

---

# LTE 하향링크에서 단말의 이동 속도에 따른 적응적 차등 시공간블록부호 복호화 기법

김득규\* · 황재균 · 김병길 · 최병조

인천대학교

## An Adaptive Detection Scheme of Differential Space-Time Block Codes for Mobiles Operating with Various Speeds in LTE Downlink Scenario

Deuckyu Kim\* · Jae-Gyun Hwang · Byoung-Gil Kim · Byoung-Jo Choi

University of Incheon

E-mail : deuckyu@incheon.ac.kr\*

### 요 약

시공간 블록 부호화(STBC: Space-Time Block Code) 기법은 단순하면서도 효과적인 다이버시티 기법으로 WCDMA, HSDPA 및 LTE 이동통신 표준에 채택되었다. 이러한 STBC 기법은 페이딩 채널의 추정 정확도에 따라 그 성능이 좌우된다. 채널 추정을 위한 기준 심볼의 오버헤드를 수용할 수 없거나 고속으로 이동하는 모바일의 경우 채널 추정이 힘든 경우가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 차등 시공간 블록 부호화(DSTM: Differential Space-Time Modulation) 기법들이 제안되어 왔다. 이 기법들은 채널 추정을 필요로 하지 않기 때문에 위와 같은 고속 이동 환경에 적합한 장점이 있다. 본 논문에서는 다양한 속도로 이동하는 모바일 채널에 LTE 파라미터를 적용하여 기존의 STBC 및 DSTM의 성능을 고찰해 보고, 단말에 적용 가능한 적응적 DSTM 복호 기법을 제안하여 그 성능을 고찰하였다.

### ABSTRACT

Space-Time Block Code (STBC) is a simple transmit diversity scheme mitigating detrimental effects of fading channel. However, STBC receivers require channel knowledge and suffer from inaccurate channel estimation. Differential Space-Time Modulation (DSTM) renders the receiver a choice of coherent detection or non-coherent detection, depending on the availability of the channel information. Based on the simulated BER performances of these two schemes over various normalized Doppler frequency scenarios using LTE-like parameters, a benefit of adaptively switching the receiver type is investigated.

### 키워드

LTE, MIMO, STBC, DSTM

### 1. 서 론

무선 이동통신 채널의 특징 가운데 하나는 시간에 따라 수신 신호의 세기가 변화하는 페이딩 현상을 나타내는 것이다. 이러한 페이딩은 보통 안정적인 정보 전송에 방해가 된다. 따라서 페이

딩 현상을 극복하기 위한 다양한 방법들이 제안되어왔다[1]. 그 가운데 여러 개의 송신 안테나를 사용하여 다이버시티 이득을 얻는 시공간블록부호화(STBC: Space-Time Block Code) 기법은 단순하면서도 효과적이어서 WCDMA, HSDPA 및 LTE 이동통신 표준에 채택되었다[2]. 이러한

STBC 기법은 정확한 채널 추정이 필요하다

한편, 고속도로 및 KTX 등의 고속열차를 이용하는 모바일 사용자들이 겪는 페이딩 변화는 매우 급격하여 채널 추정 정확도가 떨어질 수밖에 없다. 어떤 경우는 채널 추정을 위한 기준 심볼의 전송을 위한 오버헤드를 수용하기 힘든 경우도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 차등 시공간 블록 부호화 (D-STBC: Differential Space-Time Block Code) 기법들이 제안되어 왔다 [3]. 이 기법들은 채널 추정을 필요로 하지 않기 때문에 위와 같은 고속 이동 환경에 적합하다는 장점이 있다. 그러나 STBC와 비교하여 D-STBC는 동일한 평균 SNR에 대하여 BER 성능이 열화되는 특징을 나타낸다[3]. 한편 D-STBC 기법 가운데 하나인 DSTM은 채널 정보를 이용할 수 있는 가능성이 있어 어느 정도 그 성능 열화를 극복할 수 있다[3]. 이 논문에서는 LTE환경[4]에서 그 구체적인 가능성을 시뮬레이션을 통해 고찰해보고자 한다.

## II. 이상적 채널 추정을 가정한 STBC와 네크코히어런트 DSTM의 성능 비교

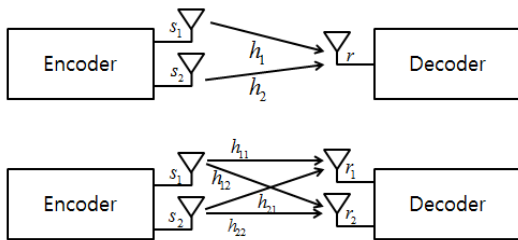


그림 1. 시공간 블록 부호화 시스템

우선 이상적인 채널 추정을 가정한 STBC와 네크코히어런트 DSTM의 BER 성능을 고찰해 보자. 본 논문에서는 그림 1과 같이 2개의 송신 안테나를 사용하고, 각각 1개와 2개의 수신 안테나를 사용하는 시스템을 대상으로 한다 이 때 수신 신호는

$$\begin{aligned} r &= h_1 s_1 + h_2 s_2 + n \\ r_1 &= h_{11} s_1 + h_{21} s_2 + n_1 \\ r_2 &= h_{12} s_1 + h_{22} s_2 + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 r은 1개의 수신 안테나를 사용할 때의 수신 신호이고 r1과 r2는 2개의 수신 안테나를 사용할 경우 각 안테나에서 수신되는 신호이다. 또한 변조방식은 QPSK를 적용하였다. 표 1은 STBC의 부호화 방법이다[2].

표 1. STBC 부호화 방법

	안테나 0	안테나 1
Time t	$s_0$	$s_1$
Time t+T	$-s_1^*$	$s_0^*$

STBC 기법에서는 처음 보내는 심볼은 원래의 상태로 전송을 하고, 두 번째 보내는 안테나 0에서의 심볼은 이전 안테나 1에서 보낸 심볼의 반대 부호를 갖는 켈레 복소수를 전송한다[2]. 안테나 1에서는 이전 안테나 0에서 보낸 심볼의 켈레 복소수를 보낸다. STBC의 ML 복호 기법은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_1^* r_t + h_2 r_{t+T}^* \\ \tilde{s}_1 &= h_2^* r_t - h_1 r_{t+T}^* \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)의  $\tilde{s}_0$ 과  $\tilde{s}_1$ 은 수신 신호와 채널의 값을 이용해서 구하는  $s_0$ 과  $s_1$ 이다. 이 값을 이용해서 ML 복호기를 통과하면 송신한 신호를 복원할 수 있다. 2개의 수신 안테나를 사용하는 경우도 유사한 방법이 적용된다[2]. STBC는 낮은 복잡도를 갖으면서 강력한 성능을 보여주고 있다. 하지만 페이딩이 급격하게 변화하는 상황에서는 정확한 채널 추정을 위하여 기준 심볼이 많이 필요하게 되어 전송 효율이 낮아지는 단점이 있다.

한편, 차등 시공간 변조(DSTM: Differential Space-Time Modulation)는 채널 정보 없이도 복호가 가능하다[3]. QPSK 성상을 이용하는 DSTM은 다음과 같은 그룹 코드 g와 D 행렬을 이용한다[3].

$$g = \pm \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} j & 0 \\ 0 & -j \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix} \right\}, D = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)은 그룹 코드 g와 시작 코드 D를 보여주고 있다. 이 D는 전송 프레임의 첫 번째 신호이다.

$$X_k = X_{k-1} g_k, k = 1, \dots, K \quad (4)$$

식 (4)는 k-번째 송신신호  $X_k$ 를 생성하는 방법이며  $X_0 = D$ 로 초기화 한다. 프레임의 크기는 K로 나타내었다.

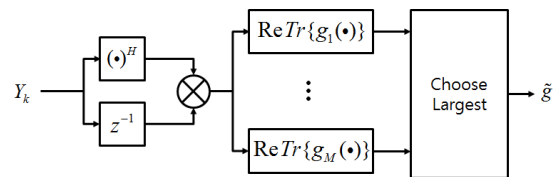


그림 2. DSTM 수신기의 블록 구조도[3]

그림 2는 네크코히어런트 DSTM 수신기의 블록 구조도이다. 수신기는 다음과 같이 동작한다 우선, 수신된 신호  $Y_k$ 에 허미션 연산을 적용한 후 이전 신호와 곱한다. 이 값을 모든 가능한 g의 심볼들과 곱한 후 trace 연산을 거쳐 실수부만 취한다. 그리고, 이 실수 부가 최대가 되는 g의 심볼을 선택한다[3].

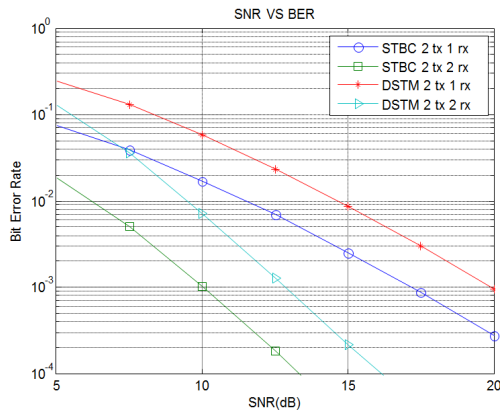


그림 3. 모의실험 결과(이상적인 채널추정)

그림 3은 QPSK를 적용한 STBC와 DSTM을 레일레이 페이딩 채널을 통해 전송하였을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. STBC의 경우 이상적인 채널 추정을 가정하였고 DSTM은 채널 추정값을 이용하지 않았다. 따라서 STBC의 성능이 네크코히어런트 DSTM과 비교하여 약 2.5dB 정도의 SNR이득을 갖는다는 것을 관찰할 수 있다.

### III. 적응적 차등 시공간블록부호화

이동통신 환경에서 단말이 고속으로 이동하는 경우, 이동 속도에 비례하여 페이딩 채널 값도 변화하게 된다. 이 경우 페이딩 채널의 추정 정확도는 떨어지게 된다. 이 절에서는 LTE 파라미터를 적용하여 STBC와 DSTM의 성능을 보다 현실적으로 고찰하였다. 또한, 단말의 다양한 이동속도에 적응적인 DSTM 복호화 기법을 제안하고 그 성능을 관찰하였다.

#### 1. 모의실험 환경

실험 환경은 그림 1과 같은 2x1 및 2x2 MIMO 시스템을 가정하였다. LTE는 STBC를 주파수 축으로 이용하는 SFBC를 이용하지만[4] 이 절에서는 LTE의 심볼 전송 주기 및 기준 심볼의 비율만을 적용하여 모의실험을 하였다. 따라서 STBC 및 DSTM은 시간적으로 연속된 2개의 심볼을 사용한다. LTE 하향링크는 10ms 프레임 구간 동안 7개의 OFDM 심볼이 포함된 슬롯을 20개 전송하므로 심볼 주기는 다음과 같다[4].

$$T_s = 1/100 / (20 * 7) \tag{5}$$

한편, LTE에서 2개의 안테나를 사용하는 경우 기준 심볼 전송을 위한 오버헤드는 약 10%에 해당한다. 따라서 7개의 심볼들로 구성된 한 슬롯 안에 1개의 기준 심볼을 가정하여 모의실험을 수행하였으며, 이 것은 약 14%의 오버헤드에 해당한다.

다. 채널 추정 방법은 스프라인 인터플레이션 기법을 적용하였다. 정규화된 도플러 주파수의 범위는 0~0.1 값을 적용하였다. 이 범위는 2GHz의 반송파 주파수를 가정하는 경우 단말의 이동속도가 시속 0~756km/h에 해당한다.

#### 2. 속도에 따른 STBC와 DSTM의 성능 비교

그림 4는 SNR값이 15dB일 때 0~0.1의 정규화된 도플러 주파수 범위에 대하여 채널 추정 기법을 적용한 STBC 시스템과 채널 정보를 사용하지 않는 DSTM 시스템의 모의실험 결과를 나타낸 것이다.

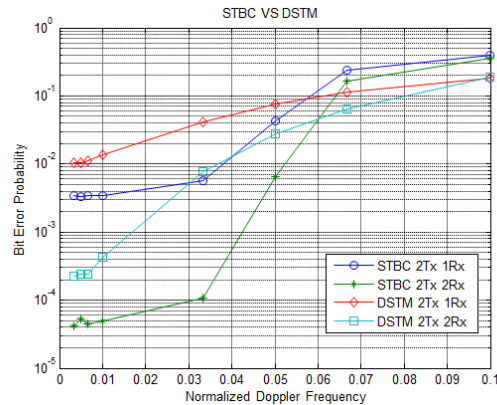


그림 4. 정규화 된 도플러 주파수에 따른 STBC와 DSTM의 BER 성능 비교

그림 4를 관찰해 보면, 1개의 수신 안테나를 사용하는 경우 정규화 된 도플러 주파수가 0.057 이상이 되면 STBC와 비교하여 DSTM이 낮은 BER을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 이 도플러 주파수는 캐리어 주파수가 2GHz일 때 단말의 이동속도가 시속 300km/h에 해당한다. 한편, 2개의 수신 안테나를 사용하는 경우는 정규화된 도플러 주파수가 0.06 이상이 되어야 DSTM이 STBC와 비교하여 상대적으로 낮은 BER 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 반송파 주파수가 2GHz인 경우 KTX를 제외하면 육상 운송 수단을 이용하는 사용자가 이 정도 이상의 속도에서 이동통신 단말을 사용하는 경우는 드물 것으로 예상된다. 그러나 향후 2GHz 대역의 주파수 자원이 고갈되어 더 높은 주파수의 반송파를 사용하는 경우나 기준 심볼 밀도가 아주 낮은 상황에서는 보다 현실적인 단말의 이동속도 범위에서 DSTM의 성능이 STBC보다 우수해질 가능성이 있다. 이상을 고려할 때 채널정보를 전혀 이용하지 않는 DSTM 복호화 기법은 STBC와 비교할 때 비교 우위를 주장하기 힘들다는 것을 알 수 있다. 그러나, 채널 추정의 정확도는 이동통신 단말의 속도 뿐만 아니라 페이딩 채널의 상대적 크기에도 영향을 받는다. 따라서 여전히 DSTM은 때때로 필요에 따라 매력

적인 대안이 될 수 있다 따라서 채널 추정 정확도가 우수한 경우는 채널 정보를 활용하여 DSTM의 복호 성능을 개선하고 채널 추정의 정확도가 떨어지는 경우에는 채널 정보 없이 복호를 수행하는 적응적인 기법은 실용적인 대안이 될 수가 있다.

3. 적응적 차등 시공간블록부호 복호화

본 논문에서 제안하는 기법은 채널 상황에 따라 DSTM의 복호 기법으로 가장 적합한 방법을 선택하는 적응적 차등 시공간블록부호 복호화 기법(A-DSTM: Adaptive Differential Space Time Modulation)이다. 그림 5는 적응적 차등 시공간 블록 부호 복호화 시스템을 도식화 한 것이다

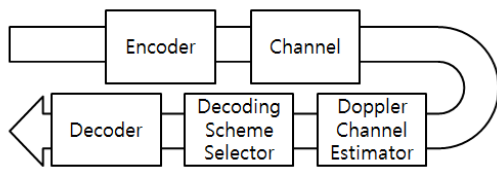


그림 5. 적응적 차등 시공간 블록 부호 복호화 흐름도

그림 5에서 복호기 선택기(Decoding Scheme Selector)는 다양한 정보를 활용하여 최적의 기법을 판단하도록 설계되어야 한다. 현재 많은 단말들은 GPS를 통해 단말의 위치를 파악할 수 있으며, 가속도 센서 등을 통해 이동 속도도 추정할 수가 있다. 또한 그림 5에 나타난 것과 같이 도플러 주파수 추정기를 통하여 이동 속도를 추정할 수도 있다. 이러한 정보와 함께 페이딩 채널의 전력 추정값을 이용하면 채널 추정 정확도를 예측할 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 채널 페이딩 계수를 직접 추정하는 것보다 채널 페이딩 전력을 추정하는 것은 더 용이하다. 본 논문에서는 이러한 여러 가지 가능성 가운데 이상적인 도플러 추정기를 가정하여, 본 논문이 제안하는 적응적 차등 시공간블록부호 복호화 기법이 얻을 수 있는 성능을 예상하였다.

적용 가능한 DSTM 복호기는 채널 추정값을 이용하는 코히어런트 복호기와 채널 추정값을 이용하지 않는 넌코히어런트 복호기이다[3]. 코히어런트 복호기는 바로 전 구간에서 복원한 심볼 및 추정된 채널 정보를 이용하고 ML 기법을 적용하여 송신 심볼을 복구하는 방법이다. 한편, 송신기는 복호기의 선택과는 독립적으로 항상 차등 시공간부호화(DSTM) 기법을 적용할 수 있다. 따라서 제안된 적응적 복호기는 별도의 정보를 피드백 채널을 통해 송신기로 전달해 줄 필요가 없다. 그림 6은 코히어런트 기법과 넌코히어런트 기법의 BER 성능을 모의 실험을 통해 나타낸 것이다. 이상적 적응적 복호기는 두 기법 가운데 낮은 BER을 나타내는 복호기를 선택하게 된다. 실제로

는 여러 정보를 종합적으로 판단하여 가장 적합한 복호기를 선택하도록 구현되어야 하지만 그림 6의 결과는 이러한 적응적 복호기가 얻을 수 있는 이득을 직관적으로 나타내 주고 있다

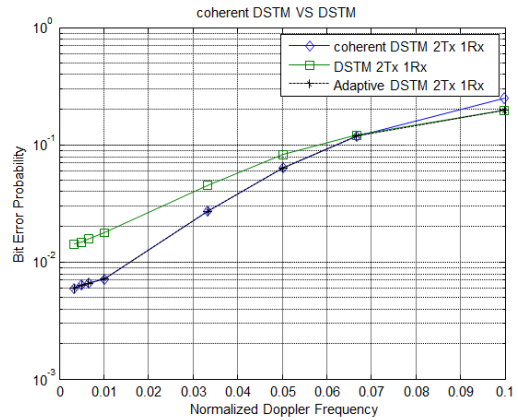


그림 6. A-DSTM, Coherent DSTM, Non-coherent DSTM의 성능 비교

IV. 결 론

본 논문에서는 STBC 기법과 DSTM 기법의 성능을 다양한 도플러 주파수에 대하여 현실적인 채널 추정 기법을 적용하여 비교하였다. 특히 DSTM의 경우에는 채널 추정값을 이용하는 코히어런트 복호기와 채널 추정값을 이용하지 않는 넌코히어런트 복호기를 모두 적용하여 그 성능을 고찰하였다. 반송파 주파수가 2GHz인 경우 시속 300Km/h 이상이 되어야 넌코히어런트 DSTM이 STBC에 비교우위를 가지 때문에, 그 대안으로 코히어런트 복호기와 넌코히어런트 복호기를 적응적으로 선택하는 DSTM 기법을 제안하고, 이상적인 경우 그 성능을 고찰하였다.

참고문헌

- [1] D.G. Brennan, "Linear Diversity Combining Techniques," Proc. of IRE, vol.47, no.1, pp.1075 - 1102, June 1959
- [2] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [3] B. L. Hughes, "Differential Space-Time Modulation", IEEE Trans. Information Theory, Vol. 46, No. 46, pp. 2567-2578, Nov. 2000.
- [4] S. Sesia, I. Toufik and M. Baker, "LTE - The UMTS Long Term Evolution", Wiley, 2009.