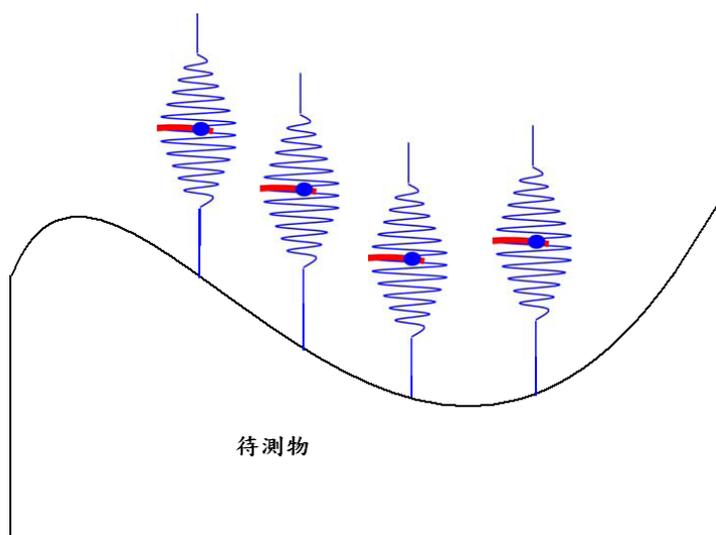


圖 1.5 為粗糙度較高的物體表面示意圖。

1.3 論文架構

本論文章節分為緒論、研究概況、研究方法、實驗模擬與結論。安排如下：

第一章 簡述本論文之研究動機與目的，第二章 此章節簡單扼要提及本論文中所應用的相關性之理論，其涵括影像處理的方法、模糊推論系統、多值二值化、白光干涉原理，以便本論文之後續探討及其發展。第三章 介紹整個系統的流程，可以分成四個部份介紹本論文之設計核心。第一個部份為系統校正，第二部份是平面高度估測系統，第三部分是垂直方向高度估測系統，第四部份則是模糊待測物高度系統。第四章為實驗結果與分析，並加以驗證用紋理方法與模糊系統之效果。最後，第五章針對前章節所敘內容作一概括性總結，並說明本論文的各項優劣性探討未來研究與改善方向。



第二章 相關知識

此章彙整本論文所應用之相關理論，其中囊括2.1節影像處理技術、2.2節模糊推論系統、2.3節二值化與2.4節白光干涉原理，並將其作簡單扼要的介紹。而在本文中主要以紋理分析，並透過影像處理技術做為基礎架構，搭配模糊推論系統作為代理者之設計應用，以進行本論文之建構。

2.1 影像處理技術

包括紋理分析(texture analysis)、特徵選擇以及形態學[9]的影像處理相關技術將會在此節說明。紋理分析可以對影像特定區域定量地描述其對比度、一致性、相關性、熵以及能量等特徵。特徵選擇可以決定所抽取特徵的重要性。形態學運算可以用來對影像做初步的前處理。紋理分析在2.1.1節講解，特徵選擇在2.1.1節敘述，形態學在2.1.3節說明。

2.1.1 紋理分析

描述紋理最簡單的方法是利用一張影像或是影像中一個特定區域灰階直方圖分佈的矩(moment)。假設 z 代表灰階的一個隨機變數，並令 $p(z_i), i=1,2,\dots,L-1$ 是直方圖對應於灰階 i 的倉(bin)，其中 L 影像的灰階數，則 z 對平均值的 n 階矩是

$$\mu_n(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i), \quad (2.1)$$

其中 m 是 z 的平均值，可以下式求得：

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i), \quad (2.2)$$

二階矩在紋理描述中尤其重要，它是灰階對比度的一個量測，可以用來建立相對平滑度的描述子。三階矩是直方圖歪斜程度的量測，四階矩是直方圖相對平坦度的量測。五階以上的矩並不容易和直方圖的形狀有關係，但它們提供了更進一步

紋理內容的定量辨別方式。

僅僅運用影像灰階直方圖分佈計算而得的紋理量測經常有限制性，因為它們並沒有包含像素間彼此相對位置的資訊。將這類的資訊納入紋理分析過程的一個方法是不僅要考慮灰階值的分佈，還要考慮具有相等灰階或是接近相等的灰階之像素的位置[8]。

假設 R 是一個位置運算元， \mathbf{A} 是一個 k 階方陣，其元素 a_{ij} 是灰階值為 z_i 的在 R 所規定的位置上相對於灰階為 z_j 的點發生的次數， $1 \leq i, j \leq k$ 。例如，考慮具有下面三個灰階的一張影像： $z_1=0, z_2=1$ ，以及 $z_3=2$ ，其中影像如圖 2.1 所示：



圖 2.1 具有三個灰階的影像。

假設本論文把位置運算元 R 定義為「 0° 且為中心像素旁邊的第一個像素」，則可以得出如下所示的 3 階方陣 \mathbf{A} ：

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 \\ 3 & 2 & 2 \\ 1 & 5 & 2 \end{bmatrix},$$

方陣中的元素 a_{ij} 是一個像素灰階為 z_i ，且右方的一個像素灰階為 z_j 所發生的次數。 \mathbf{A} 的維度嚴格地由輸入影像中的灰階數目所決定，所以，通常具有較多灰階數目的輸入影像會被重新量化為一個具有較少灰階數目的影像，以保證 \mathbf{A} 的大小是容易處理的。

設 n 是影像中滿足位置運算元 R 的總點對數，如果一個矩陣 \mathbf{C} 是將 \mathbf{A} 的每

個元素除以 n 而形成的，則其元素 c_{ij} 是滿足 K 的一對像素之聯合機率(joint probability)估測值。矩陣 C 被稱為灰階共生矩陣(gray-level co-occurrence matrix)。因為 C 取決於 R ，所以可以透過選擇適當方向與距離的 R 來檢測特定紋理的出現， R 的選擇可以圖 2.7 來表示。

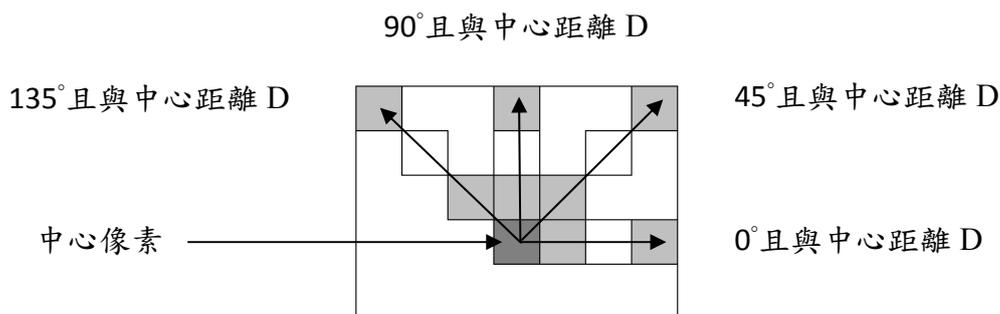


圖 2.2 位置運算元 R 的選擇方式。

一般而言，問題是分析一個由 R 決定的 C 矩陣，以計算影像中特定區域的紋理內容。對這個目的有用的一些運算元包括下列式子：

1. 對比度(contrast)

$$\sum_i \sum_j |i - j|^2 c_{ij}, \quad (2.3)$$

2. 相關性(correlation)

$$\sum_i \sum_j \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) c_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}, \quad (2.4)$$

3. 能量(energy)

$$\sum_i \sum_j c_{ij}^2, \quad (2.5)$$

4. 一致性(homogeneity)

$$\sum_i \sum_j \frac{c_{ij}}{1 + |i - j|}, \quad (2.6)$$

5. 熵(entropy)

$$-\sum_i \sum_j c_{ij} \log c_{ij} . \quad (2.7)$$

2.1.2 特徵選擇

本節所討論的內容是參考參考文獻[15]的部分內容。特徵們的重要性往往是不一樣的，特徵選擇是特徵抽取過程中的重要步驟，透過這個步驟，所抽取的特徵們之相對重要性將可以被決定。從圖形識別的觀點來看，一個類別其特徵抽取結果的好壞，可以直接從類別裡特徵向量們的密集度來決定，若同一類別的特徵向量越密集，則特徵抽取的結果就越佳。假設在特徵向量為 n 維的特徵空間裡，一個可以代表上述概念的量度就是類別 C 的**集合內部距離**(intrasets distance)，經推導後可以被表示為：

$$D^2(C) = 2 \sum_{k=1}^n \sigma_k^2, \quad (2.8)$$

其中 σ_k 代表特徵向量們第 k 個分量的標準差。若一個類別的集合內部距離越小，則代表特徵向量的分佈越密集，分類結果也就越好。

再次考慮一個在類別 C 內且具有 n 個分量的特徵向量 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ ，其每個分量 x_i , $1 \leq i \leq n$ ，都代表將此向量分門別類的重要特徵，很直覺地，較不重要的特徵分量本論文可以給予較小的權重，這樣的概念可以透過對原來的特徵向量進行線性映射，轉換到另外一個特徵向量空間而達成。考慮一個如下的**權重矩陣**(weight matrix)：

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm} \end{bmatrix}, \quad (2.9)$$

使用這個權重矩陣可以將原有的特徵向量 \mathbf{x} 映射成新的特徵向量 $\mathbf{x}' = \mathbf{W}\mathbf{x}$ 。若本論文將式子(2.9)更進一步地簡化成對角矩陣，如下所示：

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.10)$$

則新映射而成的類別 C' 其集合內部距離可以由下式求得：

$$D^2(C') = 2 \sum_{k=1}^n (w_{ii} \sigma_k)^2, \quad (2.11)$$

其中 σ_k 代表原來的特徵向量們第 k 個分量的標準差。為了要使式子(2.11)的右方達到最小化，本論文還需要對權重係數 $w_{ii}, 1 \leq i \leq n$ ，加上一個限制條件。

假設對於權重係數給予下式的限制：

$$\sum_{i=1}^n w_{ii} = 1, \quad (2.12)$$

則將 $D^2(C')$ 最小化等同於將式子(2.13)最小化

$$A = 2 \sum_{i=1}^n (w_{ii} \sigma_i)^2 - \alpha \left(\sum_{i=1}^n w_{ii} - 1 \right), \quad (2.13)$$

因為式子(2.12)成立，所以將式子(2.13)對權重係數偏微分得到：

$$\frac{\partial A}{\partial w_{ii}} = 4w_{ii}\sigma_i^2 - \alpha = 0, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (2.14)$$

因此可以得到：

$$w_{ii} = \frac{\alpha}{4\sigma_i^2}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (2.15)$$

加上式子(2.12)的限制條件，可以解得 α ：

$$\alpha = \frac{4}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}}, \quad (2.16)$$

再將式子(2.16)代入式子(2.15)，則所求的權重係數可以下式表示：

$$w_{ii} = \frac{1}{\sigma_i^2 \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}}. \quad (2.17)$$

假設本論文對權重係數給予的限制條件不是式子(2.12)而是下式：

$$\prod_{i=1}^n w_{ii} = 1, \quad (2.18)$$

則依照式子(2.13)到(2.17)的步驟，本論文可以得到相對的權重係數：

$$w_{ii} = \frac{1}{\sigma_i} \left(\prod_{i=0}^n \sigma_i \right)^{1/n}, \quad (2.19)$$

從上式可以看出第 i 個權重係數的大小是與特徵向量們第 i 個分量的標準差成反比的，換句話說，標準差越大的特徵分量，即代表越不重要的特徵。

2.1.3 形態學

本節所討論的內容是參考參考文獻[9]的內容。形態學有許多各式各樣的運算可以用來處理物體的外形及結構。這些運算是使用在二值化影像。侵蝕(erosion)及膨脹(dilation)是兩種最基本的運算，斷開(opening)及閉合(closing)運算是侵蝕及膨脹這兩種運算的延伸，這四種運算會在此章節作說明。

首先介紹一些基本定義，設 A 和 B 是 Z^2 中的兩個集合，它們的分量分別為 $\mathbf{a}=(a_1, a_2)$ 以及 $\mathbf{b}=(b_1, b_2)$ ，則 A 平移 $\mathbf{x}=(x_1, x_2)$ ，用 $(A)_{\mathbf{x}}$ 表示之，定義為

$$(A)_{\mathbf{x}} = \{\mathbf{c} \mid \mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{x}, \mathbf{a} \in A\}, \quad (2.20)$$

B 的反射，用 \hat{B} 表示之，定義為

$$\hat{B} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} = -\mathbf{b}, \mathbf{b} \in B\}, \quad (2.21)$$

A 的補集是

$$\bar{A} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \notin A\}, \quad (2.22)$$

A 和 B 的差集表示為 $A-B$ ，定義為

$$\begin{aligned} A-B &= \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \in A, \mathbf{x} \notin B\} \\ &= A \cap \bar{B}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 侵蝕記為 $A \ominus B$ ，定義為

$$A \ominus B = \{\mathbf{x} \mid (B)_{\mathbf{x}} \subseteq A\}. \quad (2.24)$$

圖 2.3 是一個侵蝕的例子，圖 2.3(a)中灰色部分是影像的集合 A ，圖 2.3(b)中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 2.3(c)中灰色部份是侵蝕後的集合。

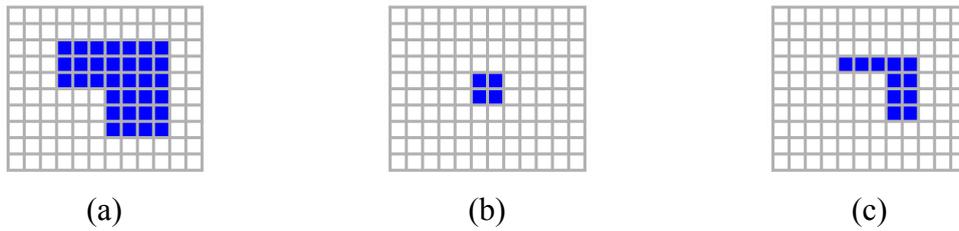


圖 2.3 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 膨脹記為 $A \oplus B$ ，定義為

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \Phi\} . \quad (2.25)$$

圖 2.4 是一個膨脹的例子，圖 2.4(a) 中灰色部分是影像的集合 A ，圖 2.4(b) 中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 2.4(c) 中灰色部份是膨脹後的集合。

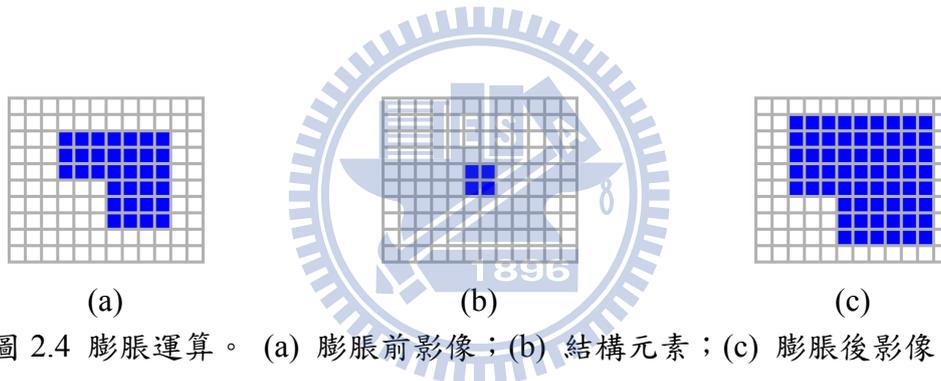


圖 2.4 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。

影像的斷開運算是由侵蝕運算及膨脹運算所組成。斷開運算可以定義成：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \quad (2.26)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過侵蝕後再膨脹。

斷開運算可以用來消除物體突出的地方及雜訊。

閉合運算剛好與斷開運算相反，它可以定義成：

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.27)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過膨脹後再侵蝕。

閉合運算可以用來消除影像中的空洞及填滿空隙。

由於型態學運算提供了類似於空間域濾波(spatial filtering)的概念，所以也可

以稱做**形態學濾波**(morphological filtering)。在此總結上述型態學運算與其對應的效果：膨脹運算可以延展影像的邊界；侵蝕運算可以將邊界收縮；斷開運算可以平滑輪廓，將狹長帶截斷，並消除孤立的雜訊點；閉合運算可以平滑輪廓，將狹窄的斷開處接合，以及填滿影像中的小洞。

2.1.4 邊緣偵測

邊緣是兩個區域有明顯的灰階差異時所產生的。邊緣偵測的技術一般是利用導數運算元[9]。導數運算一般是利用空間濾波器去實現，空間域濾波是考慮頻率域濾波的方法—將頻率域的遮罩經迴旋積分轉化成空間域的遮罩，而遮罩本身又稱為空間濾波器。

邊緣偵測中最常使用來求導數的方法是梯度運算，一個函數 $f(x, y)$ ，在 (x, y) 的地方梯度定義如下：

$$\nabla f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad (2.28)$$

∇f 的向量大小為：

$$\|\nabla f\| = [g_x^2 + g_y^2]^{1/2}, \quad (2.29)$$

在實際應用上，向量的大小近似為絕對值的和：

$$\|\nabla f\| = |g_x| + |g_y|, \quad (2.30)$$

本研究採用 Sobel 空間濾波器，圖 2.5(a)為 Sobel 遮罩，計算位於 z_5 的導數，以下為其計算式：

$$\begin{cases} g_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3), \\ g_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7). \end{cases} \quad (2.31)$$

當 g_x 的值相當大時，代表有一水準的邊緣通過 z_5 ；而當 g_y 的值相當大時，則代表有一垂直的邊緣通過 z_5 。

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a)
(b)
(c)

圖 2.5 一個 3×3 區域 (z 代表灰階) 和 Sobel 遮罩計算 z_5 處，(a) 影像區域，(b) 計算 g_x 的遮罩，(c) 計算 g_y 的遮罩。

2.2 模糊推論系統

模糊推論系統已廣泛地應用在於許多領域，如自動控制、圖形識別、以及決策分析，使用模糊系統有兩個主要的優點，第一個優點是不需要精確的數學模型，第二個優點是可以將人類專家的知識結合至系統的判斷上。一般來說，模糊系統的基本架構如圖 2.6 所示，根據參考文獻[10]的論述，可以分為四個主要的功能方塊，包括：1) 模糊化機構(fuzzifier)；2) 模糊規則庫(fuzzy rule base)；3) 模糊推論引擎(fuzzy inference engine)；以及 4) 去模糊化機構(defuzzifier)。模糊化機構的功能為將明確的外界輸入資料轉換成適當的語意式模糊資訊；模糊規則庫存放解決相關問題所需的知識及規則；模糊推論引擎藉由模糊推論的方式來模擬人類的思考決策模式以解決面對的問題；去模糊化機構的功能是將模糊推論引擎所推出的模糊資訊轉回外界的明確數值。以上四個功能方塊的詳細解說如後。

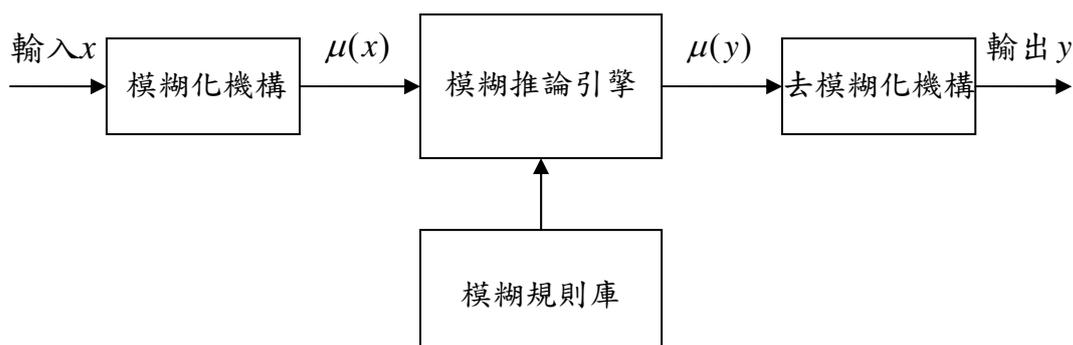


圖 2.6 模糊系統的基本架構。

2.2.1 模糊化機構

模糊化機構可以被視為一種映射，由明確的輸入空間映射至特定模糊集合空間[10]。本論文定義在論域(universe of discourse) U 中的一個模糊集合(fuzzy set) A 為：

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}, \quad (2.32)$$

其中 $\mu_A(x)$ 是模糊集合 A 的歸屬函數(membership function)， $\mu_A(x)$ 代表論域 U 中元素 x 對模糊集合 A 的歸屬程度。通常歸屬函數的值是介於0與1之間，三個常見的歸屬函數 $\mu_A(x)$ 、 $\mu_B(x)$ 、以及 $\mu_C(x)$ 如圖 2.7，並定義如下：

1. Z型歸屬函數：

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \leq x_0, \\ \frac{x-x_a}{x_0-x_a}, & \text{if } x_0 \leq x \leq x_a, \\ 0, & \text{if } x \geq x_a, \end{cases} \quad (2.33)$$

其中輸入為 x_0 時的歸屬值(membership value)為 $\mu_A(x_0) = 1$ ，如圖 2.7(a)

所示。

2. 三角形歸屬函數：

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \geq x_a \text{ or } x \leq x_b, \\ \frac{x-x_b}{x_0-x_b}, & \text{if } x_b \leq x \leq x_0, \\ \frac{x-x_a}{x_0-x_a}, & \text{if } x_0 \leq x \leq x_a, \end{cases} \quad (2.34)$$

其中 $\mu_B(x_0) = 1$ ，如圖 2.7(b)所示。

3. S 型歸屬函數：

$$\mu_C(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \leq x_b, \\ \frac{x-x_b}{x_0-x_b}, & \text{if } x_b \leq x \leq x_0, \\ 1, & \text{if } x \geq x_0, \end{cases} \quad (2.35)$$

其中 $\mu_C(x_0) = 1$ ，如圖 2.7(c)所示。

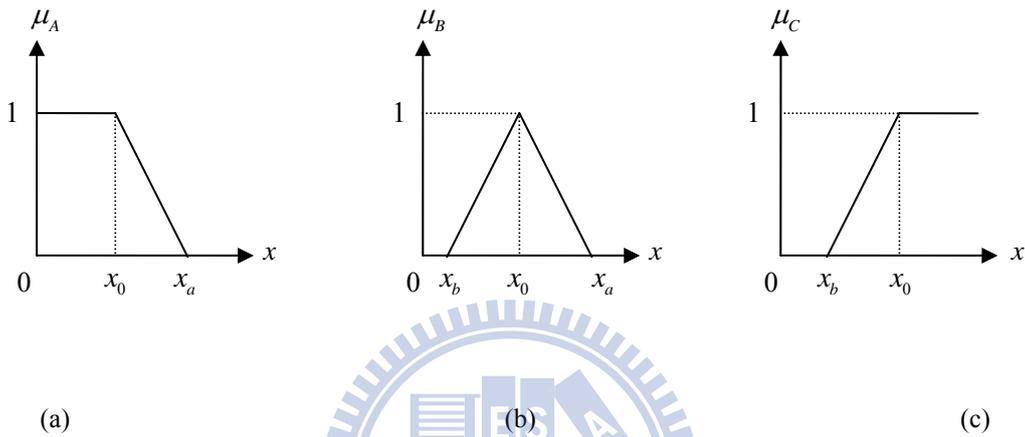


圖 2.7 歸屬函數。(a) Z 型；(b) 三角形；(c) S 型。

2.2.2 模糊規則庫

模糊規則庫是由一組以 IF-THEN 形式的模糊規則所組成，這組模糊規則是用以描述系統的輸入與輸出的關係，參考文獻[10]中對此有詳盡的說明。為了說明模糊規則及模糊規則庫的運作，首先本論文需要定義**語意式變數**(linguistic variable): $(x, U, \{T^1, T^2, \dots, T^k\}, \{\mu^1, \mu^2, \dots, \mu^k\})$ ，其中 x 是變數的名稱； U 是論域； T^i 是語意式變數的**語意值**(linguistic value)，令 $T(x) = \{T^1, T^2, \dots, T^k\}$ ，則 $T(x)$ 稱為 x 的**措詞集**(term set)； μ^i 是相對於 T^i 的歸屬函數。如果 x 是溫度，論域 U 定義於 $[0, 70]$ ，則措詞集可以是 $T(x) = \{\text{低}, \text{適中}, \text{高}\}$ 。

最常見的模糊規則型式有三種：語意式模糊規則、函數式模糊規則、以及 Tsukamoto 模糊規則，以下列出本論文使用的語意式模糊規則：

$$R^i : \text{IF } x \text{ is } A_i, \dots, \text{AND } y \text{ is } B_i, \text{ THEN } z \text{ is } C_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (2.36)$$

其中 x, \dots, y 以及 z 是語意式變數， A_i, \dots, B_i 以及 C_i 是相對於 x, \dots, y 以及 z 的語意值， x, \dots, y 以及 z 的論域分別是 U, \dots, V 以及 W 。

2.2.3 模糊推論引擎

模糊推論引擎是模糊系統的核心，它可以藉由近似推論或模糊推論的進行得到一推論出來的模糊資訊，用來模擬人類的思考決策[10]。以下藉由一個簡單的例子說明模糊推論的過程：

輸入： x is A and y is B

模糊規則 R^1 ：IF x is A_1 AND y is B_1 , THEN z is C_1

模糊規則 R^2 ：IF x is A_2 , AND y is B_2 , THEN z is C_2 (2.37)

輸出： z is C

假設兩輸入的模糊集合皆為模糊單點(fuzzy singleton)，兩個模糊規則的啟動強度(firing strength)可以分別表示為：

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad \text{and} \\ \alpha_2 &= \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0), \end{aligned} \quad (2.38)$$

根據 Mamdani 所提出的**最小值推論法**(minimum implication rule)，最後推論出模糊集合 C ，其歸屬函數為：

$$\mu_c(z) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(z)], \quad (2.39)$$

以上的 \wedge 及 \vee 在此分別代表取最小值運算及取最大值運算。以上模糊推論過程如圖 2.8 所示。

2.2.4 去模糊化機構

去模糊化機構是將經過模糊推論之後產生的結論轉換為一明確數值的過程 [10]。採用不同的模糊規則，推論出來的結果型式會不同，語意式模糊規則經由模糊推論引擎推論出來的結果是一模糊集合。常見的去模糊化的方法是**中心面積法**(center of area defuzzifier, COA)以及**最大平均法**(mean of maximum defuzzifier, MOM)。本論文採用中心面積法，當論域為離散時，其明確輸出值由以下式子得出：

$$z_{COA} = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_C(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N \mu_C(z_i)}, \quad (2.40)$$

其中 N 代表輸出的**量化數**(quantization level)， z_i 代表第 i 個量化值，以及 $\mu_C(z_i)$ 代表 z_i 屬於模糊集合 C 的歸屬值。

2.3 二值化

影像二值化[12]是用灰度變換來研究灰階影像的一種常用的方法，即設定某一閾值(Threshold)，用 Threshold 將灰階影像的數據分成兩部分：大於閾值的像素群和小於閾值的像素群。例如：輸入灰階影像函數為 $f(x,y)$ ，輸出二值影像函數為 $g(x,y)$ ，

$$g(x,y) = \begin{cases} A & f(x,y) \geq Threshold \\ 0 & f(x,y) \leq Threshold \end{cases} \quad (2.41)$$

則通過求解閾值(Threshold) 從而把灰階影像 $f(x,y)$ 分成特徵物和背景兩個區域閾值，是把影像和背景區分開的標尺。選取適當的閾值就是既要盡可能保存影像資訊，又要盡可能減少背景和雜訊的干擾。這是選擇閾值的原則，按照這樣一種思維可以將現有的二值化方法大致分成三大類。

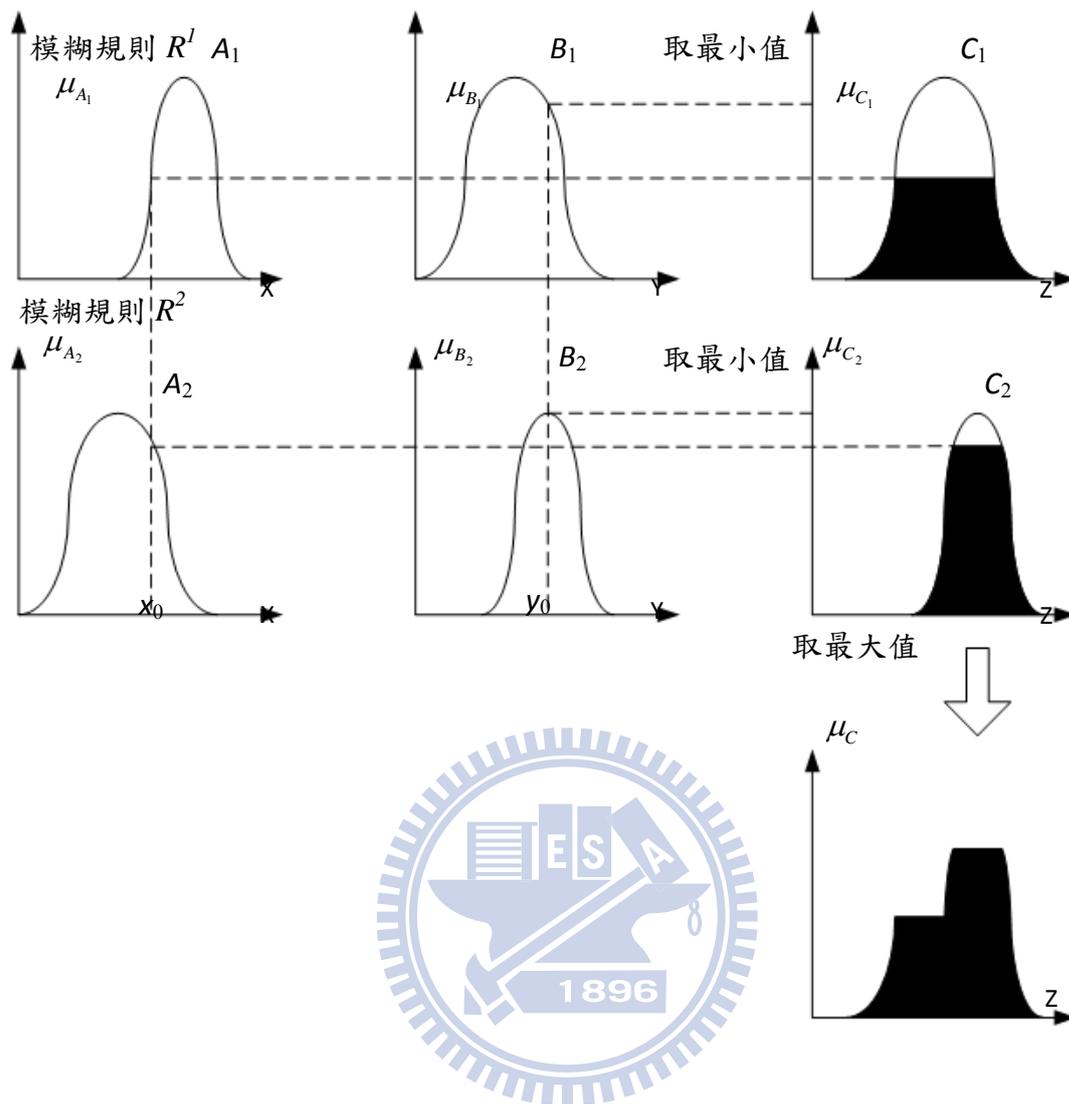


圖 2.8 一個模糊推論過程的例子。

2.3.1 常見二值化方法

整體二值化法是指根據經驗或灰階影像的直方圖分佈，為整幅影像確定一個閾值，閾值的確定一般分為兩種：

(1) 人工設定閾值：

這種方案中先根據經驗或實驗設置一個固定的閾值，然後對每個像素按上述式子進行二值化處理。

(2) 由灰階直方圖確定整體閾值：

利用原始影像灰階分佈的直方圖，能給出影像灰階值的概貌描述，設灰階值

f 取值是0至255之間的整數， $f=0$ 為黑色， $f=255$ 為白色。 $p(f_k)$ 表示灰階值為 k 的概率， n_k 表示灰階值為 k 的像素的個數， n 為總像素的個數。則有通常以 $p(f_k)$ 為縱座標， f_k 為橫座標的影像，為其灰階直方圖。灰階直方圖通常有兩個峰值且波谷越深陡，二值化效果也越好，這是根據影像和背景的灰階值確定整體閾值的方法。

整體閾值方法一般只考慮到整體影像的平均灰階值，並未顧及到每個影像的不同之處，所以其二值化在總體執行速度上較快，且演算法簡單易於理解，但因為其對輸入影像量化，雜訊或不均勻光照等情況抵抗能力差。在一些有干擾的影像上，會發生錯誤判斷，使整幅影像的二值化效果達不到後續作業的要求。所以在應用上受到極大限制，比較典型的整體二值化演算法有：梯度均值法、微分直方圖法等。

局部閾值二值化方法對於目標和背景比較清楚的影像，整體閾值化方法可以取得較好結果。但是如果影像的背景不均勻或是目標灰階變化率比較大，整體閾值方法一般就不再適用了。由像素 (x,y) 的灰階值 $f(x,y)$ 和周圍點局部灰階特性來確定像素 (x,y) 的閾值，稱作局部閾值二值化。局部閾值選取，一般將影像劃分為若干子影像，根據每個子影像，確定相應的閾值，具體的閾值確定方法同整體閾值法。局部閾值法一般用於識別干擾比較嚴重品質較差的影像，較整體閾值方法有更廣泛的應用。但也存在缺點和問題，如實現速度慢以及容易出現偽影現象，即在背景受雜訊干擾等。比較典型的局部二值化演算法，有多閾值的梯度強度法基於紋理影像的方法最大方差法等。

動態閾值二值化方法應用局部閾值法後，從影像局部看來目標特徵物與背景是可分的，但是無法得到一個適用於整幅影像的整體閾值。因此提出了動態的局部閾值化演算法，也稱：適應性閾值化演算法。動態閾值的選擇，不僅取決於影像閾值以及其區域影像的灰階值，並且與該影像座標位置有關。動態是指根據每個影像及其區域影像的灰階值情況動態地計算，分割所需的閾值動態閾值二值化能夠從品質較差的影像，甚至單峰直方圖。但因為動態閾值化方法常常需要對影像中每個像素點都計算，閾值即對整幅影像求出一個閾值面(通常是曲面)，計算

量很大，運算速度一般比較慢。由於具有比較費時和某些失真的缺點，這在一定程度上阻礙其發展。比較典型的動態閾值二值化方法，有疊代法等。

2.3.2 Otsu二值化方法

Otsu(1979)所提出的方法[11]，主要用來二值化，用統計的方法來對其影像之像素分佈來做運算，求取最佳閾值，將影像切割變成黑與白，將其背景變成黑色(灰階值=0)，而要取之範圍圖形為前景則為白色(灰階值=255)，方便作其他處理。

Otsu的主要做法是將影像的像素值分為兩群C1、C2為一群，計算兩群內變異數(variance)之和為最小，或兩群間變異數之間的變異數為最大，滿足其中一個條件即可成立。其算式表示如下：

C1和C2變異數之和為：

$$\sigma_w^2 = W_1\sigma_1^2 + W_2\sigma_2^2 \quad (2.42)$$

C1和C2間變異數：

$$\sigma_b^2 = W_1(U_1 - U_{T^*})^2 + W_2(U_2 - U_{T^*})^2 \quad (2.43)$$

Otsu優點為可自動判別二值化閾值，不需要人為判斷，而其缺點為需要較多運算時間，且切割閾值易受背景影響。

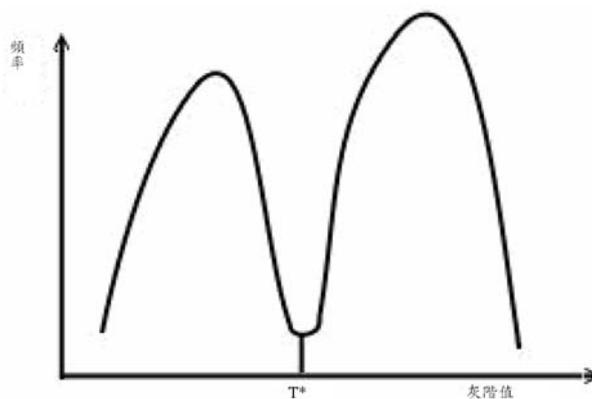


圖 2.9 像素分佈曲線，T*為最佳切割閾值。

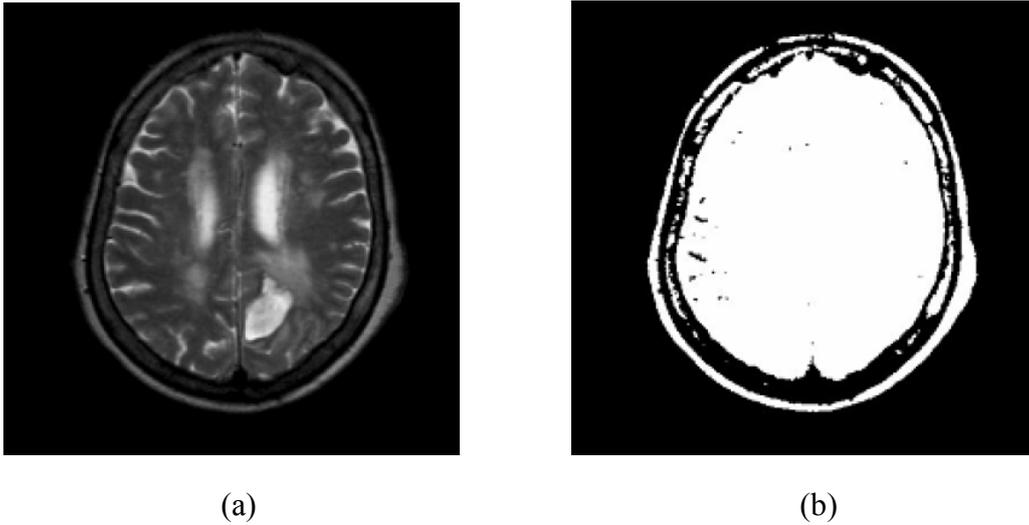
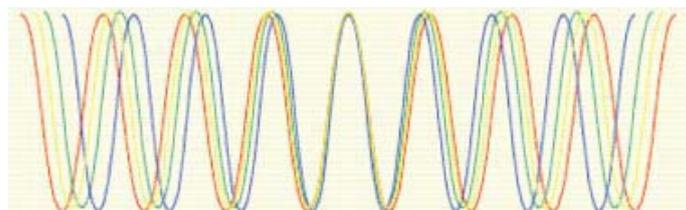


圖 2.10 二值化之結果 (a)為原始圖，(b)為經過Otsu之後的影像。

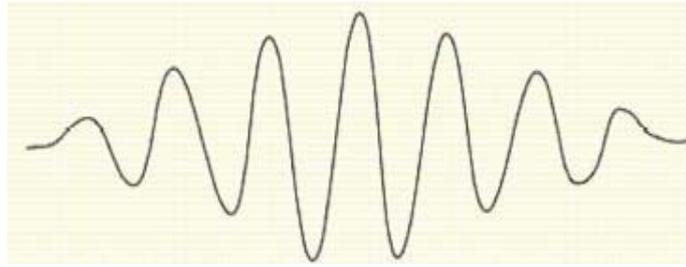
2.4 白光干涉原理

白光干涉原理[1][2]是利用白光同調性短不易產生干涉的特性，透過頻率與振幅相近的光波，可以形成如圖 2.11(a)、(b)所示的低同調性白光干涉波包，相較於單頻光，白光干涉有雜訊少的優點，在求取三維表面資訊上，白光干涉利用兩道相同特性之光波在零光程差時條紋對比最明顯之特性，來判定零光程差的發生位置，藉此取得待測物體的三維表面形貌變化。

再進一步說明，在利用白光干涉測量表面三維形貌[3]-[5]的過程中，對於被測表面上某一點來說，為了定位其零光程差位置，必須採用某種掃描方式改變參考鏡或者被測表面的位置，以此來獲得該點光強變化的離散數據，然後依據白光干涉的典型特徵來判別並提取最佳干涉位置。因此稱這種方法為掃描白光干涉測量法。下圖 2.11 (a)、(b)為白光干涉波包形成示意圖



(a)



(b)

圖 2.11 (a)各波長同調示意圖，(b)白光干涉波包。

圖 2.12 為白光干涉系統量測物體表面的示意圖，圖中表示物體表面起伏將影響相機影像中每一像素點干涉波包的發生高度，依循此高度變化，求取干涉零光程差位置，即可決定出該像素點之待測物體高度，進而求出待測物的整體表面輪廓。

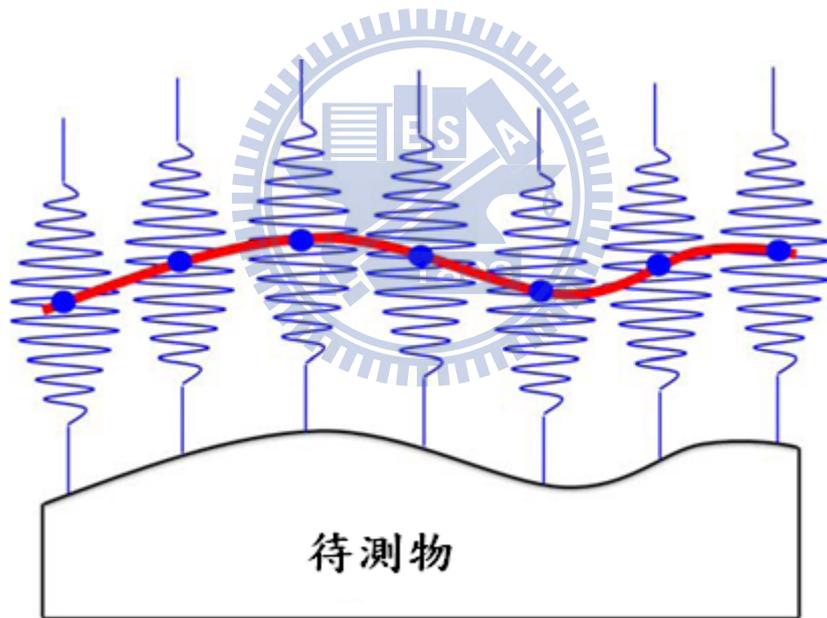


圖 2.12 白光干涉示意圖

第三章 系統流程說明

因待測物體種類繁多，表面條件的情況各異，白光干涉三維檢測系統在實際檢測上，可能因物體表面某些區域反射率低、表面吸光或是表面斜率太大，導致物鏡無法正確收到反射光，因而在垂直掃描過程中無法產生干涉，將導致輪廓計算錯誤情形發生。本論文提出利用白光干涉區域紋理的特性，並配合模糊系統，減少雜訊造成不符合常理的表面輪廓。由於白光干涉在平面的影像會有規律性的紋理，所以思考到利用紋理分析，又因為每張不同高度的圖有些略為不同的差異，故本論文欲利用模糊理論，將這些差異以不同程度表示，並加以推論像素所屬之高度；又因白光干涉在垂直方向在每點像素都會有不同的灰階值表現，利用此項特性，結合平面紋理的分析，再利用模糊系統加以推測出高度，建立出更加符合物體表面的輪廓。本章節分成3.1節系統流程概述、3.2節系統校正、3.3節平面方向高度估測系統、3.4節垂直方向高度估測系統、3.5節模糊待測物高度系統，並分別說明各部份的流程。

3.1 系統流程概述

圖 3.1 為系統的架構，整個系統的流程可以分成四個部份。第一個部份為系統校正，第二部份是平面高度估測系統，藉由從輸入影像中與背景，搭配區域紋理與模糊推論系統，本論文可以得到估測的高度。第三部分是垂直方向高度估測系統，本論文同樣利用簡單的多值化配合模糊推論系統，得到估測的高度。用模糊理論的原因在於無法估測高度的部分，可藉由模糊理論來推算較有可能的高度值。第四部份則是模糊待測物高度系統，它接受水準方向估測系統以及垂直方向估測系統所估測出來的資訊，交由模糊推論系統推論出適當的高度值。而平面高度估測系統與垂直高度估測系統的差異在於，平面高度估測系統有區域性的判斷，對於無法判斷高度之像素，能獲得較精準的高度值；而垂直高度系統則擁有較快的估測速度，在用模糊理論結合兩者，可有較精確的高度值。

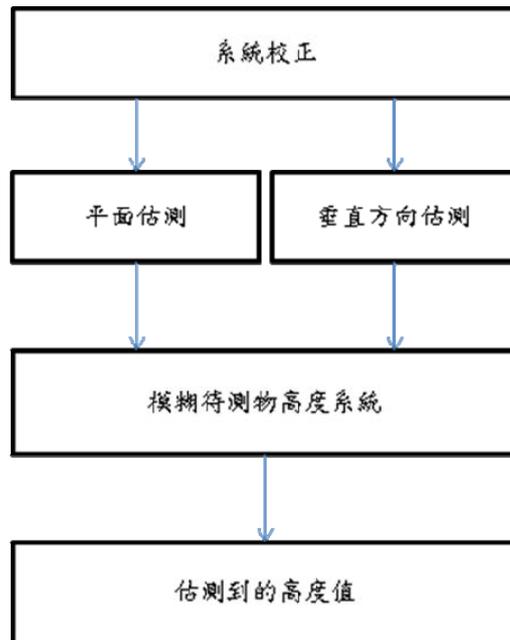


圖3.1 系統架構圖。

3.2 系統校正

白光干涉系統為確保量測的準確性品質，必須進行各項系統校正，主要的校正項目有相機正交、垂直量測校正(高度校正)以及水準解析度校正。

(1) 相機正交:

目的是使相機之影像橫縱軸方向與移動平臺的 X 、 Y 軸移動方向一致；若無法使方向一致，在大面積量測時，將難以將各FOV(field of view)的影像資訊正確結合在一起。

(2) 水準解析度校正:

目的是要求得影像上每個像素點所代表的實際物理大小，衡量依據是以已知實際物理長度的line pair 標準片配合相機取像運算，計算出對應的像素點投射在物體表面的大小，作為三維表面量測的水準方向資訊依據。

(3) 垂直量測校正(高度校正):

使用階高標準片來進行高度校正的動作，使系統準確性可以追溯至

NIST 標準，以確保三維表面量測高度方向的準確性。

白光干涉量測系統使用顯微干涉物鏡，由於景深較短因此常造成使用者量測時的對焦不便，此外，由於使用垂直掃描技術，故垂直掃描範圍必須包含影像中待測物體的表面起伏範圍，若是待測物體表面傾斜，表面法線方向與光軸存在一傾角如圖 3.2(b)，則掃描範圍必須相對加大以涵蓋物體表面的干涉波包，如此一來，掃描範圍與掃描時間將相對增加，進而影響整體的量測速度。

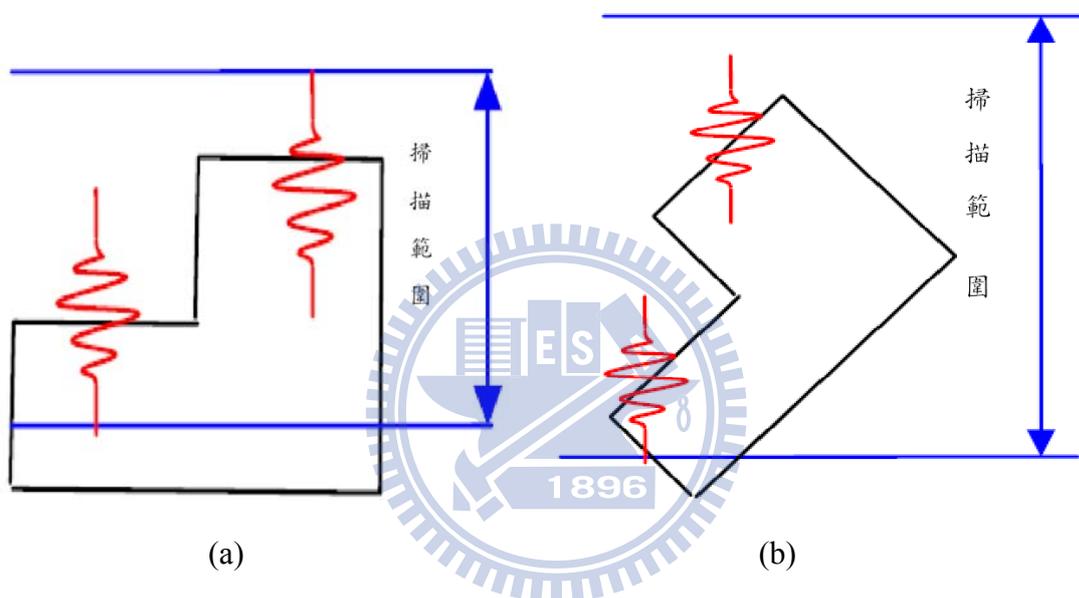


圖 3.2 待測物體的傾角導致掃描範圍加大之示意圖，

(a)待測物體調平後的垂直掃描範圍圖，(b)待測物體傾斜時的垂直掃描範圍。

3.3 平面高度估測系統

由於白光干涉在平面的影像會有規律性的紋理，所以思考到利用紋理分析，又因為每張不同高度的圖有些略為不同的差異，故本論文欲利用模糊理論，將這些差異以不同程度表示，並加以推論像素所屬之高度。3.4.1 節會先說明系統所需要的資料讀取方法與影像前處理。3.3.2 節會介紹特徵抽取的方法。3.3.3 節模糊白光干涉程度估測高度的方式。圖 3.3 為水準方向估測高度系統流程圖。

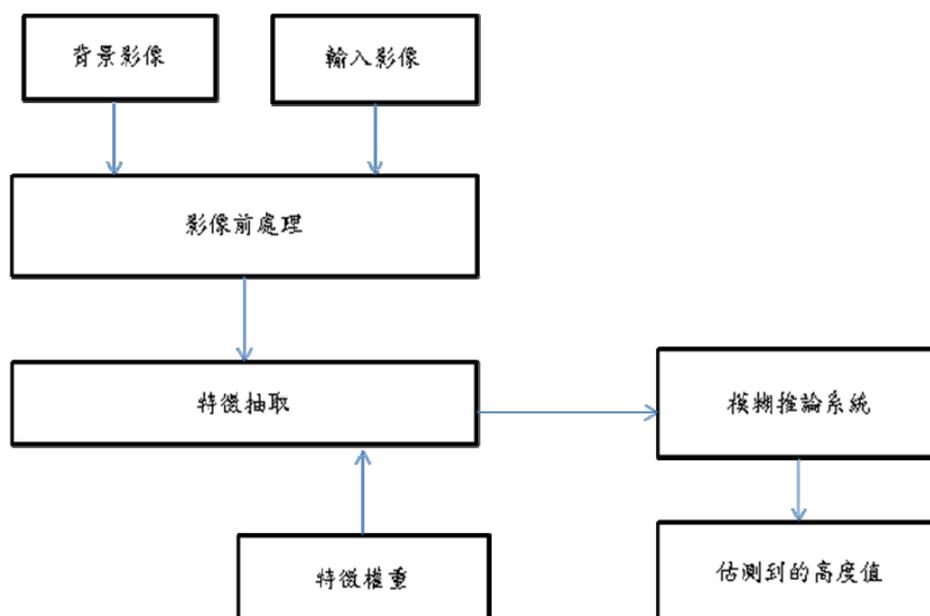


圖 3.3 平面估測高度系統流程圖。

3.3.1 資料讀取與影像前處理

本論文先說明如何把拿到的資料轉變成圖片。由於所使用的資料是屬於列數據(row data)，必須先經過處理才能轉變成圖片。

A_1	A_2	A_3	...	A_{17}	...	A_{i-1}	A_i
-------	-------	-------	-----	----------	-----	-----------	-------

圖 3.4 列數據資料示意圖。

圖 3.4 A_1 到 A_{16} 皆不屬於圖片的資料， A_{17} 開始才是圖片的資料，一直到 A_i ，其中 $i=640*480*圖片張數加上十六$ 。並且把這一維矩陣轉成一系列 $640*480$ 的圖片資料。

再來介紹所需使用到的影像前處理。因為本來的圖片是彩色圖片，但由於顏色的關係，容易讓人誤以為是灰階圖片。本論文將對輸入影像的目標區域抽取紋理特徵，而使用灰階共生矩陣抽取紋理特徵的條件就是輸入影像需為灰階影像，所以本論文首先必須要將相機擷取到的彩色影像轉為灰階影像。將彩色輸入影像

I 轉為灰階影像 I_g 的一個簡單方法是將彩色影像的 R 、 G 還有 B 值平均，如下式所示：

$$I_g(u, v) = \frac{1}{3}I_r(u, v) + \frac{1}{3}I_g(u, v) + \frac{1}{3}I_b(u, v), \quad (3.1)$$

其中 $I_r(u, v)$ 、 $I_g(u, v)$ 以及 $I_b(u, v)$ 分別為輸入彩色影像座標 (u, v) 的 R 、 G 以及 B 值。圖 3.5 (a)、(b) 顯示了一個將彩色影像轉為灰階的例子。

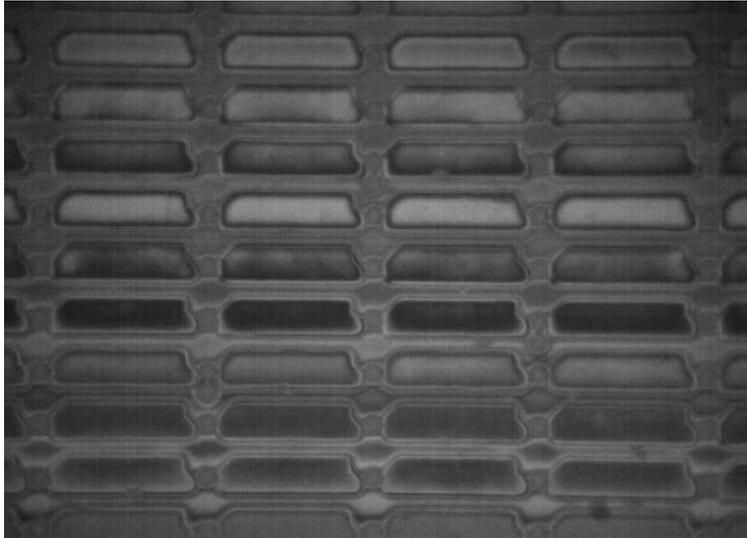
本論文影像前處理的部分，包括 Otsu 多值化、邊緣偵測、形態學。本論文將會先進行多值化。在此先說明 Otsu 多值化。一張灰階影像經由基本 Otsu 方法計算影像類別間的變異數而取出一個閾值，以閾值當作指標做二值化，但由於影像拍照過程中，由於會有不同的白光干涉情形，所以單單使用二值化效果不盡理想。因此，在本論文中，以 Otsu 做為基礎，將影像做出多值化的實驗，以獲得較佳的效果。

本論文首先使用 Otsu 得到一個閾值，將會分出兩群 $C1$ 、 $C2$ ，再分別對兩群 $C1$ 、 $C2$ 做處理，使用 Otsu 做處理，將 $C1$ 分成兩群： $C1_a$ 、 $C1_b$ ，將 $C2$ 分成兩群 $C2_a$ 、 $C2_b$ 。即可得到四群。流程如下頁圖 3.6 所示，如有需要，也可將圖片做成八群，示意圖如圖 3.7 所示。

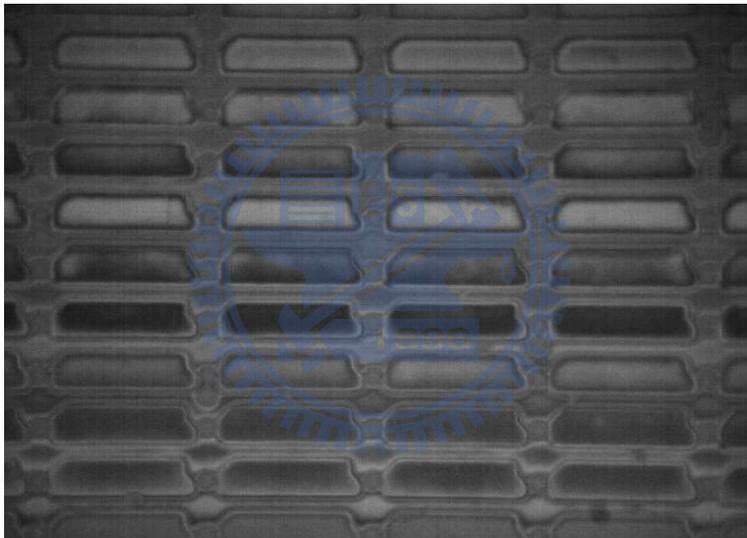
做完多值化的步驟將使其原始圖灰階差異更明顯，對於邊緣偵測的效果較佳。而會使用到邊緣偵測的原因在於：

- (1) 在邊緣區域內的平面高度，通常高度差距並不會相差太多，有助於判斷高度。
- (2) 本論文將以邊緣形成的區域，作為大型遮罩，對於金屬形成的高峰雜訊檢測，可以省下運算時間。

邊緣是兩個區域有明顯的灰階差異時所產生的。導數運算一般是利用空間濾波器去實現，空間域濾波是考慮頻率域濾波的方法—將頻率域的遮罩經迴旋積分



(a)



(b)

圖 3.5 將彩色影像轉為灰階的例子(a)為原始彩色圖片，(b)彩色影像轉成灰階影像的例子。

轉化成空間域的遮罩，而遮罩本身又稱為空間濾波器。

邊緣偵測中最常使用來求導數的方法是梯度運算，一個函數 $f(x, y)$ ，在 (x, y) 的地方梯度定義如下：

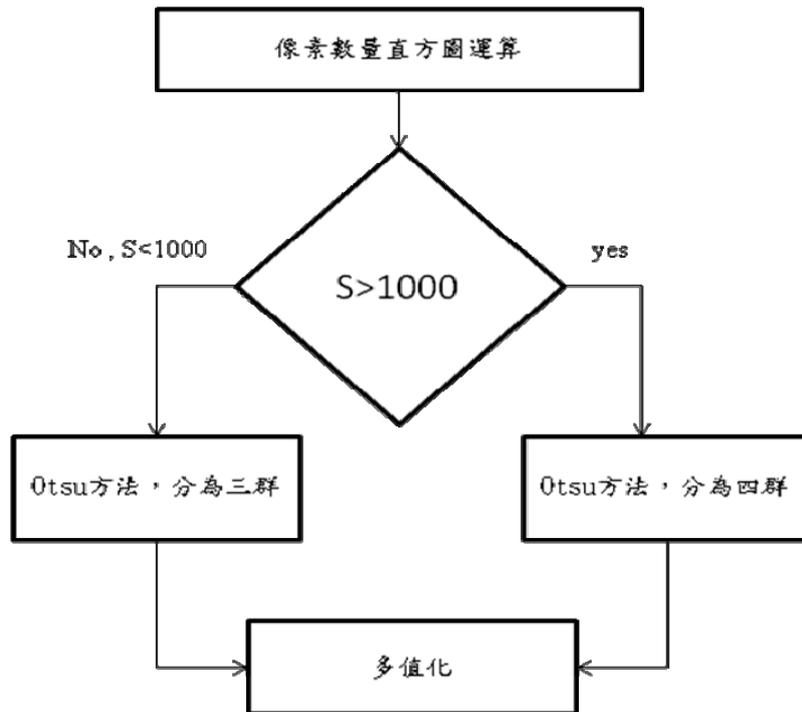


圖 3.6 Otsu 分成多值化流程圖。

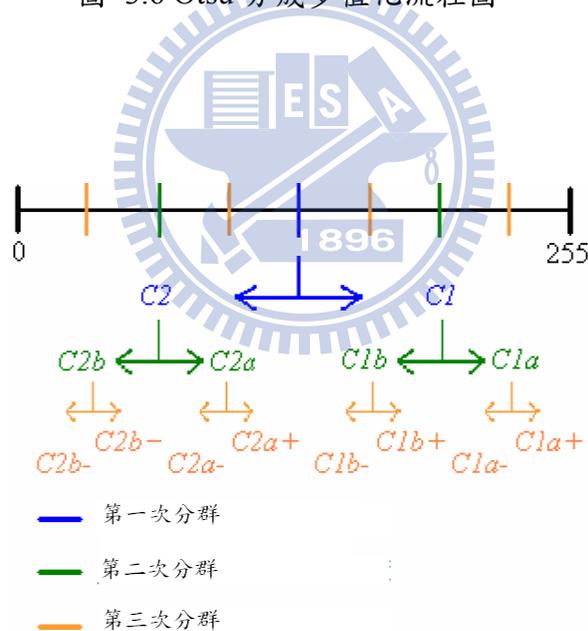


圖 3.7 以 Otsu 方法分群示意圖。

$$\nabla f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

∇f 的向量大小為：

$$\|\nabla f\| = [g_x^2 + g_y^2]^{1/2}, \quad (3.3)$$

在實際應用上，向量的大小近似為絕對值的和：

$$\|\nabla f\| = |g_x| + |g_y|, \quad (3.4)$$

本論文採用的是 Sobel 空間濾波器來進行邊緣偵測。

接著本論文將使用形態學的侵蝕(erosion)及膨脹(dilation)兩種運算，目的是將其觀察到的形狀做為一個大型的遮罩(mask)，其用途是在能縮短運算時間，減少不必要的運算量。

形態學有許多各式各樣的運算可以用來處理物體的外形及結構。這些運算是使用在二值化影像。侵蝕(erosion)及膨脹(dilation)是兩種最基本的運算，斷開(opening)及閉合(closing)運算是侵蝕及膨脹這兩種運算的延伸。

首先介紹一些基本定義，設 A 和 B 是 Z^2 中的兩個集合，它們的分量分別為 $\mathbf{a}=(a_1, a_2)$ 以及 $\mathbf{b}=(b_1, b_2)$ ，則 A 平移 $\mathbf{x}=(x_1, x_2)$ ，用 $(A)_{\mathbf{x}}$ 表示之，定義為

$$(A)_{\mathbf{x}} = \{\mathbf{c} \mid \mathbf{c} = \mathbf{a} + \mathbf{x}, \mathbf{a} \in A\}, \quad (3.6)$$

B 的反射，用 \hat{B} 表示之，定義為

$$\hat{B} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} = -\mathbf{b}, \mathbf{b} \in B\}, \quad (3.6)$$

A 的補集是

$$\bar{A} = \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \notin A\}, \quad (3.7)$$

A 和 B 的差集表示為 $A-B$ ，定義為

$$\begin{aligned} A-B &= \{\mathbf{x} \mid \mathbf{x} \in A, \mathbf{x} \notin B\} \\ &= A \cap \bar{B}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 侵蝕記為 $A \ominus B$ ，定義為

$$A \ominus B = \{\mathbf{x} \mid (B)_{\mathbf{x}} \subseteq A\}. \quad (3.9)$$

下圖 3.8 是一個侵蝕的例子，圖 3.8(a) 中灰色部分是影像的集合 A ，圖 3.8(b) 中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 3.8(c) 中灰色部份是侵蝕後的集合。

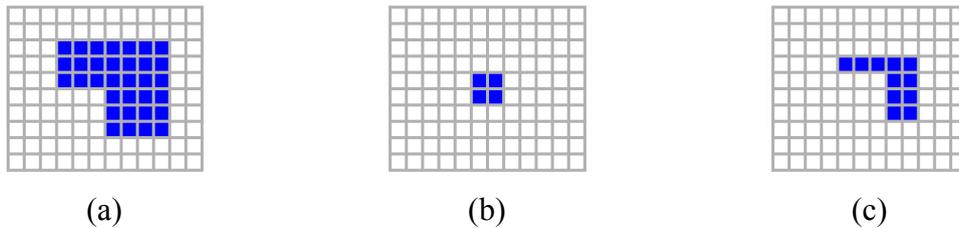


圖 3.8 侵蝕運算。(a) 侵蝕前影像；(b) 結構元素；(c) 侵蝕後影像。

假設一影像的集合為 A ，且有一結構元素的集合為 B ，則 A 被 B 膨脹記為 $A \oplus B$ ，定義為

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \Phi\}, \quad (3.10)$$

圖 3.9 是一個膨脹的例子，圖 3.9(a) 中灰色部分是影像的集合 A ，圖 3.9(b) 中灰色部分是結構元素的集合 B ，圖 3.9(c) 中灰色部份是膨脹後的集合。

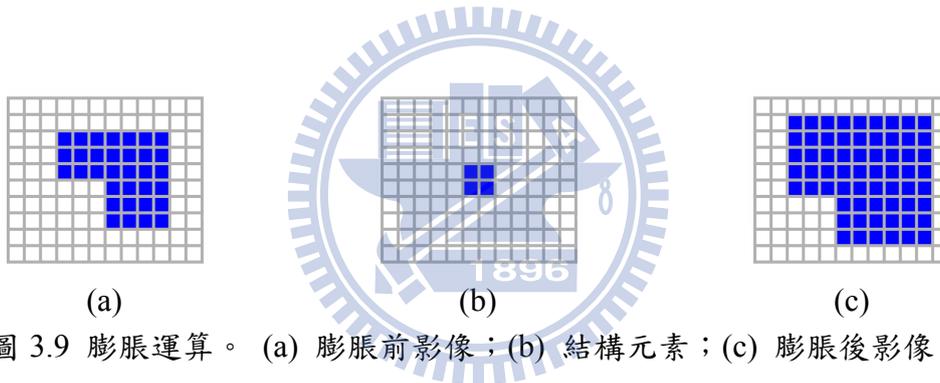


圖 3.9 膨脹運算。(a) 膨脹前影像；(b) 結構元素；(c) 膨脹後影像。

影像的斷開運算是由侵蝕運算及膨脹運算所組成。斷開運算可以定義成：

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \quad (3.11)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過侵蝕後再膨脹。

斷開運算可以用來消除物體突出的地方及雜訊。

閉合運算剛好與斷開運算相反，它可以定義成：

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B, \quad (3.12)$$

其中 A 是影像的集合， B 是結構元素，它代表的意思為影像先經過膨脹後再侵蝕。

閉合運算可以用來消除影像中的空洞及填滿空隙。

利用膨脹運算可以延展影像的邊界；侵蝕運算可以將邊界收縮；斷開運算可

以平滑輪廓，將狹長帶截斷，並消除孤立的雜訊點；閉合運算可以平滑輪廓，將狹窄的斷開處接合，以及填滿影像中的小洞。如此把這些形態學的運算加以應用，就可得到符合邊緣形狀的大型遮罩(mask)。

3.3.2 特徵抽取

系統需要抽取兩個特徵以供判別白光干涉的有無，一個是灰階像素，以 NP 表示；另一個則是與背景的紋理差異，以 $Diff$ 表示，相關說明如下。

要辨識場景中待測物上的白光干涉有無，最直觀的想法就是比較與並未受到白光干涉影像中背景物件的多少，本論文可以將前景與背景分離開來，由於在做實驗時，一開始接收到的圖片，並不會受到白光的影響，所以一開始的背景，本論文使用第一張的圖片來當作本實驗的背景，並且不需要加入額外的步驟來移除不需要的背景；得到前景影像 I_p 後，本論文可以對它計算正規化像素總數 NP ：

$$NP = \sum_{u,v} c(u,v) \cdot ng(u,v),$$

$$c(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{if } I_p(u,v) = 1, \\ 0, & \text{if } I_p(u,v) = 0, \end{cases} \quad (3.13)$$

其中 $ng(u, v)$ 為影像座標點 (u, v) 的正規化增益。對每張輸入影像抽取特徵 NP 可以得到前景像素與前景物件之間的關係，使得比較不同影像前景多寡的工作變得單純，若 NP 較大則代表白光干涉影響較大；相反地，若 NP 較小則代表白光干涉影響較小

本論文很容易注意到，有受到白光干涉的區域，有著明顯黑白相間的規律，這樣的發現給了本論文抽取灰階影像目標區域紋理特性當作特徵的想法。抽取紋理特徵的工具是利用 2.1.2 節所介紹的灰階共生矩陣；為了不失一般性，位置運算元 R 定義為「 0° ， 45° ， 90° 及 135° 且為中心像素旁邊的第一個像素」；抽取的特徵包括對比度 Cts 、相關性 Cor 、能量 Eng 、一致性 Hom 以及熵 Etp 。對灰階輸入影像以及灰階背景影像抽取特徵可分別得到四組具有五個分量的特徵向

量，每一組向量代表一個方向的特徵抽取結果，特徵向量中的每一個分量代表一個紋理特徵的計算量度。若將輸入影像 I 的 0° 方向所抽取之特徵向量以 \mathbf{I}_0 表示，其分量之一的對比度以 $ICts_0$ 表示，相關性以 $ICor_0$ 表示，則依此類推，與輸入灰階影像 I 有關的四組特徵向量可以下式表示：

$$\begin{aligned}\mathbf{I}_0 &= [ICts_0 \quad ICor_0 \quad IEng_0 \quad IHom_0 \quad IEpt_0]^T, \\ \mathbf{I}_{45} &= [ICts_{45} \quad ICor_{45} \quad IEng_{45} \quad IHom_{45} \quad IEpt_{45}]^T, \\ \mathbf{I}_{90} &= [ICts_{90} \quad ICor_{90} \quad IEng_{90} \quad IHom_{90} \quad IEpt_{90}]^T, \\ \mathbf{I}_{135} &= [ICts_{135} \quad ICor_{135} \quad IEng_{135} \quad IHom_{135} \quad IEpt_{135}]^T,\end{aligned}\tag{3.14}$$

同樣地，與輸入灰階影像 B 有關的四組特徵向量可以下式表示：

$$\begin{aligned}\mathbf{B}_0 &= [BCts_0 \quad BCor_0 \quad BEng_0 \quad BHom_0 \quad BEpt_0]^T, \\ \mathbf{B}_{45} &= [BCts_{45} \quad BCor_{45} \quad BEng_{45} \quad BHom_{45} \quad BEpt_{45}]^T, \\ \mathbf{B}_{90} &= [BCts_{90} \quad BCor_{90} \quad BEng_{90} \quad BHom_{90} \quad BEpt_{90}]^T, \\ \mathbf{B}_{135} &= [BCts_{135} \quad BCor_{135} \quad BEng_{135} \quad BHom_{135} \quad BEpt_{135}]^T,\end{aligned}\tag{3.15}$$

這麼多的特徵向量在使用上並不方便，所以本論文利用式子(3.16)來將它們簡化：

$$f_std = \sqrt{\frac{(If_0 - Bf_0)^2 + (If_{45} - Bf_{45})^2 + (If_{90} - Bf_{90})^2 + (If_{135} - Bf_{135})^2}{4}},\tag{3.16}$$

式子(3.17)的意義為計算所求的某個特徵分量 f 在四個給定的方向上，輸入影像相對於背景影像的標準差，其中 f 依序以 Cts 、 Cor 、 Eng 、 Hom 以及 Etp 代入則可以得到 Cts_std 、 Cor_std 、 Eng_std 、 Hom_std 以及 Etp_std ，將這五個特徵分量之標準差合併起來可以得到新的特徵向量 \mathbf{F} ：

$$\mathbf{F} = [Cts_std \quad Cor_std \quad Eng_std \quad Hom_std \quad Etp_std]^T,\tag{3.17}$$

假設若以灰階背景影像所求得的紋理特徵為基準點，則特徵向量 \mathbf{F} 就代表了目前輸入影像的紋理特徵偏離了這個基準點的量度。

本論文雖然已經將特徵從四組二十個簡化為一組五個，但是目前若要使用特徵向量 \mathbf{F} 則仍然不太恰當，原因是本論文所抽取的特徵們其所對應的值域各不

相同，若是直接使用，則可能會被其中某個值域範圍較大的特徵分量所主宰，因而失去其他特徵的價值；這樣的問題可以藉由給予特徵適當的權重來改善，相關內容已於 2.1.3 中討論過。在本論文裡，本論文選取影像序列中的十張連續影像，計算它們個別的特徵向量 \mathbf{F} ，再利用這些資訊與 2.1.3 節中所討論的方法求得每一個分量的權重；選擇的十張連續影像以靜態影像為宜。隨著選取影像序列的不同，計算而得的權重係數也會跟著不同，但是應該都會呈現固定的大小關係。

式子(3.18)是在式子(2.22)的限制下，計算出的權重係數矩陣 \mathbf{W}_1 ：

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} 0.002 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0104 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8666 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1218 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.001 \end{bmatrix}, \quad (3.18)$$

經過 \mathbf{W}_1 映射後，特徵空間的集合內部距離從 10^{-4} 的數量級縮小到 10^{-8} 的數量級。

式子(3.19)則是在式子(2.28)的限制下計算出的權重係數矩陣 \mathbf{W}_2 ：

$$\mathbf{W}_2 = \begin{bmatrix} 0.1366 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8.5246 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.1965 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2879 \end{bmatrix}, \quad (3.19)$$

經過 \mathbf{W}_2 映射後，特徵空間的集合內部距離從 10^{-4} 的數量級縮小到 10^{-5} 的數量級。

從 \mathbf{W}_1 與 \mathbf{W}_2 本論文可以看出，能量以及像素之間的一致性是最重要的兩個特徵，尤其是能量；其他三個特徵的重要性相對起來則是低得多。

由於經過 \mathbf{W}_1 映射的特徵空間其集合內部距離遠小於經過 \mathbf{W}_2 映射的特徵空間之集合內部距離，因此，本論文選擇 \mathbf{W}_1 作為這個場景的權重矩陣 \mathbf{W} ，將輸入影像抽取出的特徵向量 \mathbf{F} 經過 \mathbf{W} 的映射後，各個分量便是同等重要；取其**第一範數**(one norm)，便可以將特徵向量 \mathbf{F} 化為一個純量，得到紋理特徵 $Diff$ ：

$$Diff = \|\mathbf{WF}\|_1, \quad (3.20)$$

其中 $\|\cdot\|_1$ 表示對向量取第一範數。

3.3.3 模糊平面高度估測系統

首先，本論文從影像序列中挑選一張白光干涉較為明顯的影像，接著對它進行特徵抽取，將得到的影像像素 NP 以 NP_{\max} 表示；紋理特徵 $Diff$ 以 $Diff_{\max}$ 表示，分別將這兩個參數當作特徵抽取時的上界，因此本論文可以對每張輸入影像計算 NP 與 NP_{\max} 的比值 NP_{ratio} ，以及 $Diff$ 與 $Diff_{\max}$ 的比值 $Diff_{ratio}$ ：

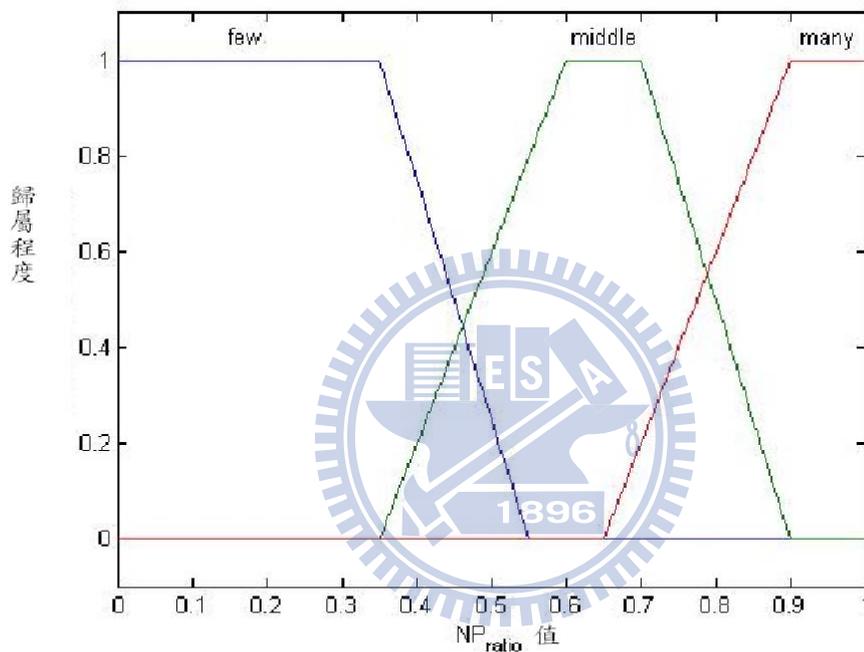
$$\begin{aligned} NP_{ratio} &= \frac{NP}{NP_{\max}}, \\ Diff_{ratio} &= \frac{Diff}{Diff_{\max}}, \end{aligned} \quad (3.21)$$

將對輸入影像抽取的特徵轉化為 NP_{ratio} 以及 $Diff_{ratio}$ ，便可以將這兩個參數送入模糊白光干涉程度估測系統來估測高度。

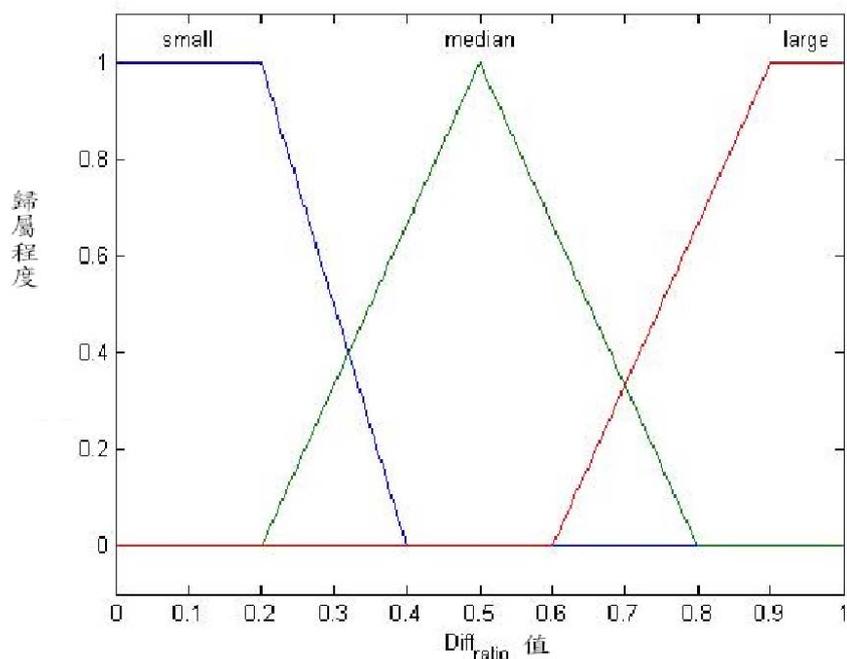
本論文要進行估測高度，會以不同尺度的紋理特徵圖進行估測。所謂不同尺度是只利用不同大小的遮罩(mask)來產生不同的紋理特徵圖。依序由大型遮罩到小型遮罩來進行估測。

模糊白光干涉程度估測系統並不去真正算出白光出現的條紋數目等微觀尺度量度，而只是判斷屬於白光干涉的程度，將屬於白光干涉的高低程度正規化為 $[0, 1]$ 之間的數，越接近 0 則表示屬於白光干涉程度越少，對於在本論文的應用上，則表示此區域越偏離當時量測的高度位置，越接近 1 則代表屬於白光干涉程度越高，表示此區域越靠近當時量測的高度位置。模糊白光干涉程度估測系統有兩個輸入參數，分別為 NP_{ratio} 以及 $Diff_{ratio}$ ，它們的值域都是 $[0, 1]$ ；系統輸出只有一個，為屬於白光干涉程度 IV_{degree} ，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化的時候，輸出的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。 NP_{ratio} 有三個措詞集，分別為多(many)、中(median)以及少(few)； $Diff_{ratio}$ 也有三個措詞集，分別為大(large)、中(median)以及小(small)； IV_{degree} 則有五個措詞集，分別為最高(highest)、較高(higher)、中(median)、較小(smaller)以及最小(smallest)。這三個變數的歸屬函數如圖 3.10 所示。

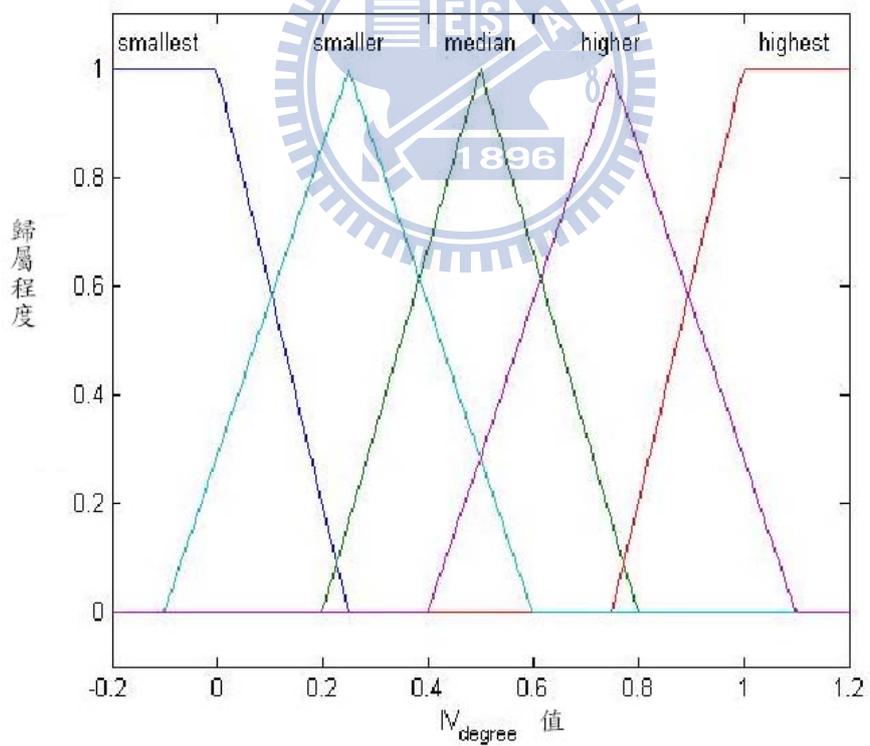
模糊推論系統的架構已在 2.2 節中介紹過，本論文使用的推論方法為 Mamdani 最小值推論法，模糊規則的形式為語意式模糊規則，去模糊化的方法為面積中心法，模糊白光干涉程度估測系統的模糊規則共有九條，詳列在表 3.1 內，輸入與輸出之間的關係則可以從圖 3.11 中的曲面看出。這九條模糊規則的意義是：當影像中的白光干涉的區域越多，而且灰階輸入影像與灰階背景影像在目標區域內的紋理差異越大，則推論出的屬於白光干涉程度就越大。



(a)



(b)



(c)

圖 3.10 模糊平面高度估測系統的歸屬函數。(a) NP_{ratio} 的歸屬函數；(b) $Diff_{ratio}$ 的歸屬函數；(c) IV_{degree} 的歸屬函數。

本論文模糊估測系統除了可以估測屬於白光干涉程度高低，亦有可以間接把有汙點的雜訊濾除的好處，同樣也可以把屬於白光干涉程度化為[0,1]之間的數，越接近 0 表示屬於白光干涉影響程度越低；越接近 1 則表示屬於白光干涉影響程度越高。

3.4 垂直方向高度估測系統

不同於平面方向高度估測系統，垂直方向高度估測系統，是以單一一個像素來做判斷。由於輸入的每一張影像都是以垂直拍照而下，在白光干涉的地方會產生跟背景不同的灰階值，尤其作完多值化之後，有無受到白光干涉，可以

表 3.1 模糊平面估測系統的模糊規則。

$Diff_{ratio}$ \ NP_{ratio}	few	median	many
Small	smallest	smaller	median
Median	smaller	median	higher
Large	median	higher	highest

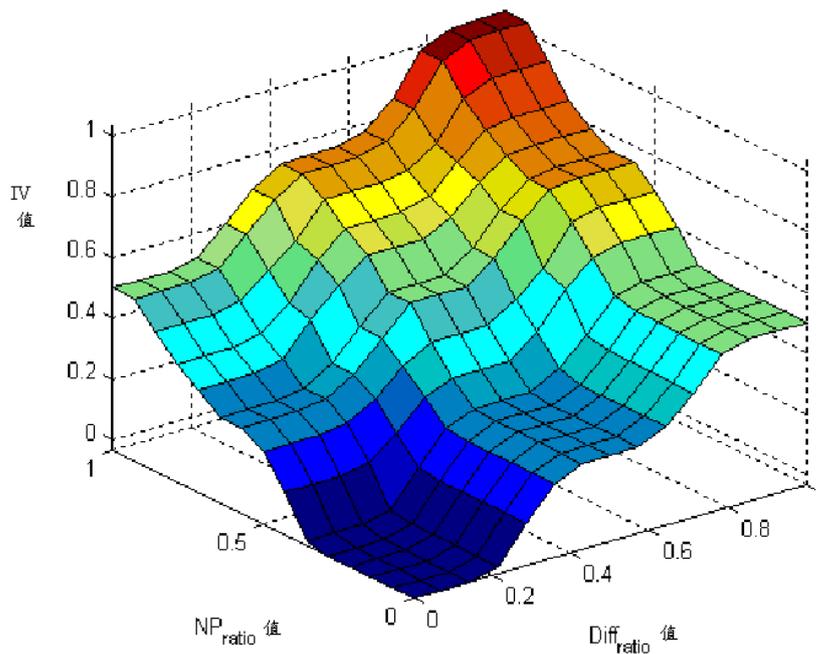


圖 3.11 NP_{ratio} 、 $Diff_{ratio}$ 以及 IV_{degree} 之間的關係。

流程图。在影像前處理的部分，在前一節 3.3 節已說明過，3.4 節所使用到的影像前處理更加簡單，僅使用多值化的部分。會單使用灰階值判斷的原因，是因為在每張影像中之間，灰階是最為直觀的，同時也是可以不經運算直接得到的數據，由於要用白光干涉測量，往往所需的影像都是上百張以上，在加上每張影像都是 640×480 個像素，能盡量減少運算，對於系統運算時間上有一定的幫助。單一像素在每張圖的灰階變化，當出現變化的時候，便是可能成為白光干涉之處。由於每張圖都是以 $0.1\mu\text{m}$ 的垂直距離所拍攝，利用此已知條件，配合著模糊推論系統，可以推斷出所屬高度。同點像素在不同影像的灰階變化示意圖如圖 3.13。



圖 3.12 垂直方向高度估測系統流程圖。

接著，本論文要進行所高度的估測。首先取出每張影像同一位置像素的灰階值，算出所有灰階之平均值 M ，接著將所有灰階值減去平均 M 可得差距 D ，

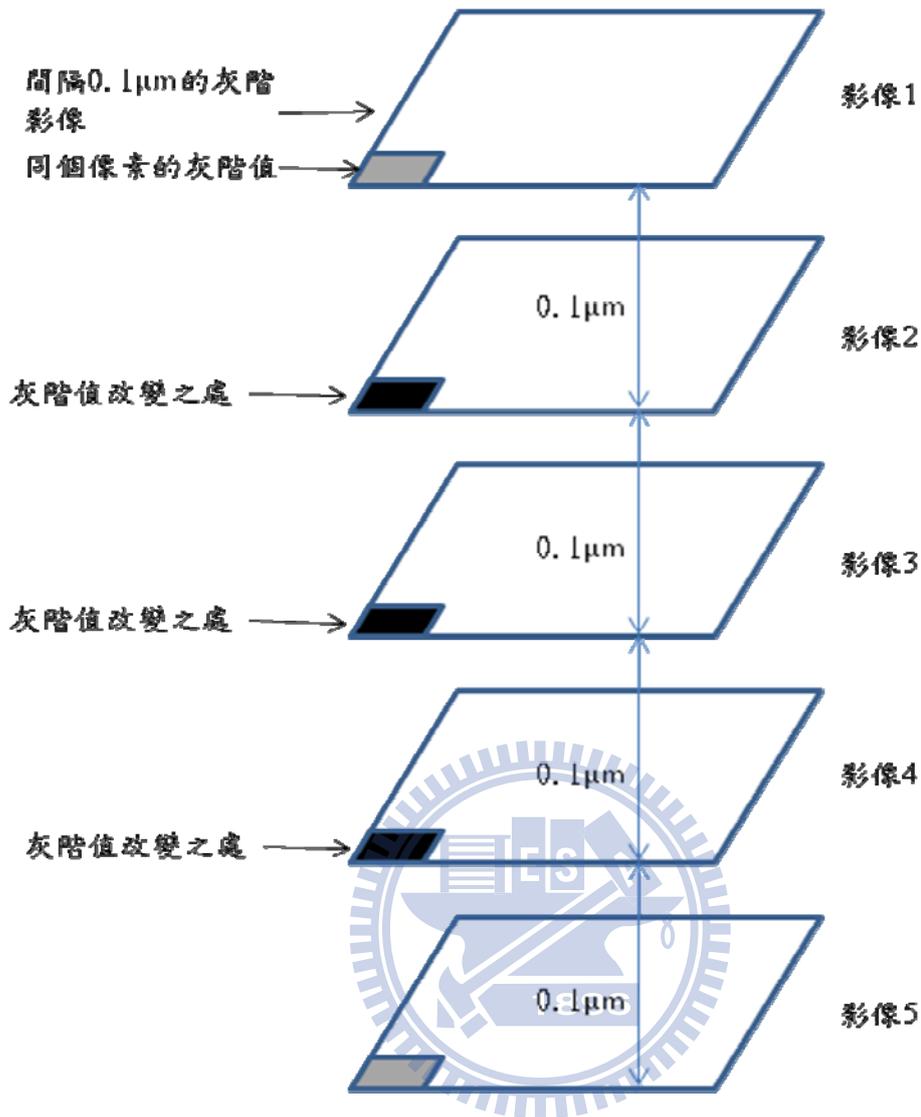


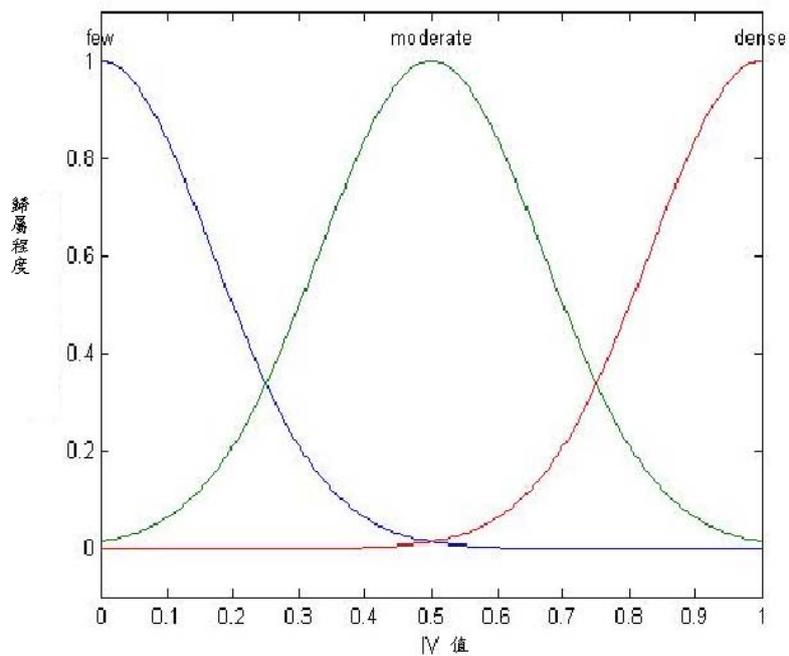
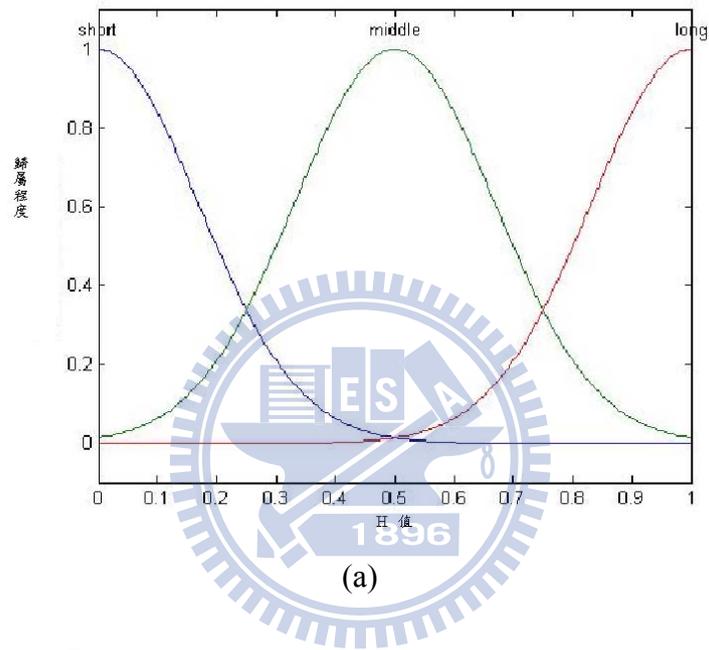
圖 3.13 同點像素在不同影像的灰階變化示意圖

令最大差距 $D=D_{max}$ ，令 D_{max} 為 100% 之程度，第 i 張影像灰階差距 D_i 之程度為 $100 \times \frac{D_i}{D_{max}} \%$ 。如此計算出像素在每張圖所屬高度的程度，本論文用 H_{degree} 表示，值域範圍為 $[0,1]$ 。

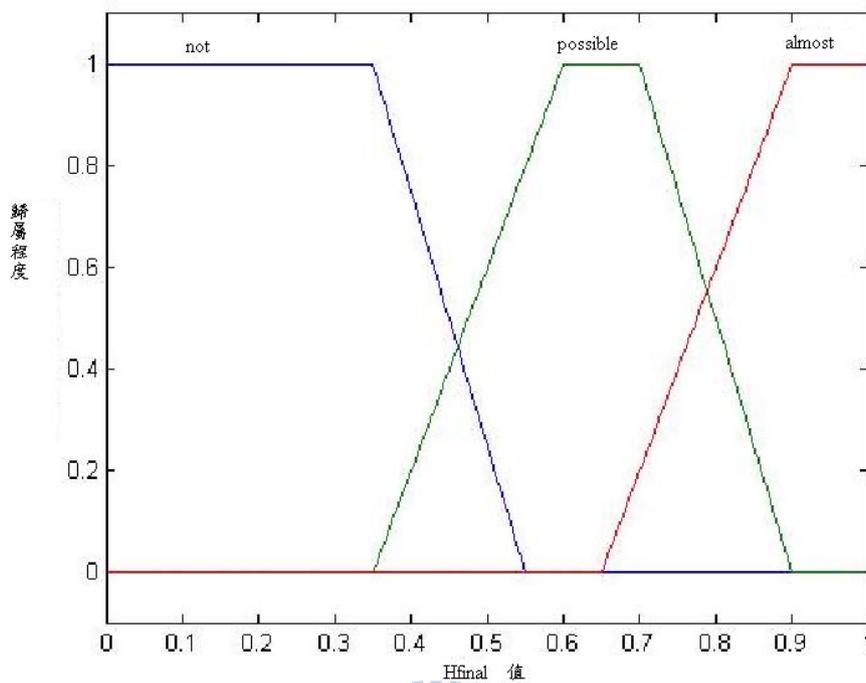
3.5 模糊待測物高度系統

本論文用於待測物高度的模糊系統有兩個輸入，一個輸出。一個輸入是屬於平面估測得到的高度程度。另一個輸入是屬於垂直方向估測得到的高度程度。由 3.3 節與 3.4 節，本論文可以得到兩種像素高度的屬於程度 IV_{degree} 與 H_{degree} 。輸

出為最後所屬高度，以 H_{final} 表示，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化時，輸出的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。輸入 IV_{degree} 有三個措詞集，分別是大量(heavy)、適中(moderate)、少量(slight)；輸入 H_{degree} 有三個措詞集分別是長(long)、中(middle)、短(short)； H_{final} 有三個措詞集分別是幾乎(almost)、可能(possible)、不是(not)。



(b)



(c)

圖 3.14 模糊待測物高度系統的歸屬函數。(a) H 的歸屬函數，(b) IV 的歸屬函數，
(c) H_{final} 的歸屬函數。

表 3.2 模糊待測物高度系統的模糊規則。

$H \backslash IV$	slight	moderate	heavy
short	not	not	possible
middle	not	possible	almost
long	possible	almost	almost

第四章 實驗結果與分析

實驗目的為求出三維表面輪廓，為了繪出輪廓，必須有三維的座標，而長度與寬度可利用標準片來做測量，目的是要求得影像上每個像素點所代表的實際物理大小，衡量依據是以已知實際物理長度的 line pair 標準片配合相機取像運算，計算出對應的像素點投射在物體表面的大小，作為三維表面量測的平面方向長寬資訊依據。在計算高度值方面，利用白光干涉區域紋理的特性，並配合模糊系統，減少雜訊造成不符合常理的表面輪廓。在本論文中，是採取平面與垂直高度估測系統，用意是在使得表面輪廓更加精確。在本章第一節將說明整個實驗平臺與其硬體設備，其次第二節是在運用模糊系統之前所用到基本資料的處理，並會加以展示；第三節實驗結果與分析將各項資料利用模糊系統運算出高度值。

4.1 硬體介紹

其中光學組件包括：顯微鏡鏡組、白光光源以及取像模組(相機與干涉物鏡鏡頭)，提供干涉資訊的建立與影像擷取，光機機構組件主要用來輔助待測物體之位置調整，以方便使用者進行影像對焦與傾斜角度修正；掃描系統則由PZT主體以及驅動控制器所組成，其功能為驅動干涉物鏡進行掃描。由光學、光機以及電控系統組件所組成之白光干涉光學系統，經由系統校正後，技術擷取待測物體的三維輪廓，同時進行相關尺寸檢測。下圖為本論文實驗樣本為一片濾波片。

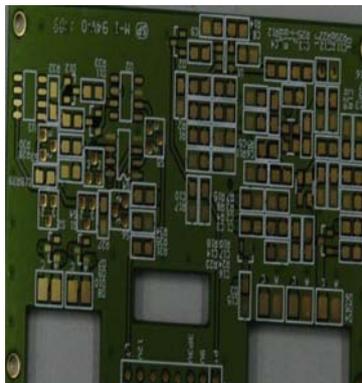


圖 4.1 一片濾波片。

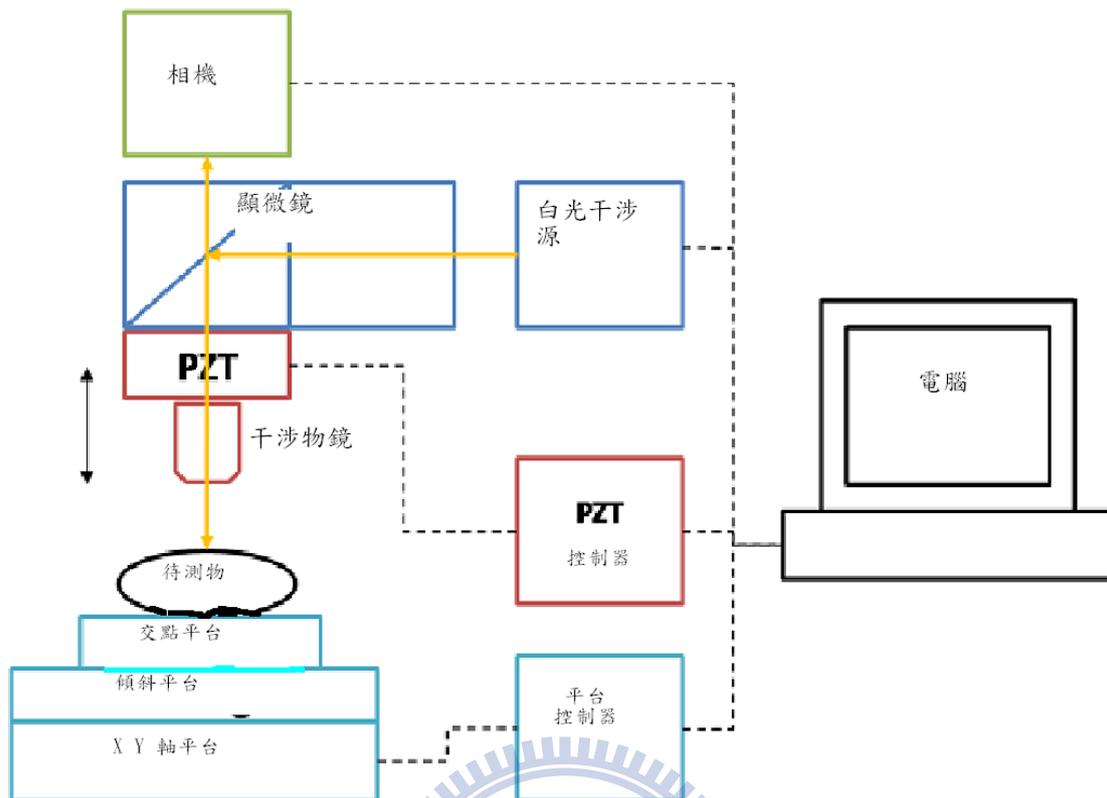
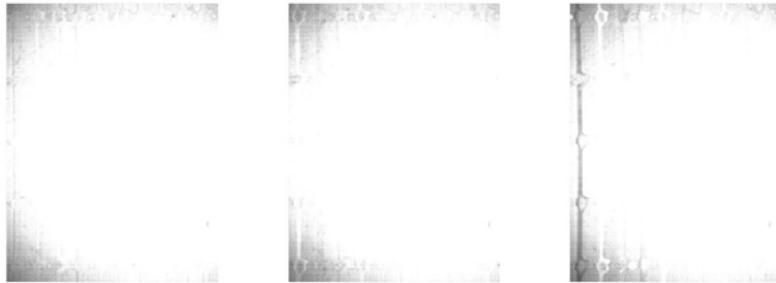


圖 4.2 白光干涉三維檢測系統示意圖

4.2 基本資料的處理

這一節主要是將所需的基本資料做運算和展示其結果。首先是像素大小的基本量測。長度與寬度可利用標準片來做測量，目的是要求得影像上每個像素點所代表的實際物理大小，衡量依據是以已知實際物理長度的line pair 標準片配合相機取像運算，計算出對應的像素點投射在物體表面的大小，作為三維表面量測的平面方向長寬資訊依據。由於不論是做平面估測系統或是做垂直方向估測系統，多值化都是會先使用的一項資訊。所以將先做多值化的處理與展示。本論文依據Otsu二值化得到一個閾值，將會分出兩群 $C1$ 、 $C2$ ，再分別對兩群 $C1$ 、 $C2$ 做處理，使用Otsu二值化做處理，將 $C1$ 分成兩群： $C1_a$ 、 $C1_b$ ，將 $C2$ 分成兩群： $C2_a$ 、 $C2_b$ 。即可得到四群。其中展示的三十張圖是依據垂直方向變化最多之處，三十張圖由右而左依序排列是從(a)影像第一張、第五十張、第六十五張，(b)第六十八張影像、第七十張、第七十一張，(c)影像第七十二張到第七十四張，(d)影像第七十五張到第七十七張，(e)影像第七十八張到第八十張，(f)影像第八十一張到第八十三

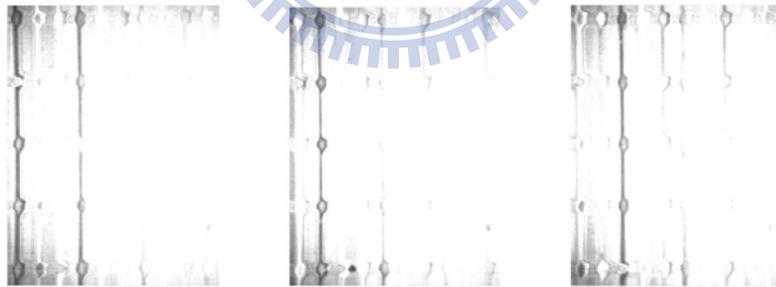
張，(g)影像第八十四張到第八十六張，(h)影像第八十七張到第八十九張，(i)影像第九十張到第九十二張，(j)影像第九十三張到第九十五張。



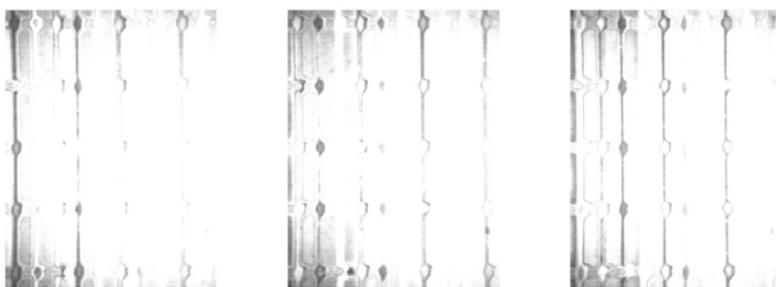
(a)



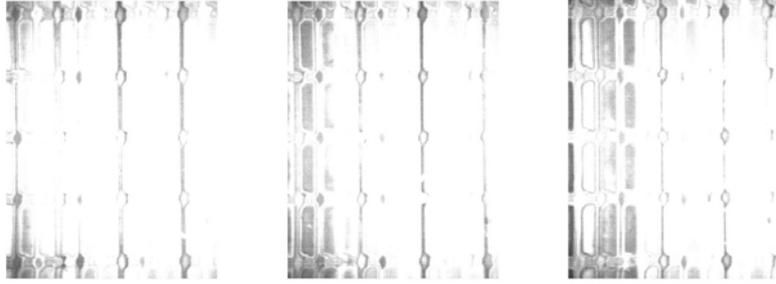
(b)



(c)



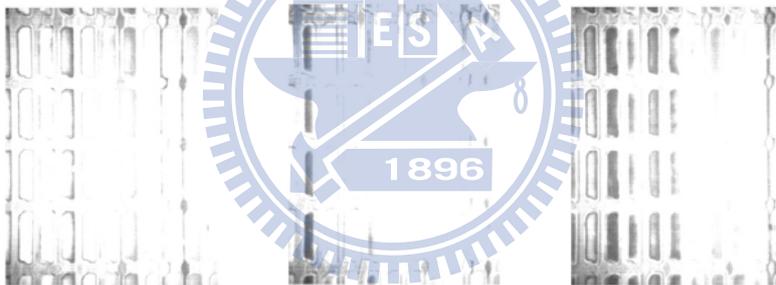
(d)



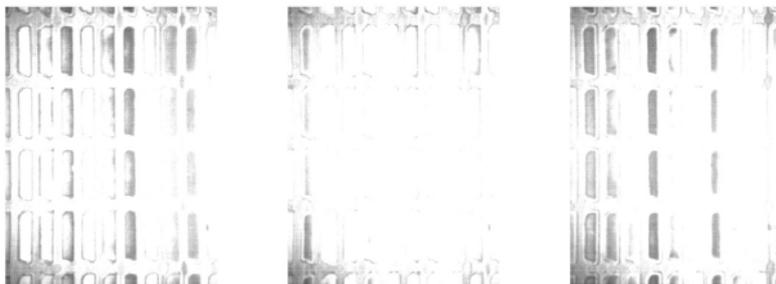
(e)



(f)



(g)



(h)

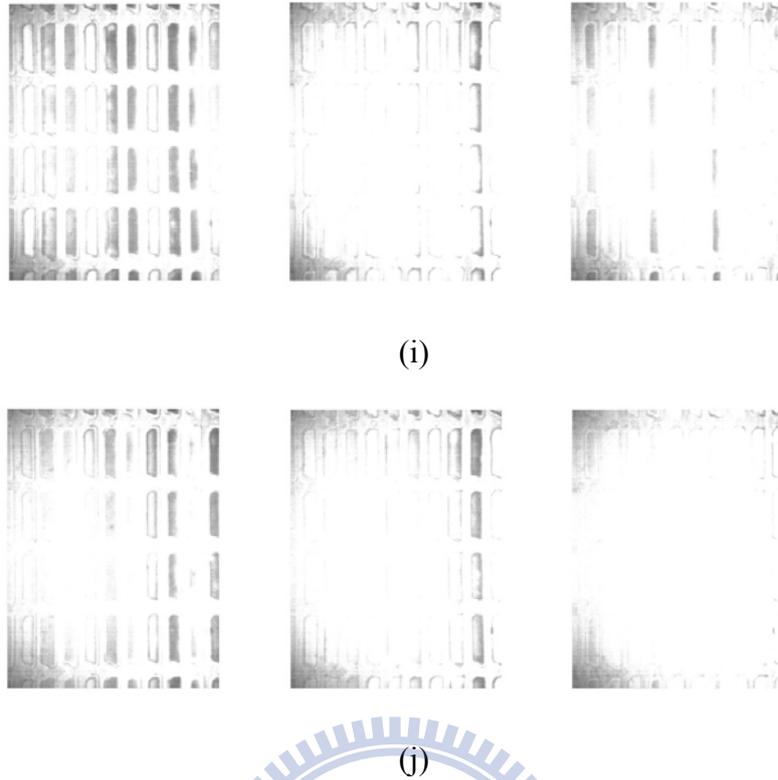


圖 4.3 為影像經過 Otsu 多值化之後其中的 30 張影像。(a)影像第一張、第五十張、第六十五張，(b)第六十八張影像、第七十張、第七十一張，(c)影像第七十二張到第七十四張，(d)影像第七十五張到第七十七張，(e)影像第七十八張到第八十張，(f)影像第八十一張到第八十三張，(g)影像第八十四張到第八十六張，(h)影像第八十七張到第八十九張，(i)影像第九十張到第九十二張，(j)影像第九十三張到第九十五張。

接著為了知道哪種紋理特徵的影響較大，在本論文裡，本論文選取影像序列中的十張連續影像，計算它們個別的特徵向量 \mathbf{F} ，再利用這些資訊與 2.1.3 節中所討論的方法求得每一個分量的權重。本論文利用前面所提到(3.14)、(3.15)、(3.16)式得到權重 W 。

$$\mathbf{W}_1 = \begin{bmatrix} 0.002 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0104 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8666 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1218 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.001 \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

$$\mathbf{W}_2 = \begin{bmatrix} 0.1366 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8.5246 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3.1965 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2879 \end{bmatrix}. \quad (4.2)$$

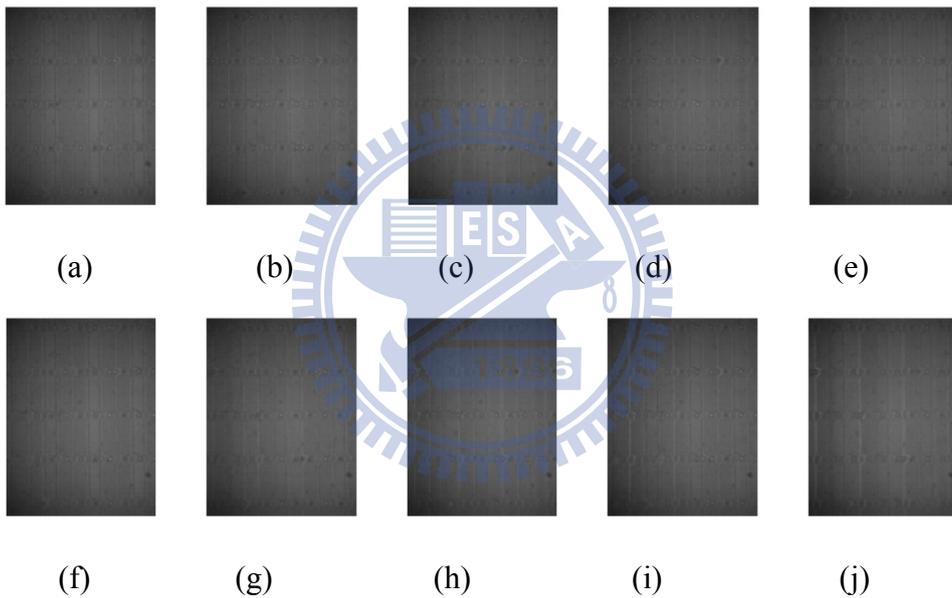


圖 4.4 連續十張原始影像。(a)為第一張影像(b)為第二張影像(c)為第三張影像(d)為第四張影像(e)為第五張影像(f)為第六張影像(g)為第七張影像(h)為第八張影像(i)為第九張影像(j)為第十張影像。

從 \mathbf{W}_1 與 \mathbf{W}_2 本論文可以看出，能量以及像素之間的一致性是最重要的兩個特徵，尤其是能量；其他三個特徵的重要性相對起來則是低得多。本論文接著將對原始的圖，做不同尺度的能量特徵圖。不同尺度是指利用不同大小的遮罩，對原始圖片做區域性的運算，每個遮罩分別以 X 軸方向與 Y 方向移動，遮罩移動速度為 X

方向以遮罩一半長度移動；Y方向以遮罩一半寬度移動，算出 NP 圖。本論文以第一張圖為背景，也就是未受到白光干涉影響之影像。其算式如 2.5 式。

下列二十八張圖為原始影像之能量圖。

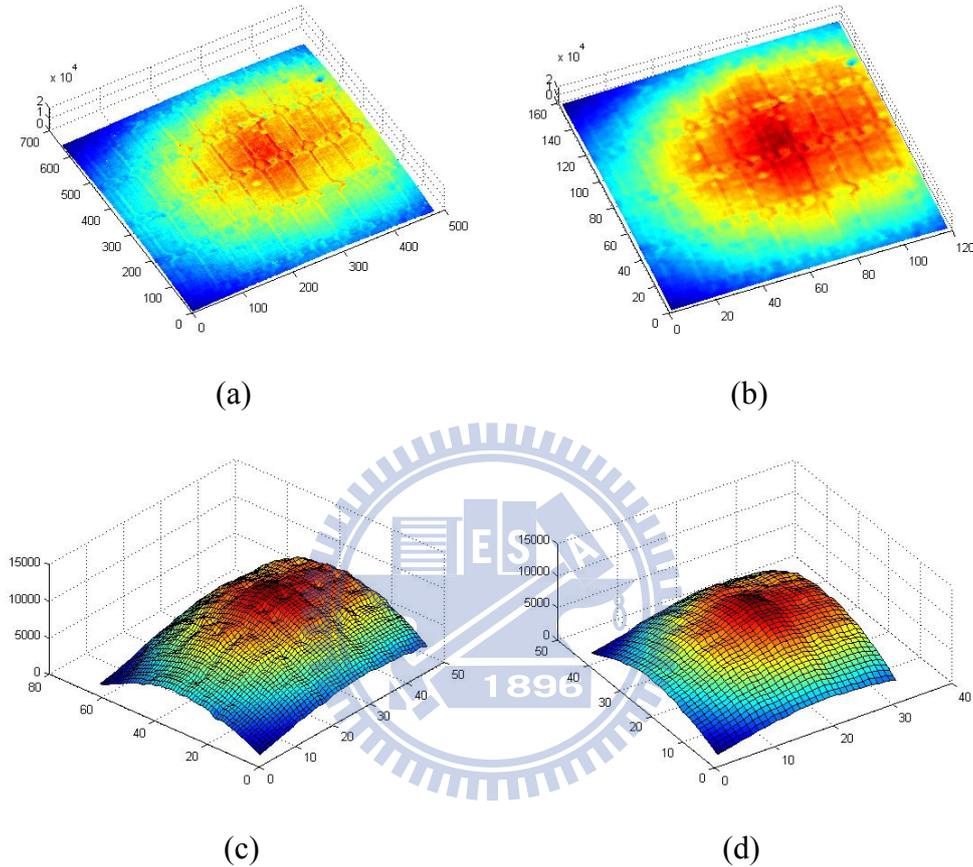
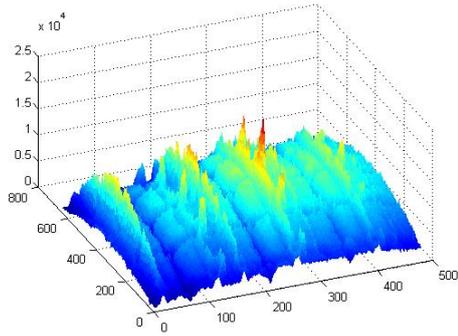
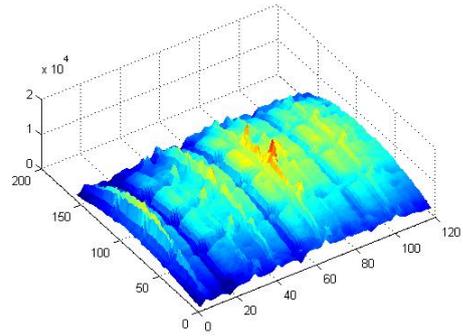


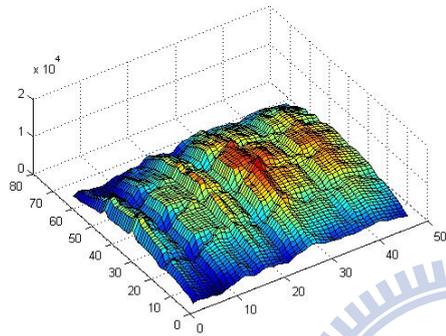
圖 4.5 為原始影像第一張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



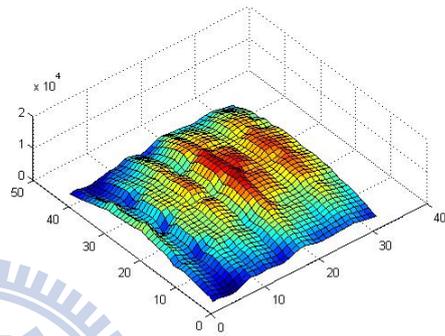
(a)



(b)

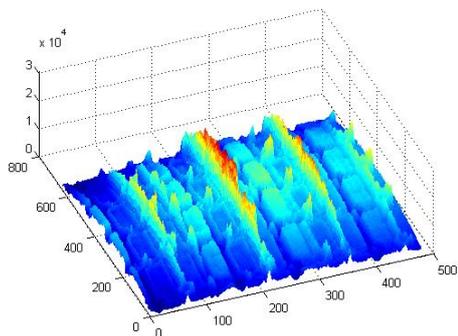


(c)

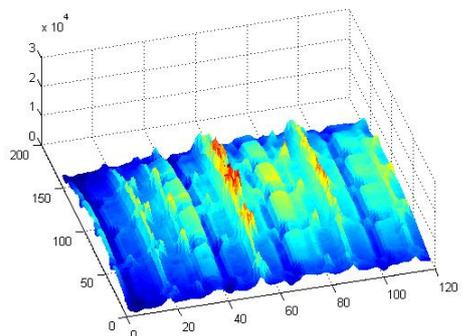


(d)

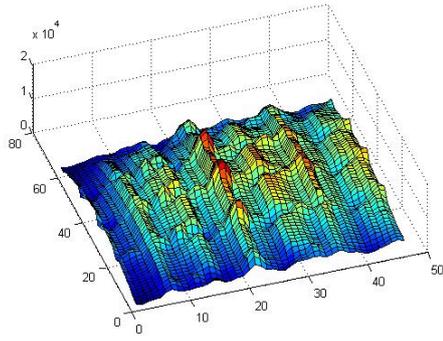
圖 4.6 為原始影像第七十張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



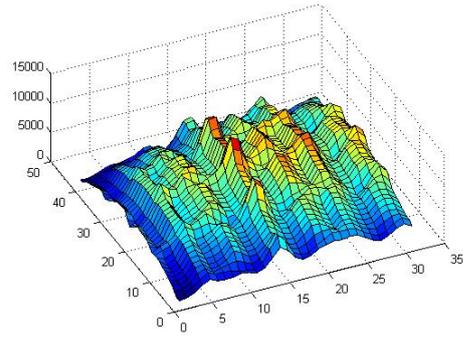
(a)



(b)

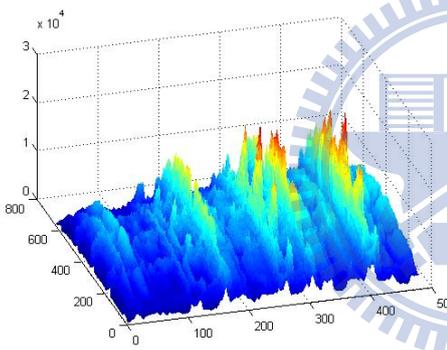


(c)

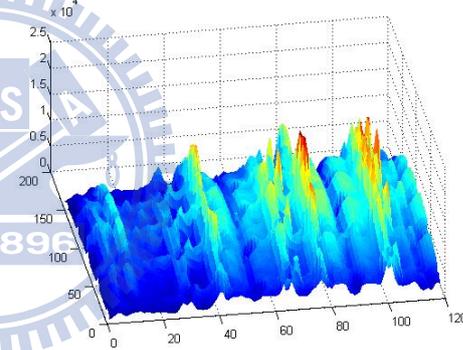


(d)

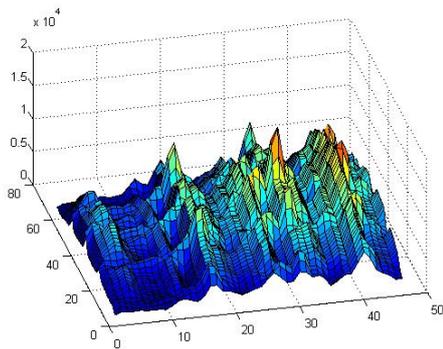
圖 4.7 為原始影像第七十五張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



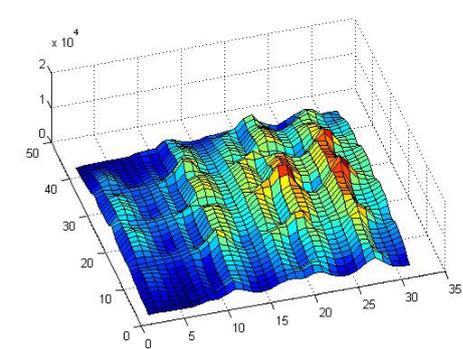
(a)



(b)

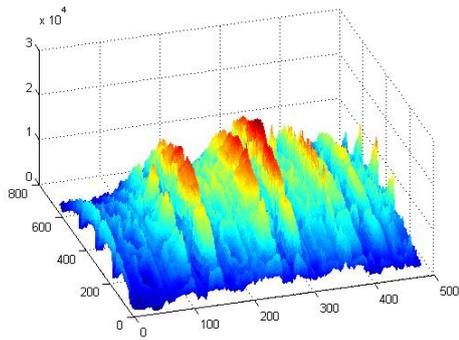


(c)

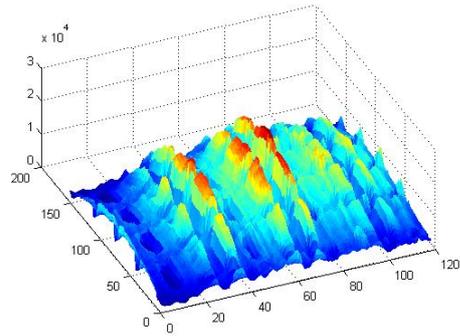


(d)

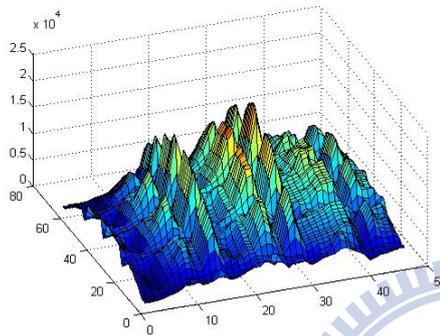
圖 4.8 為原始影像第八十張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



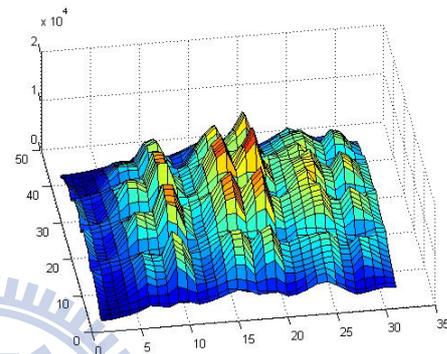
(a)



(b)

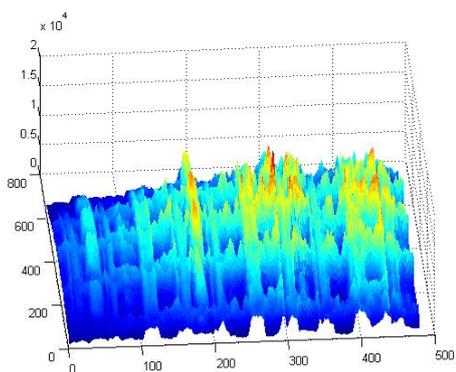


(c)

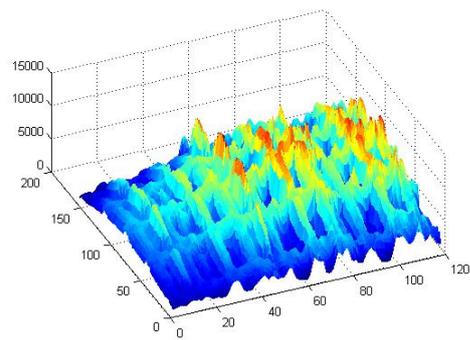


(d)

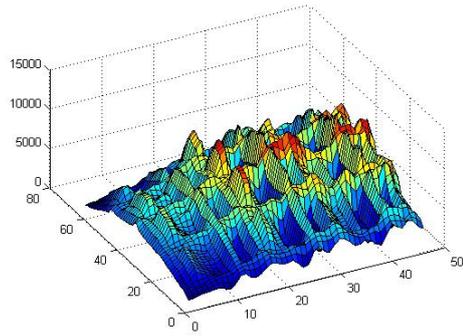
圖 4.9 為原始影像第八十五張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



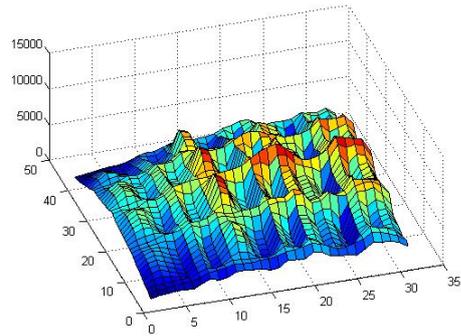
(a)



(b)

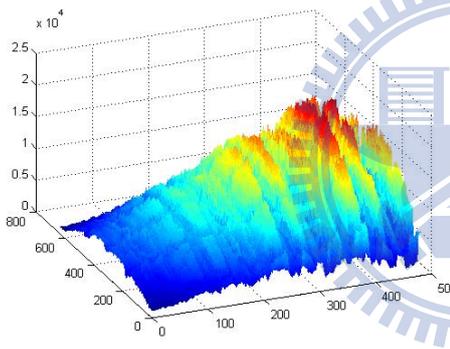


(c)

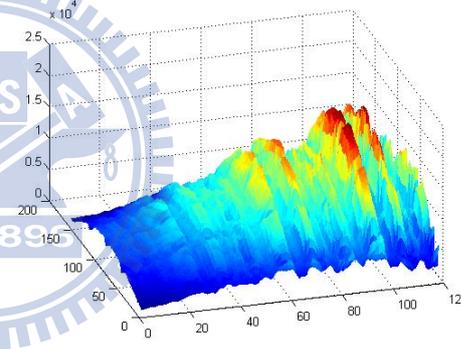


(d)

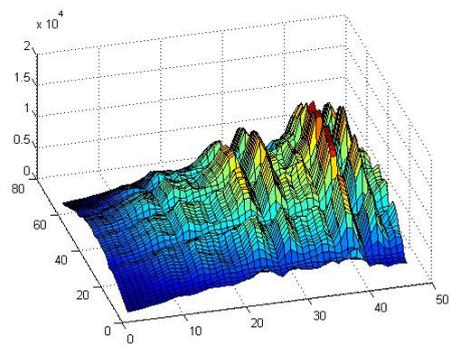
圖 4.10 為原始影像第九十張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



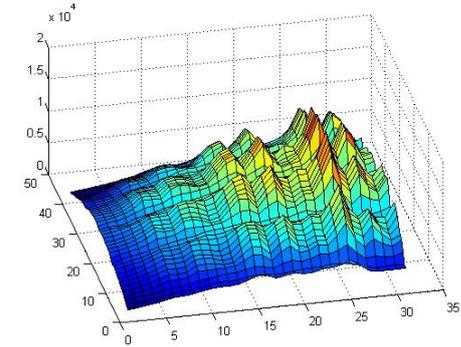
(a)



(b)

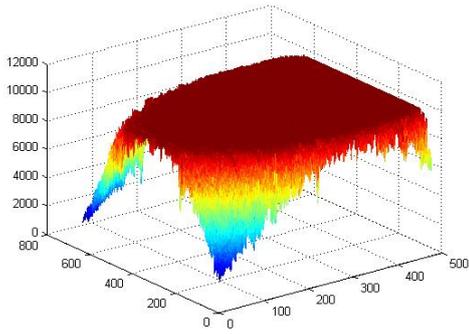


(c)

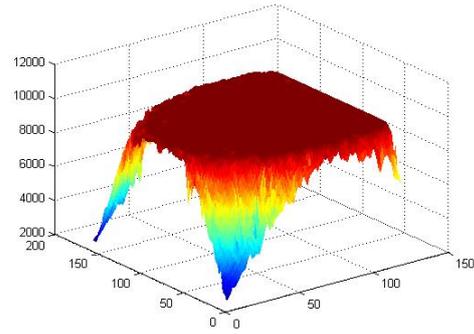


(d)

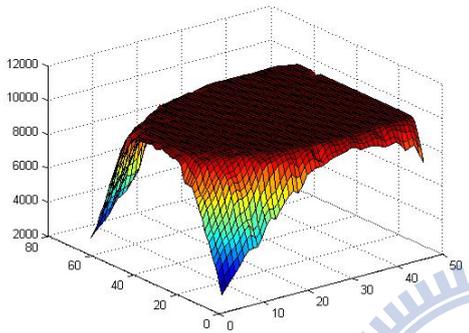
圖 4.11 為原始影像第九十五張之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



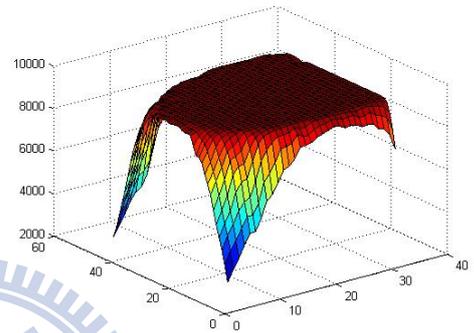
(a)



(b)

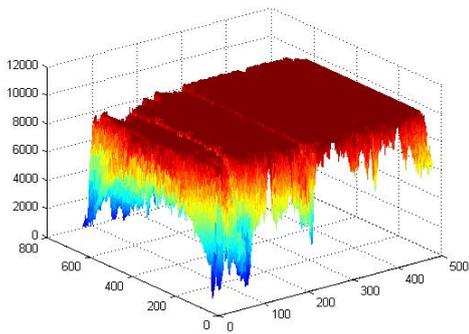


(c)

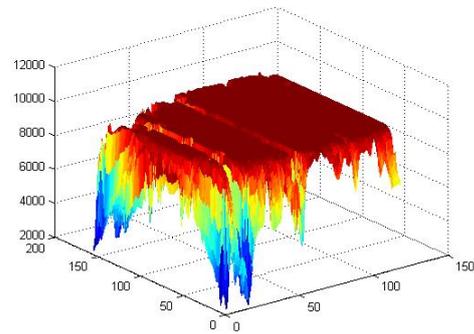


(d)

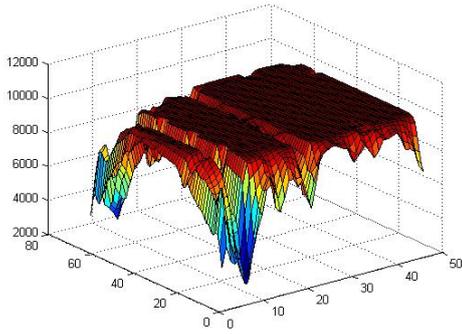
圖 4.12 為原始影像第一張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



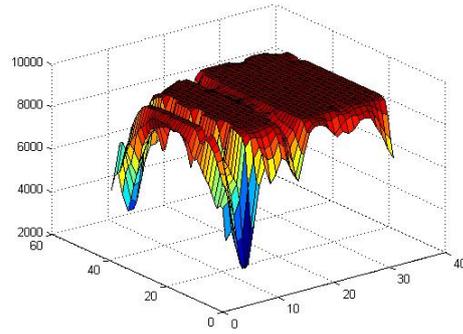
(a)



(b)

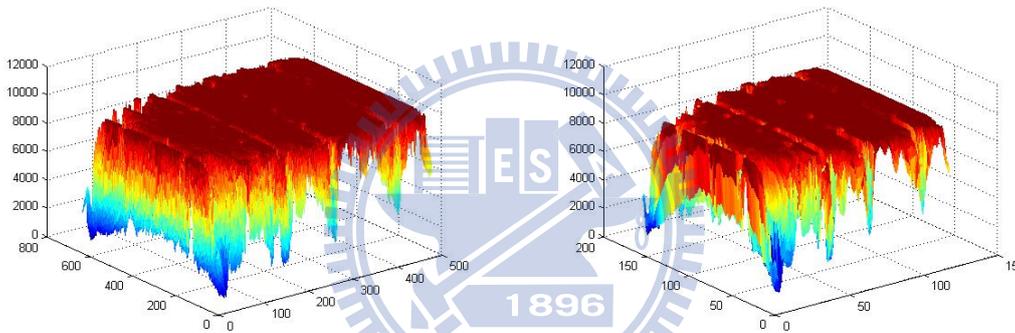


(c)



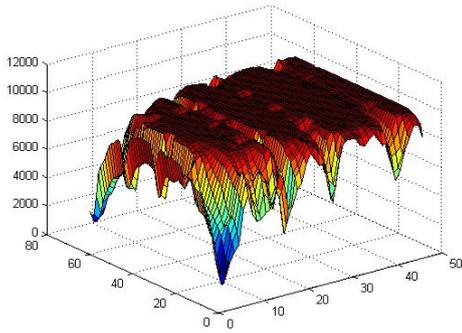
(d)

圖 4.13 為原始影像第七十張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。

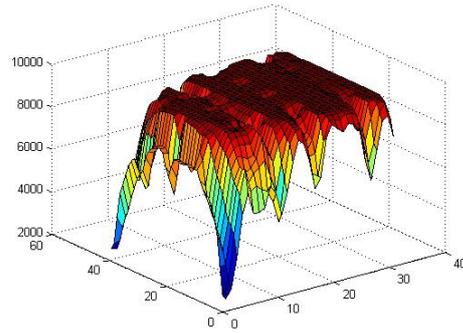


(a)

(b)

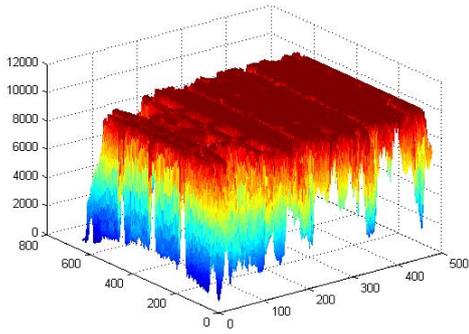


(c)

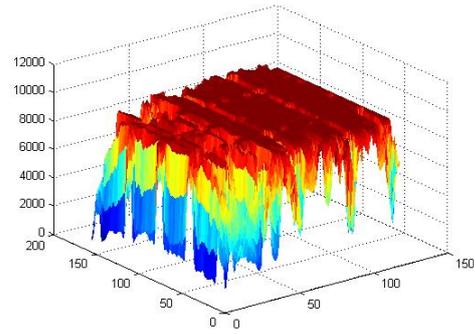


(d)

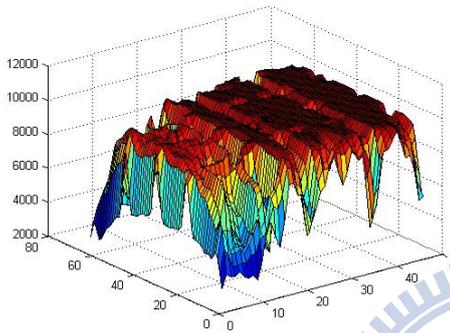
圖 4.14 為原始影像第七十五張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



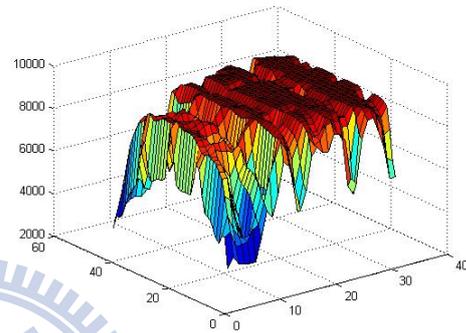
(a)



(b)

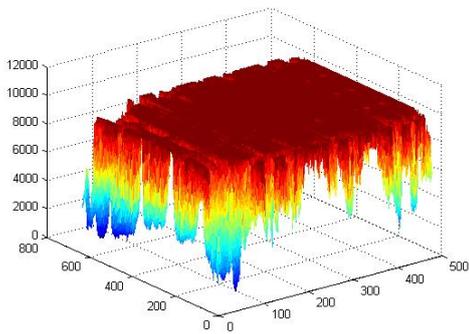


(c)

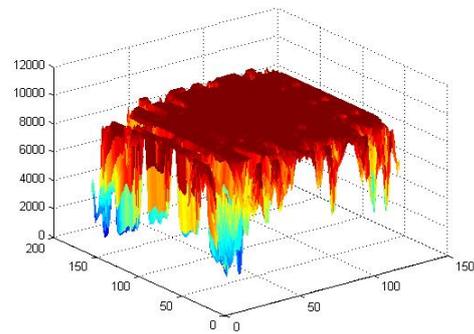


(d)

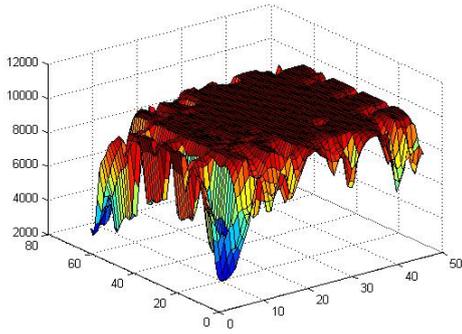
圖 4.15 為原始影像第八十張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。



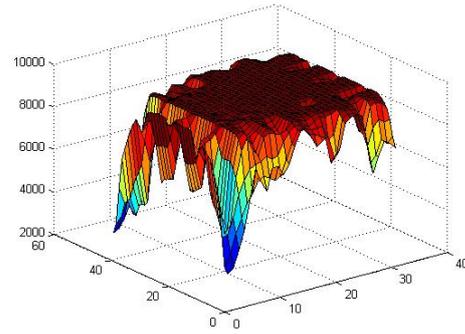
(a)



(b)

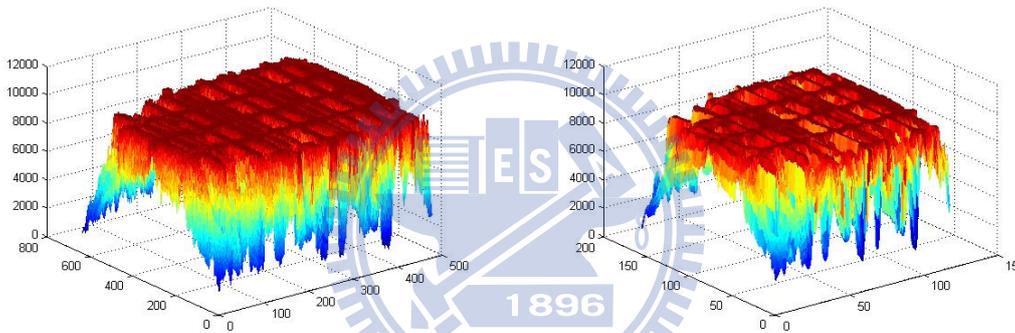


(c)



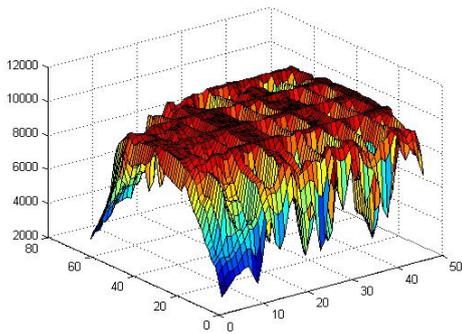
(d)

圖 4.16 為原始影像第八十五張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成影像；(b)為遮罩大小 9×9 所形成影像；(c)為遮罩大小 21×21 所形成影像；(d)為遮罩大小 31×29 所形成影像。

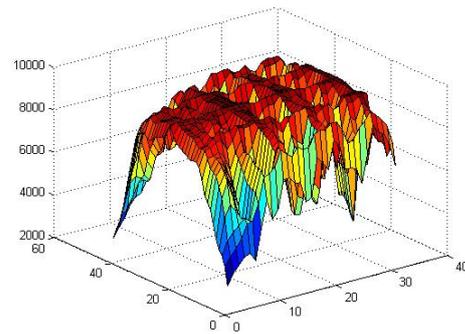


(a)

(b)



(c)



(d)

圖 4.17 為原始影像第九十張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。

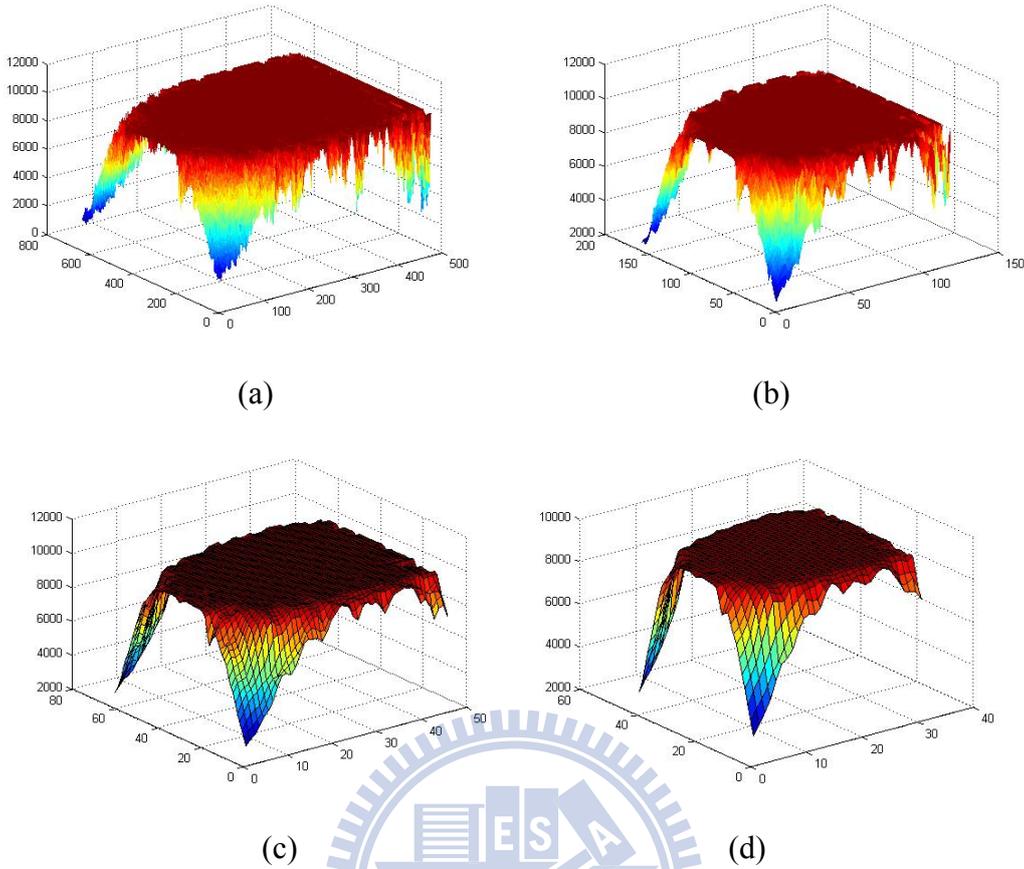


圖 4.18 為原始影像第九十五張經過多值化後之能量圖。(a)為遮罩大小 3×3 所形成能量圖；(b)為遮罩大小 9×9 所形成能量圖；(c)為遮罩大小 21×21 所形成能量圖；(d)為遮罩大小 31×29 所形成能量圖。

將得到的影像像素 NP 以 NP_{\max} 表示；紋理特徵 $Diff$ 以 $Diff_{\max}$ 表示，分別將這兩個參數當作特徵抽取時的上界，因此本論文可以對每張輸入影像計算 NP 與 NP_{\max} 的比值 NP_{ratio} ，以及 $Diff$ 與 $Diff_{\max}$ 的比值 $Diff_{ratio}$ ：

$$\begin{aligned}
 NP_{ratio} &= \frac{NP}{NP_{\max}}, \\
 Diff_{ratio} &= \frac{Diff}{Diff_{\max}},
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

將對輸入影像抽取的特徵轉化為 NP_{ratio} 以及 $Diff_{ratio}$ ，便可以將這兩個參數送入模糊白光干涉程度估測系統來估測高度。

本論文要進行估測高度，會以不同尺度的紋理特徵圖進行估測。所謂不同尺

度是只利用不同大小的遮罩(mask)來產生不同的紋理特徵圖。依序由大型遮罩到小型遮罩來進行估測。用大遮罩算出的 $Diff_{ratio}$ 、 NP_{ratio} ，加以設計一個範圍，可以排除大面積，不屬於白光干涉之處，並繼續進行算出下一個較小型遮罩的 $Diff_{ratio}$ 、 NP_{ratio} 。如此做法，是為了能加快運算時間。故運算的時候，是從大遮罩運算到小遮罩。

在垂直高度估測系統，本論文單純利用經過多值化之後影像做為判斷。下圖 4.6 為某個屬於高度在 $25.5\mu\text{m}$ 之像素，在第五十一張影像到第九十五張影像的灰階值變化，X 軸方向為影像張數，令第五十一張影像為 $X=1$ ，Y 軸方向為灰階值變化，由於運算的關係，垂直高度估測系統將灰階值定義在 $[0,1]$ 。經由計算可得，變化最大之處在於第七十四張影像與第七十七張影像差距為 0.1076，令這兩張影像差距值為 100%，可得其他張影像之程度。例如第七十二張影像之差距為 0.0988，所屬第七十二張高度程度為 91.82%。

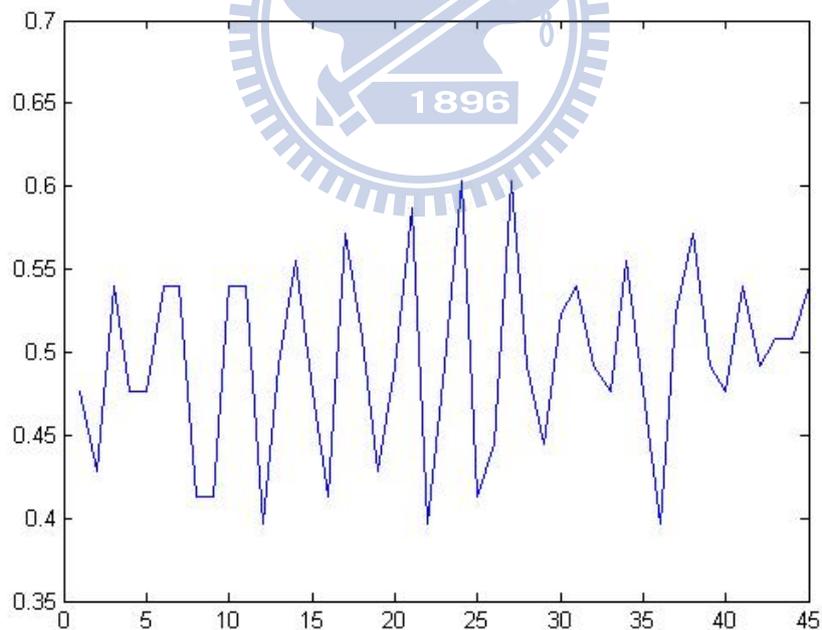


圖 4.19 像素屬於 $25.5\mu\text{m}$ 的灰階值變化。

4.3 實驗結果與分析

在得到基本資料後，本論文發現原始影像與多值化之後所做的能量圖，與形狀跟原本預測的立體輪廓，有著相當大的關係。在第七十張影像到第九十五張左右都可觀察到有白光干涉的紋理特徵，這項觀察的結果，驗證本論文欲利用區域性紋理特徵加入到模糊系統，可估測出高度是一項可行的辦法。再配合著垂直方向高度估測，減少雜訊的產生。本論文用於待測物高度的模糊系統有兩個輸入，一個輸出。一個輸入是屬於平面估測得到的高度程度。另一個輸入是屬於垂直方向估測得到的高度程度。由 3.3 節與 3.4 節，本論文可以得到兩種像素高度的屬於程度 IV_{degree} 與 H_{degree} 。輸出為最後所屬高度，以 H_{final} 表示，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化時，輸出的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。下圖 4.19 為取原始影像與多值化後的能量圖之一點像素的估測高度程度關係。下圖 4.20 為垂直方向高度系統 H_{degree} 、平面高度估測系統 IV 與模糊高度系統 H_{final} 高度程度估測之間關係。

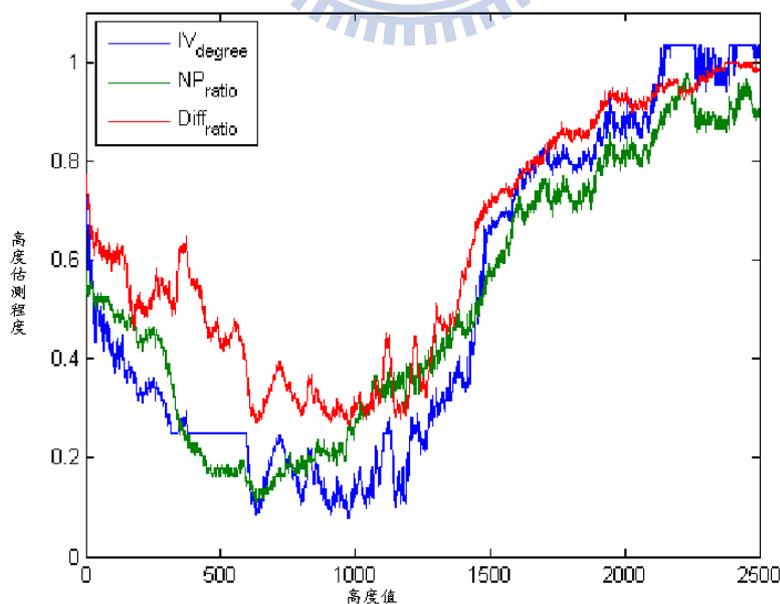


圖 4.20 高度估測系統對原始圖 NP_{ratio} 、紋理差異 $Diff_{ratio}$ 以及估測出的高度程度

IV_{degree} 。

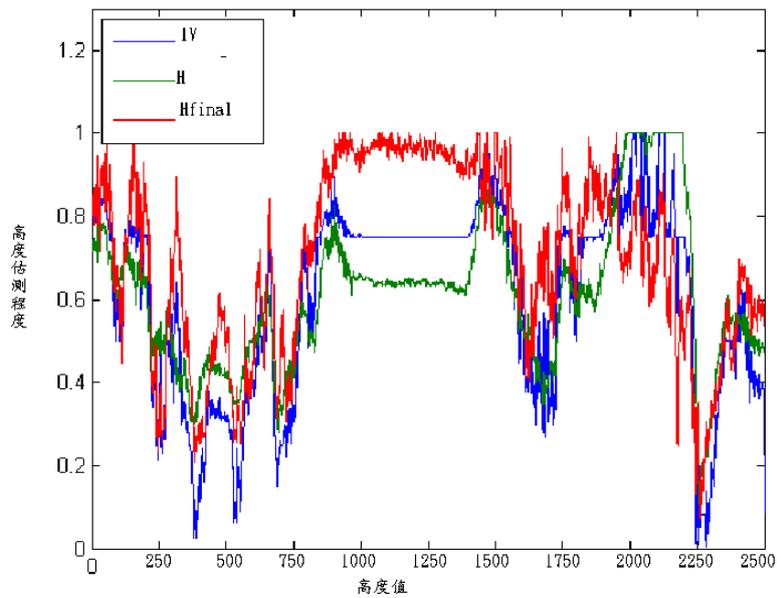
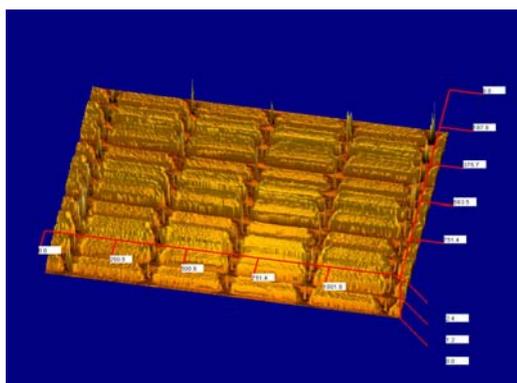
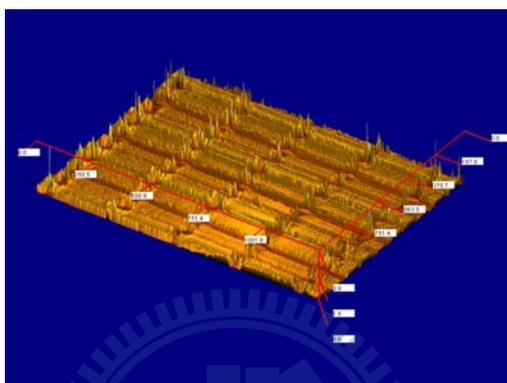


圖 4.21 為 H_{degree} 、 IV 與 H_{final} 高度程度估測之間關係。

結合平面高度估測系統與垂直方向高度估測系統，得到的兩種估測值。本論文為兩種像素高度的屬於程度 IV_{degree} 與 H_{degree} 。輸出為最後所屬高度，以 H_{final} 表示，值域為 $[-0.2, 1.2]$ ，這樣的設定是為了在去模糊化時，輸出的值可以充分落在 0 與 1 之間。若輸出大於 1，則將之視為 1；若輸出小於 0，則將之視為 0。最後我們得到像素的高度所屬程度。比對影像為下圖 4.21，本論文產生之三維表面輪廓如下頁圖 4.22。



(a)

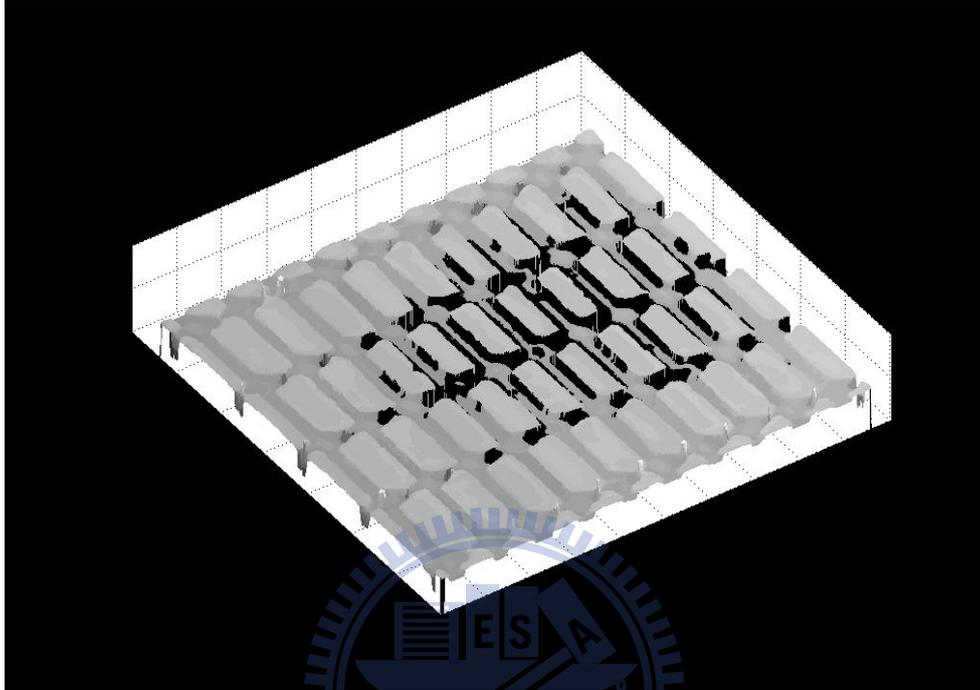


(b)

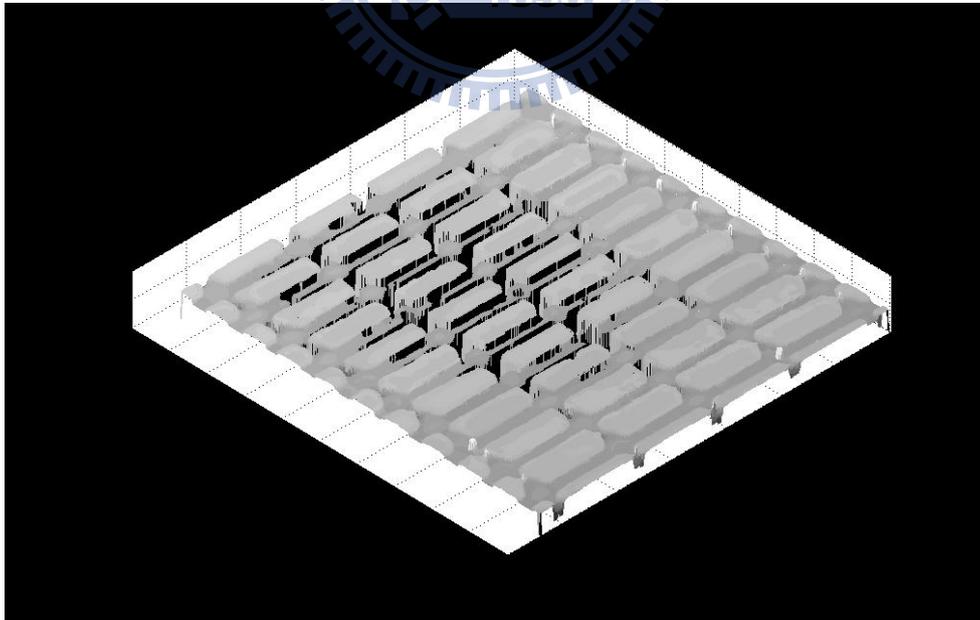
圖 4.22 為金屬表面常見會出現雜訊的表面輪廓，(a)待測物一之表面輪廓，(b)待測物二之表面輪廓。

由圖我們可以發現到，金屬表面材質的待測物，容易會有雜訊的產生，造成微結構表面輪廓的準確性造成影響。本論文提出利用白光干涉區域紋理的特性，並配合模糊系統，減少雜訊造成不符合常理的表面輪廓。

本論文另以標準片做實驗，與垂直演算法做為比較。由於資料來源之每點像素都與垂直演算法的像素對齊，故本論文實驗之像素對於原始資料之像素並不存在平面之誤差。在本論文誤差比較的實驗中，本論文所用之方法花費時間大約 77 秒，垂直演算法速度較快大約平均時間為 20 秒，但是由實驗結果可發現在精確度上，本論文較為精準。雖然犧牲速度，但是在精準度上較為精確。下列表格為與垂直演算法做比較的誤差表格，其誤差計算方式是以每個 3x3 的遮罩去做運算，將 9 個像素分別對標準片之高度做相減動作，並取絕對值，再取其平均。

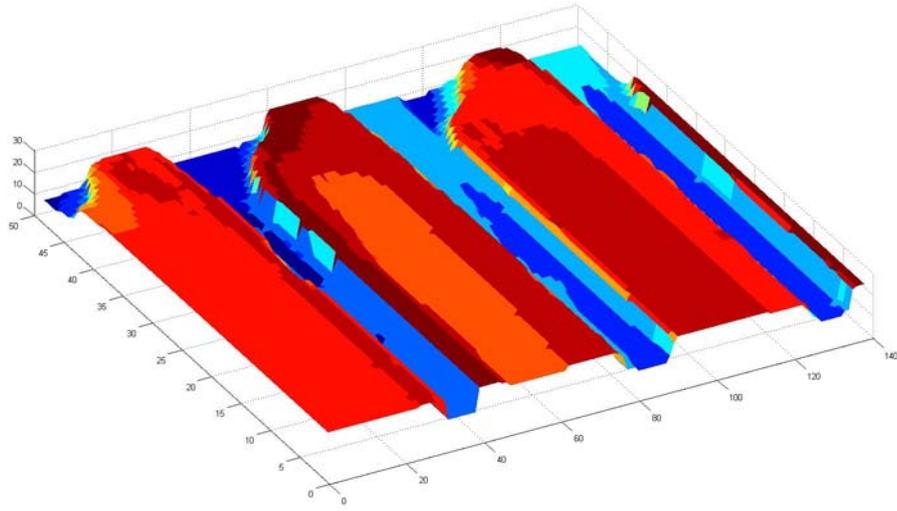


(a)



(b)

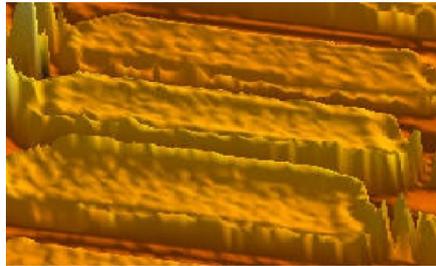
圖 4.23 本論文之三維表面輪廓圖。(a)待測物一之表面輪廓，(b)待測物二之表面輪廓。



(a)



(b)



(c)

圖 4.24 標準片實驗圖，(a)本論文實驗圖(b)標準片圖(c)垂直演算法之圖。皆為長、寬、高約 $40 \times 40 \times 20 \mu\text{m}$ 的標準片。

表 4.1 本論文之誤差結果表

X 軸 Y 軸	256~258 μm	259~261 μm	262~264 μm	265~267 μm	268~270 μm	271~273 μm
321~323 μm	0.7%	0.9%	1.1%	0.7%	0.6%	0.7%
324~326 μm	0.4%	0.7%	0.5%	1.1%	0.7%	0.8%
327~329 μm	0.9%	0.8%	0.7%	1.1%	0.7%	0.8%
330~332 μm	0.4%	1.1%	1.1%	1.1%	0.9%	0.4%
333~335 μm	0.8%	0.9%	0.4%	0.6%	0.9%	1.2%
336~338 μm	0.6%	0.7%	0.6%	0.3%	0.8%	0.7%
339~341 μm	0.9%	0.7%	0.4%	0.6%	0.4%	0.8%
342~344 μm	0.7%	0.7%	0.6%	0.9%	1.2%	0.4%
345~347 μm	1.5%	1.8%	0.6%	1.4%	1.4%	1.6%
348~350 μm	0.9%	1.4%	0.5%	0.7%	0.7%	0.9%

351~353 μm	0.9%	0.8%	0.7%	1.1%	0.7%	0.8%
354~356 μm	0.6%	0.7%	0.6%	0.3%	0.8%	0.7%
357~359 μm	1.2%	1.6%	1.6%	1.4%	1.1%	1.6%
360~362 μm	1.2%	1.2%	1.1%	1.4%	1.4%	1.2%
363~365 μm	0.8%	0.6%	0.6%	1.1%	0.6%	0.6%
366~368 μm	0.4%	0.7%	0.6%	0.9%	0.8%	0.7%
369~371 μm	1.1%	0.6%	0.4%	0.4%	0.4%	0.8%
372~374 μm	1.1%	1.1%	0.4%	0.6%	0.6%	0.6%
375~377 μm	0.6%	0.4%	0.7%	0.8%	0.7%	0.7%

下列表為垂直演算法之誤差結果。

表 4.2 垂直演算法誤差結果表。

X 軸 \ Y 軸	256~258	259~261	262~264	265~267	268~270	271~273
	μm	μm	μm	μm	μm	μm
321~323 μm	4.4%	5.1%	4.3%	4.6%	4.8%	6.8%
324~326 μm	5.2%	6.6%	3.2%	5.6%	10.8%	8.4%
327~329 μm	5.6%	6.2%	5.7%	4.6%	3.4%	5.5%
330~332 μm	12.9%	3.7%	3.9%	3.8%	5.1%	4.8%
333~335 μm	4.8%	3.9%	3.7%	4.1%	3.9%	4.2%
336~338 μm	20.6%	9.7%	5.6%	6.3%	4.8%	5.1%
339~341 μm	6.9%	5.7%	3.7%	3.1%	6.8%	7.8%
342~344 μm	3.7%	2.6%	2.7%	2.9%	3.2%	3.7%
345~347 μm	3.2%	3.8%	6.6%	6.1%	2.1%	3.4%
348~350 μm	15.9%	10.4%	3.5%	2.7%	2.1%	2.9%
351~353	10.9%	6.8%	3.7%	3.1%	4.7%	3.8%

354~356 μm	3.6%	3.6%	3.7%	4.3%	3.8%	3.7%
357~359 μm	8.2%	9.1%	3.6%	4.1%	4.3%	3.6%
360~362 μm	12.2%	3.1%	2.6%	3.4%	2.1%	1.9%
363~365 μm	7.8%	3.6%	8.6%	4.7%	1.9%	3.4%
366~368 μm	9.4%	3.7%	3.1%	5.9%	6.8%	4.7%
369~371 μm	11.1%	5.6%	6.4%	3.4%%	4.4%	5.5%.
372~374 μm	5.9%	8.1%	6.4%	3.6%	3.8%	4.8%
375~377 μm	11.8%	6.8%	5.7%	4.1%	4.7%	3.7%

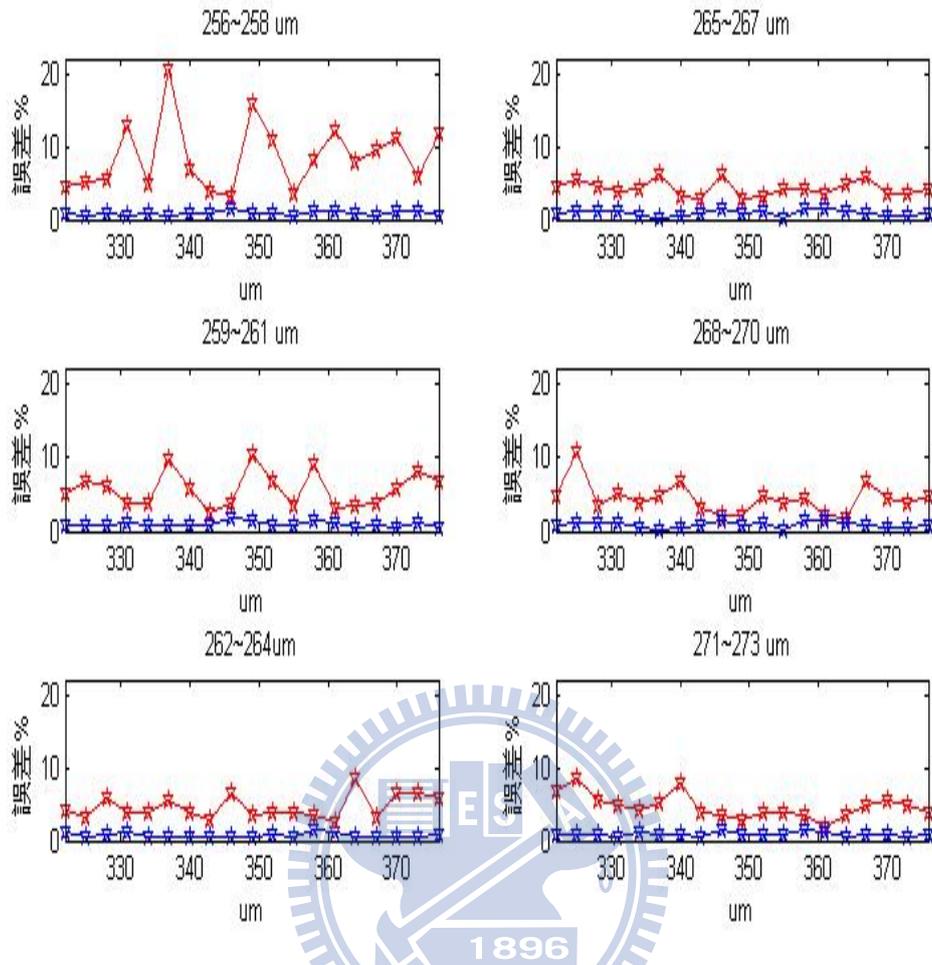


圖 4.25 誤差結果實驗圖，紅色線為垂直演算法之誤差曲線，藍色線為本論文之誤差曲線。

由圖 4.25 可以發現，藍色線為本論文之實驗曲線，紅色線為垂直演算法曲線，在誤差結果比較上，本論文之誤差結果優於垂直演算法的誤差結果。在精確度上，本論文較為精確。在速度上，本論文仍須加以改進。

第五章 結論與未來工作

本研究提出的白光干涉三維檢測系統，垂直解析能力最高可達到 $0.1\mu\text{m}$ ，量測重複度在 $0.2\mu\text{m}$ 下可達到 $2\mu\text{m}$ ，其階高檢測功能可應用於微結構斷差、缺陷、形貌等，如LCD spacer、微鏡片、Bump高度，甚至PCB盲孔的孔徑與深度檢測皆可快速準確測得，而表面粗糙度、波紋、平坦度、平行度、共面度、膜厚等檢測功能更適合用於材料材質或是加工品質分析，除此，系統所具備的暗點偵測與修補能力，可有效過濾無法產生干涉的資料點區域，呈現待測物體的真實表面輪廓，提升檢測資訊的可靠度，綜合以上介紹說明可得知，白光干涉儀在微奈米等級的微結構檢測上實為不可或缺的利器。

雖然白光干涉系統其檢測速度皆高過一般奈米檢測系統，如AFM、SEM等，但為了符合產業界線上檢測的速度需求，因此，在未來工作上檢測速度的提升實為白光干涉量測技術發展的重要課題，在兼顧檢測速度與精度的前提下，白光干涉三維檢測系統有潛力發展成快速線上檢測設備，並可將業界的自動化檢測項目由原有的二維影像檢測，提升到三維輪廓檢測，提供更多、更完整的自動化光學檢測方案。

參考文獻

- [1] 廖界程、林耀明、張維哲，白光干涉系統之自動對焦之探討，*AOI Forum & Show 2005*
- [2] 廖界程、林耀明、張維哲，白光干涉系統之樣品自動平準化，*AOI Forum & Show 2006*
- [3] 形貌測量方法及其測量裝置，中華民國專利，專利號碼: I274849
- [4] 於正交表面形貌圖中任意截線方向形成截面輪廓之方法，中華民國專利，專利號碼: I282407
- [5] 干涉量測系統之自動平準方法，中華民國專利，專利號碼: I274848
- [6] 整合型干涉掃描方法，中華民國專利，專利號碼: I269861
- [7] 表面形貌之暗點區域的修補方法，中華民國專利，專利號碼: I281020
- [8] R. M. Haralick, "Statistical and Structural Approaches to Texture," *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, no.5, pp. 786-804, 1979.
- [9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- [10] C. T. Lin and C. S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- [11] N. A. Ostu, "Threshold Selection Method from Gray-level Histogram," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 2, pp. 62-66, 1979.
- [12] A. S. Abutaleb, "Automatic Thresholding of Gray-level Pictures Using Two-dimensional Entropy," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 47, no. 7, pp. 22-32, 1989.
- [13] D. G. Elliman and I. T. Lancaster, "A Review of Segmentation and Contextual Analysis Techniques for Text Recognition," *Pattern Recognition*, vol.23, no. 3, pp. 337-346, 1990.

- [14] D. Wang and S. N. Srihari.,“Classification of Newspaper Image Blocks Using Texture Analysis,” *Computer Vision, Graphics, and Image Process*, vol. 47, no. 7, pp. 327-352, 1989.
- [15] M. Friedman and A. Kandel, *Introduction to Pattern Recognition*. London, UK: Imperial College, 1999.

