

IMT-2000용 위성통신 시스템에서 폐쇄루프 전송 다이버시티 기법 성능 분석

°오관명, 김산해, 이경규, 김학성, 이원철, 신요안, 임채현[†], 유문희[†]
승실대학교 정보통신전자공학부
[†]전자통신연구원 무선방송기술연구소
°전화 : 02-817-1539 / 팩스 : 02-821-7653

Performance Analysis of Closed Loop Transmit Diversity in IMT-2000 Satellite Communication Systems

°Gwan-Myeong Oh, San-Hae Kim, Kyung-Kyoo Lee, Hak-Sung Kim,
Yoan Shin, Woncheol Lee, Chae-Hun Im[†], and Moon-Hee You[†]
School of Electronic Engineering, Soongsil University
[†]Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI
°E-mail : ohgm@amcs.ssu.ac.kr

본 논문은 전자통신연구원의 연구비 지원 결과임

요 약

IMT-2000 지상 시스템에서는 순방향 링크의 용량을 증대하기 위하여 다중 전송 안테나를 이용하는 다양한 전송 다이버시티 기법들이 연구되고 있으며, 3GPP를 위한 표준 가운데 하나인 폐쇄루프 전송 다이버시티 기법은 단말기에서 순방향 채널의 상태에 따라 전송 안테나의 가중치를 결정하여 궤환함으로써 여타의 기법에 비해 우수한 성능을 보인다. 하지만 지상 시스템과는 달리 IMT-2000 위성 시스템에서는 현재 전송 다이버시티에 대한 표준이 없는 상황이며 이에 대한 연구 역시 미진하다. 본 논문에서는 폐쇄루프 전송 다이버시티를 IMT-2000 위성 시스템에 적용한 결과를 제시한다. IMT-2000 위성 채널 모델에 대한 모의 실험 결과 2개 안테나를 이용하는 폐쇄루프 전송 다이버시티를 통해 단일 안테나 혹은 2개 안테나 전송 신호의 단순한 다이버시티 결합에 비해 월등한 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

고품질, 고속 데이터 전송을 요구하는 3세대 IMT-2000 셀룰러 통신 시스템에서 무선 채널 환경에서의 페이딩 현상과 다중 사용자의 간섭 효과에 효과적으로 대처하기 위하여 시간, 주파수 및 공간 영역 상에서 여러 형태의 다이버시티 구현을 위한 방안이 연구되어 왔다. 특히 IMT-2000 시스템에서는 순방향 링크가 고속 데이터 전

송에 따라 시스템 전체 용량을 제한하는 요인이 되며 단말기의 수신 안테나 수가 한정된다는 점에서 다이버시티 효과를 충분히 얻어내지 못하고 있다. 이러한 점을 극복하기 위해서 전송단인 기지국에서 다이버시티 효과를 발생하기 위한 전송 다이버시티 기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2].

현재 IMT-2000 지상 시스템에서는 다중 전송 안테나를 이용한 다양한 종류가 전송 다이버시티 기법들이 규격으로서 고려되고 있으나[3], 위성 시스템의 경우는 가시 위성군을 이용한 전송 다이버시티 기법에 대한 규격이 없는 상황이다. 이에 본 논문에서는 위성 시스템의 순방향 링크 및 채널 특성, 기존의 전송 다이버시티 기법 등에 대해서 분석하여 IMT-2000 위성 시스템에 적합한 폐쇄루프 전송 다이버시티 기법을 제안하고 이에 대한 성능 분석 결과를 제시하고자 한다.

2. 폐쇄루프 전송 다이버시티

그림 1은 폐쇄루프 전송 다이버시티를 적용할 경우의 IMT-2000 위성 시스템의 일반적인 구성을 도시한다. 여기서 각각의 서로 다른 위성으로부터 지상의 단말기로 전송되는 신호의 전파 과정에서 영향을 미치는 채널 파라미터들을 단말기에서 추정하고, 이를 양방향 공유 물리적 제어 채널을 통하여 위성군을 거쳐서 지상 위성국을 전달한다. 지상 위성국에서는 지상 단말기로부터 전달된 채널 정보를 수집하여 최적의 전송 다이버시티를 위한 위성들의 전송 이득 및 위상을 계산하여 다시 위성

들로 전달하게 되며, 여기서 계산된 각 위성의 전송 이득 및 위상 가중치 사용하여 지상 위성국으로부터 전송된 데이터 스트림을 원하는 사용자에게 전송한다.

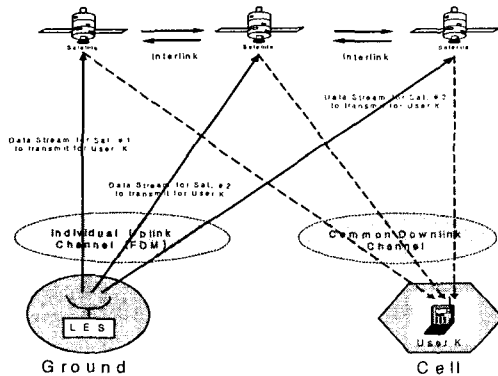


그림 1 : 폐쇄루프 전송 위성 다이버시티를 적용한 IMT-2000 위성 시스템의 구성도.

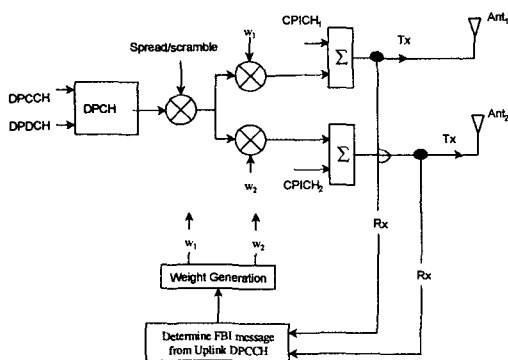


그림 2 : 3GPP에서 DPCH 전송을 위한 폐쇄루프 전송 다이버시티 기법 적용시 송신기의 구조.

그림 2는 3GPP 지상 시스템에서 하향 링크 DPCH (Dedicated Physical CHannel)의 전송을 위한 폐쇄루프 전송 다이버시티 기법을 적용할 때의 일반적인 송신기 구조를 나타낸다[3]. 여기서 확산된 복소 DPCH 신호는 각 안테나의 가중치 w_1, w_2 가 곱해진 후 두 개의 전송 안테나를 통해서 보내진다. 이 때 각 안테나는 서로 다른 심벌 패턴으로 변조된 CPICH (Common Pilot CHannel)를 이용하여 단말기에서 구분된다. 한편 안테나의 가중치는 다음에 설명되는 방법에 의해 단말기에서 계산된 후 적절한 양자화를 거쳐 상향 링크 DPCCCH (Dedicated Physical Control CHannel) 상의 FBI 필드를 통해 귀환된다.

폐쇄루프 전송 다이버시티 기법은 수신단에서의 신호 대잡음비를 최대화하는 가중치들을 단말에서 계산 후 이에 대한 정보를 귀환하고, 두 개의 전송 안테나 각각

에 해당 가중치를 곱한 신호를 동시에 전송하는 방법이다. 위성 시스템에서 이러한 전송 다이버시티 기법을 적용하는 경우, 그림 2의 송신부 구성에서 2개의 안테나를 2개의 가시 위성이 대신하는 구조를 고려한다. 이 때 하향 위성 링크 다중 경로 채널 파라미터들이 추정되었다고 가정할 때, i ($i=1, 2$)번째 위성으로부터 단말기로의 채널 임펄스 응답 h_i 을 다음 식 (1)과 같은 벡터 형태로 표시할 수 있다. 여기서 각 전송 채널은 L 개의 다중 경로로 구성되며, i 번째 위성의 하향 링크의 k ($k=1, \dots, L$)번째 다중 경로는 복소 채널 계수 g_k^i 와 평균 전폭 $\sqrt{P_k^i}$ 로 표현하였다.

$$h_i = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1^i} g_1^i \\ \sqrt{P_2^i} g_2^i \\ \vdots \\ \sqrt{P_L^i} g_L^i \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} h_{i,1} \\ h_{i,2} \\ \vdots \\ h_{i,L} \end{bmatrix} \quad (i=1, 2) \quad (1)$$

이 때 단말기 상에서는 식 (1)의 추정된 순방향 채널 벡터를 사용하여 전력 P 를 아래와 같이 정의한다[3].

$$P = W^H H^H H W \quad (2)$$

여기서 $H = [h_1, h_2]$, H 는 행렬에 대한 Hermitian 연산이며, 벡터 $W = [w_1, w_2]^T$ 는 하향 링크상의 각 위성별 가중치들을 벡터로 표현한 것이다. 단말에서는 식 (2)를 최대화하는 최적의 가중치 벡터를 구할 수 있으며, 이는 행렬 $H^H H$ 의 최대 고유치에 해당하는 고유 벡터가 된다.

폐쇄루프 전송 다이버시티를 사용하는 경우, 단말기에서의 수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 표현된다[1,2].

$$r(t) = \sum_{i=1}^2 \left(\sum_{k=1}^L w_i d h_{i,k} s(t - \tau_{i,k}) \right) + n(t) \quad (3)$$

여기서 $d \in \{\pm 1\}$ 은 비트 간격 T 인 전송 심벌이며, $s(t)$ 는 확산 부호와 스크램블링 부호[6,7]를 결합한 칩 간격 T_c 인 사용자의 signature 부호이며, $n(t)$ 는 AWGN, 그리고 $\tau_{i,k}$ ($i=1, 2, k=1, \dots, L$)는 i 번째 링크의 k 번째 경로의 전송 지연이다. 이 때 i 번째 링크의 k 번째 경로에 대한 Rake finger 출력 $r_{i,k}$ 는 전송 지연의 완벽한 추정을 가정하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} r_{i,k} &= \int_0^T r(t) s^*(t - \tau_{i,k}) dt \\ &= w_i h_{i,k} d + n_{i,k} \end{aligned} \quad (4)$$

$(i=1, 2)$

식 (4)를 이용하여 모든 링크의 k 번째 경로들의 합을 표현하면 다음과 같다.

$$r_k = r_{1,k} + r_{2,k}$$

$$= (w_1 h_{1,k} + w_2 h_{2,k})d + n_k \quad (5)$$

$$(k = 1, \dots, L)$$

위 식에서 $n_k \equiv n_{1,k} + n_{2,k}$ 라 하였다. 이들 L 개의 Rake finger 출력을 MRC (maximal ratio combining)[4]한 결과는 다음과 같다.

$$\hat{d} = \sum_{k=1}^L c_k (w_1 h_{1,k} + w_2 h_{2,k})^* r_k$$

$$= \sum_{k=1}^L c_k \|w_1 h_{1,k} + w_2 h_{2,k}\|^2 d + c_k (w_1 h_{1,k} + w_2 h_{2,k})^* n_k \quad (6)$$

여기서 c_k 는 2개의 링크의 k 번째 경로의 전송 지연이 동일한 경우는 1/2, 다른 경우는 1이다.

3. 모의실험

본 논문에서는 앞서 설명된 페쇄루프 전송 다이버시티 기법을 ITU-R의 IMT-2000 위성 통신 Rayleigh 페이딩 채널 모델[5]에 적용하였다. 다음 표 1과 2는 2개의 전송 안테나에 적용될 채널 모델의 특성을 나타낸다.

표 1 : ITU-R IMT-2000 위성 채널 모델 A

Tap number	Relative delay (ns)	Avg. Amp. (dB)	Doppler Spectrum
1	0	-7.3	Classic
2	100	-23.6	Classic
3	180	-28.1	Classic

표 2 : ITU-R IMT-2000 위성 채널 모델 B

Tap number	Relative delay (ns)	Avg. Amp. (dB)	Doppler Spectrum
1	0	-9.5	Classic
2	100	-24.1	Classic
3	250	-25.1	Classic

본 논문에서는 성능 비교를 위해 ① 전송 다이버시티를 사용하지 않는 일반적인 단일 위성 시스템, ② 2개의 전송 위성을 사용하나 페쇄루프 전송 다이버시티 없이 단순히 단말기에서 Rake 수신기와 MRC를 수행하는 시스템, 그리고 ③ 2개의 전송 위성에 대해 페쇄루프 전송 다이버시티를 수행하는 시스템을 고려하였다. 그림 3은 페쇄루프 전송 다이버시티를 적용하여 두 개의 위성을 통해 데이터를 전송하는 경우의 시스템 구조를 보여주고 있으며, 여기서 가중치 w_1, w_2 가 없는 경우가 ②번 시스템에 해당한다.

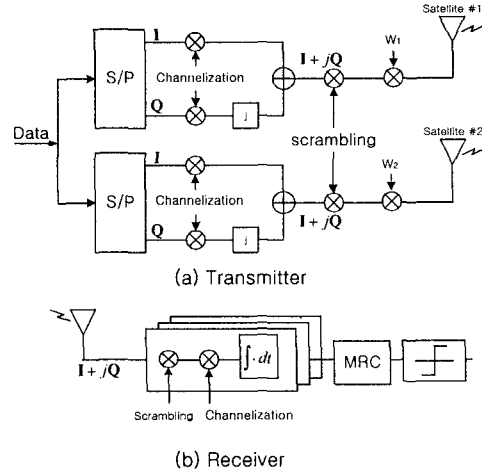


그림 3 : 페쇄루프 전송 다이버시티 기법을 적용할 경우의 시스템 구성도.

전송 지연 및 채널 계수의 완벽한 추정을 가정할 때 비교를 위한 3개 시스템의 MRC 블록의 출력은 다음과 같은 하나의 식으로 표현 가능하다.

$$\hat{d} = \sum_{k=1}^L c_k A_k^* r_k = \sum_{k=1}^L c_k \|A_k\|^2 d + c_k A_k^* n_k \quad (7)$$

여기서 A_k 는 단일 혹은 2개 링크 합인 k 번째 경로에 대한 등가 채널 계수로서 단일 위성을 사용하는 ①번 시스템의 경우 $A_k = h_{1,k}$, 일반적인 전송 다이버시티 기법의 경우인 ②번 시스템은 $A_k = h_{1,k} + h_{2,k}$, 그리고 페쇄루프 전송 다이버시티 기법을 사용하는 ③번 시스템의 경우는 $A_k = w_1 h_{1,k} + w_2 h_{2,k}$ 이 된다.

모의 실험에서는 단일 사용자의 데이터 채널만을 고려하고 각 위성으로부터의 링크는 적절한 심벌 변조 등에 의해 상이하게 전송되는 파일럿 채널에 의해 수신기에서 구분 가능하다고 가정하였다. 반송 주파수는 2 GHz로 하였으며, 확산 부호와 스크램블링 부호를 결합한 signature 부호를 복소 랜덤 부호로 구현하였으며 이 때 칩 전송율은 3.84 Mcps, 처리 이득은 128로 하였다. 단말기의 이동 속도는 3 km/h인 보행자를 기준으로 하였다. 페쇄루프 전송 다이버시티의 가중치는 양자화시키지 않고 제한된다고 가정하였으며, 제한에 따른 시간 지연 및 손실은 없다고 가정하였다.

그림 4 - 6은 채널 환경 변화에 따른 각 시스템의 비트오율 (BER) 특성을 보여준다. 먼저 그림 4 - 6은 채널 모델 A와 B의 다양한 조합에 따른 성능 변화를 도시하며, 모든 경우에 있어 페쇄루프 전송 다이버시티를 이용하는 경우 월등한 성능 향상이 가능함을 알 수 있다. 서로 다른 채널 환경에서의 결과인 그림 4와 5를 비교할

때 각 시스템의 성능이 채널 모델 A+A의 경우에서 더욱 우수함을 알 수 있으며, 이는 채널 모델 A의 delay spread가 채널 모델 B에 비해 작은 이유 때문이다. 또한 그림 4와 6을 비교할 때, 우수한 동일 채널 (A+A)을 통하여 전송되는 일반적인 전송 다이버시티 기법의 성능보다 서로 다른 채널 (A+B)을 통하여 전송되는 페쇄루프 전송 다이버시티 기법이 우수한 BER 특성을 보임을 확인할 수 있으며, 이는 페쇄루프 전송 다이버시티 기법이 열악한 채널 환경에서 성능 향상을 위한 매우 효과적인 방법으로 사용될 수 있음을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 IMT-2000 위성 시스템을 위한 페쇄루프 전송 다이버시티 기법을 제안하고 이의 성능을 ITU-R의 위성 채널 모델을 이용하여 평가하였다. 특히 단일 위성을 사용할 경우 및 기존의 일반적인 전송 다이버시티 기법과의 성능을 비교하였으며, 그 결과 2개의 전송 위성을 사용할 경우 Rayleigh 페이딩 위성 채널 환경에서 페쇄루프 전송 다이버시티 기법을 사용할 경우 월등한 성능 향상이 가능함을 확인하였다. 향후 위성 신호의 직접파 성분이 존재하는 Rician 페이딩 환경에서의 성능 분석이 필요하며, 비이상적인 궤환 환경 (가중치의 양자화, 궤환 정보의 지연 및 오류 등)에 대한 성능 평가가 진행될 예정이다.

참고 문헌

- [1] M. Sandell, "Analytical analysis of transmit diversity in WCDMA on fading multipath channels," *Proc. PIMRC '99*, Osaka, Japan, Sep. 1999.
- [2] B. Bjerke, J. Proakis and Z. Zvonar, "Antenna diversity combining schemes for W-CDMA systems in fading multipath channels," *Proc. VTC 2000 - Fall*, Boston, USA, Sep. 2000.
- [3] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network: Physical Layer Procedures*, 3GPP TS 25.214, v3.3.0, June 2000.
- [4] J. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1995.
- [5] ITU-R, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, Rec. ITU-R M.1225, Feb. 1997.
- [6] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network: Physical Layer Procedures*, 3GPP TS 25.211 v3.3.0, June 2000.
- [7] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network: Physical Layer Procedures*, 3GPP TS 25.213 v3.3.0, June 2000

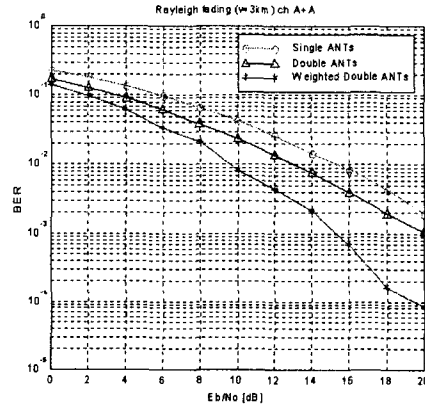


그림 4 : BER 성능 비교 (채널 모델 A+A).

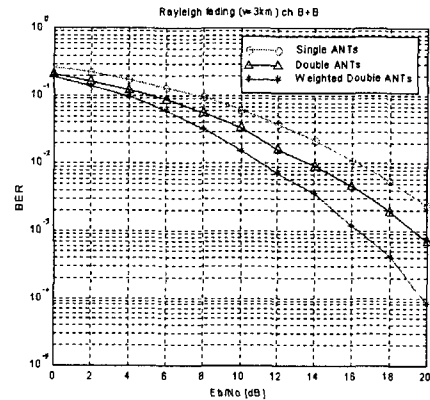


그림 5 : BER 성능 비교 (채널 모델 B+B).

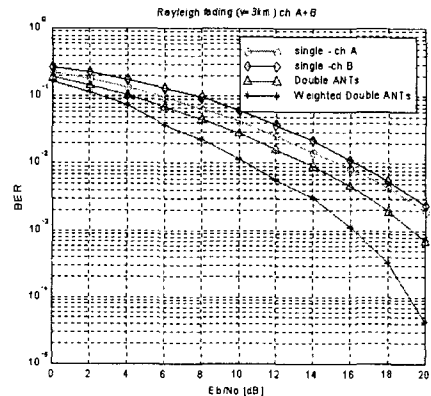


그림 6 : BER 성능 비교 (채널 모델 A+B).