

3차원 집적 영상을 위한 우선순위 전송 기법

조 명 진*, 최 현 호^oA Prioritized Transmission Scheme for Three-Dimensional
Integral ImagingMyungjin Cho*, Hyun-Ho Choi^o

요 약

본 논문에서는 무안경식 3차원 영상처리 기법 중 대표적인 집적 영상 기법을 고려하여 전송 에러를 극복하여 영상 품질을 향상시키는 우선순위 전송 기법을 제안한다. 집적 영상의 각 복셀을 구성하고 있는 픽셀들의 유사성에 기반하여 전송 우선순위를 다르게 설정하고 이에 따라 변조 방식을 다르게 적용한다. 즉, 복셀을 구성하는 해당 픽셀들의 분산값이 작은 경우에는 높은 우선순위를 부여하여 에러에 강한 특성을 갖는 변조 레벨을 사용하여 전송하고, 복셀을 구성하는 해당 픽셀의 분산값이 큰 경우에는 낮은 우선순위를 부여하여 에러율은 높아지지만 빠른 전송률을 제공하는 변조 기법을 사용하여 전송한다. 우선순위의 구분 없이 동일한 변조 레벨을 사용하는 기존 방식 대비, 우선순위가 높은 중요한 영상 데이터 비트열에 에러에 강한 변조 레벨을 적용한 제안 방식의 경우 수신 영상의 peak to sidelobe ratio (PSR)이 개선됨을 확인할 수 있다.

Key Words : 3D video, glasses-free, integral image, priority, adaptive modulation

ABSTRACT

In this paper, we consider a representative integral imaging method in glasses-free 3D image processing and propose a prioritized transmission scheme for guaranteeing a received video quality in error-prone environments. According to the correlation of pixels consisting of each voxel of integral image, we set the priority differently and apply the modulation level according to this priority value. That is to say, the corresponding pixels with small variance are set to a high priority and transmitted by using a low level modulation that is robust under transmission errors, but the corresponding pixels with greater variance are set to a lower priority and transmitted by using a high level modulation that has a high bit error rate but fast transmission rate. Result shows that the proposed scheme that applies the error-robust modulation level to the important image bit stream with the high priority improves the peak to sidelobe ratio (PSR) of the received 3D image, compared with a typical method that use the same modulation level without distinction of priorities.

* 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0025424)

♦ First Author : Hankyong National University, Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, and the Institute for Information Technology Convergence, mjcho@hknu.ac.kr, 정희원

^o Corresponding Author : Hankyong National University, Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, and the Institute for Information Technology Convergence, hhchoi@hknu.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2014-03-086, Received March 14, 2014; Revised May 7, 2014; Accepted May 7, 2014

I. 서 론

최근 3차원 영상 디스플레이 기술에 대한 연구가 활발하다. 특히 기존 스테레오스코픽(stereoscopic) 방식과 같은 안경식 3차원 영상 기술에 이어서 사용자에게 편의를 제공하는 무안경식 3차원 영상 기술에 대한 관심 높아지고 있다^[1-4]. 무안경식 3차원 영상 기술로는 집적 영상(integral imaging), 초다시점 영상 기술(super multi-view imaging), 홀로그래피(holography) 등이 제안되었다^[1-4]. 특히 집적 영상 기술은 상하좌우 모든 방향에서 시차를 갖는 완전시차를 제공하고, 연속적인 시점을 제공하며, 시각적 피로감이 스테레오 방식에 비해 낮다.

무안경식 3차원 영상을 만들기 위해서는 많은 시점을 제공해야 하기 때문에 많은 양의 데이터를 처리해야 하며, 이를 사용자에게 방송하기 위해서는 많은 양의 데이터를 전송해야 한다. 하지만 전송 채널의 대역폭은 기본적으로 제한적이며, 전송 중 발생하는 잡음 및 간섭 등으로 인해 패킷 손실 및 비트 에러가 발생한다. 이러한 전송 채널 상의 장애요인들은 전송 영상의 재생 품질에 악영향을 미치는데, 특히 무안경식 3차원 영상과 같이 전송해야 할 데이터의 양이 매우 많은 경우에는 데이터 전송 중 보다 많은 에러가 발생하게 되므로 이를 극복할 수 있는 효과적인 전송 기법이 필요하다.

지금까지는 video plus depth (VpD)나 스테레오스코픽과 같은 안경식 3차원 영상 데이터에 초점을 맞추어 이에 대한 다양한 우선순위 전송 기법에 대한 연구가 진행되어왔다^[5]. 하지만 본 논문에서는 처음으로 무안경식 3차원 영상 데이터를 고려한 우선순위 전송 기법을 제안한다. 우리는 3차원 영상을 처리하는 대표적인 기술 중 하나인 집적 영상 기법을 고려한다^[1,3,4]. 집적 영상 기법에서는 3차원 물체의 정보를 다양한 시점에서 다수의 2차원 영상으로 기록한다. 이렇게 기록된 2차원 영상을 요소 영상(elementary image)이라 하는데, 요소 영상들은 많은 양의 중복 데이터를 포함하고 있어 이를 전송시 고려할 수 있다. 집적 영상에서는 기록된 요소 영상들로부터 각각의 깊이 정보에 해당하는 픽셀들이 서로 만나 하나의 복셀(voxel)을 이루게 되는데, 이때 해당 픽셀들의 정보는 거의 유사하다고 볼 수 있다. 즉, 복셀을 구성하는 해당 픽셀들의 분산값은 작아진다. 또한, 각 복셀을 구성하는 요소 영상의 해당 픽셀들의 수는 깊이 정보에 따라 달라진다. 따라서 복셀을 구성하는 해당 픽셀들의 서로 다른 분산값을 기반으로 우선순위를 부여하고, 이 우선

순위에 따라 전송방식을 차별화한다면 보다 효율적인 전송이 가능해 진다. 예를 들어, 분산값이 작은 복셀을 구성하는 해당 픽셀들에 대해서는 높은 우선순위를 부여하여 에러에 강인한 특성을 갖는 변조(modulation) 기법을 사용하여 전송하고, 분산값이 큰 복셀을 구성하는 해당 픽셀들에 대해서는 낮은 우선순위를 부여하여 에러율은 높아지지만 빠른 전송률을 제공하는 변조 기법을 사용하여 전송하게 만들 수 있다. 이와 같은 우선순위 전송 기법은 같은 전송 자원을 사용하면서도 중요도가 높은 복셀 영상 정보에 대해서는 에러를 적게 발생시키므로 3D 영상의 재생 품질을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. II장에서는 3D 영상의 전송에 있어서 우선순위를 적용한 기존의 다양한 전송 기법에 대해 살펴본다. III장에서는 고려하는 무안경식 3D 영상 방식으로 집적 영상 기법에 대해 자세히 설명하고, IV장에서 집적 영상의 특징을 고려한 우선순위 전송 방식을 제안한다. V장에서는 제안 우선순위 전송 방식의 다양한 성능 결과를 보여 주며, VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 기존 연구 내용

기존에는 주로 안경식 3차원 영상에 대해 인코딩된 데이터 비트의 중요도를 반영한 다양한 우선순위 전송 기법이 제안되었다. Tan 등이 제안한 방법에서는 3D 비디오 데이터의 전송시 서로 다른 보호 레벨을 적용하기 위하여 에러 정정 코드를 다르게 적용하였다^[6]. 이러한 오류 정정(forward error correction; FEC) 코드의 도입은 중요한 영상 비트를 보호할 수는 있지만, 추가적인 FEC 코딩 비트의 전송으로 인해 메모리 및 대역폭과 같은 시스템 자원을 더 필요로 하는 문제점이 발생한다.

Alajel 등은 칼라 플러스 깊이 맵(color plus depth map) 방식의 스테레오스코픽 3D 영상 방식을 고려한 Unequal Error Protection (UEP) 전송 기법을 제안하였다^[7]. 이러한 영상 데이터에서는 칼라 시퀀스가 깊이 정보보다 복원된 비디오 품질에 더 큰 영향을 미치기 때문에 전송시 깊이 맵보다 칼라 시퀀스에 에러가 적게 발생하도록 보호 레벨을 달리한다. 이를 위해 계층적(hierarchical) 16-Quadrature Amplitude Modulation (QAM)을 이용하여 우선순위가 높은 칼라 데이터는 16-QAM 성상도(constellation)의 최상위 비트(most significant bits)에 할당하고, 우선순위가 낮은 깊이 맵 데이터는 최하위 비트(less significant

bits)에 할당한다.

Hewage 등이 제안한 방법에서는 서비스 품질 (quality of service; QoS)에 따라 다양한 우선순위 클래스를 지원하는 IEEE 802.11e 시스템에서 3D 영상 데이터의 깊이 맵 스트림보다 칼라 비디오 스트림에 더 높은 우선순위를 할당하여 적절한 매체 접속 클래스에 매핑하였다⁸⁾. 이를 통해 전송되는 3D 데이터 스트림의 패킷 손실과 지연 성능이 달라짐을 확인하였다. 비슷하게 깊이 맵 정보보다 칼라 시퀀스에 더 높은 보호 레벨을 할당하여 UEP를 수행하는 전송 기법이 제안되었다⁹⁾. 특별히 여기에서는 차별화된 보호 레벨을 위해 각 데이터의 중요도에 따라 서로 다른 전송 파워를 할당하였다.

Aksay 등은 3D 영상을 모바일 디지털 방송 (DVB-H)으로 서비스할 때 FEC의 효과를 다양한 채널 환경에서 평가하였다¹⁰⁾. 여기에서는 FEC를 통해 왼쪽 비디오는 잘 보호되도록 하고, 오른쪽 비디오는 상대적으로 덜 보호되도록 UEP를 구현하였다. Salim 등은 협력적인 Multiple Input Multiple Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MIMO-OFDM) 시스템에서 가변 low density parity-check (LDPC) 코드와 space-time block code (STBC)의 다이버시티 기법을 사용하여 서로 다른 중요도를 갖는 3D 비디오 시그널의 보호를 위한 UEP 방식을 제안하였다¹¹⁾. 여기에서는 오른쪽 뷰 보다 왼쪽 뷰에 더 높은 우선순위를 매김으로써 UEP 방식을 적용하였다. 아울러 칼라와 깊이 맵 사이의 모션 상관 값을 이용하여 UEP를 실현하는 방법도 제안되었다¹²⁾. 이 방식에서는 디코더에서 여분의 모션 정보가 에러를 없애는데 사용되므로 코딩된 데이터의 모션 정보에 대해서 더 많은 보호를 취한다.

III. 집적 영상 기술

집적 영상은 3차원 정보를 획득하고 디스플레이하는 방법 중의 하나로 무안경식으로 완전 시차 (full parallax)와 연속 시점(continuous viewing points)을 제공한다. 또한 레이저와 같은 능동 광원이 필요 없는 수동 3차원 영상 기술이다. 집적 영상에서는 3차원 영상을 표현하기 위해 서로 다른 시점을 갖는 다양한 2차원 요소 영상을 기록한다³⁾.

이러한 요소 영상을 기록하기 위해서 렌즈 배열과 같은 광학 소자를 사용하는데 이는 그림 1(a)에 나타나 있다. 각각의 렌즈는 3차원 물체의 고유의 시점을 갖는 2차원 영상을 기록하게 되는데 이러한 고유 시

점은 렌즈의 위치와 초점 거리에 따라 달라진다. 따라서 각각의 요소 영상은 3차원 물체의 광선의 방향과 세기를 가진다. 기록된 요소 영상들을 LCD와 같은 디스플레이 장치에 표현해 주고 정면에 동일한 렌즈 배열을 위치해 둠으로써 그림 1(b)와 같이 3차원 영상이 재생될 수 있다. 또한, 그림 2에 나타나 있는 컴퓨터 재생 개념과 다음 식을 사용하여 3차원 영상을 재생할 수 있다³⁾.

$$s_x = \frac{N_x pf}{c_x z}, \quad s_y = \frac{N_y pf}{c_y z} \tag{1}$$

$$R_z(x, y) = \frac{1}{O(x, y)} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} I_{kl} (k \times s_x + x, l \times s_y + y)$$

여기에서 N_x, N_y 는 각각의 요소 영상의 픽셀 수, p 는 렌즈의 크기, f 는 렌즈의 초점거리, c_x, c_y 는 이미지 센서의 크기, z 는 재생되는 깊이, I_{kl} 은 k 열, l 행의 요소 영상, K, L 은 요소 영상의 수, s_x, s_y 는 임의의 깊이에서 3차원 영상을 재생할 때 투과되는 각각의 요소 영상의 이동 픽셀, R_z 는 깊이 z 에서 재생되는 3차원 영상, 그리고 $O(x, y)$ 는 겹쳐지는 픽셀들의 수를 나타내는 행렬이다.

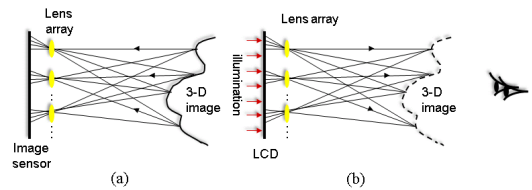


그림 1. 집적 영상의 (a) 기록방법과 (b) 디스플레이 방법
Fig. 1. (a) Recoding method and (b) display method of integral image

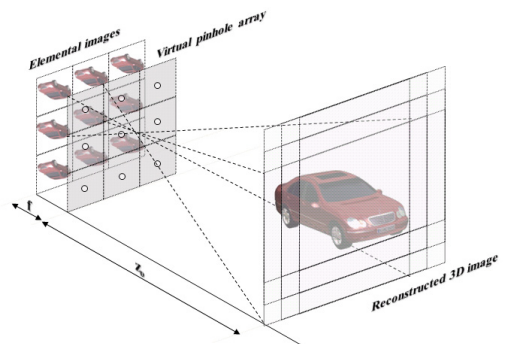


그림 2. 컴퓨터 재생 방법 개념도
Fig. 2. Concept of reconstruction method by computer processing

그림 2에서 알 수 있듯이 복셀을 표현하기 위해서는 각각의 요소 영상들로부터 해당되는 픽셀들이 임의의 깊이에 수렴해야 한다. 즉, 해당되는 픽셀들은 중복되는 픽셀 정보들이다. 그러므로 각각의 깊이 위치에서 중복되는 픽셀들은 각 요소 영상별로 그 위치가 다르다. 다시 말하면, 가까운 거리에 있는 물체에서 나오는 광선은 렌즈 배열을 통해 요소 영상에 기록될 때, 렌즈의 특성에 의해 일부 렌즈들에만 기록이 된다. 반면에 먼 거리에 있는 물체에서 나오는 광선은 평행 빔에 가깝기 때문에 모든 렌즈들에서 기록이 가능하다.

그림 1(b)에서 설명한 집적 영상을 이용한 3차원 영상을 디스플레이하거나 재생하는 방법에서 복셀은 여러 요소 영상에서 각각의 렌즈를 통해 투과되는 픽셀들로 구성된다. 이 픽셀들은 해당되는 깊이에서 유사한 세기의 정보를 가지고 있는데, 이러한 픽셀들의 유사도를 이용하여 각 픽셀별로 전송 우선순위를 부여할 수 있다. 즉, 다음 식을 사용하여 어떤 깊이에서 해당되는 픽셀들의 분산을 구하고 이를 우선순위를 매기는데 설정할 수 있다.

$$v_{kl}^p(x, y, z) = E \left[\left(I_{kl}(x, y) - R_z(k \times s_x + x, l \times s_y + y) \right)^2 \right]$$

$$z_{\min} = \underset{z}{\arg \min} v_{kl}^p(x, y, z)$$

$$\bar{v}_{kl}^p(x, y, z_{\min}) = \frac{v_{kl}^p(x, y, z_{\min})}{\max [v_{kl}^p(x, y, z_{\min})]}$$

(2)

여기에서 v_{kl}^p 는 깊이 방향으로 재생할 때 해당 위치의 픽셀들의 분산값이고, 이 분산값은 영상에 따라 동적으로 변화한다. z_{\min} 은 각 픽셀 위치에서 분산값이 가장 작을 때의 깊이 정보이며, \bar{v}_{kl}^p 는 정규화된 분산값으로 0~1 사이의 실수 값을 가진다. 식 (2)의 분산값이 상대적으로 크다면 주어진 깊이에 해당하는 픽셀들의 정보가 서로 유사하지 않아 복셀을 형성하지 않는다고 볼 수 있으므로 낮은 우선순위를 부여하고, 분산값이 상대적으로 작다면 해당 픽셀들의 정보가 서로 중복되어 유사해 복셀을 형성한다고 볼 수 있으므로 높은 우선순위를 부여한다.

IV. 제안하는 우선순위 전송 방식

각 복셀을 구성하는 픽셀들의 분산값에 따라 우선순위를 달리 설정한 후 우선순위가 높은 픽셀들의 정

보는 에러율이 적은 낮은 레벨의 변조 기법을 사용하여 전송하고, 우선순위가 낮은 픽셀들의 정보는 상대적으로 에러율이 높지만 심벌당 전송 비트 수가 많은 높은 레벨의 변조 기법을 사용하여 전송한다. 이와 같이 변조 기법을 나누어 전송함으로써 전체 필요한 대역폭은 동일하게 유지하면서 우선순위가 높은 중요한 비트 정보에 대해서는 에러율을 낮출 수 있다.

그림 3은 제안 방식의 전체 시스템 동작을 나타낸다. 기존 방식의 경우에는 3D 영상 데이터에 동일한 변조 방식을 적용하지만, 제안 방식의 경우에는 인코딩된 3D 영상 데이터 정보에서 식 (2)를 이용하여 분산값을 구하고 각 픽셀별로 우선순위를 결정한다. 결정된 우선순위 값을 이용하여 인코딩된 데이터를 각 우선순위에 따라 분류하고 높은 우선순위의 데이터별로 낮은 변조 레벨을 사용하여 전송을 수행한다. 전송시 발생하는 잡음에 대해서 에러가 발생할 수 있으므로 이를 감안하여 복조(demodulation)를 수행하고 디코딩을 완료하여 전송하고자 하는 3D 영상 정보를 재

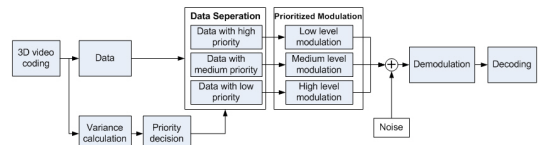


그림 3. 제안방식의 전체 시스템 동작도
Fig. 3. Overall system operation diagram of proposed scheme

표 1. 제안하는 우선순위 결정 알고리즘의 코드
Table 1. Pseudo code of proposed priority decision algorithm

```

01: for each depth n
02:   Sn = {corresponding pixels}
03:   vn = variance of Sn calculated by eq. (2)
04: end

05: for all n
06:   if vn > threshold
07:     Sn → allocate high priority
08:   end
09: end

10: num = number of Sn with high priority
11: sort(vn)
12: for i=1:num
13:   Sn with lowest vn → allocate low priority
14: end

15: for the other remaining Sn
16:   Sn → allocate medium priority
17: end
    
```

생한다.

아울러 제안하는 우선순위 할당 방식 알고리즘은 표 1과 같이 기술된다. 먼저 주어진 깊이 값에 따라 해당 픽셀들을 모으고 이들에 대한 분산값을 결정한다. 이들 픽셀 집합이 갖는 분산값을 기준으로 사전에 정한 임계치와 비교하여 이보다 크다면 픽셀 정보의 유사도가 적음을 반영하여 낮은 우선순위를 할당한다. 제안 우선순위 할당 알고리즘은 우선순위를 구분하지 않는 기존 방안과 비교하여 추가적인 대역폭의 사용이 없으므로 높은 우선순위를 할당한 픽셀의 개수만큼 낮은 우선순위를 할당한다. 따라서 높은 우선순위를 할당한 픽셀 집합의 개수만큼 분산값이 작은 순서대로 해당 픽셀 집합에 낮은 우선순위가 할당된다. 즉, 제안 방안에서는 높은 우선순위를 갖는 픽셀의 개수와 낮은 우선순위를 갖는 픽셀의 개수가 동일하게 된다. 이외 나머지 픽셀 집합에 대해서는 중간의 우선순위가 할당된다.

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

우선순위에 따라 서로 다른 변조 기법을 적용하기 위해서 본 시뮬레이션에서는 M -ary QAM 변조 기법을 사용한다. 여기에서 M 은 심벌당 k 비트를 전송할 때 가질 수 있는 상태 수를 나타내며 $M=2^k$ 가 된다. Additive White Gaussian Noise (AWGN) 채널 환경에서 $M \geq 4$ 인 M -QAM 신호의 심벌 에러 확률 P_s 와 비트 에러 확률(bit error rate; BER) P_b 는 다음과 같이 주어진다^[13].

$$P_M = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3k\gamma}{2(M-1)}} \right) \quad (3)$$

$$P_s = 1 - (1 - P_M)^2 \quad (4)$$

$$P_b = \frac{1}{k} P_s \quad (5)$$

여기에서 γ 는 사용하는 채널의 신호 대 잡음비 (signal-to-noise; SNR)를 나타낸다.

$k=2, 4, 6$ 일 때 4-QAM(즉, Quadrature Phase Shift Keying; QPSK), 16-QAM, 64-QAM의 SNR 대 BER 곡선을 그리면 그림 4와 같이 나타남을 알 수 있다. 즉, SNR이 증가할수록 BER이 서로 확연히 달라진다. 따라서 제안 우선순위 전송 방식에서는 높은 우선순위를 갖는 영상 데이터 비트는 BER이 낮게 나타나는

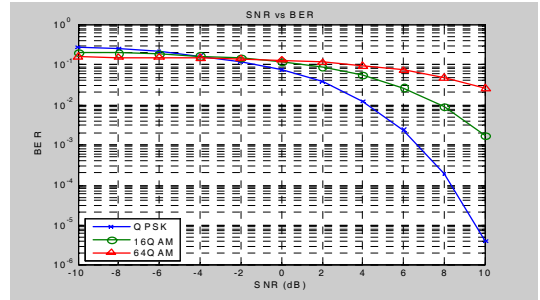


그림 4. M-QAM의 SNR 대 BER 그래프
Fig. 4. SNR vs. BER in M-QAM

QPSK를 사용하고, 낮은 우선순위를 갖는 영상 데이터 비트는 BER이 상대적으로 높게 나타나는 64-QAM을 사용하여 전송한다. 중간 우선순위를 갖는 비트열은 16-QAM을 사용한다. QPSK를 사용하는 만큼 64-QAM을 사용하기 때문에 전송률 및 전송 자원의 사용 측면에서는 기존의 우선순위의 구분 없이 하나의 16-QAM을 사용하는 경우와 비교하여 동일하다.

전송에 사용되는 요소 영상들은 그림 5와 같으며, 이들은 하나의 3D 영상에 대해 서로 다른 위치에서 기록한 총 256개의 이미지로 구성된다. 각 요소 영상의 픽셀별 중요도 값(즉, 1-분산)을 식 (2)를 통하여 구하였을 때 그림 6과 같은 분포를 얻을 수 있었다. 이 중요도 값을 기반으로 우선순위를 결정하는데, 본 시뮬레이션에서는 중요도가 0보다 큰 픽셀에게는 높은 우선순위를 부여하고, 나머지 픽셀에 대해서는 높은 우선순위를 가진 픽셀의 개수만큼 분산값이 작은 순서대로 낮은 우선순위를 할당하였다. 분산값은 사용하는 소스 영상에 따라 다르게 나타나는데 사용한 그림 5의 영상의 경우에는 뒤의 검은 배경을 구성하는 픽셀들은 중요도가 상당부분 0에 가깝게 나타나고, 물

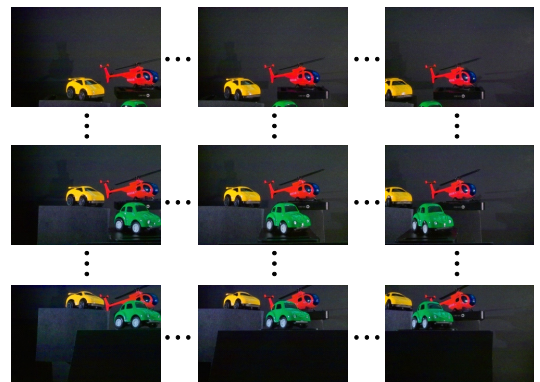


그림 5. 전송에 사용된 3D 요소 영상 (총 256개)
Fig. 5. Transmitted 3D elementary image (total 256 images)

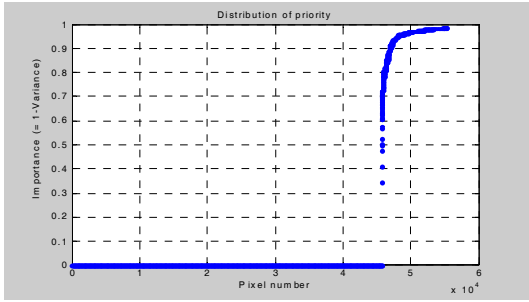


그림 6. 각 요소 영상의 픽셀 별 중요도(1-분산)의 분포
Fig. 6. Distribution of importance (1-variance) of all pixels in each elementary image

체가 놓여 있는 깊이에 해당하는 픽셀들은 중요도가 상대적으로 높게 나타난다.

제안된 우선순위 전송 기술의 효율성을 증명하기 위해 본 논문에서는 비선형 상관 필터를 사용하였다. k -th law 비선형 필터를 사용하였는데^[4], 이 필터는 잡음, 회전, 크기 등에 강한 성능을 가지고 있다. 필터 설계 식은 다음과 같다.

$$c(x) = IFT \left\{ |S(\mu)H(\mu)|^k \exp \left[i(\varphi_s(\mu) - \varphi_H(\mu)) \right] \right\} \quad (6)$$

여기에서 $S(\mu)$ 와 $H(\mu)$ 는 공간 주파수 영역에서의 입력 신호와 참고 신호의 세기이고, $\varphi_s(\mu)$ 와 $\varphi_H(\mu)$ 는 공간 주파수 영역에서의 입력 신호와 참고 신호의 위상의 크기, k 는 비선형 계수로써 0에서 1사이의 실수 값을 가지며, IFT 는 푸리에 역변환을 나타낸다.

원래 소스 3D 영상과 전송되어 복원된 3D 영상 신호 간의 상관관계 결과를 평가하기 위해 다음 식으로 표현된 Peak to Sidelobe Ratio (PSR)를 사용하였다.

$$PSR = \frac{\max [c(x)] - \bar{c}(x)}{\sqrt{\text{var} [c(x)]}} \quad (7)$$

여기에서 $\bar{c}(x)$ 는 상관관계 값의 평균이고 var은 분산이다. PSR가 클수록 입력 신호가 원 신호와 유사하다.

그림 7은 SNR이 0 dB 일 때 녹색 차가 있는 깊이 영역에서의 우선순위 전송 기법의 사용 유무에 따른 PSR의 변화를 보여준다. 표시한 바와 같이 우선순위 전송을 사용하였을 경우 PSR이 향상되었음을 확인할 수 있다. 이는 제안 우선순위 전송방식을 사용하는 경우에 해당 깊이에서 필요로 하는 중요도가 높은 픽셀

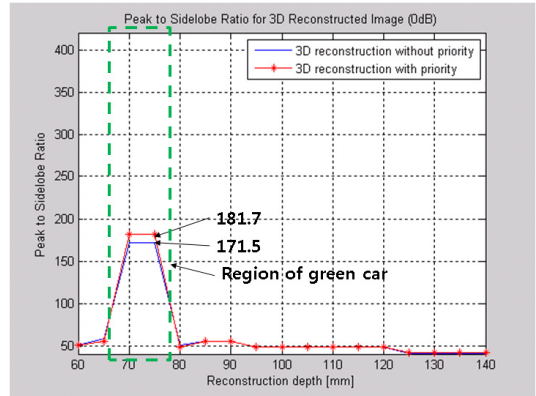


그림 7. SNR=0 dB에서 Peak to Sidelobe ratio (PSR)
Fig. 7. Peak to Sidelobe ratio (PSR) when SNR=0 dB

정보에 대해서 에러 발생 확률이 더 작기 때문이다.

그림 8은 원본 요소 영상과 0 dB의 SNR에서 세 개의 요소영상에 대해서 우선순위 전송의 사용 유무에 따라 수신한 요소영상을 보여준다. 육안으로 보았을 때 우선순위 전송 방식을 사용하였을 경우 관심을 갖는 물체들이 조금 더 뚜렷함을 확인할 수 있다. 맨 앞에 위치한 녹색 차 보다는 뒤에 위치한 빨간색 헬리콥터와 노란색 차의 화질 개선이 더 큼을 볼 수 있는데, 이는 녹색 차의 깊이 값이 다른 물체에 비해 상대적으로 작음으로써 중복되는 픽셀의 수가 적어 분산 값이 커지고, 이로 인하여 우선순위가 낮아지기 때문이다. 반면에, 뒤에 있는 노란색 차와 빨간색 헬리콥터는 상대적으로 많은 중복 픽셀 수를 가져 분산값이 작아지기 때문에 우선순위가 높아진다. 따라서 상대적으로 화질이 개선됨을 알 수 있다.

그림 9는 0 dB의 SNR에서 수신된 요소 영상들을

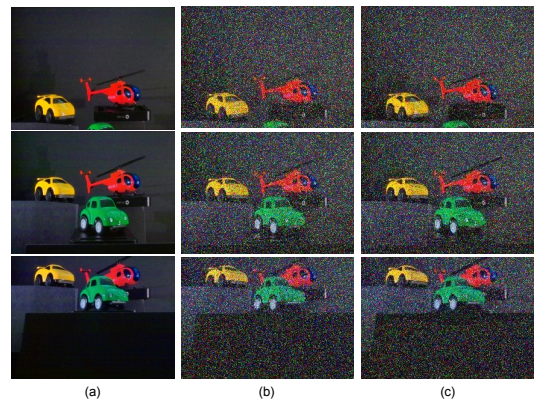


그림 8. (a) 원본 요소 영상, (b) 우선순위 없이 수신된 이미지, (c) 우선순위 기법으로 수신된 이미지 (SNR=0 dB)
Fig. 8. (a) Original images, (b) Received images without priority, and (c) Received images with priority (SNR=0 dB)

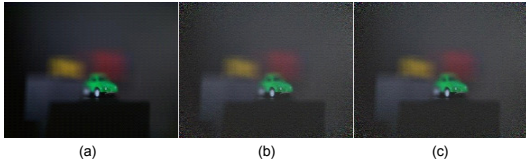


그림 9. (a) 원래 3D 복원 영상, (b) 우선순위 전송이 없을 때 복원된 3D 영상, (c) 우선순위 전송을 사용할 때 복원된 3D 영상 (깊이 값 $z=75\text{mm}$, $\text{SNR}=0\text{ dB}$ 일 때)
 Fig. 9. (a) Original 3D reconstruction, (b) 3D reconstruction without priority, and (c) 3D reconstruction with priority when $z=75\text{mm}$ and $\text{SNR}=0\text{ dB}$

가지고 75mm의 깊이에 대해, 에러가 없을 때와 우선 순위 전송 기법의 사용 유무에 따라 3D 영상으로 복원한 이미지를 보여준다. 제안하는 우선순위 전송 기법의 적용 유무에 따른 영상 품질의 개선 정도는 육안으로는 확인이 어렵지만, 약간의 개선이 있음을 그림 10의 PSR 결과를 통해 확인할 수 있다.

그림 10은 우선순위 전송 기법의 사용 유무에 따라 SNR 변화에 따른 최대 PSR 값을 보여준다. SNR이 증가할수록 제안방식을 사용할 경우 PSR 향상 정도가 커지다가 약 5 dB 이상의 SNR에서는 역전현상이 나타남을 볼 수 있다. SNR이 작을 때 개선 정도가 작아지는 이유는 그림 4의 SNR대 BER 그래프에서 볼 수 있듯이 우선순위에 따라 다르게 적용한 변조 기법의 BER 성능의 차이가 거의 나지 않기 때문이다. 하지만 SNR이 증가할수록 우선순위에 따라 다르게 적용한 변조 기법의 BER 차이가 커지고 우선순위가 높은 비트의 BER 성능이 좋아지므로 우선순위 전송 기법을 사용한 경우에 PSR 향상 정도가 증가하게 된다. 5 dB 이상으로 SNR이 증가하는 경우에는 우선순위 기법을 사용하지 않은 경우에 PSR 성능이 더 좋은데, 이는 그림 11에 나타난 SNR대 평균 BER 성능으로 해석이 가능하다. 그림 11은 우선순위의 적용 유무에 따라 사용한 변조기법에 상관없이 전체 송신 비트의 평균 BER을 구한 것이다. 이를 보면 SNR이 5 dB 이상에서는 우선순위를 적용하여 세 개의 변조 레벨 QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 나누어 사용하여 전송한 경우에 우선순위 적용 없이 하나의 변조 레벨 16-QAM을 사용한 경우 보다 평균 BER이 약간 높음을 확인할 수 있다. 이와 같은 각 변조 레벨의 BER 특성에 의해 SNR이 높아지면 우선순위를 고려하지 않는 것이 전체 BER 성능을 좋게 하기 때문에, 높은 SNR 영역에서는 우선순위 전송 기법을 사용하지 않는 것이 영상 품질에 더 좋은 영향을 미친다. 하지만 통신 환경에서 주로 나타나는 중간의 SNR 영역인 약 -5~5 dB에서는 품질 향상 이득이 확실히 있음을 확인

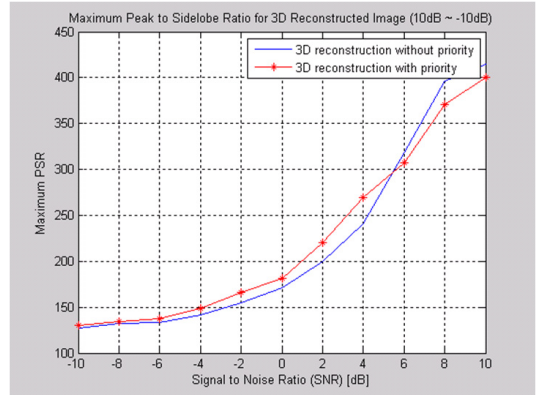


그림 10. SNR에 따른 최대 PSR
 Fig. 10. Maximum PSR vs. SNR

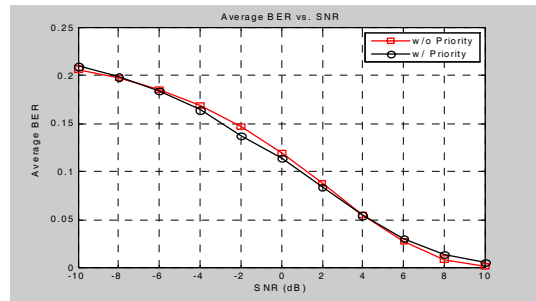


그림 11. 우선순위 전송 기법의 사용 유무에 따른 SNR 대 평균 BER
 Fig. 11. SNR vs. average BER without or with prioritized transmission scheme

할 수 있다. 이러한 PSR 성능 향상 정도는 사용한 소스 이미지에 따라 달라지는데, 본 시뮬레이션을 통해 우선순위 전송이 3D 영상의 재생 품질에 어느 정도 유익한 영향이 있음을 확인할 수 있다. 아울러 이러한 SNR 변화에 따른 성능 개선 여부를 기반으로 전송시 변화하는 SNR 값에 따라 우선순위 전송 기법의 사용 여부를 판가름 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 무안정식3D 집적 영상 데이터의 효율적인 전송을 위하여 집적 영상의 각 복셀을 구성하고 있는 픽셀들의 유사성에 따라 전송 우선순위를 매기고 이에 따라 변조 방식을 다르게 적용함으로써 수신 영상의 품질을 개선하였다. 우선순위 없이 동일한 변조 방식을 사용하는 기존 방식 대비 우선순위가 높은 중요한 영상 데이터 비트열에 에러에 강인한 변조 방식을 적용한 경우에 수신 영상의 PSR이 개선됨을 확인할 수 있었다. 전송 채널의 SNR의 변화에 따라

성능 이득 효과를 보았을 때 -5~5 dB의 중간 SNR 영역에서 이득이 있음을 확인하였다. 따라서 제안하는 우선순위 전송 기법은 3D 집적 영상의 전송시 전송 채널의 품질에 따라 적응적으로 적용 가능하다. 추후에는 다양한 3D 영상 소스에 대해서 우선순위 전송 기법의 성능을 확인하고, 보다 다양한 변조 기법과 함께 채널 코딩 및 스케줄링 등과 같은 우선순위를 지원하는 추가적인 전송 기법을 제안한다.

References

[1] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus Academie des Sciences*, vol. 146, no. 9, pp. 446-451, May 1908.

[2] S. A. Benton and V. M. Bove, *Holographic Imaging*, New York: Wiley-Interscience, 2008.

[3] M. Cho, M. Daneshpanah, I. Moon, and B. Javidi, "Three-dimensional optical sensing and visualization using integral imaging," in *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 4, pp. 556-575, Mar. 2011.

[4] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," *Optics Express*, vol. 12, no. 3, pp. 483-491, Feb. 2004.

[5] J. Chakareski, "Adaptive multiview video streaming: challenges and opportunities," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 5, pp. 94-100, May 2013.

[6] A. S. Tan, A. Aksay, C. Bilen, G. B. Akar, and E. Arikan, "Error resilient layered stereoscopic video streaming," in *Proc. 3DTVCON*, pp. 1-4, Kos Island, Greece, May 2007.

[7] K. M. Alajel, W. Xiang, and Y. Wang, "Unequal error protection scheme based hierarchical 16-QAM for 3-D video transmission," *IEEE Trans. Consumer Elect.*, vol. 58, no. 3, pp. 731-738, Sept. 2012.

[8] C.T.E.R. Hewage, S. Nasir, S.T. Worrall, and M.G. Martini, "Prioritized 3D video distribution over IEEE 802.11e," in *Proc. Future Netw. Mobile Summit*, pp. 1-9, Florence, Jun. 2010.

[9] C. T. E. R. Hewage, Z. Ahmad, S. T. Worrall,

S. Dogan, W. A. C. Fernando and A. Konoz, "Unequal error protection for backward compatible 3-D video transmission over WiMAX," in *Proc. IEEE ISCAS*, pp. 125-128, Taipei, Taiwan, May 2009.

[10] A. Aksay, M. O. Bici, D. Bugdayci, A. Tikanmaki, A. P. Gotchev, and G. B. Akar, "A study on the effect of MPE-FEC for 3D video broadcasting over DVB-H," in *Proc. Int. Mobile Multimedia Commun.*, pp. 1-4, London, UK, Sept. 2009.

[11] O. H. Salim and W. Xiang, "Prioritized 3-D video transmission over cooperative MIMO-OFDM systems," in *Proc. DICTA*, pp. 225-230, Noosa, QLD, Dec. 2011.

[12] C. T. E. R. Hewage, S. Worrall, S. Dogan, and A. M. Konoz, "Frame concealment algorithm for stereoscopic video using motion vector sharing," in *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia and Expo*, pp. 485-488, Hannover, Germany, Jun.-Apr. 2008.

[13] J. Lee, D. Yoon, K. Hyun, and S. K. Park, "Performance of Generalized BER for Hierarchical MPSK Signal," *J. KICS*, vol. 31, no. 9C, pp. 817-928, Sept. 2006.

[14] B. Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum Based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 12, pp. 2358-2367, Jun. 1989.

조 명 진 (Myungjin Cho)



2003년 2월 : 부경대학교 전자
정보통신공학과 졸업
2005년 2월 : 부경대학교 정보
통신공학과 졸업
2005년 2월~2007년 7월 : 삼성
전자 선임연구원
20011년 12월 : University of

Connecticut Electrical Engineering 박사
2012년 1월~2012년 8월 : University of Connecticut
Post Doctoral Fellow
2012년 9월~현재 : 국립환경대학교 전기전자제어공
학과 조교수

<관심분야> 3차원 광신호처리, 집적영상, 홀로그래
피, 마이크로스코피, 광자계수 영상, 광학적 압호
화, 수중 영상처리, 3차원 물체 인식 및 추적

최 현 호 (Hyun-Ho Choi)



2001년 2월: KAIST 전기 및
전자공학과 졸업

2003년 2월: KAIST 전기 및
전자공학과 석사

2007년 2월: KAIST 전기 및
전자공학과 박사

2007년 3월~2011년 2월: 삼성
종합기술원 전문연구원

2011년 3월~현재: 국립한경대학교 전기전자제어공
학과 조교수

<관심분야> 차세대 무선통신시스템, 멀티미디어 데
이터 전송, 분산자원관리, 생체모방 알고리즘