

快速區域性影像修補技術

¹陳宏光,¹劉正忠,²姜凱鈞,¹胡冠男,²陳煒松,

¹勤益科技大學電子工程系

²亞洲大學資訊與設計學系

E-mail: hank@ncut.edu.tw

摘要

本論文所提作法是改良自 Criminisi et al[2]的背景與重疊物件影像修補演算法 (image inpaint)。該演算法以欲修補區塊內的線性結構與信心值 (confidence value)，決定修補的順序與延續修補區域周圍影像的結構。然而，以整張影像為修補取樣的來源易造成運算時間過長；在處理前景不完全的影像時，亦容易為了延續前景物件的結構而使修補結果出現錯誤。此外，在處理顏色單一的影像時，使用原本的優先權計算方式，將導致優先權皆為 0 的情況發生，而無法繼續進行修補的工作。針對這些問題，我們提出一個改善此演算法的新作法。此作法不但提昇了整體修補計算的速度外，亦增加修補的正確率。

關鍵字: image inpaint

1. 介紹

網路頻寬的提昇以及大眾化，使得多媒體蓬勃發展，也連帶的使多媒體技術成了民生科技的寵兒。相關技術之研究成果如雨後春筍般不斷冒出。諸如多媒體編碼、資訊安全、影像修補等技術亦成為炙手可熱的研究議題。

由於多媒體應用的廣泛，許多相關的應用軟體如 PhotoImpact、PhotoShop、PhotoCap 上市之後，使得影像編輯的工作越來越方便。人們往往可利用這些相關軟體進行多媒體的編輯工作如：影像裁剪、影像重建、影像合成。

然而，往往在影像裁剪或是合成後，背景的缺漏將導致整張影像十分難看。影像修補技術應運而生。利用此技術，藉由對影像填補或移除可達到影像復原的效果。

影像修補技術以方式可分兩大類，分別是材質合成(Texture Synthesis)[3],[4],[5],[6]及影像修補(Image Inpainting)[7],[8]，其中材質合成是藉由材質樣本(Texture Sample)來合成一個目標區域(缺口)，夠填補較大塊的缺陷，適合內容為一致性、規律性與結構性的材質紋理，多用於電腦圖學(Computer Graphic)，影像修補則是利用目標區週遭的影像資訊如 pixel 的 R、G、B 值來進行修補的工作。也有這兩種技術作結合的方法如 Criminisi et al[2]，便是將上述的技術做整合，利用優先權值的計算，計算出目標區域內的相似的 patch(9 乘 9 大小)，在算出影像中與之相似的部分做為填補的依據。

影像修補技術若以修補的區域來分的話，可分成三大類：1.以像素值(Pixel-based) 2.以樣本塊(Exemplar-based) 3.以全域，其中以像素值之影像修補方法[9],[10],[11]與材質合成方法類似，皆是利用樣本(pixel)合成一個目標區域(缺口)，而以樣本塊之影像修補技術[12],[13],[14]則是以一個 patch 做為填補的範圍，再開始慢慢延伸，最後擴及至全圖。至於以全域之影像修補方法[15],[16]是從整張影像中找出最佳資源區塊，也就是最匹配欲填補部分的區塊，做為影像填補的依據，不過相對的要付出增加時間複雜度的代價。

2. 改良式影像修補

在本篇影像修補部分為三大步驟，計算修補區塊的優先權、填入材質與結構資訊至修補區域與更新修補區域的信心值 Confidence Values。首先我們將輸入影像的每個像素的修補範圍縮小至 Ψ_p 並計算出 priority (優先權)，接著依照優先權的高低順序填入要修補材質，最後更新該影像所修補後的信心值。

2.1 計算修補區塊的優先權

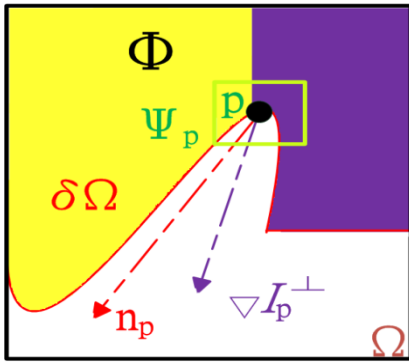


圖 1：優先權計算方式： p 為在 $\delta\Omega$ 上的一點，所形成的區塊為 Ψ_p ， n_p 為垂直於 $\delta\Omega$ 邊線上 p 點的法向量， ∇I_p^\perp 代表點 p 亮度變化的延續方向，整張影像以 I 表示。

在輸入影像且確定影像的修補區域後，Criminisi et al[2]預設將修補區塊大小設為 9 乘 9 的大小，但我們在此將比對範圍縮小至 Ψ_p 區塊上下各 4 列像素，影像中的每個像素，除了修補的區域外，都有各自的顏色資訊與 confidence (信心值)，修補的區塊則根據包含的像素有不同的 priority (優先權)，這個優先權決定了日後的處理順序。修補區塊的優先權決定了之後修補的優先順序，較高的優先權會先被處理，優先權的大小取決於：(1.)這個區塊包含的線性結構資訊是否與周圍可形成一

連續的線性結構與(2.)區塊內像素的信心值大小，以下為優先權的計算式子。

$$P(p) = C(p) + \alpha D(p) \quad (1)$$

α 為用來決定線性結構重要性的參數，本論文預設為 3，為在 $\delta\Omega$ 上的一點所形成的修補區塊，優先權 $P(p)$ 為信心值 $C(p)$ 加上線性結構 $D(p)$ 與 α 相乘而得，定義分別如下：

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap (I - \Omega)} C(q)}{|\Psi_p|} \quad (2)$$

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

$|\Psi_p|$ 為區塊所包含的大小， α 為正規化所使用的數值(灰階影像時 α 為 255)， ∇I_p^\perp 表示在 2D 空間中點 p 的亮度變化方向， n_p 為垂直於 $\delta\Omega$ 邊線上 p 點的單位法向量，在初始化時，在 Ω 內的像素 $C(p)$ 為 0，在 Φ 中的像素 $C(p)$ 為 1。 $C(p)$ 所代表的意義為讓有較多像素存在的區塊優先處理，這邊的像素指的是已填補或位於 Φ 區域中的像素，越多的像素存在於區塊，表示可用來比對的資訊越多，優先處理這類區可得到較可靠的填補結果。如圖(2a)，右上方空白部份尖端的區域周圍包含較多像素，信心值較高(綠色)，左下方凹入空白區域的部份周圍包含較少像素，信心值較低(紅色)。 $D(p)$ 表示區塊內的結構資訊可延續至修補區域內的強弱，為 $\delta\Omega$ 上的像素與 Ω 邊界相切產生的法向量，和區塊內最大的顏色梯度數值相乘後正規化而得，這個數值使得在進行修補時，也能同時考慮影像中的線性結構，當區塊內的結構較可延續至修補區域，將會優先被處理。將 $C(p)$ 與 $D(p)$ 相乘，得到了一個可決定處理順序的優先權，這個優先權同時考慮了材質填補與影像中的線性結構，使得兩者得到平衡的發展。

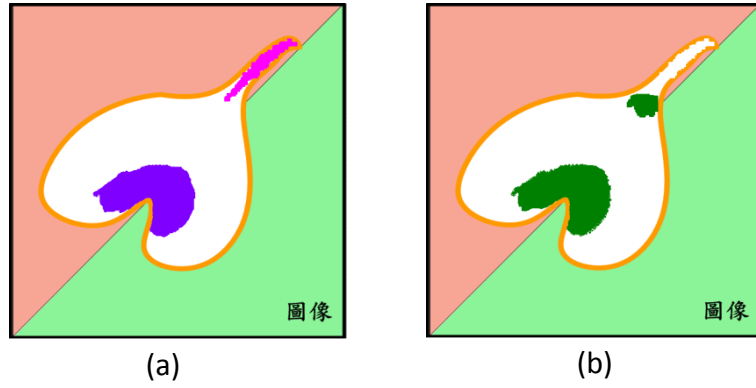


圖 2：信心值與線性結構的高低區域：(a)右上方空白部份尖端的區域周圍包含較多像素，信心值較高(粉紅色)，左下方凹入空白區域的部份周圍包含較少像素，信心值較低(紫色)。(b)綠色區域表示較可延伸影像線性結構的區域，具有較高的線性結構。

2.2 填入材質與結構資訊至修補區域

當計算完所有修補區域邊緣上的點所形成區塊的優先權後，在此由所有區塊中選擇優先權最高的先進行修補，不同於傳統inpainting的技術是以像素為單位將周圍的像素資訊擴展至修補區域內，在此以區塊為單位，區塊中用來修補的內容則從 Φ 區域中比對出一個最接近的區塊，用來取代目前在修補區域上的區塊，比對的公式如下：

$$\Psi \hat{q} = \arg \min_{\Psi q \in \Phi} d(\Psi \hat{q}, \Psi q) \quad (4)$$

$d(\Psi a, \Psi b)$ 表示 Ψa 與 Ψb 區塊間的差距，以 sum of squared differences(SSD)計算區塊內已存在像素之間顏色的差距，(SSD)的公式如下：

$$SSD = \sum \left\{ \begin{aligned} & \left(R_{\hat{p}}(p) - R_q(p) \right)^2 + \\ & \left(G_{\hat{p}}(p) - G_q(p) \right)^2 + \\ & \left(B_{\hat{p}}(p) - B_q(p) \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中， $R_{\hat{p}}$ 、 $G_{\hat{p}}$ 、 $B_{\hat{p}}$ 分別表示 patch $\phi_{\hat{p}}$ 內像素 p 的 RGB 三原色，而 R_q 、 G_q 、 B_q 則分別表示 patch ϕ_q 內像素 p 的 RGB 三原色。至於SSD 值最小的那塊 patch 即與 patch $\phi_{\hat{p}}$ 最為相似的patch (以符號 ϕ_q 表示)。我們只要找出最相似的 patch 之後，就針對

patch $\phi_{\hat{p}}$ 未填滿的像素對應於patch ϕ_q 的像素位置，一像素對一像素的修補過去就可以了。而在色彩空間我們採用CIE Lab的方式。當找到最適合用來取代的區塊 Ψ_q 後，即把 $\Psi_{\hat{p}}$ 的內容替換成 Ψ_q 區塊內的像素。經此做法之後，影像中的線性結構會優先被填補，以維持線性結構的完整，避免遭到影像中的線性結構會破壞且遺失的問題。

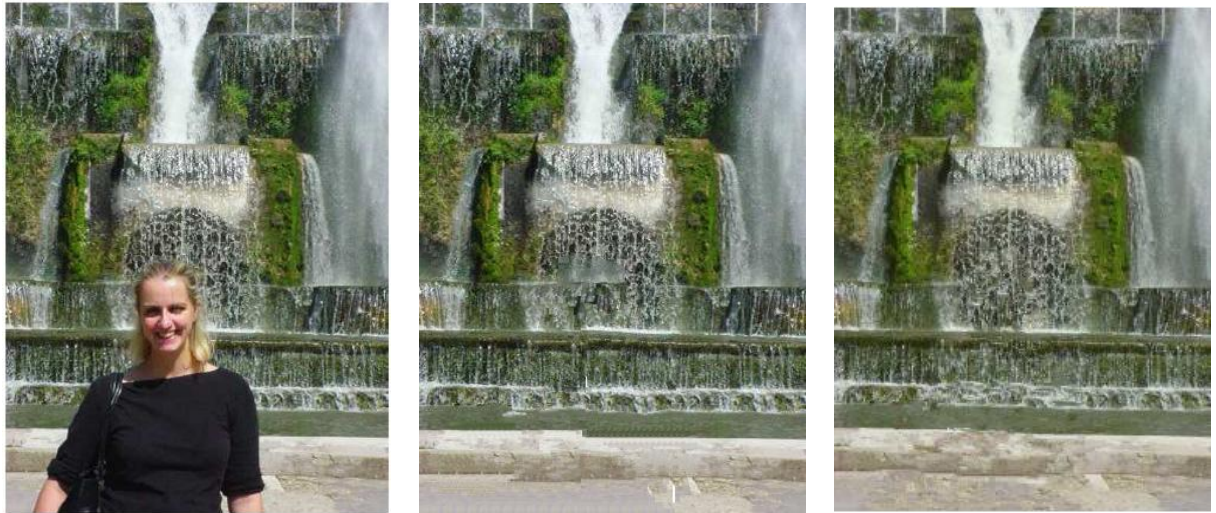
2.3 更新 Confidence Values

當 $\Psi_{\hat{p}}$ 裡的像素替換完成後，最後一個步驟即更新 $\Psi_{\hat{p}}$ 區塊內像素的信心值，對於新加入到修補區域內的像素，在此皆將它們設為與 \hat{p} 點位置的像素有相同的信心值。如公式(6)中所視， $C(p)$ 中的 p 為在 $\Psi_{\hat{p}}$ 區塊內且填入修補區域 Ω 的像素，如果目標區域 Ω 存在便重複 2.1~2.3 之步驟，直到整塊區域都被填滿為止。

$$C(p) = C(\hat{p}) \quad \forall p \in \Psi_{\hat{p}} \cap \Omega \quad (6)$$

在經過公式(1)的改善之後，在重複 2.1~2.3 之步驟時，就不會有因顏色梯度為零，而使線性結構為零，導致找不到適合的修補順序，修補的工作將被迫中斷的情況發生。

3.實驗結果

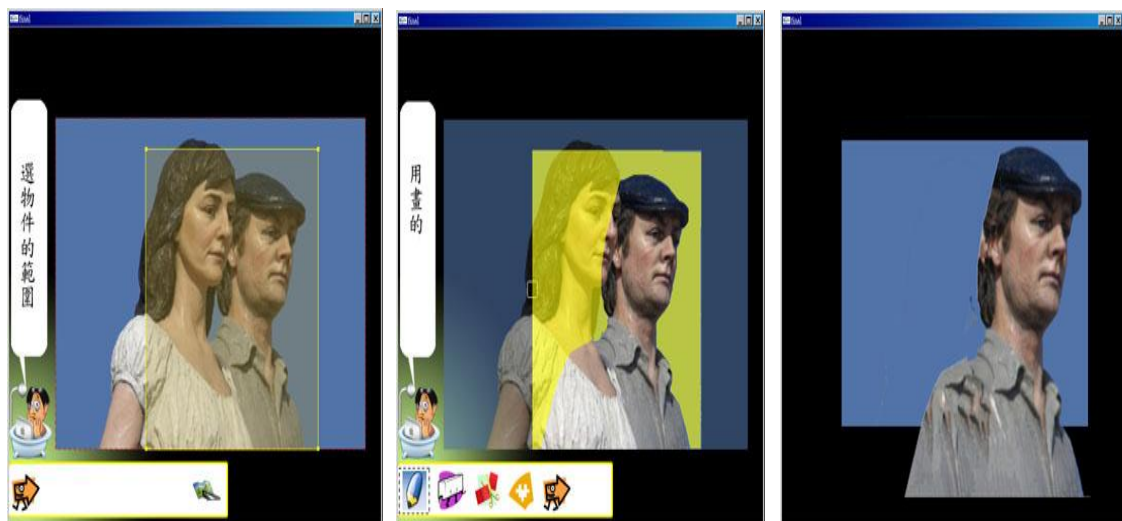


(a)：原圖

(b)：縮小比對範圍

(c)：使用原本的比對範圍

圖 3：使用縮小範圍與原本的演算法執行結果相比。圖片來源：[2]。



(a)選取物件範圍。

(b)去背保留重疊部份的區域。

(c)重疊部份修補結果。

圖 4：影像修補結果。圖片來源：[2]。



(a)：使用原本的比對範圍



(b)：縮小比對範圍

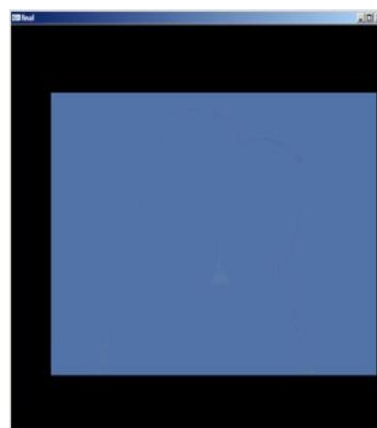
圖 5：殘留的前景物件對背景修補的影響



(a)



(b)



(c)

圖 6：顏色單一的圖片易導致修補中斷：(a)原圖。(b)以原本的優先權計算方式並縮小比對範圍，修補到一半會因顏色梯度變化為零而導致修補中斷(c)使用修改後的優先權計算方式並縮小比對範圍。

4. 結論

本論文修改了計算修補區塊優先權的比對範圍，將比對範圍縮小至 Ψ_p 區塊上下各 4 列像素，這麼做縮小了因前景物件選取不完全而導致修補錯誤的影響範圍(因考慮了前景物件的像素而使得背景修補出現不合理的情況)，同時也大幅加速了整體處理的時間。如圖(3b)與圖(3c)分別為縮小比對範圍與使用原本比對範圍的執行結果，可以發現縮小範圍後的執行結果如圖(3b)與圖(3c)的結果相差不多，但卻大幅提升了執行時的速度(執行如圖(3b)約為 10 秒，執行如圖(3c)約為 10 分鐘)。觀察圖(3)的影像結構，發現相類似的材質結構大都分布在同一列上下一定的水平的範圍內，因此縮小比對範圍至要填補區塊的上下 4 列像素並不會對最後結果有太大的影響。在進行修補時，對於背景只有單一顏色的影像，有可能因顏色梯度為零，而使線性結構為零，導致找不到適合的修補順序，修補的工作將被迫中斷。為了避免上述情況的發生，在修補顏色較為單一的影像時，本論文修改了 Criminisi et al[2]的計算式：

$$P(p)=C(p)D(p) \quad (6)$$

將之改為：

$$P(p)=C(p)+\alpha D(p) \quad (7)$$

使得即使區塊內即使像素的顏色變化梯度為零，亦可依據區塊內像素的數量產生代表修補順序的數值，計算式中的 α 為用來決定線性結構重要性的參數，本論文預設為 3，在修改完計算式之後，針對背景只有單一顏色的影像進行修補時，並不會對原本的結果有太大的影響，同時也可避免因無法決定修補順序而使修補工作中斷的問題。

雖然我們的演算法提昇了執行效率以及修補的正確率，不過在處理背景十分複雜之影像，在正確率以及速度上仍然有些許進步的空間，未來我們將針對背景十分複雜之影像做正

確率以及執行速度的提昇。

5. 參考文獻

- [1] A.Criminisi, I. Reid, and A. Zisserman. *Single view metrology. IJCV*, 40(2), pages 123-148, 2000.
- [2] A. Criminisi, P.Perez, and K.Toyama, Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(9), pages 1200-1212, 2004.
- [3] Alexei A. Efros and Thomas K. Leung, "Texture Synthesis by Non-parametric Sampling," *IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece*, September 1999.
- [4] Alexei A. Efros, William T. Freeman, "Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer, " *Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques*, (SIGGRAPH 2001).
- [5] Jiaya Jia, Chi-Keung Tang, "Image Repairing: Robust Image Synthesis by Adaptive ND Tensor Voting," *Proceedings IEEE CVPR* 2003.
- [6] Peng Tang. Application of Non-parametric Texture Synthesis to Image. Master of Science Computer Science, University of New Mexico, May 2004.
- [7] Manuel M. Oliveira, Brian Bowen, Richard McKenna, Yu-Sung Chang, "Fast Digital Image Inpainting, " *Proceedings of the International Conference on Visualization, Imaging and ImageProcessing(VIIP* 2001), Marbella, Spain, September 3-5, 2001.
- [8] Alexandru Telea, "An Image Inpainting

Technique Based on the Fast Marching Method," *Journal of Graphics Tools*,2004.

[9] M.Bertalmio,A.Bertozzi,G.Sapiro, "Navier-Stokes,Fluid-Dynamics and Image and Video Inpainting." *In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*,2001,pp. 1335-1362

[10] M.Bertalmio,G.Sapiro,V.Caselles,and C.Ballester."Image inpainting." *In Proc.ACM Conf.Comp.Graphics(SIGGRAPH)*,pp.417-424, New Orleans,LU,July 2000.

[11] Shin,T.K.,and Rong-Chi Chang."Digital inpainting-survey and mulitiplayer image inpainting algorithms." *ICITA 2005.Third International Conference on Volume 1*,Issue,4-7 July 2005 pp.15-24 vol.1

[12] Wen-Huang Cheng,Chun-Wel Hsieh,Sheng-Kai Lin,Chia-Wei Wang,and Ja-Ling Wu. "Robust Algorithm for Exemplar-based Image Inpainting." *International Confernernce on Computer Graphics Imaging and Visualization*,(CGIV),2005

[13] Iddo Drori,Daniel Cohen-Or,and Hezy Yeshurn. "Fragment-Based Image Completion,"*in Proceedings:ACM SIGGRAPH 2003*,pp. 303-312

[14] Zhang,Y.,Xiao,J.,and Shan,M."Region Completion in a single image." *Eurographics 2004/Short Presentations*.

[15] J.Sun,L.Yuan,J.Jiamand H-Y.Shum."Image completion with structure propagation." *In SIGGRAPH*,2005.

[16] N.Komodakis and G.Tziritas."Image completion on using global optimization." *In CVPR*,2006.

[17] Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani,

"Space-Time Video Completion," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04) - Volume 1*, pp. 120-127, 2004 .

[18] C.-Y. Tang, H.-L. Chou, Y.-L. Wu and Y.-H. Ding, "Fast and Robust Algorithm Using Coplanar Constraints to Estimate Fundamental Matrices, " 2006 *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (SMC2006).

[19] Rasmussen, C. Korah, T, "Spatiotemporal inpainting for recovering texture maps of partially occluded building facades," *IEEE International Conference on Image Processing*, 2005.

[20] Kedar A. Patwardhan, Guillermo Sapiro, Marcelo Bertalmio, "Video Inpainting of Occluding and Occluded Objects," *IEEE International Conferenceon Image Processing, Genova*,2005.

[21] Sung Ha Kang, Chan, T.F, Soatto, S, "Inpainting from multiple views,"*IEEE 3DData Processing Visualization and Transmission*, 2002.