

Digital Visual Effects - HW1

High Dynamic Range Imaging

Members:

- B03902017 曹峻寧
- B03902066 陳俞安

1. Project Description

Overview

在這份作業我們實作一種HDR演算法 [2]，使用不同曝光時間的照片來產生 HDR 圖片。此外，為了對齊圖片與將 HDR 圖片轉成 LDR 圖片，我們也實作了 MTB (Medium Threshold Bitmap) 與 Photographic tone mapping [3]。所有的程式都是以 python3 撰寫。

Data

我們使用 Canon 550d (以腳架支撐固定) 拍攝了 3 組照片，每組取 12 張作為輸入資料。由於我們無法使用遠端遙控來操作相機，所以當按快門時可能會造成一定的震動 (處理資料時會使用對齊來降低影響)，圖片間的拍攝間隔也會較長，導致場景 (圖片內容) 可能產生一些變化。

2. HDR Algorithms

我們依據 Paul Debevec, et. el [2] 來生成 HDR radiance map，步驟如下：

(a) 從圖片中取出用來計算 radiance 的樣本點

有數種方法可以達成取樣的目的，我們嘗試以下四種方法：

(i) 從整張圖片中隨機取點樣 50 個點

(ii) 以固定步幅取樣 (確保取樣點均勻分布在圖片中)

(iii) 對於所有的圖片亮度值 (0~255)，取其中一個 pixel 做為樣本點 (共256個樣本點)

(iv) 在灰階圖上隨機取樣 50 點。只做一條 RC，3 個 channels 用同個 curve 重建 HDR

(b) 用 (a) 取出的點與 [2] 的計算方法還原 Camera Response Function (處理彩色圖片時，3個 channels 分別處理)。其中涉及參數有 λ, g_{127} ，前者表示希望 Response curve 多平滑，後者表示限制 $g(127) = 0$ 的權重。

(c) 產生 HDR radiance map。重建算法如下：

$$\ln E_i = \frac{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})(g(Z_{ij}) - \ln \Delta t_j)}{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})}$$

$$Z_{ij} \text{ 為圖片在 pixel } i \text{ 的值 (亮度)} , \Delta t_j \text{ 為第 } j \text{ 張圖的曝光時間} , w(x) = \begin{cases} x, & \text{if } x < 0.5 * (0 + 255) \\ 255 - x, & \text{else} \end{cases}$$

當所有圖片的某個 pixel 值為皆為 0 或 255 時，上述計算式會使分母為 0。此時我們改用曝光時間居中的圖片，透過下式計算 $\ln E_i$:

$$\ln E_i = g(Z_{ij}) - \ln \Delta t_j$$

註：由於圖片進行對齊時，空出的區域會補黑色 $RGB = (0,0,0)$, $w(0) = 0$ ，故在重建時不會被考慮到。

3. Extensions:

(1) Alignment

我們實作了 [1] 中的 MTB，目的是在做 HDR 之前先將圖片對齊，因為圖片之間可能會有手震或相機震動造成的位移，如果沒有對齊、會影響 HDR 結果的品質。演算法的流程如下：

- (a) 把輸入圖片轉成灰階。
- (b) 每次把圖片縮小為 0.5 倍、做出一個深度 N 的 image pyramid (考慮到我們的圖像大小為 $1350*900$ ，我們設 $N=5$)。
- (c) 對每一個尺寸的圖，計算 pixel values 的 median，將大於 median 的 pixels 設 1，反之設 0，以此創造 bitmap 。
- (d) 延續 (c)，對每一個尺寸的圖創造 exclusion bitmap，pixels 跟 median 相減的絕對值大於 5 設 1，反之設 0，目的是忽略那些值跟閾值太相近的 pixels 。
- (e) 從 image pyramid 的底層 (尺寸最小處) 開始，對每個尺寸，將 bitmap 與 exclusion bitmap 沿著基礎方向加上 $[(1,1), (1,0), (1,-1), (0,1), (0,0), (0,-1), (-1,1), (-1,0), (-1,-1)]$ 九個方向位移，計算每個位移方向跟基準圖片間的 error，把 error 最小的方向回傳給上一層並 *= 2 當作上一層的基礎方向，直到做到 pyramid 頂端，就能得到原尺寸下的最佳方向。

註：

- (a) 基準圖片是由我們手動挑選，其 pyramid, bitmaps 跟 exclusion bitmaps 會在上述流程前先做好。
- (b) 基準圖片跟位移後的圖片間的 error 定義為：

$$\sum (baseBitmap \oplus shiftedBitmap \wedge exclusionBase \wedge exclusionShift)$$
- (c) 位移後的圖跟原圖尺寸相同，我們直接將剩餘區域補黑。

結果示意如下：左圖為基準、右圖為向上位移後的結果 (注意底部有一條黑色區塊)



(2) Tone Mapping

我們使用 [3] 的方法來將 HDR radiance map 轉成 LDR 圖片，在原作法中有 global 和 local operator，但在此作業中我們僅實作 global operator 的部分。計算方法如下：

$$\bar{L}_w = \exp\left(\frac{1}{N} \sum \ln(L_w(x, y))\right)$$

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

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

其中 $L_w(x, y)$ 是 HDR image 在座標 (x, y) 的亮度值。 α, L_{white} 是使用者可調的參數，分別代表期望的整體亮度與 HDR 中多亮以上會被視為 LDR 的最亮值， $L_d(x, y)$ 為 LDR 圖片的輸出亮度。將以上作法套用到彩色圖片時，我們需要先把原先 RGB 三個 channels 的值轉成灰階，計算方法如下：

$$L_w = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

求得 $L_d(x, y)$ 後，再使用右算式轉回 RGB：

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

4. Discussion

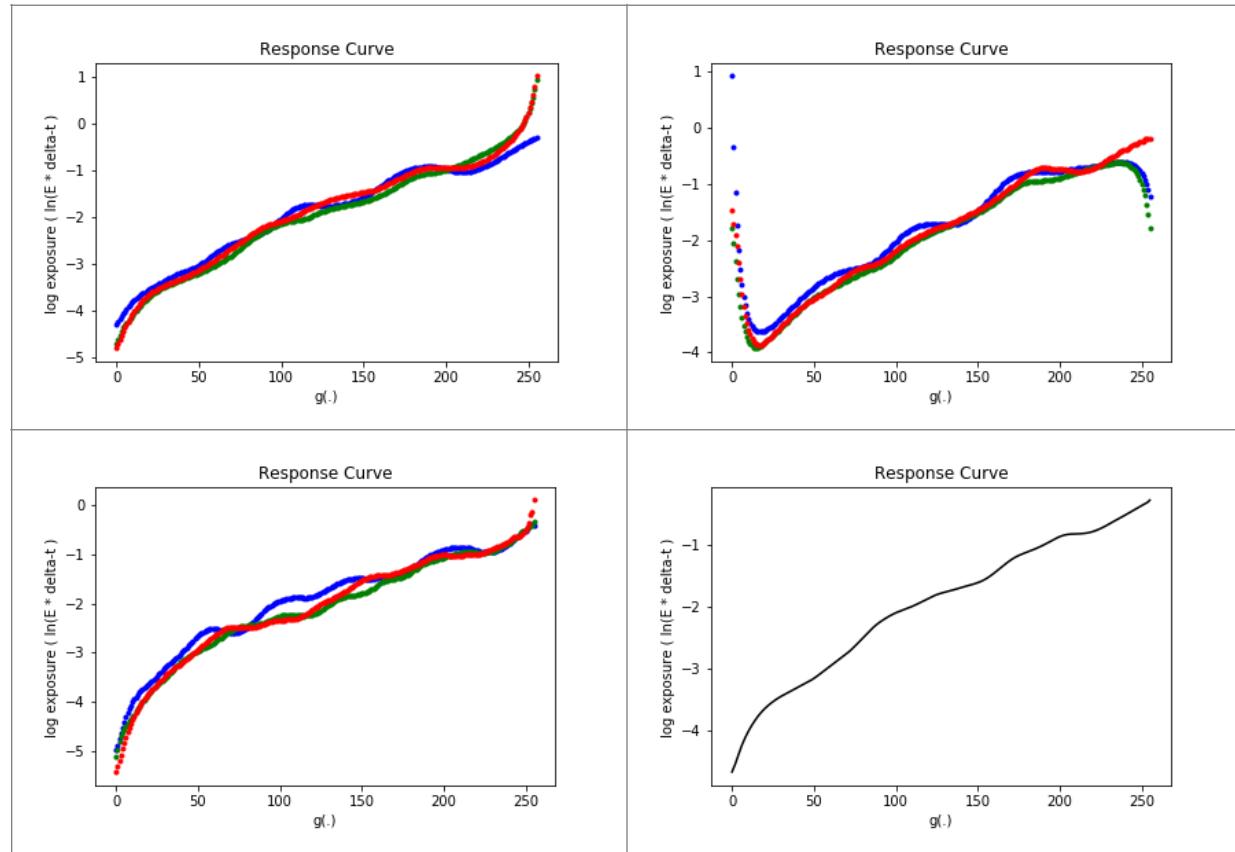
以下實驗中的預設參數為：

隨機取樣 50 個點 (註：我們有計算最大位移量，確保不會取樣到到齊時時補黑的點)，3 個 channels 分別重建， $\lambda = 100$, $g_{127} = 10$ ，以第一組圖片進行討論。

(1) Sampling method

以下比較四種不同取樣方法所得之 response curve 與 LDR 圖片，依照左上-右上-左下-右下順序排列分別為：

- (i) 從整張圖片中隨機取點樣 50 個點
- (ii) 以固定步幅取樣 (確保取樣點均勻分布在圖片中)
- (iii) 對於所有的圖片亮度值 (0~255)，取其中一個 pixel 做為樣本點 (共256個樣本點)
- (iv) 在灰階圖上隨機取樣 50 點。只做一條 RC，3 個 channels 用同個 curve 重建 HD



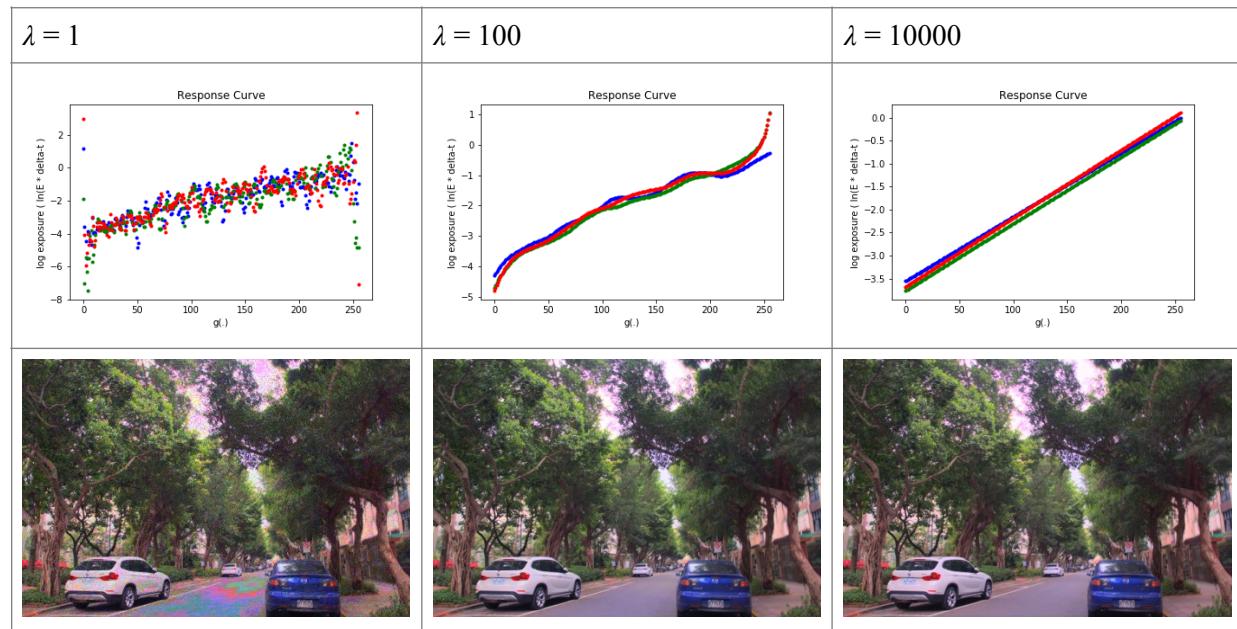
由 RC 來看，(ii) 在 Z 值極小時不太理想，不過其實每次取樣時 random seed 不同就會造成不太一樣的結果，前 3 種取樣方式不一定有明顯的高下之分。 (iv) 則確保能處理 3 條 curves 意外分離的情況 (若如右上紅色在高亮處與其他兩條線不同，情況嚴重時 LDR 的高亮處會嚴重偏紅)。從下方 LDR 圖片來看，也會發現其他圖片相較於 grayscale，整體有紅色的偏差 (尤其在白色汽車與天空的部分)。



(2) Different parameters for HDR

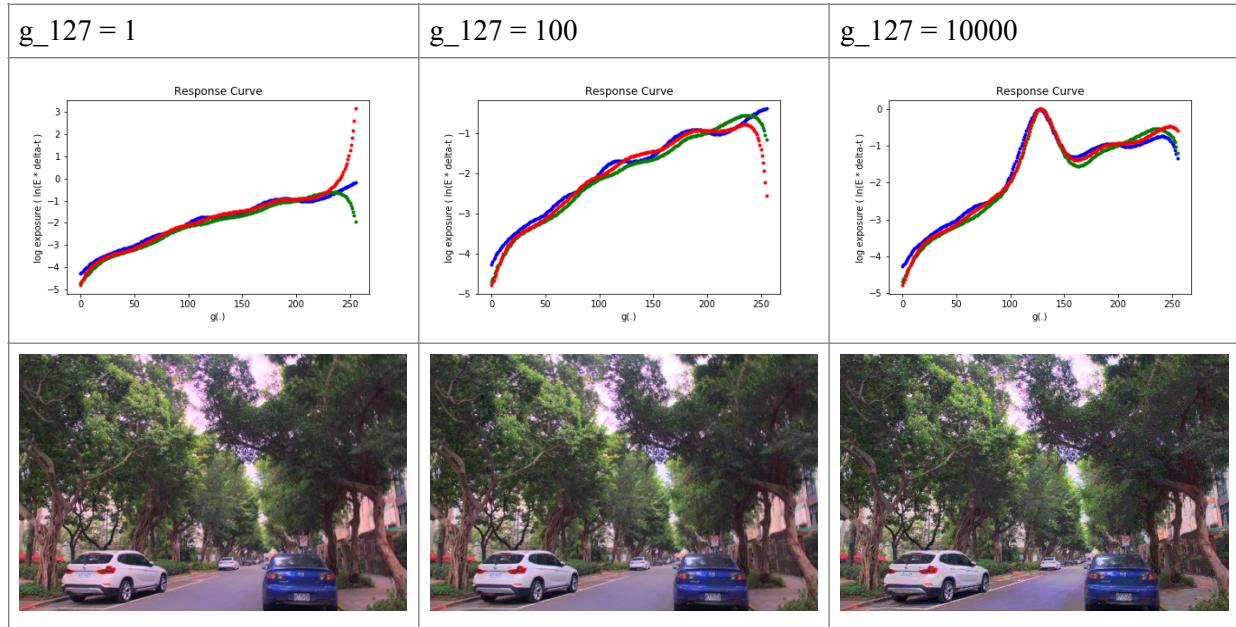
形成HDR image過程，有數個可以調整的參數，我們討論 λ, g_{127} ，前者表示希望 Response curve 多平滑，後者表示限制 $g(127) = 0$ 的權重。

(a) λ



由 RC 來看， λ 越大構造出的曲線也越平滑，極端情況會使 RC 趨近直線；而在圖片結果上， λ 值小時容易在一大片相似色調的區域中出現極大差異的色彩（例如柏油路面分別出現藍綠紅三色），而 λ 大時較不會有此現象。

(b) g_{127}



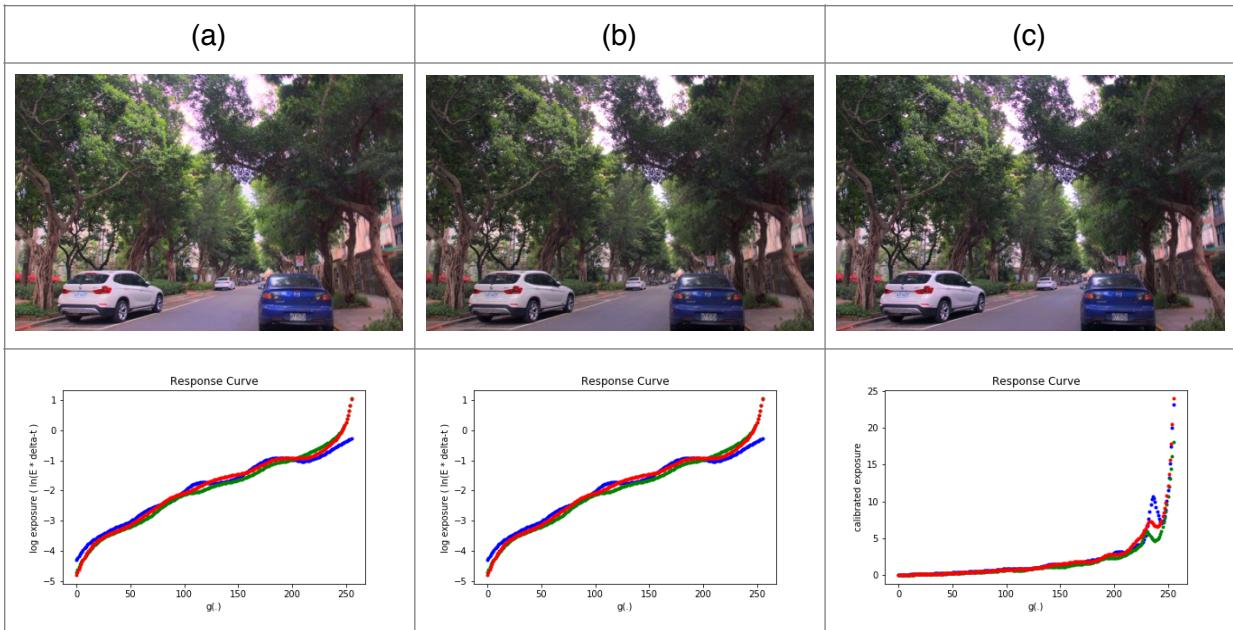
之所以進行 g_{127} 的調整，是因為原先預期 RC 的 $g(127)$ 應該對應到 y 軸 0 的位置，但是在重建 RC 時，發現 $g(127)$ 往往並不等於 0（注意 g_{127} 不同於 $g(127)$ ），最原始的做法其實相當於 $g_{127} = 1$ ，但考量到線性方程中 λ, w 都遠大於 1，會使這個 constrain 形同虛設，因此希望透過調整 g_{127} （代表使 $g(127) = 0$ 的權重）達成效果。但實際結果發現，隨著設定值變大，會使 $g(127)$ 前後被調到接近 0，而不是整個 RC 的移動。

(3) Comparison with OpenCV built-in HDR and tone-mapping utility

此節討論我們與 OpenCV 內建方法的比較。

- (a) Our HDR + tone-mapping
- (b) Our HDR + cv2.createTonemapDrago(1, 0.8)
- (c) cv2.createMergeDebevec() + cv2.createTonemapDrago(1, 0.8)

三張 LDR 有細微的差異，整體而言（尤其在左上淺綠葉片），(a) 相對於 (b)(c) 亮；在上方天空與葉片的交界部分，(a) 有紅色暈染現象，而 (b)(c) 較無。

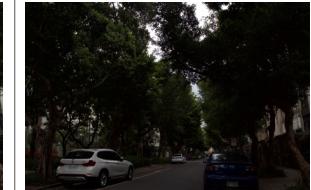


(註：(c) 的 RC 縱軸單位不同)

5. Result

(1) Default:

(a) 3組不同曝光時間的照片 (已經過對齊，圖片下方數字為1/快門時間)

第一組照片			
			
1	2	4	8
			
15	25	30	60

125	160	320	640

第二組照片

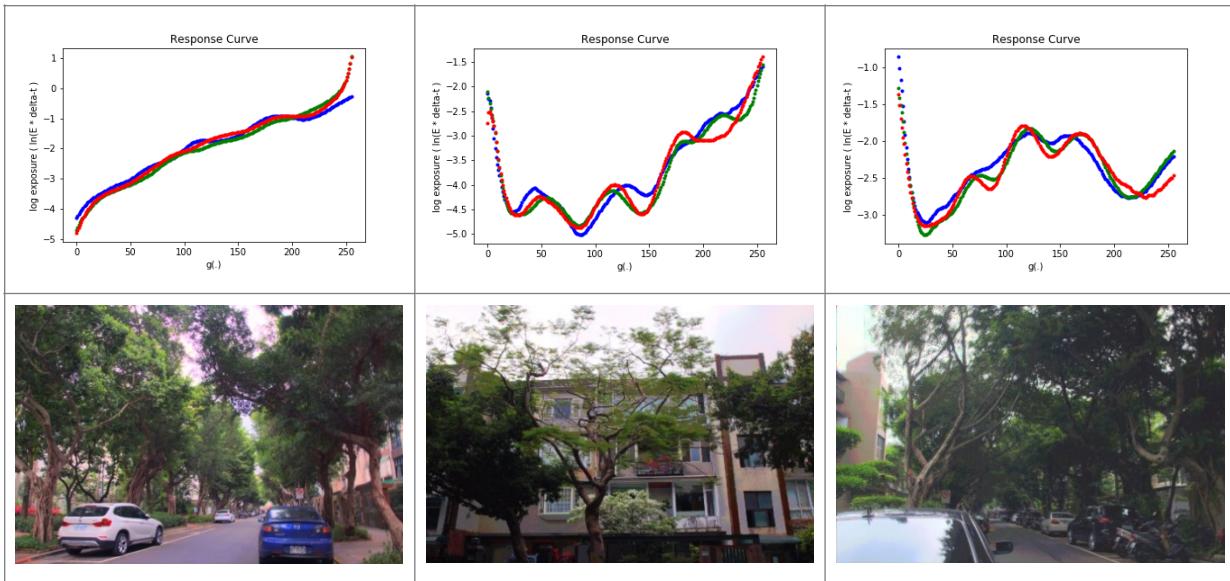
1	2	4	8
25	50	100	200
400	640	800	1600

第三組照片

2	4	8	15

25	40	50	80
100	125	200	250

(b) 三組照片的 RC 與 tone mapping 後的 LDR 圖片



在我們的圖片中，會發現樹葉邊界容易有模糊的現象，可能是因為在拍照時枝條受風吹動，樹葉晃動使得在重建 LDR 時不理想。此外，第三組照片的 LDR 左上角特別模糊，推測是因為後幾張照片有 rotation 不易用我們的對齊演算法處理。

(b) Improved:

二三組圖片的 RC 不盡理想 (理想為嚴格遞增曲線)，所以我們試著將由 Discussion 得到的調整方式 (gray sampling + 調大 λ) 套用在上面，調整後結果如下：

第二組圖片

	Gray sampling	$\lambda = 10000$	$G + \lambda$
RC			

第三組圖片			
	Gray sampling	$\lambda = 10000$	$G + \lambda$
RC			

使用 Gray sampling 後，色偏狀況已經相較於 default 改善 (尤其是天空：原第二組右上天空有淺紅、淺藍色；第三組左上天空偏綠)。調大 λ 後則使相鄰區域顏色較一致 (原房屋牆壁會有顏色交錯)。兩者同時使用使得整體結果較自然好看。

(c) Artifact:

由於在調整前第一組圖片表現最好，再加上前述調整的經驗，我們最後選擇用第一組用圖片搭配 gray sampling 與 $\lambda = 10^5$ 在 $1350*900$ 的尺寸產生最終 artifact。

6. Appendix

(1) Environment Requirement:

測試環境為 macOS 與 ubuntu。套件要求為：

- python 3.4+
- openCV
- numpy
- matplotlib
- tqdm

(2) File Structure:

繳交的檔案結構與說明如下：

- run.sh
- alignment_MTB.py
- hdr_and_tone_mapping.py
- jpg/
- artifact/
- result/
 - artifact.jpg
 - artifact.hdr
 - artifact_RC.png
- aligned/

執行時僅需 `./run.sh` 即可。`jpg/` 中擺放縮小後的 3 組原圖，最終挑選的結果在 `artifact/result` 中，此外較大尺寸的 1 組原圖也在 `artifact/`，對齊後的圖片的相關資訊則在 `artifact/aligned/info.txt` 中。

7. Reference

- [1] Greg Ward, ‘Fast, Robust Image Registration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Handheld Exposures’, *Journal of Graphics Tools*, vol. 8, pp. 17-30, 2003.
- [2] Paul E. Debevec, Jitendra Malik, ‘Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs’, *SIGGRAPH*, 1997.
- [3] Reinhard, Erik, et al. ‘Photographic tone reproduction for digital images’, *ACM transactions on graphics (TOG)* 21.3 (2002): 267-276.