

一個強健的不同曝光時間影像序列之移動物體偵測法

A Robust Algorithm for Moving Objects Detection in Differently Exposed Image Sequences

吳俊霖(Jiunn-Lin Wu), 賈玠倫(Je-Lung Jia)

中興大學 資訊科學系

jlwu@cs.nchu.edu.tw

摘要

隨著數位像機的普及,現在喜歡拍照的人越來越多,但是相對的,衍生出來的問題也越來越多。其中比較嚴重的問題就是相機所拍得的照片卻無法真實呈現我們肉眼所看到的景色。而其主要原因是因為一般數位相片的『動態範圍』相當的有限,而無法反應出外界景物的真實亮度。因此有學者提出了利用多張以不同曝光時間拍攝的照片來合成『高動態範圍 (high dynamic range)』影像。如此一來,卻又衍生出另一個問題,在現實的情況中,就算是同一個場景,樹葉有可能因風吹而擺動,可能有小蟲子飛過,甚至是有人物的走動,這些移動物體都會造成所合成之 HDR 影像有鬼影的產生。本論文的目的就是希望能提出在不同曝光時間拍攝的影像序列中,自動地偵測出這些移動物體 (moving objects) 的演算法,並在合成高動態範圍影像的過程中把其移除,而得到一張具有高動態範圍且沒有鬼影或殘影的影像。

由於我們的來源影像是數張以不同曝光時間拍攝的影像,也就是說彼此之間會有相當大的亮度 (illumination) 變化,所以可以想見傳統的移動物體偵測法並不能適用。本論文中我們提出,先把不同曝光時間的原始影像,利用相機響應函數 (camera response curve) 轉到 HDR 值域,即外界真實亮度 (radiance map) 下,接著我們即可使用一簡單的臨界法 (thresholding) 來偵測移動物體。由於偵測結果可能會有雜訊或在移動物體內部會有小破洞的產生,我們將利用型態學中的侵蝕 (erosion) 與膨脹 (dilation) 運算來有效解決此問題。最後我們便可以在合成 HDR 影像的過程中,藉由忽略所偵測出之移動物體的像素而把其去除,進而得到一張完美之高動態範圍影像。實驗結果顯示,所提方法能在不同曝光時間影像序列中,有效地自動偵測出移動物體,並在合成 HDR 影像的過程中把其去除。

關鍵詞: 高動態範圍影像, 移動物體偵測, 臨界值法, 型態學。

Abstract

As digital cameras become more and more popular recently, it is very easy for us to take many digital photos. However, they are rarely true measurements of relative radiance in the scene due to the limited dynamic range in the image acquisition

devices. For solving this problem, some researchers proposed methods to recover the single high dynamic range radiance map from multiple images with different exposure time. In practice, it leads another problem that the composed HDR image will appear blurry and ghosted if there are moving objects between different views of a dynamic scene.

Conventional motion detection approaches can't be applied due to there are obvious illumination changes in the source image sequence. In this paper, we propose a robust algorithm to detect the moving objects in the differently exposed image sequences. We first convert the original LDR photos to the HDR domain that can be treated as the real radiance in the scene, then we can use a simple thresholding method to detect the moving objects. For reducing the noise caused in previous step and filling out the small broken holes in the body of detected moving objects, we use the morphology approach to refine the result of motion detection. Finally we are able to obtain a good HDR image by eliminating the moving objects at the HDR image composition stage. Experimental results demonstrate the effectiveness and robustness of the proposed method.

Keywords: High dynamic range image, Moving objects detection, Thresholding, Morphology

1. 前言

一般而言,而我們人眼可以感受的外面景物的亮度變化非常大,通常可以超過十萬倍,甚至由於我們人眼有所謂視覺適應 (adaptation) 的能力,更能在數分鐘內適應外界亮度的改變,而能感受分辨出更大範圍的變化。但是當我們在對一個景拍攝時,不管我們使用傳統底片式的相機或直接使用數位相機來取像來得到一個二維的亮度 (brightness) 矩陣時,很不幸的,其並不能做為該景中亮度真正幅射 (radiance) 的量測 [13, 14]。現實的情況是,在真實世界中的幅射 (radiance) 與相片中的像素值存在著一個非線性的對應關係,例如當幅射低於某個臨界值時,在數位相片中即無法顯現其差異,而只能皆以最暗—0 來表示之;同樣地,當幅射強過某一臨界值時,數位相片也只能以最亮—255 來紀錄該像素的強度。由上面的說明,我們可以很明顯地看出,拍攝所得之數位相片的動態範圍 (dynamic range) 是相當小的。所謂“動態範圍”就是指一個

景或影像中所能表現出之最亮與最暗的對比值。



圖 1 數位相片動態範圍不足的問題 (a)眼睛所見之真實場景；(b)以數位相機所拍得的相片。

我們以圖 1 來說明一般相片之動態範圍不足的問題。圖 1(a)為我們眼睛所看到的真實景物，注意，我們可以看到逆光的樹葉部份，而且也可以清楚看到公園內樹蔭下的車子細節；(b)為我們以一般數位相機所拍得的相片，很明顯的，相片中有太陽光的附近的樹葉幾為死白一片，而且樹蔭下的許多汽車細節也因太暗而看不清楚。這就是所謂“動態範圍”不足所造成。因此有學者[2, 8, 9]提出藉由結合多張同景物但不同曝光時間的照片來產生所謂的『高動態範圍 (High Dynamic Range) 影像』，來解決一般數位相片動態範圍不足的問題。



圖 2 移動物體造成所合成之 HDR 影像會有鬼影產生。

然而在現實的情況中，我們想要拍攝一張風景照的當時，但是不幸的是卻可能常常有移動物體不經意的出現，例如因風吹而擺動的樹葉，更甚是走

動的人群等。而如果我們拿這些照片去合成高動態範圍影像，就會很難過地發現所合出來的結果會有模糊不清的鬼影或移動物體之殘影存在。圖 2 所示為以三張在滑雪場的不同曝光時間影像去計算 HDR 影像的結果，可以明顯發現，中間有三個破壞畫面的滑雪人之殘影存在。因此本論文目的就是希望能提出一個能在不同曝光時間拍攝之影像序列中的有效移動物體偵測法，且其是全自動的。進而使我們能在合成高動態範圍影像的過程中將其消除，使所合成之高動態範圍影像沒有移動物體的殘影，而完成一『能自動偵測並消除移動物體之高動態範圍影像系統』。

2. 文獻探討

由於一般相機或底片拍攝所得的影像之像素強度 (intensity) 與外界真實光源輻射強度 (radiance) 存在著一個非線性對應關係，我們稱之為相機響應函數 (camera response curve)。其使得我們所拍的相片之動態範圍 (dynamic range) 遠低於外界真實景色及我們人眼所能分辨的範圍。也就是說，無論我們是以傳統底片式相機或直接以數位相機取得的相片，不是失去真實場景中的亮部細節，就是無法看到其暗部的細節。現在有許多方法可以取得所謂的高動態範圍 (HDR) 影像：(一) 由電腦繪圖 (Computer-generated) 直接產生；(二) 由硬體的改進來達成，例如富士新推出之包含 HDR-CCD 的數位相機，其藉由結合兩種不同感光度的 CCD 而成，其可以比傳統 CCD 提高約四倍的動態範圍；(三) 由以不同曝光時間拍攝之低動態範圍影像 (LDR) 來計算合成一張高動態範圍影像 (HDR)。而普遍最有效的方法就是採用第三種方式，即利用許多不同曝光時間的影像來計算合成一張高動態範圍影像，在這方面已經有許多學者提出相關的演算法來解決此一問題[2, 8, 9]。

我們打算以多張同景之不同曝光時間拍攝的 LDR 影像來產生一張高動態範圍影像，首先遇到的第一個問題可能是在拍攝過程中，我們可能都只是用手持相機來拍攝，沒有使用腳架，而使得影像之間有各種幾何變形的存在，例如旋轉與位移等，而導致 HDR 影像合成失敗。所以這時適當的影像校正 (Image registration) 就變成非常必要的一個步驟。高動態範圍影像系統的另一個重要問題是所謂色調對應 (Tone mapping) 的問題，就是如何把一張 HDR 影像完全地顯示在一般動態範圍相當有限的顯示器等設備上，這一點無論國內外都有相當多的學者提出探討研究，也都得到相當好的結果。所以我們可以說，一個完整的高動態範圍影像系統至少必須包含 (一) 影像校正；(二) 高動態範圍影像合成；(三) 高動態範圍色調對應 [4, 7] 等部分。圖 3 為我們所發展出來之高動態範圍影像系統的流程圖。首先以一個影像校正前處理來對正以不同曝光時間拍攝的 LDR 相片。接著是一個 HDR 影像合成系統，最後再把所產生的 HDR 影像經過適當的

動態範圍壓縮 (dynamic range compression) 後，顯示在一般動態範圍較低的顯示設備上，我們稱之為 HDR 最佳化 (optimization)。但是如前面所提到的，在實際情況中，在我們拍攝的當時，常會有許多移動物體，例如人群或小昆蟲等不經意的出現，而造成在所合成之高動態範圍影像中有鬼影或殘影的產生。所以我們有必要在圖 3 的系統中增加一能有效偵測並消除移動物體的子系統。



圖 3 高動態範圍影像系統流程圖。

有學者提出我們可以藉由一互動介面，讓使用者以手動的方式在影像序列中標記移動物體，而在合成 HDR 時藉由不使用該影像而達到去除移動物體的目的。該方法除了費時且麻煩外，其最大缺點是，在一般情況下，影像中會有許多使用者無法觀察出來的小移動物體存在，例如樹叢中因風吹而擺動的樹葉等。另一個嚴重問題是使用者在標記移動物體的過程中，並沒有辦法精確定位出移動物體的位置，而這會導致在合成之高動態範圍影像在多餘標記的區域會有雜點或色彩不連續的現象發生。所以本論文的目的就是希望能提出一個能在不同曝光時間拍攝的影像序列中之自動移動物體偵測法，使我們能在合成高動態範圍影像的過程中有效地將其消除，使所合成之高動態範圍影像沒有移動物體的殘影。



圖 4 兩張沒有移動物體之不同曝光時間 LDR 影像做移動物體偵測的結果。

傳統的移動物體偵測方法的原理是將兩張影像

做差值計算，當其彼此的像素值差超過某一個範圍或臨界值時，便將該區域判定為移動物體。但是很不幸的是，這樣的方法在處理不同曝光時間拍攝的 LDR 影像序列時就不太有效了。由於影像是以不同的曝光時間來拍攝，所以就算影像中沒有任何移動物體，同一位置不同影像的像素差還是會因為拍攝的曝光時間所造成的亮度 (illumination) 差異太大超出門檻值，而幾乎使整張影像都被視為移動物體。圖 4 為將兩張不同曝光時間的 LDR 影像直接相減，而將其差值影像中 R, G, B 像素值大於某一臨界值 (threshold) 的地方以紅色標記，即判為移動物體的結果。我們可以明顯的發現，被標記出來的部份幾乎都是沒有在移動的場景部份。很顯然的，這樣的方法肯定是不適合用在 HDR 影像合成時用來偵測移動物體的。

在本論文中，我們提出一個有效且強健的移動物體偵測方法來解決此一問題。首先我們將原始的 LDR 影像利用相機響應函數 (camera response curve) 轉換到 HDR 值域，也就是可以代表外界真實亮度的量測值。接著我們將藉由一簡單的臨界值法 (thresholding) 來完成移動物體的偵測。由於偵測結果可能會有雜訊或在移動物體內部會有小破洞的產生，我們將利用型態學中的侵蝕 (erosion) 與膨脹 (dilation) 來解決此問題。最後我們即可以在合成 HDR 影像的過程中，藉由忽略影像序列中所偵測出被定義為移動物體的 LDR 影像之像素，而使用其他不同曝光時間的影像來計算產生 HDR 影像。最後所得的影像即為一具有高動態範圍且沒有移動物體殘影的完美影像。

3. 所提演算法

圖 5 所示為我們所提出之『自動偵測並移除移動物體之高動態範圍影像系統』之詳細流程圖，其細節部分我們接著一一介紹之。

首先我們先要求出該組不同曝光時間的影像序列之相機響應函數 (camera response curve)。由於這時影像序列中可能會有移動物體的存在，為了能有效降低雜訊與移動物體的干擾，我們採用結合 K-means 與雙向濾波器 (Bilateral filter) 的影像分割法，並利用曝光時間較長的影像像素值必定大於同一位置較短曝光時間影像像素值的法則，來決定最佳的取樣點，而正確地計算出非線性的相機響應函數。

在移動物體偵測方面，我們提出先將多張不同曝光時間的 LDR 影像，透過所計算出之相機響應函數 (camera response curve) 轉成多張的 HDR 影像，接著再將所計算出之 HDR 影像兩兩以臨界值法做移動物體偵測。我們的想法是由於 HDR 影像是代表外界真實亮度的影像，所以不同曝光時間所造成的亮度 (illumination) 差異，可以在轉換的時候移除其所造成的影響。圖 6 是圖 4 那兩張 LDR 影像先分別轉成兩張 HDR 影像，接著以簡單的臨界值法 (thresholding) 對其差值影像做移動物體的

偵測的結果。與圖 4 比較，可以明顯發現我們所提出之方法可以有效解決不同曝光時間拍攝相片中亮度變化差異的問題，最明顯的就是在圖 4 中被判定為移動物體的山巒部分，現在已能正確判定為不動的背景，而所偵測出之移動物體就剩下是因為風吹而擺動的樹葉。

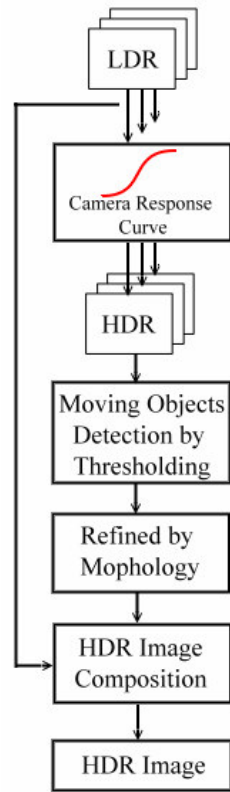


圖 5 所提自動偵測移除移動物體之高動態範圍影像系統流程圖。



圖 6 兩張 HDR 影像相減的結果。

但是我們發現在圖 6 中沒有移動物體的地方，例如後面綠色山巒部分，還是會有一些雜點的產生，也就是偵測移動物的結果可能會有些不應該存在分散的雜點。或是在移動物體內，因為臨界值太敏感而可能會有小缺洞的產生。由於一般的移動物體都是所謂剛性移動物體，也就是其內部應該是

一連續完整的區域，不會有破洞的產生。所以為了解決此一問題，我們將利用型態學中的侵蝕 (Erosion) 與膨脹 (dilation) 運算來將分散的紅點移除，並將偵測出移動物體內部之小缺洞補滿。

型態學 (morphology) 主要的運算子有以下兩種方式，分別為侵蝕 (erosion) 和膨脹 (dilation) [6]。其中侵蝕運算主要可以把孤立點或是物體中凸出的部分刪除；反之膨脹運算則可以將凹洞補起來。所以我們可以先做兩次的侵蝕運算，再做兩次的膨脹運算來還原之。前兩次的侵蝕運算主要是要把分佈比較分散的小雜點拿掉，但是同時這樣也會把其中標記為移動物體的紅色區域縮小且其內部破洞也可能變大。所以我們需要再做兩次的膨脹運算將我們偵測出移動物的區域還原，而得到最後的結果。圖 7 所示為以型態學解決雜點與破洞問題的結果，(a) 為移動物偵測之後的結果；(b) 為先經過兩次侵蝕運算把周圍的小雜點拿掉；(c) 再經過兩次膨脹運算的結果，可以看出所提方法可以把被侵蝕運算所縮小的移動物體區域還原，且將其內部的空洞補滿。

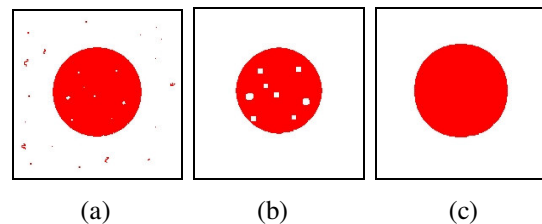


圖 7 侵蝕與膨脹運算的結果 (a) 初步偵測的結果 (b) 經過兩次侵蝕運算 (c) 再經過兩次膨脹運算。

圖 8 為兩張不同曝光時間拍攝的 LDR 影像，很明顯地，我們發現右邊為以較長曝光時間拍攝的影像，其藍色的天空部分已經幾乎都是死白一片了，而在左邊較短曝光時間的影像中，我們可以看到藍色的天空部分。如果我們以傳統的移動物體偵測法來計算的話，其會得到不正確的結果。為了證明我們所提演算法的可行性，我們將左邊較短曝光時間的影像上加上兩隻大蝴蝶當成移動物體。圖 9 為我們以前面所提之自動移動物體偵測法的處理結果，我們發現所提演算法可以有效解決因曝光時間不同所造成的亮度差異問題，而正確偵測出移動物體的位置。

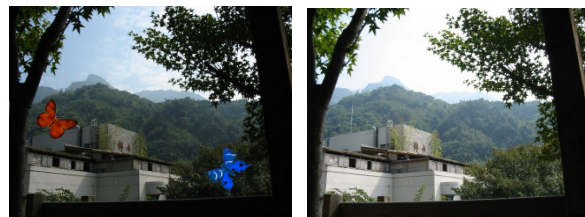


圖 8 為兩張不同曝光時間拍攝的 LDR 影像，其中左邊較短曝光時間的影像加上兩隻大蝴蝶來模擬成移動物體。



圖 9 以所提自動移動物體偵測法處理圖 8 測試影像的結果。

如果我們只有兩張輸入影像，則如同前面所言，我們可以以所提方法來自動偵測出影像中有移動物體的區域，但是我們卻沒有辦法判斷出哪一張影像中被標記出來的區域才是真正的移動物體。但是只要我們有兩張以上的輸入影像，那這個問題就可以解決了。我們用圖 10 來詳細說明之。圖 10 所示為三張以不同曝光時間拍攝的影像，其中有個紅色的正方形物體從左邊移動到右邊。很明顯的，我們的目的就是要判斷出來『影像 A 的方塊 1』、『影像 B 的方塊 2』、『影像 C 的方塊 3』為移動物體。先假設我們只有使用兩張影像，分別是影像 A 與 B。由我們所提自動移動物體偵測法可以將影像 A 中之移動物體區域標記出來，即方塊 1 與方塊 2；而影像 B 在影像 A 中之移動物體相對位置也會被標記出來（方塊 1 與方塊 2），如此一來我們就無法得知這兩張影像中到底哪一張影像中被標記出來的區域才真正是移動物體，而在其另一張影像中的相對區域應該為背景物件。

但是只要有超過兩張以上的影像，我們就可以做進一步的判斷來解決此一問題。我們先將影像兩兩做移動物體偵測，將可能為移動物體的地方都標記起來。以方塊 1 為例，其在影像 A、B、C 中都會被標記為移動物體區域。接著我們藉由比較所有不同曝光時間影像該位置之 HDR 像素值，則可以發現與其他影像像素值差距太大的區域才是真正的移動物體，而其他影像該區域應為背景物件。以圖 10 為例，其最後結果應為『影像 A 的方塊 1』、『影像 B 的方塊 2』、『影像 C 的方塊 3』才是真正的移動物體。

最後在合成 HDR 影像的時候，我們便可以藉由不使用被偵測出為移動物體區域的影像像素值，而將所有移動物體皆消除之。以圖 10 為例，也就是在計算合成高動態範圍影像的區域 1 時，我們只用影像 B 與 C；計算區域 2 的時候就只用影像 A 與 C 兩張；計算區域 3 的時候就只用影像 A 與 B；而其他區域則三張影像都使用之。最後合成出來的影像中，紅色區塊的移動物體就會被拿掉，只剩下背景了。

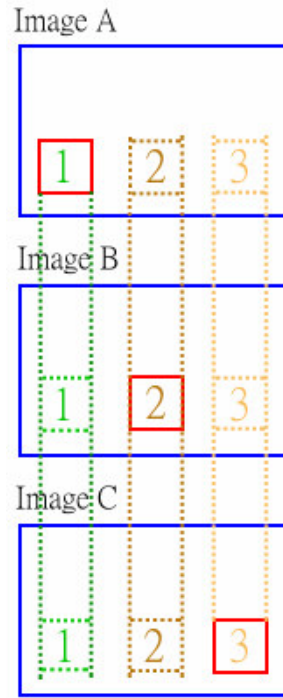


圖 10 三張有移動物體的影像。

4. 實驗結果

我們以一組五張不同曝光時間的實際影像來當例子，由於曝光時間的差別，導致每張照片的基本亮度差距非常的大，如果用傳統的移動物偵測法一定會失敗。五張影像中有兩隻蝴蝶在其中移動，利用所提出之移動物偵測法能正確地在影像序列中偵測出蝴蝶的位置，而在合成 HDR 的時候採用了該位置沒有蝴蝶的影像，最後的結果顯示移動的蝴蝶成功地從影像中去除，只留下完美的背景影像，如圖 11 所示。



圖 11 自動偵測移動物體並移除後，所合成之高動態範圍影像。

最後我們再以一組如圖 12 所示的五張不同曝光時間拍攝之影像序列來測試所提演算法。注意在

第三張小影像中有一走動的人。在計算合成高動態範圍影像的過程中，我們所提演算法可以自動將所偵測出之移動物體移除，而得到一張如圖 12 所示之完美高動態範圍背景影像。



圖 12 移動物體偵測並移除後，合成 HDR 影像之結果。

5. 結論

在現今數位相機普及的社會，大家對照片品質的需求越來越提高，而『高動態範圍影像』是一個全新且實用的領域，但是其中有待解決問題也是不少。而其中比較嚴重的問題就是在不同曝光時間的影像序列中有移動物體，這樣的影像序列會使得所合成之 HDR 影像會有移動物體的殘影存在。傳統的移動物偵測法則會因為拍攝時的曝光時間不同，造成相片之間的亮度差異過大，而導致偵測失敗。在本論文中我們將提出能在不同曝光時間影像序列中的自動移動物體偵測法。接著在合成 HDR 影像的過程中，藉由忽略影像序列中所偵測出被定義為移動物體的 LDR 影像之像素，而使用其他不同曝光時間的影像來計算產生 HDR 影像，而得到一具有高動態範圍且沒有移動物體殘影的完美影像。實驗結果顯示，所提方法能在不同曝光時間影像序列中，有效地自動偵測出移動物體，並在合成 HDR 影像的過程中把其去除。

參考文獻

- [1] M. Ashikhmin, "A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images," Proceedings of Eurographics Workshop on Rendering, Saarbrücken, Germany, pp. 1-11, 2002.
- [2] P. E. Debevec, and J. Malik, "Recovering high dynamic range images," in proceeding of the SPIE:Image Sensors, Vol. 3965, pp. 392-401, 1997.
- [3] J. Dicarolo and B. Wandell, "Rendering High Dynamic Range Images," Proceedings of the SPIE: Image Sensors, San Diego, California, Vol. 3965, pp. 392-401, 2000.
- [4] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range image," SIGGRAPH2002 conference Proceedings, Annual Conference Series, ACM Press/ACM SIGGRAPH 2002, pp. 257-265, 2002.
- [5] J. A. Ferwerda, S. N. Pattanaik, P. Shirley, and D. P. Greenberg, "An adaptation model for realistic image synthesis," in SIGGRAPH 96 Proceeding, pp. 249-258, 1996.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing", 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [7] S. B. Kang, M. Uyttendaele, S. Winder and R. Szeliski, "High dynamic range video", ACM Press/ACM SIGGRAPH 2003, pp. 319-325, 2003.
- [8] S. Mann, and R. W. Picard, "On Being 'Undigital' with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures," Proceedings of IS&T's Annual Conference, Washington DC, pp. 422-428, 1995.
- [9] T. Mitsunaga, and S. K. Nayar, "High Dynamic Range Imaging: Spatially Varying Pixel Exposures," Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hilton Head Island, South Carolina, pp. 472-479, 2000.
- [10] S. N. Pattanaik and H. Yee, "Adaptive gain control for high dynamic range image display," in Proceedings of Spring Conference in Computer Graphic (SCCG2002), Budnerice, Slovak Republic, April 24-27, 2002.
- [11] E. Reihard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda, "Photographic tone reproduction for digital images," in Proceedings of SIGGRAPH02, pp.267-276, 2002.
- [12] J. Tumblin and H. Rushmeier, "Tone reproduction for computer generated images," IEEE Computer Graphics and Applications, 13(6), pp. 42-48, November 1993.
- [13] G. L. Ward, "A contrast-based scalefactor for luminance display," in Paul Heckbert, editor, Graphics Gems IV, Academic Press, Boston, pp. 415-421, 1994.
- [14] G. L. Ward, "The LogLuv Encoding for Full Gamut, High Dynamic Range Images," Journal of Graphics Tools, Vol. 3, No. 1, pp. 15-31, 1998.
- [15] G. L. Ward, H. Rushmeier, and C. Piatko, "A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 3, No. 4, pp. 291-306, 1997.