

# MIMO를 이용한 ITS에서의 이미지 전송 성능 분석

Performance Analysis for Image Transmission in ITS Using MIMO Technique

김요철

(광운대학교, 석사과정)

최영훈

(광운대학교, 석사과정)

박인환

(광운대학교, 석사과정)

김진영

(광운대학교, 부교수)

Key Words : Alamouti code, Intelligent transport system (ITS), Multi-input multi-output (MIMO)

## 목 차

- I. 서론
- II. 시스템 모델
- IV. 모의실험 및 결과
- V. 결론

### I. 서론

통신 기술의 발달로 인한 IT 산업의 발전은 컴퓨터, 핸드폰, 홈 네트워크 분야에만 국한되지 않고 교통 시스템까지 그 영향을 미치고 있다. 지능형 교통 시스템 (ITS : Intelligent Transport System)이 그 대표적인 예인데, ITS는 기존의 교통 시스템에 전자, 정보통신, 컴퓨터, 제어 등의 다양한 기술들을 접목시켜 교통의 이동성, 안정성, 효율성 및 교통 환경을 혁신적으로 개선하는 첨단 교통 시스템을 말한다 [1].

현재 보다 나은 서비스를 제공하기 위해 ITS와 관련하여 많은 연구가 진행되고 있으며, 그 중 통신 분야에서 다중 입력 다중 출력, 즉 다중 안테나 기술 (MIMO : Multi-Input Multi-Output) 분야가 활발히 연구되고 있다. MIMO 기술은 한정된 통신 자원 환경에서도 주파수 스펙트럼의 확장 없이 기존의 단일 송수신 안테나를 사용하는 시스템보다 훨씬 나은 성능을 보여준다 [2].

MIMO 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 공간 다이버시티 (spatial diversity)이고, 다른 하나는 공간 다중 (spatial multiplexing)이다. 공간 다이버시티는 여러 송신 안테나가 같은 데이터를 전송함으로써 한 개의 전송 경로에 대한 의존성을 분산시켜 시스템의 신뢰도를 높이는 기술이다. 다시 말해서, 하나의 전송 경로부터 수신된 데이터가 채널 영향에 의해 왜곡되거나 수신 파워가 약하더라도, 다른 경로의 수신 데이터가 정상적으로 수신된다면 그 데이터의 복원은 충분히 가능하다. 공간 다중은 여러 송신 안테나가 각각 서로 다른 데이터를 전송하여 데이터 처리량을 높이는 기술로 동일한 시간 슬롯 동안 수신된 데이터량이 많기 때문에 그만큼 데이터 전송률이 높아진다 [3]. 이 두 기법은 IEEE 802.16.e (WiMAX) 표준의 downlink에서 사용된다.

본 논문에서는 공간 다이버시티를 이용하여 중계기와 차량

사이의 이미지 전송시 안테나 수와 구성에 대한 통신 성능을 비트 오류률 (BER : Bit Error Ratio)과 수신된 이미지 품질 측면에서 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 제 II장에서 가정한 시스템 모델과 채널 모델을 설명하고, 제 III장에서 이에 대한 모의 실험 결과를 보여준 다음 제 IV장에서 결론을 맺고자 한다.

### II. 시스템 모델

#### 1. MIMO 시나리오

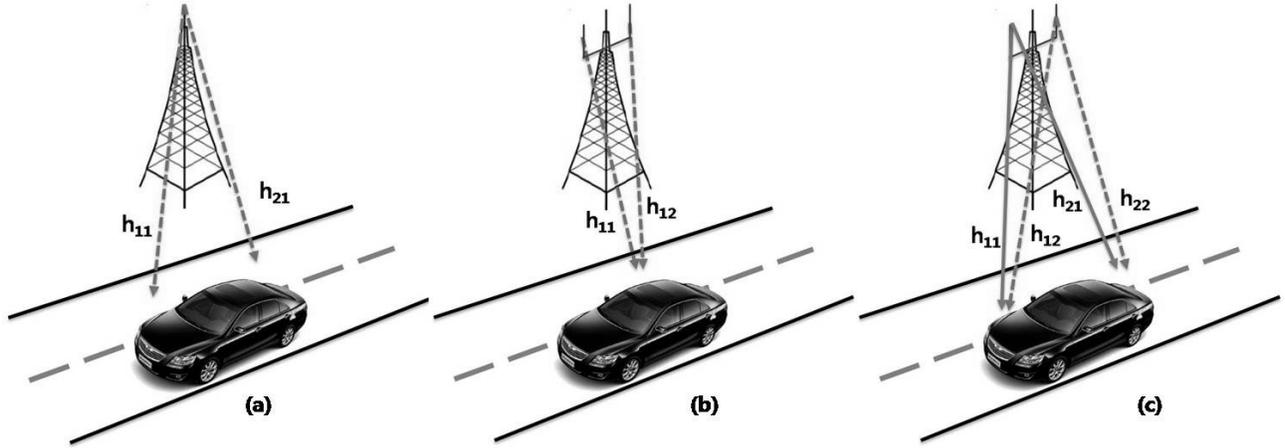
그림 1은 도시 외곽 고속도로 상에서 차량과 중계기 간의 이미지 송수신 모델을 나타낸다. 일반적인 통신은 1개의 송신 안테나와 1개의 수신 안테나로 이루어져 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 그림 1 (a)는 중계기에 한 개의 안테나, 차량에 2개의 안테나를 통해 수신 다이버시티를 얻는 경우로 수신 안테나에서 수신된 두 신호를  $r_1, r_2$  라면 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r_1 &= s_1 h_{11} + n_1 \\ r_2 &= s_2 h_{21} + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

두 수신 신호는 Maximum ratio combining (MRC) 기법을 통해서 결합 신호  $\tilde{s}_1$ 을 얻는다 [4].

$$\tilde{s}_1 = h_{11}^* r_1 + h_{21}^* r_2 \quad (2)$$

(b)는 2개의 송신 안테나와 1개의 수신 안테나를 사용하여 송신 다이버시티를 얻는 경우로써, Alamouti code에 의해



<그림 1> 차량과 중계기 간의 이미지 송수신 모델

데이터 전송이 이루어진다 [5]. 시간 슬롯  $t$ 에 한 픽셀(1 bit)이 전송된다고 가정하면, 첫 번째 시간 슬롯  $t$ 에서 첫 번째 픽셀은 안테나 1, 두 번째 픽셀은 안테나 2에서 동시에 전송되고, 그 다음 시간 슬롯 ( $t+T$ )에서는 두 번째 픽셀의 conjugation 형태에 음수를 취한 픽셀이 안테나 1로, 첫 번째 픽셀에 conjugation만 취한 형태가 안테나 2로 동시에 전송된다. 이 과정을 세 번째 네 번째, 다섯 번째 여섯 번째 픽셀 순으로 마지막 픽셀까지 차례대로 수행하면 송신 다이버시티를 얻게 된다. 이를 표 1에 정리하였다.

<표 1> Alamouti code

	Antenna 1	Antenna 2
time $t$	$s_1$	$s_2$
time $t+T$	$-s_2^*$	$s_1^*$

Alamouti code에 의해 수신된 두 신호를  $r_1, r_2$ 라 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + n_1 \\ r_2 &= -h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^* + n_2 \end{aligned} \quad (3)$$

그 후, 결합 기법(식 (4))을 사용하여 결합 신호  $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2$ 를 얻는다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 &= h_{11}^*r_1 + h_{12}r_2^* \\ \tilde{s}_2 &= h_{12}^*r_1 - h_{11}r_2^* \end{aligned} \quad (4)$$

(c)는 중계기와 차량에 안테나를 각각 2개씩 사용한 경우이다. (b)와 마찬가지로 Alamouti 코드를 이용하여 전송하였으며, 4의 다이버시티 이득을 얻는다. 그림 1에서 보는 바와 같이 이 경우는 총 4가지 경로를 통해 신호를 수신하게 된다.

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + n_0 \\ r_2 &= -h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^* + n_2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} r_3 &= h_{21}s_1 + h_{22}s_2 + n_3 \\ r_4 &= -h_{21}s_2^* + h_{22}s_1^* + n_4 \end{aligned} \quad (6)$$

첫 번째 수신 안테나가 수신하는 신호는  $r_1, r_2$ , 두 번째 수신 안테나에서 수신되는 신호는  $r_3, r_4$ 가 되며 식 (7)을 통해 결합 신호  $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2$ 를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 &= h_{11}^*r_1 + h_{12}r_2^* + h_{21}^*r_3 + h_{22}r_4^* \\ \tilde{s}_2 &= h_{12}^*r_1 - h_{11}r_2^* + h_{22}^*r_3 - h_{21}r_4^* \end{aligned} \quad (7)$$

각 상황에서 얻은 결합된 신호  $\tilde{s}_1, \tilde{s}_2$ 는 최대 우도(ML : Maximum Likelihood) 검출기로 보내진 후, 원신호 판별을 하게 된다.

## 2. 채널 모델

일반적인 무선 채널은 LOS (Line-of-Sight) 환경과 NLOS (Non Line-of-Sight) 환경으로 구분할 수 있다. 본 논문은 도시 외곽 고속도로를 달리는 차량과 중계기간의 통신을 가정하였으므로 LOS가 존재한다. 따라서 채널 모델로 Rician 분포를 사용하였다. 식 (8)은 확률 변수  $x$ 에 대한 Rician 확률 밀도 함수를 나타낸다.

$$p(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2+c^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{xc}{\sigma^2}\right) \quad (8)$$

여기서,  $2\sigma^2$ 는 산란 성분들의 전력의 합이며,  $I_0(\cdot)$ 는 수정된 제1종 0차 Bessel 함수를 나타낸다. 그리고  $c^2$ 은 LOS 성분의 전력을 나타낸다. Rician 채널의 요소로 K-factor가 있는데, 다음과 같이 정의된다.

$$K = \frac{c^2}{2\sigma^2} \quad (9)$$

일반적으로 K가 -40dB 정도이면 Rayleigh 채널로 가정하고, 15dB 이상이면 Gaussian 채널로 가정한다.

### III. 모의실험 및 결과

본 논문에서 랜덤 비트를 발생하는 대신 이미지를 전송하였다. 이미지의 크기는  $512 \times 384$  픽셀이며, 한 픽셀 당 1 비트로 변환하였다. 이미지의 왼쪽 상단 픽셀을 첫 번째 비트로 하고 왼쪽 하단 픽셀을 마지막 비트로 하는 384 비트의 프레임 임을 한 패킷으로 하여 512 개의 패킷을 전송하였다. Rician 채널의 K factor는 0 dB로 하였으며, Doppler shift 및 안테나 간 간섭은 고려하지 않았다. 변조방식은 QPSK를 사용하였고, 중계기와 차량 간 안테나 수를 증가시키면서 각 경우에 대한 수신된 이미지 상태와 BER를 실험하였다.

그림 2는 전송하기 전 원본 이미지를 보여주며, 그림 3부터 그림 6까지는  $1Tx \times 1Rx$ ,  $2Tx \times 1Rx$ ,  $1Tx \times 2Rx$ ,  $2Tx \times 2Rx$  각 경우에 대한 수신된 이미지를 나타낸다.



<그림 2> 원본 이미지



<그림 3>  $1Tx \times 1Rx$  (No diversity)

그림 3은 수신단과 송신단의 안테나가 각각 1개인 일반적인 상황에서의 수신된 이미지를 나타낸다. 원본 이미지와 비

교했을 때 수신 이미지 데이터가 많이 깨져있음을 알 수 있다.

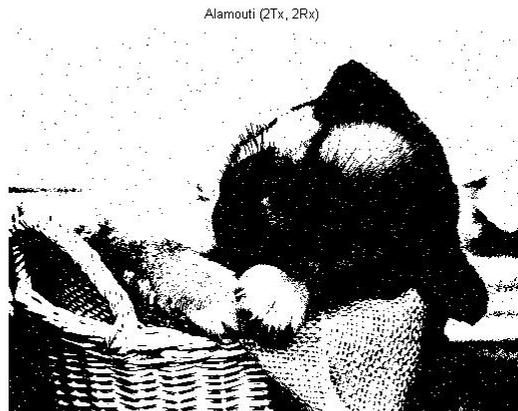


<그림 4>  $2Tx \times 1Rx$  (Alamouti)



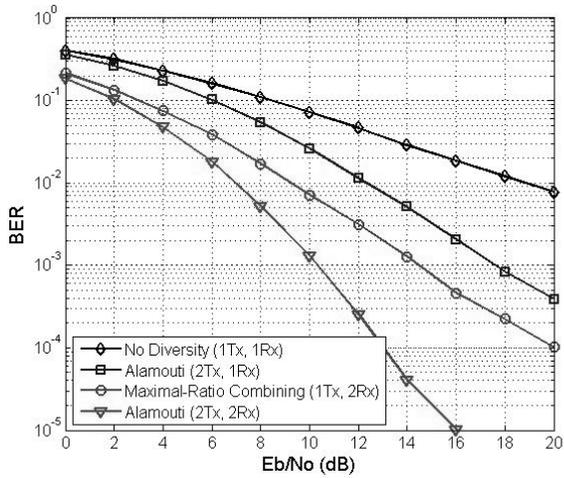
<그림 5>  $1Tx \times 2Rx$  (MRC)

그림 4과 그림 5는 각각  $2Tx \times 1Rx$ ,  $1Tx \times 2Rx$  경우의 수신된 이미지를 보여준다. 두 경우 모두 같은 다이버시티 이득을 갖지만  $1Tx \times 2Rx$  경우의 이미지가 좀 더 나은 모습을 보인다. 그 이유는 이미지 전송 시 전자의 경우가 송신 전력을 각 안테나에서 나누어 사용하기 때문에 송신 전력을 모두 사용하는 후자의 경우보다 성능이 떨어지게 된다.



<그림 6>  $2Tx \times 2Rx$  (Alamouti)

그림 6은 송/수신 안테나가 각각 2개인 경우로써 다른 경우보다 다이버시티 이득이 가장 높다. 수신된 이미지의 품질을 보면 다른 경우들의 이미지보다 훨씬 좋음을 알 수 있다.



<그림 7> 안테나 수 증가에 따른 BER 비교

마지막으로 각 경우에 대한 BER을 그림 6에 나타내었다. 수신 이미지의 상태와 비슷하게 1Tx × 1Rx, 2Tx × 1Rx, 1Tx × 2Rx, 2Tx × 2Rx 순으로 성능이 증가하였다. 일반적인 경우와 2Tx × 2Rx 경우, 거의 10dB 이상의 성능 차이를 보인다. 따라서 안테나 수의 증가에 따른 다이버시티 이득의 증가는 시스템 성능을 향상시킴을 확인할 수 있다.

#### IV. 결론

지금까지 ITS에서 MIMO 기술을 사용하여 이미지 전송 성능을 비교 분석하였다. 본 논문에서는 MIMO 기술 중 동일한 데이터 동시에 보내는 공간 다이버시티 기법을 사용하여 시스템의 신뢰도를 향상시키고자 하였다. 모의실험 결과를 통해 안테나 수가 증가할수록 수신된 이미지의 품질이 점차 좋아짐을 알 수 있었으며, 각 경우에 대한 BER 그래프를 통해 시스템 성능 향상을 확인하였다.

향후 계획으로 실제 ITS 환경에 맞는 채널과 파라미터 (안테나 간 간섭, Doppler 효과, 지연 요소 등)를 고려한 상태에서 보다 효율적이고 신뢰적인 데이터 전송 기법을 연구할 예정이다.

#### 참고문헌

1. Jin Yonun Kim, *Intelligent Transport System*, GS Intevision Publishers, Seoul, Korea, 2008.
2. Jin Yonun Kim, *MIMO-OFDM System for High-Speed Wireless Communications*, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
3. Mohinder Jankiraman, *Space-time Codes and MIMO Systems*, Artech House Publishers, Norwood, U.S., 2004.

4. Bernard Sklar, *Digital Communications*, 2nd edition, Prentice Hall, New Jersey, U.S., 2001
5. S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications", *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, Vol. 16, Issue 8, pp.1451-1458, Oct. 1998