

發明專利說明書 200634667

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：9210247

※申請日期：98.3.31

※IPC分類：

G06T7/20
G03B9/00

一、發明名稱：(中文/英文) 攝影機參數校正方法

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學 / National Chiao Tung University

代表人：(中文/英文) 張俊彥 / CHANG CHUN-YEN

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號 / 1001 Ta Hsueih Rd., Hsinchu, 300, Taiwan, R.O.C.

國籍：(中文/英文) 中華民國 / ROC

三、發明人：(共 2 人)

姓名：(中文/英文)

1. 陳冠文 / CHEN KUAN-WEN

2. 洪一平 / HUNG YI-PING

國籍：(中文/英文)

1、2. 中華民國 / ROC

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明為一種攝影機參數校正方法，主要是基於受到地心引力影響的運動物體對攝影機或相機進行校正。此方法首先使運動物體由於受到的地心引力影響而構成拋物線之運動軌跡、使攝影機以特定的快門速度，對在運動路徑中運動的運動物體連續拍攝，而獲得複數個特定拍攝時間和在影像座標上的特定xy位置的校正影像、以及依據透視投影幾何方程式，而基於影像座標的位置和拍攝時間獲得用來求出攝影機的內部參數和外部參數之平面投影轉換矩陣。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

沒有元件符號

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的
化學式：

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種攝影機參數校正方法，尤指基於受到地心引力影響的運動物體之校正方法。

【先前技術】

攝影機校正即利用世界座標與攝影機座標彼此之間所存在的理論上不會變動的關係參數值，而利用攝影機座標與攝影機拍攝到影像的圖像座標以及圖像座標與世界座標的轉換關係以及其變動情況，並藉由攝影機拍攝到校正物的圖像座標進行攝影機參數值校正。

一般來說，攝影機參數值可分為內在參數和外參數。攝影機的內在參數主要為有關攝影機座標與影像座標間的關係，即攝影機本身的一些性質，包括成像中心點、攝影機焦距等。而外參數則表示該攝影機在世界座標與攝影機座標間的關係，即攝影機的偏轉角度與位置。所以，透過校正外參數可得到不同攝影機座標間的轉換，因此可由一台攝影機所得到的影像透過外參數找到另一台攝影機所得到的影像上相對應的點。

以上所述的座標轉換方式以及與內在參數和外參數的關係式，簡單描述如下：

令影像座標上的任意點 m 表示式為： $m = [u, v]^T$ ；而 3D 的空間座標上的任意點 M 表示式為： $M = [X, Y, Z]^T$ ，若冠以 \sim 符號代表齊次向量，為原向量增加一個元素 1 則： $\tilde{m} = [x, y, 1]^T$ 且

$\tilde{\mathbf{M}} = [X, Y, Z, 1]^T$ 。因此，3D 空間座標上的 M 點與影像座標上的 m 點之間的關係則可表示成：

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{A}[\mathbf{R}|\mathbf{T}]\tilde{\mathbf{M}}, \text{ with } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

s 為任意的比例係數(scale factor)； $[\mathbf{R}|\mathbf{T}]$ 為外在參數；R 與 T 為攝影機旋轉與位移；A 為內在參數； (u_0, v_0) 為攝影機原點在影像上垂直投影的座標； α 與 β 分別為影像上 u, v 軸的比例係數； γ 為表示兩條影像上的軸的歪斜。如此，可利用方程式(1)將物體在世界座標和攝影機座標之間作轉換。以下，以 \mathbf{A}^{-T} 來表示 $(\mathbf{A}^{-1})^T$ 或 $(\mathbf{A}^T)^{-1}$ 。

假設攝影機拍攝到校正物，其在世界座標中的 $Z = 0$ 。且我們以 r_i 來表示矩陣 R 的第 i 行，因此(1)式可推成：

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{r}_3 & \mathbf{t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

接著可再推導成：

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{H}\tilde{\mathbf{M}}, \text{ with } \mathbf{H} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{t} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

這其中，H 為 3×3 的平面投影轉換矩陣(homography matrix)，可表示 M 與 m 之間的對應關係。

由於 $H = [h_1 \ h_2 \ h_3]$ ，因此方程式(3)可為：

$$[h_1 \ h_2 \ h_3] = \lambda \mathbf{A} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 & \mathbf{r}_2 & \mathbf{t} \end{bmatrix} \quad (4)$$

在此 λ 為比例參數， r_1 與 r_2 為單位正切(orthonormal)的 3D 向量，因此由方程式(4)可得兩個內在參數矩陣 A 的條件限制式(constraints)：

$$\begin{cases} \|\mathbf{r}_1\| = \|\mathbf{r}_2\| \\ \mathbf{r}_1 \cdot \mathbf{r}_2 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_1 = \mathbf{h}_2^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 & (5) \\ \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 = 0 & (6) \end{cases}$$

令

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \\ &= \begin{bmatrix} B_{11} & B_{21} & B_{31} \\ B_{12} & B_{22} & B_{32} \\ B_{13} & B_{23} & B_{33} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\alpha^2} & -\frac{\gamma}{\alpha^2 \beta} & \frac{v_0 \gamma - u_0 \beta}{\alpha^2 \beta} \\ -\frac{\gamma}{\alpha^2 \beta} & \frac{\gamma^2}{\alpha^2 \beta^2} + \frac{1}{\beta^2} & -\frac{\gamma(v_0 \gamma - u_0 \beta)}{\alpha^2 \beta^2} - \frac{v_0}{\beta^2} \\ \frac{v_0 \gamma - u_0 \beta}{\alpha^2 \beta} & -\frac{\gamma(v_0 \gamma - u_0 \beta)}{\alpha^2 \beta^2} - \frac{v_0}{\beta^2} & \frac{(v_0 \gamma - u_0 \beta)^2}{\alpha^2 \beta^2} + \frac{v_0^2}{\beta^2} + 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

由於 B 為對稱矩陣，因此可用 6D 的向量來表示：

$$\mathbf{b} = [B_{11} \ B_{12} \ B_{22} \ B_{13} \ B_{23} \ B_{33}]^T \quad (8)$$

令第 i 行的 H 為 $\mathbf{h}_i = [h_{i1} \ h_{i2} \ h_{i3}]^T$ ，則：

$$\mathbf{h}_i^T \mathbf{B} \mathbf{h}_j = \mathbf{v}_{ij}^T \mathbf{b} \quad (9)$$

$$\text{with } \mathbf{v}_{ij} = \begin{bmatrix} h'_{i1} h'_{j1} & h'_{i1} h'_{j2} + h'_{i2} h'_{j1} & h'_{i2} h'_{j2} \\ h'_{i3} h'_{j1} + h'_{i1} h'_{j3} & h'_{i3} h'_{j2} + h'_{i2} h'_{j3} & h'_{i3} h'_{j3} \end{bmatrix}$$

由條件限制式可得

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v}_{12}^T \\ (\mathbf{v}_{11} - \mathbf{v}_{22})^T \end{bmatrix} \mathbf{b} = 0 \quad (10)$$

因為 b 有 6 個未知數且 b 的值為比例係數相關，所以當取像張數 $n \geq 3$ ，可求 b 的 maximum likelihood 解，即使以下的式子結果為最小

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \|\mathbf{m}_y - \hat{\mathbf{m}}(\mathbf{A}, \mathbf{R}_i, \mathbf{t}_i, \mathbf{M}_j)\|^2 \quad (11)$$

求得 b 之後，則可求得內在參數，如下

$$\begin{aligned}
 v_0 &= (B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23}) / (B_{11}B_{22} - B_{12}^2) \\
 \lambda &= B_{33} - [B_{13}^2 + v_0(B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})] / B_{11} \\
 \alpha &= \sqrt{\lambda / B_{11}} \\
 \beta &= \sqrt{\lambda B_{11} / (B_{11}B_{22} - B_{12}^2)} \\
 \gamma &= -B_{12}\alpha^2\beta / \lambda \\
 u_0 &= \gamma v_0 / \beta - B_{13}\alpha^2 / \gamma
 \end{aligned} \tag{12}$$

在已知內在參數 A 之後，再用 Church 方法與 Arun 方法則能求得不同攝影機彼此間座標系轉換的外在參數 R 與 T。然而，在做攝影機外在參數校正時，需要讓多台攝影機同時看到校正物，而傳統校正方法的缺點是校正物為一個固定物體，不能隨意放大，或是當校正物太大時，要攜帶就會很不方便。

【發明內容】

本發明之主要目的在提供一種攝影機參數校正方法，藉著基於受到地心引力影響的運動物體，而對攝影機進行校正。本發明為一種攝影機參數校正方法，主要是基於受到地心引力影響的運動物體對攝影機進行校正。此方法首先使運動物體沿著其所受到的地心引力影響所構成的運動路徑而在世界座標上進行運動、使攝影機以特定的快門速度，對在運動路徑中運動的運動物體連續拍攝，而獲得複數個特定拍攝時間和在影像座標上的特定 xy 位置的校正影像、以及依據透視投影幾何方程式，而基於運動物體在影像座標的位置和拍攝時間來求出攝影機的內部參數和外部參數之平面投影轉換矩陣。

關於本發明之優點與精神可以藉由以下的發明詳述及所附圖式得到進一步的瞭解。

【實施方式】

由於，地心引力能產生一些限制(亦即 g 始終存在且大小與方向不變)，因此，使得受到地心引力影響的運動物體(在本發明中也可稱為校正物)在運動時會有一些物理上的特性。本發明攝影機參數校正方法，正是基於受到地心引力影響而運動的運動物體，對攝影機進行校正。

請參閱第 1 圖，第 1 圖為攝影機參數校正方法之示意圖。如第 1 圖所示，此方法大致為三個步驟而可獲得用來求出攝影機的內部參數和外部參數之平面投影轉換矩陣

(homography matrix)。此三個步驟為：S1 使運動物體沿著運動路徑而進行運動；S2 對運動物體連續拍攝，而獲得複數個校正影像；以及 S3 以透視投影幾何方程式求出用來獲得攝影機的內部參數和外部參數之平面投影轉換矩陣。

受到地心引力影響的運動物體種類十分多，但為了方便說明起見，底下僅以較為常見的自由落體和拋物體為例進一步說明本發明的方法。至於其他未列舉的運動物體，只要是受到受到地心引力影響均可依據本發明所提出的方法以及習知透視投影幾何(perspective projection geometry)方程式，求出平面投影轉換矩陣並進一步獲得攝影機的內部參數和外部參數。

若運動物體是由靜止狀態釋放時，運動路徑則呈現垂直線。因此，若沿著運動路徑為垂直線的運動物體時，其在

世界座標上的位置是以 Y 方向為 $\frac{1}{2}gt^2$ 、X 方向和 Z 方向不變來表示。若運動物體是以特定角度被投出時，運動路徑則呈現拋物線。因此，其在世界座標上的位置是以 X 方向為 vt 、Y 方向為 $\frac{1}{2}gt^2$ 和 Z 方向不變來表示。這其中， v 為速度； g 為重力加速度； t 為時間。

請參閱第 2 圖，第 2 圖為本發明對沿著拋物線運動的運動物體之連續拍攝示意圖。如第 2 圖所示，為獲得本發明步驟 S2 中的複數個校正影像，連續拍攝同一次拋球的多張影像，而以一連串影像上的球構成運動物體的拋物線軌跡，如此藉著合成後所產生的軌跡來做攝影機內在參數與外在參數校正。

請參閱第 3 圖，第 3 圖為本發明拋球之示意圖。如第 3 圖所示，對攝影機 30 作校正所需的拋球影響，操作者須將圓球狀的運動物體 10 往上拋。然後，運動物體 10 會因地心引力的關係而往下落下。

當攝影機 10 以特定的快門速度，對在如第 2 圖所示之運動路徑中運動的運動物體 10 連續拍攝時，可獲得複數個特定拍攝時間和在影像座標上的特定 xy 位置的校正影像。例如：在時間為 t_k 時且在 xy 位置為拋物線的最高點時可以獲得相對於此的校正影像。

當收集足夠數量的校正影像後，則可依據透視投影幾何 (perspective projection geometry) 方程式，而基於運動物體 10 在影像座標的 xy 位置和拍攝時間來求出攝影機 10 的內部參數和外部參數之一平面投影轉換矩陣 (homography matrix)。

由於每次拋球中所拍攝的每一張校正影像中的運動物體 10

在影像座標上的位置 (x, y) 均為已知，且在 3D 空間上由於運動物體 10 是沿著拋物線的運動路徑在運動，所以如方

程式(2)中的世界座標中的 Y 可用簡單的 $\frac{1}{2}gt^2$ 式子來表達，

且由於攝影機 10 的快門速度(亦即每秒拍攝張數)為已知，因此 t 也為已知，故 Y 為已知。也因為是沿著拋物線運動，所以 X 為 vt 。這其中， t 為已知但 v 為未知，不過在每次拋球中 v 為常數。若同樣以 h_i 表示 H 的第 i 行，則(2)可推得：

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vt \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

由於 v 為是常數，因此可乘到前面，(13)可得

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} vh_1 & h_2 & h_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

令拋物轉換矩陣 $H' = [vh_1 \ h_2 \ h_3]$ 則(14)可推成

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = H' \begin{bmatrix} t \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

如前所述 x, y, t, Y 均為已知，因此可求得用來求得內在參數和外在參數的 H' 。不過，需注意的是，由於要求得 homography H' ，因此必須在運動路徑上的至少 4 個不同的 xy 位置獲得至少 4 張校正影像，才可獲得拋物面與影像的轉換矩陣 H' 。不過，由於常會有測量上的誤差，所以在越多 xy 位置上獲得校正影像愈好，且若多於四個時可以用

最佳可能解(maximum likelihood estimation)來求得較適當的 H' 。由於基於 H' 而求出內在參數和外在參數屬於習知方法，因此，底下將簡略說明如何進一步求出內在參數和外在參數。

又 $[h'_1 \ h'_2 \ h'_3] = [vh_1 \ h_2 \ h_3]$ ，則方程式(5)和(6)可將 H 推成以 H' 來表示

$$\left(\frac{\mathbf{h}'_1}{v}\right)^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \left(\frac{\mathbf{h}'_1}{v}\right) = \mathbf{h}'_2{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_2 \quad (16)$$

$$\mathbf{h}'_1{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_2 = 0$$

令第 i 行的 H' 為 $\mathbf{h}'_i = [h'_{i1} \ h'_{i2} \ h'_{i3}]^T$ ，方程式(9)則成：

$$\mathbf{h}'_i{}^T \mathbf{B} \mathbf{h}'_j = \mathbf{v}_{ij}^T \mathbf{b} \quad (17)$$

$$\text{, with } \mathbf{v}_{ij} = \begin{bmatrix} h'_{i1}h'_{j1} & h'_{i1}h'_{j2} + h'_{i2}h'_{j1} & h'_{i2}h'_{j2} \\ h'_{i3}h'_{j1} + h'_{i1}h'_{j3} & h'_{i3}h'_{j2} + h'_{i2}h'_{j3} & h'_{i3}h'_{j3} \end{bmatrix}$$

再由方程式(16)可得：

$$\mathbf{v}_{i2}^T \mathbf{b} = 0 \quad (18)$$

\mathbf{b} 有 6 個未知數，不過 \mathbf{b} 的值為比例係數相關，因此必須使運動物體 10 被重新拋出至少 5 次並獲得相對數量的複數個校正影像，而每拋一次球，我們可得到一 H' ，則可得到一個對應的 \mathbf{v}_{ij} 。因此當拋球次數 $n \geq 5$ ，可得到足夠的式子(18)來解 \mathbf{b} ，並藉此採用習知的方程式進一步獲得內部參數。不過，有時會有測量誤差產生，所以若拋球取像愈多次所求得的值會愈精確。可用最佳可能解的方法，透過使方程式(11)為最小來求得較精確的結果。

在求得內在參數 \mathbf{A} 後，則每次拋球的水平速度 v ，可由方程式(16)求得。求得 v 之後，則 X, Y 均為已知，因此可以推估出球運動時的拋物線式子，接著可再由得到的拋物線式

子對之前找的点作修正，接著重覆做上面的步驟，能得到更好的結果。

在求得外在參數方面，只需要一次成功的拋球取像就能做校正。不過同樣的，愈多次成功取像再求 maximum likelihood 的解，所得到的結果會愈好。在已知內在參數 A 之後，我們可以很容易透過方程式(16)求得拋物線的水平速度 v ：

$$v^2 = \frac{\mathbf{h}'_1{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_1}{\mathbf{h}'_2{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_2} \quad \rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{\mathbf{h}'_1{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_1}{\mathbf{h}'_2{}^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}'_2}} \quad (19)$$

有 v 之後，則 (X, Y) 即可求得，接著可以很容易知道拋物線上的點兩兩間的距離。在得知拋物線上的各點間的距離之後，只要任取三點，由已知此三點兩兩間的距離，則能使用 Church method 來得到三點在不同攝影機 10 座標系中的座標，接著利用 Arun method 可在已知數點分別在兩台攝影機 10 的座標系中的 3 維座標，使用 SVD 的方法來求得兩攝影機 10 座標系間的轉換距陣 $[R|T]$ (即為要求的外在參數)。

Arun method: K. S. Arun, T. S. Huang, and S. D. Blostein, "Least-Squares Fitting of Two 3-D Point Sets," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 5, Sep. 1987, pp. 698-700.

Church method: E. Church, "Revised Geometry of the Aerial Photograph," Bulletin of Aerial Photogrammetry, No. 15, 1945.

綜上所述，本發明攝影機 10 參數校正方法，可依攝影機 10 取像做校正的需要來決定要拋出的拋物線的高與寬要多大，且攜帶也只需要帶一顆球就好。

藉由以上較佳具體實施例之詳述，係希望能更加清楚描述本發明之特徵與精神，而並非以上述所揭露的較佳具體實施例來對本發明之範疇加以限制。相反地，其目的是希望能涵蓋各種改變及具相等性的安排於本發明所欲申請之專利範圍的範疇內。

【圖式簡單說明】

第1圖為攝影機參數校正方法之示意圖。

第2圖為本發明對沿著拋物線運動的運動物體之連續拍攝示意圖。

第3圖為本發明拋球之示意圖。

【主要元件符號說明】

10 運動物體

30 攝影機

十、申請專利範圍：

1. 一種攝影機參數校正方法，係基於受到地心引力影響的一運動物體對一攝影機進行校正，該方法包含：

使該運動物體沿著其所受到的地心引力影響所構成的一運動路徑而在一世界座標上進行運動；

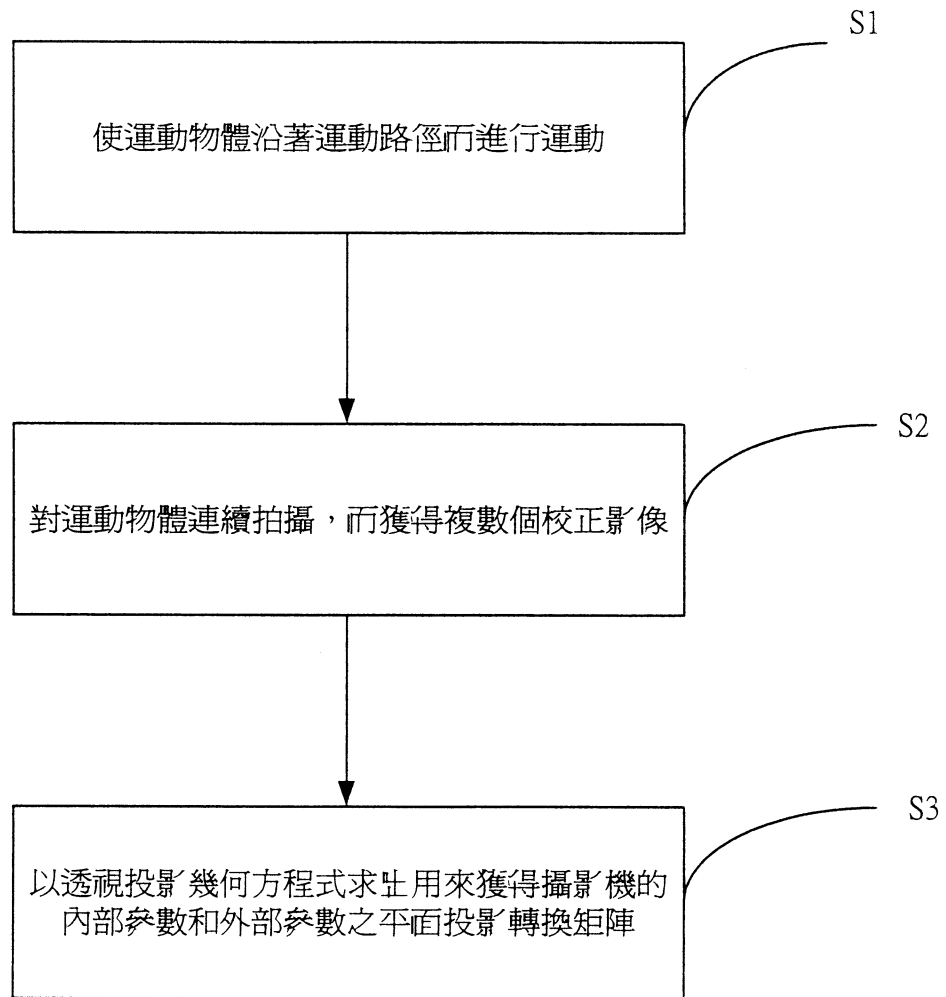
使該攝影機以特定的一快門速度，對在該運動路徑中運動的該運動物體連續拍攝，而獲得複數個特定一拍攝時間和在一影像座標上的特定一XY位置的一校正影像；以及

依據一攝影機成像方程式，而基於該運動物體在影像座標的該XY位置和該拍攝時間獲得該攝影機的一內部參數和一外部參數。

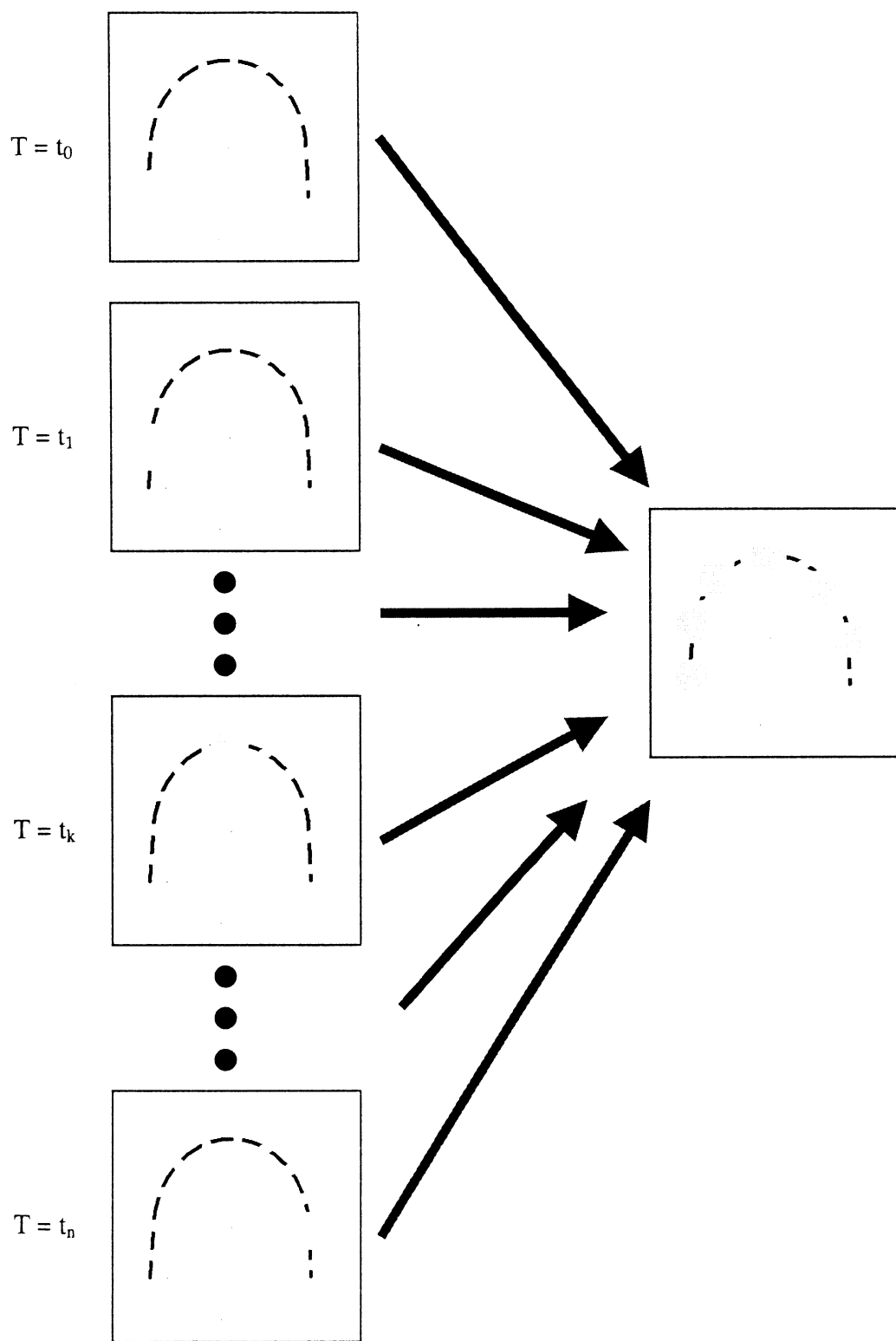
2. 如申請專利範圍第1項所述之校正方法，其中將該運動物體以一特定角度投出時，該運動路徑則呈現一拋物線。
3. 如申請專利範圍第4項所述之校正方法，其中若為沿著該運動路徑為該拋物線的該運動物體，其在該世界座標上的位置是以X方向為 v_x 、Y方向為 $\frac{1}{2}gt^2$ 和Z方向不變來表示；v為速度；g為

重力加速度； t 為時間。

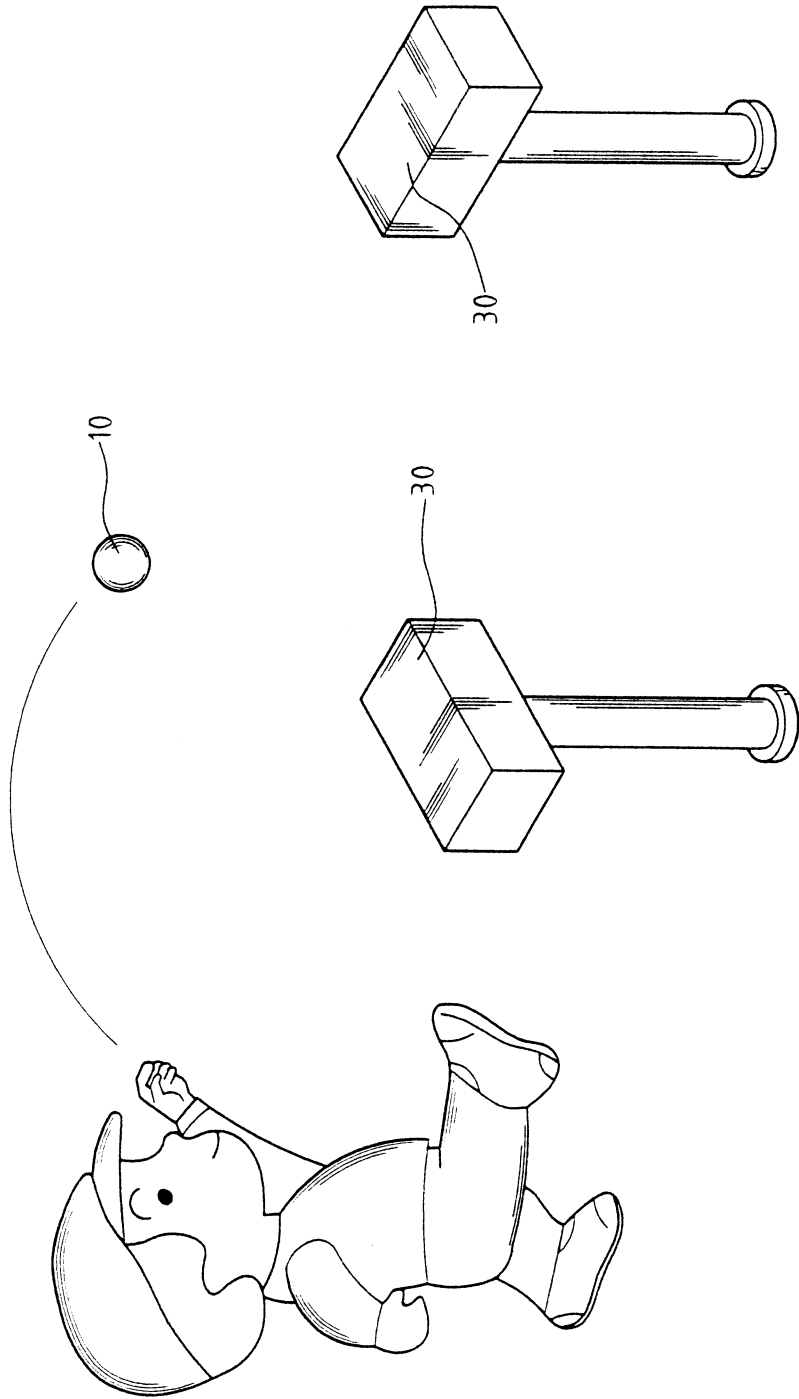
4. 如申請專利範圍第1項所述之校正方法，其中將該運動物體由靜止狀態釋放時，該運動路徑則呈現一垂直線。
5. 如申請專利範圍第4項所述之校正方法，其中沿著該運動路徑為該垂直線的該運動物體，其在該世界座標上的位置是以 Y 方向為 $\frac{1}{2}gt^2$ 、 X 方向和 Z 方向不變來表示； g 為重力加速度； t 為時間。
6. 如申請專利範圍第3項所述之校正方法，其中若為沿著該運動路徑為該拋物線的該運動物體，由於其 X 方向的 v_x 中的 v 為常數，因此其 X 方向可簡化成 t ，而依據該透視投影幾何方程式所獲得的該平面投影轉換矩陣也因乘上常數 v 變成一拋物轉換矩陣。
7. 如申請專利範圍第1項所述之校正方法，其中若為沿著該運動路徑為該拋物線的該運動物體，必須使該運動物體被重新拋出一次以上並獲得相對數量的複數個校正影像，而藉此獲得該內部參數。



第1圖



第2圖



第 3 圖