

IMT-2000용 위성시스템에서 STTD기법 성능분석

°김홍철, 서상우, 박운용, 김학성, 신요안, 이원철, *임채현, *유문희
승실대학교 정보통신전자공학부
*전자통신연구원 무선방송기술연구소
°전화 : 02-826-7980 / 팩스 : 02-821-7653

Performance Analysis of STTD for IMT-2000 Satellite Communication Systems

°Hong-Choul Kim, Sang-Woo Seo, Woon-Young Park, Hak-Sung Kim,
Yoan Shin, Won-Cheol Lee, *Chae-Hun Im and *Moon-Hee You
School of Electronic Engineering, Soongsil University
*Radio & Broadcasting Technology Laboratory, ETRI
°E-mail : chouls@amcs.ssu.ac.kr

본 논문은 전자통신연구원의 연구비 지원 결과임

요 약

무선채널환경에서의 하향 방향 링크 상에서 페이딩 효과에 효과적으로 대처하고 고품질의 수신신호를 위하여 시간, 주파수 및 공간 영역 상에서의 여러 형태의 독립적인 다이버시티를 임의로 발생하기 위한 방안이 연구되어왔다. 특히 3GPP 지상시스템에서 사용되는 개방형 전송 다이버시티 기법중 하나인 STTD(Space-Time Transmit Diversity)는 시공간 블록코드를 기반으로 하고 있으며, 본 논문에서는 이를 IMT-2000용 위성시스템의 순방향링크에 적용하여 이에 대한 결과를 고찰한다. 위성시스템의 순방향채널은 위성의 양각에 의하여 라이시안 팩터 성분이 결정되며, 다수의 가시 위성군을 통하여 다이버시티효과를 발생시킴으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 현재까지 상세한 규격작업이 이루어지고 있지 않은 IMT-2000용 위성시스템 상에서 두 개의 가시위성을 통한 STTD 적용시 우수한 수신성능을 확인하였다.

I. 서론

음성과 패킷을 고전송율로 송수신하게 되는 3세대 셀룰러 시스템에서는 고품질의 데이터전송과 더불어 이동 무선채널에서 발생하는 페이딩 현상에 의해 성능이 저하된다. 때문에 무선채널환경에서의 페이딩 효과와 다중

사용자의 간섭효과에 효과적으로 대처하기 위하여 시간, 주파수 및 공간영역상에서 여러 형태의 다이버시티를 발생하기 위한 방안이 연구되어왔다. 또한 저궤도 위성군을 이용한 IMT-2000 이동통신 시스템상의 페이딩 무선 채널을 고려하여 고품질 고속 대용량 데이터를 송수신하기 위해서는 수신 다이버시티 뿐 아니라 전송 다이버시티 효과를 극대화하기 위한 기법이 필수적으로 요구되고 있다.

직접대역확산 기법을 사용하는 IMT-2000 3세대 무선 접속 규격의 순방향 링크상에서 여러 단의 전송 안테나들을 사용하여 각 안테나 별로 서로 다른 다이버시티 효과를 발생하기 위한 전송 다이버시티 기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 중에 전송 다이버시티를 위하여 다중 전송 안테나에 코딩기법을 접목한 시공간 코딩(Space-Time Coding)에 대한 연구가 진행되고 있다. 이 가운데 시공간 블록 코딩(Space-Time Block Coding : STBC)기법은 전송 다이버시티를 제공할 뿐만 아니라 다중 사용자들에 의한 간섭효과도 제거할 수 있는 성능을 갖고 있으며, 수신 단말기 상에서 간단한 선형처리과정을 통하여 다이버시티 효과를 얻을 수 있게 된다는 장점을 가지고 있다[1,2]. 본 논문에서는 다중 가시 위성군을 통하여 전송 다이버시티를 제공하기 위한 기법으로 STBC를 기반으로 한 개방루프 STTD를 적용하고 이에 대한 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 개방루프 전송 다이버시티 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 STTD의 성능분석을 위한 시스템의 구성을 설명하였다. 4장에서는 모의실험결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 개방루프 전송 다이버시티

2.1 기법개요

그림 1은 개방루프 전송 다이버시티를 적용할 경우의 IMT-2000 위성 시스템의 일반적인 구성을 도시한 것이다. 이러한 구성에서 개방루프 전송 다이버시티를 얻기 위해서는 사용자로 보내지게 되는 데이터 스트림을 시공간 블록 코딩 후 각 위성별로 별도로 분리하여 송신후 서로 다른 데이터 스트림을 사용자에게 송신한다. 지상 단말기에서는 각 위성에서부터의 채널 파라미터를 추정하게 되며, 계산된 채널 성분을 사용하여 최대비 혼합 방법 (ML : Maximum Likelihood)을 사용하여 데이터를 복원하게 된다. 또한 각 위성들로부터 사용자로 내려 보내지는 송신 데이터 스트림들은 원래의 데이터 스트림을 블록별로 처리하여 발생시키며, 이때 각 위성에서 특정 데이터 심벌 구간동안 내려보내지는 데이터들은 블록 구간안에서 서로 직교성을 유지하게 된다.

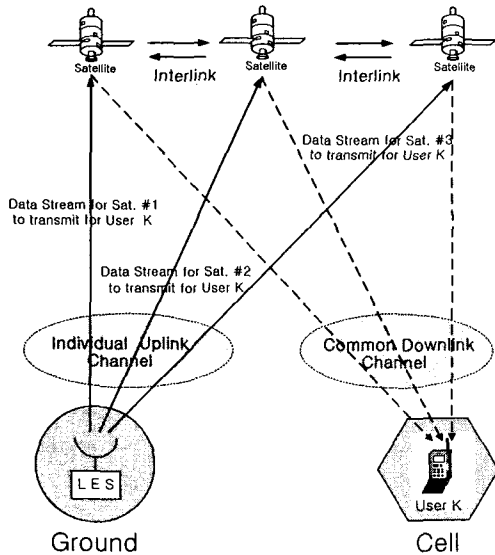


그림1. 개방루프 전송 다이버시티를 적용할 경우의 IMT-2000 위성 시스템의 일반적인 구성

2.2 시공간 전송 다이버시티 (STTD)

그림 2는 두 개의 안테나를 사용하여 전송할 때의 일반적인 시공간 블록코드를 적용하는 송신기의 구조를 나타낸다. 시공간 블록 인코더로 입력되는 심벌들은 두 심벌 단위로 블록화되고, 이들 두 심벌 $\{c_1, c_2\}$ 는 전송율의 변화없이 시공간 블록 코딩되어 두 개의 안테나를 통해 동시에 전송되게 된다. 즉, 첫 번째 심벌시간에서는 안테나 1을 통해서 c_1 을 안테나 2를 통해서 $-c_2^*$ 를 전송하게 된다. 다음 심벌 시간에서는 안테나 1을 통해서 c_2 를 안테나 2를 통해서 c_1^* 를 전송하게 된다[3,4].

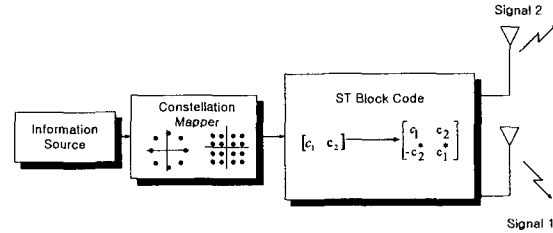


그림 2. 시공간 블록코드 적용시의 송신기의 구조

이 때 첫 번째와 두 번째 전송 안테나에서 단일의 수신 안테나로 전송될 때의 채널 성분을 각각 h_1 과 h_2 라 놓으면, 시간상 연속적으로 수신된 심벌 r_1 과 r_2 는 다음의 수식으로 표현 될 수 있다.

$$r_1 = h_1 c_1 - h_2 c_2^* + \eta_1 \quad (1)$$

$$r_2 = h_1 c_2 + h_2 c_1^* + \eta_2 \quad (2)$$

여기서 η_1 과 η_2 는 평균이 0이고 전력밀도가 $N_0/2$ 인 복소 가우시안 랜덤변수인 AWGN이다. 수신된 신호 벡터가 $\mathbf{r} = [r_1 \ r_2]^T$ 로, 코드 심벌 벡터가 $\mathbf{c} = [c_1 \ c_2^*]^T$ 로 그리고 잡음 벡터가 $\boldsymbol{\eta} = [\eta_1 \ \eta_2]^T$ 로 정의될 때, 식(1)과 식(2)를 행렬 형태로 표현하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{r} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{c} + \boldsymbol{\eta} \quad (3)$$

여기서 행렬 \mathbf{H} 는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1 & -h_2^* \\ h_2^* & h_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

벡터 $\boldsymbol{\eta}$ 는 평균이 0이고 공분산이 $N_0 \cdot \mathbf{I}$ 인 복소 가우시안 랜덤변수이다. 모든 가능한 심벌쌍 $\mathbf{c} = \{c_1, c_2\}$ 의 집합을 \mathbf{C} 로 정의하면, 모든 심벌쌍들은 발생 확률이 같고, 잡음 벡터 $\boldsymbol{\eta}$ 는 다변수 AWGN이라고 가정되기 때문에 ML 방법에 의해 송신 심벌들을 다음과 같이 검출할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{c}} = \arg \min_{\mathbf{c} \in \mathbf{C}} \|\mathbf{r} - \mathbf{H} \cdot \mathbf{c}\|^2 \quad (5)$$

식(5)의 ML 디코딩 방법은 채널 행렬 \mathbf{H} 가 직교하기 때문에 다음의 식과 같이 좀더 간단해 질 수 있다. 수신단에서 채널 상태 정보를 완전히 알고 있다고 가정하면, 수정된 신호 벡터 $\tilde{\mathbf{r}}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{r}} = \mathbf{H}^* \cdot \mathbf{r} = (|h_1|^2 + |h_2|^2) \cdot \mathbf{c} + \tilde{\boldsymbol{\eta}} \quad (6)$$

여기서 $\tilde{\boldsymbol{\eta}} = \mathbf{H}^* \cdot \boldsymbol{\eta}$ 이다. 이 경우 디코딩 방법은 다음과 같이 간단히 표현 될 수 있다.

$$\hat{\mathbf{c}} = \arg \min_{\mathbf{c} \in \mathcal{C}} \|\tilde{\mathbf{r}} - (|h_1|^2 + |h_2|^2) \cdot \mathbf{c}\|^2 \quad (7)$$

이 때 \mathbf{H} 가 직교성을 유지하기 때문에 잡음벡터 $\tilde{\boldsymbol{\eta}}$ 가 평균이 0이고 공분산이 $(|h_1|^2 + |h_2|^2) \cdot \mathbf{I}_2$ 라는 것을 알 수 있다. 예를 들어 $\tilde{\boldsymbol{\eta}}$ 의 요소들은 독립적이고 같은 분포를 갖는다는 성질을 만족하면, c_1 과 c_2 의 디코딩 방법은 식(7)과 같이 간단한 선형 조합을 통해서 쉽게 얻을 수 있다. 그림 3은 시공간 블록코드 적용시의 수신기의 구조를 나타낸다[3,4].

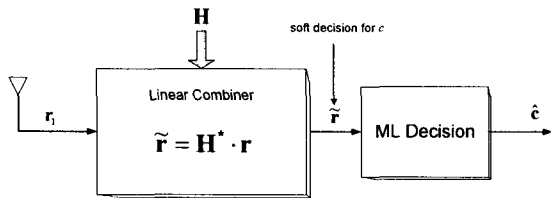


그림 3. 시공간 블록코드 적용시의 수신기의 구조

III. 성능분석을 위한 IMT-2000시스템

3.1 채널 환경

IMT-2000 위성 시스템의 채널 모델링 방법은 크게 협대역 모델과 광대역 모델로 구분된다. 협대역 모델은 직접전달경로 성분과 이와 동시에 들어오는 확산/반사된 다중경로 성분들의 합으로 이루어진다. 또 광대역 모델은 협대역 모델과 더불어 서로다른 지연시간을 갖는 분해 가능한 여러개의 다중경로 성분들의 합으로 구성된다. 본 논문에서는 협대역 모델을 이용하여 성능분석을 하였다[5].

협대역 라이시안 채널 모델 출력 $w(t)$ 를 복소 기저대역 성분으로 나타내면 다음과 같다.

$$w(t) = \sqrt{P_0} z(t) + \sqrt{P_1} g_1(t) z(t) \quad (8)$$

여기서 P_0 는 직접경로의 전파의 세기, P_1 는 다중경로 성분의 전파의 세기이며, $g_1(t)$ 는 다중경로 성분의 복소 가우시아 확률 특성을 갖는 가중치이다. 또한 P_0 와 P_1 의 비를 c 라 하면, 라이시안 팩터 K 는 아래와 같이 표현된다.

$$K = 10 \log(P_0/P_1) = 10 \log c \quad (9)$$

위의 식에서 $P_0=0$ 즉, $K=-\infty$ 인 특별한 경우가 레일리 페이딩 채널이다.

3.2 시스템 구조

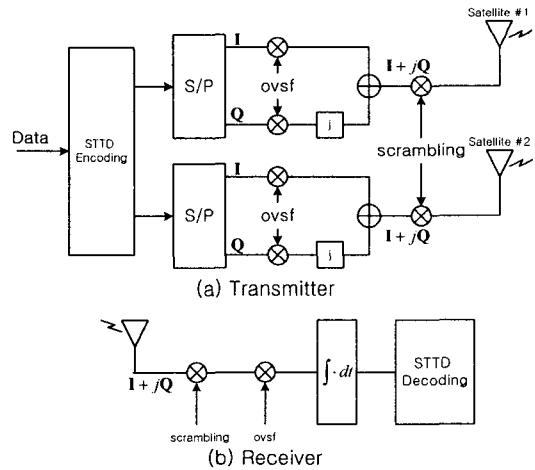


그림 4. 두 개의 다이버시티 위성에 STTD 적용시 IMT-2000 송수신 시스템의 구조

본 논문에서는 STTD의 성능분석을 위해 시공간 블록코드를 이용하여 두 개의 위성을 통해 전송하고, 수신단은 하나의 수신 안테나를 통해 수신하여 데이터를 복원하게 된다. 이 방법을 비교하기 위한 모델로는 일반적인 IMT-2000 시스템의 전송방법인 송신단과 수신단이 각각 한 개의 안테나를 사용하여 데이터를 전송하는 시스템을 구성하였다. 그림 4는 개방루프 전송다이버시티를 적용하여 두 개의 위성을 통해 데이터를 전송하는 경우의 송신기와 수신기의 구조를 보이고 있다.

IV. 모의실험

모의 실험은 3가지 채널모델 A, B, C를 이용하여 실험하였다. 채널모델 A는 직접경로성분이 가장 큰 것이며, 위성과 이동국과의 양각이 큰 것을 나타낸다. 채널모델 B와 C는 이동국과 위성간의 양각성분이 상대적으로 작은값을 유지함으로써 인해 직접경로 성분이 줄어드는 상태를 의미한다. 그리고 라이시안 팩터 K 가 $-\infty$ 인 경우, 즉 직접경로성분이 0인 경우는 레일리 페이딩 채널이다.

그림 5는 위성채널 모델 A+B에 대한 비트오율(Bit Error Rate :BER)곡선을 보인 것이다. STTD를 적용하는 경우는 서로 다른 곳에 위치한 두 개의 위성을 이용하는 것이므로, 두 위성에 대한 채널 모델을 다르게 표

현하였다. 그림 5는 하나의 위성에서 이동국간의 채널모델을 A로, 다른 하나의 위성에서 이동국간의 채널모델을 B로 가정하였을 경우 STTD를 적용시의 BER을 나타낸다. MRC B와 MRC A는 STTD를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 비교하기 위한 것으로 위성 하나만을 사용하고 단일경로를 가질 경우 이에 대한 채널보상이 수행된다. 그림 6은 위성채널모델 A+C에 대한 BER을, 그림 7은 위성채널모델 B+C에 대한 BER을 같은 방법으로 실험한 결과이다.

모의실험 결과 두 개의 위성을 사용하여 STTD를 적용한 결과 하나의 위성을 이용하였을 때보다 좋은 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다. 또한 레일리 모델과 라이시안 모델 사이를 비교했을 때 직접경로성분이 없는 레일리 모델이 라이시안 모델이 비해 성능이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 위성의 양각에 따라 모델링된 A, B, C는 직접경로 성분이 적을수록 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 IMT-2000 위성시스템에서 STTD를 적용하기 위해 협대역 채널을 모델링하였고, STTD 인코딩된 데이터를 두 개의 위성을 통해 전송하여 성능을 분석하였다. 그 결과 하나의 위성을 사용할 때 보다 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 차후 보다 정확한 성능분석을 위해 광대역 채널을 모델링하고 이에 대한 STTD를 적용하는 방법에 대한 연구가 진행될 계획이다.

참고문헌

- [1] Vahid Tarokh, Hamid Jafarkhani, A. R. Calderbank, "Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 45, No. 5, July 1999.
- [2] Vahid Tarokh, Hamid Jafarkhani, A. R. Calderbank, "Space-Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Performance Criterion and Code Construction", IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 44, No. 2, July 1998.
- [3] B. A. Bjerke, J. G. Proakis, "Antenna Diversity Combining Schemes for WCDMA Systems in Fading Multipath Channels", Proc. of VTC 2000 Fall, September 2000
- [4] M. Sandell, "Analytical analysis of transmit diversity in WCDMA on fading multipath channels", Proc. of VTC 2000 Fall, September 2000
- [5] 3rd Generation Partnership Project. Technical

Specification Radio Access Network Physical Layer Procedures. 3GPP TS 25.211 & 25.214, V3.3.0, June 2000

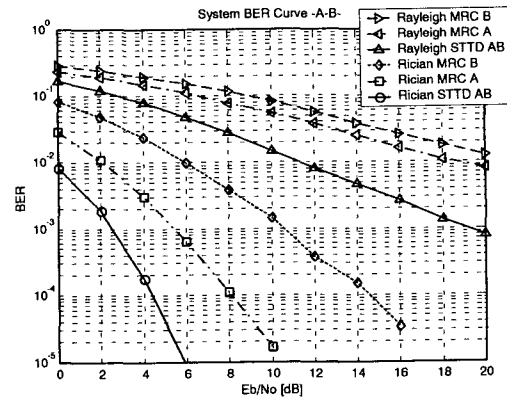


그림 5. 위성채널모델 A+B 에 대한 BER

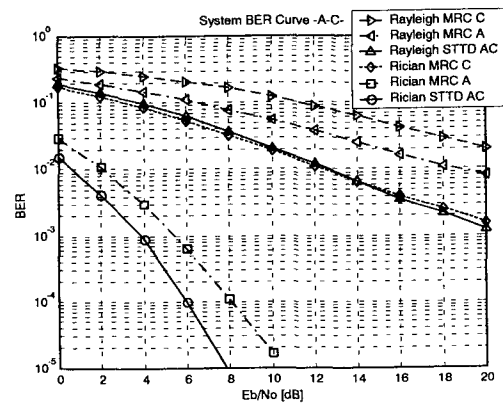


그림 6. 위성채널모델 A+C 에 대한 BER

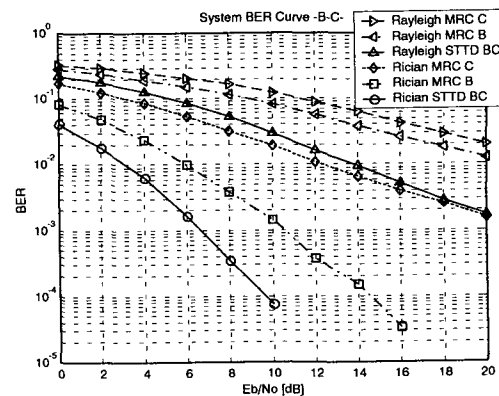


그림 7. 위성채널모델 B+C 에 대한 BER