creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

이학석사 학위논문

디지털 시네마의 유출 방지를 위한 시간적인 색차변화를 이용한 포렌식 워터마킹 기법

(Forensic watermarking using temporal chrominance differences for digital cinema)

2008 년 2 월

서울시립대학교 대학원

컴퓨터통계학과 컴퓨터학전공

양 세 열

디지털 시네마의 유출 방지를 위한 시간적인 색차변화를 이용한 포렌식 워터마킹 기법

(Forensic watermarking using temporal chrominance differences for digital cinema)

지도교수 최 혁

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함.

2007 년 12 월

서울시립대학교 대학원

컴퓨터통계학과 컴퓨터학전공

양 세 열

양세열의 이학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 이 동 희 (인)

심 사 위 원 김 진 석 (인)

심 사 위 원 최 혁 (인)

2007 년 12 월

서울시립대학교 대학원

국문초록

비디오 컨텐츠에 가시적 혹은 비가시적으로 정보를 삽입하는 기술을 비디오 워터마킹이라 한다. 비디오 워터마킹의 연구는 정지영상 워터마킹을 확장하여 비디오 워터마킹에 적용하는 방법, 비디오의 시간적인 특성을 이용하는 방법, 비디오 압축 포맷을 이용하는 방법 등이 연구되고 있다. 비디오 워터마킹은 일반적으로 저작권의 보호나 컨텐츠의 인증, 방송 모니터링 등의 용도로 사용되며, 디지털 시네마에는 이러한 비디오 워터마킹 기법을 극장에서의 촬영을 통한 영화의 유출을 방지하는 포렌식 워터마킹으로 이용한다.

본 논문에서는 극장에서의 캠코더 촬영을 통한 동영상의 유출 시 유출된 동영상에서 극장 정보와 촬영이 이루어진 시간정보를 추출 할 수 있도록 하는 포렌식 워터마킹 기법을 제안하였다. 유출된 동영상은 캠코더 촬영에 의해 발생하는 복합적인 기하학적 공격과 다양한 코덱을 이용한 압축이 수행될 수 있는 등 원본 영상과 비교하여 다양한 변형이 가해질 수 있다. 해당 기법은 이러한 경우에도 강인성을 보장할 수 있도록 동영상 이미지의 시간적인 편차 및 통계적 특성을 워터마크 삽입에 이용하였으며, 이미지의 시각적인 열화가 덜하도록 색차 영역에 워터마크를 삽입하였다.

실험 결과 제안 기법은 캠코더를 이용한 촬영 시 일어나는 기하학적 공격과 신호처리 공격에 강인한 특성을 나타내었으며, 공간영역에서 삽입, 추출과정을 수행하여 알고리즘의 복잡성이 낮으며 색차신호를 워터마크의 삽입에 이용하여 비시각적인 특성이 좋음을 확인하였다.

목차

국문초록 i

그림 목차 iv

표 목차 v

1. 서론 1

2. 관련연구 6

2.1. 워터마킹 개요 6

2.2. 기존 워터마킹 기법 12

2.2.1 비디오 워터마킹 기법 12

2.2.2 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법 14

2.3. 디지털 시네마의 보안 17

3. 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹 19

3.1. 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹 기법 요구사항 19

3.2. 포렌식 워터마킹 삽입 시스템 20

3.2.1. 동영상 특성 검토 20

3.2.2. 제안 방법 22

3.3. 포렌식 워터마킹 검출 시스템 26

4. 실험결과 및 성능분석 27

4.1. 실험 환경 및 제약 조건 27

4.2. 실험 영상 27

4.3. 실험결과 31

5. 결론 34

참고문헌 36
Abstract 39
감사의 글 40

그림 목차

그림 1-1 디지털 시네마 시스템 3
그림 2-1 전통적인 통신 시스템과 워터마킹 시스템 비교 9
그림 2-2 INFORMED WATERMARKING AND BLIND WATERMARKING ... 10
그림 2-3 COX의 SPREAD-SPECTRUM 방법 11
그림 2-4 DEW 삽입 알고리즘 12
그림 2-5 LPM을 이용한 워터마킹 15
그림 3-1 포렌식 워터마크 삽입과정 23
그림 3-2 워터마크 삽입 전후 프레임의 픽셀 평균 값의 변화 25
그림 3-3 포렌식 워터마크 검출과정 26
그림 4-1 실험에 사용된 영상 28
그림 4-2 원본영상과 공격을 받은 영상 30
그림 4-3 와이드 영상과 촬영된 영상 31

표 목차

표 3-1 DCI의 포렌식 워터마크 요구사항 20
표 3-2 인접 프레임의 유사도 22
표 4-1 실험에 사용된 영상의 크기와 초당 프레임 28
표 4-2 캠코더 촬영 후의 워터마크 검출 확률 32
표 4-3 캠코더 촬영과 인코딩 후의 워터마크 검출 확률 32

1. 서론

최근 컴퓨터, 소프트웨어, 네트워크 기술 등의 급속한 발전으로 많은 아날로그 기술들이 디지털 기술로 대체되고 있으며 멀티미디어 컨텐츠도 많은 컨텐츠들이 디지털화되고 있다. 디지털 컨텐츠의 경우 아날로그 컨텐츠와 달리 복제 시 컨텐츠의 변질이 없으며 복제와 이동이 손쉬운 장점이 있다. 그러나 이와 같은 점은 컨텐츠의 소유자나 판매자에게 컨텐츠를 안전하게 보관하고 유통시킬 수 있는 기술을 필요로 하게 한다. 디지털 워터마킹은 디지털 컨텐츠의 안전한 보관과 유통을 위한 하나의 안전장치로 사용되는 기술이다.

일반적으로 워터마킹 기법은 시각적(visible) 워터마킹, 비시각적(invisible) 워터마킹으로 크게 나눌 수 있다. 시각적 워터마킹은 로고와 같이 정지영상이나 비디오 신호에 삽입되거나 중첩되는 시각적인 패턴을 삽입하는 방법이고, 비시각적 워터마킹은 삽입하고자 하는 원본에 열화가 생기지 않도록 투명하게 컨텐츠에 삽입하는 것을 말한다 [1]. 비시각적 워터마킹은 다시 워터마크의 활용 용도에 따라 강인한(robust) 워터마킹, 연약한(fragile) 워터마킹, semi-fragile 워터마킹 등으로 분리될 수 있다 [2]. 강인한 워터마킹은 일반적으로 컨텐츠에 저작자의 정보를 삽입하고, 삽입된 컨텐츠에 대한 여러 변형에 의해서도 워터마크가 사라지지 않기 때문에 소유권을 보호하는데 목적을 둔 저작권 보호의 용도로 사용된다. 반면 연약한 워터마킹은 약간의 변형에 의해서도 쉽게 사라지는 워터마크로 저작물의 위조 또는 변조를 방지하기 위해서 사용된다. 연약한 워터마킹이 삽입된 저작물의 경우 컨텐츠 사용자가 일부를 변형시켰을 경우 변형된 부분의 워터마크가 쉽게 깨어져 조작된 부분을 확인할 수 있다. Semi-

fragile 워터마킹은 템퍼-프루핑(Tamper-Proofing) 워터마킹 기법이라고도 하는데, 컨텐츠의 무결성(integrity)을 입증할 수 있도록 해 주기 위해 워터마크가 JPEG 압축과 같이 비의도적인 변형에 대해서는 살아남지만, 기타 불법적인 영상 조작에 대해서는 깨지는, 즉 불법적인 조작과 합법적인 변형을 구별할 수 있는 기법을 말한다 [2].

디지털 워터마킹은 그 응용에 따라 여러 분야에서 사용될 수 있다. 소유권을 보호하는데 목적을 둔 저작권 보호, 컨텐츠의 내용이 조작되었는지 판별하는데 사용하는 컨텐츠 인증, 방송의 횟수나 정보를 자동으로 감시하고자 하는 방송 모니터링, 컨텐츠가 불법적으로 유통되었을 때 출처를 추적하기 위한 핑거프린팅, 하드웨어 장비를 제어할 수 있는 기기 제어 등의 여러 분야에 걸쳐 응용되고 있다 [2]. 이와 같이 디지털 워터마킹이 여러 분야에 응용되고 있는데, 각 응용분야에 따라 요구 조건이 다르다. 대표적인 요구 조건으로는 비가시성(invisibility), 강인성(robustness), 용량성(capacity), 검출성(detection) 등이 있다. 이와 같은 요구 조건은 상호 보안 (trade-off) 관계에 있어 특정 요구 조건을 높이게 되면 다른 조건이 낮아지게 된다. 따라서 각 응용분야에 맞게 요구 조건을 조절하여 워터마크를 삽입해야 한다 [2].

디지털 시네마는 영화의 촬영, 편집, 배급, 상영을 디지털 상에서 처리하는데 필요한 기술들을 의미한다. 디지털 캠코더나 카메라를 이용한 촬영과정, 디지털 컨텐츠 데이터를 컴퓨터에서 편집하는 과정, 하드디스크나 DVD, 광케이블, 위성 등을 통해 영화를 전송하는 배급과정, 기존 영사기를 대체하여 프로젝터를 통해 영화를 상영하는 과정 등등이 모두 이에 해당된다.

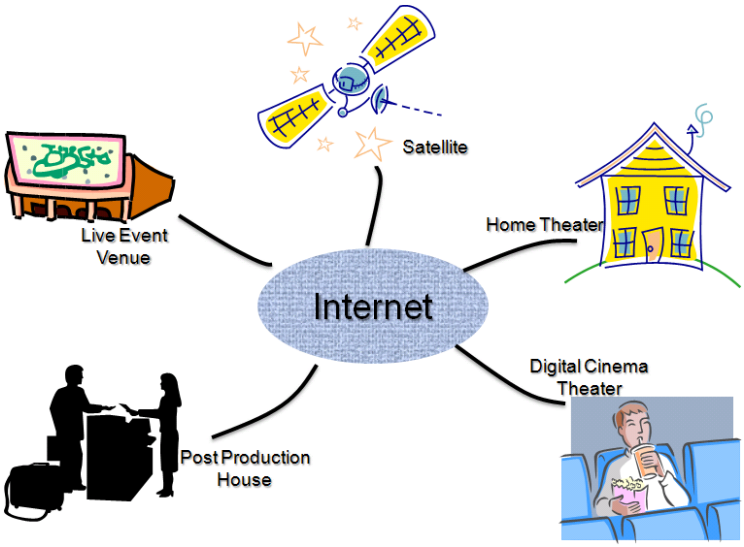

그림 1-1 디지털 시네마 시스템

디지털 시네마는 기존의 필름-영사기 방식에 비해 다양한 장점이 있다.

첫째, 영화의 다양한 버전들이 디지털 마스터로부터 최소한의 조정을 거쳐 만들어지기 때문에 원본의 화질을 거의 해치지 않고 균일한 품질의 영사를 가능케 한다.

둘째, 디지털 시네마는 필름 프린트와 운송에 따르는 비용을 크게 절약한다. 현재 전 세계적으로 필름 프린트 와 운송에 드는 비용이 연간 10억 달러에 이르고 있는데 디지털 시네마를 이용하면 이 비용을 크게 절감할 수 있으며, 필름 산업에 의한 공해도 줄일 수 있는 장점이 있다.

셋째, 디지털 배급은 배급 회사들과 극장주들에게 더 많은 유연성을 제공할 수 있다. 하나의 패키지화된 디지털 영화 데이터는 자막과 더빙 버전을 각각 복수로 여러 개 담을 수 있고 한 극장 내에서도 다양한 자막버전과 더빙버전을 상영할 수 있게 된다.

넷째, 디지털 시네마는 영사 품질의 향상을 가져온다. 디지털 영사는 기

존의 필름-영사기 방식에서 볼 수 있는 화면의 떨림이나 먼지 혹은 필름의 흠집으로 인한 화질 저하가 없으므로 필름보다 높은 화질로 연속적인 영사를 할 수 있다. 또한 무압축 오디오를 사용할 뿐만 아니라 더 많은 채널을 사용할 수 있는 것도 큰 장점이다.

다섯째, 원 소스 멀티 유징(One-Source-Multi-Using)이 가능하다는 점이다. 디지털 시네마에서 사용하는 컨텐츠 데이터는 손쉽게 DVD나 HDTV용 데이터로 변환 가능하며 필름을 이용한 이전의 방식보다 비용도 저렴하다. 또한 데이터 변환 시 기존 방식처럼 Analog-Digital 변환 과정을 거치지 않아도 되므로 화질의 열화가 없고 작업 시간도 단축된다.

디지털 시네마는 2005년 7월 DCI(Digital Cinema Initiatives)에 의해 스펙이 완성되었다 [3]. 스펙이 확정된 후 여러 나라의 극장에서 디지털 시네마가 널리 사용되기 시작했다. 그 결과 전 세계의 극장에서 디지털화된 배급을 통해 동시상영이 가능해졌지만 관객의 불법적인 촬영을 금지하기 위한 관리에 역량을 더욱 집중해야 할 필요성이 있다.

위와 같은 경우에 사용되는 워터마크 기법은 따로 포렌식 워터마킹(Forensic Watermarking)이라고 한다. 이 방식은 워터마크 정보가 삽입된 영상을 상영하여 그 컨텐츠를 녹화한 컨텐츠의 분석을 통해 어느 스크린에서 불법적인 촬영이 있었는지, 어느 시점에 촬영이 이루어졌는지 등까지도 추적이 가능하기 때문에 컨텐츠 유출의 경로를 파악할 수 있다.

DCI의 스펙 문서에서는 포렌식 워터마크의 알고리즘에 대해서 정의하고 있지 않고 요구 조건만 정의되어 있다. 요구 조건으로는 영화의 화질을 보장할 수 있는 비가시성과, 실시간 워터마크 삽입이 가능한 정도의 적은 계산량, 워터마크의 충분한 강인성, 충분한 워터마크 정보 삽입량이 있다 [3].

제안하는 알고리즘은 DCI의 스펙의 비가시성, 계산량의 적절성, 강인성, 용량성 등을 모두 만족한다. 인간의 시각시스템 (HVS: Human Visual System)에서 민감도가 낮은 컬러 영역에 워터마크를 삽입하여 워터마크가 삽입된 컨텐츠의 비가시성이 충분하도록 하였으며, 주파수 영역으로 변환하는 작업이 없이 공간(sptial) 영역에서 모든 작업을 수행하므로 계산량이 충분히 적어서 실시간으로 워터마크의 삽입이 가능하다. 또한 이미지의 시간적인 유사성을 활용해 워터마크의 삽입을 수행하여 복합적인 기하학적 공격이나 신호처리 공격으로부터 강인성을 가진다. 용량성의 측면에서 워터마크의 삽입 및 추출 시 DCI의 스펙 문서에 준하는 용량 이상이 삽입 가능하다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2장에서는 워터마킹 시스템과 디지털 시네마의 보안에 관련된 기존 연구를 기술하고, 3장에서는 디지털 시네마의 유출 방지를 위한 비디오 워터마킹 설계 알고리즘에 대해 기술하였으며, 4장에서는 구현 및 실험 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

이 장에서는 워터마킹에 대해 간략히 살펴보고 지금까지 제안된 워터마킹 기법들을 설명한다. 우선 워터마킹의 정의와 응용분야 및 요구 조건에 대해 알아보고 워터마킹의 전통적인 시스템에 대해 설명한다. 그리고 인지 시각을 고려한 워터마킹 기법들, 비디오 워터마킹 기법들과 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법들에 대해 설명한다. 또한 본 논문에서 제안하는 기법과 관련된 디지털 시네마의 기본적인 스펙과 디지털 시네마의 보안에서 언급하는 포렌식 워터마킹 기법의 요구사항에 대해 기술한다.

2.1. 워터마킹 개요

종래의 워터마킹 기법은 지폐나 서류 등에 특정 정보를 숨기기 위해, 지폐나 서류 등을 물에 적시고, 특정한 무늬 혹은 그림을 넣는 기술에서 유래되었다. 디지털 워터마킹은 이러한 워터마킹 기술을 디지털 컨텐츠에 적용 시킨 것으로 디지털 데이터에 가시적 (visible) 혹은 비가시적 (invisible) 으로 정보를 삽입하는 기술을 말한다.

디지털 워터마킹의 응용분야는 다음과 같다 [2].

(1) 저작권 보호 (copyright protection): 데이터의 소유권을 보호하는데 목적을 둔다. 데이터의 소유자의 고유한 정보를 삽입하여 소유권 분쟁이 일어났을 경우 워터마크를 검출함으로써 소유권을 주장할 수 있다.

(2) 컨텐츠 인증 (contents authentication): 컨텐츠의 내용이 훼손되

거나 변경되지 않았음을 증명하는데 사용한다. 컨텐츠가 조작되었는지를 판별하는데 사용한다.

(3) 방송 모니터링 (broadcast monitoring): 광고주가 원하는 날짜, 시간, 혹은 방송 횟수 등의 정보 등을 자동으로 감시하기 위해, 광고 내용에 워터마크를 삽입하여, 사람에 의해 수동적인 방송 감시를 자동으로 수행하기 위한 기법이다.

(4) 핑거프린팅 (fingerprinting): 컨텐츠가 불법적으로 유통되었을 때 출처를 알 수 있는 방법이다. 컨텐츠 구입자 각각을 지정할 수 있는 유일한 워터마크를 삽입하여, 데이터가 불법적으로 유통되었을 때 불법 복사의 근원지를 추적할 수 있다.

이 외에도 하드웨어 장치를 제어 할 수 있는 기기 제어 (device control), 저작자의 정보나 만들어진 시간 등의 컨텐츠의 부가적인 정보를 제공하는 contents labeling 등이 있다.

여러 분야에서 응용되고 있는 워터마킹은 각 응용분야에 따라 요구되는 조건이 다르다. 예로 저작권 보호의 경우 압축이나 다른 공격에 강인해야 되고, 컨텐츠 인증의 경우에는 조금의 수정에도 컨텐츠의 조작여부를 확인할 수 있어야 한다. 이러한 워터마킹 시스템의 요구 조건을 크게 4가지로 분류할 수 있다

(1) 비가시성 (invisibility): 워터마킹은 컨텐츠 데이터를 직접 변경해야하지만, 이러한 변경이 컨텐츠의 품질을 저하해서는 안된다.

(2) 강인성 (robustness): 컨텐츠에 압축이나 이미지 프로세싱, 잡음 등의 공격이 가해져도 워터마크를 검출 해 낼 수 있어야 한다.

(3) 용량성 (capacity): 워터마크는 컨텐츠의 품질 저하 없이 최대한 많은 양의 워터마크를 삽입해야 한다.

(4) 검출성 (detection): 워터마크 검출을 할 때 원본 컨텐츠를 이용할 것인지 (informed, non-blind), 원본 없이 검출할지 (blind)에 대한 결정이 있어야 한다.

이러한 각 요구 조건은 상호 보안 (trade-off) 관계에 있다. 강인성에 중점을 두면 용량성은 상승되지만 비가시성에 문제가 생길 수 있고, 비가시성에 중점을 두면 반대로 강인성에 문제가 생길 수 있다. 따라서 응용분야의 특성에 맞게 적절한 요구 조건을 정의하는 것이 중요하다.

디지털 워터마킹 시스템은 전통적인 통신 시스템과 유사하다. 그림 2-1에서 보듯이 워터마킹 시스템의 삽입부 (embedder)와 검출부 (detector)는 각각 통신 시스템의 channel encoder와 channel decoder에 대응된다. 워터마킹 시스템과 통신 시스템과 다른 점은, 워터마킹 시스템에서는 컨텐츠 (host signal)이 noise로 동작한다는 것이다.

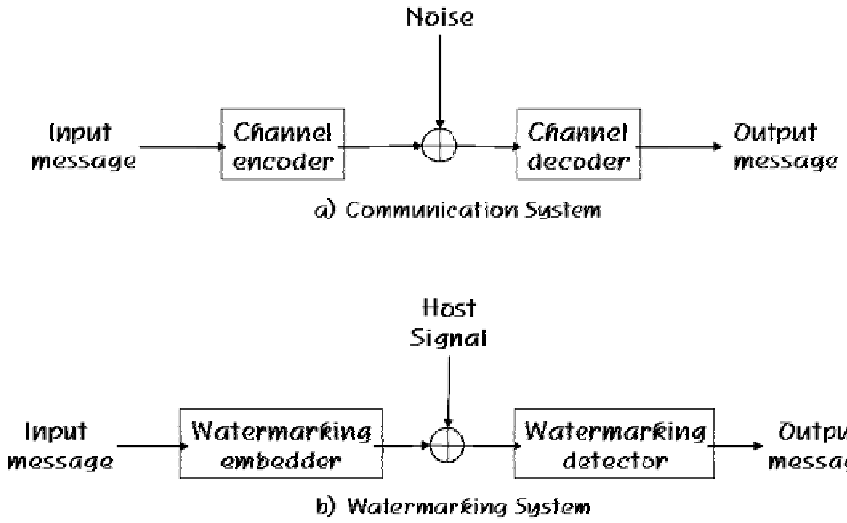

그림 2-1 전통적인 통신 시스템과 워터마킹 시스템 비교

그림 2-2는 워터마크를 삽입하고 추출하는 방법을 보인다. Input message m은 삽입하고자 정보를 나타내고, 워터마킹 인코더에서 워터마킹 키를 이용하여 워터마크 (W_a)를 생성한다. 원래의 매체 (이미지, 오디오, 혹은 비디오: C_O)에 W_a를 삽입하면서 워터마크가 삽입된 매체 (C_W)가 얻어진다. 여기에 이미지 처리나 통신상의 에러등의 외부 잡음 (n)이 추가되면 검출기에서는 삽입기에서 사용한 워터마크 키를 이용하여 message를 검출해낸다. 이 때 그림 2-2의 (a)와 같이 검출기에서 원래의 매체 (C_O)를 이용하는 경우를 informed watermarking 혹은 private watermarking이라 하고 (b)와 같이 원래의 매체를 이용하지 않는 경우를 blind watermarking 혹은 public watermarking이라 한다.

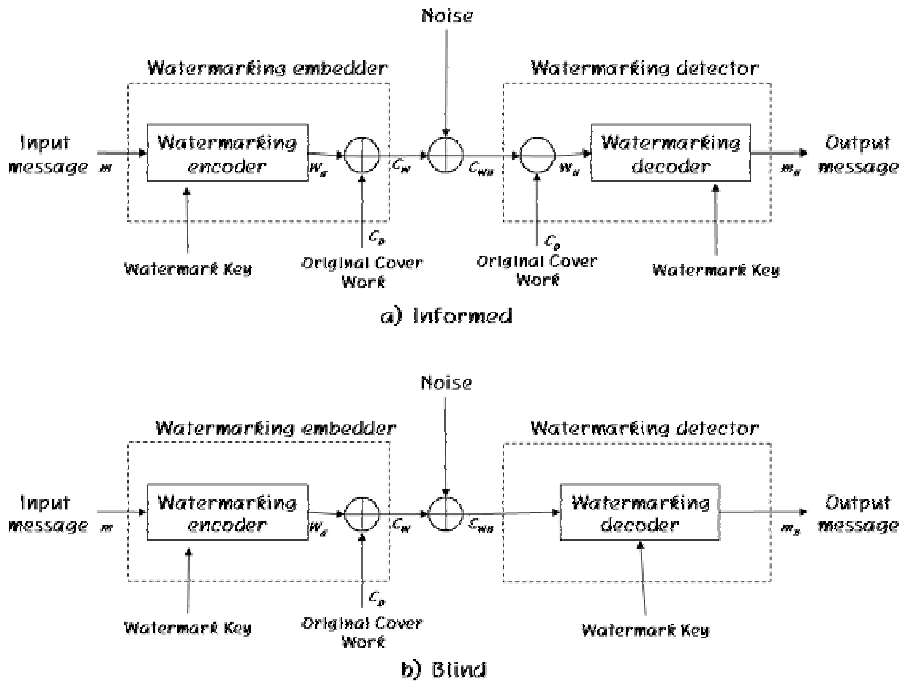

그림 2-2 Informed Watermarking and Blind Watermarking

워터마킹 모델 중 전통적인 워터마킹 모델들로는, spread spectrum 모델이 있다. spread spectrum은 필요한 대역보다 더 많은 대역을 이용하여 신호를 전송하는 통신 기술을 워터마킹 기술에 적용시켜 워터마크를 넓은 대역에 걸쳐 보내는 방법이다.

그림 2-3은 Cox의 방법으로 알려진 워터마킹 모델을 보여준다 [4]. 워터마크 삽입과정은 그림 2-3 (a)에서처럼 원 영상에 대해 전체 DCT (discrete cosine transform)를 수행한다. 워터마크 (w)로 평균 0, 분산 1인 Gaussian 분포를 갖는 랜덤 벡터를 생성하여 DC를 제외한 DCT 계수 중 큰 값 1000개에 수식 (2-1)과 같이 삽입한 후 영상 전체에 대해 역 DCT (inverse DCT)를 수행한다

$$v_k^{'} = v_k(1+\alpha w_k) \qquad (2-1)$$

워터마크 검출과정은 그림 2-3 (b)에서처럼 원본 영상과 워터마크 된 영상 모두에 DCT를 수행한 후 두 영상의 차를 구해 워터마크를 추출 (w^*) 할 수 있다. 추출된 워터마크와 삽입한 워터마크의 유사도 (similarity)를 수식 (2-2)와 같이 계산한다.

$$sim(w, w^*) = \frac{w^* \cdot w}{\sqrt{w^* \cdot w^*}} \qquad (2-2)$$

이 방법은 워터마크 정보가 데이터의 전 영역으로 확산되기 때문에 압축 등의 공격에 강인한 장점이 있는 반면 계수 선택의 모호함과 잡음 (Noise)이나 기하학적 변형에는 강인하지 못한 단점이 있다.

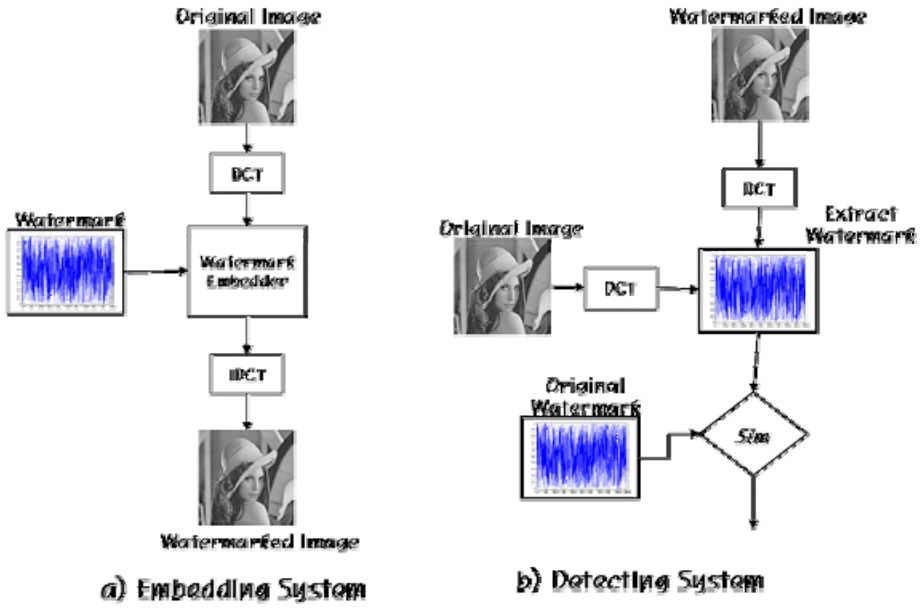

그림 2-3 Cox의 Spread-Spectrum 방법

2.2. 기존 워터마킹 기법

2.2.1 비디오 워터마킹 기법

비디오 워터마킹 기법은 (1) 정지영상 워터마킹 기법을 확장시켜 비디오 워터미킹에 적용시키는 방법, (2) 비디오의 특성인 시간적인 특성을 이용하는 방법, (3) 비디오 압축 포맷을 이용하는 방법으로 연구되고 있다 [5].

우선 정지영상 워터마킹 기법을 확장하여 비디오 워터마킹에 확장시켜 적용시키는 방법으로는, Langelaar와 Lagendijk의 DEW (Differential Energy Watermarking) 알고리즘이 있다 [6]. 이 알고리즘은 이미지를 일정한 크기(n)의 lc-region (label bit-carrying-region)으로 나눈후 다시 lc-region을 lc-subregion (n/2)으로 나눈다. 두 lc-subregion (n)들 사이의 에너지 차를 이용하여 워터마킹을 하는 기법으로, MPEG 압축된 비디오에서 I-frame에 적용시켰다. 그림 2-4는 DEW 알고리즘을 이용한 워터마킹 삽입 과정을 보여준다.

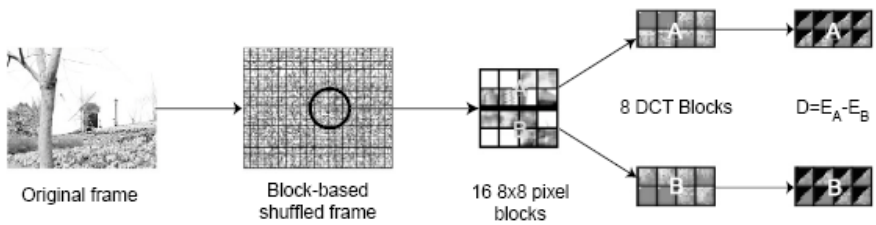

그림 2-4 DEW 삽입 알고리즘

둘째로 비디오의 고유한 특성인 시간적인 특성을 이용하는 기법이다.

Haitsma와 Kalker는 시간축에 따라 비디오의 각 프레임의 밝기 성분의

평균을 변화시키는 방법을 제안하였다 [7]. 워터마크의 시퀀스가 1이면 해당 프레임의 밝기 성분에 1을 더하고, 워터마크가 −1일 경우에는 프레임의 밝기 성분에 1을 빼는 방법이다.

Swanson 등은 비디오에 3D 웨이블렛 변환 (wavelet) 영역으로 변환하여, 워터마크를 삽입한다 [8]. 비디오의 하나의 프레임은 2D, 각 프레임을 연결시키는 시간축으로 구성되어 있다고 보고, 워터마크는 3D 웨이블렛 변환을 시간축 성분에 적용하여, 시간축 상의 웨이블렛 변환 영역에서 워터마크를 삽입하게 된다. 그리고 웨이블렛 역변환을 통하여 워터마크가 삽입된 비디오을 생성한다. 이 방법은 유사한 프레임에 유사한 워터마크를 삽입하게 되고, 다른 부분에는 다른 워터마크를 삽입하는 특성이 있다.

Deguillaume 등은 비디오를 고정길이의 프레임으로 나눈 후, 각 부분에 대해서 2D 프레임과 1D 시간축으로 하는 3D DFT (discrete fourier transform)를 적용시켰다 [9]. 워터마크는 3D DFT 계수의 중간 대역에 spread spectrum 방식으로 확산시켜 각 계수에 더하게 된다. 각 나누어진 부분에는 같은 워터마크가 삽입된다.

셋째로 비디오 압축(compression format) 스트림 상태에서 워터마크를 삽입하는 방법이다.

Langelaar 등의 [10] 방법에서는, 비디오의 프레임의 크기와 같은 크기로 −1 혹은 1을 생성하여 워터마크로 사용하고, 이를 압축된 스트림 내의 VLC (variable length codeword)에 워터마크를 더하게 된다.

Dugad와 Ahuja는 MPEG에 의한 비디오 압축시 I, P, B 프레임에 모두 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다 [11]. 각 I프레임에는 고정적인 워터마크를 삽입하고 P, B 프레임에는 MSE (mean square error)에 따라 적응적으로 워터마크 세기를 조절하였다.

비디오 워터마킹의 경우 이미지 워터마킹에서 고려하는 공격외에 비디오의 특성에 따라서 다양한 공격이 생길 수 있다. 예를 들어 각 프레임에 동일한 워터마크를 삽입하였을 경우 각 프레임을 조합하여 collusion 공격을 가할 수 있다. 또한 주기적으로 하나의 프레임을 제거하였을 경우 (frame skipping attack), 사용자는 큰 차이를 느끼지 못하지만 워터마킹에는 크게 취약할 수 있다. 또한 압축 표준에 크게 영향을 받을 수 있는 워터마킹 기법이 있을 수 있다.

2.2.2 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법

워터마크를 정확히 검출해내기 위해서는 워터마크가 삽입된 위치를 알고 있어야 한다. 그러나 워터마크가 삽입된 컨텐츠에 기하학적 공격을 가했을 경우 삽입된 워터마크의 위치가 변경되어 워터마크를 검출해내기 어렵다. 따라서 회전 (rotation)이나 크기 변경 (scaling) 혹은 이동 (translation) 등의 기하학적 공격에 강인하도록 워터마킹 모델을 설계하게 된다. 이러한 연구들은 크게 다음의 네가지로 나누어볼 수 있다.

1. Invariant transform을 기반으로 한 워터마킹 기법
2. 템플릿 (template)을 이용하는 기법
3. 영상의 특징점 (feature point)를 이용하는 기법
4. 주기적으로 워터마크를 삽입하고 auto-correlation을 이용하는 기법

첫째로 Invariant Transform을 기반으로 한 워터마킹 기법이다.

O' Ruanaidh 와 Pun 은 LPM (log polar mapping)을 사용하여 워터마크를 삽입하였다 [12]. 수식 (2-11)은 LPM의 정의이고, 수식 (2-12)는 LPM의 특성을 보여준다. 수식 (2-12)에서 보는 것과 같이 공간 영역에서 LPM 변환 영역으로 바꾸었을 때, 크기 변경 (scaling), 회전 (rotation), 이동 (translation)에도 변하지 않는 변환 영역을 만들 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 그림 2-5에서와 같이 워터마크를 삽입한다.

$$x = e^{\mu}\cos\theta \qquad y = e^{\mu}\sin\theta \tag{2-11}$$

$$(\rho x, \rho y) \leftrightarrow (\mu \log\rho, \theta)$$
$$(x\cos\delta - y\sin\delta, x\sin\delta + y\cos\delta) \leftrightarrow (\mu, \theta + \delta) \tag{2-12}$$

LPM을 사용하여 워터마킹을 사용하였을 경우에 회전, 크기 변경 등의 공격에는 강인한 면이 있지만, 이동공격에는 약한 단점이 있다.

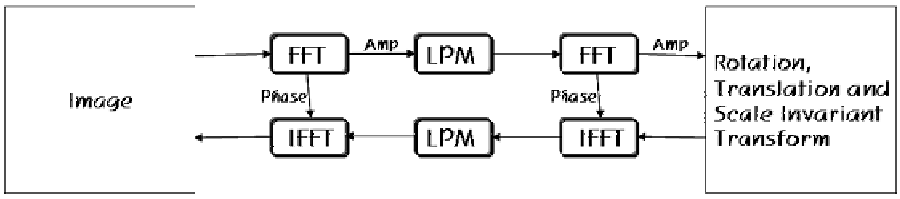

그림 2-5 LPM을 이용한 워터마킹

둘째로 템플릿 (template)을 이용하는 기법이 있다. 템플릿은 컨텐츠에 삽입되는 워터마크와는 달리 특정한 정보를 가지고 있지 않고, 컨텐츠가 기하학적 공격으로 인하여 바뀌었을 때 원상태로 복구하기 위한 툴이다.

S. Pereira 와 T. Pun 은 템플릿을 이용하여 워터마킹 하는 방법을 제안하였다 [13]. 템플릿은 영상에 DFT를 수행한 후, DFT 스펙트럼의 중간 영역에 원 (ring) 형태로 위치를 시킨다. 워터마크 검출시 검출된 템플릿

과 원래의 템플릿과 비교하여 기하학적 변형이 이루지지 않은 영상을 복원한다.

셋째로 영상의 특징점 (feature point)를 이용하는 기법이 있다. 특징점은 영상에서 edge나 corner등과 같이 영상의 두드러진 특징을 나타내는 부분이다. P. Bas 등은 특징점을 이용하여 기하학적 변형에 강인한 워터마킹 기법을 제안하였다 [14]. Harris detector [15], Achard-Rouquet detector [16], SUSAN detector [17] 등을 이용하여 영상의 특징점을 추출한다. 추출된 특징점으로 Delaunay tessellation을 수행하여 삼각형을 생성한다. 이렇게 만들어진 영상 내 삼각형에 워터마크를 삽입하게 된다.

특징점을 사용할 경우 특징점 검출기의 영향을 받게 된다. texture가 심한 영상의 경우 texture를 잡음 (noise)로 간주하여 특징점을 제대로 추출 못하는 경우가 발생 하기도 한다..

기하학적 변형에 강인한 기법 중 마지막으로 워터마크를 주기적으로 삽입하고 auto-correlation을 이용하여 기하학적 변형을 감지하는 기법이다.

Kutter는 동일한 워터마크를 2-D 이미지에 shift하면서 주기적으로 삽입하는 방법을 제안하였다 [18]. 워터마크는 {-1,1}로 구성하고 이미지의 밝기 (luminance)를 이용하여 워터마크의 세기를 조절하여 blue component에 삽입하였다. 워터마크 검출은 예측 필터 (prediction filter)를 사용하여 예측 에러 (prediction error)를 계산하고, 예측 에러를 auto-correlation을 수행하여 peak를 찾아낸다. 찾은 peak를 이용하여 기하학적 변형을 복구하고 워터마크를 검출하게 된다.

Su와 Kuo는 블록에 기반하여 워터마크를 주기적으로 삽입하였다 [19]. 먼저 블록 별 DCT를 수행한 후 각 블록의 DCT 중간 계수에 이미지 적응적 워터마크를 삽입한다. 그리고 Laplacian high-pass 필터를 이용해 로

컬 가중치를 가진 그리드 패턴 (grid pattern)을 삽입한다. 워터마크 검출은 auto-correlation을 이용하여 기하학적 변형을 복구하고 이미지 적응적 워터마크를 추출하게 된다.

2.3. 디지털 시네마의 보안

디지털 시네마는 컨텐츠의 모든 처리 과정을 디지털 상에서 처리한다. 복사를 하더라도 원본과 차이가 없는 디지털 데이터의 특성 상 디지털 시네마 데이터의 전송 중 유출이 일어난다면 원본과 동일한 데이터의 유출이므로 그 피해는 막대할 수밖에 없다. 또한 디지털 배포는 고속으로 전세계적인 배포가 가능하기 때문에 컨텐츠 제작자로서는 각 극장에서의 캠코더 촬영을 통한 컨텐츠의 유출에 대한 관리 소홀을 감시하기가 어렵게 된다. 디지털 시네마의 컨텐츠는 막대한 자본과 많은 사람들의 창작 작업을 통해 만들어지는데 이러한 관리 소홀로 컨텐츠가 유출 된다면 컨텐츠 제작자의 권리를 보호할 수 없게 된다. 따라서 이와 같은 유출을 방지하기 위한 기술이 DCI의 스펙 문서에 정의되어 있다 [3].

디지털 시네마의 보안을 위한 기술로는 DRM(Digital Right Management)과 포렌식 워터마킹이 사용되고 있다. DRM은 데이터의 암호화 복호화를 관리하며 키의 안전한 전송에 관련된 기술이며 데이터의 안전한 배포와 허가된 상영관에 한해서 디지털 시네마 컨텐츠의 상영을 허락하는 사용권을 관리하기 위해 사용한다. DRM을 통해 안전한 컨텐츠의 전송이 이루어진 후 상영의 권리를 가진 관리자를 통해 영화가 상영될 경우 극장정보와 시간의 정보가 포렌식 워터마킹 기술을 이용해 디지털 시네마의 비디오와 오디오 컨텐츠에 삽입되어 불법적인 촬영을 통한 유출을 방지

한다.

두 기술 중 DRM은 데이터의 암호화와 패키징을 통한 보안을 제공할 수 있으며 데이터의 외부 유출시에도 암호화의 키를 모르면 데이터를 복호화 할 수 없기에 기술의 표준화의 어려움만 극복하면 사용 중에는 보안 관리자의 부주의가 아니라면 데이터의 유출에 크게 문제될 사항이 없다. 하지만 DRM을 통한 보안에도 불구하고 영화가 재생되고 있는 동안에는 적절한 유출 방지 방법이 존재하지 않았다. 이에 대한 대안으로 나타난 기법이 유출된 영상에서 극장의 정보와 촬영 시각을 알아내는 디지털 포렌식 마크 기법이다.

디지털 시네마를 위한 디지털 포렌식 마크 기법은 컨텐츠를 재생 할 때 실시간으로 비디오와 오디오의 순수 데이터에 포렌식 마크(시간과 재생장소 등을 나타내는 데이터)를 삽입하는 것을 뜻한다. 이 기법을 이용하면 불법적인 촬영을 통해 유출된 데이터를 검사하여 촬영된 장소와 촬영 시각을 확인 할 수 있으며, 검출된 장소와 시각 정보를 통하여 더욱 효과적인 컨텐츠의 촬영 방지를 수행 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 포렌식 기법의 하나인 비디오에 포렌식 마크를 삽입하는 포렌식 워터마킹 기법을 제안한다.

3. 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹

이 장에서는 본 논문의 주제인 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹 기법에 대한 요구사항들과, 포렌식 워터마킹 기법을 제안한다. 우선, 본 논문에서는 디지털 시네마 서버로부터 불법적인 유출이 일어나는 형태나 상영중인 비디오 컨텐츠를 캠코더를 이용하여 캡쳐하고 이를 xvid 코덱 [20]을 이용하여 압축한뒤 유출 시킨다고 가정하였다.

3.1. 디지털 시네마를 위한 포렌식 워터마킹 기법의 요구사항

본 논문에서 제안하는 포렌식 워터마킹 시스템은 디지털 시네마의 유출 방지를 위한 워터마킹 기법으로, 표 3-1에서 확인할 수 있는 DCI의 요구사항 [3]을 만족하도록 설계하였다.

표 3-1 DCI의 포렌식 워터마크 요구사항

범주	요구사항	속성
일반적인 요구사항	삽입 가능 데이터량	5분 마다 35비트의 데이터 삽입
	계산량	실시간 삽입이 가능
강인성의 요구사항	기하학적 공격	크기 변경, 레터박스
		이동(Translation) & Cropping
		복합적인 기하학적 공격
	압축 공격	캠코더를 이용한 촬영
		Row bit rate의 압축
	신호처리 공격	여러 번의 D-A/A-D 변환
		Contrast 또는 Level의 변경

3.2. 포렌식 워터마킹 삽입 시스템

본 논문에서 제안하는 비디오 워터마킹 시스템은 영상 픽셀의 시간적인 특성을 워터마크 삽입에 이용한다. 일반적인 비디오 영상은 프레임간 유사도가 상당히 높다. 특히 YCbCr이라는 색공간으로 변환을 하였을 때 그 유사도는 더욱 높아지는데 이러한 유사도의 특성을 이용하여 각 프레임의 통계적인 값의 차이를 워터마크 삽입에 이용한다.

3.2.1. 동영상 특성 검토

일반적으로 컴퓨터에서 사용하는 이미지 파일 또는 동영상 파일은

RGB형태의 데이터로 저장이 되며, RGB는 각각 R(Red), G(Green), B(Blue)의 값을 의미한다. 목적에 따라 RGB 컬러 데이터의 다양한 정보화 방식(코딩방식)이 존재하는데 그 중 한 가지가 YCbCr이다.

YCbCr은 하나의 방송신호를 이용해 흑백텔레비전과 컬러텔레비전의 동시 사용이 가능하도록 하기위해 사용된 RGB컬러의 정보화 방식이다. YCbCr은 Y, Cb, Cr의 세가지 정보로 이루어지며 Y는 휘도를 나타내는 성분을 의미하고 Cb와 Cr은 색차성분을 의미한다.

인간의 시각시스템 (HVS: Human Visual System)은 휘도 성분인 Y에 시각적으로 매우 민감하며 색차성분인 Cb와 Cr에는 상대적으로 덜 민감하다. 따라서 휘도성분인 Y의 값을 변경하면 이미지의 손상을 쉽게 느낄 수 있고 그에 반해 Cb와 Cr의 값을 변경하는 것은 시각적으로 다소 느끼기 힘들다.

동영상의 인접 프레임은 상당히 유사하며 특히 RGB컬러 영역의 경우보다 YCbCr컬러 영역의 경우에 Cb와 Cr에서 그 유사성이 높다.

본 논문에서 제안하는 방식은 이러한 동영상의 이미지를 YCbCr로 변환하고 Y, Cb, Cr 중에서 Cb와 Cr을 워터마크 삽입에 이용한다. 동영상은 시간적으로 유사한 이미지들이 연속되는 경향이 있으며 그 중 색차신호인 Cb와 Cr 값의 평균은 유사성이 매우 높다. 이러한 연속적인 평균 값의 유사성은 단일 프레임 사이에서 95%가 넘는 확률을 보이며 다수의 프레임 사이에서도 90%가 넘는 유사도를 보인다. 이는 표 3-2를 통해 확인할 수 있다.

표 3-2 인접 프레임의 유사도

	Single Frame	Plural Frames	
Number of Frames	1Frame	3Frame	5Frame
Cb Similarity	95.34%	94.98%	93.44%
Cr Similarity	96.48%	94.21%	94.01%

표 3-2에서 보듯 Cb와 Cr값의 다수 프레임간 평균은 90%가 넘는 유사도를 보이며 이것을 변조하여 워터마크를 삽입하게 된다. 하지만 연속되는 단일 프레임을 워터마크 삽입에 이용하게 되면 촬영 후 프레임 변환과 동영상 압축, 프레임 삭제를 통해 워터마크가 제거될 수 있다. 이와 같은 공격에 강인하게 하기 위하여 본 논문에서는 연속되는 frame group을 워터마크 삽입에 이용한다.

제안하는 워터마크 방식은 주파수 영역이 아닌 공간영역을 워터마크 삽입에 이용하며, 픽셀 마다 다른 값의 변화를 주는 것이 아닌 전체 픽셀에 대한 동일한 값 변화를 주게 된다. 따라서 제안 방법은 주파수 변환과정을 거치지 않기 때문에 계산량이 많지 않고 전체적인 변화를 주기 때문에 특정한 패턴의 잡음이 생기지 않는 장점을 가진다.

3.2.2. 제안 방법

제안 방법은 영상의 Cb와 Cr 값 평균의 시간적인 차이를 워터마크 삽입에 이용한다. 우선 원영상의 프레임의 N개의 frame group으로(이후 N frame) 나누고 이들의 Cb(또는 Cr) 평균 값을 구하여 그 이후의 N frame의 Cb(또는 Cr) 평균 값과 비교한다. 두 평균 값을 비교하고 워터마크가 0인 경우에는 이전 N frame의 Cb값 평균과 이후 N frame Cb값의 평균을 유사하게 만든다. 워터마크가 1인 경우는 이전 N frame의 Cb값의 평균과 이후 N frame의 Cb값의 평균을 다르게 만든다. 그림 3-1은 워터마크 삽입 과정하는 과정을 보여주고 있다.

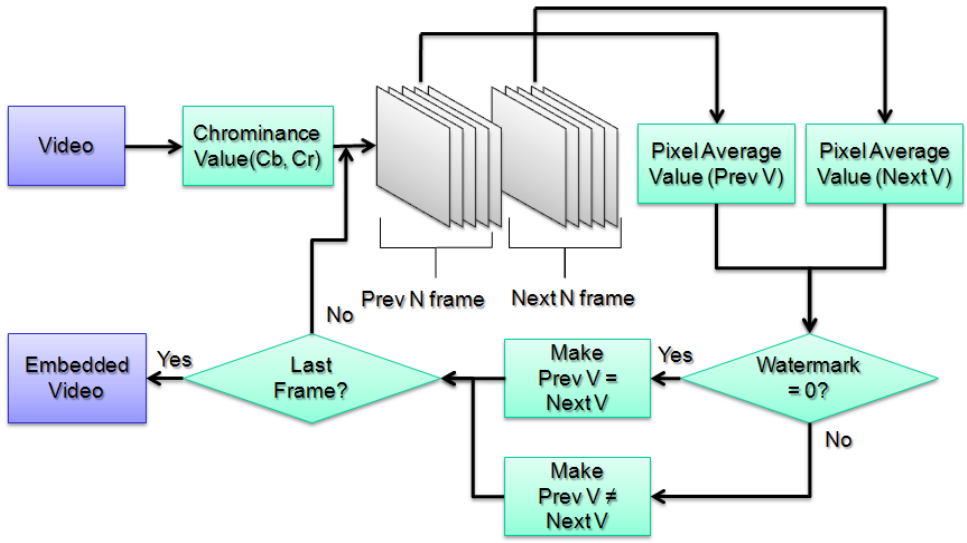

그림 3-1 포렌식 워터마크 삽입과정

위 삽입과정을 세분화하여 설명하면 다음과 같다.

Step 1: 원본 동영상 파일의 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 frame group의 픽셀 값의 평균이 차이 나지 않도록 평균이 낮은 frame group의 모든 픽셀 값을 픽셀 평균 값 차이만큼 더해준다. 워터마크가 1인 경우에는 두 frame group의 평균 값이 차이가 1이 되도록 해준다. 값이 유사할 경우에는 하나의 frame group의 픽셀 값들을 일정 값만큼 모두 변화시킨다.

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

워터마크의 삽입 강도를 조절하기 위해선 몇 가지 변수가 필요하다. 변수의 종류는 아래와 같다

- N :워터마크를 삽입 할 때 사용하는 하나의 frame group을 구성하는 프레임 수
- P1 : 워터마크가 0인 경우의 frame group간 평균의 차이
- P2 : 두 frame group 픽셀 평균의 차이가 이 값보다 크면 워터마크 정보는 1, 이 값보다 작으면 워터마크 정보는 0
- P3 : 워터마크가 1인 경우의 frame group 간 평균의 차이
- P4 : 두 frame group 픽셀 평균의 차이가 이 값보다 크면 워터마크의 삽입은 포기 → 화질의 열화를 막기 위해

변수들의 관계는 P1<P2<P3<P4과 같고 실험 시 N은 3으로 하여 하였다.

실험과 같이 N을 3으로 설정하고 P1은 0으로 설정한 상태에서 9프레임의 동영상에 워터마크 메시지로 1 0을 삽입하는 경우 픽셀 평균 값은 그림

3-2와 같이 변화한다.

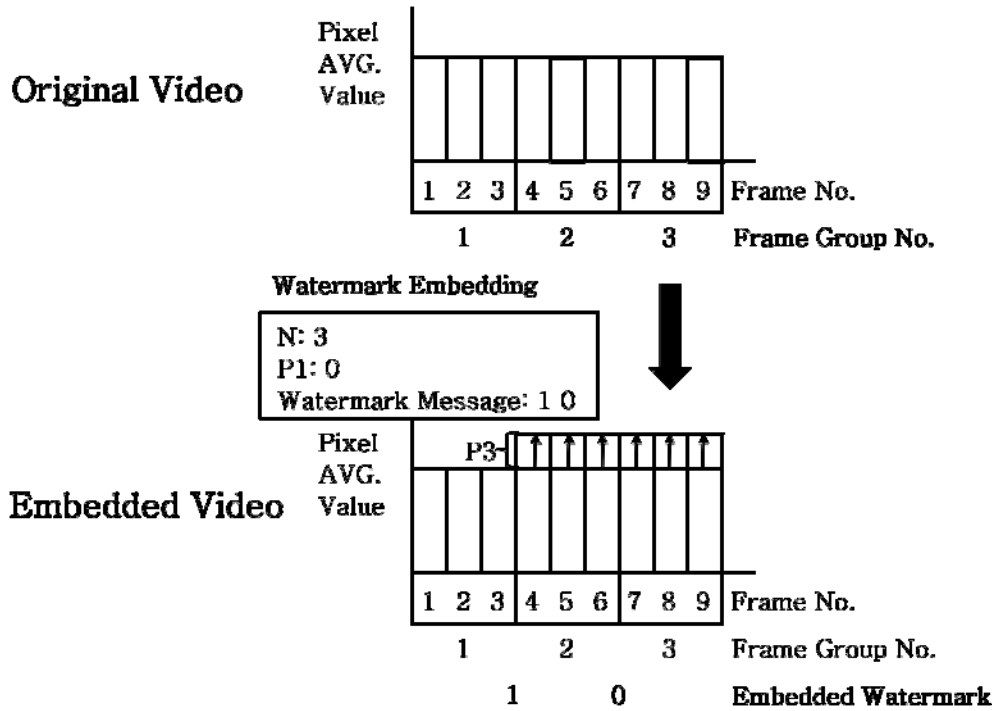

그림 3-2 워터마크 삽입 전후 프레임의 픽셀 평균 값의 변화

워터마크의 삽입은 위 그림처럼 프레임을 N개(위의 경우 3개)의 단위로 묶어 group을 짓고 삽입될 워터마크 정보가 1이고 그림에서처럼 첫번째 frame group과 두번째 frame group처럼 픽셀의 평균 값 차이가 없는 경우 두번째 frame group을 구성하는 각 프레임의 픽셀 값들에 P3의 값을 가산하여(혹은 감산하여) 그 차이를 P3만큼 벌어지게 한다. 반대로 삽입될 워터마크 정보가 0인 경우 두번째 frame group과 세번째 frame group처럼 픽셀의 평균 값 차이가 P1만큼 좁아지도록 한다. 위 그림에서는 P1을

0으로 설정하였기 때문에 두 frame group의 픽셀의 평균 값 차이가 0이 되도록 세번째 frame group의 픽셀 값들에 모두 P3의 값을 합산하였다.

3.3. 포렌식 워터마킹 검출 시스템

워터마크 검출 알고리즘은 워터마크의 삽입 알고리즘과 유사하다. 그림 3-3은 검출 과정을 보이고 있다.

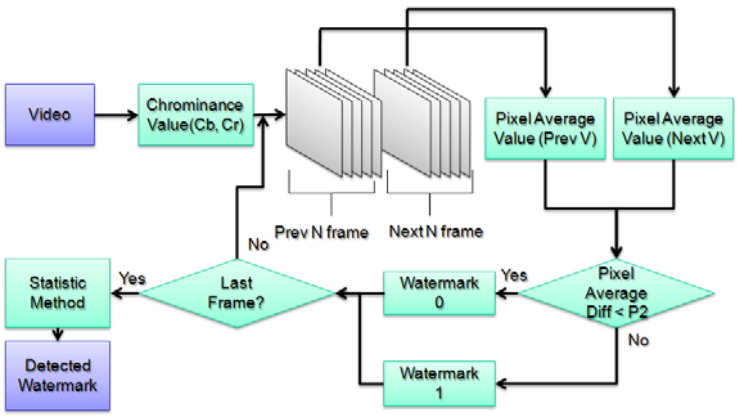

그림 3-3 포렌식 워터마크 검출과정

워터마크 검출 과정은 픽셀의 평균 값을 구하는 과정까지 삽입 알고리즘과 동일하며 이후 frame group 픽셀 평균의 차이가 P2와 비교하여 크거나 같으면 워터마크 값은 1, 그 외의 경우에 워터마크 값은 0이 된다. 워터마크는 반복 삽입이 되어있기 때문에 검출 시에는 워터마크를 누적하여 저장한 후 통계적인 방법을 이용하여 워터마크 값을 검출한다.

4. 실험결과 및 성능분석

4.1. 실험 환경 및 제약 조건

실험 환경은 다음과 같다.

- CPU: Intel Core2Duo Q6600 2.4GHz
- RAM: 4GB
- OS: Microsoft Windows XP
- Moniter: LCD 30 inch
- Camcorder: Sony DCR-SR300
- Programming Language: Visual C++ 6.0
- Xvid 인코더와 디코더는 1.1.3-28062007 버전 [20]을 사용

본 논문에서는 극장과 동일한 실험 환경을 갖추기 어렵기 때문에 대형 모니터를 1미터 거리에서 촬영한 후 촬영된 영상을 다시 Xvid로 인코딩하여 나온 결과 파일을 검사하여 워터마크의 정보를 확인하는 방법으로 실험을 진행하였다.

4.2. 실험 영상

실험에 사용된 영상은 애니메이션, 드라마, 영화, 게임, 뉴스, 스포츠의 다양한 분야의 대표적인 영상들을 사용하였다. 표4-1은 각 영상들의 크기와 초당 프레임의 수를 보여주고 있다. 또한 그림 4-1은 각 영상들을 보

여주고 있다.

표 4-1 실험에 사용된 영상의 크기와 초당 프레임

Clip		Drama	Sports	Game	News	Movie	Anima-tion
size	width	640	640	640	640	768	624
	height	480	480	480	480	320	352
Frame Per Second		29.97	29.97	29.97	29.97	23.97	29.97

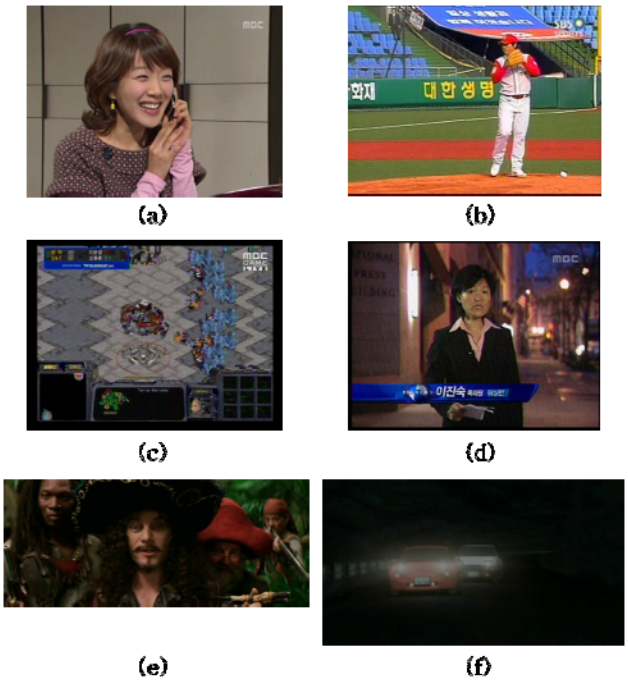

그림 4-1 실험에 사용된 영상

(a): Drama, (b): Sports, (c): Game

(d): News, (e): Movie, (f): Animation

위의 영상 중 Drama의 경우는 화면전환이 적고 움직임이 미세하며 정적인 특징이 있으며 Sports 영상은 지속적인 화면의 전환과 사물의 빠른 움직임이 있다. Movie의 경우는 화면의 비율이 2.35:1로서 캠코더로 촬영을 하는 경우 좌우가 잘리거나 위 아래에 레터박스가 들어가는 경우가 생기며 초당 프레임 수가 23.97프레임으로 캠코더와 다른 프레임을 갖는다. Animation의 경우에도 16:9의 화면 비율을 갖고 있어서 캠코더 촬영 시 cropping이 일어나거나 letterbox가 들어가게 되며 화면이 전체적으로 단조롭고 짧고 빠른 화면 전환이 있다. 이외에 Game은 기계적기고 어두운 색감을 갖고 있으며 News는 정적이며 화면 전환이 거의 없다.

촬영 중에는 Projection과 Rotation, LetterBox 등의 비의도적이거나 의도적인 워터마킹에 대한 공격이 자주 수행된다. 따라서 실험에서는 카메라의 설정과 각도를 다양하게 하여 촬영을 수행하였으며 촬영에 사용된 원본 영상과 각각의 공격을 받은 샘플 이미지는 아래 그림 4-2에서 볼 수 있다.

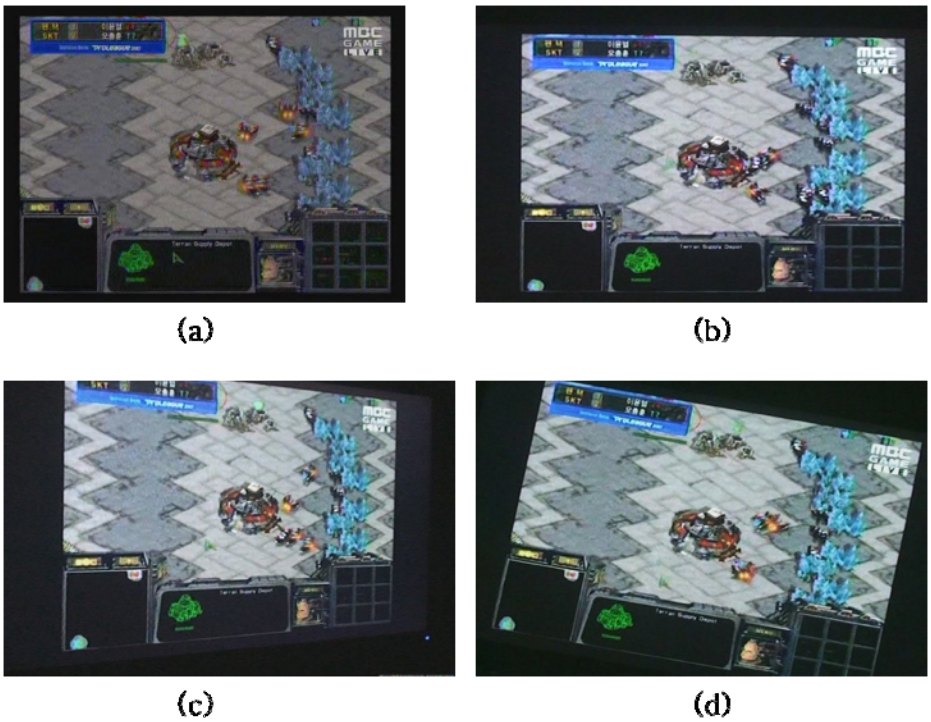

그림 4-2 원본영상과 공격을 받은 영상

(a): Original Video, (b): Camcorder Recoding Attack

(c): Projection Attack, (d): Rotation Attack

최근 영화의 화면 비율이 더욱 와이드해지면서 16:9 혹은 2.35:1의 비율을 가지는 영화들이 많이 나오고 있다. 이런 영화를 상영하는 경우 워터마크의 추출이 이루어지는지 확인하기 위하여 2.35:1의 비율을 가지는 영화를 3:2의 비율로 촬영을 수행하였으며 그 샘플 이미지는 그림 4-3에서 확인할 수 있다.

(a)

(b)

그림 4-3 (a): 와이드 영상, (b): 촬영된 영상

4.3. 실험결과

실험은 1000프레임(약 30초)의 길이를 갖는 6가지의 원본 동영상에 35비트의 워터마크를 반복적으로 삽입 후 삽입된 컨텐츠를 캠코더를 통해 촬영하는 방식으로 진행하였다. 촬영된 결과물에 Virtual Dub[21]을 이용하여 Xvid 코덱의 인코딩을 완료한 결과 파일에서 워터마크를 추출하였다. 원본의 크기와 비율이 다양하기 때문에 촬영을 수행할 때(640x480으로 촬영) Animation이나 Movie의 경우 좌우가 다소 잘리는 cropping이 발생하였고 위아래로는 letterbox가 들어가는 공격이 수행되었다. 촬영을 통해 나온 결과물에서 워터마크를 추출한 결과는 아래 표 4-2에서 확인할 수 있다

표 4-2 캠코더 촬영 후의 워터마크 검출 확률

Clip	Drama	Sports	Game	News	Movie	Anim-ation	AVG
%	94.29	100	100	100	97.14	100	98.57

표 4-2에서 나타난 것처럼, 제안된 워터마크 기법은 1000프레임의 약 30초 분량의 동영상 캠코더 촬영 후에도 35bit의 워터마크를 높은 확률로 검출하는 것을 알 수 있다.

일반적으로 촬영된 영상은 2시간에 10기가 정도로 원본의 크기가 크기 때문에 Xvid등의 동영상 압축 방식으로 압축을 하여 저장 혹은 공유를 한다. 또한 캠코더는 일반적으로 720x480의 해상도로 촬영을 하는데 해상도에 따른 용량의 증가를 고려하여 640x426 등의 해상도로 변환을 하는 경우가 많다. 따라서 이처럼 많이 사용되는 압축 공격(Xvid 1200bps로 인코딩)과 스케일링 공격(720x480의 영상을 640x426으로 변환)을 수행 후 워터마크를 검출한 경우 표 4-3과 같은 검출 확률을 보인다.

표 4-3 캠코더 촬영과 인코딩 후의 워터마크 검출 확률

Clip	Drama	Sports	Game	News	Movie	Anim-ation	AVG
%	91.43	91.43	100	100	97.14	100	97.14

표에서 나타난 것처럼, 인코딩과 스케일링 공격을 받은 컨텐츠에서 워터마크를 검출하는 경우에도 대부분의 경우 캠코더를 통한 촬영 원본을 이용한 검출 결과와 크게 차이나지 않는 결과를 보여줬다. 하지만 Sports처럼 지속적인 움직임이 있는 경우에는 다른 영상에 비해 인접 프레임의 유사도가 떨어지며 같은 비트레이트로 인코딩을 하는 경우에도 더 낮은 압축 효율을 보여 화질의 저하가 된다. 따라서 다른 영상과 다르게 10%에 가까운 검출률의 저하가 나타난 것으로 보인다.

캠코더를 이용한 촬영을 수행 할 때 원본영상과 동일한 픽셀위치를 유지하면서 촬영을 하는 것은 불가능하며 미세한 회전과 이미지의 이동, cropping, letterbox 등의 공격이 복합적으로 수행된다. 또한 임베딩 된 영상의 재생 프로그램이나 그래픽 카드, 모니터에서 수행하는 다양한 신호처리 과정이 있으며, 촬영 중 캠코더의 화이트 밸런스 조절이나 초점의 조절로 복합적인 신호처리 공격이 일어나게 된다.

제안한 워터마킹 기법은 시간적인 유사성을 워터마크의 삽입에 이용하였는데 일련의 신호처리 공격이나 기하학적인 공격은 모든 프레임에 동일하게 적용되기 때문에 프레임의 시간적인 유사성이나 통계적인 값의 변화는 크게 변하지 않게 된다. 따라서 캠코더 촬영과 인코딩을 통한 복합적인 공격에도 워터마크는 강인성을 보장할 수 있으며 실험 결과로써 확인할 수 있다. 또한 DCI 스펙에서 요구하는 35bit/5min을 상회하는 35bit/30sec에서 위와 같은 성능을 보여줌으로서 워터마크의 충분한 용량성을 보임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 디지털 시네마의 불법적인 캠코더 촬영을 통한 유출을 방지하기 위한 포렌식 워터마킹 기법을 제안하였다. 제안 방식은 시간적으로 변화하는 색차정보를 이용하여 워터마크를 삽입하고 검출하는 알고리즘을 보였다.

제안 알고리즘은 원본 영상을 YCbCr의 색공간으로 변형하여 시간적인 통계 값의 변화가 적고 인간 시각이 둔감한 Cb와 Cr의 영역을 워터마크 삽입에 이용하였다. Cb와 Cr의 값은 인접 프레임의 시간적인 통계 값의 유사도가 90%이상으로 높으므로 인접한 프레임의 색차 값은 같다는 가정을 할 수 있었고, 그 차이 값을 변경하는 방법으로 워터마크의 삽입을 수행하였다.

제안 알고리즘은 공간 영역에서 워터마크 삽입과 추출을 수행하여 워터마크의 삽입 및 검출의 계산 복잡도가 낮으며, 인간의 시각시스템(HVS)에 민감도가 낮은 Cb와 Cr의 색차 영역을 워터마크 삽입에 사용하여 지각하기 어려운 화질의 차이를 보여주며 전체적인 픽셀 값의 변화를 주어 국지적인 영상의 화질 저하 때문에 일어나는 이질감을 느끼지 않게 한다. 또한 다양한 환경에서의 불법적인 촬영 시 일어날 수 있는 cropping, 레터박스, 프레임 변환, 크기변형, 압축, 회전, 화면 떨림 등의 다양한 공격 후 Xvid를 통한 인코딩 후에도 높은 확률로 워터마크가 검출되었음을 보였다.

현재 3프레임 마다 1bit의 정보를 삽입할 수 있는데 실제 사용시에는 많은 워터마크의 삽입이 가능할수록 유리하므로 앞으로는 영상의 영역을 구분하여 워터마크의 삽입 양을 증가시키는 방식이 필요하다고 생각된다. 또한 현재 프레임 내의 모든 픽셀 값을 동일하게 변화시키고 있는 삽입 방법

에서 인간의 시각 시스템에 덜 민감한 부분을 더 많이 변화시키고 민감한 부분을 덜 변화시키는 방법을 이용하여 시각적인 특성과 강인성의 개선을 도모할 수 있다. 또, RGB와 YCbCr에서의 워터마크 성능에 대한 연구만을 수행하였는데 다른 색공간에서의 제안된 기법의 성능에 대한 연구를 수행하여 더 적합한 색공간을 확인하는 것 또한 향후 연구 과제이다.

참고문헌

[1] S. Katzenbeisser and F. A. P. Petitcolas, Information Hiding techniques for Steganography and Digital Watermarking, Norwell, MC, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.

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

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

[4] I. Cox, J. Kilian, F. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," IEEE Trans. Image Proc. vol. 6, no. 12, Dec. 1997.

[5] G. Doerr and J. L. Dugelay, "A Guide Tour of Video Watermarking," Signal Processing: Image Communication, 18(4):263-282, 2003.

[6] GC Langelaar and RL Lagendijk, "Optimal differential energy watermarking of DCT encoded images and video," IEEE Trans. Image Proc., vol. 10, no. 1, pp. 148-158, 2001.

[7] J. Haitsma and T. Kalker, "A Watermarking Scheme for Digital Cinema," Proc. IEEE Int. Conf. Image Proc., pp.487-489, 2001.

[8] M. D. Swanson, B. Zhu and A. H. Tewfik, "Multiresolution Scene-Based Video Watermarking Using Perceptual Models," IEEE J. Selected Areas in Communications, vol.16, no.4, pp.540-550, May 1998

[9] F. Deguillaume, G. Csurca, J. O'Ruanaidh, and T. Pun, "Robust 3D DFT Video Watermarking," Proc. SPIE In Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3971, pp.113-124, 1999.

[10] Langelaar, G.C., Lagendijk, and R.L., Biemond, "Real-time labeling of MPEG-2 compressed video," J. Vis. Commun. Image Representation, vol. 9, no. 4, pp. 256-270, 1998.

[11] R. Dugad, N. Ahuja, "A Scheme for Joint Watermarking and Compression of Video," Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, pp.80-83, 2000.

[12] J.J. O' Ruanaidh and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant digital image watermarking," Proc. IEEE Int. Conf. Image Proc., pp. 536 -539, 1997.

[13] S. Pereira and T. Pun, "Robust template matching for affine resistant image watermarks," IEEE Trans. Image Proc., vol. 9, no. 6, June, 2000.

[14] P. Bas, JM Chassery, and B. Macq, "Geometrically invariant watermarking using feature points," IEEE Trans. Image Proc., vol. 11, no. 9, pp. 1014 1028, Sept. 2002.

[15] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector", Proc. Alvey Vision Conf., Univ. Manchester, pp. 147-151, 1988.

[16] J. Devars, C. Achard-Rouquet, and E. Bigorgne, "Un detecteur de point carateristiques sur des images multispectrales. extension vers un detecteur sub-pixellique," Proc. GRETSI 99, pp. 627 630,

Sept. 1999.

[17] SM Smith and JM Brady., "Susan – a new approach to low level image processing," Int. J. Com. Vis., vol. 23(1), pp. 45 78, May. 1997.

[18] M. Kutter, "Watermarking resisting to translation, rotation, and scaling," Proc. of SPIE Int. Conf. on Multimedia Systems and Applications, vol. 3528, 1998, pp. 423-431.

[19] P.-C. Su and C.-C. J. Kuo, "Synchronized detection of the block-based watermark with invisible grid embedding," Proc. SPIE Electronic imaging (Security and Watermarking of Multimedia Contents III), 2001.

[20] http://www.xvid.org/Downloads.15.0.html

[21] http://www.virtualdub.org/

Abstract

Video watermarking hides information (e.g. owenership, recipient information, etc) into video contents. Video watermarking research is classified into (1) extension of still image watermarking, (2) use of the temporal domain features, and (3) use of video compression formats. In Digital Cinema field, video watermarking can provide forensic tracking. This video watermarking for Digital Cinema is called as forensic watermarking.

In this paper, we propose a forensic watermarking scheme for Digital Cinema to resist camcorder recoding attack and other complex attacks. Proposed method's process is run in spatial domain and uses differences of temporal chrominance statistical values. Various requirements about robustness, capacity, invisibility and complexity from DCI specification are satisfied by this method.

We analyzed our forensic watermarking for Digital Cinema and experimented with several video clips. Experimental results show that our forensic watermarking method is robust to attacks and processing, such as camcorder recording, resizing and video compression.

감사의 글

대학의 정문에 설레는 마음으로 들어왔던 발걸음이 어제처럼 느껴지는데 벌써 석사과정을 마치고 논문을 마무리 지었다니 그 짧지 않은 세월이 마치 한순간처럼 느껴지기도 합니다. 하지만 천천히 돌이켜보면 어느 한 순간 소중하지 않은 시간이 없었고 열정을 바쳤던 소중한 시간이었던 것 같습니다. 또한 이 기간동안 많은 분들의 도움이 없었으면 지금의 제가 없었으리라 생각됩니다.

먼저 석사과정 동안 부족한 저를 항상 열심히 지도해주시고 관심을 가져주신 최 혁 지도 교수님께 머리숙여 감사의 말씀을 드립니다. 교수님의 말씀과 가르침을 항상 제 마음에 새기고 앞으로도 더욱 노력하여 어디에서나 부끄럽지 않은 제자가 되도록 하겠습니다. 그리고 저의 학부 때부터 대학원 생활의 동고동락을 함께 해온 연구실의 대장 종현형과 인생의 선배이자 소중한 충고와 칭찬을 해주시는 인혁형, 자주는 못뵈더라도 언제나 연구실의 든든한 큰형님이신 은철 형님께 모두 감사드립니다.

어머니, 아버지께 항상 고맙다는 말씀을 못드렸는데 학부와 석사기간 동안 다른 것에 신경 안쓰고 학업에만 열중할 수 있도록 물심양면으로 주신 큰 은혜 항상 잊지 않고 열심히 살아가겠습니다. 또 힘든 석사과정 속에서도 항상 웃음과 여유를 잃지 않고 넓게 크게 생각할 수 있는 사람이 되도록 도와준 여자친구 선이에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 학부시절부터 함께 고민하고 공부하며 우정을 함께 해온 승용, 승진, 영민, 문열, 지훈과 일일이 이름을 적지 못한 소중한 친구들에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.