

## 1. 背景知識

### 1.1. 透視 ( Perspective )

透視是一種視覺表現技巧，通常用在繪畫及攝影領域，目的是模擬人眼如何看到物體和空間，尤其是如何感知物體的遠近、大小和形狀。透視的核心原理包括幾個要點：

- (1) 尺度透視 ( Size Perspective )：在視覺上，距離較遠的物體比較近的物體看起來更小。例如，遠處的山脈看上去比附近的樹木小，即使實際上山脈可能體積更大。如圖 1。
- (2) 重疊透視 ( Overlap Perspective )：當一個物體部分遮蓋另一個物體時，被遮蓋的部分感覺會更遠。
- (3) 線性透視 ( Linear Perspective )：在視覺上，平行的線條會在視野的遠端聚合到一點。例如，鐵軌或建築物的邊緣，雖然它們在現實世界中是平行的，但看起來卻會在遠處交會。如圖 2。



圖 1 尺度透視 實際上風力發電機的大小皆相同，但遠處的看起來會較小。

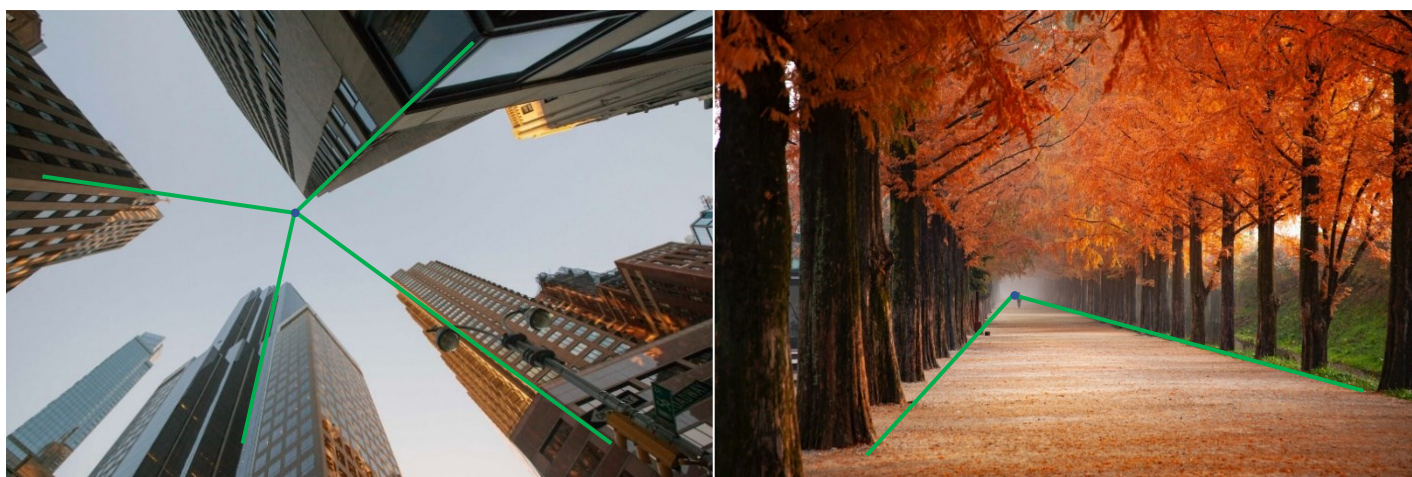


圖 2 線性透視 實際上大樓或道路兩側是平行的，但它們看起來會交會在遠處的某一點。

## 1.2. 透視變形 ( Perspective Distortion )

若影像有適度的透視效果，畫面看起來會相似於人眼所見，讓人覺得自然且真實。然而，若透視效果太多或使用不當，則會變成「透視變形」，也叫「透視失真」，導致影像與物體的實際外觀不同，如圖 3。

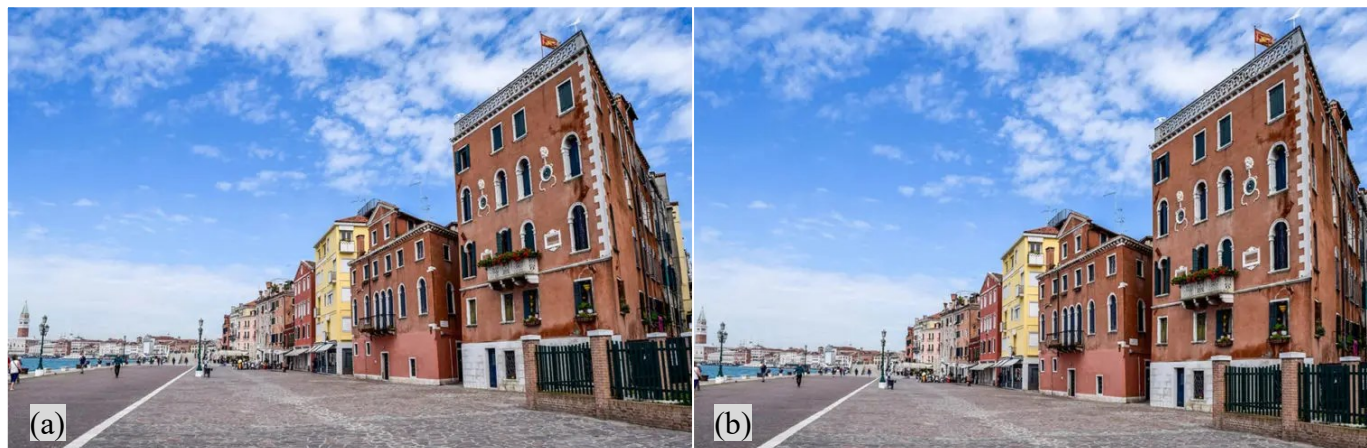


圖 3 透視變形 (a) 原圖，最右側的建築物看起來向前傾斜；(b) 校正變形後的圖像

在拍攝文件時，理想狀況下，相機應平行於文件並對準中心，以得到無失真的清晰圖像。但在空間有限或需快速拍攝時，我們往往會從斜上方拍攝文件，使得靠相機近的部分看似較大，遠的較小，進而導致透視變形，示意圖如圖 4。如此，影像中的文件不再是矩形，而是變形成不規則的凸四邊形，需要進行校正，如圖 5。

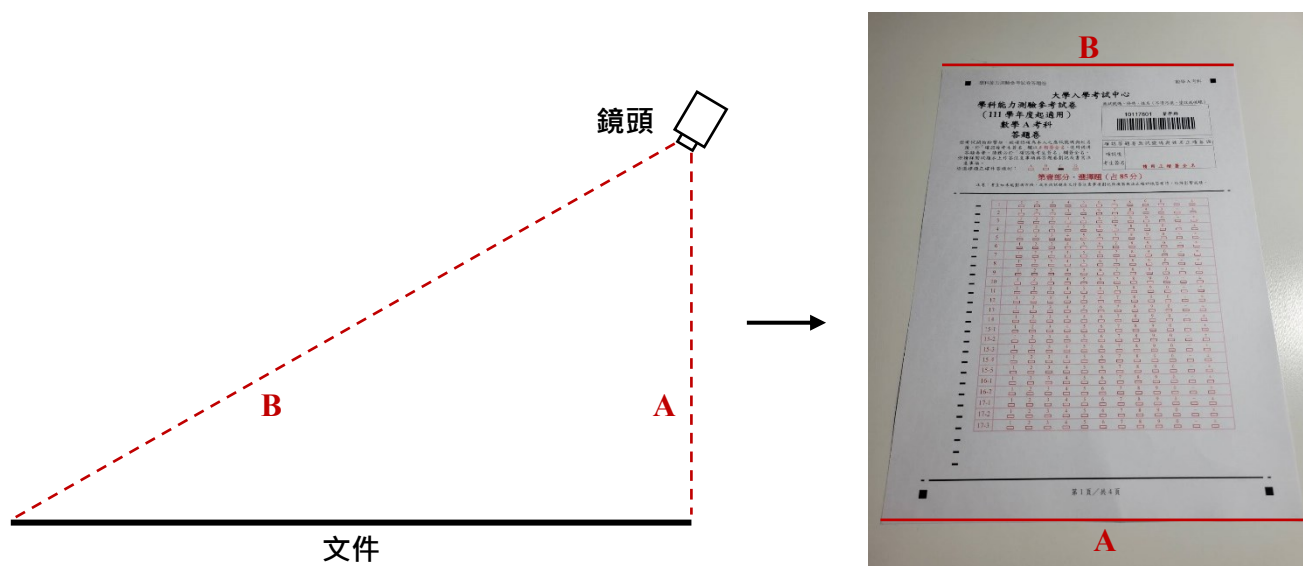


圖 4 文件的透視變形示意圖 拍攝時離 A 側較近，導致看起來較大，B 側則反之。

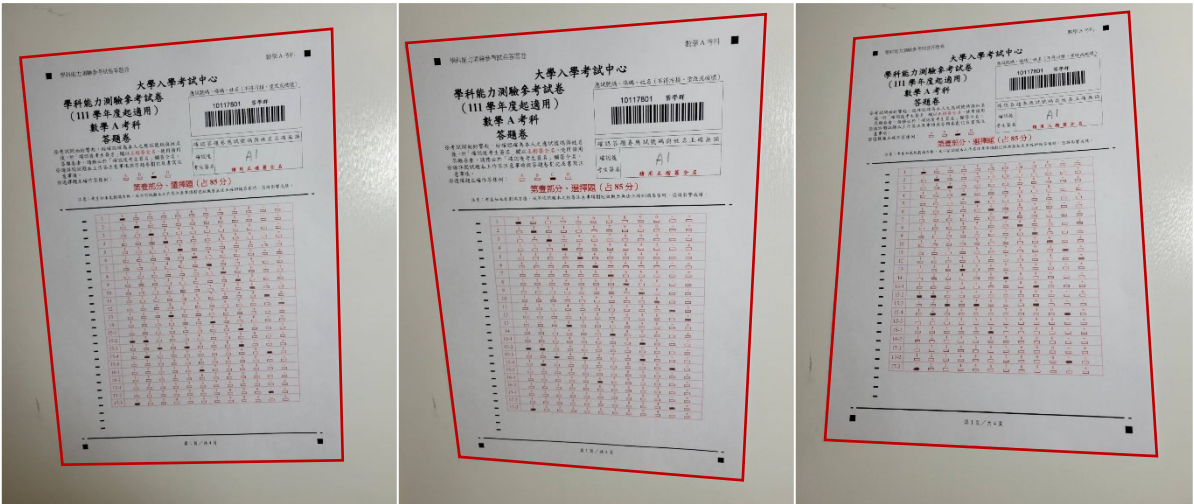


圖 5 以不同角度拍攝文件

2. 作業描述

本次作業只有一個部分，有兩個需要輸入的參數，皆以命令列引數的方式給定，說明如表 1。請注意，路徑本身已經含有副檔名。

表 1 命列列引數

輸入方式	位置	本文件中的名字	解釋
命令列引數	argv[1]	inputPath	input.jpg 的路徑，為輸入資料。
	argv[2]	outputPath	output.txt 的路徑，為輸出路徑。

光學標記識別 ( Optical Mark Recognition, OMR ) 是一種廣泛應用於多選擇試題答案卡的電腦識別技術。這項技術能夠快速、準確的辨識出指定答案卡上用筆畫出的標記。OMR 技術的核心原理是透過掃描裝置，如掃描器或專用 OMR 讀取器，來捕捉答案卡上的標記。當答案卡被掃描時，掃描器會檢測卡片上填充了墨水的特定區域。

而隨著技術的進步，許多現代 OMR 軟體也支援從相機拍攝的圖片中識別標記。這種方法不僅方便，而且可以快速處理大量數據。本次作業的目的即是撰寫 C++ 程式對相機拍攝的圖片進行 OMR，且程式應能應對不同的光源、不同拍攝角度、擦拭痕跡、陰影干擾。

請讀取路徑位於 inputPath 的 input.jpg 進行 OMR，然後將結果輸出至 outputPath 的 output.txt。輸入圖像的尺寸統一為 1108 × 1477 pixels，答案卡的大小為 A4( 210mm × 297mm )。



本次作業使用的答案卡共有 24 列，每列有 12 種選擇，每列只允許劃記一格。若使用者劃記數字 0 到 9，在輸出中請以相同的字元 '0' 到 '9' 表示；若使用者劃記減號  $-$ ，在輸出中請以字元 'A' 表示；若使用者劃記正負  $\pm$ ，在輸出中請以字元 'B' 表示。此外，必須考慮使用者「沒有劃記」及「劃記多於一格」的不合法情況，請分別以字元 'X' 及 'M' 表示。輸入及輸出的範例如圖 6。

input.jpg

1234567890AB479MMM6XXA1

output.txt

輸出劃記的數字，  
因此為 "1234567890"。

以 A 表示負號，以 B 表示正負，  
因此為 "AB"。

以 M 表示劃記多於一格，  
因此為 "MMM"。

以 X 表示沒有劃記，  
因此為 "XX"。

圖 6 輸入及輸出範例

為了達到作業的目的，建議分為以下兩步驟撰寫程式：

### (1) 校正透視變形

使用相機拍攝文件常有嚴重的透視變形，我們必須先校正答案卡。首先，我們透過影像處理找出答案卡四個角落的定位點，影像處理技術可以參閱 portal 教材區的「opencv 函式導覽」文件。接著使用 OpenCV 提供的函式 `cv::getPerspectiveTransform` 取得透視變換矩陣，最後再使用矩陣將影

像中答案卡的部分映射至一張等比例於 A4 的新圖片，如圖 7。要將變換矩陣作用於影像上可使用

cv::warpPerspective 這個函式。

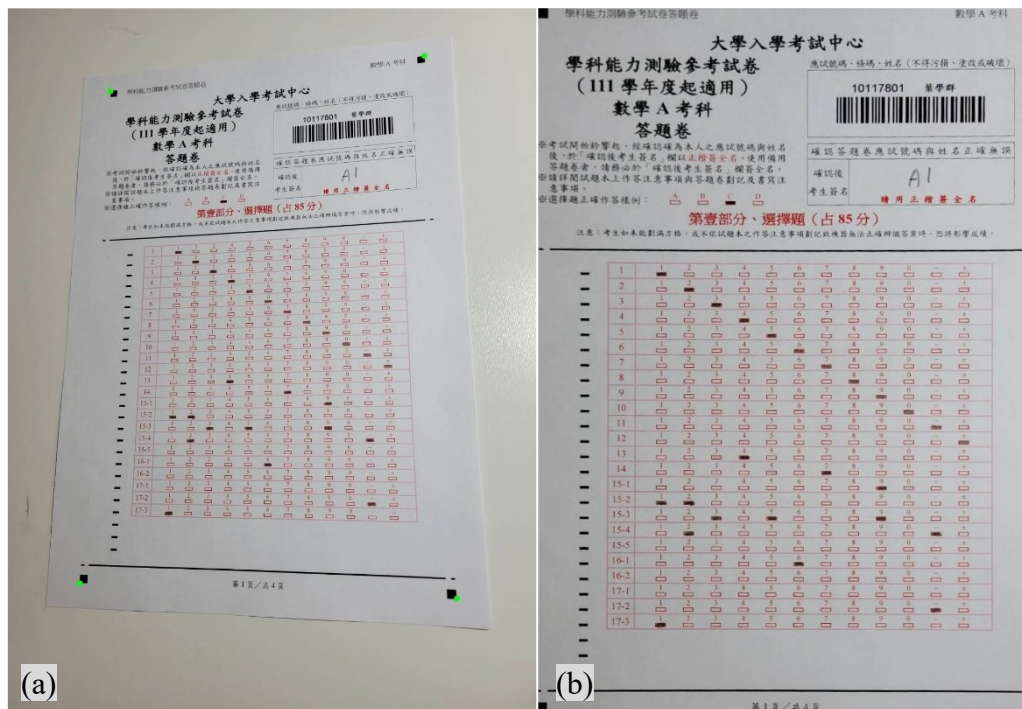


圖 7 找出定位點並進行透視變換 (a) 透過影像處理找出答案卡四個角落的定位點 (綠點)；(b) 將定位點映射至新圖像的四個角落，完成答案卡的校正。

## (2) 辨識答案卡劃記

我們可以透過多步驟的影像處理，辨識出答案卡上劃記的答案，如圖 8。

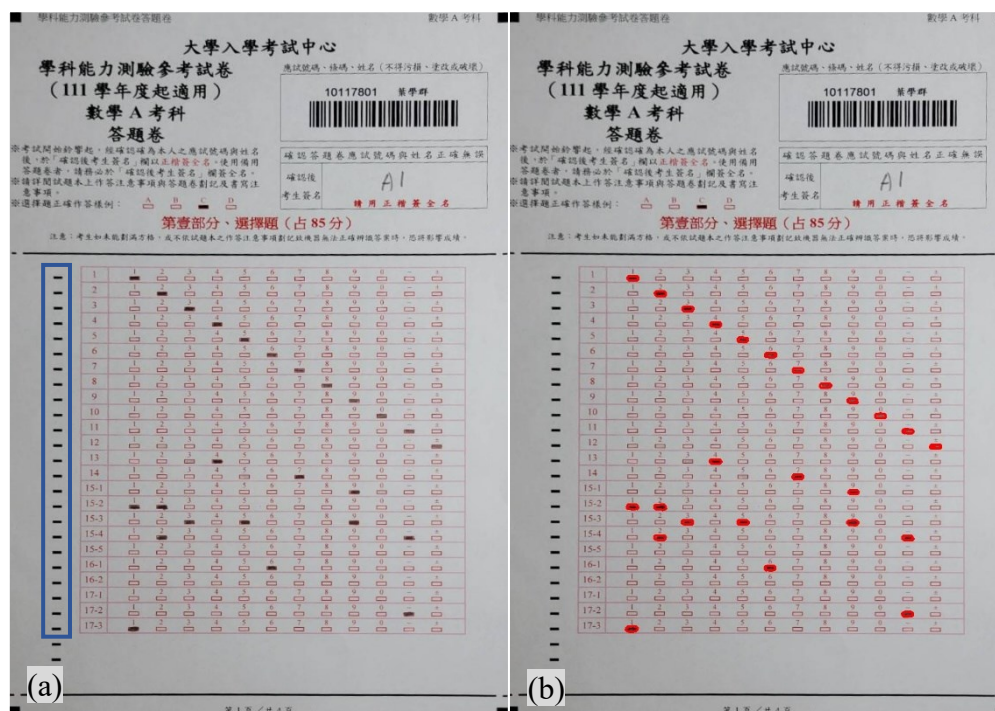


圖 8 辨識答案卡劃記 (a) 經校正的答案卡仍可能會存在一點誤差，此時可以使用左側藍框中的標註作為題目高度的參考；(b) 使用影像處理找出有劃記者，並以紅色繪製出邊界。

### 3. 輸入與輸出

程式執行一次只要處理一筆測資，需要接收兩個命令列引數。本次作業的輸出為一個長度為 24 個字元的字串，**輸出完請換行**。

### 4. 評分標準

本次作業共有 8 筆測資，皆為隱藏測資。每筆測資佔 10 分，輸出完全正確才給分，共 80 分。使用線上批改系統自動批改。

此外，還有 30 分的報告分數（不設有批改系統分數的限制），請撰寫文件回答以下問題：

- (1) 在程式中，我們使用 `cv::getPerspectiveTransform` 直接取得透視變換矩陣。請舉一個不為仿射變換的透視變換實例，以實際數字說明這個矩陣是如何計算出來的。若過程中需要解線性方程組，必須先以  $Ax = b$  的標準形式列出完整的方程組（ $A$  代表係數矩陣， $x$  是一個未知數的向量， $b$  是一個常數向量），但解方程組可使用程式或網路上的工具。（請不要照抄網路上的例子或使用公開測資的數據）（15%）
- (2) 觀察透視變換矩陣可以發現，不同於仿射變換矩陣，透視變換矩陣的最後一列不再是  $[0 \ 0 \ 1]$ ，變為  $[w_x \ w_y \ 1]$ ，請簡單說明  $w_x$  和  $w_y$  代表什麼？（5%）
- (3) 若原圖中有兩條平行線，對原圖分別進行仿射變換及透視變換後，兩線是否仍會平行？請回答並說明原因。（5%）
- (4) 經過上個作業，我們已經知道要對一張影像進行變換，必須使用反向映射（Inverse Mapping）的方法，也就是說，變換矩陣必須要是可逆的。在這個作業中，透視變換矩陣一定可逆嗎？若答案是「一定可逆」，請說明為何方程組不會無解或無限多組解；若答案是「不一定可逆」，請舉出可能不可逆的狀況，說明不可逆時答案卡的四個角落呈現什麼樣子，或映射到的新圖片有何特別。（5%）

【BONUS】前 10% 繳交作業（包含報告）且分數達 90 分者，最後會再額外加 10 分。

【BONUS】程式平均執行時間前 10% 且分數達 90 分者，最後會再額外加 10 分。

【BONUS】提供測試資料( 不可為公開測資 )且有滿分的同學程式執行錯誤，最後會再額外加 10 分。

本次作業的攻擊方式不包括使用極端情況的影像 ( 非常傾斜的拍攝角度、嚴重的陰影干擾、答案卡反光等 ) 或不合理的劃記( 答案格沒有劃滿等 ) 讓程式無法辨識，提供的測資難度必須與公開測資相近。

作業程式碼將進行相似度比對，由於本次作業沒有限定寫法或太多引導，同學們程式的邏輯會差異很大，因此我們將會提高相似度比對的標準，**請不要與同學交流影像處理方法，使用相似的流程。**

**而對於相似度較高的程式，我們會現場 Demo 確保不是抄襲。若有抄襲或作弊的情況，一律視為 0 分。**

## 5. 線上批改系統與環境

請將程式碼上傳至老師的線上批改系統 <http://dslab.csie.org/course/1121LA/>。執行環境如下表。本

作業限定使用 C++ 撰寫，且不提供 OpenCV 以外的第三方函式庫。

作業系統	Ubuntu 22.04
編譯器	g++ 11.4.0
OpenCV 版本	opencv 4.5.3
OpenCV contrib 版本	opencv_contrib 4.5.3

## 6. 繳交期限

**2023/12/26 23:59。**

## 7. 附註

若有成績的相關疑慮，請回報至 [yzu1607a@gmail.com](mailto:yzu1607a@gmail.com) ( 標題：[線性代數] sXXXXXXXX 作業三問題 ) 或於 Discord 伺服器問答區發問。為了保持公平性，我們不協助 Debug，只會確認是否為批改系統系統錯誤。

## 8. 引用

圖 1：<https://chloejphotography.blogspot.com/2015/12/photography-perspectives.html>

圖 2 : <https://drawwow.com/perspective-drawing/>

圖 3 : [https://unsplash.com/photos/photo-of-brown-concrete-houses-eZkXGjhuk\\_A](https://unsplash.com/photos/photo-of-brown-concrete-houses-eZkXGjhuk_A)