

project #1: High Dynamic Range Imaging

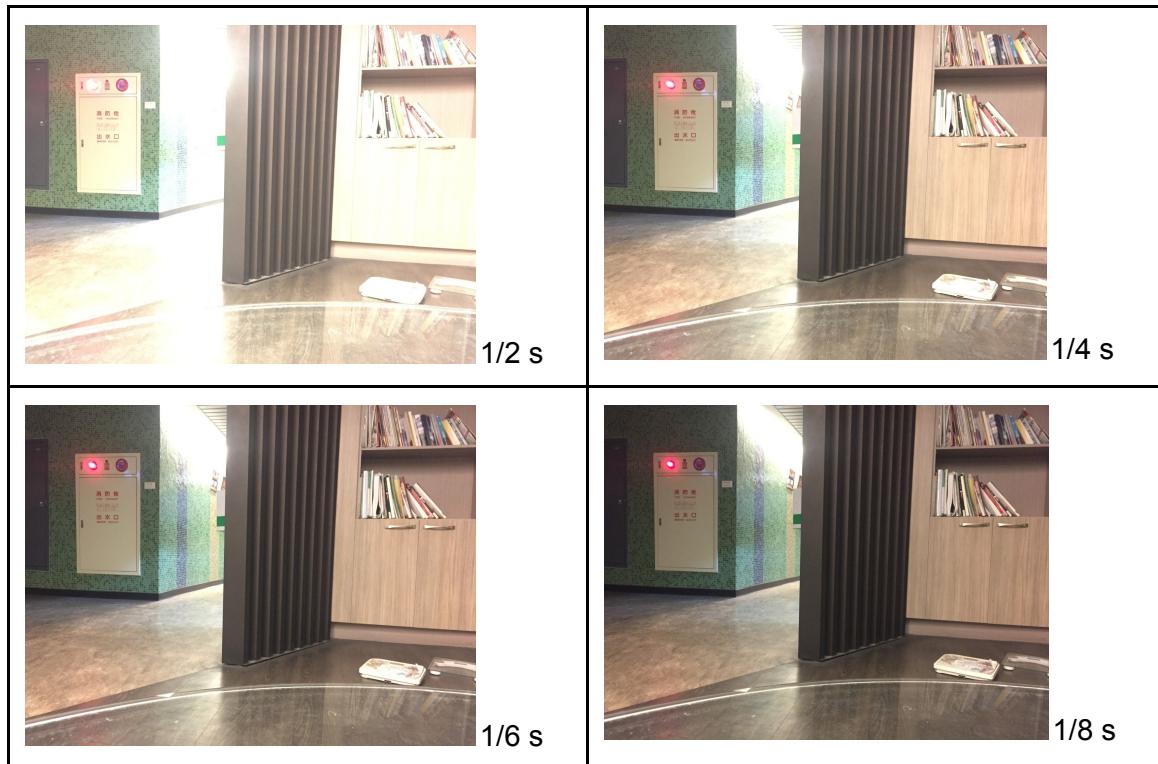
R06946009 林庭宇 、 R06922106 蕭勝興

1. Description

由於一般相機拍出來的影像，其pixel的數值都介於0~255之間，屬於Low Dynamic Range (LDR) 影像，但在真實場景中最亮處與最暗處的亮度差異可能高到幾千甚至幾萬以上，此專案需要利用多張不同曝光時間的 LDR 影像，合成出 High Dynamic Range (HDR) 影像。HDR 讓照片無論高光還是陰影部分細節都很清晰，拍攝光比比較大的作品時，縮小光比，營造一種高光不過曝，暗調不欠曝。讓亮處的效果鮮亮，而黑暗保留更多的細節，能分辨物體的輪廓和深度，而不是以往的一團黑。

2. Taking Photographs

我們使用 iPhone 6 拍攝，搭配可以調整曝光時間與 ISO 值等參數的軟體 ProCam 來輔助我們拍攝以下照片：





讀取這些照片所在的資料夾後，再根據其照片的 EXIF 資訊來讀取曝光時間以及長寬等資訊。

3. Alignment (Bonus)

要做 HDR 影像所需的照片必須是同樣的場景，一點 pixel 的偏差都會造成有殘影出現。當然可以透過固定在某物品或是用腳架來減少偏差，但實作 Alignment 的功能，就是將一點點的震動 (ex.人為按下快門的震動、相機內部的細微震動) 紿調整回來。這邊使用 **MTB** (Median Threshold Bitmap) 的方法實作 Alignment。

- 使用前一步驟讀取進來的照片資訊，轉成灰階 bitmap，用 $i + 1$ 張圖片去對齊第 i 張圖片。
- 這邊要吃一個參數，令其為 level，代表的是在 Pyramid Structure 中

縮小到第幾層。

- c. 從最小的圖片開始，取其中位數當作 threshold，超過 threshold 設為 1，反之設為 0，這就是 Threshold Bitmap。接著針對在 threshold 上下附近的值設為 0，其餘是 1，算出 Exclusion Bitmap。
- d. 往九個方向做位移，找出最符合這九個方向移動的方向。計算的過程是用第 $i + 1$ 張圖的 Threshold Bitmap 移動過再與第 i 張圖的 Threshold Bitmap 做 XOR。因為 XOR 會記錄不同的地方，所以總和越小代表越像是往那個方向位移。另一方面，在計算的過程中要使用上一步的結果與第 i 張圖的 Exclusion Bitmap 做 AND，接著再將結果與第 $i + 1$ 張圖移動過後的 Exclusion Bitmap 再做一次 AND，這邊的做法可以把一些 noise 過濾。
- e. 依次往越高層（越接近原圖）的圖片走，會得到最後的 shift 值，對第 $i + 1$ 張圖進行 shift

4. HDR

- a. 這邊基本上是用上課的投影片與介紹的演算法實作。
- b. 將所需要的參數（ex. sample points, log shutter speed, smoothing coefficient lambda, weight for each pixel value）算出來填滿矩陣 A, x 與 b，利用 SVD 來解 $Ax=b$ 來得到 response function g
- c. 利用 g function 來建出 radiance map(HDR image)

5. Tone Mapping (Bonus)

- a. Global Operator ([參照上課投影片](#))

每個pixel都使用相同的非線性曲線

1. 計算平均亮度值 L_w Mean

$$\bar{L}_w = \exp\left(\frac{1}{N} \sum_{x,y} \log(\delta + L_w(x, y))\right)$$

2. 做正規化，將 L_w (Luminance of World) 轉換成 L_m ，其中 α 為 key 值

$$L_m(x, y) = \frac{a}{\bar{L}_w} L_w(x, y)$$

3. 計算 **Ld** (Luminance of Display)

$$L_d(x, y) = \frac{L_m(x, y) \left(1 + \frac{L_m(x, y)}{L_{white}^2(x, y)} \right)}{1 + L_m(x, y)}$$

4. 還原回RGB

$$\begin{bmatrix} R_d \\ G_d \\ B_d \end{bmatrix} = \frac{L_d}{L_w} \begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix}$$

b. Local Operator ([參照上課投影片 & 線上資源](#))

會考慮鄰近的pixel，每個pixel可能使用不同的非線性曲線，此方法會讓暗處更暗，亮處更亮，拉大對比

1. 做高斯卷積，其中 s 為一個縮放係數

$$L_s^{blur}(x, y) = L_m(x, y) \otimes G_s(x, y)$$

2. 計算一個誤差函數，縮放係數s慢慢增大，找到一個小於閥值的最大 s

$$V_s(x, y) = \frac{L_s^{blur}(x, y) - L_{s+1}^{blur}(x, y)}{2^\phi a/s^2 + L_s^{blur}}$$

$$s_{\max} : |V_{s_{\max}}(x, y)| < \varepsilon$$

3. 計算Ld (Luminance of Display)

$$L_d(x, y) = \frac{L_m(x, y)}{1 + L_{s_{\max}}^{blur}(x, y)}$$

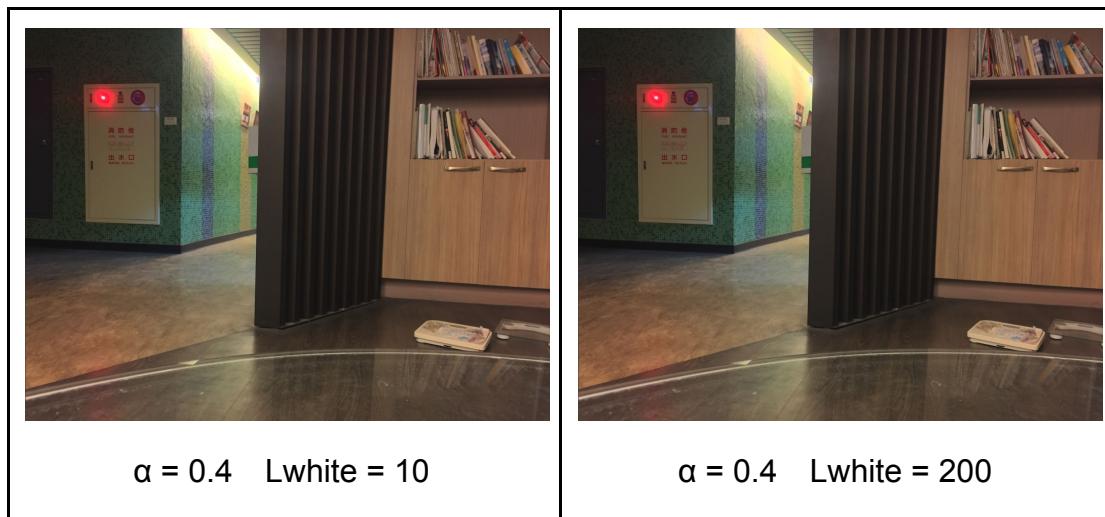
4. 還原回RGB

$$\begin{bmatrix} R_d \\ G_d \\ B_d \end{bmatrix} = \frac{L_d}{L_w} \begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix}$$

6. Result

a. Global Operator

實驗Lwhite對Global Operator的影響



不錯的輸出結果

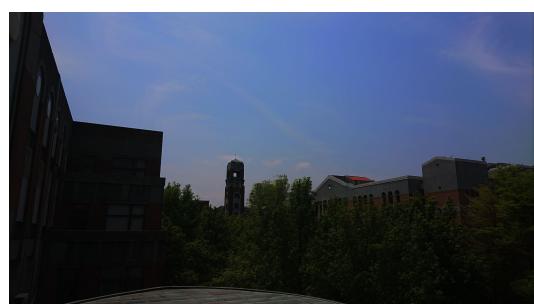


$\alpha = 0.8$ Lwhite = 100

實驗 α 對Global Operator的影響



$\alpha = 0.1$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.2$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.3$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.4$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.5$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.6$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.7$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.8$ Lwhite = 100



$\alpha = 0.9$ Lwhite = 100



$\alpha = 1.0$ Lwhite = 100

實驗可得知 α 越大影像越明亮

不錯的輸出結果



$\alpha = 2.0$ Lwhite = 10

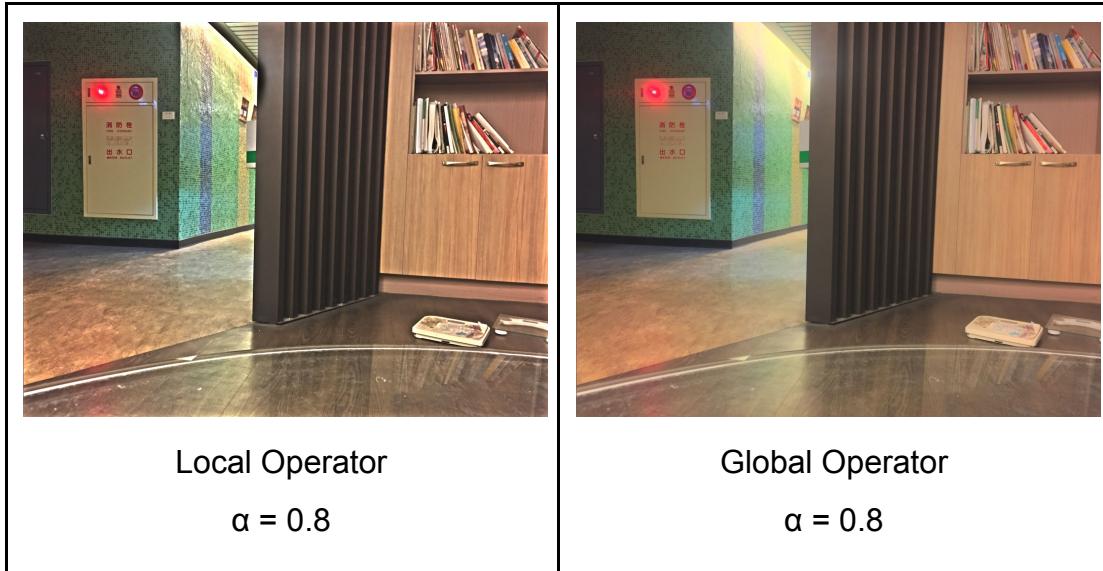
b. Local Operator

不錯的輸出結果



$\alpha = 0.8$ Lwhite = 100

兩種tone mapping比較



可以發現Local Operator輸出的結果邊界區分地很清楚，並且會拉大對比

What we got from this project

- 人類手抖很嚴重
- 腳架是好東西
- 在光線比較昏暗的地方做出來的 HDR 效果比較好，如果光線本來就夠好(比如在正面錯落有致的光線)，畫面中又沒有細碎的高光，那麼 HDR 將會導致的結果就是：畫面顏色變淡，也沒有更多的細節可言，照片整體層次感下降
- image alignment
- HDR imaging
- tone mapping
- 在 Global Operator 中， α 越大影像越明亮，Lwhite 越大亮部細節增加
- 但亮部細節增加的同時暗部細節也會消失，所以要透過 Local Operator 來調整

Reference

Alignment

- Greg Ward, "Fast Robust Image Registration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Hand-Held Exposures", jgt 2003.

HDR imaging

- Paul E. Debevec, Jitendra Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs", SIGGRAPH 1997.

Tone Mapping

- Erik Reinhard, Michael Stark, Peter Shirley, Jim Ferwerda, "Photographics Tone Reproduction for Digital Images", SIGGRAPH 2002.
- Ward, G., Rushmeier, H., and Piatko, C., "A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes," Lawrence Berkeley National Laboratories