



國立台灣科技大學  
資訊工程系

---

# 碩士學位論文

影像基底之距離量測系統

Image-Base Distance Measurement Method



黃啟彰

M9015911

指導教授：洪西進 博士

中華民國 九十六 年 六 月 八 日



指導教授：洪西進

M9015911



## 碩士學位論文指導教授推薦書

本校 資訊工程系 黃啟彰 君

所提之論文：

影像基底之距離量測系統

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授

洪西進

96年 6月 8日

# 碩士學位考試委員會審定書

本校 資訊工程 系(所)                      學程 黃啟彰 君

所提論文 影像基底之距離量測系統

經本委員會審定通過，特此證明。

學位考試委員會

委

員：

林基成

徐國盛

林金強

洪西進

張瑞峰

指導教授：

洪西進

學程主任：

邱華明

系主任(所長)：

中華民國 96 年 6 月 8 日

## 中文摘要

本文提出一種獨特的距離量測方法，應用目前能做遠距離投射的綠光雷射發射器，產生兩道平行的雷射光束，於待測物上產生兩個綠色亮點。於影像畫面中，該兩亮點的影像圖形，將隨攝影距離的遠近而改變兩亮點影像圖形之間相隔的像素值。則只要以顏色及亮度便能輕易地判斷亮點影像圖形所在的位置，兩亮點相隔的像素值將被轉換成距離的量測值。所以本文研究的方法並非反射式的超音波或雷射測距，也沒有用到高速 *DSP* 微電腦系統做全畫面影像辨識。本研究同時設計且完成了一套參數量測系統，將使任何廠牌的 *CCD* 攝影機(數位相機)都能引用本文所提供的方法，輕易地擁有距離量測的功能。除了能測得 *CCD* 攝影機到待測物之間的距離外，並能同時完成待測物高度與寬度的量測。可以說是以一台 *CCD* 攝影機完成具有三度空間距離標示的影像畫面(照片)。經實際完成之作品所做的量測結果，已證實本文所提量測方法的正確性及實用性，也深具商品化的價值。

**關鍵字：***CCD*、雷射光束、距離量測、水平視角。

## Abstract

This thesis proposes a unique image-based distance measurement method incorporating two green laser projectors for generating two laser beams in parallel onto a distant object under measurement. Because of the green spots projected on the objects, pixel counts between the laser spots in images taken at different photographing distances will be different. By identifying the positions of the laser-projected spots in images based on colors and intensity information, the pixel counts between the laser-projected spots can be calculated for measuring the distance between the object and the CCD camera. Note that the proposed distance measurement method is not an ultrasonic reflection or laser reflection method. Furthermore, pattern recognition or image analysis of the whole image is not performed in the proposed approach. As a result, high-speed DSP processors are no longer required. To improve measurement accuracy, a mechanism is also proposed in this thesis to identify a set of intrinsic parameters for all kinds of CCD cameras. Therefore, any digital (video) cameras can be used to measure the distance from a distant object as well as the length of two arbitrarily designated points on the object via the proposed method. Experiment results have demonstrated that the proposed measuring method is capable of yielding accurate results of three-dimensional measurement for a distant object in a very responsive way. The viability of the proposed method also reveals the possibility of a commercial product in the future.

**Keywords** : CCD, laser beam, distance measurement, horizontal view angle.

## 誌謝

誠摯感謝洪教授西進的細心指導，尤其能以學生所想，循序引導成爲一項實用性很高的研究題目，並讓學生能充分發揮所學。茲因我是一個在職研究生，於工作崗位必須配合團隊的工作項目與進度。以 **IDBMS** 的題目與洪教授討論，並獲得其同意與鼓勵，使我能以工作上所需，進行學術論文的研究。從中也得到工作夥伴們許許多多的指導和協助。以所學加入 **IDBMS** 的研究，並提出一些可行的方法，受到同事們的肯定。真心感謝洪教授及我工作夥伴們的指導和協助。





# 目錄

第1章 緒論	11
1-1 研究背景與研究動機	11
1-2 研究目的與研究方法	12
1-3 研究成果	12
1-4 論文大綱	17
第2章 距離量測方法介紹：先前技術之探討	19
2-1 接觸式距離量測	19
2-2 非接觸式距離量測：超音波測距	21
2-3 電子測距儀：電波測距儀和雷射測距儀	22
2-4 非接觸式距離量測：CCD 視差法	25
第3章 距離量測方法的改進：(IBDMS)影像基底之距離量測	28
3-1 IBDMS 距離量測原理	28
3-2 IBDMS 量測系統架構	32
3-3 雷射擴散問題之解決方法	34
第4章 三度空間距離量測的實現	38
4-1 水平寬度與垂直高度之距離量測	38
4-2 IBDMS 之面積量測	41
4-3 IBDMS 之遠距離量測	42
第5章 IBDMS 量測系統之研製	44
5-1 量測架構之研製	44
5-2 亮點影像圖形所在位置的判斷	46
5-3 攝影晃動的影響和克服的方法	48
第6章 IBDMS 距離量測實驗與紀錄及分析	52
6-1 量測參數的建立	53

6-2	IBDMS 實際量測紀錄：使用高階設備-----	55
6-3	IBDMS 實際量測紀錄：使用低階設備-----	58
6-4	IBDMS 實際量測紀錄分析比較-----	60
結論	-----	61
參考資料	-----	62





# 圖目錄

圖(1)三度空間距離量測示意圖	13
圖(2)距離量測之實際圖示照片	13
圖(3)影像基座之距離量測架構	14
圖(4)綠光雷射遠距離量實景照片	15
圖(5)取得量測參數 $\theta_H$ 及 $h_0$ 的方法	16
圖(6)亮點影像位置判斷(50 公分)	17
圖(7)亮點影像位置判斷(250 公分)	17
圖(8)電阻尺距離量測的原理說明	19
圖(9)兩種光學尺的原理說明	20
圖(10)超音波測距原理說明	22
圖(11)EDM 距離量測間接法之說明圖	23
圖(12)波長與相位角之關係圖	24
圖(13)入射波和反射波相位差的圖示說明	24
圖(14)雙 CCD 視差法之距離量測系統說明	26
圖(15)Za 的影像畫面	26
圖(16)Zb 的影像畫面	26
圖(17)影像基座距離量測原理說明	28
圖(18)影像基座距離量測系統架構說明	29
圖(19)H2 (遠距離)的畫面	30
圖(20)H1(近距離)的畫面	30
圖(21)建立 $hop$ 和 $\cot(\frac{\theta_H}{2})$ 的校正框架說明圖	32
圖(22)Hm1 的影像畫面	34
圖(23)Hm2 的影像畫面	34
圖(24)雷射光束之擴散現象	34

圖(25)在 1 公尺所拍攝的影像圖形 -----	35
圖(26)在 5 公尺所拍攝的影像圖形 -----	35
圖(27)投射亮點影像圖形之判斷說明 -----	36
圖(28)50 公分之照片 -----	37
圖(29) 250 公分之照片 -----	37
圖(30) 50 公分影像信號分析 -----	37
圖(31) 250 公分影像信號分析 -----	37
圖(32)三度空間距離量測說明 -----	38
圖(33)攝影距離為 $H$ 時的待測面積 $AUT(H_k)$ ：垂直攝影 -----	41
圖(34)遠距量測說明 -----	42
圖(35)兩點之間距離的量測 -----	43
圖(36)量測架構示意圖 -----	45
圖(37)雷射光束平行狀態的設定 -----	45
圖(38)校正前的照片 -----	46
圖(39)校正後的照片 -----	46
圖(40)50 公分的照片 -----	46
圖(41)90 公分的照片 -----	46
圖(42)130 公分的照片 -----	46
圖(43) 170 公分的照片 -----	46
圖(44) 210 公分的照片 -----	46
圖(45) 250 公分的照片 -----	46
圖(46) 50 公分影像信號分析 -----	47
圖(47) 90 公分影像信號分析 -----	47
圖(48)130 公分影像信號分析 -----	47
圖(49) 170 公分影像信號分析 -----	47

圖(50) 210 公分影像信號分析 -----	47
圖(51) 250 公分影像信號分析 -----	47
圖(52)亮點所在位置的判斷流程-----	48
圖(53)因晃動而產生影像圖形移位的現象 -----	49
圖(54)因晃動影響所得到的判斷結果 -----	50
圖(55)亮點位置判斷之最後結果-----	50
圖(56) ~圖(64) 量測參數影像畫面-----	54
圖(65)~圖(76)為實際拍照所得的照片(雷射距離 30cm) -----	55
圖(77)~圖(88)為實際拍照所得的照片(雷射距離 20cm) -----	56
圖(89)~圖(100)為實際拍照所得的照片(雷射距離 10cm) -----	57
圖(101)低階便宜的網路攝影機及雷射光筆 -----	58
圖(102)使用低階設備距離 50cm 的照片及像素波形圖 -----	60



## 表目錄

表(1) $H_K$ 和 $D_K(\max)$ 的量測記錄	53
表(2) 量測參數 $hop$ 和 $\cot \frac{\theta_H}{2}$	54
表(3) IBDMS 量測結果(雷射距離 30cm)	56
表(4) IBDMS 量測結果(雷射距離 20cm)	57
表(5) IBDMS 量測結果(雷射距離 10cm)	58
表(6) WEBCAM 的量測記錄(雷射距離 18cm)	59
表(7) WEBCAM 的 $H_K$ 和 $D_K(\max)$ 量測記錄	59
表(8) WEBCAM 的 IBDMS 量測結果(雷射距離 18cm)	59



# 第 1 章 緒論

本論文研究的主軸設定在，只以一張影像畫面完成距離量測的功能。以期在每一張影像畫面中置入一支可以伸縮自如的影像尺。達到依攝影距離的不同，而自動調整其距離量測解析度，進而對被攝影的物體，測得其離攝影系統有多遠，其正面水平寬度及垂直高度各是多少。

## 1-1 研究背景與研究動機

近幾年來有關機械人的研究，各國均已相繼投入大量的人力及資源。尤其日本及韓國除傳統機械手臂的改良外進而在兩足機械人和仿生機器人(寵物機械人)的研究，已取得領先的地位。所以今年國科會控制及自動化學門，均以機械人爲其研究重點，各大公司亦宣佈成立機械人應用部門，而機械人中的視覺系統已被列爲優先項目。然縱觀目前機械人視覺系統，幾乎是以超音波測距或雷射測距或影像圖形辨識爲主要架構。但超音波測器[1]~[3]及雷射測距[4]~[6]大都應用於避障礙系統中，不易完成路徑的認識與學習。當以影像圖形辨識或影像信號分析[7]~[9]作爲機械人視覺系統時，大都使用視差法[10]~[13]，除兩台 CCD 攝影機必須精確地架設外，且必須配合高速電腦及 DSP 系統做全畫面影像資料的儲存和分析，將使體積變大，造價昂貴，尤其電力負荷太大。本論文所思考的方向，希望能提出一種結構簡單，耗電少，體積小，處理速快的影像式距離量測系統，應用於機械人的視覺系統中。當每一張影像畫面均有，「距離參數」的時候，將能使機械人視覺系統的應用更加靈活。

本論文期盼提出一種新的方法，並把所學應用於新方法的實現。希望能對國內機械人視覺系統的研究有所貢獻。本論文將著重於量測理論及量測架構的探討與實現。

## 1-2 研究目的與研究方法

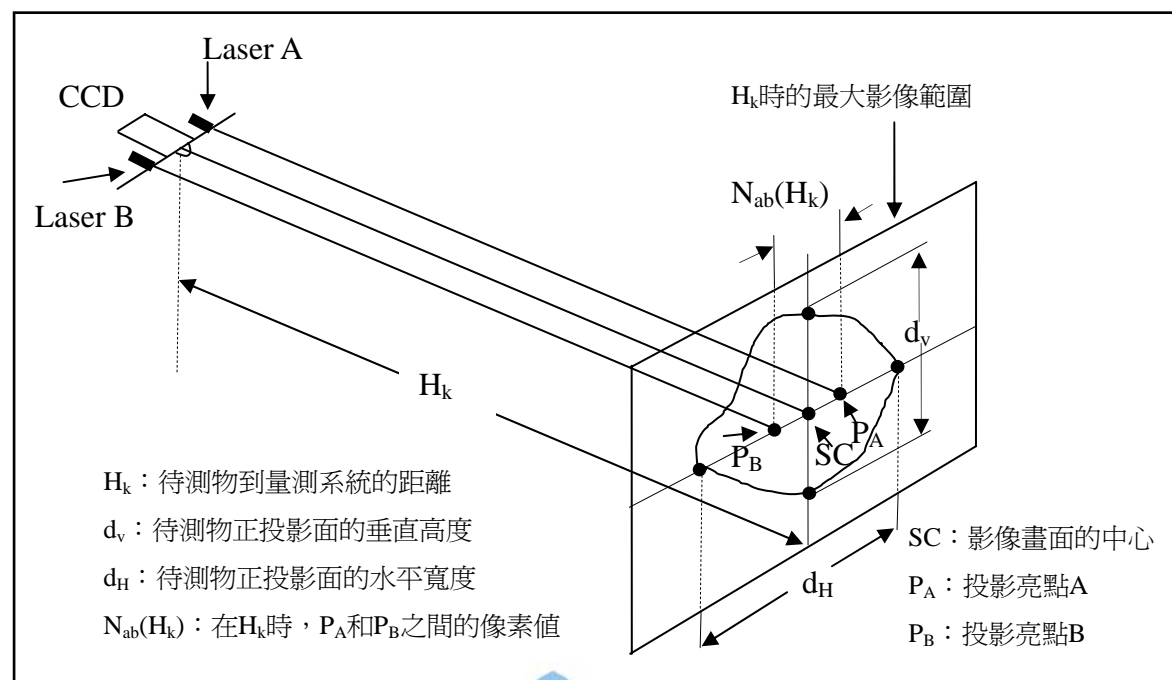
在機械視覺領域中不論是雙 CCD 視差法[10]~[13]或單 CCD 特徵比較(或特徵設定：標準規)都必須做大量資料的儲存及演算，本論文希望以單 CCD 攝影機(數位相機)完成距離量測的功能，進而完成待測物到量測系統之間的距離量測、待測物正投影面的水平寬度及待測物正投影面垂直高度的量測，即以一台 CCD 攝影機(數位相機)實現三度空間距離量測為本論文的主要目的。

攝影距離遠近的改變，將得到不同大小的影像圖形，但待測物影像圖形的確認(辨識)必須做大量資料的儲存和演算，所用的處理設備(高速電腦及 DSP 系統)，除價格昂貴外，其體積無法限縮，使得直接附有距離量測功能的 CCD 攝影機(數位相機)，一直停留在試驗階段。本論文改採被動式(CCD 影像圖形)與主動式(雷射光束產生投射亮點)混合使用的方法。把兩支可見光低功率雷射發射器(如做簡報用的雷射指示筆)，固定在 CCD 攝影機左右兩側，則雷射光束於待測物體上所產生的兩個投射亮點，也會出現在影像畫面中，且因投射亮點的亮度遠大於環境背景亮度，將能以簡單的方法判斷出亮點影像圖形所在的位置，進而得知兩亮點影像圖形之間所佔的掃描時間(或之間的像素值)，計算出待測物到量測系統之間的攝影距離。但大部分攝影情形，幾乎不是垂直攝影的情形，本論文亦針對傾斜攝影的情形，做了相當的研究。

## 1-3 研究成果

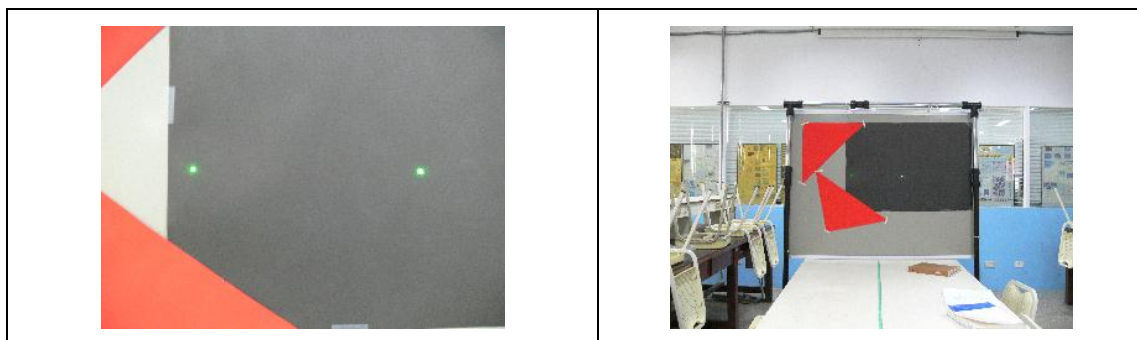
本論文以兩道低功率可見光雷射光束，於待測區產生兩個投影亮點，以該兩投射亮點影像圖形之間所佔的掃描時間(或之間的像素值)作為三度空間距離量測的依據，本論文依此理論完成如下的成果

## (一)單一攝影機三度空間距離量測的實現



圖(1)三度空間距離量測示意圖

圖(1)為垂直攝影機時，以 $P_A$ 和 $P_B$ 兩投射亮點影像圖形之間在 $H_K$ 時所相距的像素值 $N_{ab}(H_K)$ ，可以測得 $H_K$ ， $d_v$ ，及 $d_H$ 的距離測值。



圖(a)50 公分量測的結果

圖(b)250 公分量測的結果

$H_K^*$ : 54.5977 誤差: 0.091954

$H_K^*$ : 267.2383 誤差: 0.068953

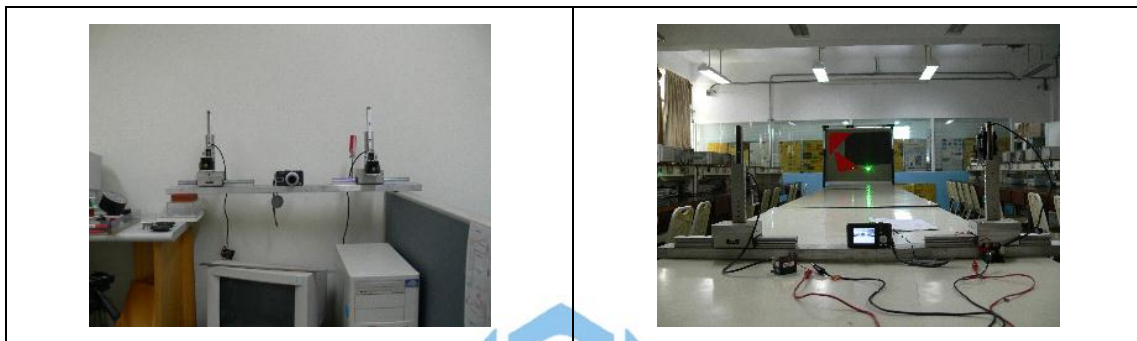
圖(2)距離量測之實際圖示照片(\*為量測值)

## (二)量測系統架構的設計與製作

為了使量測能更精確，因而設計了一套可以水平移動及垂直移動



的量測基座。便能把兩道雷射光束真正調成平行狀態，並且使兩道平行的雷射光束與CCD攝影機的光學軸心位於同一條水平線上。如此一來 $P_A$ 和 $P_B$ 兩投射亮點的影像圖形，將位於同一條水平掃描線上。就能直接選取該條水平掃描線上的影像信號(或影像資料)，作為判斷亮點位置的依據，所以本文的研究並非反射式測距(超音波測距，或雷射測器.....)也沒有做全畫面的圖形辨識。理論上只要以一條水平掃描線上的影像資料，就足以完成距離量測的功能。

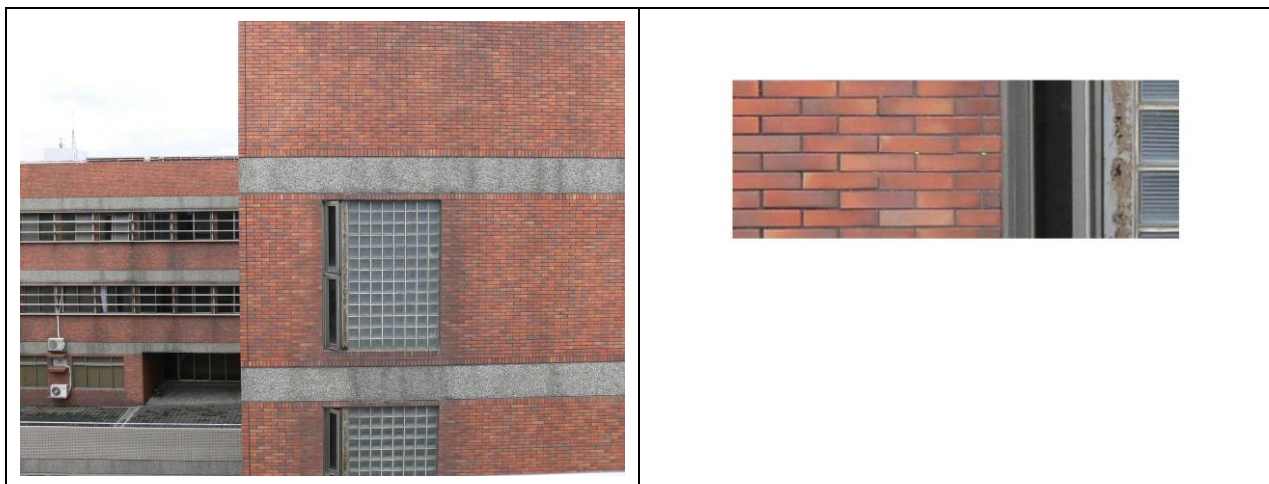


圖(a)機構圖

圖(b)應用範例

圖(3)影像基座之距離量測架構

因有了這套量測架構，可調整為雷射光束相隔的距離，才能得到更多量測的樣本，以証實本論文所提方法的正確性。而所架設的雷射發射器為綠光雷射，可做遠距離的投射。才使本論文有關遠距離之量測得以實現。



圖(a)實景照片(10 公尺)

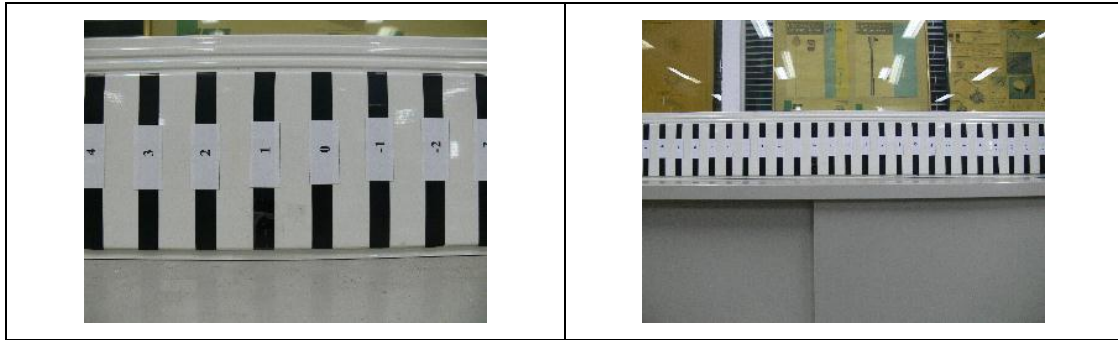
圖(b)局部放大照片

圖(4)綠光雷射遠距離量實景照片

### (三)量測參數之取得

一般以 CCD 攝影機所完成的距離量測系統幾乎是以 CCD 攝影機的內部參數(焦距，CCD 感測器的寬度…)做為量測的依據。但縱使用廠牌同一型號的 CCD 攝影機(數位相機)，其內部參數也不盡相同。因透鏡的誤差機械結構的偏移，甚至處理電路，都有可能造成差異或失真[14]~[16]，且這些內部參數的取得必須有專業的技術，並非一般實驗室均能為之。

本論文為了量測方便性及準確性的考量，所使用的量測參數乃以一整台攝影機實際的特性為依據。以簡單的方法測得其水平視角( $\theta_H$ )和光學原點所在的距離( $h_0$ )。將使任何廠牌的 CCD 攝影機(數位相機)，能被輕易的測得該台 CCD 攝影機的量測參數  $\theta_H$  及  $h_0$ ，進而引用本論文所提的距離量測原理，實現以一台 CCD 攝影機(數位相機)完成距離量測的功能。



圖(a)1公尺量測參數資料

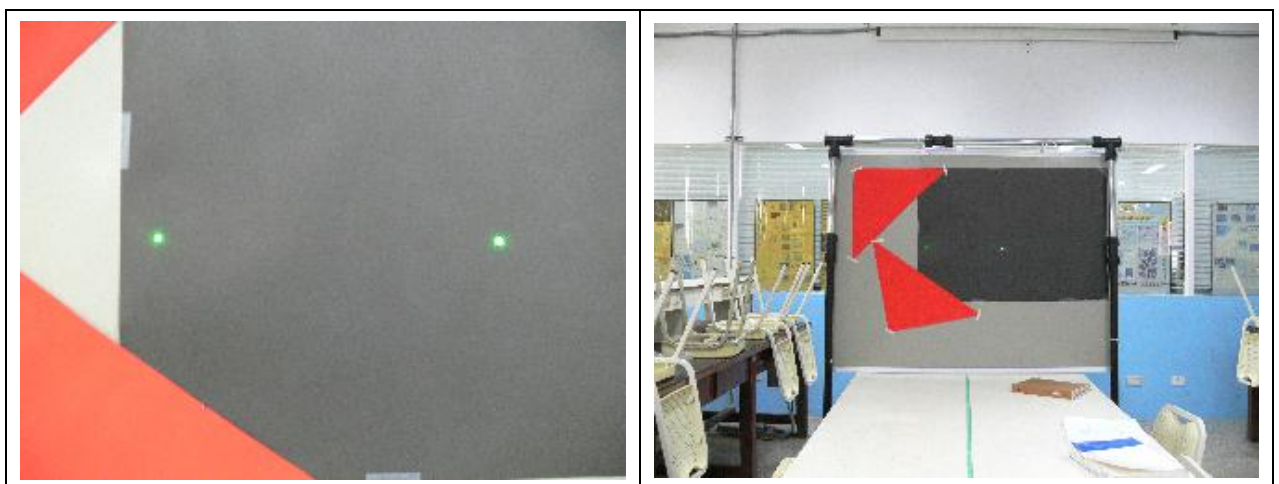
圖(b)2公尺量測參數資料

圖(5)取得量測參數 $\theta_H$ 及 $h_0$ 的方法

以自製的量尺，於不同的距離取得不同的影像畫面，進而以兩張畫面所代表的水平寬度及攝影距離，得知 $\theta_H$ 及 $h_0$ 的大小。茲因相關之影像處理軟體，均具有放大功能，因而能得到精確的量測參數 $\theta_H$ 及 $h_0$ 。

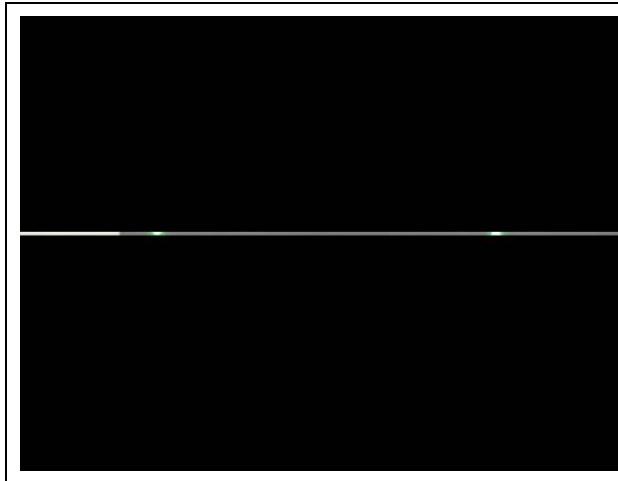
#### (四)量測實驗與量測結果的驗證

茲因所設計的量測架構，已使兩道雷射光束及 CCD 攝影機的光學軸心，位於同一水平線上，則投射亮點 A 和投射亮點 B 的影像圖形及影像畫面的中心點(SC)，將位於同一條水平掃描線上。但因經費及技術無法製作精密量具，所以以信號處理方式克服機構精密不足的缺點。

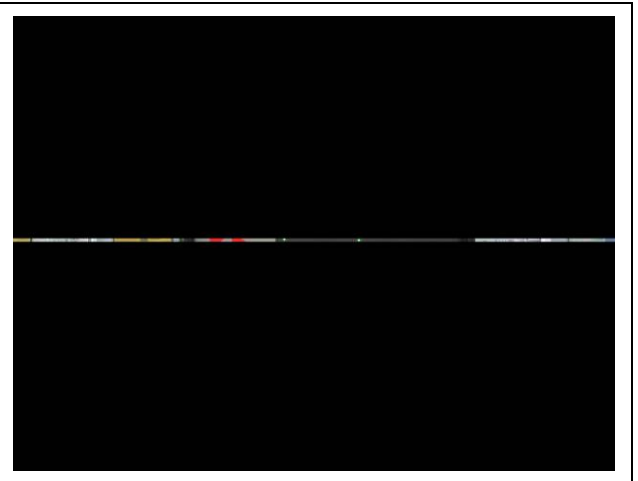


圖(a)50公分時實景照片

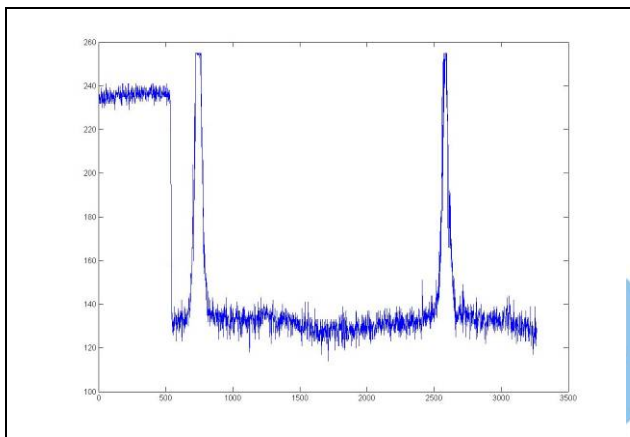
圖(a) 250公分時實景照片



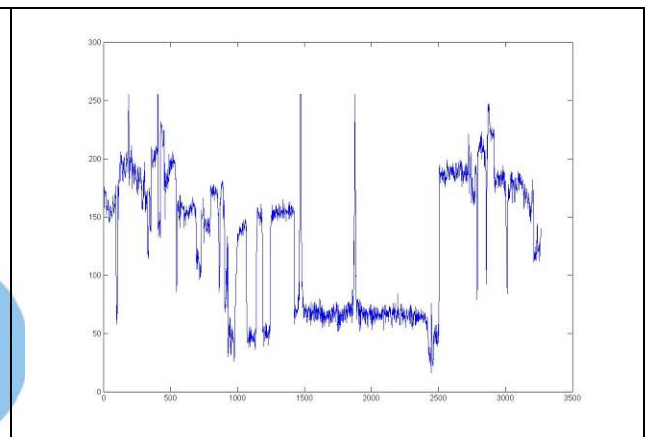
圖(b)取中心上下各 10 條



圖(b)取中心上下各 10 條



圖(c)影像信號分析



圖(c)影像信號分析

圖(6)亮點影像位置判斷(50 公分)

圖(7)亮點影像位置判斷(250 公分)

乃以中心水平掃描線上、下各取 10 條水平掃描線的影像信號，做亮度及顏色(綠光)的判斷，再把 10 條判斷的結果做垂直方向 OR 的運算，以得到亮點影像圖形所在位置的 X 座標值。進而計算其間相隔的像素。而得到距離量測的依據。

## 1-4 論文大綱

本論文的架構為第二章：先前技術的探討，有關接觸式距離量測和非接觸式距離量測的介紹，從量尺、光學尺、米輪尺(旋轉編碼之光學尺)開始介紹，進而超音波測距、雷射測距、電波測距、視差法測距，從這些先前測距方法的探討與分析，佐證本論文所提

IBDMS(Image-Based Distance Measuring System )影像基底之距離量測系統的可行性及實用性。

第三章說明 IBDMS 測距原理，並圖示量測架構及如何解決雷射擴散(或投射亮點反射光不規則反射)問題的方法。同時對投射亮點的判斷及像素值的計算做必要的說明。

第四章乃實現 IBDMS 遠距離量測的方法。先從垂直攝影的狀態，探討如何完成攝影距離、水平寬度、垂直高度之三度空間距離量測的公式推導。進而說明如何以傾斜攝影狀態，完成距離量測的功能。

第五章為實現 IBDMS 量測之研製，乃先取得影像畫面，再以所撰寫的軟體程式，做亮點影像圖形的判斷及像素值的計算，進而得知待測距離的大小，其中有關亮點影像圖形所在位置的判斷，其演算過程以邏輯 OR 的運算為之。

第六章為 IBDMS 距離量測實驗與紀錄分析：各種量測的結果，均做影像照片紀錄及影像信號分析。並詳列量測值及誤差量的大小。並以不同雷射光束的間隔做量測。其中量測參數  $\theta_H$  及  $h_0$  的取得方式及結果，均在本章節中有詳細的紀錄和說明。

最後為本論文的結論，以 IBDMS 的原理提出一些可資應用的說明及研究心得。

## 第 2 章 距離量測方法介紹：先前技術之探討

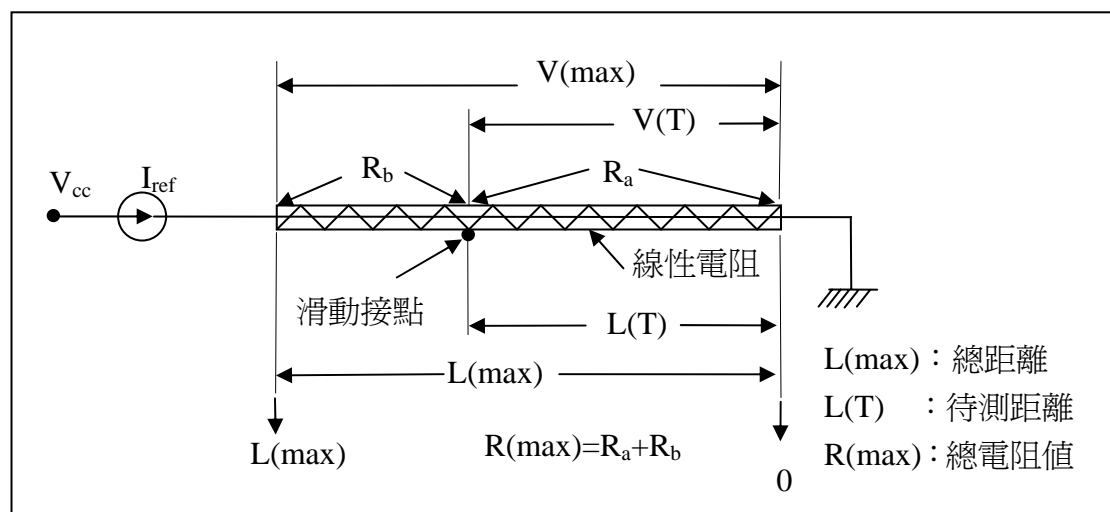
本論文以距離量測為研究主軸，以影像基底做為距離量測的依據。必須對各種距離量測的方法做適度的介紹和比較，以確定本論文之實用性。

### 2-1 接觸式距離量測

人類最早使用的距離量測方法，乃以走路時的「步距」為依據，進而以直尺，皮尺(捲尺)作為距離量測的工具。近代電子科技的進步許多以「固定刻度」為距離量測的電子式量測裝置，相繼被應用於各種距離量測的領域。常用的有電阻尺，及光學尺。其中光學尺又分成線性光學尺及旋轉編碼光學尺。旋轉編碼光學尺衍生出拉線式距離量測計和米輪尺[17]~[18]。上述所談之距離量測裝置，都必須把量測裝置移到待測距離的兩端點，是屬於接觸式的量測。茲說明各量測裝置距離量測的原理如下。

#### (A)電阻尺

這是 60 年代常用於機械加工或射出成型之自動化距離量測元件。乃以電阻值的大小代表距離的長短。



圖(8)電阻尺距離量測的原理說明



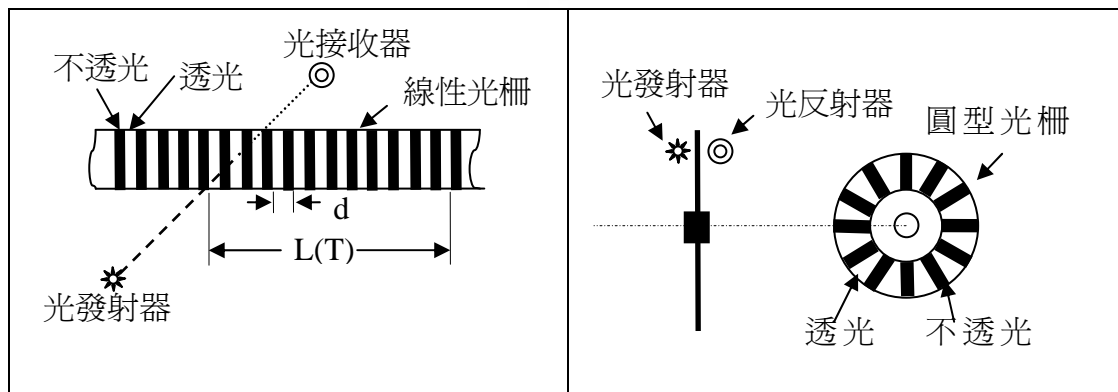
電阻尺可以看成是一種精密滑線型可變電組，亦可視之為電阻式的游標卡尺。當以定電流  $I_{ref}$  驅動電阻尺時，將得到最大電壓  $V(\max) = I_{ref} R(\max)$ ，待測距離所對應的電壓為  $V(T) = I_{ref} R_a$ ，則待測距離為

$$L(T) = \frac{V(T)}{V(\max)} \times L(\max) \quad (1)$$

電阻尺是一種很方便做自動化距離(長度)量測的裝置，但因活動接點所產生的摩擦作用，會造成損壞。所以近年來已被光學尺所取代。

### (B)光學尺

光學尺乃以光遮斷的原理，計算量測時遮斷次數的大小，代表量測距離長短。光學尺分別被設計成線性光學尺和旋轉編碼光學尺(或稱之為米輪尺)。以光發射器和光接收器於等距的光柵結構中，由偵測頭的移動或旋轉，產生電子脈波，計算電子脈波的數目得到距離量測的長短。其動作原理如圖(9)所示。



圖(a)線性光柵

圖(b)圓型光柵

圖(9)兩種光學尺的原理說明

圖(a)線性光柵所做成的光學尺，乃把光發射器和光接收器組合成可在線性光柵上移動的感測頭，當距離量測時感測頭被移動，於光接收器將得到一連串的脈波，若光柵的間隙為  $d$ ，所得的總脈波數為  $M$ ，則待測距離  $L(T)$  為



$$L(T) = d \times M \quad (2)$$

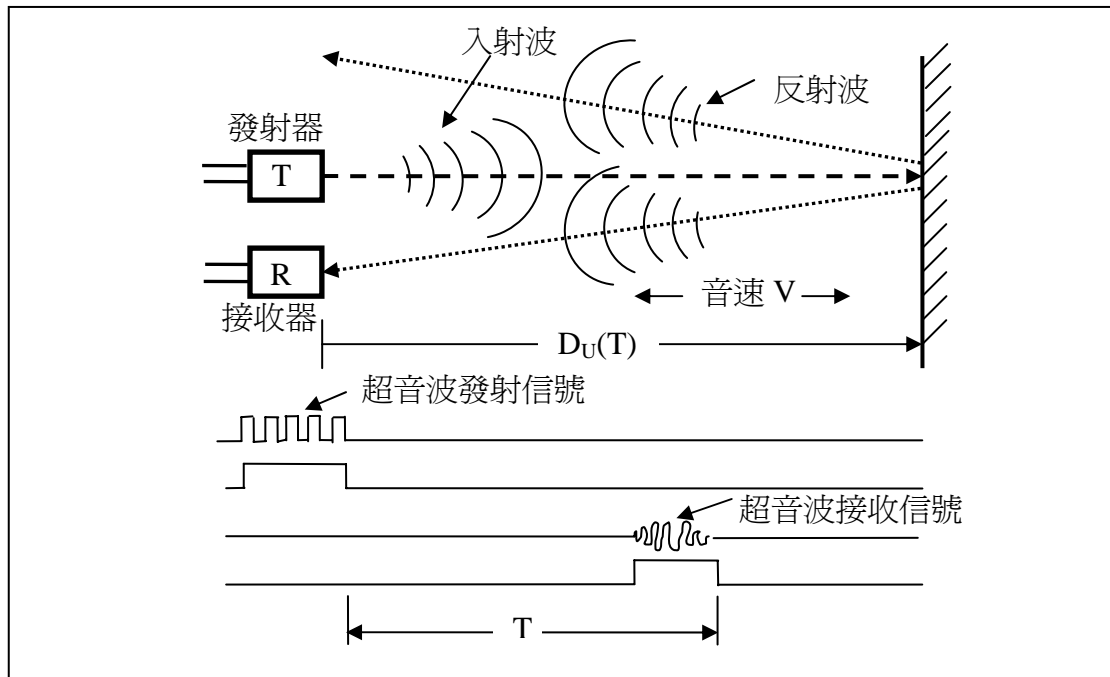
圖(b)圓型光柵所做成的旋轉編碼式光學尺，圓形光柵一般都和量測輪結合在一起，若圓形光柵共有  $N$  個透光區，量測輪的半徑為  $R$ ，而所累計的脈波數為  $M$ ，則量測輪所走的距離  $D(T)$  為

$$D(T) = \left(\frac{2\pi R}{N}\right) \times M \quad (3)$$

線性光柵所做成的光學尺，精度已達  $10\mu\text{m}$  以下，圓型光柵所做成的旋轉編碼式光學尺，其精度依量測軸的不同而不同。常見交通警察推著一支單輪的工具，量測交通事故各端點的距離，即是圓型光柵的應用產品之一，稱之為米輪尺(或碼輪尺)，(米輪尺：公制單位，碼輪尺：英制單位)。

## 2-2 非接觸式距離量測：超音波測距

超音波是一種 25KHZ 以上，人耳聽不到的聲音，在常溫  $25^{\circ}\text{C}$  及一定溼度的條件下，音波的速度可以看成是定速。超音波測距就是把音波視為定速的情況下，計算待測面到量測系統之間音波來回的時間，推算成距離的遠近。超音波測距常被應用於環境變異不大的場合中，尤其是儲存槽中，存量(高度)的量測。其原理如圖(10)所示



圖(10)超音波測距原理說明

$T$  為從發射到接收期間所花的時間，則待測距離  $D_u(T)$  為

$$D_u(T) = \frac{1}{2}(V \times T) \quad (4)$$

而事實上超音波的速度會隨著溫度及溼度而變化，並且超音波的指向性(輻射立體角度)並不是點的反射，必須為面的反射，若待測區反射面積不夠大，將使超音波測距無法使用。目前汽車倒車所使用的超音波感應，並非計算超音波行進所花的時間為感應原理，只是以物體遠近，使得反射波強弱改變作為偵測原理。

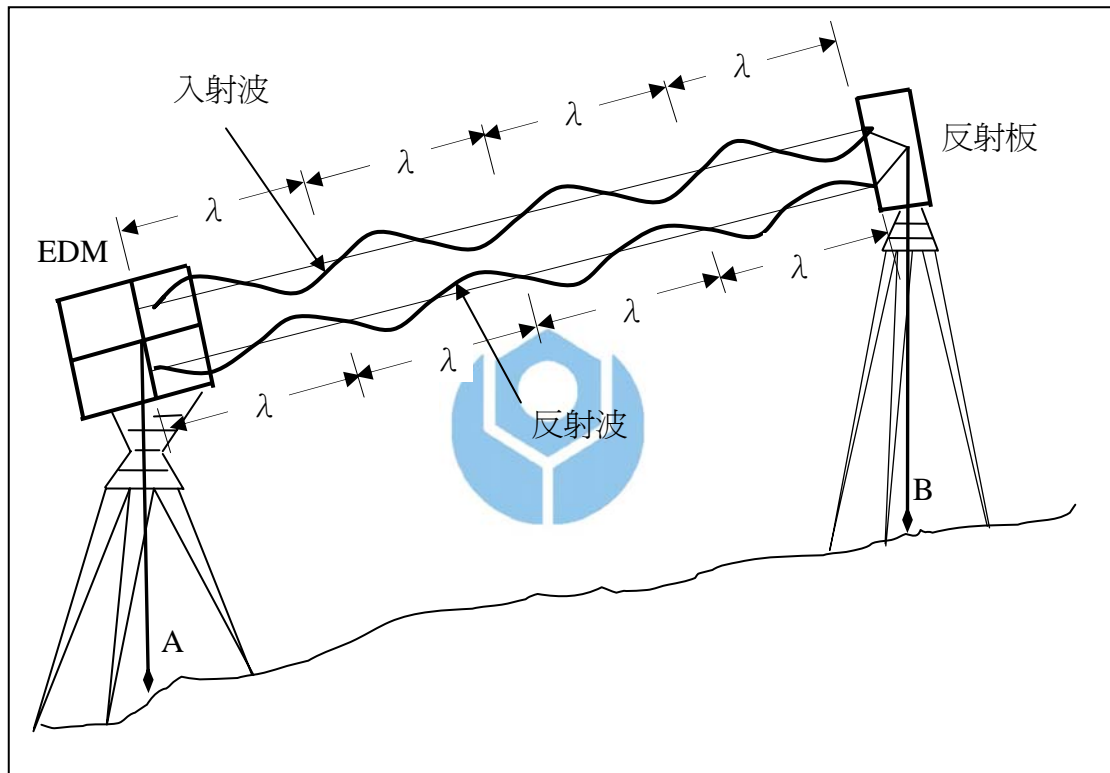
## 2-3 電子測距儀：電波測距儀和雷射測距儀

電子測距的實現早在 1948 年，就由瑞典物理學家所提出。以計算兩端之間光束行進的時間，作為電子測距的原理。1957 年南非科學家提出，電磁波行進時以波長為距離量測單位，輔之以相位差做成遠距之距離量測。但當衛星定位(GPS)技術成熟後，電波測距的方式已逐漸被淘汰，而光束行進時間之測距，目前大都稱之為雷射測距儀。

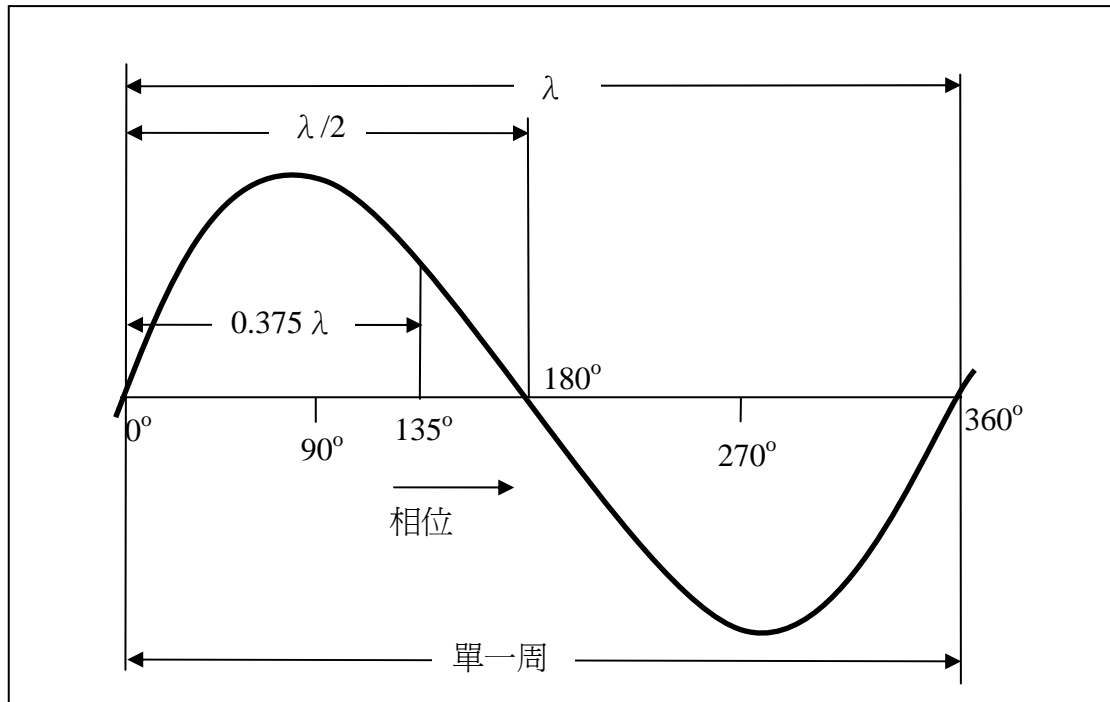
在電子測距儀之測距原理概分為直接法和間接法，直接法乃量測電磁波在一直線兩端往返行進的時間  $T$ ，以光速 ( $u$ ) 帶入得知待測距離  $D_E(T)$  為

$$D_E(T) = \frac{1}{2}(u \times T) \quad (5)$$

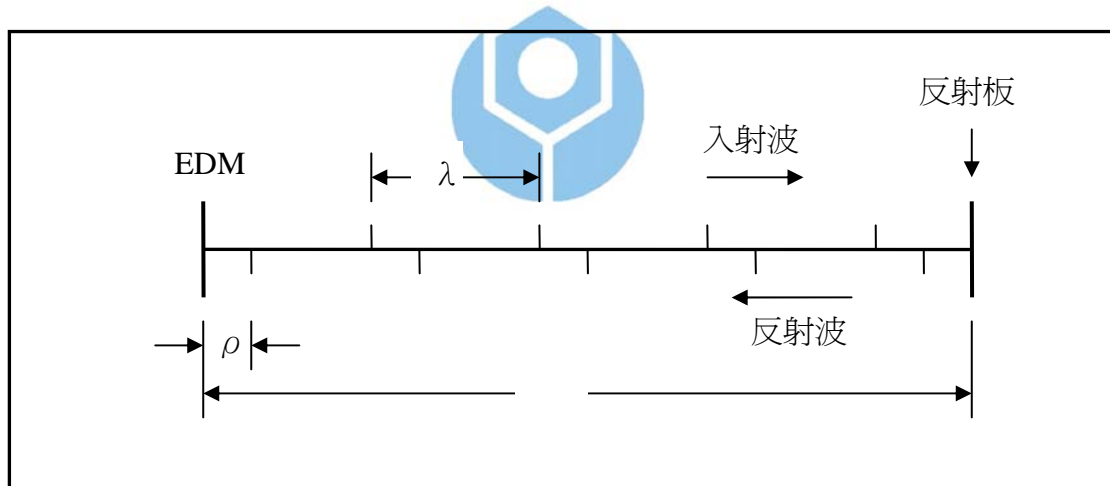
間接法乃量測電磁波在一直線兩端往返之周數及發射波和入射波的相位差。得知待測距離的遠近。



圖(11)EDM 距離量測間接法之說明圖



圖(12)波長與相位角之關係圖



圖(13)入射波和反射波相位差的圖示說明

圖(11)為電子測距儀間接法量測，當入射波的頻率固定時，則其波長  $\lambda$  將是固定值。(14.984MHz:  $\lambda = 20\text{m}$ )(1.4984MHz:  $\lambda = 200\text{m}$ )。則只要計算整周數(完整一周如圖(12)所示)有多少個(n)，再加上入射波和反射波相位差( $\theta$ )所代表的距離  $p$ ，則為待測距離的量測值  $D_{EDM}(T)$ 。

$$P = \frac{\theta}{2\pi} \times \lambda \quad (6)$$

$$D_{EDM}(T) = \frac{1}{2}(n \times \lambda + P) \quad (7)$$

公式(4)為直接法之距離量測，是目前雷射測距的主要原理，目前雷射測距已經不必使用反射板，而是直接以待測物(點)做為反射板。所以雷射(光束)測距的產品品牌眾多。因而雷射測距已成為非接觸式測距方法的主流，使用上非常方便。

上述 2-1 到 2-3 的說明，已確定超音波測距和雷射測距，直接以待測物(點)作為反射面，距離量測時，不必在待測兩端點分別架設參考軸(面)，所以這兩種方法是屬於非接觸式的距離量測。

非接觸距離量測經常使用超音波測距和雷射測距的方法，這兩種方法已發展很久了。並且有許多商品化的實用產品可供使用。但這兩種方法所測得的距離為待測物到量測裝置之間的距離，無法做二次量測而得知其水平寬度和垂直高度，更沒有影像畫面可以標示所量測的位置及量測值，並且這兩種方法都是使用到「波」反射原理，所以待測面(待測點)的面積大小及反射率良否，都將影響其量測的結果。

## 2-4 非接觸式距離量測：雙 CCD 視差法

以影像方式所完成的距離量測，大都採用雙 CCD 攝影機的方式，由做影像信號分析或影像圖形辨識完成距離量測[7]~[11]，於兩張影像畫面中，先找到相互的對應關係，並辨識出確認為同一物件時，才能以視差法，作為距離量測的依據。所以雙 CCD 攝影機以視差完成距離量測時，必須能夠從整張影像畫面先做可靠的處理，並找出獨立的物件，再做正確的比對，才能據以完成距離量測的功能，對一張數百萬像素的影像畫面而言，以不同顏色在不同位置的排列而言，其複雜度可想而知，所以必須先做影像前置處理以降低影像畫面的複雜度，再進行視訊壓縮之動態偵測，所以這些以影像處理圖形辨識之距離量測系統必須使用到高速電腦作複雜的演算，因而體積較

Figure 10 consists of two side-by-side plots. Each plot has a horizontal axis labeled  $x$  and a vertical axis labeled  $y$ . The horizontal axis has tick marks at  $0$ ,  $1/2NH_{\max}$ , and  $NH_{\max}$ . The vertical axis has tick marks at  $0$ ,  $1/2NV_{\max}$ , and  $NV_{\max}$ . A horizontal line is drawn at  $y = 1/2NV_{\max}$ . In both plots, a function  $f(x)$  is shown as a black curve. Four points are marked on the curve:  $I_{1a}$  and  $I_{2a}$  are on the horizontal line, while  $SC_a$  and  $SC_b$  are above it. Vertical dashed lines connect  $I_{1a}$  to  $NH(1a)$  and  $I_{2a}$  to  $NH(2a)$  on the horizontal axis. In the left plot, the curve is relatively flat. In the right plot, the curve has a more pronounced peak between  $SC_a$  and  $SC_b$ .

圖(16)Z<sub>b</sub>的影像畫面

並且這些方法必須使用到攝影機內部參數(焦距、CCD 感測器的

水平寬度.....)，將因機械結構或處理電路或透鏡的關係，使得同一廠牌同一型號的 CCD 攝影機的內部參數也有所差異，產生各種失真的不確定性[14]~[16]，使得量測的結果有所誤差。許多專用型機械人(不限形式或形體)沒有體積的考量及對反應速度並不要求，已能大量使用影像圖形辨識的技術，完成各種特定操作的定位動作(知道要移動多遠)。但對泛用型(自主型)的機械人(如人型兩足機械人或寵物機械人)而言，影像圖形辨識之距離量測系統，在必須使用大量資料處理及演算的情況下，有其實用上不足的地方。體積大、運算多導致反應速度較慢，當然其造價極為昂貴，並且影像圖形辨識之距離量測系統有先天上數項較難克服的問題：

1. 待側面的影像圖形若太相似(例如同一顏色的大牆壁)，雙 CCD 視差法之距離量測結果極不確定甚致無法使用。
2. 燈光太弱或夜間，影像辨識法將不適用於距離量測。
3. 雙 CCD 攝影機架設時相隔的距離及透鏡光學軸心是否平行，將影響量測結果，而光學軸心之平行校正並不容易。
4. 兩台攝影機之內部參數的差異必須各自校正，再以各自的參數作為影像圖形辨識之依據，將使比對之運算更加複雜。

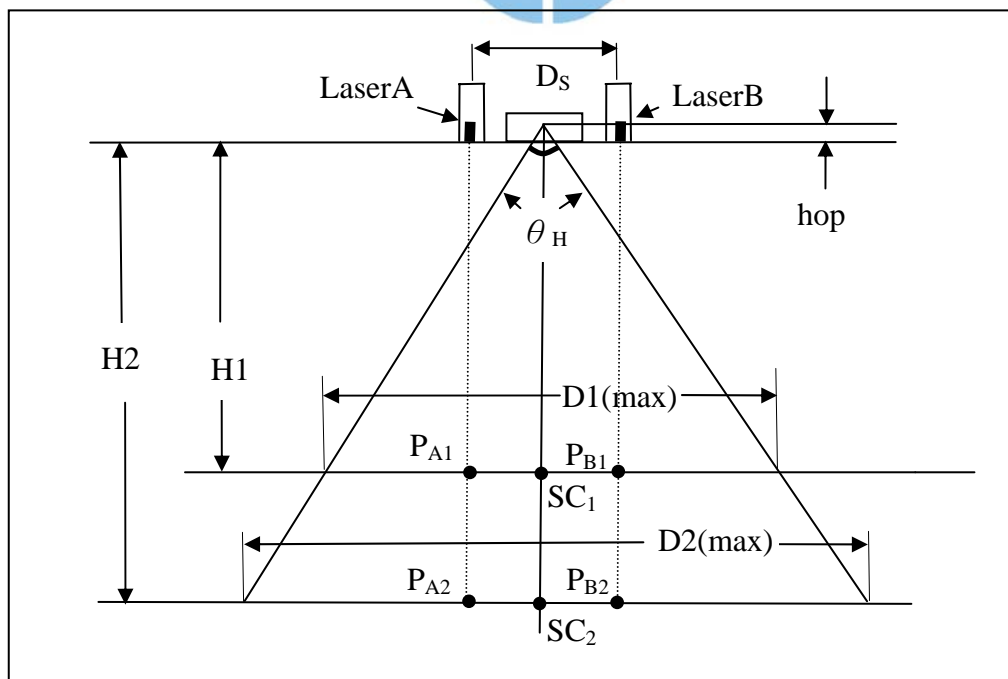


## 第 3 章 距離量測方法的改進：(IBDMS)影像基底之距離量測

超音波測距、雷射測距是屬於非接觸式的距離量測，但超音波測距和雷射測距無法同時具有影像記錄的功能。雙 CCD 視差法距離量測，是一種影像式非接觸的距離量系統，但必須使用到兩台 CCD 攝影機，無法只使用一台 CCD 攝影機的一張影像畫面完成距離量測的功能。

### 3-1 IBDMS 距離量測原理

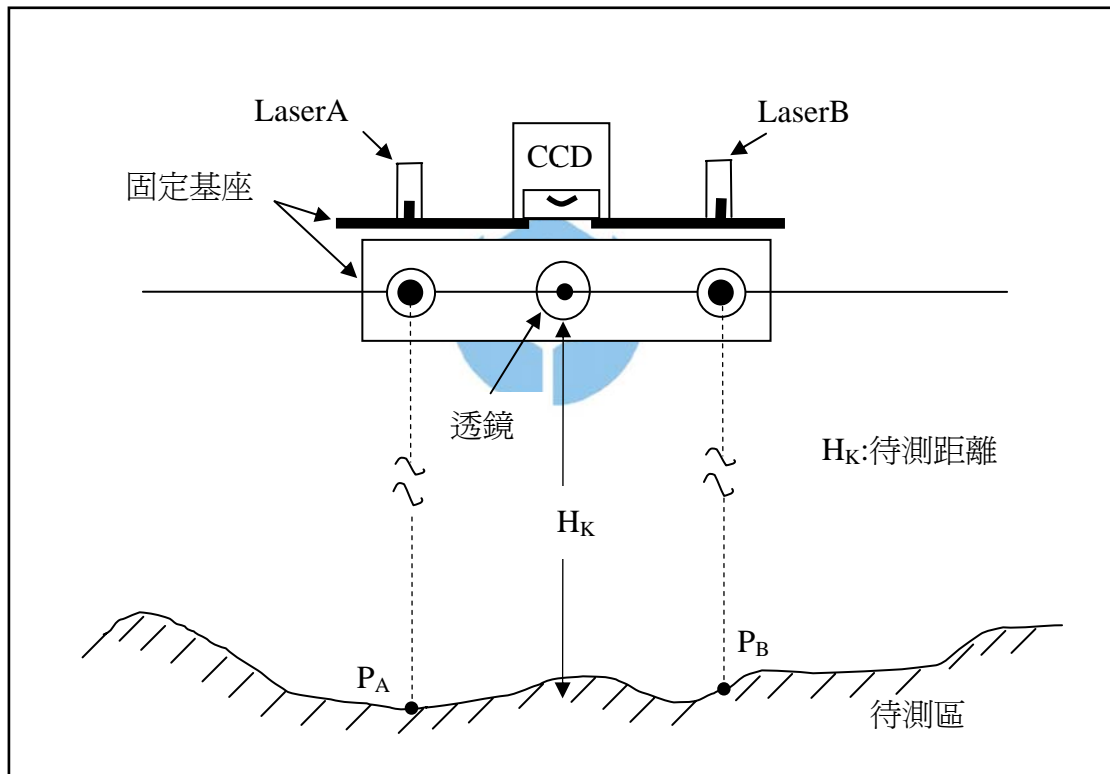
本論文希望達到只利用一台 CCD 攝影機的一張影像畫面實現距離量測的功能。乃以單一 CCD 攝影機(或數位相機)配合兩支雷射指示筆所完成的影像式距離量測系統其距離量測原理，如圖(17)所示。本量測系統稱之為 IBDMS：Image-Based Distance Measuring System



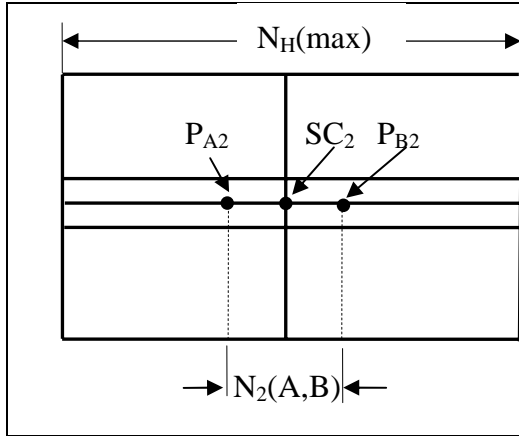
圖(17)影像基座距離量測原理說明

圖(18)中的 CCD 攝影機和兩支雷射筆 LaserA 及 LaserB，被固定

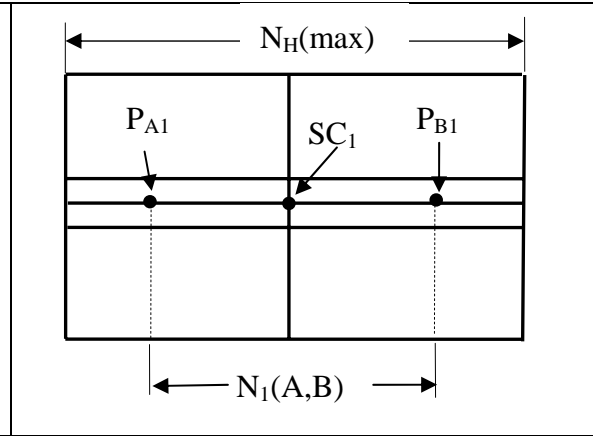
在同一個基座上，並且 LaserA 及 LaserB 所產生的雷射光束被調整成平行於透鏡光學軸心後加以固定。使得 LaserA 和 LaserB 所產生的投射亮點 ( $P_{A1}, P_{B1}$ ) 或 ( $P_{A2}, P_{B2}$ ) 將位於通過螢幕中心  $SC_1$  (或  $SC_2$ ) 的同一條水平掃描線上，且不管由 LaserA 及 LaserB 及 CCD 攝影機所完成的「影像視覺裝置」怎麼移動或轉動，LaserA 及 LaserB 及 CCD 攝影機彼此的相對位置，始終沒有改變，如圖所示。相當於不管朝那一個方向移動，( $P_{A1}, SC_1, P_{B1}$ ) 或 ( $P_{A2}, SC_2, P_{B2}$ ) 都將出現在螢幕的同一條水平掃描線上。



圖(18)影像基座距離量測系統架構說明



圖(19)  $H_2$  (遠距離)的畫面



圖(20)  $H_1$  (近距離)的畫面

以固定不動且相互平行的雷射光束(可見光雷射指示筆，紅光或綠光)，於待測區產生兩個投射亮點。既然稱之為亮點，即為人眼可以看得到的「光點」，則必能於螢幕上產生兩個亮度大於周圍背景亮度的「小圓點」影像圖形，該兩小圓點影像圖形相隔的距離(對影像畫面而言，為兩點之間相隔的像素值或所佔的掃描時間)，不同的攝影距離會造成兩亮點影像圖形之間像素值(或所佔掃描時間)的改變。如圖(19)和圖(20)中， $H_1$ 和 $H_2$ 所顯示的影像畫面。

因雷射光束已被設定為平行狀態，則不論距離的遠近，於待測區所產生的投射亮點之間的距離始終沒有改變，一直保持  $D_s$  的距離。但對不同距離時的影像畫面而言， $H_1$ 時  $P_{A1}$  和  $P_{B1}$  相隔的像素值為  $N_1(A,B)$ ， $H_2$ 時， $P_{A2}$  和  $P_{B2}$  相隔的像素值為  $N_2(A,B)$ ，及  $H_1$ 時，影像畫面中  $N_1(A,B)$  的像素值，所代表的實際距離為  $D_s$ 。 $H_2$ 時，影像畫面中  $N_2(A,B)$  的像素值，所代表的實際距離也是  $D_s$ 。對每一台 CCD 攝影機而言，在  $\theta_H$  的水平視角內，所能拍攝的最大水平寬度將可以表示為：  
 $H_1$ 時的最大水平寬度  $D_1(\max)$

$$D_1(\max) = \frac{N_H(\max)}{N_1(A,B)} \times D_s \quad (8)$$

$H_2$ 時的最大水平寬度  $D_2(\max)$

$$D_2(\max) = \frac{N_H(\max)}{N_2(A, B)} \times D_s \quad (9)$$

其中 $N_H(\max)$ 為該台CCD攝影機水平方向的總像素值。以目前數百萬像素的CCD攝影機而言， $N_H(\max)$ 達到 3,000 個以上比比皆是。若某一機械人所監視的水平範圍為 15 公尺，則其水平寬度距離量測的解析度為

$$15\text{公尺之解析度} = \frac{1500\text{公分}}{(3000)/2} = 1\text{公分} \quad (10)$$

兩個像素之間所代表的距離量測刻度只為 1 公分，若是近距離 1.5 公尺時，其解析度將成為 0.1 公分。相當於是一支可以伸縮自如，且自動調整量測解析度的量尺被放在影像畫面中，所以稱之為影像尺。

在水平視角為 $\theta_H$ 的時候，於攝影機 $H_K$ 的狀態下，若測得兩投射亮點之間的像素值為 $N_K(A, B)$ ，則其所能拍攝的最大水平距離 $D_{KH}(\max)$ 如公式(8)和公式(9)所示，則 $D_{KH}(\max)$ 為

$$D_{KH}(\max) = \frac{N_H(\max)}{N_K(A, B)} \times D_s \quad (11)$$

此時從水平方向觀之，攝影距離 $H_K$ 將是實際景物三角形 $\Delta(P_{H1}, OP, P_{H2})$ 的高度， $D_{KH}(\max)$ 則為三角形的底邊，兩股之間的夾角即為 CCD 攝影機的水平視角 $\theta_H$ ，由三角形公式，的知其高 $H_K$ 為

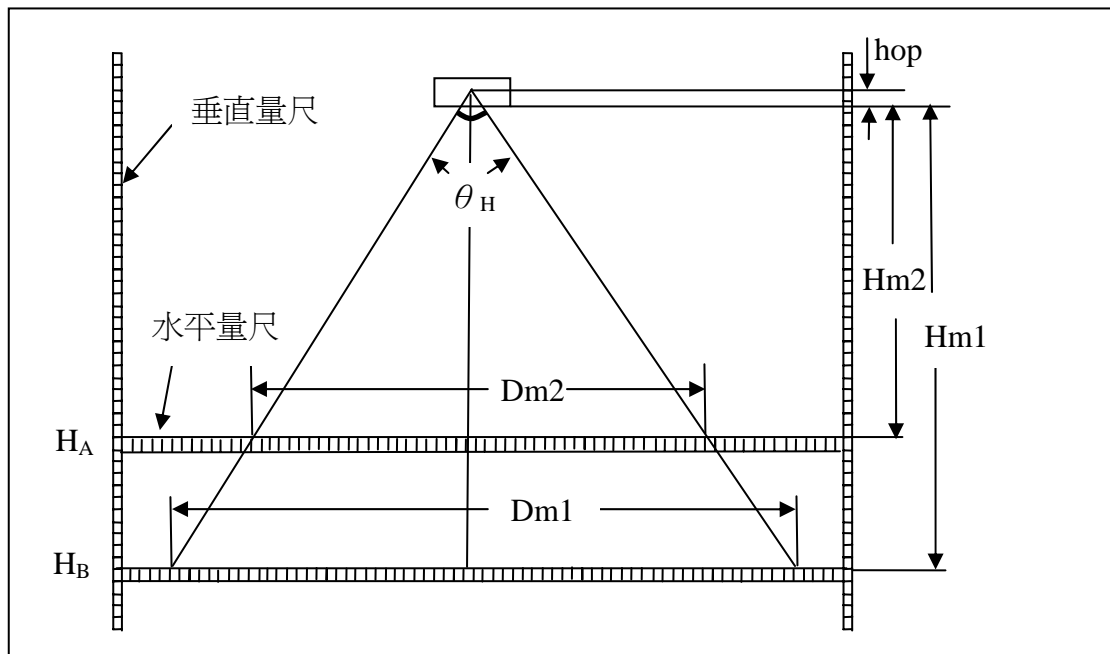
$$\begin{aligned} H_K &= \frac{1}{2} D_K(\max) \cot\left(\frac{\theta_H}{2}\right) - hop \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{N_H(\max)}{N_K(A, B)} \times D_s \times \cot\left(\frac{\theta_H}{2}\right) - hop \end{aligned} \quad (12)$$

從公式(12)中得知攝影距離的遠近，證明了本論文所用的方法並非雙 CCD 視差法的距離量測系統，乃由一張影像畫面中兩投射亮點影像信號相隔的像素值(或掃描時間) $N_K(A, B)$ 得知距離的量測值。真正實現只用一台攝影機的一張影像畫面，同時完成距離量測與影像紀錄的實用量測系統。達到可以在影像畫面中，標示量測距離的功能。

公式(12)中所用到的  $\theta_H$  和  $hop$  為這一台攝影機的水平視角( $\theta_H$ )和在該水平視角的情況下，其光學原點所在的位置為  $hop$ 。本論文同時完成  $\theta_H$  和  $hop$  的量測系統，並非以攝影機的焦距及 CCD 感測器的寬度做為量測參數，而是以整台攝影機實際應用情況下的水平視角  $\theta_H$  及其  $hop$ ，做為本量測系統的量測參數，將可避免 CCD 攝影機因機械結構，透鏡偏差或處理電路及 CCD 感測器本身，而產生許多量測誤差。下一單元將說明本論文如何取得，該台攝影機  $\theta_H$  和  $hop$  的方法。

### 3-2 IBDMS 參數量測系統架構

在我們所設計的量測系統架構上所安置的數位攝影機(相機)，我們並沒有改變其變焦倍數，所以其水平視角  $\theta_H$  將保持固定，則光學原點所在的位置  $hop$  亦將為固定值。如圖(21)所示，為本研究所設計的校正框架，用以測出該台數位攝影機(相機)的量測參數  $hop$  和  $\cot(\frac{\theta_H}{2})$ 。則數位攝影機(相機)因透鏡或機械結構所造成的差異，將不會影響量測的結果，因每一台數位攝影機(相機)，我們都可以由校正框架測得該台數位攝影機(相機)個別的量測參數。



圖(21)建立  $hop$  和  $\cot(\frac{\theta_H}{2})$  的校正框架說明圖

當把水平量尺架設在  $H_B$  和的位置時，數位攝影機(相機)到  $H_B$  的距離為  $H_{m1}$ ，從螢幕上看到水平量尺所對應的最大水平距離為  $D_{m1}$ ，再把水平量尺架設到  $H_A$  的位置時，數位攝影機(相機)到  $H_A$  的距離為  $H_{m2}$ ，所對應的最大水平距離為  $D_{m2}$ 。

依相似三角形定理

$$\frac{hop + H_{m1}}{hop + H_{m2}} = \frac{D_{m1}}{D_{m2}} \quad (13)$$

得知

$$hop = \frac{H_{m1} \times D_{m2} - H_{m2} \times D_{m1}}{D_{m1} - D_{m2}} \quad (14)$$

以  $D_{m2}$  和  $D_{m1}$  為底邊的相似三角型，其高為  $hop + H_{m2}$  和  $hop + H_{m1}$

$$hop + H_{m1} = \frac{1}{2} D_{m1} \times \cot(\frac{\theta_H}{2}) \quad (15)$$

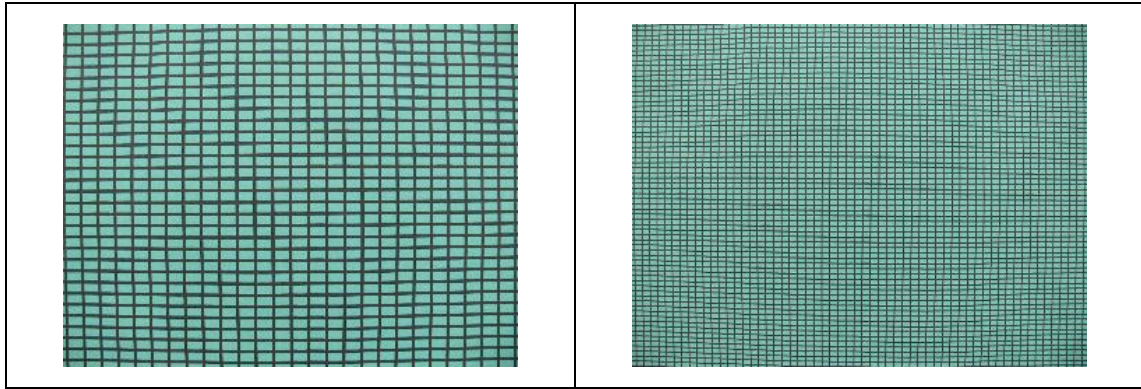
$$hop + H_{m2} = \frac{1}{2} D_{m2} \times \cot(\frac{\theta_H}{2}) \quad (16)$$

由式(15)和公式(16)整理得知

$$\cot(\frac{\theta_H}{2}) = 2 \times \frac{H_{m1} - H_{m2}}{D_{m1} - D_{m2}} \quad (17)$$

有了校正框架以後，任何廠牌的數位攝影機(相機)將都可以適用於本文所設計的量測系統，完成 3D 空間的距離測量。

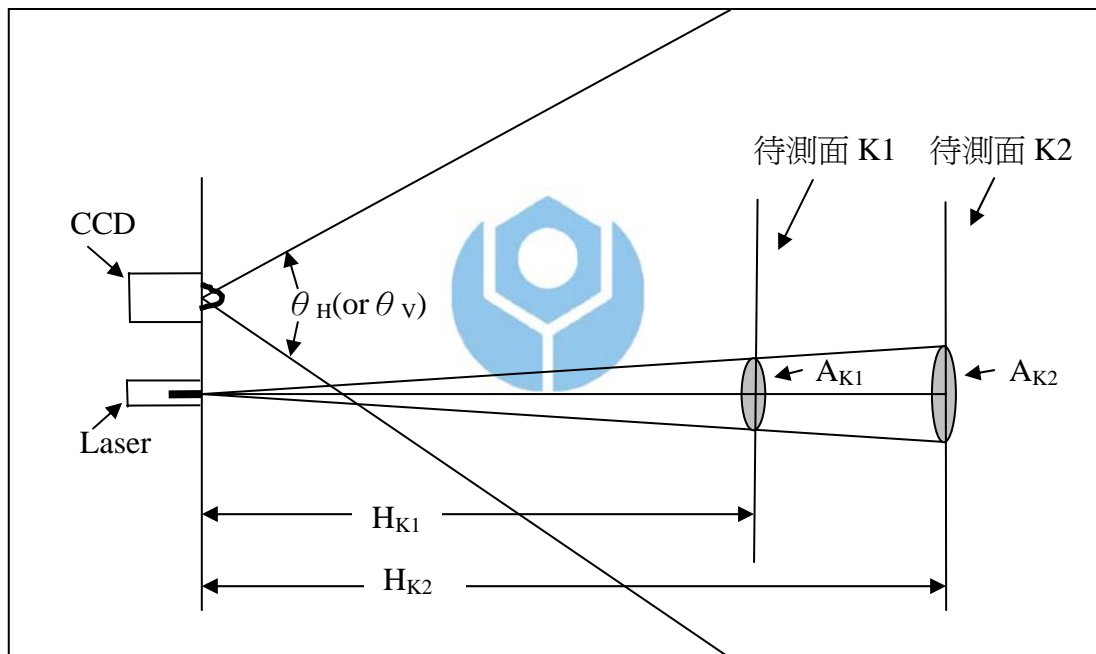
圖(22)和圖(23)的影像畫面分別為  $H_{m1}$  和  $H_{m2}$  時所得的實際照片。乃以自製長度為 1 公尺的方格量尺，重複做 10 次量測，取其平均值，做為本論文量測參數  $\theta_H$  和  $hop$  的標準值，以避免人為誤差，並提高量測的準確度。



圖(22) $H_{m1}$ 的影像畫面

圖(23) $H_{m2}$ 的影像畫面

### 3-3 雷射光束擴散問題的解決方法



圖(24)雷射光束之擴散現象

雷射發射器所射出的雷射光，會有擴散現象的問題存在。雖然有以雷射光束投射面積( $A_{K1}$ 或 $A_{K2}$ )作為距離量測的研究。然而眾所皆知，攝影距離近時，影像圖形的面積變大，攝影距離遠時，影像圖形的面積變小。使得以 CCD 搭配雷射投影面積變化的距離量測系統，一直無法成為非接觸式距離量測的主流。針對本論文而言，雷射擴散問題，依然存在，必須了解其情形並克服雷射光束擴散問題所造成的量測誤差。本論文所用雷射發射器也有雷射光束擴散問題的存在。圖



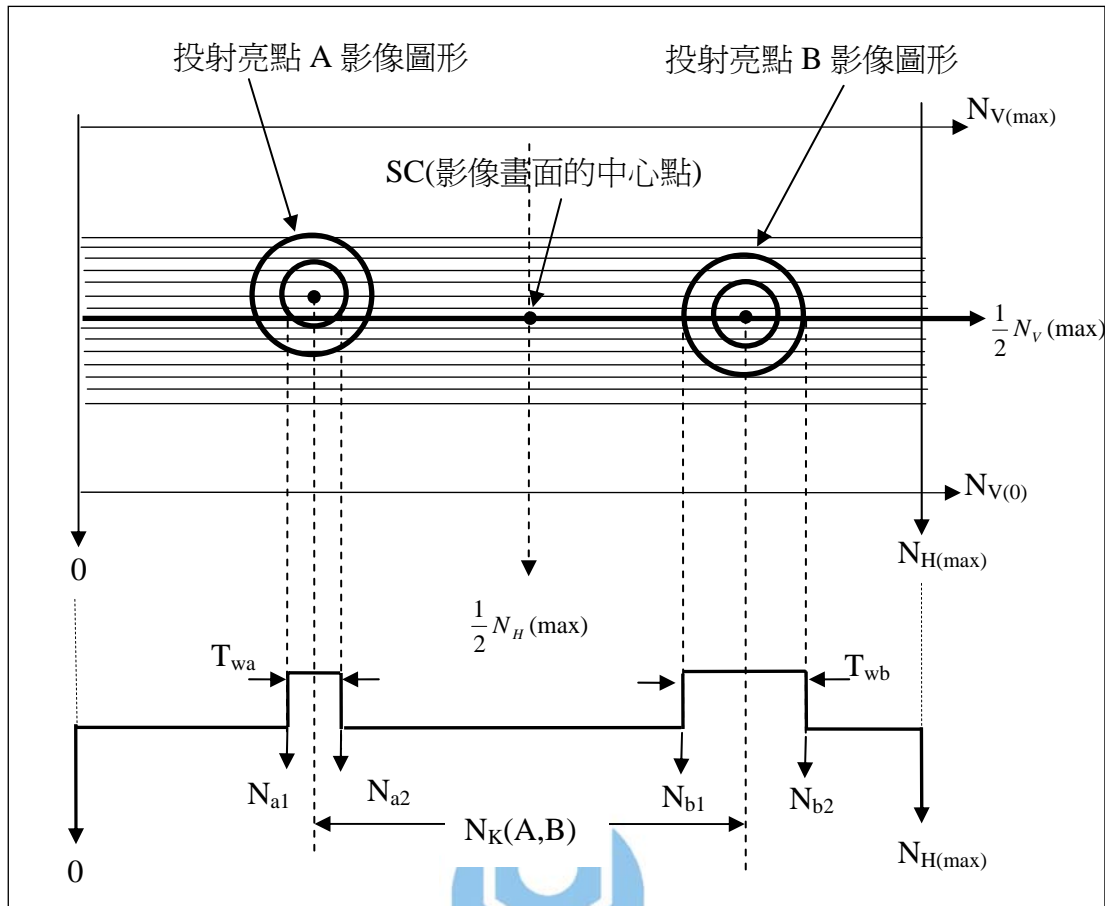
(25)和圖(26)爲不同攝影距離時，所拍攝的影像畫面。雷射光束平行距離爲 20cm。



圖(25)在 1 公尺所拍攝的影像圖形

圖(26)在 5 公尺所拍攝的影像圖形

圖(25)和圖(26)說明，攝影距離不同時，所得到投射亮點影像圖形的面積大小也不一樣的事實。所以不能以投射亮度在影像畫面中所佔的面積，做爲距離量測的依據。本論文因爲採用可見光雷射，爲固定波長的光束，有其顏色變異小的特性，且其亮度遠大於環境背景的亮度，因而捨棄以影像圖形面積做爲投射亮點影像圖形所在位置的判斷。改採顏色種類和亮度強弱作爲投射亮點影像圖形所在位置之判斷，又因量測架構乃把雷射光束設定爲平行狀態，並且也與攝影機的光學軸心相互平行，將使投射亮點的影像圖形和影像畫面的中心點(SC)，位於同一條水平掃描線上。該條水平掃描線將能被直接指定出來。使得本論文之距離量測系統，只要針對該條特定水平掃描線上的影像信號(資料)做判斷，不必做全畫面的影像圖形辨識，以找到投射亮點影像圖形所在的位置。所以本論文的另一特色爲：不必使用高速電腦及 DSP 系統，便能只處理一條水平掃描線的影像信號(資料)，而快速完成距離量測的功能。



圖(27)投射亮點影像圖形之判斷說明

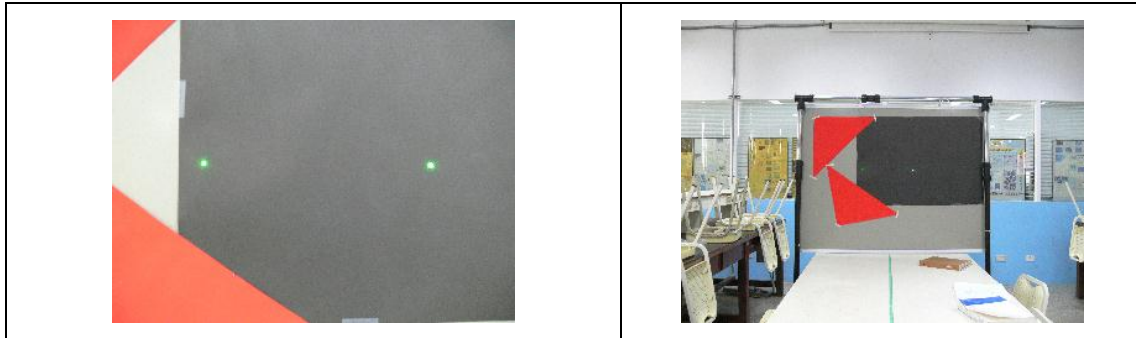
圖(27)中  $\frac{1}{2}N_V(\max)$  那一條水平掃描線為影像畫面的中心線，在 LaserA 和 LaserB 固定且其雷射光束與攝影機光學軸以平行的情況下，理應投射亮點 A 和投射亮點 B 的影像圖形，都必須位於第  $\frac{1}{2}N_V(\max)$  那一條水平掃描線上。但在實做過程中，發現震動時，會產生部分的偏移，使得投射亮點影像圖形(小圓點中心最亮)會有上、下偏移的現象，影像信號分析時，得知兩投射亮點影像圖形的大小並不一樣，圖(27)中畫兩個不同直徑的圓，代表雷射光束擴散所引起的結果或是攝影距離不同時，投射亮度影像圖面積的變化，則將使  $T_{wa} \neq T_{wb}$  的情形發生，即代表直接以影像圖形面積做為量測依據，可能造成更多的量測誤差。

所以本論文除了以顏色及亮點作為判斷的依據外，更以投射亮點

影像圖形中心點作為計算 $N_k(A,B)$ 的依據，而使量測的結果更加準確。則 $N_k(A,B)$ 乃依公式(18)所決定。

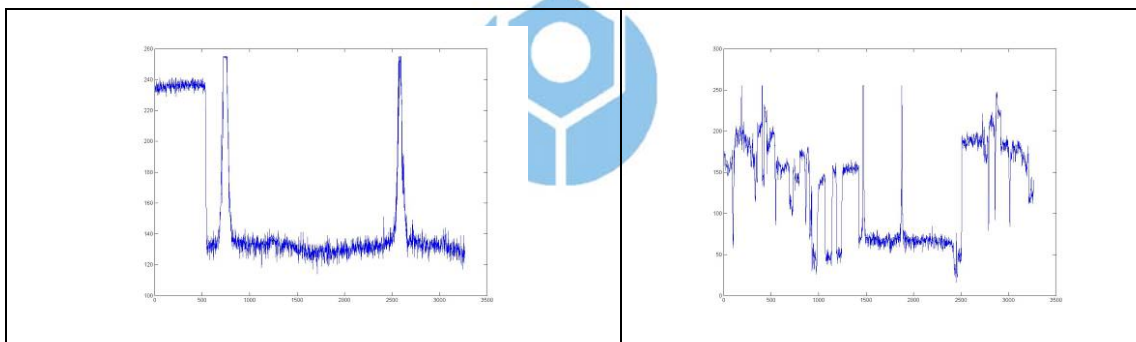
$$N_k(A,B) = \frac{1}{2}[(N_{b2} + N_{b1}) - (N_{a1} + N_{a2})] \quad (18)$$

圖(28)和圖(29)為近距離和遠距離所得的實際照片，圖(30)和圖(31)為此顏色及亮度所做影像分析的結果



圖(28)50 公分之照片

圖(29) 250 公分之照片



圖(30) 50 公分影像信號分析

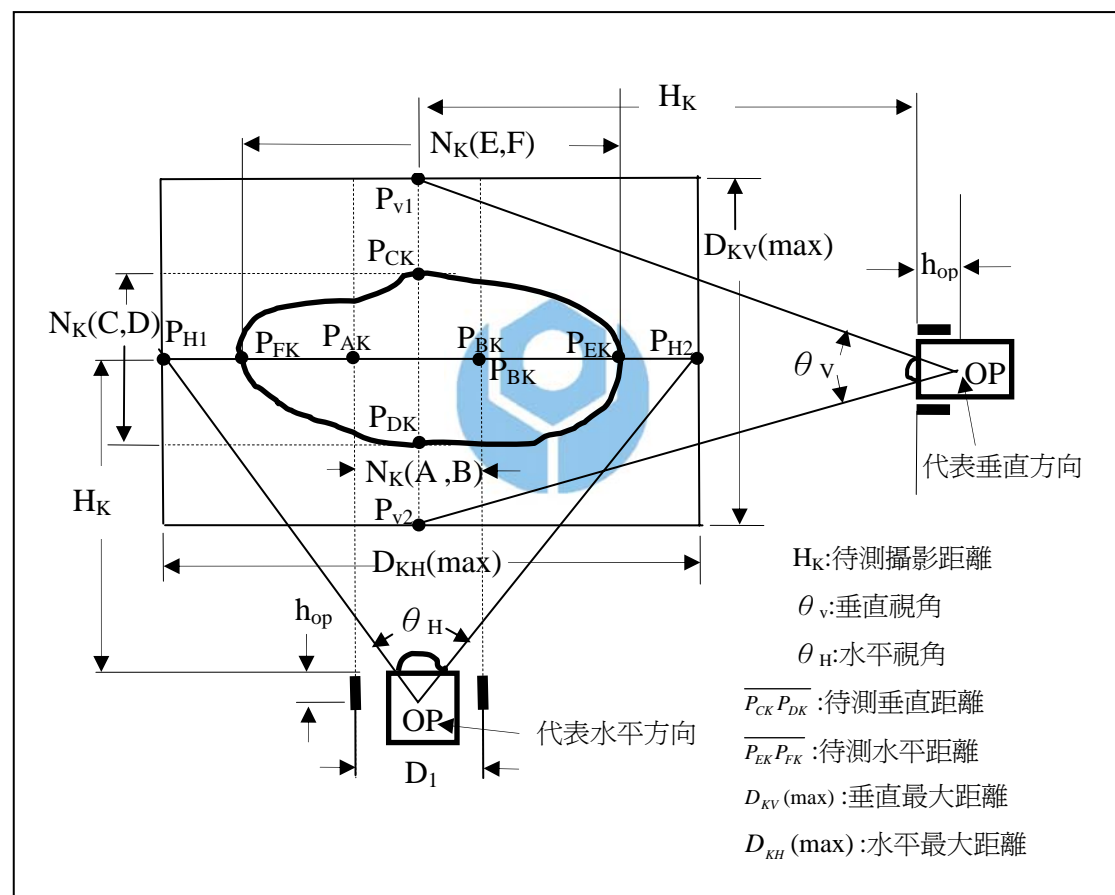
圖(31) 250 公分影像信號分析

從圖(30)和圖(31)所做的影像信號分析，發現到其振幅均已達到飽和狀態(振幅最大值)，證明了以顏色及亮度作為投射亮點影像圖形判斷之依據為正確的推論。加諸以兩投射亮點影像圖形中心做為相隔多少像素值 $N_k(A,B)$ 的判斷，將使本論文所提的距離量測方法，成為一種實用性很高的距離量測裝置。有結構簡單，價格低、可攜式影像距離量測將被實現。

## 第 4 章 三度空間距離量測的實現

從第三章的分析，已證實 **IBDMS** 可以只用一台攝影機(相機)完成攝影距離的量測，同時也完成了以實際的攝影機所取得的量測參數  $\theta_H$  和  $hop$ ，並且考慮到雷射光束擴散問題和攝影時震動所造成的影響。接著將探討如何以 **IBDMS** 完成三度空間的距離量測。

#### 4-1 水平寬度與垂直高度之距離量測



圖(32)三度空間距離量測說明

圖(32)中所畫的兩個 CCD 是代表由水平方向及垂直方向做分析的圖面說明，都是同一台 CCD 攝影機所得到的同一張畫面。所以水平方向和垂直方向所標示的攝影距離都是  $H_K$ ，而  $P_{AK}$  和  $P_{BK}$  為在攝影距離  $H_K$  的時後，投射亮點所產生的影像圖形，其相隔的像素值為

$N_K(A,B)$ 則待測水平距離  $\overline{P_{EK}, P_{FK}}$ ，將成正比於  $P_{EK}$  和  $P_{FK}$  之間相隔的像素值  $N_K(E,F)$ ，則

$$\overline{P_{EK}, P_{FK}} = \frac{N_K(E,F)}{N_K(A,B)} \times D_S (\text{待測水平距離}) \quad (19)$$

在垂直攝影的狀況下，可以把垂直和水平方向看成有相同的距離量測解析度，則在  $H_K$  攝影距離時，待測垂直距離  $\overline{P_{CK}, P_{DK}}$ ，將成正比於  $P_{CK}$  和  $P_{DK}$  之間相隔的像素值  $N_K(C,D)$ ，則

$$\overline{P_{CK}, P_{DK}} = \frac{N_K(C,D)}{N_K(A,B)} \times D_S (\text{待測垂直距離}) \quad (20)$$

對垂直方向而言，也因是同一個攝影機，則其三角形  $\Delta(P_{V1}, OP, P_{V2})$  的高也是  $H_K$ ，則  $H_K$  可以被表示成

$$H_K = \frac{1}{2} \times D_{KV}(\max) \times \cot\left(\frac{\theta_V}{2}\right) - \text{hop} \quad (21)$$

則垂直最大距離  $D_{KV}(\max)$  可以表示為

$$D_{KV}(\max) = 2(H_K + \text{hop}) \times \tan\left(\frac{\theta_V}{2}\right) \quad (22)$$

當由垂直最大距離  $D_{KV}(\max)$  倒算回來，待測垂直距離  $\overline{P_{CK}, P_{DK}}$  將可修正為

$$\overline{P_{CK}, P_{DK}} = \frac{N_K(C,D)}{N_V(\max)} \times D_{KV}(\max) (\text{待測垂直距離}) \quad (23)$$

從上述的分析得知，公式(19)，公式(20)分別完成待測水平距離和待測垂直距離的量測，公式(12)則完成了攝影距離的量測，相當於 IBDMS 量測系統已完成垂直攝影時的三度空間距離量測。如圖(32)所示。

不論是待測水平距離( $\overline{P_{EK}, P_{FK}}$ )，待測垂直距離( $\overline{P_{CK}, P_{DK}}$ )和待測攝影距離( $H_K$ )。從公式(19)，公式(20)和公式(12)，唯一的變數只有  $N_K(A,B)$ ，其中  $\theta_H$  和  $\theta_V$  (水平視角和垂直視角)及光學原點所在的位置 ( $\text{hop}$ )，都能由先前研究所設計的量測框架(第 3 章，3-2)，測得該台

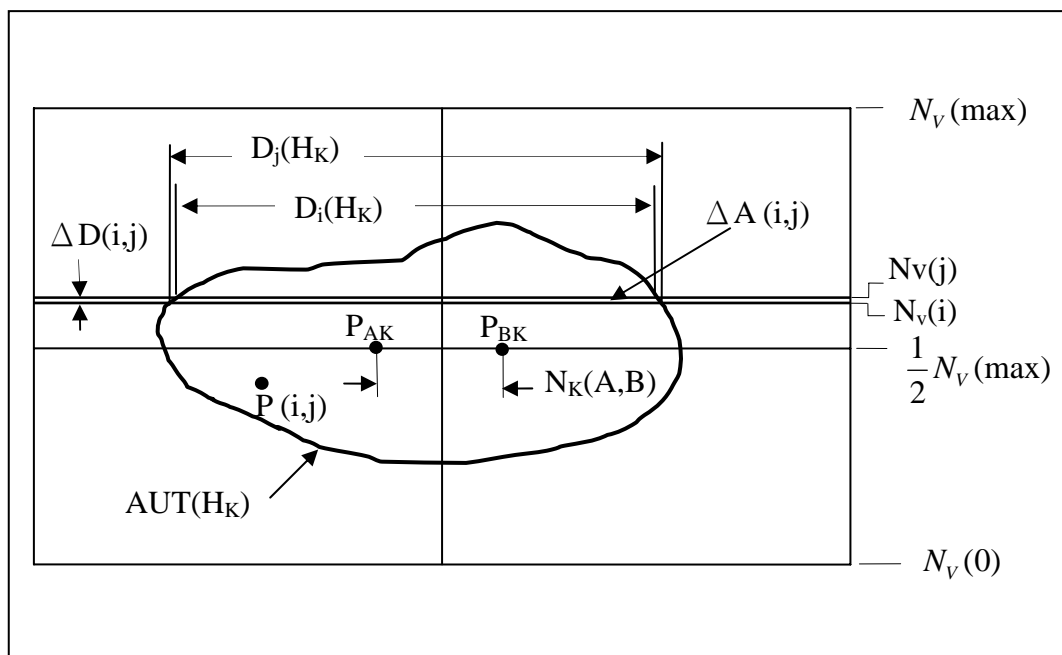
CCD 攝影機(數位相機)的量測參數  $(\theta_H, \theta_V, hop)$ 。將使任意廠牌的 CCD 攝影機(數位相機)都能引用 IBDMS 的原理，實現只用一台 CCD 攝影機，就能完成三度空間的距離量測。

近幾年在 IBDMS 的研究所累積的經驗和技術，已能輕易地完成透鏡中心軸和兩道雷射光束，被固定成相互平行的狀態，且其投射亮點的影像圖形(小圓形亮點，圓心最亮)，將和螢幕的中心點( $SC_1$ 或 $SC_2$ )位於同一條水平掃描線上，如此一來就不必做全畫面影像信號處理，也不必做圖形辨識的複雜演算。只要指定第  $\frac{1}{2}N_V(\max)$  那一條水平掃描線，當作待比較的資料來源。以「顏色」(投射亮點為紅色或綠色之單一顏色)及亮度(投射亮點的亮度將比背景亮度還要亮)，就能輕易地得知兩投射亮點所在位置，所以  $N_K(A, B)$  能被快速得知，縱使數位相機(數位攝影機)，也只需以特定的水平掃描線上的影像資料，做像素之顏色及亮度比較，則其處理速度，將遠快於影像辨識的方法。

目前各種機械人視覺系統的研究及應用，於圖形識別的演算法已有相當的進展。若能於每一張影像畫面，擺一支可以隨攝影距離遠近而自動調整其距離量測解析度的「三度空間影像尺」，就能讓每一張影像畫面都擁有距離標示的功能，當每一張影像畫面都存在「距離標示的參數」後，必能減化目前各種演算法的複雜度，且能得到更精準的量測結果。

IBDMS 除了能輕易地完成三度空間的距離量測外，因只要外加兩支低功率的可見光(紅色或綠色)雷射發射器(簡報用雷射指示筆類似之元件)，則有結構簡單，安裝容易，造價低廉的優點。且在測得水平寬度或垂直高度( $\overline{P_{EK}, P_{FK}}$  和  $\overline{P_{CK}, P_{DK}}$ )時，就已代表 IBDMS 具有面積量測的功能。

## 4-2 IBDMS 之面積量測



圖(33)攝影距離為  $H$  時的待測面積  $AUT(H_K)$ ：垂直攝影

於垂直攝影的狀態下，只要以顏色及亮度做比較，將於第  $\frac{1}{2}N_v(\max)$  那一條水平掃描線上得知  $P_{AK}$  和  $P_{BK}$  所在的位置，就能快速地得知  $N_K(A,B)$  的正確數值，雷射光束所產生的擴散現象，已於先前研究逐一改良完成。由前述說明之公式(19)將得知  $D_i(H_K)$  和  $D_j(H_K)$  的量測值，由公式(24)將得知  $N_v(i)$  和  $N_v(j)$  兩條水平掃描線之間的距離  $\Delta D(i,j)$ ，則  $AUT(H_K)$  所對應的實際面積  $PAUT(H_K)$ ，可被看成是許多小梯型面積  $\Delta A(i,j)$  所組成

$$\Delta D(i,j) = \frac{1}{2} [D_j(\max) - D_i(\max)] \times \tan\left(\frac{\theta_H}{2}\right) \quad (24)$$

$$PAUT(H_K) = \sum_{i=1}^{N_v(\max)} \frac{1}{2} [D_i(H_K) + D_j(H_K)] \times \Delta D(i,j) \times P(i,j) \quad (25)$$

$\Delta D(i,j) \in AUH(H_K)$  時， $P(i,j) = 1$ ，否則  $P(i,j) = 0$

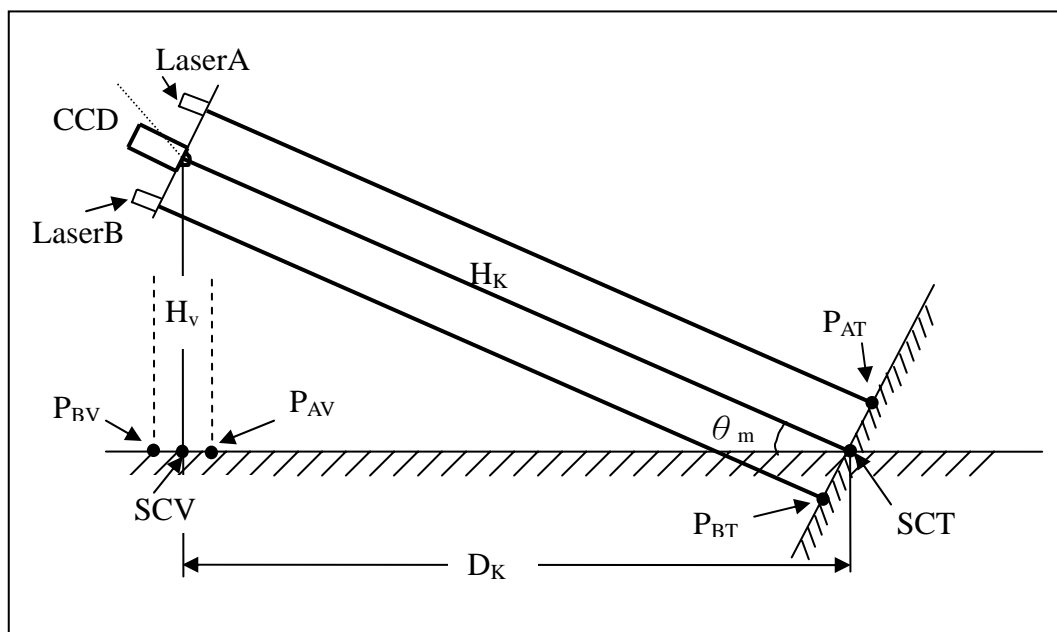
不論是以游標尋跡標示出  $AUT(H_K)$  的外圍，或以影像處理方式，得到  $AUT(H_K)$  的邊框，將因有距離量測的功能，而迅速得知待測面積



大小。因只要攝影機距離改變， $N_K(A,B)$ 也隨之改變，將以不同的距離量測解析度，得到於這個攝影距離 $H_K$ 時的 $D_i(H_K)$ 和 $D_j(H_K)$ 及 $\Delta D(i,j)$ ，使得IBDMS之面積量測結果，將有不隨攝影距離不同而改變的特性。把這個特性應用於影像圖形辨識法，做「前置距離參數之建立」後，以實際面積作為追蹤系統的依據時，將使追蹤系統更加靈活，且其應用層面更廣。

### 4-3 IBDMS 之遠距離量測

本論文研究的主軸乃設定在以一台攝影機的一張影像畫面，由兩個可見光雷射光束所產生的投射亮點，完成具有三度空間距離量測功能的實用影像基底距離量測系統。由第三章及 4-1 和 4-2 所得結果，已能證實 IBDMS 可以完成垂直攝影時的三度空間距離量測及面積量測。但幾乎所有攝影的情形不太可能是垂直攝影的狀態，所有的攝影均可視為傾斜攝影狀態。即攝影機的光學軸心和地面都有一夾角存在。將以垂直攝影所完成的距離量測，實現傾斜攝影時的遠距量測。



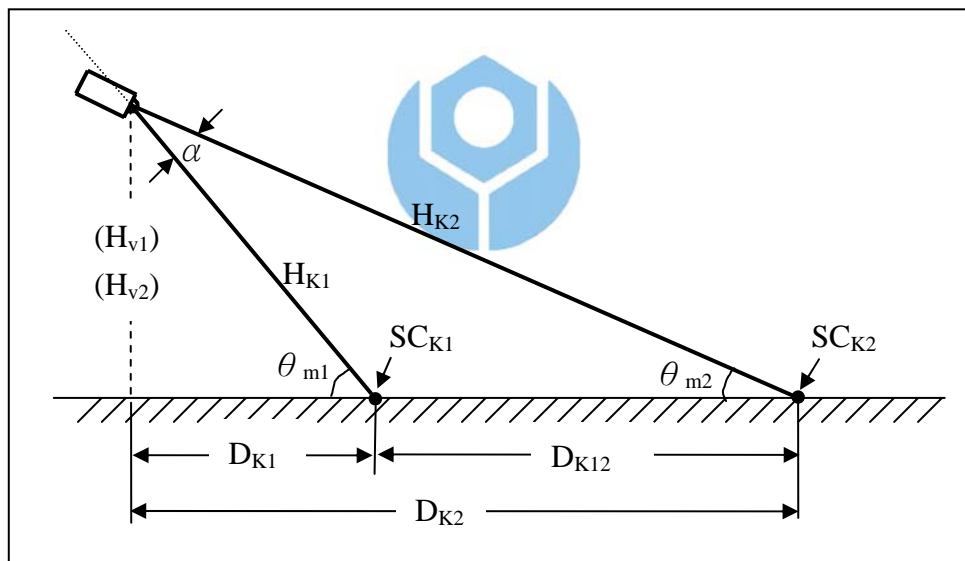
圖(34)遠距量測說明



IBDMS 已能完成垂直攝影狀態的距離量測，所以攝影時量測設備的高度  $H_v$  將能輕易地取得。而待測點 ( $SCT$ ) 到量測系統之間的距離  $D_K$ ，將能由三角定理得知  $D_K$  的大小為：

$$D_K = \sqrt{(H_K^2 - H_v^2)} \quad (26)$$

如此便能克服一般雷射三角量測必須精確得到  $\theta_m$  的困擾，因遠距離時， $\theta_m$  小角度的改變，將會有大距離的變化，也就是說：在不做角度量測的情況下，以  $H_v$  的量測值推導出  $D_K$  的大小，是一種極為方便的距離量測方法。如此一來 IBDMS 距離量測方法，將可以傾斜攝影的方式得到各點的距離，便能於影像畫面中，標示影像畫面中兩點之間的距離有多遠。



圖(35)兩點之間距離的量測

圖(35)中  $\alpha$ ，代表攝影機旋轉了  $\alpha$  的角度，但不必以精密角度計量測  $\alpha$  的大小，只在乎所要量測的距離為  $SC_{K1}$  到  $SC_{K2}$ ，便能得知  $H_{K1}$  和  $H_{K2}$  的大小，而此時旋轉  $\alpha$  角度所造成高度的改變，而依然能由垂直攝影之距離量測，得到  $H_{v1}$  和  $H_{v2}$  那麼  $D_{K12}$  可以為； $D_{K12} = D_{K2} - D_{K1}$  表示之

$$D_{K12} = \sqrt{(H_{K2}^2 - H_{v2}^2)} - \sqrt{(H_{K1}^2 - H_{v1}^2)} \quad (27)$$

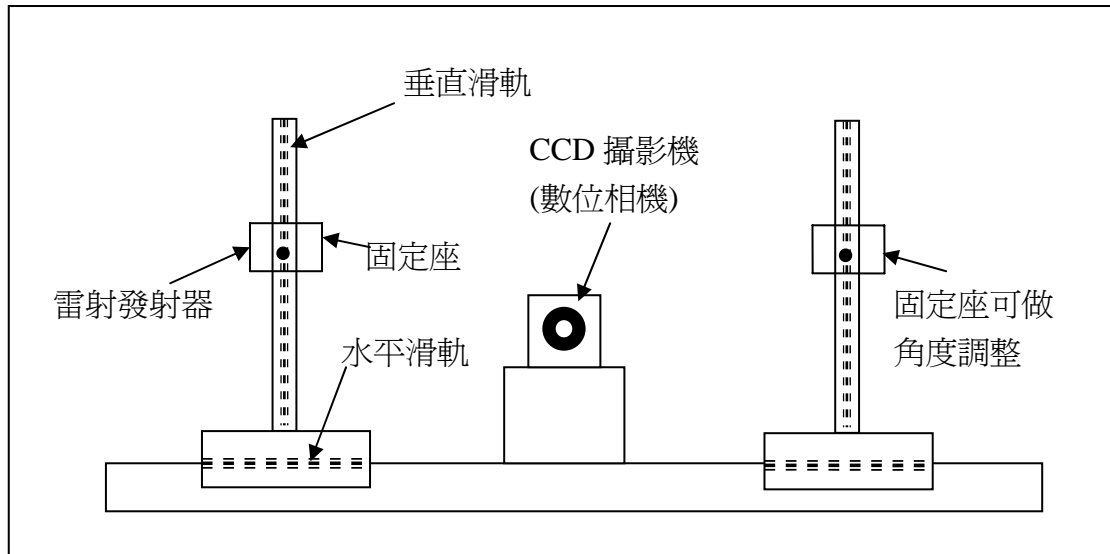
## 第 5 章 IBDMS 量測系統之研製

### 5-1 量測架構之研製

IBDMS 距離量測之原理，乃以兩道平行雷射光束，於待測區產生兩個亮度遠大於背景亮度的兩個投射亮點。本論文採用綠光雷射，能於數拾公尺外得到兩個投射亮點，且該兩投射亮點將於螢幕上產生兩個比背景亮度還亮的兩個小圓點的影像圖形。並且該兩小圓點的影像圖形會位於第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  的掃描線上。能夠讓兩小圓點位於第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  這條水平線上，有如下的特點

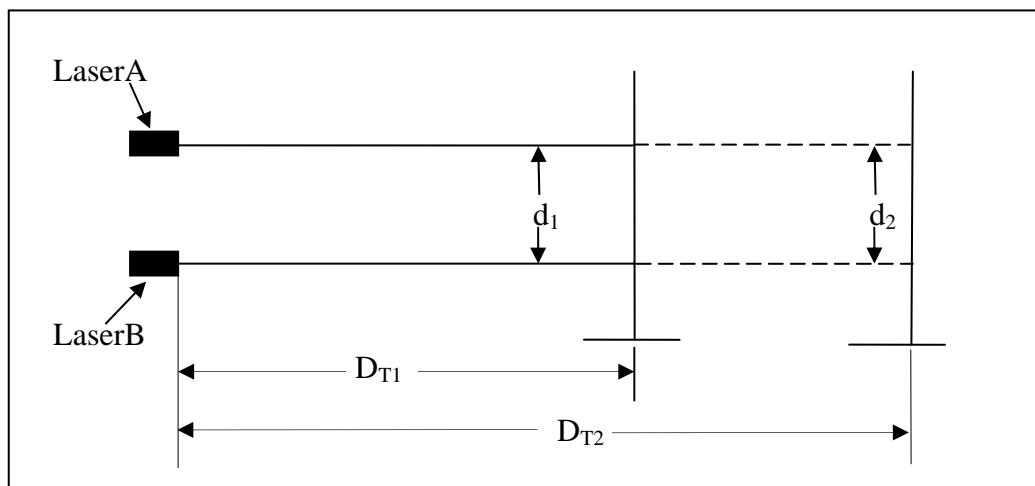
1. 只要以第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  這條水平掃描線上的影像資料作判斷。便能得知亮點所在的位置，因而不必做全畫面影像圖形辨識。
2. 亮點位置的判斷為「一維線形排列」，將使判斷的運算時間大幅縮短，而使距離量測的速度更快，希望能達到即時量測的實現。

爲了使兩道雷射光束能夠相互平行，且和攝影機的光學軸心 (optical axis) 位於同一平面上，便能使兩個投射亮點的影像圖形和螢幕的中心 (SC) 位於第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  水平掃描線上，必須製作一個可以架設雷射發射器，並能調整其高度的架構，同時也能調整其相隔的距離，才能設定雷射光束真正的距離。所以本論文設計且研製了一套量測架構。



圖(36)量測架構示意圖

量測架構各有兩支水平滑軌和垂直滑軌及雷射發射器的固定座。水平滑軌做為調整兩道雷射光束相隔的距離，垂直滑軌，用以設定雷射光束的高度。再設定好雷射光束相隔的距離和高度後，已能使兩個投射亮點所產生的影像圖形出現在第  $\frac{1}{2}N_v(\max)$  那條水平掃描線上。即兩個投射亮點的影像圖形和螢幕的中心位於同一條水平掃描線上。



圖(37)雷射光束平行狀態的設定

調整固定座的旋轉角度，使得  $D_{T1}$  或  $D_{T2}$  時， $d1=d2$ 。便能使兩道

雷射光束真正成為平行狀態。

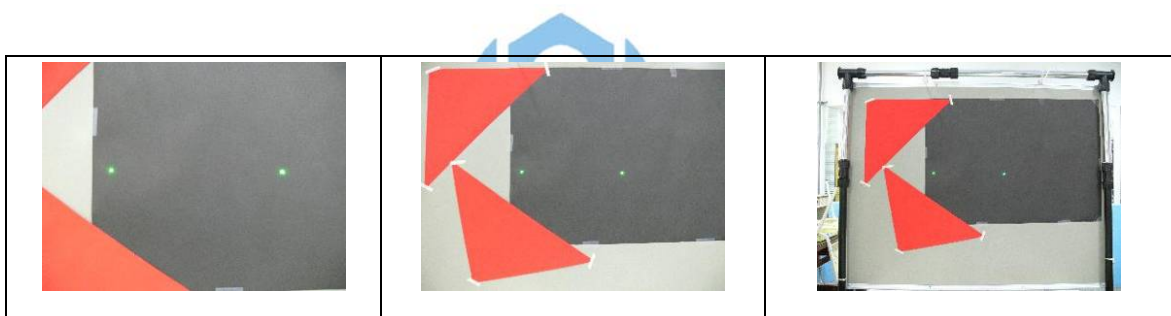


圖(38)校正前的照片

圖(39)校正後的照片

## 5-2 亮點影像圖形所在位置的判斷

在 5-1 節中，已經設定好雷射光束相隔的距離，並且也使兩道雷射光束成為平行狀態。於螢幕中所看到影像畫面如圖(40)~圖(45)所示



圖(40)50 公分的照片

圖(41)90 公分的照片

圖(42)130 公分的照片

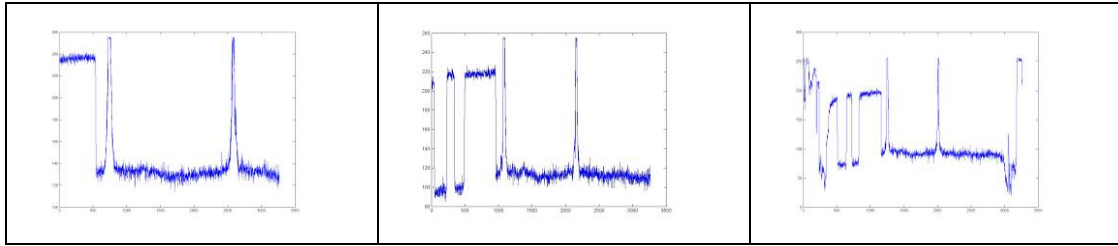


圖(43) 170 公分的照片

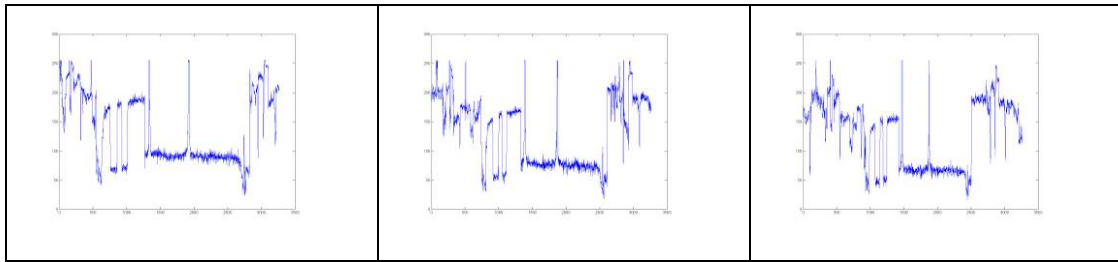
圖(44) 210 公分的照片

圖(45) 250 公分的照片

在遠距離時，於影像畫面上所看到亮點影像圖形非常小，但對於亮點的判斷而言，只要肉眼看得到的情形，及代表其影像資料為亮度比背景亮度還要強的影像圖形。我們以影像信號分析針對第  $\frac{1}{2}N_v(\max)$  這條影像信號所做的分析結果，如圖(46)~圖(51)。



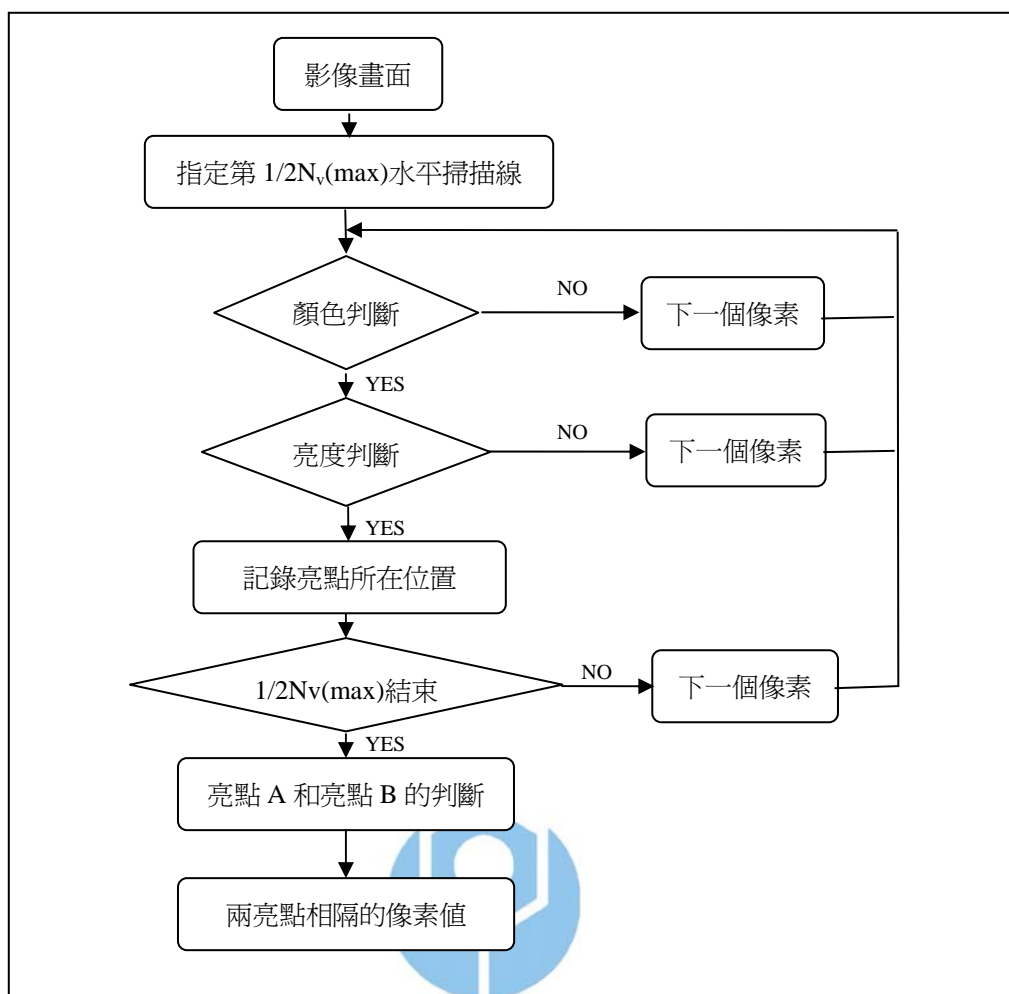
圖(46) 50 公分影像信號分析 圖(47) 90 公分影像信號分析 圖(48) 130 公分影像信號分析



圖(49) 170 公分影像信號分析 圖(50) 210 公分影像信號分析 圖(51) 250 公分影像信號分析

從上述照片：圖(40)~圖(45)及所做的影像信號分析：圖(46)~圖(51)，已能清楚的看到，只要是肉眼看得到的亮點影像圖形，都能從影像信號分析中證實其亮度遠大於背景環境的亮度。加諸已經把雷射光束設定為平行狀態，所以只要針對  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  這條水平掃描線的影像資料作判斷，就足以得知亮點影像圖形所在的位置。

把原本是 2D 的影像畫面，轉換成 1D 的資料判斷，就能得知亮點影像圖形所在的位置，為本論文的一項特色，達到不必做全畫面影像圖像辨識，依然能得知亮點所在位置判斷的結果。所以不必使用高速微電腦及 DSP 系統做全畫面影像圖形辨識的處理，將有系統簡單、價格低、處理速度快的優點。所以亮點影像圖形所在位置的判斷流程，將如下所述。



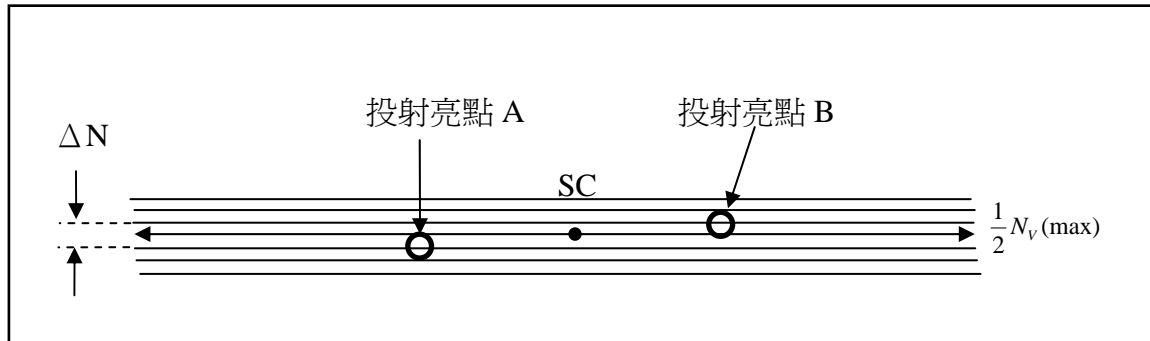
圖(52)亮點所在位置的判斷流程

在先前研究[19]~[23]，都是以硬體線路做水平同步分離，取得所設定位址的水平掃描線上的影像信號，做 R.G.B 分離後，可以用 G 信號的輸出作為判斷綠光雷射所產生的影像圖形，再以亮度為判斷的臨界值作依據，而得知亮度影像圖形所在的位置。本論文希望以軟體分析的方式取代硬體電路的使用，因為此時只要處理一條水平掃描線的影像資料，並非做全畫面的影像圖形辨識，才能實現只修改原攝影機的系統軟體，就能具有距離量測的功能。進而使各廠牌的攝影機都能引用本文所提的方法，實現距離量測的功能。

### 5-3 攝影晃動的影響和克服的方法

當攝影啟動時的晃動現象，會使得投射亮點所產生的影像圖形，

並非真已位於第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  這條水平掃描線上，而是有上、下跳動的現象發生。



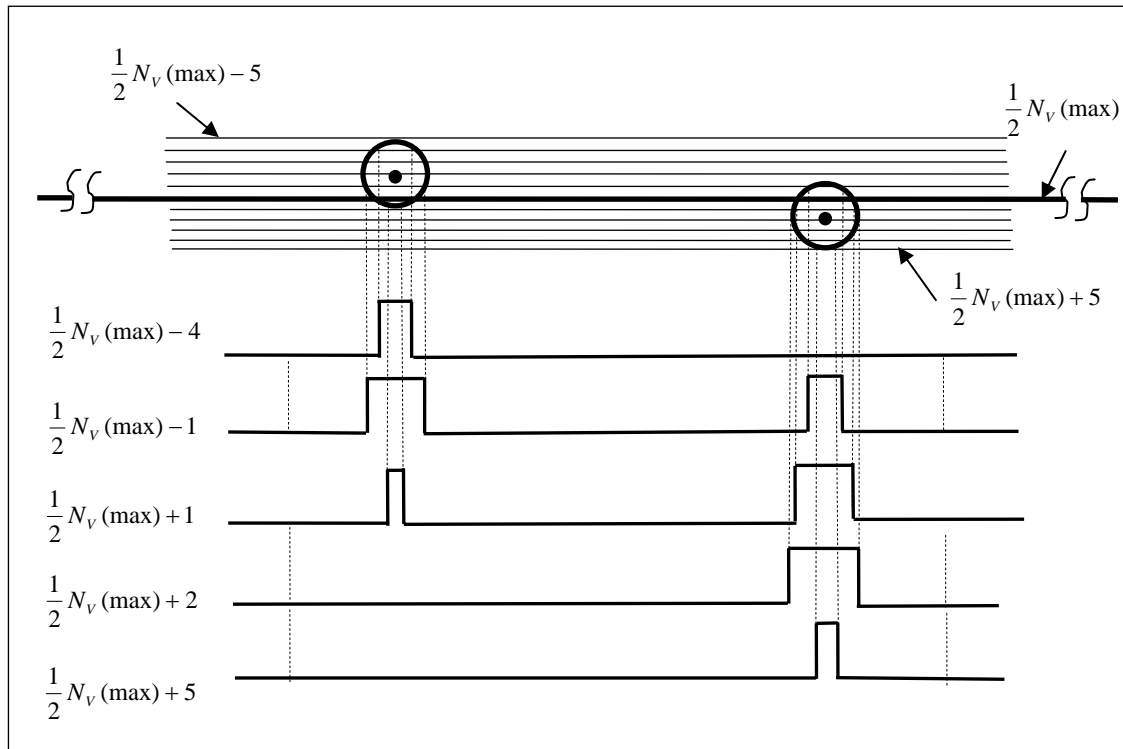
圖(53)因晃動而產生影像圖形移位的現象

在我們所做的實驗中，可能因為

1. 雷射光束擴散現象，造成雷射亮度大小的不同
2. 晃動時，造成投射亮點的移位

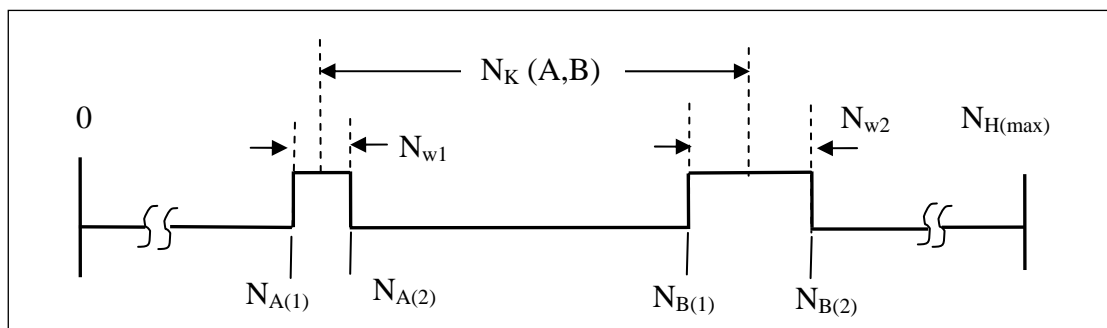
而使得於影像信號分析時，若只針對  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  單一條水平掃描線的影像信號做分析時，有可能只得到單一個亮點影像圖形的確認，無法在同一條水平掃描線上，得到兩個投射亮點的確認。如圖(53)中  $\Delta N$  為移位時，所造成的偏差值。所以在投射亮點影像圖形所在的位置判斷中，以第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})$  上下各 5 條掃描上的影像資料，做為亮點影像圖形判斷的依據，因而有如圖(54)所示的波形分析。





圖(54)因晃動影響所得到的判斷結果

從上述圖(54)的波形分析，我們採取以第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})-5$  到第  $\frac{1}{2}N_v(\text{max})+5$  共 11 條水平掃描線的影像資料，做為亮點影像信號所在位置的判斷。把這 11 條判斷結果做「OR」的邏輯運算，當作亮點影像圖形所在位置及大小。相當於都將得到亮點影像圖形最寬的區域(圓形影像圖形的直徑)，當作亮點判斷的最後結果。將於判斷結果得知，兩亮點所佔的像素值。



圖(55)亮點位置判斷之最後結果

把總共 11 條水平掃描線判斷(顏色及亮度)其流程如圖(52)所示，

最後 OR 的結果，可能得到  $N_{w1} \neq N_{w2}$ ，則必須以亮點影像圖形的中心，計算出兩投射亮度相隔了多少個像素  $N_K(A,B)$  爲：

$$N_K(A,B) = \frac{1}{2}[(N_{B1} - N_{A1}) + (N_{B2} - N_{A2})] \quad (28)$$



## 第 6 章 IBDMS 距離量測實驗與紀錄分析

本論文以一台 CCD 攝影機(數位照相機)配合兩道平行雷射光束，於待測物體上產生兩個投射亮點，這兩個投射亮點將產生兩個亮度遠比環境背景亮度還亮的影像圖形。(為一個圓形亮點的影像圖形，圓心最亮)。且已把兩道平行光束調整成與攝影機光學軸心也相互平行，並把兩支雷射發射器和 CCD 攝影機固定在同一個基座上，則不論量測架構怎麼移動或旋軸，雷射光束與光學軸心之間的相對距離始終沒有改變。而可以得到投射亮點的影像圖形和影像畫面的中心點，將位於同一條水平掃描線上。

而投射亮點影像圖所在的位置，將隨攝影距離的改變而移位，所以可以以兩投射亮點影像圖形相隔的距離(對影像畫面而言，兩點之間的距離，可以用所佔的掃描時間為單位，也可以用所佔的像素值做單位)，代表於該攝影距離時的水平寬度(水平距離)。進而在得知該台攝影機的水平視角  $\theta_H$  的情況，可以測得量測系統到待測物之間的距離，也可以測得其水平寬度或垂直高度。相當於 IBDMS 只用一台 CCD 攝影機配合兩道平行雷射光束，就能完成三度空間的距離量測。

當每一張影像畫面都具有距離量測值時，機器人的視覺系統將能更靈活。本論文旨在證明 IBDMS 原理的正確性，並期盼能對機器人的研究，於機械視覺領域中，提出一項有別傳統距離量測的方法。

在研究的過程中，發現背景亮度的不同，攝影距離的改變，光學軸心會有少許的位移。在以  $\frac{1}{2}N_V(\max)$  上、下各取 5 條水平掃描線做判斷，可以得知亮點影像圖形所在的位置，並求得兩亮點影像圖形之間所佔的像素值，可以完成三度空間的距離量測。

本章將先就所使用的攝影機，以所設計的量測參數校正框架，測得其水平視角  $\theta_H$  及光學原點所在位置  $hop$ 。接著才以實際量測架構從

事距離之量測。實驗過程中我們分別以較高規格設備 800 萬像素 CCD 攝影機(數位照相機)配合兩道高功率平行雷射光束，以及一般較便宜之 130 萬像素 WEBCAM 配合一般簡報用雷射光筆分別做量測實驗。

## 6-1 量測參數的建立

以前述說明，把攝影機於不同攝影距離所得到的最大水平範圍逐一記錄，然後以平均值的方式，得到該台攝影機的水平視角  $\theta_H$  及光學原點所在位置  $hop$ 。

攝影距離 $H_K$	$H_1$ 30cm	$H_2$ 35cm	$H_3$ 40cm	$H_4$ 45cm	$H_5$ 50cm	$H_6$ 55cm	$H_7$ 60cm	$H_8$ 65cm	$H_9$ 70cm
最大水平距離 $D_K(\max)$	$D_1$ 30.9cm	$D_2$ 35cm	$D_3$ 40.2cm	$D_4$ 43.8cm	$D_5$ 49.655cm	$D_6$ 53.215cm	$D_7$ 59.65cm	$D_8$ 63.8cm	$D_9$ 68cm

表(1)  $H_K$  和  $D_K(\max)$  的量測記錄。  $H_{i+1} = H_i + 5$ 公分

$$hop(i) = \frac{H_i D_{i+1} - H_{i+1} \times D_i}{D_{i+1} - D_i} \quad (29)$$

$i = 1 \sim (N-1)$

$$\cot \frac{\theta_H}{2}(i) = \frac{2(H_{i+1} - H_i)}{D_{i+1} - D_i} \quad (30)$$

$i = 1 \sim (N-1)$

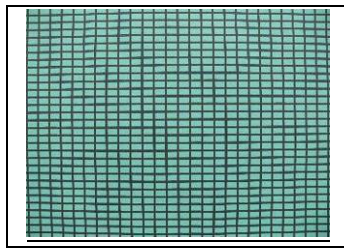
$$hop = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} hop(i) \quad (31)$$

$$\cot \frac{\theta_H}{2} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \cot \frac{\theta_H}{2}(i) \quad (32)$$

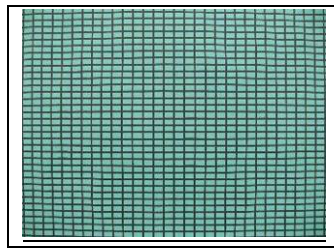
所以得知  $hop = \underline{5.435269}$ ，  $\cot \frac{\theta_H}{2} = \underline{2.250175}$

當有了  $hop$  和  $\cot \frac{\theta_H}{2}$  後，便能由公式(12)計算出  $H_K$  的量測值。

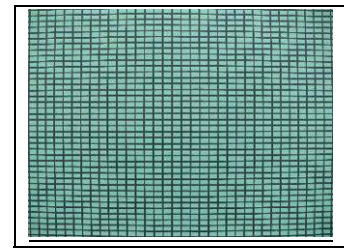
圖(56)~圖(64)為量測參數建立時，所拍得的影像畫面



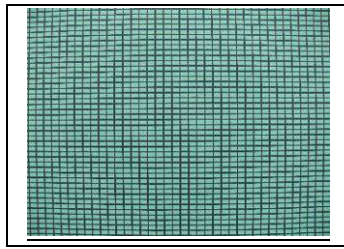
圖(56)  $H_K = 30$  公分



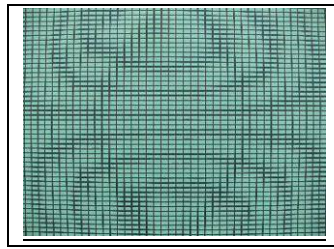
圖(57)  $H_K = 35$  公分



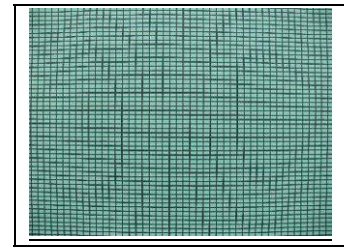
圖(58)  $H_K = 40$  公分



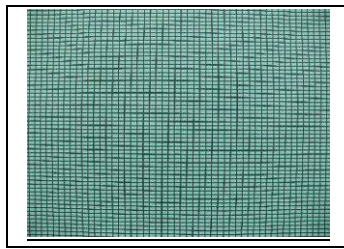
圖(59)  $H_K = 45$  公分



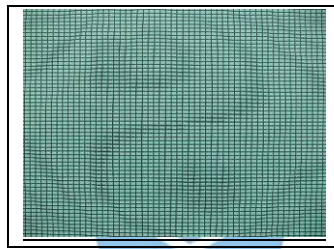
圖(60)  $H_K = 50$  公分



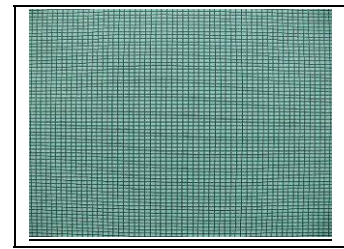
圖(61)  $H_K = 55$  公分



圖(62)  $H_K = 60$  公分



圖(63)  $H_K = 65$  公分



圖(64)  $H_K = 70$  公分

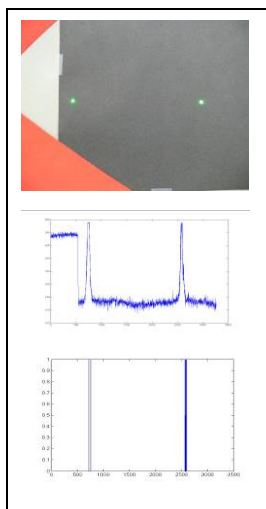
由圖(56)~圖(64)的影像畫面，得知每一個畫面所拍到的最大水平範圍的刻度。分別以兩次不同攝影距離所得到的數據得知  $hop(i)$  和  $\cot \frac{\theta_H}{2}(i)$ 。然後再取其平均值，以平均值的  $hop$  和  $\cot \frac{\theta_H}{2}$  為本量測系統的量測參數。

	1	2	3	4	5	6	7	8
$hop(i)$	7.682927	-1.34615	15.83333	-7.59607	19.74017	-13.6519	11.86747	10.95238
$\cot \frac{\theta_H}{2}(i)$	2.439024	1.923077	2.777778	1.707942	2.808989	1.554002	2.409639	2.380952
$hop$	$hop = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} hop(i) = 5.435269$							
$\cot \frac{\theta_H}{2}$	$\cot \frac{\theta_H}{2} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \cot \frac{\theta_H}{2}(i) = 2.250175$							

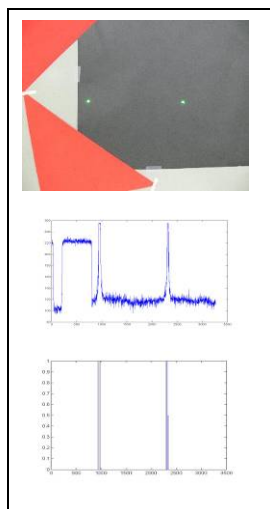
表(2)量測參數  $hop$  和  $\cot \frac{\theta_H}{2}$



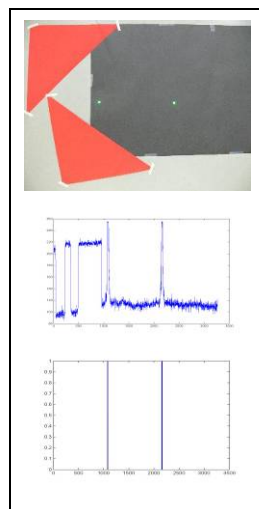
## 6-2 IBDMS 實際量測紀錄：使用高階設備



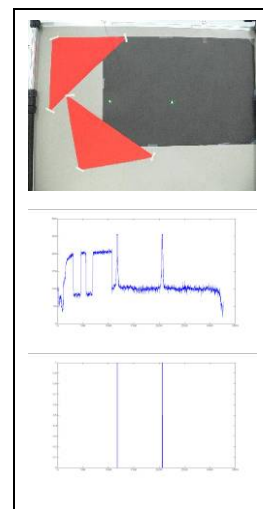
圖(65) 50cm



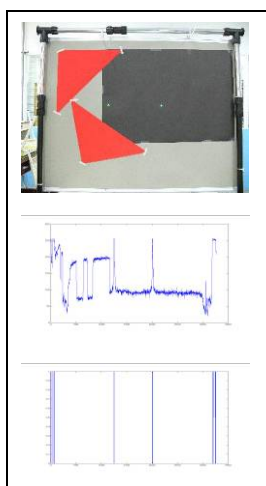
圖(66) 70cm



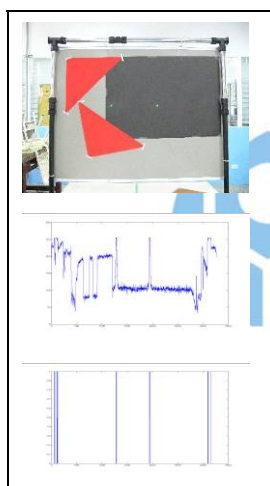
圖(67) 90cm



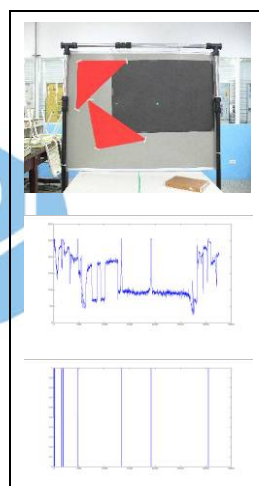
圖(68) 110cm



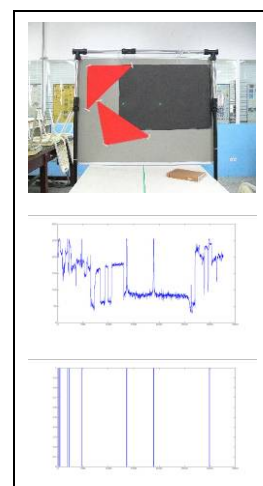
圖(69) 130cm



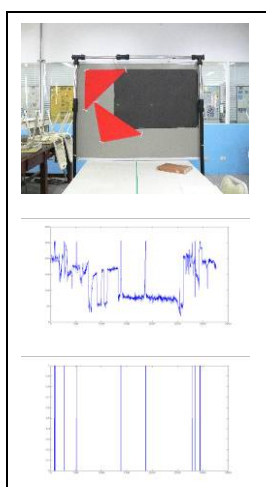
圖(70) 150cm



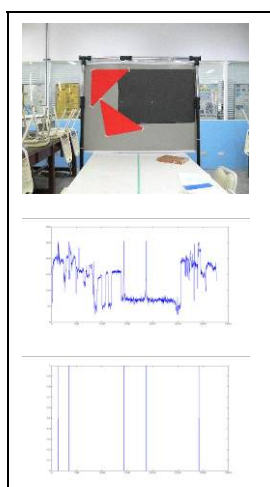
圖(71) 170cm



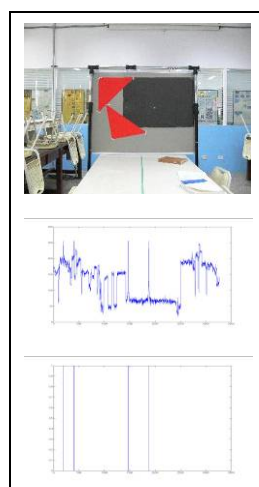
圖(72) 190cm



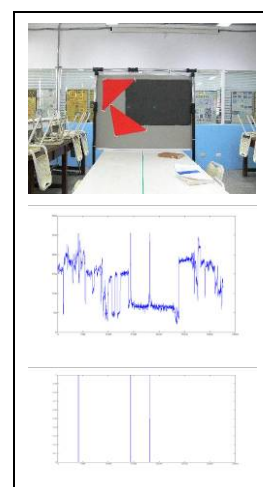
圖(73) 210cm



圖(74) 230cm



圖(75) 250cm

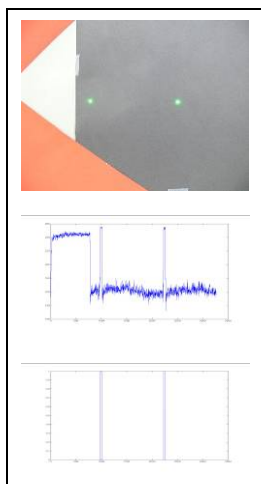


圖(76) 270cm

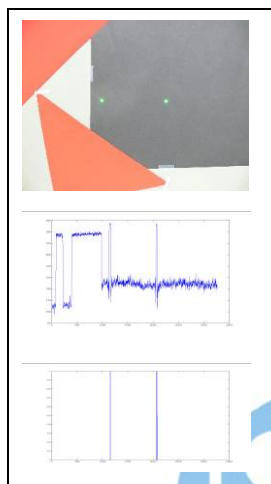
圖(65)~圖(76)為實際拍照所得的照片，表(3)為量測結果的記錄

攝影距離 $H_K$	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270
量測值 $H_K^*$	54.5977	75.71417	96.84912	118.2014	139.5124	160.4686	181.2769	202.807	223.35	244.078	267.2383	289.1105
誤差量%	9.1954	8.1631	7.6101	7.4558	7.3172	6.9791	6.6334	6.405	6.3572	6.1209	6.8953	7.0779

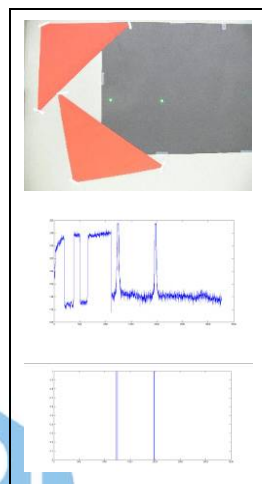
表(3)IBDMS 量測結果(雷射距離 30cm)



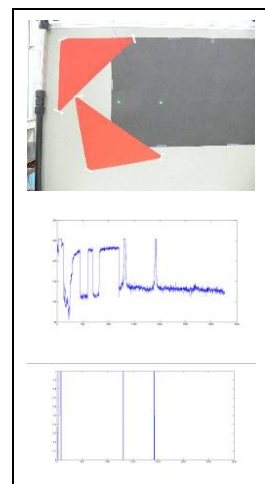
圖(77) 50cm



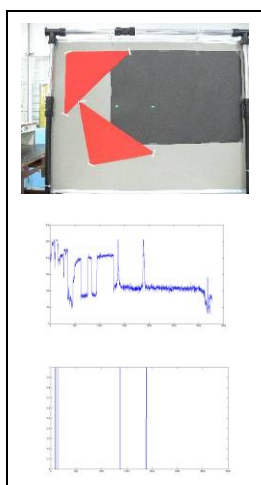
圖(78) 70cm



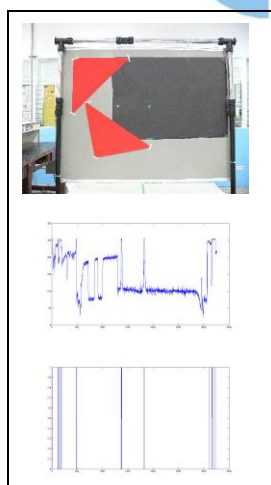
圖(79) 90cm



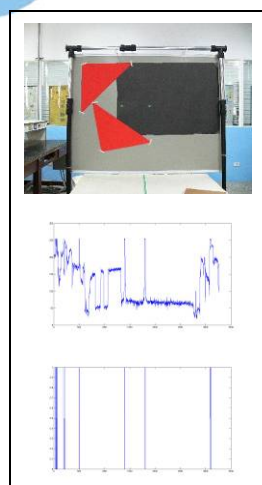
圖(80) 110cm



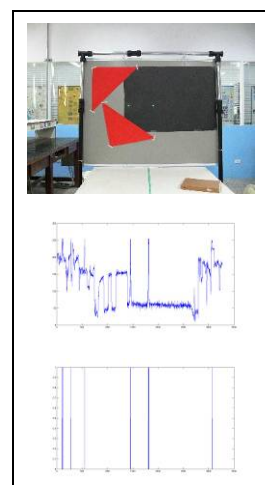
圖(81) 130cm



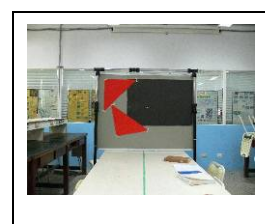
圖(82) 150cm



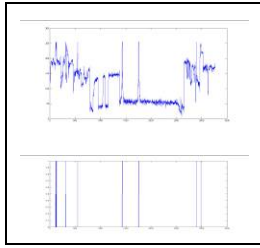
圖(83) 170cm



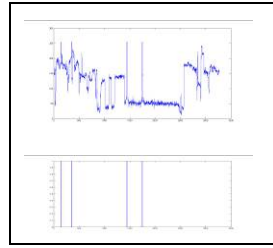
圖(84) 190cm



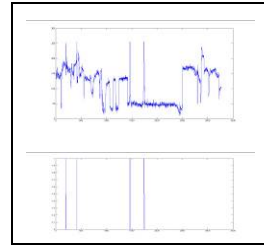




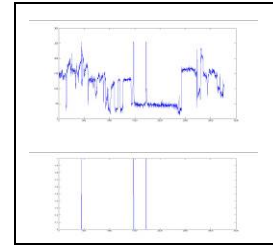
圖(85) 210cm



圖(86) 230cm



圖(87) 250cm

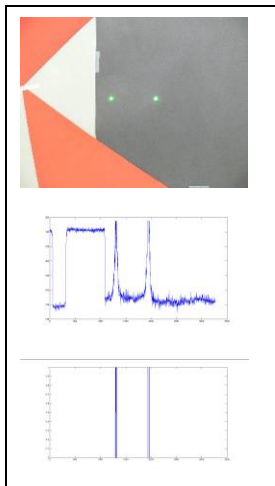


圖(88) 270cm

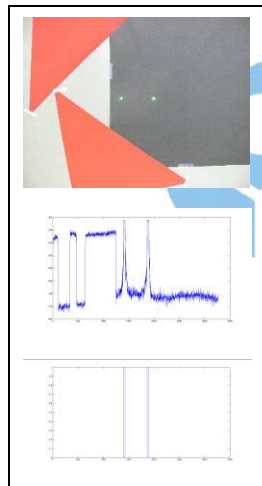
圖(77)~圖(88)為實際拍照所得的照片，表(4)為量測結果的記錄

攝影距離 $H_K$	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270
量測值 $H_K^*$	53.36404	74.26115	94.89287	116.4571	136.3411	157.4031	179.3197	199.7047	221.582	239.365	260.1708	285.4165
誤差量 %	6.7281	6.0874	5.4365	5.8701	4.8777	4.9354	5.4822	5.1077	5.5152	4.0717	4.0683	5.7098

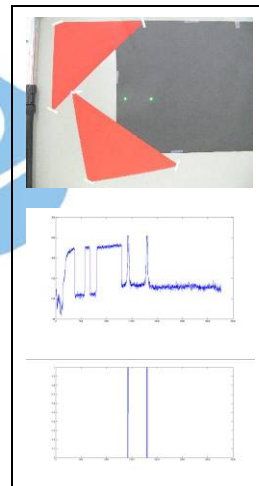
表(4)IBDMS 量測結果(雷射距離 20cm)



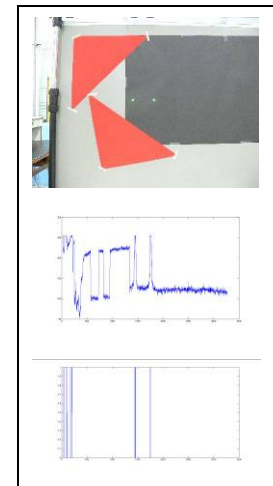
圖(89) 50cm



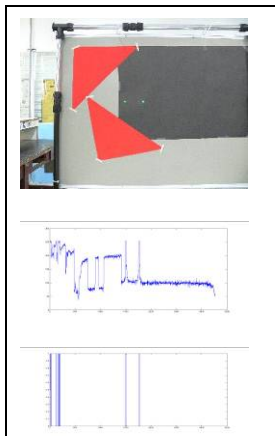
圖(90) 70cm



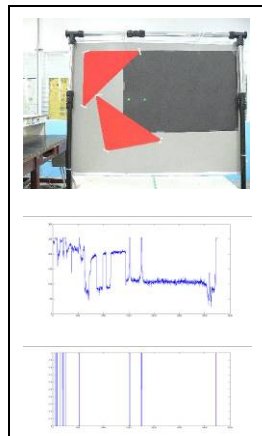
圖(91) 90cm



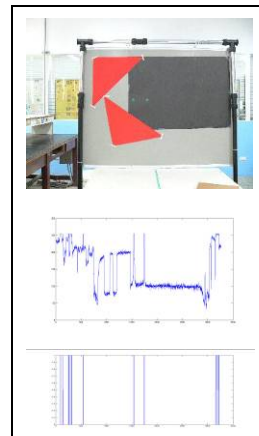
圖(92) 110cm



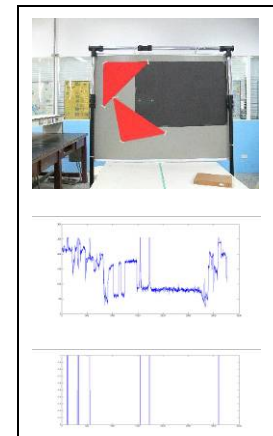
圖(93) 130cm



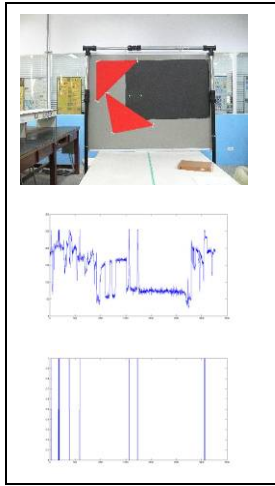
圖(94) 150cm



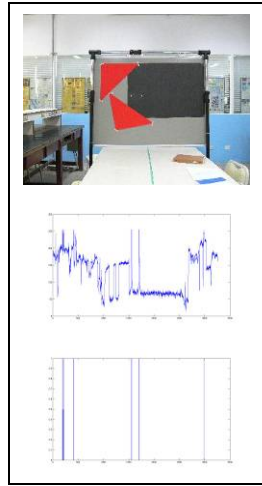
圖(95) 170cm



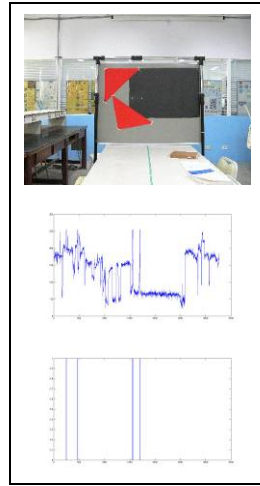
圖(96) 190cm



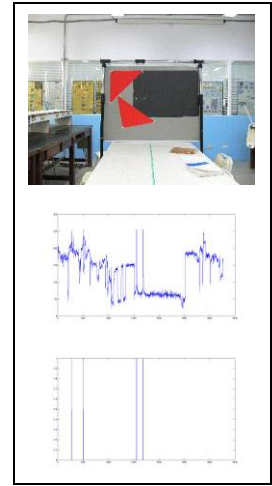
圖(97) 210cm



圖(98) 230cm



圖(99) 250cm



圖(100) 270cm

圖(89)~圖(100)為實際拍照所得的照片，表(5)為量測結果的記錄

攝影距離 $H_K$	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270
量測值 $H_K^*$	52.07479	72.52678	94.0772	115.3545	135.2547	155.6176	175.4517	195.7705	217.1105	237.7438	257.7908	277.0265
誤差量 %	4.1496	3.6097	4.5302	4.8677	4.042	3.7451	3.2069	3.0371	3.3859	3.3669	3.1163	2.6024

表(5)IBDMS 量測結果(雷射距離 10cm)

### 6-3 IBDMS 實際量測紀錄：使用低階設備

圖(101)為低階設備所使用之較便宜的網路攝影機，廠牌聚威科技型號 TX-1360 其解析度為 130 萬像素，雷射光束採用一般簡報用雷射光筆。



一般簡報用雷射光筆

聚威 TX-1360 型 WEBCAM

圖(101)低階便宜的網路攝影機及雷射光筆

依前述說明，把 WEBCAM 於不同攝影距離所得到的最大水平範圍逐一記錄，然後以平均值的方式，得到該台 WEBCAM 的水平視角  $\theta_H$  及光學原點所在位置  $hop$ 。表(6)為 WEBCAM 的量測記錄(雷射距離 18cm)，表(7)為 WEBCAM 的  $H_K$  和  $D_K(\max)$  量測記錄，表(8)為 WEBCAM 的 IBDMS 量測結果(雷射距離 18cm)，圖(102)使用低階設備距離 50cm 的照片及像素波形圖。

實際距離 (cm)	Laser1 (像素點)	Laser2 (像素點)	兩點距離 (兩點像素距離)	兩點實際距離 (螢幕畫面)(cm)	最大距離 (螢幕畫面)(cm)
50	281	571	290	18	39.7
70	326	536	210	18	54.9
80	339	525	186	18	61.9
90	351	515	164	18	70.0
100	354	506	152	18	75.8
120	371	497	126	18	91.4
140	369	479	109	18	105.2
160	382	474	92	18	124.5
180	390	474	84	18	137.1

表(6) WEBCAM 的量測記錄(雷射距離 18cm)

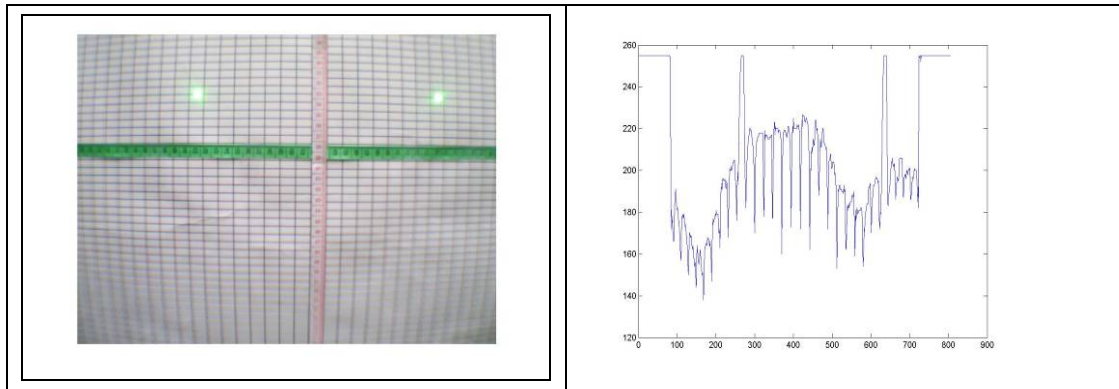
攝影距離 $H_K$	$H_1$ 50cm	$H_2$ 70cm	$H_3$ 80cm	$H_4$ 90cm	$H_5$ 100cm	$H_6$ 120cm	$H_7$ 140cm	$H_8$ 160cm	$H_9$ 180cm
最大水平距離 $D_K(\max)$	$D_1$ 39.7cm	$D_2$ 54.9cm	$D_3$ 61.9cm	$D_4$ 70.0cm	$D_5$ 75.8cm	$D_6$ 91.4cm	$D_7$ 105.2cm	$D_8$ 124.5cm	$D_9$ 137.1cm

表(7)WEBCAM 的  $H_K$  和  $D_K(\max)$  量測記錄

以上得知  $hop = \underline{0.73763}$ ， $\cot \frac{\theta_H}{2} = \underline{2.63799}$

攝影距離 $H_K$	50	70	80	90	100	120	140	160	180
量測值 $H_K^*$	51.627	71.675	80.908	91.592	99.243	119.819	138.021	163.478	180.097
誤差量 %	3.253	2.394	1.136	1.769	-0.757	-0.151	-1.413	2.174	0.054

表(8) WEBCAM 的 IBDMS 量測結果(雷射距離 18cm)



攝影距離 50 公分畫面

攝影距離 50 公分亮度波型圖

圖(102)使用低階設備距離 50cm 的照片及像素波形圖

## 6-4 IBDMS 實際量測紀錄分析比較

本實驗我們分別以較高規格設備 800 萬像素 CCD 攝影機(數位照相機)及高功率平行雷射光束，以及一般較便宜之 130 萬像素 WEBCAM 配合一般簡報用雷射光筆分別做量測實驗。實驗結果兩者都一樣能得到 IBDMS 量測結果，較貴的雷射祇是功率較高打得比較遠(超過 100 公尺)。有關 webcam 量測效果，與我們用 800 萬像素得到結果大致相當，理論上 800 萬像素應該會得到較小的誤差百分比，但實驗結果卻差不多。分析其主要原因應該是實測時，人為操作的精度及實驗參數建立之水平視角  $\theta_H$  及光學原點所在位置  $hop$  精度不夠，及使用之校正機具精度所影響。

## 結論

本文所研究之主軸，影像基底之距離量測，乃以數位攝影機(相機)配合兩支低功率之綠光雷射發射器。固定在同一個基底上，並調整所產生的雷射光束與攝影機(相機)的光學軸心相互平行。將使雷射平行光束於待測物上產生兩個亮度遠大於背景亮度的投射亮點。該兩投射亮點的影像圖形，將位於同一條水平掃描線上，其間相隔的像素值，隨攝影距離的遠近而變化。本研究以兩亮點影像圖形於影像畫面中相隔的像素值，完成攝影距離、水平寬度、垂直高度的量測，相當於影像畫面中，擺了一支可以自動伸縮(自動調整量測解析度)的量尺。可以僅以一台攝影機(相機)完成三度空間的距離量測。有結構簡單、造價低廉、處理速度快的好處。

本研究雖然提出一種有別於影像圖形辨識的距離量測方法，應可用於各種機器人視覺系統，做為避障判斷的裝置。如何再降低誤差量，將是未來繼續研究努力的方向與目標。

## 參考資料

- [1] A. Caarullo, and M. Parvis, "An ultrasonic sensor for distance measurement in automotive applications," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 1, No. 2, pp.143-147,2001.
- [2] Alessio Carullo, and Franco Ferraris, and Salvatore Graziani, "Ultrasonic Distance Improvement Using a Two-Level Neural Network," *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol. 45, No.2 pp.667-682. April 1996.
- [3] 超音波測距Sensors , "http://www.playrobot.com/menu05-31/"
- [4] H. Kikuta, K. Iwata, and R. Nagata, "Distance measurement by the wavelength shift of laser diode light," *Appl. Opt.* 25,pp.2976,1986
- [5] Takamasa Suzuki, Osami Sasaki, and Takeo Maruyama "Absolute distance measurement using wavelength-multiplexed phase-locked laser diode interferometry", *Optical Engineering* Vol. 35, Issue 2, pp. 492-497, February 1996
- [6] 雷射測距系列Yardage Pro系列 , "http://www.twnoptic.com.tw/"
- [7] R. Cucchiara, M. Piccardi, and P. Mello, "Image analysis and rule-based reasoning for a traffic monitoring system," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, Vol. 1, No. 4, pp. 119-130, Mar. 2000.
- [8] H. Yan, "Image analysis for digital media applications," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol. 21, No. 1, pp. 18-26, Jan. 2001.
- [9] B. G. Mertzios and K. Tsirikolias, "Applications of coordinate logic filters in image analysis and pattern recognition," in *Proc. Int. Symp. Image and Signal Processing and Analysis*, 2001, pp. 125-130.
- [10] Dhond, U., and Aggarwal, J. Structure from stereo-A review. *IEEE Trans. Systems Man Cybernetics.* 19, No. 6, pp.1489-1510, 1989.
- [11] Pan, H. Uniform full information matching using complex conjugate wavelet pyramids. In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* Vol. XXXI, 1996,.
- [12] Fua, P. A parallel stereo algorithm that produces dense depth maps and preserves image features. *Mach. Vision Appl.* 6, pp35-49, 1993.
- [13] Hannah, M. A system for digital stereo image matching. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing.* 55 No. 12, pp.1765-1770, 1989.
- [14] Y.J.C. Bizais, R. W. Rowe, I.G. Zubal, G.W. Bennett, and A.B. Brill, "A new approach to 2-D linear interpolation for geometric distortion correction of images," in *Proc. Int. Conf. Medical Computer Science/Computational Medicine*, 1982, pp. 170-173.
- [15] J. T. Dijak, "A method for correcting geometric distortion in video cameras," in *Proc. IEEE National Aerospace and Electronics Conf.*, Vol. 2, 1985, pp. 1382-1388.

- [16] M. Rebiai, S. Mansouri, F. Pinson, and B. B. Tichit, "Image distortion form zoom lenses: Modeling and digital correction," in *Proc. Int. Broadcasting Convention*, 1992, pp. 438-441.
- [17] 企誠股份有限股份公司, "<http://www.honestsensor.com.tw/>"
- [18] 台灣歐姆龍股份有限公司, "<http://www.omron.com.tw/>"
- [19] Ming-Chih Lu, Wei-Yen Wang, and Chun-Yen Chu, "Image-Based Distance and Area Measuring Systems" *IEEE Sensors Journal* Vol. 6, No. 2, pp.495-503, April 2006.
- [20] 盧明智, 中華民國發明專利, "量測儲存物高度之裝置" 發明第 201536 號, 中華民國 93 年 9 月 6 日。
- [21] Ming-Chih Lu, "Vorrichtung zum Messen des Fullstands von Langergut," *German Patent of Invention*, No. 20319293.1, 2003.
- [22] Wei-Yen Wang, Ming-Chih Lu, Ti-Ho Wang, and Cheng-Pei Tsai, and Yin-Yu Lu, "Image- and Robot-based Distance and Area Measuring Method," accepted for publication, *WSEAS Transactions on Systems*, Dec., 2006.
- [23] Ti-Ho Wang, Ming-Chih Lu, Chen-Chien Hsu, Cheng-Pei Tsai, and Cheng-chuan Chen, "Distance Measurement Using a Digital Camera," *Proceedings of the 2006 CACS Automatic Control Conference*, Nov. 10-11, 2006, St. John's University, Tamsui, Taipei, Taiwan, pp.1065-1069.



## 國立臺灣科技大學博碩士論文授權書

(本授權書裝釘於紙本論文內)

本授權書所授權之論文為黃啓彰 (M9015911) 在國立臺灣科技大學資訊工程系 95 學年度第 2 學期取得碩士學位之論文。

論文題目： 影像基底之距離量測系統  
指導教授： 洪西進

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文〔含摘要〕，非專屬、無償授權本校圖書館及國家圖書館，不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟或其他數位化方式將上列論文重製典藏，並提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索書目、館內閱覽、或複印。

授權人

黃啓彰

洪西進

簽章

(請親筆正楷簽名)

黃啓彰

洪西進

備註：

1. 授權人不因本授權而喪失上述著作之著作權。
2. 本授權書請授權人簽章後，裝釘於紙本論文內。

中 華 民 國 96 年 6 月 8 日