스테레오 영상의 소유권 보호를 위한 워터마킹 기법

서영호* · 구자명** · 김동욱***

A New Watermarking Algorithm for Copyright Protection of Stereoscopic Image

Young-Ho Seo* · Ja-Myung Koo** · Dong-Wook Kim***

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아
수행된 기초연구사업임(NRF-2012-0003028).

요 약

본 논문에서는 스테레오 영상의 소유권 보호를 위한 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 기법은 스테레오 정합을 통해서 얻어진 변위 맵에서 폐색 영역에 해당하면서 적절한 주파수 계수를 갖는 영역에 워터마크를 삽입한다. 주파수 변환 도구로는 이산 웨이블릿 변환을 사용한다. 제안한 알고리즘은 스테레오 정합, 워터마크 재배열, 워터마크 위치 선정, 그리고 워터마크 삽입 및 추출로 구성된다. 미들버리에서 제공하는 4가지 실험 영상에 대해서 실험을 수행하였다. 4 가지 영상에 대해서 워터마크를 다양한 강인성을 갖도록 삽입하였고, 이들에 대해서 다양한 공격에 대한 워터마크 추출율을 검출하였다. 또한 3D TV에서 다양한 워터마크 삽입 영상을 시각적으로 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new watermarking technique for copyright protection of stereo image. The proposed technique embeds watermark to the region which corresponds to occlusion of the disparity map to be extracted by the proposed stereo matching and the frequency coefficient with the appropriate value. We use discrete wavelet transform for frequency transform tool. The proposed algorithm consists of stereo matching, watermark rearrange, mark space selection, and watermark embedding/extracting. We tested the experiment about 4 stereo images which are from Middlebury site. We embedded the watermark to 4 stereo images and extracted it from the images after attacks. We also visually analyzed the watermark embedding images in 3D TV environment.

키워드

스테레오, 영상, 워터마킹, 웨이블릿 변환, LFSR

Key word

stereo, image, watermarking, wavelet transform, LFSR

* 종신회원 : 광운대학교
** 준회원 : 광운대학교
*** 종신회원 : 광운대학교 (교신저자, dwkim@kw.ac.kr)

접수일자 : 2012. 03. 02
심사완료일자 : 2012. 03. 17

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.8.1663>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

인터넷 등 정보통신망의 급속한 발전 및 보급에 따라 문자, 영상, 오디오, 비디오 등의 정보전달 매체들이 복합적으로 형성된 멀티미디어가 사용되는 비율이 급격히 증가하고 있다. 디지털 데이터는 이동, 저장이 용이하다는 장점을 가진 반면, 복제 및 변조가 용이하다는 단점 또한 갖고 있다.[1] 대다수 인터넷 사용자들의 디지털 콘텐츠들의 불법적 사용이 확산되고 있으며, 특히 JPEG 및 MPEG 기반의 영상/비디오의 위/변조와 이에 따른 지적소유권 문제가 크게 부각되고 있다. 따라서 소유권자의 동의가 없는 불법적 복제 및 위/변조를 방지하고 소유권을 효과적으로 보호하기 위한 디지털 워터마킹(Digital Watermarking) 기술은 지적재산권을 보호하는 기술로서 가장 각광받고 있으며, 현재 많은 연구와 실제적 응용으로의 접근이 이루어지고 있다.[2][3]

1990년도 초반, Tanaka[4], Caronni[5], Tirkel[6]이 디지털 영상에 워터마킹을 도입하면서 이에 대한 연구가 시작되었고, Tirkel에 의해 처음으로 watermarking이라는 용어가 사용되었다. 초기의 연구는 영상의 공간정보를 이용하여 워터마킹을 수행하는 방법이 주로 사용되었다. 이 방법은 공간영역 상에서 영상의 화소 값을 직접 변화시켜 워터마킹을 수행하는 방식이었다. 영상을 크기가 같은 두 집합으로 나누고 두 집합에 속한 화소들의 차를 이용하여 검출하는 방법이 Pitas[7]에 의해 제안되었다. 또한 Kutter[8]는 특정 화소의 정보를 변화시켜 이웃 화소들과 비교함으로써 워터마크를 검출하는 방법을 제시하였다. 그러나 공간 영역에서의 워터마킹은 공격에 약한 단점을 가진다.

워터마킹 기술이 발달함에 따라 워터마크 적용영역이 공간영역에서 주파수 영역으로 점차 변화하였다. 공간영역에서의 방식에 비해 주파수영역에서 수행되는 방식이 공격에 강한 특성을 가지지만 주파수의 특성상 워터마크 삽입 위치를 정확히 선정할 수 없는 단점이 있었다. 주파수 영역에서의 워터마킹은 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 것이다. Ruaniidh[9]은 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 위상에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였고, Cox[10]와 Barni[11]등은 DCT(Discrete Cosine Transform)를 이용하여 주파수 영역의 중요한 계수를 선택한 후 계수의 크기 순으로 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

차세대 비디오 서비스로 주목되고 있는 다시점 및 자유시점 비디오 서비스는 사용자의 요구에 따라 새로운 가상시점을 제공한다. 이때 가장 중요한 요소 중의 하나는 정확한 깊이정보인데, 여기에 사용된 깊이정보는 공간상에서 카메라 시점을 기준으로 대상 물체까지의 거리로 정의된다. 깊이정보 추출의 기본원리는 각각의 눈에서 따로 관찰되는 물체의 상을 대뇌에서 분석 및 종합하여 물체의 원근을 인지하는 인각 시각 시스템(Human Visual System, HVS)에 근거를 두고 있다. 망막에 맺힌 각각 다른 물체의 상을 공학적으로 해석한 것이 스테레오 영상(stereoscopic image)이다. 3차원 영상이 주목을 받기 시작하면서 스테레오 영상에 대한 보호에 대한 연구들도 조금씩 진행이 되고 있다[12][13]. 아직까지 많은 연구가 진행되지 않고 있어서 스테레오 영상에 대한 워터마킹이나 암호화와 같은 분야에 대해서 참조할만한 연구가 많지 않다. 하지만 3차원 영상이 현재와 같이 발전해 나간다면 3차원 영상의 보호에 대한 이슈도 계속적으로 발전해 나갈 것으로 사료된다.

본 논문에서는 스테레오 영상 형태의 3차원 영상의 소유권 보호를 위한 워터마킹 기법을 제안한다. 아직까지 스테레오 영상에 대한 워터마킹의 연구에 대해 참조할만한 이전 연구가 많지 않고 연구 초기 단계이기 때문에 워터마킹이 실제 입체감이나 스테레오 효과에 미치는 영향 등도 분석하고자 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 워터마킹과 웨이블릿 변환에 대해서 소개하고 3장에서 제안한 스테레오 워터마킹 기법에 대해서 소개한다. 4장에서 실험결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 워터마킹과 DWT

본 논문에서 제안하고자 하는 스테레오 워터마킹 기법은 웨이블릿 변환을 이용한다. 따라서 워터마킹에 대한 기본 원리와 웨이블릿 변환에 대해서 간단히 살펴보고 웨이블릿 변환을 이용한 워터마킹에 대해 간단히 소개한다.

2. 1. 워터마킹의 삽입 원리

워터마킹 기법은 영상 및 음성을 비롯한 멀티미디어 데이터 안에 특정한 정보를 은폐시키는 기술을 말하며,

멀티미디어 저작권에 관한 효과적인 보호를 할 수 있는 차세대 수단이다. 워터마크는 단지 파일 뒤에 첨가되는 것이 아니라 완전히 파일의 내용과 함께 뒤섞이게 되므로 원래 파일에서 용량의 증가와 파일 포맷의 변화가 일어나지 않는다.

워터마크 삽입 과정은 원래의 정보 I 에 대해 원래의 정보와 추가하고자 하는 정보 W , 그리고 이들의 함수적 관계 $f(I, W)$ 에 의한 값을 원래의 정보에 삽입하는 방법이라 할 수 있다. 이때 워터마킹이 수행된 정보 I' 은 다음 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$I' = I + f(I, W) \quad (1)$$

워터마킹을 효과적으로 사용하기 위해서 여러 가지 특징이 요구되는데 기본적으로 세 가지 정도의 조건을 만족해야 한다. 먼저 외부에서 가해지는 필터링, 기하학적 변형, 그리고 여러 형태의 압축 등과 같은 공격에 강해야 하는데 이를 강인성(Robustness)이라 한다. 둘째로 원래의 정보에 워터마크가 삽입되었는지 안되었는지를 인간의 시각에 의해 판별할 수 없는 비가시성(Invisibility)을 가져야 한다. 마지막으로 문제 발생 시 추출된 워터마크의 확실한 소유권을 판별할 수 있는 명확성(Unambiguity) 및 낮은 에러확률(Low Error Probability)을 가져야 한다[14].

2.2. 리프팅 변환 (Lifting Transform)

현재까지 MPEG 및 JPEG을 이용한 영상 압축에서 주파수영역 변환 알고리즘으로 사용되어진 DCT(Discrete Cosine Transform)는 영상을 블록 단위로 처리하기 때문에 압축률이 높아짐에 따라서 블록화 현상(Blocking Effect)을 발생시키고 영상의 질을 떨어뜨렸다. 이에 비해 MJPEG 등에서 표준 알고리즘으로 채택된 바 있는 웨이블릿 변환은 영상을 압축하는데 있어 기존의 DCT를 이용한 방식에 비해 블록화 현상이 나타나지 않고 각 부대역(Subband)별로 처리가 가능하여 압축률의 조절이 용이하고 고 압축률에서 좋은 결과를 나타낸다. 지금까지의 연구에서 리프팅(Lifting)을 이용한 변환은 필터 뱅크(Filter Bank) 방식에 비해 계산량이 절반정도로 줄어 속도가 빠르고 메모리를 적게 사용하며 정수 대 정수 웨이블릿 변환이 용이하여 무손실 영상 압축을 할 수 있고 역 변환을 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다[15].

리프팅은 쌍직교(bi-orthogonal) 웨이블릿 변환의 공간축 상에서의 구현 방법론이다. 리프팅을 이용한 웨이블릿 변환은 그림 1과 같이 크게 분할(S:Split), 예측(P:Predict), 갱신(U:Update)의 3 단계로 구성되어 있다. 입력 신호 $x[n]$ 을 짝수 번째 신호 $x_e[n]$ 과 홀수 번째 신호 $x_o[n]$ 의 두 성분으로 분할한다. 다음으로 예측 연산자 P 를 이용하여 $x_e[n]$ 로부터 $x_o[n]$ 를 예측할 때 얻어지는 에러인 웨이블릿 계수 $d[n]$ 를 식 (2)와 같이 구한다. 마지막으로 입력 신호 $x[n]$ 을 근사화하여 나타내는 스케일링(scaling) 계수 $c[n]$ 을 얻기 위해 식 (3)과 같이 $x_e[n]$ 과 $d[n]$ 을 결합한다. 이것은 웨이블릿 계수에 갱신 연산자 U 를 적용한 다음 $x_e[n]$ 를 더하여 구한다.

$$d[n] = x_o[n] - P(x_e[n]) \quad (2)$$

$$c[n] = x_e[n] + U(d[n]) \quad (3)$$

본 논문에서 사용된 필터는 속도를 위하여 (5-3)필터를 사용하였고 이 필터 계수들을 팩토링(Factoring) 알고리즘[13]을 적용시켜 리프팅으로 변환을 이용하였다. 그림 2에는 3-레벨 DWT 이후의 부대역 구조를 나타냈다.

그림 1. 정방향/역방향 리프팅 방식의 구조도
Fig. 1 Forward/Inverse Lifting Method

그림 2. 3-레벨 DWT 결과
Fig. 2 3-Level DWT Result

2.3. 웨이블릿 영역에서의 워터마킹

웨이블릿 변환의 도입과 사용영역의 확대에 따라서 웨이블릿 영역에서의 워터마킹에 대한 연구도 폭넓게 진행되고 있다. 웨이블릿 변환은 DCT과 FFT 등의 변환과는 다르게 주파수 영역으로의 변환 후 각 부대역들이 공간영역에 대한 정보를 가지게 된다. 따라서 다른 변환에서 불리한 점이었던 영상의 위치 정보를 워터마킹 과정에서 손쉽게 이용할 수 있어 최근 들어 워터마킹에 대한 연구의 주류를 이루게 되었다. 또한 전처리 과정 생략과 다해상도를 이용하여 연산 처리속도가 증가하고, 분해된 여러 부대역에 다양한 방식으로 워터마크를 삽입할 수 있다. 한 예로서 Xia[15]는 제안한 최저주파 부대역인 LL 부대역을 제외한 나머지 부대역에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 웨이블릿 변환에 의한 다해상도로 분해된 부대역에 단계별로 다른 가중치를 주어 워터마크를 삽입하는 것으로 DCT 방법보다 신호대잡음비(PSNR)가 개선되고 원 영상의 손실을 줄일 수 있다. 최근에는 웨이블릿 영역에서 부대역간의 상관도를 이용한 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)와 SPIHT(Set Partitioning in Hierarchical Trees)등의 제로트리 알고리즘에 기반한 워터마킹기법이 많이 도입되고 있다. 이는 웨이블릿 영역에서 HVS(Human Visual System)의 도입과 영상 자체의 공간-주파수 특성을 이용하여면서 각 영상에 대해 적응성을 가지게 하는 것이다.

III. 제안한 스테레오 워터마킹

제안하고자 하는 스테레오 워터마킹은 스테레오 영상 간의 폐색 영역(occlusion)을 검출한 후에 폐색 영역에 워터마크를 삽입하는 기법이다. 폐색 영역은 한쪽의 눈에만 영향을 미치기 때문에 눈에 잘 띄지 않고, 폐색 영역 자체가 객체의 테두리 영역에 발생하기 때문에 따로 눈에 잘 띄지 않는 고주파 영역을 찾을 필요가 없다. 따라서 객체의 테두리 영역에 워터마크가 삽입될 수 있도록 스테레오 정합과 워터마킹 위치 선정하는 단계에서 웨이블릿 영역에서 부대역 정보를 활용한다.

먼저 스테레오 정합 기법을 제안하고 이를 바탕으로 검출된 폐색 영역에 워터마크를 삽입하는 기법을 제안한다. 워터마킹 알고리즘은 워터마크 준비알고리즘, 워터마크 위치 선정 알고리즘, 그리고 워터마크 삽입 및 추

출 알고리즘을 구성되고 이러한 순서대로 설명하도록 하겠다.

3.1. 스테레오 정합

본 논문에서는 블록기반 정합을 이용한 스테레오 정합 기법을 이용한다. 즉 본 논문에서는 일반적인 정합창 방식의 스테레오 간단한 기법을 이용하면서도 비교적 좋은 변위(disparity) 정보를 추출하여 쉽게 깊이 정보를 얻을 수 있는 기법을 제안하고자 한다.

정합창의 크기가 작으면 세밀한 정합을 수행할 수 있지만 저주파 영역에 대해서 오차가 심하다. 그러나 정합창의 크기가 크면 저주파 영역에서 오차는 줄지만 세밀한 정합을 수행할 수 없어서 객체 간의 구별이 명확하지 않고 경계부분이 뭉그러지는 결과를 얻는다. 따라서 영상의 국부적인 특성에 따라서 정합창의 크기를 조절한다면 좋은 정합 결과를 얻을 수 있을 것이다.

그림 3에는 가변 정합창을 이용한 기본적인 스테레오 정합 알고리즘을 나타냈다. 먼저 비교적 큰 정합창(본 논문에서는 17×17 의 크기를 사용)을 먼저 선택한 후에 큰 정합창 내의 변화도(variance)를 연산한다. 이 변화도와 경험적으로 구해진 임계치(VTH1, VTH2, ... VTHN)과의 비교를 통해서 정합창의 크기를 결정한다. 이렇게 정해진 정합창을 부정합창(sub-window)이라 한다. 결정된 부정합창을 이용하여 스테레오 영상을 이용하여 정해진 탐색 범위 내에서 스테레오 정합을 수행한다.

그림 3. 가변 부정합창을 이용한 스테레오 정합 알고리즘
Fig. 3 Stereo matching algorithm using variable sub-window

그림 4에는 가변적으로 부정합창을 선택하는 방법을 도식적으로 나타냈다. 그림에서 보이는 것과 같이 어느 하나의 화소에 대해서 스테레오 정합을 수행하는 경우에 그 화소를 포함하는 국부 영역(회색 표시된 영역)의 변화도를 구하고 이 결과에 따라서 크거나 작은 정합창이 선택된다.

그림 4. 가변 부정합창 선택 방법

Fig. 4 Selection method selecting variable sub-window

앞서 설명한 변화도에 기반하여 가변 정합창을 이용하여 스테레오 정합을 하는 기법은 영상의 국부적인 특성을 충분히 반영하지 못하는 단점이 있다. 따라서 주파수 변환 기법을 이용하여 국부 영역내에서 영상의 변화에 대한 방향성을 분석한 후에 이를 바탕으로 정합창의 형태 및 크기를 업데이트 한다면 더욱 좋은 스테레오 정합 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 주파수 변환 도구로 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)를 사용한다[14].

그림 5. GDWT를 이용한 부정합창 업데이트 정보 추출 알고리즘

Fig. 5 Update information extracting algorithm using GDWT

DWT는 Fourier 변환 기반의 주파수 변환 도구와 달리 기저함수에 위치에 대한 성분이 있어서 어떤 주파수 성분이 존재하는지 뿐만 아니라 어느 곳에 어느 주파수 성분이 존재하는지를 명확히 알 수 있는 특성이 있다. 따라서 GDWT를 사용하여 영상의 영역에 따른 주파수 특성을 찾을 수 있다. 그림 5에 GDWT를 활용하여 부정합창의 업데이트 정보를 추출하는 알고리즘을 나타냈다. 먼저 영상 전체에 대해서 DWT를 1레벨 수행하고, LH와 HL 영역의 계수 성분을 분석하여 부정합창의 업데이트 정보를 추출한다.

그림 6에는 GDWT를 이용하여 부정합창을 선택하는 기법을 보이고 있다. 영상의 전체 영역에 대한 DWT를 1번만 수행하고, 스테레오 정합을 수행할 화소와 상대적으로 동일한 위치에 해당하는 주파수 성분의 국부 영역에 대한 에너지를 비교하여 정합창의 업데이트를 위한 정보를 추출하여 변화를 판단에 의해서 얻어진 기본 부정합창을 업데이트한다.

그림 6. 전역 DWT를 이용한 부정합창 업데이트 정보 추출 방법

Fig. 6 Update information extracting method using GDWT

그림 7. 수정된 스테레오 정합 알고리즘

Fig. 7 Modified stereo matching algorithm

그림 7에 전체적인 스테레오 정합 절차를 나타내었다. 먼저 그림 3의 과정을 통해서 부정합창을 선택하고 GDWT를 이용하여 얻어진 정보를 이용하여 부정합창을 업데이트한다. 이를 통해 얻어진 부정합창을 이용하여 스테레오 정합을 수행하고 폐색영역을 판별한다.

3.2. 워터마크의 재배열

워터마크를 삽입하기 전에 먼저 워터마크 자체의 안전성을 높이기 위해 주어진 워터마크를 흩뜨린다. 난수 발생을 위해 그림 8에 나타낸 것과 같은 LFSR을 사용하고 대상 워터마크로도 난수를 사용한다. 워터마크 비트들을 직렬(Raster scan 방식)로 연결하여 각 비트를 $w_i (1 \leq i \leq m \times n)$ 라 하고 이 순열을 LFSR의 입력으로 사용한다. 그림 8의 LFSR 출력들을 두 부분($z_0 \cdots z_{j-1}, z_j \cdots z_{k-1}$)으로 나누고 각 출력부분의 이진값을 x 와 y 라 하면 특정 시간 i 에서의 LFSR 두 출력값은 식 (4) 및 (5)와 같이 10진수(참자)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$x_i = (z_0 \cdots z_{j-1})_{10} \quad (4)$$

$$y_i = (z_0 \cdots z_{k-1})_{10} \quad (5)$$

출력을 두 부분으로 나눌 때 $\{(2j \geq m) \cap (2k - j \geq n)\}$ 을 만족하는 j 값을 사용하여야 한다. LFSR의 출력을 바탕으로 워터마크를 재배열하는 방법은 식 (6)과 같다.

$$w(x_i, y_i) = w_i, \quad i = n \cdot v + u \quad (6)$$

즉, 특정 시간의 LFSR 출력에 의해 해당좌표에서 워터마크의 위치를 변경하는 것이다. 제시된 방법에 의해 워터마크를 재배열하는 알고리즘을 그림 9에 나타내었다. 그리고 LFSR의 출력 순열의 주기는 귀환 특성에 의해 결정되는데 원시 다항식을 사용한다면 k 단일 경우 최대 $2k-1$ 개의 서로 다른 조합들을 출력할 수 있다. 그림 8의 LFSR은 원시 다항식의 귀환 특성을 가지는 것으로 식 (7)로 표현된다.

$$P(x) = x^{32} + x^{22} + x^2 + 1 \quad (7)$$

그림 8. 32-비트 LFSR의 블록 다이어그램
Fig. 8 Block diagram of 32-bit LFSR

```

procedure {Watermark_Mix}
input: m original watermark
output: m mixed watermark
begin
  initialize LFSR with a key;
  for i=1 to m {
    LFSR(i)=( $z_0 \cdots z_{j-1}, z_j \cdots z_{k-1}$ );
     $w(x_i, y_i) = w_i$ ;
  }
end {Watermark_Mix}

```

그림 9. 워터마크 데이터의 재배열 알고리즘
Fig. 9 Rearrangement algorithm for watermark data

3.3. 워터마킹 위치 선정

워터마크의 위치를 선정하는 것은 워터마킹 알고리즘에서 가장 중요한 요소이다. 그림 10에 워터마크 삽입 위치를 선정하고 워터마크를 삽입하는 전반적인 절차를 나타냈다.

그림 10. 제안한 워터마킹 알고리즘
Fig. 10 The proposed watermarking algorithm

먼저 입력된 스테레오 쌍에 대해서 앞서 설명한 스테레오 정합 기법으로 변위 및 폐색 영역을 얻는다. 그리고 왼쪽 영상에 대해서 DWT를 수행하고 LH 부대역과 폐색 영역 정보를 이용하여 워터마크 삽입 위치를 선정한다. LH 부대역에서 5 보다 크거나 -5보다 작은 영역의 값에 대해서 다음에 설명한 워터마크 삽입 알고리즘을 이용하여 워터마킹을 수행한다.

3.4. 워터마킹 삽입 및 추출

스칼라 양자화는 일반적으로 주파수 변환된 계수를 양자화 단계의 크기로 나눈 후 가까운 정수로 반올림하는 과정이다. 제안된 알고리즘은 스칼라 양자화 방식에서 양자화 단계크기로 나누어진 계수를 무조건 반올림하지 않고 그림 11와 같이 워터마킹 조건에 따라 올림 또는 버림을 취함으로써 워터마킹과 양자화를 동시에 수행한다. 즉, 양자화($[x]$, x 의 소수점 아래를 버리는 함수) 계수의 LSB(Least significant bit)가 '0'인 경우에 해당 워터마크 비트가 '0'(w=0)이면 식 (8), 또는 '1'(w=1)이면 식 (9)와 같이 워터마킹이 수행된다.

$$a_b(u,v)' = \text{sign}(a_b(u,v)) \cdot \left\lfloor \frac{a_b(u,v)}{\Delta_b} \right\rfloor \times \Delta_b' \quad (8)$$

$$a_b(u,v)' = \text{sign}(a_b(u,v)) \cdot \left\lceil \frac{a_b(u,v)}{\Delta_b} \right\rceil \times \Delta_b \quad (9)$$

그림 11. 워터마크 삽입 (a) $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=0$ 인 경우, (b) $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=1$ 인 경우

Fig. 11 Watermark embedding: (a) the case of $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=0$, (b) the case of $\text{LSB}([ab(u,v)/b])=1$

여기서 $ab(u,v)$ 는 변환된 계수, $ab(u,v)'$ 는 워터마크된 결과, 그리고 Δ_b 는 양자화 단계크기를 각각 나타내고 $\lfloor x \rfloor$ 와 $\lceil x \rceil$ 는 올림과 버림함수를 각각 나타낸다. 그리고 $\text{LSB}([ab(u,v)/b])$ 가 '1'일 때는 반대의 방식으로

워터마크를 삽입한다. 제안된 방법은 양자화 과정에서 워터마크 비트에 따라 양자화 값을 결정할 뿐 워터마킹을 위한 추가적인 연산이 필요 없기 때문에 워터마킹을 위한 지연시간을 거의 요구하지 않고 고속 또는 실시간 동작에 매우 유리하다. 그림 12에 워터마킹 삽입 절차를 정리하였다.

```

procedure{Watermark_Embedding}
begin
  initialize LFSR with a key;
  j=0;
  for (i=1 to m){
    if LFSRj(j)= '1' then
      if ( $\text{LSB}([a_b(u, v)/b])=0$ ) then
        if ( $w_i=0$ ) then
          embed  $w_i$  by Eq.(8);
        else
          embed  $w_i$  by Eq.(9);
      if ( $\text{LSB}([a_b(u, v)/b])=1$ ) then
        if ( $w_i=0$ ) then
          embed  $w_i$  by Eq.(9);
        else
          embed  $w_i$  by Eq.(8);
      j=j+1;
    else
      j=j+1;
  }
end {Watermark_Embedding}

```

그림 12. 워터마크 삽입 알고리즘
Fig. 12 Watermark embedding algorithm

워터마크의 추출 시 추출된 워터마크의 판별 방법을 그림 13에 나타냈다. 추출된 워터마크가 짝수의 양자화 단계값에 속하면 해당 워터마크 비트는 '0'으로, 홀수의 양자화 단계값에 속하면 워터마크 비트는 '1'로 판별된다. 즉, 추출된 워터마크 w_i 를 반올림하여 양자화 단계값으로 판별하게 되는데, 판별된 워터마크 w_i'' 은 식 (10)에 의해서 결정된다.

$$w_i'' = \begin{cases} 0, & \text{if } (2n-1/2)\Delta_b \leq w_i' \leq (2n+1/2)\Delta_b \\ 1, & \text{if } (2n+1/2)\Delta_b \leq w_i' \leq (2n+3/2)\Delta_b \end{cases} \quad (10)$$

제안한 워터마킹 알고리즘은 공격에 의한 값의 변화가 $\pm(\Delta_b/2)$ 이내의 경우 정확하게 워터마크로 추출할 수 있기 때문에 공격에 대한 내성이 충분하다.

그림 13. 워터마크 추출 방법
Fig. 13 Watermark extraction method

```

procedure {Watermark_Extraction}
begin
  initialize LFSR with the cipher key;
  j=0;
  for (i=1 to m){
    if (LFSRp(j)='1') then
      if (([ab(u,v)' + b / 2)/b)] = even number) then
        wi' = 0 by eq. (10);
      else
        wi' = 1 by eq. (10);
        j=j+1;
      else
        j=j+1; }
  initialize LFSR with the cipher key;
  for (i=1 to m){
    LFSR(i)=(z0'...zj-1', zj'...zk-1');
    wi=wi'(xi, yi); }
  form to m random sequence
End {Watermark_Extraction}

```

그림 14. 워터마크 추출 extraction algorithm 알고리즘
Fig. 14 Watermark extraction algorithm

워터마크 추출과정은 삽입과정과 역순으로 동일하고 그림 14에서 확인할 수 있다. 워터마킹 삽입과정에서 사용된 동일한 LFSR 초기값을 이용하여 삽입과정에서 사용한 출력단자의 출력순열을 워터마크가 삽입된 영역의 계수와 대응시킨다. LFSR 출력값이 '1'인 계수에는 워터마크 비트가 삽입되어 있다고 판단하고 식 (9)를 이용하여 판별한다. 추출된 워터마크의 비트는 LFSR을 사용하여 원 위치로 환원되고 그 결과는 랜덤 시퀀스로 재구성된다.

IV. 실험결과

본 논문에서는 실험에 cones, teddy, tsukuba, 및 venus의 네 가지 영상을 이용하였다. 그림 15에는 워터마크 삽입 결과를 나타냈다. 워터마크 삽입에 대한 가시적인 효과를 확인하기 위하여 20, 40, 80, 및 160의 값을 삽입하여 왜곡이 시각적으로 확인되는 지점과 효과를 관찰하였다. 80의 값이 삽입이 되면 가시적으로 왜곡이 발생한다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 공격에 대한 강인도는 매우 높아질 것이다.

그림 15. 워터마크 삽입 결과
(a) 20 (b) 40 (c) 80 (d) 160의 스케일링

Fig. 15 Watermark embedding results; scaling factor of (a) 20, (b) 40, (c) 80, and (d) 160

표 1에는 테스트 영상에 워터마크를 삽입한 이후에 PSNR 결과를 나타낸다. 표 1에는 공격이 가해지지 않은 결과부터 몇 가지 공격을 수행한 이후의 PSNR 결과를 모두 나타냈다. 160이라는 값은 워터마크가 삽입된 이후에 결과 영상이 최소한 30dB 이상의 값을 갖도록 한 것이다. 공격은 비악의적인 공격만을 고려하였고, 일반적인 영상처리 과정에서 발생할 수 있는 Gaussian 잡음, JPEG 압축, 흐림 및 선명 효과 등을 선택하였다. 워터마크가 많이 삽입되어 있는 영상의 경우에는 이미 영상의

왜곡이 발생한 상태이기 때문에 공격에 대해서 dB의 감소가 비교적 적다는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 워터마킹 삽입후 PSNR 결과
Table. 1 PSNR result after watermarking embedding

Attack	Amount	WM	cones	teddy	tsukuba	venus
No	-	20	47.914	50.56	48.127	49.413
		40	41.98	44.61	42.947	43.752
		80	36.261	38.828	37.808	38.331
		160	31.663	34.199	32.242	33.357
Gaussian Noise	1	20	29.421	30.511	33.775	29.535
		40	29.425	30.517	33.761	29.532
		80	29.416	30.516	33.715	29.51
		160	29.332	30.464	33.309	29.401
	3	20	23.674	24.799	26.497	24.28
		40	23.673	24.799	26.49	24.279
		80	23.671	24.798	26.499	24.274
		160	23.656	24.789	26.503	24.254
	5	20	21.981	22.895	24.086	22.739
		40	21.981	22.895	24.075	22.738
		80	21.979	22.895	24.079	22.734
		160	21.97	22.889	24.087	22.718
JPEG	0	20	29.592	30.758	33.703	30.717
		40	29.531	30.717	33.502	30.666
		80	29.101	30.416	32.391	30.354
		160	27.744	29.419	30.018	29.119
	4	20	35.812	36.614	39.724	36.478
		40	35.211	36.208	38.603	36.003
		80	33.365	34.872	35.887	34.554
		160	30.328	32.327	31.59	31.654
	8	20	40.045	40.741	43.244	40.582
		40	38.427	39.632	40.724	39.306
		80	34.99	36.956	36.968	36.503
		160	30.965	33.349	31.913	32.477
	12	20	47.079	49.132	47.613	48.311
		40	41.742	44.196	42.717	43.401
		80	36.169	38.711	37.736	38.19
		160	31.539	34.073	32.198	33.253
Blur	-	20	38.159	39.101	42.643	38.111
		40	37.761	38.826	41.309	37.81
		80	36.353	37.821	38.888	36.807
		160	33.608	35.662	34.61	34.458
Sharpen	-	20	31.861	33.038	36.435	32.148
		40	30.934	32.35	35.032	31.541
		80	29.141	30.931	32.051	30.123
		160	27.405	29.769	28.611	28.066

그림 22에는 워터마크 삽입 이후에 venus 영상에 대해서 공격을 가한 결과 영상을 나타낸다. 공격 이후에 영상의 화질이 어떻게 열화가 되는지 보여주고 있다. 다른 공격에 비해서 Gaussian 공격이 영상의 열화를 많이 가져온다는 것을 볼 수 있고, 이는 표 1의 PSNR 결과에서도 확인할 수 있다.

그림 16. 공격 결과 (a) Gaussian 잡음 삽입(강도 3) (b) JPEG 압축 (최대) (c) blurring (d) sharpening
Fig. 16 Attack results (a) Gaussian noise (3) (b) JPEG compression (maximum) (c) blurring (d) sharpening

표 2에는 공격 이후에 워터마크를 추출했을 때 추출된 워터마크에단 추출율을 나타냈다. 제안한 기법은 양자화를 고려하여 워터마크를 삽입하기 때문에 JPEG 압축에 대해서 비교적 강인하다는 것을 확인할 수 있다. 또한 흐림 효과에 대해서도 비교적 강인하다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Gaussian 잡음에 대해서 취약한 특성을 보인다. 이는 DWT를 1레벨 수행한 이후에 주파수 계수를 선택했기 때문에 고주파 성분이 많이 선택되어서 고주파 성분에 대해 많은 영향을 받은 경우에는 취약한 특성을 보이는 것이다. 이는 추후에 DWT 레벨을 높이고 더욱 저주파 영역을 선택하여 워터마크를 수행한다면 개선될 수 있을 것으로 보인다.

표 2. 공격 후 워터마크 추출율
Table. 2 The watermark extracting ratio after attack

Attack	Amount	WM	cones	teddy	tsukuba	venus
Gaussian Noise	1	20	18.039	16.118	4.496	6.865
		40	13.135	9.868	3.417	7.323
		80	12.785	8.224	25	15.561
		160	35.026	26.316	80.576	36.842
	3	20	33.976	38.816	34.532	14.188
		40	33.8	38.816	33.094	13.959
		80	33.45	39.145	32.734	13.272
		160	34.151	39.474	32.914	12.586
	5	20	34.501	40.132	38.13	14.874
		40	33.625	39.803	37.59	14.417
		80	33.976	39.474	37.95	14.188
		160	34.501	39.145	37.77	13.73
JPEG	0	20	29.072	22.367	52.518	13.272
		40	47.285	39.803	77.698	31.121
		80	85.464	80.592	89.029	69.565
		160	99.124	97.697	96.403	94.279
	4	20	50.438	52.303	83.273	42.563
		40	92.469	89.474	95.863	88.101
		80	100	100	99.46	99.771
		160	100	100	98.381	100
	8	20	84.764	83.224	95.324	82.609
		40	100	100	99.82	100
		80	100	100	99.82	100
		160	100	100	99.82	100
	12	20	100	100	100	100
		40	100	100	100	100
		80	100	100	100	100
		160	100	100	99.82	100
Blur	-	20	26.62	23.684	67.626	27.442
		40	94.746	98.026	98.022	97.712
		80	99.825	100	100	99.771
		160	100	100	100	100
Sharpen	-	20	17.688	10.855	30.935	11.442
		40	25.219	25.658	51.439	35.011
		80	62.872	65.79	72.482	69.794
		160	100	100	85.791	99.542

그림 17과 18은 3D TV를 이용하여 시각적인 인지성에 대해 테스트를 수행한 결과 영상이다. 시각적인 테스트를 수행한 결과 cones 영상은 40의 워터마크를 삽입한 영상에서부터 영상의 열화를 느낄 수 있었고, teddy는 80, 그리고 tsukuba는 160에서 왜곡을 확인할 수 있었다.

venus는 실험에 참여한 개인별로 차이가 있었는데 80 혹은 160에서 영상의 열화를 확인하였다. 또한 4가지 영상 모두 워터마킹을 삽입하여도 입체감에 대한 문제는 발생하지 않았다.

그림 17. 3D TV를 이용한 시각적 인지성 실험

(a) 20 (b) 40 (c) 80 (d) 160

Fig. 17 Visual recognition experiment using 3D TV
(a) 20 (b) 40 (c) 80 (d) 160

그림 18. 3D TV를 이용한 영상 별 시각적 인지성 실험 (40의 경우)

Fig. 18 The visual recognition test for various test stereo images using 3D TV (in case of 40)

V. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 스테레오 영상의 소유권 보호를 위해서 스테레오 정합, 워터마크 재배열, 워터마크 위치 선정, 그리고 워터마크 삽입 및 추출로 구성된 워터마킹 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 스테레오 정합을 통해서 얻어진 변위 맵에서 폐색 영역에 해당하면서 LH 부대역의 계수 중에서 5보다 크거나 -5보다 작은 값을 갖는 웨이블릿 계수를 선택하고 20, 40, 80, 및 160의 값이 삽입되는 효과를 갖도록 양자화를 고려하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크를 삽입한 이후에 Gaussian 잡음, JPEG 압축, 흐림효과, 그리고 선명효과와 같은 비악의적인 공격을 수행하고, 다시 워터마크를 추출한 이후에 추출율을 확인하였다. 또한 워터마크가 삽입된 스테레오 영상을 3D TV를 통하여 시각적으로 관찰하여 왜곡이 발생하는 정도와 입체감에 대해서 관찰하였다.

본 논문은 스테레오 영상에 대한 워터마킹을 연구한 것으로 아직까지 연구 초기단계로써 앞으로 많은 연구를 수행해야 한다. 먼저 다양한 부대역에 대한 효과를 연구할 계획이고, 스테레오 영상 모두에 역효과를 갖는 워터마크를 삽입하는 연구도 수행할 계획이다. 이러한 연구를 통해서 공격에 더욱 강인하고, 비가시성이 높은 워터마킹 알고리즘을 연구하고자 한다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012-0003028)

참고문헌

- [1] 한국전자통신연구원 이동통신 연구소 2003년 연차보고서(<http://www.etri.re.kr>), 2003.
- [2] Digital Watermarking world (<http://www.watermarkingworld.org>), 2004.
- [3] Watermarker Community(<http://mad.sarang.ner>), 2004.
- [4] K.Tanaka, Y. Nakamura and K.Matsui, "Embedding Secret Information into a Dithered Multilevel Image", *Proceeding of 1990 IEEE Military Communications Conference*, pp. 216-220, 1990.
- [5] G. Caronni, "Ermitteln Unauthorisierter Verteiler von Maschinenlesbaren Datch", Technical Report, ETH Zurich, 1993.
- [6] A. Tirkel, et al., "Electric Water Mark", *Proceeding of DICTA*, pp. 666-672, 1993.
- [7] I. Pitas, "A Method for Signature Casting on Digital Image", *Proceeding of IEEE conference on Image Processing*, pp. 215-218, 1995.
- [8] M. Kutter, F. Jordan and F. Bosson, "Digital Signature of Color Images using Amplitude Modulation", *Proceeding of SPIE*, Vol. 3022, pp. 518-526, 1997.
- [9] J. O. Ruanaidh, W. I. Dowling and F. M. Boland, "Phase Watermarking of Digital Images", *Proceeding of ICIP'97*, Vol. 1, pp. 239-242, 1996.
- [10] I. J. Cox, et al., "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [11] M. Barni, "Image Watermarking of Secure Transmission over Public Networks", *Proceeding of COST 254 Workshop on Emerging Techniques for Communication Terminal*, Toulouse, France pp. 290-294, 1997.
- [12] Yaqing Niu, Soudene, W., Beghdadi, A., "A visual sensitivity model based stereo image watermarking scheme," *Visual Information Processing (EUVIP)*, 2011 3rd European Workshop on , vol., no., pp.211-215, 4-6 July 2011
- [13] Min-Jeong Lee, Ji-Won Lee, Heung-Kyu Lee, , "Perceptual Watermarking for 3D Stereoscopic Video Using Depth Information," *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP)*, 2011 Seventh International Conference on , vol., no., pp.81-84, 14-16 Oct. 2011
- [14] X. G. Xia, C. G. Boncelet and G. R. Arce, "A Multiresolution Watermark for Digital Images", *Proc. of IEEE ICIP*, vol. 3, pp. 548-551, 1997.
- [15] I. Daubechies and W. Sweldens, "Factoring wavelet transforms into lifting schemes," *J. Fourier Anal. Appl.*, Vol. 4, pp. 247-269, 1998.

저자소개

서영호(Young-Ho Seo)

1999년 2월 : 광운대학교 전자재료
공학과 졸업(공학사)

2001년 2월 : 광운대학교 일반대학원
졸업(공학석사)

2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)

2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 한국전기연구원 연구원

2005년 9월 ~ 2008년 2월 : 한성대학교 조교수

2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 교양학부 부교수

※ 관심분야 : 2D/3D 영상 및 비디오 처리, 디지털
홀로그램, SoC 설계, 워터마킹/암호화

구자명(Ja-Myung Koo)

2012년 2월 : 안양대학교 정보통신
공학과 졸업(공학사)

2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교
전자재료공학과 석사과정

※ 관심분야 : 3D 영상처리, 워터마킹, 디지털 홀로그램

김동욱(Dong-Wook Kim)

1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1985년 2월 : 한양대학교 공학석사

1991년 9월 : Georgia 공과대학
전기공학과(공학박사)

1992년 3월~현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수

2000년 3월~2001년 12월 : 인티스닷컴(주) 연구원

2006년 3월~현재 : (사)실감미디어산업협회 이사

2009년 3월~현재 : 광운대학교 실감미디어 연구소 소장

※ 관심분야 : 3D 영상처리, 디지털 홀로그램, 디지털

VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 하드웨어 설계