

최적 송신전력 할당을 이용한 준직교성 시공간 블록부호의 복호화 성능

정회원 최 광 돈*, 준회원 김 봉 준**, 정회원 조 영 하***, 박 상 규****

Decoding Performance of Quasi-Orthogonal Space Time Block Code Using Optimal Transmit Power Allocation

Kwang don Choe*, Bong joon Kim**, Young ha Cho***, Sang kyu Park**** *Regular Members*

요 약

송신다이버시티 시스템에 사용되는 시공간 블록부호(space time block code)는 송신안테나가 2개보다 많은 경우 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 동시에 제공할 수 없다. 송신안테나가 4개인 경우 최대 전송률을 제공 하면서 간섭을 최소화하는 준직교성 블록부호가 있다. 최근에는 준직교성에 의해 발생하는 블록부호의 간섭을 제거하는 단순상관제거 알고리즘이 제안되어 최대전송률과 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 있게 되었다. 본 논문에서는 신호의 전송전력을 다르게 할당하고 수신단에서의 빼기 연산에 의한 간단한 간섭제거로 잡음 증가 없이 성능을 개선하는 복호화 과정을 제안한다.

Key Words : quasi-orthogonal, space time block code, transmit diversity, transmit power allocation

ABSTRACT

The space time block code(STBC) can not provide simultaneously both full diversity and full transmission rate in a transmit diversity system having more than two transmit antennas.. There are a quasi orthogonal STBC for four transmit antennas that provides full transmission rate and minimized interference. Recently, a simple correlation canceling algorithm is introduced to achieve full diversity from STBC considering four transmit antennas. In this paper, we propose a new decoding procedure using the power allocation at the transmitter and subtraction interference process at the receiver to achieve a better performance without noise enhancement.

1. 서 론

최근까지 다중 송신 안테나를 이용한 공간 다이버시티에 대한 연구가 페이딩 채널에 대한 고속 통신을 위한 기술로 폭 넓게 연구되어져 왔다¹⁻⁵⁾. 이 중 Alamouti가 제안한 2개의 송신안테나에 대한 시공간 블록부호를 이용한 전송 다이버시티는 시공간에서의 직교성을 이용해서 최대 다이버시티와 최대

전송률을 제공하는 장점을 갖고 있다¹⁾. 그러나 송신안테나가 3개 이상일 경우 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 동시에 유지할 수 없다²⁾.

더 많은 다이버시티 이득을 얻기 위해서 송신안테나가 4개인 다중 송수신 안테나 시스템에 대해 준직교성 시공간 블록부호가 Jafarkhani에 의해서 제안되었다³⁾. 또한 최근에는 간단한 연산으로 준직교성으로 인한 간섭을 제거할 수 있는 단순상관제거 알고리즘을 Hou가 제안하였다⁴⁾. 그러나 단순상

* 안양과학기술대학교 전자통신정보학부 (kdc5590@ianyang.ac.kr), ** LG 전자 DAV 사업부 Car infotainment Group (bjay@lge.com)
 *** 삼성전기 중앙연구소 ASIC센터 (luke97@hanmail.net), **** 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (skpark@hanyang.ac.kr)
 논문번호 : KICS2005-01-013, 접수일자 : 2005년 1월 6일

관제거 알고리즘 역시 준직교성으로 인한 간섭을 제거하는 과정에서 배경잡음의 전력을 증가시키는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위해 4개의 송신안테나 환경의 다중 송수신 시스템을 고려한 Jafarkhani 시공간 블록부호에 한 개의 부호어 (codeword) 주기 동안 전송되는 4개의 심벌의 송신 전력을 다르게 할당하는 전력할당 기법을 사용하였다. 전력을 신호마다 다르게 할당할 경우 높은 전력으로 송신된 신호는 준직교성으로 인한 간섭을 제거하지 않아도 낮은 비트 오류율을 보인다. 높은 전력으로 송신된 신호를 검출한 후 이 신호성분을 이용하여 낮은 전력으로 송신된 신호에 영향을 주는 준직교성으로 인한 간섭신호를 제거하면 송신 전력이 낮더라도 좋은 성능을 얻을 수 있다. 준직교성으로 인한 간섭을 제거하는 과정에서는 단순상관제거 알고리즘과 달리 배경잡음을 증가시키지 않기 때문에 더욱 낮은 비트 오류율을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 수신단의 구조도 간단하게 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 Jafarkhani 기법에 대해 알아보고 3장과 4장에서는 각각 단순상관제거 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 송신전력할당 기법을 이용하여 성능을 개선하고 복잡도도 낮은 복호화 과정을 소개한다. 5장에서는 2장과 3장에서 언급한 시공간 블록부호와 복호화 기법의 시뮬레이션 결과와 시뮬레이션 결과를 통해서 최적의 전송전력 할당 비율을 알아보고 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 장에서는 4개의 송신안테나를 사용하는 다중 송수신 시스템을 고려해서 Jafarkhani가 제안한 시공간 블록부호를 소개한다.

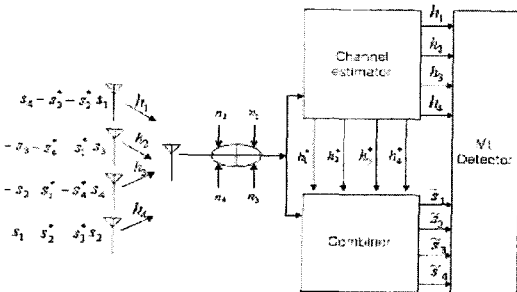


그림 1. Jafarkhani 기법을 이용한 전송 다이버시티 시스템

Jafarkhani 기법은 최대 전송률을 제공하는 반면, 준직교성에 의한 간섭 발생으로 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 없다. 그림 1은 Jafarkhani 기법을 사용했을 때의 블록도이다.

주어진 심벌 주기에서 4개의 신호가 4개의 송신 안테나를 통해서 동시에 전송된다. 표 1은 4개의 심벌주기 동안 4개의 송신 안테나를 통해 부호화되어 전송되는 부호어를 송신안테나와 전송되는 시간에 따라 나타냈다.

표 1. 4개의 송신 안테나를 위한 부호화와 전송시퀀스

안테나 \ 시간	t	t+T	t+2T	t+3T
송신안테나1	s_1	$-s_2^*$	$-s_3^*$	s_4
송신안테나2	s_2	s_1^*	$-s_4^*$	$-s_3$
송신안테나3	s_3	$-s_4^*$	s_1^*	$-s_2$
송신안테나4	s_4	s_3^*	s_2^*	s_1

표 1에서 T는 심벌 주기이며 s_1, \dots, s_4 는 4개의 심벌 주기 동안, 즉, $t+kT$, $k=0, \dots, 3$ 에서 전송되는 서로 다른 심벌을 나타낸다. 또한 s^* 는 s 의 켈레복소수값을 뜻한다. 페이딩 채널은 4개의 연속된 심벌에서 일정하고 각각의 송신안테나와 수신안테나 사이의 채널은 서로 독립적이라고 가정하며 각각의 채널 특성을 복소수 값 $h_1(t)$, $h_2(t)$, $h_3(t)$, $h_4(t)$ 라고 할 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_m(t) = h_m(t+kT) = h_m = \alpha_m e^{j\theta_m} \quad (1)$$

$$m=1, \dots, 4, k=0, \dots, 3$$

신호 s_1, \dots, s_4 가 4개의 심벌 주기 동안 페이딩 채널을 통해서 전송되는 과정을, 표 1에 표현된 신호들 특성을 이용해 부호화하는 대신에, 식 (1)에서의 채널들의 특성을 이용한 부호화 과정으로 나타낼 수 있다. 이 과정을 4×4 전송 행렬을 H 로 나타내고, 4개의 주기 동안 전송되는 심벌 s_1, \dots, s_4 로 이뤄진 벡터를 S 라고 했을 때, 4개의 주기 동안 심벌들이 전송되는 과정을 다음과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다^[4].

$$HS = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2^* & h_1^* & -h_4^* & h_3^* \\ -h_3^* & -h_4^* & -h_1^* & h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{pmatrix} \quad (2)$$

수신단에서 4개의 심벌 주기 동안 배경잡음이 포함되어 수신된 신호를 벡터 R 이라고 했을 때 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{pmatrix} = HS + N = HS + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 벡터 R 과 N 의 각 행은 시간 $t+kT$, $k=0, \dots, 3$ 에서의 수신된 신호와 배경잡음을 각각 나타내고, N 은 가우시안 잡음이다.

수신단의 채널 추정이 완벽하다고 가정했을 때 채널 검출기에서 검출된 채널 정보를 이용하여 복호화된 신호를 S 라고 했을 때 다음과 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\tilde{S} = H^H R = H^H HS + H^H N \quad (4)$$

식 (4)와 같이 복호화 된 신호 \tilde{S} 는 최대우도 검출기의 입력 값이 된다. 식 (4)에서, H^H 은 행렬 H 의 허미시안 변형(Hermitian transform)이며, $H^H H$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$H^H H = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & b \\ 0 & a & -b & 0 \\ 0 & -b & a & 0 \\ b & 0 & 0 & a \end{pmatrix} \quad (5)$$

여기서 a 는 결합기를 거친 수신된 신호들의 다이버시티에 의한 채널 이득 값이며, b 는 준직교성에 의해 발생하는 상호 상관계수들의 합이며, 준직교성으로 인한 간섭을 일으키고 최대 다이버시티 이득을 얻지 못하게 하는 원인이 된다. a, b 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = \sum_{i=1}^{n=4} |h_i|^2 = \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 \quad (6)$$

$$b = h_1 h_4^* + h_4 h_1^* - h_2 h_3^* - h_3 h_2^*$$

식 (6)을 이용하여 복호화된 신호 \tilde{S} 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\tilde{S} = \begin{pmatrix} as_1 + bs_4 \\ as_2 - bs_3 \\ as_3 - bs_2 \\ as_4 + bs_1 \end{pmatrix} + H^H N \quad (7)$$

수신단에서 적용되는 최대우도 결정 법칙은 다음 조건을 만족할 때만 신호 s_i 를 선택한다.

$$d^2(r_1, h_1 s_i) + d^2(r_2, h_2 s_i) + d^2(r_3, h_3 s_i) d^2(r_4, h_4 s_i) \leq d^2(r_1, h_1 s_k) + \dots + d^2(r_4, h_4 s_k), \forall k \neq i \quad (8)$$

Ⅲ. 단순상관제거기법

Jafarkhani 기법의 결정적인 단점인 준직교성으로 인한 간섭 성분은 최대 다이버시티 이득을 얻지 못하게 한다. 이러한 단점을 극복하기 위한 기법으로 단순상관제거 알고리즘이 있다^[4].

식 (5)와 (7)의 행렬 $H^H H$ 에서 준직교성으로 인한 간섭을 일으키는 상호 상관계수 합 b 를 제거해야 준직교성으로 인한 간섭이 제거되며 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있다. 상호 상관계수의 합 b 를 제거하기 위해 기존의 복호화 후 행렬 $H^H H$ 에 곱해지는 상관제거 행렬을 D 라고 한다면 준직교성으로 인한 간섭을 제거하는 과정을 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다[4].

$$DH^H H = D \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & b \\ 0 & a & b & 0 \\ 0 & b & a & 0 \\ b & 0 & 0 & a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a \end{pmatrix} = aI_4 \quad (9)$$

여기서 I_4 는 4 x 4 identity matrix를 나타낸다.

식 (9)로부터 상관제거 행렬 D 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$D = a(H^H H)^{-1} = \frac{1}{A} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & B \\ 0 & 1 & -B & 0 \\ 0 & -B & 1 & 0 \\ B & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

여기서 $A = 1 - \frac{b^2}{a^2}$, $B = -\frac{b}{a}$ 이다.

간섭제거 행렬 D 를 기존 복호화 과정을 거친 신호 \tilde{S} 에 곱하면 간섭이 제거된 신호 \tilde{S}_N 를 얻을 수

있으며 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\tilde{S}_M = D\tilde{S} = DH^H HS + DH^H N = aI_4 S + DH^H N \quad (11)$$

식 (11)에서 구한 신호 \tilde{S}_M 는 최대 우도 검출기의 입력이 된다.

단순상관제거 알고리즘에서는 간단한 상관연산을 통해서 준직교성에 의한 간섭 성분을 제거함으로써 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있다. 그러나 여전히 한 가지 단점이 남아있는데 그것은 준직교성으로 인한 간섭을 제거하고 복호화가 이루어지는 과정에서 단순상관제거 알고리즘으로 인한 잡음의 전력 증가 현상이 있다는 것이다. 이는 단순상관제거 알고리즘을 사용했을 때의 복호화 행렬 DH^H 와 기존의 복호화 행렬인 H^H 의 트레이스(trace)값을 비교함으로써 확인할 수 있으며 각각의 트레이스 값을 $Tr(DH^H)$ 와 $Tr(H^H)$ 로 표현했을 때 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Tr(DH^H) = \frac{1}{A} \{h_1^* + h_3^* + h_4 - h_2 + B(h_4^* + h_3^* + h_1 - h_3)\} \quad (12)$$

$$Tr(H^H) = h_1^* + h_3^* + h_4 - h_2 \quad (13)$$

여기서 $\frac{1}{A} = \frac{a^2}{a^2 - b^2} \geq 1, (\because a \geq b)$ 이므로 $Tr(DH^H) \geq Tr(H^H)$ 임을 알 수 있다. 그러므로 단순상관제거 알고리즘을 사용했을 경우에 단순상관제거 알고리즘을 사용하지 않은 경우보다 복호화 후 잡음의 전력이 더욱 커짐을 확인할 수 있다.

IV. 전력할당 기법과 준직교성으로 인한 간섭제거

단순상관제거 알고리즘을 통해 Jafarkhani 시공간 블록부호로부터 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 간단한 연산을 통해서 얻을 수 있다. 그러나 준직교성으로 인한 간섭을 제거하는 과정에서 발생하는 잡음이 증가한다. 이러한 현상을 극복하기 위해서 본 논문에서 제안하는 송신전력할당 기법을 이용한다. 본 논문에서는 송신전력 할당 부분과 준직교성으로 인한 간섭제거 부분을 1단계 와 2단계로 나누어 설명한다.

1단계(전력할당) : 4개의 심벌 주기 동안 전송되는 4개의 서로 다른 심벌 s_1, \dots, s_4 를 s_1, s_2 와 s_3, s_4

두 그룹으로 나누고, 그룹별로 송신 전력을 다르게 할당한다. 그리고 한 심벌 주기 동안 송신되는 심벌들의 총 전력은 변하지 않는다고 가정한다. 한 심벌 주기 동안의 총 송신전력을 $|\rho|^2$ 라고 하면, 한 심벌주기 동안 각 심벌에 할당되는 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|s_1|^2 = |s_2|^2 = 2 \left| \frac{\rho\sqrt{\beta}}{2\sqrt{\beta+1}} \right|^2 \quad (14)$$

$$|s_3|^2 = |s_4|^2 = 2 \left| \frac{\rho}{2\sqrt{\beta+1}} \right|^2 \quad (15)$$

여기서 β 는 한 심벌주기 동안 전송되는 s_1, s_2 와 s_3, s_4 간의 전력비를 나타낸다.

2단계(간섭제거) : 식 (7)에 의해서 복호화된 신호 벡터 \tilde{S} 의 각 성분은 다음과 같이 따로 표현할 수 있다.

$$s_1 \text{ 검출에 사용되는 성분} = as_1 + bs_4 + H_1^H N$$

$$s_2 \text{ 검출에 사용되는 성분} = as_2 - bs_3 + H_2^H N$$

$$s_3 \text{ 검출에 사용되는 성분} = as_3 - bs_2 + H_3^H N$$

$$s_4 \text{ 검출에 사용되는 성분} = as_4 + bs_1 + H_4^H N$$

여기서 H_k^H 은 H^H 의 k 번째 행을 가리킨다.

만약 $\beta > 1$ 라면 s_1, s_2 을 검출하는데 존재하는 각각의 준직교성으로 인한 간섭성분 $bs_4, -bs_3$ 는 기존의 Jafarkhani 기법과 비교하여 s_3, s_4 신호에 할당된 전력이 작아지므로, 신호성분 as_1, as_2 에 더 적은 영향을 미친다. 반대로 신호성분 as_1 과 as_2 는 기존의 Jafarkhani 기법에서 각 신호 s_1, s_2 에 할당된 전력보다 크게 송신되었기 때문에 더 낮은 비트 오류율로 신호 s_1, s_2 를 검출할 수 있다.

s_1, s_2 가 s_3, s_4 보다 높은 송신 전력으로 송신됐기 때문에 기존의 Jafarkhani 기법보다 정확하게 검출된 신호 s_1, s_2 를 알고 있으므로 s_3, s_4 에 영향을 미치는 각각의 준직교성으로 인한 간섭성분 $-bs_2, bs_1$ 를 제거할 수 있다. 간섭을 제거할 때 상관연산을 통해서 간섭을 제거하는 단순상관제거 알고리즘이 아닌 간단한 빼기 연산을 통해서 준직교성으로 인한 간섭을 제거하기 때문에 잡음 증가 현상 없이 s_3, s_4 를 검출할 수 있다.

V. 시뮬레이션 및 성능분석

본 장에서는 송신안테나가 4개이고 수신안테나가 1개인 송신다이버시티 시스템을 고려한 Jafarkhani 기법과 Jafarkhani 기법에 단순상관제거 알고리즘을 적용한 시스템과 본 논문에서 제안한 송신전력할당 기법을 적용한 시스템의 성능을 비교, 분석한다. 또한 신호 대 잡음 비에 따른 전력할당 비율의 최적값을 시뮬레이션을 통해 알아보고 전력할당 비율을 고정한 경우와 성능을 비교, 분석한다. 변조방식은 QPSK 이며, 한 심벌주기 동안 송신안테나 수에 관계없이 총 송신 전력은 일정하다고 가정하고 수신 신호의 신호대 잡음비 (Signal to Noise Ratio:SNR) 는 다음과 같이 정의한다.

$$SNR = \frac{\rho^2 \|H\|^2 E[|s_j|^2]}{M_T \sigma^2}, \quad j=1, \dots, M_T$$

여기서 $E[|s_j|^2]$ 는 한 심벌 주기 동안 하나의 송신 안테나로 전송되는 신호의 평균전력을 나타내며, M_T 는 송신안테나의 수를 나타낸다.

그림 2는 Jarfarkhani 기법에 단순 상관 제거 알고리즘을 적용해 간섭을 제거한 시스템과 적용하지 않은 시스템을 비교한 것이다. 10^{-2} 의 비트 오류율을 만족하기 위해서는 단순상관 알고리즘으로 간섭을 제거한 경우가 제거하지 않은 경우보다 약 5dB정도의 신호대 잡음비의 이득을 얻을 수 있다.

또한 Jafarkhani기법에 송신전력할당과 단순상관 제거 알고리즘을 적용한 경우를 각각 비교해 보면 10^{-3} 의 비트 오류율을 만족하기 위해서 송신전력 할당을 사용한 경우가 단순상관제거 알고리즘을 사용한 경우보다 약 1dB의 신호대 잡음비의 이득을 얻을 수 있다.

Jafarkhani 기법에 전력할당 기법이나 단순상관제거 알고리즘을 적용할 경우 간섭을 제거해 보다 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 때문이다.

그림 3은 0~10dB의 신호대 잡음비에서 전력할당에 따른 비트 오류율을 분석한 그림이며, β 값이 2~3 정도일 때 가장 낮은 비트 오류율을 보여주고 있다.

그림 4는 그림 3을 통해 분석한 구간별 신호 대 잡음 비에 따른 송신전력 할당의 최적 비율 β 를 적용한 경우와 $\beta = 1.5$, $\beta = 5$ 로 각각 송신전력 할당 비율을 맞춘 경우와 비교한 그림이다. 신호 대 잡음 비가 0~3dB에서는 $\beta = 2.3$ 정도일 때, 신호 대 잡음

비가 3~10dB에서는 $\beta = 2.7$ 정도일 때, 그리고 10~12dB에서는 $\beta = 3$ 정도일 때 가장 낮은 비트 오류율을 보여주고 있다.

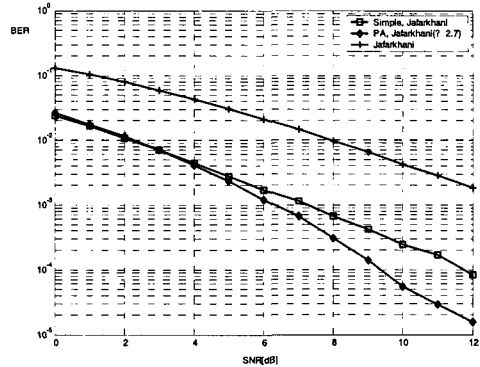


그림 2. Jafarkhani 기법, Jafarkhani 기법에 단순상관제거 알고리즘과 송신전력할당을 각각 적용시킨 경우의 비트 오류율 ($\beta = 2.7$)

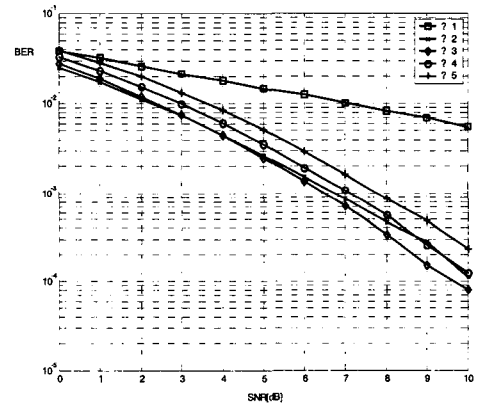


그림 3. 신호대 잡음비 0~10 dB 구간에서의 송신전력할당을 이용한 Jafarkhani 기법의 전력할당 비율에 따른 비트 오류율

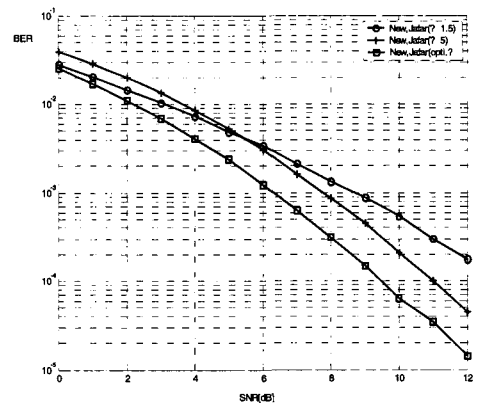


그림 4. 신호대 잡음비 구간별 전송전력비의 최적값을 적용시킨 경우의 비트 오류율

VI. 결론

본 논문에서는 송신안테나 4개를 고려한 준직교성 시공간 블록부호를 사용한 송신안테나 다이버시티 시스템에서 수신신호의 준직교성으로 인한 간섭성분을 제거하고, 또한 잡음의 전력증가 현상을 없애는 기법을 소개하였다. 이 기법은 간섭을 제거해 주기 때문에 준-직교성 시공간 블록부호로부터 최대 전송률과 최대 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있도록 해 준다.

한 부호어를 구성하는 4개의 심벌을 두 쌍으로 나누어 송신전력을 다르게 할당하여 준직교성으로 인한 간섭을 제거하는 과정을 소개하였다. 높은 전력으로 송신된 신호는 낮은 전력으로 송신된 두 신호보다 높은 신호대 잡음비를 검출한 후 이 신호성분을 이용하여 낮은 전력으로 송신된 신호의 준직교성으로 인한 간섭성분을 제거하기 때문에 낮은 전력으로 송신된 신호의 준직교성으로 인한 간섭이 잡음 전력의 증가 없이 제거된다.

또한 간단한 간섭제거기법을 사용하기 때문에 수신단의 복잡도도 높아지지 않는다. 따라서 송신전력 할당 기법을 사용하면 단순 복호화 과정보다 간단한 연산을 통해서도 성능을 개선할 수 있다.

참고 문헌

- [1] S. M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications.", *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, vol. 16, pp.1451-1458, Oct, 1998.
- [2] 양재동, 김상효, 노종선 "여러 가지 4 X 4 시공간 블록 부호의 성능비교", *한국통신학회 추계종합학술발표회 초록논문집*, Vol. 28, [10-1], p.201. Dec. 2003.
- [3] H.Jafarkhani, "A Quasi-orthogonal space time block code", *IEEE Trans. Commun.*, vol.49, No.1, pp. 1-4, 2001.
- [4] Jia Hou, Moon Ho Lee, Juww Yong Park "Simple correlation canceling algorithm for space time block codes" *VTC*. pp. 838-841, April, 2003.
- [5] P.W.Wolniansky, G.J.Foschini, G.D.Golden and R.A. Valenzuela "V-BLAST : An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-Scattering Wireless

Channel", *Signals, Systems and Electronics, ISSSE 98*. pp.295-300, 1998.

최 광 돈 (Kwang don Choe)

정회원



1979년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사

1985년 8월 캘리포니아 주립대학교 전기전자공학과 공학석사

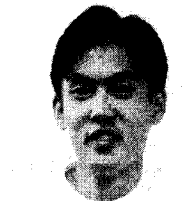
1993년 3월~현재 안양과학대학 전자통신정보학부 교수

2001년 3월~현재 한양대학교 전자통신전파공학과 박사과정

<관심분야> OFDM, ADM, MIMO-OFDM

김 봉 준 (Bong joon Kim)

준회원



2001년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사

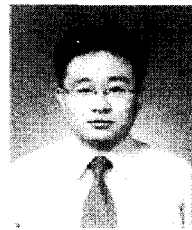
2004년 8월 한양대학교 전자통신전파공학과 공학석사

2004년 8월~현재 LG 전자 DAV 사업부

<관심분야> MIMO, ITS

조 영 하 (Young ha Cho)

정회원



2002년 2월 한양대학교 전자컴퓨터전기제어공학부 공학사

2004년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과공학석사

2004년 3월~현재 삼성전기 중앙연구소 ASIC센터

<관심분야> 확산대역통신, OFDM

시스템

박 상 규 (Sang kyu Park)

정회원



1974년 2월 서울대학교 전기공학과 공학사

1980년 5월 듀크대학교 전기공학과 공학석사

1987년 1월 미시건대학교 전기공학과 공학박사

1987년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 디지털 통신, 확산대역통신, MIMO