

하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 TCP 성능 분석

이 규 환^{*,}, 장 동 혁^{*}, 이 성 재^{*}

Performance Evaluation of TCP in Hybrid Satellite-Terrestrial Relay Networks

Kyu-Hwan Lee^{*,}, Dong-Hyuk Jang^{*}, Sung-Jae Lee^{*}

요 약

지상 모바일 위성 통신에서 MRC 기법을 사용하는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크는 위성으로부터 전송된 신호의 품질을 향상하는데 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 TCP 처리율과 spectral efficiency 성능을 수식으로 도출해보고 다양한 환경의 TCP 성능 평가 결과에 대해서 분석해보았다. 분석 결과, MRC 덕분에 지상 중계기의 수를 증가하는 것으로 TCP 처리율과 spectral efficiency 성능을 향상할 수 있지만 채널 상태에 상관없이 고정된 지상 중계기 수를 적용하는 것은 오버헤드가 발생할 수 있다. 또한 TCP 성능은 패킷손실률에 민감하기 때문에 하이브리드 위성-지상중계기 네트워크에서 MRC 기법 적용만으로는 성능 향상에 한계가 있다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 논문에서는 추가적으로 오버헤드를 줄이고 네트워크 성능을 향상할 수 있는 솔루션들에 대해서도 토론해 본다.

Key Words : Satellite communication, Hybrid satellite-terrestrial relay network, TCP, Land mobile satellite network

ABSTRACT

In the land mobile satellite (LMS) communication, a hybrid satellite-terrestrial relay networks (HSTRNs) using a maximal ratio combining (MRC) scheme are widely used to enhance the quality of signal from a satellite. In this paper, we derive equations for the TCP throughput and the spectral efficiency in the HSTRN and analyze results of the performance evaluation for TCP in various environments. In the simulation results, it is shown that increasing the number of terrestrial relays can enhance the TCP throughput and spectral efficiency thanks to the MRC scheme. However, the usage of the static number of terrestrial relays considering no channel states would cause the overhead. Furthermore, it has a limitation to enhance the network performance by only MRC scheme in HSTRN because the TCP performance is sensitive to the packet los rate. Therefore, we discuss the possible solutions that can additionally enhance the network performance and reduce the overhead.

* First Author : Agency for Defense Development, drkhlee@add.re.kr, 정회원

° Corresponding Author : Agency for Defense Development, drkhlee@add.re.kr, 정회원

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

논문번호 : KICS2016-10-286, Received October 4, 2016; Revised December 28, 2016; Accepted January 12, 2017

I. 서 론

최근, 집중 빔 기술이나 온보드 프로세싱과 같은 위성 통신기술의 발전으로 위성 통신의 활용도가 높아지고 있다^[1-3]. 위성통신은 광범위한 지역에 통신 서비스를 제공할 수 있기 때문에 지상 통신 망 구축이 어려운 재난 상황이나 군 작전 상황, 그리고 선박이나 항공기에서 많이 활용되고 있다^[1-3]. 특히, 최근에는 안테나 기술의 발전으로 휴대용 위성단말에도 데이터 및 음성과 같은 통신 서비스를 제공할 수 있다^[4]. 하지만 위성통신의 경우 위성과 위성단말 간 가시선 (LOS: line-of-sight) 환경을 제공해 줘야 하는데 위성단말이 높은 빌딩이 많은 도심 지역이나 지하도로나 터널등에 위치하고 있을 때 비가시선 (NLOS: nonline-of-sight) 환경이 발생하여 통신 불능이나 수신 신호가 감쇄되는 상황이 발생 할 수 있다. 그러므로 위성단말의 신호 수신 성능을 향상을 위해 지상에 위성 통신 신호를 중계하는 갭 필터와 같이 위성통신을 보조하는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크가 많이 활용되고 있다^[5].

그러므로 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에 대한 다양한 연구들이 진행되었다^[5-8]. Morosi의 연구에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 지연 다양성을 활용하여 비트 에러율 (BER: bit error rate) 성능을 향상하는 기법을 제안하였다^[5]. Bhatnagar의 연구에서는 일반적인 지상 모바일 위성 통신의 페이딩 채널 환경에서 지상 중계기가 amplifier and forward 기법을 사용할 때 심볼 에러율을 도출하였다^[6]. 또한 Bhatnagar의 또 다른 연구에서는 페이딩 채널 파라미터와 지상 중계기의 수에 따른 비트 에러율과 채널 용량, 그리고 채널 아웃티지 확률을 closed-form 수식을 도출하여 제시하였다^[7]. An의 연구에서는 위성과 위성 단말이 다중 안테나를 가지고 있고 각각 채널에 간섭이 발생할 경우 심볼 에러율, 채널 용량, 채널 아웃티지 확률을 수식을 도출하여 제시하였다^[8].

일반적으로 통신에서 신뢰성 있는 데이터를 송수신하기 위해서 TCP가 사용된다. 하지만 위성 통신에서는 매우 긴 전송 지연 시간을 가지고 있고, 비가시선 상황이 발생하면 패킷손실이 발생할 수 있기 때문에 패킷 손실에 민감하게 동작하는 TCP의 경우에는 처리율 성능이 크게 감소할 수 있다^[9]. 그러므로 본 논문에서는 하이브리드 위성-중계기 네트워크에서 TCP의 처리율, spectral efficiency 성능을 수식적으로 도출해 보고, 다양한 환경에서 TCP의 성능을 평가해본다.

또한, 도출한 결과를 바탕으로 위성통신 환경에서 효율적으로 데이터 전송 처리율을 향상 할 수 있는 방법에 대해 토론해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대하여 살펴본다. 3장에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 수직적 TCP 성능 분석을 기술하고, 4장에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 다양한 환경에 대하여 TCP 성능을 평가해 보고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 하이브리드 지상-위성 네트워크

휴대용 위성단말같이 위성 단말과 위성 사이에 가시선 환경이 지속적으로 제공되지 않는 지상 모바일 위성 통신 환경에서는 그림 1과 같이 지상 중계기의 도움을 받아서 비가시선 환경에서 수신 신호 품질을 향상할 수 있다^[5]. 일반적으로 지상 중계기는 위성에서 전송한 신호를 가시선 환경에서 수신할 수 있도록 고층 빌딩에 설치되고, 지상 중계기와 위성 단말 사이에는 가시선 환경이 제공 될 수 있으므로 좋은 품질의 신호를 위성 단말에서 수신할 수 있다. 또한 위성과 지상 중계기의 신호는 시분할/주파수분할 방식을 통해서 수신 단말에 전달되고 수신 단말에서는 수신된 신호들에 대표적으로 많은 연구에서 활용되고 있는 MRC (maximal ratio combining) 방식을 적용하여 신호 품질을 더욱 더 향상할 수 있다^{[5]-[8]}.

2.2 위성 통신에서 TCP

위성 통신에서 긴 전송지연 시간과 무선 단에서 발생할 수 있는 패킷 손실은 TCP의 성능을 크게 저하시킬 수 있다^[9]. TCP의 경우 유선 통신을 기반으로 설계되어 있어 라우터에서 발생하는 버퍼 오버플로우와 무선 단에서 발생하는 패킷 손실을 구별할 수 없기 때문이다. 그러므로 TCP의 성능을 향상하기 위해 다양한 PEP (performance enhancing proxy) 기술들이 연구되었고, TCP Hybra와 같은 위성 링크만을 위한 TCP 기술들이 제안되었다^{[10]-[11]}. 하지만 TCP의 성능은 패킷 손실에 매우 민감하기 때문에 위성 링크를 위한 TCP 기술들이 적용된다 할지라도 패킷 손실이 빈번하게 발생하는 환경에서는 TCP 처리율의 성능 저하가 발생한다^[12].

III. 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 수직적 TCP 성능 분석

3.1 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 위성이 한 개의 안테나로 신호를 전송하면 위성 단말과 지상 중계기를 포함하여 지상의 N_A 개 안테나로 신호를 수신한다. 본 논문에서는 지상 중계기와 위성 단말 사이에는 페이딩 없이 신호를 수신할 수 있다고 가정한다. 위성 단말에서 최종 수신한 신호는 다음과 같다⁷⁾.

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}x + \mathbf{e}, \quad (1)$$

\mathbf{h} 는 $N_A \times 1$ 행렬로 전송 안테나와 수신 안테나 사이의 채널 이득 값을 나타낸다. x 는 E_s 의 평균 전력을 가지고 있는 위성에서 전송하는 신호를 의미한다. \mathbf{e} 는 $N_A \times 1$ 행렬로 0의 평균과 N_0 의 편차를 가진 부가 백색 가우스 잡음을 나타낸다. \mathbf{h} 는 위성 단말과 위성 간 그리고 지상 중계기와 위성 간의 채널 모델을 나타내기 때문에 shadowed-Rician 페이딩 모델에 따르며, Ω 의 평균 전력을 갖는 Nakagami- m 랜덤 변수 특성을 가지고 있고 shadowing의 정도를 나타내는 파라미터인 m , 신호의 다중 경로에 의한 페이딩과 관련된 파라미터인 b 에 따라 페이딩 채널 특성이 달라진다. 본 논문에서는 채널에 대한 정보를 알고 있기 때문에 MRC 기법을 사용할 수 있다 가정하고, 그에 따른 수신 SNR(signal to noise ratio)는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{\|\mathbf{h}\|^2}{N_0} E_s, \quad (2)$$

$\|\cdot\|$ 는 Euclidean norm을 나타낸다.

Bhatnagar의 연구에서 도출된 수식을 활용하면, M-PSK 변조 기법을 사용할 때 비트 에러율은 다음과 같이 나타낼 수 있다⁷⁾.

$$P_e(\bar{\gamma}) = \frac{2\alpha^{N_A} \max(M/4, 1)}{\zeta_M} \sum_{k=1}^c \sum_{l=0}^c \beta^{c-l} \times (\mathcal{J}(k, l, d, \bar{\gamma}) + \epsilon \delta \mathcal{J}(k, l, d+1, \bar{\gamma})), \quad (3)$$

$$\mathcal{J}(k, l, d, \bar{\gamma}) = \frac{\Gamma(d-l+1/2) b_k^{2l-2d}}{2\sqrt{\pi} \bar{\gamma}^{d-l} \Gamma(d-l+1)} \times {}_3F_2\left\{d, d-l, d-l+1/2; d-l+1, d-l; \frac{(\beta-\delta)}{\bar{\gamma} b_k^2}\right\}, \quad (4)$$

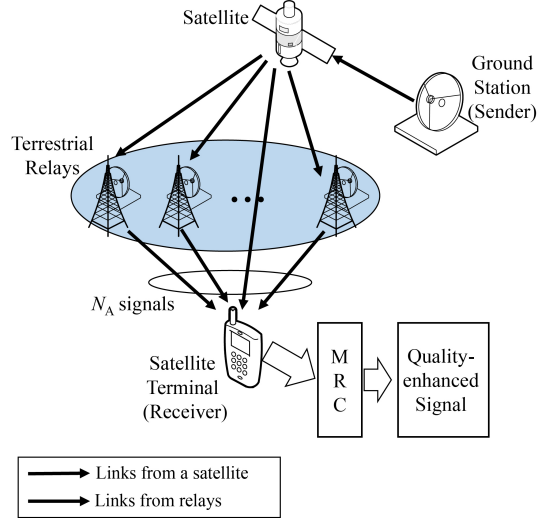


그림 1. 시스템모델
Fig. 1. System model

$\bar{\gamma}$ 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 $(d-N_A)^+$, d 는 $\max\{N_A, \lfloor mN_A \rfloor\}$, ϵ 은 mN_A-d 이다. 이때, $(z)^+$ 는 $z \leq 0$ 이면, $z=0$ 으로 만들어 주는 함수이고, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 내림 함수이다. 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. 본 논문에서는 MRC 기법 적용을 고려하기 때문에 수식 (3)에서 보는 것과 같이 N_A 가 증가함에 따라 비트 에러율 성능이 향상 될 수 있다.

3.2 수직적 성능분석

본 논문에서는 하이브리드 위성-중계기 네트워크에서 TCP의 처리율, spectral efficiency 성능을 수직적으로 도출하기 위해 TCP 계층에서 패킷 손실률을 다음과 같이 계산한다.

$$p_s = 1 - (1 - P_e(\bar{\gamma}))^{L_s}, \quad (5)$$

L_s 는 TCP 세그먼트 크기이다. TCP 처리율은 Padhye의 연구에서 도출된 수식을 활용하면 수식 (6)과 같이 구할 수 있다⁹⁾. b_s 는 ACK 세그먼트 전송 시 몇 개의 세그먼트에 대한 정보를 집약해서 보내는지를 나타내는 값이고, W_m 은 최대 혼잡 제어 윈도우 크기이다. T_0 는 TCP의 timeout 값이고, RTT 는 위성

통신에서의 패킷 왕복시간이다.

본 논문에서는 자원 이용 효율을 다음과 같이 계산한다.

$$\eta = \frac{L_F}{L_{RU}}, \quad (7)$$

L_F 는 전송하는 파일의 크기를 나타낸다. L_{RU} 는 파일을 보내기 위해 필요한 자원량을 나타내는데, 주어진 패킷손실률에 따른 L_{RU} 는 다음과 같다.

$$L_{RU} = N_{FT}L_S(1-p_s)\sum_{k=1}^{\infty}kp_s^{k-1} \quad (8)$$

$$\approx \frac{N_{FT}L_S}{1-p_s}.$$

$$N_{FT} = \lceil \frac{L_F}{L_S} \rceil \quad (9)$$

Spectral efficiency를 계산하면 다음과 같다.

$$\lambda = \eta \log_2(M), \quad (10)$$

$\log_2(M)$ 은 M -ary 변조에서 기본 spectral efficiency를 나타낸다. 예를 들어 8PSK에서 기본 spectral efficiency값은 3bits/sec/Hz이다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서 수직적 TCP 성능 분석을 바탕으로 shadowing 파라미터, 변조 방식, N_A 값에 따른 다양한 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크 환경에서 TCP 처리율 성능을 평가해 본다. 일반적으로 무선 통신 시스템에서는 시스템에서 요구되는 비트 에러율 만족하기 위해 수신 신호의 감도 정보를 바탕으로 적응적인 변조 기법을 적용한다. 그러므로 데이터를 전송하는 위성 기지국에서 주기적으로 위성 단말의 수신 신호 감도에 대한 정보를 보고 받는 환경에서 적응적인 변조 기법이 적용되었을 경우 TCP 처리율과 spectral

efficiency 성능에 대해서도 분석해 본다. 표 1은 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다^{7,9)}. 본 논문의 채널 환경에서 shadowing은 빈번하게 강한 shadowing (FHS: frequent heavy shadowing), 평균적인 shadowing (AS: average shadowing), 드문 약한 shadowing (ILS: infrequent light shadowing)을 고려한다. TCP의 경우에는 패킷 손실률에 민감하게 TCP 처리율이 감소하기 때문에 시스템에서는 매우 낮은 패킷 손실률이 요구 된다. 그러므로 시스템에서 요구하는 패킷 손실률은 0.001% 이라고 가정한다. 요구되는 비트 에러율은 수식 (5)에서 역으로 요구되는 패킷 손실률로부터 계산할 수 있다.

그림 2는 4PSK 변조기법이 사용되고 N_A 값이 2일 경우에 shadowing에 따른 TCP 처리율을 나타낸다. N_A 값이 2라는 의미는 위성단말이 한 개의 지상 중계기와 위성으로부터 신호를 수신하는 환경이라는 것이다. 그림 2에서 보는 것과 같이 FHS 환경에서는 TCP 처리율이 저하되지 않기 위해서는 매우 높은 송신전력이 필요하다는 것을 알 수 있고, 사실상 TCP 처리율 성능이 매우 낮은 것을 살펴볼 수 있다. 반면에 AS와 ILS 환경에서는 FHS 환경과 비교하여 낮은 송신전력이 필요하다는 것을 살펴볼 수 있다.

그림 3은 AS 환경에서 N_A 값이 2일 경우에 변조 기법에 따른 TCP 처리율을 나타낸다. 그림 3에서 보는 것과 같이 지상 모바일 위성 통신 환경에서 저차 변조 기법을 사용했을 경우에는 낮은 SNR 환경에서도 비

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter

Parameter	Value
File size	40Mbytes
TCP segment size	1500bytes
T_0	1.5sec.
W_m	64kbytes
b_s	2
RTT	500ms
Shadowing factor	FHS, AS, ILS
Modulation	4PSK, 8PSK, 16PSK, 32PSK
N_A	2, 3, 4
Target PER	10^{-4}

$$G = L_S \times \min \left(\frac{W_m}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2b_s p_s}{3}} + T_0 \min \left(1, 3 \sqrt{\frac{3b_s p_s}{8}} \right) p_s (1 + 32p_s^2)} \right) \quad (6)$$

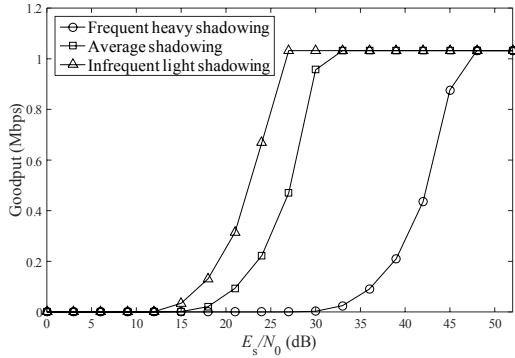


그림 2. Shadowing에 따른 TCP 처리율 (4PSK, $N_A = 2$)
Fig. 2. TCP throughput according to shadowing factors (4PSK, $N_A = 2$)

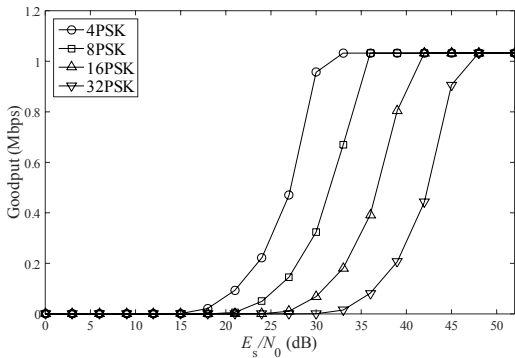


그림 3. 변조 기법에 따른 TCP 처리율 (AS, $N_A = 2$)
Fig. 3. TCP throughput according to modulation schemes (AS, $N_A = 2$)

트 에러율 성능이 좋기 때문에 TCP 처리율 성능이 좋게 나타나는 것을 살펴 볼 수 있다. 하지만 높은 SNR 환경에서도 저차 변조기법을 사용하게 되면 spectral efficiency 성능이 저하된다. 그러므로 spectral efficiency를 향상하기 위해 고차 변조기법인 32PSK를 적용이 필요한데 이를 위해서는 높은 송신전력이 필요하다는 것을 알 수 있다. 특히, FHS의 지상 모바일 위성 통신 환경에서 고차 변조기법을 적용하기 위해서는 다수의 지상 중계기가 필요하다는 것을 예상할 수 있다. 그림 4는 AS와 FHS 환경에서 32PSK를 사용할 경우에 N_A 값에 따른 TCP 처리율을 나타낸다. AS 환경에서는 N_A 값을 증가하면 32PSK를 적용하는데 필요한 송신전력이 낮아지는 것을 살펴볼 수 있다. FHS 환경에서는 N_A 값을 증가하면 32PSK를 적용하는데 필요한 송신전력이 낮아지기는 하지만 많은 수의 지상 중계기가 필요하다는 것을 살펴 볼 수 있다.

그림 5와 6은 적응적인 변조 기법이 적용되었을 경우 TCP 처리율과 spectral efficiency를 나타낸다. 그

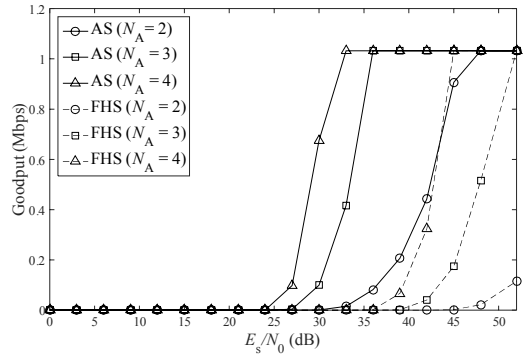


그림 4. N_A 에 따른 TCP 처리율 (AS)
Fig. 4. TCP throughput according to N_A (AS)

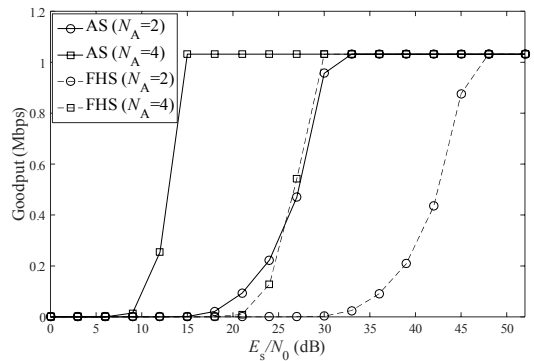


그림 5. 적응적인 변조 기법이 적용되었을 경우 TCP 처리율
Fig. 5. TCP throughput in the case of the adaptive modulation

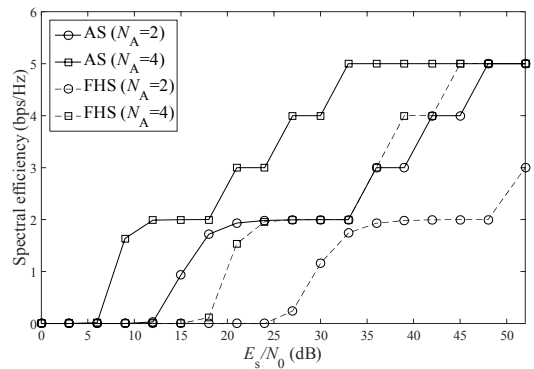


그림 6. 적응적인 변조 기법이 적용되었을 경우 spectral efficiency
Fig. 6. Spectral efficiency in the case of the adaptive modulation

림 5에서 보는 것처럼 시스템에서 요구하는 패킷 손실률을 만족하기 위해 송신전력이 낮아짐에 따라 저차 변조기법이 적용되어 TCP 처리율 성능이 저하되지 않는 것을 살펴 볼 수 있다. 하지만 그림 6에서 보는 것처럼 저차 변조기법을 사용하기 때문에 spectral

efficiency가 송신전력이 낮아질수록 저하되기 때문에 더 많은 주파수 자원을 사용해야 되는 것을 살펴 볼 수 있다. 지상 중계기의 수를 늘려 N_A 값을 증가하면 좀 더 좋은 spectral efficiency 성능이 나타나는 것을 살펴볼 수 있지만 FHS 환경에서 높은 spectral efficiency를 위해서는 많은 수의 지상 중계기가 필요하다는 것을 살펴 볼 수 있다.

결과적으로 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서는 MRC 기술 덕분에 지상 중계기를 사용하면 FHS 환경에서도 TCP 처리율이 저하되지 않으면서 높은 spectral efficiency를 제공해 줄 수가 있다. 하지만 FHS 환경에 맞춰서 고정된 다수의 지상중계기 사용은 추가적인 전력소모와 유지보수와 같은 오버헤드가 발생할 수 있다. 또한, TCP와 같은 경우에는 패킷 손실에 민감하게 TCP 처리율이 저하되기 때문에 지상 중계기 적용만으로는 TCP 처리율과 spectral efficiency 성능 향상에 한계가 있다^{9,12}.

V. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 위성-중계기 네트워크에서 수식적으로 도출된 비트 에러율 값을 활용하여 TCP 처리율, spectral efficiency 성능을 수식적으로 도출하여, 다양한 환경에서 TCP 의 성능을 평가해 보았다. 성능평가 결과 위성과 지상중계기의 신호들에 MRC 기술을 적용하여 수신 신호 품질을 향상할 수 있는 하이브리드 위성-지상 중계기 네트워크에서는 지상 중계기의 수를 늘리면 FHS 환경에서도 TCP 처리율이 저하되지 않으면서 spectral efficiency도 향상할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 채널 환경을 고려하지 않고 고정적으로 다수의 지상중계기 사용하면 추가적인 전력소모와 유지보수 비용과 같은 오버헤드가 발생할 수 있다. 또한 TCP 처리율은 패킷 손실에 민감하게 저하되기 때문에 지상 중계기 추가 적용만으로는 데이터 전송 처리율과 spectral efficiency 성능을 향상하는데 한계가 있다. 그러므로 본 논문에서는 효율적으로 데이터 전송 처리율과 spectral efficiency를 향상할 수 있을 것으로 예상되는 해결 방안을 제시한다.

1) 위치기반의 지상중계기 운용 기법 적용: 지상 모바일 위성통신의 경우 지역에 따라 도심지역, 교외지역, 고속도로지역등으로 나뉘어서 채널 환경이 달라질 수 있다¹³. 그러므로 지역에 따라 설치하는 지상 중계기의 수를 달리하여 전력 소모 및 유지보수 오버헤드를 감소하고 위성 단말이 소속한 위치에 따라 필

요한 지상 중계기 수를 반영하여 위성기지국과 위성 단말에서 MRC 기법에서 사용할 신호의 수를 적응적으로 선택한다면 효과적으로 수신 신호의 품질을 향상 할 수 있을 것이다¹⁴.

2) UDP 기반 AL-FEC 기법 적용: UDP 기반의 AL-FEC 기법이 TCP 대신 데이터 전송이 적용된다면 지상 모바일 위성 통신환경에서 데이터 전송의 신뢰성을 보장하면서 데이터 전송 처리율 성능을 향상할 수 있다¹². UDP 기반의 AL-FEC 기법에서는 TCP 처럼 ACK 수신기반이 아닌 고정된 전송률 기반으로 데이터 전송률을 결정하기 때문에 패킷 손실률에 덜 민감하게 데이터 전송 처리율이 저하된다. 또한 UDP 기반 AL-FEC기법이 적용됨에 따라 시스템에서 요구되는 비트 에러율 값을 느슨하게 선택할 수 있다면 spectral efficiency도 향상할 수 있을 것이다.

위와 같은 기법들이 연구되고 적용된다면 하이브리드 위성-중계기 네트워크에서 데이터 전송 처리율 향상과 spectral efficiency 향상에 도움이 될 수 있을 것이라 예상된다.

References

- [1] H. W. Park, H. S. Lee, and W. S. Yoon, "Performance analysis of cooperative communication with spread spectrum to overcome channel blockage for on-the-move terminal in next generation satellite communication systems," *J. KICS*, vol. 39, no. 9, pp. 757-766, 2014.
- [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] D. Oetting and T. Jen, "The mobile user objective system," *JOHNS HOPKINS APL Technical Digest*, vol. 30, no. 2, pp. 103-112, 2011.
- [5] S. Morosi, S. Jayousi, and E. D. Re, "Cooperative delay diversity in hybrid

satellite/terrestrial DVB-SH system,” in *Proc. IEEE ICC*, 2010.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] J. Padhye, V. Firoiu, D. F. Towsley, and J. F. Kurose, “Modeling TCP reno performance: a simple model and its empirical validation,” *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 8, no. 2, pp. 133-145, 2000.

[10] C. Caini, R. Firrincieli, and D. Lacamera, “PEPsal: A performance enhancing proxy for TCP satellite connections,” *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 22, no. 8, pp. 9-16, 2007.

[11] P. Davern, N. Nashid, C. J. Sreenan, and A. Zahran, “HTTPEP: A HTTP performance enhancing proxy for satellite systems,” *IJNGC*, vol. 2, 2011.

[12] 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 Commun. and Netw.*, vol. 2015, no. 1, 2015.

[13] W. M. Smith, “Channel characterization and modeling for satellite communications on the move,” in *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 821-827, 2005.

[14] 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 : 이주대학교 전자공학부 학사
 2015년 8월 : 이주대학교 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