

논문 2011-48SP-5-1

고전 영화 복원을 위한 웨이블릿 계수축소와 보간법을 이용한 선형 스크래치 검출 및 제거 기술

(Linear Scratch Detection and Removal Technique for Old Film Sequences Using Wavelet Shrinkage and Interpolation)

강 원 석*, 이 은 성*, 김 상 진*, 백 준 기**

(Wonseok Kang, Eunsung Lee, Sangjin Kim, and Joonki Paik)

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 필름 영상에 존재하는 선형 스크래치를 검출하고 이를 제거하는 기술을 제안한다. 현재까지 스크래치 검출과 복원에 대한 많은 연구가 독립적으로 진행되어 왔는데, 그 이유는 영화가 요구하는 높은 품질과 그에 필요한 방대한 계산량 등의 문제점 때문이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 영상을 3-레벨 웨이블릿을 변환하고, 웨이블릿 계수축소와 보간법을 이용하여 선형 스크래치의 검출과 제거를 동시에 수행한다. 실험결과를 통하여 본 논문에서 제안하는 방법은 기존 스크래치 제거 방법보다 적은 계산량으로 정확하게 선형 스크래치를 검출하고 제거함을 알 수 있다. 또한 제안하는 방법은 상용화 되어 있는 고전 영화 복원 시스템에 추가하여 사용이 가능하다.

Abstract

This paper presents a novel scratch detection and removal approach for old film images in wavelet-domain. Various scratch detection and removal algorithms have been proposed for past decades. However, accurate scratch detection and removal with a moderate amount of computing effort is still a problem because of trade off between the quality of the film and computational load. For overcoming this problem, we first decompose an input image using a 3-level wavelet transform, and then remove the scratch by shrinking wavelet coefficients using linear interpolation. Experimental results show that the proposed algorithm can efficiently detect and remove the scratch in damaged films, and also be incorporated into old film restoration systems.

Keywords : 스크래치 검출(scratch detection), 스크래치 제거(scratch removal) 웨이블릿 변환(wavelet transform), 웨이블릿 계수축소(wavelet shrinkage)

I. 서 론

최근 고화질의 영상 서비스에 대한 사용자의 요구가 증가함에 따라 고전 영화 복원에 관한 연구가 지속적으로

로 이루어져 왔다. 고전 영화가 기록되어 있는 필름에서 다양한 원인에 의해 존재하는 손상된 영역을 검출하고, 검출된 영역의 원래 정보를 복원하는 기술은 발전된 디지털 영상처리 기술을 필요로 한다. 다양한 손상의 원인들 중에서 필름에 존재하는 기계적인 스크래치는 영화 상영시 화질에 중대한 영향을 미치기 때문에 이의 검출과 제거에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만 검출과 제거를 동시에 포함하는 시스템은 알고리즘의 복잡성이나 성능의 한계를 동시에 가지고 있다. 현재 대표적인 스크래치 검출 및 제거 방법으로 Joyeux^[1~2]의 방법과 Lee^[3]의 방법이 제안되었다. Joyeux가 제안

* 학생회원, ** 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 (Dept. of Image Engineering, Graduate School of Advanced Image Science, Multimedia, and Film, Chung-Ang University)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과 한국항공우주연구원의 지원을 받아 수행하였습니다.

접수일자: 2010년12월22일, 수정완료일: 2011년5월20일

한 스크래치 제거 알고리즘은 확률적인 방법으로 시간 정보와 공간정보를 동시에 이용하기 때문에 많은 계산량을 요구한다. 또한 Lee의 방법은 가우시안 필터와 미디안 필터를 사용하여 블록단위로 스크래치를 검출하고 Inpainting 방법을 이용하여 스크래치를 복원하기 때문에 특정한 상황에서만 적용이 가능하다.

위와 같은 기존의 선형 스크래치 검출 및 제거 방법들의 단점을 해결하기 위하여 본 논문에서 3-레벨 웨이블릿 변환을 이용하여 효과적으로 선형 스크래치를 동시에 검출하고 제거할 수 있는 방법을 제안한다. 웨이블릿 변환은 각 부대역에서 공간 정보와 주파수 정보를 해석할 수 있기 때문에, 선형 스크래치로 판단되는 특정한 고주파 성분에 해당하는 계수를 축소하고, 필요한 에지 정보를 보존하는 등의 적응적인 영상 처리가 가능하다^[4]. 본 논문에서는 이와 같은 웨이블릿 변환의 특징을 이용하여 각 부대역에 포함된 선형 스크래치의 공간적 정보를 해석하여 검출을 수행한다. 동시에 검출된 스크래치는 웨이블릿 계수 축소 및 보간법을 이용하여 제거한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서 웨이블릿 영역에서의 선형 스크래치 검출을 위한 배경 이론을 설명하고, III장에서 제안하는 선형 스크래치 검출 방법을 설명한다. 그리고 IV장에서는 검출된 스크래치 영역에 해당하는 웨이블릿 계수를 축소한 뒤 보간하는 복원 방법을 설명한다. V장에서는 제안된 알고리즘에 대한 실험결과를 보이고, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 배경이론

웨이블릿 변환은 하나의 영상을 배타적인 주파수 성분을 포함하는 여러 개의 부 대역 영상으로 분리할 수 있다. 또한 웨이블릿 변환은 입력 영상을 다해상도(multiple resolution)로 분해하여 계층적인 영상의 표현과 분석을 가능하게 하여, 단일 해상도에서는 검출하기 어려운 특징들을 다른 해상도에서는 쉽게 검출할 수 있게하는 장점이 있다^[6-7]. 본 절에서는 제안된 선형 스크래치 검출 방식의 이론적 기반이 되는 이산 웨이블릿 변환을 간략하게 소개하고, 다음 절에서 사용될 수학적 표현 방식을 정의한다.

이산 웨이블릿 변환은 입력 신호를 각자 정해진 주파수 대역을 갖는 일련의 필터 집합을 통과한 결과로 볼 수 있다^[8-9]. 1차원 입력 신호를 x 라 하면, 임펄스 응답 g 를 갖는 저대역통과필터(low-pass filter)를 통과한 출

력신호를 다음과 같이 컨벌루션으로 표현 할 수 있다.

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[n-k], \quad (1)$$

여기서 n 은 이산 신호 샘플의 위치를 의미한다. 입력 신호 x 에서 저대역통과필터를 통과한 y 성분을 제거한 신호는 고대역통과필터(high-pass filter)를 통과한 신호로 생각할 수 있다. 따라서 입력신호 x 는 고대역통과필터와 저대역통과필터로 이루어진 직각 위상 대칭필터(quadrature mirror filter)를 통과한 세밀한(detail) 부분과, 이를 제외한 나머지 대역의 신호로 분리 된다. 이렇게 필터링된 신호는 대역이 제한되어 있기 때문에 나이퀴스트 법칙(Nyquist's rule)에 따라서 다운 샘플링을 해도 정보의 손실이 발생하지 않는다. 다운 샘플링된 저대역통과필터와 고대역통과필터는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} y_{low}[n] &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n-k], \\ y_{high}[n] &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n-k], \end{aligned} \quad (2)$$

1차원 배율조정 함수(scaling function) $\phi(x)$ 와 웨이블릿 함수(wavelet function) $\psi(x)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \phi(x) &= \sum_n h_\phi(n) \sqrt{2} \phi(2x-n), \\ \psi(x) &= \sum_n h_\psi(n) \sqrt{2} \phi(2x-n), \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $h_\phi(n)$ 은 배율조정 함수의 필터 계수를 나타내며, $h_\psi(n)$ 는 웨이블릿 함수의 필터 계수를 나타낸다. 위 식에서 정의된 1차원 배율조정 함수와 웨이블릿 함수는 직관적으로 2차원 확장이 가능하다. 보다 구체적으로, 다음과 같이 하나의 2차원 배율조정 함수와 수평, 수직, 대각선 방향을 나타내는 세 개의 2차원 웨이블릿 함수로 표현된다.

$$\begin{aligned} \phi(x,y) &= \phi(x)\phi(y), \\ \psi^H(x,y) &= \psi(x)\phi(y), \\ \psi^V(x,y) &= \phi(x)\psi(y), \\ \psi^D(x,y) &= \psi(x)\psi(y), \end{aligned} \quad (4)$$

위에서 정의된 2차원 배율조정 함수와 웨이블릿 함수를 사용하면 2차원 웨이블릿 변환은 다음과 같이 표현할 수 있다.

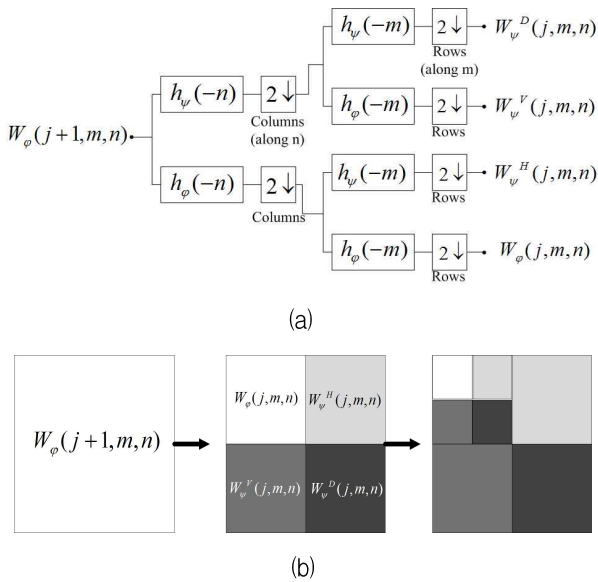


그림 1. 2차원 웨이블릿 변환:
 (a) 필터뱅크, (b) 분석결과
 Fig. 1. 2-D wavelet transform:
 (a) the analysis filter bank,
 (b) the resulting decomposition.

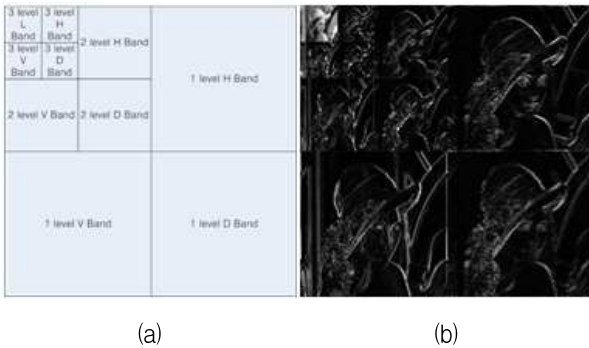


그림 2. 3레벨 웨이블릿 변환:
 (a) 각 주파수 대역의 정의, (b) 변환 결과
 Fig. 2. 3 level wavelet transform:
 (a) define of each frequency,
 (b) result of wanelet transform.

$$\begin{aligned}
 W_{\phi}(j_0, m, n) &= \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \phi_{j_0, m, n}(x, y), \\
 W_{\psi}^i(j, m, n) &= \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y), i \in H, V, D,
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 j_0 는 임의의 시작 단계(혹은 변환 레벨)를 나타내고 $W_{\phi}(j_0, m, n)$ 계수는 단계 j_0 에서 $f(x)$ 의 근사화를 정의한다. $W_{\psi}^i(j, m, n)$ 계수는 수평, 수직, 대각선에 위치하는 세부 부 대역의 계수를 나타낸다. 그림 1은 2차원 이산 웨이블릿 변환 과정을 나타낸다.

3레벨 웨이블릿 변환은 상위 단계에서 하위 단계의

수평 및 수직 저대역통과필터를 거친 결과에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 다시 수행하는 방식으로 이루어져 있으며, 3단계 까지의 과정을 통하여 10개의 변환된 공간으로 나누어 지게 된다. 그림 2는 본 논문에서 선형 스크래치 검출 및 제거에 사용되는 3레벨 이산 웨이블릿 변환 과정을 보인다.

그림 2(a)와 같이 공간 주파수 대역별로 분할 공간은 나이퀴스트 법칙에 따라서 다운 샘플링되어 있기 때문에 정보의 손실이 발생하지 않으며 역 웨이블릿 변환시 각 부 대역을 합성하여 정보의 손실 없이 원본 영상을 복원할 수 있다^[8].

III. 선형 스크래치 검출

본 절에서는 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 필름 영상에서 선형 스크래치로 인하여 손상된 부분을 검출하는 방법을 제안한다. 일반적으로 고전 영화 필름은 다양한 원인에 의하여 손상이 발생하게 되는데, 그 중 가장 빈번하게 발생하는 손상요인이 선형 스크래치이다. 선형 스크래치는 일반적으로 주변에 비해 상대적으로 밝거나 어두운 밝기 값을 가지게 되므로 손쉽게 육안으로도 구별이 가능한 특성을 가지고 있다. 그림 3(a)은 독립적으로 발생하고 상대적으로 어두운 스크래치를 보이는 반면, 그림 3(b)은 상대적으로 밝은 스크래치를 보인다^[9]. 본 논문에서 제안된 스크래치 검출 알고리즘은 다음과 같다.

(step 1) 이산 웨이블릿 변환을 위해 2차원 웨이블릿 기저함수 ψ_{jk}^i 를 결정한다.

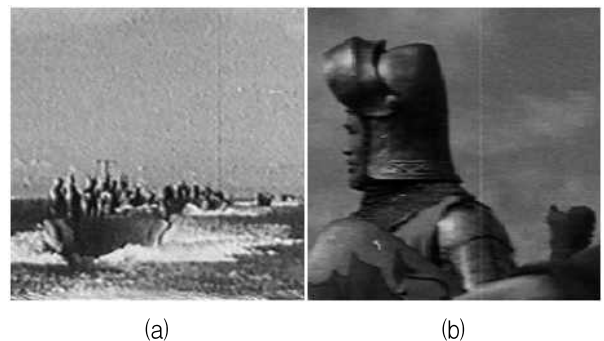


그림 3. 선형 스크래치의 발생 사례:
 (a) 어두운(negative) 스크래치,
 (b) 밝은(positive) 스크래치
 Fig. 3. Example of linear scratch:
 (a) negative scratch, (b) positive scratch.

- (step 2) 2차원 웨이블릿 변환을 통하여 변환된 영상의 웨이블릿 계수를 얻는다.
- (step 3) 적절한 임계치 값을 결정하고 영상내에서 에지 부분과 스크래치 부분을 분리한다.
- (step 4) 제안된 검출 알고리즘을 사용하여 고전 영화 영상에서 선형 스크래치 영역을 검출한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 플로우 차트를 그림 4에 나타내었다.

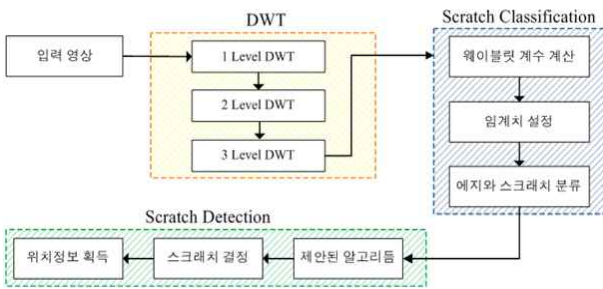


그림 4. 선형 스크래치 검출 플로우 차트
Fig. 4. Flow chart for linear scratch detection.

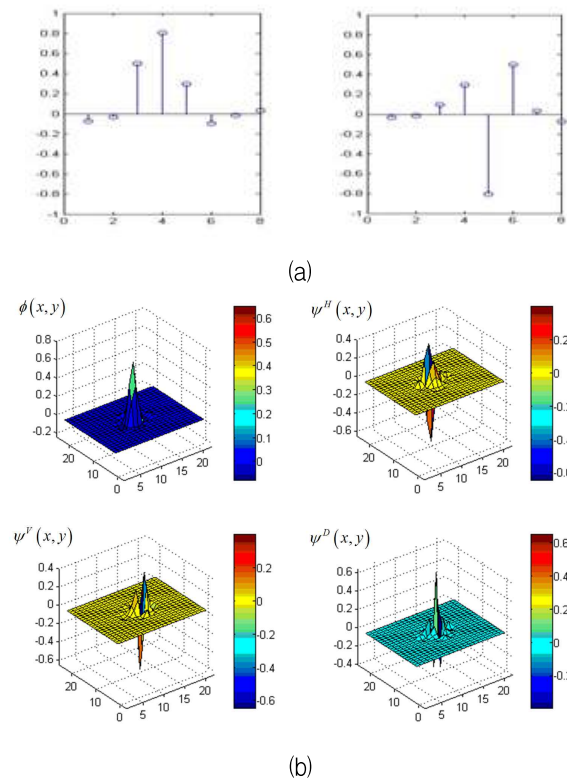


그림 5. (a) 1차원 8탭 symlet 필터, (b) 1차원 symlet 함수를 이용한 2차원 웨이블릿 기저함수
Fig. 5. (a) 1D 8-tab symlet filters (left:scaling, right: wavelet), (b) four 2D wavelet functions using 1D symlet functions.

식 (3)과 (4)에서 설명한 것과 같이 이산 웨이블릿 변환에 사용되는 기저 함수는 1차원 8탭 심릿(symlet) 웨이블릿을 이용한다. 그림 5는 1차원 및 2차원 웨이블릿 기저함수를 각각 보인다. 웨이블릿 변환은 하나의 영상을 그 영상의 정보를 담고 있는 여러 개의 부대역 영상으로 분리할 수 있다. 자세히 말하면 웨이블릿 변환과정을 통해 영상을 근사값(approximation)과 세부값(details)을 가지는 영상으로 분리가 가능하다^[10].

영상내에 존재하는 스크래치는 웨이블릿 필터뱅크에 의해 분해되는 과정에서 고대역 통과 필터와 저대역 통과 필터로 이루어진 직각 위상 대칭 필터에 의해 고주파 성분으로 분류가 되며 반복적인 다단계 웨이블릿 변환을 통해 영상내에 존재하는 다른 에지 성분보다 강한 고주파 성분을 띠게 된다. 웨이블릿 변환은 다단계 분해가 가능하기 때문에 저주파 성분인 LL(근사화 영역) 부대역을 다시 한 번 같은 방법으로 웨이블릿 분해하고, 계속해서 LL 부대역을 필요한 수준까지 분해한다. 그림 6은 선형 스크래치가 존재하는 영상을 3단계 레벨까지 웨이블릿 변환을 수행한 영상을 나타낸다^[11].

그림 6에서 보는 바와 같이 근사정보를 사용하는 2, 3단계의 웨이블릿 변환된 결과 비교해 볼 때, 1단계 웨이블릿 변환으로 얻어진 수직 부대역 성분에는 영상에서 존재하는 에지 신호와 스크래치로 판단되는 신호가 다른 부대역에 비해 많이 포함되어 있기 때문에 영상에 존재하는 에지 성분과 스크래치 성분의 구분이 어렵다. 따라서 영상 내에 불필요한 스크래치 성분을 정확하게 검출하기 위해 3단계 웨이블릿 변환으로 얻어진 고주파 대역을 사용한다. 특히 기계적 결함에 의해 발생된 선형 스크래치의 경우 HL(수직 부대역) 영역에서 그 고주파 특성이 크게 발생하며, 선형 스크래치의 특성까지 고려할 경우 HL 영역을 영상내에 존재하는 선형 스크래치를 검출하는데 사용하게 된다. 그림 7(a)은 밝은 특성을 가지는 스크래치 영상을 3단계 웨이블릿 변환된 HL 대역의 영상을 나타내며 그림 7(b)는 HL 대역의 웨이블릿 계수값을 나타낸다.

그림 6에서 보는 바와 같이 근사정보를 사용하는 2, 3단계의 웨이블릿 변환된 결과 비교해 볼 때, 1단계 웨이블릿 변환으로 얻어진 수직 부대역 성분에는 영상에서 존재하는 에지 신호와 스크래치로 판단되는 신호가 다른 부대역에 비해 많이 포함되어 있기 때문에 영상에 존재하는 에지 성분과 스크래치 성분의 구분이 어렵다. 따라서 영상 내에 불필요한 스크래치 성분을 정확하게

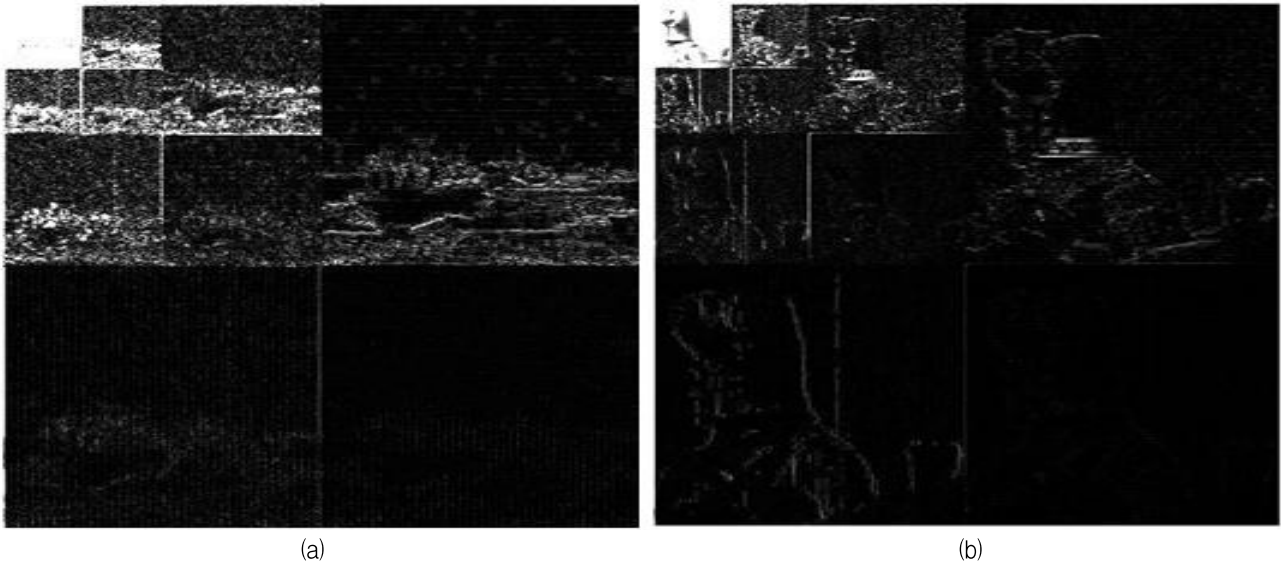


그림 6. 3레벨 웨이블릿 변환 영상: (a) 어두운 스크래치 영상, (b) 밝은 스크래치 영상
 Fig. 6. 3level wavelet transform image: (a) negative scratch image, (b) positive scratch image.

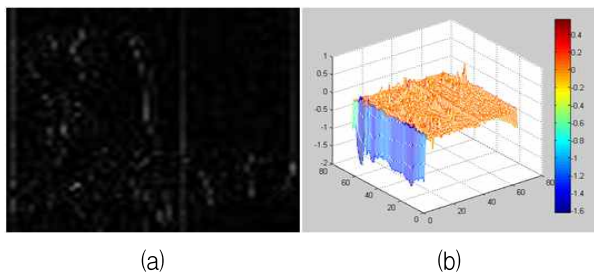


그림 7. HL 영역의 3단계 웨이블릿 변환 결과: (a) 3단계 웨이블릿 변환된 HL 영역 영상(대비 향상을 위해서 밝기 값을 2배로 증폭한 결과), (b) HL 영역의 웨이블릿 계수값
 Fig. 7. The result of 3level wavelet transform for HL subband : (a) 3level wavelet image for HL subband, (b) wavelet coefficients of HL subband.

검출하기 위해 3단계 웨이블릿 변환으로 얻어진 고주파 대역을 사용한다. 특히 기계적 결함에 의해 발생한 선형 스크래치의 경우 HL(수직 부대역) 영역에서 그 고주파 특성이 크게 발생하며, 선형 스크래치의 특성까지 고려할 경우 HL 영역을 영상내에 존재하는 선형 스크래치를 검출하는데 사용하게 된다. 그림 7(a)은 밝은 특성을 가지는 스크래치 영상을 3단계 웨이블릿 변환된 HL 대역의 영상을 나타내며 그림 7(b)는 HL 대역의 웨이블릿 계수값을 나타낸다.

그림 7(b)에서 보이는 것과 같이 스크래치는 기존의 에지 성분들 보다 강한 고주파 성분을 가지게 되므로 스크래치가 존재하는 영역의 계수값들은 주변의 계수값

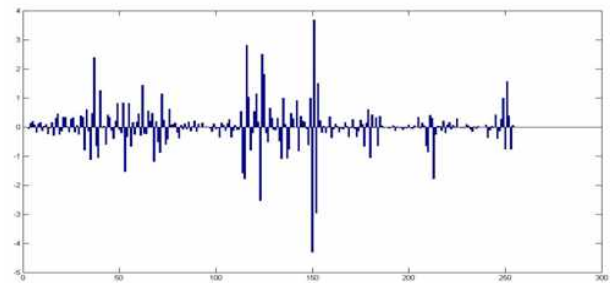


그림 8. x 축으로 누적된 HL 영역의 웨이블릿 계수값의 1차원 그래프
 Fig. 8. The 1D graph of the cumulative wavelet coefficients.

들 보다 일관되게 높거나 낮은 특성을 가지고 영상의 특정 영역에 걸쳐 선형적인 특성을 가지는 선 형태로 나타나게 된다. 또한 영상 내에 존재하는 에지의 성분과는 다르게 스크래치가 분포하는 영역에서의 계수 값들은 분포하는 형태적 모양이 sinc함수와 매우 유사하게 나타나게 된다. 이는 영상내에 존재하는 에지는 그 밝기 값이 영상내에서 급격히 변화하는 경계를 나타내지만 기계적 결함에 의해 인위적으로 발생하는 선형 스크래치는 웨이블릿 변환시 필터 बैं크에 의해 분해되는 과정에서 스크래치가 사라지는 영역에서의 고주파 성분이 스크래치가 분포하지 않은 영역의 주파수 성분들보다 매우 높게 나타나기 때문이다.

그림 8은 3단계 웨이블릿 변환된 HL 영역에서의 계수값들을 x 축으로 누적한 결과로 1차원 그래프 형태로

나타내었다. 그림 8에서 나타낸 그래프의 x 축의 정보는 영상의 컬럼에 해당하는 공간적인 정보를 포함하고 있으며 3단계 웨이블릿 변환된 HL 영역에서 에지성분을 제외한 스크래치 영역 S_{HL} 검출을 하기 위해 다음 식 (6)과 같은 과정을 거친다.

$$S_{HL}[m,n] = \begin{cases} \text{Positive value,} & \text{if } x_{HL}[m,n] > T \\ \text{Negative value,} & \text{if } x_{HL}[m,n] < T, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 x_{HL} 는 3단계 웨이블릿 변환된 HL 영역인 수직 주파수 대역신호를 나타내고, 웨이블릿 계수값이 임계치(threshold) T 보다 클 경우 이를 스크래치로 후보로 간주한다. 임계치 값은 이산 웨이블릿 변환 후 부대역의 평균 정보량으로 결정되며, 기준이 되는 임계치 값은 HL 영역에 존재하는 에지의 정보량을 고려하여 가중치를 준다. 스크래치가 존재할 수 있는 영역 S_{HL} 의 후보가 결정되면 식(7)에 의해 후보영역 중에서 실제 영상에서 에지 성분과 스크래치 성분을 분리 한다. 이때 스크래치는 계수의 값들이 분포하는 형태적 모양이 sinc함수와 유사하게 나타나기 때문에 후보영역 중에서 sinc함수의 형태적인 특성을 가지는 특정 부분을 비교 검색한다.

$$Scratch[m,n] = \begin{cases} \text{Positive scratch,} & \text{if } S_{HL}(C-1) < -T \text{ and } S_{HL}(C) > T \\ & \text{and } S_{HL}(C+1) < -T \\ \text{Neative scratch,} & \text{if } S_{HL}(C-1) > T \text{ and } S_{HL}(C) < -T \\ & \text{and } S_{HL}(C+1) > T \\ \text{Edge,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 C 는 스크래치가 존재할 수 있는 S_{HL} 영역에서 수직 방향 열의 위치 정보를 나타낸다. 그림 9에 나타내듯이 식 (7)에 의해 스크래치가 존재할 수 있는 후보영역에서 에지를 제외한 스크래치 성분과 스크래치가 존재하는 공간적인 위치 정보를 획득할 수 있다.

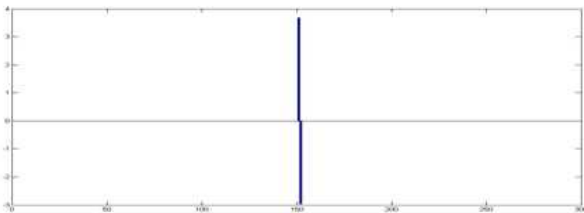


그림 9. 검출된 스크래치의 공간적 위치 정보
Fig. 9. location information for detected scratch.

IV. 보간법과 계수 축소를 통한 스크래치 제거 방법

스크래치 제거 단계에서는 스크래치 검출 후 스크래치로 인하여 손상된 영역을 복원하기 위해 공간 복원 알고리즘인 양선형 보간법을 이용하여 웨이블릿 계수를 축소한다. 일반적으로 웨이블릿 계수를 축소하는 방법은 계수를 줄여 영상내에 존재하는 불필요한 성분을 억제 시키는 방법이 일반적이며, 계수 축소방법은 임계치 설정을 통한 방법이 널리 알려져 있다^[13~14]. 이 방법은 단순하고 계산의 복잡도가 낮은 반면, 공간 정보를 가지고 있는 웨이블릿 계수를 충분히 이용하지 못하는 단점이 발생한다. 공간 정보를 충분히 활용하기 위해 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 통해 얻어진 HL 부대역의 계수값을 이용하여 스크래치의 공간적 위치 정보를 획득하고 스크래치가 존재하는 특정 영역에서 보간법을 사용한 적응적인 계수 축소 방법을 이용한다.

검출된 스크래치는 공간적인 정보를 포함하고 있기 때문에 스크래치가 존재하는 영역의 위치정보를 획득할 수 있다. 양선형 보간법은 주변 정보를 가지고 손실된 영역을 복원하는 방법이다^[12]. 본 논문에서 제안하는 스크래치 제거 방법은 임계치 설정을 통하여 스크래치의 계수값들을 인위적으로 축소한 뒤 양선형 보간법을 이용하여 HL 영역에 존재하는 스크래치 성분의 앞뒤 행에 위치하는 스크래치 주변 좌우 계수 값들을 이용하여 계수값들을 조정함으로써 스크래치를 제거한다.

마지막으로 HL 영역에서 계수 축소를 통해 스크래치를 제거한 후 웨이블릿 역변환을 실행한다. 식 (8)는 웨이블릿 역 변환 과정을 나타낸다.

$$\hat{f}(m,n) = W^A(J+1,m,n) = W^{A,UP}(J-1,m,n) + W^{H,UP}(J-1,m,n) + W^{V,UP}(J-1,m,n) + W^{D,UP}(J-1,m,n) \quad (8)$$

여기서 W^A 는 웨이블릿 기저함수를 이용하여 역변환한 계수를 나타내고, $W^{i,UP}$ 은 웨이블릿 계수를 2배 업 샘플링(up-sampling) 한 것을 의미하며, \hat{f} 는 웨이블릿 역변환을 통해 복원된 영상을 말한다. 공간 주파수 대역별로 분할 공간은 나이퀴스트 법칙에 따라서 다운 샘플링되어 있기 때문에 정보의 손실이 발생하지 않으며 역 웨이블릿 변환시 각 부 대역을 합성하여 정보의 손실 없이 스크래치가 제거된 원본 영상을 복원할 수 있다^[8, 11].

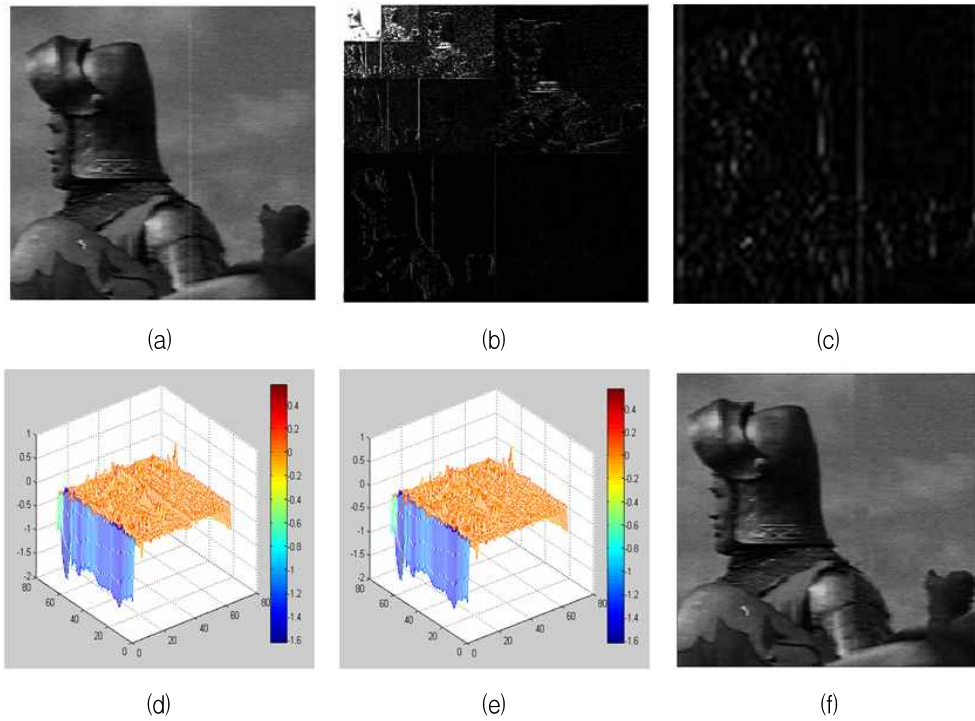


그림 10. (a) 원본 영상, (b) 3DWT 변환 결과, (c) *HL* 영역 영상, (d) *HL* 영역의 웨이블릿 계수 (e) 축소된 웨이블릿 계수, (f) 스크래치가 제거된 영상

Fig. 10. (a) original image, (b) result of 3DWT, (c) 3level wavelet image for *HL* subband, (d) wavelet coefficients of *HL* subband (e) a reduced wavelet coefficients, (f) result of image for removed scratch.

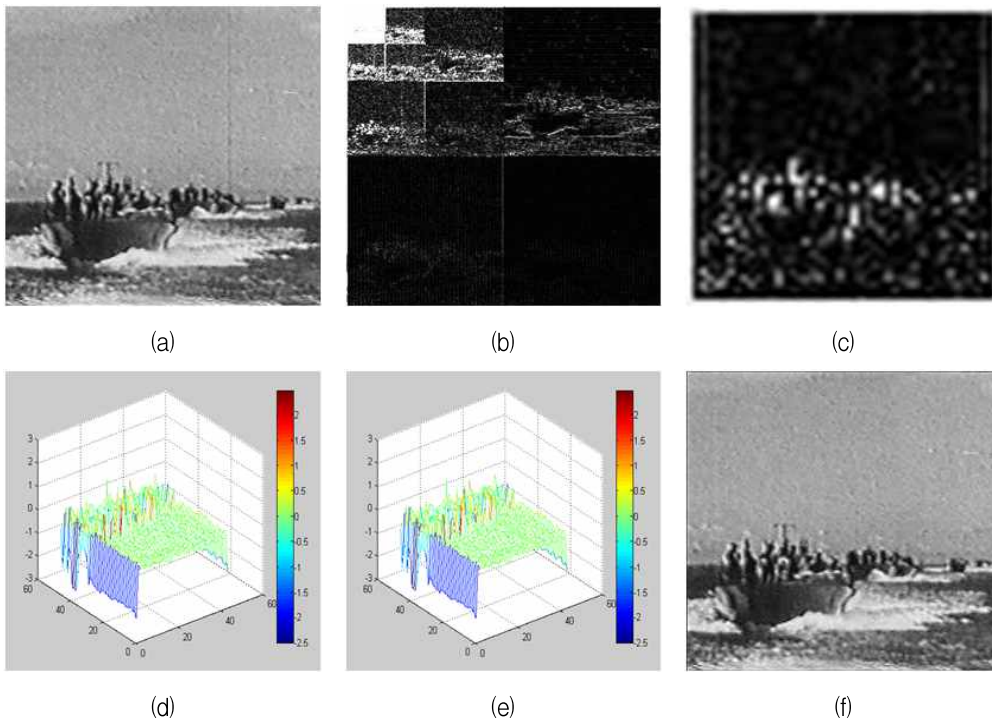


그림 11. (a) 원본 영상, (b) 3DWT 변환 결과, (c) *HL* 영역 영상, (d) *HL* 영역의 웨이블릿 계수 (e) 축소된 웨이블릿 계수, (f) 스크래치가 제거된 영상

Fig. 11. (a) original image, (b) result of 3DWT, (c) 3level wavelet image for *HL* subband, (d) wavelet coefficients of *HL* subband (e) a reduced wavelet coefficients, (f) result of image for removed scratch.

V. 실험결과

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 실제 스크래치에 의해 손상된 고전 영화 데이터를 가지고 실험을 하였다. 본 논문에 제안된 방법에 의해 영상내에 존재하는 밝은 특성을 가지는 스크래치와 어두운 특성을 가지는 스크래치가 검출 및 제거된 결과를 각각 그림 10과 그림 11에 보인다.

VI. 결 론

본 논문에서는 선형 스크래치로 인하여 훼손된 고전 영화 영상을 웨이블릿 변환의 특징을 이용한 스크래치 검출 및 제거 방법을 설명하였다. 스크래치로 인하여 훼손된 영상을 웨이블릿 변환하고, 웨이블릿 계수축소와 보간법을 이용하여 선형 스크래치의 검출과 제거를 동시에 수행하였다. 웨이블릿 변환이라는 간단하면서도 효과적인 방법을 이용하여 스크래치가 영상안에 분포하는 위치정보를 빠르고 효과적으로 검출 할 수 있으며 이로 인해 얻어진 스크래치의 공간적인 위치 정보는 스크래치 제거시 효과적으로 작용하게 된다. 실험결과를 통하여 알 수 있듯이 제안하는 방법은 기존에 제안된 스크래치 검출 및 제거 방법보다 간단하면서도 적은 계산량으로 정확하게 선형 스크래치를 검출하고 제거함을 알 수 있다. 기존에 개발되어진 검출 방법과 제거 방법은 대다수 분리되어 독립적으로 처리되어지는 반면 본 논문에서 제안하는 방법은 웨이블릿 도메인에서 공간정보 분석을 통해 선형 스크래치의 위치 정보를 획득함과 동시에 계산되어진 웨이블릿 계수값을 바탕으로 보간법을 이용한 계수 축소 방법을 통하여 실시간으로 선형스크래치 제거가 가능하였다. 또한 제안하는 방법은 상용화 되어 있는 고전 영화 복원 시스템에 추가하여 사용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] L. Joyeux, S. Boukir, and B. Besserer, "Film line scratch removal using Kalman filtering and Bayesian restoration," in Proc. of IEEE WACV2000, pp. 8-13, Palm Springs, USA, Dec. 2000.

[2] L. Joyeux, "Reconstruction of degraded image sequences. Application to film restoration," Image and Vision Computing, Vol. 19, pp. 503-516, 2001.

[3] 이찬휘, "오래된 영화의 손상 검출과 개선된

Inpanting 기반의 복원 기법의 설계와 구현," 서울 시립대학교:석사논문, 1999.

- [4] R. Gonzalez and R. Woods, Digital image processing using matlab, 2nd ed., PrenticeHall, 2002.
- [5] V. Bruni and D. Vitulano, "A generalized model for scratch detection," IEEE Transactions on Image Processing, 13(1), January 2004, pp. 44-50.
- [6] R. Gonzalez and R. Woods, Digital image processing, 3rd ed., Prentice Hall, 2009.
- [7] 전신영, 이은성, 김상진, 백준기, "공간-주파수 적응적 영상복원을 위한 Vaguelette-Wavelet 분석 기술," 대한전자공학회 논문지, 46권, SP편, 6호, 112-122쪽, 2009년 11월.
- [8] I. Daubechies, Ten lectures on wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992.
- [9] S. Mallat, A Wavelet Tour of Signal Processing, New York: Academic Press, 1998.
- [10] S. Kim, W. Kang, E. Lee, and J. Paik, "Wavelet-Domain Color Image Enhancement Using Filtered Directional Bases and Frequency-Adaptive Shrinkage," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 56, no. 2, pp. 1063-1070, May 2010.
- [11] 윤진영, 유윤중, 전신영, 신정호, 백준기, "웨이블릿 변환을 이용한 영상복원의 물결현상 제거 방법," 대한전자공학회논문지, 45권, SP편, 6호, 611-620 쪽, 2008년 11월.
- [12] 김경태, 고은정, 김은이, "공간적인 정보 기반의 디지털 필름 스크래치 복원", 한국컴퓨터종합학술대회, 2007.
- [13] D. Donoho, "Nonlinear solution of linear inverse problems by wavelet-vaguelette decomposition," Applied Computational and Harmonic Analysis, vol. 2, pp. 101-26, 1995.
- [14] F. Abramovich and B. Silverman, "Wavelet decomposition approaches to statistical inverse problems," Biometrika, vol. 85, no. 1, pp. 115-129, 1998.

저 자 소 개



강 원 석(학생회원)
 2010년 한국항공대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2011년 현재 중앙대학교 첨단영상
 대학원 석사과정 재학중.
 <주관심분야 : 영상복원, 계산 이
 미징>



이 은 성(학생회원)
 2009년 중앙대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2011년 중앙대학교 첨단영상
 대학원 석사 졸업.
 2011년 현재 중앙대학교 첨단영상
 대학원 박사과정 재학중.
 <주관심분야 : 영상복원, 계산 이미징>



김 상 진(학생회원)
 2003년 강남대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2003년 중앙대학교 첨단영상
 대학원 석사 졸업.
 2010년 중앙대학교 첨단영상
 대학원 박사 졸업
 2011년 현재 중앙대학교 첨단영상 대학원
 박사 후 과정.
 <주관심분야 : 영상복원, 계산 이미징, 실시간 객
 체추적 및 인식>



백 준 기(평생회원)
 1984년 서울대학교 제어계측
 공학과 학사 졸업.
 1987년 노스웨스턴대학교 전기 및
 컴퓨터공학과 석사 졸업.
 1990년 노스웨스턴대학교 전기 및
 컴퓨터공학과 박사 졸업.
 2011년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원
 영상공학과 교수.
 <주관심분야: 영상복원, 신호처리, 반도체>
 징>