

# Odd/Even Center Preamble 구조를 가진 OFDM/OQAM-IOTA 시스템

준회원 강 승 원\*, 허 주\*, 종신회원 장 경 희\*

## OFDM/OQAM-IOTA System With Odd/Even Center Preamble Structure

SeungWon Kang\*, Joo Heo\* Associate Members, KyungHi Chang\* Lifelong Member

### 요 약

일반적인 OFDM/QAM 시스템은 시간 영역에서 다중경로 채널에 강한 특성을 갖기 위해 연속적인 심볼 사이에 보호구간(Guard Interval)을 삽입하는 반면, OFDM/OQAM(Offset QAM)-IOTA 시스템은 보호구간 대신에 시간과 주파수 영역에서 우수한 Localization 특성을 갖는 IOTA(Isotropic Orthogonal Transform Algorithm) 함수를 사용하며, 이로 인하여 OFDM/OQAM-IOTA 시스템은 현저하게 높은 주파수 사용 효율을 갖는다. 하지만 일반적인 OFDM/QAM 시스템에 사용된 채널 추정 방법을 변경 없이 OFDM/OQAM-IOTA 시스템에 적용할 경우 고유의 심볼간 간섭(ISI : Inter-Symbol Interference)이 발생하게 되므로 OFDM/OQAM-IOTA 시스템 채널 추정을 위해서는 별도의 프리엠블 구조를 사용하여야 한다. 본 논문에서는 OFDM/OQAM-IOTA 시스템 채널 추정에 적합한 새로운 프리엠블 구조를 제안하고, 제안된 프리엠블을 사용하여 Ideal 채널 추정과 중저속 이동 환경에서의 Practical 채널 추정을 수행하여, 그 결과를 일반적인 OFDM/QAM 시스템의 성능과 비교 분석한다. 시뮬레이션 결과에 의하면, 제안된 프리엠블 구조를 사용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템이 FFT 크기의 1/4을 보호구간으로 사용하는 일반적인 OFDM/QAM 시스템보다 Target BER 10<sup>-3</sup>에서 1.5 dB 정도의 Eb/N0 이득이 있으며, 또한 25% 정도의 데이터 전송률 이득을 갖는다.

Key Words : IOTA Function, OFDM/OQAM-IOTA, Preamble Structure, Channel Estimation, Low-to-medium Speed

### ABSTRACT

OFDM/OQAM(Offset QAM)-IOTA system requires the IOTA(Isotropic Orthogonal Transform Algorithm) function that has superior localization property in time and frequency domain instead of guard interval used for conventional OFDM/QAM system to be robust to multipath channel. Therefore, OFDM/OQAM-IOTA system has more spectral efficiency than conventional OFDM/QAM system. But, when channel estimation scheme for conventional OFDM/QAM system is applied straightforwardly to OFDM/OQAM-IOTA system, an intrinsic Inter-Symbol-Interference is observed. So suitable preamble structure for the channel estimation scheme of OFDM/OQAM-IOTA system is required. In this paper, we propose a new preamble structure that is appropriate to OFDM/OQAM-IOTA system and then perform ideal channel estimation and practical channel estimation in low-to-medium mobile speed and compare them with conventional OFDM/QAM system. Simulation results show that OFDM/OQAM-IOTA system with proposed preamble structure has 1.5 dB Eb/N0 gain on Target BER 10<sup>-3</sup>

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10685-0) 지원으로 수행되었음.

\* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (krrhang@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-08-334, 접수일자 : 2005년 8월 16일

and about 25% transmission rate gain against the conventional OFDM/QAM system considering quarter of FFT size as guard interval size.

### I. 서론

일반적인 OFDM/QAM 시스템은 연속적인 심볼 사이에 보호구간을 삽입하여 ISI를 줄일 수 있으므로, 다중 경로 채널에 강한 특성을 갖는다. 하지만 보호구간 삽입으로 인하여 주파수 사용 효율이 떨어지는 단점이 있다. 이에 대한 대안으로 제안된 OFDM/OQAM-IOTA 시스템은 ISI 및 ICI를 줄이기 위하여 보호구간 대신 시간과 주파수 영역에서 우수한 Localization 특성을 갖는 IOTA 함수를 사용함으로써 FFT 크기의 1/4을 보호구간으로 사용하는 일반적인 OFDM/QAM 시스템에 비해 25% 정도의 데이터 전송률 이득을 갖는다.

본 논문에서는 2장에서 OFDM/OQAM 구조 및 특징<sup>[1,2]</sup>에 대하여 설명하고, 3장에서는 IOTA 함수<sup>[1-4]</sup> 및 OFDM/OQAM-IOTA 시스템<sup>[2,5]</sup>에 대하여 설명한다. 4장에서는 일반적인 OFDM/QAM 시스템에 사용된 채널 추정 방법을 변경 없이 OFDM/OQAM-IOTA 시스템에 사용할 때 발생하는 Intrinsic Interference<sup>[5]</sup>에 대하여 설명한 뒤에 OFDM/OQAM-IOTA 시스템 채널 추정에 적합한 Odd/Even Center 프리앰블 구조를 제안한다. 그리고 제안된 프리앰블 구조를 이용한 Ideal 채널 추정 방법<sup>[5]</sup>에 대해 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통해, 제안된 프리앰블 구조를 사용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 Ideal 채널 추정<sup>[5]</sup>과 중저속 이동 환경에서의 Practical 채널 추정<sup>[5]</sup>을 수행하여, 그 결과를 일반적인 OFDM/QAM 시스템의 성능과 비교 분석하며, 주요 간섭 요소로서 1-Tier 서브 캐리어를 고려하였을 경우와 2-Tier 서브 캐리어를 고려하였을 경우의 성능을 비교 분석한다. 그리고 6장에서 결론을 맺는다.

### II. OFDM/OQAM

일반적인 OFDM/QAM 시스템은 CP(Cyclic Prefix)라고 불리는 보호구간을 사용함으로써 다중경로 채널에서 발생하는 ISI를 감소시킬 수 있다. 하지만 보호구간은 데이터의 전송을 위해 사용되는 구간이 아니라 다중경로 채널에서 발생하는 간섭을 줄이기 위해 사용되는 Redundancy로서 주파수 사용 효율을 저하시키는 문제점이 있다. 보호 구간을 제거하여 주파수 사용 효율을 높이기 위해서는 각각의 서

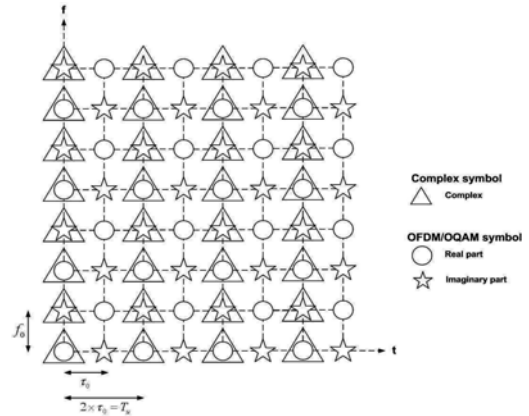


그림 1. OFDM/OQAM의 시간과 주파수 영역 구조  
Fig. 1. The structure of OFDM/OQAM in the time and frequency domain

브 캐리어들을 변조시키는 Prototype 함수가 ISI와 ICI를 줄일 수 있도록 각각 시간과 주파수 영역에서 우수한 Localization 특성을 가져야 하며, 서브 캐리어간의 직교성을 보장하여야 한다.

위와 같은 특성을 갖는 최적의 Prototype 함수는 실수에 대해서만 직교성을 유지 할 수 있으므로 그림 1과 같이 허수부의 위치를 반 심볼 주기만큼 이동시키는 OFDM/OQAM 시스템을 이용한다. 주파수 사용 효율을 높이기 위하여 보호구간 대신 Prototype 함수를 사용하는 OFDM/OQAM 시스템은 일반적인 OFDM/QAM 시스템과 같이 다중 경로 채널에 대해 강한 특성을 갖으면서, 주파수 사용 효율을 현저히 높일 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, OFDM/OQAM 시스템은 시간 영역에서  $\tau_0$  마다 하나의 실수 값을 가지며, 일반적인 OFDM/QAM 시스템은  $2\tau_0$  마다 하나의 복소수 값을 가진다. 그리고 두 방식의 주파수 영역의 서브 캐리어간의 간격은  $f_0$ 로 동일하다.

Prototype 함수를 이용한 OFDM/OQAM 시스템의 송신 신호는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{M-1} a_{m,n} i^{m+n} e^{(2i\pi m \Delta f t)} g(t - n\tau_0) \quad (1)$$

식 (1)에서  $a_{m,n}$ 은  $n^{th}$  심볼의  $m^{th}$  서브 캐리어에 실리는 OQAM 데이터,  $M$ 은 서브 캐리어의 수,  $\Delta f$ 는 서브 캐리어 간격,  $\tau_0$ 는 OFDM/OQAM 심볼

주기, 그리고  $g(t)$ 는 보호구간 대신 사용되는 Prototype 함수를 나타낸다.

### III. OFDM/OQAM-IOTA 시스템

#### 3.1 IOTA 함수

IOTA 함수는 Gaussian 함수에 대해 시간과 주파수 영역에서의 직교화 과정을 거쳐 얻어진 함수로서, 시간과 주파수 영역에서 좋은 Localization 특성을 갖는다. 이와 같은 특성으로 인해, OFDM/OQAM 시스템의 서브 캐리어들을 변조시키는 Prototype 함수로서 IOTA 함수를 사용하며, IOTA 함수를 사용하는 OFDM/OQAM 시스템은 OFDM/OQAM-IOTA로 표현된다. IOTA 함수를 얻기 위한 Gaussian 함수에 대한 직교화 과정이 식 (2), (3)에 나타나 있다. 식 (2)는 시간 영역에서의 직교화 과정을 보여주고, 식 (3)은 주파수 영역에서의 직교화 과정을 보여준다.

$$O_f G_{auss}(f) = \frac{G_{auss}(f)}{\sqrt{v_0 \sum_k \| G_{auss}(f - kv_0) \|^2}} \quad (2)$$

$$O_f G_{auss}(t) = \frac{G_{auss}(t)}{\sqrt{\tau_0 \sum_k \| x(t - k\tau_0) \|^2}} \quad (3)$$

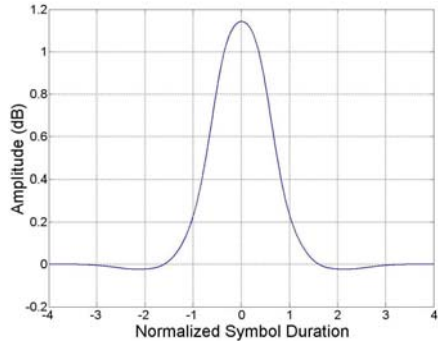
IOTA 함수는  $\gamma = O_f O_t G_{auss}$ 로 표현된다. 따라서 Prototype 함수로 IOTA 함수를 사용함에 따라 식 (1)은 다시 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = \sum_n \sum_0^{M-1} a_{m,n} \text{BRACE} \gamma_{m,n}(t) i^{m+n} e^{(2i\pi m \Delta f)t} \gamma(t - n\tau_0) \quad (4)$$

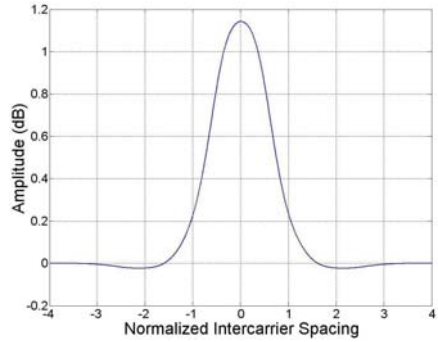
시간과 주파수 영역에서 얻어진 IOTA 함수간의 직교성이 성립되기 위해서는 식 (5)를 만족시켜야 한다.

$$Re \left( \int_R \gamma_{m,n}(t) \gamma_{m',n'}^*(t) dt \right) = \delta_{m,m'} \delta_{n,n'} \quad (5)$$

그림 2는 IOTA 함수의 시간과 주파수 영역에서의 우수한 Localization 특성을 보여주는 그림으로서 시간과 주파수 영역에서의 임펄스 응답이 서로 같은 형태를 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 IOTA 함수의 서브 캐리어간의 직교성을 보여주는 그림으로서, IOTA 함수의 주파수 응답이 Rectangular 함수의 주파수 응답과 비교 되어 있다.



(a) 시간 축.  
(a) Time axis.

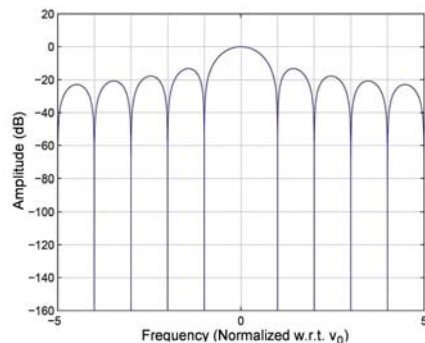


(b) 주파수 축.  
(b) Frequency axis.

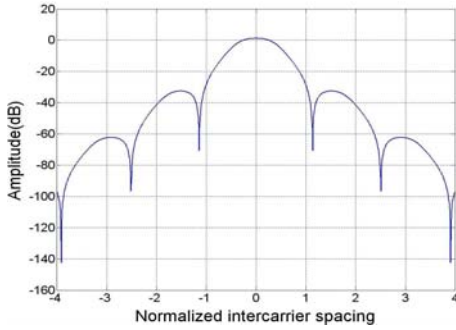
그림 2. IOTA 함수의 임펄스 응답  
Fig. 2. The impulse response of IOTA function

그림 3에서 알 수 있듯이 IOTA 함수의 side-lobe의 감소하는 정도가 Rectangular 함수의 side-lobe가 감소하는 정도에 비해 매우 커서 인접 서브캐리어에

보다 적은 간섭을 유발 시키는 것을 알 수 있다.



(a) Rectangular 함수  
(a) Rectangular Function



(b) IOTA 함수  
(b) IOTA Function

그림 3. Rectangular 함수와 IOTA 함수의 주파수 응답  
Fig. 3. The frequency response of rectangular function and IOTA function.

### 3.2 OFDM/OQAM-IOTA 시스템

IOTA 함수  $\mathcal{J}(t)$ 는  $[-\infty, \infty]$ 에서 정의된다. 하지만 좋은 Localization 특성으로 인하여, 실제적으로는  $[-L \cdot \tau_0, L \cdot \tau_0]$ 의 범위로 제한할 수 있다. 일반적인 시스템의 경우, 복잡도를 줄이기 위해  $L=4$ 를 주로 사용하며, 이는 IOTA 함수  $\mathcal{J}(t)$ 가  $4 \times N$ 의 필터 길이를 가짐을 의미한다. 여기서  $N$ 은 FFT의 크기를 나타낸다. 그리고 필터링은 Polyphase 필터를 통해 수행된다. 필터링을 수행하기 위해서는 균일 간격으로 떨어진  $\mathcal{J}(t)$ 의  $\frac{1}{2} \times N \times 2L = 2ML$ 개의 필터 계수들을 계산한다. 각각  $M$ 개의 Polyphase branch는  $2L$ 개의 필터 계수를 가진다. OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 블록 다이어그램이 그림 4에 나타나 있으며, 송신단의 IFFT 다음과 수신단의 FFT 이전에 일반적인 OFDM/QAM 시스템과는 달리 IOTA 함수가 있음을 알 수 있다. IFFT 다음에 IOTA 함수를 통과한 송신 신호는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$S_{kM+i} = \sum_{q=0}^{L-1} (C_{i, k-2q} \cdot \mathcal{J}_{2qM+i} + C_{i+M, k-(2q+1)} \cdot \mathcal{J}_{(2q+1)M+i}) \quad (6)$$

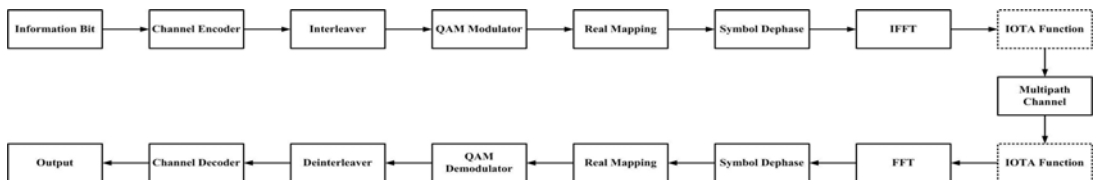


그림 4. OFDM/OQAM-IOTA 시스템 블록 다이어그램.  
Fig. 4. OFDM/OQAM-IOTA System Block Diagram.

수신단에서는 FFT 이전에 송신단과 같은 IOTA 함수를 사용함으로써 수신 신호는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$R_{i,j} = \sum_{q=0}^{L-1} S_{i+jM+2qM} \mathcal{J}_{i+2qM} \quad (7)$$

## IV. OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 채널 추정을 위해 제안된 Odd/Even Center 프리앰블 구조

### 4.1 Intrinsic Interference

Frequency selective 채널을 통과하여 수신된 OFDM/OQAM-IOTA 신호는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{M-1} H_{m,n} a_{m,n} \mathcal{J}_{m,n}(t) + b(t) \quad (8)$$

$(m, n)$ 은  $n$ th 심볼의  $m$ th 서브 캐리어를 나타낸다.  $H_{m,n}$ 은 채널 이득,  $a_{m,n}$ 은 OQAM 데이터,  $\mathcal{J}(t)$ 는 IOTA 함수, 그리고  $b(t)$ 는 AWGN을 나타낸다. 일반적인 OFDM/QAM 시스템 채널 추정 방식은 식 (9)와 같다.

$$\hat{H}_{m_0, n_0} = \frac{\int r(t) \mathcal{J}_{m_0, n_0}^*(t) dt}{a_{m_0, n_0}} \quad (9)$$

하지만 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 경우, 식 (9)와 같은 방법으로 채널 추정을 수행할 경우 Intrinsic Interference에 의하여 좋은 성능을 보장할 수가 없다. Intrinsic Interference를 수식적으로 나타내기 위하여 채널이 Ideal하여 송신 신호와 수신 신호가 같다고 가정하면, Intrinsic Interference를 식 (10)에서 확인할 수 있다.

식 (10)의 아랫줄 오른쪽 요소가 Intrinsic Interference에 해당하며, 실수 값은 0이다. 이 값은 IOTA 함수가 실수 값에 대해서만 직교성을 유지하

$$\int s(t) \tau_{m_0, n_0}^* (t) dt = \tag{10}$$

$$a_{m_0, n_0} + BRACEI_{m_0, n_0} \in iR \sum_{(m, n) \in \Omega_{m_0, n_0}} a_{m, n} \int \tau_{m, n} \tau_{m_0, n_0}^*$$

기 때문에 발생하는 Interference이다.

Prototype 함수의 Localization 특성이 좋을 경우, 주요 간섭 요소를 그림 5와 같이 가장 인접한 서브 캐리어로부터 오는 간섭량의 합으로 나타낼 수 있으며, 식 (11)과 같이 표현 할 수 있다.

$$I_{m_0, n_0} = C_{m_0, n_0}^1 + D_{m_0, n_0} \tag{11}$$

where  $C_{m_0, n_0}^1 = \sum_{(m, n) \in \Omega_{m_0, n_0}} a_{m, n} \int \tau_{m, n} \tau_{m_0, n_0}^*$

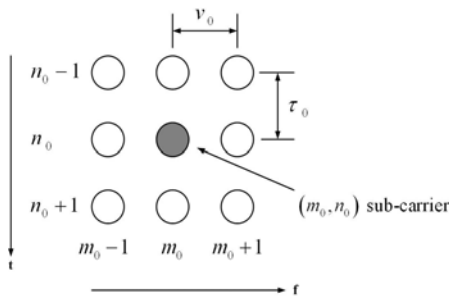


그림 5. 1st neighbor 서브 캐리어  
Fig. 5. 1st neighbor subcarriers

여기서  $\Omega_{m_0, n_0}^1$  는  $n_0^{th}$  심볼  $m_0^{th}$  서브 캐리어와 가장 인접한 1-Tier 서브 캐리어들의 인덱스를 나타낸다. 따라서 가장 인접한 8개의 서브 캐리어들로부터 오는 간섭량의 합은  $C_{m_0, n_0}^1$  이다.

#### 4.2 Intrinsic Interference의 감소를 위하여 제안된 프리앰블 구조

만약 인접한 2개의 서브 캐리어와 인접한 3개의 OFDM/OQAM 심볼에 대하여 채널이 각각 동일하다고 가정하면, 수신 신호는 식 (12)와 같이 표현된다.

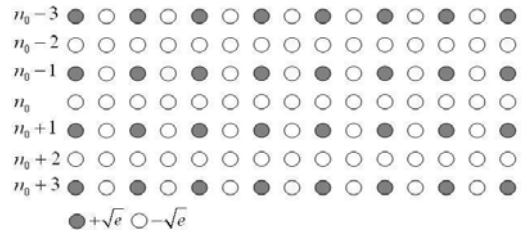
$$\int r \tau_{m_0, n_0}^* \approx H_{m_0, n_0} a_{m_0, n_0} + H_{m_0, n_0} C_{m_0, n_0}^1 + D_{m_0, n_0}^{actual} + b_{m_0, n_0} \tag{12}$$

따라서, Intrinsic Interference  $C_{m_0, n_0}^1$  를 0이 되도록 하여 채널 추정을 정확하게 수행하기 위해서는 OFDM/OQAM-IOTA 시스템에 적합한 프리앰블 구

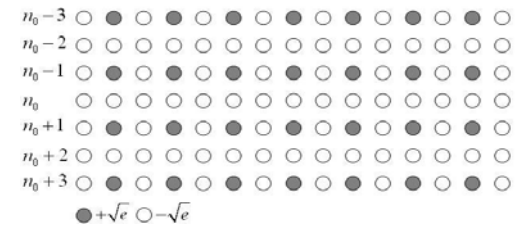
조가 필요하다. 또한,  $C_{m_0, n_0}^1$  이 0이 되도록 하기 위해서는 프리앰블 구조가 식 (13)을 만족시켜야 한다.

$$\alpha \left\{ (a_{m_0+1, n_0} - a_{m_0-1, n_0}) + (-1)^{n_0} (a_{m_0, n_0+1} - a_{m_0, n_0-1}) \right\} - \beta \left\{ (a_{m_0+1, n_0+1} + a_{m_0-1, n_0+1}) + (a_{m_0+1, n_0-1} + a_{m_0-1, n_0-1}) \right\} = 0 \tag{13}$$

with  $\begin{cases} \alpha = A_g(\tau_0, 0) \\ \beta = A_g(\tau_0, v_0) \end{cases}$



(a) 홀수 Center 프리앰블 구조  
(a) Odd Center Preamble Structure.



(b) 짝수 Center 프리앰블 구조  
(b) Even Center Preamble Structure.

그림 6. Intrinsic Interference의 감소를 위하여 제안된 프리앰블 구조

Fig. 6. The proposed preamble structure to reduce Intrinsic Interference

식 (13)을 만족시키면서, 정확한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템 채널 추정을 위해 제안된 프리앰블 구조가 그림 6에 나타나있다. 제안된 프리앰블은 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 채널 추정을 위해 사용된 기존의 프리앰블<sup>[5]</sup>에 비해 구조적으로 간단한 특성을 갖는다.

Ideal 채널 추정은 그림 7의 채널 추정 구조에 제안된 프리앰블 구조를 적용하여 이루어진다. 여기서 홀수 프리앰블과 짝수 프리앰블은 각각 홀수 번째 데이터 심볼 그리고 짝수 번째 데이터 심볼의

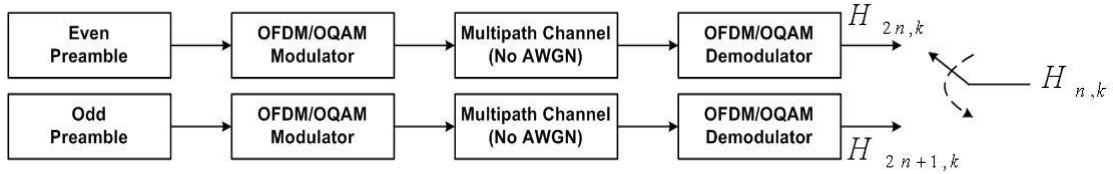


그림 7. 프리앰블을 기반으로 하는 Ideal OFDM/OQAM-IOTA 채널 추정 구조.  
Fig. 7. Ideal channel estimation scheme of OFDM/OQAM-IOTA based on preamble.

채널 추정을 위해 사용된다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

본 장에서는 제안된 프리앰블 구조를 적용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 성능을 시뮬레이션결과를 통해 보여준다. 시뮬레이션은 Ideal 채널 추정과 중저속 이동 환경에서의 Practical 채널 추정에 대하여 수행되었으며 중저속 이동 환경에서는 보호구간을 사용하는 일반적인 OFDM/QAM 시스템과 성능을 비교 분석하였다. 또한 주요 간섭요소로서 1-Tier 서브캐리어를 고려하였을 경우와 2-Tier 서브캐리어를 고려하였을 경우의 성능을 비교 분석 한다. 시뮬레이션에 사용된 변수들을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 기본적인 변수.  
Table 1. Fundamental simulation parameters.

Parameters	Values
Carrier frequency	2.4 GHz
Sampling frequency	7.68 MHz
Vehicle speed	10 km/h
Channel model	ITU-R M.1225 Ped A
Modulation	QPSK/OQPSK
FFT size	512
Guard Interval	128
Prototype Function	IOTA Function
Channel Coding	Uncoded
Channel Estimation	Ideal / Practical

#### 5.1 Ideal 채널 추정

Ideal 채널 추정은 제안된 프리앰블 구조의 홀수 Center 프리앰블과 짝수 Center 프리앰블을 이용하여 4장에서 언급된 그림 7의 과정을 통해 수행되었다. 그림 8은 제안된 Odd/Even Center 프리앰블 구조를 이용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 Ideal 채널 추정 결과를 보여주고 있으며, QPSK의 이론치와 유사함을 알 수 있다.

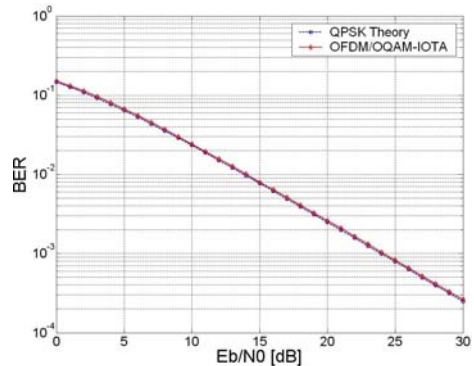
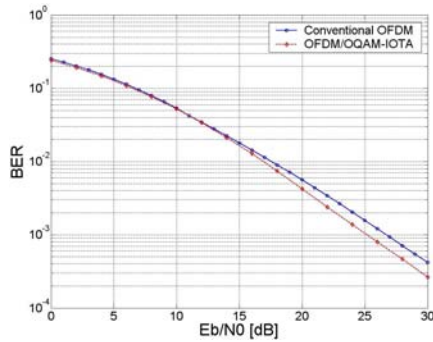


그림 8. OFDM/OQAM-IOTA 시스템에서의 Ideal 채널 추정 성능  
Fig. 8. Performance of Ideal Channel Estimation of OFDM/OQAM-IOTA System

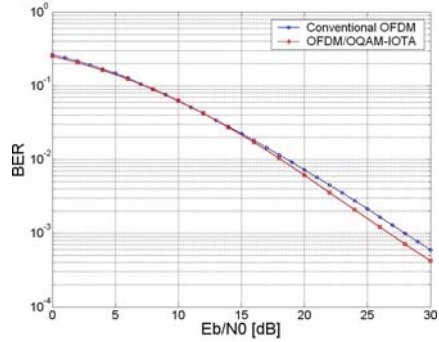
#### 5.2 중저속 이동 환경에서의 Practical 채널 추정

Practical 채널 추정은 제안된 프리앰블 구조를 이용하여 중저속 이동 환경에서 1-Path와 4-Path에 대해서 수행하였다.

그림 9는 1-Path 와 4-Path Rayleigh Fading 환경에서 주요 간섭 요소로서 1-Tier 서브 캐리어를 고려한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템과 일반적인 OFDM/QAM 시스템의 BER 성능을 시뮬레이션을 통하여 보여주고 있다. Target BER  $10^{-3}$ 에서 볼 경우, 제안된 프리앰블 구조를 적용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템이 일반적인 OFDM/QAM 시스템에 비해 1-Path Rayleigh Fading 환경에서는 약 1.5 dB 정도의  $E_b/N_0$  이득이 있으며, 4-Path Rayleigh Fading 환경에서는 약 1.4 dB 정도의  $E_b/N_0$  이득이 있음을 알 수 있다. 이는 OFDM/OQAM-IOTA 시스템이 보호 구간 대신 Prototype 함수로 IOTA 함수를 사용함에 따라 OFDM/QAM 시스템보다 도플러에 의한 ICI에 더 강한 특성을 갖기 때문이다. 또한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템은 보호 구간을 사용하지 않으므로, FFT 크기의 1/4을 보호 구간으로 사용하는 일반적인 OFDM/QAM 시스템에 비해서 25% 정도의 데이터 전송률 이득이 있다.

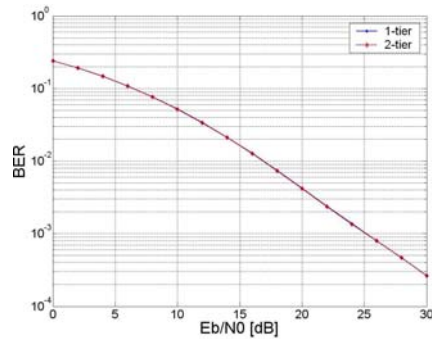


(a) 1-Path Rayleigh Fading 환경  
(a) 1-Path Rayleigh Fading Environment

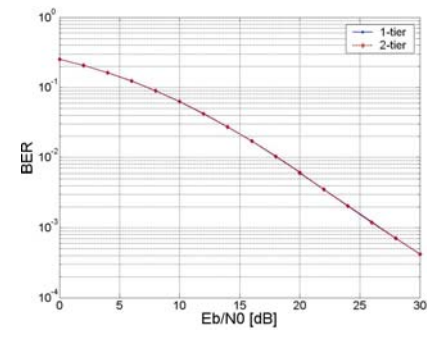


(b) 4-Path Rayleigh Fading 환경  
(b) 4-Path Rayleigh Fading Environment

그림 9. 1-Tier 서브 캐리어를 고려한 OFDM/OQAM-IOTA와 OFDM/QAM 의 BER 성능  
Fig. 9. BER Performance of OFDM/OQAM-IOTA considering 1-tier subcarriers vs. OFDM/QAM



(a) 1-Path Rayleigh Fading 환경.  
(a) 1-Path Rayleigh Fading Environment.



(b) 4-Path Rayleigh Fading 환경.  
(b) 4-Path Rayleigh Fading Environment.

그림 10. 1-tier 및 2-tier 서브 캐리어 고려에 따른 OFDM/ OQAM-IOTA의 BER 성능  
Fig. 10. BER Performance of OFDM/OQAM-IOTA with 1-tier and 2-tier subcarriers

그림 10은 제안된 프리앰블 구조를 이용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템이 주된 간섭요소로서 1-Tier 서브 캐리어를 고려하였을 경우와, 2-Tier 서브 캐리어를 고려하였을 경우의 BER 성능을 1-Path와 4-Path Rayleigh Fading 환경에서 보여주고 있다. 그림 10에서 1-Tier 서브 캐리어를 고려하였을 경우와 2-Tier 서브 캐리어를 고려한 두 경우의 결과가 거의 유사함을 알 수 있다. 이는 IOTA 함수의 우수한 Localization 특성으로 인해 주요 간섭 요소로서 가장 인접한 1-Tier 서브 캐리어만을 고려하는 것이 가능하기 때문이다.

## VI. 결론

본 논문에서는 OFDM/OQAM-IOTA 시스템 채널 추정에 적합한 프리앰블 구조를 제안하고, 이를 이용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템의 Ideal 채널

추정 및 중저속 이동 환경에서의 Practical 채널 추정의 결과를 시뮬레이션을 통하여 보여주었으며, 그 결과를 일반적인 OFDM/QAM 시스템의 성능과 비교 분석 하였다.

시뮬레이션 결과를 통해, 제안된 프리앰블 구조를 이용한 OFDM/OQAM-IOTA 시스템이 1-Path와 4-Path Rayleigh Fading 환경에서 일반적인 OFDM/QAM 시스템보다 Target BER  $10^{-3}$ 에서 각각 1.5 dB, 1.4 dB의  $E_b/N_0$  이득이 있음을 알 수 있다. 또한 보호 구간을 사용하지 않기 때문에, 데이터 전송률에 있어서 보호구간에 해당되는 25% 정도의 이득이 있음을 알 수 있다.

## 참고 문헌

[1] 3GPP TSG-RAN-1 Meeting #31, "Technical description of the OFDM/ IOTA modulation,"

Feb. 2003.

- [2] 주 효, 허 주, 장경희, "OFDM/OQAM-IOTA 시스템," *한국항행학회 논문지*, 8권 2호, pp. 120-128, 2004. 12.
- [3] K. H. Chang and X.D. Lin, "Wavelet-based multi-carrier CDMA for personal communication systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 3, May. 1996, pp. 1443-1446.
- [4] P. Siohan and C. Roche, "Derivation of extended Gaussian functions based on the Zak transform," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 11, pp. 401-403, Mar. 2004.
- [5] D. Lacroix and J. P. Javaudin, "A new channel estimation method for OFDM/OQAM," in *Proc. of 7th Int. OFDM Workshop*, Sep. 2002.

강 승 원 (SeungWon Kang) 준회원



2005년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
 2005년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정  
 <관심분야> 4세대 이동통신 무선전송방식, WiBro, Wavelet-based OFDM 시스템, Turbo

Equalizer

허 주 (Joo Heo) 준회원



2002년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
 2004년 2월 인하대학교 전자공학과(공학석사)  
 2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정  
 <관심분야> 4세대 이동통신 무선전송방식, Smart Antenna and MIMO, Radio Resource Management, Cross-layer Design

장 경 희 (KyungHi Chang) 종신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)  
 1987년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
 1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept.(Ph.D.)  
 1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원

1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장(책임연구원)  
 2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
 <관심분야> 4세대 이동통신 무선전송방식, WRAN 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design