

이학석사 학위논문

디지털 워터마킹 평가방법론에
관한 고찰

지도교수 박 지 환

이 논문을  학위논문으로 출함



2002년 2월

부경대학교 대학원

전자계산학과

김 은 실

김은실의 이학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주 심 이학박사 윤 성 대 

위 원 공학박사 김 영 봉 

위 원 공학박사 박 지 환 

목 차

표 목 차	ii
그 립 목 차	iii
ABSTRACT	v
1. 서 론	1
2. 디지털 워터마킹 기법	3
2.1 디지털 워터마킹의 구성	3
2.2 디지털 워터마킹 기법의 필수 조건	6
2.3 기존의 디지털 워터마킹 기법	7
3. 디지털 워터마킹 기술의 분류와 표준화 활동	13
3.1 디지털 워터마킹 기술의 분류	13
3.2 디지털 워터마킹 기술 표준화 활동	22
4. 디지털 워터마킹의 평가항목	25
4.1 구조상의 평가항목	25
4.2 운용상의 평가항목	26
4.3 JEITA의 내성에 관한 평가항목과 기준	27
5. 시뮬레이션 및 결과	34
5.1 시뮬레이션 환경	34
5.2 JEITA 평가항목과 기준에 따른 평가 시뮬레이션 및 결과	35
5.3 StirMark 평가항목에 따른 시뮬레이션 및 결과	42
6. 결 론	45
참고문헌	46

표 목 차

표1. 공간주파수 처리의 파라메타	32
표2. 시뮬레이션 환경	34
표3. LPZ 방식의 평가결과(Lena 영상)	40
표4. DigiMarc의 평가결과(삽입강도 4)	41
표5. EIKONA의 평가결과(Lena 영상)	41
표6. KAIMark의 평가결과(Lena 영상)	42
표7. StirMark에 의한 평가결과(EIKONAmark, PictureMarc)	43
표8. StirMark에 의한 평가결과(Waterstamp, SureSign)	44

그림 목 차

그림1. 워터마크 삽입 처리	3
그림2. 비공개 디지털 워터마킹의 추출 처리(형태 I)	4
그림3. 비공개 디지털 워터마킹의 검출 처리(형태 II)	5
그림4. 공개 디지털 워터마킹의 추출 처리	5
그림5. 디지털 워터마킹 알고리즘의 분포	21
그림6. Lena 원 영상	35
그림7. 워터마크 삽입 영상(LPZ 방식)	35
그림8. Girl 원 영상	35
그림9. 워터마크 삽입 영상(DigiMarc)	35
그림10. 인덱스 칼라(Lena)	36
그림11. 인덱스 칼라(Girl)	36
그림12. JPEG 압축 I (d)	36
그림13. JPEG 압축 II (d)	36
그림14. JPEG 압축/신장	36
그림15. 트리밍 I (a)	37
그림16. 트리밍 II (a)	37
그림17. 확대 I	37
그림18. 확대 II	37
그림19. 축소 I (a)	38
그림20. 축소 II (a)	38
그림21. 계조변환(RED 채널)	38
그림22. 사영변환 I (a)	38
그림23. 사영변환 II (a)	38
그림24. 공간주파수 변환 I (d)	39
그림25. 공간주파수 변환 II (d)	39

그림26. 프린터 · 스캔 I (a)	39
그림27. 프린터 · 스캔 II (a)	39
그림28. 중첩합성(gray 채널)	40
그림29. 중첩합성(R 채널)	40

Notes on Evaluation Methodology of Digital Watermarking

Eun Sill Kim

*Department of Computer Science Graduate School of
Pukyong National University*

ABSTRACT

As the construction and supply are increasing by the Internet network, the protection and certification of the digital data copyright are also seriously issued by the industries and makers. So, there is some tendency for people to meet together and have studies to protect and certify who is the first copyright by inserting water marker on the image of the digital data. However we don't have the safe measure and method to test and certify the digital water markings which are suggested presently for the protection of copyright, but also need much time in order to put them in practical use now. Accordingly, in this paper, we are going to study the evaluation method which can evaluate how much the digital water marking methods suggested or in use now are safe, and present here some test results from evaluating those on tolerance to the various attacks.

1. 서 론

인터넷의 광범위한 보급에 따라 네트워크를 이용한 멀티미디어 콘텐츠(정지영상, 동영상, 오디오 등)의 유통·판매가 본격화되고 있다. 그러나 멀티미디어 콘텐츠는 컴퓨터 상에서 모든 작업(작성·편집·복사·배포 등)이 수행되고 또 그 취급이 용이하기 때문에 위법임에도 불구하고 무단으로 복제되기 쉬운 저작권 보호의 문제가 심각한 실정이다. 이와 같이 취급이 용이한 멀티미디어 콘텐츠의 불법복제에 대응하기 위한 저작권 보호 기술로서 디지털 워터마킹(digital watermarking)이 주목되고 있다[1].

디지털 워터마킹이란 멀티미디어 콘텐츠에 추출 가능한 워터마크, 즉 저작권 및 인증정보를 삽입하여 디지털 콘텐츠에 대한 저작권(소유권)을 주장할 수 있도록 하는 방식이다. 나아가 불법복사의 경로추적이나 복사방지 장치, 영상 데이터 베이스의 인덱싱 등에도 활용 가능한 기술이다. 그러나 디지털 워터마킹은 그 개발 역사가 짧기 때문에 그 내용이 공개된 것이 거의 없고, 더구나 그 내용을 공개하면 공격당할 두려움이 많은 이유로 제품화된 기술도 거의 공개되어 있지 않은 실정이다. 이 때문에 콘텐츠 제공자는 디지털 워터마크를 사용하고 싶지만 어느 기술을 이용해야 할지 고민하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 디지털 워터마킹 기법을 가능한 한 객관적으로 정리 분석하고, 용도에 적합한 기술을 선택할 수 있도록 평가기준과 방법을 객관화하는 것이 필요하다[2].

그러므로 본 논문에서는 디지털 워터마킹 기법의 안전성을 평가할 수 있는 평가항목과 평가방법에 대해서 고찰하고자 한다. 또한, 이 평가방법에 근거하여 이미 상용화된 Photoshop[3]과 같은 영상처리 도구들을 이용하여 평가를 수행한다.

본 논문에서는 다음과 같은 내용으로 구성된다. 먼저 2장에서는 영상 데이터를 대상으로 한 일반적인 디지털 워터마킹 기법의 구조, 종류, 그리고 워터마킹 기법의 필수조건 및 기존의 디지털 워터마킹 기법에 대한 간단한 소개를 기술하고 3장에서는 2장에서 기술한 디지털 워터마킹 기법에 따라 기존에 제안된 디지털 워터마킹 알고리즘의 분류를 행하고 또 디지털 워터마킹 기술의 표준화를 위한 평가 활동에 대해서 알아본다. 4장에서는 영상 데이터를 대상으로 한 디지털 워터마킹 기술의 평가방법과 日本電子工業振興協會(JEITA: Japan Electronics and Information Technology industries Association)에서 제안하고 있는 평가항목에 대해 알아보고 5장에서는 StirMark와 JEITA에서 제안하는 영상처리에 있어서의 디지털 워터마킹의 내성 평가방법에 근거하여 시뮬레이션을 행하고 그 결과를 보인다. 6장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 디지털 워터마킹 기법

디지털 워터마킹 기술은 인터넷을 통한 콘텐츠의 유통에 절대적으로 필요한 저작권보호 솔루션의 마지막 보루로 인식되고 있으며 표준화된 저작권 정보의 확립과 함께 건전한 디지털 콘텐츠의 유통을 위해서 반드시 필요한 기술로 인정받고 있다. 이 장에서는 디지털 워터마킹 기법의 전반적인 이해를 위하여 일반적으로 받아들여지고 있는 디지털 워터마킹 기법의 구성, 종류 및 요구조건 등을 기술한다.

2.1 디지털 워터마킹의 구성

영상을 대상으로 한 디지털 워터마킹 알고리즘은 삽입 알고리즘과 검출(detection)/추출(extraction) 알고리즘으로 구성된다. 삽입 알고리즘은 원 영상에 키를 이용하여 워터마크를 삽입하여 출력으로 워터마킹 영상을 얻게 된다.

저작권 보호를 위한 영상 디지털 워터마킹은 원 영상 C 에 대하여, 워터마크 S 와 Key 가 주어졌을 때, 영상 C 에 Key 를 이용하여 워터마크 S 가 삽입되어 워터마킹 영상 C_w 를 얻게 된다. 이때 워터마크 S 는 저작권 정보나 사용자 정보가 될 수 있다. 그림1은 일반적인 워터마킹 삽입 처리를 나타낸다.

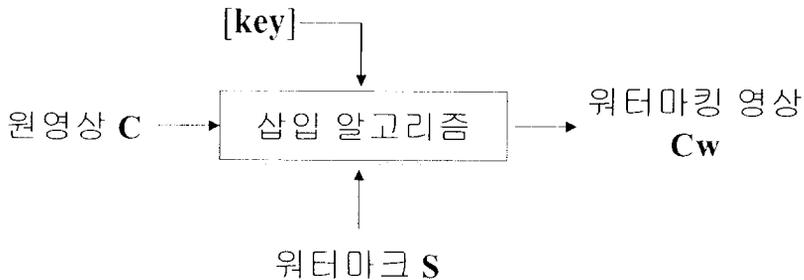


그림 1. 워터마크 삽입 처리

디지털 워터마킹 기법에서 워터마크를 검출하기 위한 과정은 워터마킹 기법에 따라 형태가 달라지게 되며, 다음과 같이 2가지로 분류된다.

1) 비공개 디지털 워터마킹(non blind digital watermarking)

비공개 디지털 워터마킹은 그림2와 같이 워터마크 검출 시 원 영상 C 가 요구된다. 따라서 원 영상만을 가진 저작자만이 워터마크를 추출할 수 있게 된다. 이 방식은 형태 I과 형태 II로 다시 분류된다. 형태 I은 그림2와 같이 워터마크가 삽입된 워터마킹 영상으로부터 워터마크를 추출하여 워터마크를 재구성하는 방식으로 워터마크를 확인하는 방식이다. 즉, $C_w \times C \times [\text{key}] \rightarrow S'$ 를 의미한다.

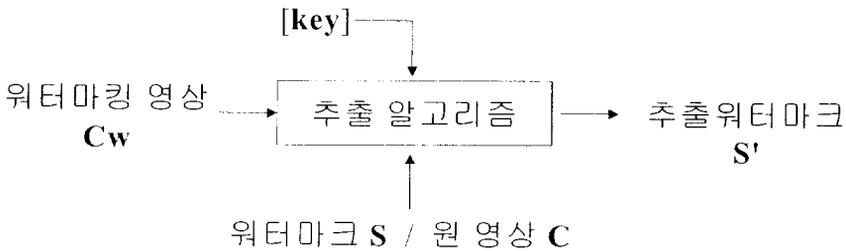


그림 2. 비공개 디지털 워터마킹의 추출 처리(형태 I)

형태 II는 그림 3과 같이 워터마크가 삽입된 워터마킹 영상 C_w 에 워터마크가 존재하는가를 검출하는 방식으로 통계적 가설 검증(statistical hypothesis test)을 이용하거나, 상관을 이용하여 워터마크의 존재 여부를 판단한다. 즉, 워터마킹 영상 C_w 에 워터마크가 존재하는가의 여부만을 검사하는 방식으로 $C_w \times C \times [\text{key}] \times S \rightarrow \{0,1\}$ 으로 0은 워터마크가 존재하지 않음을, 1은 워터마크가 존재함을 의미하게 된다.

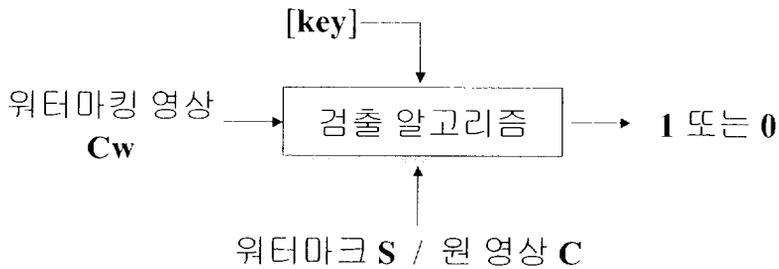


그림 3. 비공개 디지털 워터마킹의 검출 처리(형태 II)

또한 원 영상이 요구되지 않는 경우에는 준-비공개 디지털 워터마킹 (semi-non-blind digital watermarking)이라 하고 그 결과는 위의 두 방식과 동일하다.

2) 공개 디지털 워터마킹(blind digital watermarking)

공개 디지털 워터마킹은 워터마크를 추출하는 경우에 원 영상이나 워터마크 모두 요구하지 않고 워터마크를 재구성하는 방식으로 $C_w \times [key] \rightarrow S'$ 가 된다.

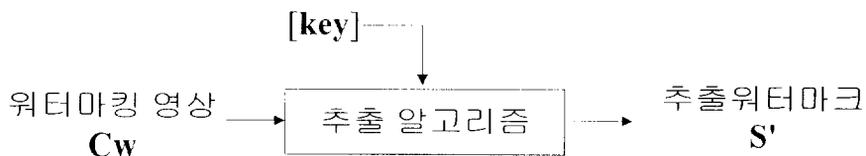


그림 4. 공개 디지털 워터마킹의 추출 처리

따라서, 삽입 알고리즘이나 검출 알고리즘들을 모두 공개하고 정확한 Key를 알고 있는 저작자만이 워터마킹 영상으로부터 워터마크를 추출할 수 있음을 의미한다. 따라서, 이 방법은 어떤 방식보다도 견고성이 요구되어진다.

2.2 디지털 워터마킹 기법의 필수조건

영상을 효과적으로 워터마킹하기 위해 만족해야 하는 조건들은 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) 비가시성(imperceptibility)

비가시성은 보호하고자 하는 영상의 가치를 그대로 유지함과 동시에 워터마크가 인간의 시각에 의해 시각적으로 볼 수 없도록 하여 워터마크의 제거와 같은 공격에 대해 안전하도록 하기 위함이다.

2) 견고성(robustness)

견고성은 저작권을 보호하기 위한 디지털 워터마킹 기법이 만족해야 할 가장 필수적인 요건이다. 워터마킹 영상 데이터는 누구나 간단한 편집기로 편집이 가능하게 된다. 따라서, 워터마킹 영상 데이터에 AD/DA 변환, 재샘플링, 재양자화, 압축 등과 같은 일반적인 신호 처리뿐만 아니라, 회전(rotation), 이동(translation), cropping, 스케일링과 같은 기하학적 영상 변화(geometric transformation)에도 워터마크는 유지되어야 한다. 특히 영상 데이터는 JPEG과 같은 압축에 대한 견고성이 가장 중요하다. 이 외에도 결탁공격(collusion attack)과 위조공격(forgery attack)에 견고해야 한다. 이것은 실제 악의가 있는 공격자가 저작권 보호를 방해하기 위해 시행하는 공격으로 결탁공격은 동일한 영상에 대해 서로 다른 워터마크가 삽입된 워터마킹 된 두 개 이상의 영상을 이용하여 워터마크에 대한 정보를 알아내고 다른 사용자의 워터마크가 삽입된 영상으로 위조하는 공격이다. 위조 공격은 원 영상을 위조하는 것으로 원래의 워터마킹 영상을 이용하여 저작자의 원 영상에 자신의 워터마크가 추출될 수 있도록 가짜의 원 영상을 위조하는 공격이다.

디지털 워터마킹 기법의 견고성은 삽입되는 워터마크의 정보량이 많으면 많을수록 향상되지만 이것은 원 영상의 화질의 열화를 초래하여 비가

시성을 만족하지 못하게 된다. 반대로 비가시성을 중요시하게 되는 경우에는 견고성이 감소된다. 따라서, 견고성과 비가시성의 상관관계를 고려하여 워터마킹 기법을 설계하여야 한다.

3) 보안성(Security)

워터마크의 삽입과정이 공개되어 있더라도 정확한 키를 알고 있는 경우에만 워터마크의 검출/추출이 가능해야 한다. 그러므로, 불법적인 워터마크의 삭제 및 변경의 시도는 불가능해야 한다.

4) 유일성(uniqueness)

검출된 워터마크는 저작자를 정확하게 지시할 수 있어야 한다. 추출된 워터마크의 모호성은 신호 처리나 공격에 의해 발생되기 때문에 이 조건을 만족하기 위해서는 워터마킹 기법의 견고성이 기반이 된다.

2.3 기존의 디지털 워터마킹 기법

영상 데이터에 워터마크를 삽입하는 방법은 크게 공간 영역 기반 워터마킹(spatial domain based watermarking) 기법[21~27][40-41][51-54][60]과 주파수 영역 기반 워터마킹(frequency domain based watermarking) 기법[17-20][28-47][61]으로 각각 분류할 수 있다. 공간 영역 기반 워터마킹 기법은 영상 데이터의 픽셀 값에 직접 워터마크를 삽입하는 방법으로 초기의 워터마킹 기법들이 주로 사용하였던 방법이다. 또한 주파수 영역 기반 워터마킹 기법은 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), Wavelet 변환 등을 이용하여 각 주파수 계수들을 워터마크에 따라서 변경하여 워터마크를 삽입하게 된다.

1) 공간 영역 기반 워터마킹 기법

공간 영역 기반 워터마킹 기법 중에서 영상 데이터에 워터마크를 삽입하는 가장 간단한 방법은 최하위 비트를 이용하는 것이다. 예를 들어 원 영상의 최하위 비트를 0이나 1로 설정한 후에 이진 비트 형태인 워터마크를 최하위 비트로 대체하는 방법을 들 수 있다.

Van Schudel 등은 이 방식에 비해 더 안전한 방법인 m-계열을 이용한다[21]. m-계열은 자기상관(autocorrelation)과 난수성질을 지닌 최대주기를 가지는 계열이다. 이진 계열은 {0,1}에서 {-1,1}로 사상이 된다. 이 방법은 m-계열을 이용하여 워터마크를 최하위 비트 플랜에 삽입한다. 워터마크 W 는 원 영상 X 에 산술적으로 가산되어 워터마킹된 영상 Y 를 얻게 된다. 워터마크의 검출은 변경 가능성이 있는 영상의 행 z 와 원 영상의 행 y 의 cross correlation

$$R_{zn}(a) = \sum_j [z(j) - E[z]]w(j-a)$$

를 이용한다. 여기서 $E[z]$ 는 z 의 평균 픽셀 값이다. 만일 peak가 없다면, z 는 원래의 워터마킹 영상이 아니다. 이 방법은 간단한 방법인 만큼 공격에 약하다.

Wolfgang과 Delp는 Van Schydel의 방법을 2차원으로 확장하였다 [40-41]. 두개의 영상 데이터 X 와 Y 의 cross correlation함수 R_{XY} 는

$$R_{XY}(a, \beta) = \sum_i \sum_j X(i, j)Y(i-a, j-\beta)$$

를 이용하게 된다. X 를 원 영상, W 를 워터마크, Y 를 워터마킹 영상, 그리고 Z 가 변경된 워터마킹 영상이라고 할 때, test static인

$$\delta = R_{XY}(0, 0) - R_{ZW}(0, 0)$$

으로 Z 가 변경되었는가를 검출할 수 있다. 만일 Z 와 Y 가 동일하다면 $\delta = 0$ 의 값이 된다.

공간 영역에서의 대표적인 방법으로 Bender 등이 제안한 패치워크

(patchwork)와 텍스처 블록 코딩(texture block coding) 기법이 있다[60]. patchwork는 통계적 접근법을 이용하는 것으로 영상 내에 랜덤하게 n 개의 두 점 (a_i, b_i) 를 선택하고 각 a_i 는 밝기를 1만큼 증가시키고 대응되는 b_i 의 값은 반대로 1만큼 감소시킨다. 이 방법은 랜덤하게 픽셀의 값을 변경하거나 아핀 변환과 같은 기하학적인 변환에 매우 민감하다는 단점이 있다. 두 번째 기법인 텍스처 블록 코딩은 영상 데이터 내에 있는 랜덤 텍스처 영역 패턴을 유사한 텍스처를 가진 영상의 영역에 복사하여 워터마크를 삽입한다. 자기상관을 이용하여 각 텍스처 영역을 복구하여 워터마크 삽입을 확인하게 된다. 이 방법은 cropping에 견고하지 않고 실제 영상 내에 이용 가능한 텍스처 정보가 그다지 존재하지 않는다는 단점을 지니고 있다. 패치워크와 유사한 방법으로 Pitas는 더 많은 정보를 삽입할 수 있는 superposition을 제안하였다[24]. 크기 $N \times M$ 인 영상 데이터 I 에 0과 1의 개수가 동일한 이진 계열

$$S = \{s_{nm}, n \in \{0, \dots, N-1\}, m \in \{0, \dots, M-1\}, s_{nm} \in \{0, 1\}\}$$

을 삽입하는 것으로 각각 A, B 의 집합으로 다음과 같이 분류한다.

$$A = \{x_{nm} \in I, s_{nm} = 1\}, B = \{x_{nm} \in I, s_{nm} = 0\}$$

$$|A| = |B| = \frac{|I|}{2} = \frac{N \times M}{2} = P$$

워터마크는 다음과 같이

$$C = \{x_{nm} + k, x_{nm} \in A\}$$

삽입되고 워터마크 된 영상은

$$I_s = C \cup B$$

가 된다. 워터마크의 검출은 c 와 b 를 B, C 의 평균값이라고 할 때 $\bar{w} = \bar{c} - \bar{b}$ 에 기반하여 검출되어진다. 즉, w 의 값이 k 가 되면 실제 워터마크가 되어 있음을 의미한다.

지금까지의 공간 영역 기반 워터마킹으로 수행되는 워터마크 방법은

아핀 변환과 같은 기하학적인 변환, 저역 통과 필터링(low pass filtering)이나 고역 통과 필터링(high pass filtering), 그리고 JPEG 압축과 같은 처리에 견고하지 못하다.

2) 주파수 영역 기반 워터마킹 기법

주파수 영역을 이용한 워터마킹 기법은 최근에 가장 많이 이용되는 것으로 영상 데이터를 주파수 공간으로 변환(frequency domain transforms)하여 워터마크를 삽입하는 기술이다. 이 방법은 공간 영역에 삽입하는 방법에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 주파수 영역을 이용한 방법은 멀티미디어 데이터를 주파수 성분의 아날로그 신호로 변환하고 삽입하려는 워터마크를 동일하게 아날로그 신호로 변환하여 삽입하는 방법이다. 일반적으로 데이터를 변환하는 방법으로는 이산 코사인 변환(DCT), 고속 푸리에 변환(FFT) 그리고 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)등을 이용한다. 이 방법은 삽입하려는 워터마크 계수(데이터)들이 원 데이터의 전 영역에 분포하게 되며 한번 삽입된 워터마크는 삭제 어렵다는 장점이 있다.

Cox에 의해 제안된 방법은 원 영상 데이터 I 에 DCT를 수행하고 DC를 제외한 가장 큰 값을 가지는 1000개의 계수 V 에 정규 분포를 따르는 실수로 구성된 워터마크 W 를 삽입하게 된다[42]. 이 방법은 워터마크를 삽입하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다.

$$v_i' = v_i + aw_i$$

$$v_i' = v_i (1 + aw_i)$$

$$v_i' = v_i (e^{aw_i})$$

위 식에서 v_i 는 DCT계수를 나타낸다. 이와 같이 워터마크를 삽입한 후 다시 역 DCT를 수행하여 워터마킹 영상 I' 를 얻는다. 워터마크의 추출은 변경 가능성이 있는 워터마킹 영상 I' 에서 원 영상을 감산하여 원

래의 워터마크 W 와 추출된 W' 와의 유사성을 측정하게 된다.

$$S(W, W') = \frac{W \cdot W'}{\sqrt{W \cdot W'}}$$

Cox의 방법은 영상의 에너지가 집중된 계수에 약간의 변형을 처리함에 따라 다양한 형태의 처리에 견고하다고 알려졌으며 Cox 이후 주파수 영역에서 워터마크를 삽입하는 많은 방법들이 제안되었다.

Cox의 방법은 인간의 시각 체계(human visual system, HVS)를 이용하지 않고 주파수 영역에서 워터마킹을 삽입하였다. 이와 달리 주파수 영역에서 인간의 시각 성질을 이용한 방법이 Podilchuk-Zeng에 의해 제안되었다[61]. Podilchuk Zeng은 DCT와 Wavelet 변환을 이용하여 적극적으로 각 주파수 계수에 대해 인간이 인식 가능한 최소의 신호인 JND(just noticeable differences)를 계산하여 IA(image adaptive) DCT인 경우 다음과 같이 워터마킹을 수행한다.

$$X_{u,v}^* = \begin{cases} X_{u,v} + J_{u,v} t_{u,v,b}^C, & \text{if } X_{u,v} > t_{u,v,b}^C \\ X_{u,v}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

위와 같이 워터마킹을 한 후 원 영상과 워터마킹 영상과의 차를 이용하여 워터마크를 검출한다.

$$w_{s,u,v,b}^* = X_{u,v,b} - \hat{X}_{u,v,b}^*$$

$$w_{u,v,b}^* = \frac{w_{s,u,v,b}^*}{t_{u,v,b}^C}$$

$$\rho_{ww^*} = \frac{w^* \cdot w}{\sqrt{E_u E_w}}$$

이때, $\rho_{ww^*} > T_p$ 이면 워터마크 w 가 검출되었다고 판단한다.

일반적으로 공간 영역 기반 워터마킹 기법보다는 주파수 영역 기반 워터마킹 기법이 필터링, 압축, cropping 등에 견고하다는 것이 많은 연구에 의해서 알려져 있다. 필터링이나 압축에 견고한 이유는 영상의 에너

지가 많은 저주파 계수 혹은 중간의 주파수 계수를 변경하기 때문에 건고하다고 할 수 있으나, 주파수 영역 기반 워터마킹은 주파수 변환을 수행하여 워터마크를 삽입하고 다시 역 변환을 수행하여 공간 영역으로 변환해야 하기 때문에 처리시간이 다소 소요된다. 뿐만 아니라, 주파수 영역 기반의 워터마크는 전체 주파수 계수 중에서 일부분만을 선택하여 워터마크를 삽입하기 때문에 삽입되는 워터마크의 양이 제한적이다. 따라서, 주파수 영역 기반 워터마킹 기법과 유사한 건고성을 갖는 공간 영역 기반 워터마킹 기법에 대하여 더 많은 연구가 필요하다.

지금까지 디지털 워터마킹 기법의 종류에 대해서 알아보았다. 다음 장에서는 앞에서 기술한 디지털 워터마킹 기법의 분류 방법에 따라 기존에 제안된 워터마킹 알고리즘을 분류한다.

3. 디지털 워터마킹 기술의 분류와 표준화 활동

이 장에서는 Information hiding an annotated bibliography[59]에서 정리하고 있는 논문에 근거하여 각각의 논문에서 제안하는 알고리즘을 기법에 따라 분류한다. 논문 내에서 원 영상이나 원 워터마크를 요구하지 않는다고 명시한 것은 공개 디지털 워터마킹으로 분류하고 원 영상 요구 여부가 불확실한 것은 비공개 디지털 워터마킹으로 간주하였다.

3.1 디지털 워터마킹 기술의 분류

1) 공개 디지털 워터마킹(private digital watermarking)

총 42건의 논문 중에서 공개 디지털 워터마킹 기법으로 분류된 것 중에서 공간영역을 이용하는 방법은 없었으며 주파수 영역을 이용하여 워터마크를 삽입하는 기법으로서 4건의 논문이 있었다[17~20]. 이것을 워터마크를 삽입하고자하는 원 영상 데이터의 변환 방법에 따라 각각 분류하면 DCT 변환 영역 이용이 1건, 웨이블렛 변환 영역 이용이 2건, 스프레드 스펙트럼 영역 이용이 1건이었다.

가. 주파수 영역 기반 워터마킹 기법

(1) DCT 변환

DCT 변환을 이용하는 기법중에서 Pitas는 DCT, 영역에 강제성을 부여하는데 기반한 워터마킹 알고리즘을 제안[17]했으며 요지는 랜덤한 이미지 블록은 가우시안 네트워크 분류기에 의해 선택되고 이 블록내의 DCT 계수는 어떤 미리 정의된 강제성을 만족하기 위하여 수정된다. 그리고 이 기법은 워터마크 검출 시 원 영상을 요구하지 않으며 또한 JPEG 압축과 필터링에 견고하다는 장점을 가지고 있다.

(2) 이산 웨이블렛 변환

이산 웨이블렛 변환 영역을 이용한 방법은 두 건 있었다. 첫 번째 방

법은 이진 워터마크를 horizontal, diagonal 그리고 vertical 상세한 계수로부터 취해진 세 가지 계수의 중간의 상대적인 위치를 변경에 의해 이미지의 선택된 등급 이산 웨이블릿 분해 속에 숨기는 방법[18]으로서 이 방법은 워터마크 추출 시 원 영상을 요구하지 않는다. 그러나 삽입된 워터마크가 복제되었을 때는 추출된 워터마크에 원 워터마크와 서로 비교를 해야한다. 또 다른 방법은 워터마크 검출 시 원 영상을 요구하지 않는 웨이블릿 기반 워터마킹 스킴을 제안[19]하고 있는데 이 방법은 워터마크는 아주 낮은 저주파수를 제외하는 다른 서브밴드내의 의미있는 계수에 삽입된다. 검출과정은 잘라서 줄인 웨이블릿 계수를 기반으로 한다. 이 기법은 일반 영상신호 처리에 의한 왜곡에 견고성을 가진다는 장점이 있다. 실험적인 결과에서도 이 기법이 통상의 신호 처리 기술로부터의 왜곡에 대하여 견고하다는 것을 보여주고 있다.

(3) 스프레드 스펙트럼 확산 방식

주파수 영역 중에서 스프레드 스펙트럼 확산 방식을 이용한 논문은 한 건 있었는데 이 방법은 원 영상이 없을 경우, 워터마크의 확실한 식별에 대한 문제와 Cox 알고리즘[39]을 사용하여 삽입된 워터마크의 추출에 대한 원 영상에 대한 최대한의 기준을 제시[20]하고 있다.

2) 비공개 디지털 워터마킹(non-blind digital watermarking)

총 42건 중에서 비공개 디지털 워터마킹 기법은 총 34건이 있었으며 [21~55], 이 중에서 공간영역 기반 워터마킹 기법이 13건, 주파수 영역 기반 워터마킹 기법이 18건이었다. 그리고 그 방법에 따라 공간 혹은 주파수 영역 모두 이용가능한 기법의 논문이 3건이었다.

가. 공간 영역 기반 워터마킹 기법

공간 영역을 이용하여 워터마크를 삽입하는 기법 중에서도 원 영상 데이터의 화소를 워터마크 정보와 직접 치환하는 방법이 4건, 화소 공간

자체에 워터마크 정보를 더하는 방법이 9건이었다.

(1) 화소 치환형 디지털 워터마킹

화소를 직접 치환하는 방법 중에서 그 첫 번째 방법은 이미지 속에 데이터를 숨기기 위한 두 가지 기법을 제안하고 있다[21]. 우선 m -sequence를 가지는 이미지의 LSB를 재구성하고 다음에 이미지의 LSB에 대해 M -sequence를 추가하는 동안에 다음에 그것을 검출하기 위하여 자동 상관관계를 이용하게 된다. 두 번째 방법은 디지털 영상에 대한 서명기술(연성 워터마킹)[22]로서 체크섬은 일곱 번째 MSB 플랜에 대해 계산을 한 후 랜덤하게 선택된 LSB에 숨긴다. 세 번째 방법은 작은 블록으로 그림을 나누고 각 블록에 있어서 적당한 subset을 선택하기 위한 피드백으로서 JPEG 압축 알고리즘을 사용하는 기법[23]으로서 Pitas[13] 방법에 대한 변형이다. 이 방법은 JPEG 압축에는 견고하나 cropping이나 rotation과 같은 단순한 변환에는 견고하지 못하다는 단점이 있다. 네 번째 방법은 공간영역에 워터마킹하는 기법[24]으로서 픽셀의 랜덤한 subset에 대해 양쪽의 contrast를 증가시킴으로서 LSB를 수정한다.

(2) 화소 공간 이용형 디지털 워터마킹

공간영역 중에서 화소 공간을 이용하는 알고리즘은 9건이 있었는데 첫 번째 방법은 1996년에 발표된 Pitas의 방법[24]을 향상시킨 것[25]으로서 JPEG 압축에 대한 견고성은 단지 픽셀 뿐만 아니라 픽셀의 작은 블록 (typically 2×2 or 4×4)의 휘도의 증가에 따라 조차를 취함으로써 그 결과 저 주파수 속으로 워터마크가 이동하게 된다. HVS의 특징은 JPEG과 같은 방법으로 고려할 수 있다. 마지막으로 이 논문은 열 혹은 행 제거, 크로핑 그리고 통계적인 공격에 대해 견고성을 제시한다. 이후에 발생하는 문제점은 사용하는 이미지 의존 워터마크를 사용함으로써 해결할 수 있다고 한다. 두 번째 방법은 1996년 발표된 pitas 논문[24]의 잡지버전[26]으로서 이 워터마킹 시스템은 AWGN과 JPEG 압축에 대해 견고

하다는 장점을 가진다. 세 번째 방법은 컬러 영상의 공간영역 속으로 워터마크를 삽입하기 위한 새로운 방법[27]으로서 이것은 JPEG 압축과 밝기/대조 전환에 저항할 수 있도록 견고해야 한다. 또한 ID 패턴은 영상의 다른 부분으로부터도 추출할 수 있어야 한다. 네 번째 방법은 DSS 기반 기술[40]로서 워터마크인 PN Sequence는 영상데이터에 직접 더해진다. 이 두 영역의 접근은 위조된 영상을 결정할 수 있다. 여기서 워터마크는 신뢰할만한 실험 결과에 의해 JPEG 압축에 대해 견고하다고 한다. 다섯 번째 방법의 논문은 위 논문[40]의 후속 연구로서 paletization과 L.B.M. 공격에 살아남는 워터마크에 대한 연구[41]이다. 여섯 번째는 선택된 장방향의 밝기를 변조함으로써 디지털 영상에 기하학 패턴을 삽입하는 기법[51]으로서 각각의 사용자는 부정복사를 역 추적하기 위해 영상의 소유권을 부여할 수 있는 다른 패턴을 줄 수도 있다. 패턴의 검출에 있어서 원 영상을 요구한다. 일곱 번째는 Darmstadt의 Fraunhofer Institute에 의해 개발된 디지털 워터마킹 시스템인 SysCoP의 주 특징을 서술하고 있다[52]. 레이블 코드는 의사랜덤 sequence 생성기뿐만 아니라 추출된(기하학) 특징에 관하여 결정된 위치에 삽입된다. 마지막으로 커버 영상에 라인마다 메시지를 삽입하기 위해 최대 길이 sequence를 사용하는 그림에 대한 워터마킹 기술이다[53][54]. human visual system의 마스킹 모델과 에지 검출 필터는 워터마크의 비가시성과 견고성을 강화하기 위해 사용된다.

나. 주파수 영역 기반 워터마킹 기법

주파수 영역을 이용하여 워터마크를 삽입하는 기법 중에서는 각각 DCT 변환 영역 이용이 7건, 웨이블릿 변환 영역 이용이 3건, 스프레드 스펙트럼 영역 이용이 8건이었다.

(1) DCT 변환

DCT 변환 영역을 이용한 방법은 7건이 있었다. 첫 번째 방법은 이미

지의 DCT 영역에 디지털 워터마크를 삽입하는 방법[28]으로서 이미지를 8×8 블록으로 나눈다. 워터마크는 DCT 계수 양자화에 의해 삽입되고 확실하게 특성이 검증된 방법으로 D.C.T 계수를 수정한다. 두 번째 방법은 인간 시각 시스템에 대한 소유권을 사용하는 영상에 있어서의 워터마킹 시스템[29]으로서 워터마크는 DCT 영역에 더해진다. 공간 영역 모델은 워터마크를 비가시적이라는 것을 검증하기 위하여 사용되어진다. 세 번째 방법은 정지영상에 대한 비공개 비가시적으로 워터마킹하는 기법[30]으로서 워터마크는 bi-directional coding을 가지는 DCT 계수를 변조함으로서 DCT 영역에 삽입하며 또한, 이 기법은 주어진 영역에 위치할 비트의 수를 결정하기 위한 기술을 포함한다. 그러나 이 기법은 워터마크 전송상의 좀더 효율적인 논의가 필요하다. 네 번째 방법은 DCT 영역에서 영상에 대해 두 가지의 데이터를 숨기는 방법을 제안하고 있다[31]. 양쪽 다 삽입된 워터마크를 강하게 하기 위한 Human Visual System에 대해 지각할 수 있는 마스킹 특성(공간 영역 마스킹과 주파수 마스킹)들을 이용한다. 다섯 번째는 Cox의 방법과 유사한 디지털 워터마킹 알고리즘이다[32]. 그러나 이 워터마크는 Cox 방법의 최대 1000개의 DCT 계수를 사용하는 대신에 항상 zigzag 정렬 후에 DCT 계수의 같은 집합속에 삽입된다. 또한 완벽한 비가시성을 달성하기 위하여 오직 중간 주파수만을 수정한다. 여섯 번째 방법은 Pitas 방법에 대한 적응형 확장 방법[33]으로서 그 확장은 DCT 혹은 Haar 변환을 사용하는 lowpass 이미지에 워터마크를 삽입하기 위하여 사용된다. 마지막으로 제안된 방법은 영상 인증을 위한 'robust' 디지털 서명의 예제를 보이고 있다[34]. 이 방법은 Friedman의 논문의 변형으로서 전체 영상에 서명하는 것보다 특징 있는 집합(DCT 계수로부터 유도된)에 서명된다. 따라서 기존의 방법과 반대로 두 개의 영상은 동일한 서명을 부여하기 위하여 동일한 비트/비트로 되지 않는다. 이 스킴은 공학적으로 혹은 편집된 영상에 있어서도 국부적으로 사용자들을 허용한다.

(2) 이산 웨이블렛 변환

이산 웨이블렛 변환 영역을 이용하는 워터마킹 방법은 3건이었다. 첫 번째 방법은 디지털 영상 서명 시스템에 근거한 콘텐츠에 대한 기법[35]으로서 연약한 워터마크는 영상의 에지에 기반한 이미지의 웨이블렛 변환 영역의 LL 구성요소에 삽입된다. 단 알고리즘의 용량 정보는 한정되어 있다. 두 번째 방법은 워터마크를 영상의 웨이블렛 분해의 잉여 계수에 대해 Pitas의 통계적인 방법을 적용하여 삽입하는 방법이다[36]. 마지막으로 제시된 방법은 웨이블렛 영역에서의 워터마킹 스킴을 제안하고 있다[37]. 워터마크는 중간 주파수 대역내의 큰 계수에 랜덤 sequence로부터 삽입된다. 복호화 과정에 원 영상을 요구하며 다른 서브 대역에서 계수에 대한 구조적인 상관에 기반한다. 필터링과 압축으로 인한 왜곡에 견고하다.

(3) 스프레드 스펙트럼(spread spectrum) 확산을 이용한 방식

스프레드 스펙트럼 확산을 이용한 방식이 가장 많았는데 총 8건의 알고리즘을 제안하고 있다. 첫 번째는 정지 영상을 위한 워터마크에 spread spectrum을 이용한 방법을 제안하고 있으며[38], 두 번째는 비디오와 오디오 신호 양쪽에 대해 디지털 워터마킹을 적용하는 기법이다[39]. 여기서 워터마크는 스프레드 스펙트럼 통신으로부터 유도된 생각으로 신호의 의미 있는 대부분의 스펙트럼의 계수에 삽입된다. DCT를 이용하는 정지 영상의 삽입 워터마크를 가지고 그들은 마크가 스케일링, JPEG 압축, 디터링과 크로핑을 포함하는 다양한 일반영상처리 후에도 여전히 복구되는지를 보인다. 심지어 이미지가 제록스 프린터되고 스캔 되었을때도 워터마크를 그대로 복구 가능하다. 주어진 이미지는 소유권에 대하여 의심할 수 없다. 그러나 워터마크되지 않은 원 영상을 추출과정의 한 부분으로서 요구된다. 세 번째 방법은 영상 스펙트럼의 대부분의 의미있는 구성요소 내에 위치한 동일하게 분산된 가우시안 랜덤 벡터

와 독립된 워터마크에 대한 논쟁[42]으로서 대부분의 신호처리 영상뿐만 아니라 다중 워터마크 혹은 Collision 공격에 대해서 대항한다. 네 번째 방법은 JPEG 영상내에 주파수 호핑 방식으로 랜덤하게 연속된 펄스 위치에 변조된 코드를 삽입하는 방법에 대한 개략적인 서술[43]로서 어떤 이미지 처리 방법에 대해 건고한 이 워터마크 상의 실험적인 결과를 서술한다. 다섯 번째 방법은 디지털 워터마킹 시스템의 건고성을 증명하기 위하여 사용할 수 있는 영상에 대한 유효한 integral 변환 방법을 설명한다[44]. 이 워터마크는 log-polar 맵 상의 푸리에 변환과 동등한 Fourier Mellin 변환을 사용하여 스케일링과 로테이션에 건고한 영역에 삽입된다. 여섯 번째 방법은 그레이스케일 정지 영상을 위한 주파수 호핑 스프레드 스펙트럼 기반 워터마킹 알고리즘 다음에 사용되는 human visual model을 서술한다[45]. 마스킹 기준은 워터마크의 비가시적인 HVM 탐보로부터 기인한다. AWGN, JPEG 압축, lowpass 필터링과 충돌에 건고성을 보인다. 일곱 번째 방법은 비디오에 대한 스프레드 스펙트럼 기반 공개키 워터마킹 알고리즘이다[46]. 이 방법은 단지 spread sequence의 n개중의 1비트는 공개된다. 이것은 워터마크의 건고성을 감소시키지만 전체 워터마크의 가능한 제거없이 공개적인 검사를 허용한다. 마지막으로 제시된 방법은 스프레드 스펙트럼과 에리 제어기술을 정지영상 내에 메시지를 숨기고 복구하기 위해 사용하는 기법[47]으로서 추가되는 랜덤 노이즈의 양은 영상의 영역의 통계에 근거하는 워너 필터에 의해 제어된다. Steganographic 기술은 SNR비 32dB을 가지는 512×512 픽셀 이미지에 5kb 까지 삽입할 수 있다.

다. 공간 혹은 주파수 영역 이용형

주파수 영역 중에서 공간 혹은 주파수 영역 모두에 적용될 수 있는 방법으로서 3건이 있었다. 첫 번째 방법은 두 가지의 저작권을 표시하는 기법으로서[48] 하나는 JPEG 압축된 영상에 레이블을 삽입, 또 하나는

흑백 영상에 레이블을 삽입한다. 전자는 DCT 양자화 테이블을 바꾸고 후자는 픽셀의 블록이 흰색보다 흑색에 가까운지에 따라서 비트를 부호화 한다. 두 번째 방법은 디지털 영상 속에 정보를 숨기기 위한 프랙탈 부호화에 근거한 방법[49]으로서 이 알고리즘은 휘도와 DCT 영역 양쪽에 모두 적용할 수 있다. 그러나 기하학 변환에서는 내성이 약하다. 마지막 방법은 두드러진 왜곡 마스크만을 이용하는 공간 혹은 DCT 기반의 워터마킹 기술이다[50].

3) 기타 관련 논문

아래 4건의 논문은 직접 디지털 워터마크를 삽입하기 위한 기법이라기 보다는 이미지에 디지털 워터마크를 보다 효율적으로 삽입하기 위한 중간단계로서의 기법에 대한 방법을 소개하는 논문으로 이해된다[55~58]. 첫 번째 논문은 영상에 워터마크로서 삽입하기 위하여 적절한 이진 행렬을 구성하는 방법을 제안하고 있다[55]. 완전한 맵, 완전한 짝수와 홀수 이진 행렬, m-arrays와 quasi-m-array가 설명된다. 두 번째 논문은 통상의 필터링 연산에도 항상 살아남는 그림 구조 정보에 근거한 영상 시명을 생성하는 방법을 보인다[56]. 요구되는 정보는 이미지의 중심인 용량과 크기이다. 이것은 칼라와 문자 영역의 형태이다. 세 번째는 영상에 대한 암호와 steganographic 기술을 표현하는 방법[57]으로서 비밀 영상은 압축되고 분해되기 위해 요구되는 주 파라미터는 DES를 사용하여 암호화된다. 암호화된 영상은 커버 영상 속에 숨겨진다. 마지막으로 제시된 논문은 선형 회귀 모델과 영상 구조 측정은 가시적인 워터마크 강도(성질)에 대한 조정을 자동화하기 위하여 사용된다[58].

4) 분류에 대한 고찰

영상에 있어서의 저작권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기법으로서 발표된 많은 논문 중에서 그 일부인 42건을 대상으로 워터마크 검출 방법

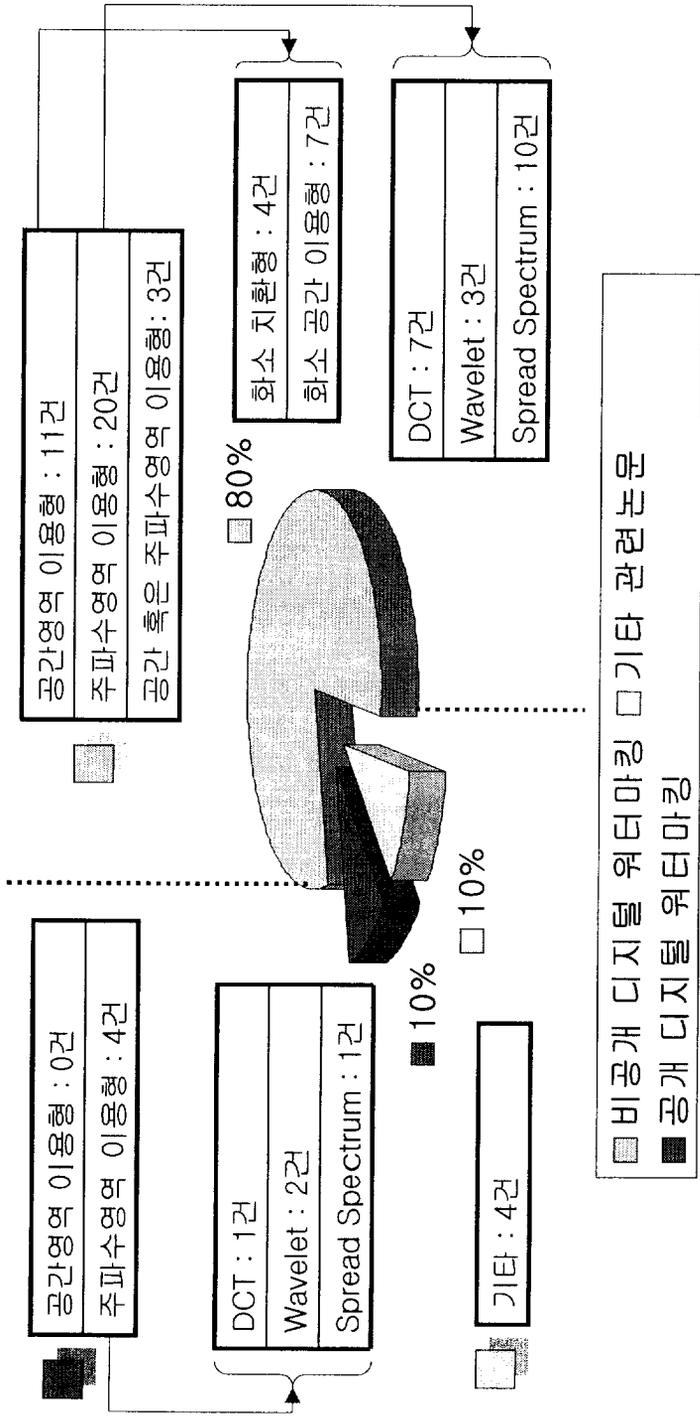


그림 5. 디지털 워터마킹 기업의 분포도

및 워터마크 삽입 영역 이용 방법에 따라서 분류를 해 보았다. 보안과 효율성에 필수인 워터마킹 삽입 및 검출 알고리즘의 공개여부가 가장 큰 문제이며 원 영상 없이는 디지털 콘텐츠의 소유권 여부를 판명할 수 없는 기법이 전체의 90%를 차지하였다.

워터마크 삽입 영역 이용 방법에 대해서는 통상의 신호처리나 일반 영상처리에 공간 영역 이용 기법보다 견고하다고 알려진 주파수 영역을 이용한 기법이 주류를 이루었다. 그 중에서도 JPEG 압축에 견고한 DCT 영역을 이용하여 삽입하는 방법과 잡음이나 각종 필터링에 견고한 스프레드 스펙트럼 확산 방식을 이용한 워터마크 삽입 기법이 많이 연구되고 있는 것을 알 수 있다. 그 결과를 그림 6에 보인다.

3.2 디지털 워터마킹 기술 표준화 활동

디지털 워터마킹에 대한 검토사항 중에 호환성 및 표준화의 문제를 들 수 있다. 수많은 디지털 워터마킹 기술이 개발되고 있는 가운데 본격적인 응용을 위해서는 호환성이 없어서는 곤란하다는 문제가 제기되고 있다. 그래서, 업계단체가 중심이 되어 각 목적에 맞는 일정의 가이드 라인을 제시하는 움직임이 있다. 이와 같은 활동이 공개적으로 이루어지고 있는 것은 중요한 의미를 갖는다. 디지털 워터마킹 기술은 비교적 새로운 기술이기 때문에 ISO등의 규격은 아직 존재하지 않고, 업계표준을 정하려는 활동에 지나지 않고 있다.

디지털 워터마킹에 대한 단체 표준화 활동으로 cIDf(Content ID Forum), CPTWG(Copy Protection Technical Working Group), MPEG(Moving Picture Experts Group), DAVIC(Digital Audio Visual Council), MUSE, SDMI(Secure Digital Music Initiative), JEITA 등이 있다.

cIDf[5]는 일본 기업이 중심이 되어 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 목적으로 하는 포럼으로서 콘텐츠 ID의 세계 표준화를 목표로하고 디지

털 워터마킹 기술의 이용방법 등에 대해서 검토하고 있다.

CPTWG[6]에서는 주로 DVD 등 패키지·미디어로서 배포되는 디지털 콘텐츠에 대한 복사제어와 저작권 보호를 목적으로 디지털 워터마킹에 관한 표준사항을 결정하기 위한 활동을 하고 있다. DVD CPTWG에서는 97년 5월에 DHSG(Data Hiding Sub Group)를 발족시켜 7개의 제안(Hitachi, IBM, Macrovision/Digimarc, NEC, Philips, Pioneer, SONY)에 대해서 제 1차 기술평가를 행했으며 WaRP (Water Review Panel)에서 2차 평가로서 1차 평가에서의 기술평가와 동시에 라이선스 조항의 평가를 위한 활동을 하고 있다.

MPEG[7]은 디지털 영상 압축/신장의 표준 확립을 목적으로 1988년부터 활동을 개시했다. 그 이후, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7로 규격검토가 진행되어 현재는 MPEG-21이 새로운 표준화 항목으로서 제안되고 있다. MPEG-4에서는 IPMP(Intellectual Property Management & Protection: 지적재산권 관리 및 보호)시스템의 인터페이스를 표준화하고 있으며, IPMP의 데이터블 콘텐츠에 직접 삽입하는 수단으로서 디지털 워터마크 기술을 사용할 것을 권고하고 있다.

DAVIC(Digital Audio Visual Council)[8]에서는 디지털 오디오, 비디오의 배포 및 통신 등의 업계표준을 책정하고자 활동하고 있다. 그 가운데 디지털 워터마킹의 역할은 저작권관리가 목적이며, DHSG와 같은 복사제어는 아니다.

MUSE[9]는 유럽 중심으로 진행되고 있는 프로젝트로서 그 목적은 표준화가 아니라 음악용 디지털 워터마킹 기술의 검증에 있다. MUSE가 디지털 워터마킹을 이용하는 목적은 저작권 보호와 복사제어의 양쪽이다.

SDMI[10]는 레코드 회사가 중심이 되어 음악 저작권 등의 보호시스템 전체의 구조와 각 보안기술의 가이드 라인을 작성하고 통일 사항을 책정하는 것을 목적으로 하고 있다.

JEITA[11]에서는 각종 콘텐츠(정지영상, 동영상, 오디오, 텍스트 데이터)의 저작권 보호 및 이용자의 이용범위의 명확한 가이드 라인 설정을 목적으로 기존의 평가활동과는 중복되지 않도록 디지털 워터마킹 기술의 동향에 대해서 조사를 행하고 있으며, 그 조사결과를 바탕으로 디지털 워터마킹 기술의 안전성 평가를 위한 평가항목과 기준을 제시하고 있다. 주요활동은 아래와 같다[2].

- (1) 저작권 정보의 삽입을 원하는 콘텐츠와 디지털 워터마크의 이용목적, 삽입 정보량들의 다양성을 고려하고 각종 디지털 워터마킹 기술 및 이들에 관한 특히, 제품등의 현상과 적용가능성을 조사한다.
- (2) 적용하는 디지털 워터마킹 기술을 이용자의 입장에서 평가하기 위한 평가기준을 제안한다.

본 논문에서는 위의 각 위원회 활동 중에서 JEITA에서 제안하고 있는 평가항목에 근거하여 평가를 수행한다.

4. 디지털 워터마킹의 평가항목

암호학에 있어서 새로운 암호화 알고리즘이 발표되면 많은 연구자가 그 안전성에 대해서 검토하기 시작한다. 그 연구방향은 주로 암호해독이 가능한가 그렇지 않은가를 검토하는 것이다. 이와 같은 암호 알고리즘의 설계와 해독의 상호작용에 의해 비로소 공격에 강한 암호 시스템을 구축할 수 있다. 마찬가지로 디지털 워터마킹 기술에 대해서도 워터마크의 해독이나 제거, 위조 등의 공격에 대한 안전성을 검토해야 한다. 유효한 공격수단이나 공격방향이 명확히 되면 그 공격에 견딜 수 있는 워터마킹 기술이 개발되어 더욱 신뢰할 수 있는 알고리즘을 찾아 낼 수 있기 때문이다.

디지털 워터마킹을 평가하는 경우, 여러 가지 측면에서 판단해야 한다. 고려하고 있는 디지털 콘텐츠의 이용방법과 밀접한 관계가 있지만, 아래와 같은 항목에 대하여 고려 할 필요가 있다.

- (1) 디지털 워터마킹에 대한 공격
- (2) 영상처리 등에 의해 워터마크가 제거될 위험성
- (3) 삽입된 워터마크 정보 중 비공개 부분을 누설, 고침, 위장할 위험성
- (4) 복수의 공모에 의한 결탁공격
- (5) 화질, 음질 등의 평가
- (6) 압축 등에 의한 내성 평가
- (7) 워터마크의 삽입 및 검출 시간
- (8) 디지털 워터마킹의 동작환경

이것은 디지털 워터마킹 기술 평가항목의 중요한 요소들이다[2].

4.1 구조상의 평가항목

디지털 워터마킹 기술에는 각각 대상 미디어에 따른 구조상의 특징이 있다. 그들을 상호비교하기 위하여 다음의 평가항목이 중요하다[1].

(1) 정보용량

삽입하는 워터마크 량을 프레임 당 비트수로 계산할 것인가, 혹은 증거자료의 개수로 계산할 것인가 또한 오류 정정 부호를 포함할 것인가에 따라 평가방법이 달라져야 한다.

(2) 미디어 품질

인간의 감상 기능을 제공하는 정지영상이나 음악 소프트웨어에서는 사용자의 엄격한 감식안이나 청각능력에 견딜 수 있는 등급을 요구되며, 칼라영상이나 동영상에서는 압축처리가 필요하기 때문에 데이터 압축에 견딜 수 있어야 한다.

(3) 계산량

워터마크 삽입구조에 따라 워터마크를 삽입하고 검출하는데 소요되는 시간이 달라진다.

(4) 범용성

디지털 워터마크의 대상 미디어가 같더라도 그 데이터 형식은 다른 것이 많기 때문에 범용성 있는 워터마킹 기술이 요구된다.

(5) 유연성

멀티미디어의 다양화와 콘텐츠 공급형태의 변경에 따라 데이터의 기록이나 표시형식이 해마다 변화하기 때문에 기존방식과의 호환성이 필요하다. 따라서 디지털 워터마킹 기술도 쉽게 버전 업 할 수 있어야 한다.

4.2 운용상의 평가항목

(1) 아핀 변환(Affine transform)

일반적으로 화소 영역에 직접 워터마크를 삽입하는 방법은 아핀 변환 조작에 약하다. 한편, 주파수 영역에 워터마킹을 하는 방법은 비교적 이 조작에 강하며 특히, 위상정보를 이용한 워터마크의 경우에는 영향이 적음을 알 수 있다.

(2) 가공 처리

웨이블렛 변환과 같은 대역정보를 일괄하여 처리하는 워터마킹 기술은 부분적인 가공처리에 민감하고 약하다. 이에 대하여 화소영역에 삽입된 워터마크 정보는 그대로 남기 때문에 이 처리에는 내성이 있다.

(3) 필터 처리

주파수 영역을 이용하는 방법은 대부분의 경우 워터마크 정보를 잃어버린다.

(4) 데이터 압축

영상 데이터의 화소영역에 워터마크 정보를 삽입하고, 그 후 높은 압축률로 압축하면 대부분의 워터마크 정보를 잃어버리게 된다. 고주파 영역에 워터마크 정보를 삽입하면 고주파 성분이 압축되기 때문에 저주파 성분을 이용하게 된다.

(5) DA/AD 변환

디지털 표현된 영상 데이터를 사진으로서 출력(DA변환)하고, 다시 스캐너로 읽어들이는 조작(AD변환)을 반복하면 워터마크 정보를 잃어버리게 된다.

디지털 워터마킹에 요구되는 평가항목들을 위와 같이 열거하여 보았다. 본 논문에서는 운용상의 평가항목으로서 주로 영상처리에 있어서의 내성을 중심으로 살펴보기로 한다.

4.3 JEITA의 내성에 관한 평가항목과 기준

디지털화 된 영상은 각종 소프트웨어에 의해 영상처리가 쉽게 이루어진다. 영상처리는 사용자가 영상을 좋게 보이게 하기 위하여 처리하는 경우와 디지털 워터마크에 대한 공격으로서 이용하는 경우로 나누어진다. 다시 말하면 「선의의 영상처리」와 「악의의 영상처리」로 분류된다.

디지털 워터마크에 기대되는 요구조건으로서 「선의의 영상처리」에 대해서는 워터마크 정보가 유지될 필요가 있다. 그러나 「악의의 영상처리」에

대해서 워터마크 정보가 유지되도록 하는 것은 쉽지 않다. 이 두 종류의 처리에 대한 디지털 워터마킹의 내성을 각각 일반 영상처리 내성, 특수 영상처리 내성이라고 부르며, 여기서는 전자를 평가대상으로 한다[2].

일반 영상처리 내성의 평가항목은 디지털화 된 영상으로서 영상조정을 목적으로 하는 처리 중에서 선택한다. 또한 평가의 실용성을 고려하고 평가 작업을 간략화 할 수 있도록 대표되는 영상처리 파라메타의 조합으로 설정한다. 이는 물론 실제의 영상처리에서는 다양한 영상처리 기법을 복잡하게 조합하여 처리하는 경우가 많지만 이 모든 것을 다루기는 어렵기 때문이다. 디지털 워터마크의 사용환경에 따라서는 이렇게 설정하는 일반 영상처리 내성 평가항목과 기준이 적절하지 않을 수 있다. 그래서 디지털 워터마크를 이용하는 사용자가 사용목적에 맞게 임의의 영상처리를 추가할 수 있는 평가구조로서 유연성을 가지도록 구성하는 것이 바람직할 것이다. 또 특수 영상처리 내성의 평가항목에 관해서는 디지털 워터마크 기법마다 공격효과가 있는 기법이 다르고 동시에 내성의 강약이 달라지게 되기 때문에 특정하는 것은 어렵다.

여기서는 특수 영상처리에 대해서는 다루지 않고 일반 영상처리에 대한 내성 평가항목과 기준에 대해서 고찰한다[2].

디지털 워터마킹은 오류 정정 부호가 조합되어 있는 경우가 많고 일반적으로는 삽입 정보량이 적을수록 높은 오류 정정 기능을 가진다고 생각할 수 있다. 그러나 디지털 워터마킹 기술이 비공개인 경우 이 구별은 할 수 없기 때문에 여기서는 오류 정정 부호를 포함한 내성을 평가한다. JEITA에서 제안하고 있는 평가항목과 기준을 간략하게 기술한다.

(1) 파일 형식 변환

① 디지털 워터마크를 full color 영상에 삽입하는 경우

일반 디지털 영상사용자는 어떠한 비가역 압축처리를 수반하는 파일 형식을 이용하는 경우가 많다. 대표적인 비가역 압축법으로는 JPEG 압축

이 있고, 또 GIF(graphic interchange format)등의 인덱스 칼라를 이용하는 경우도 있다. 이러한 형식 변환을 이용한 경우 워터마크 정보를 열화시키게 된다.

[내성시험 1] 인덱스 칼라 : 시험영상에 워터마크를 삽입하고 사용 팔레트에 「Web」을 선택해서 Indexed Color로 하고 다시 Full Color 영상으로 변환하여 평가한다.

[내성시험 2] JPEG 형식 : 시험영상에 워터마크를 삽입하고, JPEG 파일로 압축, 저장 보존한다. 이것을 신장해서 평가한다. YCrCb의 축소는 4 : 2 : 0 (수평, 수직 동시에 1/2로 서브샘플링)을 이용하고, 양자화 테이블로는 표준 예를 사용한다. 압축률(영상 파일크기)은 (a) 1/5 (b) 1/10 (c) 1/20 (d) 1/40 에 대해 평가한다. 단 신장후의 영상의 가로, 세로의 화소값을 각각, w, h로 했을 때 압축률의 계산은 아래 식(1)로 정의한다.

$$[\text{압축률}] = [\text{JPEG파일의크기}(byte)] / (w \times h \times 3) \quad (1)$$

② 워터마크를 JPEG 압축 영상에 삽입하는 경우

디지털 워터마크의 종류에 따라서는 JPEG 압축 영상에 직접 삽입하는 것이 있다. 아래의 처리에 대해서 평가한다.

[내성시험 3] JPEG 압축/신장 : 시험 영상을 1/8의 파일크기의 JPEG 파일로 압축하고 워터마크를 삽입한다. 이것을 일단 full color 영상으로 신장 후 다시 JPEG 압축에 의해 상기의 압축률로 압축하고, 평가한다.

(2) 트리밍

사용자는 영상 전체를 그대로 이용하지 않고 주시점부근을 잘라내는 조작(trimming)을 행하는 경우가 많다. 트리밍의 결과 경우에 따라서는 디지털 워터마크 사양의 최소 크기보다 작아져 검출할 수 없게 되는 경우가 있다 이 경우는 「내성없음」으로 평가한다.

[내성시험 4] 트리밍 : 워터마크를 삽입한 시험 영상을 중심을 고정

하고 (a) 3/4 (b) 1/2 (c) 1/3 (d) 1/4 의 축척으로 동일 가로, 세로의 비로 트리밍한 영상을 평가한다.

(3) 확대

사용자는 주시점을 확대해서 이용하는 경우가 있다. 대다수의 경우 단순한 확대가 아니라 위의 트리밍 조작과 함께 처리하는 경우가 많다. 이러한 경우의 영상에 대해서 평가한다.

[내성시험 5] 확대 : 상기 트리밍 영상을 원 영상 크기로 확대한 영상을 평가한다. 확대 처리로는 선형 보간을 사용한다.

(4) 축소

영상을 웹에서 인덱스로 표시할 때에는 축소조작을 행한다. 여기서는 축소에 대한 내성을 평가한다. 이 경우도 트리밍과 마찬가지로 워터마크 사양의 최소 크기보다 작아져 검출할 수 없게 되는 경우가 있다 이 경우에도 「내성없음」으로 평가한다.

[내성시험 6] 축소 : 워터마크를 삽입한 시험영상을 중심을 고정하고 (a) 3/4 (b) 1/2 (c) 1/3 (d) 1/4 의 축척으로 축소했을 때의 내성을 조사한다. 축소 처리로는 선형 보간을 이용한다.

(5) 계조 변환

영상의 밝기와 칼라의 균형을 변경하기 위하여 각 신호 값의 계조 곡선을 조작하는 경우가 많다. 여기서는 칼라 균형의 변경은 다루지 않고 각 색의 계조를 동일한 누승 곡선에서 조작한 영상을 평가한다. 시험영상의 픽셀 값을 I_{xy} , 처리후 영상의 픽셀값을 O_{xy} , 임의의 파라메타를 α 라고 했을 아래의 식을 이용한다.

$$O_{xy} = 255 \cdot \left(\frac{I_{xy}}{255} \right)^\alpha \quad (2)$$

[내성시험 7] 계조변환 : 시험영상에 워터마크를 삽입하고 그 RGB 신호에 대해, 식(2)을 이용하여 계조변환을 행했을 때의 내성을 평가한다. 계수 α 는 (a) 0.5 (b) 0.75 (c) 1.25 (d) 1.5 를 사용한다.

(6) 사영 변환

화면의 원근감을 보정하기 위하여 사진 촬영시에 렌즈와 필름의 위치 관계를 변경하는 경우를 사영변환이라고 한다. 그러나 디지털 영상에 있어서는 후처리에서 원근감을 보정할 수 있기 때문에 이것에 대한 내성을 평가한다. 이 처리는 영역 분할 된 아핀 변환이며 부분적인 확대, 축소, 회전을 포함한다. 원 영상의 가로, 세로의 픽셀수를 각각 w, h , 임의의 픽셀의 좌표를 x, y , 변환후의 좌표를 X, Y 라고 했을 때 아래의 좌표변환 식으로 나타낼 수 있다.

$$x = X + \frac{aw(h - Y)(1 - \frac{2X}{w} - \frac{\beta}{100})}{200h} \quad (3)$$

$$y = \frac{200Y - 2aY(1 - \frac{Y}{2h})}{200 - a} \quad (4)$$

[내성시험 8] 사영변환 : 워터마크를 삽입한 시험영상을 사영변환한 때의 내성을 평가한다. 좌표변환은 식 (3)과 식 (4)에 따라 계산하고 선형 보간을 이용한다. 파라메타 (α, β) 는 (a) (5, 1) (b) (10, 3) (c) (20, 6) (d) (30, 9) 로 한다.

(7) 공간 주파수 변환

흐림처리와 에지 강조 처리는 화질 조정 수단으로서 널리 사용되고 있다. 여기서는 5×5 convolution을 사용한 처리를 대표 파라메타로 설정하여 흐림처리와 에지강조 처리 각각에 대해서 평가한다. 원 영상 및 변환 후의 영상의 xy 좌표의 픽셀값을 각각 I_{xy}, O_{xy} 로 하고 주목점을 원점으로 하는 5×5 의 convolution 연산의 w 좌표의 계수를 w_w 로 했을 때 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$O_{xy} = \frac{1}{W} \sum_{u=-2}^2 \sum_{v=-2}^2 w_{uv} \cdot I_{x+u, y+v} \quad (\text{단, } W = \sum_{u=-2}^2 \sum_{v=-2}^2 w_{uv}) \quad (5)$$

[내성시험 9] 공간 주파수 변환 : 워터마크를 삽입한 시험영상에 표 1의 파라메타를 이용하여 공간주파수 변환을 실시했을 때의 내성을 평가한다. (a)와 (b)는 흐림 처리 (c), (d)는 에지 강조 처리에 해당한다.

표 1. 공간주파수 처리의 파라메타

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>8</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>40</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>56</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	56	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px; height: 100px;"> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>40</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	40	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	8	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	40	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	56	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	40	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
-1	-1	-1	-1	-1																																																																																																			
$/32$	$/64$	$/32$	$/16$																																																																																																				
(a)	(b)	(c)	(d)																																																																																																				

(8) 프린터/스캔 시뮬레이션

영상의 다수는 프린트로 출력된다. 이것을 스캐너로 읽어들이 다시 디지털화 했을 때 워터마크 정보가 유지되는 것이 바람직하다. 그러나 프린터에서의 영상처리와 스캐너의 분해에서 열화가 생긴다. 이 평가를 실제의 입출력 기기를 사용해서 처리하기에는 프린트와 스캐너의 종류, 그리고 드라이브 소프트웨어의 설정, 게다가 조정상태들을 모두 규정하지 않고서는 실용화가 어렵다. 그러므로 간편한 처리로서 의사 프린터·스캔 상태를 정의하고 평가한다.

[내성시험 10] 프린터·스캔 시뮬레이션 : 워터마크를 삽입한 시험영상을 α 배로 하고 오차 확산처리에 따라 2차화를 행한다. 다음에 2차화된 영상을 중간조 영상으로서 선형 보간에 의해 축소하고, $1/\alpha$ (원 영상 크기)로 하고 이 영상을 평가한다. 파라메타 α 로서 (a) 3 (b) 2 (c) 1.5 (d) 1을 사용하고 영상의 회전량은 시계 방향으로 0.5도로 한다.

(9) 미삽입 영상과의 합성

사용자는 영상의 오류분이거나 중첩시켜 합성하거나 해서 새로운 영상

을 만들어 사용하게 된다. 오려붙인 경우는 트리밍에서 평가되기 때문에 여기서는 워터마크를 삽입하지 않은 새로운 영상과 디지털 워터마크를 삽입한 영상과 픽셀 단위로 중첩시켜 합성한 경우에 대해서 평가한다. 시험 영상의 xy 좌표의 픽셀값을 I_{xy} , 합성후의 픽셀값을 O_{xy} 로 하고 G 를 워터마크 미삽입 영상으로 한 경우 블렌딩 파라메타를 α 로 하면 식 (6)으로 나타낼 수 있다. 이 계산은 각 RGB 채널마다 행한다.

$$O_{xy} = \alpha \cdot I_{xy} + (1 - \alpha) \cdot G \quad (6)$$

[내성시험 11] 중첩 합성 : 블랜드 파라메타를 (a) 0.8 (b) 0.6 (c) 0.4 (d) 0.2 로 했을 때의 내성을 평가한다. 여기서 G 는 정수로 하고 $L^* = 50$ 에 상당하는 117을 이용한다.

5. 시뮬레이션 및 결과

5.1 시뮬레이션 환경

4장의 JEITA에서 제시한 디지털 워터마킹 기술의 내성 평가항목과 기준에 근거하여 JPEG 압축에 대한 견고성을 갖는 디지털 워터마킹 [4] (이하 LPZ 방식)과 Photoshop 6.0에 플러그인 방식으로 제공되고 있는 상용 프로그램인 DigiMarc[3] 그리고 Alpha Tec사의 EIKONAMark[13], Digital innotech사의 KAIMark[62]에 대해서 평가를 수행하였다. 또한, 현재 벤치마크 툴로 알려져 있는 StirMark [12]의 많은 공격 방법 중에서도 JEITA의 기준과 유사한 대표적인 공격 파라메타를 선정하여 현재 상용화되었거나 그 단계에 있는 디지털 워터마킹 기술의 안전성에 대해 평가하였다. 실험에 사용한 영상은 영상처리에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 영상중의 하나인 Lena (256×256, 8bits/pixel Grayscale Image)와 Girl (256×256, 8bits/pixel RGB Color Image)을 대상으로 하였으며, 평가환경은 [표 2]와 같다.

표 2. 시뮬레이션 환경

내 용	시뮬레이션 환경
운영체제	Windows98 Second Edition
CPU	Intel Celeron™ 633MHz
주기억 용량	128MB RAM
영상 접근 방법	주기억장치에 있는 영상 데이터에 대해서 직접 처리를 수행한다
평가 도구	Photoshop 6.0(이하 Ps6으로 표기)

5.2 JEITA 평가항목과 기준에 따른 평가 시뮬레이션 및 결과



그림 6. Lena 원 영상



그림 7. 워터마크삽입영상
(LPZ방식)



그림 8. Girl 원 영상



그림 9. 워터마크 삽입 영상
(DigiMarc)

(1) 파일형식 변환

① 디지털 워터마크를 full color 영상에 삽입하는 경우

인덱스 칼라 : Ps6에서 「File」 「Save For Web...」 선택하여 indexed color 형식인 GIF로 변환한 후 「File」 「Save As...」를 선택하여 원래의 Full color 형식을 선택하고 Full color 영상으로 되돌린다.



그림 10. 인덱스 칼라 I



그림 11. 인덱스칼라II

JPEG 압축 : 워터마크가 삽입된 영상을 Ps6에서 「File」 「Save For Web...」에서 JPEG 파일 형식을 선택하여 저장한다. 그리고 저장한 영상을 읽어들이 「File」 「Save As...」를 선택하여 원래의 형식으로 되돌린다. 압축율 (a) 1/5 (2) 1/10 (3) 1/20 (4) 1/40



그림 12. JPEG 압축 I (d)



그림 13. JPEG압축II(d)



그림 14. JPEG 압축/신장

② JPEG 압축 영상에 워터마크를 삽입하는 경우

JPEG 압축/신장 : Ps6에서 「File」 「Save For Web...」에서 JPEG (압축률 1/8로 압축) 파일 형식을 선택하여 저장한 후 제안된 기법으로 워터마크를 삽입한다. 워터마크가 삽입된 영상을 「File」 「Save As...」를 선택하여 원래의 Full color 파일 형식으로 변환 후 다시 「File」 「Save For Web...」에서 JPEG (압축률 1/8) 파일로 변환한다.

(2) 트리밍

Ps6에서 「Image」 「Trim...」을 선택하고 사각선택도구(Marquee Tool)를 이용하여 잘라낼 영역을 선택하여 「Image」 「Cut」를 선택한다. 단, 사각선택 도구로 이미지를 지정할 때 Feather값은 0 이어야 한다.

드래그해서 나타난 선택영역 모서리의 점을 이동시켜서 크기를 조절한다. 잘려진 영상을 새로운 파일로 저장한다.

파라메타 (a) 3/4 (b) 1/2 (c) 1/3 (d) 1/4



그림 15. 트리밍 I (a)



그림 16. 트리밍 II (a)

(3) 확대

Ps6에서의 평가항목 4의 파라메타 (a)~(d)에서 사용한 영상을 읽어 들여 「Image」 「Image Size」를 선택하여 원래의 이미지 크기 (256×256)로 재편집한다.



그림 17. 확대 I



그림 18. 확대 II

(4) 축소

Ps6에서 「Image」 「Image Size」를 선택하여 파라메타 (a) 3/4 (b) 1/2 (c) 1/3 (d) 1/4 만큼의 크기로 재편집한다.



그림 19. 축소 I (a)



그림 20. 축소 II (a)

(5) 계조 변환

Ps6에서 「Image」 「Adjust」 「Curves...」를 선택하여 각 채널별로 각 색의 계조를 조작한다.



그림 21. 계조변환
(RED 채널)



그림 22. 사영변환 I (a)



그림 23. 사영변환 II (d)

(6) 사영 변환

Ps6에서 「Edit」 「Transform」을 선택하여 (a)~(d) 처리에 대해서 평가한다. (a) 좌표변환 (b) 크기조절 (c) 기울기 조절 (d) 원근감 조절

(7) 공간 주파수 변환

Ps6에서 「FILTER」 「blur」를 선택하여 (a)에 대한 처리를 하고 「FILTER」 「blur more」를 선택하여 (b)에 대한 처리를 한다. 그리고

「FILTER」 「sharpen」을 선택하여 (c)에 대한 처리를 「FILTER」 「sharpen Edge」를 선택하여 (d)에 대한 처리를 한다.



그림 24. 공간 주파수변환 (d)



그림 25. 공간주파수변환 (a)

(8) 프린터/스캔 시뮬레이션

Ps6에서 「Image」 「Image size」를 선택하여 α 배만큼 확대한 후 「Image」 「Mode」를 선택하여 Grayscale 모드로 변경한다. 이렇게 변경된 영상을 다시 「Image」 「Mode」 bitmap 모드를 선택하여 2치화 한다. 이것을 「Image」 「Image size」를 선택하여 $1/\alpha$ 로 축소하고 「Image」 「Rotate Canvas」를 선택하여 0.5도만큼 회전하여 시험 영상을 만든다. 파라메타 (a) 3 (b) 2 (c) 1.5 (d) 1



그림 26. 프린터 · 스캔 I (a)



그림 27. 프린터 · 스캔 II (a)

(9) 중첩 합성

Ps6에서 「Image」 「Apply Image」를 선택하여 워터마크가 삽입된 영상을 대상 영상으로 워터마크가 미 삽입된 영상을 마스크 영상으로 지정하여 합성한다.



그림 28. 중첩 합성
(gray 채널)



그림 29. 중첩합성 (R 채널)

각종 영상처리 후 워터마크 검출 여부를 표 3~표 6에 정리하였다.

표 3. LPZ방식의 평가결과(Lena 영상)

필수평가항목		평가 파라메타			
		(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	○			
2	JPEG 압축	○	○	○	○
3	JPEG 압축·확장	적용불가			
4	트리밍	×	×	×	×
5	확대	×	×	×	×
6	축소	×	×	×	×
7	개조 변환				
8	사영변환	×	×	×	×
9	공간주파수변환	○	×	○	○
10	프린터/스캔	×	×	×	×
11	중첩 합성	○			

○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

표 4. DigiMarc의 평가결과 (삽입강도 4)

필수평가항목		Lena 영상				Girl 영상			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	○				○			
2	JPEG 압축	○	○	○	○	○	○	○	○
3	JPEG 압축 · 확장	○				○			
4	트리밍	○	○	○	○	○	○	○	○
5	확대	○	○	○	×	○	○	○	×
6	축소	○	×	×	×	○	×	×	×
7	계조 변환					○	○	○	
8	사영변환	○	×	×	×	○	×	×	×
9	공간주파수변환	○	×	○	○	○	○	○	○
10	프린터/스캔	×	×	×	×	×	×	×	×
11	중첩 합성	○				○	○	○	

○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

표 5. EIKONAMark의 평가결과(Lena 영상)

필수평가항목		평가 파라메타			
		(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	○			
2	JPEG 압축	○	○	○	○
3	JPEG 압축 · 확장	○	○	○	○
4	트리밍	×	×	×	×
5	확대	×	×	×	×
6	축소	×	×	×	×
7	계조 변환	○	○	○	○
8	사영변환	×	×	×	×
9	공간주파수변환	○	×	○	○
10	프린터/스캔	×	×	×	×
11	중첩 합성	○	○	○	○

○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

표 6. KAIMark의 평가결과 (Lena 영상)

필수평가항목		방법 1				방법 2				방법 3			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	○				○				○			
2	JPEG 압축	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	JPEG 압축 · 확장	×				×				×			
4	트리밍	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
5	확대	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
6	축소	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
7	계조 변환	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	사영변환	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×
9	공간주파수변환	○	×	○	○	○	×	○	○	○	×	○	○
10	프린터/스캔	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11	중첩 합성	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

5.3 StirMark 평가항목에 따른 시뮬레이션 및 결과

현재 가장 강력한 공격도구로 StirMark가 알려져 있다. StirMark에 의한 평가항목은 여러 가지 있지만, 크게 나누면 아래와 같이 분류된다.

- (1) 일상적으로 이루어지는 영상처리 항목
- (2) 의도적으로 워터마크를 제거하려는 조작

StirMark에서는 이들 복수의 공격을 혼합한 강력한 도구로 인정되고 있다. StirMark의 주요 처리 내용은 크게 기하학적 변형과 화소 단위의 변형으로 분류되며, 구체적인 평가항목은 다음과 같다.

- (1) Index color
- (2) JPEG압축: (a) 30%(b) 25%(c) 20%(d) 15%
- (3) Cropping: (a) 20%(b) 25%(c) 50%(d) 75%
- (4) 축소: (a) 25% (b) 50% (c) 75% (d) 90%

(5) 확대: (a) 1.1 (b) 1.25 (c) 1.5 (d) 1.75

(6) Color Quantization

(7) General linear geometric : (a) (1.010, 0.013, 0.009, 1.011)

(b) (1.007, 0.010, 0.010, 1.012) (c) (1.013, 0.008, 0.011, 1.008)

(8) Convolution filter: (a) Gaussian (b) Sharpening

(c) Median filter(3 x 3) (d) Median filter(4 x 4)

StirMark에 의한 평가결과를 표 7~표 8에 제시한다. 평가에 사용한 디지털 워터마킹 기법은 현재 상용화 제품으로 제시되어 있는

(1) EIKONAmark[13] (2) PictureMarc[14]

(3) WaterStamp[15] (4) SureSign[16]을 대상으로 하였다.

표 7. StirMark에 의한 평가결과(EIKONAmark, PictureMarc)

평가항목		EIKONAmark				PictureMarc			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	×				×			
2	JPEG 압축	×	×	×	×	○	×	×	×
3	Cropping	×	×	×	×	○	○	○	×
4	확대	×	×	×	×	×	×	×	×
5	축소	×	×	×	×	×	×	×	×
6	Color Quantization	×				×			
7	선형 기하학 변환	×	×	×		○	○	○	
8	Convolution	○	○	○	×	○	○	○	○

※ StirMark 평가항목에 대한 조건 미지정시 default 파라메타 적용
○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

표 8. StirMark에 의한 평가결과(WaterStamp, SureSign)

평가항목		WaterStamp				SureSign			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
1	Index Color	×				×			
2	JPEG 압축	○	○	○	○	○	○	○	○
3	Cropping	○	○	×	×	○	△	△	×
4	확대	×	×	×	×	×	×	×	×
5	축소	×	×	×	×	×	×	×	×
6	Color Quantization	×				×			
7	선형 기하학 변환	○	○	○		×	×	×	
8	Convolution	○	○	○	○	○	○	○	○

※ StirMark 평가항목에 대한 조건 미지정시 default 파라메타 적용
 ○ : 검출, △ : 일부검출, × : 미검출

6. 결 론

본 논문에서는 저작권 보호를 목적으로 하는 디지털 워터마킹 기술에 대하여 워터마크 검출 시 원 영상을 필요로 하느냐 그렇지 않느냐에 따라 공개 디지털 워터마킹과 비공개 디지털 워터마킹으로 분류하고 또 워터마크를 삽입하기 위하여 영상의 어떠한 영역을 이용하느냐에 따라 공간영역 이용형과 주파수영역 이용형으로 분류해 보았다. 아직까지는 공개형보다는 비공개형이 더 많이 연구되고 있으며 또한 각종 신호처리와 일반 영상처리에 견고함을 목적으로 주파수영역을 이용한 디지털 워터마킹 기술이 활발하게 연구되고 있음을 알 수 있었다.

그리고 디지털 워터마킹 기술에 대한 안전성 평가를 위하여 JEITA에서 제안하고 있는 평가항목과 기준을 고찰하고, 각 항목에 대하여 상용화된 평가도구와 StirMark를 이용하여 LPZ방식과 DigiMarc를 비롯한 몇 가지 상용제품에 대하여 내성평가를 수행하였다. 평가 대상 제품 대부분이 단순한 영상처리 항목에서는 내성을 보였으나 기하학적인 변화를 수반하는 영상처리에서는 아직도 많은 항목에서 내성을 가지지 못함을 알 수 있었다.

향후의 연구과제로는 디지털 워터마킹 기술의 표준화가 하루 빨리 달성될 수 있도록 더욱 객관적인 평가항목과 기준을 만들어야 할 것이다. 뿐만 아니라 원 영상이 없어도 디지털 콘텐츠의 소유권을 증명할 수 있는 효율적인 워터마킹 기술이 많이 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 松井甲子雄, “電子透かしの基礎”, 森北出版株式會社, 2000(in Japanese)
- [2] 社團法人 日本電子工業振興協會, “電子透かし技術に関する調査報告書”, 2000.13.3.
- [3] Adobe Photoshop 6: <http://www.adobe.com> : 82/products/photoshop
- [4] H.J.Lee, J.H.Park and Y.Zheng, “Digital Watermarking Robust Against JPEG Compression”, LNCS 1729, pp.167-177, 1999.11
- [5] Content ID forum: <http://www.cIDf.org>
- [6] CPTWG: http://www.trl.ibm.com/projects/s7730/Hiding/dhvgx_c.htm
- [7] MPEG 4: <http://www.cseit.it/mpeg>
- [8] DAVIC: <http://www.davic.org>
- [9] MUSE Project: “Request for Proposals: Embedded Signalling Systems Issue 1.0”, June 11, 1997
- [10] SDMI: <http://www.sdmi.org>
- [11] JEITA: <http://www.jeita.or.jp>
- [12] StirMark: <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/watermarking/stirmark>
- [13] EIKONAmark: <http://www.alphatecltd.com>
- [14] PictureMarc(Digimarc): <http://www.digimarc.com>
- [15] WaterStamp: <http://www.digitreal.com>
- [16] SureSign: <http://www.signumtech.com>
- [17] A. Bors, I. Pitas, “Image watermarking using block site selection and D.C.T. domain constraints”, Optics Express, vol. 3 no. 12pp. 512-523, 7 Dec. 1998,.
- [18] D. Kunder, D. Hatzinakos, “Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition”, in Tnternational Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing(ICASP), Seattle, Washington, U.S.A., May 1998, IEEE, vol. 5, pp.2969-2972
- [19] H.J. M. Wang, P.-C. Su, C. C. J. Kuo, “Wavelet based digital image watermarking”, Optics Express, vol. 3 no. 12pp. 491-496, 7 Dec. 1998,.

- [20] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "A M.A.P. identification criterion for D.C.T.-based watermarking", *Signal Processing*, vol. 66 no.3 pp.357-372. May 1998, European Association for Signal Processing(EUSIPCO).
- [21] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, C. F. Osborne, "A Digital Watermark" in *International Conference on Image Processing*, Austin, Texas, U.S.A., 1994, IEEE, vol. 2, pp. 86-90
- [22] S. Walton, "Image Authentication for a Slippery New Age", *Dr. Dobb's journal of software tools*, vol. 20 no 4 pp. 18-26, Apr. 1995,.
- [23] G. C. Langelaar, J. C. A. van der Lubbe, J. Biemond, "Copy Protection for Multimedia Data based on Labeling Techniques", in *17th Symposium on information Theory in the Benelux*, Enschede, The Netherlands, May 1996.
- [24] I. Pitas, "A method for signature casting on digital images", in *International Conference on Image Processing*, Sept. 1996, vol. 3, pp. 215-218.
- [25] N. Nikolaidis, I. Pitas, "Robust image watermarking in the spatial domain" *Signal Processing*, vol. 66 no. 3 pp. 385-403, May 1998, European Association for Signal Processing(EURASIP)
- [26] I. Pitas, "A Method for Watermarking Casting on Digital Images", *IEEE Transactions Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 8 no. 6 pp. 775-780, 1998,.
- [27] K. I. Hashida, A. Shiozaki, "A Method of Embedding Robust Watermarks into Digital Color Images", *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics*. vol. E81-A no. 10 pp. 2133-2137, Oct, 1998,.
- [28] E. Koch, J. Zhao, "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling", in *Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, Noes Marmaras, Greece, June 1995, IEEE, pp. 452-455.
- [29] M. D. Swanson, B. Zhu, A. H.. "Transparent Robust Image

- Watermarking", Tewfik, in International Conference on Image Processing. IEEE, 1996, vol, III, pp. 211-214.
- [30] J. J. K. O Ruanaidh, W. J. Dowling, F. M. Boland, "Watermarking digital images for copyright protection", I.E.E. Processings on Vision, Signal and Image Processing, vol. 143 no. 4 pp. 250-256, Aug. 1996,.
- [31] M. D. Swanson, B. Zu, A. H. Tewfik, "Robust Data Hiding for Images", in 7th Digital Signal Processing Workshop(DSP 96), Loen, Norway, Sept. 1996, IEEE, pp. 37-40.
- [32] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Piva, "A D.C.T.-domain system for robust image watermarking", Signal Processing, vol. 66 no. 3 pp. 357-372, May 1998, European Association for Signal Processing(EURASIP).
- [33] D. Tzovaras, N. Karagiannis, M. G. Strintzis, "Robust image watermarking in the subband or discrete cosine transform domain", in 9th European Signal Processing Conference (EUSIPCO '98), Island of Rhodes, Greece, 8-11 Sept. 1998, pp. 2285-2288. ISBN 960-7620-05-4.
- [34] C. Y. Lin, S. F. Chang, "Generation Robust Digital Signature for Image/Video Authentication", in Dittmann et al. [405], pp. 49-54.
- [35] L. Xie, G. R. Arce, "A blind wavelet based digital signature for image authentication", in 9th European Signal Processing Conference (EUSIPCO'98), Island of Rhodes, Greece, 8-11 Sept. 1998, pp. 21-24. ISBN 960-7620-05-4.
- [36] G. Nicchiotti, E. Ottaviano, "Non-invertible statistical wavelet watermarking", in 9th European Signal Processing Conference (EUSIPCO'98), Island of Rhodes, Greece, 8-11 Sept. 1998, p. 2289-2292. ISBN 960-7620-05-4.
- [37] X.-G. Xia, C. G. Boncelet, G. R. Arce, "Wavelet transform based watermark for digital images", Optics Express, vol. 3 no. 12 pp. 497-511. 7 Dec. 1998,.

- [38] A. Z. Tirkel, G. A. Rankin, R. M. van Schyndel, W. J. Ho, N. R. A. Mee, C. F. "Electronic Watermark", Osborne, in Digital Computing, Technology and Applications (DICTA'93), Macquarie University, Sidney, 1993, pp. 666-673.
- [39] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "A Secure, Robust Watermark for Multimedia", in Anderson [402], pp. 183-206.
- [40] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A Watermark for Digital Images", in International Conference on Images Processing. IEEE, Sept. 1996, pp. 219-222, Lausanne, Switzerland.
- [41] R. B. Wolfgang, E. J. Delp, "A watermark technique for digital imagery: further studies", in International Conference on Imaging, Systems, and Technology, Las Vrgas, Nevada, U.S.A., 30 June-3 July 1997, IEEE, pp. 279-287.
- [42] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 6 no. 12 pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- [43] S. Burgett, E. Koch, J. Zhao, "Copyright Labeling of Digitized Image Data", IEEE Communications Magazine, vol.36 no.3 pp. 94-100, Mar. 1998,.
- [44] J. J. K. O Ruanaidh, T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking", Signal Processing, vol. 66 no. 3 pp. 303-317, May 1998, European Association for Signal Processing(EURASIP)
- [45] J. F. Delaigle, C. De Vleeschouwer, B. Macq, "Watermarking algorithm based on a human visual model", Signal Processing, vol. 66 no. 3 pp. 319-335, May 1998, European Association for Signal Processing (EUTASIP).
- [46] F. Hartung, B. Girod, "Fast Public-Key Watermarking of Compressed Video", in International Conference on Image Processing (ICIP'97). Santa Barbara, California, U.S.A., Oct. 1997, IEEE, vol. I, pp. 528-531. ISBN 0-8186-8183-7.

- [47] L. M. Marvel, C. G. Boncelet, Jr., C. T. Retter, "Reliable Blind Information Hiding for Images", in Aucsmith [369], pp. 48-62.
- [48] J. Zhao, E. Koch, "Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection", in International Congress on Intellectual Property Rights for Specialised Information, Knowledge and New Technologies, Vienna, Austria, 21-25 Aug. 1995.
- [49] P. Bas, J. M. Chassery, F. Davoine, "Self-similarity based image watermarking", in 9th European Signal Processing Conference (EUSIPCO'98), Island of Rhodes, Greece, 8-11 Sept. 1998, European Association for Signal Processing, pp. 2277-2280. ISBN 960-7620-05-4.
- [50] M. S. Kankanhalli, R. K. R. Ramakrishnan, "Content Cased Watermarking of Image", [404], pp. 61-70.
- [51] G. Caronni, "Assuring Ownership Rights for Digital Images", in Reliable IT Systems (VIS'95), H. H. Brüggermann, W. Gerhardt-Hackl, Eds, 1995, pp. 251-263, Vieweg Publishing Company, Germany.
- [52] J. Zhao, E. Koch, "A Digital Watermarking System for Multimedia Copyright Protection", in Fourth ACM International Multimedia Conference, Boston, Massachusetts, 18-22 Nov. 1996, pp. 443-444, ACM. ISBN 0-89791-871-1.
- [53] F. Goffin, J.-F. Delaigle, C. D. Vleeschouwer, B. Macq, J.-J. Quisquater, "A Low Cost Perceptive Digital Picture Watermarking Method", in Sethi, Jain [271], pp. 264-277.
- [54] G. C. Langelaar, J. C. A. van der Lubbe, R. L. Lagendijk, "Robust Labeling Methods for Copy Protection of Images", in Sethi, Jain [271], pp. 298-309.
- [55] A. Z. Tirkel, C. F. Osborne, T. E. Hall, "Image and watermark registration", Signal Processing, vol. 66 no. 3 pp. 373-383, May 1998. European Association for Signal Processing (EURASIP).

- [56] H. Kinoshita, M. Satoh, "Generation of the signature with the structured of the image", in 9th European Signal Processing Conference (EUSIPCO'98), Island of Rhodes, Greece, 8-11 Sept. 1998. pp. 2273-2276. ISBN 960-7620-05-4.
- [57] M. S. H. T S Chen, C C Chang, "A Virtual Image Cryptosystem Based upon Vector Quantization", IEEE Transaction on Image Processing, vol.7 no. 10 pp. 1485-1488, Oct. 1998.
- [58] A. R. Rao, G. W. Braudaway, F. C. Mintzer, "Automatic visible watermarking of images", in van Renesse [403].
- [59] Ross J. Anderson and Fabien A. P. Petitolas, "Information hiding an annotated bibliography" :
<http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/bibliography>
- [60] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, "Techniques for data hiding", I.B.M. System Journal, Vol.35, pp.313-336, 1996
- [61] Podilchuk C. I, W. zeng, "Digital image watermarking using visual models", Proc. of the SPIE Conf. on Human Vision and Electronic Imaging, 1997
- [62] KAIMark : http://www.digital_innotech.com/homepage/index.htm

감사의 글

올해는 예년과 달리 유난히 겨울바람이 차갑습니다. 겨울은 겨울다워야 제맛이라고..... 그래서인지 불에 부딪히는 찬바람이 그리 싫지만은 않습니다.

공부란 게 무언지도 모르는 채 주어지는 책장만을 하나 하나 넘기다가 고교를 졸업하고 또 사회생활을 하면서 그때는 나에게 이 글을 쓸 기회가 오리라고는 생각도 못하고 있었습니다.

진정한 학문의 길은 무엇인가? 아직도 저는 학문을 논하기에는 많이 부족함을 느낍니다. 아무런 준비도 없이 뛰어든 석사를 향한 길 연구실 생활, 저에게 참으로 많은 가르침을 준 3년의 세월이었습니다.

먼저 저에게 대학원 진학의 길과 일본 단기 유학의 길을 열어주시고 또한 석사과정 동안 많이 부족한 저 입에도 불구하고 끝까지 본 논문이 완성될 수 있도록 끊임없는 지도 편달을 아끼지 않으셨던 박지환 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또, 논문 심사동안 많은 지도와 격려를 해주시고 배움의 길 내내 늘 마음으로 깊은 관심을 보여 주신 윤성대 교수님, 김영봉 교수님 정말 그 은혜 평생 잊을 수 없을 것입니다. 그리고 학문적으로 많은 가르침을 주신 여러 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

저에게 있어서 너무나 힘들고 어려워 중도에 포기하고도 싶었던 시간들이었지만 그래도 묵묵히 지켜봐 주시며 위로와 격려를 아끼지 않으셨던 많은 분들이 계셨기에 이렇게 결실을 맺을 수 있었던 것 같습니다. 함께 입학하여 동고동락을 같이했던 동기생들, 그리고 함께 부대끼며 울고 웃었던 연구실원들, 석사 친구가 생기게 되었다고 늘 대견스러워만 하는 나의 사춘기 친구들에게 감사를 드리며 기쁨을 같이하고 싶습니다.

마지막으로 공부하는 동안 애정을 아끼지 않으시고 늘 응원해주시던 사랑하는 부모님과 형제들에게 감사를 드리며 이 논문을 바칩니다.

2002년 2월

김 은 실