

오래된 영화의 line scratch 복원을 위한 영상특성추출기반의 인페인팅

고 기 흥[†] · 김 성 환^{††}

요 약

오래된 필름이나 영상들은 물리적 또는 화학적으로 많은 손상을 받기 때문에 손상부분에 대한 특별한 처리가 요구된다. 영상 손상은 손상의 범위에 따라, 영상 전체에 걸쳐 나타나는 전역 손상과, 영상 일부만이 손상되어 나타나는 지역손상으로 구분할 수 있으며, 오래된 영상은 지역 손상 부분의 복구만으로도 상당한 화질 향상이 가능하다. 기존의 연구는 굽힘으로 인한 line scratch 검출 알고리즘의 연구와 얼룩, 굽힘, 또는 의도적인 손상으로 인해 손상된 영역을 복원하는 복원 알고리즘이 연구되고 있다. 오래된 영상 복원 연구의 대표적인 방법은 편미분방정식을 적용한 인페인팅 기법이며, 영상의 형태를 편미분방정식으로 모델링하기 때문에, 편미분 차수의 제한에 의해 복잡한 형태의 영상 복원 화질이 좋지 못하고, 계산복잡도가 높은 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 오래된 영상에서 주로 나타나는 필름의 굽힘으로 인해 생기는 line scratch를 검출하고, 영상의 특성을 반영하는 에지검출연산자의 일종인 Sobel 연산자를 이용하는 인페인팅 기법을 제안한다. 실제 영상 복원실험을 위해 오래된 한국영화인 1945년 작 "자유만세"와 1976년 작 "로봇트 태권V" 영상을 사용하였으며, 기존의 연구결과와 비교하여 화질개선 뿐만 아니라, 개선된 복원 속도를 얻을 수 있었다.

키워드 : 인페인팅, 이미지 복원, 등광도선, 편미분방정식

Image Feature based Inpainting Scheme for Restoration of Line Scratch of Old Film

Ki-Hong Ko[†] · Seong-Whan Kim^{††}

ABSTRACT

Old films or photographs usually have damages from physical or chemical effects, and the damage and digitalization make stain, scratch, scribbling, noise, and digital drop out in frames. Damages include global damage and local damage, and it is well known that local damage restoration is a main factor for improving image quality. Previous researches have focused on impairment localization (esp. for line scratch impairments) and restoration techniques for line scratch, dirt, blob, and intentional scratch. Inpainting is a key technique using partial derivatives to restore damages in images. It does not show good quality for the complex images because it is based on finite order for partial derivatives, and it takes much time complexity. In this paper, we present a modified inpainting scheme, where we use Sobel edge operator's and angle to compute isophotes, and compare our scheme with Bertalmio's scheme. We experiment our scheme with two old Korean films, and Simulation results show that our scheme requires smaller time complexity than Bertalmio's scheme with comparable reconstructed image quality.

Key Words : Inpainting, Image Restoration, Isophotes, Partial Differential Equation, Line Scratch

1. 서 론

오래된 필름이나, 영상들은 보관 상태에 따라 물리적, 화학적 손상을 받게 되며, 손상의 종류에는 손상범위에 따라, 크게 전역손상과 지역 손상으로 나눌 수 있다. 전역 손상은

색 손상, 화면 떨림 등의 경우와 같이 영상 전체에 걸쳐 나타나는 손상의 형태이며, 지역 손상은 얼룩, 굽힘, 잡음, 디지털 손상(digital drop out) 등의 경우와 같이 영상 일부만이 손상되어 나타나는 손상의 형태이다. 특히 대부분의 오래된 영상은 영사기에 의해 발생하는 굽힘의 손상 부분이 많고, 이러한 손상 형태는 필름에 수직선 형태(line scratch)로 나타나게 된다. 대부분 오래된 영상의 경우, line scratch만 복구하여도 상당한 화질 향상이 가능하다고 알려져 있다 [1]. 현재까지의 오래된 필름이나 영상을 복원하는 작업은 대부분

※ 본 논문은 2007년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.
† 정 회 원 : 서울시립대학교 대학원 컴퓨터통계학과(이학박사)
†† 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 부교수(교신저자)
논문접수 : 2008년 4월 8일
수 정 일 : 1차 2008년 5월 22일, 2차 2008년 7월 10일
심사완료 : 2008년 7월 11일

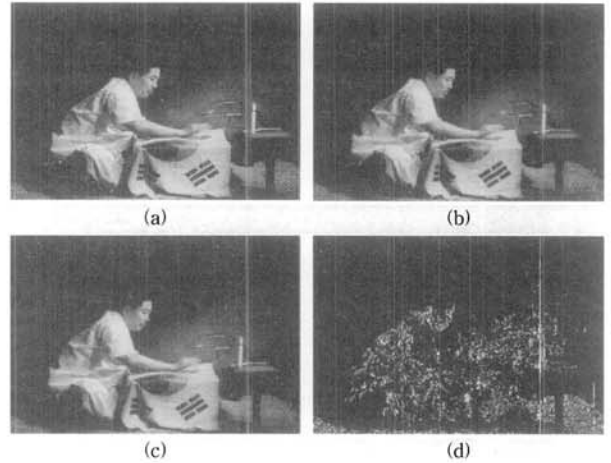
수작업에 의존하였다. 수작업을 통한 복원은 작업량이 제한적인 사진의 복원에서는 문제가 없지만, 동영상과 같은 거대한 데이터의 경우에는 많은 작업량으로 인하여, 막대한 시간과 인력이 투입이 되는 문제점을 갖고 있다[2, 3].

영사기의 마찰에 의해 필름의 긁힘으로 나타나는 line scratch를 자동으로 검출하는 방법은 Kokaram 이 제안한 방법과 Vitulano가 제안한 방법이 대표적이다[1, 4]. Kokaram 방법은 열의 밝기 성분 분포를 이용하여 line scratch를 추출하는 기법이며, Vitulano 가 제안한 방법은 열의 에너지 값을 이용하여 line scratch를 추출하는 기법이다. 오래된 영상을 복원하기 위한 인페인팅 기법은, 손상된 영역을 검출한 후 손상 부분을 복원하기 위해 화소 값을 알고 있는 주변 영상부분으로부터 추측하여 채워나가는 기법으로서 많은 연구들이 진행되었다 [5, 6, 7]. Bertalmio의 기법은 편미분 방정식을 이용, 복원할 영역의 등광도선을 구하는 방법으로서 수학적으로 잘 정의되고 있고, 손상된 영역의 복원화질이 높다는 장점이 있지만, 편미분방정식의 계산복잡도가 높아, 매우 느리다는 단점이 있다[5]. Oliveira의 기법은 3×3 필터를 반복 적용하여 복원을 수행하므로 빠르지만 등광도선을 고려하지 않기 때문에, 복원화질이 좋지 못하다[6]. Telea 의 기법은 등광도선을 구하기 위하여 방향성 가중 합을 이용하므로 속도가 빠르지만 복원화질이 좋지 못하다[7].

본 논문에서는 필름의 긁힘으로 인해 생기는 line scratch를 자동으로 검출하고, 검출된 손상부분을 복원하는 영상 특성 기반의 고속 인페인팅 기법을 제안한다. 영상 특성의 판별과 수행속도를 높이기 위하여 Sobel 연산자를 사용하고, 등광도선을 고려하기 위하여 방향성을 찾는 방법이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 line scratch 검출과 검출된 부분을 복원하는 인페인팅에 관한 관련연구를 살펴본다. 3장에서는 제안된 기법들에 대하여 살펴본다. 4장에서는 line scratch가 있는 실험영상을 대상으로 제안한 기법과 기존의 기법에 대하여 비교 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

오래된 필름이나 영상들은 크게 전역 손상과 지역 손상으로 나눌 수 있다. 전역 손상에는 색 손상, 화면 떨림 등의 경우와 같이 영상 전체에 걸쳐 나타나는 손상의 형태이며, 이러한 손상을 복원하는 방법으로는 (1) 여러 프레임에 기반으로 움직임 추정하는 기법, (2) 영상의 히스토그램을 일치시키는 히스토그램매칭 (histogram matching) 기법과 (3) 선형 최소 평균 제곱 오류 (LMMSE: linear minimum mean-square error) 의 기법이 있다 [8, 9]. 지역 손상에는 얼룩, 긁힘, 잡음, 디지털손상 등의 경우와 같이 영상 일부분이 손상되어 나타나는 손상의 형태이며, 이 중 대부분의 영상에서 많이 나타나는 손상의 종류로는 얼룩에 의한 얼룩손상(blotch) 와 line scratch이다. 얼룩손상을 검출하는 기법으로는 전후 프레임 이용, 움직임 벡터를 추정하여 얼룩손상을 검출하는 기법이 있다[9]. Line scratch은 밝거나 어두운 화소 값을 갖



(그림 1) Kokaram 이 제안한 line scratch 후보를 찾아내는 방법: (a) 원본 영상, (b) (a) 영상에 5x1 Gaussian 필터를 적용한 영상, (c) (b) 영상에 1x5 median 필터를 적용한 영상, (d) (b) 영상과 (c) 영상의 차이를 나타내는 영상

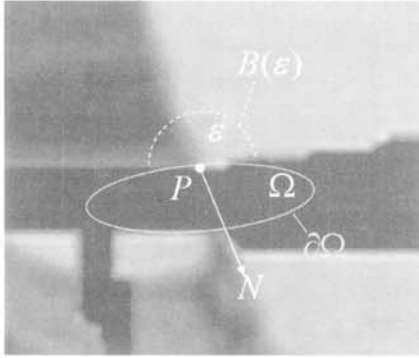
는 직선으로서, 대부분 필름을 상영할 때 영사기와 마찰에 의한 긁힘으로 나타나므로, 영상에서 대부분 수직선의 형태를 띠며, 여러 프레임에 걸쳐서 동일한 위치에 일정하게 나타나는 특성이 있다.

Kokaram은 line scratch를 찾아내기 위하여, line scratch 후보를 찾아내는 단계와 찾아낸 line scratch 후보 중에서 실제 line scratch를 판별하는 단계로 이루어진다[1]. (그림 1)은 line scratch 후보를 찾는 과정을 보이고 있다. 원본 영상(그림 1(a))에 수직방향의 1×5 Gaussian 필터를 적용하여(그림 1(b))를 구하고, (그림 1(b))에 수평방향의 5×1 median 필터를 적용하여 (그림 1(c))를 얻는다. (그림 1(d))와 같이 (그림 1(b))와 (그림 1(c))의 차이 값을 구한 뒤, Hough 변환을 사용해 수직 성분을 골라내어 후보 line scratch를 선택한다. 선택된 후보 line scratch 중에서 실제 line scratch를 찾기 위하여, 선택된 열의 밝기 성분 분포를 구해 임계 값을 만족하는지를 검사하게 되며, Kokaram은 열의 밝기 분포를 구하기 위해, 선의 특성식을 설계하여 사용한다.

Kokaram의 연구는 사용하는 임계값의 수가 많아 임계값의 변화에 따라 실험 결과가 차이가 날 수가 있으며, Hough 변환에 의한 계산 량이 너무 많다. Vitulano는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 열의 에너지 값을 이용하여 임계 값 이상의 것을 선택하는 방법으로 line scratch를 검출한다 [4]. 실제 각 열의 에너지값을 계산하기 위한 식은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 b_p 는 현재 열의 밝기 값들의 중간 값이며, a 는 주변 참조열로 지정할 범위의 오른쪽과 왼쪽 끝의 평균 값이다 [4].

$$E'_n(b_p) = \frac{1}{2} |b_p - a| \times 2m \quad (1)$$

영상에서 손상된 부분을 채우는 알고리즘을 인페인팅 기법이라고 하며, 그림 2는 인페인팅 기법의 기본모델이다. p



(그림 2) Bertalmio 가 제안한 인페인팅 기법

는 (i, j) 에 위치한 복원할 화소를 나타내며, Ω 는 복원될 전체 영역이며, $\partial\Omega$ 는 Ω 의 경계이며, ε 은 이미 화소의 값을 알고 있는 영역이며, $B(\varepsilon)$ 는 ε 의 경계이고, N 은 등광도선 (isophote)을 나타낸다. 점 p 는 ε 영역내의 존재하는 정보를 이용하여 등광도선 N 을 따르는 값으로 복원 되고, Ω 내에 있는 복원될 점들은 점 p 의 등광도선을 따르는 값으로 근사화된다 [5].

대표적인 인페인팅 기법인 Bertalmio의 인페인팅 기법은 식 (2)와 같이 정의된다. 식 (2)에서 n 은 반복횟수를 나타내며, $I^n(i, j)$ 은 n 에서의 (i, j) 번째 화소 값이다. $I_t^n(i, j)$ 는 반복 시점 n 에서 t 에 대한 편미분 값으로 복원시 ε 에서 전과 되는 화소 값이며, Δt 는 항상 계수로 $I_t^n(i, j)$ 의 비율을 결정하는 상수 값을 갖고, $\Delta t I_t^n(i, j)$ 는 반복 시점 n 에서의 증가치가 된다. $I^{n+1}(i, j)$ 는 반복 시점 n 에서의 화소 값에 증가치를 더하여 얻어진 복원된 결과 값이다. 이 과정은 $I^{n+1}(i, j)$ 값이 일정한 값으로 수렴 될 때까지 반복 된다.

$$I^{n+1}(i, j) = I^n(i, j) + \Delta t I_t^n(i, j), \quad \forall (i, j) \in \Omega \quad (2)$$

$I_t^n(i, j)$ 을 구하기 위하여, Bertalmio는 식 (3)과 같이 $I_t^n(i, j)$ 을 영상 smoothness 추정치 $L^n(i, j)$ 과 등광도선 $\vec{N}^n(i, j)$ 의 벡터 곱으로 표시하였으며, 이는 식 (4)와 같이 경사 벡터 $\nabla I^n(i, j)$ 와 등광도선 $\vec{N}^n(i, j)$ 와 수직인 법선 벡터로 표현할 수 있다. 영상 smoothness 추정치 $L^n(i, j)$ 은 Laplacian 값으로서 화소 값의 변화량 $\delta L^n(i, j)$ 을 계산하기 위하여 식 (5)와 같이 이용되며, 등광도선 역시 식 (6)과 같이 계산한다.

$$I_t^n(i, j) = I^n(i, j) + \Delta t [\delta L^n(i, j) \cdot \vec{N}^n(i, j)], \quad \forall (i, j) \in \Omega \quad (3)$$

$$I_t^n(i, j) = I^n(i, j) + \Delta t \left(\frac{\vec{N}^n(i, j)}{|\vec{N}^n(i, j)|} \right) |\nabla I^n(i, j)| \quad (4)$$

$$\delta L^n(i, j) = (L^n(i+1, j) - L^n(i-1, j), L^n(i, j+1) - L^n(i, j-1)) \quad (5)$$

$$L^n(i, j) = I_{xx}^n(i, j) + I_{yy}^n(i, j)$$

$$\frac{\vec{N}^n(i, j)}{|\vec{N}^n(i, j)|} = \frac{(-I_y^n(i, j), I_x^n(i, j))}{\sqrt{(I_x^n(i, j))^2 + (I_y^n(i, j))^2}} \quad (6)$$

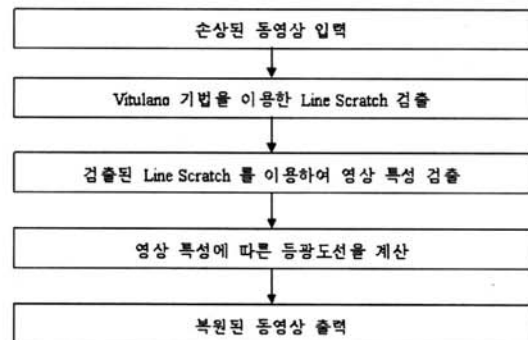
Bertalmio의 인페인팅 기법은 복원 결과는 좋게 나오지만, 화소의 변화량이 수렴 할 때까지 반복하기 때문에 매우 느리다는 단점이 있다. Telea는 고속 인페인팅 기법을 제안하였으며, p 점 주변의 $B_\varepsilon(p)$ 영역 내에 있는 이미 알고 있는 점 q 들로부터, 점 p 를 예측하고, 각각의 예측 치들을 모두 합산하여, 최종 p 점을 1계 미분방정식을 이용하여 구하게 된다 [7].

3. 영상특성 기반의 고속 인페인팅 알고리즘 설계

기존의 인페인팅 복원 기법 중에서 Bertalmio가 제안한 기법은 복원 질은 높일 수 있으나, 등광도선의 계산이 복잡하고, 속도가 매우 느려서 동영상의 복원에 적용하기가 어렵다. 또한 Telea의 방법은 수행 속도를 높이기 위하여 등광도선을 구할 때 점 p 와 점 q 의 좌표 값을 계산에 이용하며, 가중합수를 사용하여 등광도선의 오류를 최소화하려고 하였으나, 등광도선 계산에 좌표 값을 계산하는 것은 부정확한 등광도선을 얻는 원인이 되어 복원의 질이 떨어질 수 있다. 본 논문에서는 영상 특성을 검출하기 위하여 Sobel 연산자를 사용하고, 영상 특성에 따라 다른 등광도선을 적용하는 인페인팅 기법을 제안한다. (그림 3)은 본 논문에서 제안하는 인페인팅 과정의 흐름도이다.

Line scratch된 동영상을 입력으로 받아서, Vitulano가 제안한 line scratch 검출 기법을 이용하여 line scratch를 검출한다. 본 논문은 고속영상복원 알고리즘을 제안하며, Kokaram 방법에 비해 Vitulano 방법이 고속기법에 유리하므로 본 논문에서는 Vitulano 기법을 line scratch 알고리즘으로 사용하였다. 검출된 line scratch를 이용하여, 손상된 영상에 Sobel 연산자[8, 10]를 적용하여 등광도선을 구한 뒤, 이에 따라 line scratch된 부분을 복원하여 복원이 완료된 동영상을 출력하는 과정이다.

Line scratch된 부분에 Sobel 연산자를 적용시키는 과정은 (그림 4)와 같다. 전체과정은 (그림 4(a))의 line scratch된 부분에 대해 영상복원을 수행하게 되며, (그림 4(b))는 인페인팅 될 점 S 에 대한 등광도선을 계산하는 과정을 보여준다. (그림 4(b))의 ε_1 은 점 S 에 대하여 이미 알려진 픽셀들의 집합이다. 본 논문에서는 방향 성분과 균일 성분에 대



(그림 3) 제안하는 인페인팅 과정의 흐름도

하여 다른 복원 기법을 적용하였다. 방향 성분에 대하여는 등광도선이 중요시 되지만, 균일 성분에서는 등광도선이 중요시 되지 않기 때문이다. (그림 4(c))와 같이 방향 성분일 경우, 등광도선 N 을 따르는 방향으로 또 다른 알려진 영역 ε_2 를 찾아내고 ε_2 내에서 등광도선 후보를 찾아내어 d_2 로 정의한다. 균일 성분일 경우 등광도선을 고려할 필요가 없으므로, (그림 4(d))와 같이 점 S 에 가장 인접한 영역 또는 화소에 대하여 d_2, d_3, d_4 를 구한다. 선분 d_1, d_2 와 선분 d_3, d_4 는 서로 직교한다.

ε_1 내에 있는 모든 점들에 대하여 Sobel 연산자를 적용시켜, 경사 크기 g 와 방향성분 θ 를 식 (7)과 같이 구한 후, ε_1 내에 있는 모든 점들이 g 와 θ 값의 쌍을 갖도록 $q_1, q_2, \dots, q_n (q_i = \{g_i, \theta_i\})$ 로 표현한다. 제안된 기법에서 방향성분 θ 는 Bertalmio 기법의 등광도선 $\overline{N^m(i,j)}$ 와 일치한다.

$$g_x = f_{m+1,n+1} + 2f_{m,n+1} + f_{m-1,n+1} - f_{m+1,n-1} - 2f_{m,n-1} - f_{m-1,n-1}$$

$$g_y = f_{m+1,n+1} + 2f_{m+1,n} + f_{m+1,n-1} - f_{m-1,n+1} - 2f_{m-1,n} - f_{m-1,n-1} \quad (7)$$

$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(g_y/g_x)$$

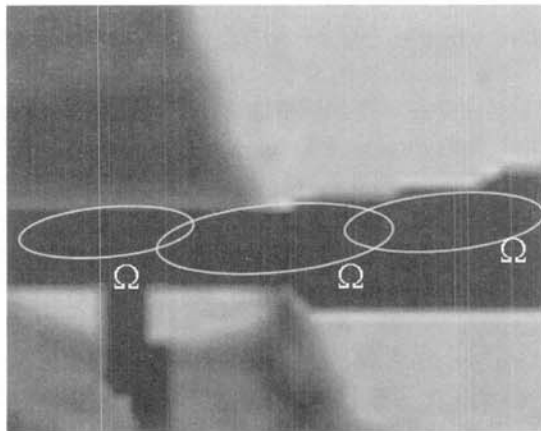
ε_1 내에서 구해진 q_i 에 대하여 등광도선을 결정짓는 주도적인 성분을 찾아야 한다. 주도적인 성분은 경사크기 g_i 의

값이 최대인 값을 선택하고, 이를 ε_1 에서 주도적인 성분 d_1 으로 정의한다. 주도적인 성분 d_1 이 인페인팅 될 점 S 에 가장 영향을 많이 미치는 성분을 나타내기 때문이다. 그리고 경사 크기 값이 최대인 g_i 의 값이 임계 값 보다 큰지를 검사하여, (그림 4(b)(c))와 같이 임계값보다 크면 점 S 는 방향 성분을 갖는 점으로 판단하고, 임계값보다 작으면 점 S 는 균일 성분을 갖는 점으로 판단한다. 실험에서 임계값은 영상의 특성에 따라 경험적으로 얻을 수 있으며, 본 논문에서는 임계값을 30을 사용하였다. 이렇게 구해진 d_1, d_2, d_3, d_4 를 이용하여, 식 (8)과 같이 복원을 한다.

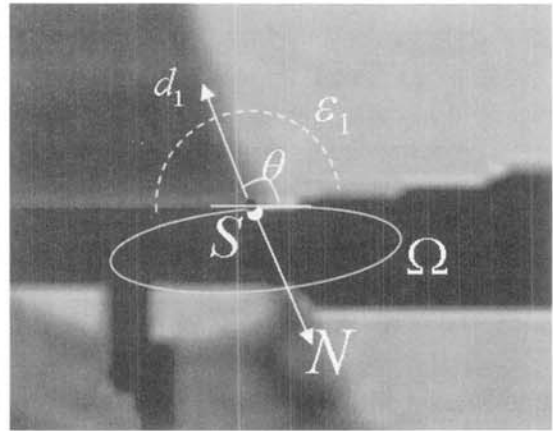
$$S = \frac{w_b d_1 + w_a d_2 + w_c d_3 + w_d d_4}{2} \quad (8)$$

$$\text{where, } w_a = \frac{a}{a+b}, w_b = \frac{b}{a+b}, w_c = \frac{c}{c+d}, w_d = \frac{d}{c+d}$$

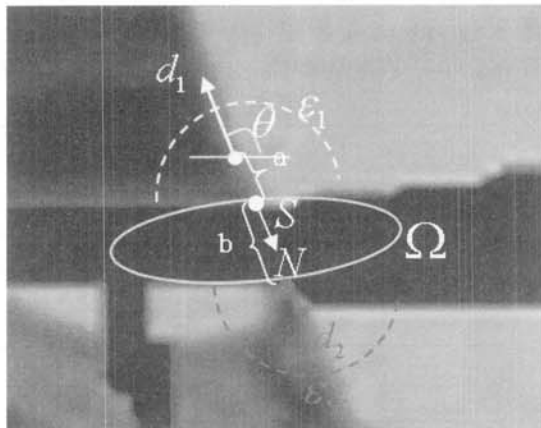
만약 방향 성분일 경우에는 $d_3 = d_4 = 0$ 으로 계산을 하면 된다. 만약 Ω 공간이 너무 커서 d_2 를 무시할 수 있다면, 마찬가지로 $d_2 = 0$ 으로 놓고 계산한다. 예를 들어 b 의 거리가 10 픽셀 보다 크다면, $d_2 = 0$ 으로 놓고 계산한다. 다음 (그림 5)는 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ 에 대하여 각각의 d_1, d_2, d_3, d_4 를 구하는 의사코드이다.



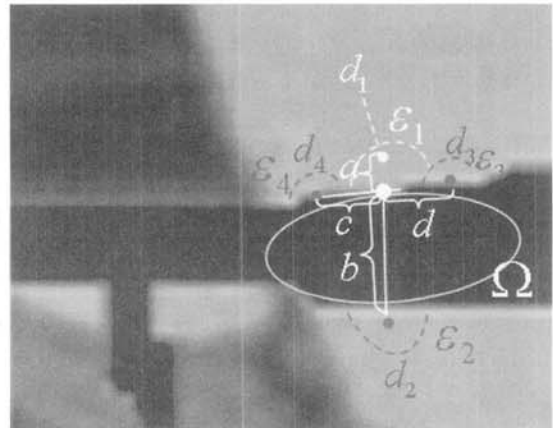
(a) 복원할 영역



(b) 점 S에 대한 등광도선 계산



(c) 방향 성분에 대한 점 S의 인페인팅 방법



(d) 균일 성분에 대한 점 S의 인페인팅 기법

(그림 4) 방향성분 및 균일성분에 대한 영상특성기반의 인페인팅 기법

```

find_Dominant_Pixels () // Find four dominant pixels
{
    for all pixels  $q_i$  in  $\epsilon_1$ 
    {
         $q_i$ 's  $g_i$  = Sobel_Operator's Component;
         $q_i$ 's  $\theta_i$  [0,1,...,7] = Sobel_Operator's Angular Component;
    }
    Set  $d_1$  to  $q_i$  with maximum  $g$  value;
     $d_1$ 's  $g = g_i$ ;  $d_1$ 's  $\theta = (\theta_i, i \text{ in } [0,1,...,7])$ ;

    if ( $d_1$ 's  $g > 30$ ) // Region  $\epsilon_1$  has Directional Component
    {
        // Find a dominant pixel in  $d_2$  with  $\epsilon_2$  region
        for all pixels  $q_i$  in  $\epsilon_2$ 
        {
             $q_i$ 's  $g_i$  = Sobel_Operator's Component;
             $q_i$ 's  $\theta_i$  [0,1,...,7] = Sobel_Operator's Angular Component;
        }
        Set  $d_2$  to  $q_i$  with maximum  $g$  value;
         $d_2$ 's  $g = g_i$ ;  $d_2$ 's  $\theta = (\theta_i, i \text{ in } [0,1,...,7])$ ;
    } else { // Region  $\epsilon_1$  has Uniform Component
        // Find a dominant pixel within  $\epsilon_2$  region
         $d_2$  = Find the nearest pixel to S within  $\epsilon_2$  region
        // Find a dominant pixel within  $\epsilon_3$  region
         $d_3$  = Find the nearest pixel to S within  $\epsilon_3$  region
        // Find a dominant pixel within  $\epsilon_4$  region
         $d_4$  = Find the nearest pixel to S within  $\epsilon_4$  region
    }
}
    
```

(그림 5) 영상특성 기반의 고속 인페인팅 알고리즘

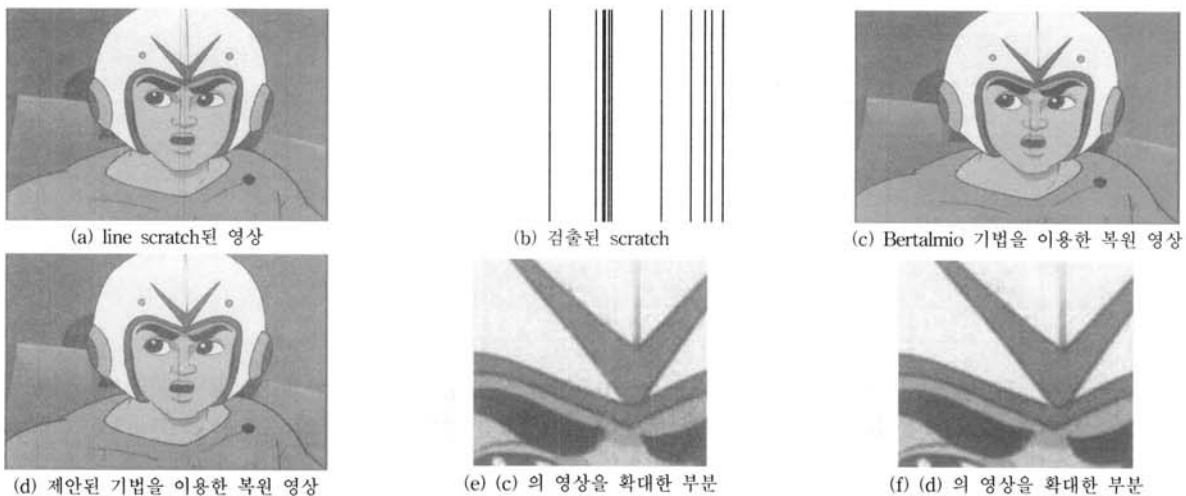
4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 사용된 실험 영상은 1976년도 작품의 한국 애니메이션 “로보트 태권V”와 1946년 작품인 “자유만세”를 사용하였다. “로보트 태권V”는 컬러 영상이며, “자유만세”는 흑백 영상으로서, 두 영상 모두 720×480의 YUV 영상으로 변환한 후 복원과정을 거쳤다. 실험 조건은 펜티엄 IV-2.8GHz의 CPU와 1GB의 메모리의 PC에서 이루어 졌다. 고속 인페

인팅 영상복원기법으로 Fast Marching[6,7] 등의 기법이 제안되고 있으나, 주요영상복원기법으로 비교하기에는 실제 영상복원성능이 안정화되지 못하여, 본 논문에서는 편미분 기반의 최적화질을 보일 수 있는 대표적인 인페인팅 알고리즘인 Bertalmio 기법과 비교하였다.

(그림 6(a))는 “로보트 태권V”의 642번째 프레임의 line scratch된 영상이며, (그림 6(b))는 Vitulano의 기법을 이용하여 검출된 line scratch 이다. (그림 6(c)(d))는 검출된 line scratch로부터 Bertalmio의 인페인팅 기법과 제안된 기법으로 복원된 결과이며, (그림 6(e)(f))는 이를 확대한 결과이다. (그림 6(e))와 (그림 6(f))에서 헬멧의 V 자 모양 부분과 눈썹 부분을 살펴보면, 제안된 방법이 복원의 질이 우수함을 알 수 있다. 애니메이션은 물체들에 대한 경계부분이 명확하고, 색감도 원색을 위주로 사용하기 때문에 색의 구분이 명확하다. 이러한 애니메이션의 특성은 Sobel 연산자를 사용하여 경계부분의 특성을 등광도선에 이용하고 있는 제안된 방법에 더욱 효율적이며, “로보트 태권V” 프레임 중에서 경계부분이 명확한 부분에 대한 복원 결과의 경우, 제안된 방법이 Bertalmio 기법보다 복원의 질이 우수하며, 등광도선이 잘 고려됨을 알 수 있다. 또한 제안된 기법은 1초의 수행시간이 소요되었지만, Bertalmio의 기법은 10분 이상이 소요되었기 때문에, 제안된 기법이 복원 속도에서도 우수함을 알 수 있다. (그림 6) 결과에서 맨 왼쪽의 line scratch가 복원되지 않았는데, 이는 line scratch 검출에서도 검출되지 않은 것이며, line scratch 형태가 아래쪽으로 울수록 왼쪽으로 휘어짐을 알 수 있다. Vitulano가 제안한 line scratch 검출 기법에서는 수직 성분만을 검출 할 수 가 있으며, 이처럼 직선이지만 수직 방향이 아닌 선분은 검출을 못하기 때문에 검출이 되지 않은 것이다.

(그림 7)은 1940년대 영화 “자유만세”의 4710 번째 프레임을 복원한 결과이다. (그림 7(a))를 보면 시각으로 확인하기에는 line scratch가 소수이지만, Vitulano 기법에서는 많은 line scratch들이 검출 되었다. 이는 Vitulano 기법의 특징으로서,



(그림 6) “로보트 태권V”의 642번째 프레임의 복원된 영상



(그림 7) "자유만세" 4710번째 프레임의 복원된 영상

<표 1> 제안된 기법과 Bertalmio 기법의 복원 결과

		복원 질		수행 속도	
		Bertalmio 기법과 제안 기법		Bertalmio	제안된 기법
로봇 태권V	449 프레임	동일		10분	1초
	587 프레임	동일			
	642 프레임	제안기법이 우수			
	842 프레임	제안기법이 우수			
	952 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
	1134 프레임	제안기법이 우수			
	1579 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
	1770 프레임	동일			
	1825 프레임	동일			
	1961 프레임	동일			
	2013 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
자유 만세	1025 프레임	동일		15분	2초
	1641 프레임	동일			
	1721 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
	2265 프레임	동일			
	2554 프레임	동일			
	3007 프레임	동일			
	3154 프레임	동일			
	3307 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
	3805 프레임	제안기법이 우수			
	4078 프레임	동일			
	4188 프레임	동일			
	4542 프레임	Bertalmio 기법이 우수			
	4710 프레임	동일			
	5915 프레임	Bertalmio 기법이 우수			

눈에는 잘 보이지 않는 부분까지 너무 많은 line scratch를 검출한다는 단점이 있다. 검출된 line scratch에 대한 복원 결과는 Bertalmio 기법과 제안된 기법 모두 유사한 결과를 보여주며, 이는 등광도선이 제대로 고려되었음을 알 수 있다. 이를 통해, 천의 접어진 부분들이 모두 제대로 복원되었음을

알 수 있다. 이러한 동일한 결과를 얻기 위한 수행 속도는 제안된 기법이 2초의 수행 속도를 보인 반면, Bertalmio 기법이 15분이 소요되어, 제안된 기법이 수행 속도에서는 우수함을 알 수 있다.

실험 결과를 정리하면 <표 1>과 같다. 복원화질을 비교

하기 위해, 주관적 화질평가를 수행하였으며, 영상자료원의 영상복원전문가 3인에게 의뢰하여, (Bertalmio 우수, 동일, 제안기법 우수) 중에서 선택하도록 하여, 다수의견에 따라 최종복원화질평가를 <표 1>과 같이 측정하였다. 복원 질에서는 두 기법이 비슷하거나, 제안된 기법이 대부분 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나 수행 속도에서는 제안된 기법이 월등히 우수함을 알 수 있다. 120분짜리 영화의 경우 1초에 24프레임씩 계산을 하더라도 수십만 프레임이 나오게 되며, 이를 자동복원 함에 매우 많은 시간이 소요됨을 알 수 있으며, 필름 영상과 같이 매우 용량이 큰 데이터를 처리함에 수행 속도는 매우 중요한 요소가 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 Bertalmio 인페인팅과 유사한 복원화질을 보이는, 영상특성 기반의 고속 인페인팅 기법을 제안하였다. Bertalmio 의 인페인팅 기법은 등광도선 계산의 수학적 충실성과 복원 결과는 좋으나, 수행속도가 느리다는 단점이 있다. 제안된 기법은 등광도선을 고려하기 위하여, 중요한 영상특성인 에지를 추출하는 Sobel 연산자의 방향성분을 사용하여, Bertalmio 인페인팅 기법의 복잡한 등광도선 계산을 대체할 수 있음을 보였다. 복원영상으로는 로보트 태권 V와 1940년대 자유만세 영상을 사용하였으며, 복원 화질에서는 자유만세와 같은 일반영상에서는 Bertalmio 기법이 약간 우수한 결과를 보였으며, 만화영상에서는 제안된 기법이 대부분 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 이와 같은 거의 동일한 수준의 복원화질을 보이는 제안기법은 수행 속도 측면에서는 제안된 기법이 300배 이상의 성능향상을 보이고 있다. 실제 영화영상의 복원은 영화복원전문가의 수작업을 통해 복원되며, 수작업 이전에 일정한 화질복원이 자동으로 이루어지는 전처리단계로서 사용하기 위해서는 고속복원이 필수적임을 감안하면 본 제안기법은 오래된 영화복원에서 유용하게 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A.C. Kokaram, "Detection and Removal of Line Scratches in Degraded Motion Picture Sequences," *Signal Processing* VIII, Vol.1, pp.5-8, Sept., 1996.
- [2] L. Joyeux, O. Buisson, B. Besserer, and S. Boukir, "Detection and removal of line scratches in motion picture film," *IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol.1, pp.548-553, 1999.
- [3] L. Joyeux, S. Boukir, and B. Besserer, "Film line scratch removal using Kalman filtering and Bayesian restoration," *IEEE Workshop on the Applications of Computer Vision*, pp.8-13, 2000.
- [4] D. Vitulano, V. Bruni, and P. Ciarlini, "Line Scratch Detection on Digital Images: an Energy Based Model," *IAC-CNR*,

Rome, Italy, 15/2001.

- [5] M. Bertalmio, G.Sapiro, V. Caselles, and C. Ballester., "Image Inpainting", In *Proceedings SIGGRAPH 2000, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, edited by Kurt Akeley, pp.417-424, Reading, MA: Addison-Wesley, 2000.
- [6] M. Oliveira, B. Bowen, R. McKenna, and Y.-S. Chang., "Fast Digital Image Inpainting," In *Proc. VIIP 2001*, pp. 261-266, 2001.
- [7] A. Telea, "An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method," *Journal of Graphics Tools*, Vol.9, No.1, pp.25-36, 2004.
- [8] S.-J. Ko, S.-H. Lee, S.-W. Jeon, and E.-S. Kang., "Fast Digital Image Stabilizer based on Gray-coded Bit-plane Matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol.45, No.3, pp.598-603, Aug., 1999.
- [9] T. Vlachos., "Flicker Correction for Archived Film Sequences Using a Nonlinear Model," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.14, No.4, pp.508-516, Apr., 2004.
- [10] R. Duda and P. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis," John Wiley and Sons, 1973.

고 기 흥



e-mail : jedigo@venus.uos.ac.kr

2001년 서울시립대학교 전산통계학과
(학사)

2003년 서울시립대학교 대학원 전산통계학과
(이학석사)

2007년 서울시립대학교 대학원 컴퓨터통계학과
(이학박사)

관심분야: 동영상 코덱, 영상처리, 오류은닉, 영상복원



김 성 환

e-mail : swkim7@uos.ac.kr

1999년 한국과학기술원 전자전산학과(박사)

1996년~2000년 LG전자 이동통신연구소

IMT-2000 SW1실 팀장

2000년~2001년 Cisco Systems MWBU

책임연구원

2002년~현 재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 부교수

관심분야 : 오류은닉, 영상복원, 게임공학