

적응변조를 이용한 선택적 송신 다이버시티 기술

김 준 오, 권 중 만, 임 장 현
부경대학교 대학원 전자공학과
전화 : 051-620-6468 / 핸드폰 : 011-585-8114

A Selection Transmit Diversity with Adaptive Modulation

Jun O Kim, Jong Man Kwon and Chang Heon Lim
Dept. of Electronic Engineering, Pukyong National University
E-mail : HL5PUE@mail1.pknu.ac.kr

Abstract

The selection transmit diversity is an effective way to avoid the deep fading in a wireless channel. However, it may not completely eliminate the SNR fluctuation of a received signal at the receiver. This letter presents an application of an adaptive modulation effectively exploiting the SNR variation over time for a higher spectral efficiency to the conventional selection transmit diversity. Numerical results show that the proposed scheme can achieve a SNR gain of about 7 dB over the conventional selection diversity in a flat Rayleigh fading environment, when a BER of 10^{-3} and a spectral efficiency of 2 bps/Hz are required.

I. 서론

최근 인터넷을 통해 다양한 형태의 정보를 전송하는 초고속 멀티미디어 통신이 활발하게 전개되면서 이러한 형태의 서비스를 무선 통신 시스템에서도 지원하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 이러한 노력의 한 예로 제 3세대 이동 통신 방식인 IMT-2000을 들 수 있다. 멀티 미디어 서비스를 제공하기 위해서는 고속의 데이터 전송 능력이 전제되어야 가능하다. 따라서 무선 통신 시스템이 멀티 미디어 통신 서비스를 제공

하려면 제한된 주파수 자원을 좀 더 효과적으로 활용하여 전송 속도를 향상시킬 수 있는 방안이 필수적이다.

무선 통신에 있어서 가장 문제가 되는 것 중의 하나가 채널의 페이딩(fading) 현상이다. 페이딩 보상방법 중 안테나 다이버시티 기술이 비교적 간단하면서도 우수한 성능을 보이는 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 안테나 다이버시티 방법 중의 하나인 선택적 송신 다이버시티 기술의 주파수 이용 효율을 높이기 위해 선택적 송신 다이버시티와 적응 전송 기술을 함께 사용하는 시스템을 제안하고, 성능 분석을 통해 어느 정도의 이득이 얻을 수 있는지 수학적으로 분석한다.

II. 시스템 구조 및 분석

1. 적응전송 송신다이버시티 시스템 구조

[그림1]은 제안한 가변전력 가변전송비 적응전송 MQAM 송신 다이버시티 시스템의 구조를 나타낸다. 정보비트들은 MQAM 변조기에 직렬로 들어가고 MQAM 심볼열로 변환된다. 각 심볼은 송신시 최대의 채널 이득을 가지는 안테나를 점유하여 전송된다. MQAM 심볼들의 신호성운의 크기와 전송전력은 관련 송신안테나의 순시 채널 전력이득에 따라서 결정된다. 수신기는 모든 송신안테나의 채널상태 추정이 가능하다고 가정한다. 또한, 송신안테나와 수신안테나 사이의 채널상태는 레일리 페이딩 모델을 따른다고 가정하며,

다수의 송신안테나는 각각의 안테나 대해서 독립적인 페이딩 특성을 가질 수 있도록 충분한 간격을 유지하는 것으로 가정한다. 그리고, 심볼들은 수신단에서 동기적 MQAM 검출기로 입력되며, 심볼의 복조와 더불어, 채널의 전력이득을 추정한다. 그리고, 채널추정 정보들은 에러 없이 제한채널을 통해서 송신기 쪽으로 전달된다.

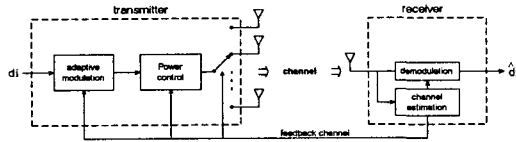


그림 1. 적응변조를 이용한 선택적 다이버시티 시스템 모델

2. 성능 분석

2-1. 연속적 적응전송의 시스템 구조

[3]에 의하면, 만일 신호성운의 크기가 M 이고, 평균 심볼에너지가 E_s 인 QAM 심볼이 잡음 전력 밀도가 N_0 인 AWGN 채널환경에서 동기적으로 검출된다면, BER은 다음과 같은 관계를 만족하는 것으로 알려져 있다.

$$BER \leq 0.2 \exp[-1.5\gamma/(M-1)]. \quad (1)$$

이 관계는 $M \geq 4$ 이며, $0 \leq \gamma \leq 30$ dB인 영역에서 만족되고, γ 는 E_s/N_0 로 정의된다.

적응전송 변조방식은 순시 채널상태에 따라 전송전력과 전송비를 조절하는 방식으로, 순시 채널상태를 나타내는 γ 를 수신된 심볼의 SNR $\gamma = \bar{S}g/N_0B$ 로 정의하는데, 여기에서 \bar{S} 는 평균 송신전력, g 는 채널이득, B 는 수신 주파수대역을 의미한다. $S(\gamma)$ 는 채널상태 γ 에 따른 송신전력이며, 다음과 같은 송신전력에 대한 제한조건을 만족해야한다.

$$\int_0^\infty S(\gamma)p(\gamma)d\gamma \leq \bar{S}. \quad (2)$$

여기에서, $p(\gamma)$ 는 수신된 SNR γ 의 pdf를 나타낸다. 적응변조 시스템이 모든 채널상태에서 주어진 BER조건을 만족하려면, 채널상태 γ 에서 선택하는 신호성운의 크기 $M(\gamma)$ 는 (1)에서 수신심볼의 SNR $\gamma S(\gamma)/\bar{S}$ 와 다음과 같은 관계를 갖게 된다.

$$M(\gamma) = 1 - \frac{1.5\gamma}{\ln(5BER)} \frac{S(\gamma)}{\bar{S}}. \quad (3)$$

그러면, 평균 주파수효율 $E[\log_2 M(\gamma)]$ 는 다음과 같이

주어진다.

$$E[\log_2 M(\gamma)] = \int_0^\infty \log_2 \left(1 - \frac{1.5\gamma}{\ln(5BER)} \frac{S(\gamma)}{\bar{S}} \right) p(\gamma) d\gamma. \quad (4)$$

(4)는 평균 주파수 효율이 전력조절 규칙에 따라 달라진다는 것을 보여준다. [3]에서 최대 송신전력을 제한하는 경우와, (2)에서 평균 주파수 효율을 최대로 하는 최적의 전력조절방법은 다음과 같다

$$\frac{S(\gamma)}{\bar{S}} = \begin{cases} \frac{1}{\gamma_0} - \frac{1}{\gamma K} & \gamma \geq \gamma_0/K \\ 0 & \gamma < \gamma_0/K. \end{cases} \quad (5)$$

여기서 γ_0/K 는 송신전력이 0이상이 되기 위한 최소의 채널상태를 나타내며, $K = -1.5/\ln(5BER)$ 이다. (5)가 표현하는 전력조절 방법의 개념은 채널의 상태가 양호할수록 더 많은 송신전력을 사용한다는 것이다.(5)에 따른 최대 주파수 효율 R/B 는 다음과 같다.

$$R/B = \int_{\gamma_K}^\infty \log_2 \left(\frac{\gamma}{\gamma_K} \right) p(\gamma) d\gamma. \quad (6)$$

여기서 γ_K 는 γ_0/K 를 가리킨다. (5)를 (3)에 대입하면 신호성운조절 방법 $M(\gamma)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$M(\gamma) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\gamma_0/K} & \gamma \geq \gamma_0/K \\ 0 & \gamma < \gamma_0/K. \end{cases} \quad (7)$$

본 논문에서는, [그림1]에서 보여준 선택적 다이버시티 기술에 적용된 적응전송 시스템의 성능을 연구한다. 송신 안테나의 선택은 pdf가 $p(\gamma)$ 인 채널상태에서 최적의 γ 값에 의해서 결정된다.

$$p(\gamma) = \frac{L}{\Gamma} (1 - \exp(-\gamma/\Gamma))^{L-1} \exp(-\gamma/\Gamma). \quad (8)$$

여기서 L 은 송신안테나의 수를 나타내며, Γ 는 각 송신 안테나에 대한 평균 SNR $\bar{S}T_s/N_0$ 를 나타내는데, T_s 는 심볼주기를 의미한다. 여기서 pdf (8)을 (6)에 대입하면 제한한 시스템의 주파수 효율 R/B 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R/B = \int_{\gamma_K}^\infty \log_2 \left(\frac{\gamma}{\gamma_K} \right) p(\gamma) d\gamma = \ln 2 \sum_{k=0}^{L-1} \binom{L}{k} (-1)^{L-k} Ei \left(-\frac{\gamma_K}{\Gamma} (L-k) \right). \quad (9)$$

여기서, 지수적분함수 $Ei(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^t}{t} dt$ 이며 $x < 0$ 일 때 성립한다. [그림2]에서는 레일리 페이딩 채널에서 $BER=10^{-3}$ 만족하는 경우, 안테나 개수 L 에 따른 주파수 효율을 나타낸다.

2-2. 이산적 적응전송의 시스템 구조

(9)에서 주파수 효율은 적응전송 방법이 전송전력과 전송비가 연속적으로 적용되는 경우이며, 실제 시스템에서는 전송비를 연속적으로 적용할 수 없기 때문에, 이산적인 전송비 형태로 표현해야 한다. 이러한 방식을 이산적인 적응전송이라고 하며, 선택적 송신 다이버시티 방식에 적용할 수 있다. 그리고, MQAM 신호성운의 크기를 집합을 $\{0, M_1, M_2, \dots, M_N\}$ 으로 제한했다.

신호성운의 크기를 결정하기 위해서 각 γ 에 대해서 $N+1$ 개의 페이딩 영역으로 나누며, 페이딩 영역의 범위를 구하기 위해서는 $M(\gamma)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$M(\gamma) = \gamma / \gamma_K^* \quad (10)$$

위 식에서 $\gamma_K^* > 0$ 는 주파수 효율이 최대가 되도록 결정되어지며, γ 에 대한 신호성운의 크기 M_j 를 얻기 위해서 (10)에서 $M(\gamma)$ 를 계산한다. 그리고, $M(\gamma)$ 가 제한된 구간 $M_j \leq M(\gamma) < M_{j+1}$ 에 있으면 신호성운의 크기를 M_j 라고 결정한다. 신호성운의 크기와 γ 의 영역이 결정되면, 요구되는 BER과 전력제한을 만족하는 전력 조절법을 결정해야 한다. (1)에 의해서 각 신호성운에 대한 고정된 BER을 만족하기 위한 전력 조절법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{S_j(\gamma)}{S} = \begin{cases} (M_j - 1) \frac{\gamma}{\gamma_K^*} & , \quad M_j \leq \frac{\gamma}{\gamma_K^*} < M_{j+1} \\ 0 & , \quad M_j = 0. \end{cases} \quad (11)$$

(11)의 전력 조절법을 사용한 이산적인 적응전송의 주파수 효율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{R}{B} = \sum_{j=1}^N \log_2(M_j) p(M_j \leq \gamma / \gamma_K^* < M_{j+1}). \quad (12)$$

γ_K^* 에 대해서 식(12)을 최대화할 수 있으며, 그때의 전력 제한조건은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^N \int_{\gamma_K M_j}^{\gamma_K M_{j+1}} \frac{S_j(\gamma)}{S} p(\gamma) d\gamma = 1. \quad (13)$$

송신기 측에서 가장 좋은 신호상태를 나타내는 안테나가 선택이 되었을 때의 가변전력 가변전송비 적응전송 시스템의 주파수 효율을 구하는 방법은 식(6)을 적용할 수 있으며, L 개의 안테나를 사용한 다이버시티의 주파수 효율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{R}{B} = \sum_{j=1}^N \log_2(M_j) \int_{\gamma_K M_j}^{\gamma_K M_{j+1}} \frac{L}{\Gamma} (1 - e^{-\gamma/\Gamma})^L e^{-\gamma/\Gamma} d\gamma. \quad (14)$$

(14)에서 채널 페이딩 분포의 pdf는 식(8)에 나타나 있다. (14)의 주파수 효율을 최대로 하는 전력제한 조건은 (13)을 이용하여, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{j=1}^N \int_{\gamma_K M_j}^{\gamma_K M_{j+1}} \frac{S_j(\gamma)}{S} \frac{L}{\Gamma} (1 - e^{-\gamma/\Gamma})^L e^{-\gamma/\Gamma} d\gamma = 1. \quad (15)$$

[그림3]은 레일리 페이딩 채널에서 다수개의 안테나를 사용한 송신 다이버시티 적응전송 시스템의 주파수 효율을 나타낸다. 이때 BER=10⁻³을 만족하고, 신호성운은 {0, 4, 16, 64}로 제한했으며, 다수개의 안테나를 적용하였다.

III. 성능분석 결과

본 절에서는 안테나 수의 변화에 따른 제안한 적응전송 시스템의 성능을 기존의 방식과 동일한 BER조건을 만족시키기 위해서 필요한 SNR값을 비교하였다. [6]에서 그레이 코드를 적용한 정방형 QAM의 BER은 다음과 같이 근사치로 나타낼 수 있다.

$$P_{b, MQAM} = 2\alpha_M Q(\sqrt{2\beta_M \gamma}). \quad (16)$$

여기서, $\alpha_M = \frac{2}{\log_2 M}$, $\beta_M = \frac{3}{2(M-1)}$ 이다. 기존의 다이버시티 방식의 P_b 는, 레일리 페이딩 채널 환경에서, MQAM 동기적 검출방식을 이용하여 나타내면 다음과 같다[7].

$$P_b = \alpha_M \sum_{k=0}^{L-1} \binom{L}{k} (-1)^{L-1-k} \left(1 - \sqrt{\frac{\beta_M \Gamma}{L-k+\beta_M \Gamma}} \right). \quad (17)$$

[그림4]는 Γ 와 M 값의 변화에 따라 두 개의 안테나를 사용한 경우의 BER의 성능곡선을 나타낸다. [그림3]과 [그림4]에서 동일한 주파수 효율과 BER(10⁻³)을 만족하기 위해서 필요한 SNR을 [표1]에서 비교하였다. 제안한 시스템의 경우에 적응전송을 적용하지 않았을 때 보다 주파수 효율이 2 bits/Hz 인 경우에 약 7dB이상의 SNR 이득의 향상을 얻을 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 적응전송을 적용하여 선택적 다이버시티 시스템의 성능을 기존의 적응전송을 적용하지 않은 시스템의 성능과 비교하였다. 기존의 선택적 다이버시티 시스템에서 신호성운의 크기(M)이 4, 16, 64인 경우에 주어진 BER(10⁻³)을 만족하는 경우의 SNR과 적응전송을 이용한 선택적 다이버시티 시스템의 SNR을 비교한 결과, 레일리 페이딩 채널환경에서 주파수 효율이 2 bps/Hz인 경우에 제안한 방식이 약 7dB이상의 SNR 이득을 가진다는 것을 알 수 있었다.

References

- [1] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity techniques for wireless communications," *IEEE Journal on Selected Areas in Comm.*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [2] A. Hotinnen and R. Wichman, "Transmit Diversity by Antenna Selection in CDMA Downlink," *Proc. IEEE ISSSTA'98*, pp. 767-770, 1998.
- [3] A. J. Goldsmith and S. G. Chua, "Variable-rate variable power MQAM for fading channel," *IEEE trans. on Commun.*, vol. 45, no. 10, pp. 1218-1230, Oct. 1997.
- [4] T. Suzuki, S. Sampei and N. Morinaga, "Directive Antenna Diversity Reception Scheme for an Adaptive Modulation System in High Mobility Land Mobile Communications," *IEICE trans. on Commun.*, vol. E79, no. 3, pp. 335-341, 1996.
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : Principles and Practice*, Prentice Hall, Inc., 1996.
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [7] M. K. Simon and M. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, John Wiley & Sons, Inc., 2000.

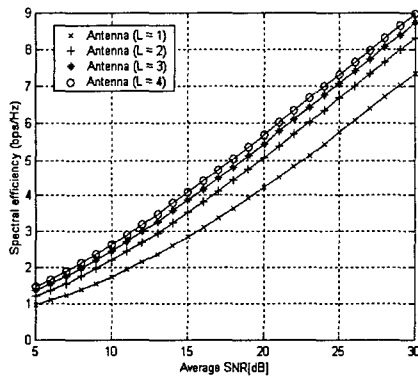


그림 2. 연속적용전송 송신다이버시티의 주파수 효율 (L : 안테나 개수, BER : 10⁻³일 때)

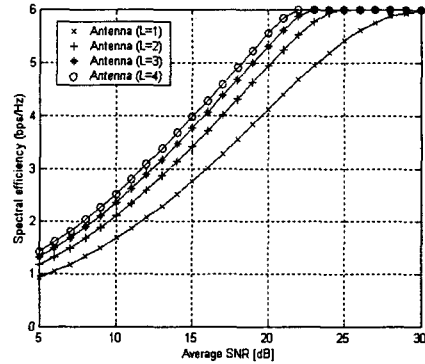


그림 3. 이산적용전송 송신다이버시티의 주파수 효율 (L : 안테나 개수, BER : 10⁻³일 때)

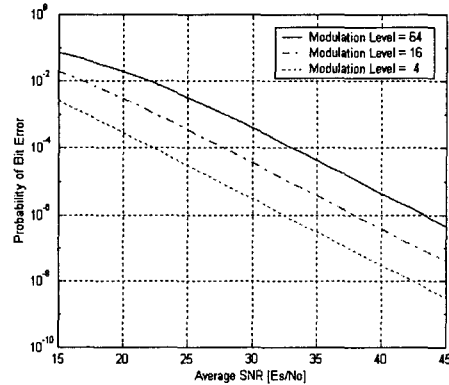


그림 4. 레일리 페이딩 채널에서 선택적 다이버시티 MQAM 시스템의 M값에 따른 BER 성능

표 1 BER=10⁻³ 을 만족시키기 위한 SNR [dB]

전송방식	주파수효율 (bits/Hz)		
	2	4	6
기존 선택적 송신 다이버시티 방식	17.2	22.6	27.8
제안한 방식	9.55	16.95	24.9
이득	7.65	5.65	2.9