DBpia

저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능 분석

정회원 강 군 석*, 김 수 영*, 박 세 경**, 이 성 팔*

Performance Analysis of Turbo Codes for LEO Satellite Communication Channel

Kunseok Kang*, Sooyoung Kim Shin*, Se Kyoung Park**, Seong Pal Lee* *Regular Members*

요 약

최근 위성을 이용한 고속 멀티미디어 서비스 시대가 도래함에 따라, 저궤도 위성통신에 대한 관심이 증대되고 있다. 이러한 저궤도 위성통신 채널에서 고속 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 매우 우수한 성능의 오류정정부호가 요구된다. 1993년 Berrou등에 의해 발표된 터보부호는 Shannon 한계에 근접하는 우수한 성능을 나타냄으로써 현재 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 저궤도 위성통신 채널을 모델링하고 이에 의해 발생된 각 지역별 전파환경과 앙각의 변화에 따른 페이딩 특성을 분석한다. 그리고 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능을 시뮬레이션하고 기존의 길쌈부호의 성능과 비교 분석하였다. Globalstar의 궤도 파라미터를 이용하여 모델링한 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호는 기존의 길쌈부호와 비교하여 각 전파환경과 앙각의 변화에 대해서 약 1.0~2.0dB의 부호화 이득을 더 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 분석된 결과는 각 전파환경별로 앙각의 변화에 따라 나타나는 이득의 차이에 대한 원인과 부호의 종류에 따른 성능을 분석함으로써 향후 시스템별 환경에 따른 부호의 선정에 도움이 될 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

In recent years, LEO(Low Earth Orbit) satellite communication systems have gained a lot of interest, as high speed multimedia services by satellite are about to be provided. It is mandatory to use very efficient ECC(Error Correcting Code) to support high speed multimedia services over LEO satellite channel. Turbo codes developed by Berrou et al. in 1993 have been actively researched since it can achieve a performance close to the Shannon limit. In this paper, a LEO satellite channel model is adopted and the fading characteristics of LEO satellite channel are analyzed for the change of elevation angle in various propagation environments. The performance of turbo codes is analyzed and compared to that of conventional convolutional code using the satellite channel model. In the simulation results using the Globalstar orbit constellations, performance of turbo codes shows 1.0~2.0dB coding gain compared to that of convolutional codes over all elevation angle and propagation environment ranges we have investigated. The performance difference resulting from the change of elevation angle in various propagation environments and the performance of different ECC are analyzed in detail, so that the results can be applied to choose an appropriate ECC scheme for various system environment.

Ⅰ. 서 론

근래 들어 위성을 이용한 고속 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 주파수 자원의 효율적인 이용과 더불어 고품질의 서비스를 고속으로 제공하기 위한 고효율의 오류정정부호화 방식의 사

* 한국전자통신연구원 무선.방송기술연구소 위성통신시스템연구부 (kangks@etri.re.kr),
** ㈜ 에이알테크놀러지
논문번호 : 00266-0714, 접수일자 : 2000년 7월 14일

www.dbpia.co.kr

용이 필수적으로 고려되고 있다. 기존의 위성통신 시스템에서 가장 보편적으로 사용되던 길쌈부호 또는 길쌈부호와 리드솔로몬부호의 연접부호보다는 최근에 개발된 터보부호[1]의 사용이 더 효율적이라는 결과들이 발표되고 있다[2-3]. 특히 [2]에서는 위성에서의 ATM 셀 전송을 위하여 ATM 셀 크기에 알맞도록 설계된 터보부호를 이용하여 다양한 시뮬레이션 결과를 제시한 바 있다.

저궤도 위성통신 채널의 경우 위성의 빠른 이동으로 인한 도플러 천이의 발생과 연속적인 앙각(elevation angle)의 변화 그리고 수신 전파환경에 따라 수신 신호의 감쇠량이 크게 달라지게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 위성통신 시스템에서 터보부호 사용에 대한 필수적인 요구에 따라 저궤도 위성통신 채널환경의 각 지역별 전파환경과 앙각의 변화에 따른 페이딩 특성을 분석하고, 이러한 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능을 기존의 오류정정부호방식과 비교 분석하였다. 각 전파환경별로 앙각의 변화에 따라서 나타나는 성능 차이에 대한 원인을 채널의 특성을 나타내는 각 파라미터들을 이용하여 분석하고 또한 기존의 길쌈부호와 성능을 비교하여 분석함으로써 시스템에서 요구되는 신호 품질과 전파환경에 따라서 적절한 오류정정부호의 선정에 도움이 될 수 있도록 하였다.

1993년 Berrou[1]등에 의해 발표된 터보부호는 2개 이상의 Recursive Systematic Convolutional (RSC) 부호기 사이에 인터리버를 두어 병렬 연접한 구조로써 인터리버의 크기와 반복 복호 횟수를 증가시킴으로써 Shannon 한계에 근접하는 성능을 나타낸다. 하지만 복호 알고리즘의 복잡도와 복호 지연 시간으로 인해 실제 시스템에 적용하기에는 많은 문제점이 있었다. 최근에는 복호기의 복잡도 감소를 위한 여러 알고리즘들이 개발되면서 현재 길쌈부호를 이용한 터보부호는 IMT-2000 시스템의 무선전송규격 중의 하나인 CDMA2000[4]의 경우 14.4kbps 이상의 높은 데이터율을 가지는 역방향 부가채널에서 사용될 것으로 보이며, 3GPP(3rd Generation Partnership Project)[5]의 경우 10^{-3}~10^{-6}의 비트오율의 품질이 요구되는 데이터 서비스에 사용될 것으로 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 터보부호의 복호 과정에 대해 간략히 살펴보고, 3장에서는 전파환경별로 앙각의 변화에 따른 저궤도 위성통신 채널의 특성을 분석한다. 4장에서는 3장에서 모델링한 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하고 기존의 길쌈부호와의 성능을 비교함으로써 각 전파환경별로 앙각의 변화가 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 터보부호

터보부호는 2개 이상의 RSC 부호기 사이에 인터리버를 두어 병렬 연접한 구조로써 인터리버의 크기와 반복 복호 횟수를 증가시킴으로써 Shannon 한계에 근접하는 성능을 나타낸다. 복호단에서는 각 구성 부호기에 해당하는 복호기를 직렬로 연결한 구조로써 각 구성 복호기 사이에 인터리버를 둔 형태가 된다.

터보부호의 반복 복호는 복호기에서의 출력값을 연판정으로 내보내 줌으로써 현재 수행된 복호의 신뢰도 정도를 판단하고 이를 고려하여 반복적으로 복호를 수행하여 성능을 향상시키게 된다. 연판정 출력값은 주로 log-likelihood-ratio(LLR)로 표현되어 진다. 수신 신호열에 대한 데이터 비트 d_k의 LLR은 식 (1)과 같이 정의 되어 진다.

$$L(d_k) = \log \frac{P(d_k = 1 | observation)}{P(d_k = 0 | observation)} \quad (1)$$

식 (1)을 살펴보면 LLR은 수신 신호에 대해서 데이터 비트 d_k가 1일 확률과 0일 확률의 비에 로그를 취한 값임을 알 수 있다. 식 (1)에 나타난 LLR 출력값, $L(d_k)$가 양의 값일 경우는 d_k가 1일 확률이 0일 확률에 비해 더 크다는 것을 나타내므로 복호 되는 값은 1이 되고,

$L(d_k)$가 음의 값일 경우는 d_k가 0일 확률이 1일 확률에 비해 더 크다는 것을 나타내므로 복호 되는 값은 0이 된다. 이러한 LLR은 다음의 식 (2)와 같이 세가지 항의 합으로 나타내어질 수 있다.

$$L(d_k) = L_a(d_k) + L_c r_{ks} + L_e(d_k) \quad (2)$$

첫 번째 항, $L_a(d_k)$는 입력 비트 d_k에 대한 사전 정보(a-priori information)의 LLR이고 두 번째 항은 수신된 systematic 정보에 대한 LLR이다. 여기서 L_C는 채널의 신뢰값(reliability value)을 나타내고 r_{ks}는 수신된 systematic 정보 비트를 나타낸다. 그리고 세 번째 항은 외부 정보(extrinsic information)에 대한 LLR이다. 복호 과정에서 앞 단의 구성 복

www.dbpia.co.kr

호기에서 계산된 외부 정보가 인터리버 또는 디인터리버를 거쳐 다음 구성 복호기의 사전 정보로 사용되어 보다 신뢰성 있는 연판정 출력값을 출력하게 된다. 터보부호의 반복 복호 알고리즘으로는 MAP(Maximum a-posteriori), Max-Log-MAP, Log-MAP, SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) 등이 있으며 성능은 MAP과 Log-MAP 알고리즘이 가장 우수하지만 SOVA에 비해 복잡도가 크게 나타난다.

Ⅲ. 저궤도 위성통신 채널 모델

현재 저궤도 위성통신에 대한 관심이 증가 하면서 저궤도 위성통신 채널의 전파 특성을 모델링 하기 위해 많은 연구 결과가 발표된바 있다. Loo[6]가 1985년에 발표한 저궤도 위성통신 채널의 페이딩 모델은 전원지역(rural area)에 적합한 통계적 모델로써 주파수 비선택적 라이시안(Rician) 페이딩과 직접파 성분에 대한 대수정규(lognormal) 분포의 shadowing으로 나타내어진다. Loo 모델은 직접파 성분에 대한 shadowing만을 고려하였고 채널 환경 또한 전원지역만 고려하였으며, 앙각에 대해 고려하지 않았다.

Lutz[7]가 1991년 발표한 저궤도 위성통신 채널의 페이딩 모델은 실측치 분포 경향에 근거하여 페이딩 감쇠가 심한 shadowing 상태를 bad 채널로 나타내고, 페이딩 감쇠 정도가 약한 가시(LOS; line-of-sight)상태를 good 채널로 나타내어 shadowing 시간율을 Markov 모델로 나타낸 통계적 모델이다. Lutz 모델은 good 채널과 bad 채널로 여러 가지 채널환경을 표시하도록 하였고 앙각에 대해서는 부분적으로 고려하여 일부 앙각에 대한 파라미터 값을 설정하였다.

Vucetic[8]이 1992년 발표한 페이딩 모델은 실측 데이터를 이용하여 도심지역(urban area)의 경우 직접파 없이 다중경로 반사파만 고려한 레일레이(Rayleigh) 분포 형태이고, 개방지역(open area)의 경우 직접파와 산란파가 존재하는 라이시안 분포로 나타내었다. 전원지역의 경우는 shadowing 신호와 산란 신호를 레일레이 분포와 대수정규 분포로 나타내었다. Vucetic 모델은 다양한 지역을 모델링 하였지만 Lutz 모델과 마찬가지로 앙각에 대해서는 부분적으로 고려하여 일부 앙각에 대해서만 파라미터 값을 설정하였다.

Corazza[9]가 1994년 발표한 모델은 수신 신호를 라이시안 분포와 대수정규 분포를 가진 신호의 곱으로 나타내어 모델의 파라미터 값만 바꾸어서 모든 채널 환경을 한 모델로 나타낼 수 있도록 하였다. Corazza 모델은 전원지역에 대한 파라미터 계수만을 제시하였지만 모델의 파라미터 계수를 변화시킴으로써 확률분포 함수의 변화 없이 다양한 채널 환경을 표현할 수 있도록 하였고, 각 파라미터에 앙각의 변화를 고려하도록 하였다. 따라서 각 전파환경에 맞는 파라미터 계수를 정할 수 있다면 비정지궤도를 이용하는 저궤도 위성통신 채널의 지속적인 앙각 변화 특성을 수용하여 위성군 변화에 따라 그 특성을 적절히 나타낼 수 있다.

본 논문에서 사용한 저궤도 위성통신 채널 모델은 1998년 ETRI에서 Corazza모델을 이용하여 Vucetic 모델처럼 전파환경을 개방지역, 전원지역, 도심지역으로 구분하여 나타낼 수 있도록 독자적으로 개발한 모델[10]을 사용하였다. 3.1 절에서는 Corazza 모델에 대한 간략한 설명을 하고 3.2절에서는 Corazza 모델을 기본하여 다양한 전파 환경을 나타낼 수 있도록 한 저궤도 위성통신 채널 모델을 설명하였다.

3.1 Corazza 모델

이탈리아의 Corazza가 제안한 이 모델은 수신신호의 확률밀도함수를 직접파와 간접파 모두에 shadowing을 적용한 라이시안 분포와 대수정규 분포의 조합으로 나타내었다. 이 모델의 특징으로는 앙각의 변화를 자유롭게 표현할 수 있다는 것이다.

Corazza 모델에서 수신신호의 포락선 확률밀도함수는 식 (3)과 같이 나타난다.

$$p_r(r) = \int_0^\infty p(r|S)p_s(S)\,dS \tag{3}$$

식 (3)에서 $p(r|S)$는 shadowing S에 대한 조건부 라이시안 확률밀도함수를 나타내며 식 (4)와 같이 나타난다.

$$p(r|S) = 2(K+1)\frac{r}{S^2}\exp\left[-(K+1)\frac{r^2}{S^2} - K\right] \cdot I_0\left(2\frac{r}{S}\sqrt{K(K+1)}\right) \quad (r \geq 0) \tag{4}$$

식 (4)에서 I_0는 영차수정베셀함수(zero order modified Bessel function)이고, K는 라이시안 인자(factor)를 나타낸다. 여기서 S의 확률밀도함수는 대수정규 분포를 가지며 식 (5)과 같이 나타난다.

www.dbpia.co.kr

$$p_s(S)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}h\sigma S}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln S-\mu}{h\sigma^2}\right)\right]\ (S\geq 0) \qquad (5)$$

식 (5)에서 h는 $(\ln 10)/20$, μ와 $(h\sigma)^2$은 $\ln S$의 평균과 분산을 나타낸다. 식 (3)에서 (5)에 나타난 각 파라미터들은 모두 앙각에 대한 함수로써 아래 식 (6)와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} K(\alpha)&=K_0+K_1\alpha+K_2\alpha^2\\ \mu(\alpha)&=\mu_0+\mu_1\alpha+\mu_2\alpha^2+\mu_3\alpha^3\\ \sigma(\alpha)&=\sigma_0+\sigma_1\alpha \end{aligned} \qquad (6)$$

식 (6)에서 앙각의 변화에 따라 각 파라미터들이 변화함을 알 수 있다. 식 (6)의 각 파라미터들의 계수를 조정함으로써 여러 가지 전파 환경을 나타낼 수 있는데, 이는 다음 절에서 상세히 설명하기로 한다.

3.2 개선된 Corazza 모델

Corazza모델을 이용하여 저궤도 위성통신 채널의 전파환경을 개방지역, 도심지역, 전원지역으로 구분하여 다양하게 표현할 수 있는 모델이 개발되었다[10]. 모든 지역에 대한 수신신호의 확률분포 특성을 Corraza 모델에서처럼 라이시안 분포와 대수정규 분포의 결합으로 표현할 수 있도록 식 (6)에 나타난 관련 파라미터들을 실측치를 바탕으로 식 (7)과 같이 나타낸 모델로써 그 값을 표 1.에 나타내었다[10].

$$\begin{aligned} K(\alpha)&=K_0+K_1\alpha+K_2\alpha^2+K_3\alpha^3+K_4\alpha^4\\ \mu(\alpha)&=\mu_0+\mu_1\alpha+\mu_2\alpha^2+\mu_3\alpha^3++\mu_4\alpha^4\\ \sigma(\alpha)&=\sigma_0+\sigma_1\alpha \end{aligned} \qquad (7)$$

표 1. 저궤도 위성통신 채널 모델의 파라미터 계수.

파라미터	개방지역	전원지역	도심지역
K_0	3.8286	1.8768	6.256×10^{-1}
K_1	9.057×10^{-1}	-3.09×10^{-2}	-1.03×10^{-2}
K_2	-4.90×10^{-3}	4.00×10^{-4}	1.333×10^{-4}
K_3	0.0	3.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}
K_4	0.0	-1.00×10^{-7}	-3.333×10^{-8}
μ_0	0.0	-2.3994	-2.06225
μ_1	0.0	1.245×10^{-1}	3.2621×10^{-2}
μ_2	0.0	-2.4×10^{-3}	2.187×10^{-4}
μ_3	0.0	2.0×10^{-5}	-1.684×10^{-5}
μ_4	0.0	-6.0×10^{-8}	1.457×10^{-7}
σ_0	0.0	4.5	6.75
σ_1	0.0	-5.0×10^{-2}	-7.5×10^{-2}

그림 1.에서 그림 3.은 표 1.의 계수들에 의해 계산되어진 파라미터들을 각각 나타낸 것이다. 그림 1.은 앙각과 전파환경에 따른 라이시안 인자의 변화를 나타낸 것이고 그림 2.는 대수정규 분포의 shadowing 평균을, 그림 3.은 대수정규 분포의 shadowing 분산을 나타내었다.

그림 1.에서 개방지역의 경우 앙각이 증가함에 따라 라이시안 인자는 점차적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 직접파 성분이 증가하는 것이므로 채널환경이 좋아진다는 것을 의미한다. 개방지역의 경우 대수정규 분포 shadowing의 평균과 분산이 앙각에 관계없이 0으로 나타나게 된다. 이는 대수정규 분포 shadowing에 의한 감쇠가 없다는 것을 나타낸다.

전원지역의 경우 그림 1.에서 앙각이 증가함에 따라 라이시안 인자가 서서히 증가하게 되지만 개방지역에 비교해서 직접파 성분이 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 그리고 대수정규 분포 shadowing 평균의 경우 앙각이 약 50°이상이 되면 거의 0에 가까워 지는 것을 알 수 있다. 이는 전원지역의 경우 앙각이 일정치 이상이 되면 대수정규 분포 shadowing에 의한 감쇠가 거의 없음을 의미한다. 대수정규 분포 shadowing 분산의 경우도 마찬가지로 앙각이 증가하면서 작아짐을 알 수 있다.

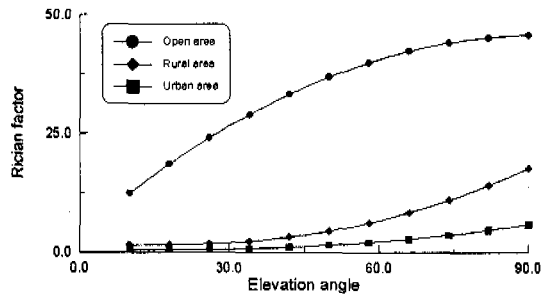


그림 1. 각 전파환경별 앙각에 대한 라이시안 인자.

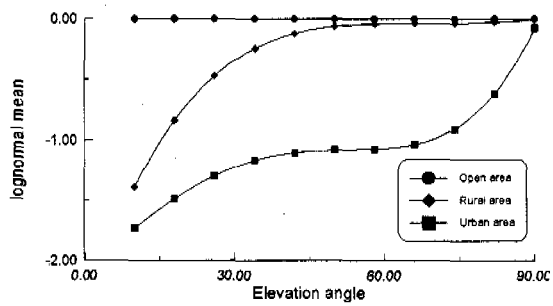


그림 2. 각 전파환경별 앙각에 대한 대수정규 분포 shadowing의 평균.

www.dbpia.co.kr

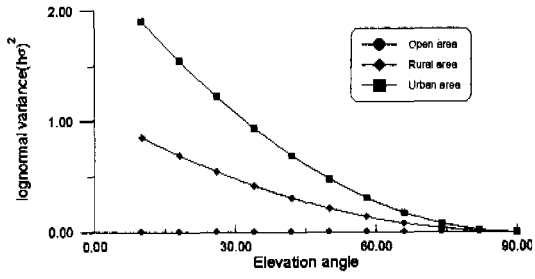


그림 3. 각 전파환경별 앙각에 대한 대수정규 분포 shadowing 의 분산.

도심지역의 경우는 그림 1.에서 라이시안 인자가 앙각이 증가함에도 불구하고 그리 크게 증가하지 않음을 알 수 있다. 이는 도심의 고층건물등과 같이 구조물들에 의해 직접파 성분이 차단되기 때문이다. 그리고 그림 2.의 대수정규 분포 shadowing 평균의 경우도 앙각이 약 70°이상에서 0에 가까워짐을 알 수 있다. 그림 3.의 대수정규 분포 shadowing 분산 또한 타 지역과 비교해 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 4.는 저궤도 위성통신의 모델을 표 2.에 나타난 Globalstar의 궤도 파라미터를 이용하여 사용자의 위치가 동경 127°, 북위 36°일 때를 기준으로 수신신호의 앙각의 변화를 나타낸 것이다.

표 2. Globalstar 궤도 파라미터.

Orbit	LEO
Altitude, km	1,420
Orbit parameters	6 planes, incl.
Satellites/plane	8
Satellites	48
Earth to space, GHz	1.610-1.62135, 5.15-5.25
Space to earth, GHz	2.4835-2.500, 6.975-7.075

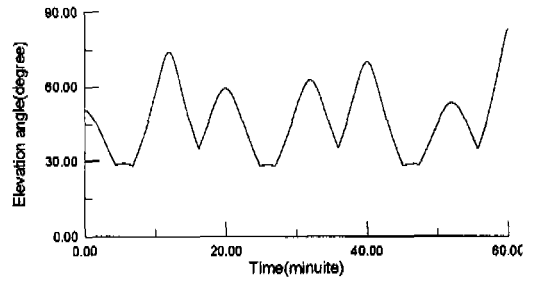


그림 4. Globalstar의 앙각의 변화.

그림 5.에서 그림 7.은 각 전파환경별로 그림 4.에 나타난 시간에 따른 앙각의 변화에 의한 페이딩의 변화를 나타낸 것이다. 여기서는 앙각이 가장 큰 위성의 신호만을 수신할 경우를 나타낸 것이다.

그림 5.의 개방지역에서는 앙각의 변화에 따라 페이딩의 크기에 큰 변화가 나타나지 않으며 앙각이 낮을 경우 페이딩 크기의 변화폭이 조금 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 그림 1.에서 라이시안 인자가 앙각에 비례해서 나타나기 때문인데, 즉 앙각이 낮을 경우 라이시안

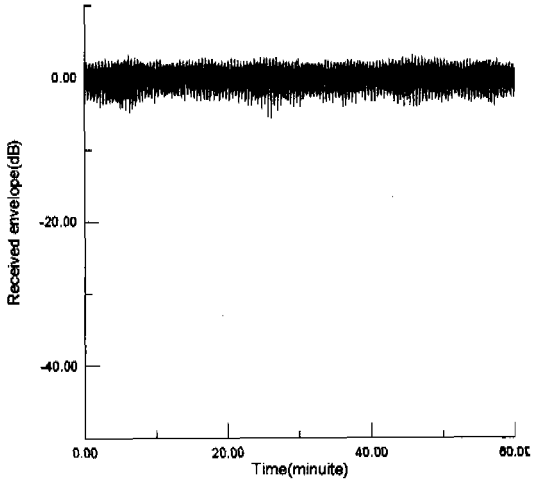


그림 5. 개방지역에서 앙각의 변화에 대한 페이딩 크기.

인자가 상대적으로 낮기 때문에 페이딩 크기의 진폭이 커지게 된다. 전체적인 평균 전력에 있어서는 차이를 보이지 않는데 이는 그림 2.와 그림 3.에서 대수정규 분포 shadowing 의 평균과 분산이 모두 0으로 나타나기 때문에 감쇠가 대수정규 분포 shadowing 에 의한 감쇠가 모든 앙각에서 발생하지 않기 때문이다.

그림 6.에 나타난 전원지역에서는 앙각의 변화에 따라 평균적인 페이딩의 크기의 차이가 비교적 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 그림 2.와 그림 3.에서 앙각의 크기가 작을수록 대수정규 분포 shadowing의 평균 감쇠가 커지게 되고 또한 분산 또한 커지기 때문이다. 따라서 전체적인 수신 전력 또한 개방지역에 비해 낮게 나타난다. 페이딩의 변화폭 또한 앙각이 낮을수록 크게 나타나게 된다. 이는 앙각이 낮을수록 라이시안 인자가 작게 나타나기 때문이며, 또한 대수정규 분포 shadowing이 크게 나타나기 때문이다.

그림 7.에 나타난 도심지역에서는 먼저 앙각에 관계없이 전체적인 신호 전력이 크게 감쇠 되어 나타남을 알 수 있다. 이는 앙각이 증가하여도 라이시안

www.dbpia.co.kr

인자의 증가가 타 지역에 비해 상대적으로 낮게 나타나며, 대수정규 분포 shadowing의 평균 또한 약 80°이전에서는 크게 변하지 않기 때문이다. 전원 지역과 마찬가지로 앙각의 변화에 따라 평균적인 페이딩의 크기의 차이가 비교적 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 전원지역과 마찬가지로 앙각의 크기가 작을수록 대수정규 분포 shadowing의 평균 감쇠가 커지게 되고 또한 분산 또한 커지기 때문이다. 페이딩의 변화폭 또한 앙각이 낮을수록 크게 나타나게 된다. 이는 앙각이 낮을수록 라이시안 인자가 작게 나타나기 때문이며, 또한 대수정규 분포 shadowing이 크게 나타나기 때문이다. 전체적으로 개방지역이나 전원지역에 비해 감쇠가 크게 나타나며 페이딩 변화폭 또한 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

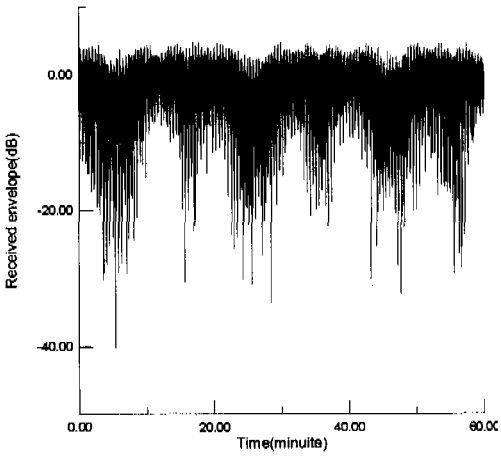


그림 6. 전원지역에서 앙각의 변화에 대한 페이딩 크기.

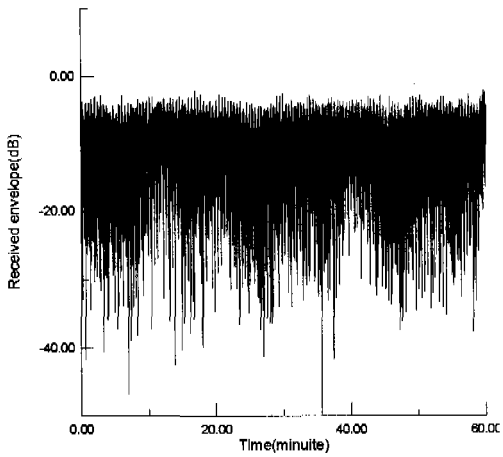


그림 7. 도심지역에서 앙각의 변화에 대한 페이딩 크기.

Ⅳ. 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능

4장에서는 3장에 나타난 저궤도 위성통신 채널에서 터보부호의 성능을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션에서는 CDMA2000[7]의 규격으로 정해진 부호율이 1/2인 터보부호를 참조하여 구성부호기로 구속장(constraint length)이 4인 RSC를 사용하였고, 인터리버는 크기가 1146인 인터리버를 사용하였다. 그리고 복호기에서는 Log-MAP (Maximum a-posteriori)알고리즘을 사용하여 8회 반복을 수행하였다.

그림 8.에는 개방지역, 그림 9.에는 전원지역, 그림 10.에는 도심지역에서 앙각이 각각 20°, 40°, 60°, 80°일 때 터보부호의 성능을 나타내었다.

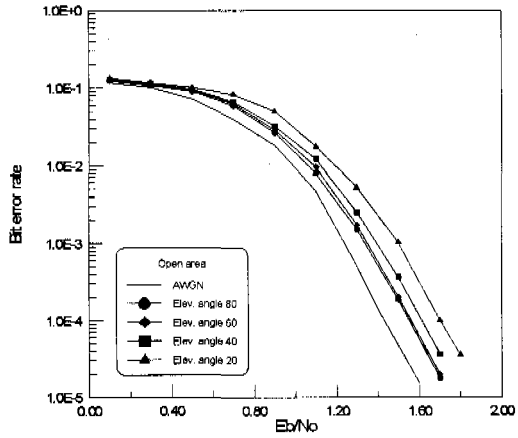


그림 8. 개방지역에서 터보부호의 성능.

그림 8.에 나타난 개방지역의 경우에서 앙각이 높아지면서 점차 비트오율이 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 앙각이 20°에서 60°까지는 성능 향상이 조금씩 나타남을 알 수 있지만 앙각이 60°인 경우와 80°인 경우는 거의 차이가 나타나지 않는다. 이는 그림 1.의 앙각에 따른 라이시안 인자의 변화에서 나타나듯이 60°이상에서는 앙각의 증가에 따른 라이시안 인자의 증가가 그 이하의 경우보다 아주 미미하게 나타나기 때문이다. 그리고 그림 2.와 그림 3.에 나타난 로그노말 shadowing의 영향을 받지않음으로써 앙각의 감소에 따른 성능 차이가 크게 나타나지 않는다.

그림 9.의 전원지역에서는 앙각이 20°일 때와 앙각이 40°도 일 때의 성능차이가 확연히 나타남을

www.dbpia.co.kr

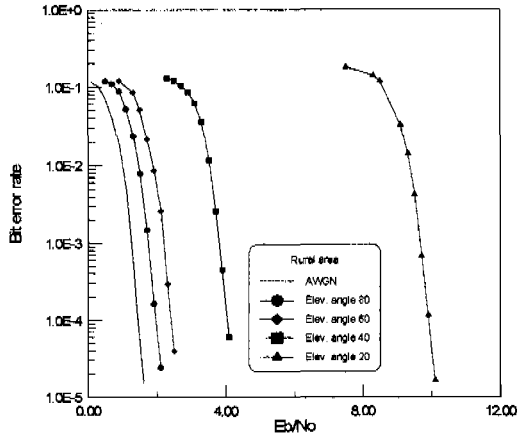


그림 9. 전원지역에서 터보부호의 성능.

알 수 있다. 이는 그림 1.의 라이시안 인자에 의한 영향 때문이기도 하지만 그림 2.와 그림 3.에 나타난 대수정규 분포 shadowing에서의 평균이 앙각 50°이하에서 급격이 감소하기 때문이다. 전원지역의 경우50°이상의 앙각에서는 대수정규 분포 shadowing의 평균 감쇠가 그리 크게 변하지 않기 때문에 성능의 차이는 라이시안 인자와 대수정규 분포 shadowing의 분산의 차이에서 나타나는 것으로 생각된다.

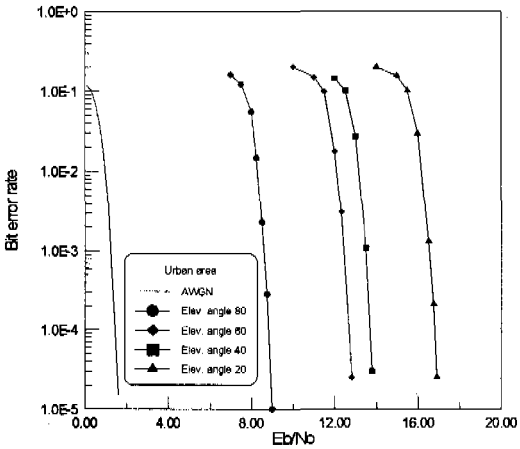


그림 10. 도심지역에서 터보부호의 성능.

그림 10.의 도심지역에서 나타나는 가장 큰 특징은 앙각이 80°일 때와 60°일 때, 그리고 앙각이 20°일 때와 40°일 때의 성능차이가 비교적 크게 나타나는 반면 앙각이 40°일 때와 60°일 때는 크게 차이나지 않는다는 것이다. 이는 먼저 그림 1.의 라이시안 인자의 변화에서 도심지역의 경우 앙각의 변화에 따른 라이시안 인자의 변화가 타지역에 비해 작게 나타나지 때문에 라이시안 인자보다는 대수정규 분포 shadowing의 변화를 더욱 많이 받게 된다. 그리고 대수정규 분포 shadowing의 평균이 앙각이 20°에서 40°사이, 60°에서 90°사이에서는 급격히 증가하는 반면 40°에서 60°사이에서는 완만한 경사를 이루고 있기 때문이다.

전체적으로 그림 8.에서 그림 10.을 살펴보면 개방지역의 경우 앙각의 변화에 대한 성능의 차이가 그리 크게 나타나지 않지만 전원지역과 도심 지역의 경우는 앙각이 낮을 경우 큰 성능 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

그림 11.에서는 앙각이 40°일 때 터보부호와 기존의 길쌈부호와의 성능을 나타내었다. 길쌈부호의 경우 부호율 1/2, 구속장이 9인 경우이고, 터보부호의 경우 구속장이 4이고 인터리버의 크기가 1146, 378인 경우로 각각 8회와 6회 반복을 수행하였다. 이는 인터리버의 크기가 작은 경우 비교적 작은 수의 반복횟수에서도 성능의 포화를 나타내기 때문이다. 일반적으로 Log-MAP 알고리즘의 복잡도는 기존의 비터비 (Viterbi) 복호기의 약 4배정도로 나타난다[11]. 따라서 시뮬레이션에 사용한 터보부호의 복잡도는 8회 반복 복호시 구속장이 4인 Log-MAP 복호를 16회 수행하여야 하므로 구속장이 9인 길쌈부호에 비해 약 2배의 복잡도를 가지게 되고 6회 반복시는 약 1.5배의 복잡도를 가지게 된다고 할 수 있다.

그림 11.에서 나타나듯이 인터리버의 크기가 1146인 경우 기존의 길쌈부호에 비해 전파환경에 따라 10^{-4} BER에서 약 2dB의 이득이 있음을 알 수

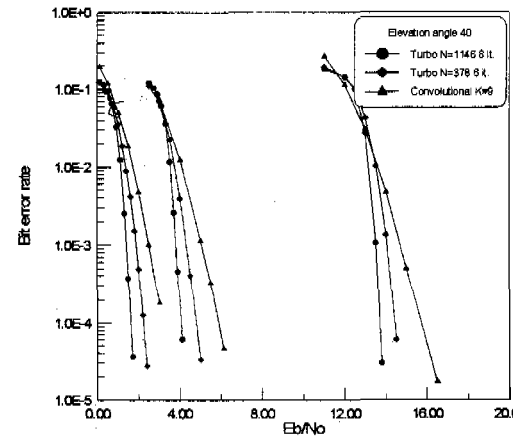


그림 11. 터보부호와 길쌈부호의 성능비교

www.dbpia.co.kr

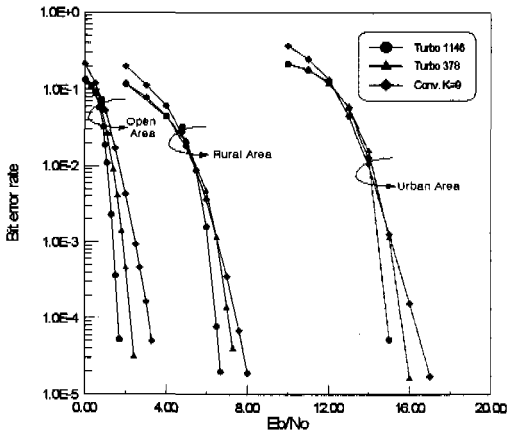


그림 12. Globalstar 전체 주기에 대한 부호화 방식별 평균 비트오율 성능.

있다. 인터리버의 크기가 378인 경우에는 약 1.0~1.3dB의 이득을 나타냄을 알 수 있다.

그림 12.에서는 그림 4.에 나타난 Globalstar의 앙각 변화를 고려한 전체주기에 대한 터보부호와 길쌈부호의 성능을 비교해서 나타내었다. 터보부호와 길쌈부호는 그림 11.에 나타난 부호 특성을 사용하였다.

그림 12.에서도 그림 11.과 마찬가지로 인터리버의 크기가 1146인 터보부호의 경우 길쌈부호에 비해 약 2dB의 이득을 나타내고, 인터리버의 크기가 378인 경우 약 1.0~1.3dB의 이득을 가짐을 알 수 있다.

V. 결 론

저궤도 위성을 이용한 고속 데이터 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 저궤도 위성통신 채널에서 보다 우수한 성능을 가지는 오류정정부호의 필요성 또한 증가하고 있다. 저궤도 위성통신 채널의 경우 도플러 천이와 앙각의 변화, 그리고 전파환경에 따라 수신 신호의 감쇠량 또한 크게 변화하게 된다. 본 논문에서는 저궤도 위성통신 채널에서의 페이딩 특성을 각 전파환경별로 분석하였고 또한 각 전파환경에서 나타나는 성능차이에 대한 원인을 규명하였다. 그리고 각 전파환경에 따라 모델링된 채널에서 현재 가장 성능이 우수한 오류정정부호방식으로 알려진 터보부호를 사용하여 성능을 분석한 결과 각 전파환경과 앙각에 따른 성능에 큰 차이가 나타남을 알 수 있었다. 기존의 길쌈부호와의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석한 결과 저궤도 위성통신 채널에서 시뮬레이션에 사용된 터보부호는 기존의 길쌈부호에 비해 앙각의 변화 그리고 전파환경의 변화에 따라서 조금씩은 차이가 있지만 전체적으로 약 1.0~2.0dB의 부호화 이득을 더 가지는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshma, "Near Shannon limit error-correction coding and decoding : Turbo-codes," *Proc. of ICC*, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, May 1993.

[2] M. Vanderaar, R. T. Gedney, and E. Hewitt, "Comparative performance of turbo product codes and Reed-Solomon / convolutional concatenated codes for ATM cell transmission," *Proc. of 5th Ka-band Utilization Conference*, Taormina, Italy, pp. 409-416, Oct. 1999.

[3] C. Vladon, Y. Rosmanstah, R. Tafazoli, and B. G. Evans, "Performance evaluation of FEC coding schemes for future broandband satellite systems," *Proc. of 5th Ka-band Utilization Conference*, Taormina, Italy, pp. 401-408, Oct. 1999.

[4] ITU-R TR45.5.4, "Candidate ballot text for cdma2000 physical layer"

[5] 3GPP RAN TS 25.212: "Multiplexing and channel coding(FDD)"

[6] Chun Loo, "A statistical model for a land mobile satellite link," *IEEE trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-34, no. 3, pp. 122-127, Aug. 1985.

[7] Erich Luts, Daniel Cygan, Michael Dippold, Frank Dolainsky, and Wolfgang Papke, "The land mobile satellite communication channel-recording, statistics, and channel model," *IEEE trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-40, no. 2, pp. 375-386, May 1991.

[8] Branka Vucetic and Jun Du, "Channel modeling and simulation in satellite mobile communication system," *IEEE J. on Seclect. areas in commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 1209-1218, Oct. 1992.

www.dbpia.co.kr

[9] Giovanni E. Corazza and Francesco Vatalaro, "A statistical model for land mobile satellite channels and its application to nongeostationary orbit system," *IEEE trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-43, no. 3, pp. 736-742, Aug. 1994.

[10] 유문희, 박세경, 이수인, "비정지궤도 이동위성 통신시스템에서의 페이딩 채널 모델링," *전자공학회논문지*, 제35권, S편, 제11호, pp. 1474-1480, 1998.

[11] P. Robertson, E. Villebrun, and P. Hoeher, "A comparison of optimal and sub optimal MAP decoding algorithms operating in the Log Domain," *Proc. of the International Conference on Communications*, pp. 1009-1013, June 1995.

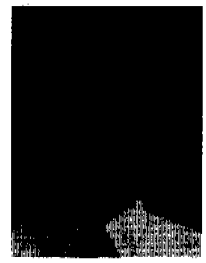
강 군 석(Kunseok Kang) 정회원

1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1999년 3월~현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 위성통신 시스템연구부
<주관심 분야> 이동 및 위성 통신 시스템, 채널코딩

김 수 영(Sooyoung Km Shin) 정회원

1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 학사
1994년 2월~1991년 9월 : 한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부 연구원
1992년 10월 : Univ. of Suurey, U.K 공학 석사
1995년 2월 : Univ. of Surrey, U.K 공학 박사
1994년 11월~1996년 6월 : Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K
1996년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 위성통신시스템연구부 선임연구원
<주관심 분야> 오류정정 부호화 방식, 이동/위성통신 전송 방식 연구 등

박 세 경(Se Kyoung Park) 정회원



1984년 8월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
1999년 8월: 충남대학교 전파공학과 공학석사
1984년 7월~1985년 8월 : (주) 금성사
1985년 9월~2000년 7월 : 한국전자통신연구원 위성통신시스템연구부(팀장, 책임연구원)
2000년 7월~현재 : (주)에이알테크놀러지 전무이사
<주관심 분야> 위성통신시스템 엔지니어링, 위성망 간 주파수 공유 및 간섭평가, 위성망 국제등록 및 조정기술, 위성전파감시기술

이 성 팔(Seong Pal Lee) 정회원

서울대학교 전기공학과 학사
뉴욕공대(Polytechnic Institute of New York) 전자공학 석사
뉴욕공대(Polytechnic Institute of New York) 전자공학 박사
1980년~현재 : 한국전자통신연구원 위성통신시스템 연구부장

www.dbpia.co.kr