

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제21권 제6호, 2016년 11월 (JBE Vol. 21, No. 6, November 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.6.845>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

깊이변화지도를 이용한 DIBR 공격의 강인성 블라인드 워터마킹

이 용 석^{a)}, 서 영 호^{b)}, 김 동 육^{a)†}

Robust and Blind Watermarking for DIBR Using a Depth Variation Map

Yong-Seok Lee^{a)}, Young-Ho Seo^{b)}, and Dong-Wook Kim^{a)†}

요 약

본 논문에서는 시청자측에서 수신한 텍스처 영상과 그 깊이영상으로 임의의 시점 영상을 렌더링하여 시청하는 자유시점 2D 또는 3D 영상의 지적재산권 보호를 위한 디지털 워터마킹 기술을 제안한다. 이 경우 악의적이지는 않지만 시점이동공격이 필연적으로 발생되며, 여기에 삽입된 워터마크 정보를 제거하기 위한 악의적인 공격을 추가로 고려하여야 한다. 본 논문에서는 시점이동에 덜 민감한 부분을 찾기 위해 깊이영상을 이용하여 깊이변화지도를 생성하고, 원 영상을 3 레벨 2DDWT를 수행하여 각 레벨의 LH 부대역에서 깊이변화지도를 참조하여 워터마킹할 위치를 결정한다. 각 화소에 한 워터마크 비트를 삽입하는 방법은 선형 양자화기를 사용하는데, 양자화 스텝은 각 부대역의 에너지 값에 따라 결정한다. 워터마크 추출방법은 공격된 영상에서 원 워터마크 정보와의 상관도를 이용하여 가능한 후보들을 추출하고, 각 위치의 추출된 값들은 통계적인 방법으로 최종 추출된 워터마크로 결정한다. 제안한 방법을 다양한 영상으로 다양한 공격에 대해 실험하고 기존의 방법들과 비교하여 이 방법이 우수한 성능을 가졌음을 보인다.

Abstract

This paper proposes a digital watermarking scheme to protect the ownership of the freeview 2D or 3D image such that the viewer watches the image(s) by rendering a arbitrary viewpoint image(s) with the received texture image and its depth image. In this case a viewpoint change attack essentially occurs, even if it is not malicious. In addition some malicious attacks should be considered, which is to remove the embedded watermark information. In this paper, we generate a depth variation map (DVM) to find the locations less sensitive to the viewpoint change. For each LH subband after 3-level 2DDWT for the texture image, the watermarking locations are found by referring the DVM. The method to embed a watermark bit to a pixel uses a linear quantizer whose quantization step is determined according to the energy of the subband. To extract the watermark information, all the possible candidates are first extracted from the attacked image by considering the correlation to the original watermark information. For each bit position, the final extracted bit is determined by a statistical treatment with all the candidates corresponding that position. The proposed method is experimented with various test images for the various attacks and compared to the previous methods to show that the proposed one has excellent performance.

Keyword : digital image watermarking, freeview 2D/3D image, viewpoint change, depth variation map (DVM)

a) 광운대학교 전자재료공학과(Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University)

b) 광운대학교 교양학부(School of Liberal Arts, Kwangwoon University)

† Corresponding Author : 김동육(Dong-Wook Kim)

E-mail: dwkim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5167

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4668-743X>

* 이 논문의 연구결과 중 일부는 “2016년 한국방송·미디어공학회 학계학술대회”에서 발표한 바 있음.

* 이 연구는 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2057798).

· Manuscript received June 23, 2016; Revised November 16, 2016; Accepted November 16, 2016.

I. 서 론

디지털 영상미디어 기술의 발달은 영상을 고해상도로 발전시킬 뿐 아니라 3차원(3D) 영상^[1]이나 자유시점(free viewpoint) 영상^[2]도 발전시키고 있다. 최근의 3D 영상은 2009년 영화 ‘아바타’가 축발시켜 3~5년간 많은 봄을 일으켰으며, 그 후 관심도가 떨어지는 듯 했으나, 최근 가상현실 분야에서 다시 부각되고 있다. 이 외에도 다시점(multi-viewpoint) 3D영상^[3]이나 디지털 홀로그램^[4]에 대한 연구도 꾸준히 이루어지고 있다. 반면 자유시점 영상에 대한 연구는 자유시점 TV(FTV)이라는 이름으로 2000년대 초부터 연구되어 왔으며, 3D보다는 시점을 자유롭게 이동한다는 개념이 더욱 강하였다. 그러나 최근 이 두 개념을 결합하여 자유시점 3D^[5]라는 개념으로 발전하여 연구되고 있다^[6]. FTV나 자유시점 3D는 시청자가 시점을 자유롭게 선택하도록 하지만, 그를 위해 초다시점 영상을 전송하는 전송부담을 덜어준다는 측면에서도 큰 의미를 찾을 수 있다.

FTV 또는 자유시점 3D는 시청자가 시점을 원하는 대로 바꿀 수 있도록 한다는 개념이다. 이를 위해서는 시청자의 시점을 추적하거나 시청자가 직접 시점을 선택하게 하여 시청자측에서 시점을 이동한 영상을 렌더링(rendering)해야 한다. 그 방법 중 현재 가장 널리 사용되고 있는 방법이 깊이영상-기반 렌더링(depth-image-based rendering, DIBR)이며, 이를 3D 워핑(warping)이라고도 한다^[1]. 이 방법은 현재시점의 영상을 3차원 좌표정보를 갖고 있는 깊이영상으로 원하는 시점의 영상을 렌더링하는 방법이다. 즉, FTV 또는 자유시점 3D를 위해서는 현재시점의 RGB영상과 그에 해당하는 깊이영상을 수신측에 보내 수신측에서 DIBR로 원하는 시점의 영상을 렌더링해야 하며, 이에 대한 비디오 코덱 설계도 연구되고 있다^[7].

한편, 영상의 발전은 영상자체가 점차 정보함축적인 미디어가 되고 있고, 점차 고부가가치의 콘텐츠가 되고 있다는 것을 의미한다. 그러나 디지털 콘텐츠가 가지는 전형적인 문제인 불법 복제, 도용 등의 문제에 대한 해결방법이 더욱 절실했으며, 지금까지 이 해결책으로 디지털 워터마킹(digital watermarking, DW)^[8]이 지속적으로 연구되어 왔다. 이들에서는 다양한 악의적/비악의적 공격을 대상으로 삽입한 워터마크(watermark, WM)의 비가시성(invisibi-

lity)와 공격에 대한 장인성(robustness)을 겸비한 지적재산권 보호 방법을 주로 연구해 왔다^[9]. 그러나 앞에서 설명한 수신측에서의 시점이동은 원 영상 화소들의 위치를 변경시키고 폐색(occlusion)영역과 비폐색(disocclusion)영역을 발생시켜 원 영상에 삽입한 WM 정보를 상당히 변형시키거나 제거하는 결과를 낳는다. 즉, 시점이동이 영상에 대한 또 하나의 강력한 공격이 된 것이다^[10]. 따라서 최근 시점이동 공격을 대상으로 하는 DW에 대한 연구들이 진행되고 있다. 본 논문의 목적 또한 이 시점이동 공격을 주된 공격으로 하나, 기존 2D영상의 DW에서 타겟으로 한 공격들을 같이 고려한 blind^[8] DW 방법을 제안하는 것이다.

시점이동에 대한 DW는 [11]에서 처음 시도되었는데, 여기서는 영상-기반 렌더링(image-based rendering, IBR), 즉 light-ray 렌더링(LFR) 방법의 시점이동을 가정하였다. DW 방법은 WM를 삽입할 때 WM를 고대역통과 필터링하여 사용하고, 추출할 때에는 영상을 고대역필터링하여 특정 위치의 데이터와 삽입한 WM의 NC(normalized correlation)값을 구하여 WM를 추출하였다. 따라서 이 방법은 원 영상과 삽입한 WM 정보가 모두 추출 시 사용되는 non-blind 방법이다. 한편 Zhu 등은 DIBR의 시점이동을 가정하고, 시점이동에 변화가 가장 적은 가장 먼 객체를 Flood fill 방법으로 찾아 8×8 DCT의 중간주파수 대역에 WM를 삽입하는 방법을 제안하였다^[12]. 이 방법 역시 WM 추출 시 Flood fill 방법으로 삽입영역을 찾아야 하므로 non-blind 방법이다. 또한 Lee 등은 DIBR 후의 폐색영역을 미리 계산하고 그 영역을 피해서 64 비트의 WM를 삽입하는 방법을 제안하였다^[13]. 이 방법의 WM 추출 방법은 공격을 가한 영상에 Wiener 잡음제거 필터링을 수행하고 필터링 전 영상과의 차영상을 구해 DW영역에서 원 WM와의 NC값이 정해진 값 이상이면 WM가 추출되었다고 간주하는 방식이다. 이 방법은 WM 추출 시 원 WM 정보만을 사용하므로 blind DW으로 간주된다. 그 후 이 팀은 원 영상에서 잡음을 추출하고 그 평균값을 0으로 만든 후 수직방향으로 분할하여 각 잡음에 128 비트 WM 정보를 삽입하여 잡음 정보로 WM를 추출하는 방법을 개발하기도 하였다^[14]. 그러나 여전히 시점이동된 영상에서 낮은 WM 추출률을 보였다. 시점이동 후 WM 추출률을 높이기 위해 시점이동된 영상에서 WM 정보가 왜곡될 것을 고려하여 WM를 삽입하는 방

법이 제안되기도 하였다^[15]. 그러나 예측된 시점에서의 WM 추출률은 높으나 그 외 임의의 시점에서는 낮은 추출률을 보였다. DIBR에 강인한 특별한 변환방법으로 DT-CWT(dual-tree complex wavelet transform)을 제안하고, 3-레벨 변환 결과의 블록별로 양자화의 형식으로 64 비트의 WM정보를 삽입하는 방법을 제안하였다^[16]. 이 방법은 3~7%시점 변화에 거의 일정한 에러율을 보이며 좋은 성능을 보였으나, 블록의 크기와 시점이동의 양에 따라 좌우 블록의 WM를 소실할 가능성이 커지는 단점을 갖고 있다.

이후 가상시점에서 WM 위치를 blind 방식으로 찾기 위해 SIFT를 이용한 특징점 기반의 DW 방법이 제안되었다^[17]. 이 방법의 비가시성은 다른 방법에 비해 뛰어나지만, 시점이동 이 외의 JPEG 공격이나 평균필터링 공격을 시점이동하지 않은 원 시점 영상에 가해 시점이동한 영상을 대상으로 한 공격들과의 비교가 불가능하다. 즉, 수신측에서 시점이동이 이루어진 영상에 대해 WM를 제거하기 위한 공격을 타겟으로 하여야 하나, 이 논문에서는 시점이동하지 않은 영상이 공격당하는 것만을 가정하였다. 또한 DIBR에서 깊이영상의 중요성 때문에 깊이영상에 DW를 수행한 방법도 제안되었다^[18]. 이 방법은 비가시성에 영향을 주지 않으면서 좋은 WM 추출률을 보였지만, 깊이영상이 아닌 중간시점이나 가상시점 영상에 대한 저작권은 보호할 수 없다는 치명적인 단점이 있다. 가상시점이 생성된 뒤에는 깊이영상이 사용되지 않지만 양안 가상시점 자체로 불법 유통될 수 있기 때문이다.

깊이영상에 WM를 삽입하고 DIBR에 의해 시점이동된 영상에서 WM를 추출하는 방법(unseen visible watermarking, UVW)이 제안되기도 하였다^[19]. 이 방법은 DIBR에서 시점이동에 영향을 미치지 않는 시차(disparity)의 크기를 이용하여 WM를 삽입하고, WM를 추출할 때는 렌더링 조건을 변화시켜 삽입한 깊이영상의 WM가 부각되도록 한다. 따라서 이 방법은 추출 시 깊이영상이 필요한 non-blind 방법이다. 또한 Rana 등은 DT-CWT의 실수부인 DT-DWT와 DCT-MCTF(motion-compensated temporal DCT filtering)을 이용하는 방법을 제안하였다^[20]. 이 방법은 좌시점과 우시점 영상이 주어지고 각 시점에서 깊이와 텍스쳐 영상이 제공된다고 가정하고 이 두 시점의 중간시점을 만들어 WM를 삽입하였다. 그 결과 비가시성과 강인성에

서 기존 논문이 비해 우수한 성능을 보였다. 이 외 시점이동을 타겟으로 하자는 않지만 애너글리프(anaglyph) 스테레오 영상을 3D DWT와 Jacket matrix를 사용하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하기도 하였다^[21].

본 논문에서도 깊이+텍스쳐의 한 쌍을 수신측에 전송하여 수신측에서 DIBR로 임의의 시점이동이 이루어진다는 것을 가정한 blind DW 방법을 제안한다. 그 방법으로는 폐색 및 비폐색영역이 발생하지 않는 혹은 않을 영역을 깊이 영상으로 찾고, 다양한 공격에 강인성을 갖도록 2DDWT(2-dimensional discrete wavelet transform)를 3-레벨까지 수행하면서 각 레벨에서 공격에 가장 강인한 LH부대역에 다중 WM를 삽입한다. WM을 추출할 때는 삽입과 동일하게 2DDWT를 수행하면서 LH 부대역의 모든 화소에서 WM정보를 추출한 후 원 WM정보를 이용하여 삽입된 WM 위치의 정보를 선별한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 다음 장에서는 DIBR에 의한 시점이동 영상 렌더링 방법을 간략하게 소개하고, 시점이동이 DW에 미치는 영향을 간략히 소개한다. 3장에서는 시점이동 및 다양한 공격에 강인하도록 본 논문에서 제안하는 DW 방법을 설명하고, 4장에서는 이 방법의 실험결과와 기존 방법들과의 비교결과를 소개한다. 이를 바탕으로 5장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

II. DIBR에 의한 시점이동과 워터마킹의 영향

1. DIBR에 의한 시점이동

그림 1은 실세계의 점 M 이 카메라의 영상평면 O_I 의 점 m 에 맷히는 간단한 펜홀 카메라 모델을 보이고 있다. 그림에서 O_P 는 광중심점 C 를 포함한 평면, f 는 초점거리(focal length)를 각각 나타내며, (X, Y, Z) , (u, v, Z) , (x, y, z) 는 O_P , O_I 실세계의 좌표계를 각각 나타낸다. DIBR은 영상에 맷힌 점 m 을 실세계의 점 M 으로 역투영한 후 원하는 영상평면 O'_I 의 해당 점 m' 으로 재투영하는 방법으로 원하는 시점의 영상을 얻는다. 이 투영방법을 식으로 나타내면 식 (1)과 같다^[1].

$$\vec{m} = \tilde{K}[\tilde{R} | \tilde{T}] \vec{M} \quad (1)$$

식 (1)은 실세계의 점 M 의 좌표 \vec{M} 에서 영상평면의 점 m 의 좌표 \vec{m} 으로 위치시키는 식이다. 여기서 \tilde{K} 는 카메라 캘리브레이션(calibration) 매트릭스로 카메라 내부 파라미터들을 포함하고 있고, \tilde{R} 과 \tilde{T} 는 회전(rotation)과 수평이동(transition)의 외부 파라미터, 즉 카메라의 움직임과 관련된 파라미터들을 갖고 있다. 이렇게 한 영상의 점을 실세계 좌표계로 역투영한 다음 임의의 영상으로 재투영할 때는 재투영할 영상의 좌표계와 외부 파라미터들로 식 (1)의 역변환을 수행하면 된다.

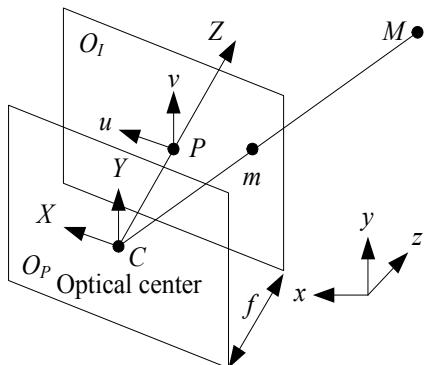


그림 1. 핀홀 카메라 모델
Fig. 1. Pinhole camera model

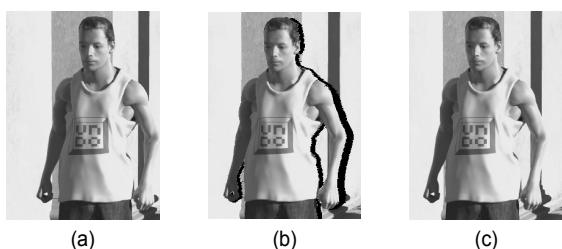


그림 2. 훈필링의 예: (a) 원영상, (b) 시점이동 영상, (c) 훈필링된 영상
Fig. 2. Example of hole filling: (a) original image, (b) viewpoint changed one, (c) hole-filled one

DIBR로 시점이동 영상을 렌더링하면 원영상에는 있지만 시점이동된 영상에서는 사라지는 영역(폐색영역)과 원영상에 없던 영역이 나타나는 영역(비폐색영역)이 발생한다. 이 경우 비폐색영역은 원영상이 이 영역을 채울 정보를 갖고 있지 않기 때문에 이 영역은 빈 영역(hole)으로 남게

된다. 따라서 이 영역은 주위의 정보로 채워야 하는데, 이것을 훈필링(hole filling) 또는 인페인팅(inpainting)이라 한다 [22]. 훈필링은 지난 10여년 동안 3D 영상 렌더링에서 많은 연구가 진행되어 온 분야 중 하나이다. 그림 2에 한 예를 보이고 있는데, (a)의 원영상을 우측으로 시점이동한 (b)영상에서 겹게 나타난 부분이 훈영역이며, 이 영역을 채운 영상이 (c)영상이다.

2. 시점이동이 워터마킹에 미치는 영향

시점이동이 DW에 미치는 영향을 알아보기 위해서 원영상에 WM를 삽입하고 시점이동한 후 WM를 추출하는 실험을 진행하였으며, 그 중 한 예를 그림 3에 보이고 있다. WM를 삽입하는 위치는 시점이동의 영향을 보기 위해 영상에 전역적으로 동일한 WM를 중복적으로 삽입하였으며, 각 화소에 WM를 삽입하는 방법은 [23]의 방법과 같다. 영상의 전역적 위치는 Mallat-tree 2DDWT를 3 레벨 수행한 후 네 부대역의 각 화소 당 한 개의 WM 비트를 삽입하였다. 그 후 좌측으로 5% 시점이동을 수행하고 그 결과 영상에 대해 WM를 추출하였다. 그림 3(a)는 512×512 의 원영상을 3-레벨 Mallat-tree 2DDWT를 수행한 후 LL3, HL3, LH3, HH3(각 부대역의 해상도는 64×64)의 각 화소당 32×32 WM('DDNT' 이진 로고 영상)의 한 비트씩을 삽입하여 각 부대역 당 4개의 WM가 삽입된 영상이다. 이 영상을 깊이영상 정보인 (b)로 시점이동한 영상이 (c)이며, 이 영상으로부터 WM를 추출한 결과가 (e)이다. 그림에서 보는 바와 같이, 다른 공격을 가하지 않았음에도 불구하고 대부분의 WM 데이터가 제대로 추출되지 않는 것을 볼 수 있다. 그 중에서 가장 많은 양이 제대로 추출되는 부대역이 LH3이었으며, 이런 경향성은 다른 영상에 대한 실험에서도 같았다.

그림 3(c)의 시점이동한 영상을 깊이영상 정보인 (b)를 이용하여 원 시점으로 다시 시점이동하고, 그 결과 영상으로 WM를 추출한 결과를 그림 3(f)에 보이고 있다. 이 결과에서 모든 부대역에서 좌측이 우측보다 추출한 WM정보가 훨씬 정확한 것을 볼 수 있는데, 이것은 원 영상의 물체 중 좌측의 물체들의 거리가 멀어 시점이동하여도 화소의 위치가 거의 변하지 않기 때문이다. 그림 3(e)와 (f)를 비교하

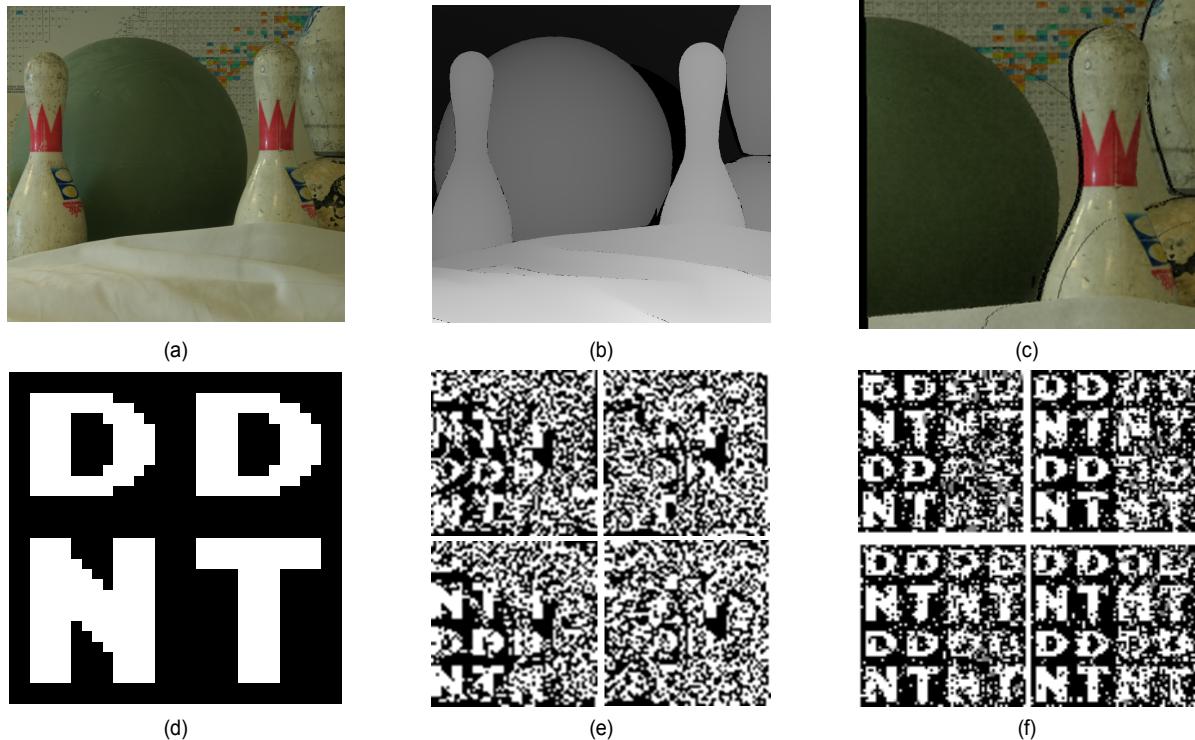


그림 3. 시점이동이 WM 추출에 미치는 영향의 예: (a) 원영상, (b) 깊이영상, (c) 좌측으로 5% 시점이동한 결과, (d) 사용한 WM(32×32), (e) 시점이동한 영상에서 추출한 WM정보, (f) 시점복원 후 추출한 WM정보

Fig. 3. An example of effect of viewpoint change on WM extraction: (a) original image, (b) depth image, (c) image after 5% viewpoint change to left, (d) WM used(32×32), (e) WM information after the viewpoint change, (f) WM information after viewpoint recovery

면 원시점으로 이동한 후 WM를 추출하는 것이 훨씬 정확한 WM정보를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있는데, 이를 위해서는 깊이영상이 필요할 뿐 아니라 이동된 시점을 알아야 깊이영상 차제를 (b)의 시점으로 이동한 후 영상을 다시 원 시점으로 되돌릴 수 있다. 본 논문에서는 blind DW 방법을 고려하므로 이 방법으로 WM를 추출할 수는 없다.

III. 제안하는 디지털 워터마킹 방법

본 논문에서 제안하는 DW방법은 WM 삽입과정과 추출과정으로 분리하여 설명한다.

1. 워터마크 삽입 과정

본 논문에서 제안하는 DW방법의 WM 삽입과정을 그림 4

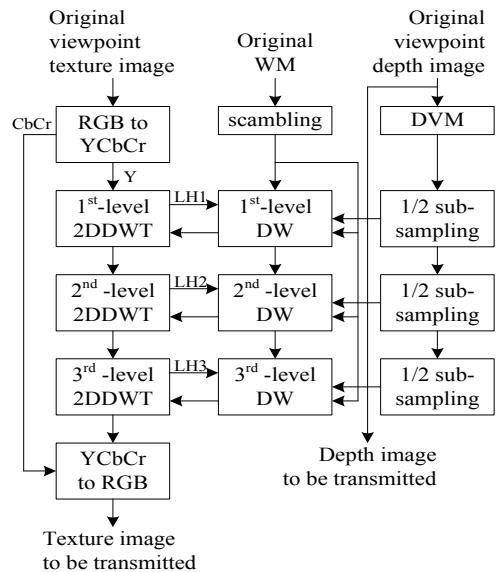


그림 4. 제안한 방법의 WM 삽입 과정

Fig. 4. WM embedding procedure of the proposed method

에 나타내었다. 이 방법은 깊이영상을 이용하여 시점이동 시 위치가 가장 변하지 않는 영역을 찾는다. 한편 원 텍스쳐 영상은 2DDWT를 3 레벨 수행하며, 각 레벨에서 깊이정보를 이용하여 시점이동이 작은 영역에 WM 정보를 삽입한다.

1.1 깊이 변화 맵(Depth Variation Map, DVM)

먼저 깊이영상을 사용하여 시점이동에도 위치가 변하지 않을 영역을 찾는데, 그 과정을 그림 5에 나타내었다. 먼저 깊이영상을 9×9 단위로 median 필터링을 수행한다. 이것은 기본적으로 깊이영상이 완전하다고 가정할 수도 있지만, 어떤 경우는 깊이영상에 홀이 포함되어 있는 경우도 있어서 이 홀들을 없애기 위해 사용하였다. 그러나 홀이 없는 경우에 있어서도 실험결과 필터링을 수행한 경우가 수행하지 않은 경우보다 성능이 좋았으며, 그 중에서 9×9 단위의 필터링이 가장 좋은 성능을 보여 이 필터링을 수행하는 것으로 하였다.

필터링 한 결과는 수평과 수직의 각 방향으로 미분(2차원 미분)을 수행하는데, 식 (2)는 (x, y) 위치에서의 2차원 미분한 결과 식을 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} & g(x, y) \\ &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right) \\ &= [f(x+1, y) - f(x, y)] + [f(x, y+1) - f(x, y)] \end{aligned} \quad (2)$$

미분결과로부터 깊이 미분 누적 맵(depth derivative accumulation map, DDAM)을 형성하는데, 그 방법은 식 (3)과 같이, 특정 위치 (x, y) 의 DDAM 값 $DDAM(x, y)$ 는 그 위치값을 포함한 우하쪽 $p \times q$ 화소의 미분값 $(g(i, j))$ 들을 누적덧셈하여 형성한다. 여기서 $p \times q$ 는 2진 WM의 해상도이다.

$$DDAM(x, y) = \sum_{i=x}^{x+p-1} \sum_{j=y}^{y+q-1} g(i, j) \quad (3)$$

마지막으로 깊이 변환 맵(depth variation map, DVM)을 생성하는데, 식 (4)와 같이 특정 위치의 DDAM 값 $DVM(x, y)$ 는 그 위치를 중심으로 3×3 영역의 DDAM 평균값이다.

$$DVM(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{j=y-1}^{y+1} \sum_{i=x-1}^{x+1} DDAM(i, j) \quad (4)$$

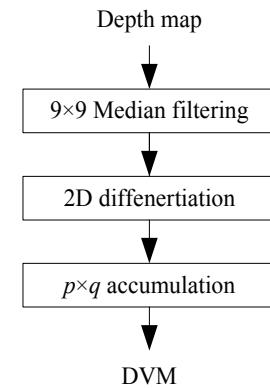


그림 5. DVM 생성 과정

Fig. 5. DVM generation procedure

1.2 WM 위치 선정

한편 원 RGB영상은 YCbCr영상으로 변환하고, Y영상에 대해 2DDWT를 수행한다. 총 3 레벨을 수행하며, 각 레벨 2DDWT 결과 중 LH 부대역(LH1, LH2, LH3)에 워터마크를 삽입한다. 삽입할 위치는 DVM을 사용하여 선정하는데, 각 레벨의 LH 부대역에 워터마크를 삽입할 위치는 그 전 DVM을 가로와 세로로 1/2 sub-sampling한 결과를 사용한다. 예를 들어 $M \times N$ 해상도의 Y 영상과 동일 해상도의 깊이영상을 가정하자. $DVM(DVM_0)$ 은 원 영상 또는 깊이 영상과 동일한 해상도를 갖는다. Y영상을 1-레벨 2DDWT 하면 LH 부대역(LH1)은 $M/2 \times N/2$ 의 해상도를 갖고 가로와 세로로 각각 1/2 sub-sampling한 $DVM(DVM_1)$ 은 $M/2 \times N/2$ 의 해상도를 갖는다. 마찬가지로 2-레벨 2DDWT 한 LH 부대역(LH2)과 DVM_1 을 subsampling 한 DVM_2 는 $M/4 \times N/4$, 3-레벨 2DDWT한 LH부대역(LH3)과 DVM_2 를 subsampling 한 DVM_3 는 $M/8 \times N/8$ 의 동일한 해상도를 갖는다.

워터마킹 위치를 선정하는 방법은 그림 6에 의사코드로 나타내었다. 본 논문에서는 삽입할 WM로 이진 로고(logo)와 같은 2진 $p \times q$ 데이터를 사용한다. 그림 6은 i 번째 2DDWT를 수행한 결과의 LHi 중 WM을 삽입할 위치를 선정하는 방법으로, 해상도가 $M_i \times N_i = M/2^i \times N/2^i$ ($1 \leq i \leq 3$)인 해당 DVM_i 를 입력으로 하여 WM 삽입위치의 집합 pos_WM

```

Procedure{WM Embedding Positions}
Inputs: DVMi(Mi×Ni)
Outputs: WM embedding positions (pos_WM)
begin {
    put all pixels in DVMi in x ≤ Mi - p/2 and y ≤ Ni - q to rest_DVMi ;
    j=0 ;
    Do until fj < γi {
        find least-valued one at (xj,yj) in rest_DVM ;
        put (xj,yj) in pos_WM ;
        j++ ;
        fj = j  $\frac{p \times q / 2}{M_i \times N_i}$  ;
        remove all the ones in xj ≤ x < xj + q/2 and yj ≤ y < y + q from res_DVMi ;
    } end
}

```

그림 6. 워터마킹 위치 선정 방법

Fig. 6. Method to determine the watermarking positions

을 출력한다. 본 논문에서는 DVM_i의 한 화소부터 WM를 세로로 2등분한 $p/2 \times q$ 개의 WM 화소를 삽입한다. 따라서 위치선정을 위해 탐색하는 범위(res_DVM_i)는 가로방향 $x \leq M_i - p/2$, 세로방향 $y \leq N_i - q$ 이며, 한 위치를 선정하면 그 위치로부터 가로 $p/2$ 화소, 세로 q 화소들은 다음 탐색범위에서 제외된다. WM 위치의 개수는 해당 부대역의 총 화소수에 대해 WM가 삽입되는 화소수의 비(f_j)가 일정 비율(γ_i)을 넘지 않도록 하는데, 이것은 삽입되는 WM 양을 조절하기 위함이다. γ_i 값은 각 레벨에 따라 다르며, 실험적으로 결정된다.

1.3 WM 암호화

한편, WM 데이터는 보안을 위해 먼저 데이터를 암호화하는 과정을 거친다. 데이터를 암호화하는 일반적인 방법은 암호화 알고리즘^[24]을 사용하는 것인데, 이런 알고리즘들의 복호화는 암호화된 데이터 중 한 비트만 변해도 완전히 다른 결과를 만들어낸다. 본 논문과 같이 공격에 의해 추출된 WM 데이터가 일부 또는 상당부분 변할 수 있는 경우는 이런 알고리즘으로 암호화를 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 그림 7의 선형귀환шу프트레지스터(linear feedback shift register, LFSR)^[25]을 사용한다.

LFSR은 각 메모리 소자가 처음 갖고 있는 값(I_1, I_2, \dots, I_k)과 각 메모리 소자 출력을 귀환시키는지 여부(b_1, b_2, \dots, b_k)

에 의해 특성이 달라진다. 따라서 본 논문에서는 이 두 값들의 집합인 $2k$ 비트를 암호화 키(key)로 사용한다 ($key = \{I_1, I_2, \dots, I_k, b_1, b_2, \dots, b_k\}$). 이 LFSR로 데이터를 섞는 방법은 여러 가지가 가능하나, 본 논문에서는 LFSR의 직렬출력 $f_{k,i}$ 와 WM 데이터(w_i)를 비트끼리 exclusive-OR 하여 암호화된 WM 데이터(w'_i)을 얻는다.

$$w'_i = w_i \oplus f_{k,i} \quad (5)$$

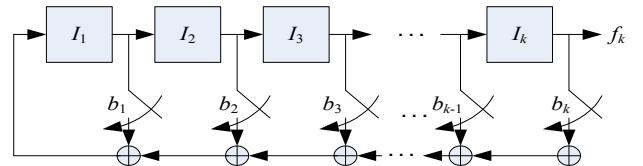


그림 7. 사용한 LFSR

Fig. 7. LFSR used

1.4 WM 삽입

본 논문에서는 WM 데이터 한 비트 w'_i 를 한 화소값에 삽입한다. 앞에서 설명한 바와 같이 WM 위치로 선정된 DVM 각 비트에 대해 그 비트를 포함한 우하측 $p/2 \times q$ 개 화소에 세로로 2등분된 WM 데이터, 즉 $p/2 \times q$ 개의 WM 비트들이 삽입된다. 선정된 WM 위치를 따라 진행하면서 2등분된 WM 데이터의 좌측과 우측이 번갈아가며 삽입된

다.

WM 한 비트를 한 화소에 삽입하는 방법은 그림 8의 변형된 선형 양자화기를 사용한다. 블라인드 DW에 사용되는 일반적인 WM 데이터 삽입 방법은 주파수 계수를 양자화에 기반한 방법으로 변화시키는 것이다. 이는 블라인드 DW 특성상 WM 데이터의 ‘0’과 ‘1’을 나누는 기준을 정하기 어렵기 때문이다. 이에 양자화를 통해 ‘0’과 ‘1’의 구간을 나누는 방법을 사용한다. 이 그림에서 가로축은 WM 비트가 삽입 전(c_i), 세로축은 WM 비트가 삽입된 후의 화소 값(c'_i)이며, ‘0’과 ‘1’은 삽입된 WM 비트(w'_i)를 나타내고 있다. 이 양자화기를 이용하여 WM 비트를 삽입하는 방법은 화소값 c_i 가 위치한 양자화구간($k\Delta_L$, $k=\pm 1, 2, 3, \dots$)과 삽입할 WM 비트 w'_i 의 값에 따라 결정되는데, 이를 정리하여 나타내면 다음과 같다.

$$\text{if } 2n\Delta_L < c_i \leq (2n+1)\Delta_L,$$

$$c'_i = \begin{cases} 2n\Delta_L & \text{if } w'_i = 0 \\ (2n+1)\Delta_L & \text{if } w'_i = 1 \end{cases}$$

$$\text{if } (2n-1)\Delta_L < c_i \leq 2n\Delta_L,$$

$$c'_i = \begin{cases} 2n\Delta_L & \text{if } w'_i = 0 \\ (2n-1)\Delta_L & \text{if } w'_i = 1 \end{cases}$$

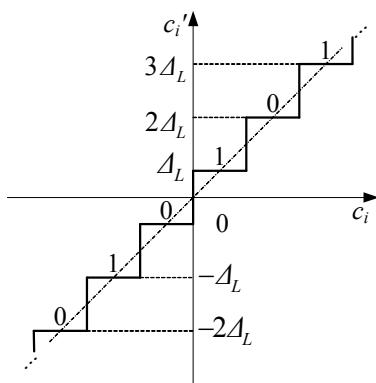


그림 8. WM 삽입을 위한 양자화기

Fig. 8. Quantizer for WM embedding

그림 8에서 양자화 스텝 Δ_L 은 각 레벨($L = 1, 2, 3$) LH 부대역의 가중 에너지 표준편차의 크기에 따라 결정된다. 식 (6)의 가중 표준편차 E_L 을 두 개의 문턱치($T_{L,l}$: 낮은

값, $T_{L,h}$: 높은 값)와 비교하여, $T_{L,l}$ 보다 작으면 $T_{L,l}$, $T_{L,h}$ 보다 크면 $T_{L,h}$, 두 문턱치 사이이면 가중 표준편차 E_L 을 각각 Δ_L 로 사용한다. 여기서 $T_{L,l}$, $T_{L,h}$, 가중치 Δ_L 은 실험적으로 결정한다.

$$E_L = \sqrt{\frac{4^L}{MN} \sum_{i=1}^{MN/4^L} c_i^2} \quad (6)$$

$$\Delta_L = \begin{cases} T_{L,l} & \text{if } E_L < T_{L,h} \\ E_L & \text{if } T_{L,l} \leq E_L \leq T_{L,h} \\ T_{L,h} & \text{if } T_{L,h} < E_L \end{cases} \quad (7)$$

1.5 워터마킹된 영상 복원

각 레벨의 LH 부대역에 WM를 모두 삽입한 후 WM가 삽입된 LH 부대역들과 다른 부대역들로 2DDWT 역변환을 3 레벨 수행하고, 그 결과의 Y성분과 원 Cb 및 Cr성분을 조합하여 RGB의 컬러영상으로 복원한다.

2. WM 추출 과정

제안한 방법의 WM 추출과정은 그림 9에 나타내었다. 본 논문의 목적이 블라인드 DW이므로 추출과정의 입력으로

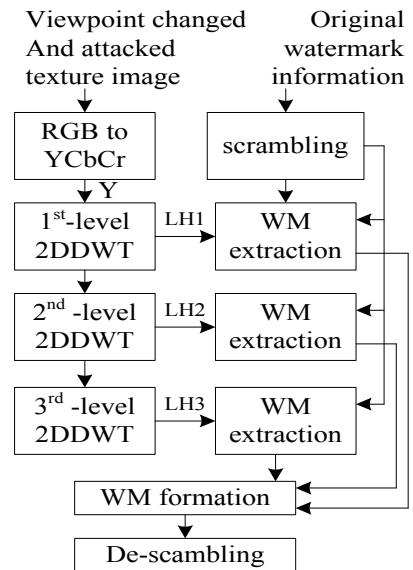


그림 9. 제안한 방법의 WM 추출과정

Fig. 9. WM extraction procedure of the proposed method

시점이동을 포함한 악의적/비악의적 공격을 가한 RGB 컬러영상과 원 WM 데이터만을 사용하며, 원영상이나 원 깊이영상은 사용하지 않는다. 그럼 9의 과정 중 입력영상에서 Y성분을 추출하는 과정과 3 레벨 2DDWT를 수행하는 과정, 그리고 WM를 암호화하는 과정은 삽입과정과 동일하므로 여기서는 LH 부대역으로부터 WM 데이터를 추출하는 과정(WM extraction), WM 형성 과정(WM formation), 그리고 복호화 과정(De-scrambling)만 설명한다.

2.1 WM 데이터 추출

공격받은 영상으로부터 WM 데이터를 추출하는 과정을 그림 10에 의사코드로 나타내었다. 이 과정은 공격받은

```

Procedure{WM data extraction}
Input :  $M \times N$  attacked Y image ( $I_{test}$ )
 $p \times q$  scrambled WM ( $W_{scr} = W_{scr,l} + W_{scr,r}$ )
Output : Extracted WM data candidate sets { $W_{ext}^L$ }
begin
     $k=0;$ 
    for  $L=1$  to 3{
         $I_{test}=2DDWT\{I_{test}\};$ 
        for  $j=0$  to  $N/2^L-q\{$ 
            for  $i=0$  to  $M/2^L-p/2\{$ 
                 $Q_L(i,j) \leftarrow quantize\{I_{test}(i,j)\};\}$ 
                 $W_0 = W_{scr,l};$ 
                for  $s=1$  to 2{
                    for  $j=0$  to  $N/2^L-q\{$ 
                        for  $i=0$  to  $M/2^L-p/2\{$ 
                             $v_{NCC}=NCC\{W_0, Q_L(i \sim i+p/2, j \sim j+q)\};$ 
                            if  $v_{NCC} = 100\%$  then{
                                empty { $W_{ext}$ };
                                 $\{W_{ext}\} \leftarrow W_{ext,k} = Q_L(i \sim i+p/2, j \sim j+q);$ 
                                 $\{v_{NCC}\} \leftarrow v_{NCC,k} = v_{NCC};$ 
                                end procedure ;
                            else if  $v_{NCC} > T_{NCC}$  then{
                                 $\{W_{ext}\} \leftarrow W_{ext,k} = Q_L(i \sim i+p/2, j \sim j+q);$ 
                                 $\{v_{NCC}\} \leftarrow v_{NCC,k} = v_{NCC};$ 
                                 $k++;$ 
                            else }}
                             $W_0 = W_{scr,r};\}$ 

```

그림 10. WM 데이터 추출과정

Fig. 10. WM data extraction procedure

$M \times N$ 영상에서 추출된 Y성분(I_{test})과 암호화된 $p \times q$ 의 원 WM 데이터(W_{scr})을 입력으로 한다. W_{scr} 는 $p/2 \times q$ 로 이등분하여 좌측($W_{scr,l}$)과 우측($W_{scr,r}$) 데이터를 구분하여 사용한다. WM를 삽입할 때 WM을 이등분한 좌측과 우측을 교번하여 삽입하였기 때문에 WM 데이터를 추출할 때도 $W_{scr,l}$ 와 $W_{scr,r}$ 를 사용하는 과정을 각각 수행한다(그림 10의 변수 s). 또한 삽입할 때 2DDWT 레벨 1부터 3까지의 LH 부대역에 모두 삽입하였으므로 WM 데이터도 이를 부대역 각각에서 추출한다(그림 10의 변수 L).

각 LH 부대역에 대해 $W_{scr,l}$ 또는 $W_{scr,r}$ (그림 10에서는 W_0)에 해당하는 WM 데이터를 추출하는 방법은 다음과 같다. 먼저 각 부대역의 화소값들을 그림 8의 양자화기로 양자화하고 양자화 위치에 따른 WM 값들을 추출한다($Q_L(i,j)$). 그 다음 $W_{scr,l}$ ($W_{scr,r}$)와 동일한 크기인 $p/2 \times q$ 검색창을 그 부대역 $Q_L(i,j)$ 의 좌상위부터 레스터 스캔(raster scan)하면서 W_0 와 검색창의 화소값들 $Q_L(i \sim i+(p/2, j \sim j+q))$ 간 NCC값(v_{NCC})을 계산하는 것이다. 이 때 v_{NCC} 이 정해진 문턱치(T_{NCC})보다 크면 해당 검색창의 화소들을 WM 후보($W_{ext,k}$)로 하고 이들을 따로 저장한다($\{W_{ext}\}$). 이 때 해당 v_{NCC} 값($v_{NCC,k}$)도 저장한다($\{v_{NCC}\}$). 만약 $v_{NCC} > 100\%$ 이면, 모든 $W_{ext,k}$ 을 버리고 $\{W_{ext}\}$ 에 그 WM 후보만을 저장한 후 검색을 종료한다.

2.2 WM 데이터 형성

다음은 추출된 WM 데이터 후보들로 최종의 WM 데이터를 형성한다. 먼저 각 WM 데이터 후보들에서 ‘0’으로 추출된 값들을 모두 ‘-1’로 교체한다($W'_{ext,k}$). $W'_{ext,k}$ 중 좌측 WM와 우측 WM 후보들은 좌측 후보군과 우측 후보군으로 구분하고, 각 후보군에서 해당 부분의 최종 WM 데이터를 결정한다. 결정방법은, 식(8)과 식(9)에 보인 것과 같이, 먼저 WM의 위치 (i,j) 에 대해 해당 후보군에 있는 각 $W'_{ext,k}$ (여기서는 총 K 개의 후보가 추출되었다고 가정함)의 해당 위치의 값과 해당 NCC값 $v_{NCC,k}$ 을 곱해서 모두 더한다($q(i,j)$). 이 값이 음수이면 ‘0’으로, 양수이면 ‘1’로 (i,j) 의 최종 WM 데이터 값 $w''(i,j)$ 를 결정한다.

$$q(i,j) = \sum_{k=0}^{K-1} v_{NCC,k} W_{ext,k}(i,j) \quad (8)$$

$$w'' = \begin{cases} 0, & \text{if } q(i,j) \leq 0 \\ 1, & \text{if } q(i,j) > 0 \end{cases} \quad (9)$$

2.3 WM 데이터 복호화

최종 결정된 WM 데이터는 복호화(de-scrambling)을 거쳐 최종 추출된 WM(w'')가 된다. 복호화는 암호화에 사용한 그림 7의 LFSR과 암호화 키를 그대로 사용하며, 식 (10)과 같이 LFSR의 직렬출력 $f_{k,i}$ 와 최종 결정된 WM 데이터 w'' 를 비트간 exclusive-OR 한다.

$$w_i''' = w_i'' \oplus f_{k,i} \quad (10)$$

IV. 실험 및 결과

3장에서 제안한 방법에 대해 WM 삽입에 대한 비가시성과 시점이동을 포함한 다양한 공격에 대한 강인성을 테스트하기 위하여 실험을 진행하였다.

1. 실험환경

제안한 방법은 인텔코어 i7-2700K CPU와 16GB RAM을 장착한 PC에서 64-비트 Windows 7 Ultimate 환경으로 C/C++로 구현하였다. 실험에 사용한 테스트 영상은 표 1에 보였다. 총 11개의 영상을 사용하였으며, 그 중 Breakdancer와 Ballet는 Microsoft사의 3D 비디오 데이터^[26]이고 나머지는 Middlebury의 스태레오스코픽 영상^[27]이다. 이 중 Breakdancer와 Ballet는 테스트 영상의 동질성을 피하기 위해 비디오 클립 중 첫 번째 영상만을 사용하였다.

표 2에 실험적으로 결정되는 파라미터들의 값들을 나열하였다. WM는 32×32의 이진 로고영상을 사용하였고, 2DDWT 각 레벨의 LH부대역 화소 중 WM되는 화소의 비율(γ_i)은 삽입되는 WM의 비기시성을 기준으로 LH1은 13%, LH2는 7%, LH3는 5%로 각각 결정하였다. WM 삽입을 위한 양자화기의 양자화 스텝의 크기를 결정하는 에너지 표준편차의 상하 문턱치 $T_{L,l}$ 과 $T_{L,h}$ 는 모든 부대역 레

벨에 동일하게 40과 46.7을 각각 사용하였다. WM 데이터를 추출할 때 사용하는 NCC의 문턱치 T_{NCC} 는 두 가지를 사용하였다. 먼저 본 논문에서 사용하는 32×32(1,024 비트) WM를 그대로 사용할 경우는 0.159로 하였는데, 뒤에서 언급할 기준 방법과의 비교를 위해 64-비트 WM을 사용할 때는 0.21로 하였다.

표 1. 사용한 테스트 영상들

Table 1. Test images used

Name	Resolution	# of images
Breakdancing Ballet	1,024×768	2
Bowling1	1,252×1,110	1
Laundary Reindeer	1,342×1,110	2
Midd2	1,366×1,110	1
Wood1	1,372×1,110	1
Art, Books, Dolls, Moebius	1,390×1,110	4

표 2. 사용한 파라미터 값들

Table 2. Parameter values used

파라미터	정의		값
	WM 해상도		
$p \times q$	32×32		
	γ_i	2DDWT 레벨 i의 LH 부대역에서 WM되는 화소비율	
		γ_1	13%
$T_{L,l}$	2DDWT 레벨 i의 LH 부대역에 대한 에너지 표준편차 하한 문턱치	γ_2	7%
		γ_3	5%
		$T_{1,l}$	40
$T_{L,h}$	2DDWT 레벨 i의 LH 부대역에 대한 에너지 표준편차 상한 문턱치	$T_{2,l}$	
		$T_{3,l}$	
		$T_{1,h}$	46.7
$T_{2,h}$	2DDWT 레벨 i의 LH 부대역에 대한 에너지 표준편차 상한 문턱치	$T_{2,h}$	
		$T_{3,h}$	
T_{NCC}	WM 추출시 사용하는 NCC 값의 문턱치	1,024	0.159
		64	0.21

본 논문에서 고려한 공격들의 종류와 강도를 표 3에 나열하였다. 먼저 시점이동 공격은 baseline distance를 조절하는 방법으로 가했으며, 강도는 3%에서 7%까지로 하였다. 그 외의 공격으로는 JPEG압축, 가우션 잡음첨가, 미디언 필터링, 스케일링 공격이었으며, 이 공격들은 baseline distance 5%를 오른쪽으로 시점이동한 후 추가로 공격을 하였다. 공격 중 matrix affine transform 공격은 [16]에서 시도한 공격으로, 영상의 가로와 세로의 좌표계를 변화시켜 영

상을 왜곡시키는 공격으로, 이 논문에서 고려한 총 8가지의 매트릭스를 모두 고려하였다.

표 3. 고려한 공격들
 Table 3. Attacks considered

Kind of attack	Strength range
Viewpoint change by baseline distance adjustment	3%~7%
JPEG compression	Quality 15~100/100
Gaussian noise addition	1%~3%
Median filtering	3x3~9x9
Scaling	50%~150%
Matrix affine transform	8 matrices

2. 실험결과 및 기존 방법들과의 비교

먼저 제안한 방법의 주요 과정 결과물을 그림 11에 보았다. (a)와 (b)는 원 컬러영상과 깊이영상이며, (a)의 Y성분을 3 레벨 2DDWT한 결과가 (c)이다. (d)는 DVM을 2DDWT 레벨에 따라 sub-sampling하여 해당 LH 부대역에

나타낸 것이고, 이 영상에 WM하여 컬러영상으로 복원한 영상의 PSNR값은 49.05[dB]이었다. (e)는 baseline distance의 5%에 해당하는 시점이동 공격 후 거기에 JPEG quality 70/100 공격을 추가로 가한 결과이며, 이 영상의 (a) 원영상에 대한 PSNR값은 13.86[dB]이었다. (e) 영상을 대상으로 WM데이터를 추출한 결과를 각 부대역별로 나타낸 것이 (f)이며, 이 데이터로 형성한 최종의 추출 WM는 이 그림 HH1 부대역에 나타내었다. 원 WM를 이 그림의 HL1 부대역에 보이고 있는데, 원 WM에 대해 추출한 WM의 BER(bit error rate)는 0.1064, NCC값은 0.7624이었다.

제안한 방법의 실험결과는 기존의 방법들의 실험결과와 비교하여 나타낸다. 비교대상 방법은 표 4에 나열하였는데, 기본적으로는 [15]와 [16]의 두 방법이다. [15]방법은 최대 시점이동 양을 예측하여 좌우로 최대 시점이동한 영상과 원영상에 WM하는 방법으로, 5,926 비트와 73 비트의 두 WM를 사용하였다. [16] 방법은 DT-CWT라는 6 방향성을 부각시키는 변환방법을 제안하고, 3-레벨 변환 결과의 블록별 열방향 양자화 방법으로 64 비트의 WM정보를 삽입하

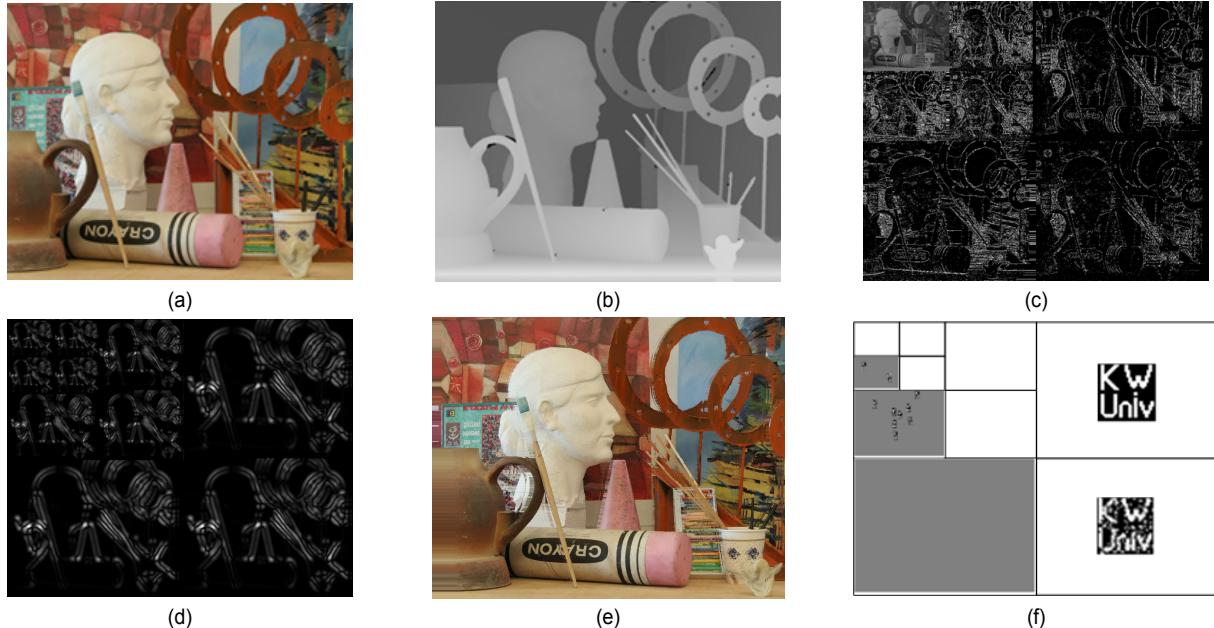


그림 11. 제안한 방법의 주요 과정의 결과 영상 예: (a) 원 컬러영상, (b) 원 깊이영상, (c) Y성분에 대한 3 레벨 2DDWT한 결과, (d) 레벨에 따라 sub-sampling한 DVM, (e) baseline distance 5% 시점이동과 JPEG quality 70/100 공격을 가한 영상, (f) 부대역별 추출한 WM 데이터, 원 WM, 그리고 최종 추출한 WM
 Fig. 11. Example images from the major proceeding steps of the proposed method, (a) original color image, (b) original depth image, (c) 2DDWT result for the Y component, (d) DVM subsampled according to the level, (e) image attacked by baseline distance 5% viewpoint change and JPEG quality 70/100, (f) extracted WM data for each subband, original WM, and the finally formed extracted WM

는 방법이다. WM 비트수에 따라 성능의 차이가 있을 수 있으므로 제안한 방법도 기본적으로는 32×32 의 1,024 비트 WM를 사용하나 비교를 위하여 64비트 WM에 대한 실험을 추가로 하였다. 참고문헌에서 다른 방법들은 결과가 이 두 방법보다 나빴고, [17]~[21]은 다음의 이유로 비교대상에서 제외하였다. 서론에서 언급한 바와 같이, [17]는 시점이동 이 외의 공격을 시점이동 전의 영상에 가해 시점이동 후의 영상에 대해 악의적으로 WM를 지우려는 공격에 대한 실험을 하지 않았고, [18]는 깊이영상에 WM를 수행하였는데, 이 역시 컬러영상에 대한 저작권을 보호할 수 없어서 본 논문의 취지와는 맞지 않아 제외하였다. [19] 방법은 추출시 깊이영상을 필요로 하는 non-blind 방법이며, [20] 방법은 좌시점과 우시점 영상이 주어진다고 가정하였고, [21] 에너글리프 스테레오 영상을 대상으로 하였기 때문에 비교대상에서 제외하였다.

표 4. 비교할 방법들

Table 4. Methods to be compared

Method	# of WM bits
Ours	1,024
Ours*	64
Kim's [16]	64
Lin [15]	5,926
Lin* [15]	73

먼저 WM를 삽입한 후 복원한 영상의 화질을 원영상에 대한 PSNR값과 SSIM값으로 표 5에서 비교하였다. 제안한 방법은 그 특성 상 WM 비트수에 무관하게 동일한 값이 나왔으며, Kim의 방법이나 Lin의 방법 중 64비트를 사용하는 경우보다 좋은 화질을 보였다. 따라서 삽입한 워터마크 정

표 5. WM 삽입 후영상의 화질 비교

Table 5. Quality comparison of images after WM

Method	PSNR[dB]	SSIM
Ours	48.64	0.9996
Ours*	48.53	0.9996
Kim's	42.15	0.9890
Lin	42.55	0.9930
Lin* [15]	42.43	0.9900

보에 대한 비가시성이 있어서 제안한 방법이 기존 방법들보다 우수한 것을 알 수 있다.

그림 12는 비교대상의 모든 방법들에 대해 시점이동 공격을 비롯한 각 공격에 대한 BER을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림에서 (b)부터 (g)까지는 baseline distance 5%의 시점이동 공격 후 해당 공격을 추가로 가한 실험결과이다. 먼저 (a)의 시점이동 공격의 경우 Lin의 방법 두 경우 모두 특정 baseline distance에서는 좋은 특성을 보이지만 그 시점에서 벗어날수록 BER이 크게 증가하였다. Kim의 방법은 전 시점이동 구간에서 좋은 특성을 보였으나, 제안한 방법의 두 경우는 모든 구간에서 BER이 거의 0값을 나타내어 시점이동 자체로는 모든 구간에서 가장 우수한 성능을 보였다.

시점이동 후 추가로 가한 공격에서 스케일링 공격(e)과 회전공격(f)에 대해서는 제안한 방법이 기존 방법들보다 월등히 우수한 성능을 보였다. 특히 회전공격에 대해서는 제안한 방법이 1,024비트와 64비트 WM의 두 경우 모두 모든 구간에서 BER이 거의 0 값을 보였다. Matrix affine 변환 공격에 대해서도 64비트 WM를 사용한 제안한 방법이 모든 변환에서 가장 낮은 BER을 보였다. 1,024비트 WM를 사용한 경우 matrix 2와 5에서 특히 높은BER을 보였으나, 나머지 matrix에서는 64비트를 사용한 Kim의 방법과 유사한 BER을 보였다.

그 외 공격에 있어서는 제안한 방법이 약한 공격에 대해서는 아주 우수한 성능을 보이다가 공격의 강도가 어느 정도 이상으로 강해지면 BER이 급격히 높아지는 경향을 보였다. JPEG 압축공격(b)의 경우 화질 40/100 이상, 가우션 잡음첨가 공격(c)의 경우 2.5% 이상, 미디언 필터링 공격(d)의 경우는 9×9 이상의 필터를 사용하는 경우가 그런데, 이들의 공격정도를 보이기 위해 공격된 영상을 그림 13에 보였다. 화질 40/100의 JPEG 압축공격을 가한 (b)를 보면 (a)의 원영상에 비해 물체의 경계부분이나 고주파 부분에서 상당히 블러링된 것을 볼 수 있고, 가우션 잡음 3%를 첨가한 (c)는 저주파 성분에서 잡음이 드러나 보이며, 9×9 미디언 필터링한 (d)는 물체 내부의 고주파 성분이 거의 소실된 것을 볼 수 있다. 특히 노이즈 공격의 경우 특정 화소값이 급격히 변화되는데, 이 때 변화된 화소뿐만 아니라 2DDWT 부대역의 주파수 계수 주변 값이 모두 변화한다.

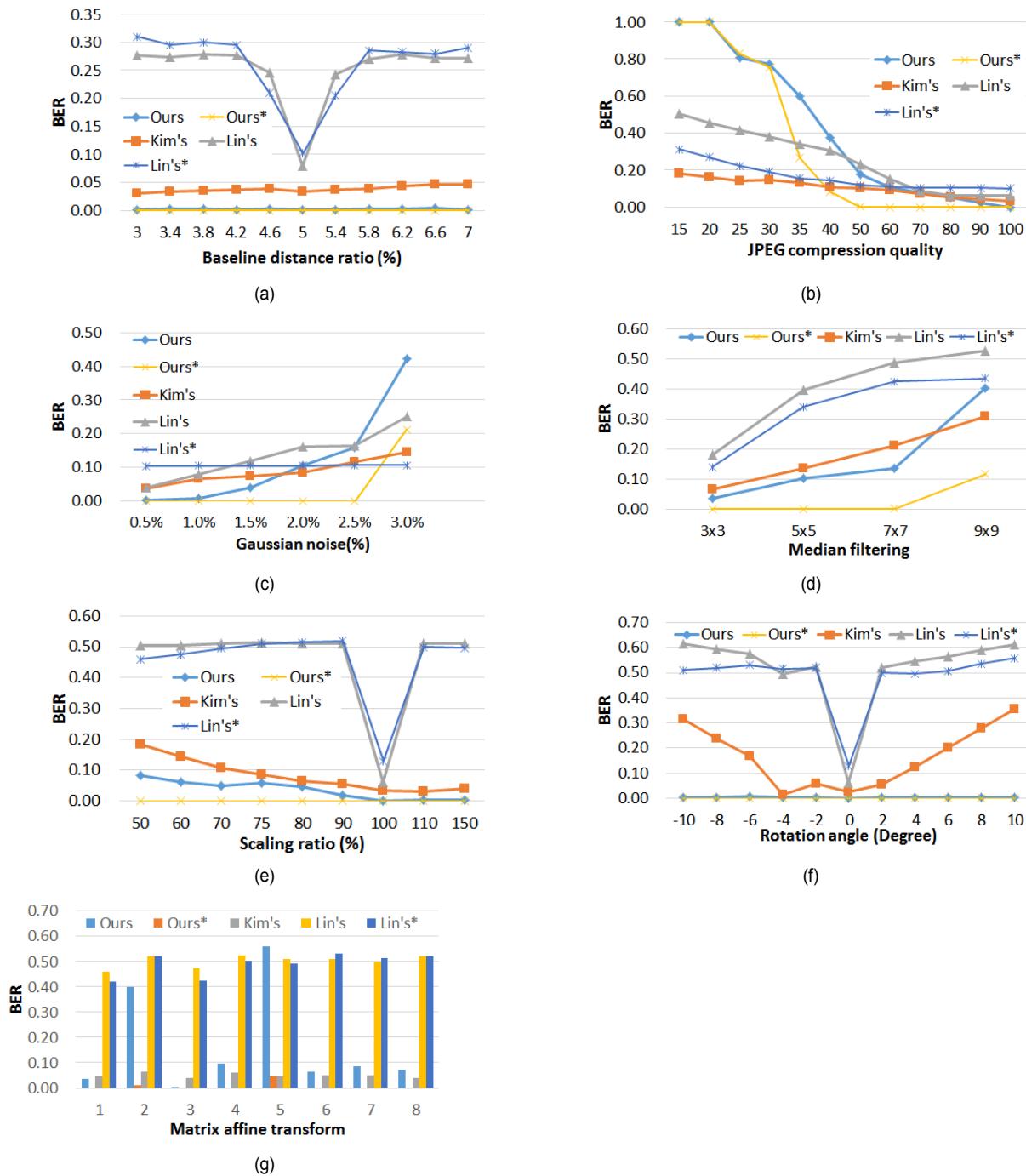


그림 12. 실험결과의 비교: (a) 시점이동 공격, (b) 시점이동+JPEG압축 공격, (c) 시점이동+가우선 잡음첨가 공격, (d) 시점이동+미디언 필터링 공격, (e) 시점이동+스케일링 공격, (f) 시점이동+회전 공격, (g) 시점이동+matrix affine 변환 공격
 Fig. 12. Comparison for the experimental results: (a) viewpoint change attack, (b) viewpoint change+JPEG compression attack, (c) viewpoint change+Gaussian noise addition attack, (d) viewpoint change+Median filtering attack, (e) viewpoint change+scaling attack, (f) viewpoint change+rotation attack, (g) viewpoint change+matrix affine transform attack

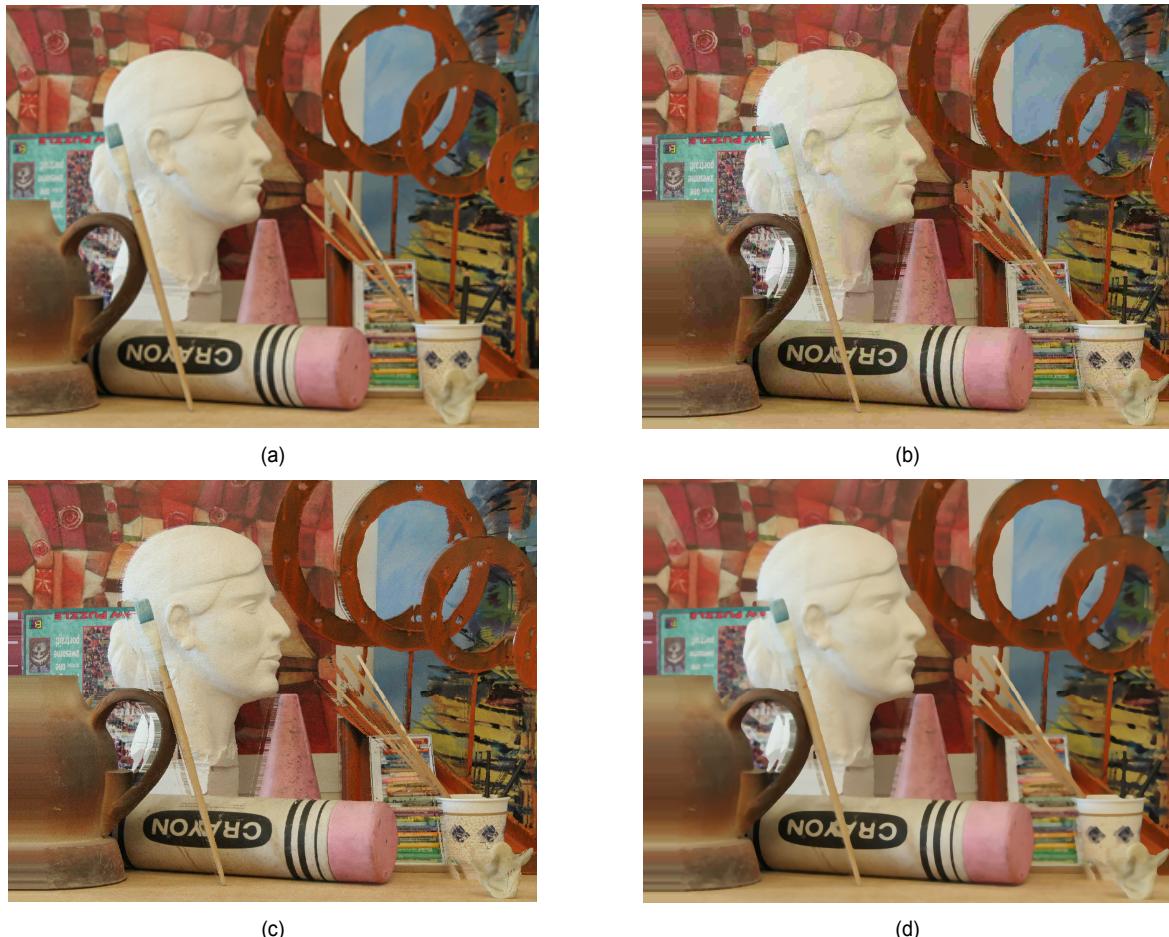


그림 13. 공격후 영상의 예: (a) 원 영상, (b) JPEG 압축 회질 40/100, (c) 가우션 잡음 3% 첨가, (d) 9×9 미디언 필터링

Fig. 13. Example images after attacks: (a) original image, (b) JPEG compression quality 40/100, (c) Gaussian noise 3% added, (d) 9×9 Median filtering

이는 필터링 기반으로 주파수 변환하는 DWT의 특성과 연관된 특성으로 노이즈 공격에 민감함을 보이지만 이는 영상의 화질을 심하게 손상시키는 공격들이다. 즉, 이들 공격은 WM 정보를 없애는 좋은 공격이기는 하지만, 영상 자체에 화질열화를 강하게 일으키는 공격이므로 공격한 영상을 재사용하기에는 적합지 않은 공격으로 보인다. (b), (c), (d)의 PSNR값은 각각 28.85[dB], 28.72[dB], 28.28[dB]였다.

따라서 제안한 방법은 시점이동 후 영상을 재사용할 수 있는 정도의 악의적/비악의적 공격에 대한 강인성이 기준의 방법보다 우수하다고 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 원영상과 그 깊이영상을 수신자측으로 보내 수신자측에서 임의의 시점 영상을 렌더링하여 시청하는 자유시점 2D 또는 3D 영상을 목적으로 워터마크 정보의 비가시성과 공격에 대한 강인성이 높은 디지털 워터마킹 방법을 제안하였다. 이 방법은 3 레벨 2DDWT를 수행하고 각 레벨의 LH 부대역에 워터마크를 삽입하는 방법이며, 워터마크를 삽입하는 위치는 깊이변화지도(depth variation map, DVM)를 생성하여 깊이의 변화가 적어 시점이동에도 안전한 곳을 찾았다. 워터마크를 삽입하는 방법은 각 부대

역의 에너지에 따라 양자화 스텝의 크기를 정하고, 원 화소의 값과 삽입될 워터마크의 값에 따라 화소의 값을 변화시켰다. 시점이동을 포함한 공격 후 워터마크를 추출하는 방법은 원 워터마크 정보와의 상관도를 이용하여 가능한 후보들을 추출하고, 각 워터마크 위치의 값들을 통계적인 방법으로 워터마크 비트들을 결정하였다.

다양한 영상으로 실험한 결과 기존의 방법들에 비해 삽입한 워터마크 정보의 비가시성이 뛰어났다. 고려한 시점이동 공격에 대해서는 BER(bit error ratio)이 거의 모두 0에 가까운 값을 보여 기존의 방법들보다 매우 우수한 성능을 보였다. 시점이동 후 추가로 가한 공격들에서도 원영상을 크게 훼손시키지 않는 범위 내에서 기존의 방법들보다 우수한 성능을 보였다.

따라서 실험결과로 볼 때 제안한 방법이 자유시점 영상 렌더링의 환경에서 우수한 워터마크 정보의 비가시성과 시점이동 및 추가 공격에 대한 강인성을 갖고 고부가가치의 콘텐츠인 영상 콘텐츠에 대한 저지적재산권 보호에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 현 (References)

- [1] Diniel Minoli, 3DTV, Content capture, encoding and transmission, IEEE-Wiley, 2010.
- [2] Y. Mori, N. Fukushima, T. Yendo, T. Fujii, and M. Tanimoto, "View generation with 3D warping using depth information for FTV", Signal Processing: Image Communication 24(2009) 65-72.
- [3] T-Y. Ho, D-N. Yang, and W. Liao, "Efficient resource allocation of mobile multi-view 3D videos with depth-image-based rendering", IEEE Trans. on Mobile Computing, Vol. 14, No. 12, pp. 344-357, Feb. 2015.
- [4] Y-H. Seo, Y-H. Lee, J-M. Koo, J-S. Yoo, and D-W. Kim, "Digital holographic video service system for natural color scene", Optical Engineering, 52(11), 113106 (Nov. 2013).
- [5] Aljoscha Smolic, "3D video and freeviewpoint video-From capture to display," Elsevier Pattern Recognition, 44(2011) 1958-1968.
- [6] 김성열, 이진성, 최상미, "다시점 영상처리를 이용한 무안경 3차원 디스플레이의 크로스톡 저감방법," 방송공학회논문지, 제21권, 제1호, pp. 66-75, 2016년 1월. (Sung-Yeol Kim, Jin-Sung Lee, Sang-Mi Choi, "Crosstalk Reduction of Glasses-free 3D Displays using Multiview Image Processing." J of Broadcast Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 66-75, Jan. 2016.)
- [7] 이재경, 김재곤, 한종기, "3차원 스케일러를 비디오 코덱 설계 및 성능 분석," 방송공학회논문지, 제21권, 제2호, pp. 219-236, 2016년 3월. (Jae-Yung Lee, Jae-Gon Kim, Jing-Ki Han, "Design and Analysis of 3D Scalable Video Codec," J of Broadcast Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 219-236, Mar. 2016.)
- [8] J. Cox, M. Miller, J. Bloom, T. Kalker, Digital watermarking and steganography, 2nd Ed., Elsevier, 2008.
- [9] 뚜 뚜이 딩, 손 원, "DWT/RDWT/SVD에 기반한 특이벡터를 사용한 블라인드 워터마킹 방안," 방송공학회논문지, 제21권, 제2호, pp. 149-156, 2016년 3월. (Luong Ngoc Thuy Dung, Won Sohn, "A Blind Watermarking Scheme Using Singular Vector Based on DWT/RDWT/SVD," J of Broadcast Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 149-156, Mar. 2016.)
- [10] A. Smolic, et al., "Coding Algorithm for 3DTV-A sunrvey," IEEE Trans.. on Circuits and Sytems for Video Technology, Vol. 17, No. 11, pp. 1606-1621, Nov. 2007.
- [11] A. Koz, C. Cigla, and A. Alatan, "Free-view watermarking for free-view television," ICIP 2006, pp. 1405-1408. 2006.
- [12] N. Zhu, G. Ding, and J. Wing, "A novel digital watermarking method for new viewpoint video based on depth map," Intl. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications, pp. 3-7, 2008.
- [13] M-J. Lee, J-W. Lee, and H-K. Lee, "Perceptual watermarking for 3D stereoscopic video using depth information," IEEE Intl. Conf. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp. 81-84, 2001.
- [14] J-W. Lee, H-D Kim, H-Y. Choi, S-H. Choi, and H-K. Lee, "Stereoscopic watermarking by horizontal noise mean shift," Proc. of SPIE Vol. 8303, 830307-1, 2012.
- [15] Y-H. Lin and J-L Wu, "A digital blind watermarking for depth-image-based rendering 3D images," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 57, No. 2, pp. 602-611, June 2011.
- [16] H-D Kim, and J-W Lee, "Robust DT-CWT Watermarking for DIBR 3D Images." IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 58, No. 4, pp.533-543, Oct. 2012.
- [17] S. Wang, C. Cui, and X. Niu, "Watermarking for DIBR 3D images based on SIFT feature points," Elsevier Measurement 48(2014) 54-62.
- [18] Y. Guan, Y. Zhu, X. Liu, G. Luo, Z. Sun, and L. Zhang, "A digital blind watermarking scheme based on quantization index modulation in depth map for 3D video," ICARCV, We43.6, 2014.
- [19] S-C Pei and Y-Y Wang, "Auxiliary metadata delivery in view synthesis using depth no synthesis error model," IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 17, No. 1, pp. 128-133, Jan. 2015.
- [20] S. Rana and A. Sur, "3D video watermarking using DT-DWT to resist synthesis view attack," EUSIPCO, pp. 46-50. 20, 2015.
- [21] I. Prathap and R. Anitha, "Robust and blind watermarking scheme for three dimensional anaglyph images," Elsevier Computers and Electrical Engineering 40 (2014) 51-58.
- [22] Y. Gao, G.Cheung, T. Maugay, P. Frossard, and J. Liang, "Encoder-driven inpainting strategy in multiview video compression." IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 25, No. 1, pp. 134-149, Jan. 2016.
- [23] 이용석, 김동욱, 서영호, "해상도에 따른 DWT 기반 디지털 영상의 강인성 블라인드 워터마킹," 방송공학회논문지, 제20권, 제6호, pp. 888-900, 2015년 11월. (Y-S. Lee, D-W. Kim, Y-H. Seo, "A Robust Blind Watermarking for Digital Image Using DWT According to its Resolution," J of Broadcast Engineering, Vol. 20, No. 6, pp. 888-900, Nov. 2015.)

- [24] W, Stalling, Cryptography and network security, 6th Ed., Pearson, 2014.
- [25] http://www.newwaveinstruments.com/resources/articles/m_se- quence_linear_feedback_shift_register_lfsr.htm
- [26] <http://research.microsoft.com/en-us/downloads/5e4675af-03f4-4b16-b3bc-a85c5bafb21d/>
- [27] <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>

저자소개

이용석



- 2015년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과(공학석사)
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-1608-809X>
- 주관심분야 : 3D 영상 신호처리, 워터마킹, SoC 설계

서영호



- 1999년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 2001년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학석사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)
- 2005년 9월 ~ 2008년 2월 : 한성대학교 조교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 교양학부 부교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1046-395X>
- 주관심분야: 실감미디어, 2D/3D 영상 신호처리, 디지털 홀로그램, SoC 설계

김동욱



- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1985년 2월 : 한양대학교 공학석사
- 1991년 9월 : Georgia 공과대학 전기공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 실감미디어 연구소 연구소장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4668-743X>
- 주관심분야 : 3D 영상처리, 디지털 홀로그램, 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP설계, Wireless Communication