

하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 실질적인 비디오 스트리밍 서비스 품질평가

이 규 환*, 장 동 혁*, 이 성 재*

Practical Quality Evaluation of Video Streaming Services in Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks

Kyu-Hwan Lee*, Dong-Hyuk Jang*, Sung-Jae Lee*

요 약

본 논문에서는 MRC 기법을 사용하는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에 대해서 고려하고, 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 비디오 스트리밍 서비스의 실질적인 품질을 평가해 본다. 이를 위해 품질 평가에서는 PSNR과 MOS를 성능지표로 활용하였다. 시뮬레이션 결과, 다양한 시뮬레이션 환경에서 지상 중계기의 수가 증가할수록 비디오 스트리밍 서비스의 품질이 향상되는 것을 살펴볼 수 있었다. 또한, MRC 기법을 사용하는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크 덕분에 스펙트럼 효율 성능도 향상될 수 있는 것을 확인하였다. 성능분석 결과를 바탕으로 결론에서는 비디오 스트리밍 품질을 좀 더 효율적으로 향상하기 위한 추가적인 고려사항과 병행하여 적용될 수 있는 기술에 대하여 토론해 본다.

키워드 : 비디오 스트리밍 서비스, 위성통신, 하이브리드 위성-지상중계기 네트워크, 지상 모바일 위성 네트워크

Key Words : Video streaming service, Satellite communication, Hybrid satellite-terrestrial relay network, Land mobile satellite network

ABSTRACT

In this paper, we consider a hybrid satellite-terrestrial relay networks (HSTRNs) using a maximal ratio combining (MRC) scheme. We evaluate the practical quality of video streaming services in HSTRNs. For the practical quality evaluation, we use a peak signal to a noise ratio (PSNR) and a mean opinion score (MOS) as quality metrics. In the simulation results, it is shown that the quality of the video streaming service can be enhanced by increasing the terrestrial relay in various simulation environments. The spectral efficiency also can be improved by the HSTRNs using the MRC scheme. In the conclusion, based on the performance evaluation, additional considerations and possible solutions are discussed to enhance the quality of video streaming services more efficiently.

* First Author and Corresponding Author: (ORCID:0000-0002-5111-6332)Agency for Defense Development, dr.kyuhwan.lee@gmail.com, 정희원

* Agency for Defense Development, agepro21@add.re.kr, pearl@add.re.kr, 정희원

논문번호 : 201809-284-A-RN, Received September 18, 2018; Revised December 19, 2018; Accepted December 24, 2018

I. 서론

향후 위성통신 시스템은 디지털 중계기, 위성 간 링크 기술, 높은 캐리어 주파수 대역 활용 등으로 인터넷 프로토콜 기반의 대용량위성 (HTS: High Throughput Satellite) 시스템으로 진화하여 다양한 서비스를 위성 통신을 통하여 제공할 수 있을 것으로 예상된다¹⁻³⁾. 특히, 위성통신은 넓은 지역에 다수의 단말들에게 데이터를 방송하는데 유용하기 때문에 위성 방송 등에 많이 활용되고 있는데 향후에는 좀 더 다양한 멀티미디어 서비스가 고정형 단말 뿐 아니라 휴대형 단말이나 이동형 단말등에도 제공될 수 있을 것이다⁴⁾⁵⁾. 위성통신 시스템에서 고정형 단말의 경우에는 시스템에서 강우감쇄 등을 고려한 링크버짓만 제공한다면 단말의 안테나만 위성과 가시선 (LOS: line-of-sight)이 제공될 수 있도록 지향만 고려해주면 된다. 하지만 휴대폰형 단말과 같이 이동성이 있는 단말의 경우에는 빌딩이나 나무 터널등과 같은 장애물 등에 의한 비가시선 (NLOS: nonline-of-sight) 환경이 발생하여 링크 단절이나 수신 신호 감쇄가 발생할 수 있다⁶⁾⁷⁾. 그러므로 이와 같은 단말들에게 안정적인 서비스를 제공하기 위해서는 갭필러와 같이 지상에서 위성 신호를 중계해주는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크의 활용이 필수적이다.

하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에는 단말에서 MRC (Maximal Ratio Combining) 기법을 활용하여 위성 신호와 지상 중계기 신호를 동시에 활용하여 신호 품질을 더 향상 할 수 있다⁸⁻¹⁰⁾. 이와 관련된 다양한 연구들이 진행되었다⁶⁻¹⁰⁾. Bhatnager의 연구에서는 지상 모바일 위성통신의 페이딩 채널 환경의 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 페이딩 채널 파라미터와 지상 중계기의 수에 따른 비트오류율 closed-form으로 수식을 도출하여 제시하였다⁸⁾⁹⁾. An의 연구에서는 다중 안테나 환경에서 심볼 에러율, 채널 용량, 아웃티지 확률을 수식으로 제시하였다¹⁰⁾. Lee의 연구에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 환경에서 TCP (Transmission Control Protocol) 처리를 성능을 분석하고 MRC를 고려한 목표 비트오류율 (BER: Bit Error Rate) 설정 알고리즘을 제시하였다⁶⁾⁷⁾.

본 논문에서는 하이브리드 위성-지상중계기 네트워크에서 비디오 스트리밍 서비스를 고려한다. 특히, 하이브리드 위성-지상중계기 네트워크가 비디오 스트리밍 서비스의 실질적 품질에 얼마만큼 도움을 줄 수 있는지 다양한 환경에서 비디오 스트리밍의 객관적, 주

관적 품질평가를 통하여 분석해 본다. 또한 도출된 결과를 바탕으로 비디오 스트리밍 서비스의 품질 향상을 위하여 위성통신에서 지상중계기 활용과 추가적으로 적용 가능한 기술에 대해서 토론해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대하여 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 고려한 하이브리드 위성-지상중계기 네트워크의 시스템 모델을 살펴보고, 4장에서는 다양한 환경에 대하여 비디오 스트리밍 서비스 품질을 평가해 보고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크

그림 1과 같이 휴대폰형 단말의 경우 사용자가 이동하면서 위치에 따라 수신 신호 품질이 크게 저하되는 상황이 발생할 수 있다. 이런 상황에서 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크가 적용된다면 지상 중계기가 위성신호를 수신하여 위성단말에게 전달해 주기 때문에 위성-단말 간 장애물에 의해서 발생하는 음영 지역을 해결할 수 있다. MRC 기법의 경우 다이버시티 방식을 통하여 여러 수신 신호들을 활용하여 수신 신호 품질을 향상할 수 있다⁶⁻¹⁰⁾. 그러므로 본 논문에서는 위성과 지상 중계기로부터 여러 신호를 수신할 수 있고 위성단말에서 MRC기법을 사용할 수 있는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크를 고려한다.

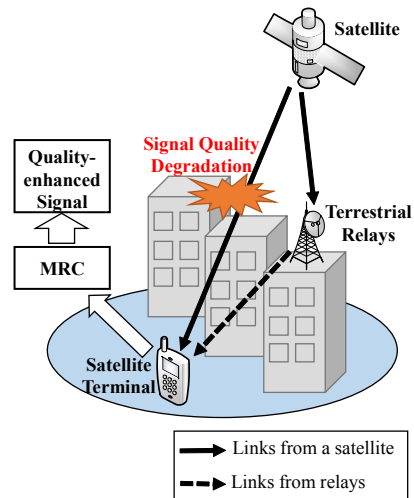


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

2.2 비디오 스트리밍 서비스 품질

비디오 품질을 측정하는 방법에는 객관적인 품질 평가와 주관적인 품질평가로 나뉘어 질수 있다. 객관적인 품질 평가에서 보편적인 방식은 PSNR를 평가하는 것이다. PSNR은 전 기준 방식으로 수신한 영상을 원본 영상과 비교하여 잡음이 얼마나 존재하는지 수치화한 값이다. 더 세밀하고 발전된 평가 방법으로 VQM와 PEVQ등이 있다^[11,12]. 주관적 평가 방법은 화질 평가 점수를 5단계로 구분된 MOS (Mean Opinion Score)를 활용하며 주관적 평가 방법^[13-14]에 대한 권고사항으로 실험환경 조건, 평가 방법 (최소 15인 이상, TV 화질 분야의 비전문가로 구성), 실험 결과 분석 방법 등을 ITU-T 권고서 BT 500.11^[15]등에서 제시하고 있다. 객관적인 품질 평가와 주관적인 품질 평가에는 유사한 패턴을 가지고 있고 상관도가 있기 때문에 PSNR을 기대 MOS값으로 변환할 수 있다. 일반적으로는 PSNR이 30 dB이상이면 MOS에서도 화질 좋음으로 평가된다^[11,12]. 본 논문에서는 보편적으로 사용되는 PSNR과 PSNR을 통해서 예상 값을 도출할 수 있는 MOS를 성능 평가 지표로 선정하고 Evalvid 틀을 이용하여 실제 비디오 소스에 대해서 측정해 본다.

III. 시스템 모델

비디오 스트리밍 서비스의 데이터는 비디오 프레임의 집합으로 구성이 되는데 비디오 프레임은 패킷 단위로 세그먼트 되어 전송된다. 그러므로 링크의 비트 오류율은 비디오 스트리밍의 품질에 영향을 주는 중요 요소이다. 그러므로 본 논문에서는 S-DMB (Satellite Digital Multimedia Broadcasting) 시스템을 고려하여 LMS (Land Mobile Satellite) 채널 모델을 적용해 비디오 스트리밍 서비스의 품질을 분석해 본다^[9]. 본 논문의 시스템 모델은 그림 1과 같다. 위성의 신호는 N_R 개의 지상 중계기와 단말에 수신되며 지상의 N_R 개의 지상 중계기는 그 신호를 단말에게 중계한다. 본 논문에서 고려하는 채널 모델은 shadowed-Rician 페이딩 모델이며 채널에 대한 정보를 알고 있고 MRC 기법을 사용할 수 있다고 가정하고 Bhatnagar의 연구의 closed-form 채널모델을 활용하여, 디지털위상변조(PSK: Phase Shift Keying) 기법을 사용할 때 비트 에러율은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[9].

$$P_c(\bar{\gamma}) = \frac{2\alpha^{N_R+1} \sum_{k=1}^{\max(M/4,1)} \sum_{l=0}^c \beta^{c-l}}{\zeta_M} \times (\mathcal{J}(k,l,d,\bar{\gamma}) + \epsilon \delta \mathcal{J}(k,l,d+1,\bar{\gamma})), \quad (1)$$

$$\mathcal{J}(k,l,d,\bar{\gamma}) = \frac{\Gamma(d-l+1/2)b_k^{2l-2d}}{2\sqrt{\pi}\bar{\gamma}^{d-l}\Gamma(d-l+1)} \times {}_3F_2\left\{d, d-l, d-l+1/2; d-l+1, d-l; \frac{(\beta-\delta)}{\bar{\gamma}b_k^2}\right\}, \quad (2)$$

$\bar{\gamma}$ 는 E_s/N_0 , α 는 $0.5(2bm/(2bm+\Omega))^m/b$, β 는 $0.5/b$, δ 는 $0.5\Omega/(2b^2m+b\Omega)$ 이다. c 는 $(d-(N_R+1))^+$, ϵ 은 $m(N_R+1)-d$, d 는 $\max\{(N_R+1), \lfloor m(N_R+1) \rfloor\}$ 이다. E_s 는 평균 송신에너지이고 N_0 는 백색잡음 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 이때, $(z)^+$ 는 $z \leq 0$ 이면, $z=0$ 으로 만들어 주는 함수이고, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 내림 함수이다. Ω 는 채널 모델에서 평균 전력 값, m 은 채널모델에서 쉐도잉의 정도를 나타내는 파라미터, b 는 신호의 다중 경로에 의한 페이딩과 관련 된 파라미터이다. ζ_M 은 $\max(\log_2 M, 2)$ 이고, b_k 는 $\sin(2k-1)\pi/M$, M 은 변조 파라미터이다. $\Gamma(\cdot)$ 은 Gamma 함수이고, ${}_3F_2\{\dots, \dots\}$ 는 generalized Hypergeometric 함수이다. Bhatnagar의 연구에서 제공하는 채널모델은 단말과 위성, 지상중계기와 위성사이의 링크는 LMS 채널로 가정하였고, 지상중계기와 단말 사이에는 에러가 없다고 가정했다. 그러므로 Bhatnagar의 연구에서는 지상 중계기 수가 증가할 때마다 안테나의 수가 증가하는 형태로 채널 모델링되어 있다.

본 논문에서는 실질적인 비디오 스트리밍 서비스의 품질의 분석하기 위해서 객관적인 품질 평가 방식으로 PSNR를 활용한다. PSNR은 전 기준 방식으로 원본 영상과 수신 영상의 픽셀값 차이를 숫자로 표현한 수치로 $m \times n$ 크기의 영상을 하나의 픽셀 당 B bits/sample로 구성될 때 다음과 같이 나타낼 수 있다^[11,12].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right)^2, \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [Y(i,j) - K(i,j)]^2, \quad (4)$$

MAX_I 는 최대 픽셀값으로 $2^B - 1$ 이고, MSE 는 원본 영상과 수신 영상의 평균제곱오차로 (4)와 같이 나

타낼 수 있다. $Y(i,j)$ 와 $K(i,j)$ 는 원본 영상과 수신 영상의 픽셀값을 나타낸다. PSNR을 측정하는 영상이 원본과 동일하다면 MSE값이 0이 되므로 PSNR값은 무한대가 되고, 일반적으로 PSNR이 30 dB 이상이면 두 영상의 차이를 쉽게 구별할 수 없다고 알려져 있다 [11,12].

비디오의 객관적인 품질 평가와 주관적인 품질 평가에는 유사한 패턴을 가지고 있고 상관도가 있기 때문에 PSNR을 기대 MOS값으로 변환할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 PSNR을 기반으로 한 기대 MOS 값을 주관적인 품질 평가 수치로 활용한다. 본 논문에서 참조한 변환 테이블은 표 1과 같다^[11].

표 1. PSNR의 MOS 변환
Table 1. Possible PSNR to MOS conversion

PSNR	MOS
> 37	5 (Excellent)
31 - 37	4 (Good)
25 - 31	3 (Fair)
20 - 25	2 (Poor)
< 20	1 (Bad)

IV. 성능 평가

본 장에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 실질적인 비디오 스트리밍 서비스 품질에 대하여 분석해 본다. 비디오 스트리밍 서비스는 다수에게 방송하는 방식과 주문형 비디오 (VoD: Video On Demand) 방식이 있다. 방송의 경우 사용자 각각의 채널 상황 등을 고려하지 않고 고정적인 변조방식을 적용할 것이다. 그러므로 본 논문에서는 섀도잉 파라미터, 변조 방식, 지상 중계기 수 (N_R), E_s/N_0 에 따른 다양한 환경에서 비디오 스트리밍 서비스 품질을 평가해본다. 주문형 비디오 방식의 경우 하나의 사용자에게 대하여 서비스를 제공하기 때문에 서비스 받는 사용자의 채널 환경에 맞게 시스템에서 요구하는 목표 비트율을 값에 따라 적응적인 변조기법이 적용될 수 있다. 그러므로 적응적인 변조기법이 적용되었을 경우 비디오 스트리밍서비스 품질과 위성링크의 스펙트럼 효율 미치는 영향에 대해서 분석하기 위해 스펙트럼 효율을 추가로 성능분석 해 본다. 본 논문에서는 비디오의 실질적인 품질 평가를 위해 객관적인 비디오 품질 평가지표인 PSNR과 주관적인 비디오 품질 평가지표인 MOS를 분석해 본다. 실질적인 성능분석

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameter

Parameter	Value
Video source	Foreman (591.27kbps)
Channel model	LMS
shadowing factor	FHS, AS, ILS
Modulation	4PSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK
NR	1, 2, 3
Target BER	10 ⁻⁶

을 위해 채널모델을 이벤트 구동형 시뮬레이터에 구현하여 실제 H.264로 인코딩된 비디오 소스를 송수신 하계 시뮬레이터를 MATLAB으로 구현하였고, 수신한 비디오를 Evalvid 툴을 이용하여 PSNR과 MOS를 분석했다^[11,16-18]. 성능평가에서 PSNR과 MOS는 비디오 스트리밍의 각 프레임의 PSNR과 MOS를 도출하고 전체 비디오 프레임에 대하여 평균값 계산하였다. 논문에서 채널 모델은 LMS 채널 모델을 사용했으며 섀도잉 파라미터는 빈번하고 강한 섀도잉 (FHS: frequent heavy shadowing), 평균적인 섀도잉 (AS: average shadowing), 드물고 약한 섀도잉 (ILS: infrequent light shadowing)을 고려하였다. 섀도잉 상세 파라미터는 참조논문^[9]을 따른다. 표 2는 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다^[9,11,15].

그림 2와 3은 변조기법과 지상 중계기 수는 고정될 때 섀도잉에 따른 비디오 스트리밍 서비스의 PSNR과 MOS 값을 나타낸다. 변조기법은 4PSK가 사용되었고, N_R 은 1이다. 그림 2에서 보는 것과 같이 ILS에서 AS, FHS 환경 순으로 섀도잉의 강도가 강해질수록 PSNR 품질이 크게 저하되지 않기 위해 필요한 송신전력이 상승하는 것을 살펴 볼 수가 있다. 마찬가지로 그림 3의 MOS도 비슷한 경향의 결과가 나타나는 것을 살펴

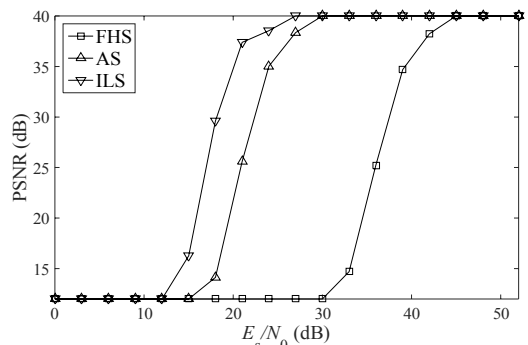


그림 2. 섀도잉에 따른 비디오 스트리밍 서비스 PSNR 품질
Fig. 2. PSNR performance of video streaming services according to shadowing

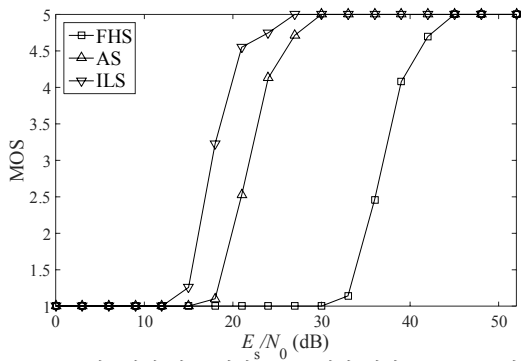


그림 3. 쉐도잉에 따른 비디오 스트리밍 서비스 MOS 품질
Fig. 3. MOS performance of video streaming services according to shadowing

볼 수 있다. 그림 2와 3을 살펴보면 약 30 dB이상의 PSNR 값이면 괜찮은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 감상할 수 있는 것을 살펴볼 수 있다.

그림 4와 5는 쉐도잉 환경과 지상 중계기 수가 고정될 때 변조기법에 따른 비디오 스트리밍 서비스의

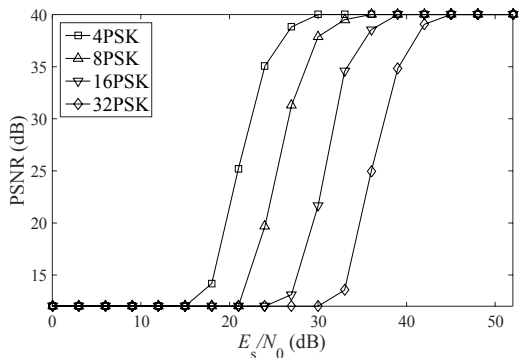


그림 4. 변조 기법에 따른 비디오 스트리밍 서비스 PSNR 품질
Fig. 4. PSNR performance of video streaming services according to modulation schemes

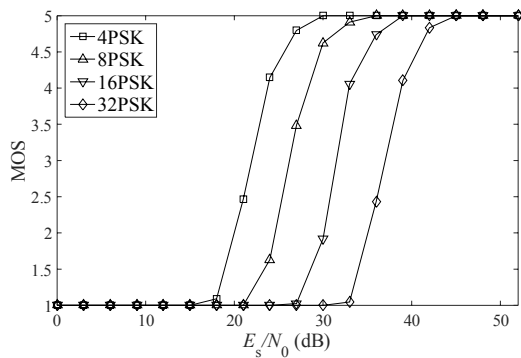


그림 5. 변조 기법에 따른 비디오 스트리밍 서비스 MOS 품질
Fig. 5. MOS performance of video streaming services according to modulation schemes

PSNR과 MOS값을 나타낸다. 쉐도잉은 AS가 고려되었고, N_R 은 1이다. 그림 4에서 보는 것과 같이 변조기법이 고차로 갈수록 PSNR 성능이 저하되는 것을 살펴볼 수 있다. 고차 변조기법으로 갈수록 같은 송신전력 대비 비트오류율 성능이 저하되기 때문에 변조기법은 PSNR에 영향을 줄 수 있다. 하지만 저차 변조기법은 비트오류율 성능은 좋지만 스펙트럼 효율 측면에서는 효율이 떨어진다. 그러므로 고차 변조기법을 사용하면서 지상 중계기 수를 늘린다면 필요한 송신전력을 줄이고 스펙트럼 효율 성능도 향상할 수 있을 것이다. 그림 5에서 보는 것과 같이 MOS도 그림 4의 PSNR과 유사한 결과를 나타낸다.

그림 6과 7은 변조기법과 쉐도잉 환경은 고정될 때 지상 중계기 수(N_R)에 따른 비디오 스트리밍 서비스의 PSNR과 MOS값을 나타낸다. 앞서 설명한 것처럼 좋은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 제공하면서 스펙트럼 효율도 향상하기 위해서는 고차 변조기법을 사용하면서 송신전력이 높아져야 한다. 하지만 송신전력은 안테나 크기 같은 시스템 제한사항이나 국제 규

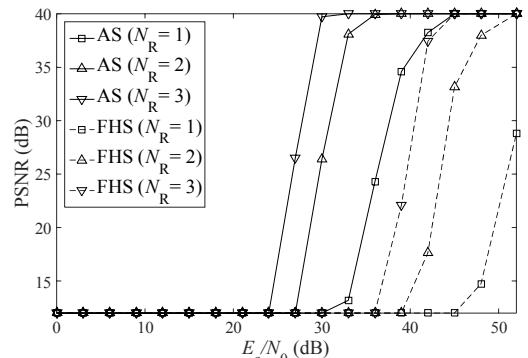


그림 6. N_R 에 따른 비디오 스트리밍 서비스 PSNR 품질
Fig. 6. PSNR performance of video streaming services according to N_R

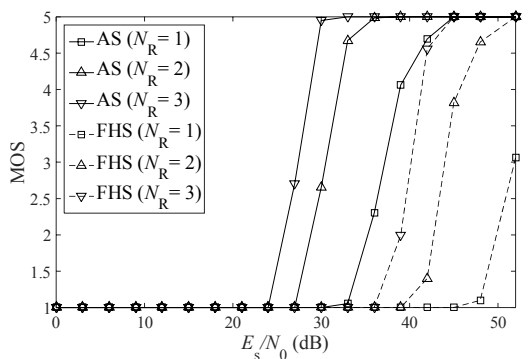


그림 7. N_R 에 따른 비디오 스트리밍 서비스 MOS 품질
Fig. 7. MOS performance of video streaming services according to N_R

약 등에 의해 제한되어 질수가 있다. 그림 6과 7에서 보는 것처럼 지상 중계기 수(N_R)가 증가하면 고차 변조기법을 사용하면서도 낮은 송신전력으로 좋은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 8과 9와 10은 주문형 비디오 방식의 서비스 환경을 고려하여 적응적인 변조기법이 적용되었을 경우 각각 PSNR, MOS 그리고 스펙트럼 효율 성능을 나타낸다. 성능평가에서 스펙트럼 효율은 M -ary 변조기법일 때 이상적인 값으로 가정하여 $\log_2(M)$ 이다. 성능평가에서는 시스템에서 요구하는 목표 비트오류율 값으로 10^{-6} 을 설정하였다. 이와 같이 값을 설정한 이유는 앞서 설명한 것처럼 PSNR 30 dB 이상이면 품질 좋음으로 평가되기 때문에 시험적인 방법을 통해 PSNR이 평균적으로 30 dB 이상이 될 수 있도록 목표 비트오류율 값을 설정하였다^{[11][12]}. 그림 8과 9에서 보는 것처럼 적응적인 변조기법이 적용되면 서비스를 제공할 수 없는 임계값 이상의 송신전력에서

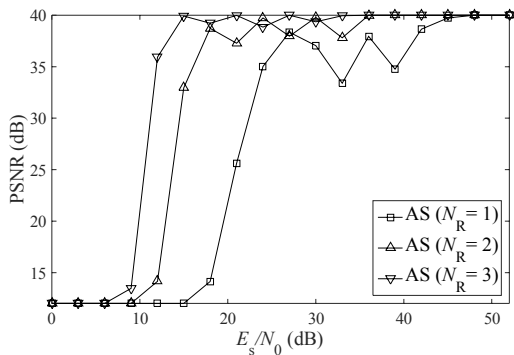


그림 8. 적응적인 변조기법 사용할 때 비디오 스트리밍 서비스 PSNR 품질
Fig. 8. PSNR performance of video streaming services with adaptive modulation schemes

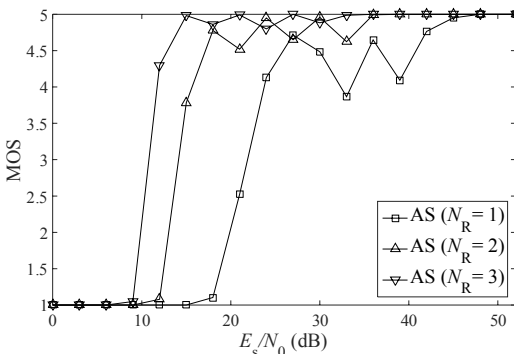


그림 9. 적응적인 변조기법 사용할 때 비디오 스트리밍 서비스 MOS 품질
Fig. 9. MOS performance of video streaming services with adaptive modulation schemes

주문형 비디오 방식 서비스 사용자가 좋은 품질의 비디오 스트리밍 서비스를 제공받을 수 있는 것을 살펴 볼 수 있다. 지상 중계기 수(N_R)가 증가할수록 PSNR과 MOS 성능이 향상하는 것을 살펴 볼 수 있다. 그림 10은 스펙트럼 효율을 나타낸다. 그림 10의 성능 분석 결과에서는 표 1에서 보는 것과 같이 MOS가 3이상이어야 fair이상으로 평가되기 때문에 MOS가 3이상의 경우에만 의미 있는 데이터를 전송한 것으로 가정하였다. 결과에서 보는 것처럼 송신전력이 낮아짐에 따라서 저차 변조방식을 사용하면서 스펙트럼 효율이 낮아지는 것을 살펴 볼 수 있다. 하지만 더 많은 수의 지상 중계기를 사용한다면 스펙트럼 효율을 향상 할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 E_s/N_0 값이 30 dB이고 N_R 이 1, 2, 3인 경우 스펙트럼 효율은 각각 3, 4, 5 bps/Hz인 것을 살펴 볼 수 있다.

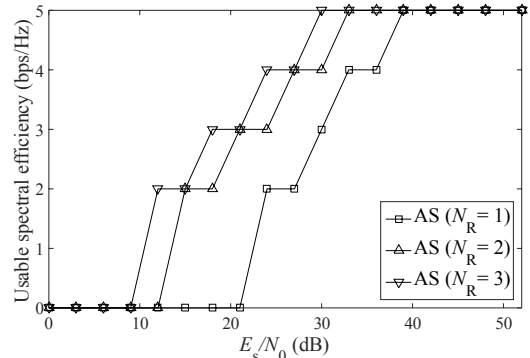


그림 10. 적응적인 변조기법 사용할 때 비디오 스트리밍 서비스 스펙트럼 효율
Fig. 10. Spectral efficiency of video streaming services with adaptive modulation schemes

V. 결론

본 논문에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 비디오 스트리밍 서비스의 실질적인 품질을 분석해 보았다. 비디오 스트리밍 서비스의 실질적인 품질을 분석하기 위해 객관적 품질 지표(PSNR)와 주관적 품질 지표(MOS)에 대하여 분석해 보았으며 쉐도잉 파라미터, 변조 방식, 지상 중계기 수 (N_R)에 따른 다양한 환경을 비디오 스트리밍 서비스의 성능분석에 고려하였다. 성능분석 결과 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서는 위성 수신 신호와 지상 중계기 신호에 MRC 기술이 적용되기 때문에 지상 중계기 수가 증가할수록 비디오 스트리밍 서비스의 품질이 향상되는 것을 살펴볼 수 있었다. 또한 적응적인

변조기법이 사용된 경우에도 지상 중계기수가 증가하면 스펙트럼 효율 측면에서 이득이 있음을 살펴 볼 수 있었다. 그러므로 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크가 적용된다면 도심지역과 같은 강한 섀도잉 환경에서 지상 중계기를 적절하게 설치하여 사용자가 품질의 저하 없는 서비스를 받는 것이 가능할 것이다. 하지만 사용자의 위치에 따라 채널 환경이 변화하므로 채널 환경에 따른 필요한 지상 중계기 수 최적화 연구가 필요하다. 예를 들어 중계기 수 증가에 따른 수신감도 변화 측정 등을 기반으로 기대 비트오류율 또는 기대 패킷오류율을 계산하여 비디오 스트리밍 서비스의 품질에 미치는 영향을 모델링하고 최적의 지상중계기수를 도출하는 연구 등이 필요하다. 또한, 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크나 물리계층의 순방향 오류정정 기술적용으로 신호 감쇄를 보완할 수 있지만 근본적으로 사용자가 이동시 순간적으로 링크가 단절되어 링크 품질이 저하되는 것은 해결할 수 없다. 그러므로 AL-FEC(Application Layer Forward Error Correction) 기술과 같이 링크 단절을 보완 할 수 있는 기술과 함께 적용된다면 비디오 스트리밍 서비스의 품질 향상 효과가 더 발생할 것이다^[19,20]. 기존 Lee의 연구 등에서 이동형 위성단말에서 파일 전송 시 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크와 AL-FEC 기술을 적용하면 전송률 향상 효과가 있음을 보인바가 있다^[7,19,20].

그러므로 향후 하이브리드-위성 중계기 네트워크는 비디오 스트리밍 서비스 품질 향상과 스펙트럼 효율 향상이 도움이 될 것이라 기대된다.

References

- [1] K. Kaneko, H. Nishiyama, N. Kato, A. Miura, and M. Toyoshima, "Construction of a flexibility analysis model for flexible high-throughput satellite communication systems with a digital channelizer," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 67, no. 3, pp. 2097-2107, 2018.
- [2] Y. S. Lee, J. S. Lee, J. S. Lim, H. W. Park, and H. J. Noh, "Multiple slot reservation for rapid data traffic transmission in the satellite random access channel," *J. KICS*, vol. 40, no. 10, pp. 1889-1899, 2015.
- [3] J. M. Kim, G. W. Nathnael, K. H. Lee, and J. H. Kim, "Performance evaluation of PEP based on cross-layer in satellite communication system," *J. KICS*, vol. 41, no. 1, pp. 58-65, 2016.
- [4] T. Ma, Y. H. Lee, S. Winkler, and M. Ma, "QoS provisioning by power control for video communication via satellite links," *Int. J. Satell. Comm. Netw.*, vol. 33, pp. 259-275, 2015.
- [5] M. Luglio, C. Roseti, and F. Zampognaro, "Emulation of IP-based video streaming through simultaneous satellite connections," *IEEE ICUFN*, pp. 975-980, Vienna, Austria, Jul. 2016.
- [6] K. H. Lee, D. H. Jang, and S. J. Lee, "Performance evaluation of TCP in hybrid satellite-terrestrial relay networks," *J. KICS*, vol. 42, no. 1, pp. 121-127, 2017.
- [7] K. H. Lee, D. H. Jang, S. J. Lee, and J. R. Cha, "Target BER selection scheme in LMS networks using AL-FEC systems," *Compt. Netw.*, vol. 127, pp. 190-199, 2017.
- [8] M. R. Bhatnagar and M. K. Arti, "Performance analysis of AF based hybrid satellite-terrestrial cooperative network over generalized fading channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 10, pp. 54-57, 2013.
- [9] M. R. Bhatnagar and M. K. Arti, "On the closed-form performance analysis of maximal ratio combining in shadowed-rician fading LMS channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 18, no. 1, pp. 1912-1915, 2014.
- [10] K. An, M. Lin, T. Liang, J. B. Wang, J. Wang, Y. Huang, and A. L. Swindlehurst, "Performance analysis of multi-antenna hybrid satellite-terrestrial relay networks in the presence of interference," *IEEE Trans. Commun.* vol. 63, no. 11, pp. 4390-4404, 2015.
- [11] J. Klaue, B. Rathke, and A. Wolisz, "EvalVid - A framework for video transmission and quality evaluation," *Computer performance evaluation. Modelling techniques and tools*, pp. 255-272, 2003.
- [12] S. C. Kim and B. I. Kim, "Analysis on subjective image quality assessments for smart

Phone/Pad environment,” *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 28, no. 3, pp. 125-136, 2015.

- [13] R. K. P. Mok, E. W. W. Chan, and R. K. C. Chang, “Measuring the quality of experience of HTTP video streaming,” *12th IFIP/IEEE Int. Symp. Integrated Netw. Management (IM 2011) and Workshops*, pp. 485-492, Dublin, 2011.
- [14] P. Juluri, V. Tamarapalli, and D. Medhi, “Measurement of quality of experience of video-on-demand services: A survey,” in *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 18, no. 1, pp. 401-418, Firstquarter 2016.
- [15] ITU-R BT-500.11, “*Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*,” Int. Telecommun. Union, 2002.
- [16] Matlab, <https://www.mathwork.com/products/matlab.html>. Accessed 30 Nov. 2018.
- [17] Evalvid: <http://www2.tkn.tuberlin.de/research/evalvid/fw.html>. Accessed 30 Nov. 2018.
- [18] YUV video sequences, <http://www2.tln.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.htm>. Accessed 30 Nov. 2018.
- [19] K. H. Lee, J. M. Kim, and J. H. Kim, “Transfer time analysis of file transfer framework with AL-FEC in SOTM networks,” *EURASIP J. Wireless Comm. and Networking*, vol. 2015, no. 1, 2015.
- [20] K. H. Lee and J. H. Kim, “Efficient AL-FEC mechanism aided by navigation systems,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol 15, no. 10, pp. 6651-6661, Oct. 2016.

이 규 환 (Kyu-Hwan Lee)



2007년 2월 : 아주대학교 전자공학부 학사
 2015년 8월 : 아주대학교 전자공학과 석/박사
 2016년 3월~현재 : 국방과학연구소
 <관심분야> 위성통신, 군통신, 네트워크 코딩, QoS, 네트워크 성능분석, Ad-Hoc 네트워크, 센서 네트워크, 무선랜

장 동 혁 (Dong-Hyuk Jang)



2013년 8월 : 경북대학교 전자공학부 학사
 2015년 8월 : 대구경북과학기술원(DGIST) 정보통신융합공학전공 석사
 2015년 9월~현재 : 국방과학연구소

<관심분야> 위성통신, 군통신, 채널모델링, 통신시스템 분석

이 성 재 (Sung-Jae Lee)



1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 학사
 1996년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
 1996년 1월~현재 : 국방과학연구소

<관심분야> 위성통신, 군통신, 위성통신단말, 통신시스템, RF 송수신시스템