디지털 시네마의 유출 방지를 위한 시간적인 색차 변화를 이용한 포렌식 워터마킹 기법

Forensic Watermarking for Digital Cinema Using Temporal Chrominance Differences

양 세 열* 최 혁**
Seyol Yang Hyuk Choi

요 약

본 논문에서는 동영상 색차 값의 시간적인 변화를 이용한 동영상 포렌식 워터마킹 기법을 제안한다. 제안 방식은 디지털 시네마 영상의 유출 방지를 위한 방안으로 활용 가능하도록 설계되었으며, 계산량이 적고 화질이 우수하여 실제 적용에 용이하다. 실험 결과 제안 방식은 압축 및 캠코더 촬영 등 다양한 변환 및 공격에 대한 강인성을 보여주었고 우수한 워터마크 검출 성능을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a forensic watermarking scheme using temporal differences of video chrominance values. Proposed method has low complexity and good visual quality, which is suitable for traitor tracing of digital cinema. Experimental results show that our forensic watermarking method has good detection performance and is robust to several attacks, such as camcorder recording and video compression.

☞ keyword: 포렌식 워터마킹, 디지털 시네마, 시간적인 색차 변화, 캠코더 촬영, 워터마크 정보 검출

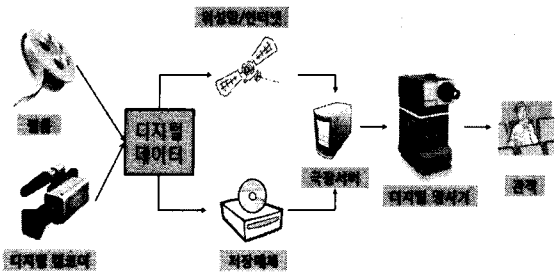
1. 서 론

영화산업은 콘텐츠 산업 중 가장 많은 인력과 자본이 투입되어 가장 많은 부가가치를 창출한다고 알려져 있다. 영화 콘텐츠는 1차적으로 극장에서 상영되며, 2차적으로는 DVD, VOD, TV 등에서 다양한 목적으로 상영되어 다양한 가치를 창출하게 된다.

영화 콘텐츠는 필름에 인쇄되어 영화관으로 배급된 후 영사기를 통해 스크린에 영사되어 서비스되었다. 이와 같은 방식은 필름을 많이 사용하기 때문에 환경에 좋지 않은 영향을 미치며 배급에 많은 비용과 시간이 필요하였다. 최근 들어 이런 필름 프린팅 방식을 대체하는 디지털 방식의 영화 배급 및 상영 방식인 디지털 시네마가 나타나게 되었다.

디지털 시네마는 영화의 촬영, 편집, 배급, 상영을 모두 디지털로 처리하는 기술이며, 크게 디지털 캠코더나 카메라를 이용한 촬영과정, 디지털화 된 데이터를 컴퓨터에서 편집하는 과정, 하드디스크나 DVD, 광케이블, 위성 등을 통해 영화를 전송하는 배급과정, 기존 영사기를 대체하여 프로젝터를 통해 영화를 상영하는 과정(그림1)으로 구성된다. 이 방식은 기존의 필름 프린팅 방식에 비해 원본 화질을 유지 어느 극장에서나 균일한 품질의 상영을 할 수 있으며, 필름 프린트와 운송에 따르는 비용을 크게 절약하는 등의 다양한 장점을 가지고 있다.

* 준 회 원 : 서울시립대학교 대학원 컴퓨터통계학과 졸업(석사)
seyol16@naver.com
** 종신회원 : 서울시립대학교 컴퓨터학부 교수
chyuk@venus.uos.ac.kr(교신 저자)
[2008/10/07 투고 - 2008/10/09 심사 - 2008/11/10 심사완료]



(그림 1) 디지털 시네마 시스템

디지털 시네마는 2005년 7월 DCI(Digital Cinema Initiatives)에 의해 세부 스펙이 완성되었다[1].

정보통신 기술의 발전과 디지털 저장 매체의 발달은 위와 같은 디지털 시네마 시스템을 가능하게 하였지만 반대로 대용량의 저장 매체와 빠른 전송 속도를 통해 불법 콘텐츠의 유통 또한 활발하게 되었다.

특히 영화 콘텐츠의 경우 고화질의 캠코더를 통해 촬영된 영상이 배포되어 콘텐츠의 가치를 훼손하는 일이 많아졌으며, 관객의 불법적인 촬영을 금지하기 위한 관리는 아직 미흡한 실정이다. 이와 같은 이유 때문에 영화 제작자나 배급사에서는 전 세계의 극장 중 어떤 극장에서 어느 시간대에 불법적인 촬영이 발생하는지 확인할 수 있는 방법을 요구하고 있으며, 이를 위하여 포렌식 워터마킹(Forensic Watermarking) 기술이 활발히 연구되고 있다[2],[3].

디지털 워터마킹이란 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 위한 기술로써 디지털 콘텐츠에 인간 지각에 거슬리지 않게 저작권 등 필요한 정보를 삽입하는 기술을 말하며[4], 특히 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹은 상영되는 영화 콘텐츠에 극장 정보와 상영 시간을 워터마크 정보로 삽입하여 불법적으로 녹화된 콘텐츠에서 워터마크 검출을 통해 어느 스크린에서 촬영되었는지를 추적하여 콘텐츠의 유출 경로를 확인할 수 있는 기술을 말한다.

본 논문에서는 동영상을 이루는 각 프레임의 색차신호(Chrominance) 값 평균의 시간적인 변화를 워터마크 삽입에 이용하여, 비가시성이 우수하면서도 캠코더를 이용한 녹화 등 다양한 공격에 대해 강인성을 가지는 새로운 워터마킹 기법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 색차신호를 이용하여 워터마크를 삽입, 추출하는 방법을 설명하고, 3장에서 워터마크의 동기화 방법을 소개하며, 4장에서는 다양한 공격에 대하여 제안된 워터마킹 기법의 성능을 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 제안 워터마킹 기법

2.1 YCbCr

일반적으로 컴퓨터에서 사용하는 이미지 파일 또는 동영상 파일은 RGB값을 이용하여 저장되어 있다. 즉, 각각의 픽셀은 R(Red), G(Green), B(Blue) 세 값으로 구성되며, 이 값들은 다른 포맷으로 변환되어 사용될 수 있고, 그 중 한 방법이 YCbCr 포맷이다. Y는 휘도를 나타내는 성분이며 Cb와 Cr은 색차성분이다.

본 논문에서 제안하는 워터마킹 방식은 디지털 시네마의 동영상 프레임을 YCbCr로 변환하고 Y, Cb, Cr 중에서 인간 시각 특성에 덜 민감한 Cb와 Cr을 워터마크 삽입에 이용한다. 동영상은 시간적으로 유사한 이미지들이 연속되는 경향이 있으며 이러한 연속적인 평균값의 유사성은 단일 프레임 사이에서 뿐만 아니라 다수의 프레임을 묶어서 구한 평균값들에서도 나타난다. 이는 샘플 동영상 실험 결과인 (표 1)에서도 확인해 볼 수 있다.

(표 1) 프레임간의 유사도 : 평균값이 동일할 확률

Number of Frames	1Frame 사이	3Frame의 평균값 사이	5Frame의 평균값 사이
Cb Similarity	95.34%	94.98%	93.44%
Cr Similarity	96.48%	94.21%	94.01%

2.2 워터마크 삽입 알고리즘

제안 워터마크 삽입 알고리즘은 영상의 Cb와 Cr 값 평균의 시간적인 차이를 워터마크 삽입에 이용한다. 이러한 방식은 주파수 영역이 아닌 공간영역을 워터마크 삽입에 이용하며, 픽셀 마다 다른 값의 변화를 주는 것이 아닌 전체 픽셀에 대해 유사한 값 변화를 주게 되므로, 계산량이 많지 않으면서 우수한 화질을 얻을 수 있다.

구체적인 삽입 방법은 (그림 2)와 같다. 우선 원본 동영상의 N개의 frame set(이후 N frame)의 Cb(Cr)의 평균값을 구하여 그 이후의 N frame의 Cb(Cr) 평균값과 비교한다. 그 후 워터마크가 0인 경우 이전 N frame의 Cb(Cr)값 평균과 이후 N frame Cb(Cr)값의 평균을 유사하게 만든다. 워터마크가 1인 경우는 이전 N frame의 Cb(Cr)값의 평균과 이후 N frame의 Cb(Cr)값의 평균을 차이가 있게 만든다.

위 삽입과정을 세분화하여 설명하면 다음과 같다.

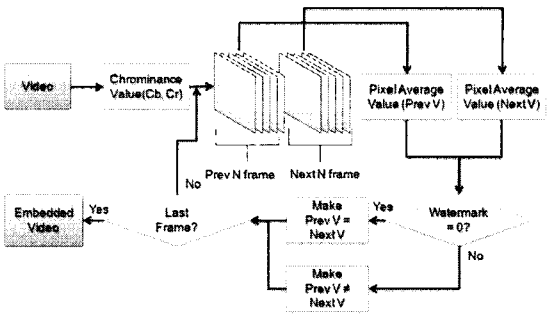
Step 1: 원본 동영상 파일을 프레임 별로 추출하여 픽셀 값을 YCbCr의 색공간으로 변환한다.

Step 2: Cb와 Cr의 1~N프레임의 모든 픽셀 값의 평균과 N+1~2N프레임의 모든 픽셀 값의 평균을 구한다.

Step 3: 워터마크가 0인 경우 두 프레임 set의 픽셀 값의 평균이 차이가 나지 않도록 평균이 낮은 프레임 set의 모든 픽셀 값을 픽셀 평균 값 차이만큼 더해준다. 워터마크가 1인 경우에는 두 프레임 set의 평균 값 차이가 일정 크기 이상이 되게 한다. 즉, 값이 유사할 경우에는 하나의 프레임 set의 픽셀 값들을 일정 값만큼 모두 증가, 또는 감소시킨다.

Step 4: N+1~2N프레임과 2N+1~3N프레임에도 동일한 방법으로 워터마크를 삽입하고 모든 프레임이 끝날 때까지 위의 과정을 반복한다.

워터마크의 삽입 강도를 조절하기 위한 변수의 종류는 다음과 같다.



(그림 2) 워터마크 삽입 과정

N : 워터마크를 삽입할 때 사용하는 프레임 set의 개수, 프레임 변환과 동영상 압축 등에 강인하기 위해서는 set 개수를 늘려야 함

P1 : 워터마크가 0인 경우 허용되는 프레임 set 간의 평균 차이

P2 : 프레임 set 간의 평균 차이가 이 값보다 크면 워터마크 정보는 1

P3 : 워터마크가 1인 경우의 프레임 set 간의 평균 차이

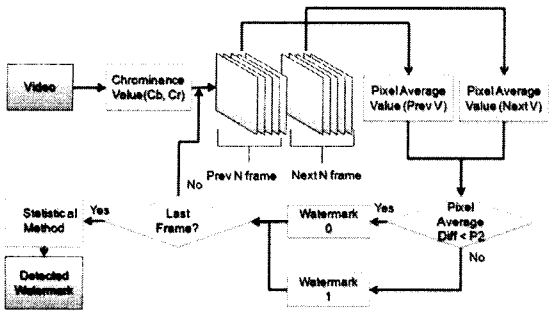
P4 : 두 프레임 set의 픽셀 평균의 차이가 이 값보다 크면 워터마크를 삽입 안함 (화질의 열화를 막기 위함)

변수들의 관계는 $P1<P2 \leq P3<P4$와 같고 실험에서는 N을 3으로 하였다.

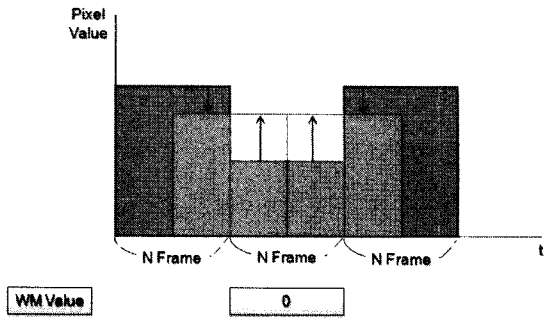
2.3 워터마크 검출 알고리즘

워터마크 검출 알고리즘은 워터마크 삽입 알고리즘과 유사하다. (그림 3)은 검출 과정을 보여준다.

워터마크 검출 과정은 픽셀의 평균값을 구하는 과정까지 삽입 알고리즘과 동일하며 이후 프레임 set 간의 픽셀 평균의 차이가 P2와 비교하여 크거나 같으면 워터마크 값은 1, 그 외의 경우에 워터마크 값은 0이 된다. 워터마크는 삽입 시 반복적으로 삽입되기 때문에 검출된 워터마크를 누적하여 저장해놓은 후 통계적인 방법을 이용하여 최종 워터마크 값을 검출한다.



(그림 3) 워터마크 검출과정



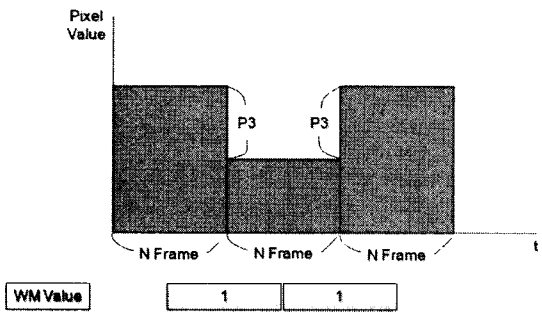
(그림 5) bit sync가 맞지 않는 경우의 워터마크 추출

3. 동기화를 위한 워터마크 삽입

디지털 시네마의 경우 DCI 스펙에서는 5분 이내에 35비트의 워터마크를 추출하면 된다고 명시되어 있다. 또한 워터마크는 반복적으로 삽입할수록 추출 확률이 높아지므로 제안 기법에서는 워터마크를 반복적으로 삽입하며, 이때 원본 영상이 없어도 워터마크를 추출하기 위해선 반복적으로 삽입되어 있는 워터마크의 시작점과 길이를 알아야 한다. 이와 같이 워터마크의 시작점과 길이를 알아내어 워터마크를 찾아내는 것을 일반적으로 동기화라고 한다.

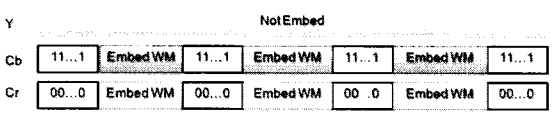
제안 방식에서는 두 가지 동기화가 필요하다.

첫째, 각 프레임 set의 시작점을 확인하기 위한 동기화가 필요한데 이를 "bit sync"라고 하자. bit sync를 맞추는 방법은 프레임 set의 길이 N을 알고 있다고 가정하고 시작점을 1~N번째 프레임까지 변화시켜가며 워터마크를 검출해보고 1이 가장 많이 나오는 경우를 프레임 set의 시작점으로 정하는 것이다. 즉, (그림 4)와 (그림 5)를 보면 워터마크 정보가 1이 삽입되어 있을 때 프레임 set 시작점이 맞으면 1이 추출되지만 시작점이 맞지 않으면 (그림 5) 처럼 평균이 높은 프레임 set과 평균이 낮은 프레임 set간의 합산이 이루어져 인접 프레임간 차이가 줄어들게 되며 bit 1이 추출되지 못한다. 따라서 bit 1이 가장 많이 나오는 경우가 bit sync가 맞는 프레임 set 시작점이 된다. 그러나 수정 전 프레임 set의 편차가 0이 아니면 이와 같은 결과가 나오지 않을 수도 있다. 하지만 많은 프레임을 활용한 후 다수결의 원칙으로 프레임을 결정하면 bit sync를 맞추는 확률을 높일 수 있다.



(그림 4) bit sync가 맞는 경우의 워터마크 추출

둘째, 최종 워터마크 정보를 얻기 위해 삽입된 정보의 시작점을 확인하기 위한 동기화가 필요한데 이를 "watermark sync"라고 하자. 만일 시작점을 정확히 알지 못한다면 부정확한 워터마크 정보를 검출하게 되며, 또한 워터마크 길이를 알아야 반복적으로 삽입되어 있는 워터마크의 성공적인 검출이 가능하다. watermark sync의 경우는 (그림 6)과 같이 동기화를 위한 워터마크를 추가적으로 삽입하여 이를 먼저 검출하는 방법으로 sync를 맞춘다. 즉, Cb



(그림 6) 동기화를 위한 워터마크 삽입도

와 Cr영역에 동일한 워터마크가 반복적으로 삽입되는데 각각의 워터마크 앞에 동기화를 위해 M 길이를 갖는 1 정보를 Cb 영역에 삽입하고 Cr에는 M 길이를 갖는 0 정보를 삽입한다. 워터마크 검출 시에는 bit sync를 맞춘 후 워터마크를 검출하면서 M 개의 연속된 동일 정보가 나오는 경우를 먼저 검사하는 방법으로 watermark sync를 맞춘다.

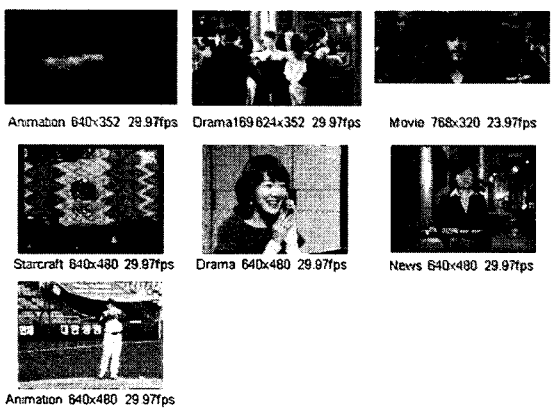
4. 실험 결과

실험에 사용된 동영상은 (그림 7)의 7가지 동영상 클립을 대상으로 하였으며, 각 샘플 동영상의 1000프레임을 워터마크 삽입에 사용하였다. 알고리즘은 Matlab으로 구현하였고 동영상의 캡처와 인코딩 등의 동영상 편집은 Adobe Premiere를 이용하였다. 삽입된 워터마크 정보량은 35bit이다.

실험 시 변수 값은 다음과 같이 설정하였다. 해당 값은 다양한 값을 이용한 실험을 통해 화질과 성능이 균형을 이루는 값을 선택하였다.

- N=3, P1=0, P2=0.5, P3=1.0, P4=1.5

실험 과정을 정리해보면 먼저 워터마크 삽입 과정으로 동영상 파일을 각 프레임별로 인접한 3 프레임의 Cb와 Cr 픽셀 값의 평균을 비교하고 워터마크 정보에 따라 3프레임의 픽셀 값을 조정하였다. 삽입 과정 이후 워터마크가 삽입된 동영상은 모니터를 통해 재생될 수 있는데 이때 캠코더로 촬영을 수행하였다. 4:3 영상 또는 3:2 영상의 경우 640x480의 크기로 30fps로 레터박스를 포함하여 촬영을 하였고, 16:9 영상이나 와이드 영상은 848x480의 크기로 30fps로 레터박스를 포함하여 촬영하였다. 레터 박스란 화면의 주위에 나타나는 검은 띠와 같은 테두리를 의미한다.

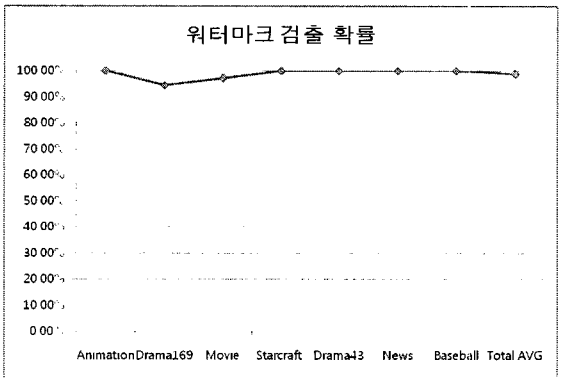


(그림 7) 실험에 사용된 동영상

실험 결과 캠코더로 촬영된 동영상에서 추출된 워터마크 검출 결과는 (표 2)와 같으며, 제안된 워터마크 기법은 동영상 캠코더 촬영 후에도 35bit의 워터마크를 높은 확률로 검출하는 것을 확인할 수 있다.

(표 2) 캠코더 촬영 후 워터마크 검출 확률 (%)

Animation	Drama	Movie	Starcraft	Drama43	News	Baseball	Average
100	94.29	97.14	100	100	100	100	98.78



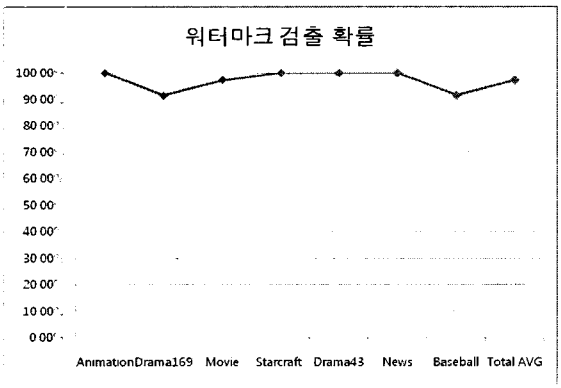
또한, 일반적으로 촬영된 영상은 데이터의 크기가 크기 때문에 DivX나 XviD등의 동영상 압축 방식으로 압축을 하여 저장되는데, 크기도 16:9 영상의 경우 848x480이 아닌 624x352로 변환되어 저장된다.

이와 같이 압축(DivX 1200bps로 인코딩)과 스케일링(848x480의 영상을 624x352로 변환)을 수행한

후 워터마크를 검출하여도 (표 3)과 같이 높은 검출 확률을 보임을 실험 결과 확인하였다.

(표 3) 캠코더 촬영 후 인코딩 적용된 동영상의 워터마크 검출 확률 (%)

Animation	Drama	Movie	Starcraft	Drama 43	News	Base ball	Average
100	91.43	97.14	100	100	100	91.43	97.14



촬영된 영상을 압축(인코딩)하게 되면 영상은 화질이 좀더 열화되어 워터마크의 추출 확률도 낮아질 수 있는데, 제안 기법의 인코딩 전후의 영상에 대한 워터마크 검출 확률의 차이는 (표 4)에서와 같이 매우 낮은 수준이다.

워터마크의 또 다른 성능지표인 화질 또한 디지털 시네마에서는 중요한 척도이다. (표 5)는 워터마크를 삽입한 동영상의 각 프레임을 원본 동영상 프레임과 비교하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 측정하고 평균을 낸 것이다.

(표 4) 촬영 영상의 인코딩 전후의 워터마크 검출 확률 편차

Animation	Drama	Movie	Starcraft	Drama 43	News	Base ball	Average
0	2.86	0	0	0	0	8.57	1.63

실험 결과 49.16dB에서 51.29dB 사이의 PSNR값이 측정되어, 평균 50dB에 가까운 높은 PSNR을 보임으로써 제안된 방식이 디지털 시네마에 적합한 매우 우수한 화질의 삽입 방법임을 확인할 수 있었다.

(표 5) 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR (dB)

Animation	Drama	Movie	Star craft	Drama 43	News	Base ball	Average
49.69	50.95	51.29	49.41	49.16	49.86	50.17	50.08

5. 결론

본 논문에서는 시간적으로 변화하는 색차 정보의 통계적 값을 변화시켜 워터마크를 삽입하고 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 공간 영역을 이용한 워터마크 삽입, 검출을 수행하므로 계산 복잡도가 높지 않으며, 화질 측면에선 인간 시각시스템에서 민감도가 낮은 Cb와 Cr을 워터마크 삽입에 사용하였고 픽셀 값의 변화를 프레임별로 전체적으로 변화시킴으로써 우수한 화질을 유지할 수 있었다. 실험 결과 캠코더 촬영의 경우에도 높은 워터마크 검출율을 보였는데, 캠코더 촬영에는 의도적이지 않은 다양한 기하학적인 변형이 있으므로(회전, 크기변형, cropping, 화면 떨림 등), 검출결과를 통해 제안 방법의 강인성이 매우 높음을 확인할 수 있고, 따라서 디지털 시네마의 유출 방지를 위한 포렌식 워터마킹 기법으로 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Digital Cinema Initiatives, "Digital Cinema System Specification", http://www.dcimovies.com, July 2005

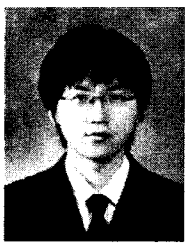
[2] J. Lubin, J. A. Bloom, and H. Cheng, "Robust, Content-Dependent, High-Fidelity Watermark for Tracking in Digital Cinema", Security and Watermarking of Multimedia Contents V, Ping Wah Wong, Edward J. Delp, Editors, Proceedings

of SPIE Vol. 5020, 2003

[3] A van Leest, J. Haitsma, T. Kalker, "On Digital Cinema and Watermarking", In Proceedings of SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents V, Wong, Ping Wah; Delp, Edward J., Vol. 5020, SPIE, Santa Clara, 2003

[4] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, "Digital Watermarking," Morgan Kaufmann Publishers, 2001

◐ 저 자 소 개 ◑



양 세 열(Seyol Yang)
2006년 서울시립대학교 컴퓨터통계학과 졸업(학사)
2008년 서울시립대학교 대학원 컴퓨터통계학과 졸업(석사)
관심분야 : 디지털 워터마킹, etc.
E-mail : seyol16@naver.com

최 혁(Hyuk Choi)
1996년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
1998년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
2002년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)
관심분야 : 디지털 워터마킹, 정보보호, 신호처리 등
E-mail : chyuk@venus.uos.ac.kr