

華 梵 大 學

機電工程研究所

碩士學位論文

雙眼廣角鏡頭於影像量測
系統之研究

A Study of Binocular Wide-Angle Lens for
Measuring Vision System



指 導 教 授：林 靖 國

研 究 生：李 彥 儒

中 華 民 國 九 十 六 年 十 月

雙眼廣角鏡頭於影像量測
系統之研究

A Study of Binocular Wide-Angle Lens for
Measuring Vision System

研 究 生：李彥儒

Student：Yan-Ru Li

指導教授：林靖國

Advisor：Ching-kuo Lin

華梵大學

機電工程研究所

碩士論文

Thesis submitted to Department of Mechatronic Engineering
of the Huafan University
in partial fulfilment of the requirement for
the degree of Master of Science

October 2007

Shih Tin, Taipei Hsien, Taiwan, Republic of China

中華民國 96 年 10 月

摘要

自從電腦發明以來，影像處理都是相當熱門的研究話題，隨著科技的發展，電腦處理的效率也有逐步的成長，使得影像處理有更大範圍的應用，包含工業檢測、醫學檢查、監視處理、機器(人)視覺系統等等。其中機器(人)的視覺系統，希望能藉其視覺系統深入因為危險或其他因素而人類不能去的場所一探究境，一個可以看得廣大之視覺範圍且可以對特定目標物進行開挖或抓取的視覺系統有其必要性。

本論文使用兩個小型的監視用 CCD 搭配廣角鏡頭。利用廣角鏡頭的特性監看廣範圍的景物，由於廣角鏡頭的影像邊緣有些許的變形，將由鏡頭的參數來修正其變形之影像。其後再使用影像接合技術，將兩個 CCD 的影像接合成一張，以 2 個 CCD 影像重疊面積的多寡，實驗出最佳的重疊面與最大的視角範圍。並用 2 個 CCD 鏡頭加上相似三角型的距離計算，算出鎖定物標物距離鏡頭的距離，並跟實際量測距離比較求出誤差。提供出良好的視覺系統。

關鍵字：廣角鏡頭、影像測距、影像扭曲

ABSTRACT

Since the computer invents, it is all quite hot research topics that the image is dealt, with the development of science and technology, the efficiency that the computer deals with has growth progressively too, make the image deal with the application with bigger range, include industrial measuring, medical check, monitoring dealing with, vision system of machine (robot) ,etc.. Among them the vision system of the machine (robot), hope to make use of its vision system to deepen and probe into the border in the place which the mankind can't go because of dangerous or other factors, a vision range that can be seen vastly and vision system that can be excavated or picked to the specific goal thing have its necessities.

This thesis uses two small-scale monitoring and matching wide-angle lens with CCD. Utilize characteristic of wide-angle lens is it watch wide scenery of range to supervise, because image edge of wide-angle lens have some deformation, be revised its image out of shape by the number of the lens. Thereafter use joint technology of the image, become one of the image joints of two CCDs, overlapping the number of the area with 2 CCD image, the best overlay surface and the biggest visual angle range appear in the experiment. Add with 2 CCD scene to distance of trigonometric function calculate, is it lock thing mark from thing to distance of scene to calculate, and examine the distance and relatively ask out the error with actual quantity. Offer out the good vision system.

Keyword: Wide-Angle Lens, Image Measuring, Image Distortion

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	III
圖錄.....	VI
表錄.....	IX
第一章 緒論.....	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機與目的	2
1.3 文獻回顧	3
1.4 本論文之架構	5
第二章 影像扭曲之修正與接合	6
2.1 廣角鏡頭的光學成像特性	6
2.2 影像扭曲修正機制	9
2.2.1 廣角鏡頭參數與扭曲修正	10
2.2.2 扭曲修正的數學模型	12
2.2.3 扭曲修正的後處理	16
2.3 影像接合理論	19
2.4 影像收尋比對	21

2.4.1 區塊比對演算法	21
2.5 影像接合	22
第三章 目標物的影像量測	25
3.1 影像量測基礎理論	25
3.2 影像坐標系統	26
3.3 雙眼測距法	27
3.4 數位影像處理	31
3.4.1 灰階化	33
3.4.2 二值化	34
3.4.3 Laplacian 濾波器	35
第四章 實驗設備與結果	36
4.1 實驗設備	36
4.2 影像接合與視角跟重疊面積之關係	38
4.2.1 水平距離與視角跟重疊面積之關係	39
4.2.2 旋轉角度與視角跟重疊面積之關係	42
4.2.3 實驗分析	47
4.3 距離量測之實驗與分析	49
4.3.1 f 值的測定	52
4.3.2 距離量測	57

4.3.3 量測修正	64
4.3.4 實驗分析	70
第五章 結論與未來展望	72
5.1 結論	72
5.2 未來展望	73
參考文獻.....	75

圖錄

圖 2-1 相機鏡頭鏡片組成示意圖	7
圖 2-2 CCD 面積大小與視角大小之關係	8
圖 2-3 扭曲(Distortion)	8
圖 2-4 Helferty, J.P 扭曲修正實驗概圖	9
圖 2-5 廣角鏡頭視角 α 與歪曲形變量關係	11
圖 2-6 修正後的影像半徑與校正曲率關係	12
圖 2-7 扭曲影像像素位置	12
圖 2-8 扭曲校正的模型圖	13
圖 2-9 X 軸與夾角 β 的點 (x_2, y_2) 映射 X 軸平面上	15
圖 2-10 修正前後的比較圖	16
圖 2-11 扭曲修正後的破圖	17
圖 2-12 修補圖	18
圖 2-13 扭曲修正的後處理	18
圖 2-14 影像接合	19
圖 2-15 區塊比對	22
圖 2-16 比對示意圖與過程	23
圖 2-17 區塊比對結果	24
圖 2-18 影像接合實例	24

圖 3-1 影像坐標、攝影機坐標以及世界坐標系統.....	26
圖 3-2 坐標系統重合圖	28
圖 3-3 目標物之成像關係	29
圖 3-4 兩台攝影機的成像圖	30
圖 3-5 修正量測流程圖	32
圖 3-6 灰階化	33
圖 3-7 二值化	34
圖 3-9 Lap 濾波前後圖	35
圖 4-1 方格紙	37
圖 4-2 bcb 開發介面	37
圖 4-3 CCD 實體	38
圖 4-4 待接合影像 (a)左 CCD (b)右 CCD	39
圖 4-5 水平距離與視角關係圖	40
圖 4-6 為各距離的接合成果	42
圖 4-7 旋轉角度實驗架構	43
圖 4-8 旋轉角度與視角關係圖	44
圖 4-9 為各角度的接合結果	47
圖 4-10 綜合分析圖	48
圖 4-11 CCD 攝影機與平台關係圖	49

圖 4-12 量測平台	50
圖 4-13 左右 CCD 校正圖(a) 左 CCD(b) 右 CCD	51
圖 4-14 測距方法(右 CCD)	52
圖 4-15(a)(b)修正前比較圖與誤差圖	55
圖 4-16(a)(b)修正後比較圖與誤差圖	56
圖 4-17 未修正的測距結果圖	60
圖 4-18 修正後測距結果圖	63
圖 4-19 距離修正實驗方法	65
圖 4-20 為經過距離修正後結果	69

表錄

表 2-1 焦距與視角的關係(1/4" CCD).....	7
表 4-1 水平距離與視角跟重疊面積之結果.....	39
表 4-2 旋轉角度與視角跟重疊面積之結果.....	43
表 4-3 f 值的求得(a)為扭曲修正前(b)為扭曲修正後	53
表 4-4 未修正前深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm).....	58
表 4-5 未修正前橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)	59
表 4-6 扭曲修正後深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm).....	61
表 4-7 扭曲修正後橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)	62
表 4-8 左右像素差的差值和總和值(深度 825mm).....	65
表 4-9 修正表	66
表 4-10 距離修正後深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm).....	67
表 4-11 距離修正後橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)	68
表 4-12 量測距離綜合誤差表(單位：mm).....	70
表 5-1 影像接合方法比較	72

第一章 緒論

1.1 前言

從電腦發明以來，數位影像處理都是相當熱門的研究話題，隨著科技的發展，電腦處理的效率也有大幅的成長，使得影像處理有更大範圍的應用，包含工業檢測、醫學檢查、監視處理、機器(人)視覺系統等等。其中機器視覺系統應用於工業上或科學上時，是希望能藉其深入人類因危險或其他因素而不能到達的場所一探究境，一個擁有廣大視覺範圍且可以對特定目標物進行分析或處理的視覺系統，對於工業與科學應用上有其必要性。

近年來隨電腦的處理速度成倍數成長以及數位影像處理技術的多樣化，這些技術發展出現今許多不同種類的機器視覺系統。例如：影像的及時處理與計算、物體表面辨識、障礙物的躲避、目標物位置計算等等，這些大都應用機器人的視覺上面如此一來可以使機器人在真實環境中行走並躲避障礙物，使機器人更加實用。

1.2 研究動機與目的

機器視覺系統是應用 CCD 攝影機作為感測器以擷取影像，系統將 CCD 攝影機擷取的影像經處理後作為後續動作判斷的基礎。CCD 攝影機架設方式可分為兩種，一是固定於基座是為架設於固定一地點上，另一是架設於機器人上 CCD 攝影機隨機器人移動而移動。當架設於機器人的 CCD 攝影機於抓取物體或躲避障礙物方面應用時，CCD 攝影機接近目標物，視野因接近物體而縮小導致無法看完整的物體影像，為了排除上述的問題而需要較大視野的影像。

為了要產生比較廣大影像畫面大都使用單一攝影機以旋轉固定角度擷取多數影像之後，再將影像做縫合並調和成一張視野較大的影像，也有使用多個魚眼鏡頭輸入影像再執行反扭曲修正[1]或使用特殊硬體裝置，例如：雙曲面鏡頭來產生。未有針對兩個影像的接合面積與觀察視角關係作探討，本論文將利用兩個廣角 CCD 攝影機模擬人類的雙眼，做為探討影像的接合面積與觀察視角關係，藉此討論出最佳的影像的接合面積與最大視角，並在修正後的影像上進行物體目標物的距離量測，以得出物體與 CCD 攝影機相對的正確位置，之後運用於雙眼視覺機器上能根據所得出的距離做出所對應動作，或者成為雙眼機器視覺上一個實驗數據的一個資料庫。

1.3 文獻回顧

數位影像處理的研究與發展，最早源至於 1960 年初期的美國航空與太空總署(National Aeronautics and Space Administration，簡稱 NASA)的噴射推進實驗室(Jet Propulsion Laboratory，簡稱 JPL)，JPL 實驗室利用在太空中所拍攝到數位影像來做圖像的分析與處理，來求得所需要的太空圖形資訊。隨著時間的發展，如今數位影像的處理發展突飛猛進，加上電腦的進步，已經被廣泛的應用在許多方面例如：機器人視覺、工業產品瑕疵檢測、國防科技工業、門禁保全監視系統、醫學疾病檢測…等場合。

而為了在狹小的空間中取大範圍的影像，於是產生了廣角鏡頭，雖然能取得大範圍的畫面，但是廣角鏡頭有一項很大的缺點，就是影像的變形，為了修正其變形的影像，有許多有關影像反扭曲修正的文章，運用數學模型修正[1]或是給定一個校正圖形，作為校正過程之參考圖像。然後計算其校正圖形上影像之直線性，進行最佳化參數估計[2][3]。而在 Helferty, J.P[4]所發表的文章中，採用棋盤式排列的圓點校正圖形，經由內視鏡取像之後，利用校正多項式係數估測(Correction Polynomial Coefficient Estimation)，定義變形後各圓點圖形位置，與校正後位置之間的多項式轉換係數，在完成影像的歪曲形變校正之後，同時也建立形變影像與校正後影像之點對應表(Pixel

Mapping Table)，則新的影像只需要經由查表(Lookup Table)方式，即可不用再進行校正，而得到校正後的影像。之後有文章利用 Helferty, J.P 的方程式提出鏡頭參數修正法，利用鏡頭的視角、鏡頭半徑、鏡頭的中心等等參數。所以更換鏡頭時對應表不需全數重新計算，只須需要重新修正鏡頭參數即可[5]。

在影像縫合技術方面，影像縫合技術是將兩張或兩張以上彼此相鄰且具有重疊區域的圖片或相片，藉彼此間重疊的部分(Overlapping Area)，將這些圖片接合成一張等解析度，但視野範圍較大的圖片。應用於許多的研究方向包括：環場影像[6][7]、利用探針顯微儀做影像接合使得可以看到完整的物件[8]、3D 立體影像重建[9]、空照影像接合[10]等等領域。以上大部份的影像接合技術大致上有經過三個重要的步驟：(1) 建立特徵點的配對關係(feature point paring)；(2) 計算轉換矩陣(transformation matrix)；(3) 接合圖形(Image Registration)[7]。另外也有利用影像的區域比對法來做影像接合[6][11]。

在距離量測方面，主要可分為兩種方式：單眼式測距與雙眼測距法。單眼式測距大都利用單顆 CCD 攝影機配合上移動平台，如機器手臂[12]或是 2 維移動平台[13]，藉由移動所取得視差計算出目標物的實際位置。雙眼測距法[9][14][15]則是運用兩張影像的視差與相似

三角型的關係推算物體的景深，以方便物體的 3D 重構或是 3D 坐標的定位。

1.4 本論文之架構

本論文共分為五個章節，各章的敘述如下：

第一章 序論

主要介紹研究動機和目的跟論文架構

第二章 影像扭曲修正與接合

主要介紹影像扭曲修正的原理以及數學模型，與影像接合的理論。

第三章 目標物的影像量測

主要介紹影像量測系統的理论，以及做影像量測所需要的影像處理。

第四章 實驗與分析

主要介紹影像接合面積大小與視角廣度的實驗結果，跟距離量測實驗與誤差比。

第五章 結論與未來展望

結果分析與未來展望。

第二章 影像扭曲之修正與接合

本論文使用廣角鏡頭作為影像輸入的來源以量測距離，而廣角鏡頭所得到的影像會產生扭曲的現象導致距離的誤差，為修正此一問題，在本章節中將分為影像扭曲之修正與影像接合兩個部分進行探討，第一部分是介紹廣角鏡頭成像特性與成像之後的扭曲影像，並解說如何修正其扭曲影像與數學模型。第二部分則介紹影像接合，如何將兩張影像接合成一張。

2.1 廣角鏡頭的光學成像特性

焦距(Focal Length)，是指光學成像中心到 CCD 的距離，圖 2-1。而一般鏡頭是由多鏡片所組成的，所以這裡的焦距是指鏡頭鏡片組之中心到 CCD 的距離。而視角(Angle of View)，就是指鏡頭可以拍攝到的影像範圍，單位為度。表 2-1 是焦距與視角的關係，當焦距越長，則視角越小。反之，焦距越短，視角則會越大。另外，CCD 面積的大小也會影響視角的大小，CCD 面積越大視角也越大，例如：1/3" CCD 的視角大於 1/4" CCD。圖 2-2。

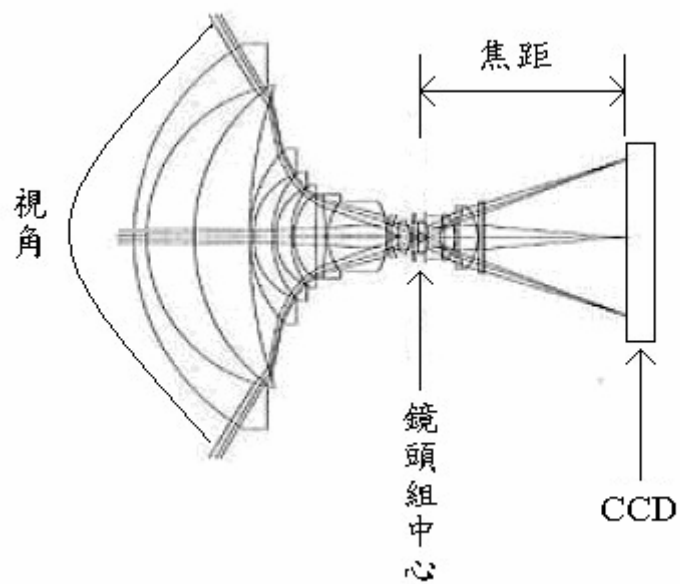


圖 2-1 相機鏡頭鏡片組成示意圖

表 2-1 焦距與視角的關係(1/4" CCD)

焦距 f (mm)	視角 (度)
3.6	92
4	74
6	55
8	34
12	23
14	17

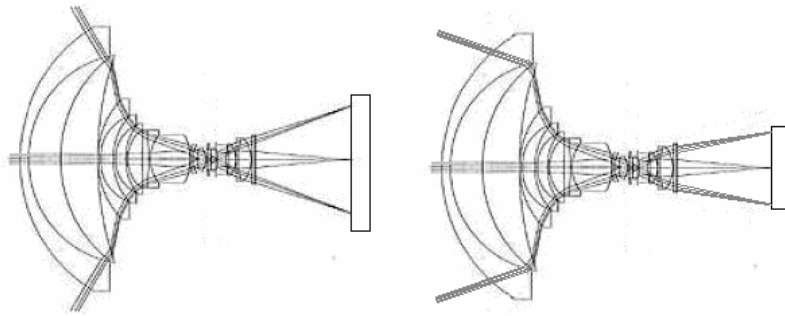


圖 2-2 CCD 面積大小與視角大小之關係(左為 1/3"，右為 1/4")

廣角鏡頭一般的定義為：鏡頭的焦距，比 CCD 對角線的長度來的短，這樣的鏡頭就稱為「廣角鏡頭」(Wide-Angle Field of View Lens)，由於廣角鏡頭焦距短，雖然視角會大增可是以光學成像的特性，會造成離鏡頭邊緣愈近的影像，其畸變度愈大，離鏡頭中心愈近的影像，其畸變愈小；此即所謂，扭曲(Distortion) 形變失真。如圖 2-3 所示，其邊緣已經有圓弧化的趨向。當焦距越短時，其圓弧化的趨向會越來越嚴重，最後在畫面的四周為會變成圓形。

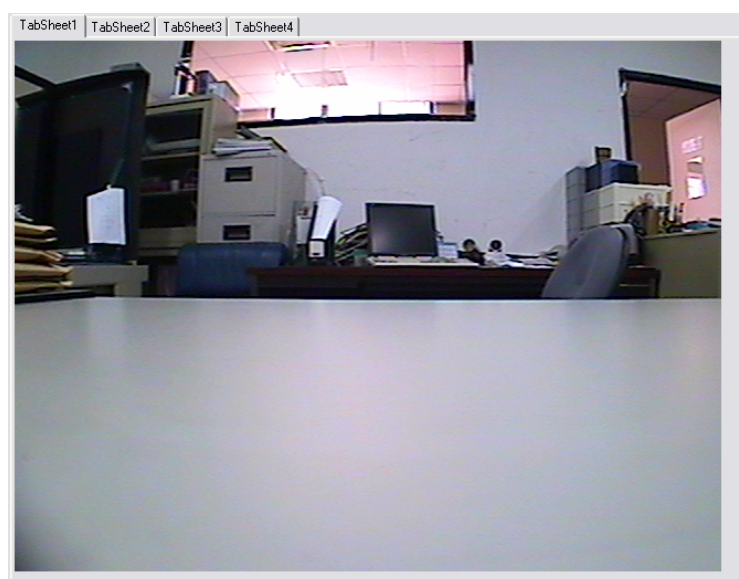


圖 2-3 扭曲(Distortion)

2.2 影像扭曲修正機制

在 2.1 節的描述中，我們發現廣角鏡頭會導致輸出的影像發生扭曲，因此為了修正扭曲之影像，而發表有關的像扭曲修正文章中，通常給定一個校正圖形，作為校正過程之參考圖像。然後比對其扭曲圖形與校正圖形上影像之差異，並計算出其直線性的方程式，是最常見的校正方式。而 Helferty, J.P[4]等人，所發表的文章中，採用棋盤式排列的圓點校正圖形如圖 2-4，經由內視鏡取像之後，利用校正多項式係數估測(Correction Polynomial Coefficient Estimation)，定義變形後各圓點圖形位置，與校正後位置之間的多項式轉換係數，如公式 2.1 與 2.2。

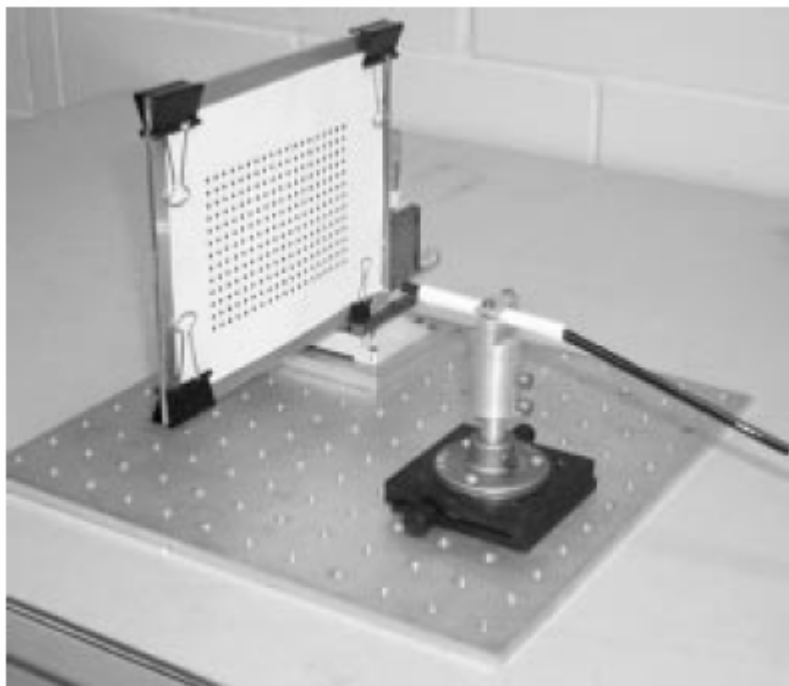


圖 2-4 Helferty, J.P 扭曲修正實驗概圖[4]

$$\begin{aligned}\rho' &= \sqrt{(x' - u_c')^2 + (y' - v_c')^2} & \rho &= \sqrt{(x - u_c)^2 + (y - v_c)^2} \\ \theta' &= \tan^{-1}\left(\frac{y' - v_c'}{x' - u_c'}\right) & \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{y - v_c}{x - u_c}\right)\end{aligned}\quad (2.1)$$

$$\begin{aligned}p &= \sum_{n=1}^n a_n p^n, \theta = \theta' \\ x &= u_c + p \cos \theta' \\ y &= v_c + p \sin \theta'\end{aligned}\quad (2.2)$$

2.1 式是扭曲校正前後 ρ 向量與角度 θ 的多項式， ρ' 與 θ' 為校正前， ρ 與 θ 為校正後。2.2 式中的 v_c, u_c 為影像中心， x, y 為影像中的某一點， θ 為 x, y 與 v_c, u_c 的夾角， ρ 為 x, y 與 v_c, u_c 的距離， P 為 ρ 的向量。

由方程式 2.1、2.2 將會建立一個形變影像與校正後影像之像素點對應表(Pixel Mapping Table)，則新的影像只需要經由查表(Lookup Table)方式，就可以得到校正後的新影像而不用再進行校正。然而上面的校正方式，沒有考慮到鏡頭本身已知的參數(如視角, 鏡頭半徑, 放大倍率等)，而且校正過程所花的時間較長，又因為以查表的方式進行校正，無法對影像上某一區域做快速修正。

本論文是採用快速扭曲修正的方法[5]，藉由鏡頭的參數來修正扭曲的影像，以到達快速扭曲修正的目的。

2.2.1 廣角鏡頭參數與扭曲修正

在廣角鏡頭中有下列幾個參數：視角、修正後的影像半徑、放大倍率、焦距、光圈等等，其中視角與修正後的影像半徑在影像的扭曲

修正中是 2 個極為重要的參數。

在廣角鏡頭裡的參數「視角」，它包含了可視的範圍以及影像成像扭曲的嚴重程度。因此在快速扭曲修正的方法[5]中，此參數將會影響修正影像的難易度與品質。如圖 2-5 為不同的廣角鏡頭視角 α ，所產生的歪曲形變示意圖。如圖所示，歪曲形變量依序為 $A > B > C > D$ ，因此角度 α 愈小，歪曲形變也越小，當 α 小到一定程度時，則廣角鏡頭即變為一般鏡頭。

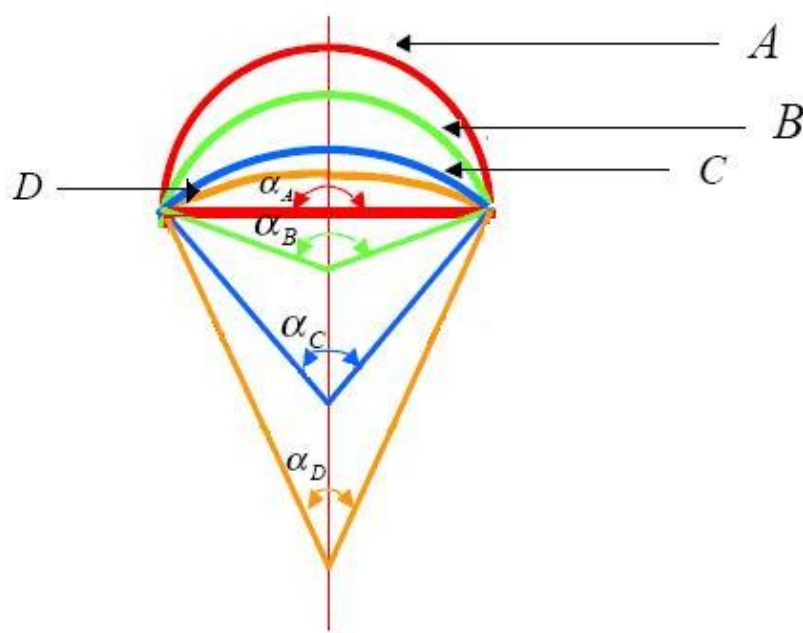


圖 2-5 廣角鏡頭視角 α 與歪曲形變量關係

圖 2-6 為不同的修正後的影像半徑，所產生的校正曲率變化變示意圖，半徑越大校正曲率愈小。校正曲率愈小時，校正後的影像影像會越接近校正前的影像[5]。

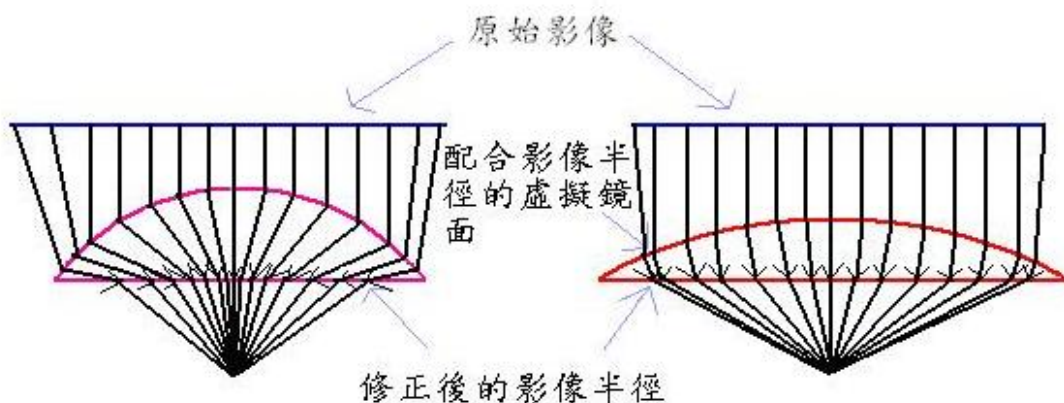


圖 2-6 修正後的影像半徑與校正曲率關係[5]

左圖的修正後的影像半徑比右圖小，故其校正曲率也比右圖大

2.2.2 扭曲修正的數學模型

就數位影像而言，在螢幕上所形成的影像中任一個像素點的位置可以用直角坐標來表示。廣角鏡頭的成像會產生扭曲現象，而扭曲畫面的邊界會偏向圓形。因此本文將以極坐標系統定義一個像素點的位置，如圖 2-7 所示。直角坐標 (x, y) 與極坐標的關係為

$$x = r * \cos \theta \quad (2.3)$$

$$y = r * \sin \theta \quad (2.4)$$

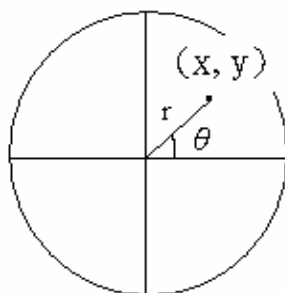


圖 2-7 扭曲影像像素位置

採用快速扭曲修正的方法所定義扭曲修正的模型[5]，如圖 2-8

(a)圓型為成像之圖形，圓形為廣角鏡頭曲面。圖 2-8(b)圖形為成像之側視圖。

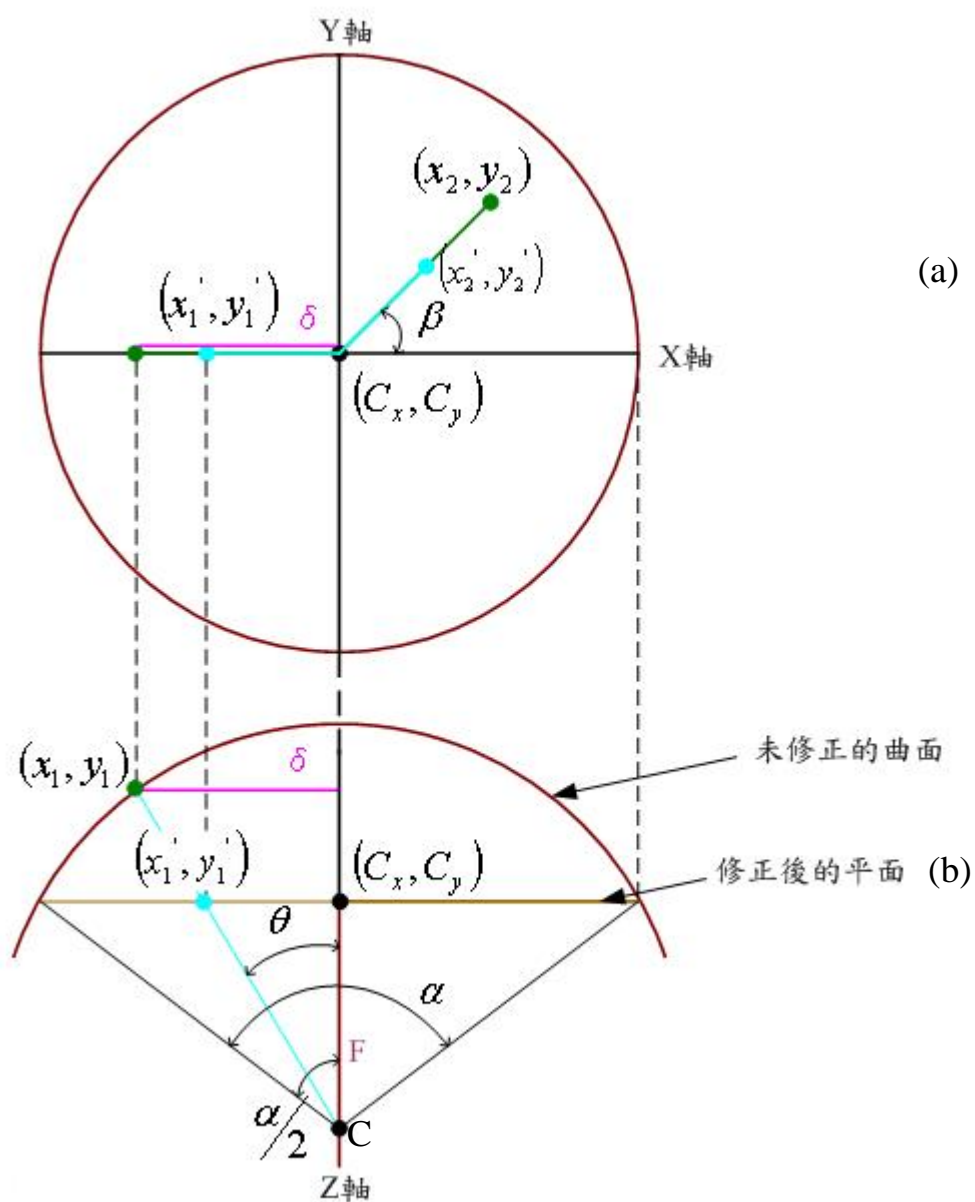


圖 2-8 扭曲校正的模型圖[5]

圖中點 (Cx, Cy) 為影像中心，由影像寬度 W 、高度 H 得

$$Cx = W / 2 \quad (2.5)$$

$$Cy = H / 2 \quad (2.6)$$

點 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 為影像上的任一點，當修正後的影像半徑 R ，鏡

頭視角 α 時，可得下列關係式：

$$\delta = \sqrt{(x_1' - Cx)^2 + (y_1' - Cy)^2} \quad (2.7)$$

$$\theta = \frac{\alpha}{2} * \frac{\delta}{R} \quad (2.8)$$

$$F = \frac{R}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (2.9)$$

$$T = F * \tan(\theta) \quad (2.10)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{(y_1' - Cy)}{(x_1' - Cx)}\right) \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} x' &= T * \cos \beta + Cx \\ y' &= T * \sin \beta + Cy \end{aligned} \quad (2.12)$$

其中 δ 影像中心 (Cx, Cy) 與點 (x_1, y_1) 的距離， θ 代表點 (x_1, y_1) 與影像中心線的夾角， F 為校正後的虛擬焦距， C 為虛擬焦點， β 為影像中心 (Cx, Cy) 與點 (x_2, y_2) 影像任意點的夾角， (x_1', y_1') 為校正後像素點的位置。

以圖 2-8(a)為例，要求點 (x_1, y_1) 修正後的對應點 (x_1', y_1') ，先以距離公式(2.5)求出 (x_1, y_1) 與 (Cx, Cy) 的距離 δ ，其位置如剖視圖

2-8(b)所示。由圖 2-8(b)利用關係式(2.6)、(2.7)、(2.8)可求得校正平面上的點 (x_1', y_1') 與點 (Cx, Cy) 的距離 T ，可達成修正的效果。同理點 (x_2, y_2) 也是運用此一方式進行校正，由於點 (x_2, y_2) 與 X 軸有夾角 β 的存在，因此 T 值必需乘以 $\cos \beta$ 與 $\sin \beta$ 來修正，使點 (x_2', y_2') 能在正確的直角坐標上，如圖 2-9。

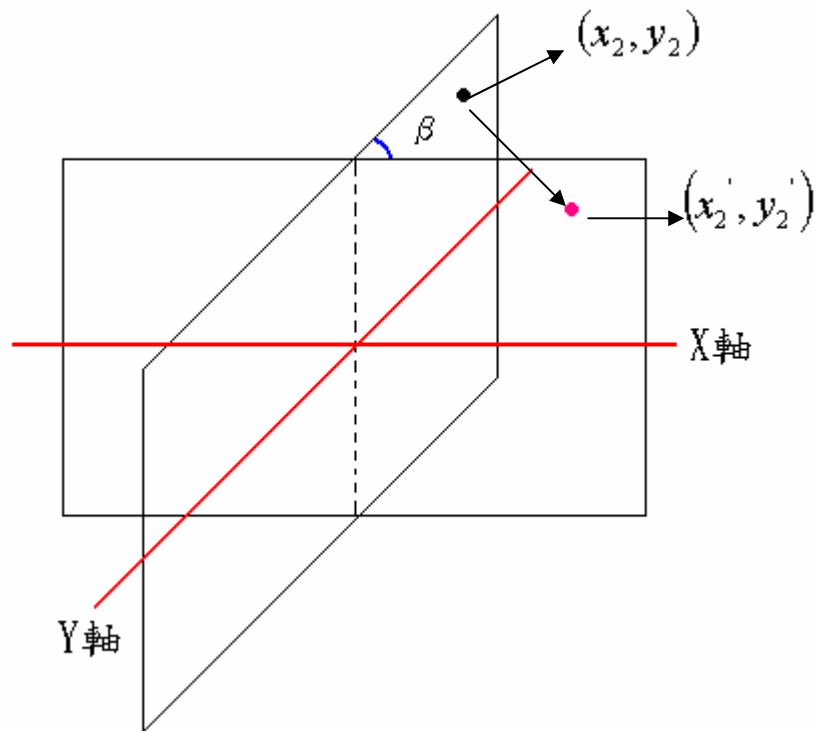


圖 2-9 X 軸與夾角 β 的點 (x_2, y_2) 映射 X 軸平面上

此數學模型，是根據廣角鏡頭的視角修正扭曲後的影像。變形影像上的任意點，經過上面的模型轉換後，會對應到校正後影像上的一個位置上，作為未來影像處理使用。圖 2-10 修正後的影像

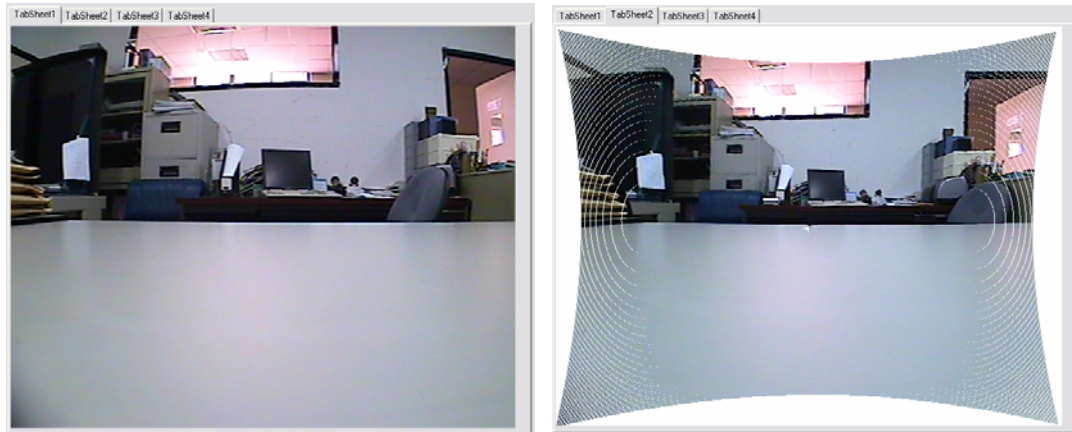


圖 2-10 修正前後的比較圖

左邊為修正前的影像，右邊為修正後

2.2.3 扭曲修正的後處理

扭曲的影像經過修正的數學模型運算後，所產生的數值將不一定整數值，但是數位影像的單位-像素則是整數的數值會造成原扭曲影像某些像素值無法顯示在修正後的影像上，使得修正後的影像出現破圖的情形。如圖 2-11 中所出現環狀的線條。

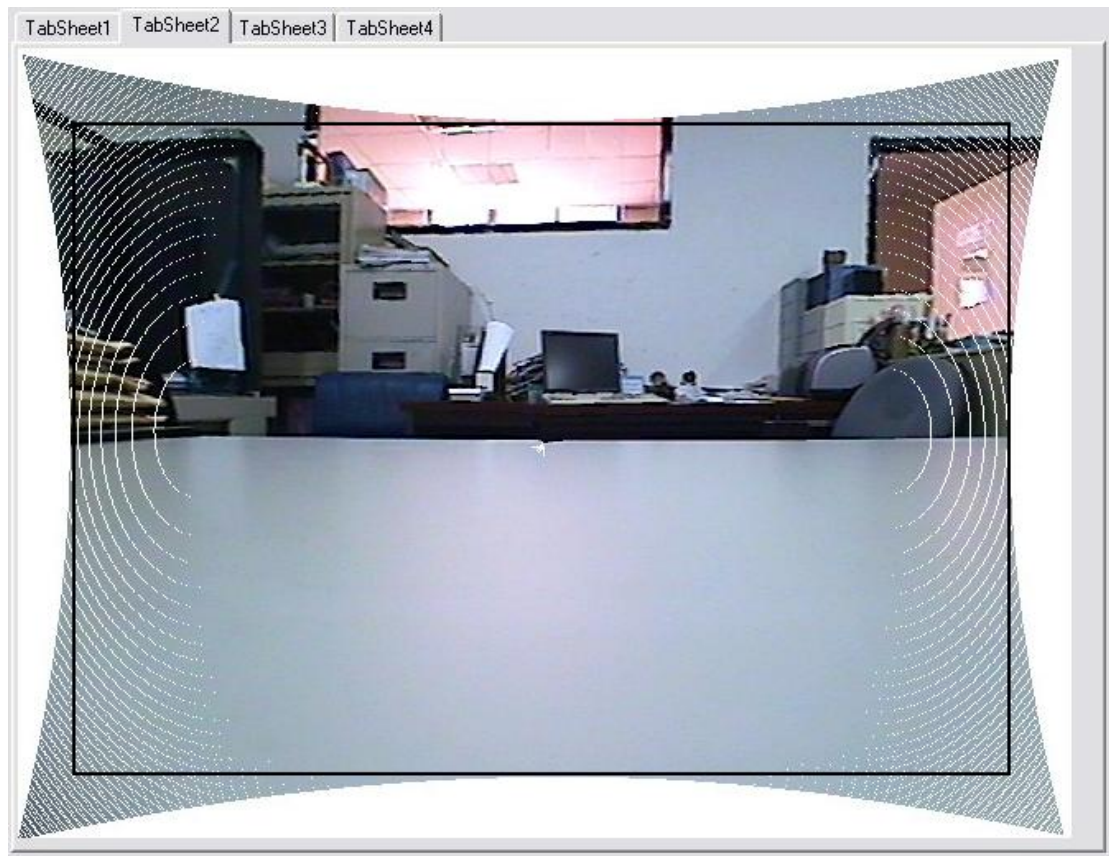


圖 2-11 扭曲修正後的破圖

根據圖 2-11 結果破圖的情形，是由於修正模型的特性所形成的圓形破圖，而且圓形弧線的像素寬度僅有一個像素大小。因此採用以鄰近的像素值作為修補圖的數值，如圖 2-12 是將左邊的像素值複製到破圖點以修補圖形。以此法修補圖形可以達成較快的影像處理，不需使用濾波器與迴旋積分[5]需要大型的計算量與較多的時間，修補後的圖形與使用濾波器修補的圖形效果並無很大的差異。而邊緣大面積的破圖是原本扭曲影像未擁有資料，是因為修正模型所產生退縮現象所形成，本文將無資料的地方加以塗白貼上並在後續的影像處理上

給予剔除，留下圖 2-11 方框內的部份。如圖 2-13

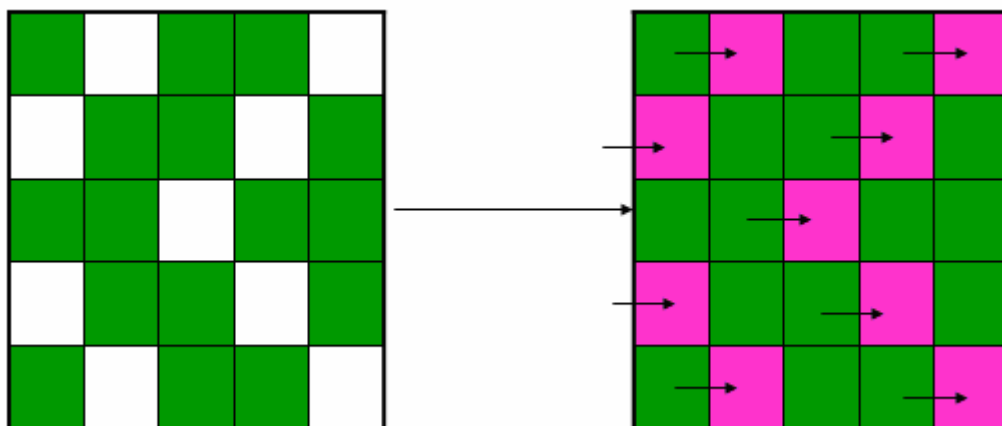


圖 2-12 修補圖 綠色代表影像資料 白色代表空資料

粉紅色為填補值

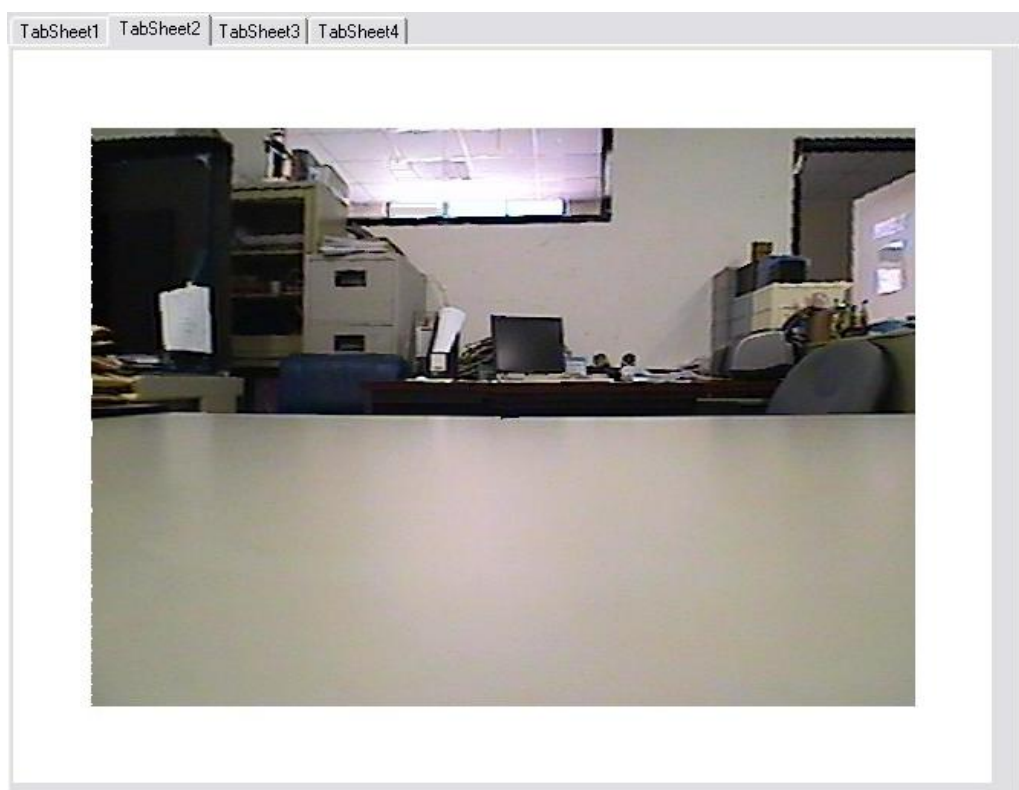


圖 2-13 扭曲修正的後處理

2.3 影像接合理論

以兩個 CCD 攝影機來模擬人類的雙眼視覺，將會產生兩張影像，分別為左邊的影像以及右邊的影像。如果要檢視兩張影像的內容，必須在一同畫面上顯示左右兩張影像，不然就一定要切換畫面來檢視左右兩張影像，因此根據兩張左右影像重疊的內容接合成一張影像以方便使用者觀察，同時增加一張影像畫面的視角。如圖 2-14。影像接合的方法絕大部份都是以其中一張影像(如：左影像)為基準，之後把第二張影像(如：右影像)拿到作為基準的影像去做比對，找出兩張影像相對映的點，再將 2 張影像合併成為一張大範圍的影像。而檢視影像相對映點關係的方法大致有以下 3 種[9]：區塊比對、特徵值比對以及綜合上述 2 種方法的綜合法。以下將會簡述 3 種方法的不同。

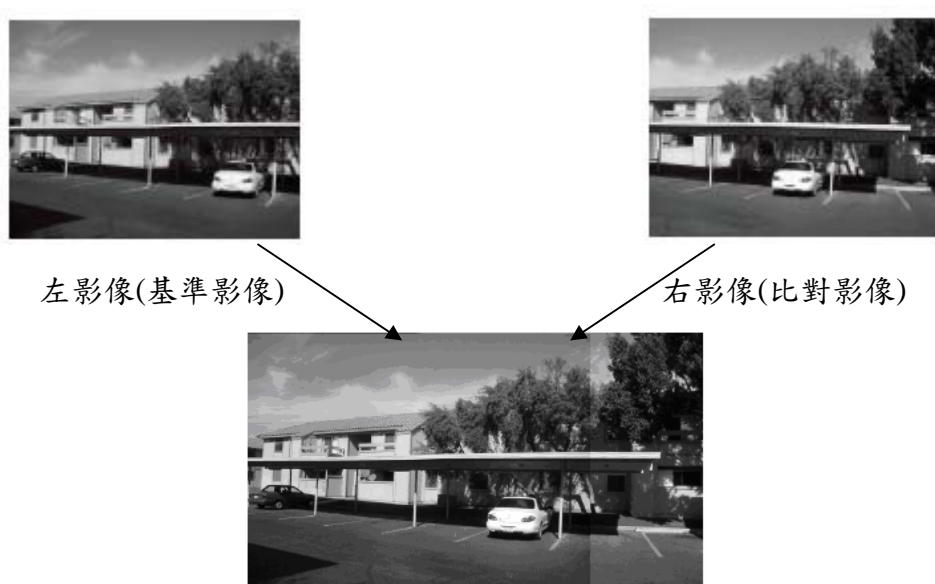


圖 2-14 影像接合[11]

1. 區塊比對：為建立左右影像對應的一種關係方式，在影像上每一個像素點(不論彩色或是黑白)都有不同的數值。以此為基礎在基準影像上規劃一個($m \times n$)大小的參考區塊，而後再跟比對影像的候選區塊去做收尋比對，取其差異最小的區塊，得出二張影像最相近的對應點。

2. 特徵值比對：為另外一種影像對應關係之比對，它不直接搜尋影像中所有點之對應點，僅挑選影像內容中具有代表性特徵比較。首先找出左右影像中特徵，常見特徵型式有很多，諸如邊界、轉角、高曲率點、線段、輪廓線等等都是。由於特徵導向是由影像特徵來比對，而這些特徵又擁有相似性質(比如都是邊界)，因此比對較有依據，也比較穩定。待特徵點對應建立後，即可以找出二張影像相對應的點。

3. 綜合法：綜合上述 2 種方法而成的一種比對法則。先將左影像分成許多區塊，再以區塊比對方法找出特徵值，最後以特徵值比方式找出對應的點[16]。或是以影像中心為參考點，把影像區塊中的像素值跟影像中心的像素值取標準差，以相差值最大的為特徵點，再做特徵值比對找相對應的點[17]。

2.4 影像收尋比對

根據 2.3 節，本論文運用影像接合的方式，能讓使用者看到一張左右影像接合後的大範圍影像。由於特徵比對法需要較多的影像前處理，才能找到較穩定的特徵值，而在彩色畫面下，影像的亮度影響並不嚴重。因此本論文影像收尋比對方法，是使用區塊比對方法進行兩張影像的比對。

2.4.1 區塊比對演算法

區塊比對演算法的主要目的是在搜尋範圍中找出最佳匹配的區塊，因此必須定義計算目前區塊與候選區塊匹配程度的方法(Block Matching Criteria)如圖2-15，左影像中的區塊A要在右影像收尋相近的區塊B。一般而言，都是以目前區塊與候選區塊間的綜合差異值計算，如：差異的平方取平均值MSE (Mean Square Error)[18]

$$\text{MSE}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{(x,y) \in B} [I_l(x, y) - I_r(x + \Delta x, y + \Delta y)]^2 \quad (2.13)$$

與差異絕對值的平均值MAD (Mean Absolute Difference)[19]

$$\text{MAD}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{(x,y) \in B} |I_l(x, y) - I_r(x + \Delta x, y + \Delta y)| \quad (2.14)$$

一般最常用的是MAD。但是MSE跟MAD的計算量仍然龐大，因此再

將MAD簡化為SAD(Sum Absolute Difference)如式(2.15)，簡化後並不會影響結果，但是卻能減少運算量。

$$SAD(\Delta x, \Delta y) = \sum_{(x,y) \in B} |I_l(x, y) - I_r(x + \Delta x, y + \Delta y)| \quad (2.15)$$

其中 B 是 $M \times N$ 的區塊大小， I_l 是左影像， I_r 是右影像， x, y 為區塊 B 上的點， $\Delta x, \Delta y$ 為 I_l 與 I_r 的區塊 B 之像素距離，上述的 MSE、MAD 以及 SAD 都取計算後的最小值，數值越小代表區塊的相似度越高。

在區塊比對演算法中，理論上必須比較過所有的區塊才能找到，這種方法稱為全域搜尋法。不過為了減低計算量，可以假設相近的區塊在一個範圍內，僅在此範圍中尋找最相近的區塊，大部分常用如：三步搜尋法、鑽石搜尋法[20]等等。

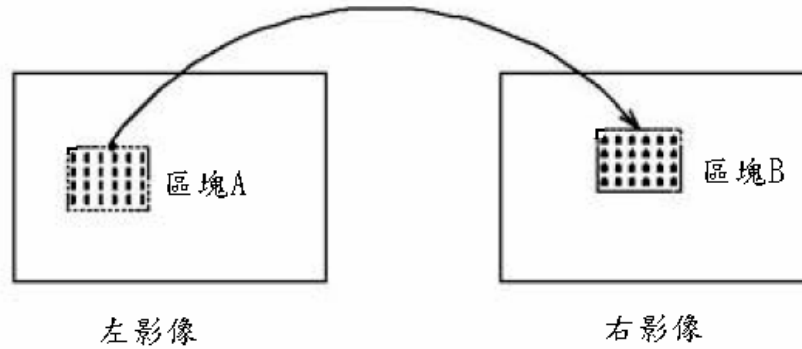


圖 2-15 區塊比對

2.5 影像接合

本文採用區塊比對演算法，先在右影像的最左邊分割出比對區塊，再把比對區塊從左影像的最左邊逐一比對到最右邊作全域收尋比

對，找出最相近的區塊，如圖 2-16。當比對出最相近的區塊之後，並
 作上記號如圖 2-17，即是左右影像最相近的對應區塊，之後將左右影
 像水平接合即可，圖 2-18 為影像接合的實例。

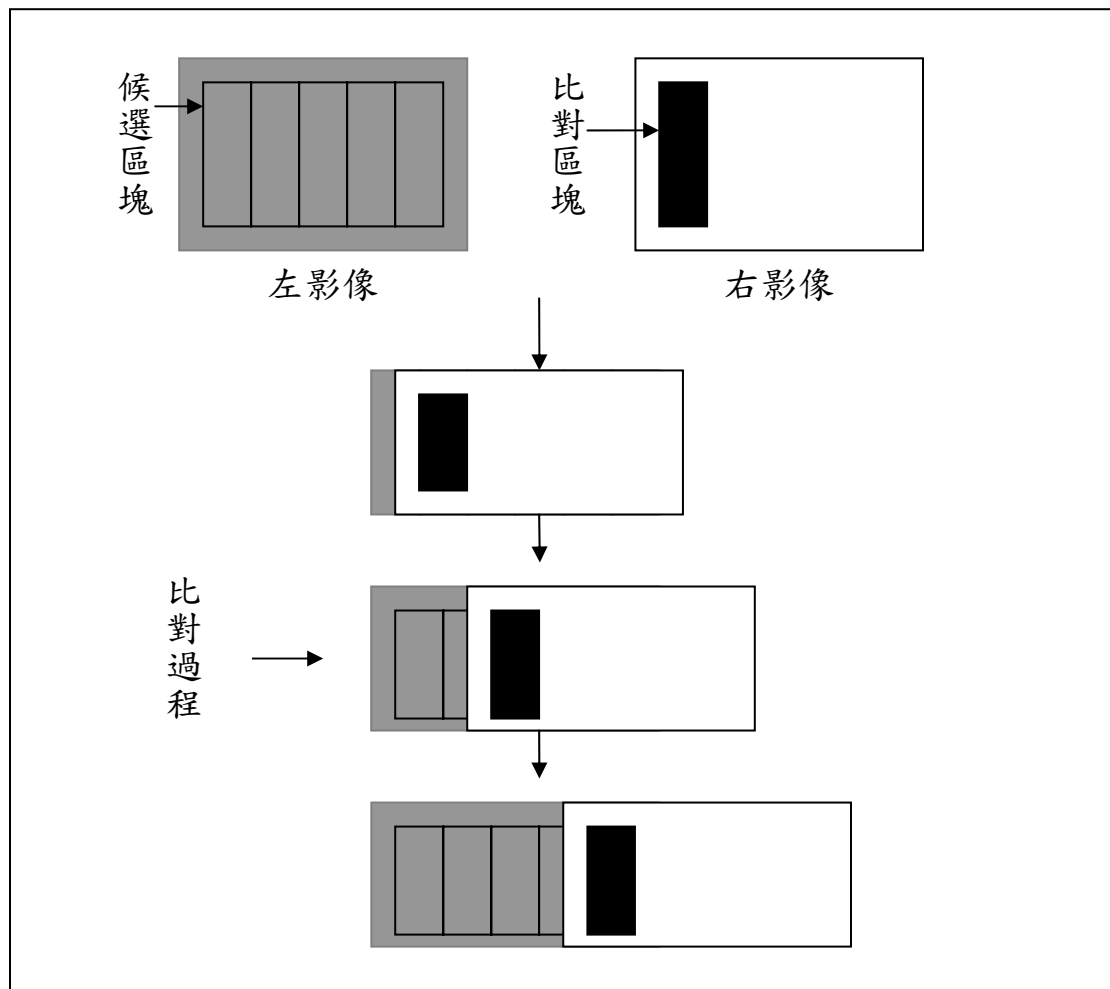


圖 2-16 比對示意圖與過程



圖 2-17 畫紅線的區塊為右影像之比對區塊，劃綠線的區塊為左影像
經比對之後的最佳區塊。



圖 2-18 影像接合實例

第三章 目標物的影像量測

本文是利用兩個廣角 CCD 攝影機修正後的影像來進行影像量測。在本章節中，將會介紹影像量測基礎、坐標系統、影像測距原理以及所需要用到影像處理技術。

3.1 影像量測基礎理論

在 3 維空間中的任一物體，經過 CCD 攝影機照射之後，顯示在 2 維的平面上。由於在 3 維轉換 2 維的途中會失去物體的景深，所以在影像量測中首先需要的是先找出失去的物體景深，要如何從平面影像中找出其失去的景深呢？主要有二種方式：單眼測距法、雙眼測距法。並簡述其作法。

1. 單眼測距法：由於單眼並無法從單張的 2 維影像去獲取已經失去的物體景深，所以大部分的單眼測距法需要將單眼的 CCD 攝影機做前後或左右的移動[12]，或將 CCD 攝影機旋轉[15]，以求得不同情形下物體影像的差異，進而計算出物體的景深。
2. 雙眼測距法：以本研究為例，是將兩部 CCD 攝影機以左、右平行擺置在同一基準上來取得影像，利用物體於兩個影像中所在的位置不同，來計算兩影像對應點的差異量，再利用相似三角形的關係式來求得物體的景深資訊。

3.2 影像坐標系統

在影像的成像理論上有三個坐標系統[21]，其一是在三維空間中一物體所在的世界坐標系統(World Coordinate System, WCS)。其次是經由攝影機拍攝後物體呈現在畫面上一個二維系統，此二維系統稱為影像坐標系統(Image Coordinate System, ICS)。最後是攝影機的內部坐標系統，稱為攝影機坐標系統(Camera Coordinate System, CCS)。如圖 3-1 所示。P 點為目標物，P' 點為目標物成像之位置。

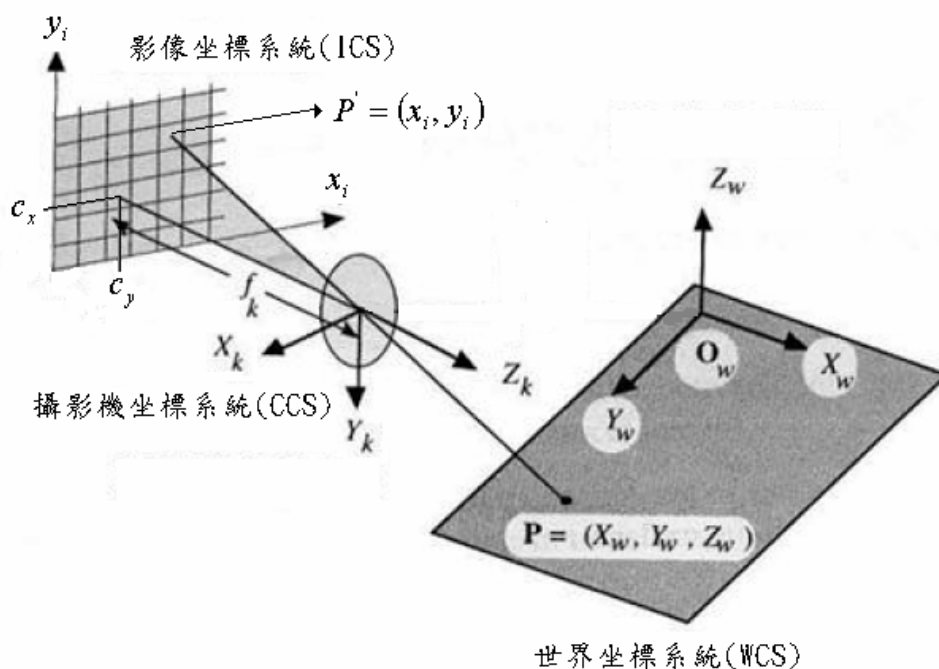


圖 3-1 影像坐標、攝影機坐標以及世界坐標系統

3.3 雙眼測距法

根據圖 3-1 發現世界坐標系統(WCS)與攝影機坐標系統(CCS)之間並不重合，固兩者之間存在一個轉換。此轉換包含旋轉和平移，如(3.1)式即是將世界坐標的 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 點轉換成影像坐標的 $P'(x_i, y_i)$ 點。

$$\begin{bmatrix} x_i - c_x \\ y_i - c_y \\ -f_k \end{bmatrix} = [R_x R_y R_z] \times \left(\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \right) \quad (3.1)$$

其中 (x_i, y_i) 為 (X_w, Y_w, Z_w) 在影像坐標中的投影點， (c_x, c_y) 為鏡頭的中心點， f_k 為像距， R_x, R_y, R_z 為 3x3 旋轉矩陣， T_x, T_y, T_z 為平移矩陣。

若假設一開始把攝影機的坐標與世界坐標系統重合，使兩者之坐標系統一致，則影像的 XY 平面將與世界坐標的 XY 平面重合，世界坐標的 Z 軸將與攝影機的光軸 Z_k 完全相同，如圖 3-2 所示。可以發現只要訂出原點 O，就可以使 $X_w = X_k, Y_w = Y_k, Z_w = Z_k$ 三軸坐標一致化。(3.1)式可簡化為(3.2)式。

$$\begin{bmatrix} x_i - c_x \\ y_i - c_y \\ -f_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

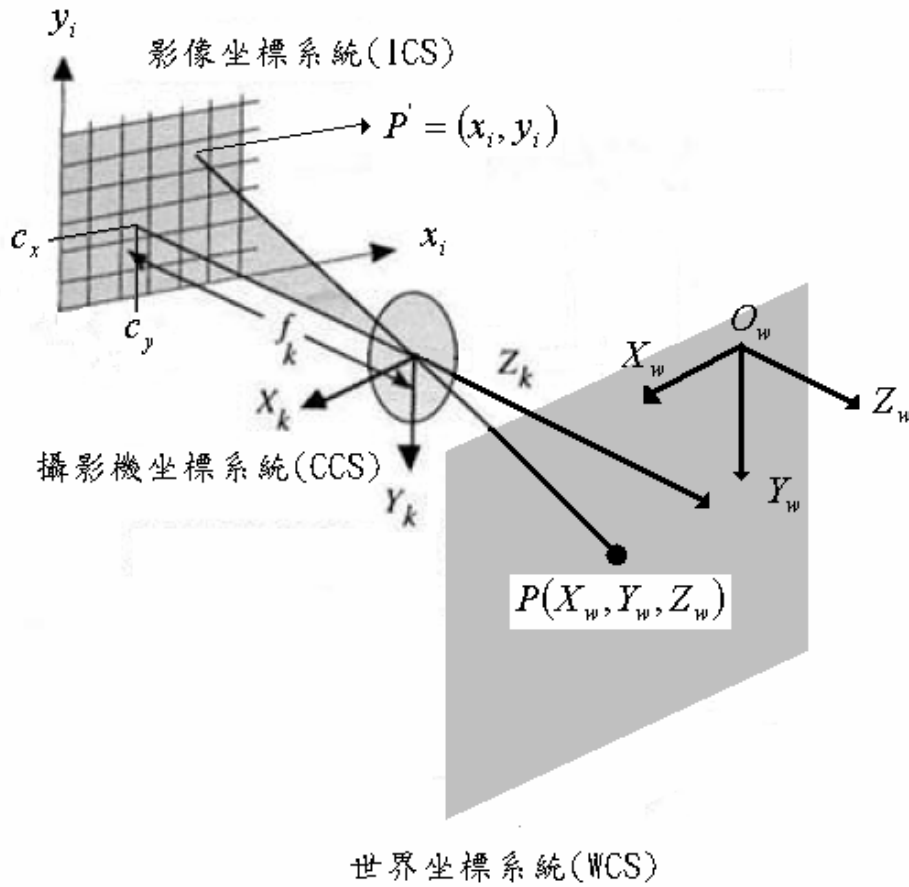


圖 3-2 坐標系統重合圖

因此若假設以攝影機中心之坐標系統為原點 O ，並以 XZ 平面來觀看圖 3-2 的話，如圖 3-3 所示。可以令 X_w 為目標物 P 與攝影機的光學中心線之距離， x_i 為目標物成像於影像面上與攝影機的光學中線的距離， Z_w 為目標物的影像深度， f 為攝影機鏡頭中心到影像面的距離。由相似三角形的關係得知以下關係比

$$-x_i : X_w = f : Z_w \quad (3.3)$$

負號則是指成像與實際物體的方向相反，整理可以得(3.4)式。

$$\frac{x_i}{f} = \frac{X_w}{Z_w} \quad (3.4)$$

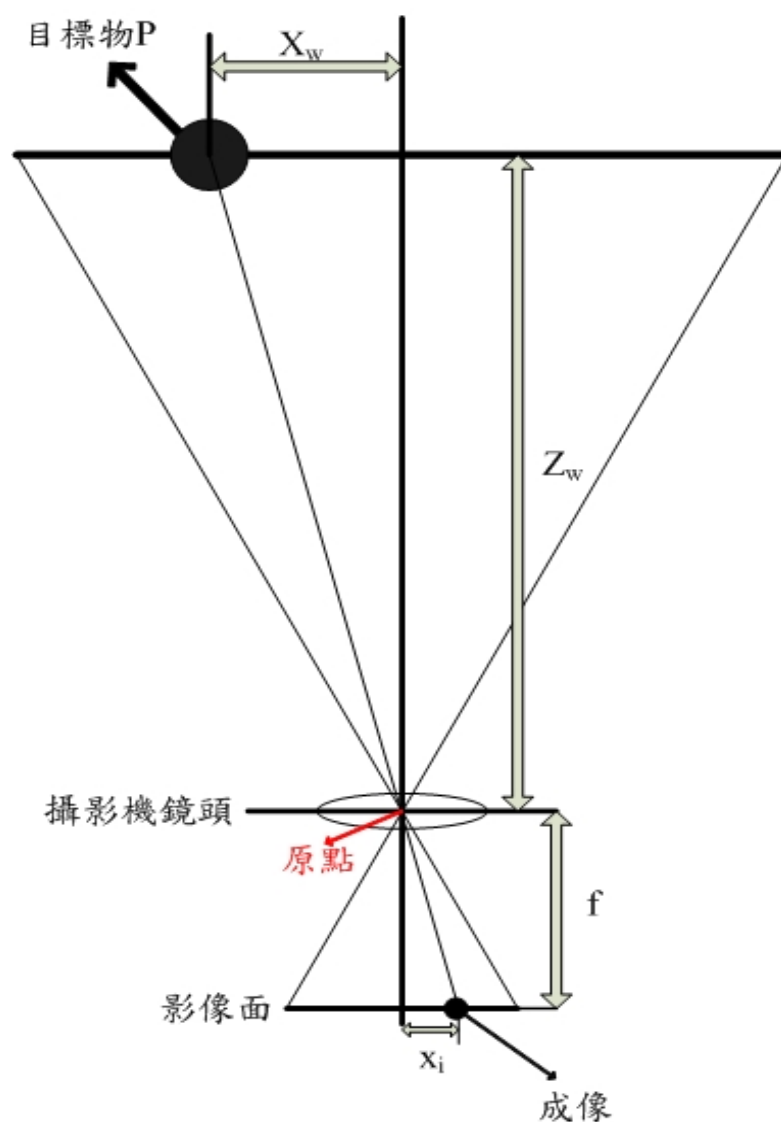


圖 3-3 目標物之成像關係

以上為單台攝影機的成像圖。本文將採用兩台攝影機且並排於同一條基準線上，並使目標物進入兩台攝影機可以觀測的範圍之內。假設兩台攝影機的光學中心線為平行的，則兩台攝影機的光學中心線之連線距離為 H ，而這一條連線稱之為基線(baseline)，如圖 3-4 所示。

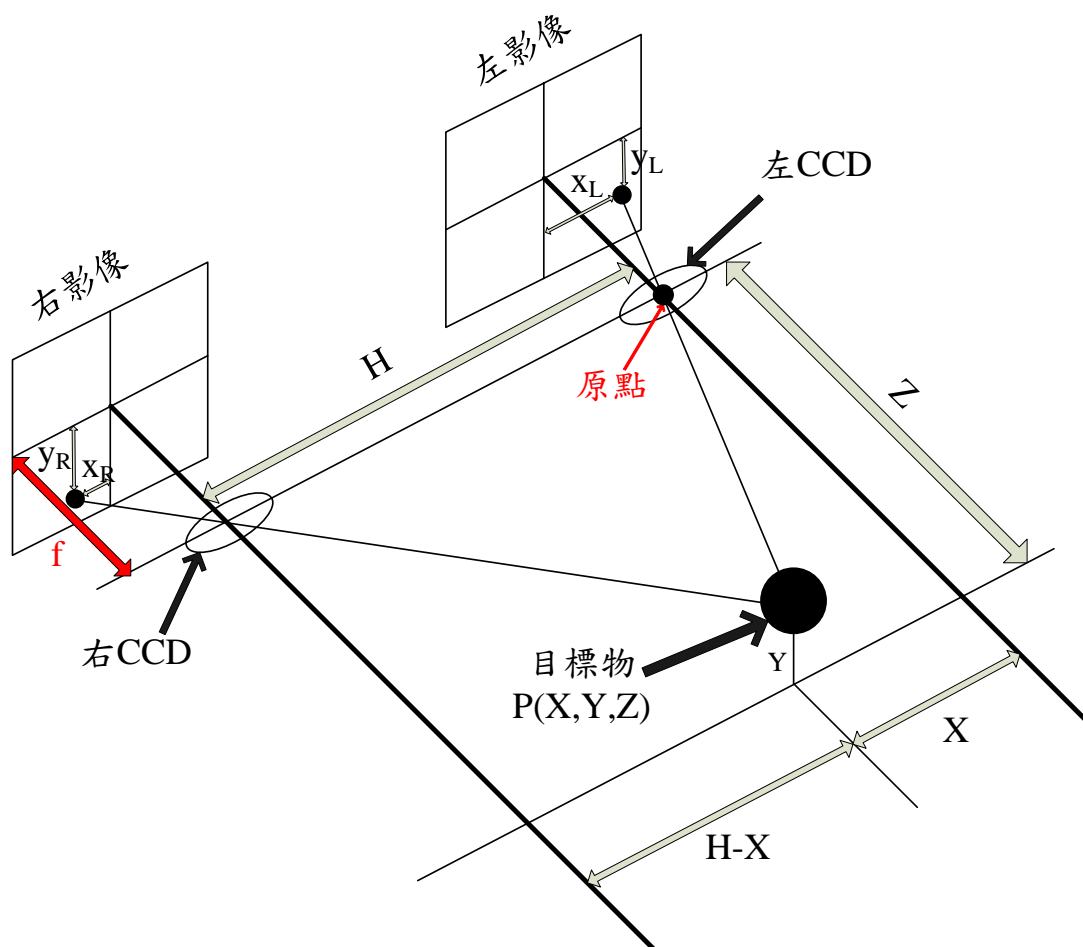


圖 3-4 兩台攝影機的成像圖

圖 3-4 中 P 點為目標物，Y 為實高，Z 為鏡頭中心至目標物 P 的距離，X 與 H-X 分別為目標物 P 到左邊攝影機光學中心以及到右邊攝影機光學中心的距離，f 為攝影機鏡頭中心到影像面的距離， x_L 與 x_R 則是 X 與 H-X 投影到影像面的長度。根據(3.4)式的相似三角形原理得出 x_L 與 x_R 的長度

$$x_L = \frac{f}{Z} \times H \quad (3.5)$$

$$x_R = \frac{f}{Z} \times (H - X) \quad (3.6)$$

由(3.5)和(3.6)整理可以得到 P 的物體景深 Z 為

$$Z = \frac{H \cdot f}{x_L - x_R} \quad (3.7)$$

把(3.7)式帶回(3.5)式就可以得到目標物 P 的 X 位置

$$X = \frac{H \cdot x_L}{x_L - x_R} \quad (3.8)$$

y_L 與 y_R 則是 Y 投影在左、右影像面上的高度距離，可由相似三角形關係得到

$$\frac{y_L}{\sqrt{f^2 + x_L^2}} = \frac{Y}{\sqrt{Z^2 + X^2}} = \frac{y_R}{\sqrt{f^2 + x_R^2}} \quad (3.9)$$

經整理後得實際的 Y 位置

$$Y = \frac{y_L \cdot \sqrt{Z^2 + X^2}}{\sqrt{f^2 + x_L^2}} = \frac{y_R \cdot \sqrt{Z^2 + X^2}}{\sqrt{f^2 + x_R^2}} \quad (3.10)$$

根據(3.7)(3.8)(3.10)式，我們可以從兩個攝影機所得到目標物影像面的像素差值得到目標物 P 的位置資訊。

3.4 數位影像處理

在做影像測距之前，必須要做一些數位影像處理技術，如灰階化、二值化、邊緣檢測等等，才能把需要測量的目標物與背景分離，

進而針對分離出來的目標物做距離量測。本文透過廣角鏡頭擷取影像，利用修正過後的影像做影像處理，並且進行測距，其流程如圖 3-5 所示。

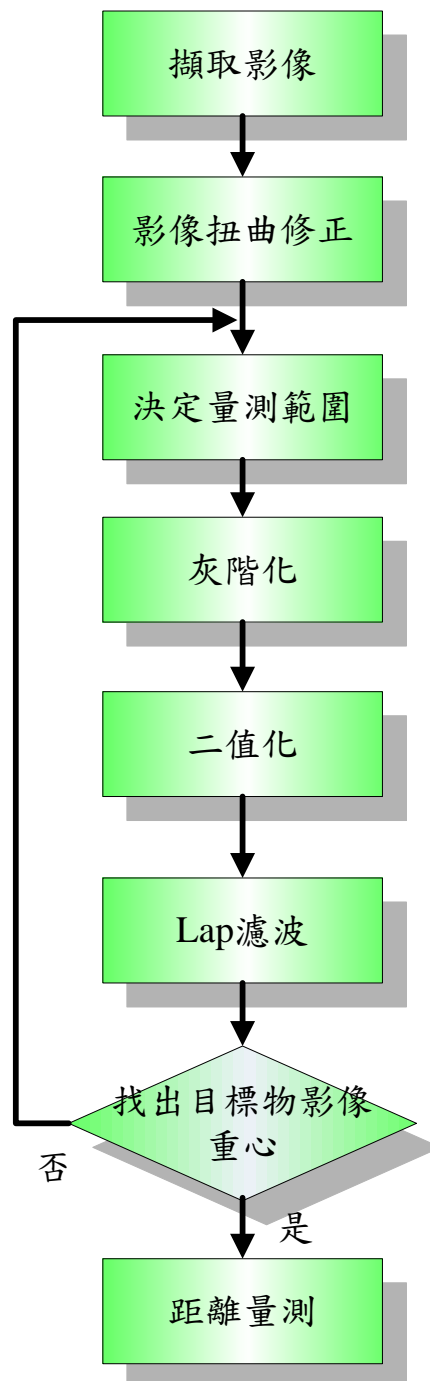


圖 3-5 修正量測流程圖

3.4.1 灰階化

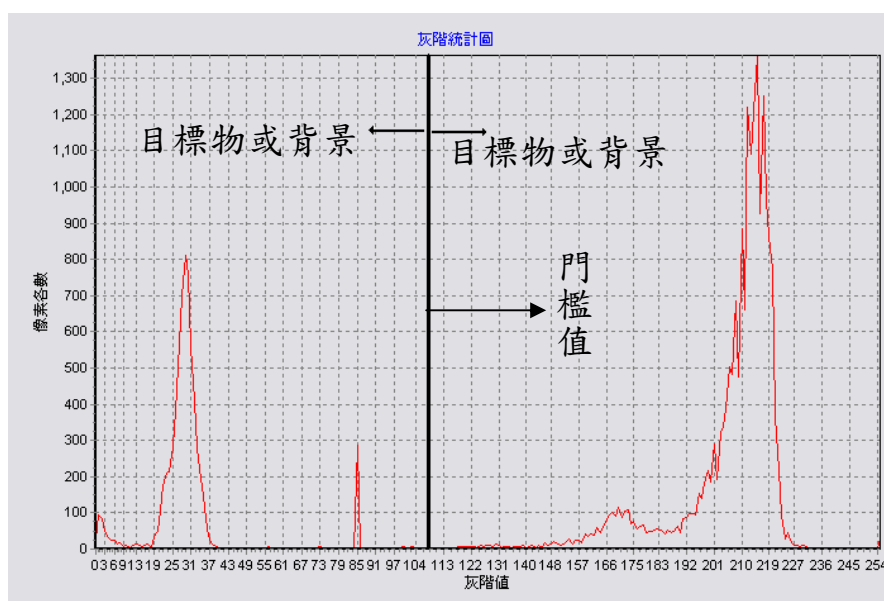
在彩色的影像中，RGB(Red-Green-Blue)乃是色光三原色，其彩色解析度有 8bit、16bit、24bit 以及 32bit。而在 RGB 的影像中每一個色層(R 色層、G 色層、B 色層)都有不同的數值，以常用的 24bit 而言其值為 0~255，由 R 值、G 值、B 值這三色的數值組合起來就是我們看到彩色影像。因為本論文是使用彩色 CCD 的原因，所以需要進行灰階化，透過 $Y=0.299R+0.587G+0.114B$ 的轉換公式，輸出值 Y 則為明亮層次，適合作為彩色影像的灰階值，以方便後續的影像處理。其值為 0(全黑)到 255(全白)。圖 3-6 為原彩色影像灰階化轉換後的結果。



圖 3-6 灰階化

3.4.2 二值化

當影像經過灰階化時，就只有剩下灰階資訊，可以對影像設定一門檻值(Threshold Value)進行二值化，將所有的像素分成目標物與背景部份，其中門檻值的設定是以灰階統計圖中的波谷值作為門檻值，如圖 3-7 所示，以便後續的影像處理。



(a) 灰階統計圖



(b) 二值化前



(c) 二值化後

圖 3-7 二值化

3.4.3 Laplacian 濾波器

本文的邊緣檢測是採用 Laplacian 濾波器[22]，Laplacian 濾波器是用來抽取影像邊緣特徵的濾波器，其功能是希望將影像簡化到只剩邊緣資訊，由簡化後的邊緣資訊來減少影像處理的時間。圖 3-8 為兩種不同形式的 Laplacian 濾波器

-1	-1	-1
-1	-8	-1
-1	-1	-1

(a)

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

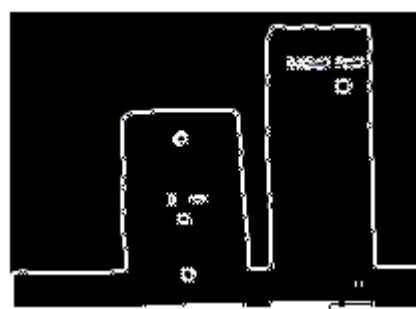
(b)

圖 3- 8 Laplacian 濾波器 (a)一般型 (b)提高中間加權值

而圖 3-9 則是經過 Laplacian 濾波後的情形，圖中邊緣部份特徵被很明顯的突顯出來。



(a)



(b)

圖 3-9 Lap 濾波前後圖

第四章 實驗設備與結果

為達到影像量測實驗的目的，本文使用廣角 CCD 攝影機、測距平台以及測試目標物等設備。在實驗方法上分成影像接合與影像測距兩大部分，於影像接合部分分別進行兩個 CCD 攝影機的距離接合與 CCD 攝影機的旋轉角接合實驗，探討其接關係與影像測距的精準度。

4.1 實驗設備

本文的實驗設備是使用兩顆廣角 CCD 攝影機作為影像輸入的裝置，透過影像擷取卡，傳送到個人電腦上做影像扭曲修正、影像接合與距離量測等等的影像處理。另外在影像距離量測上規劃一張 87cmX45cm 的方格紙，其每一方格的距離都是 5cm，作為距離量測的實際距離參照用，如圖 4-1。程式開發軟體則是使用 Borland C++ Builder 6.0 做為開發介面，如圖 4-2。

CCD 攝影機是使用 SONY 的 1/3" 彩色 CCD，其影像像素數為 NTSC=510*492，快門速率為 NTSC=1/60s~1/100000s，F 為 2.0，鏡頭焦距為 3.6mm(可換)，視角 90 度，基座直徑 88mm、高 19.5mm，如圖 4-3。



圖 4-1 方格紙

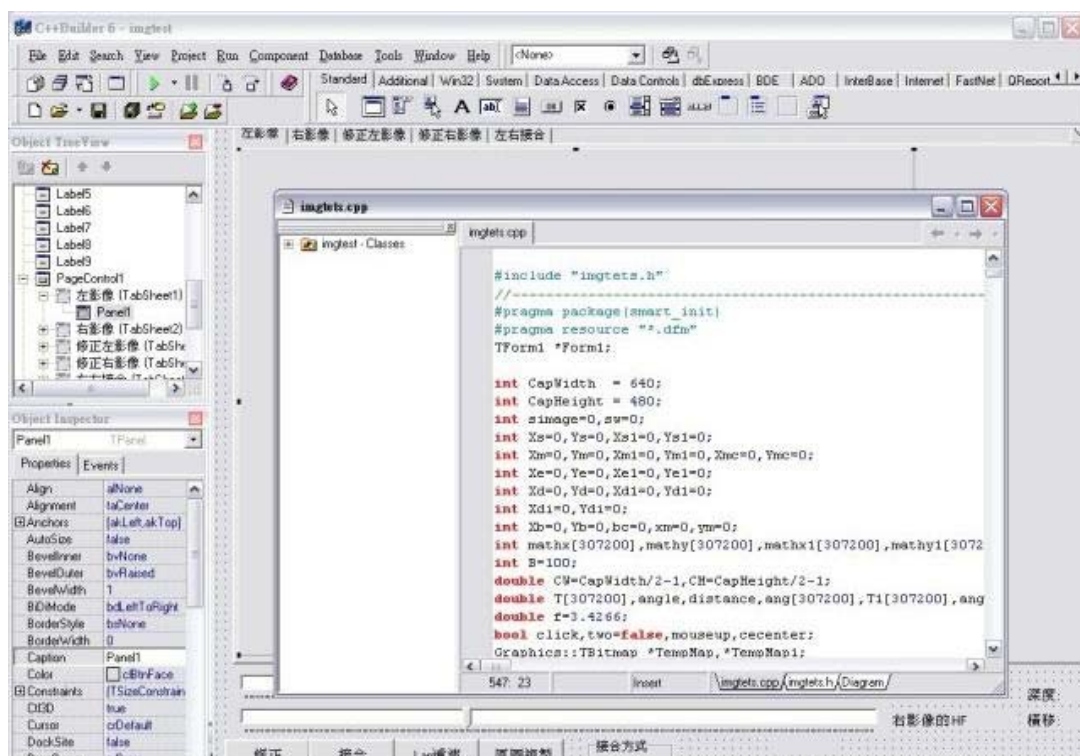


圖 4-2 bcb 開發介面

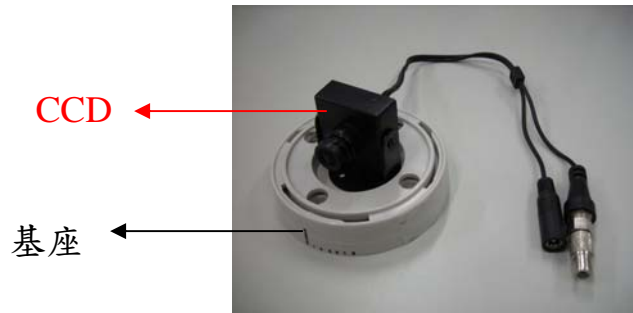
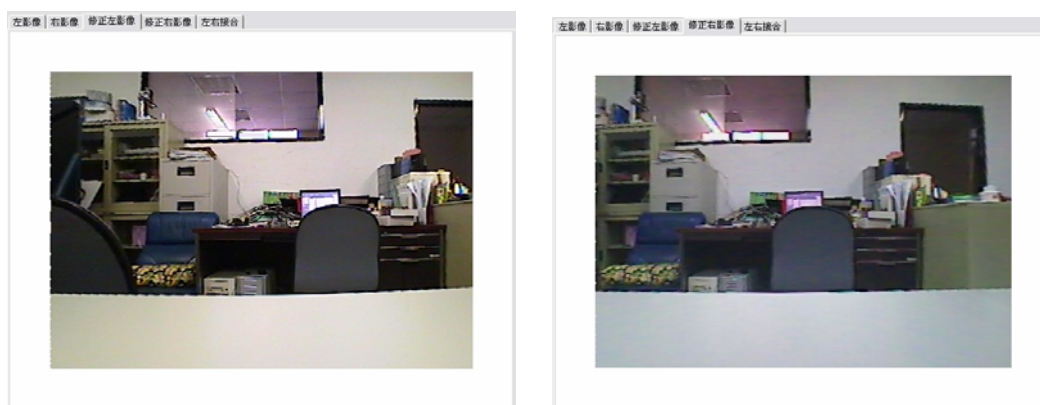


圖 4-3 CCD 實體

4.2 影像接合與視角跟重疊面積之關係

經由廣角鏡頭擷取扭曲的影像，經過扭曲修正以及修正的後處理之後，影像變成一般人眼所看到的正常影像。為了能夠水平接合影像，因此將兩個 CCD 攝影機架設在同一水平面上，利用在影像上設定的水平線，校正影像的水平，使影像保持在同一水平面上。探討接合視角與重疊面積之關係的方式分為兩個部份，第一部份是兩顆 CCD 鏡頭中心的平行距離，第二部份是旋轉角度與視角跟重疊面積之關係。圖 4-4 經扭曲修正後做為影像接合的左右兩張待接合影像。由於扭曲修正後的影像經過扭曲修正的後處理，刪除前後各 50 像素的寬度，使單張影像的視角從原始的 90 度降到剩下 75 度。



(a)

(b)

圖 4-4 待接合影像 (a)左 CCD (b)右 CCD

4.2.1 水平距離與視角跟重疊面積之關係

在本小節中，將兩顆 CCD 的鏡頭中心由相距 10cm 到 30cm，以每 2cm 作一次影像結合，並記錄其可視範圍與兩張影像互相重疊的面積。表 4-1 為實驗結果。圖 4-5 距離與視角跟重疊面積的關係圖。

表 4-1 水平距離與視角跟重疊面積之結果

距離 cm	重疊面積	視角(度)	距離 cm	重疊面積	視角(度)
10	76.20%	87	22	74.40%	88
12	75.90%	87	24	73.00%	89
14	75.70%	87	26	72.80%	90
16	75.40%	87	28	72.90%	90
18	75.00%	88	30	72.30%	90
20	74.40%	88			

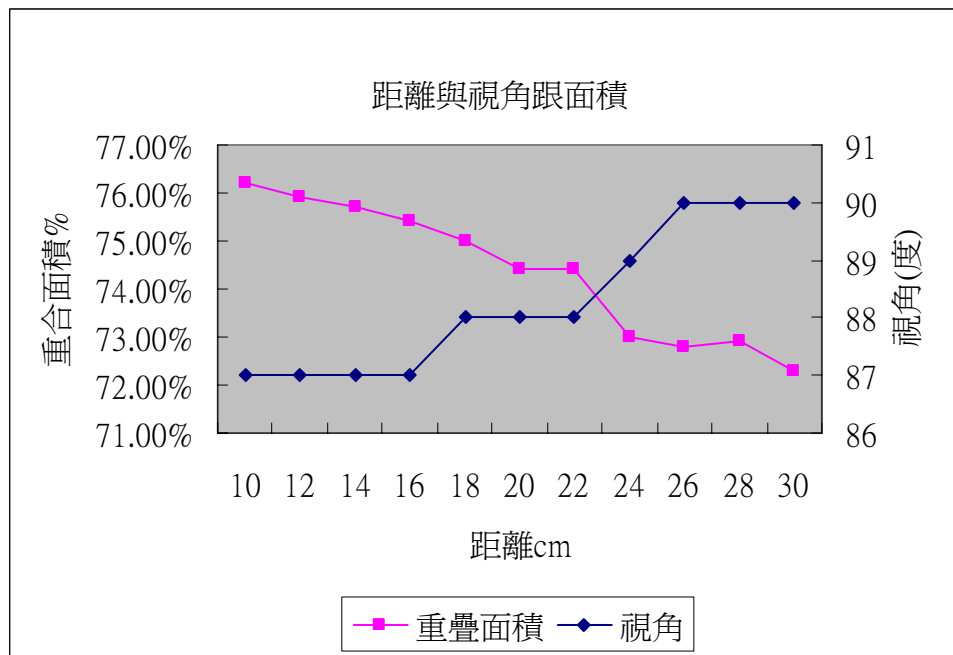


圖 4-5 水平距離與視角關係圖

以下為接合成果圖。



(a) 10cm



(b) 12cm



(c) 14cm



(d) 16cm



(e) 18cm



(f) 20cm



(g) 22cm



(h) 24cm



(i) 26cm



(j) 28cm



(k) 30cm

圖 4-6 為各距離的接合成果

4.2.2 旋轉角度與視角跟重疊面積之關係

在本小節中，將兩顆 CCD 的鏡頭中心相距固定為 10cm，之後以 CCD 的底座每一次各向左右旋轉 2.5 度形成 5 度的角度差，如圖 4-7，每 5 度記錄其可視範圍與兩張影像互相重疊的面積。表 4-2 為實驗結果。圖 4-8 旋轉角度與視角跟重疊面積的關係圖。



圖 4-7 旋轉角度實驗架構，下面黑線為角度刻度，5 度一格

表 4-2 旋轉角度與視角跟重疊面積之結果

角度	重疊面積	視角(度)	角度	重疊面積	視角(度)
0	76.20%	87	30	40.50%	116
5	69.10%	93	35	34.90%	121
10	63.80%	97	40	29.10%	126
15	58.10%	102	45	22.70%	131
20	54.00%	105	50	16.20%	136
25	48.30%	110	55	X	X

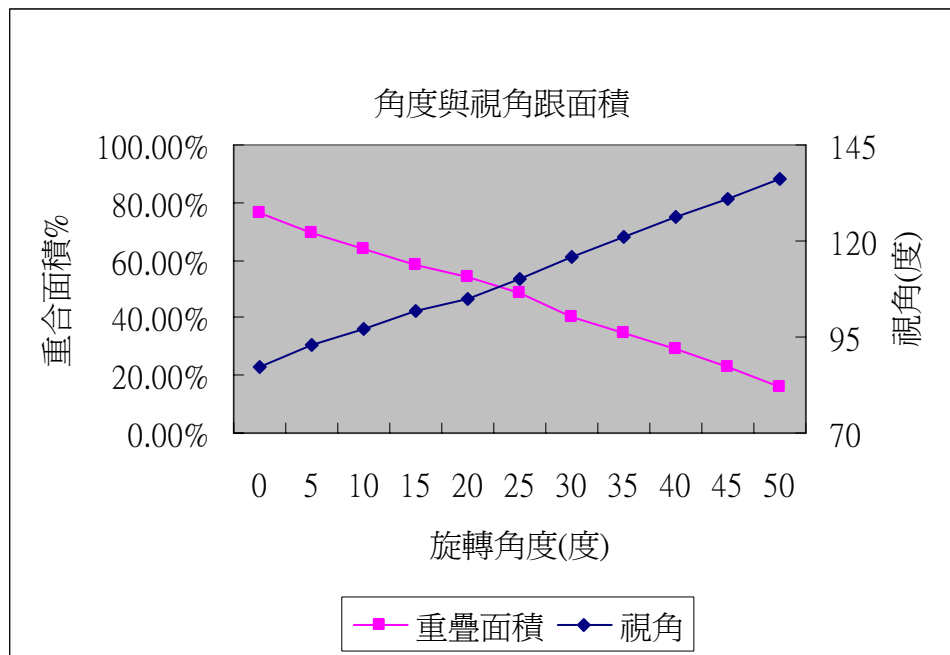
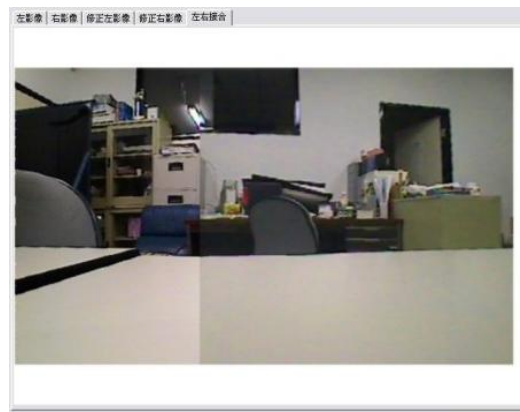


圖 4-8 旋轉角度與視角關係圖

以下為各角度接合成果



(a) 5 度



(b) 10 度



(c) 15 度



(d) 20 度



(e) 25 度



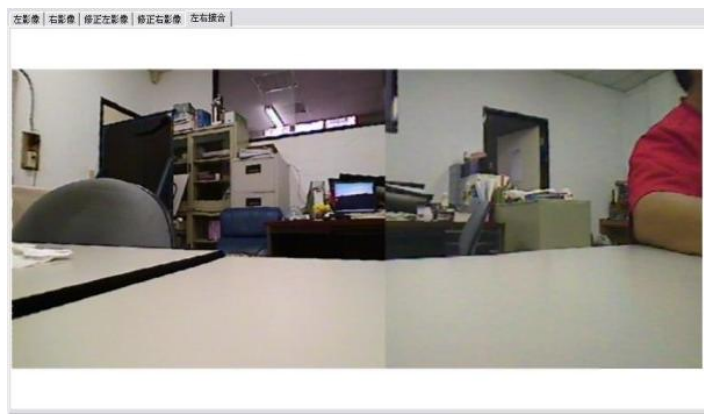
(f) 30 度



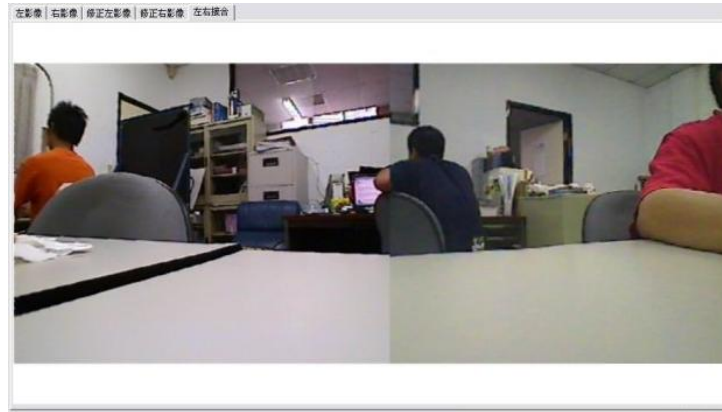
(g) 35 度



(h) 40 度



(i) 45 度



(j) 50 度

圖 4-9 為各角度的接合結果

4.2.3 實驗分析

圖 4-10 是距離與旋轉角度的綜合分析圖，就以廣角鏡頭而言，距離所造成視角變化不如旋轉角度來的大。以相距 20cm 與旋轉角度 20 度來說，相距 20cm 只造成了重疊面積縮小不到 1%，而視角僅僅提升 1 度。旋轉 20 度角時，雖然重疊面積縮小了 22%，但是視角卻提升了 23 度。若要在距離上看出視角的明顯變化，以實驗結果來看 4cm~6cm 是一個選擇。另外，從實驗結果來看旋轉角度與視角呈現一個正比的關係，比值約為 1:1，1 度的旋轉角度增加 1 度的視角，因此可以計算出更高旋轉角時的視角。

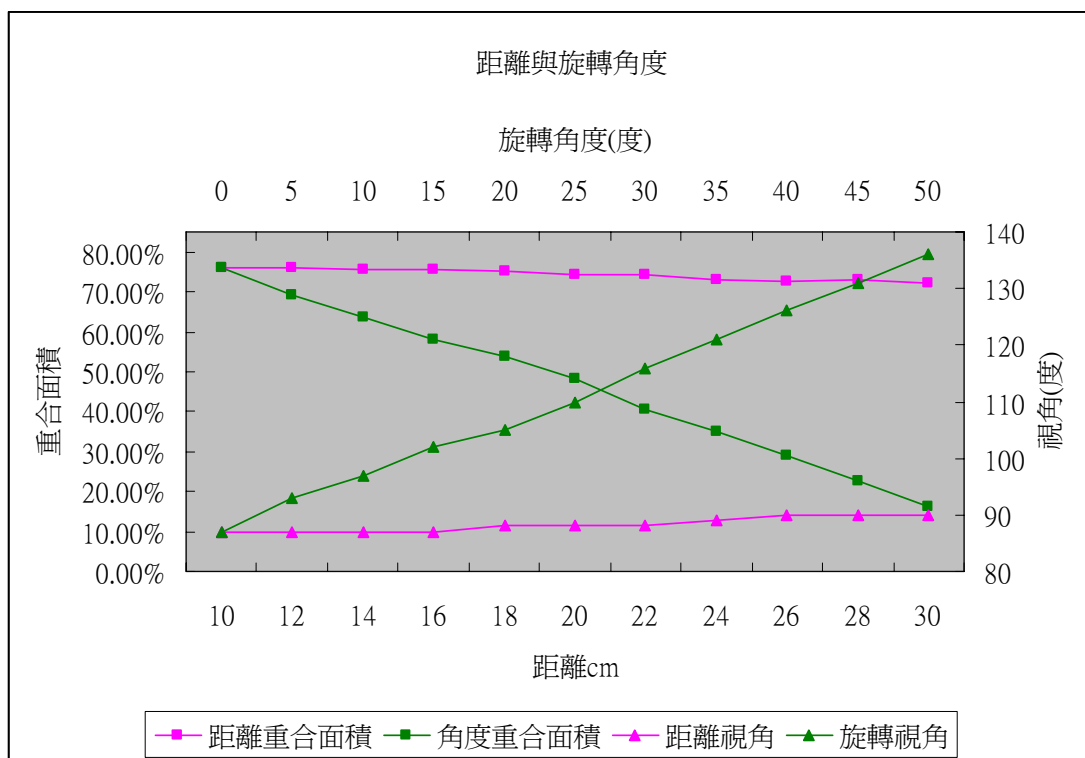


圖 4-10 綜合分析圖

根據圖 4-10，雙眼測距與視角大小無法兼得，以旋轉角度的方式來說，雖然是視角上升很快，但是重合面積比下降也很快，不利於雙眼測距的工作。相反地，水平距離雖然利於雙眼測距，但是視角卻無法大幅上升，所以須以工作項目來決定是重視角還是重量測，因此下節的雙眼測距，以最大重疊面積為基準藉此達到最大測距範圍，將兩顆 CCD 攝影機水平並平行架設，並且兩顆 CCD 鏡頭中心相距 10cm。

4.3 距離量測之實驗與分析

本實驗是以廣角鏡校正過後的影像畫面來進行量測，因為廣角鏡會造成影像扭曲，使顯示在影像上的位置並不正確，所以必須修正其影像使其歸回原位，本小節將以修正前後的影像做比較。圖 4-11 為 CCD 攝影機與測距平台的關係圖，兩個 CCD 攝影機相距 100mm，並以左 CCD 攝影機為原點且平行架設，由於基座的關係，CCD 的鏡頭比平台的距離多了 25mm，因此以下的測距中都已經補上 25mm 的距離，圖 4-12 為作距離量測之平台。

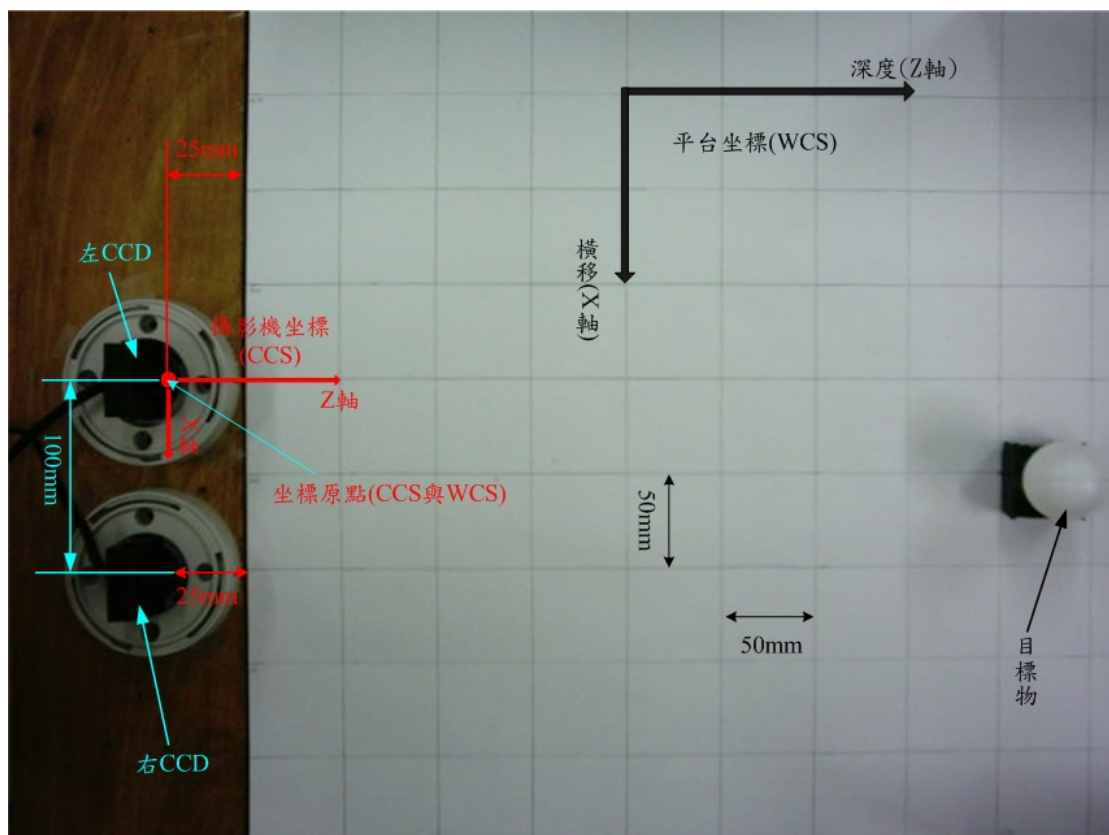


圖 4-11 CCD 攝影機與平台關係圖

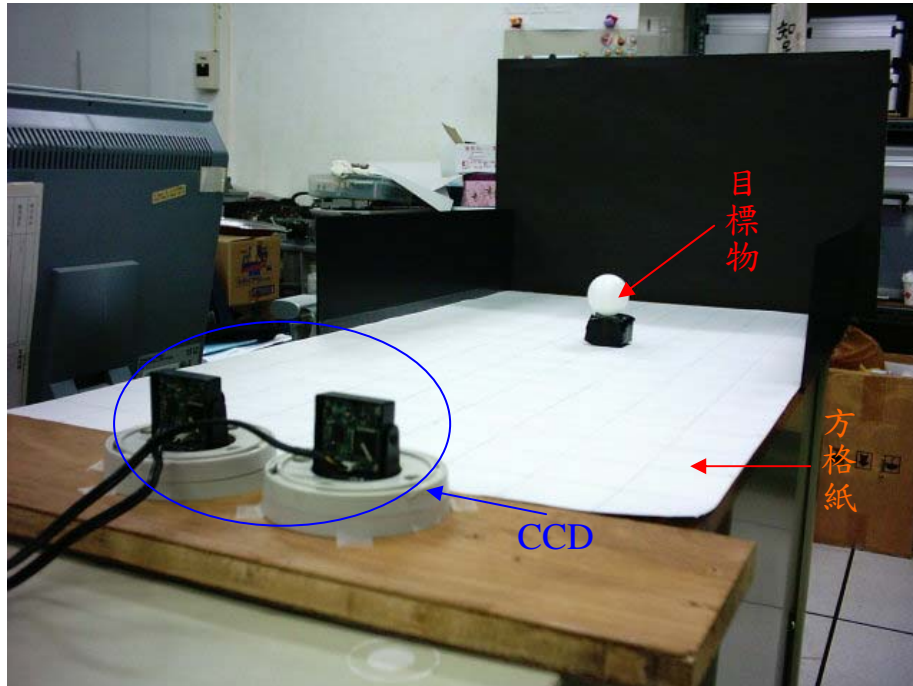
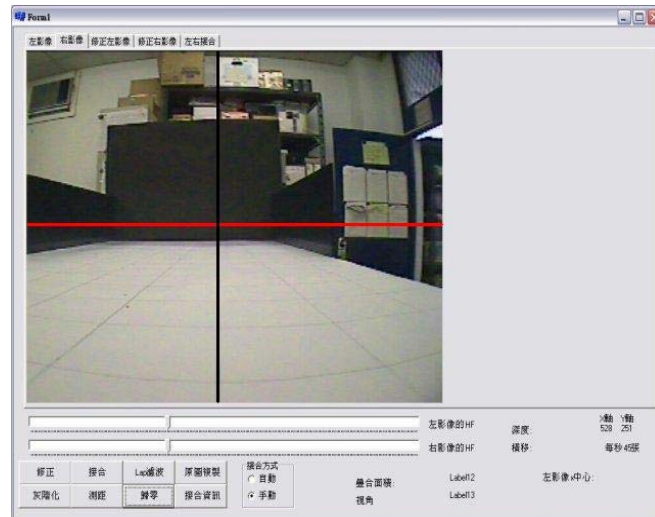


圖 4-12 量測平台

在做距離量測前，先對 CCD 做校正的工作，如圖 4-13，黑線和紅線表示 CCD 水平和垂直的中心，由於廣角鏡頭的中心位置沒有變形問題，所以將垂直的黑線對準方格紙未扭曲的直線，以完成校正。



(a)



(b)

圖 4-13 左右 CCD 校正圖(a) 左 CCD(b) 右 CCD

本文的測距方法是以經過扭曲修正後的目標物影像重心點與 CCD 的垂直中心線水平像素距離差值，利用兩顆 CCD 對同一目標物所造成的像素差值進行運算，以求得目標物的距離，如圖 4-14。

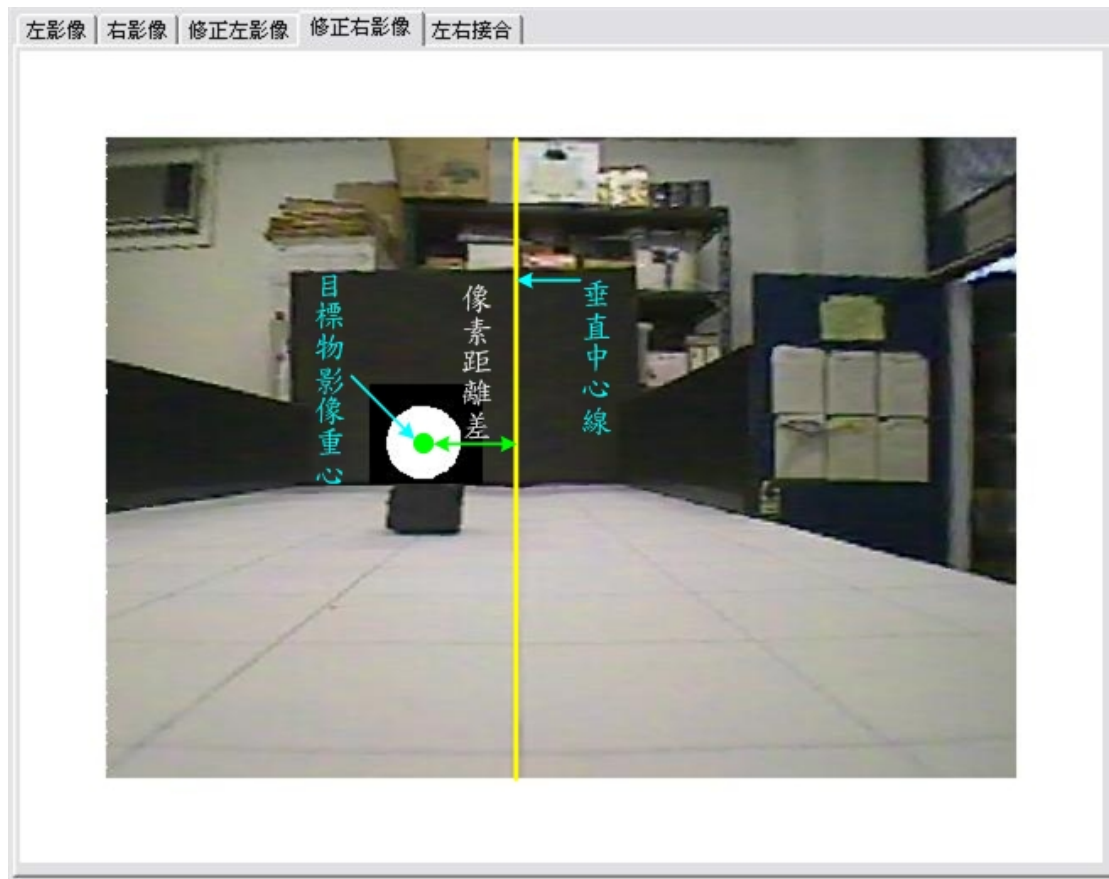


圖 4-14 測距方法(右 CCD)

4.3.1 f 值的測定

根據圖 3-4 的理論，在做影像測距之前必須測出 f 值，即鏡頭中心至成像面的距離。本文選定深度 325mm 到 825mm 的距離來求出數個 f 值，並以平均值做為測距用的 f 值。表 4-3 為求出的 f 值，圖 4-15(a)(b)、圖 4-16(a)(b)為扭曲修正前後運用平均的 f 值計算出深度與實際深度的比較圖與誤差圖。

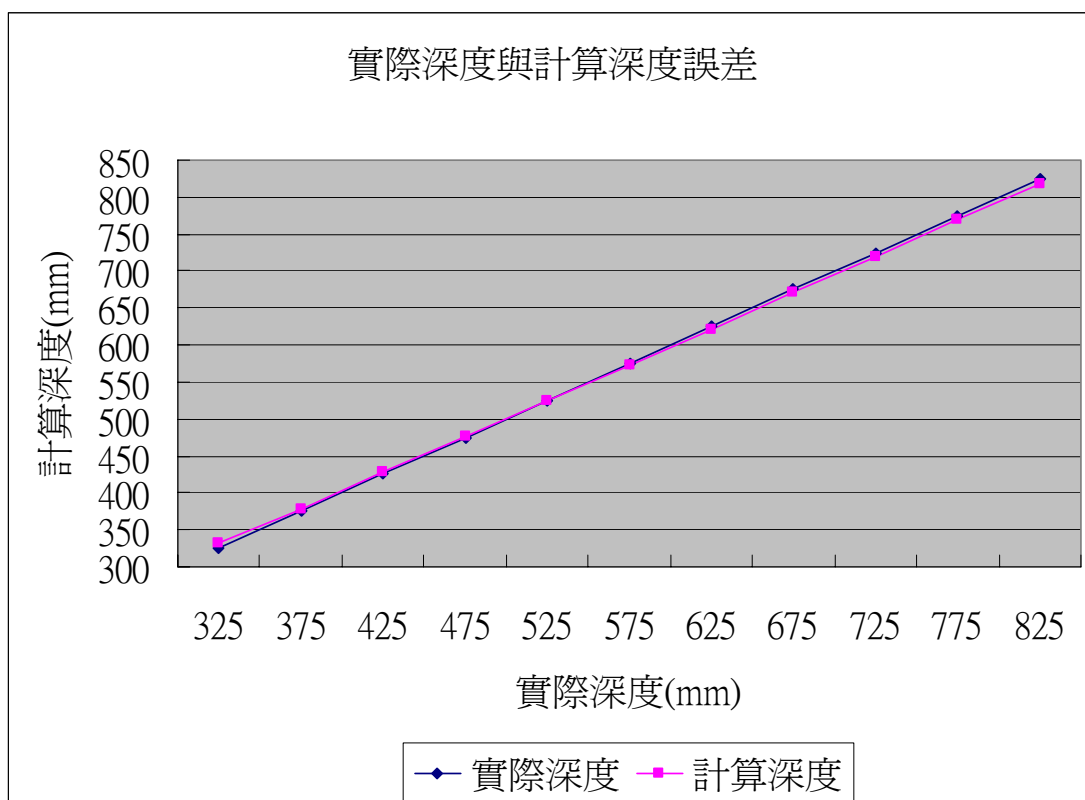
表 4-3 f 值的求得(a)為扭曲修正前(b)為扭曲修正後

(a) (單位：mm)

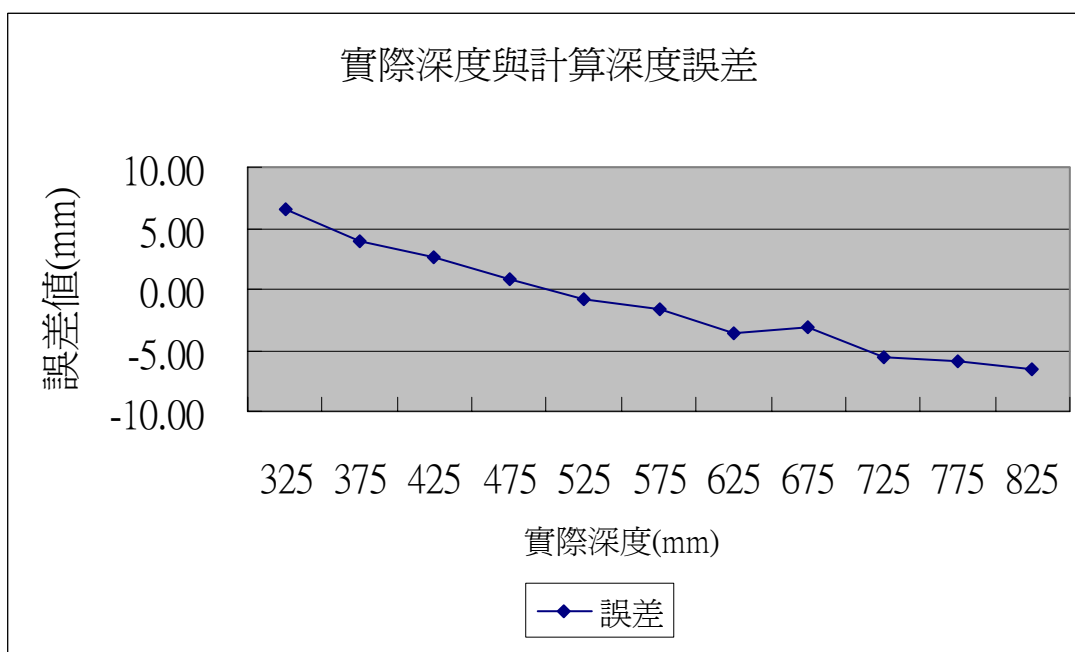
真實深度	CCD 距離	f	計算深度
325	100	4.4059	331.6024
375	100	4.4489	378.9210
425	100	4.4675	427.6517
475	100	4.4872	475.8614
525	100	4.5027	524.1433
575	100	4.5082	573.3631
625	100	4.5214	621.4006
675	100	4.5163	671.8679
725	100	4.5299	719.4718
775	100	4.5294	769.1752
825	100	4.5316	818.3960
平均：4.4954			

(b) (單位：mm)

真實深度	CCD 距離	f	計算深度
325	100	3.3978	328.2316
375	100	3.4164	376.6620
425	100	3.4266	425.6143
475	100	3.4300	475.2254
525	100	3.4434	523.2023
575	100	3.4457	572.6361
625	100	3.4443	622.6838
675	100	3.4448	672.4104
725	100	3.4369	723.8855
775	100	3.4302	775.3142
825	100	3.4313	825.0773
平均：3.4316			

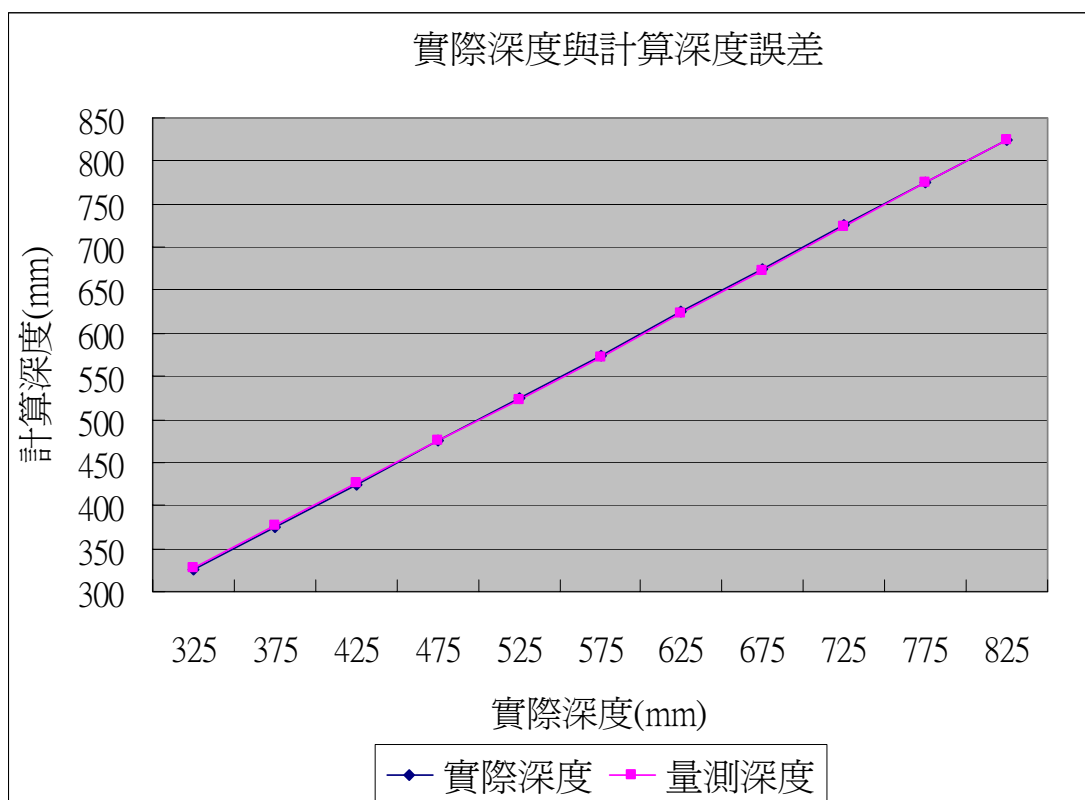


(a) 修正前比較圖

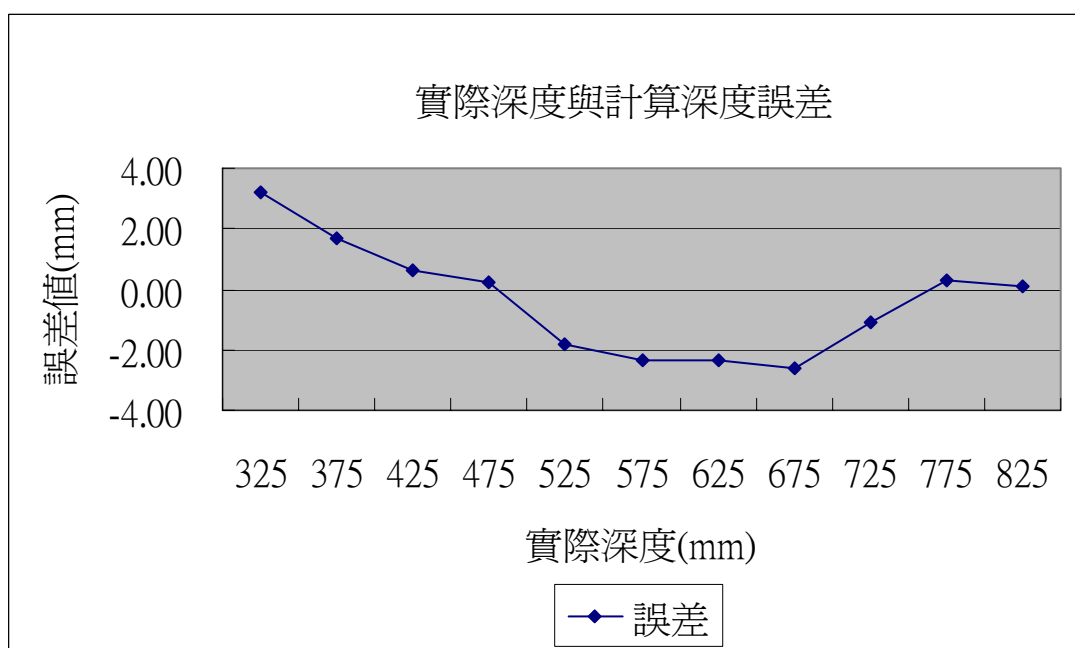


(b) 修正前誤差圖

圖 4-15(a)(b)修正前比較圖與誤差圖



(a)修正後比較圖



(b) 修正後誤差圖

圖 4-16(a)(b)修正後比較圖與誤差圖

由圖 4-15(a)(b)圖 4-16(a)(b)可以看出經過扭曲修正後的影像比修正前的影像，深度誤差上更加的精確，修正前的最大誤差為 6.4mm，平均誤差為-1.2mm，修正後的最大誤差為-3.23mm，平均誤差為 0.07mm。

4.3.2 距離量測

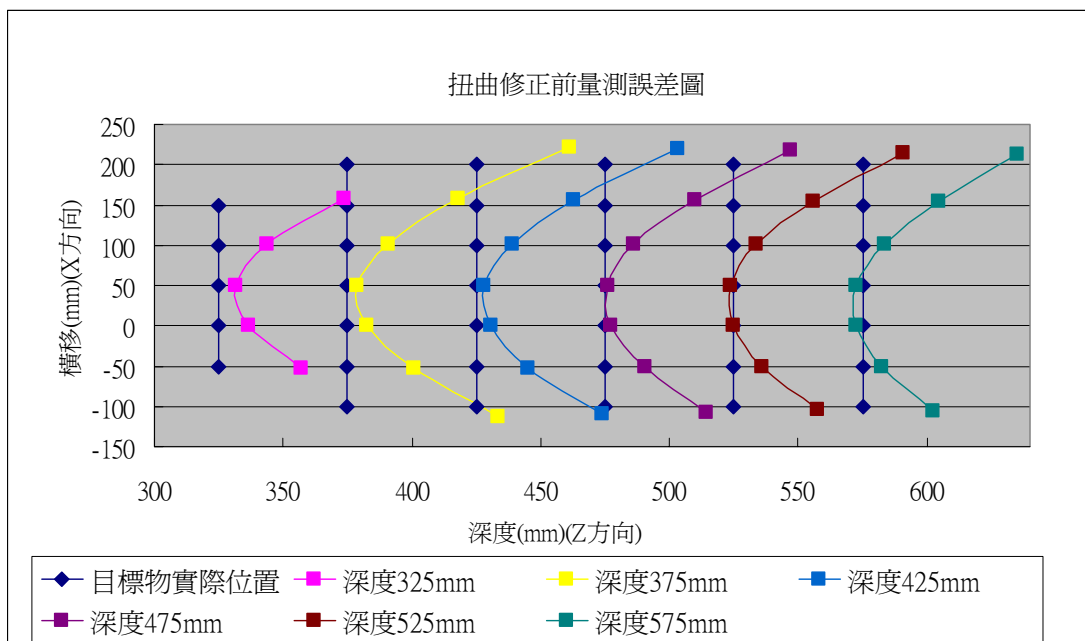
根據本論文的平台，本文將目標物放置所繪的方格紙上，並以左 CCD 的鏡頭中心為原點，圖 4-11。測試深度為 325mm~825mm(Z 方向)，橫向移動為-100mm~200mm(X 方向)每隔 50mm 做一次記錄，其中 325mm 的-100mm 與 200mm 橫移並不操作(因為其中一顆 CCD 看不到目標物)，因此共 75 個點，分為扭曲修正前和扭曲修正後，高度(Y 方向)不作測試。表 4-4 為未修正前深度(Z 方向)的誤差值，表 4-5 為未修正前橫移(X 方向)的誤差值，圖 4-17 為未修正前的量測結果。表 4-6 為修正後深度(Z 方向)的誤差值，表 4-7 為修正後橫移(X 方向)的誤差值，圖 4-18 為修正後的量測結果。

表 4-4 未修正前深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm)

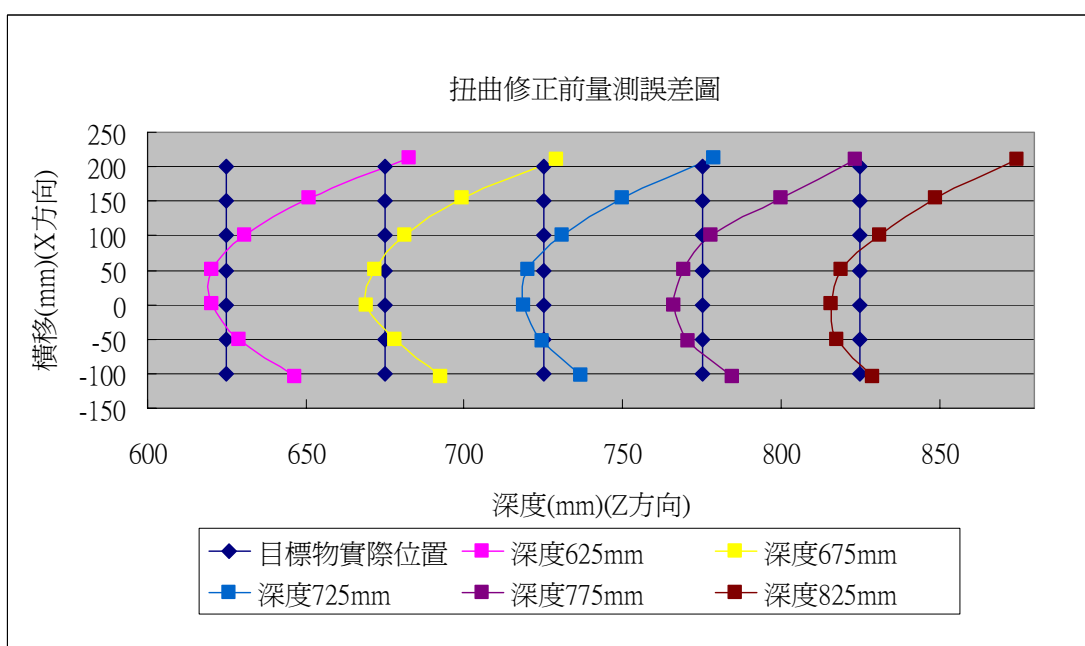
深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200	平均誤差	%
325		31.79	11.42	6.83	18.87	48.51		23.48	7.23%
375	58.62	26.00	7.43	3.90	15.87	42.74	86.29	34.41	9.18%
425	48.80	20.20	5.44	3.03	13.98	37.69	78.37	29.64	6.98%
475	39.43	15.64	2.28	1.24	11.10	34.92	72.12	25.25	5.32%
525	32.45	10.73	-0.32	-1.43	8.54	30.60	65.62	21.38	4.07%
575	27.11	7.29	-2.80	-2.40	8.37	29.41	60.14	19.65	3.42%
625	21.65	3.80	-4.46	-4.77	5.77	26.09	57.61	17.74	2.84%
675	17.40	3.20	-5.94	-3.28	6.34	24.22	53.98	16.34	2.42%
725	11.93	-0.17	-6.25	-4.90	6.06	24.96	53.91	15.45	2.13%
775	9.64	-4.24	-9.02	-5.86	3.02	24.96	48.33	15.01	1.94%
825	4.04	-7.24	-8.94	-5.86	6.23	23.64	49.73	15.10	1.83%

表 4-5 未修正前橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)

深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200
325		-1.89	0	0.38	1.84	7.87	
375	-12.26	-2.28	0.53	0.55	1.17	7.35	21.68
425	-9.20	-1.79	0.01	0.54	2.06	6.79	19.27
475	-7.32	-1.62	0.53	0.08	1.18	6.15	17.53
525	-4.85	-1.30	0.16	-0.23	1.55	5.07	14.19
575	-5.35	-0.95	0.20	0.25	0.70	4.92	12.26
625	-4.35	-0.73	0.46	0.44	1.46	4.71	12.47
675	4.25	1.37	0.16	0.82	1.71	4.47	11.46
725	-3.31	-1.91	0.21	0.90	1.44	4.89	11.81
775	-4.57	-2.00	0.22	0.56	1.29	4.55	9.70
825	-3.64	-1.50	0.94	0.11	1.71	4.87	10.97
平均誤差	5.91	1.58	0.31	0.44	1.46	5.60	14.13
%	5.91%	3.15%		0.88%	1.46%	3.74%	7.07%



(a)



(b)

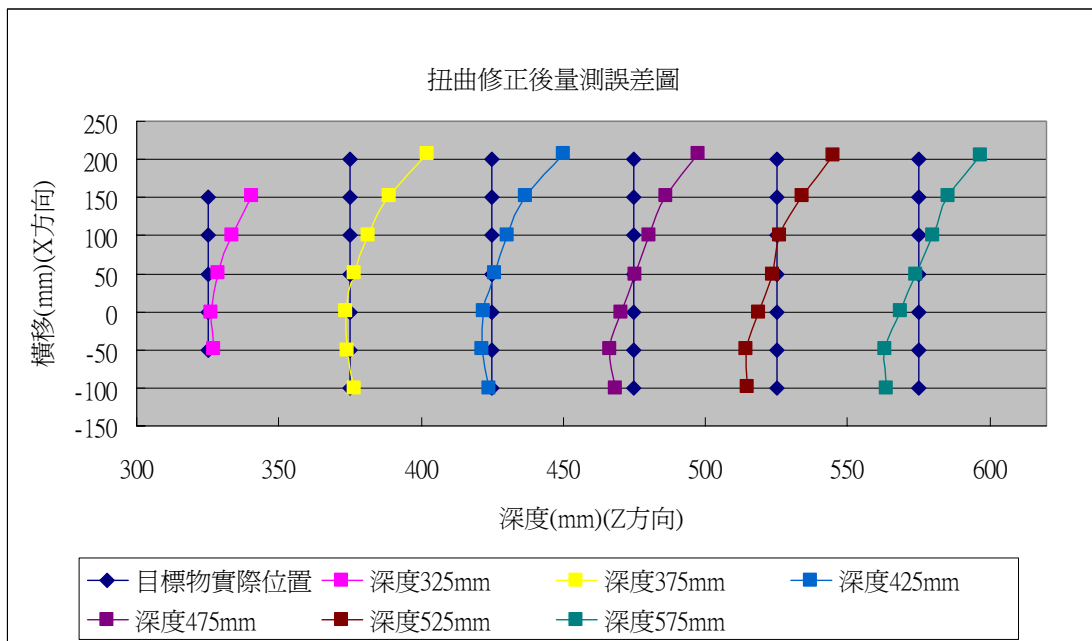
圖 4-17 未修正的測距結果圖

表 4-6 扭曲修正後深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm)

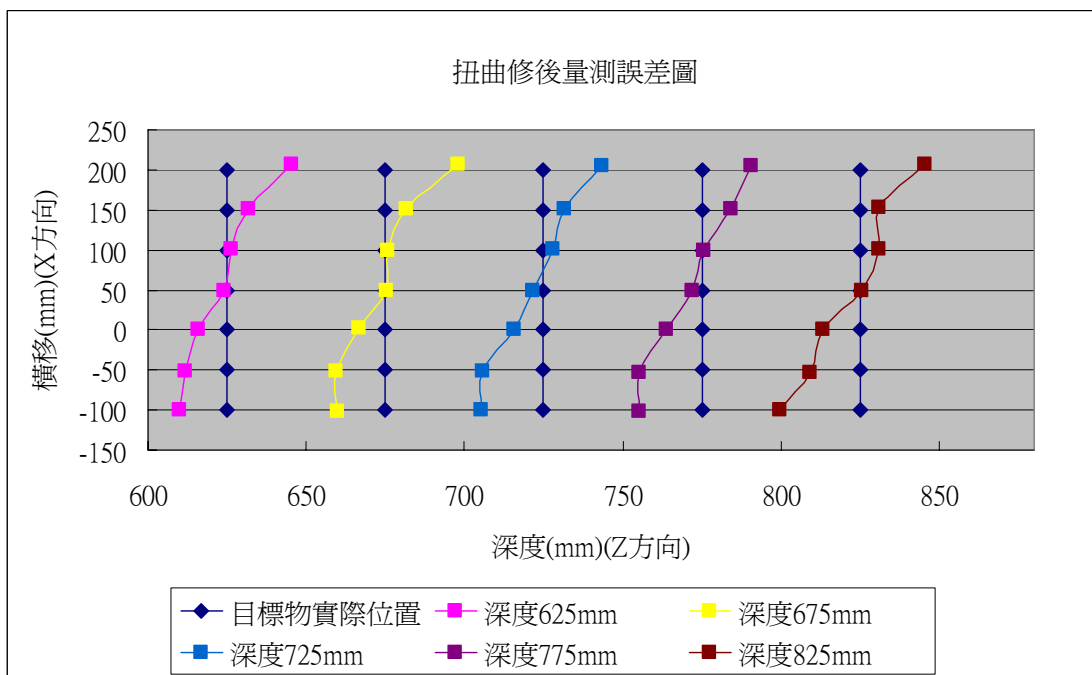
深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200	平均誤差	%
325		2.15	1.41	3.45	8.53	15.74		6.256	1.92%
375	1.49	-1.09	-1.40	1.76	6.33	13.79	27.36	7.60	2.03%
425	-0.96	-3.64	-2.80	1.00	5.26	11.86	25.10	7.23	1.70%
475	-6.79	-8.39	-4.87	0.09	5.06	11.10	22.38	8.38	1.76%
525	-10.00	-10.79	-6.41	-1.22	1.17	9.31	20.03	8.42	1.60%
575	-11.40	-11.69	-6.32	-1.13	4.91	10.63	21.77	9.69	1.69%
625	-14.94	-13.31	-8.98	-0.89	1.16	6.77	20.45	9.50	1.52%
675	-15.13	-15.43	-8.38	0.17	1.00	6.66	22.91	9.95	1.47%
725	-19.63	-19.24	-9.25	-3.45	2.95	6.83	18.56	11.42	1.57%
775	-19.97	-19.83	-10.98	-3.14	0.80	9.13	15.43	11.33	1.46%
825	-25.55	-15.57	-11.68	0.38	5.96	6.15	20.30	12.23	1.48%

表 4-7 扭曲修正後橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)

深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200
325		1.19	0.19	0.1	1.43	2.81	
375	-0.16	0.39	0.47	0.05	1.06	3.18	8.41
425	-0.75	0.77	0.59	0.22	0.56	1.82	7.92
475	0.32	0.85	0.11	-0.56	0.67	2.73	6.89
525	1.25	0.85	0.14	-0.54	1.00	2.37	5.26
575	-0.46	0.64	1.05	-0.45	0.20	2.08	6.47
625	-0.23	-0.94	1.08	-0.10	0.55	2.06	6.43
675	-1.29	-0.91	1.92	-0.66	0.02	1.28	7.13
725	-0.08	-0.79	1.08	-0.45	0.49	2.05	6.03
775	-1.22	-2.56	1.55	-0.27	-0.18	2.15	4.45
825	-0.36	-2.95	1.12	-0.66	1.78	2.49	6.50
平均誤差	0.61	1.17	0.85	0.37	0.72	2.27	6.55
%	0.61%	2.33%		0.74%	0.72%	1.52%	3.27%



(a)



(b)

圖 4-18 修正後測距結果圖

4.3.3 量測修正

由於本文是利用經過扭曲修正的影像來進行距離量測，而經過扭曲修正後的影像已經跟原來的位子有所不同，加上扭曲修正是經過 \sin 跟 \cos 的三角函數的運算， \sin 跟 \cos 本身即帶有浮點數的運算，而影像的像素都是整數點，導致有一些像素點經過扭曲修正後消失了，另外於 2.2.3 節所提到修補方法更加深了修正後影像的破壞。

綜合以上的關係，導致了圖 4-18 的結果，當鏡頭經過扭曲修正後橫移的部份相當準確，如表 4-7 扭曲修正後橫移(X 方向)的誤差表，顯示其扭曲修正後的量測有一定準確率的提升。但是深度的部份卻不是很準確，測量的深度由左邊至右邊逐漸增加，如圖 4-18(b)，為了修正深度的部分以及不影響橫移準確度的情形下，在此本文利用兩顆 CCD 攝影機在扭曲修正後對目標物的左右橫移抓取水平像素距離點(圖 4-14)的差值與總和值的關係作為校正基礎，做法如下。

以 825mm 的深度為準，將目標物置於-100mm 的位置，之後向右边每移動 50mm 紀錄左右各兩個 CCD 像素距離差值與總和值，直到坐標 200mm 處為止，共七個位置，如圖 4-19，結果如表 4-8。

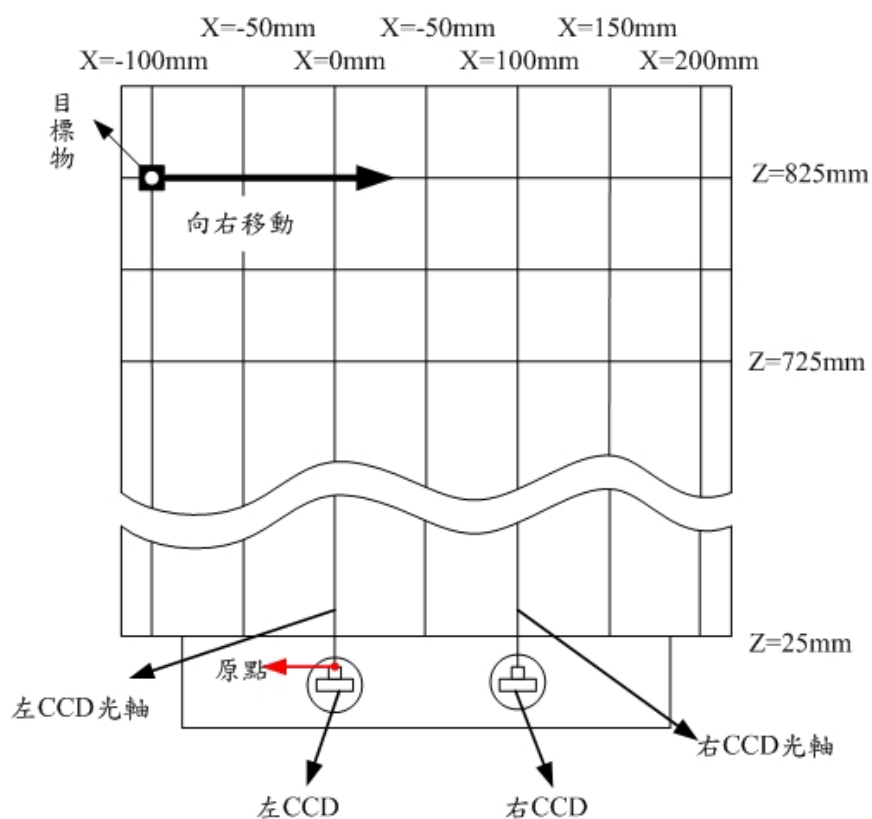


圖 4-19 距離修正實驗方法

表 4- 8 左右像素差的差值和總和值(深度 825mm)

X 位置 (mm)	-100	-50	0	50	100	150	200
左影像像素距離值	45.69	23.80	0.6	-21.26	-44.28	-65.89	-87.98
右影像像素距離值	90.20	67.7	44.17	22.56	-0.66	-22.48	-45.25
總和值	135.89	91.5	44.77	1.3	-44.94	-88.37	-133.23
左影像橫移像素差 (後-前)像素/50mm	X	21.89	23.20	22.86	23.02	21.61	22.09
右影像橫移像素差 (後-前)像素/50mm	X	22.5	23.53	22.93	21.61	23.22	22.77

經由表 4-8 的關係，把-100mm 處與 200mm 處的像素總合值調節成一致，並將左右影像的橫移像素差值調成每 50mm 等於 22.5 個像素，得出如表 4-9 的距離修正。

表 4-9 修正表

目標物放置位置	都在兩 CCD 左邊	在兩 CCD 中間	都在兩 CCD 右邊
左 CCD	0.975*原像素值	不做修正	不做修正
右 CCD	0.98*原像素值	不做修正	0.985*原像素值

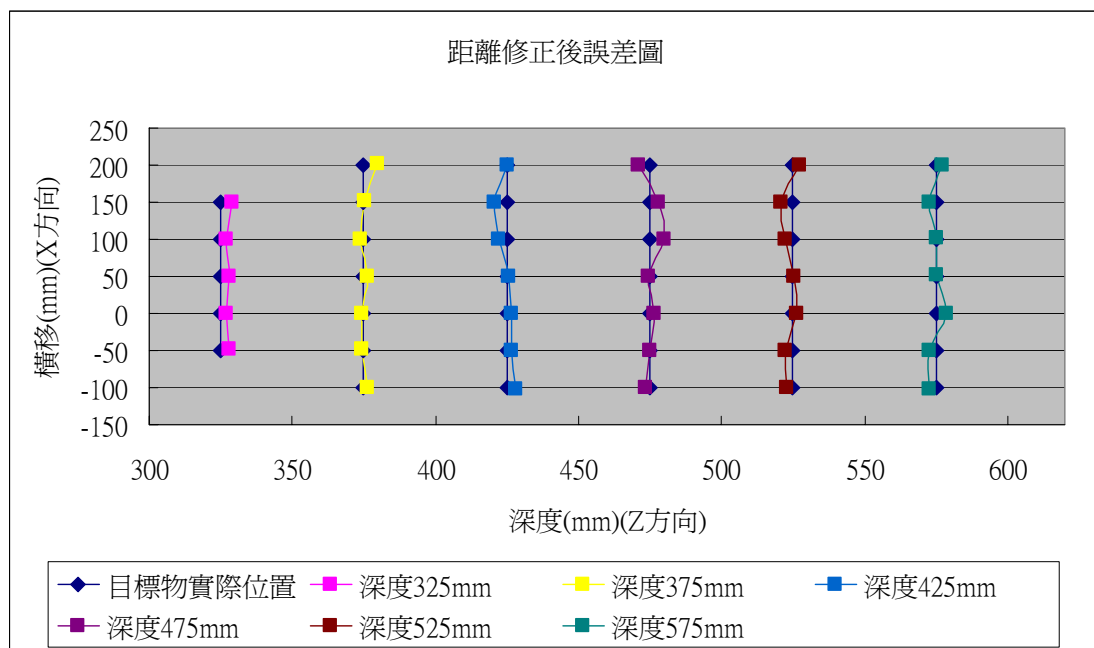
表 4-10 距離修正後深度(Z 方向)的誤差值，表 4-11 距離修正後橫移(X 方向)的誤差值，圖 4-19 為經過距離修正後結果。

表 4-10 距離修正後深度(Z 方向)的誤差表(單位:mm)

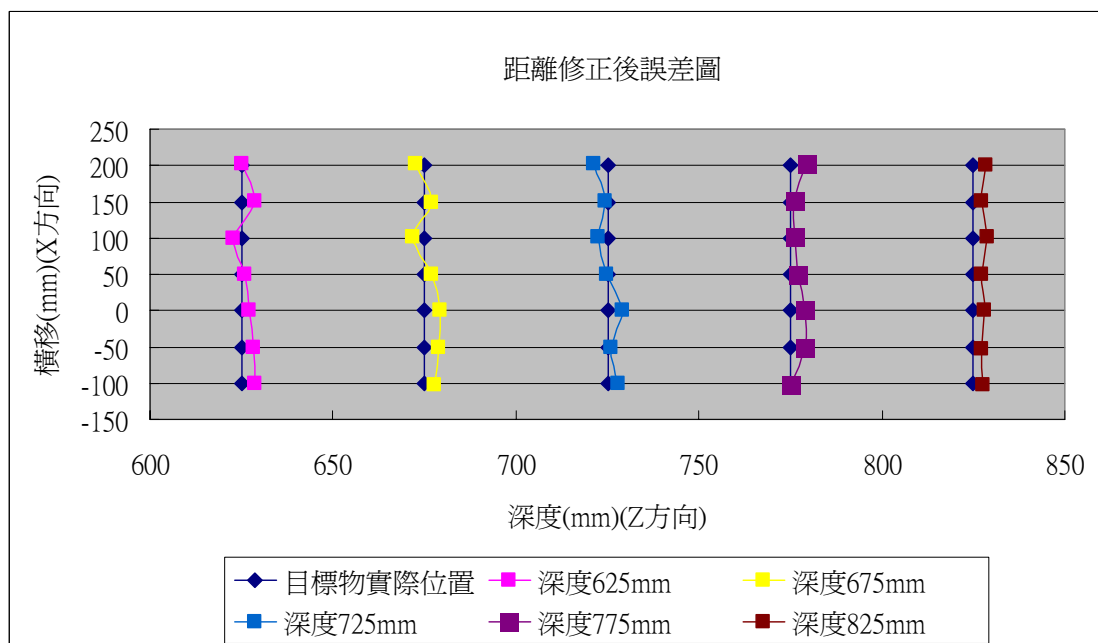
深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200	平均誤差	%
325		3.09	1.98	3.07	1.98	4.03		2.83	0.87%
375	1.21	-0.60	-0.78	1.02	-1.01	0.16	4.92	1.39	0.37%
425	3.33	1.69	1.83	0.66	-3.06	-4.57	0.24	2.20	0.52%
475	-1.66	-0.25	1.22	-0.69	4.82	3.08	-3.96	2.24	0.47%
525	-2.17	-2.51	1.43	0.39	-2.68	-4.13	2.10	2.20	0.42%
575	-2.22	-2.44	3.71	0.23	0.00	-2.43	-1.93	1.85	0.32%
625	3.51	3.28	1.90	0.89	-2.33	3.70	-0.06	2.24	0.36%
675	2.86	3.75	4.30	2.09	-3.17	2.04	-2.48	2.96	0.44%
725	3.12	0.90	4.01	-0.13	-2.59	-0.63	-3.69	2.15	0.30%
775	-0.13	3.88	3.87	1.85	1.09	1.38	4.43	2.38	0.31%
825	2.48	2.11	3.04	2.23	3.68	2.30	3.34	2.74	0.33%

表 4-11 距離修正後橫移(X 方向)的誤差表(單位:mm)

深度\橫移	-100	-50	0	50	100	150	200
325		1.64	0.57	0.94	0.87	0.43	
375	-0.13	0.98	0.91	0.69	0.79	1.14	1.05
425	-1.12	-0.25	0.24	0.46	0.57	-0.56	0.62
475	-0.95	0.28	-0.17	0.77	0.50	-0.75	-0.34
525	-0.74	-0.74	0.50	0.20	0.34	0.20	-0.01
575	-2.11	-0.15	0.75	1.03	1.37	0.63	0.85
625	0.13	-0.35	1.21	0.36	0.17	0.26	1.58
675	-1.52	-0.04	1.47	0.79	0.85	-0.07	2.37
725	-1.11	-1.36	1.15	0.39	0.87	0.65	1.62
775	-1.99	-1.93	1.13	0.84	0.67	0.24	1.58
825	-2.19	-3.22	1.27	-0.28	0.75	0.41	0.20
平均誤差	1.20	0.99	0.85	0.61	0.70	0.49	1.02
%	1.20%	1.99%		1.23%	0.70%	0.32%	0.51%



(a)



(b)

圖 4-20 為經過距離修正後結果。

4.3.4 實驗分析

經過本文距離量測實驗，得出如表 4-12 的量測距離綜合誤差結果，分為未修正、扭曲已修正、距離已修正。

表 4-12 量測距離綜合誤差表(單位：mm)

	未修正	扭曲已修正	距離已修正
平均深度(Z 方向)誤差	21.22	9.27	2.29
誤差百分比	4.30%	1.66%	0.43%
平均橫移(X 方向)誤差	4.21	1.79	0.84
誤差百分比	0.68%	0.55%	0.07%
綜合誤差	21.63	9.44	2.44
誤差百分比	4.35%	1.74%	0.43%

由表 4-12 的結果可知，廣角鏡頭未修正前的深度誤差多達 20mm 以上，其橫移誤差為 4.2mm 左右，可見廣角鏡頭在未扭曲修正前的目標物投射在影像上的位置與目標物實際位置有一段差距(鏡頭中心比較小)，根據圖 4-17 所示越接近鏡頭邊緣越差距大，其曲線也顯示

廣角鏡的特性，鏡頭邊緣圓弧化之現象。而經過扭曲修正後的影像，已經大幅減少了誤差，在表 4-7 的橫移誤差方面平均誤差不超過 2.5mm，但是影像經過扭曲修正的破壞，根據表 4-6 的顯示仍有一部的深度位置差距過大，深度平均誤差仍有 10mm 上下，而且離鏡頭越遠深度誤差越大。因此需要距離的修正，而經過距離修正後的測距，其誤差範圍縮小了許多，深度誤差低於 0.5%，橫移部分的誤差低於 0.1%，可知經過扭曲與距離修正後的廣角鏡頭影像可以做距離的量測。

廣角鏡頭的好處，可以在近距離看到更廣東西，本實驗也顯示其優點，在深度 325mm 的地方，可以量測到目標物位於攝影機的左右各 150mm 的地方，當目標物移到深度 375mm 時則可以量測左右各 200mm 的地方，當目標物移到深度 425mm 時則可以量測左右超過 200mm，不過因為平台的限制，量測並未超過左右 200mm。跟其他的影像量測[14]比較起來，本實驗可以看到更廣的視野，當目標物離鏡頭很近時，更容易看到目標物的全貌，而不需要調整鏡頭。

第五章 結論與未來展望

5.1 結論

本實驗使用廣角鏡頭，由於廣角鏡頭影像的扭曲特性，因此截取的影像必須經過扭曲的修正，本文利用經過兩顆廣角 CCD 攝影機透過影像處理技術得到扭曲修正後的影像，由影像量測技術，分析影像接合與影像量測在影像扭曲修正的結果。經由分析、比較得到兩個 CCD 攝影機水平距離與旋轉角度對影像接合的優缺點，如表 5-1。

表 5-1 影像接合方法比較

接合種類	優點	缺點
水平距離	兩影像的重合面積較大適合雙眼測距，且計算式簡單。	影像視角變化非常的緩慢，需要很大的距離才看出變化
旋轉角度	影像視角的上升幅度很大，非常適合觀看大範圍的影像	兩影像的重合面積降低太多，不適合雙眼測距，且計算式複雜

根據表 5-1，得知測距範圍與視角不能兼得，因此水平距離接合方法適合雙眼測距，而旋轉角度適合觀看大範圍的影像。

在影像測距方面由表 4-12 的量測距離綜合誤差表，可以看出以經過扭曲修正的影像，是可以進行量測的。不過因為經過扭曲修正的關係造成影像的破壞，因而需要再進行一次距離修正，以減低經過扭曲修正後影像破壞所造成的距離誤差。此外廣角鏡頭雖然可以比一般鏡頭看到更廣的影像[14]，但是在距離鏡頭比較遠的目標物，由於目標物成像太小，幾個像素點就會造成很大的誤差，在未做距離修正前，由表 4-6 與圖 4-18 的(a)(b)兩圖可以看出，離鏡頭越遠深度誤差越大。因此以本實驗的廣角鏡頭來說，目標物距離鏡頭 350mm 到 550mm 之內是最佳距離量測。

若以做了距離修正來說，目標物離鏡頭的遠近差異已經不大，而且已經平均深度誤差縮小至 0.5% 以下橫移平均誤差不超過 0.01%。可證明經過本文的距離修正，廣角鏡頭可以應用在機器(人)視覺上，進行障礙物的躲避、目標物位置計算與目標物接取等。

5.2 未來展望

本文的實驗結果顯示了不同的影像接合方法與結果，還有經過扭曲修正的影像距離量測的實用性，若強化下列技術則可以有更具實用性質。

1. 採用魚眼鏡頭

若採用魚眼鏡頭，則因為魚眼鏡擁有更廣大的視野，魚眼鏡頭最大的視角可以達 180 度，而本論文的廣角鏡頭的視角只有 90 度。魚眼鏡頭可以在影像接合上，可於視角與重合面積上取得一個最佳化的值，同時兼顧雙眼測距與廣大的影像視角。

2. 降低扭曲修正後對原影像的破壞

發展更佳的數學模型，以降低扭曲修正後對原影像的破壞，使扭曲修正後的影像不再需要經過距離修正就可正確的量出目標物的距離，方便適用於更多廣角鏡頭。

3. 改善量測方法提高精準度

本論文是以目標物影像重心法來進行測距的工作，但是容易受外界的干擾影響，例如：光線、目標物的表面平整度、目標物表面的複雜與否、目標物的大小等等，若能發展不同比對法則，用以提升精準度與計算速度。

參考文獻

- [1] R. Swaminathan and S.K. Nayar, “Nometric calibration of wide-angle lenses and polycameras, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence” , VOL. 22, NO. 10, OCT. 2000.
- [2] Hideaki Haneishi, Yutaka Yagihashi, and Yoichi Miyake, “A New Method for Distortion Correction of Electronic Endoscope Images” , IEEE Transaction on Medical Imaging, VOL. 14, NO. 3, Sep. 1995.
- [3] Warren E. Smith, Nimish Vakil, and Seth A. Maislin, “Correction of Distortion in Endoscope Images” , IEEE Transaction on Medical Imaging, VOL.11, NO. 1, Mar. 1992.
- [4] James P. Helferty, Chao Zhang, Geoffrey McLennan, and William E. Higgins, “Videoendoscopic Distortion Correction and Its Application to Virtual Guidance of Endoscopy” , IEEE Transaction on Medical Imaging, VOL. 20, NO. 7, Jul. 2001.
- [5] 簡大淵, “內視鏡影像序列之自動校正、重構與病灶量測” , 國立成功大學資訊工程研究所碩士論文, 2002。
- [6] 黃禎福, “環場影像接合之研究” , 國立台灣大學資訊工程研究所碩士論文, 2002。
- [7] 楊人豪, “環場影像之接圖方法” , 元智大學系電機與資訊工程研究所碩士論文, 1998。

- [8] 趙文川，“改善掃瞄探針顯微儀視野範圍受限之三維立體影像縫合技術”，國立成功大學製造工程研究所碩士論文，2001。
- [9] 陳冠臻，“以影像為依據建立三維立體模型”，國立中山大學資訊工程研究所碩士論文，2001。
- [10] ZHANG Hong and, WANG Chao and, TANG Yixian and, LIU Zhi, “A New Image Registration Method For Multi-frequency Airborne High-resolution SAR Images”, IEEE, 2003.
- [11] Nan Jiang and, Jennie Si and, Glen Abousleman, “Hierarchical Region-based Image Registration in Scale Space”, IEEE, 2006.
- [12] 韓致偉，“3D 視覺伺服系統整合機械手臂於物體追蹤取放之研究”，華梵大學機電工程研究所碩士論文，2006。
- [13] 馮信榮，“二維影像於三維輪廓重建之研究”，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文，2001。
- [14] 梁智凱，“小型機器人之影像處理系統研究”，國立臺灣科技大學機械工程研究所碩士論文，2006。
- [15] 陳文志，“影像 3D 空間座標定位系統之研發”，國立中央大學機械工程研究所碩士論文，2000。
- [16] 鄒雯姍，“動態視訊之即時影像接圖系統”，元智大學資訊工程研究所碩士論文，2001。

- [17] Dae-Hyun Kim and, Yong-In Yoon and, Jong-Soo Choi, “An Efficient Method to Build Panoramic Image Mosaics” , Elsevier B.V., 2003.
- [18] Habili N., Moini A.R, and Burgess N., “A Variable Search Count Block-Matching Algoriyhm for Video Coding” , Proceedings of the IEEE Region 10 Conference(TENCON 99), VOL.1, 1999.
- [19] Liu L.K., and Feig E., “A Block-Based Gradient Descent Search Algorithm for BlockMotion Estimation in Video Coding” , IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology, VOL.6, NO.4, Aug, 1996.
- [20] Shan Zhu and Kai-Kuang Ma, “A New Diamond Search Algorithm for Fast Block-Matching Motion Estimation” ,IEEE Transaction on Image Processing, VOL. 9, NO. 2, FEB, 2000.
- [21] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, “Digital Image Processing” , 1992
- [22] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, “Digital Image Processing” , Second Edition.
- [23] 黃文吉 , “C++ Builder 與影像處理” , 儒林圖書 , 2003 。