

웨이블릿 변환과 적응적 변이 추정을 이용한 스테레오 영상 블라인드 워터마킹

최희원 고정환*, 김성일**, 종신회원 김은수*

Stereo Image Blind Watermarking Scheme based-on Discrete Wavelet Transform and adaptive Disparity Estimation

Jung-Hwan Ko*, Sung-Il Kim** *Regular Member*, Eun-Soo Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환과 적응적 변이 추정 알고리즘을 이용한 새로운 스테레오 입체영상 블라인드 워터마킹 기법을 제시하였다. 즉, 좌, 우 스테레오 영상 중 우 영상에 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 워터마크 영상을 삽입하고 워터마킹된 우영상과 좌 영상으로부터 변이정보를 추출한 다음 추출된 변이정보는 좌영상과 함께 채널을 통해 전송된다. 그리고, 수신단에서는 전송되어온 변이정보와 좌 영상으로부터 적응적 정합 기법을 이용하여 워터마킹된 우 영상을 복원하게 되며, 최종적인 워터마크 추출과정에서는 복원된 우 영상으로부터 원 영상을 사용하지 않고 워터마크 영상을 추출하는 블라인드 방식을 사용하였다. CCETT의 'Manege'와 실제로 획득한 영상 'Friends', 그리고 영문 알파벳 '3DRC'를 스테레오 및 워터마크 영상으로 사용한 실험결과, 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상에 대한 PSNR 측정의 경우, 2.64dB, 3.03dB가 향상되었으며 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위한 다양한 공격 실험에서도 강건한 실험결과를 얻을 수 있었으며, 이를 통해 본 논문에서 새로이 제안한 적응적 변이추정 기반의 스테레오 입체영상 워터마킹 기법의 실질적 응용 가능성을 제시하였다.

Key Words : wavelet, waermarking, stereo vision, disparity

ABSTRACT

In this paper, a new stereo image watermarking scheme based-on adaptive disparity estimation algorithm is proposed. That is, a watermark image is embedded into the right image of a stereo image pair by using the DWT and disparity information is extracted from this watermarked right image and the left image. And then, both of this extracted disparity information and the left image are transmitted to the recipient through the communication channel. At the receiver, the watermarked right image is reconstructed from the received left image and disparity information through an adaptive matching algorithm. a watermark image is finally extracted from this reconstructed right image. From some experiments using CCETT's 'Manege' and 'Friends' images as a stereo image and English alphabet '3DRC' as a watermark image, it is found that the PSNRs of the watermarked image from the reconstructed right images through the adaptive matching algorithm & DWT is improved 2.03 dB, 3.03 dB and robusted against various attacks. These experimental results also suggest a possibility of practical implementation of an adaptive matching algorithm-based stereo imagewatermarking scheme proposed in this paper.

※ 본 연구는 광운대학교 교내 학술 연구비 지원사업으로 2005년 수행되었습니다.

* 광운대학교 전자공학과 차세대 3D 디스플레이 연구센터 (misagi@explore.kwangwoon.ac.kr, eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

** 경원대학교 전자공학과 (ksi@mail.kyungwon.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-11-462, 접수일자 : 2005년 11월 14일

I. 서론

최근, 디지털 혁명을 통해 사회가 고도의 정보화 되면서 정보의 양적 요구와 함께 질적 요구 또한 증가함에 따라 미국, 유럽 등 기술 선진국을 중심으로 실감 있는 3차원 입체영상을 시각화하려는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 3차원 입체기술은 방송, 통신, 의료, 게임, 가상현실 등 매우 다양한 분야에서 요구되는 차세대 고부가가치의 첨단 기술이라 할 수 있다. 일반적으로 우리가 자연환경에서 실물을 입체적으로 볼 수 있는 것은 두 눈의 양안시차(binocular disparity)에 의한 것으로 이는 두 눈이 각기 다른 시점의 영상을 인식하고 인간의 뇌에서 이 두 영상의 차이가 합성됨으로써 입체감을 느끼게 되는 것이다¹⁾. 이러한 인간의 양안시차 원리를 이용하여 구현되고 있는 3차원 입체기술이 스테레오오스코픽(steroscopic) 3D 영상통신 기술이다. 이는 입체 카메라를 통해 얻은 스테레오 영상을 채널을 통해 전송한 뒤 수신부에서 여러가지 형태의 광학판을 통해 좌, 우 두 눈으로 구분하여 입력시킴으로써 3차원 입체 디스플레이가 이루어지게 된다. 그러나 이러한 스테레오오스코픽 3D 영상통신 시스템은 실질적인 응용에서는 몇 가지 제한점을 가지고 있다²⁾. 먼저, 스테레오 영상의 전송은 단안 영상과 비교해 볼 때 대역폭이 두 배가 필요하게 된다. 특히, 다시점(multiview)의 스테레오 영상에서는 시점 개수에 따라 대역폭이 증가하기 때문에 이러한 스테레오 영상의 효과적인 압축 기술의 개발이 필수적이며 그 방식 중의 하나가 변이(disparity) 정보를 이용한 압축 기술인 변이추정 기법이다³⁻⁶⁾. 또한, 인터넷을 포함한 정보 통신망의 발달로 스테레오 영상의 보급이 확산되면서 누구나 손쉽게 이들 정보에 대한 불법 사용 및 복제가 가능하게 되어 스테레오 영상의 저작권 보호를 위한 새로운 정보보호 기술의 개발이 요구되고 있다. 최근, 디지털 영상의 인증 및 저작권 보호를 위한 새로운 정보보호 기술로 디지털 워터마킹(digital watermarking) 기법이 활발히 연구되고 있다⁷⁾. 디지털 워터마킹 기술은 인간의 시각으로 지각할 수 없는 일정한 소유권 정보인 워터마크(watermark)를 디지털 영상에 삽입은폐하는 과정으로 이를 통해 디지털 영상에 대한 불법 사용 및 조작을 막고 소유권을 인증해 주기 위한 방법 등을 제공해 준다. 일반적으로 이러한 디지털 워터마킹 기술에서는 은폐된 워터마크가 인간 시각에 인지되지 않는 무인지성, 여러 가지 다양한

영상처리 알고리즘에 대한 강건성과 불법적인 내용 변경 또는 위조에 대한 무결성 등이 요구된다⁸⁻⁹⁾.

따라서 본 논문에서는 스테레오 입체영상에 대한 저작권 보호 기술로 스테레오 영상만의 고유정보인 변이 정보를 이용한 새로운 디지털 워터마킹 기술을 제안하고자 한다. 즉, 새로이 제시된 스테레오 영상 워터마킹 기법에서는 먼저, 스테레오 카메라로부터 얻은 좌, 우영상 중 우영상을 DWT(discrete wavelet transform)하여 주파수 영역에서 워터마크를 삽입한 후, 좌영상을 기준으로 워터마크가 삽입된 우영상 간의 변이정보를 추출하게 된다. 그리고, 좌영상과 변이정보로 압축된 스테레오 정보를 채널을 통해 전송한 다음, 수신단에서 이들 변이정보와 좌영상을 사용하여 워터마크가 삽입된 우영상을 복원하게 되고 이렇게 복원된 우영상으로부터 워터마크가 추출되게 된다. 특히, 본 논문에서는 최근 제시된 적응적 정합(adaptive matching) 알고리즘에 기반한 변이정합기법¹⁰⁻¹¹⁾을 이용한 스테레오 영상의 복원과 블라인드 방식의 워터마크의 추출 실험을 통해 새로운 스테레오 영상 워터마킹 기법의 구현 가능성을 제시하고자 한다.

II. 제안된 스테레오 영상 워터마킹 기법

그림 1은 본 논문에서 새로이 제시한 적응적 정합 알고리즘에 기반한 스테레오 영상 워터마킹 기법의 흐름도를 나타낸 것이다.

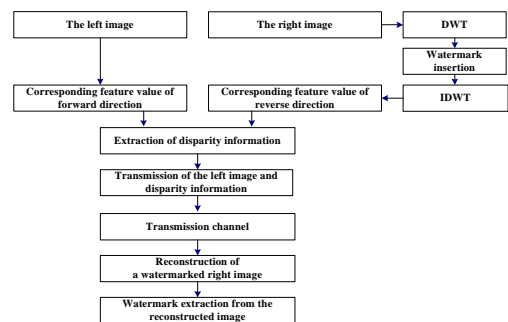


그림 1. 스테레오 영상 워터마킹 흐름도

먼저, 스테레오 영상 중 우영상을 DWT(discrete wavelet transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 뒤 워터마크를 삽입하고 이를 다시 IDWT(inverse DWT)를 통해 최종적으로 워터마크가 삽입된 우영상을 복원하게 된다. 이렇게 생성된 워터마크가 삽입된 우영상과 좌영상은 양방향 정합(bi-direc-

tional matching)을 통해 변이정보가 추출되고, 추출된 변이정보와 좌영상이 채널을 통해 전송하게 된다. 수신단에서는 전송되어 온 좌영상과 변이 정보로부터 변이 추정 기법을 이용하여 워터마크가 삽입된 우 영상을 복원하고, 복원된 우 영상으로부터 원영상을 사용하지 않는 블라인드 방식을 이용하여 최종적으로 삽입된 워터마크를 추출하게 된다.

2.1 워터마크의 삽입과정

그림 2는 본 논문에서 제시된 스테레오 영상 워터마킹 기법에서 DWT를 이용한 워터마크 삽입과정을 나타낸 것이다.

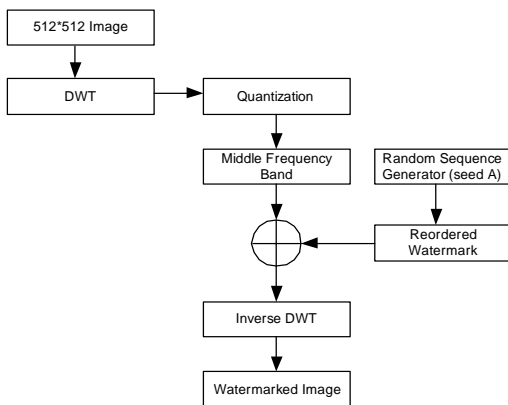
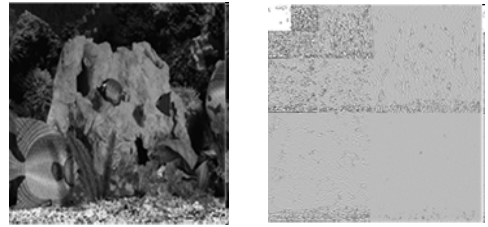


그림 2. 워터마크 삽입과정의 블록 다이어그램

먼저, 입력된 스테레오 영상(512×512 화소)중 우 영상을 선택하여 식 (1)과 같은 2차원 DWT 과정을 거쳐 저대역 통과 필터와 고대역 통과 필터를 이용하여 영상을 고주파 성분과 저주파 성분으로 각각 필터링 한다.

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \sqrt{2^j} \phi(2^j t - k) + \sum_k d_j(k) \sqrt{2^j} \psi(2^j t - k) \quad (1)$$

여기서, $\sum_k c_j(k) \sqrt{2^j} \phi(2^j t - k)$ 는 저대역 통과 필터, $\sum_k d_j(k) \sqrt{2^j} \psi(2^j t - k)$ 는 고대역 통과 필터를 각각 나타낸 것이다. DWT는 주어진 2차원 데이터를 주파수 성분에 따라 연차적으로 분할하여 영상의 에너지를 저주파 영역으로 집중시킴으로써 저주파 부대역부터 고주파 부대역까지의 계층적 정보를 갖는 네 개의 각각 다른 부대역 영상으로 구성하게 된다. 그림 3은 “Aqua” 영상과 실제 3-레벨 DWT된 영상의 결과를 각각 나타낸 것이다.



(a) “Aqua” 영상 (b) 3-레벨 DWT된 영상

그림 3. ‘Aqua’ 영상과 실제 DWT 된 ‘Aqua’ 영상

$$F_q(u, v) = [\{ F(u, v) / Q(u, v) + (3 \times Quant + 2) / 4 \} / (2 \times Quant)] \quad (2)$$

여기서, $F(u, v)$ 는 양자화 전의 DWT계수, $Q(u, v)$ 는 양자화 테이블 값, ‘Quant’는 양자화 변수, 그리고 $F_q(u, v)$ 는 최종적으로 양자화된 DWT 계수를 나타낸 것이다.

일반적으로 워터마크를 신호 에너지의 대부분이 집중되는 저주파에 삽입하는 경우 눈에 띄거나 영상의 손실을 가져올 수 있고, 이와 반대로 고주파 영역에 삽입하는 경우는 압축률을 높이거나 잡음이 첨가 되면 고주파 성분들이 원래 영상의 것과 크게 달라져 강건성이 약화될 수 있다^[12]. 따라서, 인간의 시각에 인지되지 않으면서도 압축 및 크로핑(cropping)에 강건한 중간주파수 대역에 워터마크를 삽입하게 된다^[13]. 또한, 워터마크 영상은 64×64 화소로 구성되는데 이 화소들은 공간영역에 대한 공격에 대해 강건하도록 랜덤 시퀀스(random sequence) 발생기를 사용하여 재배치 된다. 이 때 재배치된 워터마크의 복원을 위해서 시드(seed)값을 배정하여 같은 시드의 경우일 때만 같은 랜덤 시퀀스를 발생할 수 있게 하며, 재배열된 워터마크 정보 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ 는 식 (3)과 같은 워터마크 삽입 알고리즘을 사용하여 식 (2)를 통해 획득한 우영상의 양자화된 DWT 계수 $F_q(u, v) = \{t_1, t_2, \dots, t_L, \dots, t_M, \dots, t_N\}$ 로 삽입하게 된다. 워터마크 x_k 중의 일부 화소는 워터마크 삽입 알고리즘인 식 (3)에 따라서 $F_q(u, v)$ 중의 중간 주파수 대역인 t_L 부터 t_M 사이의 주파수 성분에 각각 대응되어 삽입되어진다. 식 (3)에서 우선 짝수로 만든 후 워터마크가 1이면 홀수로 만들어 주고, 0 이면 홀수로 만들어 준다. 그래서 추출시 이것을 이용하여 원본 이미지를 사용하지 않고 워터마크를 추출할 수 있다.

$$t'_{L+i} = ((t_{L+i} \div 2) \times 2) + X \text{ (where } i = 1, 2, \dots, K) \quad (3)$$

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_K\}$$

여기서, t' 는 워터마크가 삽입된 후의 화소값, t_L 과 t_M 은 $F(u, v)$ 중에서 각각 워터마크가 삽입되는 중간 주파수 성분의 시작 지점과 마지막 지점, K 는 워터마크의 화소 개수를 각각 나타낸 것이다. 이렇게 구한 t'_{L+i} 를 기존의 DWT 계수 t_{L+i} 와 대치시킴으로써 식 (4)와 같은 워터마크가 삽입된 새로운 DWT 계수 $F^*(u, v)$ 를 얻은 후, 식 (5)와 같은 IDWT 과정을 통해 최종적으로 워터마크가 삽입된 영상이 생성하게 된다.

$$F^*(u, v) = \{t'_1, t'_2, \dots, t'_L, t'_{L+1}, t'_{L+2}, \dots, t'_{L+M}, t'_{L+M+1}, t'_{L+M+2}, \dots, t'_{64}\} \quad (4)$$

$$c_{j+1}(k) = \sum_m c_j(m)h(k-2m) + \sum_m d_j(m)h_1(k-2m) \quad (5)$$

2.2 스테레오 영상으로부터 변이정보 추출과정과 스테레오 영상의 복원

그림 4는 좌영상과 워터마크된 우영상으로부터 추출된 특징값의 크기에 따라 정합될 정합창의 크기를 적응적으로 선택하는 적응적 정합 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다¹⁵⁾.

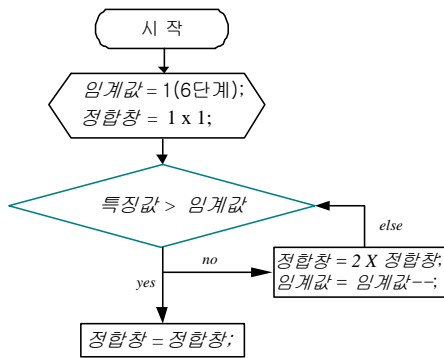


그림 4. 적응적 정합 알고리즘의 흐름도

즉, 워터마크가 삽입된 우영상과 좌영상으로부터 변이정보를 추출하기 위한 비용함수로 식 (6)와 같이 MSE(mean square error)를 사용하였으며, 식 (6)에서, N_x, N_y 는 블록 또는 화소의 크기를 나타낸 것이고, I_L 과 I_R 은 좌영상의 블럭과 이에 대응하는 워터마크된 우영상의 블럭을 각각 나타낸 것이다.

$$\frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} |I_L(i, j) - I_R(i + d, j)|^2 > \text{threshold}(\text{step}[n]) \Rightarrow 2^{6-n} \times 2^{6-n} \quad (6)$$

즉, 각 영상의 특징에 따른 효율적인 정합을 위해 임계값을 6단계(0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0)로 설정하였고 이에 대응하는 정합창의 크기 역시 6단계(32×32, 16×16, 8×8, 4×4, 2×2, 1×1)로 설정하였다. 따라서, 정합창 선택 알고리즘의 초기조건에서 식 (6)과 같이 임계값 중 가장 큰 값인 6단계(1.0)의 임계값으로 설정하여 특징값들과 비교하게 되며, 식 (6)을 통해 얻어지는 변이벡터는 블럭을 대표하는 값으로 최종적인 시차정보를 추출하는데 사용되고, 전송 채널을 통해 좌영상과 함께 수신단으로 전송되어진다.

따라서, 수신단에서는 전송된 좌영상과 워터마크된 우영상에서 추출된 특징값의 크기를 설정된 임계값과 비교하고, 그 값의 크기에 따라 적응적으로 적절한 정합창 크기를 설정함으로써 워터마크된 우영상을 복원하게 된다. 즉, 배경과 같이 특징값이 작은 영역에서는 큰 단위의 정합창이 선택되어 정합이 이루어지고 물체의 윤곽선 같이 특징값이 큰 부분에서는 화소단위의 미세 정합이 이루어지게 된다. 이를 통해 작은 블럭 단위의 미세 정합에서 자주 발생하는 오정합을 감소시킬 뿐만 아니라 큰 블럭단위로 정합할 때 발생하는 블럭화 현상도 감소시킬 수 있어 워터마크된 우영상의 효율적인 복원이 가능하다.

2.3 복원영상에서 워터마크 추출 과정

본 논문에서는 그림 5와 같이 년블라인드 방식에 비해 공격에 대한 강인성 측면에서는 불리하나, 원본영상의 보관이 불필요하고 사용이 용이하여 많은 분야에서 적용 가능한 블라인드(blind) 방식을 이용하여 복원영상으로부터 워터마크를 추출하였다.

먼저, 원래의 512×512 화소의 스테레오 영상 중 우영상을 식 (1)과 같은 방법으로 DWT 변환을 수행하면 DWT 계수값을 얻게 된다. 이후 워터마크 삽입 과정에 사용했던 동일한 양자화 변수 'Quant'를 이용하여 양자화 과정을 거친 후 우영상의 최종 주파수 성분인 $F_q(u, v)$ 을 산출하게 되며, 'Quant'는 복원된 이미지에 대한 공격이 없을 시에는 워터마크 삽입시 사용한 'Quant'를 사용하지만 공격이 있을 시에는 적응적으로 'Quant'를 찾아낸다.

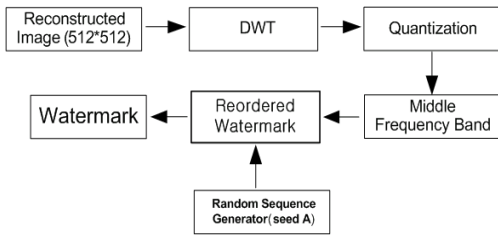


그림 5. 워터마크 추출과정

삽입과정에서 원영상을 DWT 변환한 주파수 성분에서 워터마크 영상을 삽입할 때 워터마크 값이 1 이면 주파수성분 값을 홀수로 바꿔주고, 0이면 짝수로 바꿔주었기 때문에 삽입된 워터마크를 추출하기 위해서는 원 영상 없이 식 (7)과 같이 워터마크가 삽입된 주파수 변환 값인 $F^*(u, v)$ 와 1을 비트단위로 연산(And 연산)을 하여, 재배열된 워터마크 X' 을 구할 수 있다 [10].

$$X'_{L+i} = F^*_{L+i} \wedge 1 \quad (\text{where } i = 1, 2, \dots, K) \quad (7)$$

이렇게 구한 X' 는 워터마크 삽입시에 랜덤 시퀀스 발생기를 이용하여 랜덤하게 변환되어진 값이므로 최종적으로 64×64 화소의 워터마크 영상을 얻기 위해서는 삽입 시와 동일한 시드값을 랜덤 시퀀스 발생기에 적용해야만 삽입했을 때와 똑같은 순서로 X' 를 재배열할 수 있고 이를 통해 원하는 워터마크를 추출하게 된다.

III. 실험 및 결과분석

그림 6은 본 실험에서 사용된 CCETT 스테레오 영상인 'Manege'와 실제로 획득한 'Friends' 영상을 나타낸 것으로, 512×512 크기의 'raw' 파일로 변환하여 사용하였으며, 워터마크 영상으로는 64×64 화소로 구성된 영문 알파벳 '3DRC'를 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 'Microsoft Visual Studio 6.0' 환경에서 수행하였으며, 성능 분석을 위해 탐색범위를 ±30화소로 설정하여 복원된 영상과 추출된 워터마크에 대한 PSNR 분석 및 복원된 영상에 대한 다양한 공격에 대해서는 DCT기반과 DWT 기반의 워터마킹 기법을 이용하여 비교 분석하였다.

우선, 그림 7의 'Manege' 및 'Friends'의 우영상을 식 (1)을 이용하여 DWT 변환과 양자화 과정을 거친 후, 변환된 DWT 계수의 중간주파수대역에 워터마크를 삽입하였다. 또한, 삽입된 워터마크는 공격에 대한 강건성을 높이기 위해서 삽입 전에 랜덤

시퀀스 발생기를 통해 재배열되며, 원영상에 워터마크가 삽입된 주파수 성분은 다시 식 (5)를 이용하여 IDWT 과정을 거쳐 워터마크가 삽입된 'Manege' 및 'Friends' 영상의 우영상을 만들었다.

그림 7 (a)는 워터마크 영상으로 사용된 영문 알파벳 '3DRC'를 나타낸 것이고, 그림 8 (b), (c)는 워터마크가 삽입된 'Manege', 'Friends' 영상의 우영상을 각각 나타낸 것이다.

그림 8은 탐색범위 ±30에서 기존의 정합 알고리즘과 본 논문에서 제안한 적응적 정합 알고리즘을 이용하여 복원한 'Fichier' 영상과 'Manege' 영상을 각각 나타낸 것이다.

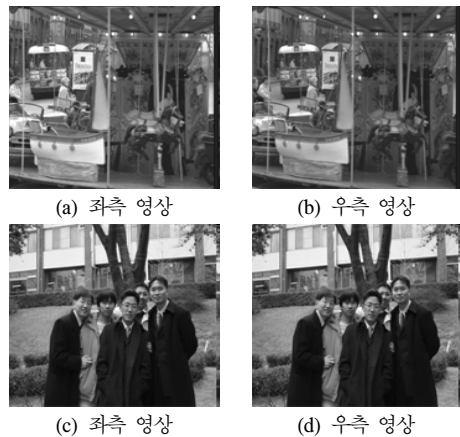


그림 6. 실험에 사용된 스테레오 영상

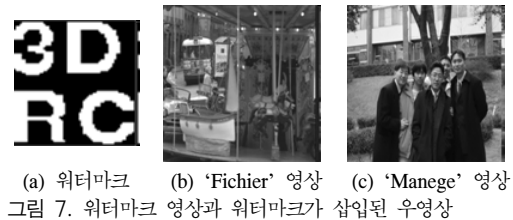


그림 7. 워터마크 영상과 워터마크가 삽입된 우영상



그림 8. 'Manege', 'Friends'의 복원된 우영상



(a) 블록기반 정합 (b) 화소기반 정합 (c) 적응적 정합
 그림 9. 'Manege' 영상에서 추출된 워터마크 영상



(a) 블록기반 정합 (b) 화소기반 정합 (c) 적응적 정합
 그림 10. 'Friends' 영상에서 추출된 워터마크 영상

그림 9와 10은 전송되어 온 좌영상과 변이정보로부터 기존의 정합 알고리즘과 본 논문에서 제안한 적응적 정합 알고리즘을 이용하여 복원된 우영상으로부터 추출한 워터마크 영상을 각각 나타낸 것이다.

표 1은 원 영상을 기준으로 하여 본 논문에서 제안한 적응적 정합 방식과 기존의 화소 및 블록기반 방식으로 복원된 스테레오 영상과 추출된 워터마크 영상에 대한 PSNR 결과를 나타낸 것이다.

표 1에서 보면 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상의 경우는 적응적 정합방식이 다른 방식에 비해 'Manege' 영상은 11.10dB, 'Friends' 영상은 13.86dB로 개선됨을 알 수 있으며, 이를 통해 본 논문에서 제안한 적응적 정합방식이 기존의 정합 방식에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

따라서 본 실험에서는 제안된 적응적 정합방식을 이용하여 DCT기반과 DWT기반의 워터마킹 비교 분석 실험을 수행하였고, 워터마크 추출시 양자화(quant)값의 변화에 따른 결과 확인 및 다양한 공격에 대한 강건성의 성능 분석 실험을 진행하였다.

표 1. 복원영상 및 워터마크 영상의 PSNR 성능 비교

정합 방식	스테레오 영상	PSNR [dB]	
		워터마크된 우영상과 복원된 우영상	원 워터마크와 추출된 워터마크
블록기반	'Manege'	31.12	6.42
화소기반		35.31	12.37
적응적 기반		41.43	20.80
블록기반	'Friends'	38.59	8.95
화소기반		42.66	19.13
적응적 기반		46.56	27.09

표 2. 균일 잡음 첨가 후 추출된 워터마크의 PSNR값

		스테레오 영상	균일 잡음 첨가에 대한 워터마크 검출(PSNR)				
			2	3	5	8	
DCT	quant(8)	'Manege'	9.36	5.72	3.82	3.48	
	quant(16)		19.41	14.69	8.40	4.96	
	quant(24)		24.66	21.21	13.42	8.75	
DWT	quant(8)		12.37	6.72	3.99	3.53	
	quant(16)		28.34	18.34	9.38	5.25	
	quant(24)		30.10	26.12	15.91	9.12	
DCT	quant(8)		'Friends'	10.05	6.06	3.80	3.43
	quant(16)			23.57	14.95	9.0	5.11
	quant(24)			27.67	22.14	13.72	8.53
DWT	quant(8)	11.96		6.50	4.01	3.49	
	quant(16)	29.13		18.20	9.50	5.14	
	quant(24)	42.85		25.71	14.63	8.82	

표 2는 균일한 잡음 첨가 후 워터마크 검출시 나온 PSNR 값을 나타낸 것으로, DWT를 사용 했을 경우 'Manege' 영상은 2.64dB, 'Friends' 영상의 경우 3.03dB가 개선됨을 알 수 있었다. 또한, 상대적으로 양자화 값이 높을수록 공격에 강한 것으로 분석되었으며, 두 영상에 대한 결과값이 미세한 오차를 나타냄에 따라 이후 진행되는 실험부터는 자체 실험에서 획득한 'Friends' 스테레오 영상을 사용하였다.

또한, 그림 11과 12는 균일한 잡음 첨가후 워터마크를 추출한 것으로 (a)(b)(c)는 DCT 와 양자화 값이 각각 8, 16, 24이고 (d)(e)(f)는 DWT 와 양자화 값이 8, 16, 24일 때의 추출된 워터마크 영상을 나타낸 것이다.

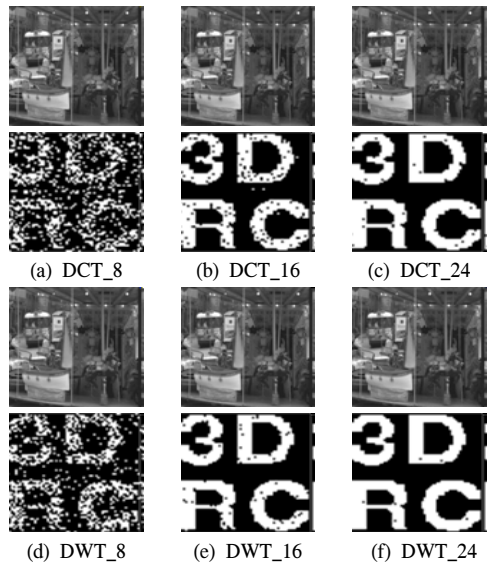


그림 11. 균일 잡음 첨가 후의 워터마크된 'Manege' 영상과 추출된 워터마크

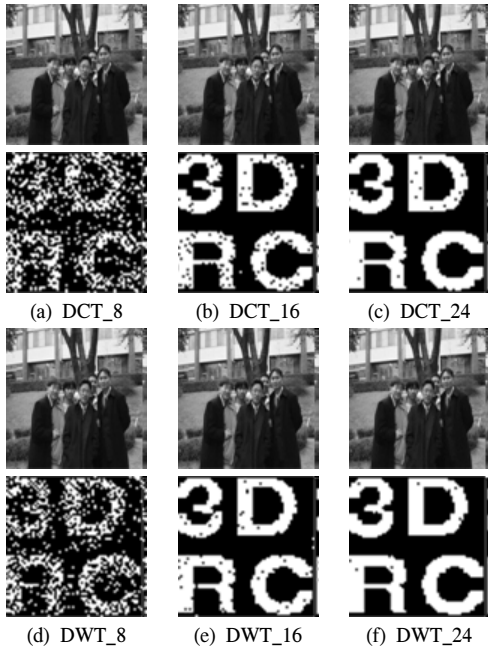


그림 12. 균일 잡음 첨가 후의 워터마크된 'Friends' 영상과 추출된 워터마크

표 3은 공격에 대한 강인성 평가를 위해 그림 13과 같이 크로핑(cropping)한 후 워터마크를 추출하여 PSNR값을 나타낸 것으로, 본 논문에서 제안한 DWT 방식의 워터마킹 기법을 사용했을 경우, DCT 방식의 기법에 비해, 평균적으로 9.27dB 개선됨을 알 수 있다.

표 3. 크로핑 후 추출된 워터마크의 PSNR 값

Cropping (PSNR)					
DCT			DWT		
quant(8)	quant(16)	quant(24)	quant(8)	quant(16)	quant(24)
15.44	20.68	20.94	24.66	28.10	32.12

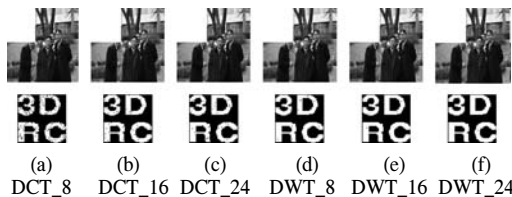


그림 13. 크로핑 후 워터마크된 'Friends'에서 추출된 워터마크

또한, 표 4와 표 5 역시 공격의 강인성 평가를 위해 그림 14 및 그림 15와 같이 블러링(blurring) 및 가우시안 노이즈 첨가 공격 후, 각각 워터마크를 추출하여 PSNR값을 나타낸 것이다.

표 4. 블러링 후 추출된 워터마크의 PSNR 값

Blurring (PSNR)					
DCT			DWT		
quant(8)	quant(16)	quant(24)	quant(8)	quant(16)	quant(24)
9.56	14.28	16.49	10.38	16.00	18.13

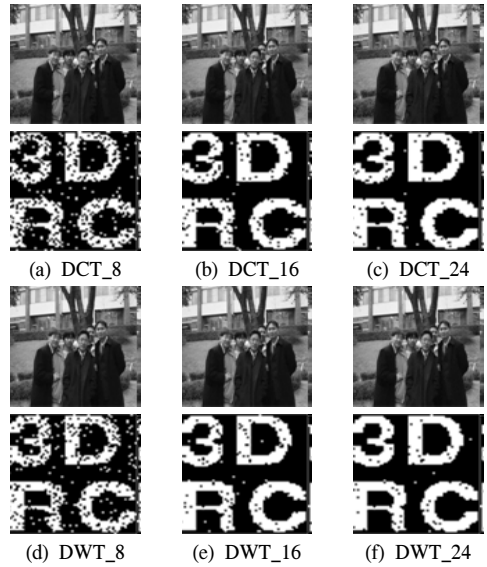


그림 14. 블러링 후의 워터마크된 'Friends'에서 추출된 워터마크

표 5. 가우시안 노이즈 첨가 후 추출된 워터마크의 PSNR 값

Gaussian Noise (PSNR)					
DCT			DWT		
quant(8)	quant(16)	quant(24)	quant(8)	quant(16)	quant(24)
5.16	5.36	5.49	5.34	5.44	6.09

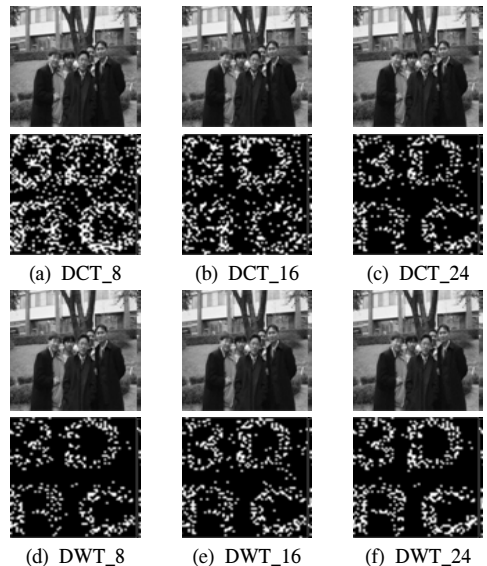


그림 15. 가우시안 노이즈 첨가 후 워터마크된 'Friends'에서 추출된 워터마크

결국, DWT를 사용 했을 경우, DCT와 비교했을 때 각각 1.39dB, 0.28dB 개선됨을 알 수 있으며, 이는 DWT 방식이 저주파로써, 정보에 대한 집중도가 높고, 공간 정보를 가지고 있기 때문에 삽입된 워터마크가 전 공간에 골고루 분포됨을 알 수 있다.

이상의 실험을 통해 워터마크가 포함된 영상에 공격을 가하면 워터마크 추출이 더욱 어려워진다는 것을 알 수 있으며, 이는 공격에 의해 영상의 구조적 변화가 생기기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 워터마크를 최초 삽입시 사용한 양자화 값을 그대로 이용한 기존의 방법과는 달리 양자화 값의 변화를 주면서 실험을 수행하였다.

표 6과 표 7은 가우시안 첨가 후 양자화 값의 변화에 따라 추출한 워터마크의 PSNR 값의 결과와, 블러링 후의 결과를 보여주고 있다.

표 6과 표 7에서, 원래의 양자화 값을 그대로 사용했다면 5.77dB, 16dB의 워터마크 결과값이 발생하겠지만, 본 실험에서는 적응적인 양자화 값의 변화로 8.90dB, 26.58dB의 향상된 워터마크를 얻을 수 있었으며, 이는 공격을 당한 영상이 구조적으로 변화가 생기고, 이에 따라 변화된 영상의 구조에 더 적당한 값을 찾아 사용했기 때문에 가능한 것으로 분석된다. 이상의 실험결과, 복원영상의 PSNR이 높

표 6. 가우시안 노이즈 첨가 후 양자화 값에 따라 추출된 워터마크의 PSNR 값

Gaussian Noise (PSNR)					
DWT					
quant(24)	quant(20)	quant(16)	quant(12)	quant(11)	quant(10)
5.77	6.41	7.43	8.52	8.90	8.19



그림 16. 블러링한 'Friends'에서 양자화 값의 변화에 따라 추출된 워터마크

표 7. 블러링 후 양자화 값에 따라 추출된 워터마크의 PSNR 값

Blurring (PSNR)					
DWT					
quant(16)	quant(15)	quant(14)	quant(13)	quant(12)	quant(11)
16.00	21.21	26.58	25.71	19.13	14.91



그림 17. 블러링한 'Friends'에서 양자화 값의 변화에 따라 추출된 워터마크

을수록 추출된 워터마크 영상의 PSNR값 또한 증가됨을 알 수 있었고, 다양한 공격에 대한 워터마크 추출실험 결과, DWT 방식이 DCT 방식 보다 상대적으로 더 우수한 성능이 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, 워터마크 삽입시 사용된 양자화 값을 워터마크를 추출할 때도 적응적으로 사용하여 다양한 공격을 당하는 경우에서도 우수한 성능의 워터마크를 추출할 수 있음이 분석되었다.

V. 결론

본 논문에서는 적응적 정합 알고리즘을 이용한 새로운 스테레오 입체영상 워터마킹 기법을 제시하였다. 즉, 좌, 우 스테레오 영상중 우영상을 DWT를 이용하여 워터마크 영상을 삽입하고, 좌영상과 워터마크 삽입된 우영상으로부터 변이정보를 추출한 다음 좌영상과 함께 전송하고, 수신단에서는 이를 정보를 이용하여 워터마크가 삽입된 우영상을 복원하고 복원된 영상으로부터 최종적으로 워터마크를 추출하였다. 워터마크를 추출할 때는 원본 영상을 사용하지 않고 추출 하였으며, 양자화 과정에서 사용한 quant 값의 적응적인 사용으로 상대적으로 높은 PSNR의 워터마크를 추출 할 수 있었다. CCETT의 'Manege'와 실제로 획득한 영상 'Friends', 그리고 영문 알파벳 '3DRC'를 스테레오 및 워터마크 영상으로 사용한 실험결과, 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상에 대한 PSNR 측정의 경우, 2.64dB, 3.03dB가 향상되었으며 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위한 다양한 공격 실험에서도 강건한 실험결과를 얻을 수 있었으며, 이를 통해 본 논문에서 새로이 제안한 적응적 변이추정 기반의 스테레오 입체영상 워터마킹 기법의 실질적 응용 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Victor S. Grinberg, Gregg Podner, M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", *Proc. of SPIE*, vol. 2177, pp.56-65, February 1994.

[2] Jens-Rainer Ohm and Karsten Muller, "Incomplete 3D representation of video objects for multi-view applications", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol.9, no.2, March 1999.

[3] A. Redert, E. Hendriks and J. Biemond, "Correspondence estimation in image pairs", *IEEE Signal Processing Magazine, special issue on 3D and stereoscopic visual communication*, vol.16, no.3, pp.29-46, May 1999.

[4] Chun-Jen Tsai and A. K. Katsagelos, Dense disparity estimation with a divide-and-conquer disparity space image technique, *IEEE Trans. on Multimedia*, vol.1, no.1, pp. 18-29, 1999.

[5] W. E. L. Grimson, "Computational experiments with a feature based stereo algorithm", *IEEE Trans. on PAME*, vol.7, no.1, pp.17-34, 1985.

[6] W. Ho and N. Ahuja, "Surfaces from stereo: Integrating feature matching, disparity estimation, and contour detection," *IEEE Trans. on PAME*, vol.11, no.2, pp.121-136, 1989.

[7] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, Digital watermarking, *Morgan Kaufmann Publishers*, pp.1-10, 2001.

[8] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamoan, "A secure, robust watermarking for multimedia", *Proc. of Information Hiding Workshop*, pp.185-206, 1996.

[9] J. O'Ruanaidh, W. Dowling, and F. Boland, "Watermarking digital images for copyright protection", *IEEE Proc. on Vision, Image and Signal Processing*, 143(4), pp.250-256, 1996.

[10] K. H. Bae, E. S. Kim, "A new disparity estimation scheme based-on adaptive matching window for intermediate view recon-

struction", *Opt. Eng.*, 2002.

[11] 박창주, 고정환, 김은수, "스테레오 영상 보정 알고리즘에 기반한 새로운 중간시점 영상합성 기법", *한국통신학회 논문지*, vol.29, no.5C, pp.632-641, 2004.

고 정 환 (Jung-Hwan Ko)

정회원



1999년 2월 광운대학교 제어계측공학과 학사

2001년 8월 광운대학교 전자공학과 석사

2005년 2월 광운대학교 전자공학과 박사

2005년 3월~현재 광운대학교

차세대 3D 디스플레이 연구센터 책임 연구원

<관심분야> 3D 로봇비전, 스테레오 카메라, 영상 통신

김 성 일 (Sung-II kim)

정회원

경원대학교 전자공학과 교수

김 은 수 (Eun-Soo Kim)

중신회원



1981년 3월~현재 광운대학교 전자공학과 교수

1987년 2월~1988년 8월 미국 CalTech 전기공학과 객원교수

1982년 3월~현재 (사) 한국통신학회, 정회원, 전문위원장, 상임이사, 평위원, 부회장

1998년 4월~현재 한국디스플레이연구조합 「3D선행기술정보교류회」 위원장

2000년 4월~2005년 6월 과학기술부 「국가지정연구실(NRL)」

2003년 9월~현재 정보통신부 「차세대3D디스플레이 연구센터」 센터장

2005년 1월~현재 ITRC 협의회 부회장

2005년 7월~현재 교육인적자원부 「대학특성화사업단」 단장

<관심분야> 3차원영상디스플레이시스템, 3DTV, 홀로그래픽영상처리, 스테레오 영상처리, 입체카메라, 3D 콘텐츠, 3D 로봇비전 등