

이동통신 채널에서 송수신 편파 디버시티 기법을 채용한 MIMO 16QAM의 BER 성능분석

김 태 현*

BER performance of MIMO 16QAM with transmit and receive polarization diversity technique on mobile communication channel

Tae Heon Kim *

요 약

최근 무선통신은 매우 다양한 서비스를 요구하고 있다. 따라서 다중송수신 안테나 적용기법이나 고율의 용량을 가지는 효율적인 변복조 기법등은 무선통신을 위하여 절대 필요한 기술이다. 그러나 수신측에서 다중안테나를 도입하기는 크기문제나 전력측면에서 현실성이 낮기에 하향링크에서 다중안테나를 도입함으로써 성능을 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 비용을 최소화할 수 있는 편파 디버시티 기법과 시공간부호화개념을 결합한 MIMO 시스템을 모델링하고 이의 성능을 스펙트럼 효율이 높아 무선통신에 적용할 경우 효율적으로 예상되나 그 성능 열화가 주요관건이 되는 16QAM에 대해 적용하고 그 성능을 분석하였다.

Abstract

The utilization techniques for multiple transmit and receive antennas or high capacity modulation schemes are essential to cope with the rapidly increasing demand for realizing more diverse wireless communication services with high rates. However, employing multiple receive antennas at the mobile units seems less practical due to the size and power limitations. Therefore, transmit diversity techniques have been extensively investigated for the downlink transmission to improve the performance. In order to overcome the above mentioned problems, we construct a simulation model which combines STC and polarization diversity which scheme is requiring less cost to realize. Multi-level quadrature amplitude modulation (MQAM) is an attractive modulation scheme for wireless communication due to the high spectral efficiency it provides. Thus, the performance for our scheme is presented when 16QAM modulation techniques are applied, and compared with the former schemes.

▶ Keyword : diversity, QAM, fading channel

• 제1저자 : 김태현
• 접수일 : 2007. 10. 30, 심사일 : 2008. 1. 8, 심사완료일 : 2008. 1.25.
* 부산경상대학교 디지털콘텐츠과 교수

I. 서론

최근 이동무선통신이나 무선 LAN의 경우 그 가입자수가 폭발적으로 증가함과 동시에 멀티미디어와 무선인터넷서비스에 관심이 집중되면서 시스템의 성능이나 용량 증대에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있다. 이에 대한 대안으로서 다중안테나 기술은 큰 역할을 하게 될 것으로 전망된다.

다중수신안테나를 사용하는 디버시티 기법은 오래전부터 관심을 받아왔으며, 이러한 다중수신안테나를 사용할 경우 시스템의 성능이 크게 향상되는 것으로 보고되었다[1]. 그러나 다중안테나를 수신측에서 사용한다는 것은 공간적인 측면이나 전력 측면에서 현실성과는 다소 거리가 있다. 따라서 이러한 경우의 역방향으로 송신측에서 복수의 안테나배열을 사용함으로써 성능을 꺾이는 다중송수신안테나에 대한 연구가 이에 대한 문제를 어느 정도 해결해줄 수 있는 대안으로 활발히 연구 중에 있다[2][3]. 일반적으로 다중송수신안테나를 이용하는 시스템을 MIMO(Multiple Input Multiple Output)라 부른다.

본 논문과 관련된 연구사례로는 먼저 기존의 채널코딩기법에 의한 부가적인 성능개선기법과 다중송수신안테나를 접목시킴으로서 성능을 개선시키기 위한 시공간 부호(STC; Space Time Code)에 대한 연구가 있다[4][5]. 이것은 송신측에서 다중안테나 전송을 통하여 무선통신시스템의 신뢰성을 개선하기 위한 기본패락은 기존의 일반적인 다중송수신안테나를 사용하여 성능을 꺾이는 개념과 일치하지만 다중송수신안테나를 통해 전송되는 방식에 차이가 있다. 즉, redundant한 데이터 스트림이 송신안테나를 통해 전송될 때 그중 하나의 송신안테나에 실리는 데이터를 선택하여 전송하는 방법이 아니라 동시에 보냄으로서 신뢰성을 복호기에 부여하고 충분한 상태를 부여함으로써 전송과 수신간 물리적 경로 간에서 그러한 스트림 중의 적어도 한 개나 몇 개는 생존하기를 바라는 기법이다.

결국 이와 같은 기법은 다중송수신안테나를 전부 사용하는 기법이고 이경우의 최대의 장점은 수신측으로부터 채널상태에 대한 정보를 받음으로서 다중송수신안테나 중 가장 바람직한 안테나하나를 선택하여 보내는 방법에 비해 feedback채널이 불필요하다는 장점을 가지게 된다.

시공간 부호는 크게 STTC(Space Time Trellis Code)와 STBC(Space Time Block Code)[6]로 분류되며 전자는 다중시간 슬롯과 다중안테나에 트렐리스 부호를 전파시키는 방식으로 코딩이득과 디버시티 이득을 동시에 얻고자하는

방식이다. 한편 후자는 블록코드와 유사하게 데이터들의 블록에서 동작하며 이 경우 단지 디버시티 이득만 제공한다. 그러나 STTC에 비해 실제구현 가능성의 관점에서 매우 단순한 접근이 되어 이에 대한 연구가 활발히 진행되어오고 있으며 최근 이에 대한 복호기도 실제 ASIC으로 구현되었다[7].

본 연구에서는 이러한 관점에서 실제 실현가능성을 최대의 선택요건으로 채택하여 전송측에서 다중 공간 디버시티를 사용하는 방법에 비해 하드웨어구성이 간단하고 경제적인 편파 디버시티를 송수신측에서 사용하면서 기존의 STBC를 접목시키는 방법을 16QAM에 도입하고 이에 대한 성능을 레일리 페이딩 채널환경에서 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 함으로써 평가하고자한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 일반적인 디버시티 기법에 대한 전반적인 사항을 요약 설명하고, III장에서 본 논문의 시스템모델에 대해 설명한 후 IV장에서 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 한 결과와 함께 세부적인 분석을 한 후, V장에서 결론 및 추후 연구과제에 대해 언급하기로 한다.

II. 디버시티 기법

무선통신시스템의 다중경로 전파환경은 그 특성상 기본적으로 페이딩이 발생하게 되고 이로 인해 성능이 열화된다. 이러한 성능 열화를 극복하기 위한 방법은 현재까지 매우 다양한 연구가 진행되어오고 있다. 이러한 방법 중에서 획기적인 기법이라 할 수 있는 TCM이나 터보코드(시간 디버시티)등과 같은 채널코딩만으로 고속의 데이터를 제한된 스펙트럼내에서 전송할 때 만족할만한 오류율을 얻기는 어렵다. 따라서 보다 효율적인 부호화기법이나 전송기법이 연구되고 있다.

이 중에서 공간 디버시티 기법은 무선채널의 성능을 개선시키는 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다. 수신 디버시티 기법은 2개 이상의 디버시티 브랜치를 구성하여 각 브랜치간의 비상관인 여러 신호들 중 하나의 신호를 선택하거나 각 브랜치에서 수신된 신호들을 합성하여 고품질의 수신신호를 제공할 수 있는 기법이다. 이러한 수신 디버시티는 크게 macroscopic 디버시티와 microscopic 디버시티로 구분된다.

macroscopic 디버시티는 주위환경이나 지형의 모양이 다른 음영지역에서 수신된 신호는 장주기 페이딩을 보이게 되며 이때 두가지국 중에서 음영지역이 발생하지 않는 기지국을 선택하는 디버시티 기법으로 페이딩을 경감시킬 수 있으며 이러한 디버시티 기법을 macroscopic 디버시티라한다.

한편, 주위의 건물이나 고정 및 이동 반사체등에 의한 다

중 반사파가 수신되면 깊고 빠른 진폭의 변화를 갖는 단주기 페이딩이 발생하게 된다. 이러한 경우 공간다이버시티, 편파 다이버시티, 주파수 다이버시티, 각 또는 지향성 다이버시티, 시간 다이버시티 등을 적용하여 단주기 페이딩을 경감시킬 수 있으며 이러한 기법을 microscopic 다이버시티라 한다.

이 중에서 편파 다이버시티는 동일한 위치에서 서로 직교하는 두편파(수직, 수평편파)의 안테나를 이용하여 수신된 신호의 비상관 특성을 이용하는 방식으로 공간적 이격이 매우 작으므로 설치비용이 작게 되어 매우 현실적인 기법이라 할 수 있다. 즉, 공간 다이버시티를 적용하여 다이버시티 효과를 보기 위해서는 안테나사이의 공간적 이격은 약 10-20 λ가 필요하다. 이러한 공간 이격을 유지하면서 기지국에 다이버시티 안테나를 설치하는 것은 상당히 큰 비용이 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 공간적인 이격이 매우 작게 되어 전송측에서 다중 공간 다이버시티를 사용하는 방법에 비해 하드웨어구성이 간단하고 경제적인 편파 다이버시티를 송수신측에서 동시에 사용하면서 기존의 STBC를 접목시키는 방법을 16QAM에 적용한 MIMO시스템을 모델링하고 이를 레일리 페이딩 채널환경에서 시뮬레이션을 통해 이에 대한 성능을 종합적으로 분석하고자 한다.

III. 시스템 모델

1.1 시스템 모델링

다음 그림 1과 같은 시스템 모델을 생각한다.

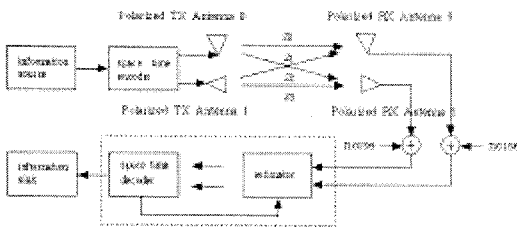


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1 Schematic of our system model

먼저 복소 가우시안 랜덤변수 z_0 를 수직편파된 전송측에서 수직편파된 수신측까지의 전송계수라 두고, z_3 는 2개의 수평편파간 전송계수, z_1 와 z_2 는 교차를 표현하기로 한다. 그러면 다음과 같이 간단히 채널행렬로 표현하면,

$$Z = \begin{bmatrix} z_0 & z_1 \\ z_2 & z_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (1)$$

과 같고, 어떤 시간에 변조에 의해 2개의 신호 $S_1(t)$ 와 $S_2(t)$ 가 직교편파 안테나를 통해 전송되고 이를 간단히 $S(t)$ 라 두면 쉽게 해석하기 위하여 잡음을 배제하고 생각하면 수신신호 $R(t)$ 는

$$\begin{bmatrix} r_1(t) \\ r_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_0 & z_1 \\ z_2 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \end{bmatrix} \dots \dots (2)$$

와 같고 분명히 2입력 2출력인 MIMO의 한 예로 생각할 수 있다. 그러면 이제 시공간블럭 코드화된 변조의 적용에 대해 설명할 수 있게 된다. 본 논문에서 구현하려는 시스템은 그림 1과 같으며 여기서 문제는 어떻게 STBC를 적용하는가 가 관건이다.

STBC는 정보 심볼의 부호화와 전송 그리고 수신측에서는 최대우도 검파 메트릭(maximum likelihood decision metric)이 중요한 역할을 담당한다.

한편, S. M. Alamouti에 의해 제안된 공간 블록부호(3)는 전송측의 다이버시티 기법에 근간을 두고 있으며 수신신호의 품질은 전송측에서의 다중안테나와 블록부호화와 수신측에서의 최대우도 검파 메트릭으로 개선된다.

본 시스템의 입력으로 2^b 개의 비트가 입력되면 직병렬 변환과정을 통해 변조레벨에 따라 심볼을 계산한 후 대응되는 신호성상도로부터 2개의 복소심볼 s_0 와 s_1 을 얻는다. 편상 2개의 전송안테나를 편파특성에 따라 각각 편파 안테나 0와 편파안테나 1로 부르겠다. 주어진 심볼구간 T에서 s_0 와 s_1 은 각각 편파안테나 0와 편파안테나 1을 따라 동시에 전송된다. 다음 심볼구간 2T에서는 $-s_1^*$ 과 s_0^* 가 각각 편파안테나 0와 편파안테나 1을 통해 전송된다. 여기서 *의 의미는 복소공액(complex conjugate operation)을 말한다. 이제 이를 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$S = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3)$$

각 열은 2개의 편파안테나에 의해 전송되어진다. 이제 식 (2)를 이용하여 수신측에서 채널을 통하여 수신된 신호는 이해를 돕기 위하여 간단히 구간 T에서 채널에 의한 왜곡이 일정하다 가정하면,

$$R = \sqrt{\frac{E_T}{n_T}} ZS + N \dots\dots\dots (4)$$

와 같고, 여기서 E_T 는 한 심볼구간 동안 전체 송신된 평균 에너지이며, n_T 는 송신안테나 수, 그리고 N 행렬은 복소랜덤변수(zero-mean σ^2 variance)들로 구성되며 부가적인 잡음과 간섭을 나타낸다.

즉, $R = \begin{bmatrix} r_0 & r_1 \\ r_2 & r_3 \end{bmatrix}$ 이며 $N = \begin{bmatrix} n_0 & n_1 \\ n_2 & n_3 \end{bmatrix}$ 이다.

특히, R 의 행은 수신측의 편파안테나 0과 1을 표현하고, 열은 2개의 연속적인 심볼구간을 나타낸다. 이제 완벽한 채널 추정을 가정하면, 복호기에서 사용하는 ML검파를 위한 판정 매트릭은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= z_0^* r_0 + z_1^* r_1 + z_2^* r_2 + z_3^* r_3 \\ \tilde{s}_1 &= z_1^* r_0 - z_0^* r_1 + z_3^* r_2 - z_2^* r_3 \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

이제 수신된 신호에 대입하면 다음과 같이 추정할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= (|z_0|^2 + |z_1|^2 + |z_2|^2 + |z_3|^2) s_0 + z_0^* n_0 + z_1^* n_1 + z_2^* n_2 + z_3^* n_3 \\ \tilde{s}_1 &= (|z_0|^2 + |z_1|^2 + |z_2|^2 + |z_3|^2) s_1 + z_1^* n_0 - z_0^* n_1 + z_3^* n_2 - z_2^* n_3 \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

이렇게 결합된 신호들은 이제 ML검파기에 사용되어질 수 있으며 s_0 의 추정을 위해 사용되는 판정규칙은

$$s_0 = \arg \min_{s \in A} (|z_0|^2 + |z_1|^2 + |z_2|^2 + \dots\dots\dots (7)$$

$$|z_3|^2 - 1) |s|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s)$$

이며 여기서 A 는 심볼 constellation이고 $d^2(x, y)$ 는 Euclidean거리의 제곱이다.

즉, $d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*)$ 이다. 비슷하게

$$s_1 = \arg \min_{s \in A} (|z_0|^2 + |z_1|^2 + |z_2|^2 + \dots\dots\dots (8)$$

$$|z_3|^2 - 1) |s|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s)$$

를 구할 수 있다.

1.2 실제적인 채널환경 고려

한편, 실제 채널환경을 고려하면 다음과 같이 (1)식의 수정이 필요하다. Z 의 각 원소들은 복소가우시안 랜덤변수라 가정했으나 실제적인 편파안테나의 특성을 추가로 고려해 주어야한다. 그래서 Z 의 원소들을 복소 상관된 가우시안 랜덤변수로 추가로 생각한다. 그러면 Z 행렬은 앞에서 언급한 식 (2)로 표현되는 고정된 성분과 상관특성에 따라 변하는 성분 2가지로 생각할 수 있다. 그러면 수정된 Z 행렬을 H 행렬로 변경하여 입력력 관계를 표기하면 다음과 같이 수정된다[8].

$$R = \sqrt{\frac{E_T}{n_T}} HS + N \dots\dots\dots (9)$$

여기서 n_T 는 송신안테나 수이며 E_T 는 하나의 심볼구간에서 전송된 전체평균에너지이다.

그러면 앞에서 언급한바와 같이 (9)식의 행렬 H 를 2가지 성분의 합으로 다시 정리하면 다음과 같다.

$$H = \sqrt{\frac{K}{1+K}} \bar{H} + \sqrt{\frac{1}{1+K}} \tilde{H} \dots\dots\dots (10)$$

여기서 $\sqrt{K/(1+K)}$ 와 $\sqrt{1/(1+K)}$ 는 에너지 정규화 요소로서 라이시안(Ricean) 계수 K 와 연관성을 가지고 있으며 고정된 성분의 전력과 변하는 성분의 전력비로

정의된다. 특히 K 가 0인 경우는 순수한 레일리 페이딩의 경우에 대응된다. 여기서 $\bar{\mathbf{H}}$ 는 고정적이며 다음을 만족한다.

$$\begin{aligned} |\bar{h}_0|^2 &= |\bar{h}_3|^2 = 1 \\ |\bar{h}_1|^2 &= |\bar{h}_2|^2 = \alpha_f \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (11)$$

여기서 $0 \leq \alpha_f \leq 1$ 이며 고정성분의 XPD에 좌우된다.

한편, 행렬 $\bar{\mathbf{H}}$ 의 원소들은 다음의 특징을 가지는 centered 랜덤변수로서 전파(propagation)조건과 안테나특성에 따라 변하게 된다.

$$\begin{aligned} E\{|\bar{h}_0|^2\} &= E\{|\bar{h}_3|^2\} = 1, \\ E\{|\bar{h}_1|^2\} &= E\{|\bar{h}_2|^2\} = \alpha \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12)$$

여기서 $0 \leq \alpha \leq 1$ 이며 채널의 변화하는 성분과 직교편파간 커플링에 따른 scattering에 대한 XPD(직교편파의 분리)에 좌우된다. 일반적으로 행렬 $\bar{\mathbf{H}}$ 의 원소들은 상관(correlation)특성을 가지고 있으며, 다음과 같은 상관계수를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} t &= \frac{E\{\bar{h}_0 \bar{h}_1^*\}}{\sqrt{\alpha}} = \frac{E\{\bar{h}_2 \bar{h}_3^*\}}{\sqrt{\alpha}} \\ r &= \frac{E\{\bar{h}_0 \bar{h}_2^*\}}{\sqrt{\alpha}} = \frac{E\{\bar{h}_1 \bar{h}_3^*\}}{\sqrt{\alpha}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (13)$$

여기서 t 는 송신 상관계수이고 r 은 수신상관계수이다. 실제 측정장비를 이용한 실험결과에 따르면 $E\{\bar{h}_0 \bar{h}_3^*\} = E\{\bar{h}_1 \bar{h}_2^*\} = 0$ 로 둘 수 있을 만큼 작은 것으로 보고되고 있으므로 [8] 상관(correlation)행렬은 다음과 같이 나타난다.

$$R_H = \begin{bmatrix} 1 & r\sqrt{\alpha} & t\sqrt{\alpha} & 0 \\ r\sqrt{\alpha} & \alpha & 0 & t\sqrt{\alpha} \\ t\sqrt{\alpha} & 0 & \alpha & r\sqrt{\alpha} \\ 0 & t\sqrt{\alpha} & r\sqrt{\alpha} & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (14)$$

이상에 설명한 시스템모델과 채널특성을 고려하면, 그에 따른 세부적인 분석을 할 수 있게 된다.

편파 디버시티를 채용할 경우 앞에서 언급한 채널의 변화하는 성분과 직교편파간 커플링에 따른 scattering에 대한 XPD에 좌우되는 α 와 송신 상관계수 t 와 수신상관계수 r 에 따라 그 성능이 좌우되며 이들에 대한 절충이 필요하며 이에 대한 해석적인 연구는 [8][9]에서 다루었다. 따라서 본 연구에서는 [8][9]에서 언급한 실제적인 파라미터를 이용하여 그 성능을 검토하였다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능평가

16QAM과 같은 멀티레벨 변조기법은 특히 스펙트럼 효율 면에서 기존의 BPSK나 QPSK, 8-PSK등에 비해 강점을 가지지만 이를 이동무선통신환경에 적용할 경우 심각한 성능열화로 16-QAM의 이동통신적용은 제한적일 수 밖에 없었다 [10]. 이에 본 논문의 관점은 16-QAM변조방식에 두고 앞에서 언급한 전반적인 시스템 모델을 정립하고, 이를 레일리 환경에서 16-QAM변조방식에 적용하여 그 성능을 종합적으로 분석하고, 평가하였다.

그림 2는 16QAM에 이상적인 조건하에 편파 디버시티 기법을 송수신측에서 사용한 경우(2x2 (MIMO), pol_ideal)와 일반적인 디버시티를 채용하지 않은 SISO(Single Input Single Output)의 경우 실험결과를 보여준다. 예상하였던 바와 같이 단일안테나를 사용하는 경우에 비해 그 성능이 상당히 개선됨을 볼 수 있다. 또한 2x1 MISO시스템과 비교하여도 예상한바와 같이 성능이 개선되었으며, 동일한 디버시티 치수를 가지는 2x2 MIMO시스템과 비교하면 성능이 거의 일치됨을 확인할 수 있다.

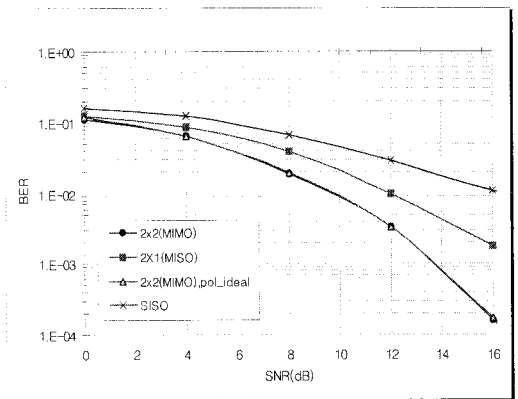


그림 2. SISO와 2x2MIMO성능 비교
Fig. 2. Performance comparison between SISO and 2x2MIMO equivalent system

한편, 그림3은 4x1 MISO시스템과 2x2 MIMO($\alpha = 0.05$), 2x2 MIMO($\alpha = 1, t = 0, r = 0$), 2x2 MIMO($\alpha = 0.4, t = 0.5, r = 0.3$) 그리고 다이버시티 기법을 적용하지 않은 경우(SISO)를 종합적으로 보여준다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 편파 다이버시티 기법을 도입할 경우 채널의 변화하는 성분과 직교편파간 커플링에 따른 scattering에 대한 XPD에 좌우되는 α 와 송신 상관계수 t 와 수신상관계수 r 에 따라 그 성능이 좌우됨을 알 수 있다.

특히, $\alpha = 0.05$ 인 경우 심한 페이딩 신호의 상관성이 발생하게되고 이 경우 성능이 크게 열화된다. BER 10^{-2} 에서 이상적인 경우와 비교하여 5.6dB정도의 손실이 발생한다. 특히 이 경우 다이버시티를 채용하지 않은 SISO시스템에 근접해 감을 확인할 수 있다. 결국 α 에 의해 시스템의 성능이 매우 크게 변동함을 알 수 있다.

특히, 문헌(9)에서 언급한 실제적인 다이버시티 파라미터 값인 $\alpha = 0.4, t = 0.5, r = 0.3$ 인 경우 원래의 이득에서 높은 SNR에서는 더욱 손실이 커짐을 알 수 있다. 그러나 이상에 분석한 다소간의 손실을 감안하더라도 송수신간 편파안테나를 사용한 다이버시티 기법은 경제적인 면에서 상당히 유리한 기법임이 분명하며 편파특성을 심본 활용할 수 있는 안테나특성 개선이나 부가적인 전력제어 기법 등을 채용한다면 충분히 응용될 수 있을 것으로 판단한다. 특히, 본 연구에서는 추가적인 채널코딩기법을 언급하지는 않았지만 본 논문에서 언급한 시스템에 추가적인 코딩기법(예를 들면, 터보코딩 기법 등)을 채용할 경우 그 성능은 더욱 크게 향상될 것으로 전망한다.

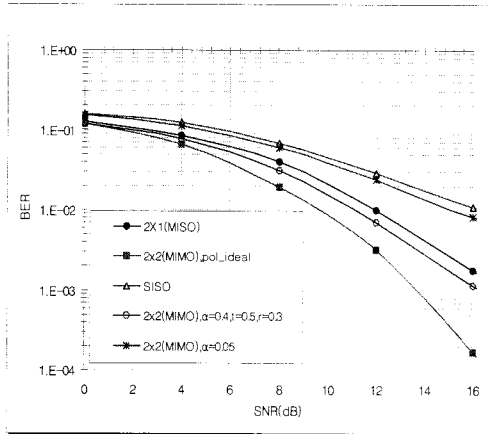


그림 3. 종합적인 성능 비교

Fig. 3. Performance comparisons for various parameters

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다중안테나 송수신방식(MIMO)의 세부적인 연구를 위한 준비과정으로 2X2 MIMO환경과 흡사한 편파안테나를 송수신단에서 함께 사용하는 다이버시티 기법에 스펙트럼 효율은 좋으나 이동통신 환경에 적용할 경우 심각한 성능열화를 초래하게 되는 16QAM변조방식을 적용하여 그 성능을 종합적으로 실험하였다. 채널은 느리게 변하는 flat 레일리 환경을 가정하였고, 다양한 파라미터와 실질적인 2x2 MIMO, 2x1 MISO, 그리고 SISO등을 병행하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 그 성능과 핵심적인 파라미터들을 설명하였다. 추후 보다 실제적인 환경(주파수 선택적 채널 등)에서 성능검토가 이루어져야하였고, 편파 다이버시티를 채용함으로써 실제적인 채널에 응용할 경우 페이딩 신호의 상관에 의해 발생하는 이득손실을 보상하기 위한 부가적인 방법 등 보완적인 연구가 이루어진다면 기존의 2x2 MIMO에 비해 경제적인 면에서 유리한 기법임을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Stuber, G., Principles of Mobile Communications, Kluwer Academic Publishers, 2nd Edition, 2001.
- [2] Winters, J. H., The diversity gain of transmit diversity in wireless systems with Rayleigh fading, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 47, no. 1, pp. 119-123, Feb 1998.
- [3] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE J. Select. Areas in Commun. vol. 16, no. 8, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [4] Vahid Tarokh, Hamid Jafarkhani, and A. R. Calderbank. "Space-time block codes from orthogonal designs," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 45, no. 7, pp. 1456-1467, Jul. 1999.
- [5] Vahid Tarokh, Hamid Jafarkhani, and A. Robert Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results". IEEE J. Select. Areas in Commun. vol. 17, no. 3, pp. 451-460, Mar. 1999.

- [6] S. Sandhu and A. Paulraj, "Space-time block codes versus space-time trellis codes," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications, pp. 1132-1137, 2001.
- [7] Enver Cavus and Babak Daneshard, "A very low-complexity space-time block decoder(STBC) ASIC for wireless systems," IEEE Trans. on Circuits and systems, vol. 53, no. 1, pp.60-69, Jan. 2006.
- [8] H B6lcasi et al., "Performance of spatial multiplexing in the presence of Polarization diversity", in Proc. IEEE ICASSP, vol. 4, Slat Lake City, UT, pp.2437-2440, May 2001.
- [9] Rohit U. Nabar et al., "Performance of multiantenna signaling techniques in the presence of polarization diversity," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 50, no. 10, October 2002.
- [10] 김태현, 디지털 이동무선통신을 위한 다차레벨 직교진폭 변복조방식의 성능개선에 관한 연구, 부경대학교 공학박사학위논문, 2, 1999.

저자 소개



김태현

1987년 2월: 한양대학교 전자공학과
(공학사)

1989년 2월: 한양대학교 일반대학원
전자공학과(공학석사)

1993년 2월~1994년 2월:
포항공대 전자계산학과 박사과정

1999년 2월: 부경대학교 일반대학원
전자공학과 (공학박사)

1991년~1994년: 한국전자통신연구
원 연구원

1994년~현재: 부산경상대학 디지털
콘텐츠과 교수

관심분야: 멀티미디어 이동통신시스템 등