정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제19권 제2호, 2014년 3월 (JBE Vol. 19, No. 2, March 2014)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2014.19.2.174>

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

디지털 홀로그램의 해상도-스케일러블 데이터 압축 방법

김 윤 주^{a)}, 서 영 호^{b)}, 김 동 욱^{a)*}

A Resolution-Scalable Data Compression Method of a Digital Hologram

Yoonjoo Kim^{a)}, Young-Ho Seo^{b)}, and Dong-Wook Kim^{a)*}

요 약

본 논문에서는 다양한 재환경에서 적응적으로 홀로그램 비디오를 서비스하기 위한 스케일러블 코딩 방법을 제안한다. 이 방법은 광원정보와 디지털 홀로그램 모두를 스케일러블 부호화 및 복호화에서 사용하는 방법으로, 복원된 영상의 해상도, 즉 영상의 크기를 스케일링하는 해상도-스케일러블 코딩 방법이다. 이 방법은 광원정보와 디지털 홀로그램 각각의 차영상을 압축하는 방식을 사용하고 있으며, 디지털 홀로그램의 차영상은 손실압축, 광원정보의 차영상은 무손실압축 방법으로 압축한다. 제안하는 방법을 실험한 결과 기존의 방법에 비해 압축률 대비 화질이 매우 우수하고, 특히 압축률이 증가할수록 기존방법보다 월등한 성능을 보였다.

Abstract

This paper is to propose a scalable video coding scheme for adaptive digital hologram video service for various reconstruction environments. It uses both the light source information and digital hologram at both the sending side and the receiving side. It is a resolution-scalable coding method that scales the resolution, that is, the size of the reconstructed image. The method compresses the residual data for both the digital hologram and the light source information. For the digital hologram, a lossy compression method is used, while for the light source information, a lossless compression method is used. The experimental results showed that the proposed method is superior to the existing method in the image quality at the same compression ratio. Especially it showed better performance than the existing method as the compression ratio becomes higher.

Keyword : digital hologram, resolution-scalable coding, hologram video service, lossy compression, lossless compression

a) 광운대학교 전자재료공학과(Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon University)

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

* Corresponding Author : 김동욱(Dong-Wook Kim)

E-mail: dwkim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5167

※ 이 논문은 2014년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “2013년 한국방송공학회 추계학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received January 21, 2014 Revised March 20, 2014 Accepted March 20, 2014

I. 서론

최근 3차원 입체 영상/비디오의 발전과 함께 3D 영상/비디오와 관련 제품들이 실생활에서 보편화되어감에 따라 시청자들은 더욱 실감적인 완전한 3D 입체영상을 구현하는 홀로그래프 서비스를 요구하고 있다. 양안식을 기반으로 하고 있는 현재의 3D 영상은 양안에 해당 영상을 강제로 주입시키는 방식으로, 불완전한 양안시차, 시점의 제약, 시점의 비연속성 등 완전한 입체시에는 많은 제약이 있다. 하지만 홀로그래프 경우 주어진 관찰범위에서는 관찰위치의 제약을 받지 않으며 안경의 착용 없이 실제 자연영상을 보듯 시청이 가능하다. 따라서 현존 3D 영상에서 발생하는 단점과 문제점들을 보완 할 수 있다^[1]. 디지털 홀로그래프의 서비스를 2020년으로 전망하고 있는 가운데^[2], 디지털 홀로그래프에 대한 연구는 미국, 일본, 유럽은 물론 우리나라도 최근 그 활기를 더해가고 있다.

디지털 홀로그래프를 서비스하기 위해서 가장 우선적으로 고려하여야 하는 것 중 하나가 데이터의 압축 부호화이며, 이 연구는 1990년대부터 현재까지 진행되고 있다. Yoshikawa 등은 홀로그래프의 복원 해상도가 인간의 시각시스템에 비해 너무 크다는 사실로부터 해상도를 제한하는 방법과, 보간법을 이용하여 정보량을 줄이는 방법을 제안하였다^{[3][4]}. 또한 디지털 홀로그래프를 1차원적으로 몇 개의 segment로 나누어 DCT를 수행하고, 동영상 압축 표준인 MPEG-1과 MPEG-2로 압축한 방법들이 제안되었다^{[5][6]}. Javidi 등은 [7]과 [8]에서 디지털 홀로그래프를 무손실 부호화 방식으로 압축하는 방법을 제안하였고, 무손실부호화 방식을 손실부호화 기술과 결합한 형태의 기술도 제안하였다. Liebling 등은 홀로그래프의 분해를 위해 Fresnellet 기반의 변환기법을 이용하여 압축을 시도하였다^[9]. [10]에서는 실시간 네트워킹을 위해서 비트 패킹 동작에 의한 복소 스트림을 양자화하는 압축방식도 제안되었다. 최근 홀로그래프를 압축하기 위해 다양한 디지털 신호처리 기법들을 적극적으로 활용한 방식들도 제안되었다. 디지털 홀로그래프를 분할하여 상관성이 높은 정보로 변환한 후에 H.264/AVC 등의 도구로 압축을 시도한 방식^{[11][12]}과 홀로그래프로부터 집적영상을 만든 후에 집적영상과 분할된 디지털 홀로그래프와의

차이 정보를 압축하는 방식^[13]이 제안되었다. 또한 Motion-Compensated Temporal Filtering (MCTF)를 이용한 압축률 향상^[14]과 Mallat tree 기반의 웨이블릿 변환과 Bandelet 변환을 사용하여 프린지 패턴의 방향성에 따라 압축을 시도한 연구가 있다^[15].

홀로그래프 서비스에 있어서 또 하나 고려할 점은 시청자의 환경이다. 일반적인 2D 비디오의 경우도 다양한 시청자의 환경, 즉 디스플레이 장치의 해상도, 네트워크의 상황 등을 고려하여 스케일러블 비디오 코딩(scalable video coding, SVC) 기술을 개발해 왔으며, MPEG-4에서 표준으로 채택되었다^[16]. 최근에는 High Efficiency Video Coding (HEVC) 국제표준을 2013년 상반기에 공표하였고^[17], HEVC-기반 스케일러블 비디오 코딩 기술에 대한 표준화를 진행하고 있다. 그러나 홀로그래프는 2D 영상과는 전혀 다른 특성을 가지고 있기 때문에 2D의 스케일러블 비디오 코딩 기술을 그대로 사용할 수 없고 홀로그래프의 특성을 적용한 스케일러블 코딩 기법을 사용해야 한다. 디지털 홀로그래프에 대한 SVC는 아직 연구결과가 발표된 것이 거의 없으며, [18]이 거의 유일하다. [18]에서는 홀로그래프-기반 해상도 스케일러블 코딩(hologram-based resolution scalable coding, HRS)과 광원-기반의 SNR 스케일러블 코딩(light source-based SNR scalable coding, LSS)이 각각 제안되었다.

본 논문에서는 이 두 가지 중 해상도-스케일러블 압축 코딩 방법에 국한한다. 그러나 [18]의 HRS에서 홀로그래프 자체만을 사용하는 것과는 달리 이 방법은 광원과 홀로그래프 모두를 스케일러블 코딩에 사용한다. 즉 광원정보의 해상도를 변화시키고 각 해상도의 광원으로부터 생성한 CGH와 원 CGH의 차이를 구해서 압축하는 방법으로 스케일러블 코딩을 수행한다. 따라서 제안하는 방법은 홀로그래프의 송신측과 수신측 모두에서 CGH를 생성하며, 양측 모두 충분한 연산능력을 가지고 있다고 가정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성 된다. 2장에서는 기존의 홀로그래프 스케일러블 코딩 기법 중 본 논문과 관계가 있는 HRS를 간략히 설명한다. 3장에서는 제안하는 스케일러블 홀로그래픽 비디오 코딩 알고리즘을 설명하고, 제안한 기법에 대한 실험방법과 결과를 4장에서 설명한다. 이것을 바탕으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

그림 1. HRS 코딩 방법: (a) 부호화, (b) 복호화
 Fig. 1. HRS coding method: (a) encoding, (b) decoding

II. 기존의 해상도-스케일러블 코딩 방법

다양한 재생환경에 대해 적응적으로 홀로그램 비디오를 서비스하기 위해 [18]에서 제안한 두 방법 중 여기서는 해상도-스케일러블 압축코딩 방법을 간략히 소개하며, 자세한 내용은 [18]을 참조하기 바란다. HRS 코딩은 CGH 방법 또는 광학적으로 기준파와 물체파를 간섭시켜 디지털 홀로그램을 획득하였다고 가정한다. HRS의 부호화와 복호화 과정은 그림 1 (a)와 (b)에 각각 나타내었다.

HRS의 부호화는 홀로그램을 원하는 단계(layer)로 cropping하여 진행하는데, 이 cropping 방법의 예를 그림 2에 나

타내었다. 이 예는 기본 layer(base layer 0)에서 enhancement layer 7까지 총 8단계의 HRS를 수행하는 것을 가정한 것이다. 각 layer에 해당하는 데이터는 그 layer의 크기에서 그전 layer의 크기를 제외한 데이터이다. 각 layer 데이터를 압축 코딩하는 방법(그림 1(a))은 각 layer에 해당하는 홀로그램 데이터를 적절한 크기로 분할(그림 2에서는 모든 layer의 데이터를 동일한 크기로 분할하며, 그 크기는 작은 사각형에 해당한다)하고, 각 분할된 부홀로그램(sub-hologram)을 2DDCT (2-dimensional discrete cosine transform)한 다음 그 결과를 시퀀스로 나열하여 2차원 비디오 압축부호화기(MPEG-2, H.264/AVC[19], HEVC 등)에 입력한다([18]

의 그림 4 참조). 복호화 방법(그림 1(b))은 2차원 비디오 압축복호화를 수행한 다음 특정 layer의 홀로그래프를 그전 layer의 홀로그래프 외곽에 위치시켜 그 layer의 홀로그래프를 얻는다. 디지털 홀로그래프의 특성에 따라 주어진 홀로그래프의 일부분만 cropping하여 영상을 복원하면 그 부홀로그래프 크기와 위치에 따라 영상의 크기와 관찰각이 결정되는데, 그림 2와 같이 모든 layer의 중심이 동일하면 동일한 관찰각에서 크기만 달라지는 해상도-스케일러블 코딩이 이루어진다.

그림 2. 스케일러블 코딩을 위한 홀로그래프 cropping
Fig. 2. Hologram cropping for scalable coding

III. 제안하는 해상도-스케일러블 코딩 방법

본 장에서 본 논문에서 제안하는 해상도-스케일러블 압축코딩을 설명한다. [18]의 방법에서는 홀로그래프 데이터만을 사용하여 HRS라는 약어를 사용하였으나, 본 논문의 방법은 광원정보와 홀로그래프 모두를 스케일러블 코딩에 사용한다. 또한 이 방법은 디지털 홀로그래프를 CGH 방법으로 획득한다고 가정한다.

1. 부호화 과정

제안하는 스케일러블 코딩의 부호화 과정을 그림 3에 나타내었다. 부호화과정의 입력은 홀로그래프를 CGH 방법으로 생성할 수 있는 3차원 광원정보, 즉 3차원의 위치정보와 빛의 세기 정보를 사용한다. 이 3차원 광원정보는 원하는

(a)

(b)

(c)

그림 3. 제안한 스케일러블 코딩의 부호화 과정: (a) 부호화, (b) signal processing unit, (c) 최하위 두 layer의 예
Fig. 3. Encoding procedure of the proposed scalable coding: (a) encoding, (b) signal processing unit, (c) example of the lowest two layers

스케일러블 코딩 layer 수에 따라 다운-스케일링(down-scaling, DS)하여 각 layer의 정보로 사용한다. DS은 가우션 저역통과 필터링(Gaussian low-pass filter)을 수행한 후 필요한 만큼 서브-샘플링(sub-sampling)하였다. 한 layer에 대한 코딩 방법은 그림 3(a)의 점선네모에 해당하며, base layer만 여기에 한 번 더 DS한 광원정보를 더 포함한다.

한 layer의 코딩방법은 다음과 같다. 먼저 그 layer의 광원정보로 CGH를 생성한다. 또한 광원정보를 DS하고, signal processing unit(그림 3(b))에서 다시 업-스케일링(up-scaling, US)하여 그 결과로 CGH를 생성한다. US은 필요한 만큼의 화소를 bilateral 업-샘플링하고 그 결과에 bi-cubic 필터링하는 방법을 사용하였다. 이 CGH와 원 광원정보로 생성한 CGH와의 차이(RHi)를 구하고 그 결과를 손실압축(lossy coding)하여 보낸다. 한편 US한 광원정보와 원 광원정보의 차이(ROi)를 구하고 그 결과는 무손실압축(lossless coding)하여 보낸다. 기본 layer의 경우 광원정보를 한 번 더 DS(BO)하여 무손실압축하여 보낸다. 손실압축 방법은 [18]의 방법([18]의 그림 4)을 그대로 사용하며, 2차원 비디오 압축은 [18]과 동일하게 H.264/AVC를 사용하였고, 무손실압축은 LZH[20]를 사용하였다. 그림 3(c)에 최하위 두

layer에 대한 부호화과정을 예로 보이고 있다. 이 그림에는 실제 사용한 3차원 정보와 생성한 CGH를 각 단계에서 보이고 있다.

2. 복호화 과정

그림 4는 제안한 홀로그램 스케일러블 코딩의 복호화 과정을 나타내고 있다. 이 역시 한 layer에 해당하는 복호화 과정은 그림 4(a)의 점선네모로 표시하였다. 복호화 과정은 다음과 같다. 먼저 수신된 홀로그램 정보(RHi)와 광원정보(ROi)를 복호화(RH'i, RO'i)한다. 이전 layer의 광원정보(QO'i-1)는 signal processing unit(그림 4(b))에서 US되고 복호화된 광원정보 RO'i와 합친 후(QO'i) CGH를 생성한다. 생성된 CGH는 복호화된 CGH(RH'i)와 합쳐져 그 layer의 홀로그램을 형성한다. 이 홀로그램은 홀로그램 영상복원 방법으로 복원하여 시청자가 시청하게 된다. 최하위의 base layer는 이전 layer에서의 광원정보 대신에 추가로 보내진 광원정보 BO를 사용한다. 복호화의 경우도 부호화의 경우와 마찬가지로 실제 데이터를 사용하여 최하위 두 layer의 과정을 그림 4(c)에 도식적으로 나타내었다.

그림 4. 제안한 스케일러블 코딩의 복호화 과정: (a) 복호화 (b) signal processing unit, (c) 최하위 두 layer의 예

Fig. 4. Decoding procedure of the proposed scalable coding: (a) decoding, (b) signal processing unit, (c) example of the lowest two layers

참고로, [18]의 LSS 방법과 비슷하게 광원정보만을 그림 3과 같이 down-sampling하여 보낼 수 있다. 이 경우 송신측에서 홀로그래프 차영상을 보내지 않기 때문에 수신측에서 수신하여 디코딩한 결과로 생성한 홀로그래프를 사용할 수밖에 없다. 그러나 제안한 방법은 홀로그래프 차영상을 보내고 이것을 사용할 수 있기 때문에 동일한 해상도에서 더 좋은 화질을 얻을 수 있다.

IV. 실험 및 결과

앞장에서 제안한 방법을 여러 홀로그래프를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험의 일관성을 위하여 홀로그래프는 모두 자체 생성하였으며, 해상도는 $1,024 \times 1,024$ 로 하였고, 스케일러블 코딩은 8단계로 하였다. 실험에 사용한 영상들은 표 1과 같으며, 정지영상과 동영상을 같이 사용하였다.

표 1. 실험에 사용한 영상들

Table 1. Images used in the experiment

Name	Image /video	# of frames	Information provided	provided
Rabbit	image	1	depth	Internet
Spring	image	1	depth	Internet
Huynjin	video	300	depth+RGB	Self-made video
Yoonjin	video	270	depth+RGB	Self-made video
Sujin	video	420	depth+RGB	Self-made video

1. 실험환경

제안한 방법에서 CGH, 부호화, 복호화 모두 CUDA 기반의 GPGPU(general purpose graphic processing unit)를 이용하여 구현하였다^[21]. 부호화 및 복호화를 수행한 홀로그래프를 영상으로 복원하는 방법으로는 소프트웨어 방식 즉, 디지털 홀로그래프를 Fresnel 변환하여 복원하였다^[1]. 본 논문에서 사용한 디지털 홀로그래프에 대한 데이터는 표 2에 나타내었으며, 디지털 홀로그래프는 CGH 방법으로 연산하여 사용하였다. 원 광원정보로는 $200 \times 200 [pixel]^2$ 의 깊이정보와 빛의 세기 정보를 사용하였고, 디지털 홀로그래프

은 모두 $1,024 \times 1,024 [pixel]^2$ 크기로 생성하였으며, 물체와 홀로그래프 간 거리는 1[m]로 통일하였다.

표 2. 실험을 위한 파라미터

Table 2. Parameters for experiment

Parameter	Specification
Distance	100cm
Hologram resolution	$1,024 \times 1,024$
Light source resolution	200×200
Pixel Pitch (p)	$10.4 \mu m$
Wavelength (λ)	633nm (Red Laser)

2. 실험결과

그림 5에는 현진(Hyunjin) 영상에 대해서 제안한 방법으로 부호화 및 복호화를 수행하고 소프트웨어 방법으로 복원한 영상들의 예를 보이고 있다. 이 그림은 8 단계의 layer를 보이고 있고, 각 단계에서 전체 압축률을 1:1에서 100:1까지 압축률을 10씩 증가하면서 실험한 결과 데이터이다. 그림에서 보듯이 제안한 방법은 압축률이 100:1까지 증가

그림 5. 현진 영상에 대한 제안한 방법의 layer별 압축률별 실험결과 예
Fig. 5. Example images for layer and compression ratio by proposed method for Hyunjin image

해도 화질에 큰 영향이 없는 것을 볼 수 있으며, 따라서 해상도-스케일러블 코딩에 매우 적합함을 알 수 있다.

그림 6은 제안한 방법으로 스케일러블 압축부호화를 수행하고, 이를 제안한 복호화방법으로 복호화한 디지털 홀로그램 데이터의 화질을 PSNR(peak signal-to-noise ratio)로 계산한 결과의 평균값들을 그래프로 나타낸 것이다. 예측할 수 있는 것과 같이 모든 layer에서 압축률이 증가할수록 화질이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 거의 모든 경우에서 100:1의 압축률에서 30[dB] 정도의 높은 화질을 보

그림 6. 제안한 방법의 layer별 압축률별 홀로그램의 화질 실험결과
Fig. 6. Experimental results from hologram quality for layer and compression ratio of the proposed method

이는 것을 알 수 있다. 그림에서 보면 layer가 높아질수록 화질이 나빠지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 일반적인 화질 스케일러블 압축코딩의 반대적인 현상이다. 이것은 각 layer를 형성하기 위해 DS한 결과를 그대로 사용하여 CGH를 생성하고 부호화-복호화를 거치지 않는 것과 제안한 방법으로 부호화-복호화를 거친 결과 간의 PSNR을 구한 것이다. 또한 광원정보의 크기(해상도)는 layer가 증가할수록 커지지만 홀로그램의 해상도는 모든 layer에서 동일하다. 즉, layer가 낮을수록 화질이 좋다는 것은 작은 물체를 더 상세하게 홀로그램으로 생성하는 경우에 제안한 방법이 더욱 효과적이라는 것을 말해주고 있다. 이것은 향후 현재의 TV나 핸드폰의 화면크기의 홀로그램 영상을 재생하기 위해서는 훨씬 고해상도의 디지털 홀로그램이 필요한데, 그 경우 제안한 방법이 더욱 유용하다는 뜻으로도 해석된다.

그림 7은 Rabbit과 현진 영상에 대해 제안한 방법((a)와 (c))과 [18]의 방법((b)와 (d))으로 부호화 및 복호화한 디지털 홀로그램을 소프트웨어적으로 복원한 영상에 대한 화질의 변화추이를 PSNR(dB)로 나타낸 것이다. 이를 위하여 표 2의 홀로그램 관련 파라미터들은 [18]의 것들과 동일하게 설정하였다. 모든 PSNR의 경우에 있어서 [18]보다 제안한 방법이 훨씬 높은 PSNR 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 두 방법 모두 압축률이 증가하면 PSNR이 감소하는 동일한 경향성을 보이기는 하지만, 제안한 방법이 그 감소정도가

표 3. 복원영상의 평균 PSNR(dB) 값

Table 3. Average PSNR (dB) values of the reconstructed images

	Layer1	Layer2	Layer3	Layer4	Layer5	Layer6	Layer7
10:1	59.78101	56.421	53.98533	51.0515	48.65624	46.34701	41.57528
20:1	57.86416	54.82621	51.53364	48.86929	46.15055	42.18141	37.50304
30:1	56.10872	52.3282	48.15763	44.80647	41.67078	39.92142	35.61712
40:1	53.93916	49.75472	46.26483	42.336	39.92925	37.74912	34.37333
50:1	52.30083	48.03973	44.42056	41.38016	38.8556	36.81455	33.2975
60:1	50.5138	46.96551	43.98563	40.09348	38.01042	36.09791	32.76043
70:1	49.89521	45.76325	42.91173	38.95783	37.5428	35.97312	32.53859
80:1	48.38796	44.81361	42.12853	38.45996	36.81834	35.22166	32.08273
90:1	48.00159	44.20096	41.49048	38.39968	36.79746	35.24432	32.35924
100:1	47.49351	42.0787	40.64182	37.8419	36.41849	35.12285	31.98652

그림 7. 실험결과 및 기존 방법과의 비교: 제안한 방법의 (a) Rabbit, (c) 현진; [18]의 (b) Rabbit, (d) 현진
Fig. 7. Experimental results and comparison with existing method: proposed method (a) Rabbit, (c) Hyunjin; [18] method (b) Rabbit, (d) Hyunjin

[18]에 비해 현저하게 작다는 것을 볼 수 있다. 이것은 앞의 그림 6에서와 마찬가지로 제안한 방법이 고압축률에서 더욱 우수한 성능을 갖는다는 것을 보이고 있다. 표 3에는 실험한 모든 영상의 복원영상에 대한 PSNR 값의 평균을 layer별, 압축률별로 나열한 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 홀로그램 비디오 서비스를 다양한 재생환경에서 제공하는 해상도-스케일러블 비디오 압축코딩 방법을 제안하였다. 이 방법은 그 전 layer의 광원정보를 업-스케일링하여 해당 layer의 광원정보와의 차영상을 구하고, 업-스케일링한 광원정보로부터 생성한 디지털 홀로그

램과 원 광원정보로 생성한 디지털 홀로그램의 차이를 구함으로써 광원정보와 디지털 홀로그램 모두 차이정보만을 전송하는 방식을 사용한다. 따라서 전송되는 데이터양에 비해 상대적으로 훨씬 선명한 홀로그램 복원 영상의 화질을 제공한다. 뿐만 아니라 광원정보를 전송하기 때문에 적은 데이터양으로 우수한 화질의 해상도-스케일러블한 영상을 제공한다. 기존 방법과의 비교에서도 압축률이 증가할수록 더욱 큰 화질의 차이를 보였다.

따라서 제안한 방법은 송신측과 수신측이 CGH 방법으로 디지털 홀로그램을 생성할 수 있는 환경에서는 우수한 화질을 제공하는 해상도-스케일러블 압축코딩 방법으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 전망된다. 특히 고압축률과 고해상도에서 더욱 효과적인 해상도-스케일링 방법이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] P. Hariharan, Basics of Holography, Cambridge University Press, 2002.
- [2] 2010년 방송통신위원회, 방송통신 기술 로드맵, 차세대방송 분야 (Area of next-generation broadcasting in Broadcasting-communication technical road-map from Korea communications Commission, 2010).
- [3] H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Information reduction by limited resolution for electro -holographic display," editor SPIE Proc. Vol. 1914 Practical Holography VII, pp. 1914-1930, Feb. 1993.
- [4] H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Image Scaling for electro-holographic display," editor, SPIE Proc. vol 2176 Practical Holography VIII, paper #2176-02, pp. 12-22, Feb. 1994.
- [5] H. Yoshikawa, "Digital holographic signal processing," Proc. TAO First International Symposium on Three Dimensional Image Communication Technologies, pp. S-4-2, Dec. 1993.
- [6] H. Yoshikawa and J. tamai, "Holographic image compression by motion picture coding," editor, SPIE Proc. vol 2652 Practical Holography X, pp. 2652-01, Jan. 1996.
- [7] T. J. Naughton and B. Javidi, "Compression of Encrypted Three-dimensional Objects using Digital Holography," Optical Engineering, vol. 43, no. 10, pp. 2233-2238, October 2004.
- [8] T. J. Naughton, Y. Frauel, E. Tajahuerce, and B. Javidi, "Compression of Digital Holograms for Three-Dimensional Object Reconstruction and Recognition," Applied Optics, vol. 41, no. 20, pp. 4124-4132, July 10, 2002.
- [9] M. Liebling, T. Blu and M. Unser, "Fresnelets : New multiresolution wavelet bases for digital holography," IEEE Trans. Image Process. 12, pp. 29-43, 2003.
- [10] O. Matoba, T. J. Naughton, Y. Frauel, N. Bertaux and B. Javidi, "Real-time three-dimensional object reconstruction by use of a phase-encoded digital hologram," Appl. Opt. 41, No.29, pp. 6187-6192, Oct, 2002.
- [11] Young-Ho Seo, Hyun-Jun Choi, and Dong-Wook Kim, "Lossy Coding Technique for Digital Holographic Signal", SPIE Optical Engineering, Vol. 45, No. 6, pp. 065802-1~065802-10, Jun. 2006.
- [12] Young-Ho Seo, Hyun-Jun Choi, and Dong-Wook Kim, "3D Scanning-based Compression Technique for Digital Hologram Video", Elsevier Signal Processing - Image Communication, Vol.22, Issue 2, pp. 144-156. Feb. 2007.
- [13] Young-Ho Seo, Hyun-Jun Choi, Jin-Woo Bae, Hoon-Chong Kang, Seung-Hyun Lee, Ji-Sang Yoo and Dong-Wook Kim, "A New Coding Technique for Digital Holographic Video using Multi-View Prediction", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E90-D, No.1, pp.118-125, Jan. 2007.
- [14] Young-Ho Seo, Hyun-Jun Choi, Ji-Sang Yoo, and Dong-Wook Kim, "Digital hologram compression technique by eliminating spatial correlations based on MCTF," Opt. Commun. 283(21), pp. 4261 - 4270, 2010.
- [15] Le Thanh Bang, Zulfiqar Ali, Pham Duc Quang, Jae-Hyeung Park, and Nam Kim, "Compression of digital hologram for three-dimensional object using Wavelet-Bandelets transform," Optics Express, Vol. 19 Issue 9, pp.8019-8031, 2011
- [16] <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4/video>
- [17] <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-h/high-efficiency-video-coding>
- [18] Y-H. Seo, Y-H Lee, J-S Yoo, and D-W Kim, "Scalable hologram video coding for adaptive transmitting service," Applied Optics, Vol. 52, No. 1, pp. A254-A268, Jan. 2013.
- [19] <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4/advanced-video-coding>
- [20] http://www.microsoft.com/globaldev/outreach/downloads/LZH_add-on.msp
- [21] <http://developer.nvidia.com/category/zone/cuda-zone>

저 자 소 개

김 윤 주

- 2013년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과 석사과정
- 주관심분야 : 디지털 홀로그램, SVC, HEVC

저 자 소 개

서 영 호

- 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
- 주관심분야 :

김 동 욱

- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1985년 2월 : 한양대학교 공학석사
- 1991년 9월 : Georgia공과대학 전기공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과 정교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 실감미디어 연구소 연구소장
- 주관심분야 : 3D 영상처리, 디지털 홀로그램, 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP설계, Wireless Communication