

# 적응적 변이 추정 알고리즘을 이용한 새로운 스테레오 입체영상 워터마킹 기법

정회원 김정진\*, 이명한\*, 김은수\*

## A New Stereo Image Watermarking Scheme based-on Adaptive Disparity Estimation Algorithm

Kim Jung-jin\*, Lee Myung-han\*, Kim Eun-soo\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 적응적 변이 추정 알고리즘을 이용한 새로운 스테레오 입체영상 워터마킹 기법을 제시하였다. 즉, 좌, 우 스테레오 영상중 우영상에 블록 DCT(discrete cosine transform)를 이용하여 워터마크 영상을 삽입하고 이러한 워터마킹된 우영상과 좌영상으로부터 변이정보를 추출한 다음 추출된 변이정보는 좌영상과 함께 채널을 통해 전송된다. 그리고, 수신단에서는 전송되어온 변이정보와 좌영상으로부터 적응적 정합 기법을 이용하여 워터마킹된 우영상을 복원하게 되고 복원된 우영상으로부터 최종적으로 워터마크 영상을 추출하게 된다. CCETT의 'Fichier', 'Manege'와 영문 알파벳 'NRL'을 스테레오 및 워터마크 영상으로 사용한 실험결과 복원 영상의 PSNR 경우, 적응적 정합방식이 기존의 화소 및 블록 정합방식에 비해 'Fichier' 영상은 6.59dB, 'Manege' 영상은 12.28dB 각각 향상되었고, 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상의 PSNR 경우 또한, 각각의 두 영상이 2.43dB, 5.59dB로 개선됨이 분석되었다. 따라서, 이상의 실험결과를 통해 본 논문에서 새로이 제안한 적응적 변이 추정 기반의 스테레오 입체영상 워터마킹 기법의 실질적 응용 가능성을 제시하였다.

### 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 conventional block-DCT operation 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 'Fichier' and 'Manege' images as a stereo image and English alphabet 'NRL' as a watermark image, it is found that the PSNRs of the reconstructed right images through the adaptive matching algorithm improve to 6.59dB for the 'Fichier' image and 12.28dB for the 'Manege' by comparing with those of the extracted right images through the conventional pixel-based and block-based matching algorithms and, at the same time the PSNRs of the watermark images extracted from these reconstructed right images also improve to 2.43dB and 5.59 dB for the 'Fichier' and 'Manege' images, respectively. These experimental results also suggest a possibility of practical implementation of an adaptive matching algorithm-based stereo image watermarking scheme proposed in this paper.

\* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 미디어 연구실(mhlee@explore.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 020465-1022, 접수일자 : 2002년 10월 22일

\*본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실(NRI) 사업의 지원 아래 수행되었습니다.

## I. 서론

최근, 디지털 혁명을 통해 사회가 고도 정보화되면서 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 것이다<sup>[1]</sup>. 이러한 인간의 양안시차 원리를 이용하여 구현되고 있는 3차원 입체기술이 스테레오스코픽(stereoscopic) 3D 영상통신 기술이다. 이는 입체 카메라를 통해 얻은 스테레오 영상을 채널을 통해 전송한 뒤 수신단에서 여러가지 형태의 광학관을 통해 좌, 우 두 눈으로 구분하여 입력시킴으로써 3차원 입체 디스플레이가 이루어지게 된다. 그러나 이러한 스테레오스코픽 3D 영상통신 시스템은 실질적인 응용에서는 몇 가지 제한점을 가지고 있다<sup>[2]</sup>. 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 압축기술의 개발이 필수적이며 그 방식 중의 하나가 변이(disparity) 정보를 이용한 압축기술인 변이추정 기법이다<sup>[3]</sup>. 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 있다<sup>[4]</sup>. 디지털 워터마킹 기술은 인간의 시각으로 지각할 수 없는 일정한 소유권 정보인 워터마크(watermark)를 디지털 영상에 삽입 은폐하는 과정으로 이를 통해 디지털 영상에 대한 불법 사용 및 조작을 막고 소

일반적으로 이러한 디지털 워터마킹 기술에서는 은폐된 워터마크가 인간시각에 인지되지 않는 무인지성, 여러가지 다양한 영상처리 알고리즘에 대한 강건성과 불법적인 내용 변경 또는 위조에 대한 무결성 등이 요구된다<sup>[5][6]</sup>.

따라서 본 논문에서는 스테레오 입체영상에 대한 저작권 보호 기술로 스테레오 영상 만의 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 DCT (discrete cosine 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 변이 정합기법<sup>[7][8]</sup>을 이용한 스테레오 영상의 복원과 워터마크의 효과적인 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 신호 흐름도를 나타낸 것이다. 먼저, 스테레오 영상 중 하나인 우영상을 블록 DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환한 뒤 중간 주파수를 캐스팅하여 워터마크를 삽입하고 이를 다시 IDCT(inverse DCT)를 통해 최종적으로 워터마크가 삽입된 우영상을 만들게 된다<sup>[9]</sup>. 이렇게 생성된 워터마크가 삽입된 우영상과 좌영상은 양방향 정합(bi-directional matching)을 통해 변이정보가 추출되고, 추출된 변이정보와 좌영상이 채널을 통해 전송되게 된다. 수신단에서는 전송되어 온 좌영상과 변이정보로부터 변이 추정 기법을 이용하여 워터마크가 삽입된 우영상을 복원하고, 복원된 우영상으로부터 최종적으로 삽입된 워터마크를 추출하게 된다. 이 때 워터마크의 효과적인 추출을 위해서는 우영상의 정확한 복원이 요구되고 따라서 스테레오 영상 복원 시 사용되는 변이 추정기법에 크게 의존하게 된다.

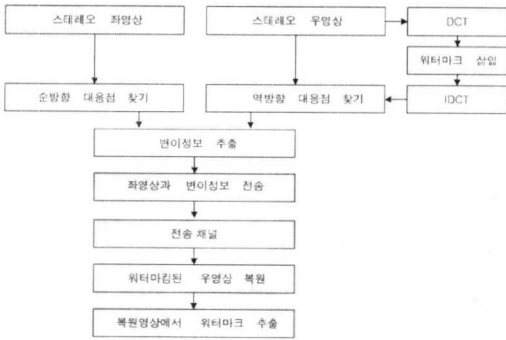


그림 1. 변이 정보를 이용한 스테레오 영상 워터마킹 알고리즘의 흐름도

### 2.1 워터마크 삽입과정

본 논문에서 제시된 스테레오 영상 워터마킹 기법에서 블록 DCT를 이용한 워터마크 삽입과정은 그림 2와 같다. 먼저, 입력된 스테레오 영상(512×512 화소)중 한쪽 영상(우영상)을 선택하여 8×8 화소단위로 하여 우영상을 64×64 블록으로 분할한 다음 각 블록 별로 식 (1)과 같은 2차원 블록 DCT 과정을 거쳐 8×8 화소의 DCT 계수로 변환되게 된다.

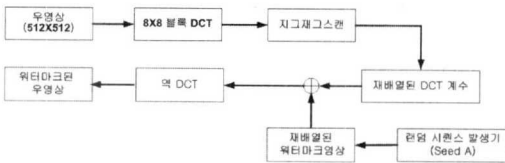


그림 2. 워터마크 삽입과정의 블록 다이어그램

DCT는 직교 변환을 이용한 것으로 공간 영역의 신호를 블록 단위로 주파수 영역의 정보로 변환하는 방법으로 공간영역에서 널리 퍼져있는 신호 에너지를 몇 개의 계수들로 집중시킴으로써 에너지 집중효과를 크게 한 푸리에 변환(Fourier transform) 기법이다<sup>[8]</sup>.

$$DCT : F(u, v) = \frac{4C(u)C(v)}{n^2} \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{k=0}^{n-1} f(j, k) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{2n}\right) \quad (1)$$

$$IDCT : F(J, K) = \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} C(u)C(v)F(u, v) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2k+1)v\pi}{2n}\right) \quad (2)$$

$$C_u, C_v = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & u, v = 0 \\ 1 & otherwise \end{cases}$$

식 (1)에 의해 변환된 DCT 계수의 주파수 성분은 그림 3(a)와 같이 나타나게 되는데 왼쪽 위가 DC 성분(직류성분)이며, 이 외에는 AC 성분(교류성분)이라 부르며 수평방향에서 오른쪽으로 갈수록, 수직방향에서 아래로 내려갈수록 공간주파수가 높아지게 된다. 그림 3(b), (c)는 예로써 “Fitchier” 영상과 이에 대한 블록(8×8) DCT된 결과를 각각 나타낸 것이다.

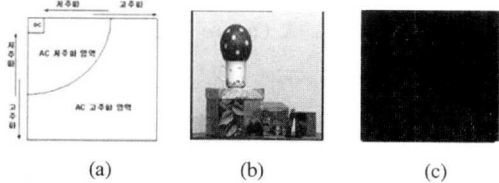


그림 3. (a) 블록 DCT의 주파수 변환특성 (b) 'Fichier' 영상 (c) 'Fichier'영상의 블록 DCT 결과

8×8 블록으로 DCT된 우영상 데이터는 그림 4와 같이 지그재그(zig-zag) 스캔을 통해 저주파로부터 고주파까지의 DCT 계수값으로 재배열되고 이 주파수 영역 중에서 특정 주파수 부분을 캐스팅하여 워터마크를 삽입하게 된다. 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 첨가되게 되면 고주파 성분들이 원래 영상의 것과 크게 달라져 강건성이 약화될 수 있다<sup>[10]</sup>. 따라서, 인간의 시각에 인지되지 않으면서도 압축 및 크로핑(cropping)에 강건한 중간 주파수 영역을 캐스팅하여 워터마크를 삽입하게 된다<sup>[11]</sup>.

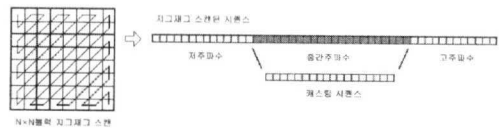


그림 4. 지그재그 스캔 및 캐스팅 영역

워터마크 영상은 64×64 화소로 구성되는데 이 화소들은 공간영역에 대한 공격에 대해 강건하도록 랜덤 시퀀스(random sequence) 발생기를 사용하여 재배치되게 된다. 이 때 재배치된 워터마크의 복원을 위해서 시드(seed)값을 매정하여 같은 시드의 경우일 때만 같은 랜덤 시퀀스를 발생할 수 있게 한다. 재배열된 워터마크 정보  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ 는 식 (3)과 같은 워터마크 삽입 알고리즘을 사용하여

식 (1)에서 구한 우영상의 DCT 계수  $F(u, v)$  중  $t_{L+1}$  부터  $t_{L+N}$  번째까지의 주파수 성분에 각각 대응되어 삽입되게 된다. 여기서,  $M$ 은 워터마크의 화소 개수를,  $t_L$ 과  $t_{L+N}$ 은  $F(u, v)$  중에서 각각 워터마크가 삽입되는 중간 주파수 성분의 시작 지점과 마지막 지점을,  $\alpha$ 는 워터마크가 삽입된 영상의 PSNR(peak signal-to-noise ratio)과 강건성을 결정하는 중요한 비례상수를 각각 나타낸다.

$$t'_{L+i} = t_{L+i} + \alpha |t_{L+i}| X \quad (\text{where } i=1, 2, \dots, N)$$

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\} \quad (3)$$

이렇게 구한  $t'_{L+i}$ 를 기존의 DCT 계수  $t_{L+i}$ 와 대체시킴으로써 식 (4)와 같은 워터마크가 삽입된 새로운  $8 \times 8$  한 블록에 대한 DCT 계수  $F^*(u, v)$ 를 얻을 수 있다.  $64 \times 64$ 의 모든 블록에 대하여  $F^*(u, v)$ 를 각각 구한 후, 다시 처음에 수행하였던 지그재그 스캔의 역과정을 거쳐  $8 \times 8$  블록으로 구성된 다음 식 (2)와 같은 IDCT 과정을 통해 최종적으로 워터마크가 삽입된 영상이 생성되게 된다.

$$F^*(u, v) = \{t_1, t_2, \dots, t_L, t'_{L+1}, t'_{L+2}, \dots, t'_{L+N}, t_{L+N+1}, t_{L+N+2}, \dots, t_{64}\} \quad (4)$$

### 2.2 스테레오 영상으로부터 변이정보 추출과정

본 논문에서는 워터마크가 삽입된 우영상과 좌영상으로부터 변이정보를 추출하기 위한 비용함수로 MSE(mean square error)를 사용하였다. MSE 함수는 식 (5)와 같이 주어지며, 식에서  $N_x, N_y$ 는 블록 또는 화소의 크기를,  $I_L$ 과  $I_R$ 은 좌영상의 블록과 이에 대응하는 워터마크된 우영상의 블록을 각각 나타낸 것이다.

$$MSE = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} |I_L(i, j) - I_R(i+d, j+l)|^2 \quad (5)$$

그림 5의 '복도 영상'은 에피폴라 선상에서 좌영상과 워터마크된 우영상간에 서로 대응되는 블록을 찾는 과정을 예로 나타낸 것이다. 즉, 좌영상을 일정한 크기의 블록으로 나눈 후 임의의 블록 대 이에 대응하는 같은 에피폴라 선상에 존재하는 워터마크된 우영상에서의 일치점을 일정한 탐색범위 ( $\pm S$ )내에서 찾는 과정을 보여준 것이다. 일반적으로, 인간시각 시스템에서는 수평변이에 비해 수직변이가 작기 때문에<sup>[2]</sup> 이러한 이각 시각 시스템의 특

성을 고려하여 스테레오 카메라를 병렬로 구성하게 되면 그림 5과 같이 수평 성분만으로 변이 벡터를 찾을 수 있다.

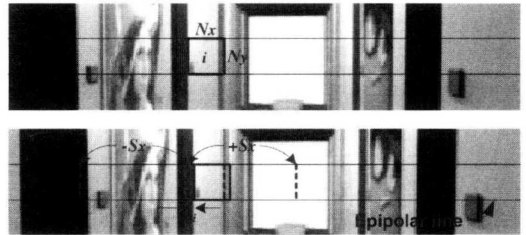


그림 5. 에피폴라 선상의 대응 블록 탐색도

식 (6)는 그림 5에서 표현된 탐색 범위인  $\pm S$  를 나타낸 것이다. 여기서,  $\pm S$  는 워터마크된 우영상에서 대응되는 블록 또는 화소를 찾는 탐색범위를 나타내고,  $x_0, y_0$ 는 변이추정시 좌영상에서의 블록의 시작점을 각각 나타낸다.

$$S = \{R(x, y) | (x_0 - S_x \leq x \leq x_0 + S_x + N_x), (y_0 \leq y \leq y_0 + N_y)\} \quad (6)$$

따라서 탐색범위  $\pm S$  내에서 MSE를 최소로 하는 블록을 좌영상과 정합된 워터마크된 우영상의 블록으로 선택하게 되면, 워터마크된 우영상과 좌영상간의 좌표값 차이로 그 블록을 대표하는 변이값을 얻게 된다. 즉, 좌측영상을 기준으로 한 우측영상과의 변이는 식 (7)과 같이 주어지게 된다.

$$d_{ij} = \arg \min \frac{1}{N_x N_y} \cdot \left( \sum_{(i, j) \in \beta_i} |I_L(i, j) - I_R(i+d, j)| \right) \quad (7)$$

여기서,  $I_R$ 는 워터마크된 우영상을,  $I_L$ 는 좌영상을,  $d$  는 탐색범위 내의 변이값을 각각 나타내며,  $\beta_i$ 는  $I_R$ 의  $i$  번째  $N_x \times N_y$  크기의 블록을 나타낸다. 식 (7)에서 얻어지는 변이벡터는 블록을 대표하는 값으로 변이정보를 추출하는데 사용된다. 이렇게 얻어진 변이정보는 좌영상과 함께 3차원 채널을 통하여 수신단으로 전송되어진다.

### 2.3 적응적 정합 알고리즘을 이용한 스테레오 영상의 복원

본 논문에서는 전송되어온 좌영상과 변이정보를 이용하여 워터마크된 우영상을 복원하기 위한 효과적인 방법으로 적응적 정합 알고리즘을 사용하였다

[13]. 즉, 적응적 정합과정에서는 먼저, 스테레오 입력 영상의 특징값으로 에지정보를 미분연산자인 캐니 마스크(Canny mask)를 사용하여 추출하게 된다. 추출된 특징값들은 0부터 1 사이 값으로 정규화되고 특징값의 크기를 결정하기 위해 각 단계별로 임계값이 설정되게 된다. 일단, 임계단계 및 각 단계별 임계값이 설정되면 각 임계 단계에 대응하는 수의 정합창이 설정되게 된다.

식 (8)은 비용함수로 MSE(mean square error)를 이용하여 추출된 특징값과 임계값의 비교를 통해 6 가지의 정합창의 크기를 선택하는 수식을 나타낸 것이다. 즉, 본 논문에서는 각 영상의 특징에 따른 효율적인 정합을 위하여 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. 이상과 같이 임계값과 정합창이 설정되면 입체의 입력 스테레오 영상으로부터 추출된 특징값에 따라 정합창의 크기가 적응적으로 선택되게 된다. 즉, 정합창 선택 알고리즘의 초기조건에서 식 (8)과 같이 임계값은 임계값 중 가장 큰 값인 6단계(1.0)로 설정하여 특징값들과 비교되게 된다

$$\frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} |I_L(i, j) - I_R(i + d, j)|^2 > \quad (8)$$

임계값 (단계[n]) ⇒ 2<sup>6-n</sup> × 2<sup>6-n</sup>

따라서, 비교를 통해 이 임계값 보다 큰 특징값들을 갖는 영역들은 설정된 정합창 중에서 가장 작은 정합창인 1×1가 선택되어 가장 세밀한 정합이 수행된다. 이 때, 1단계의 임계값 보다 작은 특징값들에 대해서는 임계값을 1단계 감소시킨 5단계(0.8)로 설정한 후 다시 비교된다. 여기서, 임계값 보다 큰 특징값을 갖는 영역들에 대해서는 다음 단계의 정합창인 2×2로 설정되어 정합이 이루어지게 된다. 또한, 임계값 보다 작은 특징값들은 앞에서와 같은 방법으로 다시 1단계 감소시킨 4단계(0.6)의 임계값과 다시 비교되게 된다. 이 때, 임계값보다 큰 특징값을 갖는 영역들은 다음 단계의 정합창인 4×4가 설정되어 정합이 이루어지게 된다. 이러한 과정을 통해 임계값이 1단계에서 6단계까지 증가와 감소를 반복하면서 정합창이 적응적으로 설정되게 된다. 그림 6은 좌영상과 워터마킹된 우영상으로부터 추출된 특징값의 크기에 따라 정합될 정합창의 크기를 적응적으로 선택하는 적응적 정합 알고리즘의 흐름

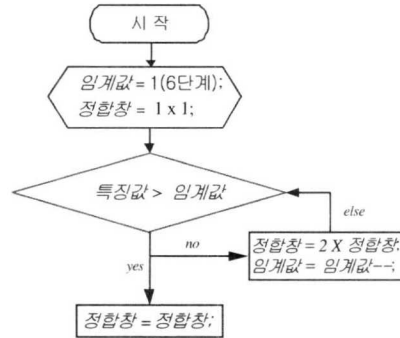


그림 6. 적응적 정합 알고리즘의 흐름도

따라서, 본 논문에서는 적응적 정합 알고리즘을 이용하여 좌영상과 워터마킹된 우영상에서 추출된 특징값의 크기를 설정된 임계값과 비교하고, 그 값의 크기에 따라 적응적으로 적절한 정합창 크기를 설정함으로써 워터마킹된 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 워터마킹된 우영상의 효율적인 복원이 가능하다.

### 2.3 복원영상에서 워터마크 추출과정

그림 7은 복원된 우영상으로부터 워터마크 정보를 추출하는 과정을 나타낸 것이다.

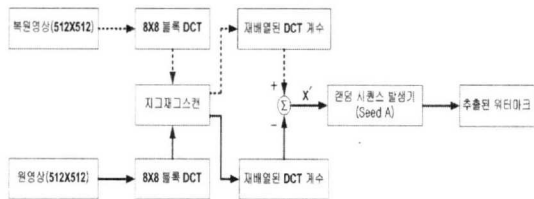


그림 7. 워터마크 추출과정

먼저, 원래의 512×512 화소의 스테레오 영상쌍 중 우영상을 식 (1)과 같은 방법으로 8×8 화소를 기본 블럭 단위로 하여 64×64 블럭으로 분할 후 DCT 변환을 수행하면 8×8 화소의 DCT 계수값을 얻게 된다. 그 후 지그재그 스캔으로 저주파부터 고주파까지 재배열을 해서 원래 우영상의 최종 주파수 성분인 F(u, v)를 구한다. 이와 마찬가지로 적응적 정합 알고리즘을 통해 512×512 화소의 워터마크

크가 삽입 되어진 복원된 우영상을 동일한 방법으로 식 (1)과 같이 8×8 블록 DCT를 이용하여 주파수 성분으로 각각 변환한 다음 지그재그 스캔을 통해 재배열된 DCT 계수인  $F^*(u, v)$ 를 구하게 된다. 삽입과정에서 워터마크 영상은 원영상을 DCT 변환한 주파수 성분에 직접 더해졌기 때문에 삽입된 워터마크를 추출하기 위해서는 식 (9)과 같이 워터마크가 삽입된 주파수 변환 값인  $F^*(u, v)$ 와 원영상의 주파수 변환 값인  $F(u, v)$ 의 차를 구함으로써 삽입되었던 64×64 화소값인 워터마크  $X'$ 을 구할 수 있다.

$$X' = F^*(u, v) - F(u, v) \quad (9)$$

이렇게 구한  $X'$ 는 워터마크 삽입 시에 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 우리가 원하는 워터마크를 추출할 수 있다.

### III. 실험 및 결과고찰

그림 8(a), (b)는 본 실험에서 사용된 CCETT 스테레오 영상인 'Fichier'와 'Manege' 영상을 나타낸 것으로 512×512 크기의 'raw' 파일로 변환하여 사용하였다<sup>[14]</sup>. 그리고, 그림 8(c)는 실험에 사용된 워터마크 영상인 영문 알파벳 'NRL'을 나타낸 것으로 64×64 화소로 구성하여 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 'Microsoft Visual Studio 6.0' 환경에서 수행하였다. 그리고 스테레오 영상 복원방법은 적응적 정합 방법을 포함하여 기존의 블록 기반(block-based) 정합 및 화소 기반(pixel-based) 정합 방법을 동시에 사용하였으며 실험을 통해 성능을 비교 분석하였다. 성능 비교를 위하여 탐색범위를 ±40 화소로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며 복원된 영상과 추출된 워터마크에 대한 시뮬레이션 수행결과를 PSNR의 점에서 비교 분석하였다

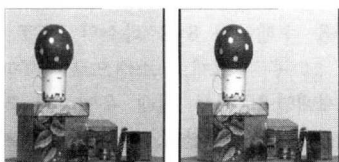


그림 8. 실험에 사용된 스테레오 좌·우 원영상 및 워터마크 영상 (a) 'Fichier' 좌·우영상, (b) 'Manege' 좌·우영상, (c) 워터마크 영상그림

본 실험에서 사용한 워터마크 삽입 알고리즘은 블록 DCT 기반으로서 그림 8의 'Fichier' 및 'Manege' 우영상을 식 (1)을 이용하여 8×8 블록 단위로 DCT 변환한 후, 변환된 DCT 계수들을 지그재그 스캔을 통하여 주파수의 순서대로 1차원적으로 재배열하게 되고 그 중 인간의 시각에 인지되지 않으면서도 영상처리 알고리즘에 강건한 특정 중간주파수 영역 12 부분을 캐스팅하여 워터마크를 삽입하였다. 워터마크는 공격에 대한 강건성을 높이기 위해서 삽입 전에 랜덤 시퀀스 발생기를 통해 재배열되는데 본 실험에서는 시드(seed)값은 '2'로 설정하였다. 따라서, 추출시에는 삽입할 때의 특정 시드값인 '2'를 랜덤 시퀀스를 발생기에 부여해야만 수신된 영상에서 워터마크를 추출할 수 있다. 워터마크를 삽입할 때 워터마크 가중치  $\alpha$ 는 최종적으로 워터마크된 영상과 원영상과의 화소값 차이가 항상  $\pm 1 \sim \pm 8$ 의 범위가 되도록 조정하였다. 이렇게 원영상에 워터마크가 삽입된 주파수 성분은 지그재그 스캔의 역과정을 거쳐서 64×64 크기의 2차원 배열을 가지게 되고 워터마크가 삽입된 우영상은 다시 식 (2)를 이용하여 IDCT 과정을 거쳐 그림 9(a), (b)와 같은 워터마크가 삽입된 'Fichier', 'Manege' 우영상을 만들었다.



(a) 'Fichier' 우영상 (b) 'Manege' 우영상

그림 9. 워터마크를 삽입한 우영상

그림 10, 11은 'Fichier', 'Manege' 영상에서 탐색범위를 ±40 화소 크기로 설정하고 각 정합방법을 수행시켜 얻은 변이 벡터(disparity vector)의 결과를 변이지도(disparity map) 형태로 나타낸 것이다. 그

림에서 보면, 적응적 정합 기법으로 구한 변이 벡터가 블럭기반 및 화소기반 정합방식으로 구한 변이 벡터 보다 물체의 윤곽이 비교적 정확히 나타나고 안정적으로 변이가 분포되는 것을 볼 수가 있다. 그리고, 'Manege'에 비해 비교적 단순한 영상인 'Fichier' 영상에서 배경 부분은 특징값의 크기가 작으므로 비교적 큰 정합창이 선택되는 것을 볼 수가 있다. 그러나 'Manege' 영상의 경우는 비교적 복잡한 영상으로 전체적으로 영상의 특징값들이 크기 때문에 비교적 작은 정합창으로 세밀한 정합이 수행됨을 볼 수가 있다.

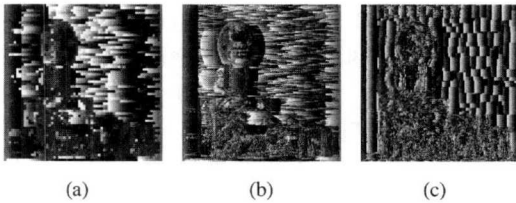


그림 10. 'Fichier' 영상의 각 기법에 의한 변이 지도 (a)블럭기반(8×8) 정합, (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

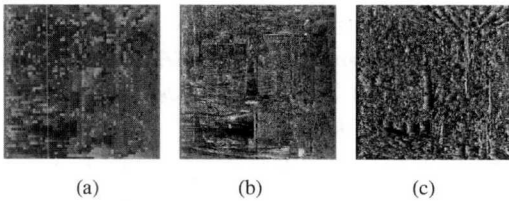


그림 11. 'Manege' 영상의 변이 지도 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

그림 12는 탐색범위 ±40에서 각 정합 알고리즘을 통해 구한 'Fichier', 'Manege'의 복원된 우영상을 각각 나타낸 것이다.

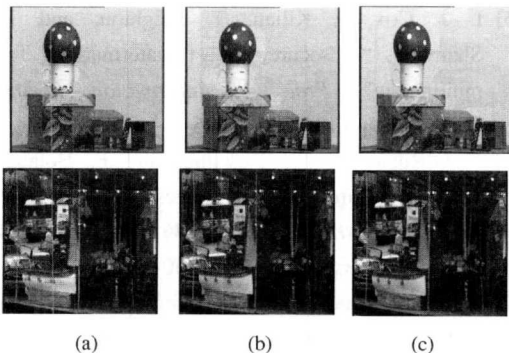


그림 12. 'Fichier', 'Manege'의 복원된 우영상 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

그림 13, 14은 각 기법으로 합성된 복원된 영상과 원 영상 간의 오차영상(residual image)을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 'Fichier', 'Manege' 영상 모두 적응적 정합기법이 가장 원 영상과 차이가 적음을 알 수가 있으며 또한, 비교적 복잡한 'Manege'영상이 'Fichier' 보다 원 영상과의 차이가 적음을 알 수가 있다.

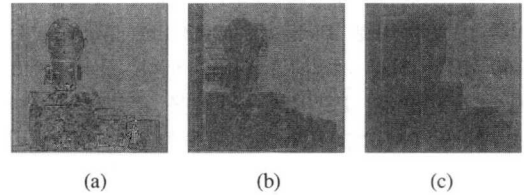


그림 13. 'Fichier' 영상의 오차 영상 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

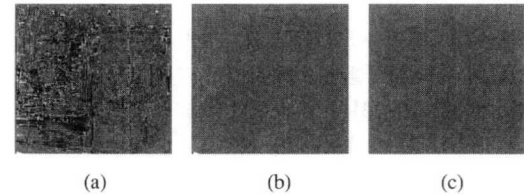


그림 14. 'Manege' 영상의 오차 영상 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

그림 15, 16은 전송되어 온 좌영상과 변이정보로부터 각각의 정합방법을 사용하여 워터마크가 삽입된 우영상을 복원하고 이들 복원영상으로부터 추출한 워터마크 영상을 나타낸 것이다.

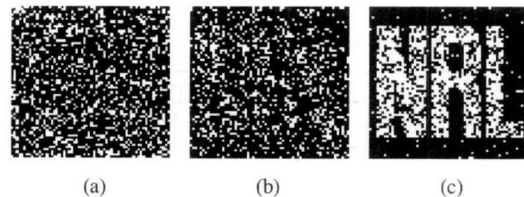


그림 15. 'Fichier' 복원영상에서 추출된 워터마크 영상 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

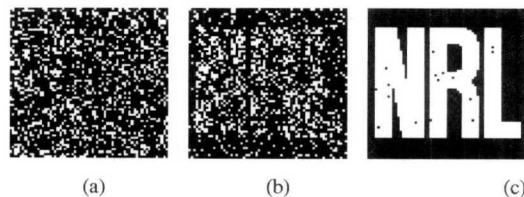


그림 16. 'Manege' 복원영상에서 추출된 워터마크 영상 (a)블럭기반 정합(8×8), (b)화소기반 정합, (c)적응적 정합

표 1은 원 영상을 기준으로 하여 적응적 정합 방식과 기존의 화소 및 블럭(8×8) 기반 방식으로 복원된 각각의 스테레오 영상과 추출된 워터마크 영상에 대한 PSNR 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 보면 복원 영상의 경우 적응적 정합방식이 기존 방식에 비해 'Fichier'는 6.59 dB, 'Manege'는 12.28 dB가 각각 향상되었고, 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상의 경우는 적응적 정합방식이 기존 방식에 비해 'Fichier'은 2.43 dB, 'Manege'는 5.59 dB가 각각 개선됨을 알 수 있다. 특히, 표 1에서 복원영상의 PSNR이 높을수록 추출된 워터마크 영상의 PSNR값 또한 증가됨을 볼 수 있는데 이는 추출된 워터마크의 성능이 복원 영상의 성능에 직접적으로 연관되어 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 15(a),(b)와 그림 16(a),(b)에서 보듯이 화소 및 블럭기반의 정합 기법으로 추출된 워터마크 영상의 성능이 제안된 방식에 비해 크게 떨어짐을 볼 수 있는데 이러한 결과는 화소기반 정합의 경우 세밀한 추정은 가능하지만 정합과정에서 오정합이 나타날 확률이 높고, 블럭기반 정합의 경우는 블록화 현상이 발생되기 때문인 것으로 분석된다. 또한, 그림 15(c)와 그림 16(c)의 제안된 정합방식으로 추출된 워터마크 영상의 경우, 'Fichier' 영상 보다는 'Manege' 영상에서 추출된 워터마크의 성능이 우수함을 볼 수가 있다. 이는 비교적 단순하고 변이가 큰 'Fichier' 영상 보다 복잡하고 변이가 작은 'Manege' 영상에 제안된 정합 알고리즘이 보다 잘 적용되기 때문인 것으로 분석된다.

표 1. 복원영상 및 워터마크 영상의 PSNR 성능 비교

비교 영상 정합 방식	스테레오 영상	PSNR [dB]	
		워터마크 원 영상과 복원영상	원 워터마크와 복원영상에서 추출된 워터마크
블록기반	'Fichier'	26.52 dB	3.61 dB
화소기반		30.27 dB	4.41 dB
제안된기법		34.98 dB	7.69 dB
블록기반	'Manege'	24.70 dB	3.58 dB
화소기반		38.98 dB	6.13 dB
제안된 기법		44.12 dB	13.08 dB

#### IV. 결론

본 논문에서는 적응적 정합 알고리즘을 이용한 새로운 스테레오 입체영상 워터마킹 기법을 제시하였다. 즉, 좌, 우 스테레오 영상중 우영상을 DCT를 이용하여 워터마크 영상을 삽입하고, 좌영상과 워터

마크 삽입된 우영상으로부터 변이정보를 추출한 다음 좌영상과 함께 전송하고, 수신단에서는 이를 정보를 이용하여 워터마킹된 우영상을 복원하였다. 그리고 복원된 영상으로부터 최종적으로 워터마크를 추출하였다. CCETT의 'Fichier', 'Manege'와 영문 알파벳 'NRL'을 스테레오 및 워터마크 영상으로 사용한 실험결과 복원 영상의 PSNR 경우, 적응적 정합방식이 기존의 화소 및 블럭 방식에 비해 'Fichier' 영상은 6.59 dB, 'Manege' 영상은 12.28 dB 각각 향상되었고, 복원 영상으로부터 추출된 워터마크 영상의 PSNR 경우 또한, 'Fichier' 영상이 2.43 dB, 'Manege' 영상이 5.59 dB 각각 개선됨이 분석되었다. 따라서, 이상의 실험결과를 통해 본 논문에서 새로이 제안한 적응적 변이추정 기반의 스테레오 입체영상 워터마킹 기법의 실질적 응용 가능성을 제시하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Grinberg, V. "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 multiview applications", *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol.9, no2, 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] I. J. Cox, M. L. Miller, J. A. Bloom, "Digital Watermarking", *Morgan Kaufmann Publishers*, pp. 1-10, 2001
- [5] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. Shamon, "A secure, robust watermarking for multimedia", *Proc. of Information Hiding Workshop*, pp.185-206, 1996
- [6] J. O'Ruanidh, 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
- [7] K. H. Bae, E. S. Kim, "Adaptively Compensated-Disparity Prediction Scheme for Stereo Image Compression and Reconstruction", *J. of KICS*, vol.27 no.7A, July 2002



