

논문 2005-42SP-5-4

하이브리드 비디오 코딩에 의한 디지털 홀로그램 압축기술

(Digital Hologram Compression Technique By Hybrid Video Coding)

서 영 호*, 최 현 준**, 강 훈 종***, 이 승 현**, 김 동 욱**

(Young-Ho Seo, Hyun-Jun Choi, Hoon-Jong Kang, Seung-Hyun Lee, and Dong-Wook Kim)

요 약

디지털 홀로그램의 저변이 확대됨에 따라서 3차원 영상의 구성을 위한 스테레오 영상의 압축기술에 대한 국제적인 표준이 3DAV라는 형태로 진행되는 것과 같이 디지털 홀로그램의 압축 기술에 대한 논의도 활발히 이루어질 것으로 보인다. 3DAV의 경우에도 볼 수 있듯이 기존에 존재하는 여러 가지 기술들을 집적하거나 변형한 형태, 혹은 그들의 혼합된 형태로 논의될 가능성이 크다. 또한 디지털 홀로그램의 압축을 위한 전용 시스템을 구성하는 기존의 기술을 배제하고 개발하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 다양한 영상압축 기술들과 디지털 홀로그램과의 상관관계에 대한 방향을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 기존의 비디오 및 영상압축 도구들을 이용하여 디지털 홀로그램을 효율적으로 부호화하는 기술을 제안하고자 한다. Fringe 패턴의 형태로 표현되는 디지털 홀로그램의 생성 원리를 이용하여 비디오 데이터로 가공한 후에 부호화하는 방식을 이용한다. 여기에는 생성된 디지털 홀로그램을 부호화하기 위해 적절한 형태로 변형하는 전처리 과정, 객체 영상의 모든 정보를 포함하는 공간적인 분할, 디지털 홀로그램의 생성원리와 부합되는 주파수 변환기술, 비디오 데이터로 구성하기 위한 스캔방법, 부호화를 위한 주파수 계수의 분류, 그리고 하이브리드 형태의 압축기술 등이 고려되어 하나의 알고리즘을 구성한다. 압축을 위한 부호화 도구에는 정지영상 압축을 위한 JPEG2000을 비롯하여 동영상 압축을 위한 MPEG-2, MPEG-4, 및 H.264와 같은 국제 표준 압축 알고리즘들과 여러 무손실 압축 기술들이 포함된다. 실험 결과를 살펴보면 제안한 알고리즘은 기존의 기술에 비해서 4배에서 8배 이상의 높은 압축율에서 더 좋은 복원 성능을 보였다. 따라서 제안한 기술은 디지털 홀로그램의 부호화를 위한 좋은 연구 사례가 될 것으로 사료된다.

Abstract

According as base of digital hologram has been magnified, discussion of compression technology is expected as a international standard which defines the compression technique of 3D image and video has been progressed in form of 3DAV which is a part of MPEG. As we can identify in case of 3DAV, the coding technique has high possibility to be formed into the hybrid type which is a merged, refined, or mixed with the various previous technique. Therefore, we wish to present the relationship between various image/video coding techniques and digital hologram. In this paper, we propose an efficient coding method of digital hologram using standard compression tools for video and image. At first, we convert fringe patterns into video data using a principle of CGH(Computer Generated Hologram), and then encode it. In this research, we propose a compression algorithm is made up of various method such as pre-processing for transform, local segmentation with global information of object image, frequency transform for coding, scanning to make fringe to video stream, classification of coefficients, and hybrid video coding. Finally the proposed hybrid compression algorithm is all of these methods. The tool for still image coding is JPEG2000, and the tools for video coding include various international compression algorithm such as MPEG-2, MPEG-4, and H.264 and various lossless compression algorithm. The proposed algorithm illustrated that it have better properties for reconstruction than the previous researches on far greater compression rate above from four times to eight times as much. Therefore we expect that the proposed technique for digital hologram coding is to be a good preceding research.

Keywords : CGH(computer generated hologram), 3D, fringe pattern, holographic data compression, DCT

* 평생회원, 한성대학교 정보통신공학과,
(Dept. of Information & Communications Engineering, Hansung University)

** 평생회원, 광운대학교
(Kwangwoon University)

*** 정회원, ETRI
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

※ 본 논문은 2005년도 정보통신부의 출연금으로 수행한 정보통신연구개발사업의 연구결과입니다.
접수일자: 2005년1월25일, 수정완료일: 2005년8월29일

I. 서 론

홀로그램은 원래 '전체'라는 뜻의 그리스어 'Holos'와 '기록하다'라는 뜻의 'gram'이 합성된 단어이다. 다시 말하면 완전한 영상을 구현할 수 있다는 의미로도 해석할 수 있다. 최첨단 영상처리기술의 면모를 이룬 그 자체에서도 지니고 있는 이 기술의 원리는 다중 레이저 장치를 활용하여 물체에서 반사되는 빛과 간섭성을 지닌 기준파간의 간섭영상을 구현한다. 그렇기 때문에 빛의 세기는 물론 물체의 깊이감을 주는 빛의 위상도 재생이 가능한 것이다. 이것이 물체에서 반사된 빛의 세기만을 기록하는 사진필름과 달리 홀로그램이 자연스런 3차원 입체영상을 구현할 수 있는 원리다^[1]. 홀로그램은 입체영상의 디스플레이에서부터 고밀도 메모리 기술, 빛을 이용한 고속 병렬연산에 이르기까지 다양한 응용분야로 확대할 수 있다. 반도체 기술이 디지털혁명의 모태가 된 것처럼 홀로그램기술은 차세대 광정처리분야의 핵심 기술로 자리 잡을 것이라 생각된다.

홀로그래피는 1948년 Gabor에 의해 최초로 제안된 이래 3차원 정보를 기록할 수 있다는 특징 때문에 많은 연구자들의 관심을 끌어들였다. 기존의 홀로그래피는 홀로그램 필름에 3차원 정보를 기록한 다음에 현상된 필름을 사용하여 3차원 물체를 복원하게 되므로 그 응용이 크게 제한되었다. 따라서, 이러한 단점을 극복하기 위한 새로운 접근방법으로 1966년 이후 많은 연구자들이 컴퓨터에 의한 홀로그램의 제작을 연구해오고 있다.

최근 세계 여러 연구기관에서 홀로그램 관련 연구를 진행 중이지만, 대부분의 연구는 광학 홀로그램 영상의 획득과 이를 효과적으로 복원하는 기술들에 국한되어 있다. Yoshikawa^{[2][3]}는 hologram의 정보량을 줄이는 방법으로 영상을 재구성 했을 때의 해상도가 HVS에 비해 너무 크다는 단점을 개선하여 해상도를 제안하는 방법과 보간법으로 holographic 3D display의 정보량을 줄이는 방법을 제안하였다. 또한 JPEG과 같은 정지영상의 압축 표준 기술을 이용하여 fringe를 압축하였지만, fringe 패턴이 일반적인 2차원 영상과는 많이 다르므로 큰 효과를 얻지는 못하였다^{[4][5]}. 이를 해결하기 위해 fringe를 몇 개의 segment로 나누어 DCT를 수행하고, 동영상 압축 표준인 MPEG-1으로 압축하였다^[6]. Thomas는 광학적인 방법의 위상-이동 방법을 통해 얻은 fringe를 무손실 부호화 방식인 LZ77, LZW, 그리고

Huffman coding으로 압축하였다^{[7][8]}. 이밖에 Ding^[10]은 홀로그램 영상 인식을 위한 웨이블릿 패킷 압축 기법과 인식 시스템을 제안하였다. Liebling^[11]은 광학적으로 생성된 Fresnel 홀로그램의 해상도 분해를 위한 웨이블릿 기반의 새로운 기저함수를 만들고 "Fresnelet"이라 하였다. 그러나 이 방법들은 광학계를 이용한 접근방법으로 본 논문과는 연구방향이 다르고 fringe를 JPEG으로 압축하는 방식에 비해 큰 이득을 얻지는 못하였다. 또한 Osamu^[12]는 기존의 디지털 홀로그램이 위상과 진폭을 저장하였던 것을 위상 정보만을 저장하여 재생할 수 있는 시스템을 제안하였다. 이러한 이전 연구 가운데에서 디지털 홀로그램을 다루는 본 논문과 가장 유사한 것은 Yoshikawa와 Thomas에 의한 연구이다. 특히 Yoshikawa에 의해 제안된 알고리즘이 가장 발달된 형태로 평가받고 있다.

본 논문에서는 fringe 영상을 객체영상에 대한 전체 정보를 보유한 블록들로 분할하여 이를 2D DCT를 취하고, 후처리 과정을 거쳐 하나의 비디오 스트림으로 가공하여 기존의 영상/비디오 압축 표준(JPEG2000^[13], MPEG-2^[14], MPEG-4^[15], H.264/AVC^[16])으로 압축하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 II장에서는 컴퓨터 생성 홀로그램에 대해 설명하고, III장에서는 디지털 홀로그램의 부호화 기법들에 대해 설명한다. IV장에서 실험결과를 보이고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 컴퓨터 생성 홀로그램

컴퓨터에 의한 홀로그램(Computer Generated Hologram, CGH)의 제작은 1960년대 중반이후부터 시작된 것으로, 물체파와 기준파의 간섭에 의해 생성되는 간섭항을 계산함으로써 얻어진다. 홀로그램을 생성하고 취득한 후 저장 및 표현하는 모든 장치가 디지털화됨에 따라서 홀로그램을 컴퓨터에서 생성, 저장 및 처리하는 기술이 널리 사용되고 있다.

홀로그램을 데이터화하는 과정에서 살펴보면 홀로그램이 포함하고 있는 데이터의 양은 방대하기 때문에 저장, 전송, 및 처리를 위해서는 데이터량을 줄일 필요성이 있다. 홀로그램의 데이터를 줄이는 방법은 물체의 구성 포인트의 수를 줄이고, 각 구성 포인트에서 오는

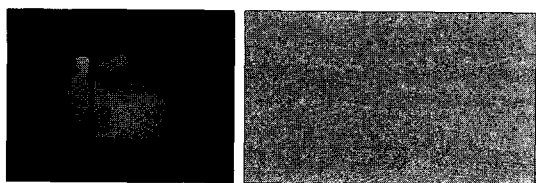


그림 1. CGH를 이용하여 생성된 fringe 패턴
Fig. 1. Fringe pattern generated by CGH.

광의 시차를 줄이는 식의 접근이 이루어진다. 그러나 홀로그래프의 취득 단계에서 이루어지는 노력들은 다양한 홀로그래프에 적응적이지 못하고 실제적으로 적용하기 어려운 실정이다. 또한 홀로그래프 데이터를 디지털화하여 처리하고자 하는 시도가 많아지면서 이미 생성된 홀로그래프에 대해 데이터 량을 감소시키고자 하는 방법이 모색되고 있다. 여기에 적합한 대안이 홀로그래프의 부호화이다^{[6][9][17][20]}.

객체의 재구성을 위한 CGH의 데이터 량을 줄이는 가장 효율적인 방법은 부호화 과정이다. 지금까지 CGH를 부호화하는 연구는 CGH를 일반적인 1차원 혹은 2차원 디지털 신호로 가정한 후에 손실 및 무손실 압축 등과 같은 부호화 기술을 적용하는 것이었다^{[6][7][9][10][11]}.

본 연구에서도 CGH를 2차원 영상 신호로 가정한 후에 주파수 변환 도구를 이용하여 CGH를 분석하고 표준 압축 기술들의 응용을 통해서 압축을 시도한다. DCT에 비해서 좋은 주파수 변환 특성을 보이는 DWT 기반의 JPEG2000을 비롯하여 MPEG-2, MPEG-4, 및 H.264와 같은 국제표준 동영상압축 알고리즘들과 여러 무손실 압축 기술들을 조합하여 압축의 효율성을 분석하고 이를 바탕으로 새로운 압축 알고리즘을 제안한다. 그림 1에는 본 장에서 설명한 객체영상 및 CGH 생성 기술을 이용하여 fringe 패턴을 생성한 예를 보이고 있다.

2. 제안한 디지털 홀로그래프의 부호화

본 장에서는 국제표준 압축기술을 이용하여 fringe 패턴으로 표시되는 디지털 홀로그래프를 부호화하는 기술에 대해서 설명한다.

가. 부호화 개요

본 논문에서 무손실 압축을 위해 사용된 표준 압축 기술은 JPEG2000에서 (5,3) 필터를 이용한 무손실 압축 방식이다. JPEG2000의 무손실 압축 모드는 중요도가 높은 정밀한 의료영상, 위성사진 등에 적용하기 위해

개발된 것으로 현존하는 무손실 압축기술 중에 가장 뛰어난 형태를 가진다. JBIG과 LZW 등의 무손실 압축 기술들은 본 연구의 내용에 포함하지 않는다. 기존의 연구에서 살펴보면 이러한 무손실 압축 기술들은 디지털 홀로그래프를 부호화하는데 효율적이지 못한 것으로 검증되었다^[7]. 또한 손실압축의 경우에 Yoshikawa^[6]가 제안한 방식이 가장 발달된 형태의 압축 방식인데 이 방식의 경우에 압축 기술과 중간 데이터의 형태를 크게 고려하지 않아서 압축 효율의 한계를 가진다.

따라서 국제표준으로 사용되고 있는 동영상 압축 기술들의 특성과 각 단계별로 생성된 데이터의 특성을 깊이 있게 분석하여 기존의 기술에 비해서 현저한 향상을 보이는 하이브리드 형태의 홀로그래프 압축 기술을 제안한다.

나. 부호화 시스템

본 절에서는 디지털 홀로그래프, 즉 fringe를 압축하는 방법에 대해서 설명한다. Fringe에 대해 기존의 표준압축 기술을 적용하는데 있어서 fringe 자체를 하나의 영상으로 간주하고 그 이전의 단계에 대한 고려를 배제한다.

그림 2에 디지털 홀로그래프를 부호화하는데 있어서 단계별 요소 기술과 전체적인 부호화 과정을 개략적으로 나타냈다. 디지털 홀로그래프 부호화 과정은 전처리 과정(Pre-Processing), 분할(Segmentation), 주파수 변환(Transform), 후처리 과정(Post-Processing), 그리고 압축(Compression)으로 구성된다. Fringe를 객체영상에 대한 전체정보를 보유한 블록들로 분할하고 이를 2D

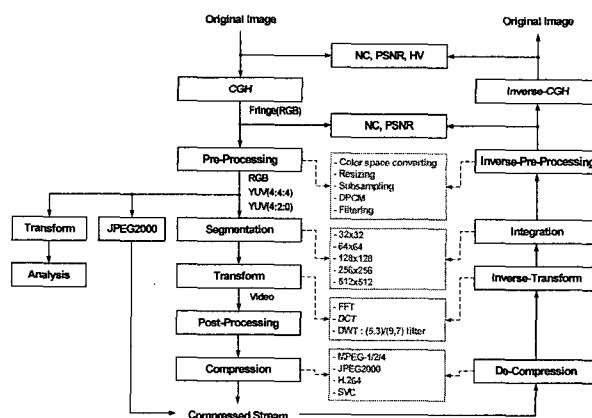


그림 2. 디지털 홀로그래프 부호화의 개괄적인 과정
Fig. 2. Global process of digital holographic coding.

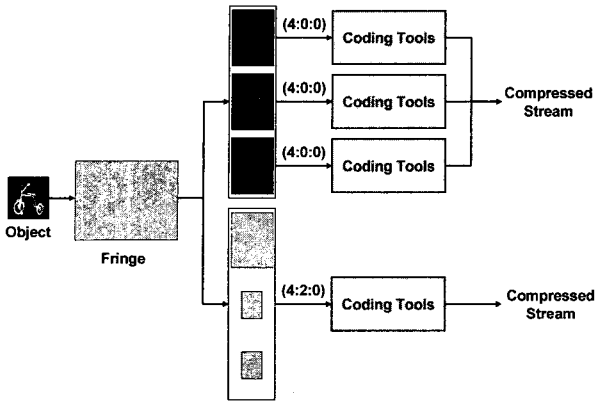


그림 3. 부호화를 위한 fringe 패턴의 전처리 과정
Fig. 3. Pre-processing of fringe image for coding.

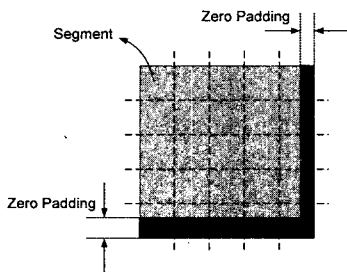


그림 4. 2D DCT를 위한 fringe의 분할.
Fig. 4. Fringe segmentation for 2D DCT.

DCT 변환을 취한다. DCT 계수들은 후처리과정을 통해서 하나의 비디오 스트림으로 가공되어 동영상 압축 기술에 적용된다.

다. 전처리 과정

객체영상(Original Image)로부터 생성된 fringe는 RGB의 색차성분을 포함한다. 각각의 색차성분에 대해서 부호화를 적용하기 위해 그림 4와 같이 R, G, B 색차영상의 형태로 분리하거나 Y, U, V 색차영상의 형태로 분리한다. 분리된 색차 성분들은 그림 5와 같이 각각이 독립적인 정보로써 부호화에 적용된다. 본 논문에서는 좋은 특성을 나타내는 것으로 알려져 있는 RGB 형태의 색차 형태를 이용한다.

Y, U, V 형태의 정보를 고려하는 이유는 MPEG 계열의 압축 기술들이 그와 같은 형태의 데이터를 입력으로 받아들이기 때문이다. 데이터의 고유한 특성을 고려하지 않는다면 입력 채널이 하나인 YUV 형태의 영상에 대한 압축 효율이 더 우수하다. 그림 4에서 보는 것과 같이 RGB 형태의 경우에 각각을 독립적인 채널로써 압축에 적용해야하지만 YUV의 경우에는 단일 채널로

써 적용이 가능하다. 이것만을 고려한다면 YUV가 RGB에 비해서 압축율이 3배 증가하는 것으로 예측할 수 있다.

라. 디지털 홀로그램의 분할 및 주파수 변환

디지털 홀로그램인 fringe 패턴을 동영상 압축 알고리즘에 적용하기 위해 이를 분할하고 2차원 DCT 변환을 취한다.

(1) Fringe의 분할(segment)

그림 4에 DCT를 하기 위해 fringe를 분할하는 과정과 부족한 영상을 확장하는 형태를 도식적으로 나타냈다. 본 논문에서는 최소 8x8에서 최대 512x512까지 크기로 분할하였다. Fringe 패턴이 segment의 배수가 아닐 경우에는 영값 확장(zero padding) 기법을 이용하여 배수로 조절한다.

(2) 분할된 fringe의 주파수 변환

분할된 fringe의 주파수 변환 결과를 그림 5에 나타냈다. 그림 5는 16x16의 크기에서 512x512 크기까지의 segment 중에서 일부를 나타내는데, 2D DCT를 이용하여 변환한다. 변환된 계수를 2차원 영상으로 취급하면 그림 6과 같이 객체영상이 나타나게 되고 fringe 패턴의 위치적인 특성에 따라서 객체영상이 이동하는 것처럼 보인다. DCT를 거친 fringe 패턴을 비디오 플레이어를 이용하여 재생하면 객체영상이 제자리에서 회전을 하면서 위아래로 움직이는 것을 관찰할 수 있다. 즉, 분할된 fringe 패턴들의 위치적인 특성을 시간적인 변화로 사상할 경우에 전체 fringe는 하나의 비디오 스트림으로 취급할 수 있다. 또한 분할된 fringe 패턴은 약간의 차이는 있지만 유사한 정보를 포함하기 때문에 데이터의 차이가 크지 않고 이는 동영상 압축기술에서 temporal redundancy로 간주하여 효율적으로 압축할 수 있다.

(3) 분할영역에 따른 특성

압축 과정을 제외하고 DCT를 이용해서 정변환과 역변환 과정을 수행할 경우에 분할영역의 크기에 따른 결과를 관찰한다. 결과는 복원된 fringe의 PSNR과 복원된 객체 영상의 정규화된 상관도(Normalized Correlation, NC)를 조사하여 수행하는데, 그 결과를 그림 8과 9에 나타냈다.

그림 6에서 보이듯이 PSNR의 경우에는 블록의 크기가 커질수록 증가하는 양상을 보이고 있고, NC의 경우

에는 블록의 크기와 크게 연관성이 없음을 그림 7에서 확인할 수 있다.

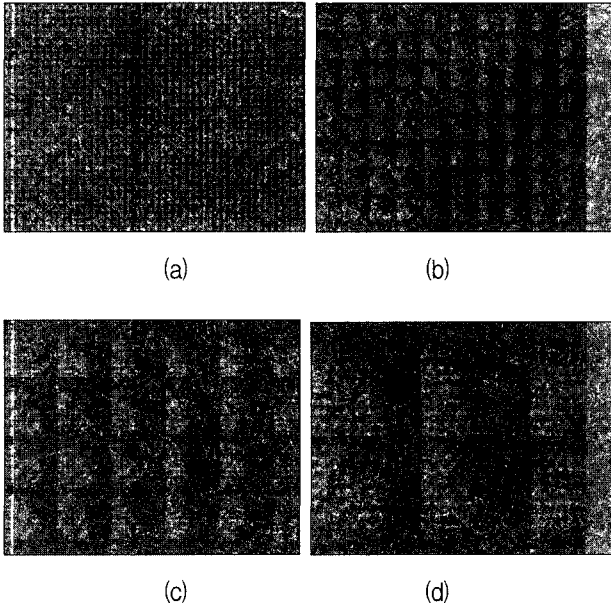


그림 5. fringe의 주파수 변환 결과
 Fig. 5. Frequency transform result of fringe
 (a) 16x16 (b) 128x128 (c) 256x256 (d) 512x512

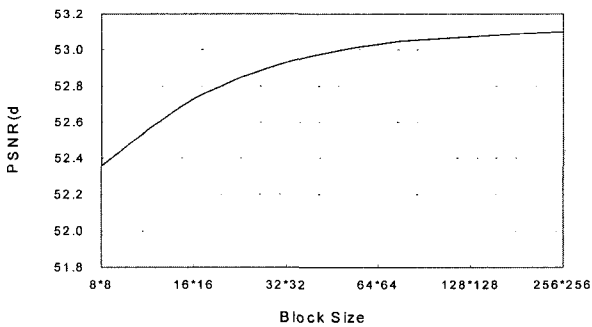


그림 6. 분할과정과 DCT에 의한 객체영상의 NC 결과
 Fig. 6. NC result of object by segmentation and DCT

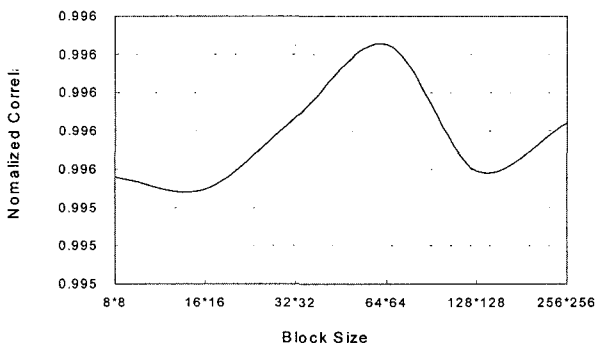


그림 7. 분할과정과 DCT에 의한 객체영상의 NC 결과
 Fig. 7. NC result of object by segmentation and DCT

마. 스캔 및 비디오 시퀀스 형성

분할된 fringe에 대해 독립적으로 DCT를 취하면 동영상 스트림과 유사한 형태의 DCT 계수를 얻을 수 있다. 따라서 이들을 하나의 스트림으로 취급하여 동영상 부호화를 적용할 수 있다. 스트림을 만들기 위해서는 분할된 fringe에 대해 시간적인 순서를 부여해야 하는데, 이를 위한 과정으로 스캔을 수행한다.

(1) 스캔방식

그림 8에 가능한 스캔 방식을 나타냈는데, 2D DCT 이후에 나타난 계수의 시각적인 특성과 효율성 분석을 통해서 스캔방식을 결정한다. 그림 8과 같이 결정되는 동영상 스트림은 MPEG과 같은 동영상 부호화 기술을 통해 GOP 단위로 처리된다. 실험을 통해 위쪽에서 아래쪽으로(혹은 아래쪽에서 위쪽 방향으로) motion이 발생하고 있는 것으로 취급할 수 있음을 확인하였다.

(2) ME/MC에 따른 효율성 분석

그림 8에서 보인 여러 가지 스캔방식들에 대해서 DS(Diamond Searching) 기반의 ME/MC(Motion Estimation/Compensation)를 적용한 후에 비용과 성능을 분석하였다. 먼저 각 스캔 방식들에 따라서 motion을 찾는데 드는 노력을 search point라는 값으로 표현하였고, motion을 추적하고 보상한 결과에 대한 오차를 SAD(Sum of Absolute Differences)라는 값으로 나타냈다.

그 결과를 그림 9, 10 및 11에 나타냈는데 시각적인

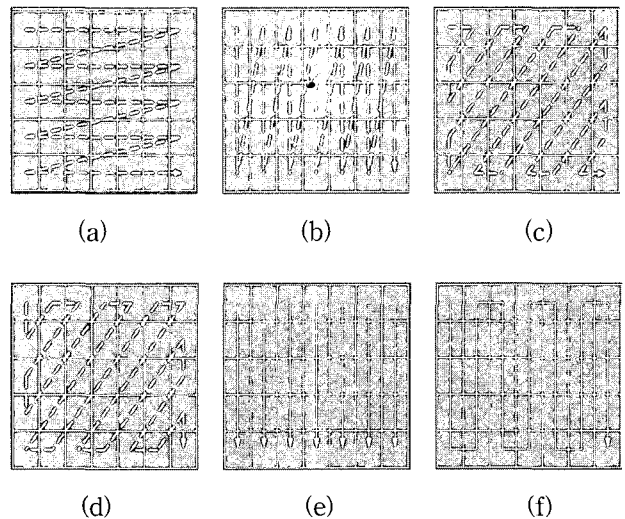


그림 8. 분할된 fringe 영상의 스캔 방식.
 Fig. 8. Scan method of segmented fringe image.

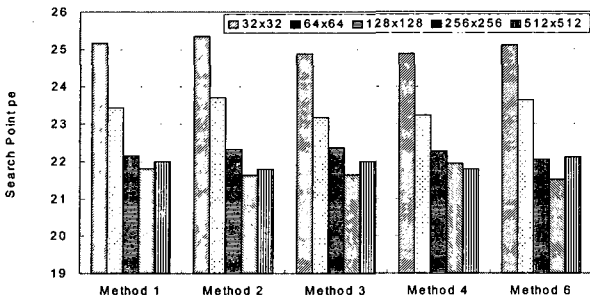


그림 9. 스캔 방법에 따른 DS 방식의 매크로 블록당 탐색 개수 비교

Fig. 9. Comparison of search point per macro block in DS method.

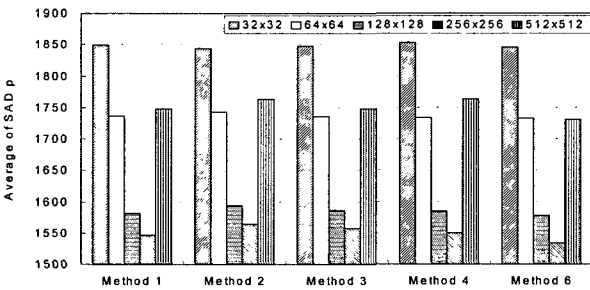


그림 10. 스캔 방법에 따른 DS 방식의 매크로 블록 별 SAD값 비교

Fig. 10. Comparison of SAD value per macro block in DS method.

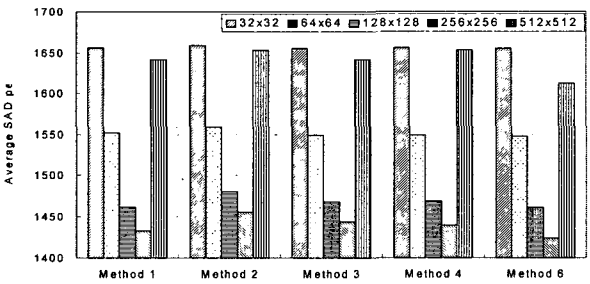


그림 11. 스캔 방법에 따른 매크로 블록의 FS 방식의 SAD값 비교

Fig. 11. Comparison of SAD value per macro block in FS method.

특성에서 예측한 것과 같이 그림 8(f)가 가장 우수한 비용과 성능을 보인다. FS(Full Searching)을 수행할 경우에는 모든 영상에 대해서 동일한 search point를 가지기 때문에 실험결과에서 배제하였다.

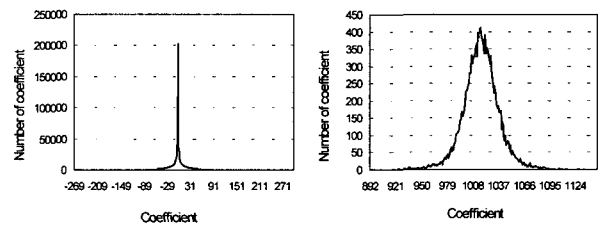
바. 동영상 압축방식을 이용한 하이브리드 부호화

본 절에서는 앞 절에서 가공된 fringe 정보를 표준 압축기술들의 조합을 통해서 부호화하는 알고리즘을 제

안한다.

(1) 압축 및 복원 알고리즘

Fringe의 분할 이후에 DCT를 수행하면 그림 12와 같이 수십에서 수십만의 값을 가지는 DCT 계수가 발생하기 때문에 이들 계수를 곧바로 표준압축 기술들에 적용할 수 없다. 그림 12의 (a)는 0값을 기준으로 주위 계수들의 분포를 나타낸 것이고, (b)는 1017값을 기준으로 주위 계수 값들을 나타낸 것으로 DC 계수에 해당한다. 이와 같이 값의 범위가 넓고 다양한 값을 가지기 때문에 이들을 직접적으로 압축 도구에 입력값으로 적용



(a)

(b)

그림 12. 512x512 크기로 분할된 fringe 패턴의 DCT 계수

Fig. 12. DCT coefficient of segmented fringe pattern with 512x512 size.

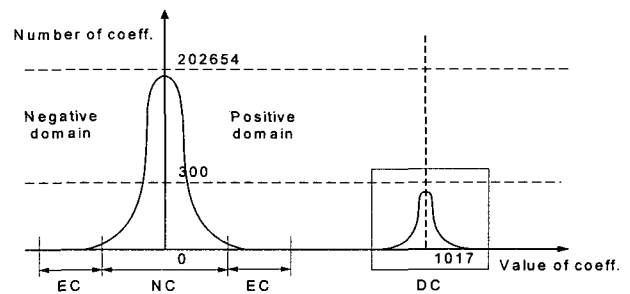
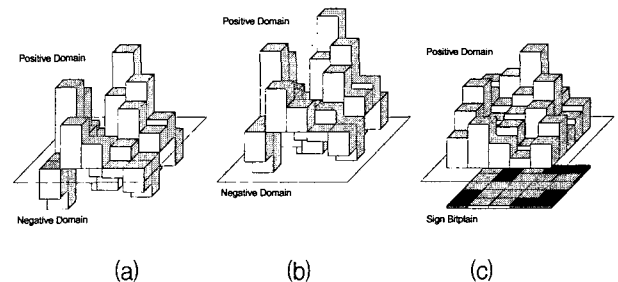


그림 13. DCT 계수의 분류

Fig. 13. Classification of DCT coefficient.



(a)

(b)

(c)

그림 14. DCT 계수의 재구성 (a) 원래의 계수 (b) 레벨 이동 (c) 제안한 방식

Fig. 14. Rearrangement of DCT coefficient (a) original coefficient (b) level shift (c) proposed method.

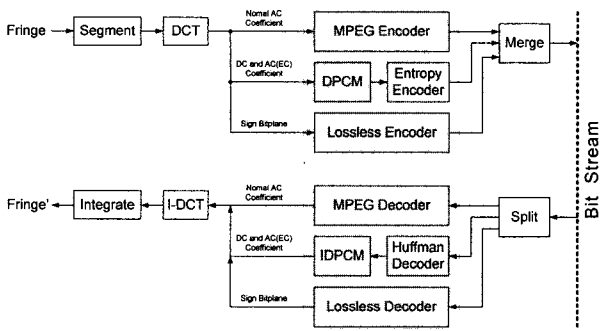


그림 15. 표준압축 기술을 이용한 압축과정
Fig. 15. Compression step using standard compression.

할 수 없고, 적용한다고 할지라도 좋은 압축효율을 기대하기는 어렵다. 계수들의 특성을 분석하여 이들을 분류 및 재조정 후에 각각의 특성에 맞는 압축기술을 적용한다.

그림 12의 계수 분포를 참조하여 계수를 분류하는 방식을 그림 13에 나타냈다. DC 계수와 AC 계수 중 255 이상의 큰 값을 가지는 계수들은 예외계수(Exception Coefficient, EC)로 처리되어 DPCM과 엔트로피 부호화 과정을 통해 압축한다. EC는 발생 빈도수는 극히 적지만 값이 크기 때문에 전체 영상에 큰 영향을 미치므로 예외적인 처리가 필수적이다. 나머지 -256에서 255의 범위의 값들은 일반 계수(Normal Coefficient, NC)로 분류한다.

NC로 구분된 계수들은 -256에서 255의 범위에 속하므로 음의 값을 포함한다. 이러한 음의 값은 MPEG 계열의 영상압축 기술의 입력으로 적당하지 않다. 따라서 NC값의 조정이 필요한데 이전의 Yoshikawa^[6]의 연구에서는 이러한 계수에 대한 특성을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 DCT 계수의 음과 양을 구분하는 부호 비트평면(sign bitplane)을 도입하여 DCT 계수를 양의 값으로 모두 치환하고 값을 평탄화하여 압축 효율을 높이는 방식을 제안한다. 이러한 과정을 그림 15에 나타냈는데 (a)는 DCT 후 원래의 계수를 나타낸다. 그림 14의 (b)와 같이 레벨을 이동한 후에 정규화를 시킬 경우에는 값의 소실이 너무 많아서 좋은 압축결과를 얻지 못한다. 그림 14의 (c)는 제안한 방식으로써 (a)에 나타난 음의 값을 모두 양의 값으로 대치하고 해당 위치를 부호 비트평면에 표시하였다. 이후에 양의 값만으로 이루어진 계수에 대해 압축과정을 수행한다. 또한 부호비트평면은 소실되면 안 되는 중요한 정보이므로 2진 데이터 기반의 무손실압축(Lossless Encoder) 기술을 이용한다. 부호 비트평면의 압축결과는 매우 작은 양이므

로 전체 압축율에 크게 영향을 미치지 않는다. 앞서 설명한 압축과정을 그림 15에 전체적으로 나타냈고 이들 압축 결과들을 하나의 스트림으로 취합하여 압축된 홀로그램을 생성한다.

(2) 예외계수의 처리

그림 15에 나타난 압축과정에서 fringe를 DCT한 후에 분류되는 계수들의 분포를 표 1에 나타냈다. 표 1에서 보이는 것과 같이 EC의 개수는 전체 계수에 대해서 0.1%에도 해당하지 않는다. 따라서 이들을 예외적으로 처리한다고 할지라도 전체 압축율에는 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 계수의 특성상 값이 크기 때문에 전체 계수에 미치는 영향은 비교적 크다.

표 1의 결과에서 bh 압축 방식(BinHex(BINary HEXa-decimal) format(Non-text 파일들을 ASCII 포맷으로 변경하는 방식), BlackHole Format)이 가장 좋은 결과를 보였다. 그림 16에는 부호 비트평면을 나타내는데

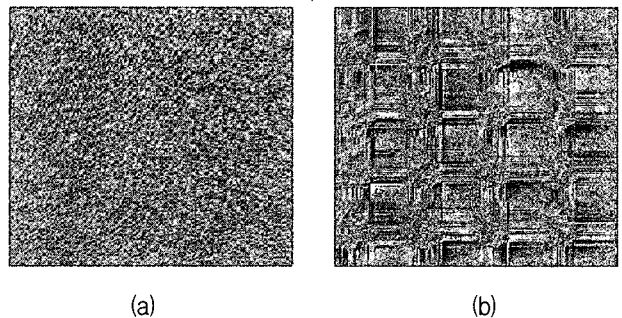


그림 16. Zero bit plane의 결과영상
(a) 16×16 (b) 256×256 분할
Fig. 16. Result image of zero bit plane.
(a) 16×16 (b) 256×256 segment

표 1. Fringe의 DCT 계수 분포

Table 1. Coefficient distribution for DCT coefficient of fringe.

Segment Size	DC Coefficient	AC Coefficient		Sign Bitplane	
		Normal	E.C.	Plus	Negative
8×8	16,384 (1.5625%)	1,032,192 (98.4375%)	0 (0%)	531,796 (50.7203%)	516,780 (49.2797%)
16×16	4,096 (0.3906%)	1,044,480 (99.6094%)	0 (0%)	526,922 (50.2533%)	521,654 (49.7467%)
32×32	1,024 (0.0976%)	1,047,526 (99.8999%)	26 (0.0024%)	524,825 (50.0521%)	523,751 (49.9479%)
64×64	256 (0.0244%)	1,043,378 (99.9543%)	223 (0.0213%)	524,926 (50.0552%)	523,650 (49.9348%)
128×128	64 (0.0061%)	1,047,611 (99.9079%)	883 (0.0842%)	524,264 (49.9878%)	524,312 (50.0122%)
256×256	16 (0.0015%)	1,047,677 (99.9143%)	901 (0.0859%)	526,878 (50.2509%)	521,698 (49.7491%)
512×512	4 (0.0004%)	1,047,866 (99.9322%)	706 (0.0673%)	523,328 (49.9085%)	525,248 (50.0926%)

영상에서 검은 부분이 양의 값을 나타내고 흰 부분의 음의 값을 나타낸다. 표 1에서 보인 것과 같이 각각이 거의 50%의 비율로 구성되고 잡음에 가까운 형태이기 때문에 높은 압축율을 얻을 수는 없고 최대 7:1 정도의 압축율을 가진다.

사. 정지영상 압축기술을 이용한 부호화

CGH를 통해 생성된 fringe를 전처리 과정 없이 JPEG2000으로 압축하고 복원한 후에 다시 원래의 객체 영상을 재 생성하는 과정을 수행하여 정지영상 압축 기술이 홀로그램의 부호화에 미치는 영향을 분석하였다. 그림 2에서 정지영상 압축 방식을 이용한 홀로그램의 압축 기법을 블록도로 보이고 있다.

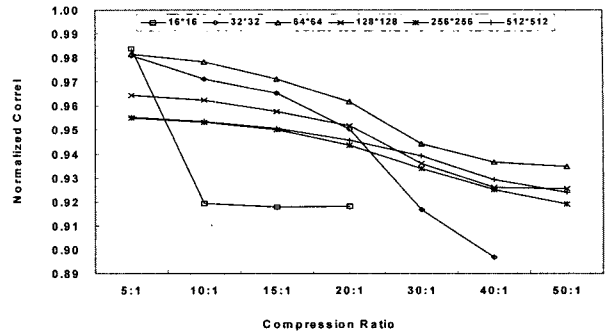
III. 실험

본 장에서는 앞장에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 fringe 영상의 압축 및 복원 결과를 설명한다.

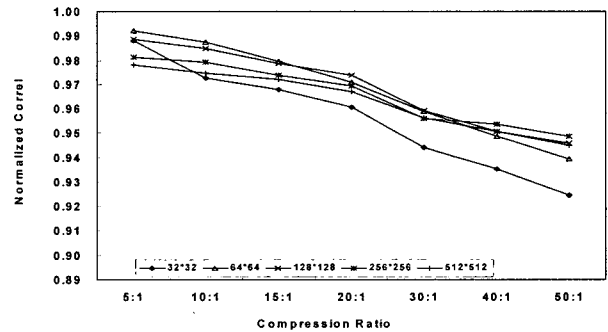
가. 동영상 압축기술을 이용한 압축결과

앞서 설명한 것과 같이 홀로그램의 부호화에는 MPEG-2, MPEG-4, 그리고 H.264/AVC의 국제표준 동영상 압축 기술을 사용하였다. 모두 8-bit 입력 모드인 경우만을 사용하였고 양자화 강도의 조절을 통해서 압축율을 조정하였다. 실험에 사용된 영상은 200×200 크기의 영상이었고, 생성된 fringe는 1024×1024 크기이다. 각 압축 기술은 16×16부터 512×512 크기까지 분할된 fringe에 대해서 모두 적용되었다. 각각의 기술에 대한 압축율에 따른 복원 결과를 그림 17에서 NC의 값으로 나타냈다.

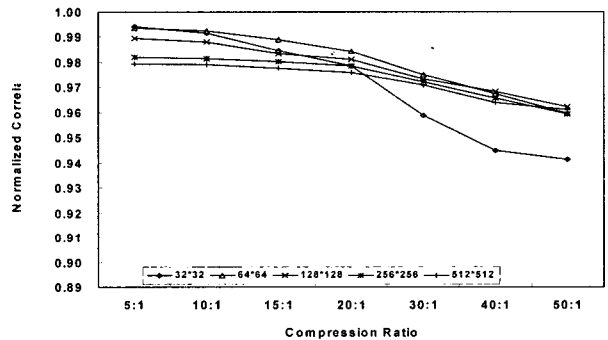
그림 17의 (a), (b), 및 (c)에서 보이는 것과 같이 전체적으로 64×64 크기로 분할되어 처리된 fringe가 가장 좋은 압축 특성을 보였고, 압축 알고리즘의 복잡도와 비례하여 (c)에서 보인 H.264/AVC가 가장 좋은 압축 특성을 나타냈다. 이는 Yoshikawa^[6]와 Thomas^{[7][8]}의 연구에서 각각 최대 6:1과 13:1의 압축률을 보인 것에 비하면 매우 향상된 결과로 분석된다. 또한 이전 연구들과 달리 20:1의 압축율에서도 NC가 0.95 이상을 유지하면서 거의 완벽히 객체 영상이 재생되었고, 50:1의 압축율에서도 MPEG-4의 경우에는 거의 0.9 이상을 유지하였고 AVC를 이용한 경우에는 0.95이상의 NC를 유지하였다. 그림 18과 19에서는 MPEG-4 및 AVC를 이용하



(a)



(b)



(c)

그림 17. 복원된 객체영상의 NC
(a) MPEG-2 (b) MPEG-4 (c) AVC
Fig. 17. NC of reconstruction image.
(a) MPEG-2 (b) MPEG-4 (c) AVC

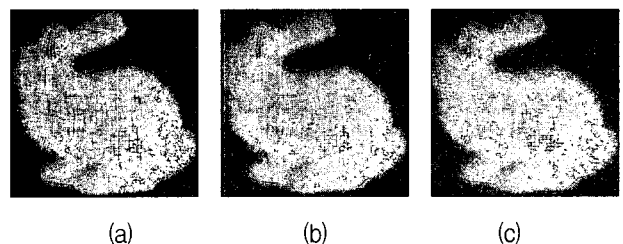


그림 18. MPEG-4에 의한 객체영상의 복원 결과
(a) 원본객체영상 (b) 30:1 (c) 50:1
Fig. 18. Reconstruction result of object image by MPEG-4.
(a) original object image (b) 30:1 (c) 50:1

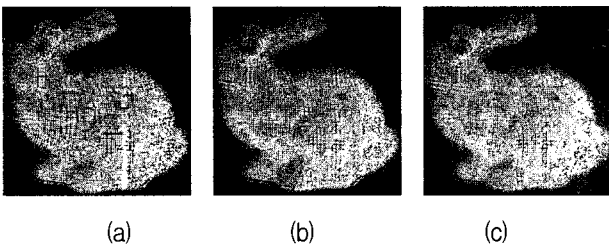


그림 19. AVC 부호화에 의한 객체영상의 복원 결과 (64x64 segment)

(a) 원본객체영상 (b) 30:1 (c) 50:1

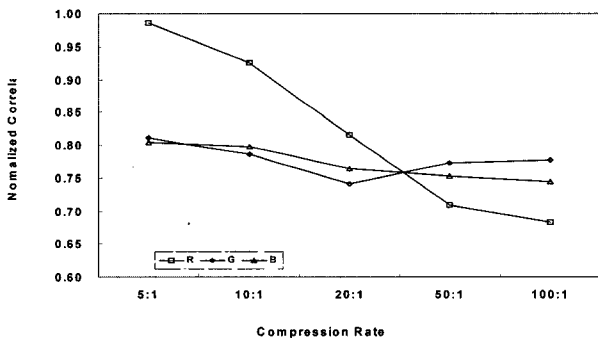
Fig. 19. Reconstruction result of object image by AVC (64x64 segment).

(a) original object image (b) 30:1 (c) 50:1

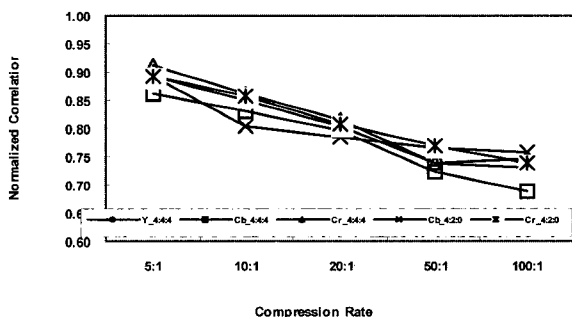
여 압축하고 복원한 후 역 CGH를 거친 객체 영상의 결과를 나타냈다. 복원된 객체 영상의 경우에 50:1의 압축에서도 명확하게 확인할 수 있다.

나. 정지영상 압축기술을 이용한 압축결과

CGH를 통해 생성된 1024x1024 크기의 fringe를 전처리 과정 없이 차세대 정지영상 압축 표준인 JPEG2000



(a)



(b)

그림 20. JPEG2000을 이용한 홀로그램 복원 결과

(a) RGB (b) YCbCr

Fig. 20. Reconstruction result using JPEG2000.

(a) RGB (b) YCbCr

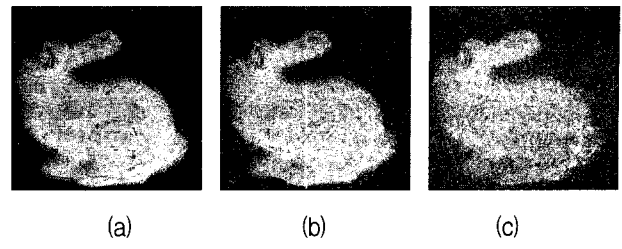


그림 21. JPEG2000 부호화에 의한 객체영상의 복원 결과 (a) 원본 객체영상 (b) 5:1 (c) 20:1

Fig. 21. Reconstruction result of object image by JPEG2000 compression.

(a) Original object image (b) 5:1 (c) 20:1

으로 압축하고 복원한 후에 다시 원래의 객체 영상을 재 생성하는 과정을 수행하여 정지영상 압축 기술이 홀로그램의 부호화에 미치는 영향을 분석하였다.

부호화 결과를 그림 20에 나타냈는데 R 성분을 이용한 결과가 가장 좋은 효율을 보였다. 또한 그림 21에 복원된 객체영상의 결과를 나타냈는데 10:1 이상의 압축에서도 객체영상이 복원되는 것을 관찰할 수 있다. 또한 무손실 압축의 경우에 평균 1.3:1의 압축률을 보였다.

그림 20과 그림 22를 비교하면 fringe 패턴에 대한 압축결과가 알고리즘의 비용에 비례한 다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 20:1의 압축율을 비교해보면 H.264/AVC의 경우에는 모든 경우에 대해서 0.975 이상의 NC를 유지하지만 JPEG2000의 경우에는 0.73에서 0.83의 NC를 가진다. 따라서 단순히 fringe 패턴을 2차원 영상으로 압축하는 것보다는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하는 것이 더욱 적절한 방법이라는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 국제적인 표준기술로 사용되는 다양한 비디오/영상 압축 도구들을 이용하여 fringe 패턴으로 나타나는 디지털 홀로그램을 효율적으로 부호화하는 기술을 제안하였다. CGH의 생성 원리를 바탕으로 하여 비디오 스트림을 구성하고 이를 하나의 동영상으로 취급하여 부호화하는 방식을 제안하였다. 여기에는 CGH를 효율적으로 처리하기 위해 색차 포맷을 변환하는 전처리 과정, 비디오 스트림의 구성을 위한 CGH의 공간적인 분할, 2D DCT를 이용하여 주파수 영역으로 변환하는 과정, 고압축율을 얻기 위해 비디오 스트림을 생

성하는 스캔, 표준 압축 도구를 이용하기 위한 DCT 계수의 분류, 그리고 하이브리드 형태의 압축기술 등을 제안하고 실험을 통해 검증하여 하나의 알고리즘으로 구성하였다. 압축을 위한 부호화 도구에는 정지영상 압축을 위한 JPEG2000을 비롯하여 동영상 압축을 위한 MPEG-2, MPEG-4, 및 H.264와 같은 국제표준 압축 알고리즘들과 여러 무손실 압축 기술들이 포함된다. 제안한 기술들은 유사한 알고리즘뿐만 아니라 비교적 상이한 이전 연구들과 비교할 때에도 4배에서 8배 이상의 더욱 향상된 결과를 보였다. 결과에서 볼 때 더 고압축의 조건에 대해서도 기존의 연구들과 비교할 때 더 좋은 결과를 보일 수 있을 것으로 사료된다. 이는 기존의 연구가 디지털 홀로그램의 특성에 초점을 맞추고 있는 반면에 본 논문에서는 그에 더하여 부호화 기술의 특성과 중간 데이터의 형태에 대해서도 깊이 있게 고려하였기 때문에 더 좋은 결과를 얻을 수 있었던 것으로 분석된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Hariharan, "Basics of Holography", Cambridge University Press, May 2002..
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] K. Sasaki, E. Tanji and H. Yoshikawa, "Data compression for holographic 3D image," The journal of the Institute of Television Engineers of Japan, Vol. 48, No. 10, pp. 1238-1244, Oct. 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] Thomas. J. Naughton, Y. Frauel, B. Javidi and E. Tajahuerce, "Compression of digital holograms for three-dimensional object recognition," SPIE Proc. Vol 4471, pp. 280-289, 2001.
- [8] Thomas. J. Naughton, Y. Frauel, B. Javidi and E. Tajahuerce, "Compression of digital holograms for three-dimensional object reconstruction and recognition," Appl. Opt. 41, No. 20, pp. 4124-4132. Jul, 2002.
- [9] I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," Opt. Lett. 22, pp. 1268-1270, 1997.
- [10] L. Ding, Y. Yan, Q. Xue and G. Jin, "Wavelet packet compression for volume holographic image recognition," Opt. Commun. 216, pp. 105-113, 2003.
- [11] M. Liebling, T. Blu and M. Unser, "Fresnelets : New multiresolution wavelet bases for digital holography," IEEE Trans. Image Process. 12, pp. 29-43, 2003.
- [12] 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.
- [13] JPEG2000 Final Part I: Final Draft International Standard. ISO/IEC FDIS 15444-1, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 N1855, Aug. 2000.
- [14] ISO/IEC 13818-2 : 2000. "Information technology -generic coding of moving pictures and associated audio information - part 2 : video", 12. 2000.
- [15] ISO/IEC 14496-1 MPEG-4 "Coding of Audio -Visual Objects - Part 2 : Visual", Aug. 2002.
- [16] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 ISO/IEC 14496-10 AVC)", Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT-G050, March 2003.
- [17] T. J. Naughton, J. B. McDonald and B. Javidi, "Efficient compression of Fresnel fields for internet transmission of three-dimensional images," Appl. Opt. 42, No.23, pp. 2758-4764, Aug, 2003.
- [18] 손정영, "홀로그래피의 원리와 응용", 붕명, June 2004
- [19] 서정윤, "홀로그래피 응용", 청문각, Feb. 1997
- [20] Y. Frauel and B. Javidi, "Neural network for three-dimensional object recognition based on digital holography," Opt. Lett. Jul 2001.
- [21] I. Yamaguchi and P. D. Scott, "Phase-shifting digital holography," Opt. Lett. 22, pp. 1268-1270, 1997.
- [22] C. Fehn, K. Schueuer, P. Kauff, and A. Smolic,

"Coding Results for EE4 in MPEG 3DAV",
ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9561,
Pattaya, Thailand, March 2003.

[23] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, *"Application and Requirements for 3DAV"*, Doc. N5877, Trondheim, Norway, July 2003.

[24] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, *"Report of 3DAV Exploration"*, Doc. N5878, Trondheim, Norway, July 2003.

— 저 자 소 개 —



서 영 호(평생회원)
 1999년 2월 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)
 2001년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)
 2000년 3월~2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원
 2003년 6월~2004년 6월 한국전기연구원 연구원
 2004년 8월 광운대학교 대학원 졸업(공학박사)
 2004년 11월~2005년 8월 유한대학 연구교수
 2005년 9월~현재 한성대학교 교수
 <주관심분야 : 2D/3D 영상처리, 콘텐츠 보안, SoC 설계, ASIC/FPGA>



이 승 현(정회원)
 1984년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1993년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학박사)
 1992년 3월~현재 광운대학교 전자공학부 교수
 1998년 2월~현재 ISU 상임이사
 2000년 3월~현재 3차원 방송영상학회 이사
 2001년 5월~현재 3차원 영상협회 부회장
 <주관심분야 : 3차원 영상 디스플레이, 3차원 영상 시스템, 디지털 홀로그램>



최 현 준(정회원)
 2003년 2월 광운대학교 전자재료 공학과 졸업(공학사)
 2005년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)
 2005년 3월~현재 광운대학교 일반대학원 박사과정
 <주관심분야 : 영상압축, 워터마킹, 암호학, FPGA/ASIC 설계, Design Methodology>



김 동 욱(평생회원)
 1983년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1985년 2월 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1991년 9월 Georgia 공과대학 전기공학과 졸업(공학박사)
 1992년 3월~현재 광운대학교 전자재료공학과 교수,
 광운대학교 신기술 연구소 연구원
 1997년 12월~현재 광운대학교 IDEC 운영위원
 2000년 3월~현재 인티스닷컴(주) 연구원
 <주관심분야 : 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication>



강 훈 종(정회원)
 1998년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 2월 광운대학교 대학원 졸업(공학석사)
 2002년 2월~현재 한국전자통신연구원 연구원
 <주관심분야 : 디지털 홀로그램, 3D 디스플레이 및 영상처리>