

## 하이브리드 시공간 블록 코드 기반의 공간 변조 다중 안테나 시스템

\*박명철 주지훈 \*\*한동석

경북대학교

\*wndcalm@gmail.com

## Hybrid Space Time Block Coded-Spatial Modulation MIMO System

\*Myung Chul Park, Jhihoon Joo, \*\*Dong Seog Han

Kyungpook National University

## 요약

본 논문에서는 대역폭 효율을 향상시키는 공간 변조(spatial modulation) 다중 안테나 시스템을 제안한다. 기존의 공간 변조 다중 안테나 시스템은 다중 송신 안테나 중 하나의 안테나를 사용하여 채널 간에 간섭을 피할 수 있어서 다중 경로가 많은 실내 환경에서 적합하다. 그러나 심벌 전송 구간마다 한 개의 안테나만을 선택하여 전송하므로 다중 안테나의 최대 부호 이득을 얻을 수 없다. 이를 극복하기 위하여 시공간블록부호화 방식을 적용한 공간 변조 다중 안테나 시스템은 두 개의 안테나를 사용하여 수신 성능을 향상시키지만 대역폭 효율이 향상되지 않는 단점이 있다. 본 논문에서는 Hybrid STBC 시스템을 적용한 공간 변조를 제안하여 공간 변조 다중 안테나 시스템의 대역폭 효율을 개선한다.

## 1. 서론

모바일 기기의 증가로 인하여 요구되는 채널 용량은 지속적으로 증가하고 있다. 채널 용량을 향상하기 위하여 다중 안테나 시스템(multi-input multi-output, MIMO)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. IEEE 802.11n과 LTE는 시공간 블록 코드(space time block code, STBC)를 적용하여 고속 무선 통신을 가능하게 하였다[1].

페이딩 환경에서 송신 신호가 깊은 페이딩으로 인하여 검출되지 못하는 경우가 발생한다. 이를 보완하기 위하여 Alamouti[2]는 다중 안테나 시스템을 이용하여 송신 심볼을 시간과 공간에 대하여 반복해서 보내는 STBC를 제안하였다. 그리고 Tarokh[3]는 송신 안테나 2개에 국한되어 있는 STBC의 한계를 넘어 송신 안테나 수에 따라 직교성이 유지되는 직교 시공간 블록 코드(orthogonal space-time block code, OSTBC)를 제안하였다. STBC와 OSTBC는 심볼을 반복해서 송신하기 때문에 수신 성능이 향상되지만, 안테나가 증가할수록 반복해서 보내는 시간이 증가하기 때문에 대역폭 효율이 향상되지 않는다.

Basar[5]는 STBC를 Mesleh[6]가 제안한 공간 변조(spatial modulation, SM)에 적용하여 STBC-SM(space-time block coded spatial modulation) 시스템을 제안하였다. 공간 변조는 다중 안테나 중 하나의 안테나를 선택하여 전송하는 기법으로 선택되는 안테나에 따라서 비트 정보를 추가적으로 전송이 가능하다. 그리고 STBC-SM은 송신 안테나 4개 중 선택되는 2개의 안테나 조합에 따라 비트 정보를 추가적으로 전송하는 방법이다.

본 논문에서는 SM 다중 안테나 시스템을 Hybrid-STBC 다중 안테나 시스템에 적용한 Hybrid-STBC-SM(Hybrid space-time block coded spatial modulation) 다중 안테나 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 STBC-SM 시스템의 안테나를 선택하여 비트를 추가적으로

전송하는 장점과 Hybrid-STBC 시스템에서 여러 개의 독립된 STBC 송신 단을 사용하여 대역폭 효율을 향상하는 장점을 모두 가진다.

## 2. 기존의 STBC 다중 안테나 시스템

공간 변조 시스템을 Alamouti가 제안한 STBC 부호에 적용하여 수신 성능을 향상시킨 STBC-SM 다중 안테나 시스템에 대하여 살펴본다. 2개의 안테나를 사용하여 시간과 공간에 대하여 반복적으로 송신하는 STBC 부호는 2개의 심벌( $x_1, x_2$ )을 부호화한다.

송신 안테나가 4개인 경우에 대하여 STBC를 적용한 공간 변조 다중화 시스템의 부호 행렬은 다음과 같다.

$$\mathbf{X}_{\text{STBCS}} = \left\{ \begin{array}{cc} \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & 0 & 0 \\ -x_2^* & x_1^* & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & x_1 & x_2 \\ 0 & 0 & -x_2^* & x_1^* \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & x_1 & x_2 & 0 \\ 0 & -x_2^* & x_1^* & 0 \end{pmatrix} e^{j\theta} & \begin{pmatrix} x_2 & 0 & 0 & x_1 \\ x_1^* & 0 & 0 & -x_2^* \end{pmatrix} e^{j\theta} \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$= \begin{Bmatrix} \chi_{11} & \chi_{12} \\ \chi_{21} & \chi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \chi_0 & \chi_1 \\ \chi_2 & \chi_3 \end{Bmatrix}$$

식 (1)의 부호 행렬( $\chi_\mu, \mu = 0, 1, 2, 3$ )중 송신 비트열에 의해서  $\mu$  번 째 부호 행렬이 선택된다. 그리고 부호 행렬( $\chi_{ij}, i = 1, 2, j = 1, 2$ )은  $i$ 가 같을 때 서로 다른  $j$ 에 대해서 간섭이 일어나지 않는 성질을 가진다.

수신 안테나의 수가  $N_r$ 인 수신기에서 수신된 심벌  $\mathbf{Y}_{\text{STBCS}}$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{y}_{\text{STBCS}} = H_{\mu} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \mathbf{n} \quad (2)$$

$\mathbf{y}_{\text{STBCS}}$ 은 크기가  $2N_r \times 1$ 인 수신 심벌 벡터이고,  $\mathbf{n}$ 는 크기가  $2N_r \times 1$ 인 가우스 분포를 따르는 열잡음 벡터이다.  $H_{\mu}$ ,  $0 \leq l \leq c-1$ 는  $\mu$ 번 째 부호 행렬에 따른 채널 행렬을 나타내고 행렬 크기는  $2N_r \times 2$ 이다. Alamouti STBC 부호의 직교성을 이용하여 송신 신호  $x_1, x_2$ 를 따로 검출한다.

### 3. 제안하는 Hybrid-STBC 기반 다중 안테나 시스템

제안하는 다중 안테나 시스템은 기존의 STBC-SM 다중 안테나 시스템에 Hybrid STBC 부호를 적용하는 것이다. 송신 안테나를 2개 사용하였을 때 시간과 공간에 대하여 심벌을 분산하는 부호 중에서 동일한 전송량에 대하여 최적의 수신 성능을 얻는 부호이다. 이 부호를 식 (1)에 적용한 Hybrid STBC-SM 부호 행렬을 제안한다.

$$\mathbf{X}_{\text{HSM}} = \{X_0, X_1, X_2, X_3\}$$

$$X_0 = \begin{pmatrix} x_1 + \bar{\theta} x_2 & \gamma(x_3 - \bar{\theta} x_4) & 0 & 0 \\ x_3 + \bar{\theta} x_4 & x_3 - \bar{\theta} x_4 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_3 = \begin{pmatrix} \gamma(x_3 - \bar{\theta} x_4) & 0 & 0 & x_1 + \bar{\theta} x_2 \\ x_1 - \bar{\theta} x_2 & 0 & 0 & x_3 + \bar{\theta} x_4 \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (3)$$

STBC-SM 다중 안테나 시스템은 송신 안테나를 2개 선택하여 수신 성능을 향상 시키는 장점을 가지지만 1개를 선택한 공간 변조 다중 안테나 시스템에 비해 대역폭 효율이 향상되지 않는 단점이 있다. 송신 안테나를 2개 선택하여 공간 변조 다중 안테나 시스템보다 수신 성능과 대역폭 효율이 모두 향상되는 시스템을 제안하였다.

### 4. 실험

본 장에서는 기존의 STBC-SM 다중 안테나 시스템과 본 논문에서 제안한 Hybrid STBC-SM 다중 안테나 시스템의 수신 성능을 비교한다. 채널은 평평한 레일리 페이딩(Rayleigh flat-fading)이고, 채널 임펄스 응답의 추정은 완벽하다고 가정한다.

그림 1은 송신 안테나 4개, 수신 안테나 2개를 가진 시스템에서 5bits/s/Hz 대역폭 효율에 대한 STBC-SM 다중 안테나 시스템과 Hybrid STBC-SM 다중 안테나 시스템의 수신 성능을 나타낸다. BER(bit error rate)이  $10^{-3}$ 일 때 제안한 Hybrid STBC-SM 다중 안테나 시스템의 수신 성능은 기존의 STBC-SM 다중 안테나 시스템보다 1dB 우수하다.

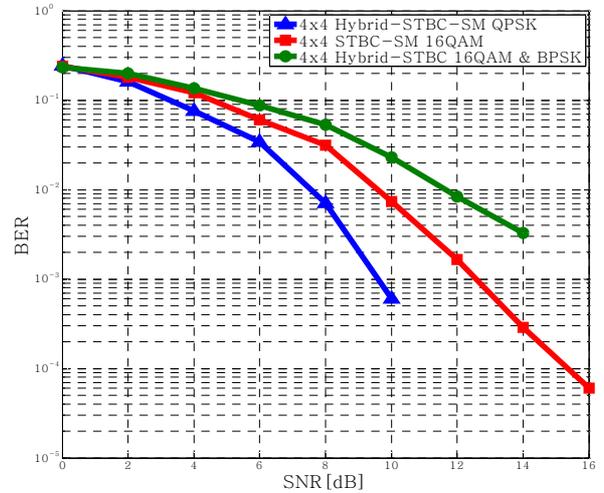


그림 1. 5 bits/s/Hz 에 대한 송신 안테나 4개, 수신 안테나 4개일 때 STBC-SM 과 Hybrid-STBC-SM 수신 성능 비교

### 5. 결론

실내 무선 통신 환경에서는 채널 간 간섭이 심하여 다중 안테나의 성능이 감소한다. 이를 해결하기 위하여 제안하는 시스템은 대역폭 효율을 향상시킨다.

### Acknowledgement

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급 인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2015-H8601-15-1002)

### 참고 문헌

- [1] P. Wolniansky, G. Foschini, G. Golden, and R. Valenzuela, “V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel,” in Proc. International Symp. Signals, Syst., Electron.(ISSSE’98), pp. 295-300, Pisa, Italy, Sep 1998.
- [2] S. M. Alamouti, “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications” IEEE J. Sel. Areas Commun., VOL. 16, NO. 8, October 1998.
- [3] B. Hassibi and B. M. Hochwald, “High-Rate Codes That Are Linear in Space and Time”, IEEE Trans. Inform. Theory, VOL. 48, NO. 7, July 2002.
- [4] R. Mesleh, H. Haas, S. Sinanovic, C. W. Ahn, and S. Yun, “Spatial modulation,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, July 2008.
- [5] E. Basar, U. Aygolu, E. Panayirci, and H. V. Poor, “Space-Time Block Coded Spatial Modulation,” IEEE Tran. on Commun., vol. 59, no. 3, pp. 8230832, Mar. 2011.