



(21)申請案號：104131075

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 09 月 18 日

(51)Int. Cl. : **G01C11/36 (2006.01)**

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)
新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：林昇甫 LIN, SHENG FUN (TW)；劉欣宜 LIU, HSIN YI (TW)；廖姣柔 LIAO, JIAO ROU (TW)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：14 項 圖式數：11 共 58 頁

(54)名稱

全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法

3D DEPTH ESTIMATION SYSTEM AND 3D DEPTH ESTIMATION METHOD WITH OMNI-DIRECTIONAL IMAGES

(57)摘要

一種全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法。全景影像三維深度估測系統包括兩個全景影像擷取裝置、校正電路以及深度估測電路。全景影像擷取裝置擷取兩張全景影像以取得一目標點分別投影在兩個全景影像平面中的第一平面座標與第二平面座標。校正電路根據各全景影像擷取裝置的投影模型計算多個校正參數，且根據多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線以對校正參數進行補償。深度估測電路根據第一平面座標、第二平面座標以及此些補償曲線來估測目標點在三維空間中的空間座標。

A 3D depth estimation system and a 3D depth estimation method with Omni-directional images are provided. The 3D depth estimation system includes two Omni-directional image capturing apparatuses, a calibration circuit and a depth estimation circuit. The Omni-directional image capturing apparatuses capture two Omni-directional images to obtain a first plane coordinate and a second plane coordinate of a target point that are separately projected on two Omni-directional image planes. The calibration circuit calculates a plurality of calibration parameters according to a projection model of each of the Omni-directional image capturing apparatuses. The calibration circuit performs operation according to a plurality group of discrete data and fits a plurality of compensation curves so as to perform compensation on the calibration parameters. The depth estimation circuit estimates a space coordinate of the target point in a 3D space according to the first plane coordinate, the second plane coordinate and the compensation curves.

指定代表圖：

符號簡單說明：

100 . . . 全景影像三
維深度估測系統

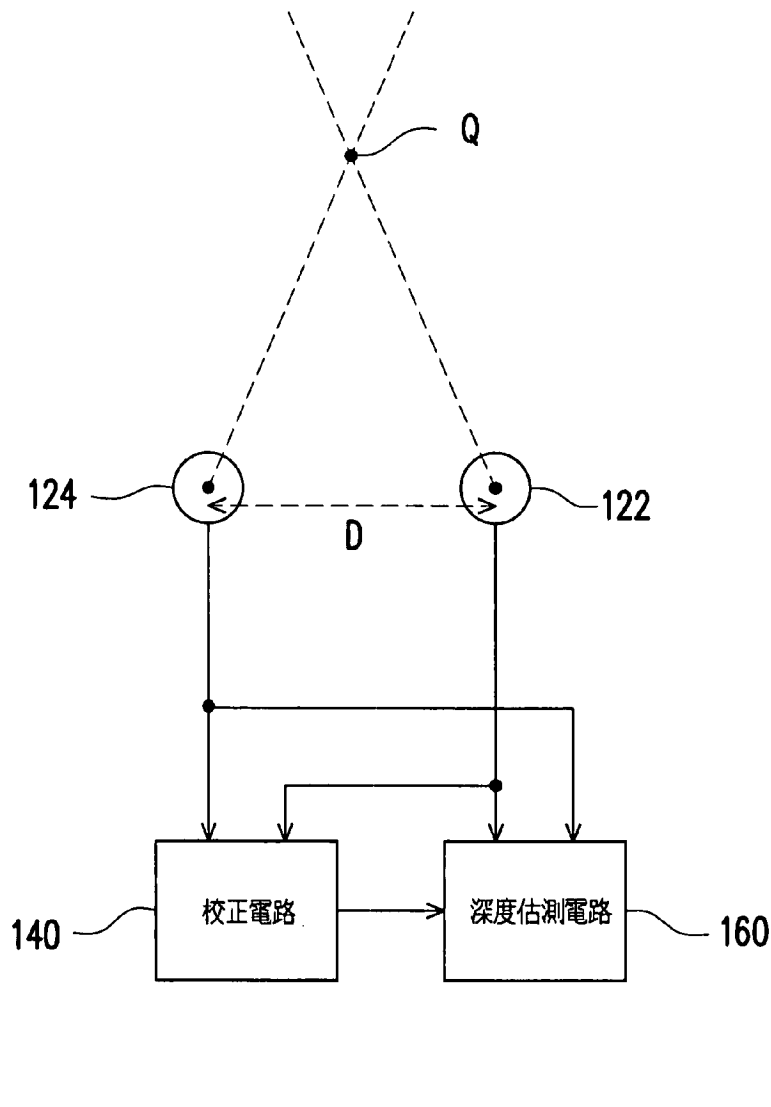
122、124 . . . 全景
影像擷取裝置

140 . . . 校正電路

160 . . . 深度估測電
路

D . . . 基準線長度

Q . . . 目標點



100

【圖1】

201712298

【發明摘要】

G01C 11/36 (2006.01)

【中文發明名稱】

全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法

【英文發明名稱】

3D DEPTH ESTIMATION SYSTEM AND 3D DEPTH ESTIMATION METHOD WITH OMNI-DIRECTIONAL IMAGES

【中文】一種全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法。全景影像三維深度估測系統包括兩個全景影像擷取裝置、校正電路以及深度估測電路。全景影像擷取裝置擷取兩張全景影像以取得一目標點分別投影在兩個全景影像平面中的第一平面座標與第二平面座標。校正電路根據各全景影像擷取裝置的投影模型計算多個校正參數，且根據多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線以對校正參數進行補償。深度估測電路根據第一平面座標、第二平面座標以及此些補償曲線來估測目標點在三維空間中的空間座標。

【英文】A 3D depth estimation system and a 3D depth estimation method with Omni-directional images are provided. The 3D depth estimation system includes two Omni-directional image capturing apparatuses, a calibration circuit and a depth estimation circuit. The Omni-directional image capturing apparatuses capture two Omni-directional images to obtain a first plane coordinate and a second plane coordinate of a target point that are separately

projected on two Omni-directional image planes. The calibration circuit calculates a plurality of calibration parameters according to a projection model of each of the Omni-directional image capturing apparatuses. The calibration circuit performs operation according to a plurality group of discrete data and fits a plurality of compensation curves so as to perform compensation on the calibration parameters. The depth estimation circuit estimates a space coordinate of the target point in a 3D space according to the first plane coordinate, the second plane coordinate and the compensation curves.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100：全景影像三維深度估測系統

122、124：全景影像擷取裝置

140：校正電路

160：深度估測電路

D ：基準線長度

Q ：目標點

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法

【英文發明名稱】

3D DEPTH ESTIMATION SYSTEM AND 3D DEPTH ESTIMATION
METHOD WITH OMNI-DIRECTIONAL IMAGE

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種三維深度估測技術，且特別是有關於一種全景影像三維深度估測系統及全景影像三維深度估測方法。

【先前技術】

【0002】 隨著影像感測技術的演進，發展出一種由曲面鏡及單眼攝影機所組成的反射折射式攝影機(catadioptric camera)，或謂全景攝影機(omni-directional camera)。一般來說，全景攝影機可擁有廣泛的全方位視野，且可在第一時間擷取周遭環景影像。因此，全景攝影機經常被應用於電腦視覺的許多領域，其中在機器人視覺導航定位、自走車避障以及警示、視覺測距、三維環境建模等應用面上，運用全景攝影機做三維深度估測取得全方位環境深度資訊已成為近年來熱門的研究議題。

【0003】 然而，由於全景攝影機的相機模型較為複雜，且所拍攝

的全景影像會有扭曲失真以及解析度較低的問題。因此，當採用兩台平行架設的全景攝影機來進行三維深度估測時，深度估測誤差率會隨著估測距離的增加而急遽升高。除此之外，當待測物越接近兩台全景攝影機之間的基準線時，深度估測準確度也會越低，故而呈現不均勻的估測效能。因此，如何取得精準度較高的全景攝影機的參數以改善上述估測效能區域不均的問題，且提高全景影像三維深度估測系統在較遠的估測範圍的準確度，乃是本技術領域相當重要的課題。

【發明內容】

【0004】有鑑於此，本發明提供一種全景影像三維深度估測系統以及全景影像三維深度估測方法，可根據每一台全景攝影機的投影模型取得三維深度估測所需的多個校正參數，並根據每一台全景攝影機的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對每一台全景攝影機的此些校正參數進行補償。如此一來，可得到高準確度的全景攝影機的校正參數，從而改善全景攝影機影像扭曲失真以及解析度較低的缺點，並可提升全景影像三維深度估測系統在較遠的估測範圍的準確度。

【0005】本發明的全景影像三維深度估測系統可包括兩個全景影像擷取裝置、校正電路以及深度估測電路。此些全景影像擷取裝置可用以擷取兩張全景影像以取得一目標點分別投影在兩個全景影像平面中的第一平面座標與第二平面座標。校正電路可耦接到

此些全景影像擷取裝置，用以根據此些全景影像擷取裝置的每一者的投影模型以計算此些全景影像擷取裝置的每一者的多個校正參數，且可根據此些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對此些全景影像擷取裝置的每一者的此些校正參數進行補償。深度估測電路可耦接到此些全景影像擷取裝置以及校正電路，可根據第一平面座標、第二平面座標以及此些補償曲線來計算目標點所處三維空間的空間座標。此些離散資料可包括多個實際空間座標以及多個影像座標。此些實際空間座標可分別對應於此些全景影像擷取裝置的每一者的多個方位角或多個距離。此些影像座標可分別對應於此些實際空間座標。

【0006】 在本發明的一實施例中，上述的此些全景影像擷取裝置為水平架設(horizontally-aligned)且彼此平行。此些全景影像擷取裝置之間的基準線(baseline)的長度介於 38 公分至 150 公分之間，且目標點與此些全景影像擷取裝置的距離小於 10 公尺。

【0007】 在本發明的一實施例中，上述的此些全景影像擷取裝置的每一者的此些校正參數包括影像中心座標以及鏡面參數。影像中心座標位於全景影像擷取裝置的雙曲面鏡的焦點與全景影像擷取裝置的攝影機投影中心所形成的直線與該些全景影像平面的對應者的交點。鏡面參數為 $\frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon^2}$ ，其中 ε 為全景影像擷取裝置的雙曲面鏡的離心率(eccentricity)。

【0008】 在本發明的一實施例中，上述的校正電路根據此些全景

影像擷取裝置的每一者取得此些離散資料中的 i 組第一離散資料，其中 i 組第一離散資料的每一者包括參考物的第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 以及投影至全景影像平面的對應的第一影像座標 (U_i, V_i) ，其中 i 為大於 1 的正整數。校正電路可根據第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 計算實際方位角 $\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{Y_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}\right)$ ，且可根據對應的第一影像座標 (U_i, V_i) 計算未補償離散方位角 $\theta_i' = \sin^{-1}\left(\frac{U_i}{\sqrt{U_i^2 + V_i^2}}\right)$ 。校正電路可計算實際方位角 θ_i 與未補償離散方位角 θ_i' 的差值以作為補償角度值 $\Delta\theta$ ，且可計算第一實際影像座標 (U_i', V_i') ，其中第一實際影像座標 $U_i' = U_i \cdot \cos(\Delta\theta) - V_i \cdot \sin(\Delta\theta)$ ，且第一實際影像座標 $V_i' = U_i \cdot \sin(\Delta\theta) + V_i \cdot \cos(\Delta\theta)$ 。校正電路可計算 i 組第一離散資料的每一者的離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ ，其中離散座標補償量 $\Delta C_{ui} = U_i' - U_i - C_u$ ，且離散座標補償量 $\Delta C_{vi} = V_i' - V_i - C_v$ ，其中 (C_u, C_v) 為影像中心座標。校正電路可將 i 組第一離散資料的每一者的未補償離散方位角 θ_i' 與離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得全景影像擷取裝置的第一像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_u = f_1(\theta_c)$ 以及第二像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_v = f_2(\theta_c)$ ，其中 $(\Delta C_u, \Delta C_v)$ 為像素座標偏移補償量，且 θ_c 為未補償方位角。

【0009】 在本發明的一實施例中，上述的校正電路可根據此些全景影像擷取裝置的每一者取得此些離散資料中的 j 組第二離散資料，其中 j 組第二離散資料的每一者包括參考物的第二實際空間座

標 (X_j, Y_j, Z_j) 以及投影至全景影像平面的對應的第二影像座標 (U_j, V_j) ，其中 j 為大於1的正整數。校正電路可根據第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 計算實際俯仰角 α_j ，其中 $\tan(\alpha_j) = \frac{Z_j}{\sqrt{X_j^2 + Y_j^2}}$ 。校正電路可根據對應的第二影像座標 (U_j, V_j) 、第一像素座標偏移量補償曲線以及第二像素座標偏移量補償曲線計算補償後影像座標 (U_j', V_j') 。校正電路可計算補償後影像座標 (U_j', V_j') 與原點之間的距離以作為影像半徑 $r_j' = \sqrt{(U_j')^2 + (V_j')^2}$ 。校正電路可根據全景影像擷取裝置的鏡面參數計算全景影像擷取裝置的焦距。校正電路可根據影像半徑、焦距以及實際俯仰角計算對應於影像半徑的離心率，並據以計算離散鏡面參數。校正電路可計算離散鏡面參數與鏡面參數的差值以作為離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 。校正電路可將 j 組第二離散資料的每一者的影像半徑 r_j' 與離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得全景影像擷取裝置的鏡面參數補償曲線 $\Delta \xi = f_3(r)$ ，其中 $\Delta \xi$ 為鏡面參數補償量，且 r 為影像半徑。

【0010】 在本發明的一實施例中，將上述的參考物相對於此些全景影像擷取裝置的每一者的距離保持不變，且調整參考物相對於此些全景影像擷取裝置的每一者的方位以取得上述 i 組第一離散資料。將上述的參考物相對於此些全景影像擷取裝置的每一者的方位保持不變，且調整參考物相對於此些全景影像擷取裝置的距離以取得上述 j 組第二離散資料。

【0011】 在本發明的一實施例中，上述的此些全景影像擷取裝置

包括第一全景攝影機以及第二全景攝影機。深度估測電路可根據第一平面座標、第一全景攝影機的第一像素座標偏移量補償曲線以及第一全景攝影機的第二像素座標偏移量補償曲線計算補償後第一平面座標，且可根據第二平面座標、第二全景攝影機的第一像素座標偏移量補償曲線以及第二全景攝影機的第二像素座標偏移量補償曲線計算補償後第二平面座標。深度估測電路可根據補償後第一平面座標計算影像半徑以作為第一影像半徑，可根據第一影像半徑與第一全景攝影機的鏡面參數補償曲線計算鏡面參數補償量以作為第一鏡面參數補償量，並可根據第一鏡面參數補償量與第一全景攝影機的鏡面參數計算第一全景攝影機的補償後鏡面參數。深度估測電路可根據該補償後第二平面座標計算影像半徑以作為第二影像半徑，可根據第二影像半徑與第二全景攝影機的鏡面參數補償曲線計算鏡面參數補償量以作為第二鏡面參數補償量，並可根據第二鏡面參數補償量與第二全景攝影機的鏡面參數計算第二全景攝影機的補償後鏡面參數。深度估測電路可根據補償後第一平面座標與第一全景攝影機的補償後鏡面參數計算第一方向向量，其中第一方向向量通過第一全景攝影機的雙曲面鏡的焦點以及該補償後第一平面座標投影至第一全景攝影機的雙曲面鏡上的第一面點。深度估測電路可根據補償後第二平面座標與第二全景攝影機的補償後鏡面參數計算第二方向向量，其中第二方向向量通過第二全景攝影機的雙曲面鏡的焦點以及該補償後第二平面座標投影至第二全景攝影機的雙曲面鏡上的第二面點。深

度估測電路可根據三維深度估測演算法計算出第一方向向量與第二方向向量最接近處的中間點座標。深度估測電路可根據中間點座標以及第一全景攝影機與第二全景攝影機之間的基準線(baseline)的距離計算出目標點所處三維空間的空間座標。

【0012】 本發明的全景影像三維深度估測方法可包括以下步驟。首先，透過兩個全景影像擷取裝置來擷取兩張全景影像以取得目標點分別投影在此些全景影像平面中的第一平面座標與第二平面座標。接著，根據此些全景影像擷取裝置的每一者的投影模型以計算此些全景影像擷取裝置的每一者的多個校正參數。之後，根據此些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對此些全景影像擷取裝置的每一者的此些校正參數進行補償。最後，根據第一平面座標、第二平面座標以及此些補償曲線來計算目標點所處三維空間的空間座標。此些離散資料可包括多個實際空間座標以及多個影像座標。此些實際空間座標可分別對應於此些全景影像擷取裝置的每一者的多個方位角或多個距離。此些影像座標可分別對應於此些實際空間座標。

【0013】 基於上述，本發明的全景影像三維深度估測系統以及全景影像三維深度估測方法可根據每一台全景攝影機的投影模型取得三維深度估測所需的多個校正參數，並根據每一台全景攝影機的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對每一台全景攝影機的此些校正參數進行補償。如此一來，可得到高準確度的全景攝影機的校正參數，從而改善全景攝影機影像扭曲失真

以及解析度較低的缺點，並可提升全景影像三維深度估測系統在較遠的估測範圍的準確度。

【0014】 為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0015】 下面的所附圖式是本發明的說明書的一部分，繪示了本發明的示例實施例，所附圖式與說明書的描述一起說明本發明的原理。

圖 1 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的架構示意圖。

圖 2A 是一般的雙曲面的幾何模型。

圖 2B 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像擷取裝置的投影成像示意圖。

圖 3 是一般的球面相機模型的投影示意圖。

圖 4 是依據本發明實施例所繪示的雙曲面鏡與影像平面的示意圖。

圖 5 是依照本發明一實施例所繪示的離散資料之取得的示意圖。

圖 6 是依照本發明另一實施例所繪示的離散資料之取得的示意圖。

圖 7 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測

系統的三維估測示意圖。

圖 8 是依照本發明另一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的三維估測示意圖。

圖 9 是依照本發明又一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的三維估測示意圖。

圖 10A~圖 10E 是依照本發明實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的三維深度資訊之錯誤率的分析示意圖。

圖 11 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測方法的步驟流程圖。

【實施方式】

【0016】 現將詳細參考本發明之示範性實施例，在附圖中說明所述示範性實施例之實例。另外，凡可能之處，在圖式及實施方式中使用相同標號的元件/構件代表相同或類似部分。

【0017】 以下請參照圖 1，圖 1 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統 100 的架構示意圖。全景影像三維深度估測系統 100 可包括兩個全景影像擷取裝置 122 與 124、校正電路 140 以及深度估測電路 160，但本發明並不以此為限。在本發明的其他實施例中，全景影像三維深度估測系統 100 也可採用兩個以上的全景影像擷取裝置來進行三維深度估測，其中，可將兩個全景影像擷取裝置設定為一組以進行一組三維深度估測，如此一來全景影像三維深度估測系統 100 便可進行多組三維深度估測。於

圖 1 所示的示範性實施例中，全景影像擷取裝置 122、124 可用以擷取兩張具視差的全景影像以取得目標點 Q 分別投影在兩個全景影像平面中的兩個影像座標(下稱第一平面座標以及第二平面座標)。

【0018】 在此值得一提的是，在本發明的一實施例中，全景影像擷取裝置 122 與 124 可為水平架設(horizontally-aligned)且彼此平行，全景影像擷取裝置 122 與 124 之間的基準線(baseline)的長度 D 可介於 38 公分至 150 公分之間，且目標點 Q 與全景影像擷取裝置 122、124 的距離小於 10 公尺。除此之外，在本發明的一實施例中，全景影像擷取裝置 122、124 可依據全景影像三維深度估測系統 100 的實際應用或設計需求而架設在固定架、牆壁、車體或是機器人等等之上，但本發明並不以此為限。

【0019】 校正電路 140 可耦接到全景影像擷取裝置 122、124。校正電路 140 可用以根據全景影像擷取裝置 122 的投影模型以計算全景影像擷取裝置 122 的多個校正參數。校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 122 的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對全景影像擷取裝置 122 的此些校正參數進行補償。同樣地，校正電路 140 可用以根據全景影像擷取裝置 124 的投影模型以計算全景影像擷取裝置 124 的多個校正參數。校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 124 的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對全景影像擷取裝置 124 的此些校正參數進行補償。

【0020】 深度估測電路 160 可耦接到全景影像擷取裝置 122、124 以及校正電路 140。深度估測電路 160 可根據前述第一平面座標、前述第二平面座標以及此些補償曲線來計算目標點 Q 所處三維空間的空間座標。

【0021】 在本實施例中，全景影像擷取裝置 122、124 可例如是中央式(central)全景攝影機，其可由一雙曲面鏡(hyperboloidal mirror)以及一攝影機(或任何可擷取影像的電子裝置)所組成，但本發明並不以此為限。校正電路 140 與深度估測電路 160 可以是硬體、韌體或儲存在記憶體而由中央處理器(CPU)或數位信號處理器(DSP)所載入執行的軟體或機器可執行程式碼。若是採用硬體來實現，則校正電路 140 與深度估測電路 160 可以是由個別電路晶片所完成，也可以全部由單一整合電路晶片所達成，但本發明並不以此為限制。上述硬體也可以使用例如一般用途的電腦、特殊功能積體電路(ASIC)或可程式化邏輯閘陣列(FPGA)來實現。而上述記憶體可以是例如光碟、隨機存取記憶體、唯讀記憶體、快閃記憶體、軟碟、硬碟或磁性光學碟，或可於網路下載的遠端記錄媒介或非暫存式機器可讀取媒介。

【0022】 以下將先針對全景影像擷取裝置(或稱全景攝影機)122、124 的投影模型進行說明。請同時參照圖 1、圖 2A 與圖 2B，圖 2A 是一般的雙曲面的幾何模型，而圖 2B 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像擷取裝置 122、124 的投影成像示意圖，其中， $x-y-z$ 軸為攝影機座標(亦即空間座標)系統(camera coordinate system,

CCS)，而 u - v 軸為影像座標系統(image coordinate system, ICS)。特別的是，ICS 的 u 軸與 CCS 的 x 軸平行，而 ICS 的 v 軸與 CCS 的 y 軸平行。如圖 2A 所示，雙曲面 210 可經由一對雙曲線 215 沿著中心軸(亦即 z 軸)旋轉而形成，其可包含兩個焦點(focal point) $C_m(0, 0, 0)$ 、 $C_n(0, 0, -2c)$ 。而雙曲面 210 的數學模型可如式(1)所示，其中參數 a 、 b 分別為雙曲面 210 的共軛軸長和貫軸長，而參數 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ 乃是兩個焦點 $C_m(0, 0, 0)$ 與 $C_n(0, 0, -2c)$ 之間距離的一半。由於式(1)代表兩個雙曲面 210，故本實施例可選取式(1)中 $(z+c)$ 大於 0 的雙曲面來代表實體呈現的雙曲面鏡(例如圖 2B 所示的雙曲面鏡 220)。

$$\frac{(z+c)^2}{a^2} - \frac{x^2 + y^2}{b^2} = 1 \quad \text{式(1)}$$

【0023】另外，如圖 2B 所示，三維空間中的一目標點 Q (空間座標為 (X, Y, Z))可由一射線 RL_1 延伸到雙曲面鏡 220 的焦點 C_m (空間座標為 $(0, 0, 0)$)，並可經由雙曲面鏡 220 的反射而朝向攝影機投影中心(center of projection, COP) C_p 前進(如反射線 RL_2 所示)，並與全景影像平面 230 相交於一影像點 q (影像座標為 (U, V))。換句話說，影像點 $q(U, V)$ 即為三維空間中的目標點 $Q(X, Y, Z)$ 所對應的投影點，其中全景影像平面 230 與攝影機投影中心 C_p 的距離即為焦距 f 。而全景影像擷取裝置 122、124 的投影關係式可如式(2)所示，其中 α 為通過三維空間中的目標點 $Q(X, Y, Z)$ 的射線 RL_1 與 CCS 的 x - y 座標平面的俯仰角，雙曲面鏡 220 的離心率(eccentricity) $\varepsilon = \frac{c}{a}$ ， β 為反射線 RL_2 與攝影機 240 的夾角。而 $\sin \beta$ 以及 $\cos \beta$ 則

分別如式(3)及式(4)所示，其中影像半徑 $r = \sqrt{U^2 + V^2}$ 。 (C_u, C_v) 則為影像中心座標，位於全景影像擷取裝置 122、124 的雙曲面鏡 220 的焦點 C_m 與全景影像擷取裝置 122、124 的攝影機投影中心 C_p 所形成的直線與全景影像平面 230 的交點。

$$\tan \alpha = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \frac{(\varepsilon^2 + 1)\sin \beta - 2\varepsilon}{(\varepsilon^2 - 1)\cos \beta} \quad \text{式(2)}$$

$$\sin \beta = \frac{f}{\sqrt{r^2 + f^2}} \quad \text{式(3)}$$

$$\cos \beta = \frac{r}{\sqrt{r^2 + f^2}} \quad \text{式(4)}$$

【0024】由於 ICS 的 u 軸與 CCS 的 x 軸平行，ICS 的 v 軸與 CCS 的 y 軸平行，因此三維空間中的目標點 $Q(X, Y, Z)$ 或是影像點 $q(U, V)$ 的方位角 θ 可如式(5)及式(6)所示。

$$\sin \theta = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \frac{V}{\sqrt{U^2 + V^2}} \quad \text{式(5)}$$

$$\cos \theta = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} = \frac{U}{\sqrt{U^2 + V^2}} \quad \text{式(6)}$$

【0025】接下來將說明如何定義全景影像擷取裝置 122、124 的投影模型。一般來說，球面相機模型(sphere camera model)可適用於所有的中央式全景攝影機，包括本發明實施例所採用的雙曲面式的全景攝影機。以下請參照圖 3，圖 3 是一般的球面相機模型的投影示意圖。首先，自三維空間中的目標點 $Q(X, Y, Z)$ 經由球中心(即焦點 C_m)所形成的射線可與球面 320 相交於點 S_1 與點 S_2 。若將點 S_1 與點 S_2 以四維的齊次座標(homogeneous coordinates)來表示，則

如式(7)、式(8)所示。

$$S_1 = (X, Y, Z, \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}) \quad \text{式(7)}$$

$$S_2 = (X, Y, Z, -\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}) \quad \text{式(8)}$$

【0026】 接著，考慮攝影機投影中心 C_p 的空間座標為 $(0, 0, \xi)$ ，其中 ξ 為鏡面參數。而若將點 S_1 、點 S_2 以非齊次座標 (non-homogeneous coordinates) 來表示，則可將點 S_1 、點 S_2 改寫如式(9)及式(10)所式。

$$S_1' = (X, Y, Z + \xi\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}) \quad \text{式(9)}$$

$$S_2' = (X, Y, Z - \xi\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}) \quad \text{式(10)}$$

【0027】 最後， S_1' 、 S_2' 可經由球面相機模型的內部參數短陣 K 而投影至全景影像平面 330 的影像點 q_1 、 q_2 ，其中影像點 q_1 、 q_2 的影像座標僅會有一正確解。而球面相機模型的內部參數短陣 K 可如式(11)所示，其中 f 為焦距，而 (C_u, C_v) 為影像中心座標或可稱為主點 (principal point)。

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & C_u \\ 0 & f & C_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(11)}$$

【0028】 以下請再同時參照圖 1 及圖 2B。在此需特別注意的是，由於本發明圖 1、圖 2B 實施例所示的全景影像擷取裝置 122、124 為雙曲面式的全景攝影機，故仍需考慮實際雙曲面模型與球面相機模型之間的幾何關係，其中，雙曲面式的全景攝影機的內部參數矩陣 H 可為球面相機模型的內部參數矩陣 K 乘以一關係矩陣 M ，如式(12)所示，其中參數 ψ 為全景影像平面 230 到焦點 C_m 的

距離。另外，鏡面參數 ξ 以及參數 Ψ 可定義如式(13)及式(14)所示，其中 d 為攝影機投影中心 C_p 到雙曲面之焦點 C_m 的距離，而 $4p$ 為雙曲面的正焦弦長(latus rectum)。

$$H = K \cdot M = \begin{bmatrix} f & 0 & C_u \\ 0 & f & C_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \psi - \xi & 0 & 0 \\ 0 & \xi - \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(12)}$$

$$\xi = \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4p^2}} \quad \text{式(13)}$$

$$\Psi = \frac{d + 2p}{\sqrt{d^2 + 4p^2}} \quad \text{式(14)}$$

【0029】 三維空間的空間座標 Q 點經過影像擷取裝置 122、124 反射折射到攝影機內部的全景影像平面 230，需要經過一投影矩陣。而不同的相機模型及校正方法需定義所使用的投影矩陣。因此，在本發明的一實施例中，採用基於球面相機模型的反射折射投影矩陣(catadioptric projection matrix)，其主要利用延展座標(lifted coordinates)的概念，將投影矩陣延展成 6×10 維度的矩陣並使其擁有線性的特性，其中投影矩陣可包括內部參數特性及外部參數特性。反射折射投影矩陣 P_{cata} 可定義如式(15)所示，其中 R 為旋轉矩陣(rotation matrix)， X_ξ 是以鏡面參數 ξ 來表示的矩陣，而 T 則代表攝影機位置(t_x, t_y, t_z)的位移矩陣(translation matrix)，且 X_ξ 以及 $T_{6 \times 4}$ 可定義如式(16)、式(17)所示。在定義反射折射投影矩陣 P_{cata} 之後，可運用直接線性轉換(direct linear transform, DLM)的方法，輸入多個已知的三維空間的空間座標與對應的二維全景影像平面的影像點，並做奇異值分解(singular value decomposition, SVD)，

即可計算出反射折射投影矩陣 P_{cata} 。

$$P_{cata} = H X_{\xi} R_{6 \times 6} (I_6 T_{6 \times 4}) \quad \text{式(15)}$$

$$X_{\xi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\xi^2 & 0 & -\xi^2 & 0 & 0 & 1-\xi^2 \end{bmatrix} \quad \text{式(16)}$$

$$T_{6 \times 4} = \begin{bmatrix} -2t_x & 0 & 0 & t_x^2 \\ -t_y & -t_x & 0 & t_x t_y \\ 0 & -2t_y & 0 & t_y^2 \\ -t_z & 0 & -t_x & t_x t_z \\ 0 & -t_z & -t_y & t_y t_z \\ 0 & 0 & -2t_z & t_z^2 \end{bmatrix} \quad \text{式(17)}$$

【0030】 接下來，可將式(15)的反射折射投影矩陣 P_{cata} 進行內部參數和外部參數的分解。首先，定義 6×6 維的子矩陣 P_s 如式(18)所示。

$$P_s = H X_{\xi} R \quad \text{式(18)}$$

【0031】 接著，假設矩陣 $W = P_s D^{-1} P_s^T$ ，其中 D^{-1} 為對角矩陣 (diagonal matrix) 的反矩陣，並將式(18)代入矩陣 W ，如式(19)所示。

$$W = H X_{\xi} R D^{-1} R^T X_{\xi}^T H^T \quad \text{式(19)}$$

【0032】 因為 $D^{-1} = R D^{-1} R^T$ ，並考慮常數 λ ，因此可將矩陣 W 簡化如式(20)所示。而從矩陣 W 中的一些元素(element)可擷取出四個內部參數，分別為鏡面參數 ξ 、焦距 f 以及影像中心座標 (C_u , C_v)，分別如式(21)~式(23)所示。其中鏡面參數 ξ 、焦距 f 以及影像中心座標 (C_u , C_v) 即為攝影機的內部參數，而 W_{16} 、 W_{44} 、 W_{46} 、 W_{56} 以及 W_{66} 的數值分別如式(24)~式(28)所示。

$$W = \lambda H X_{\xi} D^{-1} X_{\xi}^T H^T \quad \text{式(20)}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\frac{W_{16}}{W_{66}} - C_u^2}{-2\left(\frac{W_{44}}{W_{66}} - C_v^2\right)}} \quad \text{式(21)}$$

$$f = \sqrt{2(2\xi^4 + (1 - \xi^2)^2)\left(\frac{W_{44}}{W_{66}} - C_u^2\right)} \quad \text{式(22)}$$

$$(C_u, C_v) = \left(\frac{W_{46}}{W_{66}}, \frac{W_{56}}{W_{66}}\right) \quad \text{式(23)}$$

$$W_{16} = \lambda (-(f^2 \xi^2) + C_u^2 (\xi^4 + C_u (1 - \xi^2)^2)) \quad \text{式(24)}$$

$$W_{44} = \lambda ((f^2/2) + C_u^2 (2 \xi^4 + (1 - \xi^2)^2)) \quad \text{式(25)}$$

$$W_{46} = \lambda C_u (2 \xi^4 + (1 - \xi^2)^2) \quad \text{式(26)}$$

$$W_{56} = \lambda C_v (2 \xi^4 + (1 - \xi^2)^2) \quad \text{式(27)}$$

$$W_{66} = \lambda (2 \xi^4 + (1 - \xi^2)^2) \quad \text{式(28)}$$

【0033】 最後，可對外部參數進行擷取，其中 6×4 維的矩陣 T_{cata} 代表外部參數的部份，可以由 P_{cata} 以及內部參數部份 $H X_{\xi}$ 的反矩陣的乘積來表示，如式(29)所示。之後，僅需將旋轉矩陣 $R_{6 \times 6}$ 的反矩陣與 T_{cata} 相乘，即可得到位移矩陣 $T_{6 \times 4}$ 。

$$T_{cata} = R_{6 \times 6} (I_6 T_{6 \times 4}) = (H X_{\xi})^{-1} P_{cata} \quad \text{式(29)}$$

【0034】 值得一提的是，上述內部參數及外部參數是由線性矩陣分解而來的，可能並不完全適用於實際的全景攝影機。因此，為了讓內部參數及外部參數最佳化，可將攝影機鏡頭(lens)失真的因素考慮進去。其中，鏡頭失真包含兩種形變：徑向形變(radial distortion)以及切向形變(tangential distortion)。徑向形變是由鏡頭

形狀所造成，使得距離鏡頭中心越遠的光線在通過鏡頭時彎折較大，反之則彎折越小。切向形變則是由攝影機模組組裝所造成，主要影響影像的側邊。

【0035】 因此，可定義徑向形變方程式如式(30)、式(31)所示，其中 ΔU_r 和 ΔV_r 分別為影像點 $q(U, V)$ 的徑向形變修正量，影像半徑 $r = \sqrt{U^2 + V^2}$ ，而 k_1 、 k_2 則為徑向形變的參數。另外，可定義切向形變方程式如式(32)、式(33)所示，其中 ΔU_t 和 ΔV_t 分別為影像點 $q(U, V)$ 的切向形變修正量，而 p_1 、 p_2 則為切向形變的參數。

$$\Delta U_r = U(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad \text{式(30)}$$

$$\Delta V_r = V(k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad \text{式(31)}$$

$$\Delta U_t = 2p_1 UV + p_2(r^2 + 2U^2) \quad \text{式(32)}$$

$$\Delta V_t = p_1(r^2 + 2V^2) + 2p_2 UV \quad \text{式(33)}$$

【0036】 接著，可利用萊文貝格-馬夸特方法(Levenberg-Marquardt method)做內部參數及外部參數的非線性最佳化。詳細來說，首先考慮上述鏡面失真的因素做重新投影，並將三維空間的空間座標利用上述計算得到的內部參數及外部參數投影到二維的全景影像平面以得到參考影像點，並與實際的影像點做均方根誤差(root-mean-square error, RMSE)計算，再使用萊文貝格-馬夸特方法來做內部參數及外部參數的最佳化。由於攝影機內部參數及外部參數之非線性最佳化並非本發明所琢磨的重點，且此等技術又屬本發明領域具有通常知識者所熟識，故在此不再加以贅述之。

【0037】 以下請再同時參照圖 2A 及圖 2B。根據上述的說明可以

得知，本發明實施例的內部參數包括焦距 f 、影像中心座標 (C_u, C_v) 以及鏡面參數 ξ 。然而，在此值得一提的是，根據式(5)及式(6)可知， $\sin \theta$ 及 $\cos \theta$ 與全影攝影機所取得的影像點 $q(U, V)$ 有關，而影像點 $q(U, V)$ 的準確度則與內部參數中的影像中心座標 (C_u, C_v) 相關聯。

【0038】 除此之外，根據式(2)~式(4)可知， $\tan \alpha$ 與全影攝影機的離心率 ε 以及焦距 f 有關。而且，圖 2A 的雙曲面 210(或圖 2B 的雙曲面鏡 220)具有式(34)~式(36)的關係式。其中 d 為攝影機投影中心 C_p 到焦點 C_m 的距離，且 $4p$ 為雙曲面 210(或雙曲面鏡 220)的正焦弦長(latus rectum)。若將式(34)~式(36)代入離心率 $\varepsilon = c/a$ ，則如式(37)所示。

$$a = \frac{1}{2}(\sqrt{d^2 + 4p^2} - 2p) \quad \text{式(34)}$$

$$b = \sqrt{p\sqrt{d^2 + 4p^2} - 2p^2} \quad \text{式(35)}$$

$$c = \frac{d}{2} \quad \text{式(36)}$$

$$\varepsilon = \frac{c}{a} = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{1}{2}(\sqrt{d^2 + 4p^2} - 2p)} \quad \text{式(37)}$$

【0039】 接著，將式(13)的鏡面參數 ξ 代入式(37)，且根據 $\varepsilon > 1$ 以及 $0 < \xi < 1$ 的條件，即可得出離心率 ε 與鏡面參數 ξ 的關係式，如式(38)、式(39)所示。

$$\varepsilon = \frac{\xi}{1 - \sqrt{1 - \xi^2}} \quad \text{式(38)}$$

$$\xi = \frac{2\varepsilon}{1 + \varepsilon^2} \quad \text{式(39)}$$

【0040】此外，如圖 4 所示，圖 4 是依據本發明實施例所繪示的雙曲面鏡與影像平面的示意圖，因全景攝影機擁有旋轉不變性，且參數 $2p$ (即雙曲面鏡 220 的正焦弦長之一半長度) 與全景影像平面 230 之邊界 r_b 以及攝影機投影中心 C_p 到焦點 C_m 的距離 d 與焦距 f ，符合相似三角形(similar triangles)定理，因此，焦距 f 可如式(40)所示。接著，將式(13)經代數變換後可如式(41)所示。將式(41)代入式(40)可得式(42)，其中全景影像平面 230 之邊界 r_b 為定值。

$$f = d \frac{r_b}{2p} \quad \text{式(40)}$$

$$\frac{d}{2p} = \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{式(41)}$$

$$f = \frac{r_b \xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad \text{式(42)}$$

【0041】根據式(42)可以得知，焦距 f 可經由鏡面參數 ξ 計算得出。因此，在本發明的實施例中，可僅以影像中心座標(C_u, C_v)以及鏡面參數 ξ 作為全景影像擷取裝置 122、124 的校正參數，並對每一個全景影像擷取裝置 122、124 的校正參數進行參數補償，以提高每一個全景影像擷取裝置 122、124 之校正參數的準確度，從而改善全景影像擷取裝置 122、124 影像扭曲失真以及解析度較低的缺點，並可提升全景影像三維深度估測系統 100 在較遠的估測範圍的準確度。以下將針對全景影像擷取裝置 122、124 之校正參數的補償運作進行說明。

【0042】以下請再同時參照圖 1 及圖 2B。在本發明實施例中，主

要是採用兩台水平架設(horizontally-aligned)的全景影像擷取裝置 122、124，經由全景影像平面 230 取得的影像點 $q(U, V)$ ，再透過演算法估測出對應的三維空間中的目標點 Q 的空間座標 (X, Y, Z) 。因此，是否取得正確的影像點 $q(U, V)$ 對於估測目標點 Q 的空間座標 (X, Y, Z) 之準確度影響甚鉅。

【0043】 首先，可將由全景影像平面 230 所取得的影像點 $q(U, V)$ 之影像中心位移至影像中心座標 (C_u, C_v) 以得到未補償影像點 $(U+C_u, V+C_v)$ 。除此之外，為了使取得的影像點 $q(U, V)$ 更為準確，本實施例還對影像中心座標 (C_u, C_v) 進行中心偏移量補償(或稱像素偏移量補償)。因此補償後的影像點 $q'(U', V')$ 的座標可如式(43)、式(44)所示，其中 $(\Delta C_u, \Delta C_v)$ 為像素座標偏移補償量。

$$U' = U + C_u + \Delta C_u \quad \text{式(43)}$$

$$V' = V + C_v + \Delta C_v \quad \text{式(44)}$$

【0044】 另外，根據全景攝影機的幾何投影關係以及式(5)、式(6)可知，以實際的目標點 Q 的空間座標 (X, Y, Z) 計算所得到的方位角 θ 可對應到實際的影像點，而得到實際的影像點後，即可得知未補償影像點的像素座標偏移補償量為何。因此，在本發明的一實施例中，如圖 5 所示，可將一參考物 OB (例如是 2×8 且間隔 8 公分的棋盤格，但不限於此)配置在相對於全景攝影機 522 的不同方位角 θ_i 處，以取得多組離散資料，其中每一組離散資料包括對應於方位角 θ_i 的實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 以及對應於實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 的全景影像平面上的影像座標 (U_i, V_i) 。更進一步來說，在本實

施例中，可將參考物 OB 相對於全景攝影機 522 的距離保持不變，然後調整參考物 OB 相對於全景攝影機 522 的方位以取得這些離散資料(下稱 i 組第一離散資料，其中 i 為大於 1 的正整數)，但本發明並不以此為限。在本發明的一實施例中，可在 10 度至 350 度的方位角中每 10 度及 45 度取一組第一離散資料，如此一來可取得 38 組第一離散資料，但不限於此。

【0045】 由於本發明圖 1 實施例採用兩台全景影像擷取裝置 122、124，因此校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 122 取得對應的 i 組第一離散資料來對全景影像擷取裝置 122 的影像中心座標(C_u, C_v)進行補償運作。同樣地，校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 124 取得對應的 i 組第一離散資料來對全景影像擷取裝置 124 的影像中心座標(C_u, C_v)進行補償運作。由於校正電路 140 對全景影像擷取裝置 122 的影像中心座標(C_u, C_v)的補償運作類似於校正電路 140 對全景影像擷取裝置 124 的影像中心座標(C_u, C_v)的補償運作，因此以下將僅以校正電路 140 對全景影像擷取裝置 122 的影像中心座標(C_u, C_v)的補償運作為範例進行說明，校正電路 140 對全景影像擷取裝置 124 的影像中心座標(C_u, C_v)的補償運作則可依此類推得之。

【0046】 上述 i 組第一離散資料中的每一者可包括參考物 OB 的實際空間座標(X_i, Y_i, Z_i)(下稱第一實際空間座標)以及投影至全景影像平面的影像座標(U_i, V_i)(下稱第一影像座標)，其中第一影像座標(U_i, V_i)為未補償的影像座標。校正電路 140 可根據第一實際空間

座標(X_i, Y_i, Z_i)計算實際方位角 θ_i 如式(45)所示，且根據該對應的第一影像座標(U_i, V_i)計算未補償離散方位角 θ_i' 如式(46)所示。

$$\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{Y_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}\right) \quad \text{式(45)}$$

$$\theta_i' = \sin^{-1}\left(\frac{V_i}{\sqrt{U_i^2 + V_i^2}}\right) \quad \text{式(46)}$$

【0047】 校正電路 140 可計算實際方位角 θ_i 與未補償離散方位角 θ_i' 的差值以作為補償角度值 $\Delta\theta$ ，且可計算第一實際影像座標(U_i', V_i')如式(47)、式(48)所示。

$$U_i' = U_i \cdot \cos(\Delta\theta) - V_i \cdot \sin(\Delta\theta) \quad \text{式(47)}$$

$$V_i' = U_i \cdot \sin(\Delta\theta) + V_i \cdot \cos(\Delta\theta) \quad \text{式(48)}$$

【0048】 校正電路 140 可計算上述 i 組第一離散資料的每一者的離散座標補償量($\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi}$)如式(49)、式(50)所示，其中(C_u, C_v)為影像中心座標。

$$\Delta C_{ui} = U_i' - U_i - C_u \quad \text{式(49)}$$

$$\Delta C_{vi} = V_i' - V_i - C_v \quad \text{式(50)}$$

【0049】 最後，校正電路 140 可將上述 i 組第一離散資料的每一者的未補償離散方位角 θ_i' 與對應的離散座標補償量($\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi}$)透過曲線擬合方法進行擬合。在本發明的一實施例中，可採用傅立葉級數之數學模型來進行曲線擬合，如此一來，即可取得全景影像擷取裝置 122 的第一像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_u = f_1(\theta_c)$ 以及第二像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_v = f_2(\theta_c)$ ，其中($\Delta C_u, \Delta C_v$)為像素座標偏移補償量，且 θ_c 為未補償方位角。

【0050】 另一方面，鏡面參數 ξ 對於雙曲面鏡式的全景攝影機來說是相當重要的內部參數，其主要影響雙曲面鏡與攝影機之間的投影關係。一般來說，雙曲面鏡的鏡面參數 ξ 理論上會介於 0 和 1 之間。而為了讓鏡面參數 ξ 更為精確，本發明圖 1 實施例的校正電路 140 更可對鏡面參數 ξ 進行補償運作。

【0051】 另外，根據式(2)~式(4)可知，倘若焦距 f 為固定值且俯仰角 α 為已知的情況下，可由影像半徑 r 來計算離心率 ε ，並可將離心率 ε 透過式(39)轉換成鏡面參數 ξ 。由此可知，鏡面參數 ξ 與影像半徑 r 相關聯。因此，在本發明的一實施例中，如圖 6 所示，可將一參考物 OB (例如是 2×10 且間隔 8 公分的棋盤格，但不限於此)配置在相對於全景攝影機 622 的不同距離 LN_j 處，以取得不同影像半徑 r 的多組離散資料，其中每一組離散資料包括對應於距離 LN_j 的實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 以及對應於實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 的全景影像平面上的影像座標 (U_j, V_j) 。更進一步來說，在本實施例中，可將參考物 OB 相對於全景攝影機 622 的方位保持不變，然後調整參考物 OB 相對於全景攝影機 622 的距離以取得這些離散資料(下稱 j 組第二離散資料，其中 j 為大於 1 的正整數)，但本發明並不以此為限。在本發明的一實施例中，可在距離全景攝影機 622 的攝影機中心 80 至 1000 公分中每 40 公分取一組第二離散資料，如此一來可取得 24 組第二離散資料，但不限於此。

【0052】 由於本發明圖 1 實施例採用兩台全景影像擷取裝置 122、124，因此校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 122 取得

對應的 j 組第二離散資料來對全景影像擷取裝置 122 的鏡面參數 ξ 進行補償運作。同樣地，校正電路 140 可根據全景影像擷取裝置 124 取得對應的 j 組第二離散資料來對全景影像擷取裝置 124 的鏡面參數 ξ 進行補償運作。由於校正電路 140 對全景影像擷取裝置 122 的鏡面參數 ξ 的補償運作類似於校正電路 140 對全景影像擷取裝置 124 的鏡面參數 ξ 的補償運作，因此以下將僅以校正電路 140 對全景影像擷取裝置 122 的鏡面參數 ξ 的補償運作為範例進行說明，校正電路 140 對全景影像擷取裝置 124 的鏡面參數 ξ 的補償運作則可依此類推得之。

【0053】 上述 j 組第二離散資料的每一者可包括參考物 OB 的實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) (下稱第二實際空間座標) 以及投影至全景影像平面的影像座標 (U_j, V_j) (下稱第二影像座標)，其中第二影像座標 (U_j, V_j) 為未補償的影像座標。校正電路 140 可根據第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 計算實際俯仰角 α_j ，其中 $\tan(\alpha_j) = \frac{Z_j}{\sqrt{X_j^2 + Y_j^2}}$ 。

【0054】 校正電路 140 可將第二影像座標 (U_j, V_j) 代入式(46)以計算出未補償離散方位角，再將未補償離散方位角代入第一像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_u = f_1(\theta_c)$ 以及第二像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_v = f_2(\theta_c)$ 以計算出對應的像素座標偏移補償量 $(\Delta C_u, \Delta C_v)$ ，之後再根據式(43)、式(44)以取得補償後影像座標 (U_j', V_j') 。

【0055】 校正電路 140 可計算補償後影像座標 (U_j', V_j') 與原點之間的影像半徑 r_j' ，如式(51)所示。

$$r_j' = \sqrt{(U_j')^2 + (V_j')^2} \quad \text{式(51)}$$

【0056】 接著，校正電路 140 可將全景影像擷取裝置 122 的鏡面參數 ξ 代入式(42)而計算出全景影像擷取裝置 122 的焦距 f 。然後，校正電路 140 可將式(51)的影像半徑 r_j' 以及焦距 f 代入式(3)、式(4)而計算出對應的 $\sin \beta_j$ 及 $\cos \beta_j$ ，並將 $\tan(\alpha_j)$ 、 $\sin \beta_j$ 及 $\cos \beta_j$ 代入式(2)以算出離心率 $\varepsilon > 1$ 的解，即為影像半徑 r_j' 對應到的實際的離心率 ε_j 。之後，再將實際的離心率 ε_j 代入式(39)即可得到實際的離散鏡面參數 ξ_j 。

【0057】 校正電路 140 可計算離散鏡面參數 ξ_j 與鏡面參數 ξ 的差值以作為離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 。校正電路 140 可將上述 j 組第二離散資料的每一者的影像半徑 r_j' 與對應的離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 透過曲線擬合方法進行擬合。在本發明的一實施例中，可採用多項式函數之數學模型進行曲線擬合，如此一來，即可取得全景影像擷取裝置 122 的鏡面參數補償曲線 $\Delta \xi = f_3(r)$ ，其中 $\Delta \xi$ 為鏡面參數補償量，且 r 為影像半徑。

【0058】 當校正電路 140 對全景影像擷取裝置 122、124 的校正參數(亦即影像中心座標 (C_u, C_v) 以及鏡面參數 ξ) 進行補償並擬合出第一像素座標偏移量補償曲線、第二像素座標偏移量補償曲線以及鏡面參數補償曲線之後，深度估測電路 160 即可使用全景影像擷取裝置 122、124 的第一像素座標偏移量補償曲線、第二像素座標偏移量補償曲線以及鏡面參數補償曲線來估測目標點 Q 所處三維空間的三維資訊。一般來說，可使用幾何學中的三角測量

(triangulation)方法來進行全景攝影機深度估測。但是三角測量方法必須假設兩條分別通過全景影像擷取裝置 122、124 的鏡心(焦點)的射線一定會在三維空間中的待測點(目標點 Q)交會。然而，由於全景影像擷取裝置 122、124 的架設或校正參數誤差等因素，可能使得兩條射線的交會點並不存在。因此，在本發明的實施例中，採用 S.E. Shih 等人於 2013 年 7 月刊登於「IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology」期刊第 23 卷 No. 7 第 1156 = 1169 頁的論文「A Two-Omni-Camera Stereo Vision System With an Automatic Adaptation Capability to Any System Setup for 3-D Vision Applications」中的全景攝影機三維計算方法來進行三維深度估測。

【0059】 以下請同時參照圖 1、圖 2B 以及圖 7，圖 7 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的三維估測示意圖，其中圖 7 的第一全景攝影機 722 對應至圖 1 的全景影像擷取裝置 122，而圖 7 的第二全景攝影機 724 則對應至圖 1 的全景影像擷取裝置 124。首先，透過對第一全景攝影機 722 以及第二全景攝影機 724 各自的內部參數進行計算，可將位於影像座標系統 u_1-v_1 中的影像點 q_1 (影像座標為 (U_1, V_1)) 投影到第一全景攝影機 722 的雙曲面鏡 7221 上的一面點 P_{s1} ，且可將影像座標系統 u_2-v_2 中的影像點 q_2 (影像座標為 (U_2, V_2)) 投影到第二全景攝影機 724 的雙曲面鏡 7241 上的一面點 P_{s2} 。接著，可利用第一全景攝影機 722 的焦點 C_{m1} 與雙曲面鏡 7221 上的面點 P_{s1} 來計算射線 L_1 的方向向量

d_1 ，且可利用第二全景攝影機 724 的焦點 C_{m2} 與雙曲面鏡 7241 上的面點 P_{s2} 來計算射線 L_2 的方向向量 d_2 ，其中焦點 C_{m1} 的空間座標為 $(0, 0, 0)$ ，焦點 C_{m2} 的空間座標為 $(D, 0, 0)$ ， D 為第一全景攝影機 722 與第二全景攝影機 724 的間距(或稱為基準線(baseline)長度)。最後，可計算射線 L_1 、 L_2 之間最近距離的兩點 $Q_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 和 $Q_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 之中間點以作為待測點(目標點 Q_m)的三維深度資訊。而根據 S.E. Shih 等人的上述論文並透過相關的數學推導即可推得目標點 Q_m 的空間座標 (X_m, Y_m, Z_m) 、方向向量 d_1 與 d_2 分別如式(52)~式(54)所示，其中 $e_1 = [1 \ 0 \ 0]^T$ ， θ_1 與 θ_2 為方位角，而 α_1 與 α_2 為俯仰角。需注意的是，由於影像點 q_1 、 q_2 為未補償的影像點，故所估測出來的目標點 Q_m 的空間座標 (X_m, Y_m, Z_m) 誤差會較大。

$$Q_m = \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = \frac{1}{2} D \cdot \left(e_1 - \frac{(d_2 \times (d_1 \times d_2)) \cdot e_1}{(d_1 \times (d_1 \times d_2)) \cdot d_2} d_1 - \frac{(d_1 \times (d_1 \times d_2)) \cdot e_1}{(d_1 \times (d_1 \times d_2)) \cdot d_2} d_2 \right) \quad \text{式(52)}$$

$$d_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 \\ \tan \alpha_1 \end{bmatrix} \quad \text{式(53)}$$

$$d_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 \\ \tan \alpha_2 \end{bmatrix} \quad \text{式(54)}$$

【0060】 以下將對深度估測電路 160 的整體運作進行說明。請同時參照圖 1、圖 7 及圖 8，圖 8 是依照本發明另一實施例所繪示的全景影像三維深度估測系統的三維估測示意圖。深度估測電路 160 可透過第一全景攝影機 722 而取得關聯於待測點(目標點 Q_m)所對應的影像點 $q_1(U_1, V_1)$ (亦即第一平面座標)，且可透過第二全景攝

影機 724 而取得關聯於待測點(目標點 Q_m)所對應的影像點 $q_2(U_2, V_2)$ (亦即第二平面座標)。深度估測電路 160 可利用式(46)計算影像點 $q_1(U_1, V_1)$ 所對應的方位角 θ_1 以及影像點 $q_2(U_2, V_2)$ 所對應的方位角 θ_2 。深度估測電路 160 可將方位角 θ_1 代入第一全景攝影機 722 所對應的第一像素座標偏移量補償曲線以及第二像素座標偏移量補償曲線以取得影像點 $q_1(U_1, V_1)$ 的像素座標偏移補償量，再透過式(43)、式(44)計算出補償後第一平面座標 $q_1'(U_1', V_1')$ (如圖 8 所示)。同樣地，深度估測電路 160 可將方位角 θ_2 代入第二全景攝影機 724 所對應的第一像素座標偏移量補償曲線以及第二像素座標偏移量補償曲線以取得影像點 $q_2(U_2, V_2)$ 的像素座標偏移補償量，再透過式(43)、式(44)計算出補償後第二平面座標 $q_2'(U_2', V_2')$ (如圖 8 所示)。

【0061】 接著，請再同時參照圖 1 及圖 8，深度估測電路 160 可根據式(51)來計算補償後第一平面座標 $q_1'(U_1', V_1')$ 的影像半徑以作為第一影像半徑 r_1' ，可將第一影像半徑 r_1' 代入第一全景攝影機 722 所對應的鏡面參數補償曲線來計算鏡面參數補償量以作為第一鏡面參數補償量 $\Delta\xi_1$ ，再將第一鏡面參數補償量 $\Delta\xi_1$ 以及第一全景攝影機 722 的鏡面參數 ξ 相加以取得第一全景攝影機 722 的補償後鏡面參數 ξ_1' 。相同地，深度估測電路 160 可根據式(51)來計算補償後第二平面座標 $q_2'(U_2', V_2')$ 的影像半徑以作為第二影像半徑 r_2' ，可將第二影像半徑 r_2' 代入第二全景攝影機 724 所對應的鏡面參數補償曲線來計算鏡面參數補償量以作為第二鏡面參數補償量

$\Delta\xi_2$ ，再將第二鏡面參數補償量 $\Delta\xi_2$ 以及第二全景攝影機 724 的鏡面參數 ξ 相加以取得第二全景攝影機 724 的補償後鏡面參數 ξ_2' 。

【0062】 然後，深度估測電路 160 可根據補償後第一平面座標 $q_1'(U_1', V_1')$ 、第一全景攝影機 722 的補償後鏡面參數 ξ_1' 以及式(53) 來計算射線 L_1' 的第一方向向量 d_1' ，其中射線 L_1' 通過第一全景攝影機 722 的雙曲面鏡 7221 的焦點 C_{m1} 以及補償後第一平面座標 $q_1'(U_1', V_1')$ 投影至第一全景攝影機 722 的雙曲面鏡 7221 上的第一面點 P_{s1}' 。同樣地，深度估測電路 160 可根據補償後第二平面座標 $q_2'(U_2', V_2')$ 、第二全景攝影機 724 的補償後鏡面參數 ξ_2' 以及式(54) 來計算射線 L_2' 的第二方向向量 d_2' ，其中射線 L_2' 通過第二全景攝影機 724 的雙曲面鏡 7241 的焦點 C_{m2} 以及補償後第二平面座標 $q_2'(U_2', V_2')$ 投影至第二全景攝影機 724 的雙曲面鏡 7241 上的第二面點 P_{s2}' 。深度估測電路 160 可根據上述的三維深度估測演算法(式(52))計算出射線 L_1' 、 L_2' 之間最近距離的兩點 Q_1' 和 Q_2' 之中間點座標以作為目標點 Q_m' 的空間座標 (X_m', Y_m', Z_m') 。

【0063】 最後，由於目標點 Q_m' 的空間座標是以第一全景攝影機 722 的焦點 C_{m1} 為三維空間的空間座標中心(即原點)所估測出來的空間座標，因此，可將三維空間的空間座標中心位移至第一全景攝影機 722 與第二全景攝影機 724 的中間位置，如圖 9 所示。如此一來，即可得到目標點 Q 以第一全景攝影機 722 與第二全景攝影機 724 的中間位置為原點的三維資訊，其中目標點 Q 的空間座標為 $(X_m' + (D/2), Y_m', Z_m')$ ， D 為第一全景攝影機 722 與第二全景攝

影機 724 之間的基準線長度。

【0064】 以下請同時參照圖 9、圖 10A~圖 10D，圖 10A~圖 10D 是依照本發明一實施例的全景影像三維深度估測系統的三維深度資訊之錯誤率的分析示意圖。圖 10A~圖 10D 的橫軸是目標點 Q 至第一全景攝影機 722 與第二全景攝影機 724 之中間點的實際總距離，而縱軸則是估測錯誤率，其中圖 10A~圖 10D 分別為目標點 Q(實際的空間座標為 (X, Y, Z))的 X 值、Y 值、Z 值以及整體的錯誤率，未對校正參數進行補償所估測出來的錯誤率曲線分別標示為 1011~1014，而有對校正參數進行補償所估測出來的錯誤率曲線分別標示為 1021~1024。而 X 值、Y 值、Z 值以及整體的錯誤率可分別透過式(55)~式(58)來計算，其中 (X_i, Y_i, Z_i) 為全景影像三維深度估測系統所估測出來的目標點 Q 的空間座標。由圖 10A~圖 10D 可看出有對校正參數進行補償所估測出來的錯誤率明顯較低，且在實際總距離大於 500 公分時，尤為明顯。因此有對校正參數進行補償確實可提升全景影像三維深度估測系統的準確度。

$$\text{X 值錯誤率} = \frac{|X - X_i|}{|X|} \times 100\% \quad \text{式(55)}$$

$$\text{Y 值錯誤率} = \frac{|Y - Y_i|}{|Y|} \times 100\% \quad \text{式(56)}$$

$$\text{Z 值錯誤率} = \frac{|Z - Z_i|}{|Z|} \times 100\% \quad \text{式(57)}$$

$$\text{整體錯誤率} = \frac{\sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2}}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \times 100\% \quad \text{式(58)}$$

【0065】 以下請同時參照圖 9 與圖 10E，圖 10E 是依照本發明一

實施例的全景影像三維深度估測系統的三維深度資訊之錯誤率的分析示意圖。圖 10E 的橫軸是第一全景攝影機 722 與第二全景攝影機 724 之間的基準線長度 D ，而縱軸則是目標點 Q 的整體錯誤率。而整體錯誤率同樣可依據式(58)來計算。由圖 10E 可看出基準線長度 D 在約 38~150 公分的情況下，有對校正參數進行補償的全景影像三維深度估測系統的整體錯誤率可維持在 10%以下。

【0066】 以下請同時參照圖 1 及圖 11，圖 11 是依照本發明一實施例所繪示的全景影像三維深度估測方法的步驟流程圖。首先，在步驟 S900 中，可透過兩個全景影像擷取裝置 122、124 來擷取兩張全景影像，以取得目標點 Q 分別投影在此些全景影像平面中的第一平面座標與第二平面座標。接著，在步驟 S910 中，可根據每一個全景影像擷取裝置 122、124 的投影模型來計算每一個全景影像擷取裝置 122、124 的多個校正參數。然後，在步驟 S920 中，可根據每一個全景影像擷取裝置 122、124 的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對每一個全景影像擷取裝置 122、124 的此些校正參數進行補償。最後，在步驟 S930 中，可根據上述第一平面座標、上述第二平面座標以及此些補償曲線來計算目標點 Q 所處三維空間的空間座標。而此些離散資料可包括相對於每一個全景影像擷取裝置 122、124 的多個方位角或多個距離的多個實際空間座標以及對應於此些實際空間座標的多個影像座標。

【0067】 另外，本發明的實施例的全景影像三維深度估測方法可以由圖 1 至圖 9 實施例之敘述中獲致足夠的教示、建議與實施說明，因

此不再贅述。

【0068】 綜上所述，本發明實施例的全景影像三維深度估測系統以及全景影像三維深度估測方法可根據每一台全景攝影機的投影模型取得三維深度估測所需的多個校正參數，並根據每一台全景攝影機的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對每一台全景攝影機的此些校正參數進行補償。如此一來，可得到高準確度的全景攝影機的校正參數，從而改善全景攝影機影像扭曲失真以及解析度較低的缺點，並可提升全景影像三維深度估測系統在較遠的估測範圍的準確度。

【0069】 雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0070】

100：全景影像三維深度估測系統

1011~1014、1021~1024：錯誤率曲線

122、124：全景影像擷取裝置

140：校正電路

160：深度估測電路

210：雙曲面

215：雙曲線

220、7221、7241：雙曲面鏡

230、330：全景影像平面

240：攝影機

320：球面

522、622：全景攝影機

722：第一全景攝影機

724：第二全景攝影機

a 、 b 、 c ：參數

C_m 、 C_{m1} 、 C_{m2} 、 C_n ：焦點

CCS、 x 、 y 、 z ：攝影機座標系統

C_p ：攝影機投影中心

C_u 、 C_v ：影像中心座標

d ：距離

d_1 、 d_2 、 d_1' 、 d_2' ：方向向量

D ：基準線長度

f ：焦距

ICS、 u 、 v 、 u_1 、 v_1 、 u_2 、 v_2 ：影像座標系統

L_1 、 L_2 、 L_1' 、 L_2' ：射線

LN_j ：距離

OB：參考物

P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{s1}' 、 P_{s2}' ：面點

p : 參數

Q : 目標點

Q_1 、 Q_2 、 Q_1' 、 Q_2' 、 S_1 、 S_2 : 點

Q_m 、 Q_m' : 目標點

q 、 q_1 、 q_2 : 影像點

q_1' : 補償後第一平面座標

q_2' : 補償後第二平面座標

r : 影像半徑

r_1' : 第一影像半徑

r_2' : 第二影像半徑

r_b : 邊界

RL_1 : 射線

RL_2 : 反射線

$S900$ 、 $S910$ 、 $S920$ 、 $S930$: 步驟

X 、 Y 、 Z : 空間座標

α 、 α_1 、 α_2 : 俯仰角

β : 夾角

θ 、 θ_i 、 θ_1 、 θ_2 : 方位角

ξ : 鏡面參數

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種全景影像三維深度估測系統，包括：

兩個全景影像擷取裝置，用以擷取兩張全景影像以取得一目標點分別投影在兩個全景影像平面中的一第一平面座標與一第二平面座標；

一校正電路，耦接到該些全景影像擷取裝置，用以根據該些全景影像擷取裝置的每一者的投影模型以計算該些全景影像擷取裝置的每一者的多個校正參數，且根據該些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數進行補償；以及

一深度估測電路，耦接到該些全景影像擷取裝置以及該校正電路，根據該第一平面座標、該第二平面座標以及該些補償曲線來計算該目標點所處三維空間的一空間座標，

其中，該些離散資料包括：

多個實際空間座標，分別對應於該些全景影像擷取裝置的每一者的多個方位角或多個距離；以及

多個影像座標，分別對應於該些實際空間座標。

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述的全景影像三維深度估測系統，其中該些全景影像擷取裝置為水平架設(horizontally-aligned)且彼此平行，該些全景影像擷取裝置之間的基準線(baseline)的長度介於38公分至150公分之間，且該目標點與該些全景影像擷取裝置的距離小於10公尺。

【第3項】如申請專利範圍第1項所述的全景影像三維深度估測系統，其中該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數包括：

一影像中心座標，位於該全景影像擷取裝置的一雙曲面鏡的一焦點與該全景影像擷取裝置的一攝影機投影中心所形成的一直線與該些全景影像平面的一對應者的交點；以及

一鏡面參數，該鏡面參數為 $\frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon^2}$ ，其中 ε 為該全景影像擷取裝置的該雙曲面鏡的一離心率(eccentricity)。

【第4項】如申請專利範圍第3項所述的全景影像三維深度估測系統，其中：

該校正電路根據該些全景影像擷取裝置的每一者取得該些離散資料中的 i 組第一離散資料，其中所述 i 組第一離散資料的每一者包括一參考物的一第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 以及投影至該全景影像平面的一對應的第一影像座標 (U_i, V_i) ，其中 i 為大於 1 的正整數；

該校正電路根據該第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 計算一實際方位角 $\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{Y_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}\right)$ ，且根據該對應的第一影像座標 (U_i, V_i) 計算一未補償離散方位角 $\theta_i' = \sin^{-1}\left(\frac{U_i}{\sqrt{U_i^2 + V_i^2}}\right)$ ；

該校正電路計算該實際方位角 θ_i 與該未補償離散方位角 θ_i' 的差值以作為一補償角度值 $\Delta\theta$ ，且計算一第一實際影像座標 (U_i', V_i') ，其中該第一實際影像座標 $U_i' = U_i \cdot \cos(\Delta\theta) - V_i \cdot \sin(\Delta\theta)$ ，且該第一實際影像座標 $V_i' = U_i \cdot \sin(\Delta\theta) + V_i \cdot \cos(\Delta\theta)$ ；

該校正電路計算所述 i 組第一離散資料的每一者的一離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ ，其中該離散座標補償量 $\Delta C_{ui} = U_i' - U_i - C_u$ ，且該離散座標補償量 $\Delta C_{vi} = V_i' - V_i - C_v$ ，其中 (C_u, C_v) 為該影像中心座標；以及

該校正電路將所述 i 組第一離散資料的每一者的該未補償離散方位角 θ_i' 與該離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得該全景影像擷取裝置的第一像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_u = f_1(\theta_c)$ 以及第二像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_v = f_2(\theta_c)$ ，其中 $(\Delta C_u, \Delta C_v)$ 為像素座標偏移補償量，且 θ_c 為未補償方位角。

【第5項】如申請專利範圍第4項所述的全景影像三維深度估測系統，其中：

該校正電路根據該些全景影像擷取裝置的每一者取得該些離散資料中的 j 組第二離散資料，其中所述 j 組第二離散資料的每一者包括該參考物的一第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 以及投影至該全景影像平面的一對應的第二影像座標 (U_j, V_j) ，其中 j 為大於 1 的正整數；

該校正電路根據該第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 計算一實際俯仰角 α_j ，其中 $\tan(\alpha_j) = \frac{Z_j}{\sqrt{X_j^2 + Y_j^2}}$ ；

該校正電路根據該對應的第二影像座標 (U_j, V_j) 、該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後影像座標 (U_j', V_j') ；

該校正電路計算該補償後影像座標 (U_j', V_j') 與一原點之間的距離以作為一影像半徑 $r_j' = \sqrt{(U_j')^2 + (V_j')^2}$ ；

該校正電路根據該全景影像擷取裝置的該鏡面參數計算該全景影像擷取裝置的一焦距；

該校正電路根據該影像半徑、該焦距以及該實際俯仰角計算對應於該影像半徑的一離心率，並據以計算一離散鏡面參數；

該校正電路計算該離散鏡面參數與該鏡面參數的差值以作為一離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ ；以及

該校正電路將所述 j 組第二離散資料的每一者的該影像半徑 r_j' 與該離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得該全景影像擷取裝置的一鏡面參數補償曲線 $\Delta \xi = f_3(r)$ ，其中 $\Delta \xi$ 為鏡面參數補償量，且 r 為該影像半徑。

【第6項】如申請專利範圍第5項所述的全景影像三維深度估測系統，其中：

將該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的距離保持不變，且調整該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的方位以取得所述 i 組第一離散資料；以及

將該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的方位保持不變，且調整該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的距離以取得所述 j 組第二離散資料。

【第7項】 如申請專利範圍第5項所述的全景影像三維深度估測系統，其中該些全景影像擷取裝置包括第一全景攝影機以及第二全景攝影機，其中：

該深度估測電路根據該第一平面座標、該第一全景攝影機的該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第一全景攝影機的該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後第一平面座標，且根據該第二平面座標、該第二全景攝影機的該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第二全景攝影機的該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後第二平面座標；

該深度估測電路根據該補償後第一平面座標計算該影像半徑以作為第一影像半徑，根據該第一影像半徑與該第一全景攝影機的該鏡面參數補償曲線計算該鏡面參數補償量以作為第一鏡面參數補償量，並根據該第一鏡面參數補償量與該第一全景攝影機的該鏡面參數計算該第一全景攝影機的一補償後鏡面參數；

該深度估測電路根據該補償後第二平面座標計算該影像半徑以作為第二影像半徑，根據該第二影像半徑與該第二全景攝影機的該鏡面參數補償曲線計算該鏡面參數補償量以作為第二鏡面參數補償量，並根據該第二鏡面參數補償量與該第二全景攝影機的該鏡面參數計算該第二全景攝影機的一補償後鏡面參數；

該深度估測電路根據該補償後第一平面座標與該第一全景攝影機的該補償後鏡面參數計算一第一方向向量，其中該第一方向向量通過該第一全景攝影機的該雙曲面鏡的該焦點以及該補償後

第一平面座標投影至該第一全景攝影機的該雙曲面鏡上的一第一面點；

該深度估測電路根據該補償後第二平面座標與該第二全景攝影機的該補償後鏡面參數計算一第二方向向量，其中該第二方向向量通過該第二全景攝影機的該雙曲面鏡的該焦點以及該補償後第二平面座標投影至該第二全景攝影機的該雙曲面鏡上的一第二面點；

該深度估測電路根據三維深度估測演算法計算出該第一方向向量與該第二方向向量最接近處的一中間點座標；以及

該深度估測電路根據該中間點座標以及該第一全景攝影機與該第二全景攝影機之間的基準線(baseline)的距離計算出該目標點所處三維空間的該空間座標。

【第8項】 一種全景影像三維深度估測方法，包括：

透過兩個全景影像擷取裝置來擷取兩張全景影像以取得一目標點分別投影在兩個全景影像平面中的一第一平面座標與一第二平面座標；

根據該些全景影像擷取裝置的每一者的投影模型以計算該些全景影像擷取裝置的每一者的多個校正參數；

根據該些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數進行補償；以及

根據該第一平面座標、該第二平面座標以及該些補償曲線來

計算該目標點所處三維空間的一空間座標，

其中，該些離散資料包括：

多個實際空間座標，分別對應於該些全景影像擷取裝置的每一者的多個方位角或多個距離；以及

多個影像座標，分別對應於該些實際空間座標。

【第9項】如申請專利範圍第8項所述的全景影像三維深度估測方法，其中該些全景影像擷取裝置為水平架設(horizontally-aligned)且彼此平行，該些全景影像擷取裝置之間的基準線(baseline)的長度介於38公分至150公分之間，且該目標點與該些全景影像擷取裝置的距離小於10公尺。

【第10項】如申請專利範圍第8項所述的全景影像三維深度估測方法，其中該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數包括：

一影像中心座標，位於該全景影像擷取裝置的一雙曲面鏡的一焦點與該全景影像擷取裝置的一攝影機投影中心所形成的一直線與該些全景影像平面的一對應者的交點；以及

一鏡面參數，該鏡面參數為 $\frac{2\varepsilon}{1+\varepsilon^2}$ ，其中 ε 為該全景影像擷取裝置的該雙曲面鏡的一離心率(eccentricity)。

【第11項】如申請專利範圍第10項所述的全景影像三維深度估測方法，其中所述根據該些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數進行補償的步驟包括：

根據該些全景影像擷取裝置的每一者取得該些離散資料中的

i 組第一離散資料，其中所述 i 組第一離散資料的每一者包括一參考物的一第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 以及投影至該全景影像平面的一對應的第一影像座標 (U_i, V_i) ，其中 i 為大於 1 的正整數；

根據該第一實際空間座標 (X_i, Y_i, Z_i) 計算一實際方位角 $\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{Y_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}\right)$ ，且根據該對應的第一影像座標 (U_i, V_i) 計算一未

補償離散方位角 $\theta_i' = \sin^{-1}\left(\frac{U_i}{\sqrt{U_i^2 + V_i^2}}\right)$ ；

計算該實際方位角 θ_i 與該未補償離散方位角 θ_i' 的差值以作為一補償角度值 $\Delta\theta$ ，且計算一第一實際影像座標 (U_i', V_i') ，其中該第一實際影像座標 $U_i' = U_i \cdot \cos(\Delta\theta) - V_i \cdot \sin(\Delta\theta)$ ，且該第一實際影像座標 $V_i' = U_i \cdot \sin(\Delta\theta) + V_i \cdot \cos(\Delta\theta)$ ；

計算所述 i 組第一離散資料的每一者的一離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ ，其中該離散座標補償量 $\Delta C_{ui} = U_i' - U_i - C_u$ ，且該離散座標補償量 $\Delta C_{vi} = V_i' - V_i - C_v$ ，其中 (C_u, C_v) 為該影像中心座標；以及

將所述 i 組第一離散資料的每一者的該未補償離散方位角 θ_i' 與該離散座標補償量 $(\Delta C_{ui}, \Delta C_{vi})$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得該全景影像擷取裝置的第一像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_u = f_1(\theta_c)$ 以及第二像素座標偏移量補償曲線 $\Delta C_v = f_2(\theta_c)$ ，其中 $(\Delta C_u, \Delta C_v)$ 為像素座標偏移補償量，且 θ_c 為未補償方位角。

【第12項】如申請專利範圍第11項所述的全景影像三維深度估測方法，其中所述根據該些全景影像擷取裝置的每一者的多組離散

資料來進行運算並擬合出多條補償曲線，以對該些全景影像擷取裝置的每一者的該些校正參數進行補償的步驟還包括：

根據該些全景影像擷取裝置的每一者取得該些離散資料中的 j 組第二離散資料，其中所述 j 組第二離散資料的每一者包括該參考物的一第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 以及投影至該全景影像平面的一對應的第二影像座標 (U_j, V_j) ，其中 j 為大於 1 的正整數；

根據該第二實際空間座標 (X_j, Y_j, Z_j) 計算一實際俯仰角 α_j ，其中 $\tan(\alpha_j) = \frac{Z_j}{\sqrt{X_j^2 + Y_j^2}}$ ；

根據該對應的第二影像座標 (U_j, V_j) 、該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後影像座標 (U_j', V_j') ；

計算該補償後影像座標 (U_j', V_j') 與一原點之間的距離以作為一影像半徑 $r_j' = \sqrt{(U_j')^2 + (V_j')^2}$ ；

根據該全景影像擷取裝置的該鏡面參數計算該全景影像擷取裝置的一焦距；

根據該影像半徑、該焦距以及該實際俯仰角計算對應於該影像半徑的一離心率，並據以計算一離散鏡面參數；

該校正電路計算該離散鏡面參數與該鏡面參數的差值以作為一離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ ；以及

將所述 j 組第二離散資料的每一者的該影像半徑 r_j' 與該離散鏡面參數補償量 $\Delta \xi_j$ 透過曲線擬合方法進行擬合，以取得該全景影

像擷取裝置的一鏡面參數補償曲線 $\Delta\xi = f_3(r)$ ，其中 $\Delta\xi$ 為鏡面參數補償量，且 r 為該影像半徑。

【第13項】如申請專利範圍第12項所述的全景影像三維深度估測方法，其中：

將該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的距離保持不變，且調整該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的方位以取得所述 i 組第一離散資料；以及

將該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的每一者的方位保持不變，且調整該參考物相對於該些全景影像擷取裝置的距離以取得所述 j 組第二離散資料。

【第14項】如申請專利範圍第12項所述的全景影像三維深度估測方法，其中該些全景影像擷取裝置包括第一全景攝影機以及第二全景攝影機，其中所述根據該第一平面座標、該第二平面座標以及該些補償曲線來計算該目標點所處三維空間的一空間座標的步驟包括：

根據該第一平面座標、該第一全景攝影機的該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第一全景攝影機的該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後第一平面座標，且根據該第二平面座標、該第二全景攝影機的該第一像素座標偏移量補償曲線以及該第二全景攝影機的該第二像素座標偏移量補償曲線計算一補償後第二平面座標；

根據該補償後第一平面座標計算該影像半徑以作為第一影像

半徑，根據該第一影像半徑與該第一全景攝影機的該鏡面參數補償曲線計算該鏡面參數補償量以作為第一鏡面參數補償量，並根據該第一鏡面參數補償量與該第一全景攝影機的該鏡面參數計算該第一全景攝影機的一補償後鏡面參數；

根據該補償後第二平面座標計算該影像半徑以作為第二影像半徑，根據該第二影像半徑與該第二全景攝影機的該鏡面參數補償曲線計算該鏡面參數補償量以作為第二鏡面參數補償量，並根據該第二鏡面參數補償量與該第二全景攝影機的該鏡面參數計算該第二全景攝影機的一補償後鏡面參數；

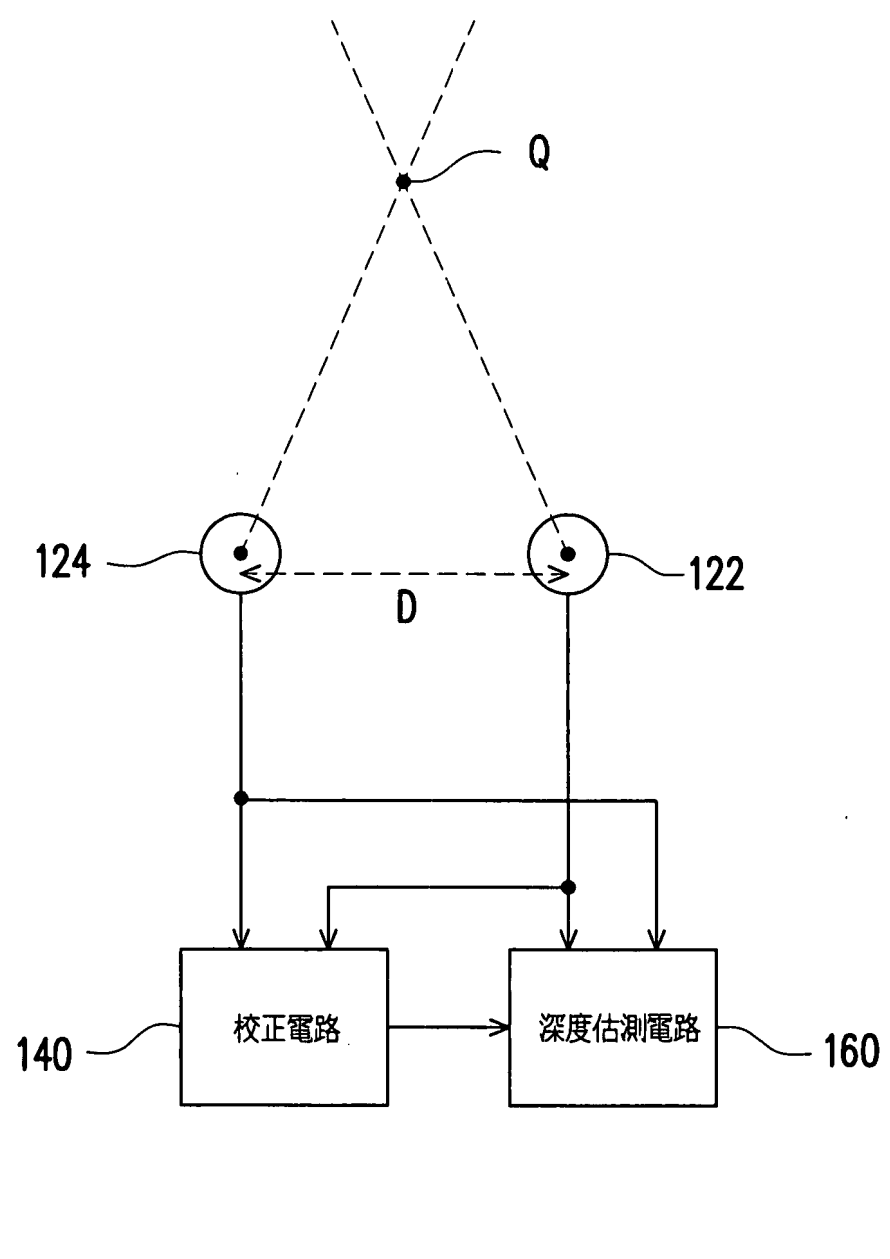
根據該補償後第一平面座標與該第一全景攝影機的該補償後鏡面參數計算一第一方向向量，其中該第一方向向量通過該第一全景攝影機的該雙曲面鏡的該焦點以及該補償後第一平面座標投影至該第一全景攝影機的該雙曲面鏡上的一第一面點；

根據該補償後第二平面座標與該第二全景攝影機的該補償後鏡面參數計算一第二方向向量，其中該第二方向向量通過該第二全景攝影機的該雙曲面鏡的該焦點以及該補償後第二平面座標投影至該第二全景攝影機的該雙曲面鏡上的一第二面點；

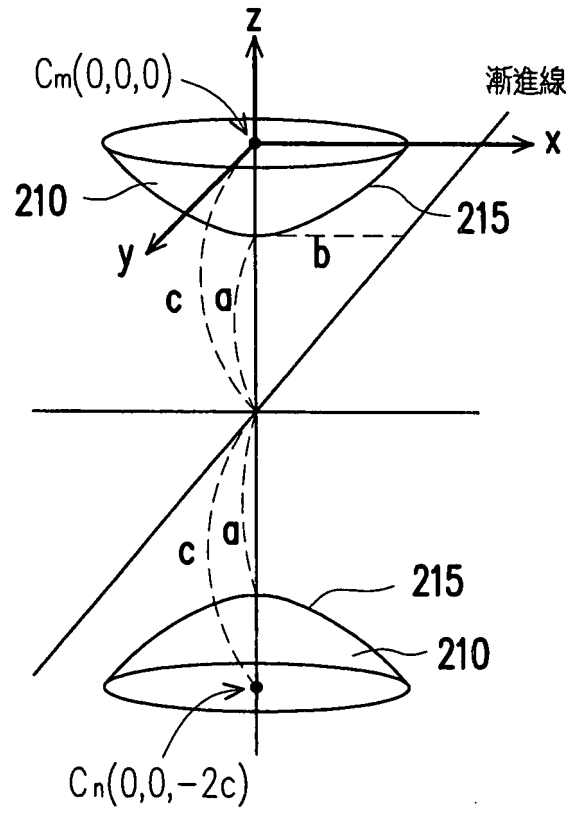
根據三維深度估測演算法計算出該第一方向向量與該第二方向向量最接近處的一中間點座標；以及

根據該中間點座標以及該第一全景攝影機與該第二全景攝影機之間的基準線(baseline)的距離計算出該目標點所處三維空間的該空間座標。

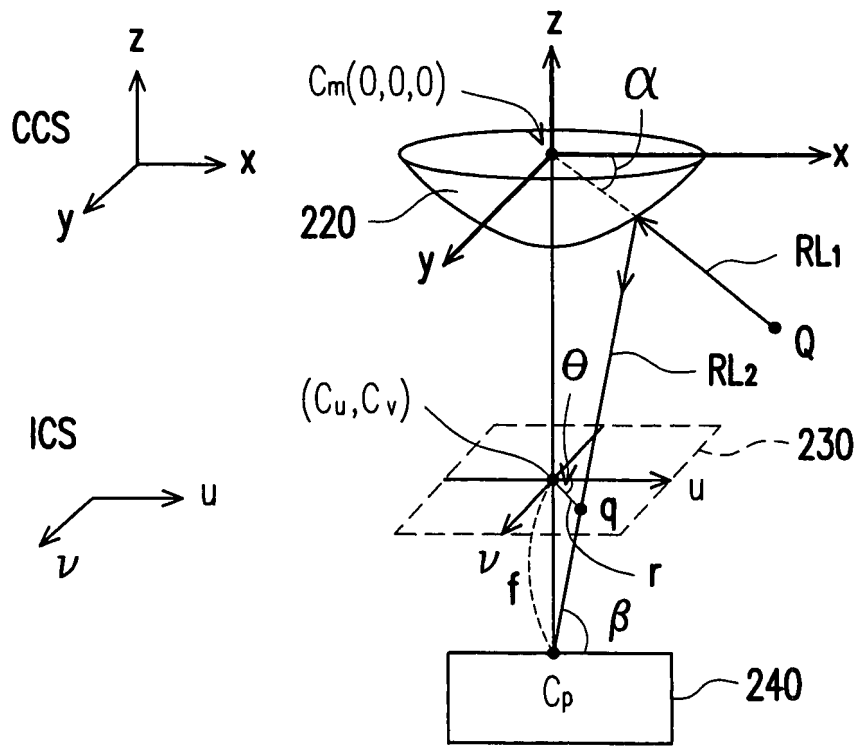
【發明圖式】



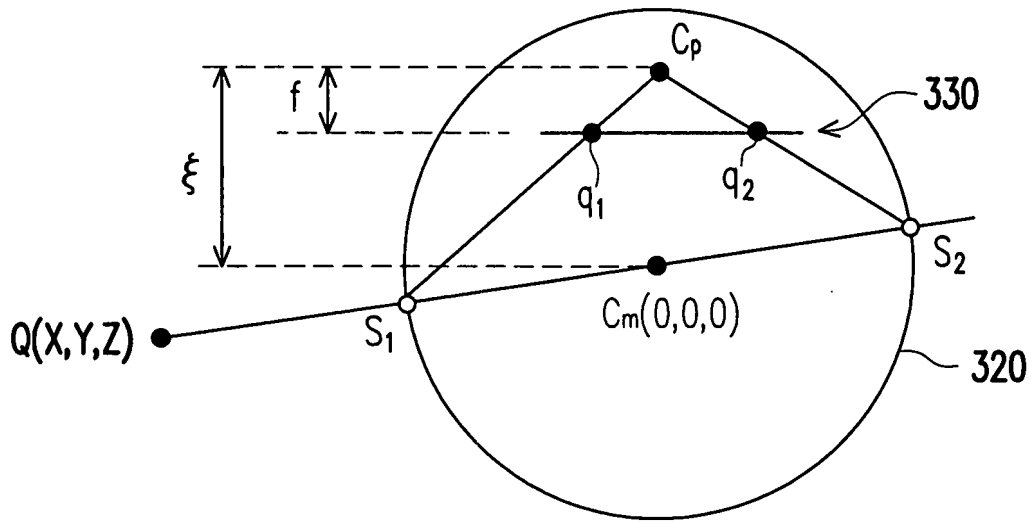
【圖1】



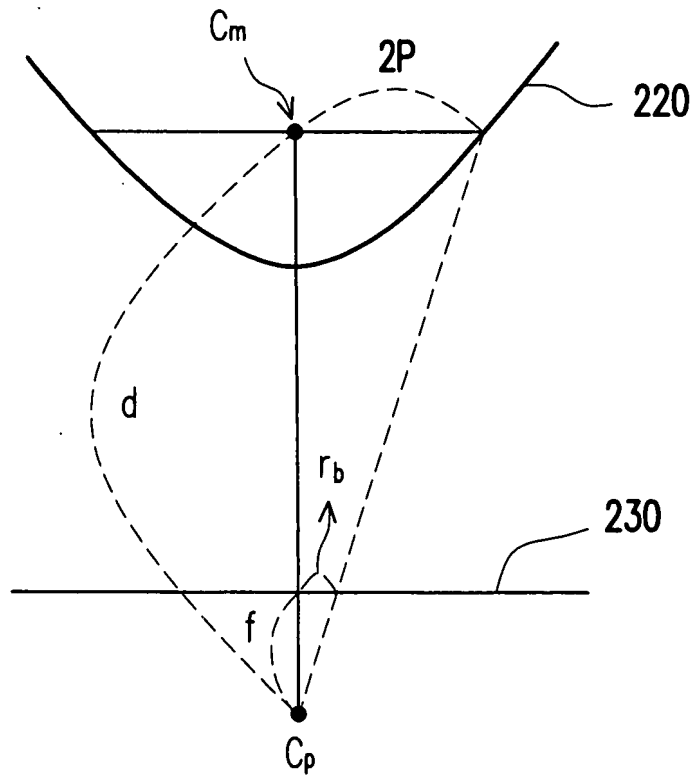
【圖2A】



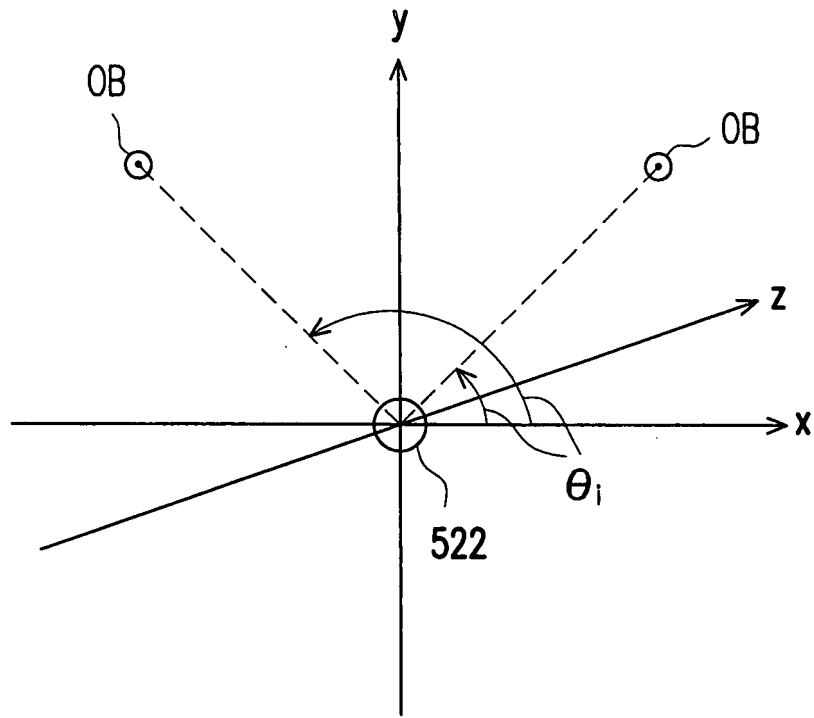
【圖2B】



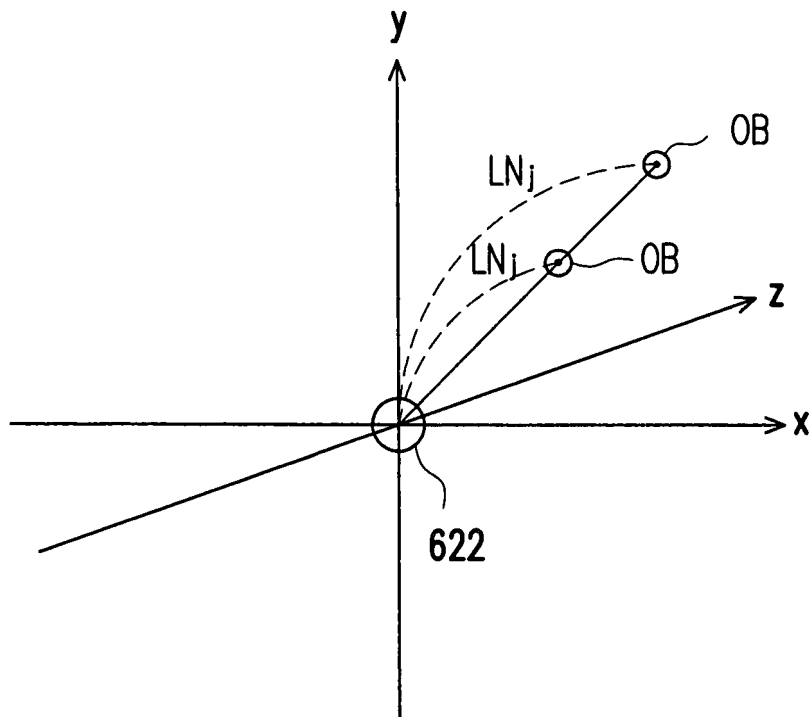
【圖3】



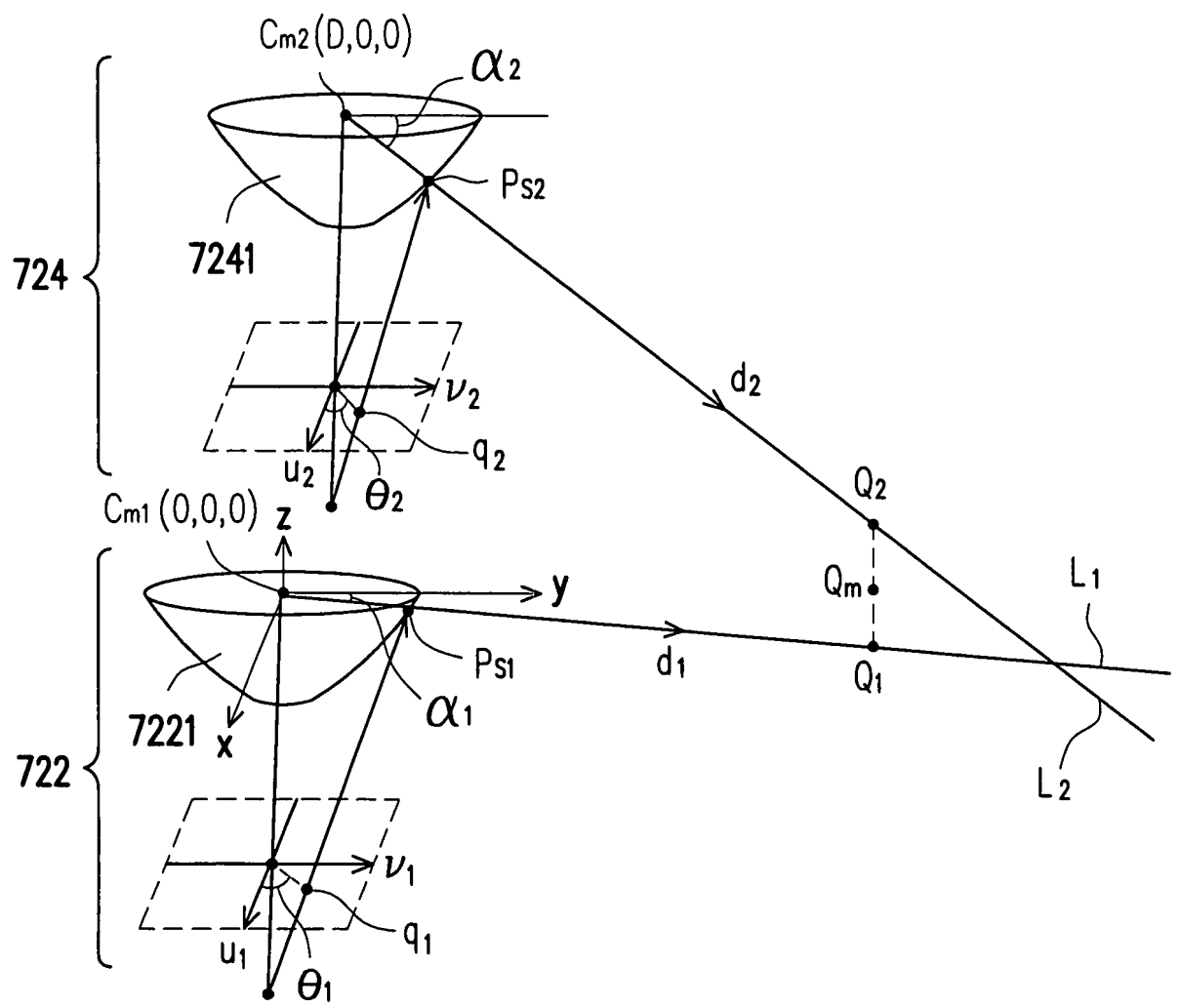
【圖4】



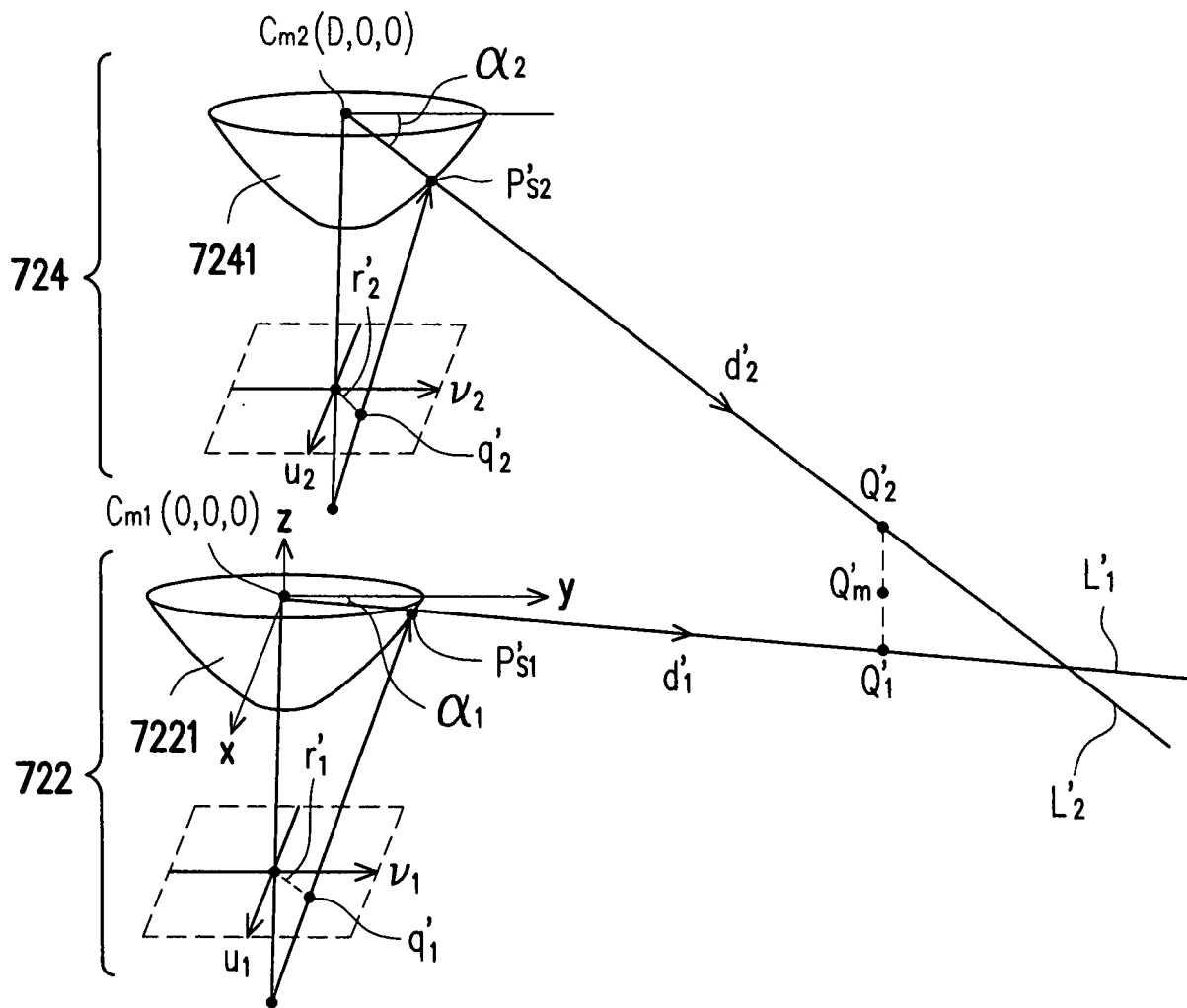
【圖5】



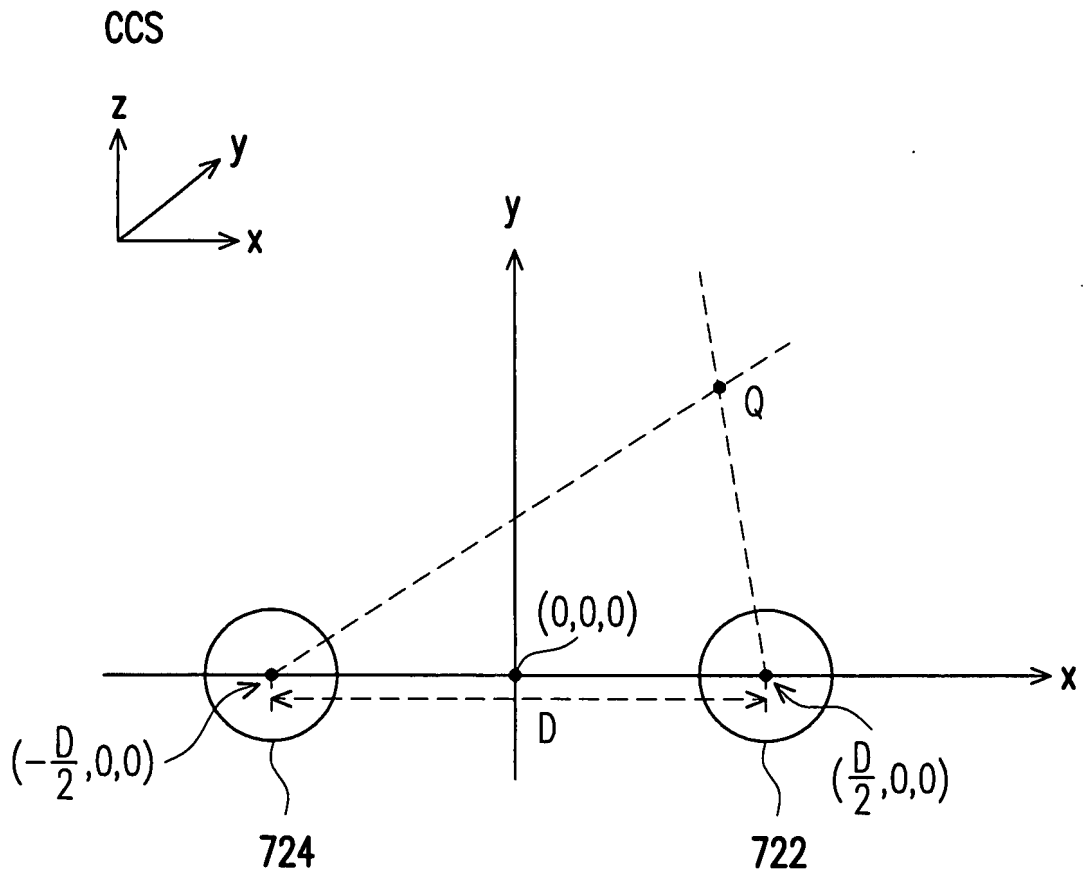
【圖6】



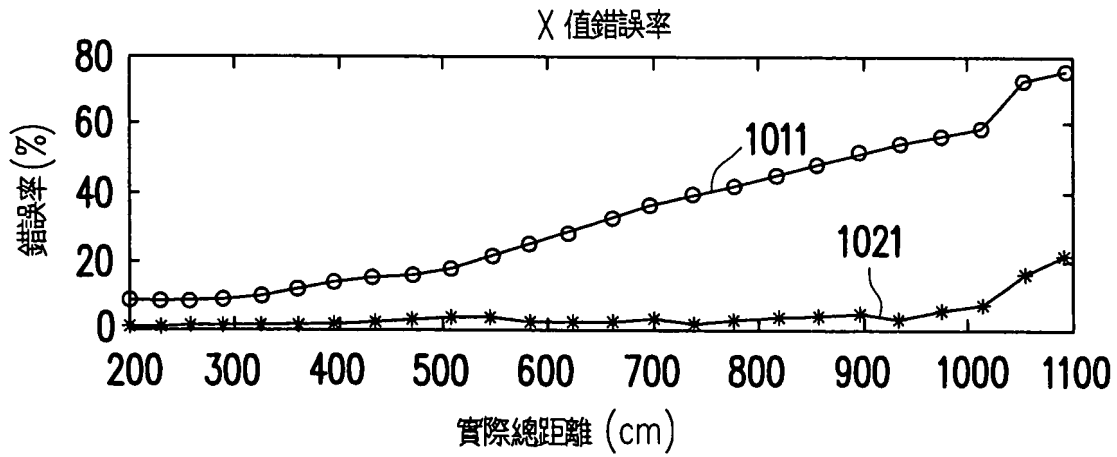
【圖7】



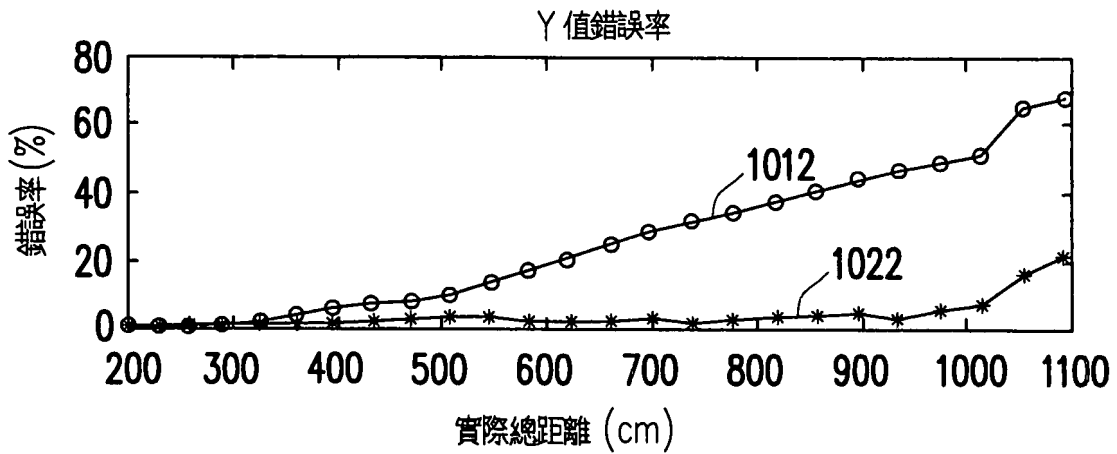
【圖8】



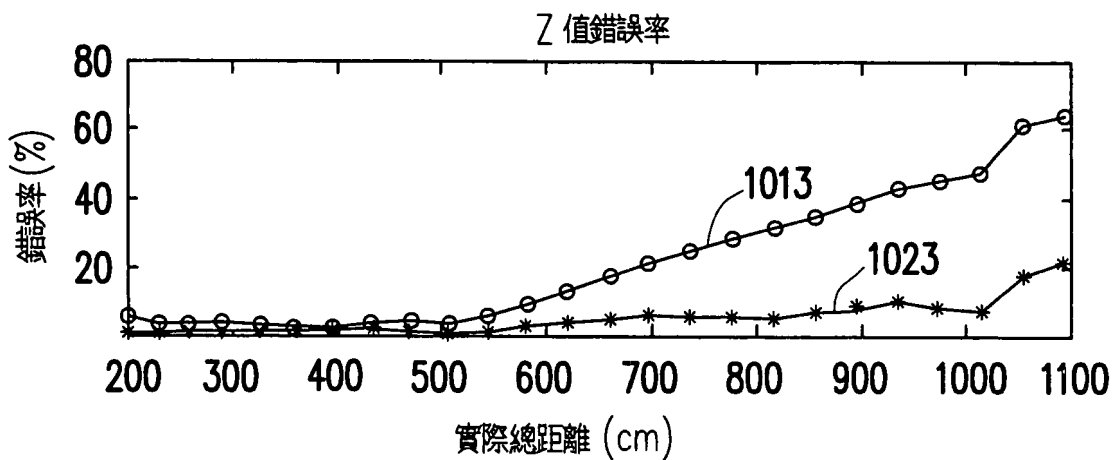
【圖9】



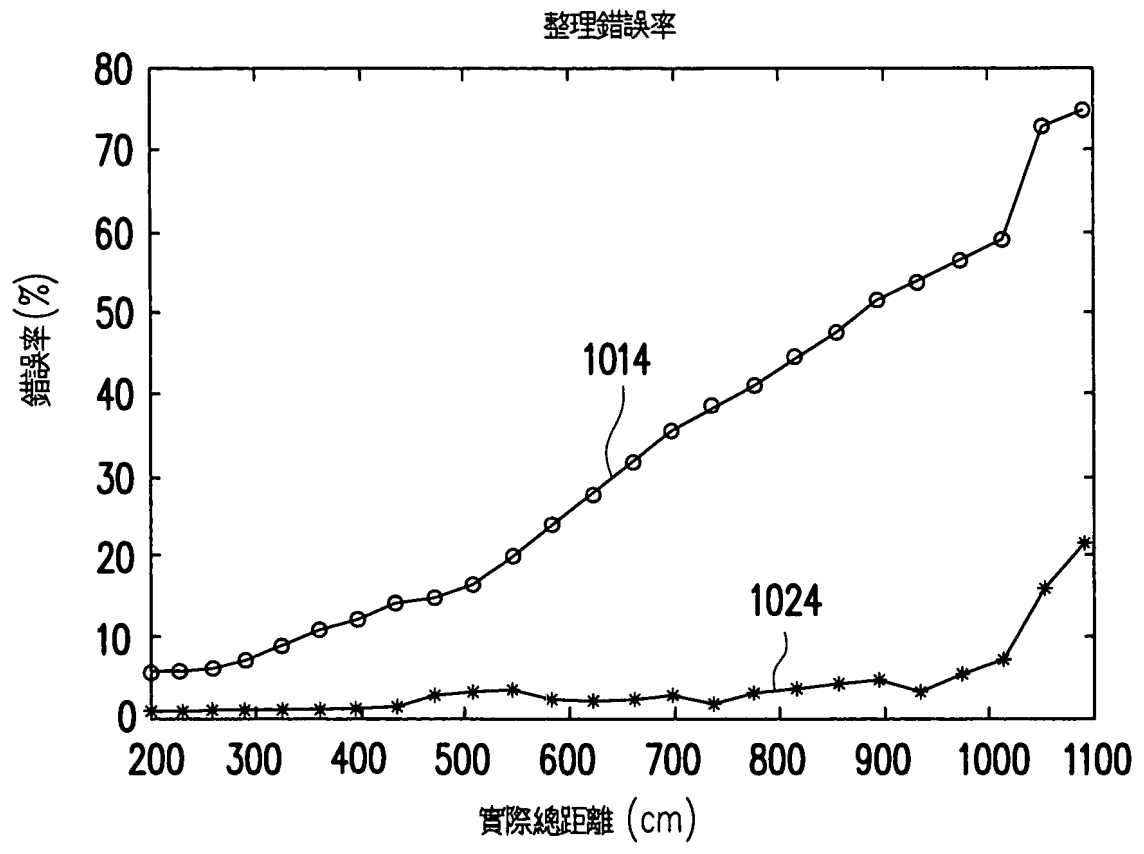
【圖10A】



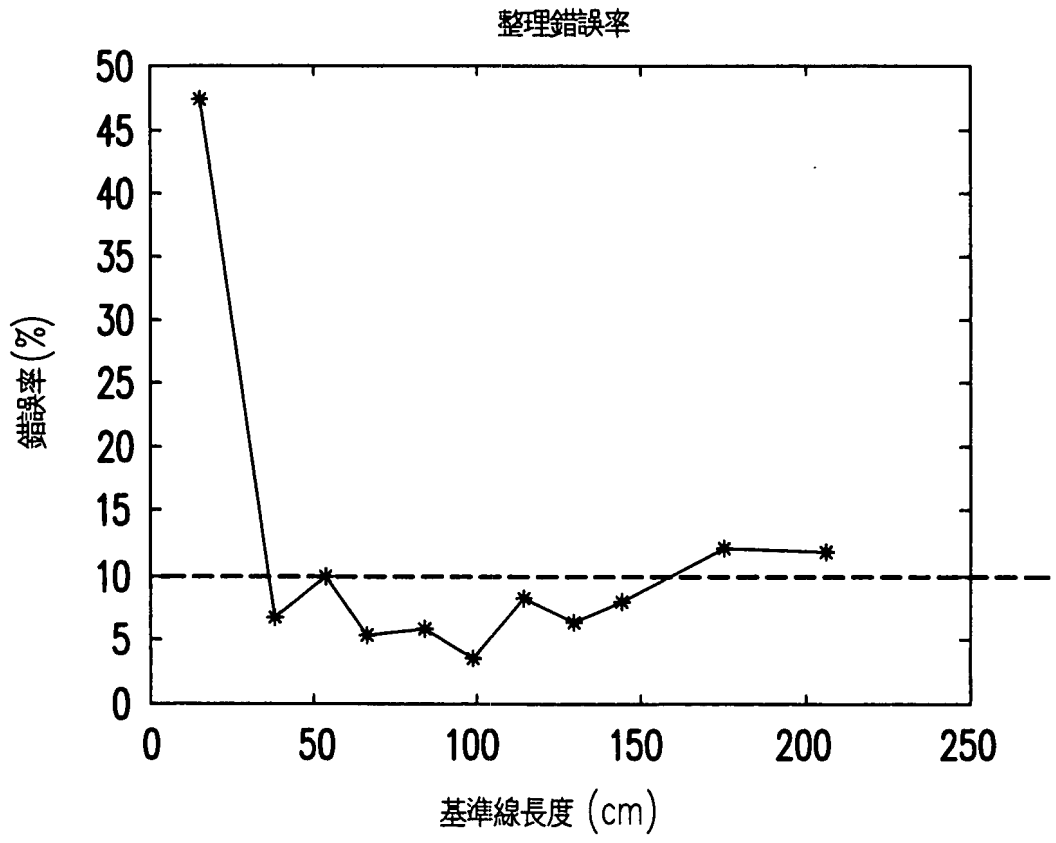
【圖10B】



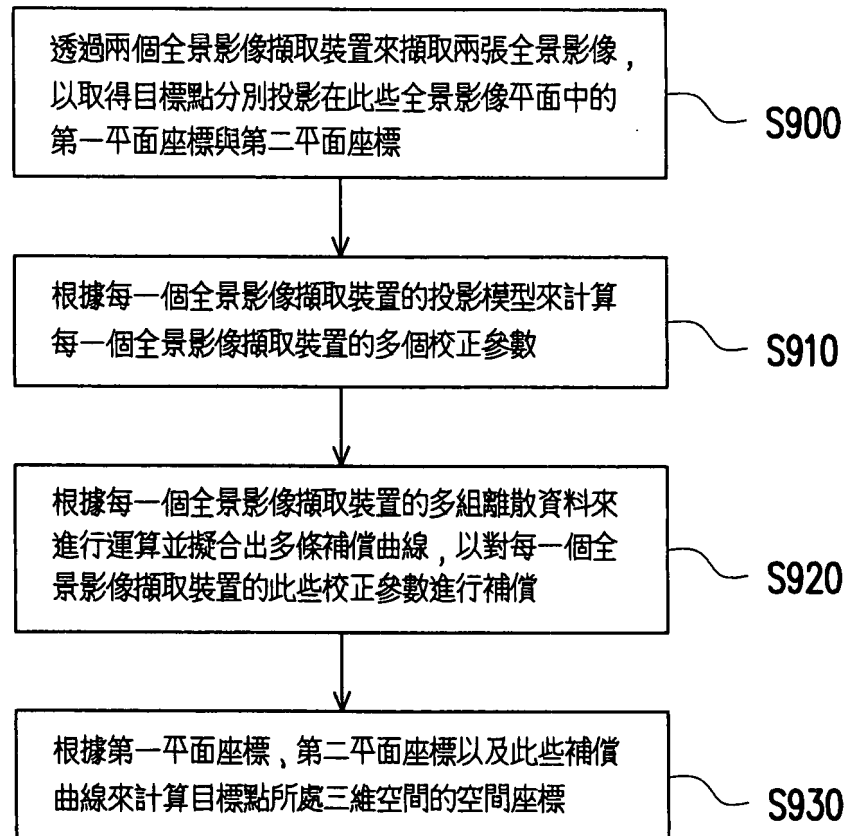
【圖10C】



【圖10D】



【圖10E】



【圖11】