

第三章 研究方法

本論文提出一種新的 3D 動作擷取方法，能夠在電腦上模擬實際的人體動作，計算出人體關節點的三維座標，再模擬三維的人體連續動作影像。所需設備為一般的個人電腦與 3 台 CCD 攝影機，不需任何精密或昂貴的儀器，可應用於電腦遊戲製作及其他方面的應用。研究結果顯示本方法所製系統能有效的展現立體人像並可模擬不同的動作。

首先，設計拍攝相關問題，探討如何從影片中取出色球，安排色球與人體關節的方法，探討攝影機的非線性特性，討論修正此非線性的重要性，推導計算 3D 座標的方法等。

本研究之處理流程圖如圖 3-1 所示：

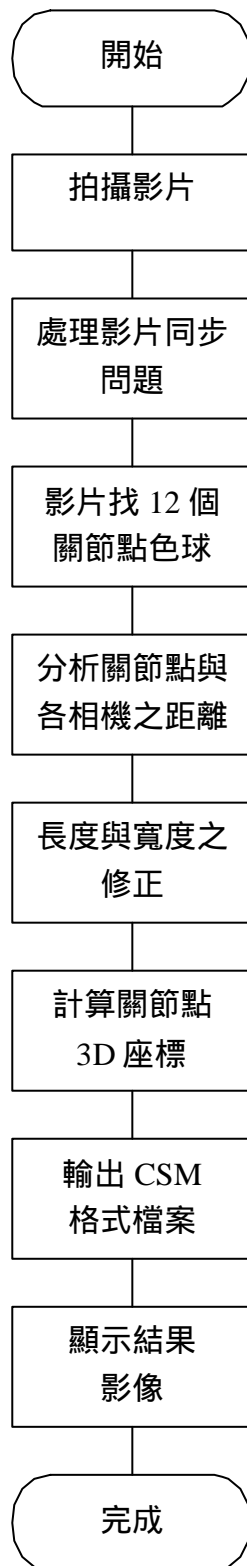


圖 3-1 本研究的動作擷取系統處理流程圖

第一節 從影像中取得六種顏色色塊

數位影像大小以 Pixel 為基本單位，影像類型可分為黑白影像及彩色影像，彩色影像包含 RGB 的資料，若圖片解析度為 640(Pixel)×480(Pixel)，則全彩影像所需的記憶體空間為 $640 \times 480 \times 24 \text{ bit} = 900 \text{ K byte}$ 。以基本色來調配所需顏色，基本色是指無法用其它色彩調配出來的顏色。一般是利用色加法來產生各種不同顏色，各種光色愈加會愈亮。

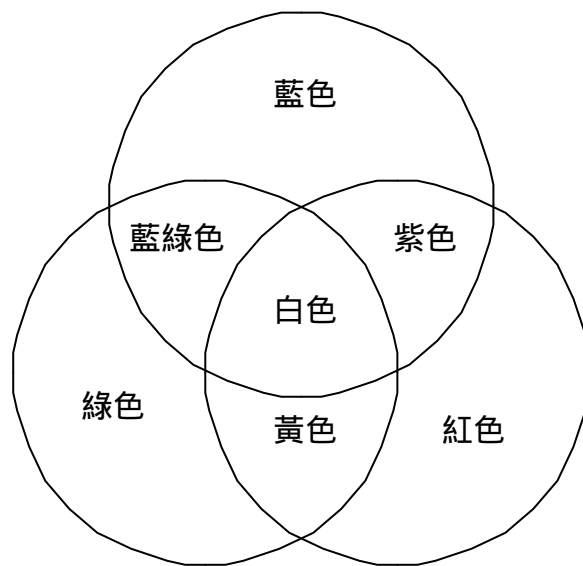


圖 3-2 三原色圖

自然界中肉眼所看到的顏色皆是由 Red(紅)、Green(綠)、Blue(藍)等三種顏色所組成，因此若要分析所拍攝到的色球是何種顏色，只須將畫面中所擷取的色點做 RGB 的顏色分析。

在自然環境下，顏色會隨著光線照射球面的角度及強度的不同，而產生出不

同的顏色，即 RGB 值會隨著亮度而變化，因此即使是同一顆色球，在透過 CCD 拍攝後所得的顏色，RGB 值也會不同，因此在分辨色球的顏色時，必須將亮度的影響加以考慮。

球面材質也是影響球面顏色變化的關鍵，以使用最不會受光線影響的材質較好，本研究所使用的是不織布，在研究過程中，曾使用的球面材質有海報紙、塑膠皮、布類材質，發現不織布的材質較可減少光的影響。而色球的製作方法為將不織布縫在直徑約 5 公分的保麗龍球上即可。實際拍攝時的黑色布幕也是用較不會反光的質料。

為了研究色塊的分佈範圍變化程度，因此實際拍攝了四種顏色色塊的圖片，並從圖片中各取出一小塊色塊，將色塊的所有像素點做 RGB 的分析，並加以統計其 RGB 值的分佈範圍。分析結果如以下四張圖：

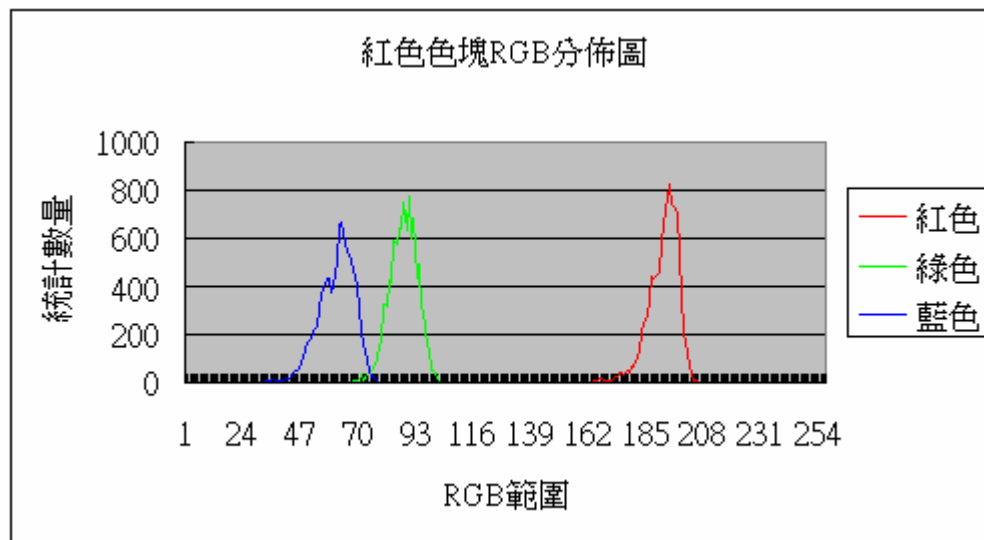


圖 3-3 紅色色塊 RGB 分佈圖

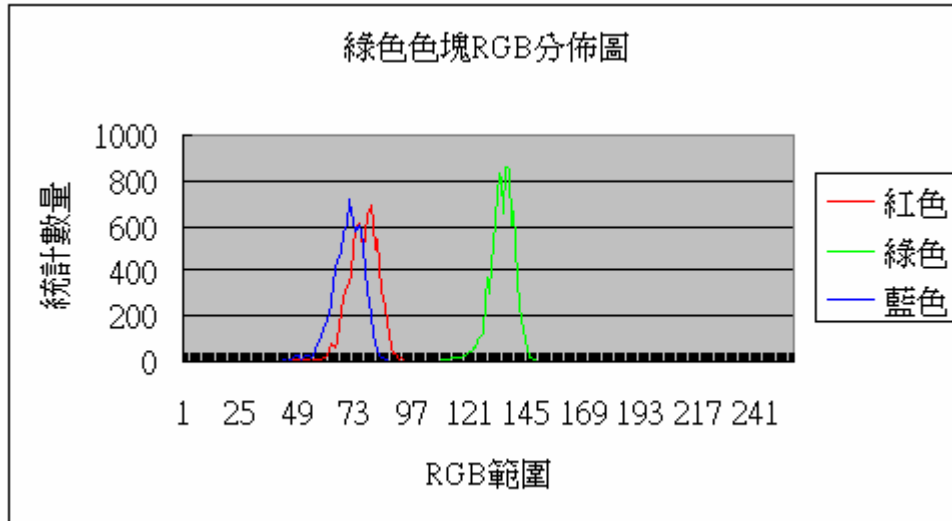


圖 3-4 綠色色塊 RGB 分佈圖

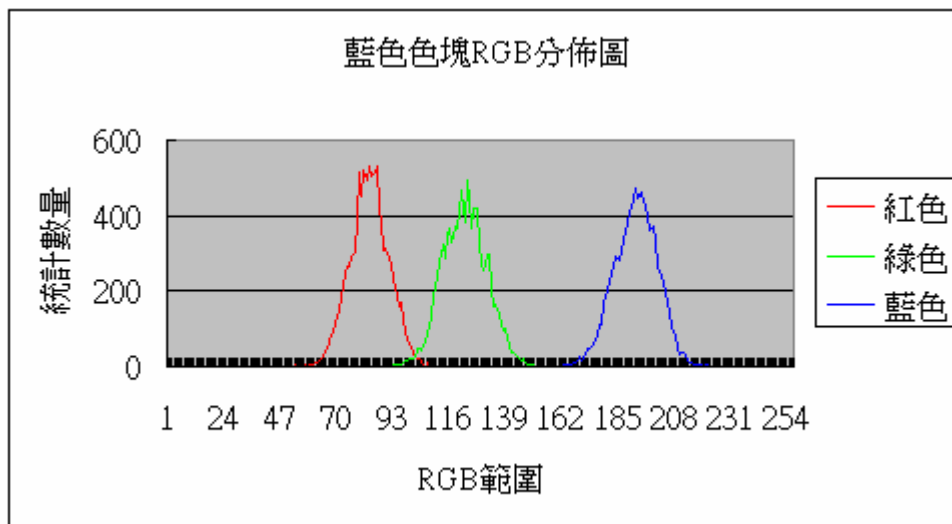


圖 3-5 藍色色塊 RGB 分佈圖

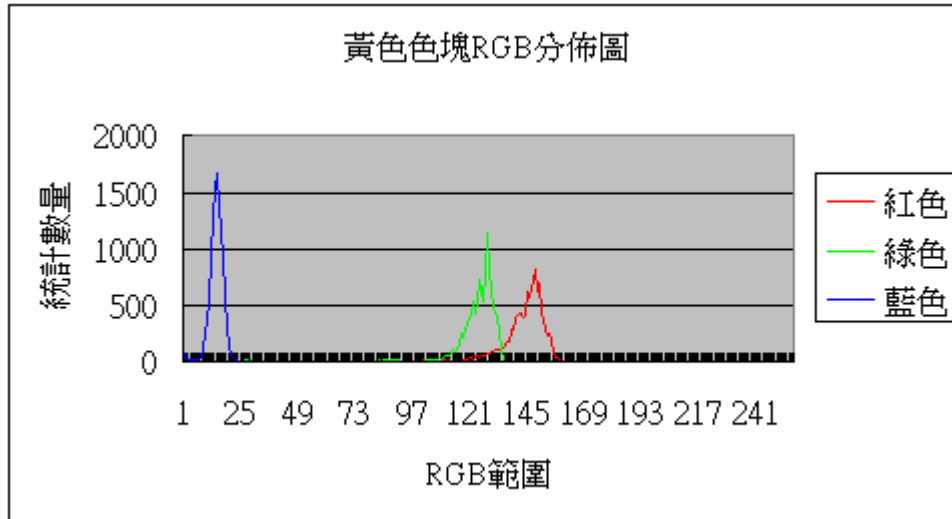


圖 3-6 黃色色塊 RGB 分佈圖

從此四張圖中可以發現，藍色色塊並不是只有 Blue 值，也包含了 Red 及 Green 值；紅色色塊並不是只有 Red 值，也包含了 Blue 及 Green 值；綠色色塊並不是只有 Green 值，也包含了 Blue 及 Red 值。所以在實際情況下，此三種顏色的布料並非純色，而是 RGB 的混色。

另外，也發現藍色色塊，其 Blue 分佈值大於 Red 值及 Green 值；紅色色塊，其 Red 分佈值大於 Blue 值及 Green 值；綠色色塊，其 Green 分佈值大於 Red 值及 Green 值。此時若想要分辨藍色、紅色及綠色的布料色塊，則只要取其色塊的 R、G、B 值，並判斷那個值較大，就可判別。

然而只能判別三個顏色並不能達成本研究的目標，因此本研究決定再分析這三個顏色的混合色，也就是黃色、紫色、及藍綠色。

而從黃色色塊的分佈圖中，可發現 Red 值及 Green 值皆大於 Blue 值，而 Red 值和 Green 值的範圍很接近，由於黃色原本就是由 Red 值和 Green 值組成，因此利用這種關係則可推斷，紫色為 Red 值及 Blue 值皆大於 Green 值，而 Red 值和 Blue 值的範圍很接近；藍綠色為 Green 值及 Blue 值皆大於 Red 值，而 Green 值和 Blue 值的範圍很接近。

綜合上述的關係，可推導出演算法如下：

紅色分辨演算法

$$(Red - Green) \geq |Green - Blue| \text{ 且 } (Red - Blue) \geq |Green - Blue|$$

即 Red 減 Green 大於等於 Green 和 Blue 差值的絕對值，且 Red 減 Blue 大於等於 Green 和 Blue 差值的絕對值時，表示此顏色為本研究所需的紅色，依此類推以下顏色之演算法。

綠色分辨演算法

$$(Green - Red) \geq |Red - Blue| \text{ 且 } (Green - Blue) \geq |Red - Blue|$$

藍色分辨演算法

$$(Blue - Red) \geq |Red - Green| \text{ 且 } (Blue - Green) \geq |Red - Green|$$

紫色分辨演算法

$$(Blue - Green) \geq |Blue - Red| \text{ 且 } (Red - Green) \geq |Blue - Red|$$

黃色分辨演算法

$$(Red - Blue) \geq |Red - Green| \text{ 且 } (Green - Blue) \geq |Red - Green|$$

藍綠色分辨演算法

$$(Blue - Red) \geq |Blue - Green| \text{ 且 } (Green - Red) \geq |Blue - Green|$$

圖 3-7 為 24Bits 全彩圖

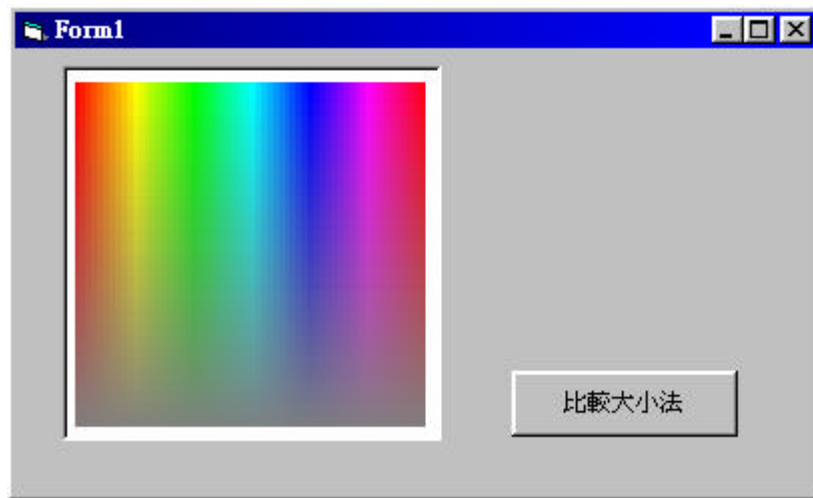


圖 3-7 分色畫面圖

圖 3-8 為使用本研究之分色方法所得到之結果

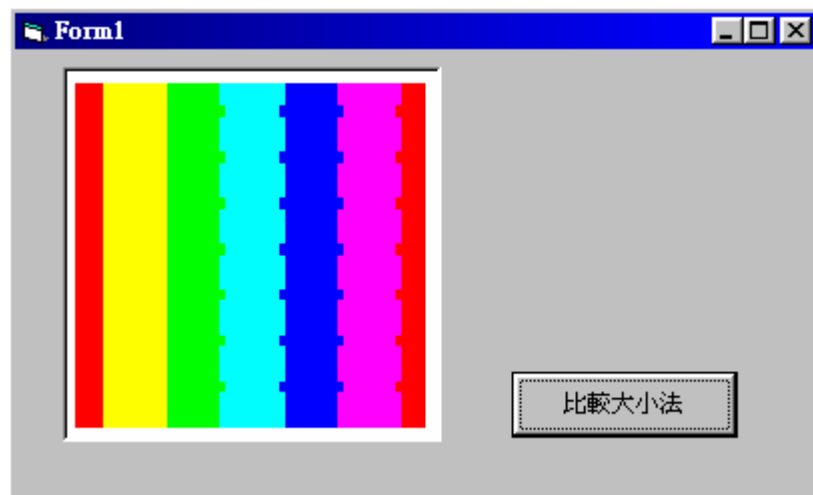


圖 3-8 分色畫面圖

從結果圖中，可發現本研究所使用的方法可以將全彩顏色快速的分成六個部份。因此本研究決定採用這個方法來辨識演員身上的色球顏色。

第二節 去除雜訊

由於在真實的情況下拍攝時，會出現雜訊，而出現雜訊的可能原因為：

1. 場地布幕設備及灰塵造成。
2. 光源太接近照射演員身體，造成衣服反射光線，便會產生雜訊。
3. 在辨識色球時，色球外圍的小部份面積因為光線太弱或太強，使得色球周圍的顏色改變，本研究也將此定義為雜訊；若此雜訊之面積過大時，則會造成關結點誤判的可能。

本研究去除雜訊的方法為，將分色好之圖片載入程式中，分析相同顏色並相連的像素點為同一色塊，然後再分析該色塊為幾個像素點所組成，以色球平面面積之 1/10 為雜訊分界點，約為 30 個像素大小，因此只要小於 30 個像素大小之色球即被本研究視為雜訊而將其去除。

第三節 經由色塊分辨演員之關節點

根據文獻，光學式動作擷取系統是在演員身上貼上光點來感測其動作，而本研究所使用的方法則是在演員身上的 12 個主要關節點處貼上色球，藉由分辨色球的顏色來分辨演員身體關節點的位置，如圖 3-9 所示。

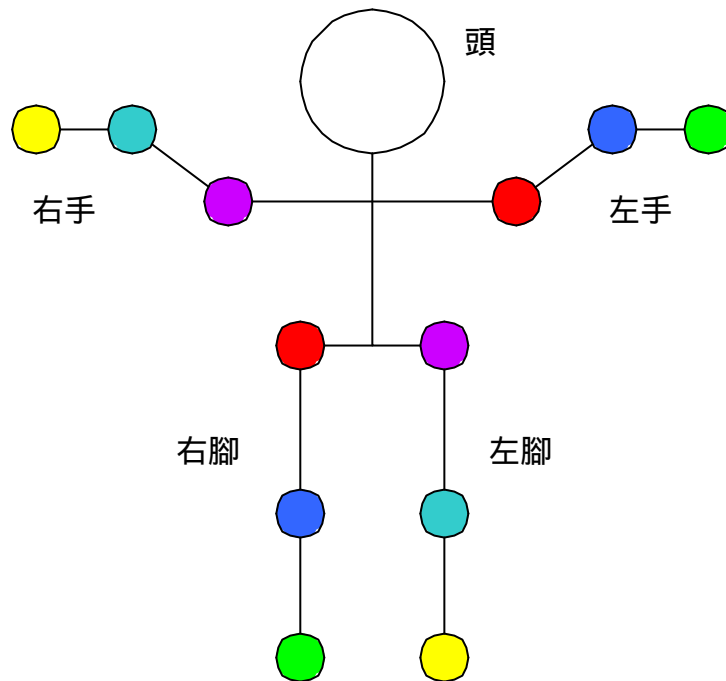


圖 3-9 演員色球擺放位置圖

在實際狀況中，一個單一色彩的色球，透過 CCD 擷取到電腦中，並分析色球上的每一個色點的顏色，其每一個色點的 RGB 值幾乎皆不相同，只能說是相近而已，因此我們在做色球辨識時，就必須以該色球顏色的變化範圍來做分辨，由於色球的表面為一弧面，因此顏色的變化值很大，也由於這個原因，所以本研究色球的顏色使用了六種顏色，紅色、藍色、綠色及任兩種顏色的混合色，如紫色、黃色、藍綠色等。使用此六種顏色，在分辨色彩時，等於將全彩顏色分成六個部份。

透過這 12 個色球，經由 CCD 擷取、軟體分辨顏色後，即可知道何種顏色各在哪個位置，而本研究使用六個顏色而不使用 12 個顏色的原因，將色彩分成 12 個顏色會增加顏色分辨上的困難度，而使用 6 個色球時，有一點需特別注意的是，在同一個 CCD 所捕捉的畫面中，可能同時會有兩個相同顏色的色球出現，

此時就會無法知道此兩個相同顏色的色球各是代表哪一個關節點。本研究因此需限制演員的動作以站立為主，而不做倒立等動作，有了這個限制後，即使發現同一畫面中有兩個相同顏色的色球時，以位置較高的色球為上半身色球，位置較低之色球為下半身之色球，如此便可分析出全身之關節點位置。

由於本研究所使用的色球材質為一般的不織布質料，而在挑選顏色時，則以該顏色所屬的範圍的中間顏色為主，如此可減少顏色捕捉所造成的誤差影響，但因為本研究使用之色球是到布料市場中挑選，而非使用訂做的方式，因此所選用的顏色與研究所期望的顏色會有差異，而這也會影響顏色分辨的結果。

由於本研究主要在分辨顏色，因此在實際拍攝時，環境及場地的影響也必須限制才行，本研究拍攝的場地選用在研究室內，大小約為半徑 3 公尺，場地愈大則愈好，因演員可活動的範圍較大。

為了將環境的影響減到最小，因此本研究在場地周圍架起黑色布幕，布幕的挑選以不反光者為佳，而演員身上也需穿上不反光之黑色緊身衣，場地之燈光則以明亮為佳，而光源需避免近距離直接照射至演員身上，以免造成色球反光，影響辨識結果。

第四節 由三台 CCD 求得關節點之 相對三維座標

在取得人體的關節點座標時，只需單獨計算該關節色球之座標即可，直到 12 個關節點之座標皆計算出來，如此便可算是完整的演員人體動作座標。

本研究共使用三台 CCD 來拍攝演員的動作，而三台 CCD 彼此間的夾角為 120 度，且三台 CCD 距離各中心點的位置為 300 公分，鏡頭放置高度為 120 公分，仰角均為 0 度，如圖 3-10 所示。

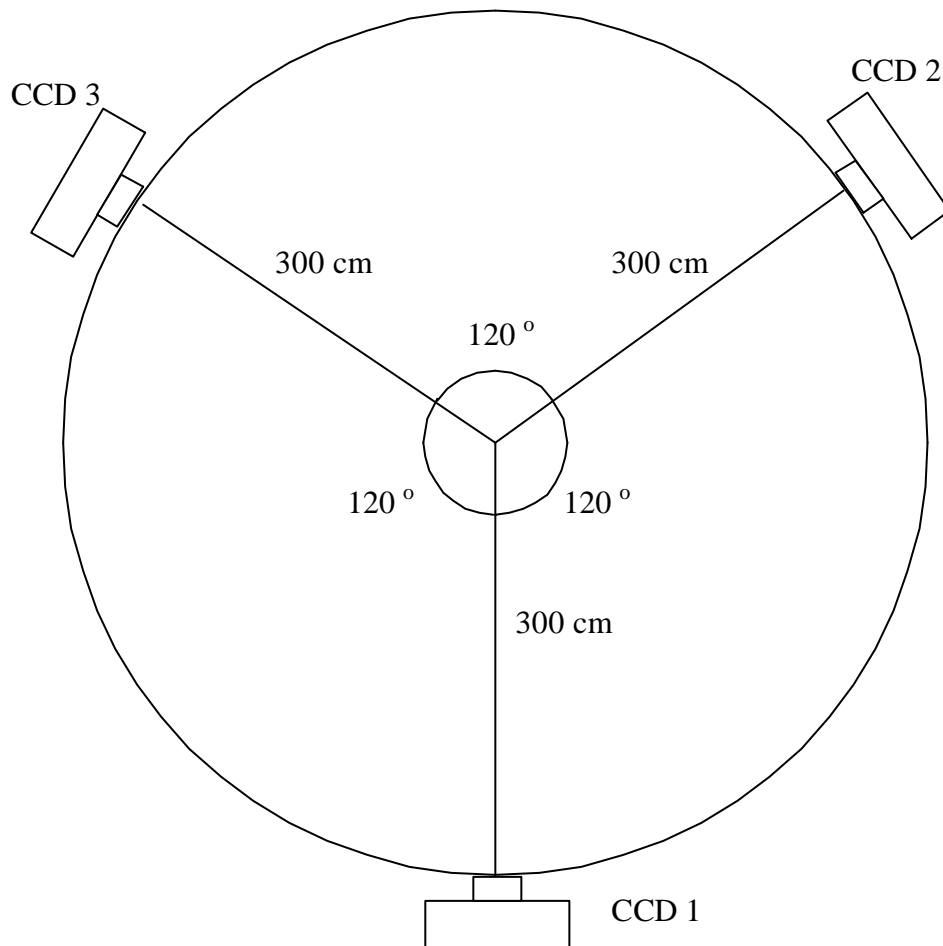


圖 3-10 場地佈置示意圖

在計算關節點時，只要任兩台 CCD 拍到該目標點，就可以利用三角函數計

算出該點之 3D 座標。

由於 CCD 在拍攝時，物體長寬會因為距離 CCD 的近遠而放大或縮小，因此本研究為了找出該 CCD 因距離變化而改變物體高度與寬度的情形，而實際做了以下之實驗。

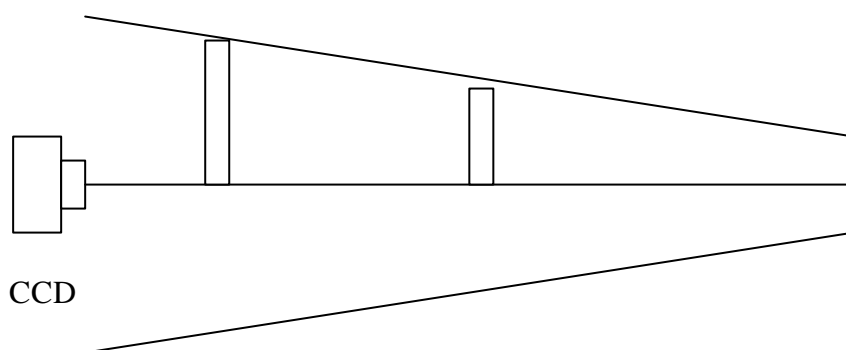


圖 3-11 物體高度與寬度隨距離而變化圖

以下為 CCD 因距離變化而改變物體水平寬度的情形，該物體之實際寬度為 27 公分。從比較圖中可以得知物體水平寬度與距離之關係。由於本研究所定的中心點距離為 300 公分，因此統一以距離 300 公分時的寬度為標準寬度。在計算關節點之座標時，則以該關節點距離畫面中點之水平距離為寬度來計算，因此，只要能夠知道該關節點與 CCD 之距離及所拍攝到之寬度，便可以計算出該關節點在 300 公分時之寬度。

表 3-1 物體水平寬度與 CCD 拍攝距離之關係表

物體與 CCD 之距離	CCD 所拍攝之水平寬度
60 公分	391 像素
120 公分	190 像素
180 公分	120 像素
240 公分	90 像素
300 公分	73 像素
360 公分	60 像素
420 公分	53 像素
480 公分	45 像素

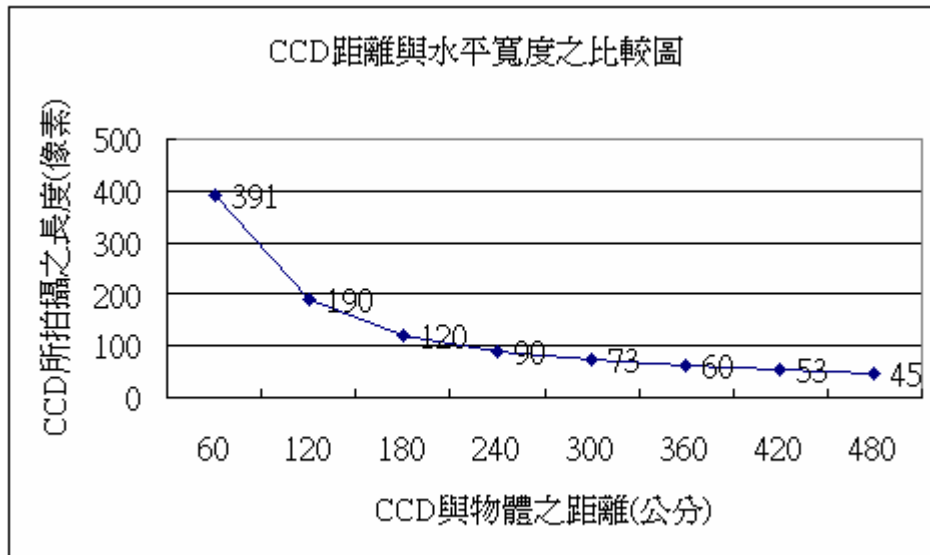


圖 3-12 CCD 距離與水平寬度之特性圖

以下為 CCD 因距離變化而改變物體垂直高度的情形，該物體之實際高度為 28 公分。從比較圖中可以得知物體垂直高度與距離之關係。由於本研究所定的中心點距離為 300 公分，因此統一以距離 300 公分時的高度為標準高度。在計算關節點之座標時，則以該關節點距離畫面中點之垂直距離為高度來計算，因此，只要能夠知道該關節點與 CCD 之距離及所拍攝到之高度，便可以計算出該關節點在 300 公分時之寬度。

表 3-2 物體垂直高度與 CCD 拍攝距離之關係表

物體與 CCD 之距離	CCD 所拍攝之垂直高度
60 公分	363 像素
120 公分	186 像素
180 公分	123 像素
240 公分	94 像素
300 公分	75 像素
360 公分	63 像素
420 公分	54 像素
480 公分	48 像素

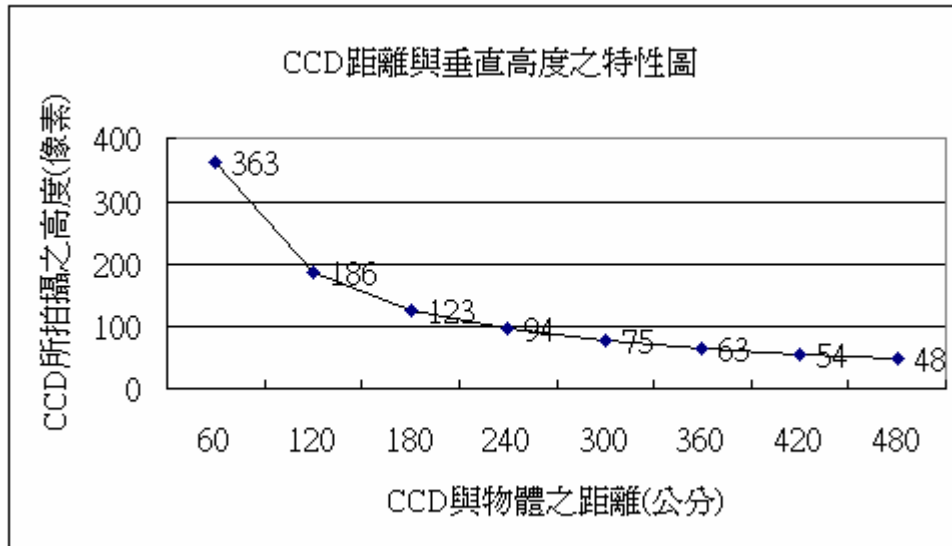


圖 3-13 CCD 距離與垂直高度之特性圖

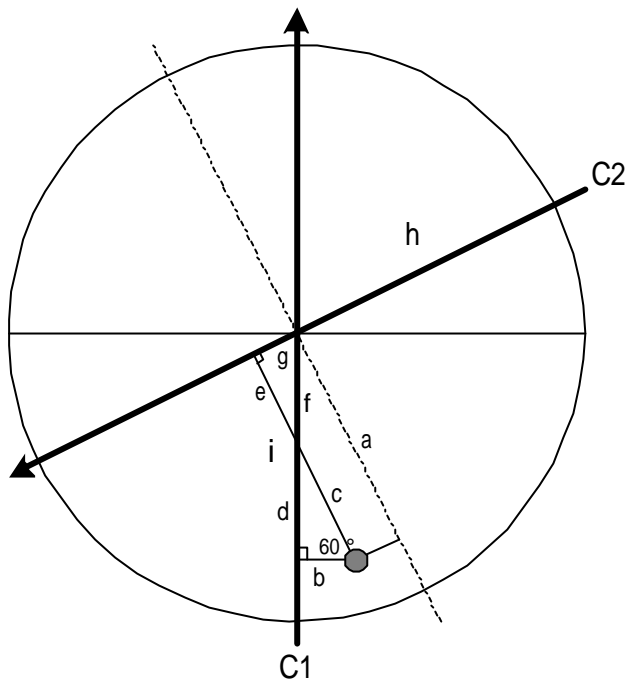
接下來便是要求出 CCD 與關節點之距離，要求出關節點與 CCD 之距離，必須至少要有兩台 CCD 拍攝到該關節點才可以。

表 3-3 中所表示的拍攝場地之上視圖，圓圈為拍攝之區域範圍，而 C1、C2 分別代表第一台 CCD 及第二台 CCD，圓形區域中心十字為標準座標，C1、C2 的黑箭頭代表拍攝時之中心線，圖中之小圓圈代表所拍攝到的關節點，長度 a 代表由 C2 鏡頭中，關節點距離中心點之長度，長度 b 代表由 C1 鏡頭中，關節

點距離中心點之長度，利用三角函數運算後即可求得 d 和 e ，即求得該關節點與各 CCD 之距離。

表 3-3 當 C1 與 C2 拍攝到該關節點時之公式圖 1

當 C1 與 C2 拍攝到該關節點時之公式圖 1	
<p>The diagram shows a circle representing the field of view. A vertical line represents the optical axis of camera C1. A line representing the optical axis of camera C2 is drawn at an angle of 60 degrees from the vertical axis. A joint point is located in the lower-left quadrant. Distances are labeled: 'a' is the distance from the joint point to the vertical axis; 'b' is the distance from the joint point to the horizontal axis; 'c' is the distance from the joint point to the C2 axis; 'd' is the distance from the joint point to the vertical axis along the C2 axis; 'e' is the distance from the joint point to the horizontal axis along the C2 axis; 'f' is the distance from the center of the circle to the joint point; 'g' is the distance from the center of the circle to the joint point along the vertical axis. Angles are labeled: 60 degrees between the C2 axis and the vertical axis, and 'q' between the C2 axis and the line connecting the center to the joint point. Dashed lines indicate projections and perpendiculars.</p>	<p>狀況一： 當關節點在 C2 中央偏左，在 C1 中央偏左時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = c \times \cos \mathbf{q}$ $e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $g - e$，距離 C2 的距離為 $f + d$。</p>



狀況二：

當關節點在 C2 中央偏左，在 C1 中央偏右，且 $\tan^{-1}(b/a) \leq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$c = 2b$$

$$d = \sqrt{3}b$$

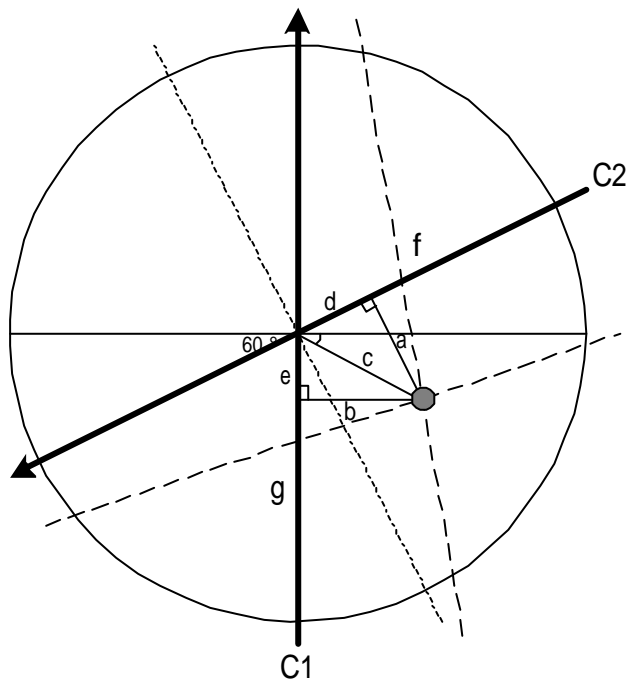
$$e = a - 2b$$

$$f = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$$

$$g = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$$

$$d + f = \sqrt{3}b + \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}} = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $i - (f + d)$ ，距離 C2 的距離為 $h + g$ 。



狀況三：

當關節點在 C2 中央偏左，在 C1 中央偏右，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$$

$$b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$$

$$d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$$

$$e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $g - e$ ，距離 C2 的距離為 $f - d$ 。

	<p>狀況四： 當關節點在 C2 中央偏左，在 C1 中央偏右，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 60^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $c = 2a$ $f = \sqrt{3}a$ $d = b - 2a$ $e = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}}$ $f + g = \sqrt{3}a + \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}} = \frac{2b - a}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $h + e$，距離 C2 的距離為 $i - (f + g)$。</p>
	<p>狀況五： 當關節點在 C2 中央偏右，在 C1 中央偏右時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = c \times \cos \mathbf{q}$ $e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $g + e$，距離 C2 的距離為 $f - d$。</p>

	<p>狀況六： 當關節點在 C2 中央偏左，在 C1 中央偏右，且 $\tan^{-1}(b/a) \leq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $c = 2b$ $d = \sqrt{3}b$ $e = a - 2b$ $f = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$ $d + f = \sqrt{3}b + \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}} = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $h + (d + f)$，距離 C2 的距離為 $i - g$。</p>
	<p>狀況七： 當關節點在 C2 中央偏右，在 C1 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$ $b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$ $d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$ $e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $g + e$，距離 C2 的距離為 $f + d$。</p>

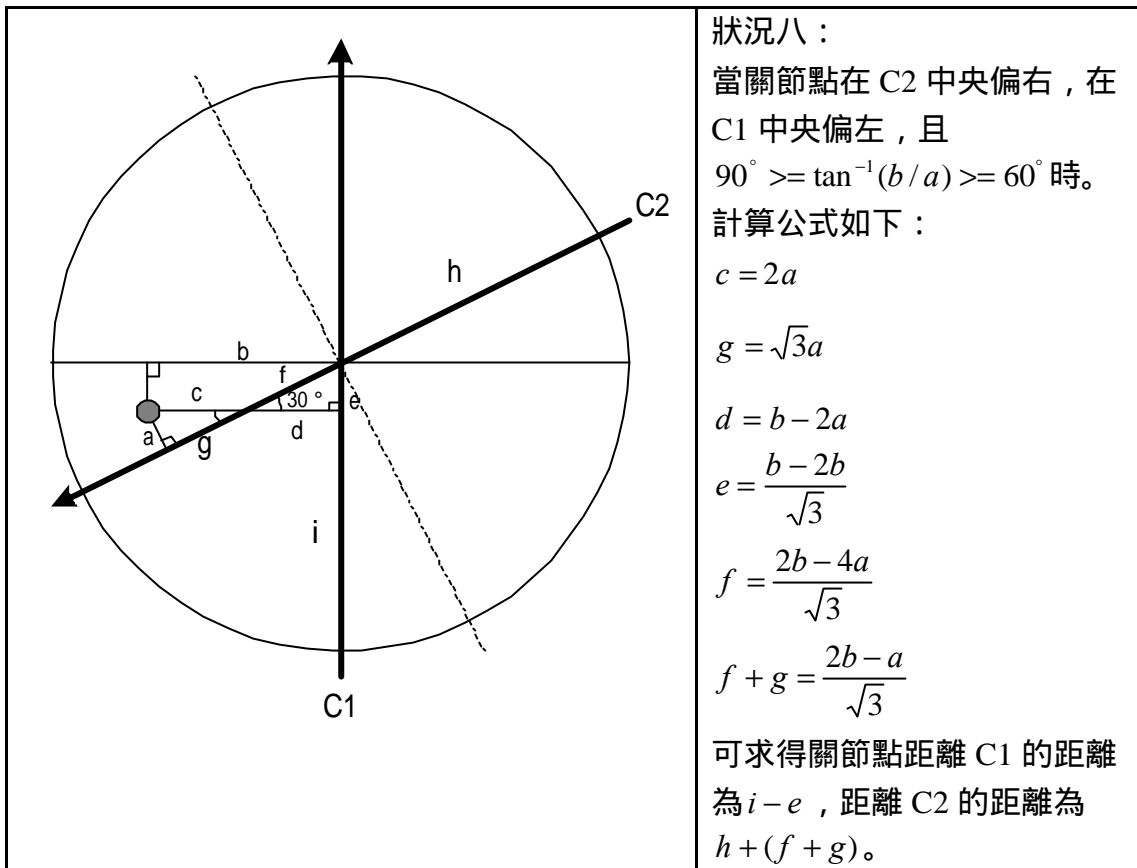
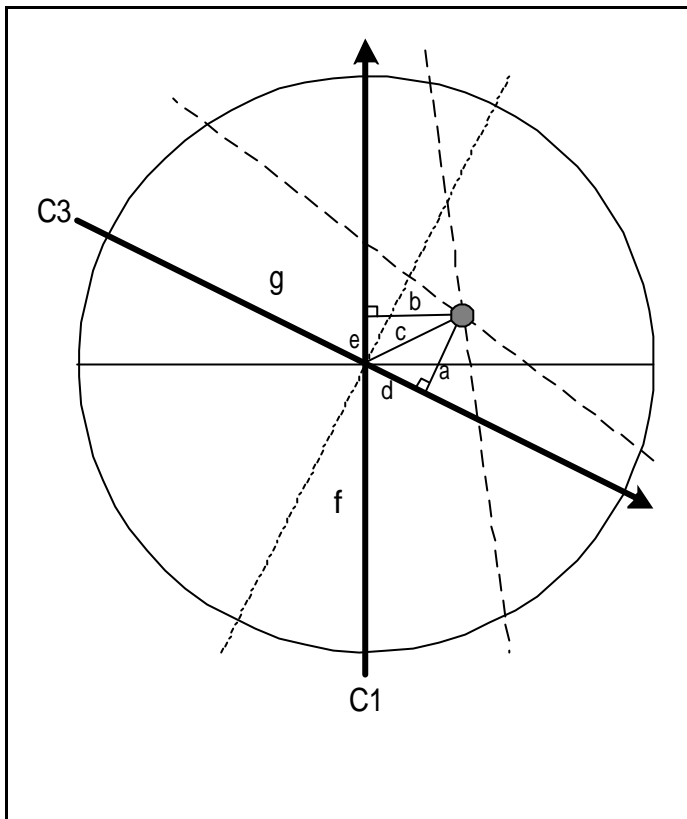


表 3-4 中所表示的拍攝場地之上視圖，圓圈為拍攝之區域範圍，而 C1、C3 分別代表第一台 CCD 及第三台 CCD，圓形區域中心十字為標準座標，C1、C3 的黑箭頭代表拍攝時之中心線，圖中之小圓圈代表所拍攝到的關節點，長度 a 代表由 C3 鏡頭中，關節點距離中心點之長度，長度 b 代表由 C1 鏡頭中，關節點距離中心點之長度，利用三角函數運算後即可求得 d 和 e，即求得該關節點與各 CCD 之距離。

表 3-4 當 C1 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 1

當 C1 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 1	
	<p>狀況一：</p> <p>當關節點在 C3 中央偏右，在 C1 中央偏右時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = c \times \cos \mathbf{q}$ $e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $f - e$，距離 C3 的距離為 $g + d$。</p>
	<p>狀況二：</p> <p>當關節點在 C3 中央偏左，在 C1 中央偏右，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $c = 2a$ $d = b - 2a$ $f = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}}$ $e = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$ $f + g = \frac{2b - a}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $h - e$，距離 C3 的距離為 $i + (f + g)$。</p>



狀況三：

當關節點在 C3 中央偏左，在 C1 中央偏右，且

$60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$$

$$b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$$

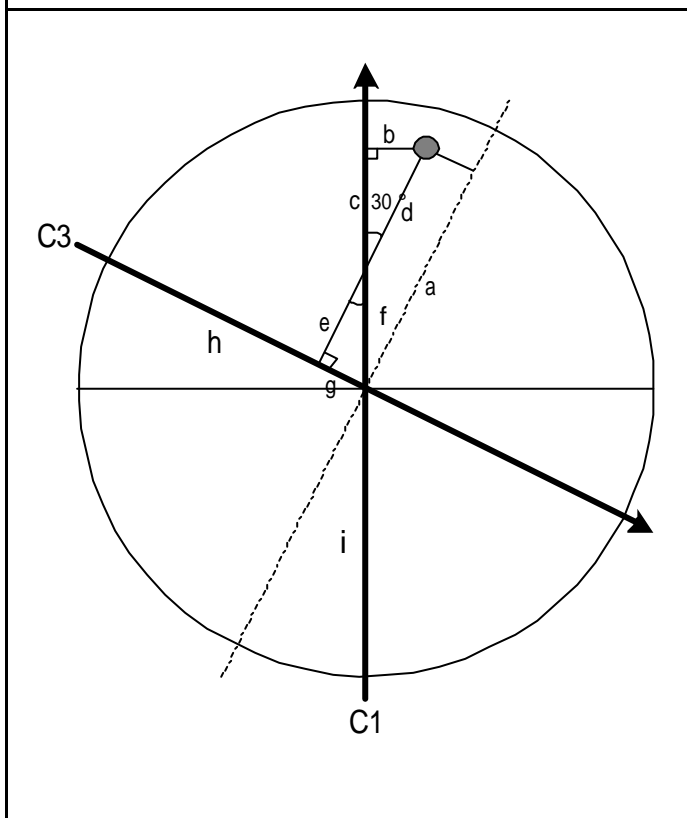
$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$$

$$d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$$

$$e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $f + e$ ，距離 C3 的距離為 $g + d$ 。



狀況四：

當關節點在 C3 中央偏右，在 C1 中央偏左，且

$90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$c = \sqrt{3}b$$

$$d = 2b$$

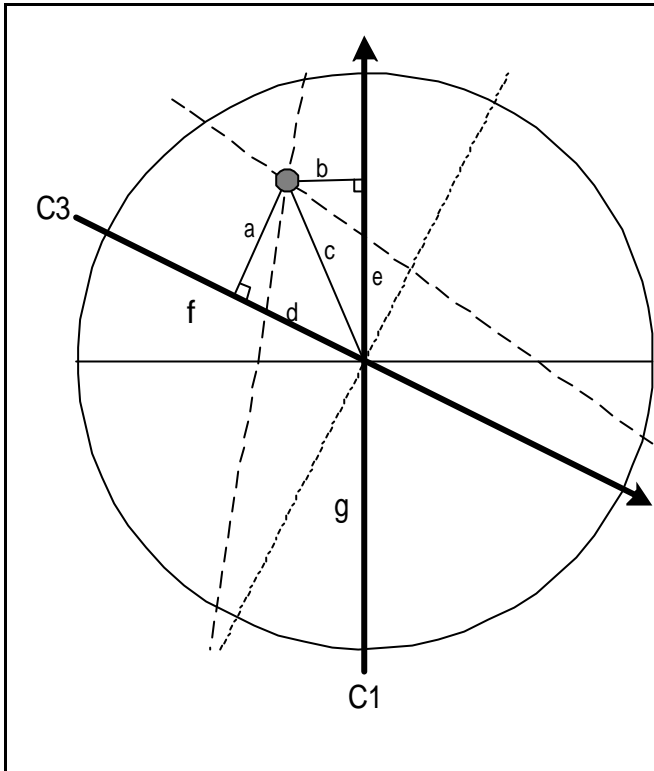
$$e = a - 2b$$

$$f = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$$

$$g = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$$

$$c + f = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $i + (f + c)$ ，距離 C3 的距離為 $h - g$ 。



狀況五：

當關節點在 C3 中央偏左，在 C1 中央偏左時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

$$b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$$

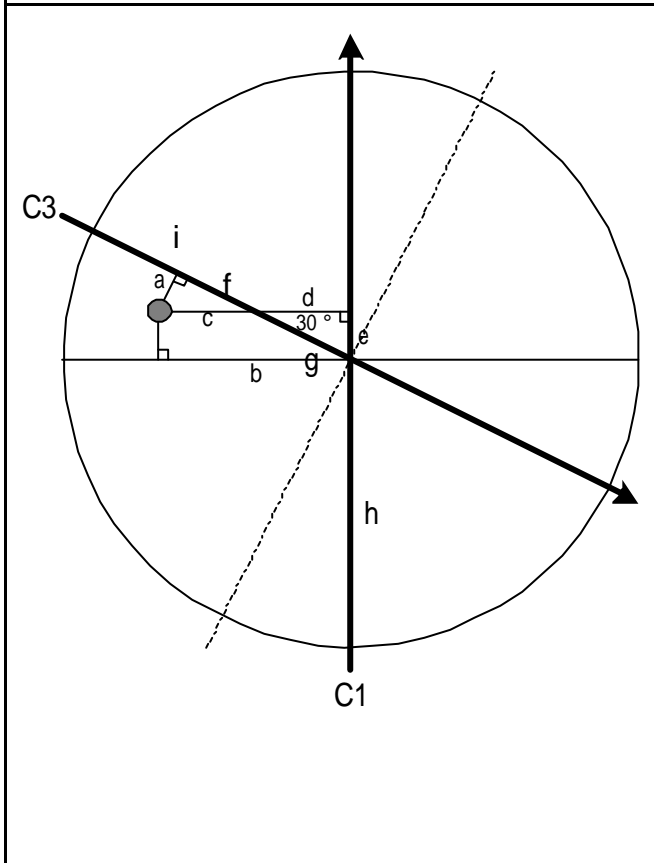
$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = c \times \cos \mathbf{q}$$

$$e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $g + e$ ，距離 C3 的距離為 $f - d$ 。



狀況六：

當關節點在 C3 中央偏右，在 C1 中央偏左，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$c = 2a$$

$$f = \sqrt{3}a$$

$$d = b - 2a$$

$$e = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$$

$$g = \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}}$$

$$f + g = \frac{2b - a}{\sqrt{3}}$$

可求得關節點距離 C1 的距離為 $h + e$ ，距離 C3 的距離為 $i - (f + g)$ 。

	<p>狀況七：</p> <p>當關節點在 C3 中央偏右，在 C1 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$ $b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$ $d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$ $e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $f - e$，距離 C3 的距離為 $g - d$。</p>
	<p>狀況八：</p> <p>當關節點在 C3 中央偏右，在 C1 中央偏左，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $c = \sqrt{3}b$ $d = 2b$ $e = a - 2b$ $f = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$ $c + f = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C1 的距離為 $i - (f + c)$，距離 C3 的距離為 $h + g$。</p>

表 3-5 中所表示的拍攝場地之上視圖，圓圈為拍攝之區域範圍，而 C2、C3 分別代表第二台 CCD 及第三台 CCD，圓形區域中心十字為標準座標，C2、C3

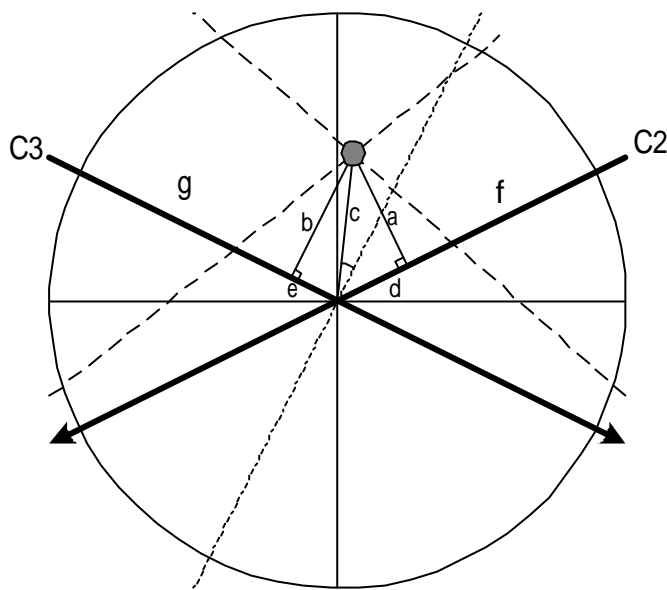
的黑箭頭代表拍攝時之中心線，圖中之小圓圈代表所拍攝到的關節點，長度 a 代表由 C2 鏡頭中，關節點距離中心點之長度，長度 b 代表由 C3 鏡頭中，關節點距離中心點之長度，利用三角函數運算後即可求得 d 和 e，即求得該關節點與各 CCD 之距離。

表 3-5 當 C2 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 1

當 C2 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 1	
<p>The diagram shows a circle with two intersecting lines, C2 and C3. A point 'c' is marked with a small circle. Distances a, b, c, d, e, f, g, h, i are labeled. A 30-degree angle is shown between lines from 'c' to the center and to 'e'.</p>	<p>狀況一： 當關節點在 C3 中央偏右， 在 C2 中央偏左，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $c = 2a$ $f = \sqrt{3}a$ $d = b - 2a$ $e = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}}$ $f + g = \frac{2b - a}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C2 的距離為 $i + (f + g)$，距離 C3 的距離為 $h - e$。</p>

	<p>狀況二： 當關節點在 C3 中央偏右， 在 C2 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$ $b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$ $d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$ $e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C2 的距離為 $f + d$，距離 C3 的距離為 $g + e$。</p>
	<p>狀況三： 當關節點在 C3 中央偏右， 在 C2 中央偏左，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時 計算公式如下：</p> $f = \sqrt{3}b$ $c = 2b$ $d = a - 2b$ $g = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$ $e = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$ $g + f = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C2 的距離為 $h - e$，距離 C3 的距離為 $i + (f + g)$。</p>

	<p>狀況四： 當關節點在 C3 中央偏左， 在 C2 中央偏左時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = c \times \cos \mathbf{q}$ $e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點距離 C2 的距離為 $f - d$，距離 C3 的距離為 $g + e$。</p>
	<p>狀況五： 當關節點在 C3 中央偏左， 在 C2 中央偏右，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $c = 2a$ $f = \sqrt{3}a$ $d = b - 2a$ $e = \frac{b - 2a}{\sqrt{3}}$ $g = \frac{2b - 4a}{\sqrt{3}}$ $f + g = \frac{2b - a}{\sqrt{3}}$ <p>可求得關節點距離 C2 的距離為 $h + (f + g)$，距離 C3 的距離為 $i + e$。</p>



狀況六：

當關節點在 C3 中央偏左，
在 C2 中央偏右，且
 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時
計算公式如下：

$$a = c \times \sin(\mathbf{q} + 30)$$

$$b = c \times \sin(90 - \mathbf{q})$$

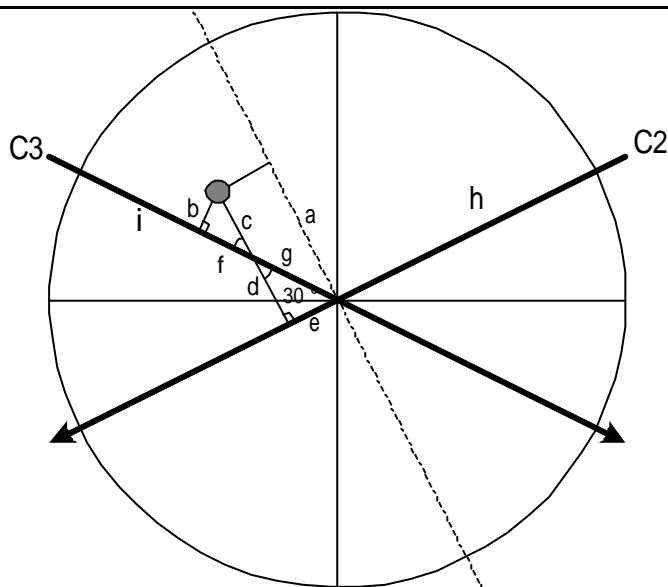
$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin(\mathbf{q} + 30)}$$

$$d = c \times \cos(\mathbf{q} + 30)$$

$$e = c \times \cos(90 - \mathbf{q})$$

可求得關節點距離 C2 的距離為 $f - d$ ，距離 C3 的距離為 $g - e$ 。



狀況七：

當關節點在 C3 中央偏左，
在 C2 中央偏右，且
 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時
計算公式如下：

$$f = \sqrt{3}b$$

$$c = 2b$$

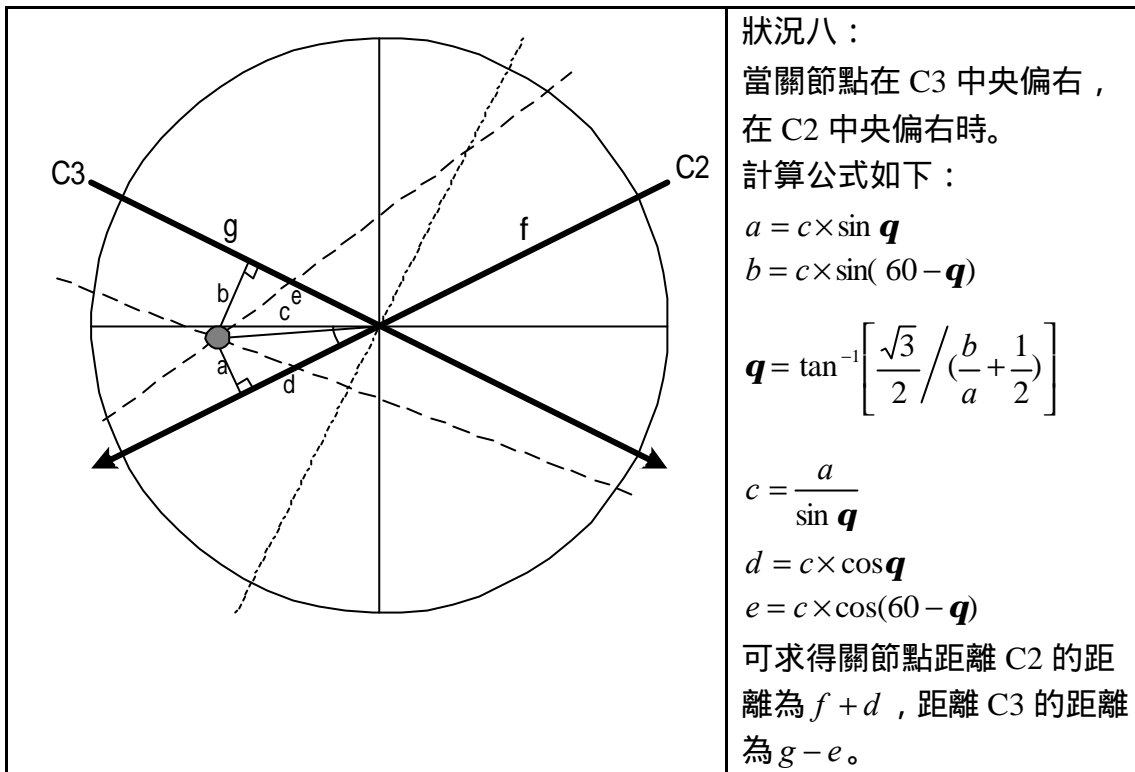
$$d = a - 2b$$

$$g = \frac{2a - 4b}{\sqrt{3}}$$

$$e = \frac{a - 2b}{\sqrt{3}}$$

$$g + f = \frac{2a - b}{\sqrt{3}}$$

可求得關節點距離 C2 的距離為 $h + e$ ，距離 C3 的距離為 $i - (f + g)$ 。



當求得關節點距離 CCD 之距離後，利用 CCD 距離與關節點之水平寬度關係圖，即可求得相同比例之寬度，利用 CCD 距離與關節點之垂直高度關係圖，即可求得相同比例之高度。

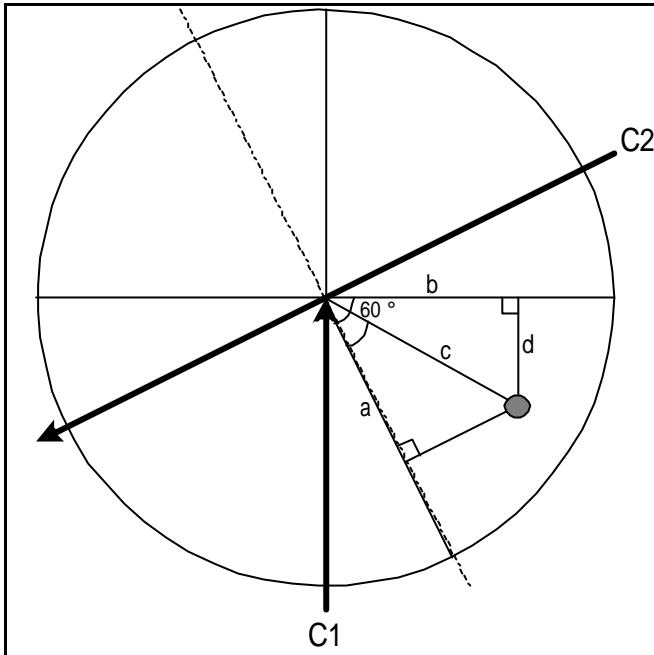
有了相同比例之高度與寬度後，接下來便可透過三角函數運算求得該關節點之座標位置。運算方式如表 3-6 所示；

表 3-6 當 C1 與 C2 拍攝到該關節點時之公式圖 2

當 C1 與 C2 拍攝到該關節點時之公式圖 2	
	<p>狀況一： 當關節點在 C1 中央偏右，在 C2 中央偏右時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $\frac{b}{d} = \tan(60 - \mathbf{q})$ $d = \frac{b}{\tan(60 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 b，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況二： 當關節點在 C1 中央偏左，在 C2 中央偏右，且 $\tan^{-1}(b/a) \leq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \cos \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$ $d = \frac{b}{\tan(30 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 $-b$，垂直座標為 $-d$。</p>

	<p>狀況三： 當關節點在 C1 中央偏左，在 C2 中央偏右，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \cos \mathbf{q}$ $b = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2}\right) / \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \right]$ $c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$ $d = b \times \tan(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點水平座標為 $-b$，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況四： 當關節點在 C3 中央偏左，在 C2 中央偏右，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 60^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2}\right)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = b \times \tan(30 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點水平座標為 $-b$，垂直座標為 d。</p>

	<p>狀況五： 當關節點在 C1 中央偏左，在 C2 中央偏左時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = \frac{b}{\tan(60 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 $-b$，垂直座標為 d。</p>
	<p>狀況六： 當關節點在 C1 中央偏右，在 C2 中央偏左，且 $\tan^{-1}(b/a) \leq 30^\circ$ 時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \cos \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$ $d = \frac{b}{\tan(30 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 b，垂直座標為 d。</p>



狀況七：

當關節點在 C1 中央偏右，在 C2 中央偏左，且

$60^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \cos \mathbf{q}$$

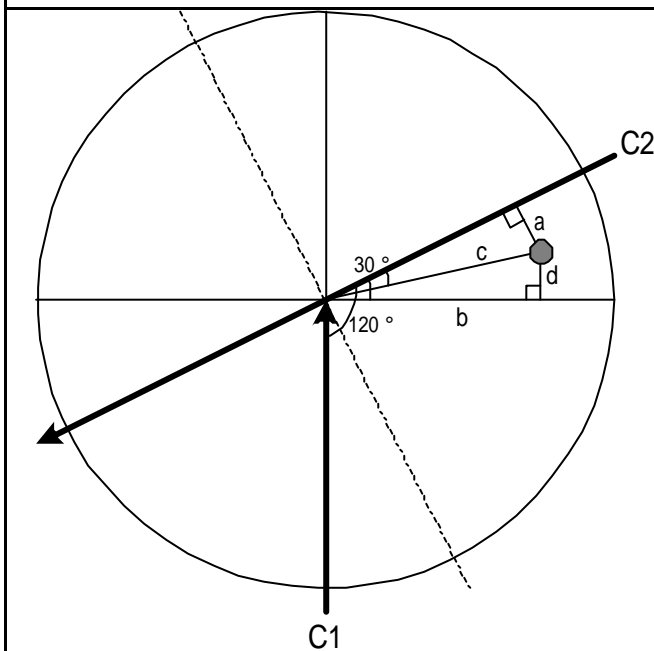
$$b = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2}\right) / \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \right]$$

$$c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$$

$$d = b \times \tan(60 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 b ，垂直座標為 d 。



狀況八：

當關節點在 C1 中央偏右，在 C2 中央偏左，且

$90^\circ \geq \tan^{-1}(b/a) \geq 60^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

$$b = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2}\right)}{\frac{b}{a} - \frac{1}{2}} \right]$$

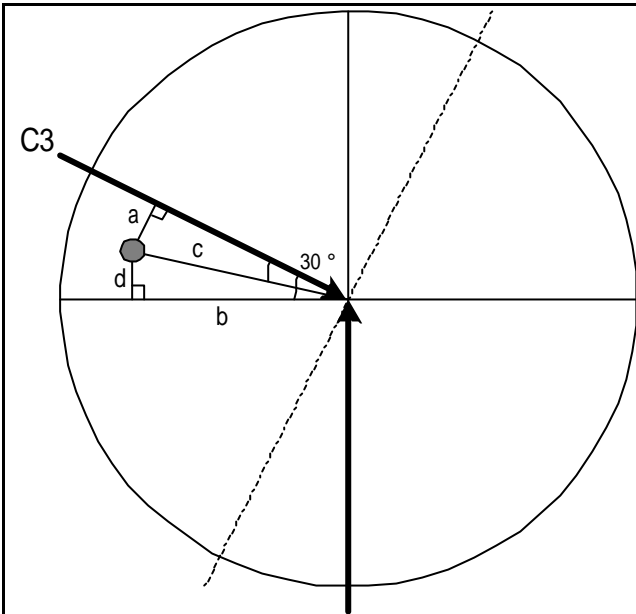
$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = b \times \tan(30 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 b ，垂直座標為 $-d$ 。

表 3-7 當 C1 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 2

當 C1 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 2	
	<p>狀況一：</p> <p>當關節點在 C1 中央偏左，在 C3 中央偏右，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \cos \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$ $d = \frac{b}{\tan(30 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 b，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況二：</p> <p>當關節點在 C1 中央偏左，在 C3 中央偏左時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ $d = \frac{b}{\tan(60 - \mathbf{q})}$ <p>可求得關節點水平座標為 $-b$，垂直座標為 $-d$。</p>



狀況三：

當關節點在 C1 中央偏左，在 C3 中央偏右，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

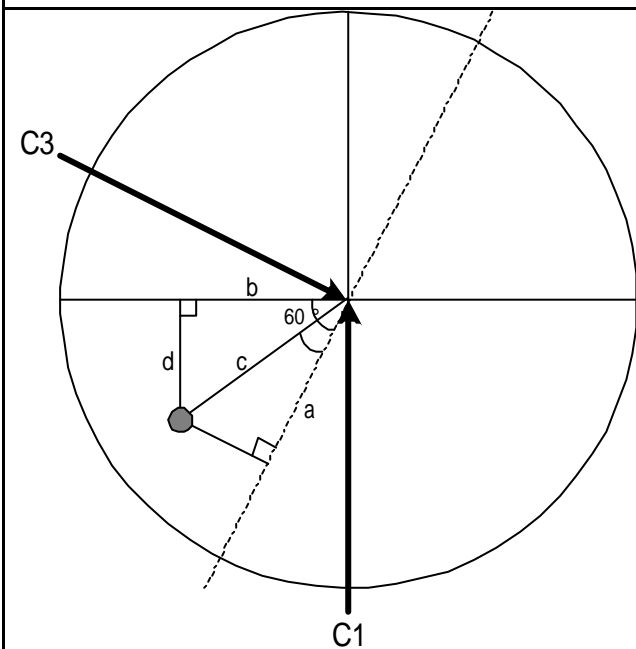
$$b = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = b \times \tan(30 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 $-b$ ，垂直座標為 $-d$ 。



狀況四：

當關節點在 C1 中央偏左，在 C3 中央偏右，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

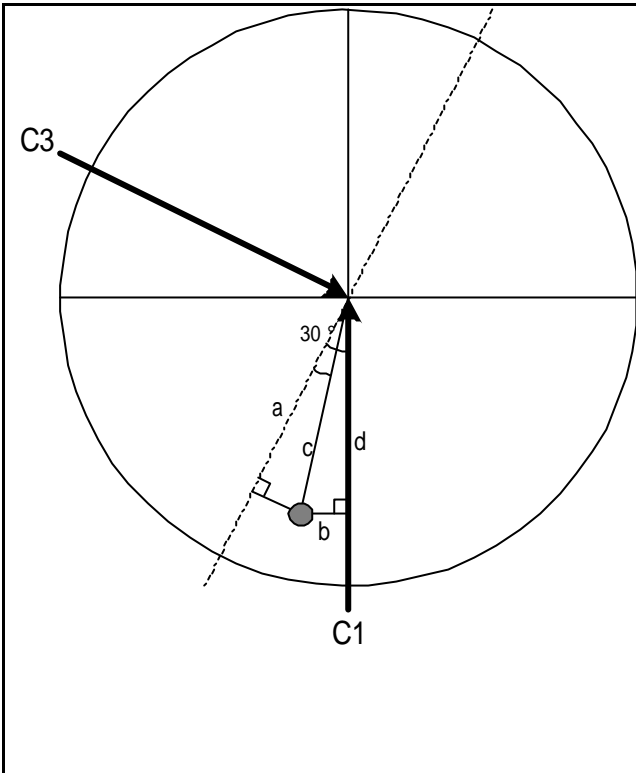
$$b = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = b \times \tan(60 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 $-b$ ，垂直座標為 d 。



狀況五：

當關節點在 C1 中央偏左，在 C3 中央偏右，且

$90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \cos \mathbf{q}$$

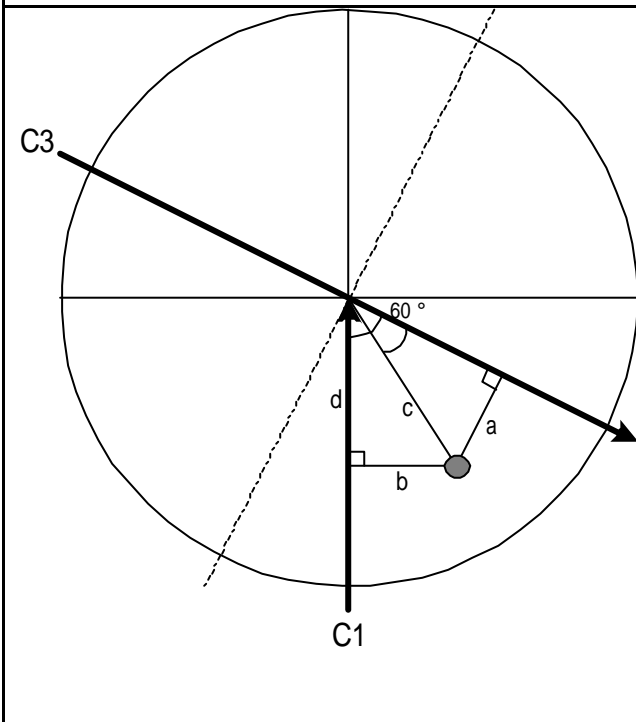
$$b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$$

$$d = \frac{b}{\tan(30 - \mathbf{q})}$$

可求得關節點水平座標為 $-b$ ，垂直座標為 d 。



狀況六：

當關節點在 C1 中央偏右，在 C3 中央偏右時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

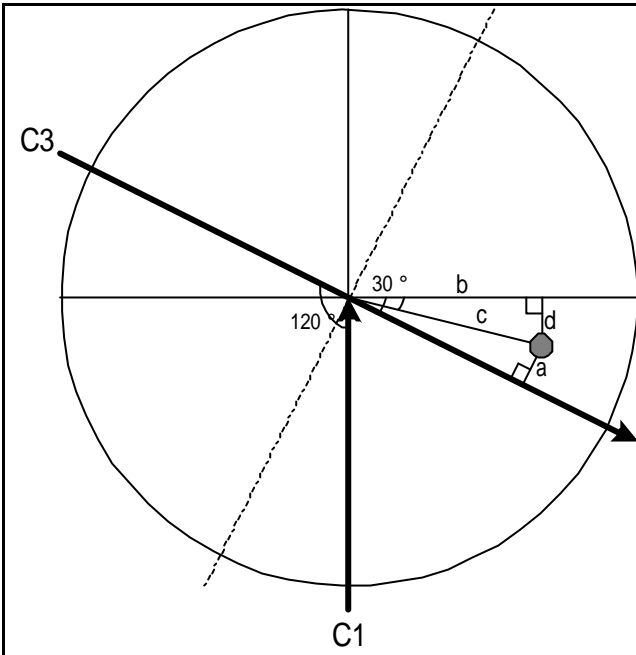
$$b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = \frac{b}{\tan(60 - \mathbf{q})}$$

可求得關節點水平座標為 b ，垂直座標為 d 。



狀況七：

當關節點在 C1 中央偏右，在 C3 中央偏左，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

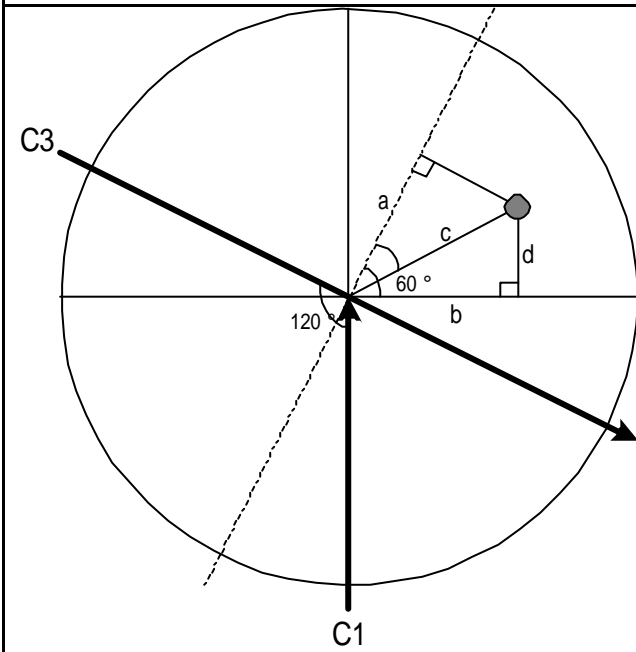
$$b = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = b \times \tan(30 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 b ，垂直座標為 d 。



狀況八：

當關節點在 C1 中央偏右，在 C3 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

$$b = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

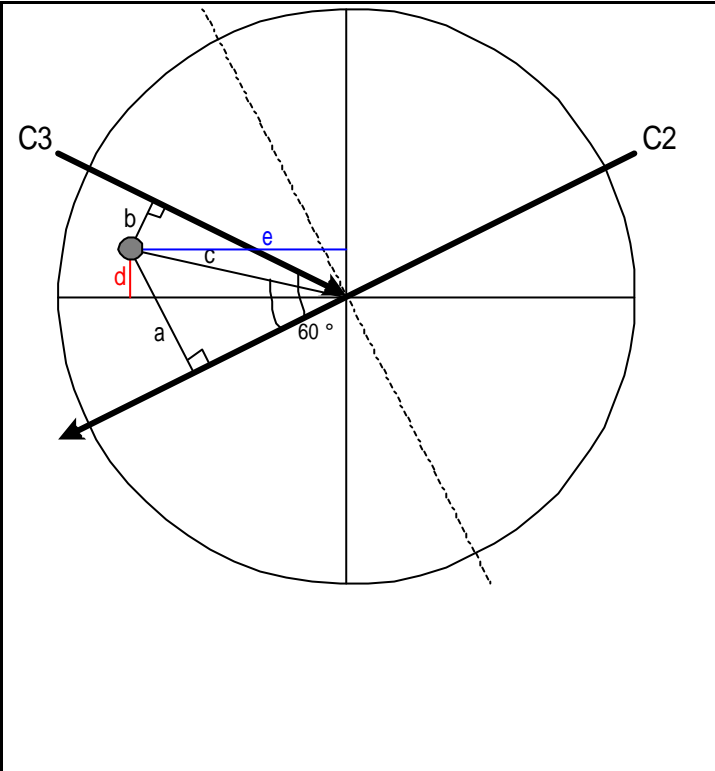
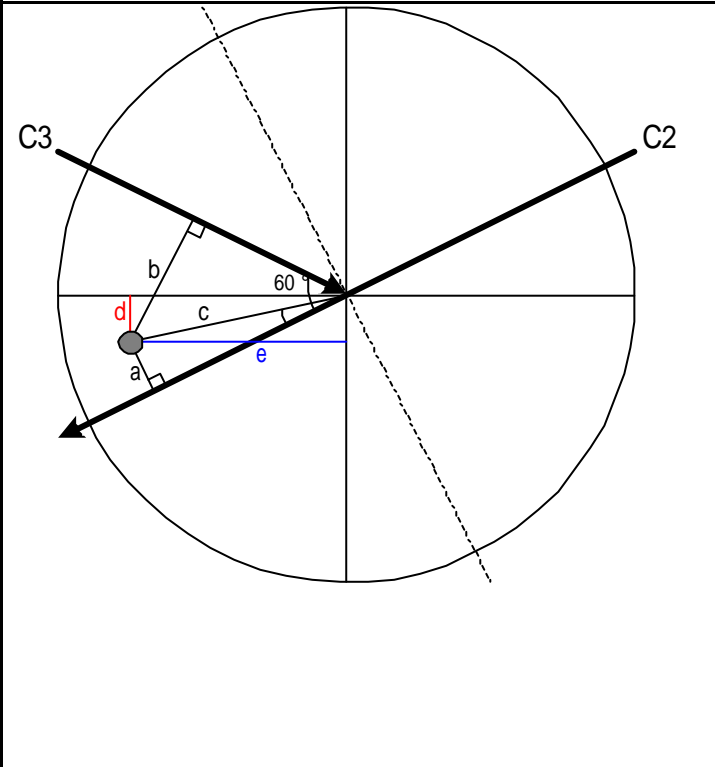
$$d = b \times \tan(60 - \mathbf{q})$$

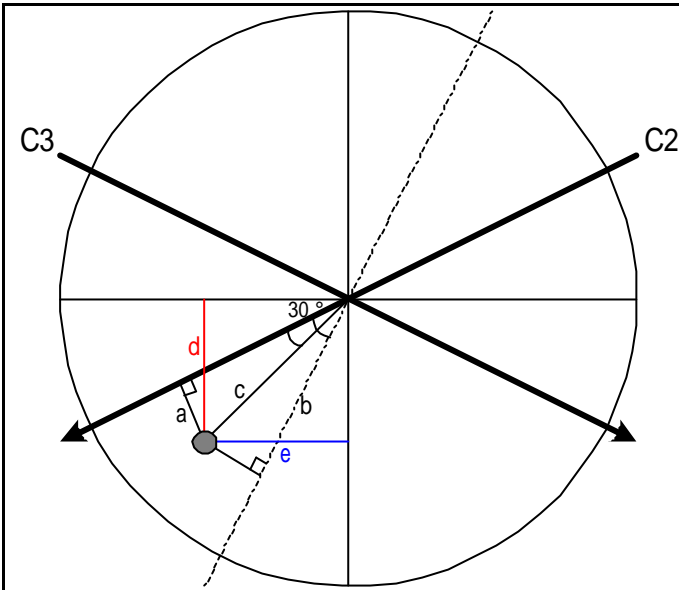
可求得關節點水平座標為 b ，垂直座標為 $-d$ 。

表 3-8 當 C2 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 2

當 C2 與 C3 拍攝到該關節點時之公式圖 2	
	<p>狀況一：</p> <p>當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏左，且 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \sin q$ $b = c \times \cos(30 - q)$ $q = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin q}$ $d = c \times \sin(30 + q)$ $e = c \times \cos(30 + q)$ <p>可求得關節點水平座標為 e，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況二：</p> <p>當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。</p> <p>計算公式如下：</p> $a = c \times \sin(30 + q)$ $b = c \times \cos q$ $q = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ <p>當 $q \leq 30^\circ$ 時</p> $c = \frac{b}{\cos q}$ $d = c \times \sin(60 + q)$ $e = c \times \cos(60 + q)$ <p>可求得關節點水平座標為 e，垂直座標為 $-d$。</p>

	<p>狀況三：</p> <p>當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏左，且 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin(30 + \mathbf{q})$ $b = c \times \cos \mathbf{q}$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ <p>當 $\mathbf{q} \geq 30^\circ$ 時</p> $c = \frac{b}{\cos \mathbf{q}}$ $d = c \times \sin(120 - \mathbf{q})$ $e = c \times \cos(120 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點水平座標為 $-e$，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況四：</p> <p>當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏左，且 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時 計算公式如下：</p> $a = c \times \cos \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$ $c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$ $d = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點水平座標為 $-e$，垂直座標為 $-d$。</p>

	<p>狀況五： 當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏右時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ <p>當 $\mathbf{q} \geq 30^\circ$ 時，</p> $d = c \times \sin(\mathbf{q} - 30)$ $e = c \times \cos(\mathbf{q} - 30)$ <p>可求得關節點水平座標為 $-e$，垂直座標為 $-d$。</p>
	<p>狀況六： 當關節點在 C2 中央偏右， 在 C3 中央偏右時。 計算公式如下：</p> $a = c \times \sin \mathbf{q}$ $b = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$ $\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \right]$ $c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$ <p>當 $\mathbf{q} \leq 30^\circ$ 時，</p> $d = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$ $e = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$ <p>可求得關節點水平座標為 $-e$，垂直座標為 d。</p>



狀況七：

當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏右，且
 $\tan^{-1}(a/b) \leq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin \mathbf{q}$$

$$b = c \times \cos(30 - \mathbf{q})$$

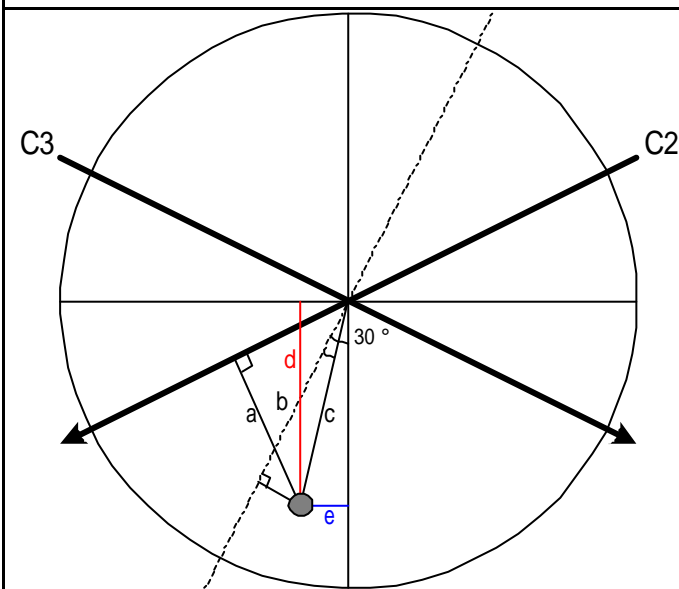
$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} - \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin \mathbf{q}}$$

$$d = c \times \sin(30 + \mathbf{q})$$

$$e = c \times \cos(30 + \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為
 $-e$ ，垂直座標為 d 。



狀況八：

當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏右，且
 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin(30 + \mathbf{q})$$

$$b = c \times \cos \mathbf{q}$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

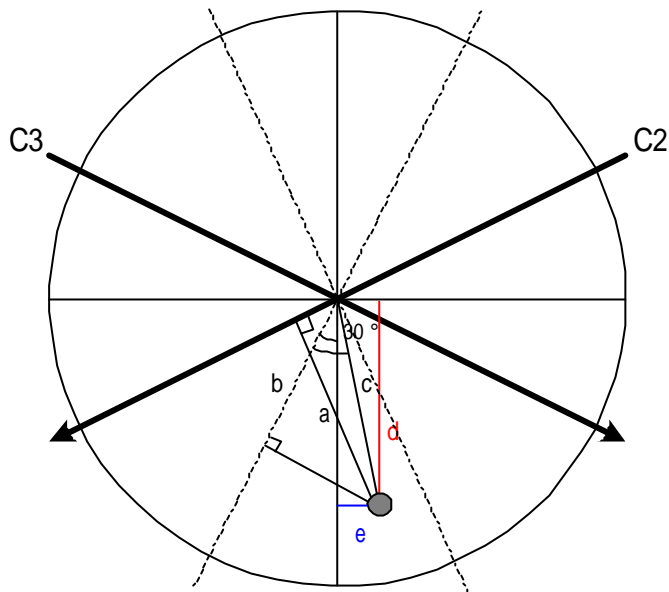
$$c = \frac{b}{\cos \mathbf{q}}$$

當 $\mathbf{q} \leq 30^\circ$ 時

$$d = c \times \sin(60 + \mathbf{q})$$

$$e = c \times \cos(60 + \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為
 $-e$ ，垂直座標為 d 。



狀況九：

當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏右，且
 $60^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 30^\circ$ 時
計算公式如下：

$$a = c \times \sin(30 + \mathbf{q})$$

$$b = c \times \cos \mathbf{q}$$

$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{a}{b} - \frac{1}{2} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

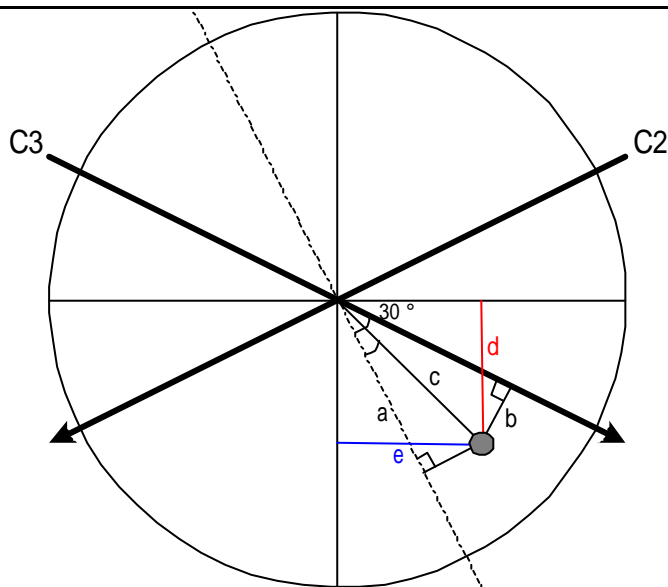
$$c = \frac{b}{\cos \mathbf{q}}$$

當當 $\mathbf{q} \geq 30^\circ$ 時

$$d = c \times \sin(120 - \mathbf{q})$$

$$e = c \times \cos(120 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 e ，垂直座標為 d 。



狀況十：

當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏右，且
 $90^\circ \geq \tan^{-1}(a/b) \geq 60^\circ$ 時
計算公式如下：

$$a = c \times \cos \mathbf{q}$$

$$b = c \times \sin(30 - \mathbf{q})$$

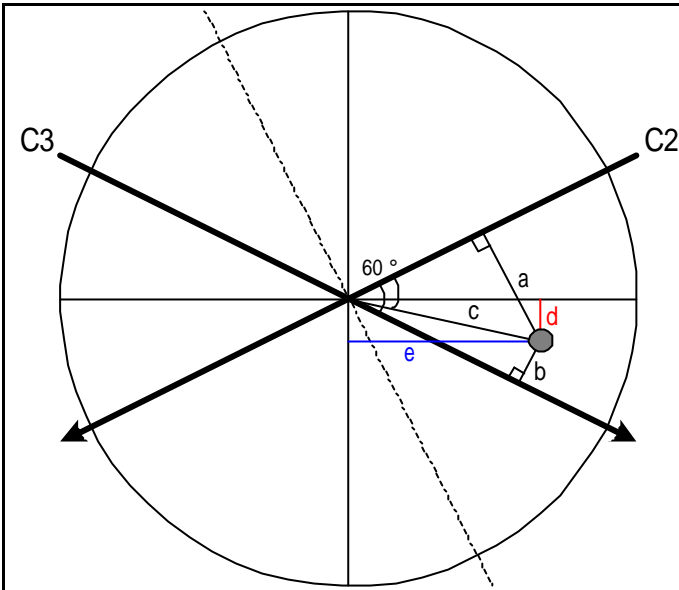
$$\mathbf{q} = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1}{2} - \frac{b}{a} \right) / \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$c = \frac{a}{\cos \mathbf{q}}$$

$$d = c \times \sin(60 - \mathbf{q})$$

$$e = c \times \cos(60 - \mathbf{q})$$

可求得關節點水平座標為 e ，垂直座標為 d 。



狀況十一：
當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏左時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin q$$

$$b = c \times \sin(60 - q)$$

$$q = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{1}{2} + \frac{b}{a} \right) \right]$$

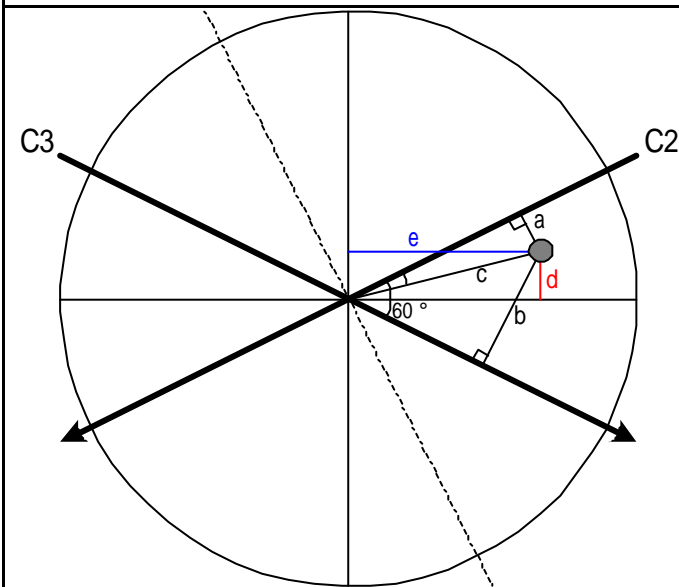
$$c = \frac{a}{\sin q}$$

當 $q \geq 30^\circ$ 時，

$$d = c \times \sin(q - 30)$$

$$e = c \times \cos(q - 30)$$

可求得關節點水平座標為 e ，垂直座標為 d 。



狀況十二：

當關節點在 C2 中央偏左，
在 C3 中央偏左時。

計算公式如下：

$$a = c \times \sin q$$

$$b = c \times \sin(60 - q)$$

$$q = \tan^{-1} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} / \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$c = \frac{a}{\sin q}$$

當 $q \leq 30^\circ$ 時，

$$d = c \times \sin(30 - q)$$

$$e = c \times \cos(30 - q)$$

可求得關節點水平座標為 e ，垂直座標為 $-d$ 。

第五節 3D 虛擬人物動作之呈現

當計算出各點之關節點座標之後，即可將所有關節點座標之資料整合，並將其資料套用至 3D 人體模型上。如圖 3-14 所示。

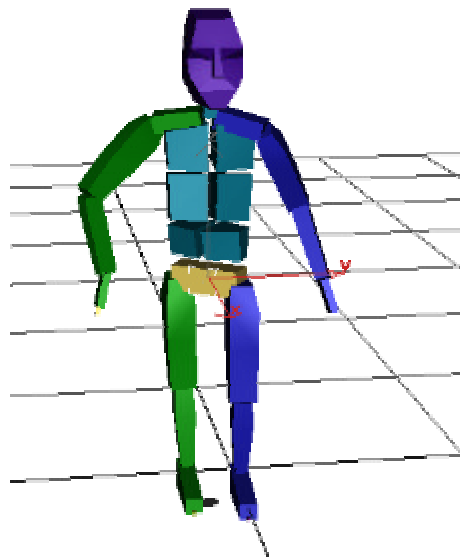


圖 3-14 3D 虛擬人物圖

本研究也自行設計了一套簡易之 2D 秀圖系統，只要將身體各個關節點座標載入，便可以透過關節點座標的連線，將人體的骨架畫出，可立即看到拍攝之結果圖。如圖 3-15 所示。

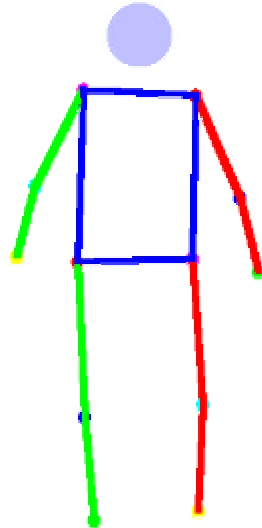


圖 3-15 2D 虛擬人物圖

第六節 演員連續動作之處理

本研究拍攝時，是用 3 台 CCD 各別接至 3 台電腦，使用 AVI 影片格式將演員的動作記錄下來，之後再從三部影片中獲取連續之單張影像，來分析演員的動作。對連續的影像作分析及處理，顯示出來的演員動作便是連續的。

由於本研究在拍攝時，是使用 3 台獨立之電腦，因此便會發生影像無法同步的問題，而本研究處理的方法是利用人工調整，只要將 3 部影片的開始處理畫面均調至同一個時間點便可。而這個方法雖然會有誤差，但誤差不大。由於受限於 CPU 的處理速度及 USB1.1 的頻寬，無法將 3 台 CCD 同時同步顯示在一台電腦的畫面上，若能有更好的電腦配備與更高的頻寬的話，相信就能夠解決同步的問題。

第七節 將關節座標轉換成 CSM 格式檔案

CSM(Character Studio Motion)檔案是一個動畫資料檔，可以儲存連續的演員的動作座標資料，且可載入至 3ds max 4 中，並套用至虛擬人物上，相關之說明請自行參考 CSM 格式說明檔。

由於 CSM 檔案需載入超過 12 個關節點之資料，因此本研究必須自行產生其他的關節點之資料。

以下先分別對演員之關節點作編號 A-L，此時 A 球的 X 座標 A(1)，Y 座標 A(2)，Z 座標 A(3)，其他點其此類推。定義 $W1$ 為關節點 A 與關節點 D 之距離，即 $W1 = \sqrt{(A(1) - D(1))^2 + (A(2) - D(2))^2 + (A(3) - D(3))^2}$ 。定義當 $A(2) \geq D(2)$ 時， $W = W1$ ，當 $A(2) < D(2)$ 時， $W = -W1$ 。

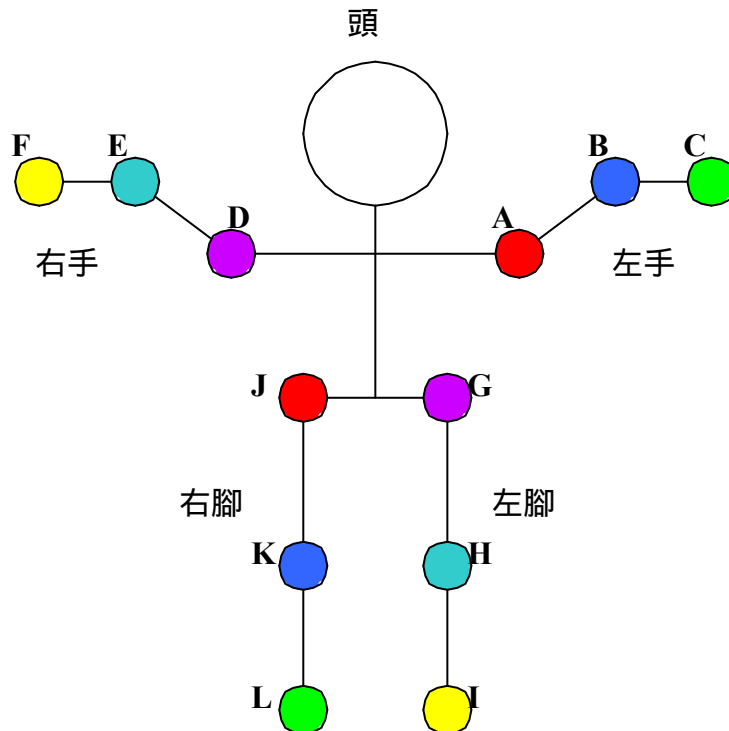


圖 3-16 關節點編號圖

轉換公式如表 3-9 所示。

表 3-9 關節點公式轉換表

		Y	X	Z	
LFHD	頭	$(A(2)+D(2))/2+W/5$	$(A(1)+D(1))/2+W/5$	$(A(3)+D(3))/2+W/1.2$	0
LBHD	頭	$(A(2)+D(2))/2+W/5$	$(A(1)+D(1))/2-W/5$	$(A(3)+D(3))/2+W/1.2$	1
RBHD	頭	$(A(2)+D(2))/2-W/5$	$(A(1)+D(1))/2-W/5$	$(A(3)+D(3))/2+W/1.2$	2
RFHD	頭	$(A(2)+D(2))/2-W/5$	$(A(1)+D(1))/2+W/5$	$(A(3)+D(3))/2+W/1.2$	3
CLAV	前胸	$(A(2)+D(2))/2$	$(A(1)+D(1))/2+W/5$	$(A(3)+D(3))/2$	4
STRN	前胸	$(A(2)+D(2))/2$	$(A(1)+D(1))/2+W/5$	$(A(3)+D(3))/2-W/5$	5
LFWT	左腿	$G(2)-W/5$	$G(1)+W/5$	$G(3)$	6
LBWT	左腿	$G(2)-W/5$	$G(1)-W/5$	$G(3)+W/5$	7
RBWT	右腿	$J(2)+W/5$	$J(1)-W/5$	$J(3)$	8
RFWT	右腿	$J(2)+W/5$	$J(1)+W/5$	$J(3)+W/5$	9
C7	後胸	$(A(2)+D(2))/2$	$(A(1)+D(1))/2-W/5$	$(A(3)+D(3))/2$	10
T10	後胸	$(A(2)+D(2))/2$	$(A(1)+D(1))/2-W/5$	$(A(3)+D(3))/2-W/5$	11
LKNE	左腿	$H(2)$	$H(1)$	$H(3)$	12
LANK	左腿	$I(2)$	$I(1)$	$I(3)$	13
LMT5	左腿	$I(2)$	$I(1)+W/5$	$I(3)-W/5$	14
LTOE	左腿	$I(2)-W/5$	$I(1)+W/2$	$I(3)-W/5$	15
RKNE	右腿	$K(2)$	$K(1)$	$K(3)$	16
RANK	右腿	$L(2)$	$L(1)$	$L(3)$	17
RMT5	右腿	$L(2)$	$L(1)+W/5$	$L(3)-W/5$	18
RTOE	右腿	$L(2)+W/5$	$L(1)+W/2$	$L(3)-W/5$	19
LSHO	左手	$A(2)$	$A(1)$	$A(3)$	20
LELB	左手	$B(2)$	$B(1)$	$B(3)$	21
LWRA	左手	$C(2)$	$C(1)+W/5$	$C(3)$	22
LWRB	左手	$C(2)$	$C(1)-W/5$	$C(3)$	23
LFIN	左手	$C(2)+(C(2)-B(2))/5$	$C(1)+(C(1)-B(1))/5$	$C(3)+(C(3)-B(3))/5$	24
RSHO	右手	$D(2)$	$D(1)$	$D(3)$	25
RELB	右手	$E(2)$	$E(1)$	$E(3)$	26
RWRA	右手	$F(2)$	$F(1)+W/5$	$F(3)$	27
RWRB	右手	$F(2)$	$F(1)-W/5$	$F(3)$	28
RFIN	右手	$F(2)+(F(2)-E(2))/5$	$F(1)+(F(1)-E(1))/5$	$F(3)+(F(3)-E(3))/5$	29

CSM 檔案完成範例如下所示：

\$Filename test.csm

\$Date 2002-07-22

\$Time PM 01:22:26

\$Actor Garfield

\$Comments

Motion capture data from Garfield

\$FirstFrame 1

\$LastFrame 1

\$Rate 30.000

\$Order

LFHD LBHD RBHD RFHD CLAV STRN LFWT LBWT RBWT
RFWT C7 T10 LKNE LANK LMT5 LTOE RKNE RANK RMT5
RTOE LSHO LELB LWRA LWRB LFIN RSHO RELB RWRA
RWRB RFIN

\$Points

1 12.69874 26.69874 502.7448 -58.69874 26.69874 502.7448 -58.69874
-44.69874 502.7448 12.69874 -44.69874 502.7448 12.69874 -9 354
12.69874 -9 318.3013 38.69874 21.30126 232 -32.69874 21.30126
267.6987 -46.69874 -10.30126 235 24.69874 -10.30126 270.6987 -58.69874 -9
354 -58.69874 -9 318.3013 -5 60 132 -14 59 62 21.69874 59 26.30126
75.24685 23.30126 26.30126 -9 -40 118 -27 -37 34 8.698739 -37 -1.69874
62.24685 -1.30126 -1.69874 -18 79 340 -14 86 308 26.69874 94 250
-44.69874 94 250 -8 95.6 238.4 -28 -97 368 -23 -135 348 10.69874 -161
362 -60.69874 -161 362 -25.4 -166.2 364.8

能夠套用至虛擬人偶的資料格式有很多種，例如 BVH 格式、BIP 格式等等；而本研究使用 CSM 格式的原因為，只需將身體各部份關節點之三維座標填入即可，因此不需要再將座標轉換成為其他格式的資料，例如 BVH 格式的檔案就必須填入關節點的三維旋轉角度；因此本研究選用 CSM 格式來儲存人體動作的資料。