

# 해양 채널 환경에서 3D 입체영상의 전송을 위한 계층변조 기법

유 동 호\*, 이 성 로\*, 김 동 호<sup>o</sup>

## Hierarchical Modulation Scheme for 3D Stereoscopic Video Transmission Over Maritime Channel Environment

Dongho You\*, Seong Ro Lee\*, Dong Ho Kim<sup>o</sup>

### 요 약

최근 방송통신 및 비디오 코딩 기술의 급격한 발전으로 인해 3D 입체영상에 기반을 둔 실감 미디어 서비스의 요구는 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 요구는 가정 내 고정된 3DTV 뿐만 아니라 개인 스마트기기, 자동차, 철도, 그리고 선박과 같이 자유롭게 이동하는 무선 채널 환경에서도 반드시 만족되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 실감 미디어 서비스의 요구를 만족하기 위해 직접파가 반사파 보다 우세한 해양 라이시안 채널 환경을 고려하여 3D 입체영상을 전송한다. 또한 3D 입체영상은 일반적으로 V+D (Video plus Depth) 포맷을 통해 표현되기 때문에 이 포맷에 특성을 고려하여 계층 4/16-QAM을 적용한 비균등 오류보호 기법도 제안한다. 이는 아무리 수신 채널의 상태가 나쁜 선박이라도 중간에 끊어짐이 없이 방송서비스를 제공받을 수 있는 기술로 기대된다.

**Key Words** : Hierarchical Modulation, 3D Stereoscopic Video, Maritime Channel

### ABSTRACT

Recently, Due to the rapid growth of broadcasting communication and video coding technologies, the demands for immersive media contents based on 3D stereoscopic video will increase steadily. And the demands must ultimately provide the contents for users which are in wireless channel such as vehicle, train, and ship. Thus, in this paper, we transmit the 3D stereoscopic video over the maritime Rician channel that direct wave is more dominant than reflective wave. Besides, we present unequal error protection (UEP) by applying hierarchical 4/16-QAM to V+D(Video plus Depth) format which can represent 3D stereoscopic video. We expect our system to provide seamless broadcasting service for users with poor reception condition.

※ 본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2012R1A1A2044903) 및 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT 융합 고급인력 과정보조사업(IITP-2015-H8601-15-1006)의 연구결과로 수행되었음

• First Author : The Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, youdongho@seoultech.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : The Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology, dongho.kim@seoultech.ac.kr, 종신회원

\* Dept. of Information & Electronics Engineering, Mokpo National University, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원  
논문번호 : KICS2015-04-094, Received April 2, 2015; Revised July 9, 2015; Accepted July 9, 2015

## I. 서 론

최근 급격한 방송통신 및 비디오 코딩 기술의 발전으로 인해 멀게만 느껴졌던 3DTV 및 UHDTV (Ultra High Definition TV)의 서비스 상용화가 이루어 졌다. 그러나 실감 미디어에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있기 때문에, 앞으로 3DTV는 MTV (Multi-viewpoint TV)를 넘어서 FTV (Free-viewpoint TV)<sup>[1]</sup>로 발전 할 것으로 예상된다.

이미 비디오 코딩 분야에서는 MTV 및 FTV에 기초가 되는 연구들이 활발하게 수행되어 왔으며, 최근에는 MTV를 위한 3D 비디오 포맷의 특성을 고려한 비균등 오류 보호 (UEP: Unequal Error Protection)기법의 연구가 주목을 받고 있다. 이는 송신되는 데이터의 종류에 따라 중요도를 달리하여 서로 다른 오류보호능력을 할당하는 기법으로써, 계층적 비디오 코딩 (SVC: Scalable Video Coding)기법이 연구됨에 따라 주목받기 시작하였다. 일반적으로 비균등 오류보호 기법은 크게 채널코딩<sup>[2]</sup>을 통한 방법과 계층변조 (Hierarchical Modulation)<sup>[3]</sup>를 통한 방법으로 나눌 수 있다. 즉, 중요도가 높은 송신 신호에게 더 낮은 부호율(Code Rate) 및 최상위 비트 (MSB: Most Significant Bit)를 할당함으로써 중요도가 낮은 송신 신호보다 보다 강력한 오류보호 능력을 지니게 하는 것이다.

현재까지 연구된 3D 비디오 포맷을 고려한 비균등 오류보호 기법들은 CSV (Conventional Stereo Video) 포맷과 V+D (Video plus Depth) 포맷의 특성을 고려했다<sup>[4]</sup>. CSV 포맷은 좌안과 우안에 상응하는 2개의 2D 컬러영상을 통해 3D 입체영상을 표현하는 방법으로, 2DTV와의 역호환성을 위해 좌안영상이 우안영상에 비해 더 높은 중요도를 가진다. 또한 V+D 포맷은 1개의 2D 컬러영상과 그에 상응하는 깊이영상 (Depth Video)을 가지고 DIBR (Depth Image Baded Rendering)<sup>[5]</sup>을 통해 3D 입체영상을 표현하는 방법이다. DIBR 통해 생성되는 3D 입체영상의 화질은 2D 컬러영상의 화질에 많은 영향을 받으므로, 2D 컬러영상이 깊이영상에 비해 더 높은 중요도를 가진다. 따라서 CSV 포맷의 좌안영상 또는 V+D 포맷의 2D 컬러영상에 보다 강력한 오류보호 능력을 할당하여, 아무리 수신 채널의 상태가 나쁜 사용자라도 2D 컬러영상만큼은 반드시 수신하게 하는 것이 3D 비디오 포맷을 고려한 비균등 오류보호의 주된 목적이다.

사실상 이미 다양한 논문들이 CSV 포맷 및 V+D 포맷의 특성을 고려하여 부호율이 다른 채널코딩 및

계층변조를 사용하여 가우시안 채널 환경에서 이를 제안하였다. 하지만 3D 입체영상 기반의 실감미디어 방송서비스는 가정 내 고정된 3DTV를 넘어 개인 스마트기기, 자동차, 철도 그리고 선박과 같이 자유롭게 이동하는 무선 채널 환경에서도 반드시 서비스 되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 3D 입체영상의 전송을 위해 직접파가 반사파 보다 우세한 해양 라이시안 채널 환경을 고려하며, 3D 비디오 포맷 중 V+D 포맷을 고려한 계층 4/16-QAM을 제안하며, 이에 대한 성능분석 및 평가를 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3D 입체영상의 포맷 및 계층변조에 대한 기초배경을 기술하고, 3장에서는 해양 채널 환경에서 3D 입체영상의 전송을 위한 시나리오와 가우시안 채널 환경에서의 비트 오류율 (BER: Bit Error Rate)의 성능분석을 수행한다. 그리고 4장에서는 모의실험을 통해 제안하는 시스템의 BER과 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)의 성능도출 후, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 연구의 배경

### 2.1 3D 입체영상의 표현을 위한 포맷

#### 2.1.1 CSV (Conventional Stereo Video) 포맷

CSV 포맷은 약 6cm정도 되는 인간의 좌안과 우안 사이의 거리의 특성을 이용한 방식으로써, 그림 1의 (a)와 같이 좌안과 우안에 해당하는 2개의 2D 컬러영상(또는 시점)을 사용하여 3D 입체영상을 표현한다. 일반적으로 이 영상들을 비트단위로 채널코딩 및 변조되기 전에 비디오 인코딩 작업이 필요하다. 그 중에서도 가장 간단한 방법은 두 영상을 H.264/AVC와 같은 단일 영상 인코더로 각각 인코딩하는 것이며, 이를 Simulcast Encoding이라고 부른다.

#### 2.1.2 V+D (Video plus Depth) 포맷

V+D 포맷도 CSV 포맷과 함께 3D 입체영상의 표현을 위한 포맷이다. 이는 그림 1의 (b)와 같이 1개의 2D 컬러영상과 각 픽셀에 상응하는 깊이영상을 가지고 3D 입체영상을 표현한다. 일반적으로 3D 입체영상의 표현을 위해 DIBR 기법을 사용하는데, 이는 보다 적은 수의 컬러영상과 깊이영상을 가지고 중간시점의 영상을 생성하여 사용자에게 N개의 영상을 제공하기 때문에 CSV 포맷 보다 전송효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. V+D 포맷도 채널코딩 및 변조되기

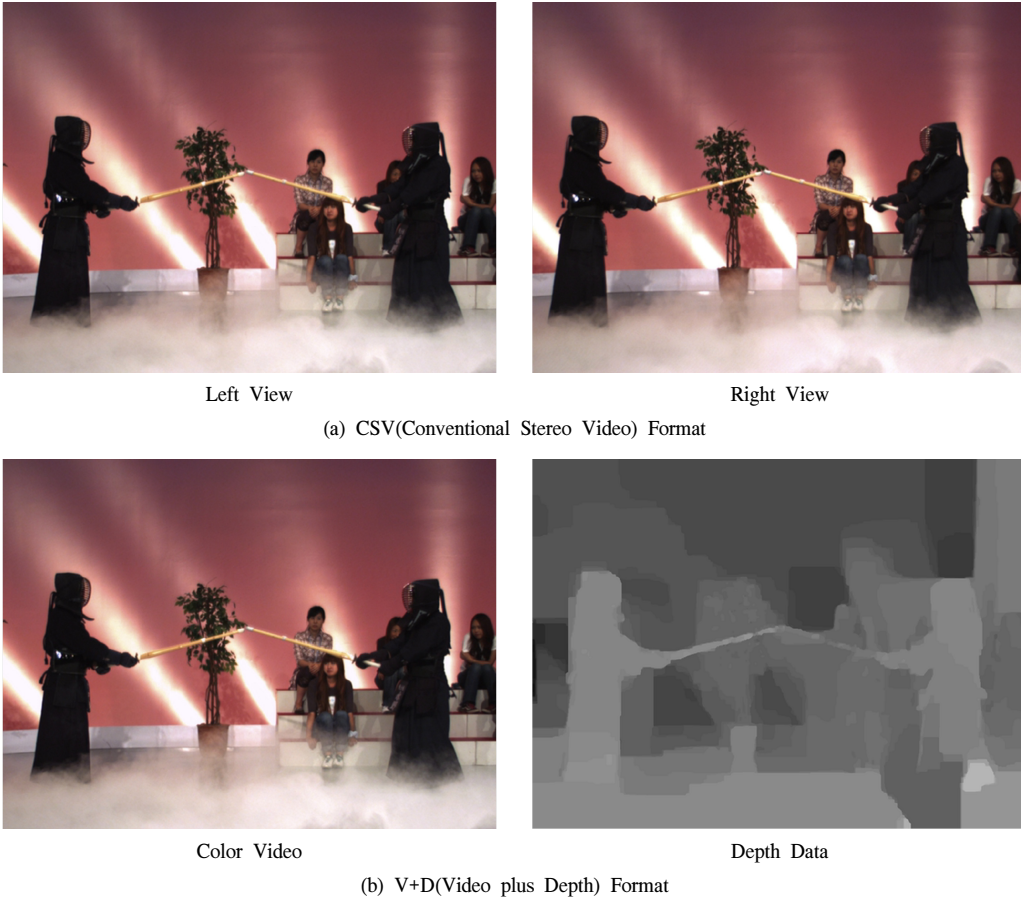


그림 1. 3D 입체영상의 표현을 위한 포맷  
Fig. 1. 3D Video Formats

전에 비디오 인코딩 작업을 수행하는데, 그 중 가장 쉬운 방법은 CSV 포맷과 동일하게 Simulcast Encoding이지만, 예측구조를 이용하는 MVC (Multi-view Video Coding)<sup>[6]</sup>를 사용하면 보다 향상된 전송효율을 얻을 수 있다.

### 2.2 계층변조 (Hierarchical Modulation)

계층변조<sup>[7]</sup>는 일반적으로 채널의 상태가 서로 다른 사용자들에게 효과적으로 데이터를 전송하기 위해서 서로 다른 계층 (Class)을 제공하는 기법이다. 따라서 무선 채널의 상태가 나쁜 사용자는 가장 기본 계층의 데이터만 수신하는 반면에 무선 채널의 상태가 좋은 사용자는 모든 계층의 데이터를 수신 할 수 있다.

그림 2는 계층 4/16-QAM의 성상도를 나타낸다. 여기서 검정 포인트는 HP (High Priority) 데이터와 매핑된 MSB를 나타내는 가장 포인트이며, 실질적으로 전송되는 포인트는 흰색 포인트로써, LP (Low

Priority) 데이터와 매핑된 LSB (Least Significant

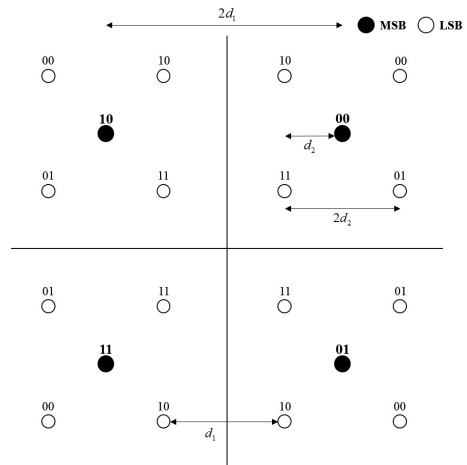


그림 2. 계층 4/16-QAM의 성상도  
Fig. 2. The Constellation of Hierarchical 4/16-QAM

Bit)를 나타낸다. 또한  $2d_1$ 과  $d_1$ 은 각각 4분면 사이의 중심거리와 최소거리를 나타내고,  $2d_2$ 와  $d_2$ 는 각각 한 분면 내에 있는 각 포인트 사이의 거리와 중심거리를 나타낸다. 일반적으로 HP비트와 LP비트를 위한 비균등 오류보호를 얻기 위해서는  $d_1 > 2d_2$ 를 만족해야 하며, 이를 계층변조 지수  $\alpha = d_1/2d_2$ 로 표현할 수 있다. 만약  $\alpha$ 가 증가하면 MSB에 대한 BER 성능은 향상되는 반면에, LSB에 대한 BER 성능은 상대적으로 저하되는 특징이 있다.

### III. 시스템 모델

**3.1 3D 입체영상의 전송을 위한 계층 4/16-QAM**  
 본 논문은 그림 3과 같이 3D 입체영상을 인공위성을 통해 선박 내에 있는 사용자에게 제공하는 시나리오를 제안한다. 특별히 그림 4와 같이 방송국은 3D 입체영상 방송서비스를 위해 2D 컬러영상과 그에 상응하는 깊이영상을 각각 MVC를 통해 인코딩한다. 그 후 DIBR을 통해 3D 입체영상을 생성할 때 더 많은 영향을 미치는 2D 컬러영상은 HP 데이터이기 때문에 MSB에 매핑하고, 깊이영상은 LP 데이터이기 때문에 LSB에 매핑한다. 이렇게 계층 4/16-QAM을 통해 변조된 심볼들은 인공위성을 통해 사용자에게 전송되어진다.

특별히 본 논문에서 고려하는 해양 채널 환경은 직접파가 반사파보다 우세하기 때문에 라이시안 페이딩 채널로 모델링한다. 하지만 라이시안 페이딩 채널은 K-factor에 따라 BER 성능이 달라진다. 일반적으로 K-factor가 0dB 이면 LOS (Line of Sight) 성분이 존재하지 않기 때문에 크기 분포는 Rayleigh 확률밀도 함수를 갖게 되어 BER이 증가하는 반면에 K-factor

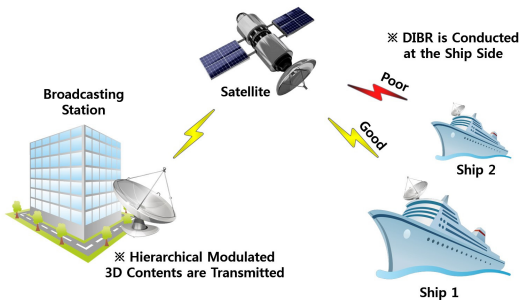


그림 3. 선박에 3D 입체영상 서비스를 제공하기 위한 시나리오  
 Fig. 3. The Scenario to provide 3D stereoscopic video for the ships

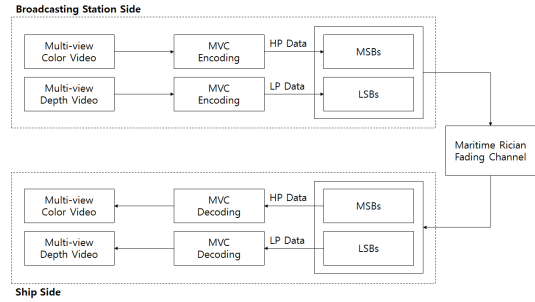


그림 4. V+D 포맷을 위한 계층 4/16-QAM 기법  
 Fig. 4. Hierarchical 4/16-QAM modulation for V+D format

가 증가하면 증가할수록 가우시안 분포에 접근하여 BER이 낮아지는 특성을 가진다<sup>[8]</sup>. 따라서 K-factor가 낮아 채널의 상태가 나쁜 사용자는 MSB만 수신하여 기존의 2D 컬러영상의 서비스만 제공받게 되는 반면에 K-factor가 높아 채널의 상태가 좋은 사용자는 MSB와 LSB를 모두 수신하여 고품질의 3D 입체영상 서비스를 제공받을 수 있다.

일반적으로 영상의 품질을 평가하기 위해 PSNR을 주로 사용한다. 이는 신호의 전력에 대한 고려 없이 MSE (Mean Squared Error)를 사용해서 계산 할 수 있기 때문에 매우 간단하는 장점이 있다.

$$PSNR_L = PSNR_R = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (1)$$

여기서  $PSNR_L$ 과  $PSNR_R$ 은 각각 좌안과 우안의 PSNR이며,  $MAX_I$ 는 영상의 최댓값으로써 해당 채널의 최댓값에서 최솟값을 빼어 구한다. 그리고 본 논문에서는 8비트의 영상을 사용하였으므로  $MAX_I = 255$ 이다. 또한  $MSE$ 는 각각의 2D 컬러영상의 평균 제곱 오차로써, 다음과 같이 표현된다.

$$MSE = \frac{1}{W \times H} SSD(ori, rec) \quad (2)$$

여기서,  $W$ 와  $H$ 는 각각 영상의 가로와 세로의 해상도를 나타내며,  $SSD$  (Sum of Squared Difference)는 다음과 같이 표현된다.

$$SSD(ori, rec) = \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W [ori(i, j) - rec(i, j)]^2 \quad (3)$$

여기서 *ori*는 원본영상을 나타내며, *rec*은 수신되어 복원된 영상을 나타낸다.

### 3.2 계층 4/16-QAM의 BER 성능

본 절에서는 여오차 함수를 이용하여 계층 4/16-QAM의 채널 *h*에 대한 조건부 BER의 수학적 모델을 도출한다. 계층 4/16-QAM의 채널 *h*에 대한 조건부 BER은 그림 6의 계층 2/4-PAM의 유클리디언 거리 및 채널의 크기  $|h|$ 로부터 결정된다<sup>9)</sup>. 따라서 계층 4/16-QAM의 채널 *h*에 대한 조건부 BER은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_b(16, \mathbf{d}^i, \mathbf{d}^q, i_k, q_k | h) = \frac{1}{2} [P_b(4, \mathbf{d}^i, i_k | h) + P_b(4, \mathbf{d}^q, q_k | h)] \quad (4)$$

여기서  $\mathbf{d}^i$ 와  $\mathbf{d}^q$ 는 각각 In-phase와 Quadrature 상에 있는 포인트 사이의 거리벡터를 나타내며, *k*는 계층의 레벨을 의미한다. 본 논문에서는  $\mathbf{d}^i = \mathbf{d}^q = [d_1, d_2]$ 이며, *k*는 MSB와 LSB 2개의 계층구조만 가지고 있으므로  $k = [1, 2]$ 이다. 즉, *k*가 1이면 MSB를 의미하고, *k*가 2이면 LSB를 의미한다. 그리고 마지막으로  $i_k$ 와  $q_k$ 는 *k*번째 계층에서 In-phase와 Quadrature 상에 있는 각각의 심볼 비트들을 의미한다.

우선 계층 2/4-PAM의 채널 *h*에 대한 조건부 BER  $P_b(4, \mathbf{d}, i_k | h)$ 는 다음과 같다.

$$P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 00sent = P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 10sent = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(d_1 + d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \quad (5)$$

$$P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 01sent = P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 11sent = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(d_1 - d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \quad (6)$$

$$P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 00sent = P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 10sent = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|d_2}{\sqrt{N_0}} \right) - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(2d_1 + d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \quad (7)$$

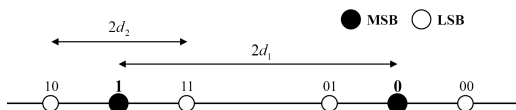


그림 5. 계층 2/4-PAM의 성상도  
Fig. 5. The Constellation of Hierarchical 2/4-PAM

$$P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 01sent = P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 11sent = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|d_2}{\sqrt{N_0}} \right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(2d_1 - d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \quad (8)$$

여기서 식 (5)-(6)은 MSB의 채널 *h*에 대한 조건부 BER이고, 식 (7)-(8)은 LSB의 채널 *h*에 대한 조건부 BER이다. 그리고 In-phase와 Quadrature 상에 매핑된 계층 2/4-PAM의  $P_b(4, \mathbf{d}^i, i_k | h)$ 와  $P_b(4, \mathbf{d}^q, q_k | h)$ 는 같기 때문에  $P_b(4, \mathbf{d}, i_k | h)$ 로 표현 할 수 있다. 따라서 MSB  $i_1$ 의 채널 *h*에 대한 조건부 BER은 다음과 같이 표현된다.

$$P_b(4, \mathbf{d}^i, i_1 | h) = P_b(4, \mathbf{d}^q, q_1 | h) = P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) = \frac{1}{4} [P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 00sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 01sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 10sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_1 | h) | 11sent] = \frac{1}{4} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(d_1 + d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) + \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(d_1 - d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \right] \quad (9)$$

그리고 이와 같은 방법으로 LSB  $i_2$ 의 채널 *h*에 대한 조건부 BER은 다음과 같이 표현된다.

$$P_b(4, \mathbf{d}^i, i_2 | h) = P_b(4, \mathbf{d}^q, q_2 | h) = P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) = \frac{1}{4} [P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 00sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 01sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 10sent + P_b(4, \mathbf{d}, i_2 | h) | 11sent] = \frac{1}{4} \left[ 2 \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|d_2}{\sqrt{N_0}} \right) - \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(2d_1 + d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) + \operatorname{erfc} \left( \frac{|h|(d_1 - d_2)}{\sqrt{N_0}} \right) \right] \quad (10)$$

따라서 결론적으로 식 (9)와 (10)을 각각 식 (4)에 대입하면 계층 4/16-QAM의 MSB의 BER과 LSB의 BER을 각각 구할 수 있다. 결론적으로 MSB의 BER이 LSB의 BER보다 더 낮으므로, 채널 환경이 나쁜 사용자라도 MSB, 즉 2D 컬러영상을 수신 할 수 있는 확률이 매우 높아지므로 중간에 끊어짐이 없이 컬러 영상 방송서비스를 제공 받을 수 있다.

## IV. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 장에서는 모의실험을 통해 해양 라디언 채널 환경에서 계층 4/16-QAM의 BER 성능 및 2D 컬러영상과 깊이영상의 PSNR 성능을 도출 후 분석한다. 모

의 실험은 MATLAB과 Nokia's MVC software<sup>[10]</sup>를 이용하여 수행되었으며, Nagoya University의 Fujii Lab.에서 제공하는 "Kendo" 시퀀스<sup>[11]</sup>를 사용하였다. Fujii Lab.에서 제공하는 원본 시퀀스는 1024×768 해상도이나, 본 논문에서는 보다 신속한 모의실험을 위해 해상도를 640×480로 줄여서 사용하였다.

그림 6의 (a)와 (b)는 각각 해양 라이시안 채널의 K-factor의 변화에 따른 기존의 16-QAM 즉, EEP (Equal Error Protection)의 BER 성능과 계층 4/16-QAM에서  $\alpha = 2$ 인 경우의 BER 성능을 보여준다. 여기서는 EEP와 계층 4/16-QAM의 모두 K-factor가 증가할수록 BER 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 동일한 K-factor일 경우, HP 데이터의 BER 성능은 EEP의 BER 성능보다 항상 좋은 반면에, LP 데이터의 BER 성능은 EEP의 BER 성능보다 나쁘지만 SNR이 증가할수록 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6의 (c)는 K-factor가 20dB일 때  $\alpha$ 의 변화에 따른 계층 4/16-QAM의 BER 성능을 보여준다.  $\alpha$ 가 증가할수록, 즉  $d_1$ 이  $2d_2$ 보다 커질수록, HP 데이터의 BER 성능은 좋아지는 반면에, LP 데이터의 BER 성능은 나빠지는 것을 확인할 수 있다. BER 성능은 수신단에서 복원된 영상의 화질에 영향을 미친다. 따라서 표 1은 복원된 영상의 평균 PSNR로 나타내며, 다음과 같이 표현된다.

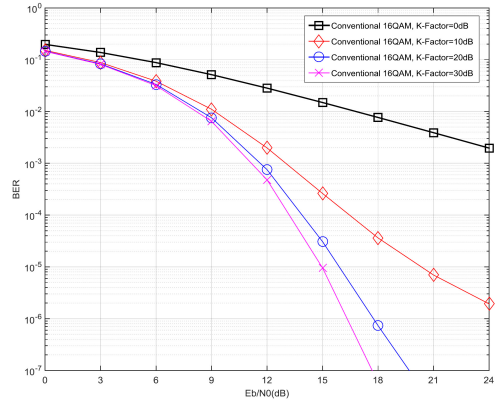
$$PSNR_{AvgL} = \frac{1}{300} \sum_{i=1}^{300} PSNR_L(i)$$

$$PSNR_{AvgR} = \frac{1}{300} \sum_{j=1}^{300} PSNR_R(j) \quad (11)$$

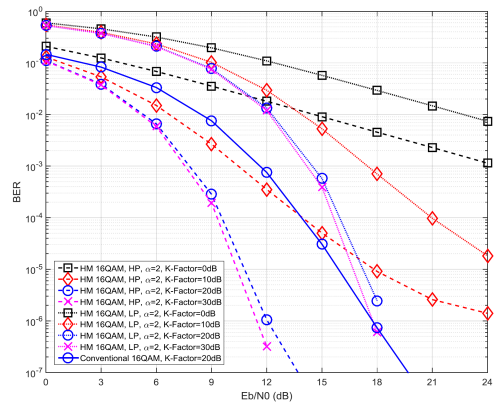
$$PSNR_{AVG} = \frac{1}{2} (PSNR_{AvgL} + PSNR_{AvgR})$$

여기서  $PSNR_{AvgL}$ 과  $PSNR_{AvgR}$ 은 각각 좌안과 우안영상의 PSNR의 평균을 나타내며, 300은 인코딩된 프레임의 수를 의미한다.

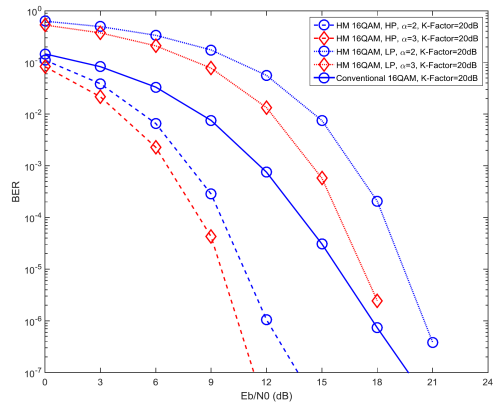
일반적으로 PSNR이 30dB가 넘으면 원본영상과 비교하여 볼 때 큰 화질 손실이 없다고 여겨진다. 따라서 표 1에서는 30dB 이상인 칸에만 노란색을 채워 넣었다. 우선 계층 4/16-QAM의 PSNR 성능을 보면, 그림 6에서도 확인할 수 있듯이 MSB에 대한 BER 성능이 매우 좋으므로 SNR이 12dB임에도 불구하고 컬러영상은 원본영상에 가까운 PSNR 성능을 지니는 반면에 EEP는 SNR이 21dB를 초과해야만 PSNR이 30dB를 넘는 것을 확인할 수 있다. 그러나 계층 4/16-QAM은  $\alpha$ 가 증가할수록 LSB에 대한 BER 성



(a) K-factor에 따른 EEP의 BER



(b) 계층변조의  $\alpha$ 가 2일 때, K-factor에 따른 BER



(c) K-factor가 20dB일 때, 계층변조의  $\alpha$ 에 따른 BER

그림 6. K-factor 및  $\alpha$ 의 변화에 따른 BER 성능  
Fig. 6. Impact of changes of K-factor and  $\alpha$  on BER performance

능이 저하되므로 깊이영상에 대해서는 EEP가 계층변조보다 조금 더 향상된 PSNR 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 서론에서 설명한 것과 같이 사용자가 DIBR을 통해 3D 입체영상을 생성할 때, 생성

표 1. Average PSNR Performance of EEP and Hierarchical 4/16-QAM Modulation  
Table 1. EEP와 계층 4/16-QAM의 평균 PSNR 성능

SNR(dB)	K-factor = 20dB					
	Average PSNR of EEP(dB)		Average PSNR of $\alpha=2$ (dB)		Average PSNR of $\alpha=3$ (dB)	
	Color	Depth	Color	Depth	Color	Depth
6	9.92495	13.6352	10.0781	13.335	9.93796	12.6545
9	10.1160	13.9569	10.3476	13.8215	11.4045	13.3431
12	10.3023	15.1060	29.4305	13.8215	43.3656	13.3941
15	12.4092	21.2904	43.3655	14.9662	43.3656	14.2129
18	26.2524	40.9891	43.3656	31.5272	43.3656	15.4488
21	31.6515	48.5929	43.3656	48.5929	43.3656	39.1729
24	43.3656	48.5929	43.3656	48.5929	43.3656	48.5929

된 영상의 화질은 깊이영상의 화질보다 컬러영상의 화질에 더 많은 영향을 받는다.

따라서 결론적으로 본 논문에서 제안한 V+D 포맷을 고려한 계층 4/16-QAM이 EEP보다 더 적은 파워로 3D 입체영상을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 채널 상황이 나쁜 선박이라도 중간에 끊어짐이 없는 컬러영상 방송서비스를 제공할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 해양 채널 환경에서 3D 입체영상의 전송을 위한 계층변조 기법을 제안하였다. 특히 본 논문에서 고려한 V+D 포맷은 DIBR 통해 3D 입체영상을 생성할 때, 2D 컬러영상의 화질이 깊이영상의 화질보다 더 많은 영향을 미치므로 2D 컬러영상의 PSNR을 높이는 것이 핵심이다. 따라서 본 논문에서는 2D 컬러영상에 보다 향상된 오류보호능력을 할당하기 위해 계층 4/16-QAM를 사용하여 컬러영상을 MSB에 매핑하고, 깊이영상은 LSB에 매핑하였다.

모의실험을 통해 계층 4/16-QAM의 LSB에 매핑된 깊이영상은 EEP, 즉 기존 16-QAM으로 변조된 깊이영상보다 약간 낮은 PSNR 성능을 지니지만, MSB의 매핑된 2D 컬러영상은 EEP로 변조된 컬러영상보다 매우 향상된 PSNR 성능을 가지는 것을 확인하였다.

따라서 결론적으로 본 논문에서 제안하는 계층 4/16-QAM이 EEP보다 적은 파워로 선박에게 3D 입체영상을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 채널 상황이 나쁜 선박에도 중간에 끊어짐이 없는 컬러영상 방송서비스를 제공할 수 있다.

### References

- [1] M. Tanimoto, M. P. Tehrani, T. Fujii, and T. Yendo, "Free-viewpoint TV," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 28, no. 1, pp. 67-76, Jan. 2011.
- [2] B. Kamolrat, W. A. C. Fernando, M. Mrak and A. Kondo, "Joint source and channel coding for 3D video with depth image - based rendering," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 887-894, May 2008.
- [3] K. M. Alajel, W. Xiang, and Y. Wang, "Unequal error protection scheme based hierarchical 16-QAM for 3-D video transmission," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 58, no. 3, pp. 731-738, Aug. 2012.
- [4] C. Zhu and Y. Li, "Advanced video communications over wireless networks," *CRC Press*, pp. 359-361, 2013.
- [5] C. Fehn, "A 3D-TV system based on video plus depth information," in *Proc. Conf. Record of the 37th Asilomar Conference on Signals, Syst. and Comput. 2004*, pp. 1529-1533, Nov. 2003.
- [6] M. Flierl and B. Girod, "Multiview video compression," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 6, pp. 125-128, Nov. 2007.
- [7] B. Barmada, M. M. Ghandi, E. V. Jones, and M. Ghanbari, "Prioritized transmission of data partitioned H. 264 video with hierarchical QAM," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 12,

no. 8, pp. 577-580, Aug. 2005.

- [8] Y. S. Cho, J. Kim, W. Y. Yang, and C. G. Kang, *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB*, John Wiley & Sons, pp. 1-19, 2010.
- [9] P. K. Vitthaladevuni and M. S. Alouini, "A recursive algorithm for the exact BER computation of generalized hierarchical QAM constellations," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 1, pp. 297-307, Jan. 2003.
- [10] Nokia's MVC Software, from <http://research.nokia.com/page/4988>
- [11] Nagoya University Sequences, from <http://www.fujii.nuee.nagoya-u.ac.jp/multiview-data/>

**유 동 호 (Dongho You)**



2012년 2월 : 서울과학기술대학교 매체공학과 공학사  
2014년 2월 : 서울과학기술대학교 미디어IT공학과 공학석사  
2014년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 박사과정

**사과정**  
<관심분야> 멀티미디어 전송시스템, 방송통신융합

**이 성 로 (Seong Ro Lee)**



1987년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업  
1990년 8월 : KAIST 전기전자공학과 석사  
1996년 8월 : KAIST 전기전자공학과 박사  
1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

**김 동 호 (Dong Ho Kim)**



1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사  
1999년 2월 : KAIST 전기전자공학과 석사  
2004년 8월 : KAIST 전기전자공학과 박사  
2014년 9월~2007년 2월 : 삼성

기술원 삼성전자 책임 연구원  
2007년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어 공학과 및 NID 융합대학원 부교수  
<관심분야> 무선통신, 통신이론, 오류정정부호