

광대역 DS-CDMA 방식 저궤도 이동 위성 시스템 역방향 링크의 다이버시티 성능분석

정회원 이연우*, 정우연*, 김진대**, 강충구*, 차균현*

Diversity Performance in the Return Link of a Wideband DS-CDMA System for LEO Mobile Satellite

Yeonwoo Lee*, Woo-Yeon Jung*, Jin-Dae Kim**, Chung Gu Kang*,
Kyun Hyon Tchah* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 저궤도 이동 위성통신 시스템의 유력한 후보 중 하나인 광대역 DS-CDMA 방식 역방향 링크에서의 다이버시티 성능분석을 실제적인 저궤도 이동 위성 통신 채널환경에서 통신 시스템 시뮬레이션 도구를 사용하여 수행하였다. 저궤도 이동통신 채널의 특성은 짧은 지연확산과 양각 등과 같은 지상의 이동통신 채널과는 근본적으로 다른 특성이 고려되어야 하므로 이러한 고유의 특성을 반영하기 위해 ESA의 실측된 데이터를 기반으로 하여 전원 지역과 도심 지역의 위성 이동통신 채널모형을 구현하였다. 본 논문에서는 이러한 저궤도 이동 위성 채널의 특성을 극복하기 위해 다중 위성 다이버시티와 다중 경로 다이버시티를 적용하여 양각과 다양한 채널환경의 변화에 따른 성능 평가를 수행하였다. 역방향 링크의 성능 평가 결과 위성과 이동체 사이의 양각과 채널환경에 따라 성능 차이가 다르지만, 다이버시티 기법의 적용으로 성능 열화를 극복할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 전원 지역 채널환경에서는 다중 위성 다이버시티 기법을, 도심 지역 채널환경에서는 다중경로 다이버시티 기법을 적용함으로써 만족할만한 성능의 개선을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 도심 지역 채널환경의 경우 전원 지역 채널환경에 비해 광대역 채널 특성이 지배적이라는 이유로 해석된다.

ABSTRACT

In this paper we investigate the diversity performance of return link for wideband DS-CDMA, which has been considered as one of the promising multiple access options in the future LEO mobile satellite communication systems. Since there are fundamental differences in the channel characteristics between the LEO mobile satellite and terrestrial mobile systems, such as a small delay spread and the varying elevation angles, these factors must be taken into consideration for channel simulation model. In our simulative studies, the concerning channel model is based on the actual measurement data from European Space Agency (ESA), which further provides the specific model parameters to capture both rural and urban area channel characteristics. The main objective of the current study is to evaluate the performance of the different diversity techniques, namely multi-satellite diversity and multi-path diversity schemes, which play an essential role to cope the performance degradation due to the low elevation angle under the different mobile satellite channel environments. It is shown that the different types of diversity techniques can be successfully applied to combat the performance degradation due to the low elevation angle. In particular, the simulation results confirm that the multi-satellite and multipath diversity schemes are useful in the rural and urban areas respectively as the urban area is dominated by the wideband channel characteristics as opposed to the rural area.

* 고려대학교 전자·전기·전파공학부(yeonu@popeyes.korea.ac.kr)

** 한국통신 무선통신연구소

논문번호 : 98393-0902, 접수일자 : 1998년 9월 2일

※ 본 연구는 한국통신에서 지원하는 1998년도 정보통신 기초 연구 사업에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

현재 DS-CDMA(direct-sequence code division multiple access) 시스템은 다른 접속방식에 비해 저전력 소모성이나 다중경로 페이딩에 강한 특성 등으로 인하여 글로벌스타(Globalstar)나 콘스텔레이션(Constellation) 또는 오딧세이(Odyssey) 등과 같은 저궤도(LEO)나 중궤도(MEO) 위성군의 형태를 취한 미래의 개인 이동 위성 통신망에서 유력한 후보방식으로 제안되어 개발되고 있다. 이 중에서 저궤도 위성군을 이용한 이동 위성 시스템은 위성의 고도가 낮기 때문에 링크의 전력이 제한된 환경에서 전파 손실이 낮고 전파 지연 시간이 정지궤도 위성 시스템보다 이동 통신 서비스의 제공에 있어서 유리하다고 할 수 있지만, 저궤도 위성의 이동성으로 인해 발생하는 앙각의 변화에 따른 페이딩의 변화와 섀도우잉(shadowing)에 의한 신호 감쇄 및 서비스 가능한 최소 앙각(elevation angle)의 제한 등 링크 설계상의 어려움이 있다.

한편, 저궤도 위성 통신 시스템의 경우 지연 확산(delay spread)이 지상의 채널환경에 비해 매우 작은 것이 특징이다. 일반적으로 지상의 외곽이나 도심 지역 채널의 지연확산은 수 sec 단위인데 비해, 저궤도 위성채널의 지연확산은 100nsec 이하이기 때문에 위성 채널의 상관(coherence) 대역폭은 적어도 10 MHz 이상이 된다^[1]. 따라서, 복수 개의 위성으로부터 수신된 신호를 결합하는 다중위성 다이버시티(diversity) 수신 기법을 적용하면서, 다중경로 성분의 분해를 위해서 확산 대역폭이 10MHz 이상인 광대역 DS-CDMA 방식을 도입하여 다중경로 다이버시티 수신 기법을 적용함으로써 저앙각으로 인한 극심한 페이딩과 섀도우잉을 극복할 수 있다.

본 논문에서는 IS-95와 글로벌스타의 무선 접속 규격인 협대역 DS-CDMA 방식의 확산대역폭으로는 분해 가능한 다중 경로의 수가 제한되므로 10MHz의 광대역 DS-CDMA 방식을 채택하여 다중경로 다이버시티 기법을 적용한 구조에 대하여 고찰하고자 한다. 역방향 링크의 구조는 IS-95나 글로벌스타와 유사한 넌코히어런트(non-coherent) 직교 일차 변조(orthogonal modulation) 기법과 길쌈 부호화를 적용하여 역방향에서의 비동기성에 따른 성능 열화에 대응할 수 있도록 하였다.

저궤도 이동 위성 시스템은 전세계 지역을 서비스 하며 특정 지역에서의 성능은 위성의 앙각 분포와 그 지역의 페이딩 특성에 따라 성능이 결정된다. 본

논문에서는 유럽 ESA (European Space Agency)의 실측치 자료를 바탕으로 하여 전원 지역(rural area) 채널과 도심 지역(urban area) 채널에 대한 각각의 채널 파라미터 값을 앙각에 따른 근사화 식으로 변환한 채널 모델을 고려한다.

본 논문에서는 단일 사용자의 평균 수신 E_b/N_0 에 대해 앙각이나 채널 환경에 따라 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 수행하였고, 저앙각 상황에서의 성능열화를 극복할 수 있는 방안으로 두 개의 위성에 의한 다중위성 다이버시티나 다중경로 다이버시티를 도입하여 전원 지역 및 도심 지역 환경에서의 성능향상 효과를 분석하였다. 특히, 전원 지역 채널 환경에서는 다중위성 다이버시티에 의한 이득이 도심 지역 채널 환경보다 크고, 도심 지역 채널 환경에서는 레이크 수신기에 의한 다중경로 다이버시티의 이득이 전원 지역 채널 환경에 비해 크다는 결론을 얻을 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서는 광대역 DS-CDMA 역방향 링크의 시스템 모델을, 3장에서는 저궤도 이동 위성 채널 모델을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과와 성능평가를 제시하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려한 저궤도 이동 위성 궤도군은 사용자 측면에서 다 수개의 위성이 보일 확률이 높고, 빔 커버리지 영역이 광범위하다고 가정 하였다. 역방향 링크(이동국-위성 트랜스폰더-관문국)의 위성 트랜스폰더(transponder)에서는 지상의 이동국에 대한 동기가 불필요하기 때문에 다수 개의 위성과 이동국 간에 통신 링크가 용이하게 형성되기 위해서는 이동국 안테나의 특성은 전방향성(omni-directional)이라고 가정한다. 따라서, 이동국은 전방향성 안테나를 통해 모든 가시(visible) 위성에 신호를 전송할 수 있다. 반면, 관문국(gateway station)에서는 지향성(directional) 안테나를 통해 각각의 위성을 추적하여 독립적인 신호를 수신한다. 안테나 부엽(side lobe)의 영향을 무시한다면, 다수 개의 위성을 통한 다이버시티 신호들은 완전히 분리 수신되어 결합된 후 복조 된다^[2].

이동국은 가용 앙각 내에 위치한 가시 위성으로 동시에 신호를 전송한다고 가정할 때 본 논문에서 고려한 다이버시티 기법의 개념을 도식화 하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 알 수 있듯이 본 논문에서는 각기 다른 위성으로부터 수신되는 독립적인 신호를

결합하는 다중위성 다이버시티 기법과 동일 위성으로부터 수신되지만 각기 다른 지상의 다중경로 페이딩을 겪은 신호들을 결합하는 다중경로 다이버시티 기법을 적용하였다. 따라서, 위와 같은 가정이 타당하게 성립되기 위해서는 반드시 이동국 사용자와 다수개의 위성을 통한 관문국의 링크가 형성되어야 하고, 각각의 다중경로 페이딩 성분이 포함되어 다수의 위성을 통해 수신되는 신호들은 각기 독립적인 신호로 분리되어야 한다.

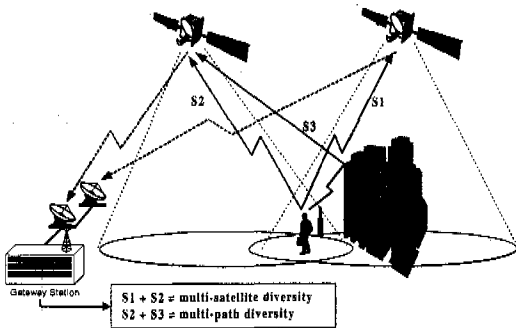


그림 1. 시스템 개념도

또한, 본 논문에서 고려한 역방향 링크에서의 전송 구조는 DS-CDMA 지상 셀룰러 시스템(IS-95)이나 글로벌스타 시스템과 거의 유사하다. 정보 비트는 부호율이 1/3이고 구속장(constraint length) K 가 9인 길쌈(convolucional) 부호화기를 거쳐 부호화되고, 블록 인터리버(interleaver)를 통과 한다. 이렇게 부호화된 정보는 M -진 Walsh-하다마드(Walsh-Hadamard : WH) 함수의 집합 중 하나를 선택하여 시간 축에서 직교성을 획득할 수 있는 M -진 직교 변조기에 의해서 변조된다. 부호화된 이진 데이터들은 $J = \log_2 M$ 비트로 그룹화 되고, 각 그룹은 M -진 직교 WH 시퀀스 $W^{(h)}(t)$, $h=0, \dots, M-1$ 중 하나로 매핑(mapping) 된다. 이 신호는 short PN 코드 $c_1(t)$ 와 $c_0(t)$ 에 의해서 각각 I -채널과 Q -채널에 확산되고, 여기서 Q -채널 신호는 PN 부호의 칩(chip) 주기 T_c 의 반이 지연되어 전송된다. 이 때 사용자에게 의한 전송신호는 일반적으로 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다^[3].

$$s(t) = \sqrt{P} [W^{(h)}(t)c_1(t)\cos(\omega_c t) + W^{(h)}(t-T_c/2)c_0(t-T_c/2)\sin(\omega_c t)] \quad (1)$$

(1) 식에서 P 는 심볼당 전송 전력이고, ω_c 는 반송파 각 주파수이며, $W^{(h)}(t)$ 는 M 개 중 h 번째 직교

WH 함수를 의미한다. 이 신호는 다수 개의 가지 위성에 의해서 형성되는 N 개의 다이버시티 경로를 통과하여 수신기에 도달하고, 그 중 n 번째 위성 경로에 의해 수신된 신호는 L 개의 다중 경로에 따른 페이딩을 겪게된다. 따라서, n 번째 위성 경로로부터 수신되는 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_n(t) = \sum_{i=1}^L a_{n,i} \sqrt{P} [W^{(h)}(t-\tau_{n,i})c_1(t-\tau_{n,i}) \cos(\omega_c t - \tau_{n,i} - \theta_{n,i}) + W^{(h)}(t-T_c/2-\tau_{n,i}) c_0(t-T_c/2-\tau_{n,i}) \sin(\omega_c t - \tau_{n,i} - \theta_{n,i})] + n_n(t) \quad (2)$$

$n=1, \dots, N$

(2) 식에서 $a_{n,i}(t)$ 은 n 번째 위성에서 수신된 i 번째 다중경로 페이딩 성분의 포락선이고, $\tau_{n,i}$ 은 전파지연이며, $\theta_{n,i}$ 은 랜덤 위상, $n_n(t)$ 은 n 번째 위성에서 수신한 평균이 '0'이고, 양측 전력밀도가 $N_0/2$ 인 부가 백색 가우시안(Gaussian) 잡음이다. 또한, 관문국의 수신기 구조는 그림 2와 같이 페이딩과 지연에 의한 신호의 위상변화를 보상하고, 직교 Walsh 변조된 비동기 역방향 링크의 수신신호를 복구할 수 있는 네크코히어런트(non-coherent) 수신기 구조를 적용하였다. 본 논문에서 고려한 WH 함수는 64진 ($M=64$) WH 시퀀스 함수를 고려하였다.

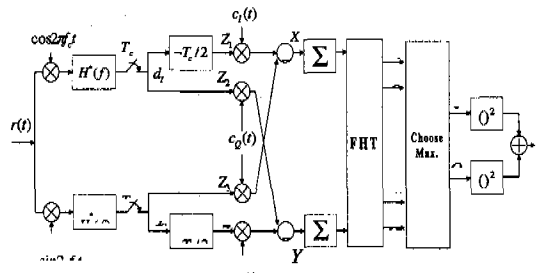


그림 2. M-진 네크코히어런트 수신기 구조도

그림 2와 같이 기저대역 필터를 통과한 수신신호 성분은 I -채널 신호 성분과 Q -채널 신호 성분이 서로 혼합되어 d_i , d_0 와 같고, 이 샘플된 신호들을 역확산 시킨 후 신호를 서로 교차 시켜 더하면 각각 I -채널 및 Q -채널 성분으로 분해할 수 있다. 또한, 한 WH 칩은 8개의 PN 칩으로 구성되므로 X 와 Y 의 값이 8개씩 누적된 I/Q 데이터는 64개의 WH 칩을 구성하고, 64개가 하나의 단위로 FHT (fast Hadamard transform)을 통과하여 가능한 모든 경우의 Walsh 시퀀스

스와의 상관값을 취해서 최고의 상관값을 갖는 알쉬 시퀀스를 검출한다. 이렇게 구해진 FHT의 출력값들은 제거되지 않은 위상 성분의 영향을 없애기 위해 제공하여 복조기에 입력된다.

이와 같은 방식으로 n 번째 위성에서 수신된 신호들을 자기 다른 수신기를 통해 결합하여 다중위성 다이버시티 효과를 얻을 수 있고, 다중경로 다이버시티는 각각의 수신기에서 L 개의 가지(branch)를 갖는 레이크(Rake) 수신기 구조를 사용하여 동일 위성을 거쳐 L 개의 경로로부터 수신된 다중경로 신호를 결합할 수 있다.

III. 채널 모델

저궤도 이동위성 채널의 모델을 결정하는 파라미터로는 위성의 궤도군, 단말기의 형태(휴대용, 차량용), 양각과 이동 위성의 속도를 고려한 도플러 천이가 함께 고려되어야 한다. 지상환경의 경우에는 지상의 이동통신 채널과 유사하게 다중경로 페이딩과 장애물에 의한 선택우잉에 의한 신호의 감쇄 등이 고려되어야 하는데, 본 논문에서는 위성에 의한 도플러 천이가 완벽하게 보상이 된다고 가정하여, 신호의 감쇄는 주로 지상부분 페이딩 채널에서 이루어진다고 고려하였다. 또한, 광대역 DS-CDMA를 적용함으로써 기존에 제안되었던 Loo [4]나 Lutz [5]의 협대역 모델과는 달리 참고문헌 [6]의 광대역 채널 모델을 적용하였다.

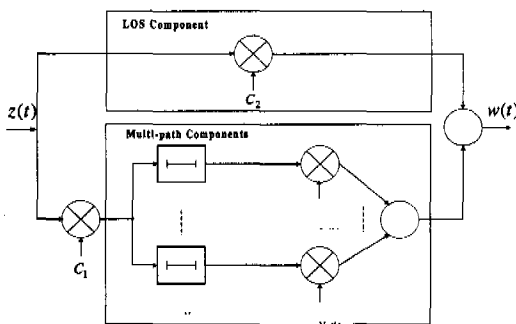


그림 3. 지상부 채널의 일반화된 통합 모델

이와 같은 지상부에서의 채널 모델은 협대역에서의 페이딩 현상에 대한 모델과 지연 탭이 결합된 일반화된 통합 모델로 구성된다. 지상부에서의 채널 모델은 지연이 없는 한 개의 직진파(line of sight : LOS) 경로와 지연 시간이 각각 τ_i 주어진 M 개의 다중 경로로 구성할 수 있으며, 그에 대한 블럭도는 그

림 3과 같다. 그림 3에서 지연 탭의 계수 $g_i(t)$ 는 비상관(uncorrelated) 복소(complex) 가우시안 프로세스로 포락선은 레일리 분포로 가정되고, 계수 C_1 과 C_2 는 채널의 상태에 따라 다른 값을 갖는다.

한편, 이와 같은 지상부 채널의 통합 모델을 기반으로 전원 지역 또는 도심 지역의 전파 환경에 따라 다음과 같이 단순화하여 모델링할 수 있다.

3.1 전원 지역(Rural) 환경

협대역 채널 모델의 경우에는 도외지 환경에서 수신되는 신호는 선택우잉을 고려한 직진파 성분과 다중경로파 성분을 지연 탭이 없이 합한 형태로 볼 수 있다. 즉, 직진파와 다중경로 확산파를 각각 로그노멀(Log-normal) 분포 및 레일리 분포의 확률 변수로 간주하고, 수신 신호는 이들의 합으로 주어진다. 이때, 수신 신호 포락선의 확률 밀도 함수는 다음과 같이 주어진다^[4].

$$f_R(r) = \frac{r}{\sigma_R^2 \sqrt{2\pi\sigma_{LN}^2}} \int_0^\infty \frac{1}{s} e^{-\frac{(\ln s - \mu_{LN})^2}{2\sigma_{LN}^2} - \frac{r^2 + s^2}{2\sigma_R^2}} I_0\left(\frac{rs}{\sigma_R^2}\right) ds \quad (3)$$

(3) 식에서 μ_{LN} 과 σ_{LN}^2 은 로그노멀 페이딩의 평균과 분산값이며, $2\sigma_R^2$ 은 레일리 페이딩의 평균 전력 값이고, I_0 는 일종 영차 수정 베셀(Bessel) 함수이다. 따라서, 그림 3에서 C_1 과 C_2 를 각각 다중경로 전력 파라미터 G_{mp} 와 로그노멀 페이딩 프로세스 $g_{LN}(t)$ 로 대치함으로써 광대역 채널을 모델링할 수 있으며, 다중경로 성분의 전체 평균 전력값을 1로 정규화하기 위해 $G_{mp} = \sqrt{2\sigma_R^2}$ 로 설정한다.

본 논문에서는 European Space Agency (ESA)에서 2.2 GHz (S-band) 대역에서 실측한 데이터를 이용하여 전원 지역 환경에서의 다중경로 전력 파라미터와 로그노멀 페이딩의 평균 및 표준 편차를 다음과 같은 양각(elevation angle)의 식으로 근사화한 모델을 그림 3의 통합 모델에 반영하여 전원 지역 채널모델로서 적용하였다^[6].

$$\begin{aligned} G_{mp}(\theta) &= -2.5319 \cdot 10^{-3} \theta + 0.3485 \\ \mu_{LN}(\theta) &= 6.0763 \cdot 10^{-6} \theta^3 - 1.3809 \cdot 10^{-3} \theta^2 + 0.1039 \theta - 2.6468 \\ \sigma_{LN}(\theta) &= -5.6742 \cdot 10^{-3} \theta + 0.6419 \end{aligned} \quad (4)$$

한편, 이와 동일한 실측 데이터를 통해 정의된 지연 프로파일을 사용하여 전원 지역 환경에서의 주파

수 선택적 채널을 모델링할 수 있다. 탭 간격을 0.1 μ s로 설정한 3개의 다중 경로가 존재하는 것으로 가정할 때, 다중 경로 파라미터는 표 1과 같이 주어진다^[6]. 여기서, 다중 경로 성분의 평균 총 전력값은 1로 정규화된 것이다.

표 1. 전원 지역 채널모델의 다중경로 파라미터

탭 번호, i	지연 시간, (τ_i)	평균 전력, (P_i)
1	0.1 μ s	0.704
2	0.2 μ s	0.225
3	0.3 μ s	0.071

3.2 도심 지역(Urban) 환경

도심 지역 환경에서의 채널은 Lutz 모델을 기반으로 모델링할 수 있으며, 그 구조는 그림 4와 같다^[5].

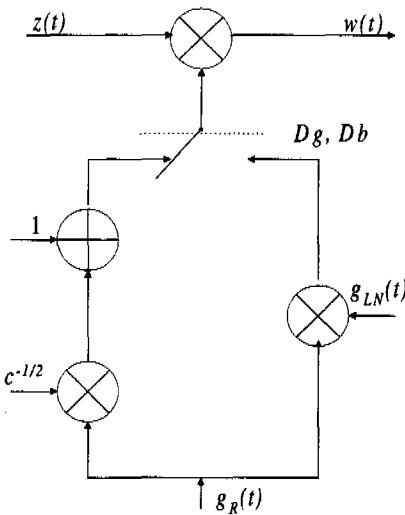


그림 4. 도심 지역 환경에서의 지상부 채널 모델

이 모델에서는 채널의 상태에 따라 라이시안(Rician) 페이딩 모델과 로그-노멀 분포의 선택우잉 및 레일리 페이딩의 결합된 모델을 선택할 수 있도록 되어있다. 그림 4에서 $g_{LN}(t)$ 와 $g_R(t)$ 는 각각 로그-노멀 분포 및 레일리 분포의 확률과정을 나타낸다. Lutz 모델에서는 로그-노멀 확률과정 $g_{LN}(t)$ 의 평균(μ_{LN}) 및 분산(σ_{LN}^2), 그리고 라이시안 분포를 결정하는 라이시안 인자(K), 그리고 선택우잉의 존속 비율(A) 등에 의해 채널 특성을 반영할 수 있다. 수신기가 성능이 좋은 상태와 나쁜 상태에

존재하는 시간의 평균을 각각 D_g 와 D_b 로 나타내면, A 는 단말기가 나쁜 상태에 놓여 있을 존속 시간의 평균으로서 다음 (5) 식으로 정의된다.

$$A = \frac{D_b}{D_g + D_b} \tag{5}$$

한편, 그림 4에서 채널의 상태가 좋은 환경일 경우에는 $C_2=1$ 및 $C_1=c^{-1/2}$ 로 설정하고, 그렇지 않을 경우에는 $C_2=0$ 및 $C_1=g_{LN}(t)$ 로 설정함으로써 Lutz 모델을 광대역 채널모델로 확장할 수 있다. 본 논문에서는 전원 지역 채널 모델과 마찬가지로 ESA에서 2.2 GHz (S-band) 대역에서 실측한 데이터를 이용하여 도심 지역 환경에서의 채널 파라미터를 다음과 같이 앙각(elevation angle)의 식으로 근사화한 모델을 적용하였다^[6].

$$A(\theta) = \begin{cases} -0.0177\theta + 1.0095, & \theta < 57.0339^\circ \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{LN}(\theta) = \begin{cases} -0.0979\theta + 8.2036 \text{ dB}, & \theta < 83.8321 \\ 0 \text{ dB}, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

$$c(\theta) = 0.2393\theta - 4.2679 \text{ dB}$$

또한, 도심 지역채널의 다중경로 모델은 전원 지역과 마찬가지로 탭 간격이 0.1 μ s이고, 5개의 다중경로로 구성된 주파수 선택적 채널을 모델링 할 수 있다. 여기서 다중 경로 파라미터는 표 2와 같이 주어진다^[6].

표 2. 도심 지역 채널모델의 다중경로 파라미터

탭 번호, i	지연 시간, (τ_i)	평균 전력, (P_i)
1	0.1 μ s	0.588
2	0.2 μ s	0.247
3	0.3 μ s	0.106
4	0.4 μ s	0.041
5	0.5 μ s	0.018

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능분석

앞 절에서 설명한 바와 같은 역방향 링크의 구조를 SPW를 사용하여 구현하였고, 저궤도 위성 이동통신 채널 모델은 전원 지역과 도심 지역 환경으로 각각 구분하여 모델링 하였다. 구현된 시뮬레이션 모

델을 바탕으로 위성의 양각에 따른 비트 오류율 가시 위성 2개를 이용한 위성 다이버시티를 적용했을 경우와 다중경로 다이버시티를 적용했을 경우 얻을 수 있는 성능 변화를 조사하였다.

저궤도 이동 위성 시스템의 페이딩 채널의 특성은 앞서 언급한 바와 같이 위성의 이동으로 인하여 시간에 따라 양각의 상태가 변화하고 그에 따라 세도 우잉, 레일리 페이딩이나 라이시안 인자의 값이 변화하게 된다. 또한, 전원 지역이나 도심 지역의 채널 환경에 따라서 파라미터들이 변화하게 되는데, 이러한 변화 요소들을 채널 모델에 적절히 반영하기 위하여 각각의 양각의 상태에 따라서 도출된 값들을 시뮬레이션 모델에 대입하여 실제적인 채널모델과 유사하도록 구현하였다.

시뮬레이션에 적용한 역방향 링크의 시스템 파라미터로는 확산대역폭이 10MHz이고, 데이터율이 32 kbps이며, $M=64$ 인 직교 Walsh 변조기와 2^{15} 길이의 short PN 부호를 사용하여 O-QPSK 확산변조 하였다. 또한, 부호율이 1/3이고 구속장 $K=9$ 인 길쌈 부호화를 사용하여 부호화 하였고, 복호 방식은 실제 연관 정 복호 방식으로 수행 되나 본 논문에서는 경관정 Viterbi 복호 방식을 적용하여 수행하였으므로 AWGN 채널 환경에서 연관정 복호 방식을 적용한 실제 IS-95 시스템에 비해 약간의 성능차이가 날 것으로 예상된다.

저궤도 이동 위성 시스템은 근본적으로 빠르게 변화하는 채널환경과 다수의 위성들이 고정되지 않은 상태이므로 다중 위성 다이버시티 기법을 통해 저양각 환경에서의 성능 열화에 대응할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 페이딩 환경이 열악한 저양각의 가시 위성 2개를 결합하였을 때 얻는 다이버시티 성능의 이득을 분석하기 위해 저양각-저양각 (20° 와 40° 의 경우) 및 저양각-고양각 (20° 와 60° 의 경우)에 가시 위성이 존재하는 것을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 광대역 채널에서 직진파 이외의 다중경로를 통해 수신되는 신호 성분을 결합하여 저양각으로 인한 극심한 페이딩의 열화를 극복할 수 있도록 다중 경로 다이버시티 기법을 적용하여 전원 지역 및 도심 지역 채널 환경에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

다중 위성 다이버시티와 다중경로 다이버시티에 적용한 결합(combining) 기법은 동일 이득 결합(EGC : equal gain combining) 방식과 최대비 결합(MRC : maximal ratio combining) 방식이다. EGC 기법은 모든 경로에 대해서 동일한 무게 함수(weight function)을

설정하여 결합하는 기법으로서 구조가 매우 단순한 반면에 최적의 결합 방식은 아니다. 한편, MRC 기법은 다른 페이딩을 겪는 수 개의 경로에 대해서 수신 신호의 강도에 따라 다르게 무게 함수를 설정하여 결합하는 기법으로서 채널 추정의 결과에 따라 성능을 최적화 할 수 있는 방식으로 알려져 있다.

다중경로 다이버시티(레이크 수신기) 방식의 핑거(finger) 수는 전원 지역의 경우 3개, 도심 지역의 경우 5개로 설정하여 표 1과 2에서 제시한 파라미터들을 토대로 시뮬레이션을 수행하였다. 구현된 시뮬레이션 모델을 토대로 링크 설계에 필요한 단일 사용자의 요구 E_b/N_0 에 대한 비트 오류율(BER) 결과를 도출하였다.

4.1 전원 지역 환경에서의 시뮬레이션 결과

전원 지역채널에 대해서 위성 다이버시티나 다중 경로 다이버시티를 적용하지 않고, 양각에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 알 수 있듯이 전원 지역 채널환경에서 10^{-3} 정도의 비트 오류 성능을 얻기 위해서는 양각이 90° 인 경우에 요구 E_b/N_0 값이 5.2dB 이고, 양각이 20° 인 경우에 요구 E_b/N_0 값은 약 13.5dB 정도로 차이가 8.3dB 정도임을 알 수 있다. 즉, 페이딩 상태가 심각한 저 양각의 경우에는 역방향 성능이 7dB인 지상의 IS-95 시스템보다 열악함을 알 수 있고, 고 양각의 경우에는 더욱 낙관적임을 알 수 있다. 이러한 결과는 양각이 90° 인 고 양각의 저궤도 이동 위성 채널환경은 지상의 채널환경보다 직진파의 성분의 비율이 다중 경로 성분보다 지배적이기 때문이다.

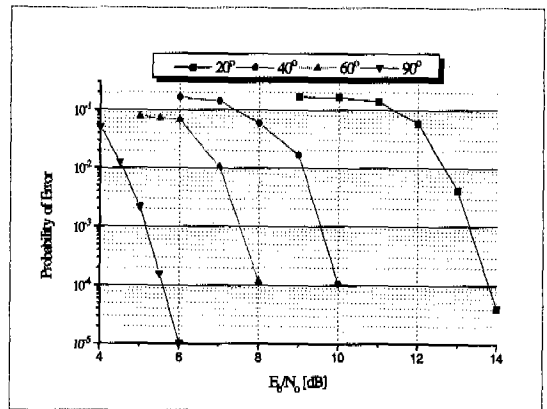


그림 5. 전원 지역 채널환경에서 양각에 따른 비트 오류 성능

실제 이동 위성 시스템에서는 두 개의 가시 위성으로 수신한 신호를 결합하는 경우, 저양각으로 수신된 신호는 빌딩이나 나무 등에 의해 차단될 확률이 큰 반면, 고양각으로 수신된 신호는 차단 확률이 작게 된다. 그러나 본 논문의 시뮬레이션에서는 두 개의 가시 위성으로부터 수신된 신호가 각기 독립적인 페이딩을 겪는다고 가정하여 각 경로에 대한 페이딩을 독립적으로 발생시켜 결합하도록 하는 구조로 시뮬레이션을 수행하였다. 역방향 링크에서 이동국 단말기 안테나의 특성은 전방향성이므로 모든 가시 위성에 신호를 전송할 수 있고, 관문국에서는 위성에 따라 다른 이득을 갖는 지향성 안테나를 사용하여 수신하므로 두 개의 위성으로부터 수신된 신호들은 완전히 분리되어 독립적으로 결합된다고 가정할 수 있다. 이러한 가정을 모델링 하여 얻은 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다. 그림 6은 페이딩 상태가 심각한 20° 양각에 위치한 위성과 비교적 채널 환경이 좋은 40°와 60° 양각에 위치한 위성에 대해서 위성 다이버시티를 적용하였을 경우에 비트 오류 성능을 보였다. 그림에서 N 은 적용된 가시 위성 경로의 수를 의미한다. 또한, 적용한 다이버시티 결합 기법은 EGC와 MRC 기법으로 각각의 경우에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다.

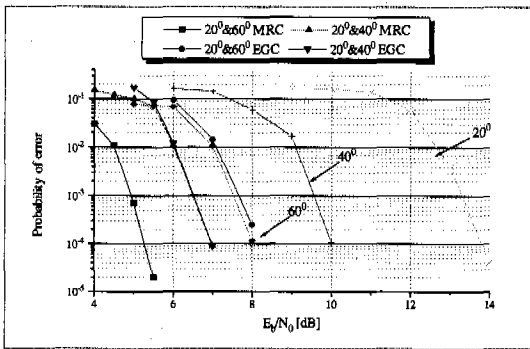


그림 6. 전원 지역 채널환경에서 위성 다이버시티에 따른 비트 오류 성능 ($N=2$)

그림 6에서 알 수 있듯이 가시 위성간의 양각 차이가 작은 경우(20°와 40°의 경우)에 전원 지역 채널환경에서 10^{-3} 정도의 비트 오류를 얻기 위해서 요구되는 E_b/N_0 값이 EGC기법이나 MRC기법에 대해서 약 6.5dB정도로 위성 다이버시티를 적용하지 않은 양각 40°의 단일 위성의 신호를 수신할 경우보다 3dB 정도의 성능향상을 얻을 수 있었다.

또한, 가시 위성간의 양각 차이가 큰 20°와 60°의 경우에는 10^{-3} 정도의 비트 오류를 얻기 위해서 요구되는 E_b/N_0 값이 EGC기법에 대해서는 약 7.7dB 정도로 위성 다이버시티를 적용하지 않은 양각 60°의 단일 위성에 의한 성능과 거의 유사하다. 반면, MRC 기법을 적용한 경우에는 요구 E_b/N_0 값이 5dB로 약 2.5dB 정도의 성능 개선의 결과를 얻을 수 있었다. 결국, 가시 위성간의 양각 차이가 작은 경우(저양각-저양각의 경우) EGC기법과 MRC 기법에 의한 성능 향상 이득은 유사함을 알 수 있고, 양각 차이가 큰 경우(저양각-고양각의 경우)에는 MRC기법에 의한 성능 향상이 EGC 기법보다 크다는 결론을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 EGC의 경우에 신호감쇄가 심한 저 양각의 신호 성분을 비교적 좋은 고 양각의 신호 성분과 동일한 비중으로 결합되기 때문에 다이버시티 결합 이득이 상대적으로 감소하기 때문이다. 반면, MRC의 경우에 저 양각-고 양각의 경우에 EGC 기법보다 성능 향상이 큰 것은 수신 신호의 강도에 따라 비중을 설정함으로써 저 양각에 의한 심한 페이딩 신호 성분이 결합 비중을 감소시킬 수 있기 때문이다. 다시 말하면, 직접파 성분이 강한 고 양각의 신호가 존재하는 경우에는 EGC 기법의 위성 다이버시티의 적용은 비효과적이라고 할 수 있다.

따라서, 전원 지역 채널 환경의 경우 다이버시티 결합 기법 중에서 최적이라고 알려져 있는 MRC 기법은 EGC 결합 기법보다 여러 환경에서 성능 향상을 기대할 수 있고, 특히 고 양각에서 수신한 신호를 결합하는 경우(양각 차이가 큰 경우)에 대해서 더욱 효과적이라는 결론을 얻을 수 있다.

한편, 전원 지역 채널 환경에서 위성 다이버시티를 고려하지 않고, 다중경로 다이버시티(MRC 기법 적용)에 의한 성능만을 고려하여 시뮬레이션 한 결과, 그림 7과 같이 고 양각이나 저 양각의 경우 모두 다중경로 다이버시티에 의해 큰 성능 향상은 얻을 수 없었다. 특히, 페이딩에 의한 신호 감쇄가 심한 저 양각에 대해서는 역으로 성능 열화 현상이 발생함을 알 수 있는데, 이것은 앞 장에서 설명한 전원 지역 채널 모델에서 알 수 있듯이 전원 지역의 경우에는 선투우잉에 의한 직진파 성분에 신호 전력이 집중된 반면, 다중경로에 분산된 신호 전력이 미비하므로 다중경로 다이버시티에 의해서 포착(capture)된 잘못된 신호 성분의 비율이 상대적으로 증가하여 다이버시티의 성능을 열화 시키는 것으로 해석된다.

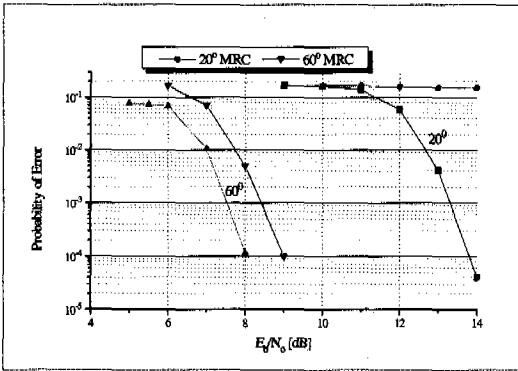


그림 7. 전원 지역 채널환경에서 다중경로 다이버시티에 따른 비트 오류 성능 ($L=2$)

4.2 도심 지역 환경에서의 시뮬레이션 결과

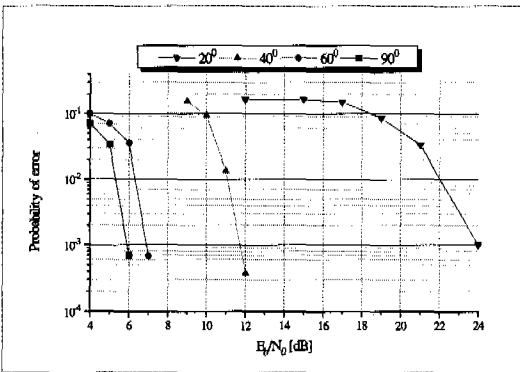


그림 8. 도심 지역 채널환경에서 양각에 따른 비트 오류 성능

도심 지역채널에 대해서 위성 다이버시티나 다중 경로 다이버시티를 적용하지 않고, 양각에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8에서 알 수 있듯이 도심 지역 채널환경의 경우 양각에 따른 성능은 전원 지역 채널환경보다 성능 열화가 심하다. 10^{-3} 의 비트 오류를 얻기 위해서는 양각이 90° 인 경우에 요구 E_b/N_0 값이 6dB 정도이고, 양각이 20° 인 경우에 요구 E_b/N_0 값은 약 24dB 정도로 차이가 18dB 정도로 전원 지역의 경우보다 훨씬 차이가 클 수 있다. 이와 같은 결과는 양각에 따른 페이딩의 상태가 전원 지역의 경우보다 변화가 심함을 의미한다. 그렇지만, 양각이 60° 이상인 고 양각의 경우에는 전원 지역의 경우보다 10^{-3} 의 비트 오류에 대해 적은 E_b/N_0 값이 요구됨을 알 수 있는데, 이러한 결과는 식 (6)에서 시사하는 바와 같이 양각이 60° 이상인 고 양각의 경우 도심 지역채

널에 대해서는 세도우잉의 준속 비율 (A)이 거의 '0'이므로, 그림 4에서 채널의 상태가 항상 좋은 상태로 설정되어($C_2=1$ 및 $C_1=c^{-1/2}$) 신호 성분이 거의 라이시안 분포에 의한 직진파 성분이 지배적이기 때문이다. 이와 같은 결과를 통해 도심 지역 채널 환경에서는 저양각에 의한 심한 페이딩을 극복하기 위한 방안의 도입이 필연적임을 알 수 있다.

도심 지역 채널환경에서 다중 위성 다이버시티를 적용하였을 경우에 대한 결과는 그림 9에 보였다. 시뮬레이션 환경은 전원 지역 채널환경과 같이 두 가지의 경우에 대해서 고려하였다. 그림 9의 결과에서 알 수 있듯이 가지 위성간의 양각 차이가 작은 경우 (20° 와 40° 의 경우)에 EGC나 MRC 기법에 대해서 10^{-3} 정도의 비트 오류를 얻기 위한 요구 E_b/N_0 값은 약 11dB 정도로 위성 다이버시티를 적용하지 않은 양각 40° 의 단일 위성의 경우보다 1dB 정도의 성능 향상을 얻을 수 있었다. 또한, 가지 위성간의 양각 차이가 큰 20° 와 60° 에서 EGC 기법을 적용한 경우에 요구되는 E_b/N_0 값이 위성 다이버시티를 적용하지 않은 양각 60° 의 단일 위성의 경우보다 오히려 1dB 정도의 성능 열화결과를 얻는 반면, MRC 기법을 적용한 경우에는 약 1dB 정도의 성능 향상을 얻을 수 있었다. 결국, 전원 지역 채널에서와 마찬가지로 위성 다이버시티에 의한 성능향상은 기대할 수 있지만 그 효과가 미미하다고 할 수 있다. 이러한 결과는 위성과의 양각에 따른 채널의 변화가 전원 지역의 경우보다 극심하여 저 양각의 위성 신호를 결합하는 것은 큰 이득의 획득을 기대할 수 없음을 의미한다. 즉, 저양각의 페이딩 신호가 성능 열화요소로 작용되는 이유로 해석할 수 있다.

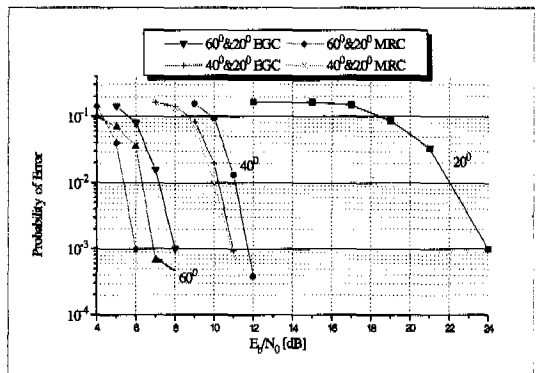


그림 9. 도심 지역 채널환경에서 위성 다이버시티에 따른 비트 오류 성능 ($N=2$)

그렇지만, 그림 10에서 보는 바와 같이 위성 다이

버시티를 고려하지 않고 다중경로 다이버시티에 의한 성능만을 고려하여 시뮬레이션 한 결과는 전원 지역 환경과 비교해 볼 때 현저한 성능 이득을 보였다. 40° 양각에서 EGC기법을 적용한 경우에 대해서 10⁻³의 비트 오류율을 얻기 위한 E_b/N₀ 값은 약 11.5dB로 0.5dB의 성능 이득을 얻었고, MRC 기법에 대해서는 약 12dB 정도로 1.7dB의 성능 개선을 기대할 수 있었다. 한편, 양각이 20°인 저 양각의 경우 EGC 기법을 적용하였을 때 약 2B의 성능개선을 예상할 수 있고, MRC기법에 대해서는 약 4dB 정도의 성능 이득의 결과를 획득하였다. 이러한 결과는 저 양각에 의한 페이딩 신호는 세도우잉의 존속 비율(A)이 커지게 되므로 주로 세도우잉에 의한 로그-노멀 분포와 레일리 성분의 곱의 형태로 구성되므로 세도우잉과 다중경로 성분에 의한 신호 감쇄의 주된 원인이 되기 때문이다. 즉, 양각이 낮아 질수록 직진파의 성분의 비율이 낮아지므로 다중경로에 분산되어 있는 신호전력이 직진파의 신호 전력보다 커지게 되어 다중경로 다이버시티의 적용 효과가 증대한다고 해석할 수 있다.

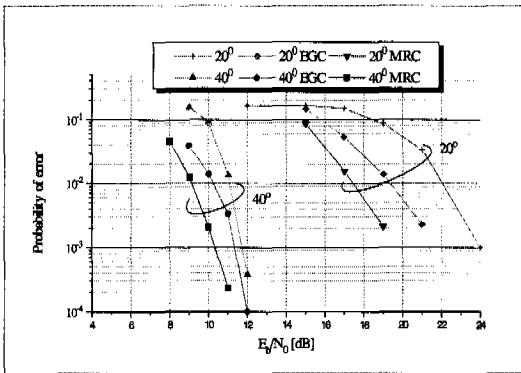


그림 10. 도심 지역 채널환경에서 다중경로 다이버시티에 따른 비트 오류 성능(L=2)

V. 결론

본 논문에서는 차세대 위성 이동통신 시스템에서의 다중 접속 방식으로 고려할 수 있는 광대역 DS-CDMA 방식에 대하여, 저궤도 위성 이동통신 채널 상에서의 역방향 링크 성능 분석을 위해 통신 시스템 설계 프로그램인 SPW로 광대역 DS-CDMA 시스템을 구현하고, 시뮬레이션을 통하여 성능 평가를 수행하였다. 특히, ESA의 실측된 데이터를 기반으로

한 저궤도 이동 위성통신 채널 모델을 시뮬레이션 모델로 구현하였고, 단일 사용자에 대한 역방향 링크의 비트 오류 성능을 양각과 전원 지역 및 도심 지역 채널 환경에 대해서 각각 성능 분석을 수행하였다. 또한, 각각의 경우 두 개의 가시위성의 신호를 결합한 위성 다이버시티 기법과 다중경로 다이버시티를 결합하였을 때의 비트 오류 성능도 분석하였다. 시뮬레이션을 수행한 결과, 전원 지역이나 도심 지역 채널의 경우 모두 양각이 20°이하일 때에는 10⁻³의 비트 오류율을 얻기 위한 요구 E_b/N₀ 값이 만족할 만한 링크를 형성하기에는 어려우며, 양질의 서비스 품질을 보장하기 위해서는 40° 이상의 양각을 최소한 유지해야 할 것으로 판단된다.

시뮬레이션 분석 결과를 종합해 볼 때, 전원 지역 환경의 경우 성능 개선을 가져올 수 있는 것은 위성 다이버시티에 의한 것이었고, 특히, 직진파 성분이 신호 전력의 대부분을 차지하는 전원 지역 채널의 경우에는 다중경로 다이버시티에 의한 성능 개선은 기대할 수 없었다. 한편, 도심 지역 환경에서는 전원 지역 채널에 비해 전체적으로 페이딩이 심해지기 때문에 양각에 따른 성능이 낮고, 위성 다이버시티에 의한 성능 개선을 기대할 수 없는 반면, MRC 기법을 적용한 다중경로 다이버시티 적용이 성능 개선에 크게 기여할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 양각이 낮을 수록 다중경로에 분산되어 있는 신호전력이 지배적이어서 다중경로 다이버시티의 효과가 증대한다고 해석할 수 있다.

앞으로의 연구과제는 저궤도 이동 위성 시스템에서 실제적인 성능 열화요소로 작용하는 불완전한 전력제어 기법과 다중 접속 간섭에 의한 성능 열화를 분석하고, 실제 환경에 더욱 근접한 모델링이 이루어지기 위해서 위성 트랜스폰더에 의한 비선형성 문제나 도플러 천이에 대한 보상 문제 등에 대한 성능 평가의 수행이 필요하다. 또한, 본 논문의 결과를 토대로 저궤도 이동 위성 시스템의 설계에 필요한 구체적인 링크 분석에 대한 연구가 요구된다.

참고 문헌

[1] B. Vojcic, R. Pickholtz and L. Milstein, "Performance of DS-CDMA with Imperfect Power Control Operating over Low Earth Orbiting Satellite Link", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, No. 4, pp. 560-567, May 1994.

