

快速無需校正的非線性畸變修正法於條碼解讀 --實現工業級二維條碼 Aztec(ISO/IEC24778)解碼器

郭宜忠
亞洲大學
e-mail :

陳桓榆
亞洲大學
e-mail :

李正宇
亞洲大學
e-mail :

allen11b075@hotmail.com mr.lester@hotmail.com leecheng@asia.edu.tw

摘要

本研究依照國際標準 ISO/IEC 24778，以工業電腦視覺系統開發平台，設計與實現一種可自動修正非線性畸變(non-linear distortion)之工業級 Aztec 二維條碼解碼系統。此法將條碼的非線性畸變以拋物線近似，分別在垂直或水平方向上，取條碼影像上下緣或左右緣為基準進行四次拋物線擬合，並基於由上至下或由左至右的拋物線曲率為線性變化的合理假設，得出所有像素於失真前後的近似非線性關係，並據此進行反轉換。此法僅需四條拋物線的擬合及二次多項式中的簡單乘除運算，免除傳統上需系統校正及求解多元高次方程式的複雜運算。系統測試結果顯示，此法可即時修正實際應用時常發生的非線性畸變問題，且免除系統校正的困擾，增加此二維條碼解碼器的強固性及效率。

關鍵詞：非線性畸變、無需校正修正法、拋物線擬合、二維條碼解讀、Aztec。

Abstract

In this study, we follow the international standard ISO/IEC 24778 to design and implement, under an industrial vision development platform, a high-performance Aztec 2D barcode decoder with calibrationless correction method for non-linear distortion.

The proposed correction method horizontally and vertically fits the non-linear distorted images to two sets of trajectory equations, respectively. References of the trajectory behaviors are those four distorted barcode boundary lines, which were straight before distortion. These best-fit trajectory equations can thereafter be used to reverse the distortion.

To simplify the derivation of the sets of the trajectory equations, a reasonable and practical assumption is given: curvature of horizontal or vertical sets of trajectories are changing linearly,

from top to bottom, from left to right boundaries of the given barcode image. By this assumption, these trajectory equations can be obtained by simple mathematics.

In our method, conventional computation-intensive equation solving, e.g. multivariate nonlinear optimizations, is not necessary. Hence, a calibrationless, stable, and real-time non-linear correction barcode reader system can be achieved.

Keywords: Non-linear distortion correction, calibrationless correction method, trajectory fitting, 2D barcode decoding, Aztec.

1. 前言

近年來，隨著資訊快速的進步，相機的校正卻是很重要的問題，如相機鏡頭的校正，Ricolfe-Viala and Sanchez-Salmeron [1]，和生物醫學影像的內視鏡影像，在以往大多使用一個校正模板，在利用非線性數值求解，如E. Smith et al[2]，Haneishi et al[3]，Asari et al[4]，Hui-xian SUN et al[5]，以達到校正之目的。

以上這些方法都是需要校正模板，但在有些情況上是不能使用校正模板，如二維條碼，當條碼貼在圓弧上的物體或是凹凸不平的物體上時，每次取得影像距離不會固定，就不能進行校正。而二維條碼的特性絕大多數為矩形或正方形，畸變前具有四個明顯的正交頂點，且外觀比例並不影響解碼，因此可預設轉換後的外框尺寸；我們針對這樣的問題提出了新的方法「無需校正的非線性畸變修正法」應用在二維條碼 Aztec(ISO/IEC24778)之工業級高速電腦視覺解碼器上。

Aztec 碼是由 Andrew Longacre 發明於 1995 年，是一種矩陣式的二維條碼，具有抗損性和資料保密性高，條碼的儲存容量可編碼 3000 字元，使用者能自行設定其錯誤糾正能力，即使磨損率達 50% 的條碼仍能正確地讀出

內容。

本研究中所使用的方法只需要四周邊緣點(座標點)，進行拋物線擬合及二次多項式中的簡單乘除運算，就可即時修正實際應用時常發生於條碼解讀上的非線性畸變問題，且免除需要系統校正的困擾，如圖 1-1。

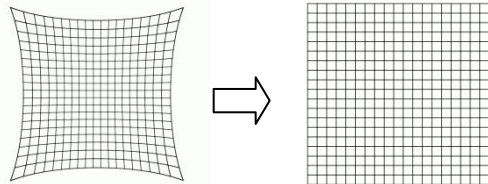


圖 1-1 非線性畸變之修正

我們將在第二章詳細說明非線性畸變修正法，在第三章介紹實驗結果，最後在第四章討論結論。

2. 方法

在本研究中的非線性畸變修正法我們提出的修正流程，如圖 2-1:

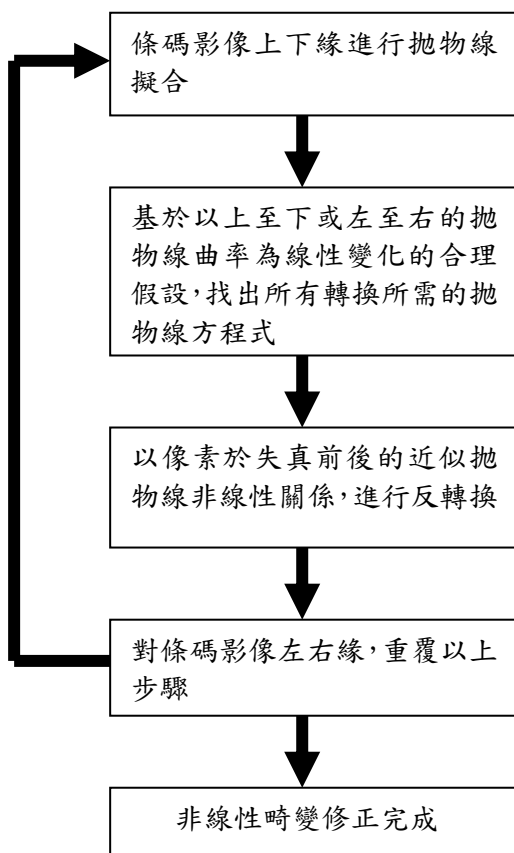


圖 2-1 方法流程圖

2.1 拋物線擬合

先取得條碼影像上下緣 n 個座標點，將取得的這些座標點分別為 $U(x_n, y_n)$ 和 $D(x_n, y_n)$ 表示，這些座標點代入 $y_n = ax_n^2 + bx_n + c$ 二次多項式中，並進行拋物線擬合，如式(1)。

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (1)$$

$$X \text{ 表示 } \begin{pmatrix} x_0^2 & x & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^2 & x_n & 1 \end{pmatrix}, Y \text{ 表示 } \begin{pmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \text{ 經過式(1)}$$

，可以求出曲線方程式得到 $[a, b, c]$ 參數，並可以得知上下緣的最佳曲線方程式。

2.2 拋物線曲率線性變化

利用拋物線擬合求出條碼上下緣曲線方程式，並求出上下緣曲線的頂點；再求出連結上下緣兩個頂點的直線方程式；基於曲率線性變化的合理假設，接著計算出對應在直線上的單位像素拋物線曲率(二次項係數)變化 D ，如下式：

$$D = \frac{a_U - a_D}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (2)$$

其中， a_U 表示上緣曲線方程式的二次項係數(曲率)， a_D 表示下緣曲線方程式的二次項係數(曲率)， $y_{\max}$ 表示原影像的上緣拋物線頂點起始 y 座標， $y_{\min}$ 表示原影像的下緣拋物線頂點終點 y 座標，再利用式(3)，即可求出上緣到下緣漸近變化個別的拋物線(頂點在 $y = y_N$) 二次項係數為

$$a_N = a_U + (y_N - y_{\max})D \quad (3)$$

另外我們對曲線方程式在頂點 (x_N, y_N) 作微分的切線斜率應為 0，由此可計算得知此處任一條拋物線的二次及一次項係數的關係為 $b_N = 2a_N$ ，所以我們可得到通過頂點 (x_N, y_N) 的拋物線方程式為

$$y = a_N x^2 + 2a_N x + c \quad (4)$$

參數 c 可利用頂點連結直線方程式代入式(4)求得。

至此，式(4)為上緣曲線到下緣曲線之間的曲率漸近變化過程中的所有個別曲線方程式，如圖 2.2-1。

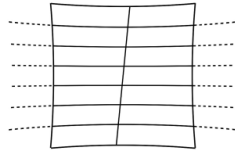


圖 2.2-1 上下緣曲線之間曲線方程式示意圖

2.3 反轉換

利用上緣曲線到下緣曲線之間的曲率漸近變化過程中的所有個別曲線方程式，以像素於失真前後的近似拋物線非線性關係，進行反轉換。先定義新影像的高和寬，再利用新影像的高(y_n)，代入頂點連結直線方程式，找出對應頂點連結直線方程式的 x_n 點，利用 x_n 點可以找出相交於直線方程式的曲線方程式，再利用新影像的寬(x_n)，代入此曲線方程式求出 y_n ，達到反轉換之效果，來修正水平方向非線性畸變問題。

2.4 修正非線性畸變問題

以上的方法是處理條碼影像上下緣的近似拋物線失真，關於左右緣的近似拋物線失真，是利用水平修正的圖，再用 2.1 到 2.3 章節，相同的步驟對左右緣再進行一次，達到水平與垂直方向分別進行非線性畸變之修正。

3. 實驗結果

3.1 實驗環境設定

在實驗環境設定部份，我們使用的開發環境，如下：

1. Borland C++ Builder 6
2. AISYS OVK Framework R1.5.2
3. 工業級相機 AISYS ALTAIR U36F，如表 3.1-1
4. General Reed-Solomon Encoder/Decoder v1.04 (GRS v1.04)
5. 電腦軟硬體規格 Intel(R) Core(TM)i3 CPU M350@2.27GHz 2.27GHz

表3.1-1 AISYS ALTAIR U36F相機相關規格

感光晶片規格	CMOS
影像解析度	752 (H) x 480 (V)
像素尺寸	6.0 x 6.0 μm 正方形像素
影像輸出格式	8 位元，灰階
最大像速率	60 fps; 預設值 = 30 fps
動態範圍	大於 60.0 dB
電子快門	電子全域快門
掃描模式	循序式掃描、全域式曝光
像速率控制	軟體控制：30到60 FPS
資料傳輸介面	USB 2.0、每秒 480 百萬位元

3.2 系統建置

我們使用 Borland C++ Builder 6 來開發此系統，系統建置主要分成五大步驟，如圖 3.2-1

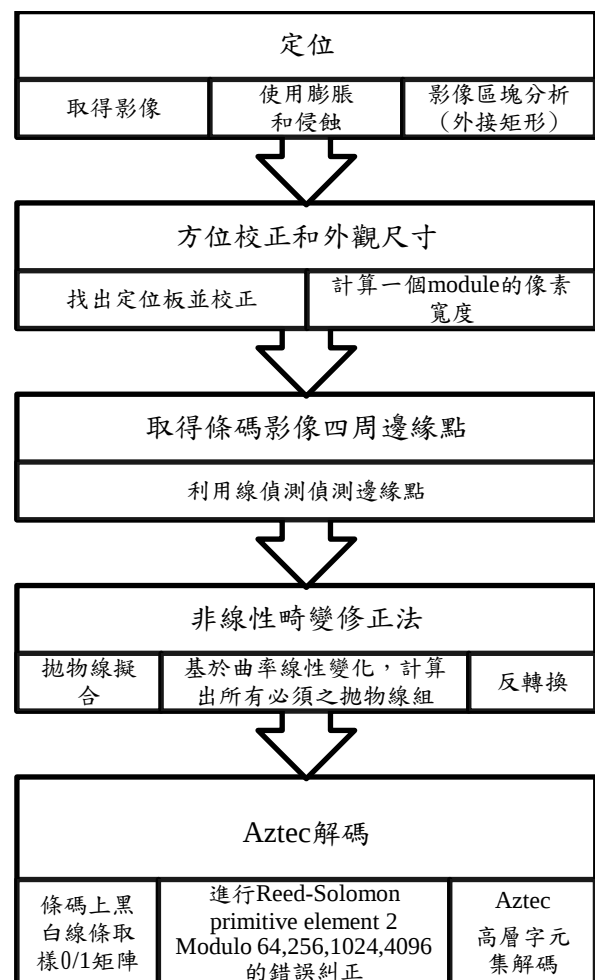


圖 3.2-1 系統架構圖

首先我們先取得非線性畸變的影像，如圖 3.2-2，並開始進行影像定位。

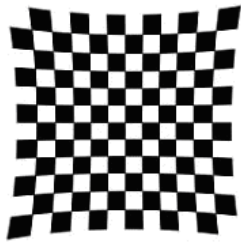


圖 3.2-2 非線性畸變影像

先將影像作膨脹運算和侵蝕運算，其功用在於可以補影像中之白色區塊填充成黑色，達到沒有斷點之效果，這時把影像作區塊分析 (Blob Analysis)，計算出區塊的外接矩形，達到影像之定位，如圖 3.2-3。

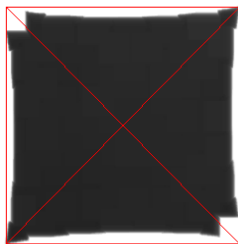


圖 3.2-3 影像定位

在方位校正上，當影像本身有傾斜、垂直或水平旋轉時，我們必須將條碼轉正才能解讀，因此需要知道傾斜的角度和定位板位置，如圖 3.2-4，我們先利用影像定位得知四個邊之座標點，在利用點與線之關係求出角度，將影像轉正並用線偵測，偵測四個定位板是否正確，達到方位校正並能解讀，如圖 3.2-5，而在外觀尺寸部份，用點偵測的方式，計算一個 module 的像素寬度，因此每次在取得影像時能算出條碼之比例，以達到不會因取得影像的遠近而造成解讀失敗，圖 3.2-6。

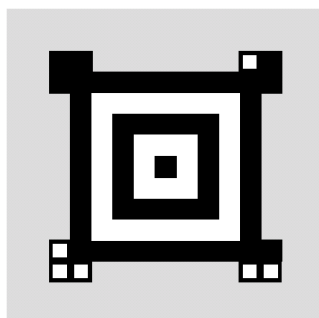


圖 3.2-4 定位板位置

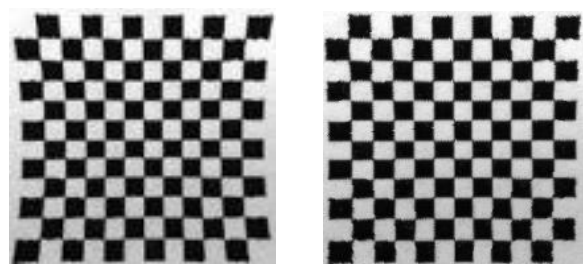


圖 3.2-5 視窗程式介面圖(方位校正)



圖 3.2-6 視窗程式介面圖(外觀尺寸)

在取得條碼的四周邊緣點，我們是用點偵測的方法，以圖 3.2-2 為例，在條碼四個邊進行掃描，取得條碼四個邊緣上的座標點，這些點座標帶入本研究提出的非線性畸變修正法進行修正，達到解決非線性畸變之效果，如圖 3.2-7；視窗程式介面圖，如圖 3.2-8。



(a) (b)

圖 3.2-7 (a)先水平修正結果 (b)水平及垂直皆修正結果

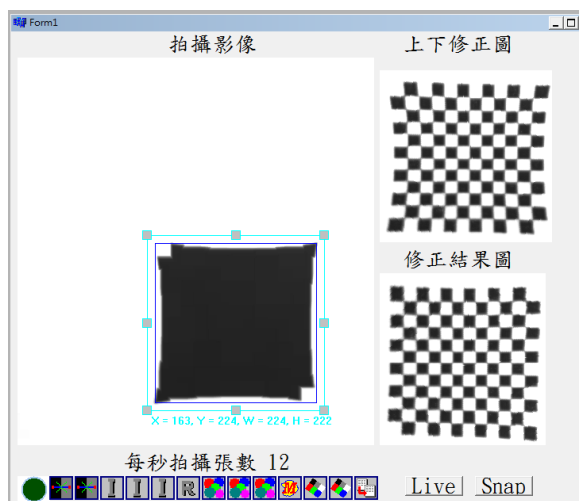


圖 3.2-8 視窗程式介面圖

在條碼應用上面，選擇 Aztec 二維條碼，Aztec 解碼部分是參照國際標準 ISO/IEC 24778[6]所實現，同樣利用點偵測的方式來取樣還原，黑色部份為 1，白色部份為 0，取出黑白對應的 0/1 矩陣資料，如圖 3.2-9，在利用左上角定位板進行順時鐘方向進行取樣，如圖 3.2-10。



圖 3.2-9 (a)Aztec 二維條碼 (b) 0/1 矩陣資料

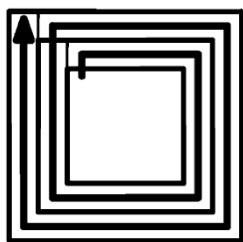


圖 3.2-10 順時鐘方向進行取樣

利用取樣後的資訊，進行 Reed-Solomon 錯誤碼更正，Aztec 本身有強大的錯誤糾正能力，因此當條碼有受損，可以更正回來，我們使用 General Reed-Solomon Encoder/Decoder v1.04 (GRS v1.04)[7]，來進行更正，如圖 3.2-11，再參照國際標準 ISO/IEC 24778，進行高層解碼，獲得 Aztec 條碼中的資訊。



圖 3.2-11 視窗程式介面圖(條碼受損)

4. 討論

本研究提出非線性畸變修正法，只需要四周邊界點(座標點)，進行四次拋物線擬合及二次多項式的簡單乘除運算，並進行反轉換，經過實驗結果證實，確實達到了修正之目的，而此方法在結果顯示每秒大約可以拍 12 張圖像，在條碼部分，我們選擇 Aztec 二維條碼來當例子，在動態取得影像過程中條碼解讀每秒大約可以拍 20 張圖像。

此方法的優點，一、不需要校正，可免除需要系統校正之困擾，二、運算速度快，因此把非線性畸變修正法應用在二維條碼上，效果相當顯著；然此方法修正的結果，在品質上，仍不完美；但應能運用在影像對比較強且要求高速的應用上。

5. 參考文獻

- [1] Carlos Ricolfe-Viala, Antonio-Jose Sanchez-Salmeron, "Correcting non-linear lens distortion in cameras without using a model," *Elsevier Ltd. Optics & Laser Technology*, 42, pp. 628-639, 2010.
- [2] Warren E. Smith, Nimish Vakil, and Seth A. Maislin, "Correction of Distortion in Endoscope Images," *IEEE Transactions On Medical Imaging*, Vol. 11, No. 1, March 1992.
- [3] Hideaki Haneishi, Yutaka Yagihashi, and Yoichi Miyake, "A New Method for Distortion Correction of Electronic Endoscope Images," *IEEE Transactions On Medical Imaging*, Vol. 14, No. 3, September 1995.

- [4] K. Vijayan Asari, Sanjiv Kumar, and D. Radhakrishnan, "A New Approach for Nonlinear Distortion Correction in Endoscopic Images Based on Least Squares Estimation," *IEEE Transactions On Medical Imaging*, Vol. 18, No. 4, April 1999.
- [5] Hui-xian SUN, Yu-hua ZHANG, Fei-lu LUO, "A Novel Approach for Nonlinear Distortion Correction of Industrial Endoscope Images," *World Conference on Nondestructive Testing*, pp. 25-28, October 2008.
- [6] ISO/IEC24778, "Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Aztec Code bar code symbology specification," *International Standard*, 2007.
- [7] General Reed-Solomon Encoder/Decoder v1.04 (<http://www.masys.url.tw/>).