

# 공간적인 정보 기반의 디지털 필름 스크래치 복원

김경태<sup>o</sup>, 고은정, 김은이

건국대학교 인터넷미디어공학부 (시각정보처리연구실)

{kkt1341,rritty33, eykim}@konkuk.ac.kr

## Digital film line scratch restoration based on Spatial Information

Kyung-tai Kim<sup>o</sup>, Eun chung Ko, Eun yi Kim

Dept. of Internet and Multimedia Eng., Konkuk Univ. Visual information processing Lab.

### 요 약

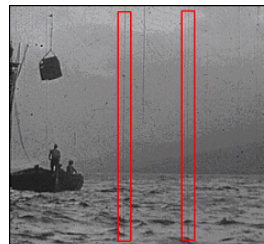
최근 다양한 형태의 멀티미디어의 확산과 영상에 대한 관심이 높아짐에 따라 필름 복원은 많은 사람들로 부터 관심을 받고 있는 연구 분야다. 본 논문에서는 스크래치 텍스처 및 형태 특성을 이용하여 모든 종류의 스크래치를 자동으로 검출하고 복원 할 수 있는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 손상된 필름에서 자주 발생하는 스크래치의 공간적인 정보를 이용하여 텍스처 분류기와 형태 필터링을 통해 스크래치를 검출 하고, 양선형 보간법을 사용하여 손상된 필름 영역을 주변 픽셀 값을 이용하여 스크래치를 제거 함으로써 영상을 복원한다. 본 논문에서 제안된 방법은 Kokaram의 논문에 제안된 방법보다 다양한 종류의 스크래치를 정확하게 인식하며, 적은 계산 비용임에도 불구하고 양선형 보간법은 스크래치 영역을 제거한다.

### 1. 서 론

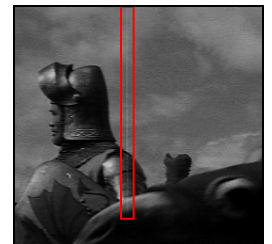
최근 다양한 형태의 멀티미디어의 확산과 영상에 대한 관심이 높아짐에 따라 필름 복원은 많은 사람들로 부터 관심을 받고 있는 연구 분야다. 영상의 질을 높이기 위해서는 필름에 나타나는 다양한 손상들이 제거 되어야 한다. 따라서 자동검출과 자동복원 기술이 개발 되어야 한다. [1,2,7]

필름에서 복원 되어야 할 주요 손상요인들은 dust 와 스크래치, flick등이 있는데 이러한 요인 중 가장 빈번하게 나타나는 것이 바로 스크래치이다. 스크래치는 필름을 영상화 하거나 복사하는 과정에서 필름이 벗겨짐으로써 발생하는 손상요인이다. 오래된 영화에는 다양한 스크래치들이 포함되어 있는데 이들은 길이, 움직임 및 주변과의 관계에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

이러한 스크래치들은 주변에 비해 밝거나 어두운 명암을 가진 직선으로 육안으로 쉽게 구별 될 수 있다. 그림 1은 스크래치의 예를 보여준다. 그림 1(a)에서는 principal이면서 static한 동시에 not-alone의 특징을 가진 positive 스크래치의 예를 보여준다. 그림 1(b)는 principal 및 static한 동시에 negative 스크래치를 보여준다.



(a)



(b)

표 1. 스크래치의 종류

스크래치의 종류	설명
<i>Static scratch</i>	연속한 프레임에서 같은 위치에 나타난다.
<i>Moving scratch</i>	프레임에 따라 위치가 바뀐다.
<i>Principal scratch</i>	프레임의 높이의 95% 이상을 차지한다.
<i>Secondary scratch</i>	Principal scratches 제외한 그 외 것들
<i>Alone scratch</i>	항상 단독으로 나타난다.
<i>Not-alone scratch</i>	인접한 영역의 다른 스크래치들과 함께 나타난다.
<i>Positive scratch</i>	스크래치 화소가 주변보다 밝게 나타난다.
<i>Negative scratch</i>	스크래치 화소가 주변보다 어둡게 나타난다.

그림 1. 스크래치의 예: (a) static/principal/not-alone/positive 스크래치, (b) static/principal/alone/negative 스크래치

현재까지는 스크래치 복원에 대해 많은 연구가 개발되어 왔지만 개발된 대부분의 방법들은 단순한 배경과 static/alone/principal 스크래치에만 제한되어 사용될 수 있으며, 표1에 기술된 모든 종류의 스크래치를 다루는 데에는 제약이 있다. 또한 시간정보를 이용하므로 많은 계산량을 필요로 한다. 영상 내 스크래치의 복원을 지원하기 위해서는 오래된 필름에서 생기는 모든 스크래치를 복잡한 배경에서도 빠르게 검출하고 복원할 수 있는 기술의 개발 되어야 한다. [3,9]

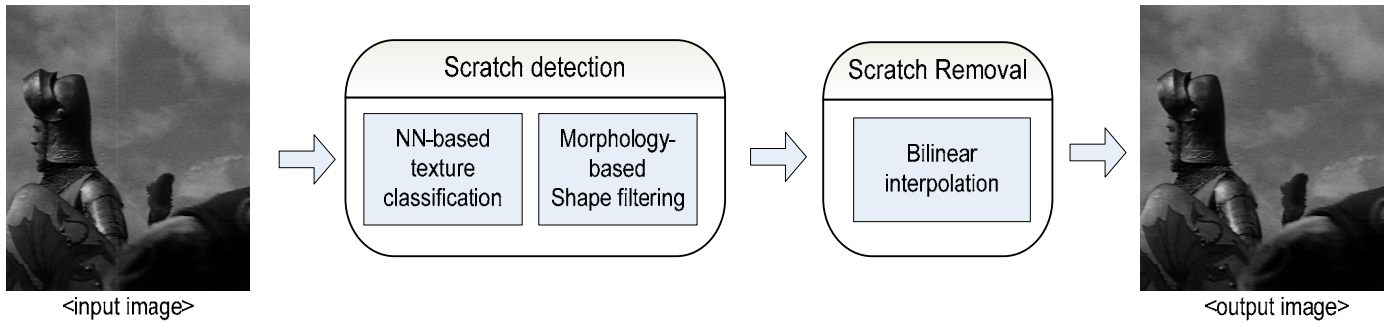


그림 2. 제안된 방법의 구조

본 논문에서는 기존의 방법의 한계점을 극복 하기 위해 스크래치의 공간적인 정보를 이용한 스크래치 복원 방법을 제안한다. 제안된 시스템은 스크래치 검출 단계 와 제거 단계로 구성된다. 스크래치 검출단계에서는 신경망 기반의 텍스처분류기를 사용하여 스크래치와 비스크래치 영역을 분류하며, 스크래치의 형태 정보를 이용하여 설계된 원소구조를 모폴로지 기반의 형태필터를 사용하여 잘못 분류된 비스크래치 영역을 제거한다. 스크래치 제거 단계에서는 공간 복원 알고리즘인 양선형 보간법을 이용하여 검출된 스크래치 영역을 제거한다. 양선형 보간법은 검출된 스크래치 영역의 주변 픽셀 값을 이용하여 스크래치 영역을 제거 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 제안된 시스템의 개요를 설명하고, 3장에서는 스크래치 특징을 이용한 스크래치 검출 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 양선형 보간법을 이용한 스크래치 제거 방법에 대해서 설명한다. 5장에서는 제안한 방법에 대한 실험과 결과에 대해 보여주고, 마지막 6장에서는 결론에 대해서 설명한다.

## 2. 제안된 시스템의 개요

제안된 시스템은 스크래치의 특성을 이용하여 설계되었다. 그림 2는 제안된 방법을 보여주고 있다. 그림 2에 보이듯이 복원 방법은 스크래치 검출과 제거 단계로 구성 되어 있다.

첫 번째 스크래치 검출 단계에서는 텍스처적인 특징을 이용한 텍스처 분류와 형태적인 특징을 이용한 형태 필터링 두 단계로 구성된다. 텍스처 분류 단계에서는 입력 영상의 각 픽셀을 신경망 기반의 텍스처 분류기를 이용하여 스크래치와 비스크래치의 영역으로 분류한다. 텍스처 분류 후, 형태 필터링 단계에서는 스크래치의 형태 정보에 기반하여 정의된 원소구조를 이용한 형태 필터링을 통하여 오 검출된 비스크래치 영역을 제거한다.

두 번째 단계는 스크래치 제거 단계이다. 제거 단계에서는 스크래치 부분의 주변 픽셀 정보를 이용하여 양선형 보간법을 통해 스크래치를 제거한다.

## 3. 스크래치 검출

본 논문에서는 모든 종류의 스크래치를 자동으로 검출하기 위해 검출 단계에서는 스크래치 특성을 이용한 텍스처 분류기와 모폴로지 필터링을 사용한다. 이 때, 일반적인 스크래치 특징은 다음과 같다.

- (1) 스크래치는 주변의 화소보다 밝거나 어두운 명암을 가진다.
- (2) 스크래치는 수직의 직선이다.
- (3) 스크래치는 시간적 연속성 때문에, 연속된 프레임에서 나타난다.

위의 특징들 중 특징(1)은 스크래치의 텍스처적인 특징을 나타내며, 특징(2)는 형태적인 정보를 나타내고, 특징(3)은 시간적 정보를 나타낸다.

제안된 방법에서는 입력 영상을 텍스처 분류기를 이용하여 스크래치 영역과 비스크래치 영역으로 분류하고, 이로부터 얻은 이진영상에 형태 필터링을 통해서 오검출된 비스크래치영역을 제거함으로써 최종적으로 스크래치 영역만을 검출한다.

### 3.1 텍스처 분류

제안된 방법에서 입력 영상을 스크래치 영역과 비스크래치 영역으로 구분하기 위한 텍스처 분류기로 신경망을 사용한다.

본 논문에서는 스크래치와 비스크래치로 분류하기 위해 텍스처 분류기를 사용하는데, 이 분류기를 전체 영상에 적용하는 것은 많은 시간을 필요로 한다. 이러한 계산 시간의 낭비를 줄이기 위해, 에지 부분의 화소에 대해서만 텍스처 분류기를 적용한다. 이는 스크래치 화소가 주변의 화소보다 밝거나 어두운 특성을 가지고 있다는 사실에 근거한 것이다.

신경망은 스크래치의 텍스처 특성을 분석함으로써 스크래치와 비스크래치의 클래스로 영상의 화소를 분류하게 된다. 신경망은 전처리 과정에서 에지 화소로 판별된 화소를 찾을 때까지 입력 영상을 스캔한다. 에지로 분류된 화소를 만나면, 그 화소를 센터로 한  $M \times N$  윈도우 상에 있는 인접한 화소들을 신경망의

입력으로 받는다. 다음 그림 3은 신경망을 기반으로 한 스크래치 분류기를 보여준다.

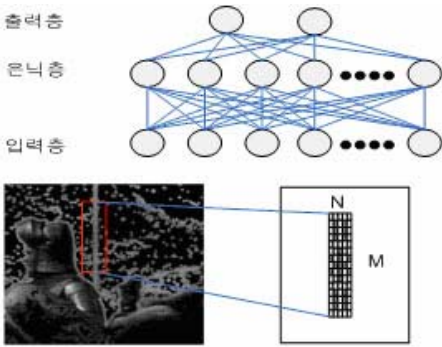


그림 3. 신경망을 이용한 스크래치 분류기

본 논문에서 신경망은 입력 층은 L0개의 노드, 은닉 층은 L1개의 노드 그리고 출력 층은 2개의 노드로 구성된다.

출력노드는 0과 1사이의 값을 가지는 2개의 실수의 벡터로 표현된다. 첫 번째 노드 값이 두 번째의 노드 값보다 크면 윈도우의 가운데 화소는 스크래치 클래스로 분류되고, 그렇지 않으면 비스크래치 클래스로 분류된다. 분류 결과는 스크래치 영역은 흰 색으로, 비스크래치는 검은색으로 분류된 이진영상이다.

그림 4(b)는 신경망 기반의 텍스처 분류기의 입력 데이터로써 계산량을 줄이기 위해 에지 부분만을 표시한 것이다. 그림 4(c)는 신경망 기반의 텍스처 분류의 검출 결과를 나타낸다.

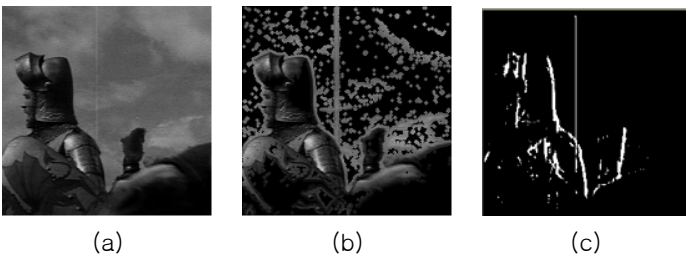


그림 4. 텍스처 분류 결과의 예: (a) 원래 영상, (b) 텍스처 분류 입력 데이터, (c) 텍스처 분류 결과

### 3.2 형태 필터링

신경망 기반의 텍스처 분류 과정으로 거쳐 얻어진 이진영상은 각 이미지 화소의 분류를 지역적인 윈도우 기반으로 수행하기 때문에 비스크래치 영역에 대한 필터링 작업이 필요하다. 이 때, 필터링은 스크래치의 형태정보를 기반으로 하여 설계된 원소구조를 이용한 모폴로지 연산에 의해 수행된다.

본 논문에서는 스크래치는 긴 수직으로 나타나며, 폭은 3-5를 가진다는 형태정보를 이용하여 아래와 같은 원소구조를 설계한다.

$$B_H = \begin{bmatrix} X & X & X & X & X \\ D & 1 & 1 & 1 & D \\ X & X & X & X & X \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$B_R = \begin{bmatrix} X & X & 1 & 1 & D \\ X & D & 1 & D & X \\ D & 1 & 1 & X & X \end{bmatrix} \quad B_L = \begin{bmatrix} D & 1 & 1 & X & X \\ X & D & 1 & D & X \\ X & X & 1 & 1 & D \end{bmatrix} \quad (2)$$

위의 원소구조에서  $B_H$ 은 horizontal 성분을 추출하기 위해 정의되었으며,  $B_R$ ,  $B_L$ 은 diagonal 성분을 추출하기 위해 정의되었다. 위에 정의된 원소구조들을 이용하여 텍스처 분류결과에 모폴로지 연산을 수행함으로써 잘못 검출된 비스크래치 영역을 추출한다.

많은 모폴로지 연산은 오픈링과 클로징 연산으로 이진영상에서 노이즈를 제거하는 필터로 사용된다. 주어진 이미지를  $I$  라하고 원소구조  $B$ 라 하였을 경우, 일반적인 모폴로지 필터링에 의해 수행된다. 일반적인 모폴로지 연산은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{Dilation} & : \varepsilon_B(I) = \min_{(k,l) \in B} I(k,l) \\ \text{Erosion} & : \delta_B(I) = \max_{(k,l) \in B} I(k,l) \\ \text{Closing} & : \gamma_B(I) = \delta_B(\varepsilon_B(I)) \\ \text{Opening} & : \phi_B(I) = \varepsilon_B(\delta_B(I)) \end{aligned} \quad (3)$$

신경망 분류결과를  $M$ 이라 하고 스크래치의 특성을 이용하여 설계된 원소구조  $B_H$ ,  $B_R$ ,  $B_L$  를 가지고 모폴로지 연산을 적용한 경우 결과  $S$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S = N - \underbrace{\left\{ \underbrace{\gamma_{B_R}(M) + \gamma_{B_L}(M) + \gamma_{B_H}(M)}_a \right\}}_b \quad (4)$$

식(4)의 (a)부분의 연산에서는 정의된 원소 구조를 가지고 모폴로지 연산을 수행하여 텍스처 분류결과에서 비스크래치 영역을 추출하고, (b)부분의 연산에서는 (a)의 추출된 결과와 텍스처 분류결과와의 차이 영상을 구한다. 이를 통해 비스크래치 영역은 제거되고, 수직 형태를 가지는 영역을 실제 스크래치 영역으로 간주된다.

그림 5(c)에서 모폴로지 연산을 통해서 대부분의 비스크래치 영역이 제거되었지만, 스크래치 영역에 잡음이 포함되어 있다. 이러한 잡음은 연결 성분 분석을 통해 쉽게 제거된다. 연결 성분 분석의 결과로 생성된 요소들 중에서 크기가 아주 작은 경우를 잡음으로 간주하고 제거한다. 그림 5(d)는 최종적인 형태 필터링 결과를 보여준다.

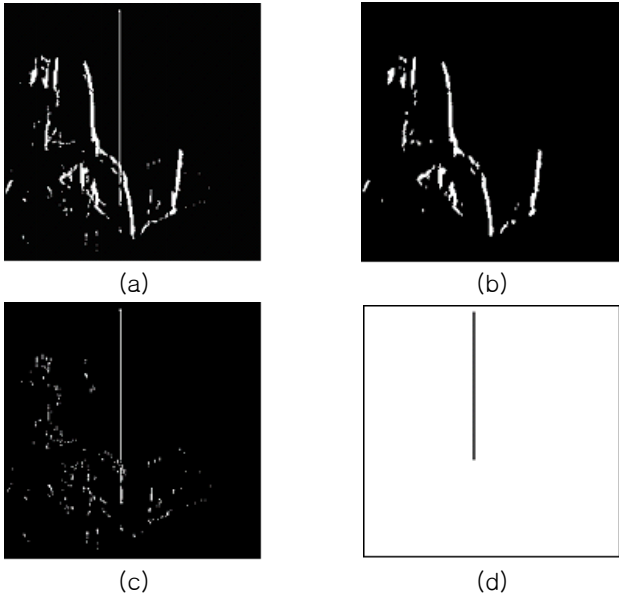


그림 5. 형태 필터링 결과의 예 : (a) 신경망 결과, (b) 비스크래치 영역검출, (c) 비스크래치 영역제거, (d) 형태 필터링 결과

4. 스크래치 제거

제안된 방법에서는 스크래치 특성을 이용한 텍스처 분류와 형태 필터링을 통하여 검출된 스크래치 영역에 대해서 양선형 보간법을 이용하여 스크래치 영역을 제거함으로써 영상을 복원한다.

4.1 양선형 보간법(Bilinear interpolation)

양선형 보간법은 4개의 주어진 값들 사이의 새로운 값을 만들어내는 2방향의 선형 보간법과 관련된다. 본 논문에서는 스크래치 제거를 위해 사용한 양선형 보간법은 새롭게 화소를 생성하는데 이는 스크래치에 영역에 인접한 네 개의 화소의 값을 이용한다.[13]

양선형 보간법은 자신의 픽셀 주변의 상하 라인에 대한 좌우에 위치한 픽셀값을 가져와 화소 값을 구하게 되는데, 본 논문의 입력 영상은 손상 되었으므로, 각 라인에 대해서 최근접 화소 보간법을 이용하여 스크래치의 각 가로선에 대한 보간된 픽셀 값들을 구하고, 이를 통해 양선형 보간법으로 스크래치 영역을 제거한다.

스크래치 검출 결과에서 스크래치로 검출된 영역에 대해서 양선형 보간법을 사용하여 스크래치의 주변 값을 이용하여 스크래치 영역을 복원한다. 이때 스크래치의 특성을 이용하여, 한 열에 스크래치를 포함하고 있으면 그 열을 모두 복원한다.

이러한 방식으로 최근접 화소 보간법으로 스크래치의 각 라인에 대해서 1차적 복원을 한다. 이의 결과로 얻어지는 영상을 통하여 양선형 보간법을 사용하여 2차적 복원을 하게 되는데 각 픽셀에 대해서 스크래치에 근접한 상하 라인에 대한 좌측, 우측의 주변 픽셀 값을 이용하여 스크래치를 제거한다.

스크래치 제거에 쓰인 보간 알고리즘의 특성은 스크래치의 폭에 대해 스크래치의 근접한 픽셀 값을 이용하여 스크래치의 센터의 값을 구한 뒤, 센터를 기준으로 양쪽 각 방향의 순서로 손상된 픽셀 값을 구해 나가게 된다. 그림 6(a)는 스크래치 검출 결과 중 스크래치와 그 주변 픽셀을 나타낸 것이고, 그림 6(b)는 스크래치의 폭에 대해 센터 값을 구한 그림이며, 그림 6(c)는 센터 값을 중심으로 하여 중심에서부터 양측방향으로 픽셀 값을 구하는 것을 나타낸다.

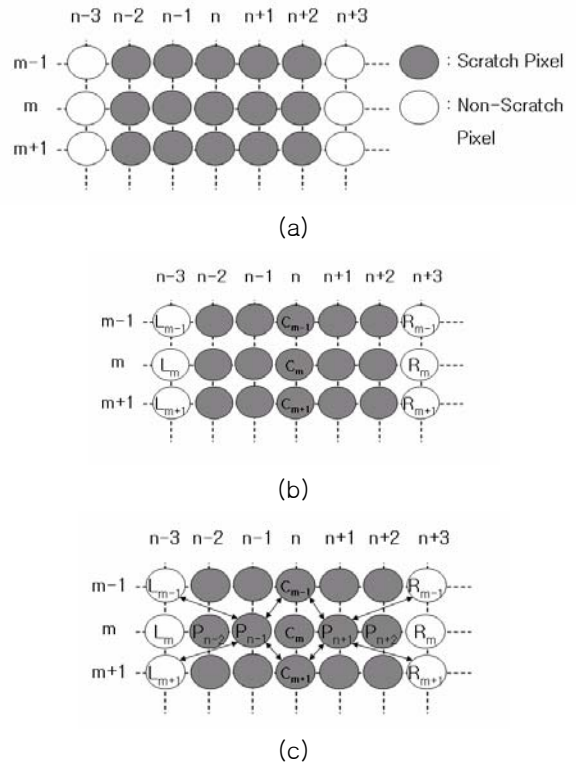


그림 6. 양선형 보간법 : (a) 스크래치와 주변 픽셀 부분, (b) 스크래치의 center 값 구하는 부분, (c) center 값을 중심으로 좌우 방향으로 픽셀 값을 구하는 부분

그림 7(a)는 손상된 영상 위에 복원 되어야 할 스크래치 부분을 맵핑 시킨 것이다. 맵핑된 영상의 스크래치 주변 픽셀 값을 이용하여 양선형 보간법을 사용하여 스크래치를 제거한 결과는 그림 7(b)에 나타난다.



그림 7. 양선형 보간법 결과의 예 : (a) 스크래치와 원래 영상을 맵핑한 영상 (b) 양선형 보간법 결과 영상



5. 실험 및 결과

제안된 스크래치 복원 방법은 오래된 필름에 적용되었다. 영화 데이터로 “Knight”, “Star”, “Sit-down”, “Titanic”이 사용되었다. 이러한 데이터들에는 표 1에 기술된 다양한 스크래치들을 가지고 있다.

스크래치 검출 실험을 위해 스크래치를 가진 영상들 중 100개의 이미지를 수동으로 선택한 후 각 영상에서 스크래치 화소들을 검출하여 스크래치 클래스로 할당하였다. 이 장면 중 20개의 이미지는 학습을 위해 이용하고, 나머지 80개의 이미지는 테스트 영상으로 사용하였다.

그림 8은 영화 “Knight”에 대한 스크래치 검출 및 복원의 결과를 보여준다. 그림 8(a)는 입력된 원 영상을 보여주고, 이에 대응하는 스크래치 검출 결과가 그림 8(b)에 나타난다. 이 실험 결과는 제안된 방법이 스크래치의 길이에 상관없이 static/secondary/alone/negative 스크래치를 모두 자동적으로 정확히 검출할 수 있음을 보여준다. 그림 8(c)는 입력영상 위에 스크래치 검출된 부분을 맵핑하여 복원되어야 할 열을 보여주며, 그림 8(d)는 스크래치 부분을 제거하여 복원된 영상을 보여준다.

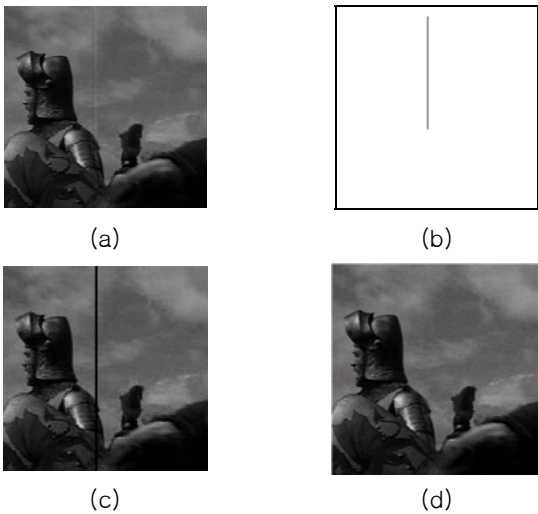


그림 8. 스크래치 검출의 예 : (a)입력영상, (b) 필터링 결과, (c) 입력 영상 위에 스크래치 맵핑, (d) 복원되어 스크래치가 제거된 영상

그림 9은 오래된 영화 “Sit-down”에 대한 스크래치 검출 및 복원 결과를 보여준다. 이 영화에는 secondary/static/positive/not-alone의 다양한 특징을 가진 스크래치들이 포함되어 있다. 그림 9(a)는 not-alone/secondary인 스크래치를 포함하고 있으며, 이에 대한 텍스처 분류 후, 형태 필터링을 통하여 검출된 스크래치가 그림 9(b)에 나타난다. 그림 9(c)는 위의 검출된 스크래치 부분을 입력 영상 위에 맵핑하여 복원될 열을 보여주는 영상이고, 이러한 검출 결과를 가지고 복원한 영상은 그림 9(d)에 나타난다. 이 결과는 제안된 방법이 이전까지의 연구와 달리 복잡한 영상에 포함된

not-alone 및 secondary인 스크래치들을 정확하게 자동으로 검출할 수 있음을 보여준다.

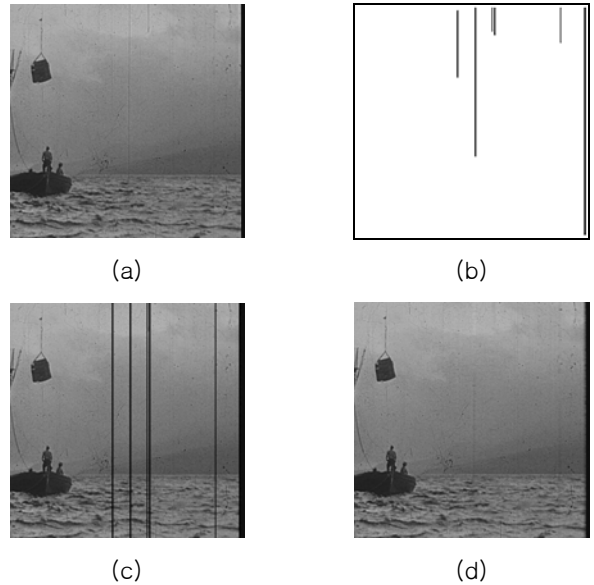


그림 9. 스크래치 검출의 예 : (a)입력영상, (b) 필터링 결과, (c) 입력 영상 위에 스크래치 맵핑, (d) 복원되어 스크래치가 제거된 영상

그림 10은 영화 “타이타닉”에 인위적으로 스크래치를 생성하여 텍스처 분류기와 형태 필터링을 통하여 스크래치를 검출하고 양선형 보간법을 이용하여 복원된 결과를 보여준다. 인위적인 스크래치는 영상의 행의 프로젝션에서 극점을 가지는 스크래치의 특성을 이용하여, 정규분포에 의해 만들어 졌다. 그림 10(a)는 인위적으로 secondary/ static/negative/not-alone 스크래치들을 생성한 입력 영상이다. 그림 10(b)는 스크래치를 검출한 결과를 나타내며, 그림 10(c)는 입력 영상 위에 스크래치를 맵핑한 영상이고, 이를 통하여 복원된 결과는 그림 10(d)에서 보여준다.

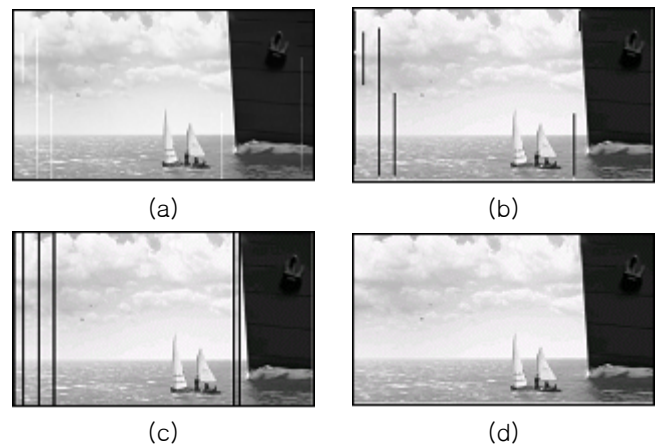


그림 10. 스크래치 제거의 예 : (a) 인위적인 스크래치 영상, (b) 텍스처 분류 결과 영상, (c) 입력 영상 위에 스크래치 맵핑 (d) 복원되어 스크래치가 제거된 영상

그림 11은 영상에 대한 Kokaram 논문의 방법과 본 논문에서 제안한 방법의 결과를 보여준다. 아래 그림 11(a)는 Kokaram 논문의 방법을 통하여 얻은 결과이며, 그림 11(b)는 제안한 방법을 사용한 스크래치 검출 결과이다. Kokaram 결과를 보면, 다양한 스크래치 종류에 대해서 못 찾은 스크래치 영역이 많고, 스크래치 영역에 비해 오검출된 비스크래치 영역이 많다는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법을 통하여 얻은 결과는 스크래치 영역에 대해 정확하게 검출됨 것을 볼 수 있다.



그림 11. 스크래치 검출의 예 : (a) Kokaram의 제안한 방법을 통한 검출결과, (b) 본 논문에서 제안한 방법을 통한 검출결과

스크래치 복원 부분에서는 복원율은 좋았으나 검출된 결과 중 스크래치를 놓친 부분 때문에 복원이 안되어 손상 요인이 방치되는 오류가 있었다.

## 6. 결론

본 논문에서는 오래된 필름으로부터 자동적인 스크래치의 복원을 위하여 스크래치의 공간적인 특성을 이용한 복원법을 제안하였다. 제안된 방법은 다양한 스크래치를 가진 영상에 대해 평가되었다. 실험 결과는 다양한 종류의 스크래치에 검출하는데 강건함을 보였고, 이러한 검출을 통한 복원에 대해서도 높은 복원율을 보였으며, 상업적으로 사용 될 수 있는 잠재력을 보였다.

## 참고 문헌

- [1] Schallauer, P, Pinz, A. and Hass, W., "Automatic restoration algorithms for 35mm film." VIDERE: J. Comput. Vis. Res., vol. 1, No. 3, 1999
- [2] Joyeux, L., Boukir, S. and Besserer, B., "Film line scratch removal using Kalman filtering and Bayesian restoration." WACV2000, Palm Springs, CA, Dec. 2000
- [3] Bruni, V. and Vitulano, D., "A generalized model for scratch detection." IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 1 44-49, 2004
- [4] Joyeux, L. et al., "Film line scratch removal using Kalman filtering and Bayesian restoration." IEEE Workshop on the Application of Computer Vision. 2000
- [5] Tegolo, D. and Isgro, F., "Scratch detection and removal from static images using simple statistics and genetic algorithms." IEEE ICIP'2001. 265-268, 2001
- [6] Maddalena, L., "Efficient methods for scratch removal in image sequences." IEEE ICIP'2001, 547-552, 2001
- [7] Kokaram, A. C., "Detection and removal of line scratches in degraded motion picture sequences." Signal Processing, Vol. 1. 5-8, 1996
- [8] Kokaram, A.C., "Motion Picture Restoration: Digital Algorithms for Artifact Suppression in Degraded Motion Picture Film and Video." Springer-Verlag., 1998
- [9] Juyeux, L. et al., "reconstruction of degraded image sequences. Application to film restoration.", Image and Vision Computing, Vol. 19, 503-516, 2001
- [10] Vittoria Bruni et al., "a Generalized Model for Scratch Detecion" IEEE transactions on image processing, Vol 13, no.1 january 2004
- [11] A. M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice Hall, 1995
- [12] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1989
- [13] 강형근, 전준철, "양선형 보간법을 이용한 텍스처 매핑" Vol.26, No.1, 644-646,1999