

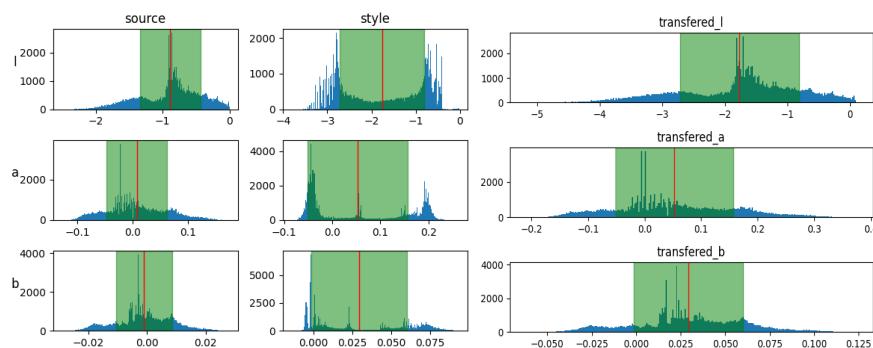
引言

本次報告將闡述 Basic color transfer 與 IDT transfer 兩種顏色轉換方法的比較與討論。

另外也實作 TMR filter 來針對 IDT transfer 結果進行優化，並探討 TMR filter 的優缺點並根據其缺點提出改進方案。

Basic color transfer¹

此方法將 source 圖片與 style 圖片的 RGB space 轉換成 $l\alpha\beta$ space，再將 source 圖片三個 channel 的值透過線性函數轉換 ($ax + b$)，使 source 圖片三個 channel 的值之平均數和標準差與 style 圖片相同。



source 圖片、style 圖片與轉換後圖片的 histogram

IDT transfer²

如果 source 圖片與 style 圖片都是灰階影像，兩圖片各只有一個 channel (灰階值)，假設 source 圖片與 style 圖片之灰階值 PDF 分別為 f, g 。則轉換函式為 $G^{-1} \circ F$ ，其中 F, G 為 f, g 的導函數。在全彩圖片的情況，每個圖片都有三個 channel，一張圖片可視為三維的 PDF，在 IDT transfer，會先隨機產生三維空間下的一維轉軸，然後將兩者的

¹ E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley, "Color transfer between images," IEEE Comput. Graph. Appl., Vol. 21, No. 5, pp. 34–41, 2001.

² F. Pitie, A. Kokaram, and R. Dahyot, "Automated colour grading using colour distribution transfer," Computer Vision and Image Understanding, February 2007

PDF 投影到相同的轉軸上，因此降維至一維的 PDF，再經過上述轉換函式轉換。以上步驟須迭代多次，source 圖片的 PDF 將會趨近於 style 圖片的 PDF，因而完成全彩圖片的色彩轉換。

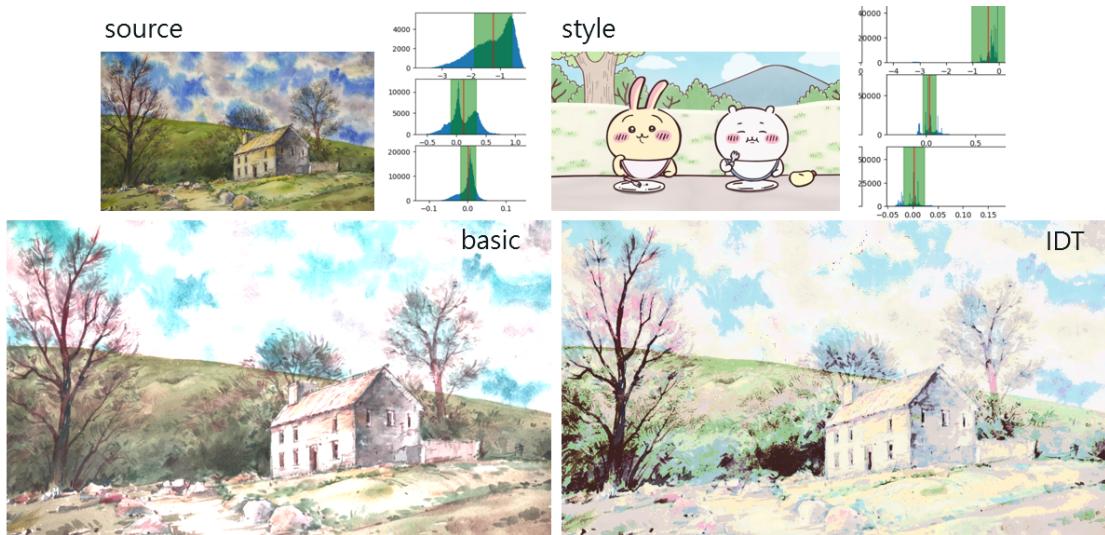
Basic color transfer 與 IDT transfer 比較



如上圖，Basic color transfer 相較於 IDT transfer，在單位空間內的顏色變化動盪較小。

IDT transfer 容易將相近顏色轉換成彼此差異較大的色塊。

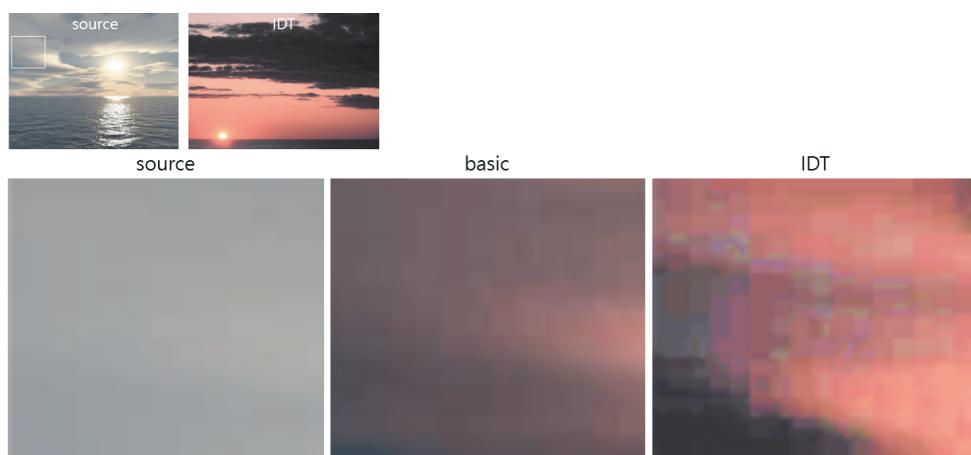
如果 style 圖片的顏色分布較離散（如卡通畫面），而 source 圖片顏色分布較連續，在 basic transfer 下，由於只是將 source 圖片的顏色分布做線性的拉伸，因此轉換後的圖片顏色分布仍然較連續。而在 IDT transfer，source 圖片之顏色分布會趨近於 style 圖片的顏色分布，所以轉換後圖的圖片會繼承 style 圖片顏色分布離散的特質，因此在此情況下 IDT transfer 轉換效果較佳。



如上圖，IDT transfer 產生的圖片幾乎只使用 style 圖片出現的顏色

IDT transfer 的問題

一、原圖片顏色值的變異數可能在轉換過程中被放大，因此原本不起眼的雜訊會變得較明顯。如下圖，source 圖片因解析度關係有不明顯的馬賽克雜訊，經 IDT 轉換變得更顯著。



二、原因如上述變異數放大的問題，相近的顏色會被對應到差異較大的色塊。像是先前在 Basic color transfer 與 IDT transfer 比較所提及的例子

Transportation Map Regularization³

我們能透過 Transportation Map Regularization (TMR) filter 解決上述 IDT 帶來的問題。

令 source 圖片為 u ，IDT 轉換圖片為 $T(u)$ 。 $\mathcal{M}(u) = T(u) - u$ 。TMR filter 方程式如下：

$$[\mathbf{Y}_u \mathcal{M}(u)](x) = \frac{1}{C(x)} \int_{y \in \mathcal{N}(x)} [\mathcal{M}(u)](y) \cdot e^{-\frac{\|u(x)-u(y)\|^2}{\sigma^2}} dy, \text{ 其中 } C(x) = \int_{y \in \mathcal{N}(x)} e^{-\frac{\|u(x)-u(y)\|^2}{\sigma^2}} dy$$

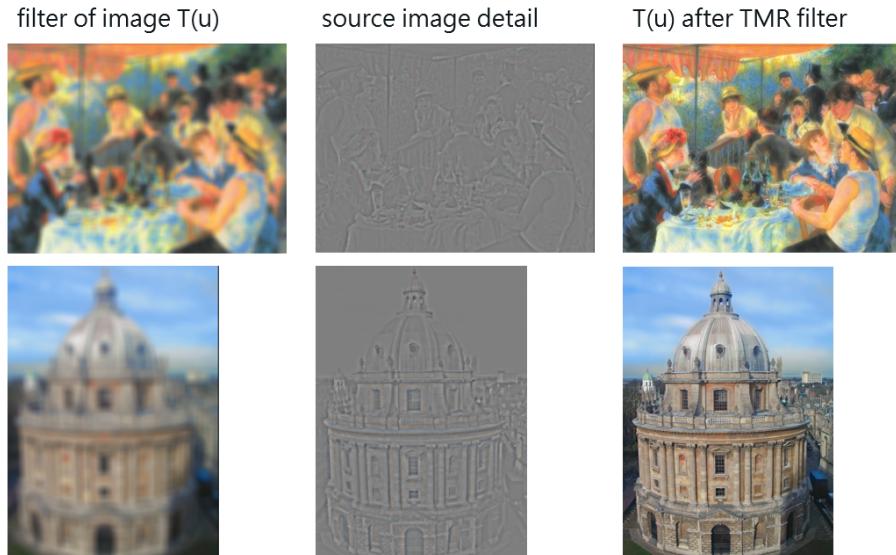
上述方程式可改寫如下：

$$\mathbf{TMR}_u(T(u)) = \underbrace{\mathbf{Y}_u(T(u))}_{\text{filtering of image } T(u)} + \underbrace{u - \mathbf{Y}_u(u)}_{\text{source image detail}}$$

也就是說，TMR filter 是模糊化的 $T(u)$ 與 source image detail 之累加。 $T(u)$ 經過模糊能

減少局部空間內的顏色差異，也能保留經轉換的色彩。為了銳化圖片，因此又加上

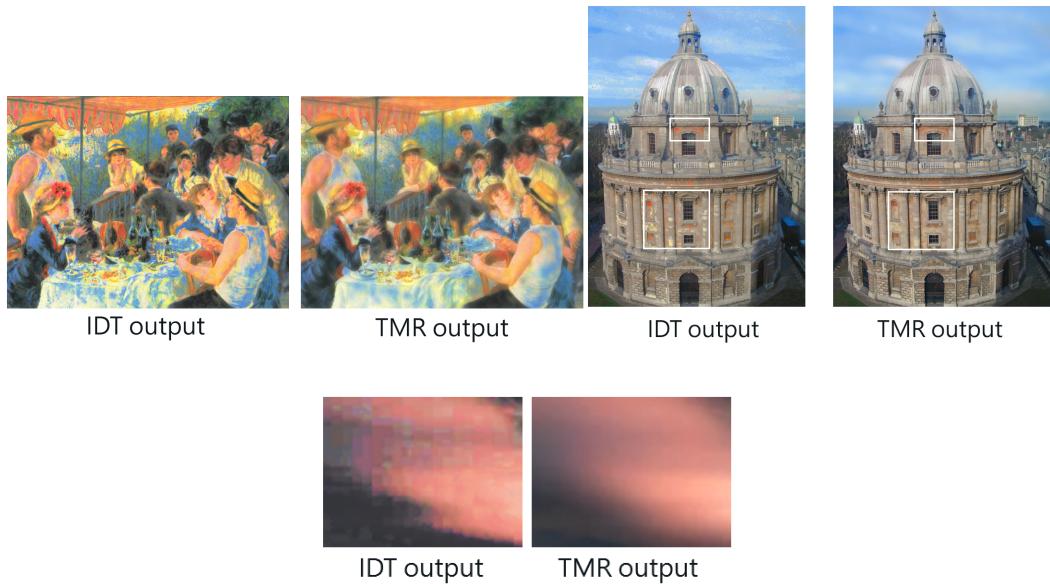
source image detail。



下圖可見經過 TMR filter，局部空間內的顏色對比變得平緩，也減少較亮顏色的過曝現

象。此外雜訊現象也能有效消除。

³ J. Rabin, J. Delon, and Y. Gousseau, "Regularization of transportation maps for color and contrast transfer," Proc. ICIP, 2010.



圖片也能經過多次 TMR filter 處理，直至該次 TMR filter 處理前後的圖片之 Mean

Absolute Error 小於特定值，公式如下：

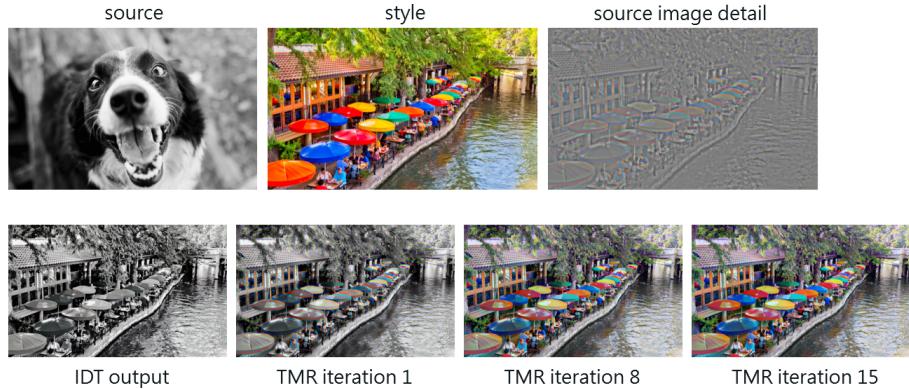
$$\text{TMR}_u^k(T(u)) := \mathbf{Y}_u^k(T(u)) + u - \mathbf{Y}_u^k(u)$$

IDT transfer 有時會產生顏色值與周圍差異極大的壞點，經過多次 TMR filter 後，壞點會漸漸被過濾直至消失。



TMR filter 的問題

若是 source 圖片顏色太過強烈，並且 source 圖片與 style 圖片的色調差異較大，由於 source image detail 更容易受到 source 圖片顏色影響，因此經過 TMR filter 後圖片會傾向回到 source 圖片的顏色分布，且隨著多次 TMR filter 的迭代更趨近於 source 圖片的顏色。



TMR filter 問題的解決方案

上述的問題源自於 source image detail 的顏色分布與 style 圖片有較大的顏色分布差異。

因此我選擇不將模糊化的 $T(u)$ 加上 source image detail，而是 IDT image detail，也就是

$T(u) - Y_u(T(u))$ ，然而直接相加就和 IDT 產生的圖片沒有差別。有鑑於 IDT image

detail 會因對比度 (contrast) 突然上升 (相似色轉換成差異大的顏色、雜訊放大、壞

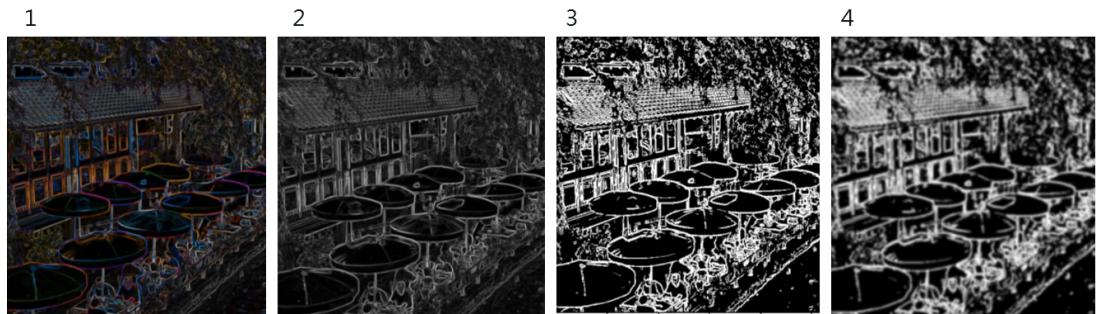
點) 而產生 source 圖片沒有的 detail，IDT image detail 會先與特定的 mask 進行

element-wise 的相乘，才加上模糊化的 $T(u)$ 。

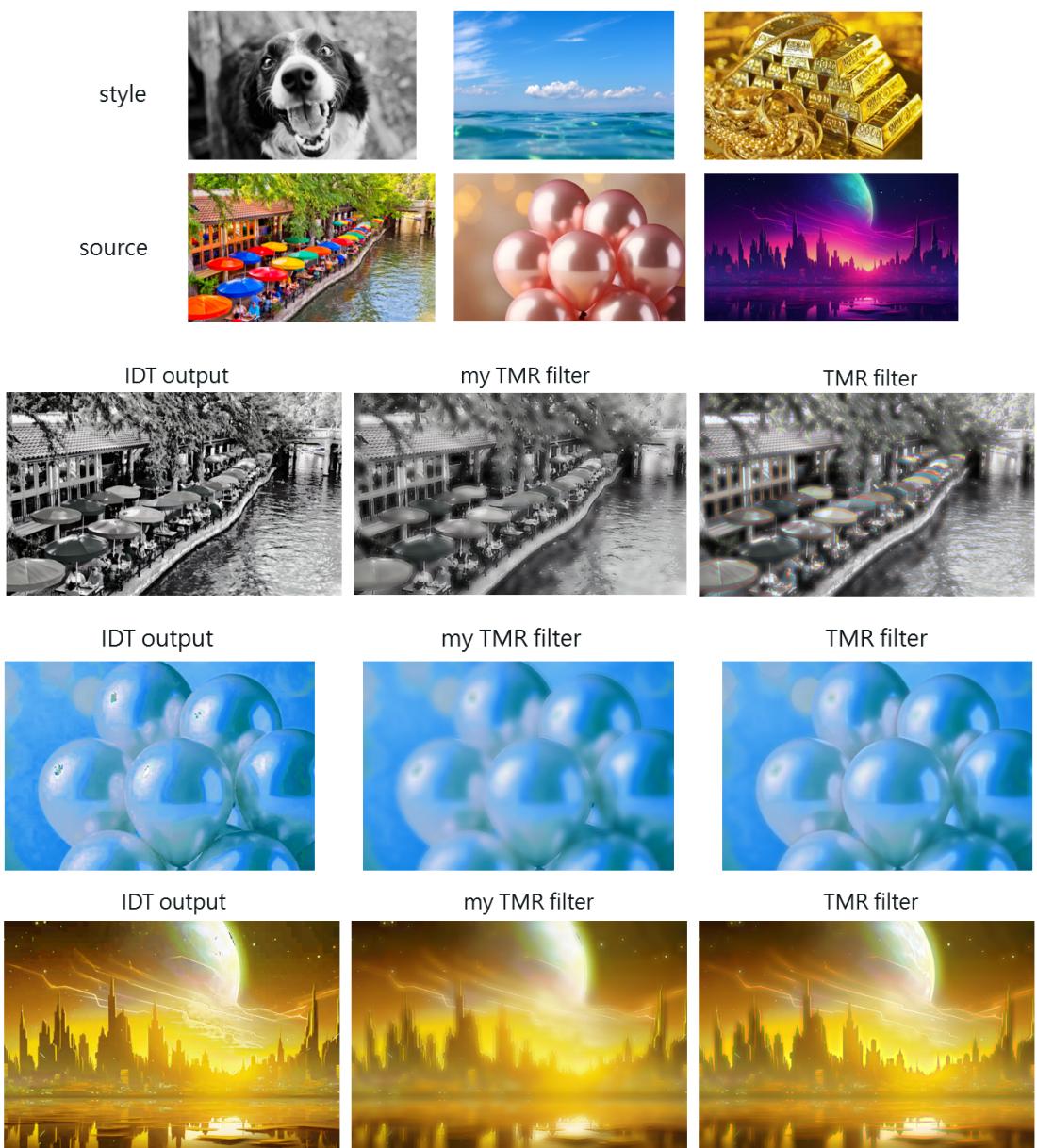
至於這個 mask 是由 source 圖片而來，mask 需要涵蓋 source 圖片不同顏色交界處的資

訊，mask 的取得演算法如下：

1. 對 source 圖片進行 sobel filter
2. sober filter 產生 RGB 的邊界圖片，在每個像素取 RGB 最大值
3. 將上述得到圖片取 threshold，分成只有 0, 1 兩個值。
4. 使用 gaussian filter 將邊界圖片模糊化再正則化



結果

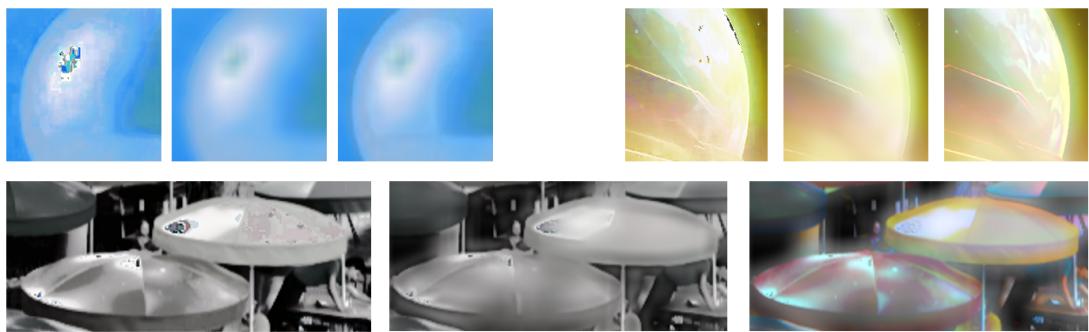


style 圖片顏色保留的部分，比起原本 TMR filter 更不容易受到 source 圖片顏色影響，

如下圖，左側為自己版本的 TMR filter，右側為 TMR filter。



此外，自己版本的 TMR filter 也保留原本 TMR filter 降低對比度以及弱化雜訊、壞點的效果，不過效果不及原本 TMR filter 般顯著。



IDT output (左)、自己版本的 TMR filter (中)、與原本 TMR filter (右)
不過自己版本的 TMR filter 仍然存在不少缺陷，由於要消除大部分 IDT 圖片不存在的雜訊，所以 mask 的涵蓋率需要做取捨，導致 source 圖片的 detail 有不少部分被忽略，所以轉換後圖片較模糊。此外在圖片使用自己版本的 TMR filter 多次後，圖片仍然無法收斂，所以不能像原本 TMR filter 一樣可以迭代計算。