

改良基於範例之影像修補方法

謝政勳 林育聖 蔡楊仁 龍彥霖 蔡芳勝

朝陽科技大學資訊工程系

{chhsieh,s10127620,s9827019,s9827025,s9827083}@cyut.edu.tw

摘要

影像修補方法主要是用於修復圖片的缺損部分或是移除圖片中的物件。常用的修補方法是透過紋理與線條結構來進行修補或重建，達到人類視覺可以接受的修補效果。本文使用的方法主要是改良基於範例之影像修補(exemplar-based image inpainting)方法[1]，期能達到較佳的修補效果。為了驗證所提出的影像修補技術，我們以數個範例進行測試，並以主觀視覺及客觀評估方式來比較先前基於範例之影像修補技術。由實驗結果可以發現我們提出的方法在主觀及客觀的評估均優於原始基於範例之影像修補方法。

關鍵字:物件移除、影像修補、客觀評估

Abstract

Image inpainting is a technique to repair defects or to remove objects unwanted in digital images. A popular approach to inpaint images is based on texture synthesis and line structure. This paper presents an inpainting approach modified from the exemplar-based image inpainting approach in [1]. The proposed approach is expected to have better inpainting effect than the original one. To verify the proposed approach, several images are given as test examples. Besides, the results are compared with those from [1]. The results indicate that the proposed approach is better than that in [1] both in subjective and objective assessments.

Keywords: object removal, image inpainting, objective assessment

1. 簡介

近年來隨著電腦運算功能的提升以及資訊科技的進步與多媒體的普及，透過電腦資料的儲存、管理及分析能力，能夠將空間資訊以更視覺化的方式呈現，使得數位影像處理普遍應

用在民生消費性產品上，如：數位相機、數位攝影機、行車紀錄器等等，因此數位影像已成為人們生活中的一部分。其中紀錄一些先人的文化創作作品也是很重要的一部分，因為即使有良好的保存條件，仍會因為時間而慢慢的退色，甚至是人為或天然的災害影響，都會造成一些作品損壞而無法被後世的人所欣賞，為了能夠更有效的保存古文物並且能讓一般大眾都能夠欣賞到這些人類文化的藝術創作，近年來也大量的推行對這些藝術品進行數位典藏，也就是將這些先人的創作作品以數位影像的方式紀錄下來並且加以收藏，不但方便日後對外展出，也能夠確保這些文物能夠有另一個備存的空間，避免這些作品因為損壞退色而消失，因此這是一份非常重要的工作，而在儲存這些作品的前，不難避免的一些畫作作品早已因為時間或是環境影響而有一些缺塊甚至發霉汗損...等，為了能夠更好的保留原始作品的風貌，因此我們需要透過影像修補的技術來修補這些缺損及汗損的地方。

而在面對不同的修補對象，也會影響其影像復原的方法，常見的影像復原技術依其方式大致上可分為兩種，紋理合成及影像修補。第一類為紋理合成，我們將用物件移除來說明，由於物件移除這項演算法是作者在結合紋理合成以及影像修補所拼湊出來的新演算法，其方式是先在選取的區域產生相似的紋理，接著再使用這些相似的紋理來修復受損的區域，主要是針對較大範圍所相似的地方進行處理。而第二類主要是適用於修復小範圍的處理，如照片因人為的因素所造成的損壞、畫作因時間或是搬運所造成的縐褶及刮痕等等，而本文主要以第一類的方法來進行探討及改進。在文獻[1]作者，提出了一個基於範例之影像修補方法，其方法主要透過搜尋，將影像中最相似的區塊拿來修補缺塊，且能有效的達到修補的目的。在文獻[3]中提到其使用區域分割(region segmentation)的方法來進行修補，藉此達到視覺上合理的效果，另外還使用了強韌性優先函數的參數選擇方法與曲線連接(connection method)來實現的影像修補。該方法主要先輸入

影像 I 建構一個分割圖 M，再以手動方式選擇一個目標區塊 T，接著提供一個方法決定強韌性優先函數的參數值，其中參數值的選擇嚴重的影響影像修補結果，因此用 The difference of Gaussians (DoG)來選出合適的參數值，再將輸入影像 I、分割圖 M 與合適的參數值代入 Criminisi 等人的演算法[1]產生影像修補結果。在文獻[4]則是使用了基於影像區塊分割演算法，分割圖會在每個區塊標記 0 到 255 的灰階值。再透過更新初始分割圖的標籤來分類目標區塊，在這裡定義目標區塊灰階值為 255，而來源區塊是根據它們的地區紋理相似性來劃分及表示其灰階值，但若是來源區塊值為 255，它將改變目標區塊為未使用的灰階值。另外在文獻[5]Cheng 等人也提供了強韌性優先方程式，該方法使用 DoG 值去判斷加權參數，該數據項 $D_{(p)}$ 在傳輸結構組件有相當影響力。在文獻[6]提到使用 Bézier 曲線連接方法，目的是重建分割圖破碎的邊界線，可以有效的使修補後的影像紋理更加的平滑。另外在文獻[10]也提到有幾種技術的運用，如均值位移分割(mean shift segmentation)、基於範例的圖像修補和貝茲曲線(Bézier curves)等，利用這些方法來達到更好的修補結果。在文獻[7-8]認為要得到更好的結果首先要找出影像中需要修補的輪廓，雖然在低階電腦色彩判斷的領域中，提出許多顏色分割的邊緣檢測方法，但大部分的做法會被太複雜的紋理所限制，因此文中選擇使用 mean-shifts based color segmentationz 方式來減少顏色和紋理的影響，利用此方法來產生輪廓。

本文第一小節主要在簡述影像修補方法的背景及相關參考文獻，第二小節我們將回顧 EBI 的影像修補方式，在第三小節我們會提出 EBI 方法仍存在的問題並提出改良的方法，在第四小節我們會透過實驗來驗證我們的結果，並且將 EBI 及我們提出的方法 MEBI 的修補結果進行主觀及客觀的比較，最後第五節為我們的結論。

2. EBI 方法回顧

文獻 [1] 提出了一種 Object Removal Exemplar-Based Image Inpainting 的演算法，以下簡稱 EBI 方法，其方法主要目的是要在刪除物件後，透過影像修補來處理缺塊部分，並在視覺上感到合理。圖 1(a)為一原始的影像，在這個例子中，可以發現噴泉中間有位女子，為

了看到完整的噴泉區域，而將圖中這位女子移除，而這女子中間的缺塊則使用其它部分類似的紋理來修補，進而讓影像在視覺達到合理化，如圖 1(b)所示。文獻[1]修補方法概要說明如下：圖 2(a)中的 Ω 記號部分為要填補的地方而 $\delta\Omega$ 代表兩邊的輪廓， Φ 為現有的資訊，接著我們將其顯示的結構與紋理去對應到原本有結構與紋理資訊的區塊，並找到他們最相近的地方將其填補進去，圖 2(b)表示了 P 區為要填補的地方，它介於要填補的區域 Ω 與原本有結構及紋理資訊的區塊，如圖 2(c)接下來我們將從最相近的資訊來源 Ψ_q 及 Ψ_q 抓取資訊來填補需要補足資訊的地方 Ψ_p ，也就是我們為了要填補 Ψ_p 的地方，需從 Φ 之中找尋相似的資源如 Ψ_q 及 Ψ_q 都相似於 Ψ_p ，圖 2(d)所示再從中挑出最相近的資訊補到位置 Ψ_p 。在 EBI 方法中計算優先權的方法如公式(1)所示：

$$P_{(p)} = C_{(p)} \times D_{(p)} \quad (1)$$

其中 C 為信心值(confidence)， D 為數據(data term)，並分別由公式(2)及公式(3)表示：

$$C_{(p)} = \sum_{q \in \Psi_p \cap \Phi} -C_{(q)} / |\Psi_p| \quad (2)$$

$$D_{(p)} = |\nabla I_p^\perp \cdot n_p| / \alpha \quad (3)$$

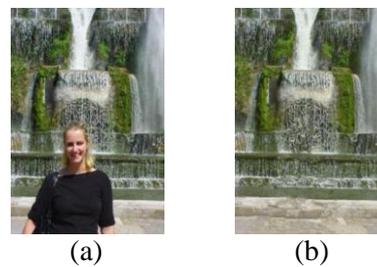


圖 1. (a)原始影像 (b)修補後影像

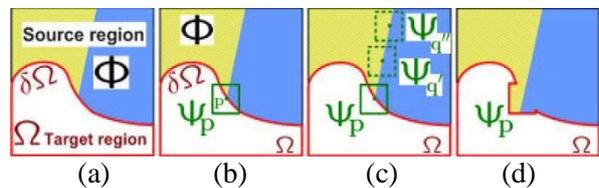


圖 2. 影像修補示意圖

公式(2)當中的 $|\Psi_p|$ 為 Ψ_p 的面積，公式(3)的 α 是指正規化因子，其等同於灰階圖像中的 8-bit 的 255， ∇I_p^\perp 為點 p 的等光強度， n_p 則是點 p 的向量線。而找到最高 $p_{(p)}$ 的補丁 Ψ_p 方法則如公式(4)所示：

$$\Psi_p|P = \arg \max_{p \in \delta \Omega} P_{(p)} \quad (4)$$

以下我們說明 EBI 方法的修補步驟：

步驟 1：選定要修補或移除的部分。

步驟 2：計算優先權 $p_{(p)}$ 。

步驟 3：找出最高的 $p_{(p)}$ 的待修補區域 Ψ_p 。

步驟 4：計算具有最短距離之最佳補丁 Ψ_q 。

步驟 5：以補丁 Ψ_q 取代 Ψ_p 。

步驟 6：執行步驟 2 到 5 直到修補結束。

3. MEBI (Modified EBI)方法

上述 EBI 方法雖然能夠有效的達到影像修補的目的，但卻仍然有部分的瑕疵造成修補的結果會有不自然的現象，如圖 8(a)紅圈的部分，屋子多了一個小洞，湖面也多出了一塊草叢，因此我們針對這些問題進行分析，EBI 方法雖然能夠以紋理合成的方式來修補較大範圍的區塊破損，但我們發現在其步驟 5 有一個問題，就是已經修補後的影像部分會被重新搜尋，然而實際上那個修好的部分，原本是未修補的地方，如果我們再次搜尋到這個部分，就會重複使用類似的資訊而影響修補效果。因此，本論文嘗試從這個問題著手，不再以修補部分的圖來進行再次重新搜尋 $p_{(p)}$ 而是改成將 $p_{(p)}$ 從大到小排序，做完全部修補後再重新搜尋。依照這個理念，可以避免已經修補好的地方又重複搜尋，我們將這個方法命名為 Modified Exemplar-Based Inpainting，我們將簡稱為 MEBI 方法，其主要步驟說明如下：

步驟 1：選定要修補或移除的部分。

步驟 2：計算優先權 $p_{(p)}$ 。

步驟 3：找出最高的 $p_{(p)}$ 的待修補區域 Ψ_p 。

步驟 4：找出並以補丁 Ψ_q 取代 Ψ_p 後，將最大值的 $p_{(p)}$ 設為 0。這是修改最重要的部分，如圖 3(a)序號 445 的 $p_{(p)}$ 值最大先讓此序號的像素做完步驟 3 補丁修補後將其值設為 0，方便我們找下一個最大的 $p_{(p)}$ ，也就是序號 56 的值如圖 3(b)，然後再進行該點的修補。餘此類推。

步驟 5：重複步驟 3 到步驟 5，直到所有 $p_{(p)}$ 對應之待修補區域完成修補。

步驟 6：重新計算 $p_{(p)}$ 重複上述步驟 4 及步驟 5 直到修補結束。

為了避免過度重複使用相同資訊，我們在 MEBI 方法加入限制。假設進行修補的範圍為

9×9 如圖 4 所示，灰色部分是已知資訊，而空白部分為我們需要修補的部分。當我們找到最大的 $p_{(p)}$ 時，如果 $p_{(p)}$ 值已經修補過就將其忽略。這個限制可以避免過度使用重複資訊，影響修補效果。

為了更了解上述二種方法的差異，我們分別將這二種方法的修補過程紀錄下來，圖 5 所示為原始 EBI 方法修補情形，圖 6 為 MEBI 方法修補，透過觀察我們可以發現 MEBI 方法每次修補後依然會維持被修補物件的輪廓，依序慢慢的往內修補，而 EBI 方法則沒有這個現象。

Pixel NO.	P(p)	Pixel NO.	P(p)
1	34534	1	34534
2	1123	2	1123
3	20096	3	20096
4	55564	4	55564
.	.	.	.
.	.	.	.
56	8663453	56	8663453
.	.	.	.
445	97467447	445	0
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
256*256	-45636	256*256	-45636

圖 3. 優先值示意圖

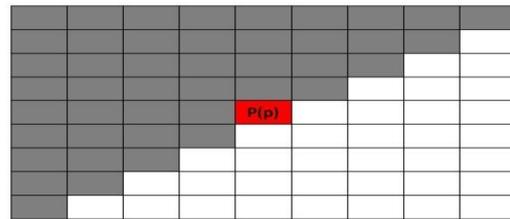


圖 4. 優先值示意圖



圖 5. EBI 方法修補過程圖



圖 6. MEBI 方法修補過程圖

4. 實驗結果與比較

在本小節，我們試著在原始影像上選擇一個物件並移除，然後利用 EBI 方法及我們所提出的修改方法 MEBI 來進行修補，並進行主觀比較。為了能客觀的比較二個方法，我們在原始影像上加上一個新的物件，並且分別以 EBI 方法及我們所提出的 MEBI 方法來移除並修補該物件。詳細內容說明如下：

4.1 修補比較

為了驗證我們提出的 MEBI 方法並與 EBI 方法比較，我們以圖 7(a)為範例，圖 7(b)以綠色區塊標示出欲移除之物件。然後分別以 EBI 方法及 MEBI 方法來進行修補，結果顯示在圖 8。圖 8(a)為以 EBI 方法修補後的影像，我們可以發現，雖然影像中可以被適當的移除，卻可以發現仍然有部分瑕疵，如正中間紅圈所圈出的建築物部分有明顯的缺口，且下方海水標紅圈處也多出了一小部分樹木。而以 MEBI 方法修補的結果如圖 8(b)所示，建築物中間的缺口明顯被改善了，且下方的海水部分也沒有出現錯誤的樹木區塊。另一個範例顯示在圖 9。圖 9(a)是一個打擊手正在揮棒時的原始影像，圖 9(b)則是用 MEBI 方法將打擊手移除後的結果，我們可以發現，不管在草地的部分還是在壘包附近泥土的地方都可以很完整的修補打擊手的區域，很完美的呈現出草地及泥土的樣子。

4.2 客觀評估 - PSNR

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)是常用來評估原始影像及處理後影像品質的差異，其公式如下：

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I(i, j) - K(i, j))^2 \quad (5)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

其中 $m \times n$ 影像大小， I 為原始影像， K 為修補後影像。 MSE (mean squared error) 為均方差。

為了能夠進行客觀的評估所提的 MEBI 方法，我們在原始影像如圖 10(a)中，加入物件如圖 10(b)所示，再分別以 EBI 及 MEBI 二種方法來修補，圖 10(c) 為使用 EBI 方式修補後的影像，我們可以發現在圈選處仍然可以看到物件的輪廓未被完整的修補所留下的瑕疵區塊。圖 10(d)則是以 MEBI 方法所修補的影像，我們可以發現與 EBI 的方法比較，同樣的地方得到了較好的修補結果。最後我們再將 EBI 與 MEBI 所修補後影像，圖 10(c)及圖 10(d)，分別與原始影像計算 PSNR。結果 EBI 方法得到 22.6dB，而 MEBI 方法為 23.9dB。在這個範例中說明 MEBI 方法具有較好的客觀評估結果。

另一個範例顯示在圖 11。圖 11(a)為原始影像，圖 11(b)為物件加入後影像。如前一範例，我們將圖 11(b)分別使用 EBI 及 MEBI 方法修補，其結果如圖 11(c)及圖 11(d)所示。為了方便比較，我們將相關修補區域切割放大，如圖 12 所示。由圖 12(c)及圖 12(d)中我們可以發現 EBI 方法修補影像與 MEBI 方法比較，在視覺上不如 MEBI 方法自然。另外，EBI 方法及 MEBI 方法之 PSNR 值分別為 30.9dB 及 31.5dB。再次說明 MEBI 方法優於 EBI 方法，正如我們所預期的結果。

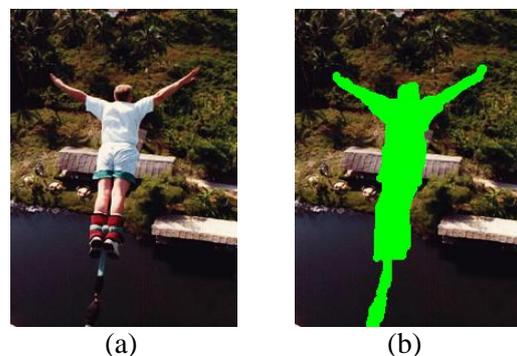


圖 7. (a)原始影像 (b)欲移除物件

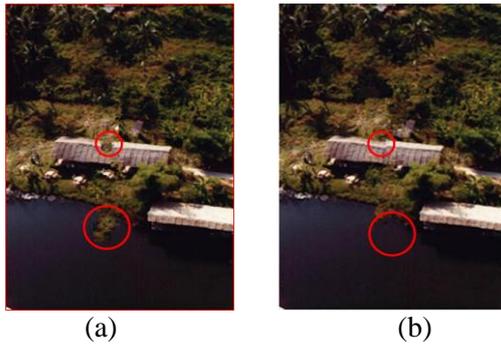


圖 8. 修補後影像 (a)EBI 方法 (b)MEBI 方法



圖 9. (a)原始影像 (b) MEBI 修補後影像

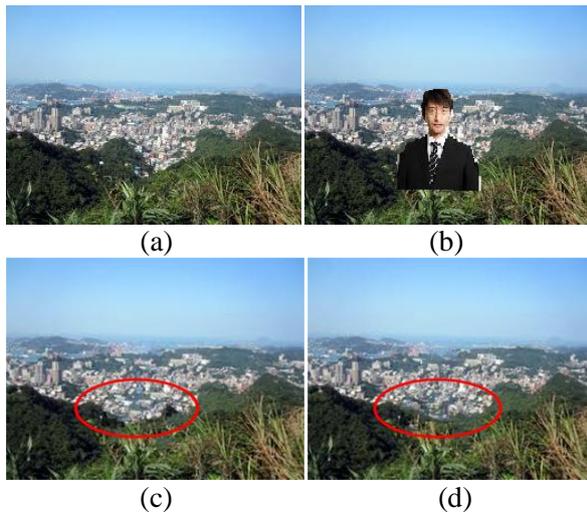


圖 10. (a)原始影像 (b)物件加入後影像
(c) EBI 方法修補影像 (d) MEBI 方法修補影像

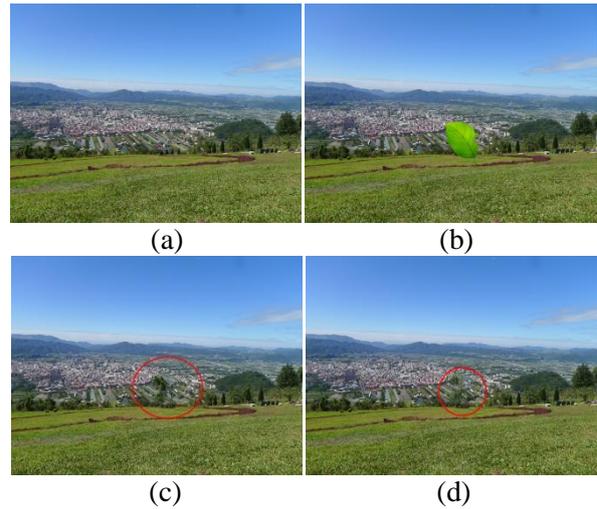


圖 11. (a)原始影像 (b)物件加入後影像 (c) EBI 方法修補影像 (d) MEBI 方法修補影像

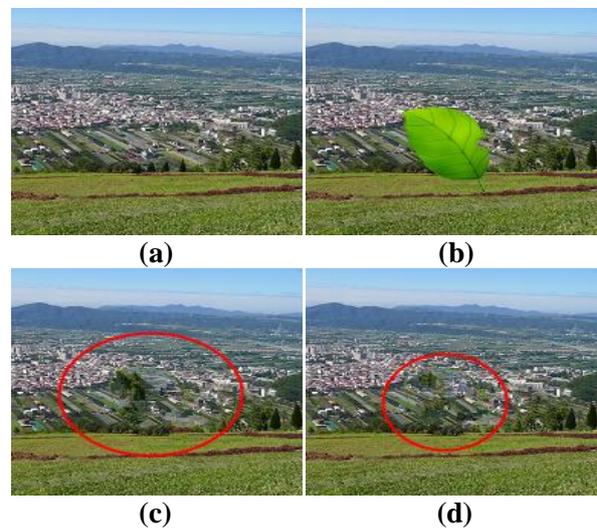


圖 12. (a)圖 11(a)切割影像 (b) 圖 11(b)切割影像
(c)圖 11(c)切割影像 (d)圖 11(d)切割影像

5. 結論

本論文提出一個改善文獻[1]基於範例影像修補的方法，稱為 MEBI 方法。在 MEBI 方法中主要修改了修補的順序，使被修補區域能依照物件輪廓，由外逐漸向內修補。為了驗證 MEBI 方法並與文獻[1]方法比較，我們使用了數個範例進行測試。在測試中，為了客觀評估二個方法，我們架構了一個評估方法，並以 PSNR 做為評估標準。實驗結果顯示，我們所提出的 MEBI 方法，如預期的，無論在視覺評估或是客觀評估均優於文獻[1]方法。

致謝

感謝行政院國家科學委員會專題研究計畫 (NSC 101-2221-E-324-039) 補助支持本論文研究成果。

參考文獻

- [1] Criminisi, P. Pérez and K. Toyama, "Object Removal by Exemplar-Based Inpainting," *IEEE Intl. Conference on Computer Vision*, Vol.2, pp. II-721 - II-728, June 2003.
- [2] Jianhong Shen and Tony F. Chan, "Mathematical Models for Local Nontexture Inpaintings," *SIAM J. Appl. Math.*, 62(3), pp. 1019–1043, July 2006.
- [3] Jino Lee, Dong-Kyu Lee and Rae-Hong Park, "Robust Exemplar-Based Inpainting Algorithm Using Region Segmentation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Volume: 58, Issue: 2, pp. 553–561, May 2012.
- [4] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, "Efficient Graph-Based Image Segmentation," *Int. J. Computer Vision*, Vol. 59, No. 2, pp. 167–181, Sep. 2004.
- [5] W.-H. Cheng, C.-W. Hsieh, S.-K. Lin, C.-W. Wang, and J.-L. Wu, "Robust Algorithm for Exemplar-Based Image Inpainting," *Int. Conf. Computer Graphics, Imaging and Vision*, pp. 64–69, 2005.
- [6] J. C. Hung, C.-H. Huang, Y.-C. Liao, N. C. Tang, and T.-J. Chen, "Exemplar-Based Image Inpainting Based on Structure Construction," *Int. J. Software*, Vol. 3, No. 8, pp. 57–64, Nov. 2008.
- [7] D. Comaniciu, P. Meer, "Robust Analysis of Feature Spaces: Color Image Segmentation," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 750-755, June 1997.
- [8] P. Meer, B. Georgescu, "Edge Detection with Embedded Confidence," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 23, pp. 1351-1365, 2011.