Space-Time Block Code를 이용한 효율적인 전송 방식에 관한 연구

이은희, 박태준
한국전자통신연구원

A Study on efficient transmission method using Space-Time Blcok Code

Eun Hee Lee, TaeJoon Park
Electronics and Telecommunications Research Institute
E-mail: eunhee@etri.re.kr

요 약

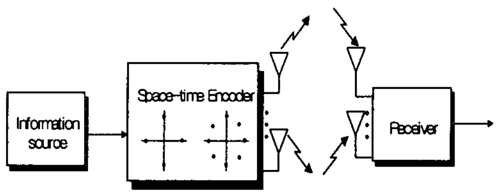
공간-시간 블록 부호(STBC)는 다중안테나 시스템에서 기존 기술에 비해서 부가적인 대역폭 필요 없이 부호화 이득을 얻을 수 있다. STBC의 우수한 디자인 조건은 다이버시티 이득 관점에서는 신호 행렬들의 차가 완전 계수(Full-Rank)를 가져야 하고 코딩 이득의 관점에서는 신호 행렬들의 차의 determinant 값이 최소값을 가져야 한다. 본 논문에서는 STBC가 Full Rank 와 non-Full Rank 때 성능에 관하여 실험하였다. 시스템모델에 관하여 간략한 설명과 이 실험결과에 관하여 논의하였다. 본 논문의 실험 결과는 전송안테나와 수신안테나가 각각 4개씩, BPSK,QPSK,8PSK 변조(modulation)을 사용하여 실험결과를 얻었다.

1. 서론

공간-시간 블록 부호(Space-Time Block Code)의 디자인 조건인 다이버시티 이득의관점에서는 관점에서는 신호행렬의 차가 완 전계수(Full Rank)를 가져야하고 코딩이득의 관점에서는

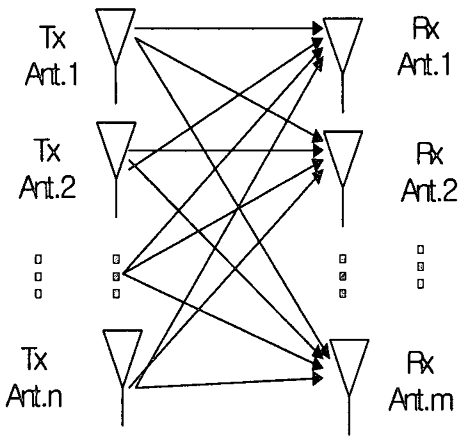
$$\min_{s \neq s'} \det(s - s')$$

을 최대화 하여야 하는데 이 조건중에서 신호행렬들의 차를 완전계수가 아닌 조건에서 디자인하였다. 공간-시간 부호(Space-Time block code) 가 정의되는 페이딩(fading) 채널에서 다중 안테나 시스템의 블록 다이아 그램은 【그림 1】과 같다.



[그림1] 송수신기의 블록 다이아그램

수신단은 m개의 안테나를 가지고 있고 전송단은 n개의 안테나를 가지고 있는 페이딩 채널(fading channel) 환경을 고려하였다.



Time index t, 1≤t≤T

【그림 2】 채널 모델

시간 t에 대해, 전송 안테나 i를 통해 송신되는 신호를 c_{it}, i=1,2,...n, 시간 t에 대해 수신안테나 j에 의해 수신된 신호를 d_{jt} 라고 한다면 송·수신 신호의 관계는 식(1)로 표현 할 수 있다.

$$d_{jt} = \sum_{i=1}^{n} \alpha_{ji} C_{it} \sqrt{E_s} + \eta_t^j \qquad (1)$$

식(1)을 【그림 2】 의 채널 모델과 연관시키면 식(2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} D_{11}, D_{12}, .. D_{1T} \\ \vdots \\ D_{m1}, D_{m2}, .. D_{mT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} A_{21} .. A_{n1} \\ \vdots \\ A_{1m} A_{2m} .. A_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} C_{12} .. C_{1T} \\ \vdots \\ C_{n1} C_{n2} .. C_{nT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_{11} N_{12} .. N_{1T} \\ \vdots \\ N_{m1} N_{m2} .. N_{mT} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

식(1)을 공간-시간 블록 부호 형태로 나타내면 식(3)과 같다.

$$D = \sqrt{E_s}\, AC + N \qquad (3)$$

식(3)에서 수신된 신호 D는 m×T 행렬, 페이딩 상수 A는 m×n행렬, 전송 안테나에 송신된 신호 C는 n×T, 노이즈 신호N는 m×T행렬로 나타내었다.

2. 본 론

2-1. non-Full Rank designs

앞장에서 언급 한 것과 같은 공간-시간 부호의 우수한 디자인 조건은 완전 계수(Full-Rank)에 의한 다이버시티(Diversity)를 갖고 가능한 한 최대의 코딩 이득(Coding Gain)을 갖도록 하는 것이다. 지금까지 이 두 가지조건을 만족시키는 형태만 연구되어지고 있다. 하지만 본 논문에서는 두 조건 중 두 번째 조건은 만족시키면서 첫 번째 조건은 만족시키지 않았다. 그리고 코드워드(Codword)사이의 거리를 5와 7로 잡았다 우수한 디자인 조건에 만족하는 코드를 구성하기 위해 먼저 4×4 행렬을 펼쳐 코드의 길이가 16인 코드를 구성하였다. [5]에 따르면, GF(2^m)의 0이 아닌 elements 2^m -1는 $x^{2^m-1}+1$ 의 근으로 구성 할 수 있으므로 GF(2^m)의 elements는 $X^{2m}+X$ 의 근으로 구성 할 수 있다. Minimal polyminals는 [표1]와 같이 구성 할 수 있으며, 최소 거리가 5이므로 각각의 생성 다항식은 식(5),(6)와 같이 구할 수 있다.

$$g_1(x) = (x^4+x^3+1)(x^4+x^3+x^2+x+1) \qquad (5)$$

$$g_2(x) = (x^4+x\ +1)(x^4+x^3+x^2+x+1) \qquad (6)$$

Conjugate roots	Minimal polyomials
{0}	$x+1$
{1,2,4,8}	x^4+x^3+1
{3,6,12,9}	$x^4+x^3+x^2+x+1$
{5,10}	x^2+x+1
{7,14,13,11}	x^4+x+1

[표 1] minimal Polynomial

식(5)을 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_1(x) = x^8 + x^4 + x^2 + x + 1 \qquad (7)$$

식(7)을 행렬로 나타내면 [표 2] 와 같다

111010001000000	$g_1(x)$
011101000100000	$xg_1(x)$
001110100010000	$x^2g_1(x)$
000111010001000	$x^3g_1(x)$
000011101000100	$x^4g_1(x)$
000001110100010	$x^5g_1(x)$

[표 2] Generation Polynomial

식(6)의 상수항에 해당하는 부분이 행렬이 가장 왼쪽에 해당한다. [표2]의 코드는 선형 코드(linear code)가 된다.

이 식으로 이끌어 낼 수 있는 코드는 2^7 개 중 determinant가 큰 값 2^4 개만을 뽑아서 사용하였다.

또 한, 최소거리가 7인 경우, 생성 다항식은 식(8),(9)와 같다.

$$g(x)=(x^4+x^3+1)(x^4+x^3+x^2+x+1)(x^2+x+1) \quad (8)$$

$$g_2(x)=(x^4+x^3+x^2+x+1)(x^2+x+1)(x^4x+1) \quad (9)$$

식(8)에 의해 아래의 행렬을 나타낼 수 있다.식(8)은 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_1(x)=x^{10}+x^9+x^8+x^5+x^2+x+1 \quad (10)$$

식(10)을 행렬로 나타내면 **[표 3]** 와 같다

101001101110000	$g_1(x)$
010100110111000	$xg_1(x)$
001010011011100	$x^2g_1(x)$
000101001101110	$x^3g_1(x)$
000010100110111	$x^4g_1(x)$

[표3] Generation Polynomial

식(10)의 상수항에 해당하는 부분이 행렬의 가장 왼쪽에 해당한다. [표3]은 선형 코드(linear code)가 된다.

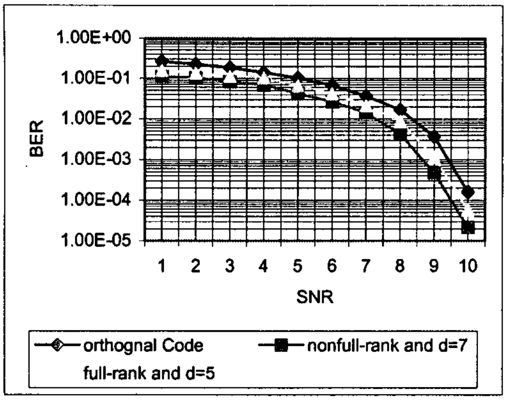
이 부호에 임의의 0과1을 삽입하여 길이가 16인 부호를 구성하였다. 이 식으로 이끌어 낼 수 있는 부호는 2^5 개 중 완전 계수(Full-Rank)가 아니면서 determinant 값이 큰 2^4 개만 뽑아서 사용하였다

3. 모의 실험

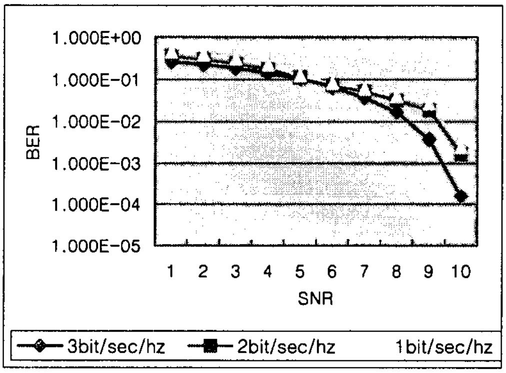
실험 환경을 살펴보면, 잡음은 평균이 0이고 분산이 $\frac{N_0}{2}$ 인 가우시안 분포를 사용하였다. 페이딩 상수는 평균이 0이고 분산이 0.5를 가진 가우시안 분포이다. 이 부호 부호의 프레임 길이는 128심벌(symbol)을 사용하였다. 채널은 시간을 고려한 Reyleigh 채널로 가정하였다. 본 논문에서는 수신 안테나 4개와 전송 안테나 4개를 고려하였다. 하나의 프레임에서 다른 프레임으로 이동하는 동안 페이딩 상수가 일정한 상태인 채널을 느린 페이딩 환경(slowly fading environment)이라 하며, 본 논문에서는 느린 페이딩 환경(slowly fading environment)을 고려하였다.

[1]에서 제한된 이론인 직교-디자인(orthogonal-design)에 관하여 실험하였다. 이 부호는 최소 거리가 4이며, 공간-시간 부호의 우수한 디자인 조건을 만족하는 부호이기 때문에 비교대상으로 선정하였다. 제안되어진 부호는 지금까지 공간-시간 부호의 우수한 디자인 조건으로 연구되어지던 이론을 약간 수정하여 구성되어진 부호이다. 이 부호를 구성할 때 길이가 $x^{2^m-1}+1$ 이므로 임의의 0혹은 1을 선정하여 길이가 $X^{2m}+X$ 인 부호로 구성하였다. 이 경우 패리티를 맞추어 부호를 구성해도 성능에는 무관하기 때문에 임의의 0혹은 1을 삽입하여 구성하였다.

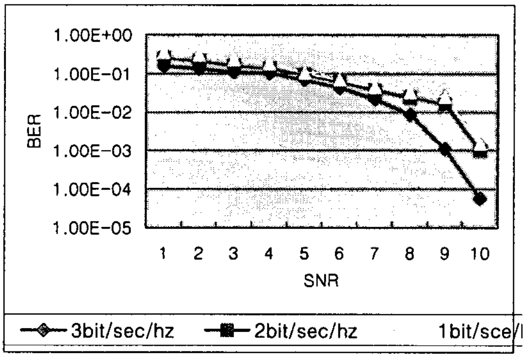
이 들 부호는 아래의 결과와 같이 orthogonal 부호 보다 성능 면에서 우수한 결과를 확인하였다.



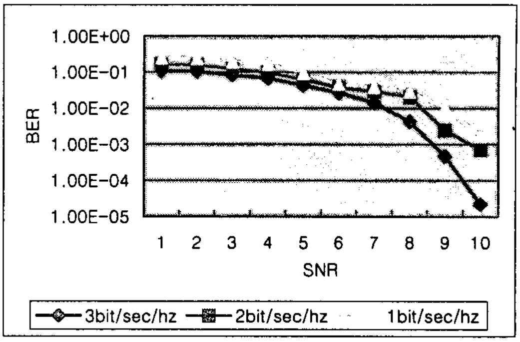
[결과 1] full-rank and d=5 , orthogonal code , non-full rank and d=7, 비교



[결과 2] Orthogonal Code



[결과 3] Full-Rank and d=5



[결과 4] non-full rank and distance=7

4. 결 론

세 부호 즉 직교 디자인 ,full-rank가 아닌 경우의 최소 거리가 5인 부호, full-rank가 아닌 경우의 최소 거 리가 7인 부호,의 비교는 그림에서 보는 바와 같이 full -rank가 아닌 경우의 부호가 성능 면에서 우수하게 나 타났다.

각각의 부호에 대해 B-PSK, Q-PSK,8-PSK를 적용하여 실험하였다. 이 실험에서도 non-full rank 이면서 최소거리가 7인 부호가 성능면에서 가장 우수하였고 다음으로 full-rank 이면서 최소거리가 5인 부호, Orthogonal 보호순으로 나타났다.

이 세 부호의 성능의 결과와 같이 나타나는 이유는 우수한 디자인 조건이 실제와는 달리 two-codeword error probability 일 때를 가정하였기 때문이다.

5. Reference

[1] Vaild Tarokh, Hamid Jarfarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs", *IEEE Transactions On Inforrmation Theory Vol 45, No .5. July 1999.*

[2] G. J. Foschini Jr, "Layered Space-Time Architecture for wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi-element Antennas", *AT&T-Bell Labs Tech. Jour nal . Vol. No 2 .pp. Autumn 1996.*