

무선통신 시스템에 적용 가능한 직교 훈련신호

An Available Orthogonal Training Signal in Wireless Communication System

이형우*	조형래**	김기만***	손윤준****
(Hyeong-woo Lee)	(Hyung-rae Cho)	(Ki-man Kim)	(Yun-joon Son)
(Korea Maritime and Ocean University)	(Korea Maritime and Ocean University)	(Korea Maritime and Ocean University)	(Defense Agency for Technology and Quality)

· Corresponding author : Hyung-Rae Cho(Korea Maritime and Ocean University), E-mail hrcho@kmou.ac.kr

요약

MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템을 사용하여 주파수 선택적 페이딩 환경에서 동작하는 차세대 무선 통신 시스템의 데이터 전송 속도를 향상시키기 위한 연구가 현재 활발히 진행 중이다. 여러 개의 송신 안테나에서 송신된 신호들이 혼합되어 각 수신 안테나에 수신되는데 이렇게 혼합된 신호를 분리하기 위해서 직교 특성을 갖는 훈련신호가 필요하며, 이 훈련신호를 사용하여 신호의 동기화 및 채널 추정을 수행할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 MIMO 통신 시스템에 사용 가능한 시퀀스들을 소개하고, 관심 영역에 대하여 우수한 자기 상관 특성을 갖는 변형된 WeCAN(weighted cyclic algorithm new) 시퀀스를 제안한다. 모의실험을 통해 각 훈련신호의 자기 상관도를 비교하였으며, 또한 도플러 주파수 변화와 다중경로 전달 페이딩 환경에서의 상관 특성을 비교하였다.

핵심어 : MIMO 시스템, 상관 함수, 훈련신호, 도플러 효과, 다중경로 전달

ABSTRACT

The study for enhancing the data transmission rate of the next generation wireless communication system using MIMO system operating in the frequency selective fading environment is currently actively conducted. Mixed signal from each transmitted antennas are received at antennas. The training signal with orthogonal property is needed to separate the mixed signal and enable to estimate channel and time synchronization. In this paper we introduce several training sequences used in MIMO communication system and proposed the modified WeCAN sequence with good auto-correlation property in interested area. We compared auto-correlation property of each sequence via simulation and compared the performance of sequences in doppler shift and multipath fading channel.

Key words : MIMO system, Correlation, Training signal, Doppler effect, Multipath propagation

† 본 연구는 한국ITS학회의 2014년 추계국제학술대회에 발표되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

* 주저자 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정

** 공저자 및 교신저자 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

*** 공저자 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

**** 공저자 : 국방기술품질원 선임연구원

† Received 22 December 2014; reviewed 30 September 2015; Accepted 27 October 2015

I. 서 론

차세대 통신을 위하여 전송속도를 향상시키기 위한 기술 연구가 요구되고 있으나 주파수 대역의 한계로 인해 전송 속도의 한계가 존재한다. 이에 주파수 대역을 늘리지 않고 전송 능력을 향상시키기 위해 MIMO(multiple input multiple output) 구조를 적용한 통신 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행 중이며[1], MIMO 시스템을 사용한 OFDM [2,3]은 현재 WLAN의 IEEE 802.11n에서 핵심 기술로 사용되고 있다[4]. MIMO 시스템은 여러 개의 송신 안테나에서 송신된 신호들이 채널에서 혼합되어 수신 안테나에 수신되는데 이 신호들을 서로 분리하기 위해 각 신호에 직교 특성을 가지는 훈련신호를 사용한다[5,6]. ITS(Intelligent Transportation System)에서도 사용자 사이의 구분을 위해 훈련신호를 사용하게 되는데 주로 PN(pseudo noise) 시퀀스를 사용하며, 훈련신호는 각 신호 간 구분 이외에도 자동 이득 제어, 신호의 동기화 및 주파수 오프셋 측정 등에 사용한다[7,8].

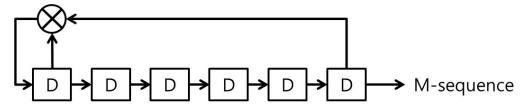
본 논문에서는 기존 훈련신호로 적용 가능한 시퀀스[9]에 새롭게 제안하는 시퀀스와 모의실험을 통해 각 훈련신호의 자기 상관도, 도플러 주파수 변화에 따른 각 훈련신호의 성능과 다중 경로 전달 환경에서의 상관 특성을 비교하였다.

II. 훈련신호를 위한 시퀀스 제안

2.1 기존의 시퀀스

본 논문에서는 통신 프리엠블에 적용 가능한 훈련신호로 m-시퀀스, Golomb 시퀀스, CA(cyclic algorithm), WeCAN(weighted cyclic algorithm new) 시퀀스 그리고 WeCAN 시퀀스를 수정하여 제안한 시퀀스를 고려하였다. m-시퀀스는 우수한 자기상관 특성을 가지고 있으면서 레지스터 구조가 단순하여 생성하기 쉬우나 이로 인해 보안성은 좋지 않은 단점이 있다. 그림 1은 1번과 6번 탭에서 피드백 접속을 갖는 m-시퀀스의 LFSR(linear feedback shift

register)을 나타낸다.



〈그림 1〉 m-시퀀스의 LFSR 구조
 〈Fig. 1〉 LFSR structure of m-sequence

1953년 R. H. Baker가 길이가 2~13이며 비주기성 자기 상관 특성을 가지는 시퀀스인 Baker 코드를 설계하였다. Baker 코드는 시퀀스 길이에 대해서 제한적이기 때문에 코드의 길이를 늘리기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. R. L. Frank는 시퀀스의 길이가 정수의 제곱이며 polyphase로 구성된 Frank 시퀀스를 D. C. Chu는 작은 주기성 자기 상관 특성을 가지는 시퀀스를 연구하였다. Polyphase 시퀀스는 완벽한 주기성이나 비주기성을 가지는 자기 상관 특성을 가지고 있으나 시퀀스의 길이가 제한적이다. Golomb 시퀀스는 위에서 설명한 polyphase 시퀀스의 특성을 가지면서 시퀀스의 길이가 자유롭게 구성되는 특징을 가지고 있다. Golomb 시퀀스는 다음과 같이 표현된다.

$$x(n) = \alpha^{(n-1)n/2}, \quad 1 \leq n \leq L \quad (1)$$

여기서 $\alpha = e^{2\pi/n}$ 인 polyphase 값이고, L 은 시퀀스의 길이이다.

CA 시퀀스는 레이더 탐지 시스템에 사용하기 위해 최근에 개발되었으며, 우수한 자기 상관 및 상호 상관 성능을 갖고 있다. 임의의 시퀀스 x_n 의 자기 상관함수를 r_n 이라 했을 때 부엽의 합을 식 (2)와 같이 자기 상관함수의 피크 부분의 값을 제외한 값을 합으로 표현이 가능하며, 이를 ISL(integrated sidelobe level) 행렬이라 한다.

$$ISL = \sum_{n=1}^{N-1} |r_n|^2 \quad (2)$$

CA 시퀀스는 임의의 초기 시퀀스를 이용해 ISL

행렬의 최소화시키기 위한 반복 계산을 수행한다.

$$\min \| X^* X - NI \|^2 \quad (3)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & 0 \\ \vdots & \ddots \\ x_N & x_1 \\ & \ddots & \vdots \\ 0 & x_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (3)은 식(2)를 행렬 형태로 변환한 수식으로 여기서 $\| \cdot \|$ 은 프로베니우스 노름(Frobenius norm)을 의미하며, X 는 임의의 랜덤한 시퀀스로 구성된 행렬, X^* 은 X 의 공액 복소 행렬이다. N 은 시퀀스의 길이이고, I 는 단위행렬이다. 위 식은 X 의 자기 상관도에서 피크 값을 제외한 부엽의 합이 최소가 되도록 만든다. 식 (3)는 4차 다항식으로 구성되어 계산이 복잡해지는데 참고 논문 [10]을 이용해 아래와 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$\min \| X - \sqrt{N} T \|^2 \quad (5)$$

CA 시퀀스는 위 수식을 이용해 다음과 같은 방법으로 생성된다. 임의의 초기 시퀀스를 설정한다. $\{x_n\}_{n=1}^N$ 은 $\{\theta_n\}_{n=1}^N$ 의 범위가 $[0, 2\pi]$ 인 $\{e^{j2\pi\theta_n}\}_{n=1}^N$ 으로 구성된 임의의 랜덤한 시퀀스를 사용하거나 Golomb 시퀀스와 같이 기존에 사용되는 시퀀스를 설정 가능하다.

$$X = T_1 \Sigma T_2^* \quad (6)$$

$$T = T_2 T_1^* \quad (7)$$

식 (5)는 초기 시퀀스 X 의 특이치 분해 값을 나타낸 수식이다. 여기서 T_1 은 $2N \times N$ 인 유니터리 행렬(unitary matrix), T_2 는 $2N \times 2N$ 인 준 유니터리 행렬(semi-unitary matrix)이며 Σ 는 $2N \times 2N$ 인 대각 행렬(diagonal matrix)이다. 특이치 분해를 통해 구한 T_1, T_2 를 이용해 식 (6)과 같이 T 를 계산할 수 있

다. (참고문헌 [11]에서 식 (6)을 증명하였다.) 계산한 T 를 이용해 X 를 구할 수 있으며, 식 (7)에 나타난 MF (merit factor)를 이용해 기준 값보다 높을 경우 다시 반복하여 만족 할 때까지 반복 수행한다.

$$MF = \frac{N^2}{2ISL} \quad (8)$$

CA 시퀀스는 신호를 생성함에 있어 계산 시간이 오래 걸리며 시퀀스의 길이가 한계가 있다. 계산 시간을 줄이면서 시퀀스의 길이를 늘이기 위해 주파수 영역에서 반복 계산을 수행하는 CAN(CA-new) 시퀀스가 제안되었으며[12], WeCAN(weighted CAN) 시퀀스는 CAN 시퀀스를 수정한 시퀀스로 가중 벡터를 이용해 관심 영역을 설정하여 ISL 은 동일하나 관심 영역에서의 부엽 값이 감소되고 그 이외의 영역은 증가하는 시퀀스를 생성한다.

$$WISL = \sum_{n=1}^{N-1} \gamma_n^2 |r_n|^2 \quad (9)$$

식 (9)는 ISL 행렬에 가중치 γ_n 삽입한 $WISL$ (weighted integrated sidelobe level) 행렬로 γ_n 는 가중치로 0, 1로 구성된 1차 행렬이다. 계산량 감소를 위해 식 (9)를 주파수 영역으로 변환시켜 나타내면 다음과 같다.

$$WISL = \frac{\gamma_0^2}{4N} \sum_{p=1}^{2N} [T \tilde{x}_p - N]^2, p = 1, 2, \dots, 2N \quad (10)$$

$$T = \begin{bmatrix} \gamma_0 & \gamma_1 & \dots & \gamma_{N-1} \\ \gamma_1 & \gamma_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \gamma_1 \\ \gamma_{N-1} & \dots & \gamma_1 & \gamma_0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{x}_p = [x_1 e^{-jw_p} \quad x_2 e^{-j2w_p} \quad \dots \quad x_N e^{-jNw_p}]^T$$

여기서 T 는 준 한정행렬(semi positive definite matrix), \tilde{x}_p 는 초기 시퀀스를 주파수 영역으로 변환

시킨 값을 나타낸다. 식 (5)와 동일하게 식 (10)도 아래와 같이 표현이 가능하다.

$$\min \|C \tilde{X} - V\| \quad (11)$$

C 는 가중치 행렬, \tilde{X}_p 는 초기 시퀀스를 주파수 영역으로 나타낸 행렬, 그리고 V 는 프로베니우스 노름 값이 N 인 임의의 행렬을 나타낸다. 이는 기준값을 만족 할 때까지 반복하게 된다. 위와 같은 방법으로 관심 영역에 낮은 자기 상관 값을 가지는 시퀀스를 생성가능하다. WeCAN 시퀀스에 사용되는 가중치는 0, 1로 구성되어 관심 영역에 대해서 부엽 값을 매우 낮게 한다. 이러한 특성은 자기 상관 함수의 피크 지점을 뚜렷하게 나타내어 채널 추정에서 매우 유용하게 사용가능하다. 자기 상관 함수의 피크 근처의 부엽 값이 낮아질수록 채널을 더욱 정확하게 추정할 수 있다.

2.2 제안한 시퀀스

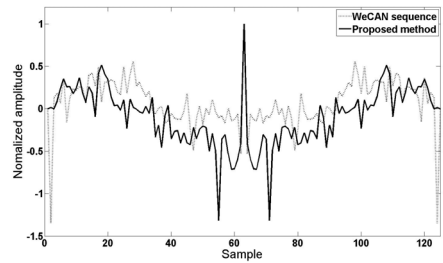
채널 추정은 사용하는 훈련 신호의 자기 상관 특성에 따라 성능이 변화한다. 본 논문에서는 기존의 WeCAN 시퀀스의 가중치 γ 의 값을 수정하여 자기 상관 함수의 피크 주변의 부엽 값을 더욱 낮게 나타내는 시퀀스를 제안한다. 기존의 WeCAN 시퀀스의 가중치 γ 는 0, 1로 구성되어 있는데 관심 영역을 1, 비관심 영역을 0으로 설정한다. 식 (11)에서 V 의 값이 새로운 시퀀스를 나타낸다. 새로운 시퀀스 V 는 기존의 WeCAN 시퀀스에서 관심 영역만 계산한 것을 의미한다.

$$V = C \tilde{X} \quad (12)$$

제안하는 시퀀스의 가중치 γ 를 0, 1이 아닌 0~1 사이의 값으로 설정하여 관심 영역과 비관심 영역이 아닌 관심 영역을 세분화 하여 설정함으로써 시퀀스 생성시 사용되는 기준값은 동일하나 비관심

영역에 대하여 높은 부엽 값을 가지게 하여 관심 영역은 기존의 WeCAN 시퀀스에 비해 낮은 부엽 값을 갖는 시퀀스를 제안한다. 다음은 제안하는 알고리즘의 절차를 나타내었다.

- 1: 가중치 및 초기 시퀀스 \tilde{X} 를 설정(기존의 상관 특성이 우수한 시퀀스 사용 가능)
- 2: 초기 시퀀스 \tilde{X} , 가중치 C 를 사용하여 V 를 계산
- 3: 계산된 V 를 이용하여 새로운 \tilde{X} 계산
($\tilde{X} = C^{-1}V$)
- 4: $\|X^{(i)} - X^{(i+1)}\| <$ 기준값을 만족 할 때 까지 계산



〈그림 2〉 기존의 시퀀스와 제안된 시퀀스의 (a) 자기 상관도, (b)상호 상관도

〈Fig. 2〉 auto-correlation property of WeCAN sequence and proposed sequence

그림 2는 시퀀스의 길이 $N=63$ 인 경우에 자기 상관도를 나타낸 것으로 제안한 시퀀스의 가중치는 기존에 0과 1로만 구성되는 가중치를 갖는 WeCAN 시퀀스와는 달리 자기 상관 함수의 피크 부분의 값을 낮게 하기 위해 아래 식 (13)와 같은 Hanning 윈도우 함수를 사용하여 곡선의 형태를 갖도록 하였다. 자기 상관함수의 피크는 두 시퀀스 모두 같은 형태를 가지고 있으나 관심 영역에 대해서는 제안한 방법이 기존의 WeCAN 시퀀스에 비해 낮은 이득을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

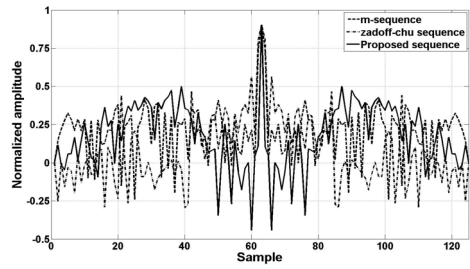
$$w(n) = 0.5(1 - \cos(2\pi \frac{n}{2N})), 0 \leq n \leq 2N \quad (13)$$

III. 모의실험

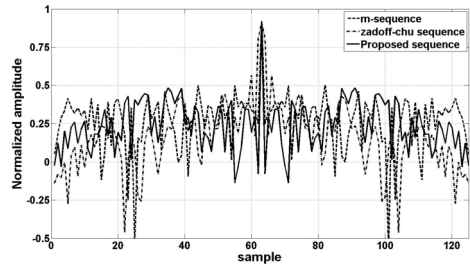
앞에서 소개한 훈련신호들과 제안한 시퀀스의 성능을 확인하기 위하여 모의실험을 수행하였다. 먼저 각 시퀀스의 자기 상관 함수에서의 최대, 최소 평균값을 비교하였고, SNR(signal-to-noise ratio) 변화에 따른 자기 및 상호 상관 특성을 비교하였다. 표1은 각 시퀀스의 자기 상관 함수의 값을 나타낸 것으로 최고값은 m-시퀀스가 가장 낮고 z adoff-chu가 가장 높게 나타났으며, 최소값은 z adoff-chu가 가장 낮았으며 제안한 시퀀스가 가장 높게 나타났다. 평균값은 제안한 시퀀스에 다른 시퀀스에 비해 0.0102, 0.0346 낮게 나타났다. 그림 3은 SNR을 20, 10 dB로 하였을 경우에 각 시퀀스의 자기, 상호 상관도를 나타낸 것이다. 모든 SNR에 대해서 세 시퀀스 모두 원점에서 피크가 나타나고 있으며 SNR이 20 dB인 경우에 모든 시퀀스의 부엽 크기가 작음으로 인해 증가하였으나, 제안한 시퀀스의 부엽이 다른 시퀀스 비해 낮은 것을 확인 할 수 있으며, Zadoff-Chu 시퀀스의 부엽이 높게 나타난다. SNR이 10 dB인 경우에는 모든 시퀀스가 유사한 성능을 보인다. 그림 4는 각 시퀀스의 상호 상관도를 나타낸 그림으로 SNR의 변화에 따라 상호 상관도가 유사하게 나타난 것을 확인 할 수 있다.

〈표 1〉 각 시퀀스의 자기 상관 성능
 (Table 1) Auto-correlation performance of each sequence

sequence	Autocorrelation	
		max
m-sequence	min	-0.2654
	average	0.1929
	max	0.5598
zadoff-chu	min	-0.3196
	average	0.1898
	max	0.5424
proposed method	min	-0.2333
	average	0.1827
	max	

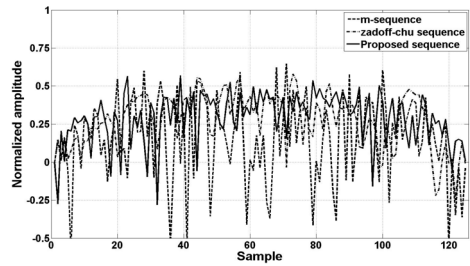


(a) 20 dB

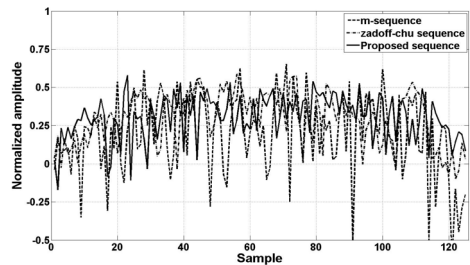


(b) 10 dB

〈그림 3〉 각 시퀀스의 자기 상관도
 (Fig. 3) auto-correlation property of each sequence



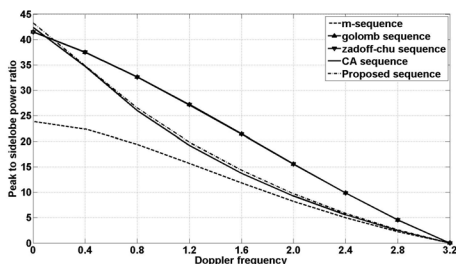
(a) 20 dB



(b) 10 dB

〈그림 4〉 각 시퀀스의 상호 상관도
 (Fig. 4) Cross-correlation property of each sequence

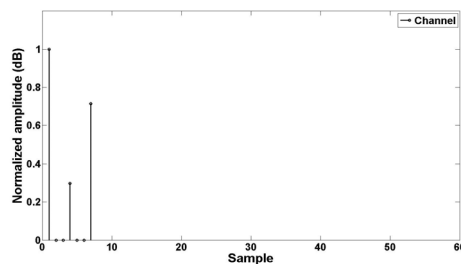
다음으로 도플러 주파수가 변화하는 환경에서의 모의실험을 위하여 각 63-bit 길이의 훈련신호를 생성하였다. 도플러 주파수는 중심 주파수의 비율로 하였으며 0 %에서 3.2 %까지 변화 시키며 각 신호들의 상관도를 측정하여 도플러 주파수에 따른 피크 값과 부엽 값의 출력 비(peak-to-sidelobe power ratio : PSPR)를 구하였다. 그림 5는 PSPR을 도플러 주파수 변화에 따라 나타낸 그림이다. 도플러 주파수가 증가함에 따라 출력 비율이 점점 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 도플러 주파수가 없을 경우 m-시퀀스를 제외한 다른 시퀀스는 유사한 성능을 보이며, Golomb, Zadoff-Chu 시퀀스는 거의 동일한 성능을 보였다. 또한 CA 계열 시퀀스가 Golomb, Zadoff-Chu 시퀀스에 비해 조금 더 도플러에 민감한 것을 알 수 있다. CA 계열 시퀀스는 도플러 주파수에 민감하여 도플러 주파수가 증가 할수록 급격히 감소한다. 이러한 특성은 모호성 함수를 이용한 주파수 오차 보상 기법과 같은 방법 사용 시 유용하게 사용가능하다.



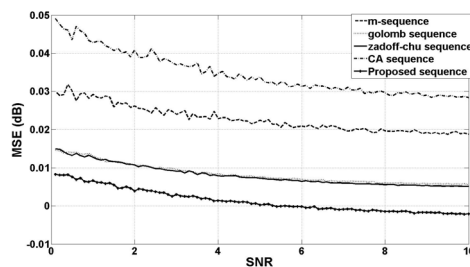
〈그림 5〉 도플러 주파수에 따른 각 시퀀스의 PSPR
 〈Fig 5〉 PSPR of each sequence with doppler frequency

훈련신호는 신호 사이의 구분 외에도 신호의 동기화나 채널 추정 시에 사용된다. 이에 다중경로 전달이 존재하는 환경에서의 성능을 검증하기 위해 Jake 모델을 통해 시변 특성을 갖는 레일리 페이딩 채널을 이용하였다[13]. 전송 채널은 3개의 다중 경로를 가정하였으며, 경로 이득(path gain)을 0, -3, -3 dB로 하였고, 도플러 주파수는 200 Hz로 하였다. 그림 6은 모의 채널의 채널 임펄스 응답 특성을 나

타낸 그림이며, 그림 7은 SNR 변화에 따른 모의 채널과 추정된 채널 사이의 평균 제곱오차를 나타낸 그림이다. CA 시퀀스의 성능이 제일 낮고 Zadoff-Chu 시퀀스와 Golomb 시퀀스의 성능은 거의 유사하며, 제안한 방법의 채널 추정 능력이 다른 시퀀스에 비해 우수한 것을 알 수 있다.



〈그림 6〉 채널 응답 특성
 〈Fig 6〉 Channel impulse response



〈그림 7〉 각 시퀀스로 추정된 채널의 평균 제곱 오차
 〈Fig 7〉 Mean squared error of estimated channel using each sequence

V. 결 론

이 논문에서는 무선통신 시스템에 적용 가능한 훈련신호를 소개하면서 변형된 WeCAN 시퀀스를 제안하였다. 제안한 방법은 가중치가 0과 1로만 구성되었던 기존의 WeCAN 시퀀스와는 달리 Hanning 윈도우 함수를 기반으로 하는 가중치를 적용하였다. 제안한 방법은 SNR 변화에 따른 자기 상관 특성, 도플러 주파수 변화 및 다중경로 전달 환경에서 기존의 방법들과 성능을 비교하였다. SNR의 변화에 따른 시퀀스의 자기 상관 특성에 있어서 상대적

으로 높은 SNR 환경의 경우 제안한 시퀀스가 다른 기존의 시퀀스들에 비해 우수한 자기 상관 특성을 나타내었다. 그리고 도플러 천이 환경에서는 CA 계열 시퀀스가 다른 시퀀스에 비해 도플러 천이에 민감한 특성을 나타내었다. 다중경로 전달 환경에서는 제안한 시퀀스가 다른 시퀀스들 보다 낮은 평균 제곱 오차를 나타내었다. 향후 과제로는 다양한 환경에서의 모의실험과 실제 통신에서 시퀀스들의 특성을 분석하여야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] G. Tsoulos, *MIMO system technology for wireless communications*, CRC press, 2006.
- [2] C.H. Park, H.I. Kwin and Y.G. Yang, "On the improved MIMO-OFDM system for the wireless environments," *J. IEIE Conf.*, pp.481-484, Jul. 2003.
- [3] G. L. Stuber and J. R. Barry, "Broadband MIMO-OFDM wireless communications," *Proc. IEEE*, Vol. 92, pp.271-294, Feb. 2004.
- [4] J. Lörincz and D. Begušić. "Physical layer analysis of emerging IEEE 802.11 n WLAN standard." *Proc. ICACT 06*, Vol. 1, pp.189-194, Feb. 2006.
- [5] C. L. Wang and H. C. Wang, "A low-complexity joint time synchronization and channel estimation scheme for orthogonal frequency division multiplexing systems," *IEEE Int. Conf. Commun.*, Vol. 12, pp.5670-5675, Jun. 2006.
- [6] X. Ma, L. Yang and G.B. Giannakis, "Optimal training for MIMO frequency-selective fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 4, pp.453-466, Mar. 2005.
- [7] H. Minn, V. K. Bhargava and K. B. Letaief, "A robust timing and frequency synchronization for OFDM systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 2, pp.822-839, Jul. 2003.
- [8] Y. Yao and G. B. Giannakis, "Blind carrier frequency offset estimation in SISO, MIMO, and Multiuser OFDM systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.53, pp.173-183, Jan. 2005.
- [9] H.W. Lee, C.H. Hwang, K.M. Kim and H.R. Cho "Performance Comparison of the Training Signal in MIMO-OFDM Sytem," in *Proc. KITS. Int. Conf. 2014*, pp.225, Oct. 2014.
- [10] J. Li, P. Stoica, and X. Zheng, "Signal synthesis and receiver design for MIMO radar imaging," *IEEE Trans. on Signal Proc.*, Vol. 56, pp.3959 - 3968, Aug. 2008.
- [11] P. Stoica, J. Li, and X. Zhu, "Waveform synthesis for diversity-based transmit beampattern design," *IEEE Trans. on Signal Proc.*, Vol. 56, pp.2593 - 2598, Jun. 2008.
- [12] P. Stoica, H. He and J. Li, "New algorithms for designing unimodular sequences with good correlation properties," *IEEE Trans. on Signal Proc.*, Vol. 57, pp.1415 - 1425, Apr. 2009.
- [13] Jeruchim, C. Michel, P. Balaban and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*, 2nd Ed., Kluwer Academic/Plenum, 2000.

저자소개



이 형 우 (Lee, Hyeong-Woo)

2014년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
2007년 3월 ~ 2014년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과(공학사)
e-mail : kove333@naver.com
연락처 : 051) 410-4918



조 형 래 (Cho, Hyung-Rae)

1996년 4월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
2004년 4월 ~ 2007년 3월 : (재)한국조선기자재연구원 원장
1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 연세대학교 공학박사(통신공학전공)
1984년 1월 ~ 1990년 6월 : LG전자(주) 연구소 선임연구원
1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 연세대학교 공학석사(통신공학전공)
1978년 3월 ~ 1982년 2월 : 광운대학교 공학사(전자공학전공)
e-mail : hrcho@kmou.ac.kr
연락처 : 051) 410-4421



김 기 만 (Kim, Ki-Man)

1996년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 연세대학교 의과대학 의용공학교실(Fellow)
1990년 9월 ~ 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1988년 3월 ~ 1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
연락처 : 051) 410-4918



손 윤 준 (Son, Yun-Joon)

2008년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원
2004년 1월 ~ 2008년 8월 : 삼성탈레스 연구원
2003년 8월 : 한국해양대학교 전파공학과(공학석사)
2000년 5월 ~ 2001년 6월 : 대우정밀(주) 연구원 근무
2000년 8월 : 한국해양대학교 제어계측공학과(공학사)