

레터논문 (Letter Paper)

방송공학회논문지 제24권 제1호, 2019년 1월 (JBE Vol. 24, No. 1, January 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.1.186>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

예제기반 영상 인페인팅을 위한 텍스처 가비지 제거 알고리즘

공 영 일^{a)}, 이 시 웅^{a)‡}

Texture Garbage Elimination Algorithm for Exemplar-based Image Inpainting

Young Il Kong^{a)} and Si-Woong Lee^{a)‡}

요 약

영상 인페인팅(image inpainting)이란 입력 영상에 훼손되거나 빈 영역이 존재할 경우 이 영역을 자연스럽게 채워 영상을 복원해내는 영상처리 기법이다. 본 논문에서는 기존의 예제 기반(exemplar-based) 영상 인페인팅의 단점 중 하나인 텍스처 가비지(texture garbage)의 생성을 억제할 수 있는 새로운 영상 인페인팅 기법을 제시한다. 기존 기법과 달리 영상의 텍스처는 통계적으로 정적(stationary)이라는 가정 하에 정적인 소스 패치만을 후보 패치로 샘플링 한다. 이를 통해 주변 신호와 일치하지 않는 신호인 텍스처 가비지가 타겟 영역에 복사되는 것을 방지할 수 있다. 실험을 통해 제안 기법을 이용한 텍스처 합성이 기존 기법에 비해 더욱 자연스러운 영상 인페인팅 결과를 생성함을 확인한다.

Abstract

Image inpainting is an image processing technique that restores an image by naturally filling the empty or damaged regions in an image. In this paper, we present a new image inpainting technique that can suppress the generation of texture garbage which is one of the artifacts of existing exemplar-based image inpainting. Unlike the existing technique, only the stationary source patch is sampled as the exemplar patch based on the assumption of spatial stationarity of the texture. This prevents the texture garbage, which is an inconsistent piece of texture from being copied to the target region. Experimental results show that the texture synthesis using the proposed method produces more natural inpainting results than the existing method.

Keyword : image inpainting, texture synthesis, texture garbage

a) 한밭대학교 멀티미디어공학과(Dept. of Multimedia Engineering, Hanbat National University)

‡ Corresponding Author : 이시웅(Si-Woong Lee)

E-mail: swlee69@hanbat.ac.kr

Tel: +82-42-821-1146

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0289-0089>

· Manuscript received December 26, 2018, ; Revised January 8, 2019; Accepted January 8, 2019.

I. 서론

영상 인페인팅은 입력 영상의 훼손되거나 비어 있는 영역을 시각적으로 자연스럽게 채워 복원하는 과정을 의미한다. Ω 를 입력 영상 I 의 정의역이라 할 때 Ω 는 영상에서 채워진 영역인 S 와 비어 있는 영역인 U 로 구성된다. 즉, $\Omega = S \cup U$ 이다. 영상 인페인팅의 목적은 U 영역의 각 화소 p 의 색상을 S 영역의 밝기 신호를 이용하여 추정함으로써 영상을 복원하는 것이다. 이때 복원된 영역은 최대한 시각적으로 자연스럽게 보여야 한다.

기존의 영상 인페인팅 기법들은 크게 두 종류로 분류된다. 확산 기반의 인페인팅 기법은 주변 화소 값으로부터 복원될 영역으로 선형 구조를 확산시켜가며 빈 영역을 채운다^[1,2]. 이 기법은 복원될 영역이 큰 경우에는 질감 정보를 살릴 수 없고 블러링 현상이 발생하는 단점을 갖는다. 반면에 예제 기반 인페인팅은 텍스처 합성을 이용하는 기법으로 주변 영역의 텍스처를 샘플링하고 이를 이용하여 빈 영역을 채워나가는 방식이다^[3,4]. 이 기법은 영상의 질감은 잘 보존하나 영상 내의 선형적 구조를 잘 살리지 못하는 단점을 갖는다. Criminisi 등은 이 단점을 극복할 수 있는 예제 기반 인페인팅 기법을 제안하였다^[5]. 이 기법에서는 선형 구조의 효율적인 전파를 위해 인페인팅 패치의 우선순위 함수를 설계하여 이 우선순위에 따라 인페인팅을 진행함으로써 영상의 선형적 구조를 잘 살릴 수 있는 특성을 나타낸다.

기존의 예제기반 인페인팅 알고리즘이 갖는 단점으로는 끊겨진 에지와 텍스처 가비지 등이 대표적이다^[6]. 이중 텍스처 가비지는 인페인팅 된 영역에서 주변 텍스처와 상관성이 없는 상이한 특성의 텍스처가 나타나는 현상을 의미한다. 텍스처 가비지는 타겟 영역의 자연스러운 복원을 방해함으로써 복원 영상의 시각적 품질을 떨어뜨리는 원인이 된다. 본 논문에서는 이러한 텍스처 가비지의 생성을 억제할 수 있는 새로운 예제기반 인페인팅 알고리즘을 제시한다.

II. 본론

1. 예제 기반 텍스처 합성 기법

Criminisi 등이 제안한 예제 기반 영상 인페인팅은 S 영역과 U 영역의 경계에 있는 일정 크기의 패치들에 대해 우선순위를 계산한 다음, 우선순위가 높은 패치부터 빈 영역을 채워가는 방식이다^[5]. 화소 p 위치의 패치 Ψ_p 는 S 에 속하는 영역과 U 에 속하는 영역으로 구성된다. 즉, $\Psi_p = \Psi_p^U \cup \Psi_p^S$. Ψ_p 에 대한 우선순위는 일반적으로 Ψ_p 의 신뢰도 항과 데이터 항의 곱으로 결정된다. 즉,

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

$C(p)$ 는 패치 면적 대비 Ψ_p^S 영역에 속하는 화소들의 비율인 신뢰도 항이며, $D(p)$ 는 패치 내에 임의의 구조가 존재하는지를 반영하는 데이터 항으로 Criminisi의 기법에서는 기울기 기반의 데이터 항을 제안하였다. 즉, 식 (1)은 복원될 패치에 신뢰할 수 있는 영역이 얼마나 포함되어 있는지와 복원될 패치의 중심 화소에서 영상의 기울기가 얼마나 강한지를 판단하여 우선순위가 결정됨을 의미한다.

경계 화소들의 우선순위가 결정되면 우선순위가 가장 높은 패치의 빈 영역인 Ψ_p^U 을 채우기 위해 아래 식에 따라 현재 패치에 가장 유사한 패치 Ψ_q 를 영역 S 에서 탐색한다.

$$\Psi_q = \arg \min_{\Psi_q \in S} d(\Psi_p, \Psi_q) \quad (2)$$

여기서 $d(\Psi_p, \Psi_q)$ 는 두 패치 사이의 거리함수로 기존 기법에서는 알고 있는 영역에 속하는 대응 화소들 간의 SSD(sum of squared difference)로 계산한다. 즉,

$$d(\Psi_p, \Psi_q) = SSD(\Psi_p^S, \Psi_q^S) \quad (3)$$

여기서 Ψ_q^S 는 후보 패치 $\Psi_q = \Psi_q^U \cup \Psi_q^S$ 에서 Ψ_p^S 에 대응되는 화소들로 구성되는 영역을 나타낸다.

가장 유사한 후보패치가 탐색되면 현재 패치의 빈 영역 Ψ_p^U 는 Ψ_q 의 대응 영역인 Ψ_q^U 의 신호를 복사하여 채운다. 이상의 과정이 모든 U 영역이 인페인팅 될 때까지 반복 수행된다.

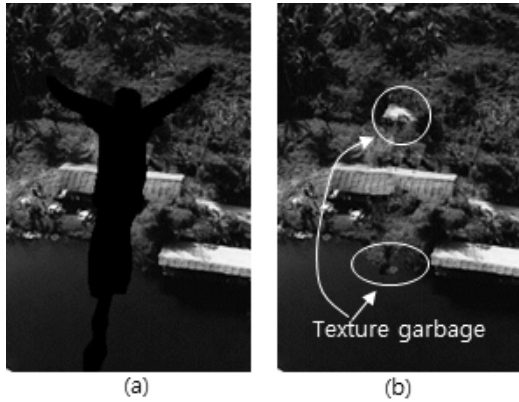


그림 1. 텍스처 가비지의 예: (a) 채우기 이전 영상 (b) 텍스처 가비지
 Fig. 1. Example of texture grabages: (a) image before filling (b) texture grabages

2. 정적 성질을 이용한 텍스처 합성

기존의 예제기반 인페인팅은 유사패치 탐색과정에서 두 패치의 알고 있는 영역인 Ψ_p^S 와 Ψ_q^S 간의 SSD를 거리함수로 이용한다. 따라서 만약 예제 패치로 결정된 패치 Ψ_q^U 의 Ψ_q^U 영역이 잡음처럼 Ψ_q^S 영역과 상관성이 없는 공간적으로 비정적(non-stationary)인 신호를 포함하고 있다면 이 신호가 Ψ_p^U 영역에 복사되어 그림 1의 예와 같이 텍스처 가비지로 나타나게 된다. 제안 기법에서는 이러한 텍스처 가비지의 생성을 억제하기 위해 패치의 공간적 정적 성질에 기반한 예제 패치 탐색 기법을 제안한다.

후보패치 $\Psi_q = \Psi_q^U \cup \Psi_q^S$ 가 공간적으로 정적이라면 두 영역 Ψ_q^U 와 Ψ_q^S 의 통계적 특성은 유사하게 나타난다. 반면에 Ψ_q^U 영역에 Ψ_q^S 영역과 균일하지 않은 잡음이 포함되어 있다면 두 영역의 통계적 특성은 일치하지 않게 된다. 이 성질을 바탕으로 제안 기법에서는 패치의 공간적 정적 특성을 통계적으로 분석하여 정적 특성을 만족하는 패치만을 후보패치로 고려한다. 이를 통해 주위 영역과 일치하지 않는 신호가 빈 영역에 복사되어 전파되는 텍스처 가비지가 발생하는 것을 억제할 수 있다. 후보 패치의 정적 특성을 판단하기 위한 판정식은 다음처럼 설계하였다.

$$|E(\Psi_q^S) - E(\Psi_q^U)| \leq \beta \cdot STD(\Psi_q^S) \quad (4)$$

여기서 $E(\Psi_q^S)$ 와 $STD(\Psi_q^S)$ 는 각각 Ψ_q^S 영역의 밝기값의 평균과 표준편차이다. 즉, Ψ_q^U 영역과 Ψ_q^S 영역의 평균 밝기값의 차이가 임계치 이하인 패치를 정적인 패치로 판정한다.

정적 특성을 만족하는 패치들이 가려지게 되면 두 번째 단계에서는 이 패치들 중에서 예제 패치를 검색한다. 두 번째 단계는 기존 기법과 동일하게 SSD 거리 함수를 이용하여 예제 패치를 선택하였다. 표 1은 후보 패치의 정적 조건을 도입한 수정된 예제 기반 인페인팅 알고리즘을 나타낸다.

표 1. 제안 인페인팅 알고리즘

Table 1. Proposed inpainting algorithm

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Extract the manually selected initial front δU^0 • Repeat until done: <ol style="list-style-type: none"> ① Identify the fill front δU^t. If $U^t = \emptyset$, exit. ② Compute priorities $P(p_x) \forall p_x \in \delta U^t$. ③ Find the patch Ψ_p with the maximum priority. ④ Find the exemplar $\Psi_q \in S$ that satisfies $E(\Psi_q^S) - E(\Psi_q^U) \leq \beta \cdot STD(\Psi_q^S)$ and minimizes $d(\Psi_p, \Psi_q)$ ⑤ Copy image data from Ψ_q^U to Ψ_p^U. ⑥ Update $C(p) \forall p \in \Psi_p^U$ |
|---|

III. 실험 결과

실험에서는 제안 방식의 성능 분석을 위해 예제 기반 인페인팅의 대표적인 방법인 Criminisi 등이 제안한 방법^[5]을 기존 방법으로 하여 성능을 비교하였다. 실험에서 패치의 크기는 9×9로 설정하였으며 식 (4)의 β 값으로는 1.0을 사용하였다. 그림 2 ~ 그림 3은 제안 방식과 기존 방식의 인페인팅 결과를 보인다.

그림 2는 번지 점프 영상에서 사람을 제거한 뒤 인페인팅한 영상을 보여준다. 기존 방식의 복원 영상에서는 건물 위 수풀 사이에 건물의 일부가 포함되어 복원된 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 호수의 가장자리에 나무의 질감이 호수 안쪽으로 번져 복원되었음을 확인할 수 있다. 하지만 제안 방식의 결과 영상에서는 이러한 텍스처 가비지 현상이 발생하지 않아 보다 자연스러운 복원 영상이 얻어짐을 알 수 있다.

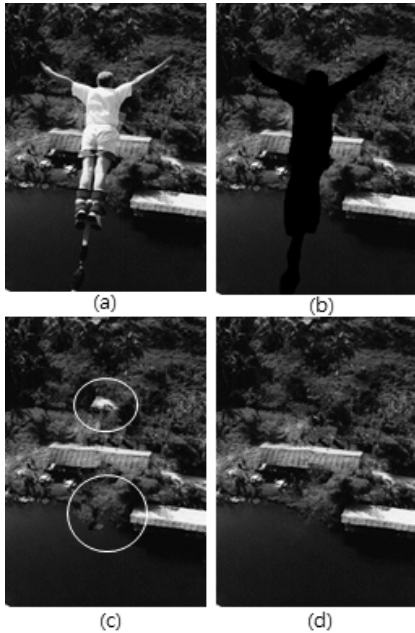


그림 2. 번지점프 영상의 실험 결과: (a) 원본 영상 (b) 객체 제거 영상 (c) 기존 방식 (d) 제안 방식
 Fig. 2. Experimental results for bungee jump image: (a) original image (b) object removed image (c) conventional method (d) proposed method

그림 3은 표지판의 기둥을 포함한 일부 영역을 제거한 뒤 인페인팅 한 결과 영상을 보여준다. 두 방식 모두 식 (1)의 데이터 항에 의해 기둥의 에지가 타겟 영역으로 우선적으로 확장됨으로써 기둥이 끊김 없이 잘 복원됨을 확인할 수 있다. 그러나 기존 방식의 복원 영상은 복원된 기둥의 오른쪽 영역에 배경의 수풀과는 다른 질감의 신호가 복원되어 텍스처 가비지로 나타나고 있다. 반면에 제안 방식의 복원 영상에서는 이런 현상이 많이 완화된 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

텍스처 가비지는 예제 패치의 타겟 영역에 소스 영역과 균일하지 않은 신호가 존재할 경우 발생한다. 제안 기법에서는 예제 패치의 탐색 과정에서 공간적 정적 특성을 만족하는 패치만을 고려함으로써 텍스처 가비지의 발생을 억제하는 새로운 인페인팅 기법을 제시하였다. 실험을 통해 제안 기법이 기존 기법에 비해 더욱 자연스러운 인페인팅 결과 영상을 생성함을 확인하였다.

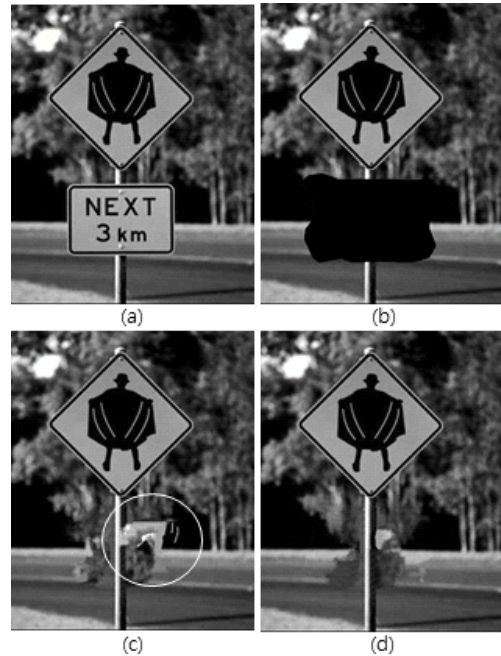


그림 3. Sign 영상의 실험 결과: (a) 원본 영상 (b) 객체 제거 영상 (c) 기존 방식 (d) 제안 방식
 Fig. 3. Experimental results for Sign image: (a) original image (b) object removed image (c) conventional method (d) proposed method

참고문헌 (References)

- [1] C. Ballester, V. Caselles, J. Verdera, M. Bertalmio, and G. Sapiro, "A Variational Model for Filling-in Gray Level and Color Images," *Proceeding of International Conference Computer Vision*, Vancouver, Canada, pp. 10-16, 2001.
- [2] T. F. Chan and J. Shen, "Non-texture Inpainting by Curvature-Driven Diffusions (CDD)," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.4, No.12, pp.436-449, 2001.
- [3] A. Efros and T. Leung, "Texture Synthesis by Non-Parametric Sampling," *Proceeding of International Conference Computer Vision*, Kerkyra, Greece, pp. 1033-1038, 1999.
- [4] L. Liang, C. Liu, Y. Q. Xu, and B. Guo, "Real-Time Texture Synthesis by Patch-Based Sampling," *ACM Transaction on Graphics*, Vol.20, No.3, pp.127-150, 2001.
- [5] A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama, "Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Image Inpainting," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.13, No.9, pp.1200-1212, 2004.
- [6] C. Guillemot and O. L. Meur, "Image Inpainting: Overview and Recent Advances," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.31, No.1, pp.127-144, 2014.