

以 Line Pair Pattern 進行水平解析度計算之研究

張維哲

致茂電子股份有限公司
alvin-chang@chroma.com.tw

林耀明

致茂電子股份有限公司
ymlin@chroma.com.tw

張宏彰

致茂電子股份有限公司
popai@chroma.com.tw

壹、摘要

本研究係提出一種簡易快速相機 XY 平面的校正方法，其利用一組已知線寬與線距之標準片，透過相機取像並利用影像處理方式計算出數條平行線之平均斜率，並利用此斜率來求出每一條條紋的直線方程式，如此即可確保每一條條紋皆為平行之線段，再利用數學原理可求得一與平行線垂直之直線方程式，計算此直線方程式與每一條平行線的交點，而這些交點即可求出兩平行線之影像距離，利用量測求得之影像距離與標準片上已知之條紋間距，即可換算出每個像素點所對應的實際尺寸。此方法可以將標準片任意擺放進行校正而無需考慮放置的垂直度與水平度，且其計算乃採用擬合方式計算，不僅可以增加校正的速度與方便性，更可利用次像素的解析達到更精準的校正。目前此技術已實際應用於 Chroma 7502 白光干涉系統上，用來進行系統水平解析度校正使用，且該項技術亦於 2005 年申請專利。

關鍵字：Line Pair Pattern、水平解析。

貳、前言

相機 XY 平面校正時，乃將標有刻度的刻度尺置於相機底下，經相機取像後利用影像處理方式或是直接在影像上選取兩刻度線位置 P1 與 P2 如圖(1)，並計算這兩個位置的距離相差多少個像素點，而刻度尺的每個刻度距離為已知尺寸，因此 P1 與 P2 的實際距離亦可計算得出，有了實際距離尺寸資訊以及影像點距離資訊，即可換算出每個像素點對應多少 μm 。此種方式使用時需要求刻度尺的水平軸線儘量與影像平面水平軸線平行如圖(2)，當有一傾角存在時，則量測出來的距離便會比實際長度來的短如圖(3)，該問題便會在校正時產生誤差量，而為了調整刻度尺的水平度，則需要有相關的調整平台搭配才較易做到，如此一方面所需的調整機構將變的較為複雜，而調整所需的時間也相對增多。

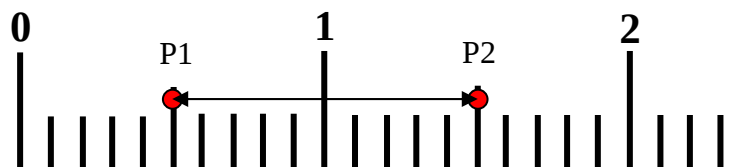


圖 1 於影像畫面上選取 P1、P2 兩點

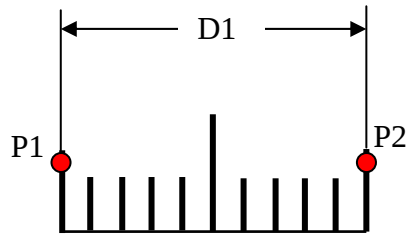


圖 2 水平時所取得之距離 D1

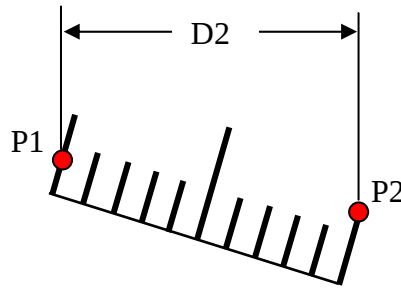


圖 3 當有一傾角時所去得之距離 D2

參、研究方法

XY 平面在未經過校正時，量測時所得到的為一以 pixels 為單位的數值，該數值並非一有意義的物理量，若要將其轉換為一有意義的物理量來表示時，需以校正的方式來計算出兩者之間的對應比例關係。在此校正時採用實物校正的方式來進行，目前 XY 校正所使用的為 Edmund Industrial Optics 公司所生產之標準片，如圖(4)，該標準片上有數組不同密度的 line pair。

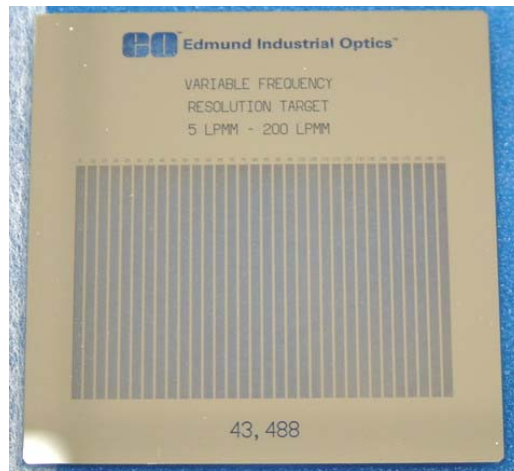


圖 4. Line Pair 標準片

由於不同鏡頭其放大倍率會不同，因此 pixel 對應到實際尺寸的比例也會不一樣，所以不同鏡頭至少皆須校正過一次，校正完畢後可得到各自的轉換係數，此外不同倍率的鏡頭其 FOV 也會不同，因此在標準片上選擇不同 line pair 的 pattern 來進行校正是必須的。移動載台至目標 pattern 上，進行對焦以及傾角的調整，透過 CCD 取像可得到如圖(5)之影像，此時使用者須在該張影像上先指定兩座標點來產生一直線路徑，如圖(6)，該直線路徑需橫跨數條 line pair，橫跨的 line pair 數目越多，計算所得結果會越加穩定。計算每一條亮線的邊界資訊，利用每一條線的邊界資訊可達成亮線的搜尋

[2][3][4]，亦可得知該直線路徑共經過幾條亮線，此時每一條亮線的座標資料會分別被選取，將每一條亮線上的資料座標值代入迴歸方程式，求出每一條亮線的方程式，在將資料代入的迴歸方程式前，利用直線上的座標資料求出 dX 與 dY，當 dX 值大於 dY 時，代表亮線為水平走勢，可使用水平線方程式來計算，反之則代表亮線為垂直走勢，此時使用垂直線方程式進行計算，若使用者定義的路徑橫跨 m 條亮線，便會得出 m 個 a 值，將這 m 個 a 值加總平均得到一個新的 a 值，該值代表全部線段的平均斜率。接著將規劃出來的直線路徑所經過的第一條亮線資料與最後一條亮線座標資料取出計算代入式(1)，其中 a 值為之前算出的平均斜率，計算後可得到第一條線的截距 d1 以及最後一條線的截距 d2，將 a、d1、d2 及 m 代入式，即可計算出影像座標與空間座標間的轉換係數。

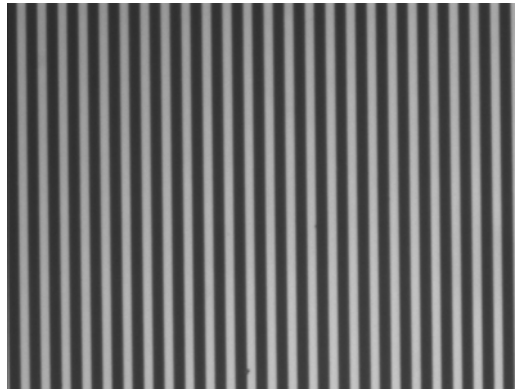


圖 5. 顯微鏡下之 XY 標準片影像

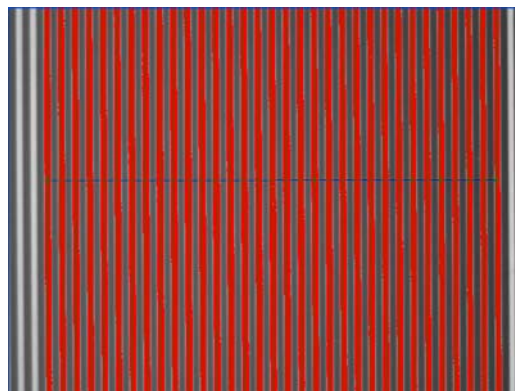


圖 6. 使用者自訂一橫跨數條 line pair 之直線路徑

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m x - a * \sum_{i=1}^m y}{m} \quad (1)$$

$$scale = \frac{\frac{|d2 - d1|}{\sqrt{1 + a^2}}}{m - 1} \quad (2)$$

肆、研究成果

為了驗證本研究所提出之水平解析度計算方法，在此設計了四組實驗方式進行演算法之計算能力測試，本研究所使用之驗證測試系統為 Chroma 7502 白光干涉顯微鏡系統，如圖 7，使用時搭配 20X Nikon 干涉物鏡、0.5X 之 tube lens 以及解析度為 1000×1000 pixel 之數位式攝影機，待測物體則採用 Edmund Industrial Optics 5 LPMM – 200 LPMM Line Pair 標準片。



圖 7. Chroma 7502 白光干涉儀

實驗 1.

此實驗的設置為固定標準片，以 60 line pair 區為待測區間，並依序執行 10 次取像，可分別得到 10 張不同時間所擷取到之 line pair 影像，每張 line pair 影像皆以影像座標(10, 500)為起始點，由左往右拉出一寬度 980 pixel 之水平線進行計算，表 1 為實驗所測得之結果。

表 1. 實驗 1 量測結果

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
量測結果 $\mu\text{m}/\text{pixel}$	0.73088	0.73083	0.73081	0.73086	0.73087	0.73080	0.73083	0.73081	0.73091	0.73093
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0.73085	0.73090	0.73088	0.73086	0.73081	0.73081	0.73092	0.73085	0.73084	0.73089
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0.73091	0.73082	0.73083	0.73085	0.73088	0.73088	0.73087	0.73093	0.73084	0.73086
標準差 μm (at 3σ)	0.00012									

實驗 2.

將標準片固定不動，擷取單張 60 line pair 影像，並在影像不同位置區間進行計算，在此以影像左上角為(0, 0)位置，分別以起始點(10, 250)、(10, 500)以及(10, 750)由左至右拉一 900 pixel 寬度之水平線進行計算，如圖 8，每個區間各量測 30 次進行平均計算，其計算結果如表 2:

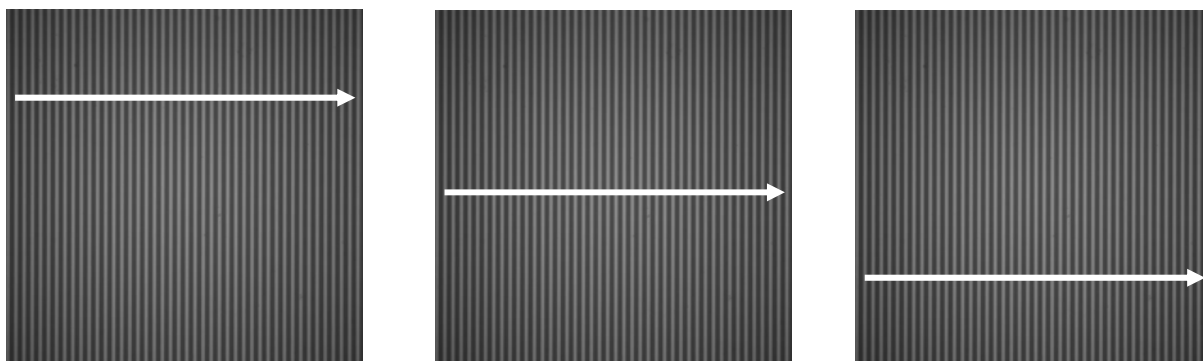


圖 8. 影像各區間量測示意圖

表 2. 實驗 2 量測結果

起始點 pixel	終點 pixel	30 次量測平均值 μ m/pixel
(10, 250)	(990, 250)	0.73092
(10, 500)	(990, 500)	0.73089
(10, 750)	(990, 750)	0.73095

實驗 3.

將標準片固定不動，擷取單張 60 line pair 影像，量測時以 (10, 10)為起始座標點，由左上往右下拉一對角斜線至右下角(990, 990)位置，以及以(10, 990)為起始位置，往右上斜角拉出一斜線至右上角(990, 10)位置進行量測，如圖 9，每個區間各量測 30 次進行平均計算，其計算結果如表 3:

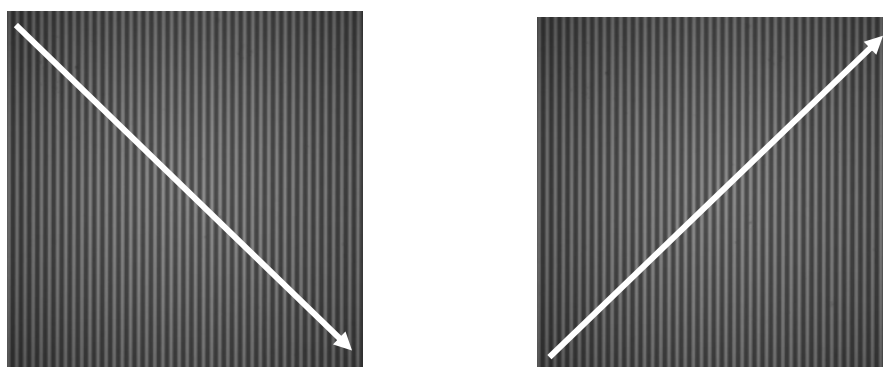


圖 9. 對角線量測示意圖

表 3. 實驗 3 量測結果

起始點 pixel	終點 pixel	30 次量測平均值 μ m/pixel
(10, 10)	(990, 990)	0.73091
(10, 990)	(990, 10)	0.73092

實驗 4.

本實驗分別擷取不同密度之 line pair，分別為 40、60 以及 80 line pair，量測時影像(10, 500)為起始位置，由左至右拉一 990 pixel 寬度之水平線進行計算，如圖 10，每個區間各量測 30 次，並將結果進行平均計算，其計算結果如表 4:

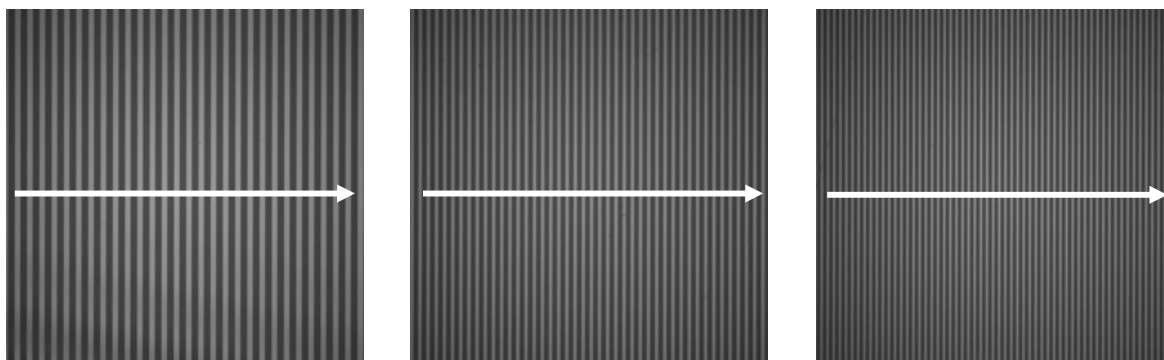


圖 10. 不同密度 line pair 量測示意

表 4. 實驗 4 量測結果

	40 line pair	60 line pair	80 line pair
平均值 μ m/pixel	0.73083	0.73086	0.73101
標準差 μ m (at 3σ)	0.00009	0.00012	0.00010

伍、結論

本研究主要是利用已知線寬與線距之物理尺寸以及在影像上所計算得到以像素點為單位的線寬與線距進行對應轉換，如此可換算出影像上每個像素點所對應到的實際物理尺寸，使用本研究方法可以忽略標準片的放置角度，與傳統校驗時需將標準片的水平軸與相機的水平軸平行，才不會影響校正精度的方式不同，因此省略了調整標準片與相機對正的步驟，而縮短了校正時所需的時間，另外條紋的中心線搜尋採用擬合方式計算得出，此種運用次像素計算的方法可以有效提高校正精度。

本研究所提出之方法在使用時必須盡量讓標準片表面與光軸垂直，當光軸與標準片表面有一傾角存在時，因為投影效應的關係造成影像中 line pair 並非等間距分布，而是隨著傾斜方向不同而漸疏或漸密，此種現象在進行量測時將會造成精度上的誤差，然而本研究所使用之 Chroma 7502 白光干涉儀系統，本身已有搭配將待測物表面調平確保與光軸垂直之機制，在進行實驗前皆會利用此機制將待測平面調整至與光軸趨近垂直，因此本研究所進行之實驗已將此問題排除，除此之外本方法目前僅適用於相機 sensor 的像素點為正方形時使用，而不適合用於矩形像素點之 sensor 相機。

陸、參考文獻

- [1] 張維哲、林耀明：快速相機 XY 平面之校正方法
- [2] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection," Proc. of the Royal Society, 1980, B 207: 187-217
- [3] J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner, and J. F. Hughes, Computer Graphics: Principles and Practice, 2th Edition, Addison-Wesley, New York, 1996.

- [4] J. Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 1986, pp. 679-698.