

VFX Project 1: HDR Image Recovery

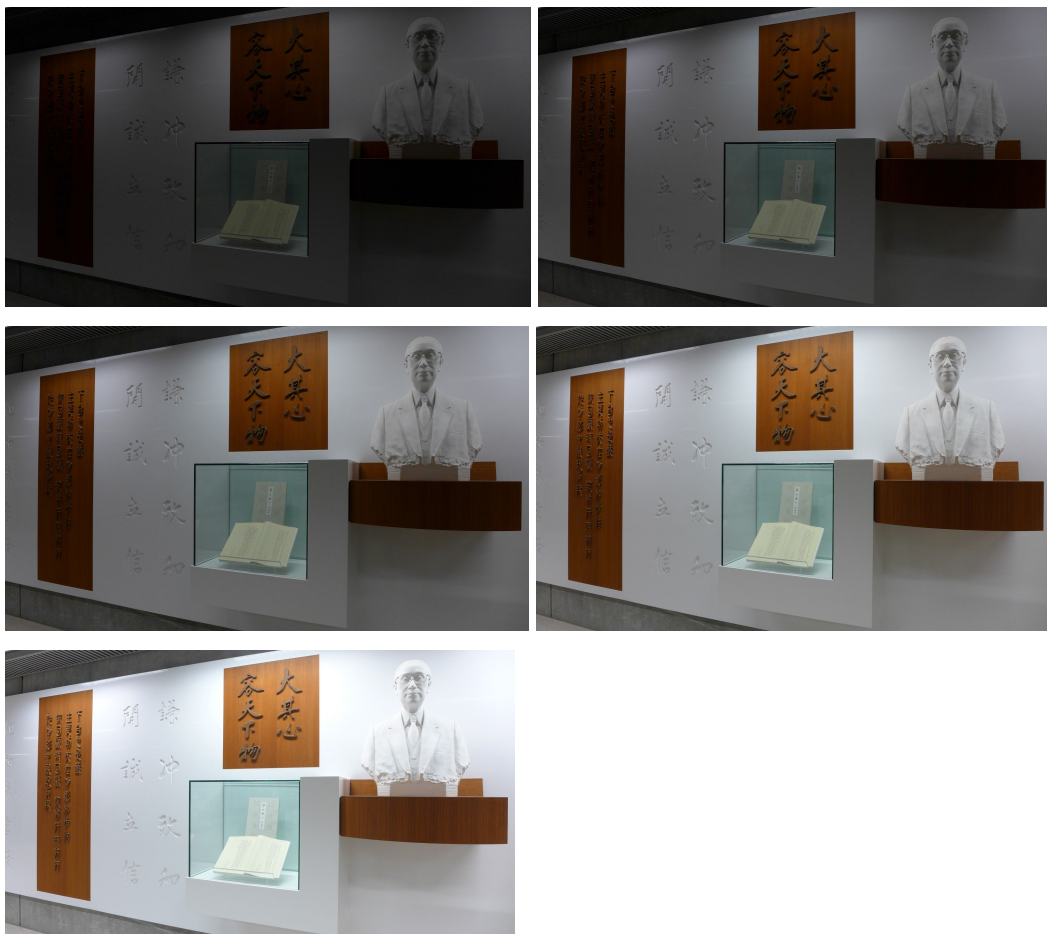
R07944050 賴以尊 R07922097 元天毅

Introduction

現今一般數位相機成像是利用感光元件將場景中輻照度，經由非線性轉換儲存為 $[0, 255]$ 的RGB像素值。然而現實場景中，亮部與暗部能量分佈差距可能極巨大，遠超過 8-bit uint 所能表現的範圍，因而單張畫面若非部份過曝則部份過暗。1997年P. Debevec等人提出利用多張同場景不同曝光時間影像，經由 Inverse response function 近似解代入原圖加權平均，可求得近似現實場景的能量分佈圖，稱作 High-Dynamic-Range image, HDR。有了 HDR 影像後，藉由各種 Tone-mapping 演算法，我們能夠重現接近人類肉眼視覺經驗的影像，或是任意的場景打光及色調效果以用於如電影、動畫、遊戲等領域。

Steps

1. Taking photographs with Panasonic DMC-LX7



曝光時間由左至右、由上至下分別為 1/500, 1/250, 1/125, 1/60, 1/30 秒。

2. Image alignment: 實作MTB algorithm

- I. Input Image: 兩張一張為 source image 一張為 destinaion image(作為移動標準)
- II. threshold bitmap: 首先將兩張圖片中的 RGB資訊利用中位數為 threshold 轉為灰階
- III. exclusion bitmap: 根據 paper, pixel value過於靠近的點二值化後會對判定造成干擾, 故需要 exclusion bitmap去消除模糊地帶, 這邊選定值落在在中位數 ± 10 的點為零, 其餘為1
- IV. 將兩張圖片各自縮小5次建立影像金字塔
- V. 從最下(最小張)層往九個方向(含不動)移動後作比對, 找出最適合之移動方向
- VI. 因為每往上一層大小都會放大一倍, 故將移動方向乘二, 並傳遞給上面一層作移動, 如此遞迴操作比對與傳遞
- VII. 每一層移動方向之加權加總即最適宜之移動方向

3. Construct HDR image: P. Debevec's algorithm

- I. Sampling的部份我們嘗試使用兩種方法:
一是將圖片縮小成 11x20 使用這 220 個像素作為 sample。由於使用的是 cv2.INTER_AREA 取樣法, 此時每個像素是這一組影像中同一塊區域的平均值, 因此仍保有在同一曝光時間下的相對曝光度資訊。
二是利用 random 函數在圖上隨機取 i, j 座標點。
- II. 最小化目標方程式
$$O = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P \{w(Z_{ij}) [g(Z_{ij}) - \ln E_i - \ln \Delta t_j]\}^2 + \lambda \sum_{z=Z_{min}+1}^{Z_{max}-1} [w(z)g''(z)]^2$$
- III. 使用 numpy 套件的 linalg.lstsq 或是 linalg.pinv 得到 log inverse function g 在 [0, 255] 之內整數參數的解。
- IV. 由 g function 及 log delta t 資訊對原圖每個像素建立 irradiance map

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

輸出.hdr array

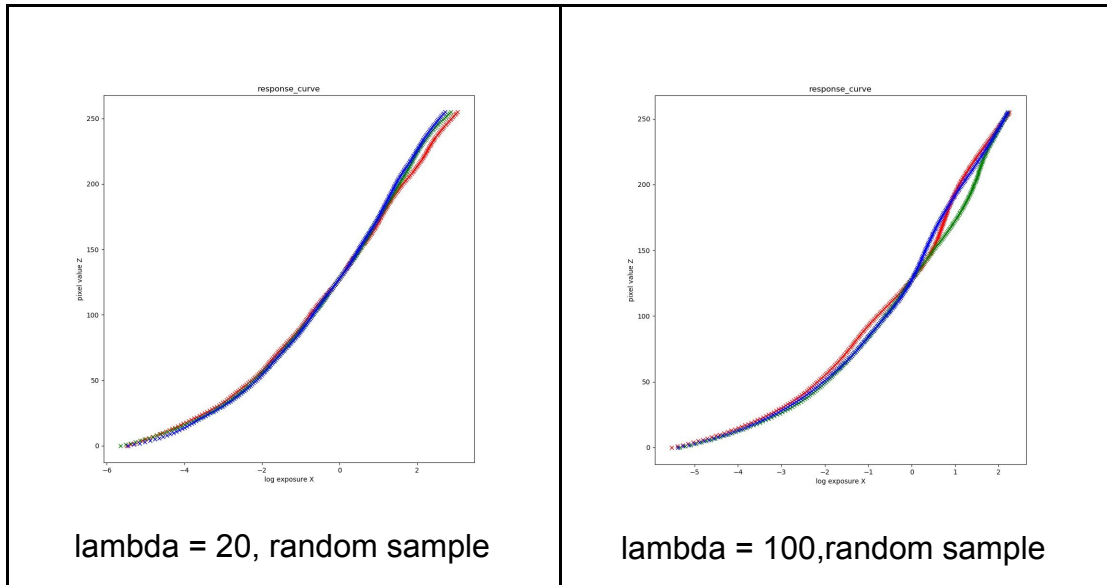
4. Tone mapping:

- I. 因為 HDR irradiance map 超過一般顯示器所能顯示的範圍, 所以需要將影像壓縮至 8-bit uint/[0, 255] 成像 (LDR)。

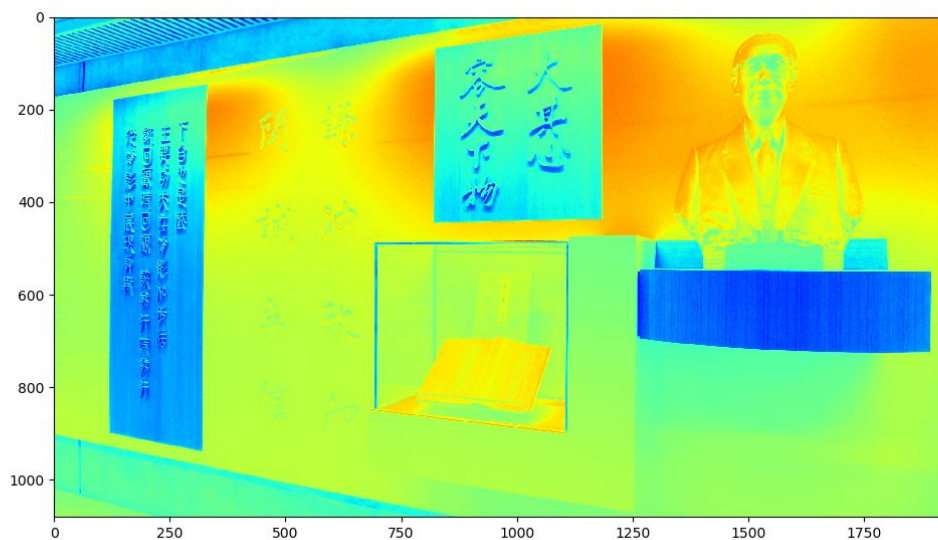
- II. 我們在程式碼中實作 Global operator、Local operator 以及另外使用 Luminance HDR軟體提供的多種經典演算法作為比較，可得到許多不同風格的圖片。

Results

1. Response curve with different lambda:



2. Irradiance map:



3. 不同的 Tone mapping 效果比較：



Luminance HDR 所提供 Fattal 演算法



Local operator

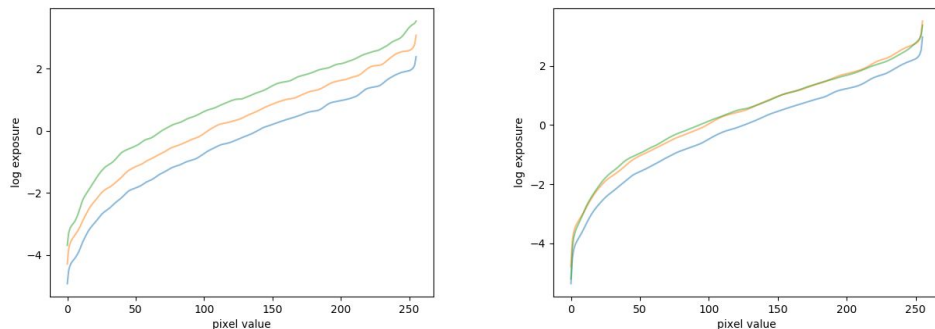
此處僅挑選較具代表性之結果，其餘output results皆與code檔包在一起

Discussion

1. Lambda:

Lambda值影響 log inverse function g 的曲線平滑程度。

例：下圖左lambda = 10，下圖右lambda = 20

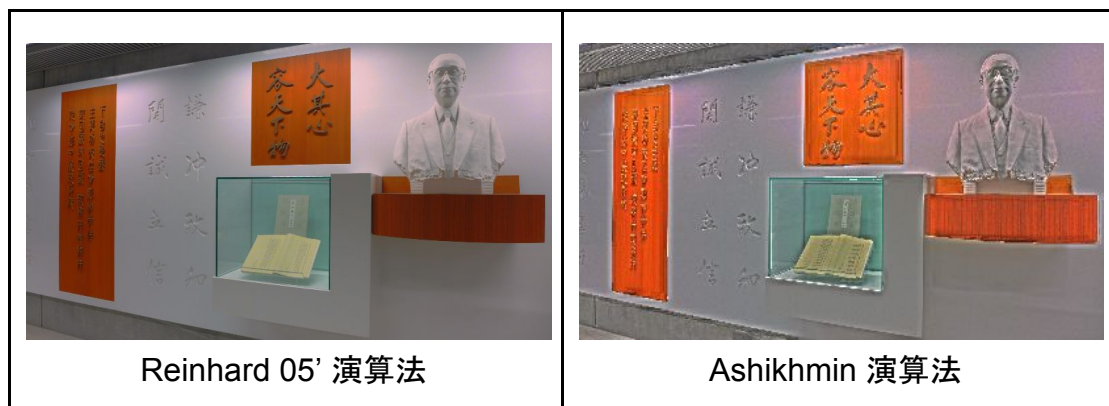


經測試lambda = 20和lambda = 100 之間的差異主要會體現在response curve上，但得到的HDR output圖片差異不大，肉眼是很難分辨的

2. Different tone mapping:

我們發現tone mapping照片的呈現與使用的螢幕面板有著相當大的關係，上圖之二用的是上課有提到過的local operator，以筆電的螢幕來看，在照片左下方的木板刻字、中間那本書頁上的文字字跡和白底所反射的日光燈管痕跡，會覺得效果不若使用現成軟體的圖一，來的清晰。但若是改用對比度較高的大型面板觀看會發現兩張圖就只是風格上的不同，Fattle演算法所呈現出來的照片會有一些顆粒感，有種舊照片的感覺，暗部細節佳。而local operator則是字的立體感較好、亮部細節佳。

Luminance HDR 提供的其他演算法範例：



原圖和其他結果皆有包在code的zip裡面

3. Sampling:

Random sampling 在sample point較少時有一定程度的不穩定性，取出的點可能會有代表性不足的問題，拜現在的硬體技術相當先進所賜，我們的程式裡sample point的數量可到256*照片張數且執行速度也不會有明顯的delay，而這個數量遠超過老師課堂提到的最低限度，大大降低了代表性不足所發生的機率。

另一方面，將圖片縮小再做sample也不失為一種可行的方法，但經過縮小後的影像視選用的插值法不同，可能導致明暗極端值區域的資訊被破壞掉。以本組所作結果而言沒有造成可見的缺陷。

Reference

1. Paul E. Debevec, Jitendra Malik: Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs, SIGGRAPH 1997
2. Greg Ward: Fast, Robust Image Registration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Handheld Exposures
3. 課程講義(MTB, HDR, Tone mapping)