

論文2003-40TC-10-13

Fixed bias를 가지는 4-D Multiple-Subcarrier 신호를 이용한 Optical Wireless 통신의 평균 전력 절감에 관한 연구

(Fixed Biased 4-D Multiple-Subcarrier Signal for Average Power Reduction in Optical Wireless Communication)

金海根 *

(Hae Geun Kim)

요약

기존의 Multiple-Subcarrier 변조 방식에 4-차원(4-D)신호를 이용한 Optical Wireless 통신 방식을 제안하였다. 4-D 신호는 신호파형 최적화 기술 (OSW, Optimization Technique of Signal Waveforms)을 이용하여 유도하고 Multiple-Subcarrier의 block coder에 적용함으로써 출력 신호점 간의 Euclidean distance를 최대화 하였다. 그 결과 고정 dc 바이어스를 부가한 상태에서 시스템에서 요구되는 Normalized power를 QPSK에 비해 3 dB, Reserved Subcarrier 나 Minimum Power에 비해 최대 3.3 dB 를 각각 절감하였고 normalized bandwidth 1.125 ~ 1.25의 범위에서 QPSK에 비해 평균 3 dB, Res. Subcarrier 방식에 비해 2 ~ 4 dB, Min. Power 방식에 비해 0 ~ 3 dB를 각각 절감하였다.

Abstract

We have proposed the 4-Dimensional Multiple-Subcarrier Modulation with fixed bias in Optical Wireless Communications. Here, the 4-D signal vectors are derived from the optimization technique of signal waveforms maximizing the minimum distance between signal points in an n-dimensional Euclidean sphere. The resulting vectors are used in generating the output amplitude of impulse generator in a Multiple-Subcarrier Modulation scheme. We have achieved that the normalized power requirement of the proposed system is maximum 3 dB and 3.3 dB smaller than those of normal QPSK, Reserved Subcarrier, and Minimum Power scheme, respectively. Also, in the range of 1.125 ~ 1.25 of the normalized bandwidth, the proposed system has maximum 3 dB, 2 ~ 4 dB, 0 ~ 3 dB smaller bandwidth requirement compare to normal QPSK, Res. Subcarrier, Min. Power schemes, respectively.

Keywords : Multiple-subcarrier modulation(MSM), Optical wireless communication, Intensity modulation

* 正會員, 大邱가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부

(School of Computer and Information Communication,
Catholic University of Daegu)

※ 본 연구는 2003학년도 대구가톨릭대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음에 감사 드립니다

接受日字:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

I. 개요

Optical wireless 통신 시스템은 대내 무선 통신용으로 매우 적합한 방식으로써 RF방식에 비하여 Data의 전송속도, 대역폭, 인접 채널과의 간섭 등의 전송특성에서 확연하게 유리한 방식으로써 현재 활발히 연구가 진행되고 있다^{1)~3)}. Optical wireless 통신에서는 광 신호를

변조하기 위하여 intensity modulation / direct modulation (IM/DD) 방식을 시스템 구현이 간편한 관계로 널리 이용되고 있으나, 맥내 주변의 빛에 의하여 광 검출기에서의 잡음과 multipath dispersion에 의한 intersymbol interference (ISI)가 나타나는 단점이 있다^[3]. Multiple-subcarrier modulation (MSM) 방식은 기존의 고속의 정보 전송이 가능하고 주파수분할방식(FDM)을 이용하여 다수의 subcarrier를 각 user별로 싹게 할당할 수 있어 현재 매우 활발히 연구되고 있다.

전기적 신호로 광 신호로 변조하기 위해서는 양의 값을 가지는 신호만이 요구되는데 전기적 MSM 신호는 sine 및 cosine 신호의 조합이므로 음의 값을 가지는 신호가 존재한다. 따라서 dc 바이어스 신호를 전기적 MSM 신호에 부가하여 변조된 광 신호의 intensity를 변조 시켜야 한다. 또한 subcarrier의 수가 증가할수록 전기적 MSM신호의 음의 신호 레벨은 더욱 낮아지므로 보다 큰 dc 바이어스 값이 필요하다. 그러므로 평균 광 전력의 효율을 높이기 위해서는 dc 바이어스 값의 극소화가 요구된다^[2].

바이어스 방법에는 두 가지로써 시간에 관계없이 항상 일정한 상수 전압을 가지는 고정 바이어스(fixed bias)와 시간에 따라 전압이 변화시켜주는 시간변화 바이어스(time-varying bias)가 있다. 고정 바이어스는 심볼 주기별로 신호 레벨의 최소치를 계산하지 않아도 되므로 시스템 설계가 매우 간단하며 dc 전류를 고정적으로 부가하기 때문에 안정된 시스템 구현이 가능하다. 시간변화 바이어스의 경우 심볼 단위로 바이어스를 변화시켜 부가함으로써 광 전송 power가 절감되어 고정 바이어스보다 시스템의 성능을 높일 수 있다. 그러나 초고속 RF 신호의 전송 시 짧은 시간 동안 dc의 레벨을 계산하여 변화시켜주어야 하기 때문에 시스템의 복잡도가 높아진다.

본 논문에서 제안된 4-D MSM 신호는 모든 symbol들이 동일 에너지를 가지는 신호 좌표를 가지도록 유도하였고, orthogonal 변조 방식이므로 광 채널 뿐만 아니라 위성 통신 시스템 등 비 선형소자를 사용하는 통신 시스템의 다중화에 적합하다. 4-D신호를 발생시키기 위해 [6]의 기술을 이용하여 4-D 구 표면에 존재하는 16개의 신호 점들간의 MED (Minimum Euclidean distance)가 최대가 되는 좌표들을 산출하고, 4-D MSM 시스템의 Block Coder에 적용하여 subcarrier의 수를 줄이거나 코딩 시스템을 채용하지 않고도 시스템에서 요

구되는 normalized power를 절감하고, 밴드폭을 효과적으로 사용할 수 있는 시스템을 제안 하였다.

II장에서는 IM/DD방식의 옥내 optical wireless 채널을 정의하고, III 장에서는 4-D orthogonal 변조를 이용한 MSM 신호의 송신부와 수신부 설계를 하였다. IV 장에서 OSW기술의 원리를 소개하고 이를 이용하여 4 차원(4-D) 공간에 존재하는 신호 점들에 대하여 minimum distance를 가지는 4-D벡터들을 유도하였다. 또한 V 장에서는 유도된 4-D벡터를 이용하여 symbol 수 $M = 16$ 인 MSM 변조기들을 설계하고 QPSK 방식과 normalized power requirement와 normalized bandwidth requirement를 각각 비교하고 VI 장에서 결론을 맺었다.

II. IM/DD Optical 채널 모델

Impulse response $h(t)$ 를 가지는 IM/DD방식의 옥내 optical wireless 채널에서의 수신 광전류(photocurrent), $y(t)$,는 다음과 같이 정의된다^[3].

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} rx(\tau)h(t-\tau)d\tau + n(t) \quad (1)$$

여기서 r 은 photodetector의 responsivity, $n(t)$ 는 수신기의 thermal noise 및 주변 광으로 인한 shot noise, $x(t)$ 는 전송 optical intensity를 각각 나타낸다. $x(t)$ 는 반드시 양의 값을 가지며, 평균 optical power는 $x(t)$ 의 mean 값으로 나타낸다. 전기적신호의 경우 평균 전력 값은 $x^2(t)$ 의 평균(mean)값으로 나타내는 경우와 대비된다. 또한 IM/DD방식의 optical wireless 채널에서는 수신기의 열 잡음(thermal noise) 및 주변 광 shot noise는 양방향 스펙트럼(two-sided power spectra density)를 가지며 전송 광신호와 통계적 독립(statistically independent)한 백색잡음(white Gaussian noise)으로 정의된다. 따라서 본 연구에서는 Optical Wireless 채널을 분석하기 위하여 위의 잡음 특성을 가지며 전송 dispersion은 무시한다고 가정할 경우의 MSM 신호를 분석하고 그 결과를 나타내었다.

III. 4-D MSM 변조 시스템

<그림 1>에서는 4-D MSM system의 송수신부를 나타내고 있다. <그림 1(a)> 송신부에서는 입력 정보 비

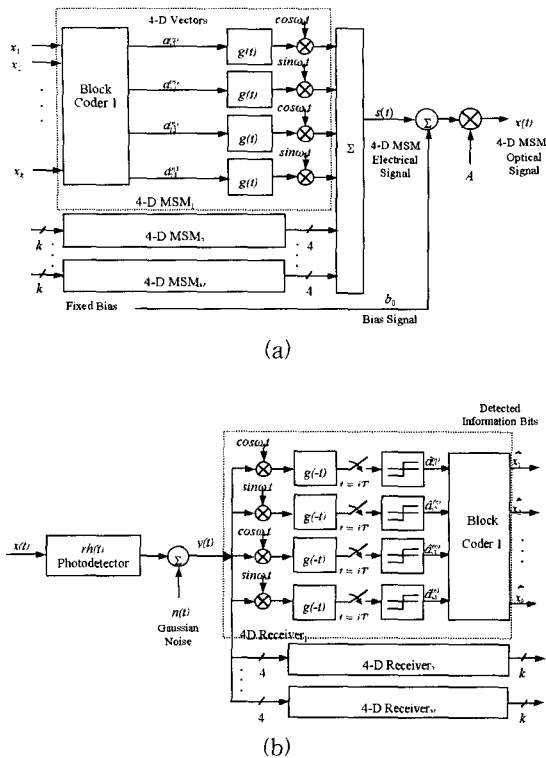


그림 1. 4-차원 직교변조를 이용한 MSM(Multiple-Subcarrier Modulation)시스템의 (a) 송신부와 (b)수신부 블록도

Fig. 1. MSM (MultipleSubcarrier Modulation) system : (a) transmitter and (b) receiver with 4-D orthogonal modulation scheme where $n = 1, 2, \dots, N$.

트, x_1, x_2, \dots, x_k , 가 n 번째, $n = 1, 2, \dots, N$, MSM에 입력되면 해당 block coder에서 4-D 벡터로 변환되며 4개의 orthogonal 신호에 의해 전기적 4-D MSM 신호로 변조된다. 시스템 전체의 4-D MSM수는 N 이므로 총 subcarrier 수는 $4N$ 이며 신호의 주기, T sec, 동안 Nk bit를 전송한다. n 번째 4-D MSM 의 i 번째 symbol을 $A_i^{(n)} = (a_{i1}^{(n)}, a_{i2}^{(n)}, a_{i3}^{(n)}, a_{i4}^{(n)})$, $i \in \{1, \dots, M\}$, 로 표현하면 단위 MSM별 신호 심벌의 수는 $M = 2^k$ 이므로 <그림 1(a)>의 전기적 4-D MSM신호 $s(t)$ 는 다음과 식과 같이 표현된다.

$$s(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N [a_{1i}^{(n)} \cos \omega_{1n} t + a_{2i}^{(n)} \sin \omega_{1n} t + a_{3i}^{(n)} \cos \omega_{2n} t + a_{4i}^{(n)} \sin \omega_{2n} t] g(t - jT) \quad (2)$$

여기에서 $g(t)$ 는 구형 (rectangular) 펄스로서 $0 = t < T$ 경우 $g(t) = 1$ 이며, 나머지 시간대에서는 0 이다. IM/DD 광시스템에서는 구형 펄스를 주로 사용하는데 이는 높은 평균 power 효율을 제공하며, block coder 디자인을 용이하게 하며 시스템에서 요구되는 전송 전력 (power)를 최소화 해주는 장점이 있다^[4].

전기적 MSM 신호는 싸인 및 코싸인 성분이 합성된 파형으로써 음의 전압 값이 항상 포함되므로 광신호로 직접 변조하기에는 적합하지 않다. 따라서 전송부에서는 이러한 음의 전압 값을 0 volt 이상으로 올려주기 위하여 baseband 신호대의 양의 값을 가지는 바이어스를 추가하여야 한다. 따라서 바이어스 신호 $b(t)$ 를 포함하며 광 변조된 MSM optical 신호는 $x(t) = A[s(t) + b(t)] \geq 0$ 이며 평균 optical power는 $P = AE[s(t)] + AE[b(t)]$ 이다. 여기에서 A 는 양의 값을 가지는 scale factor, $E[x]$ 는 x 의 mean 값을 나타낸다. 구형 펄스 파형과 직교 subcarrier 주파수 $\omega_n = n(2\pi/T)$ 를 고려할 때, $E[s(t)] = 0$ 이므로 optical power는 바이어스 신호에만 비례한다. 따라서 MSM신호의 평균optical power는 $P = AE[s(t)]$ 이다^[2].

바이어스 전압 값을 적절히 선택할 경우 평균 optical power를 감소시킬 수 있다. 바이어스 방법에는 두 가지 로써 시간에 관계없이 항상 일정한 상수 전압을 가지는 고정 바이어스와 시간에 따라 전압이 변화시켜주는 시간변환 바이어스가 있다. 고정 바이어스는 간단히 전기적 MSM 신호파형의 최저값(음의 값) 을 취하면 되므로 $b_0 = -\min s(t)$ 로써, 평균 optical power $P = Ab_0$ 로 나타난다. 시간변환 바이어스는 전기적 MSM신호의 최저 값을 주기 T sec 별로 측정하여 다른 바이어스 값을 가지는 방식이다. 따라서 주기별 적절한 dc 전압 값을 조정해 준다면, 일반적으로 시간변환 바이어스의 평균 optical power는 고정 바이어스의 평균 optical power보다 작은 값을 가진다.

IV. Optical Wireless MSM신호 발생을 위한 4-D Block Code

1. Block code의 소개

Optical Wireless MSM 시스템의 전력 효율을 높이기 위하여 block coder를 사용하고 있으며, 현재까지 몇 가지의 방식들이 제안 되었다^[2]. Normal block code는 일반적으로 N 개의 subcarrier로써 k bit를 전송 시

QPSK변조의 경우 $k = 2N$, $M = 2^{2N}$ 의 관계를 가진다. 정보bit는 패턴 별로 해당 symbol의 진폭을 가지며 상호 독립적으로 mapping되며 수신부에서도 해당 신호 심벌을 송신부에서의 패턴과 동일하게 검출할 수 있게 한다.

Reserved-subcarrier block code는 전기적 MSM 신호의 최저 값을 최대화하여 L 개의 subcarrier를 줄여(reserve) 줌으로써 $s(t)$ 신호의 평균 optical power를 최소화하는 방식으로써, QPSK변조의 경우, L 을 reserve된 subcarrier 수라 할 때 $k = 2(N-L)$, $M = 2^{2(N-L)}$ 의 관계를 가진다. reserve 되지 않은 정보 신호 벡터의 진폭을 임의로 지정하고 reserve 된 subcarrier의 신호 진폭을 결정하여 줌으로써 주어진 심볼 주기내에서 심볼 신호의 진폭을 최대화 할 수 방식이다.

Minimum-power block code의 경우 전기적 MSM 신호의 최저 값을 최대화 하기위해 $L \geq 0$ 으로 reserve된 subcarrier의 수는 고정된 값을 가지지 않고 QPSK 변조의 경우 Reserved-subcarrier와 동일하게 $k = 2(N-L)$, $M = 2^{2(N-L)}$ 의 관계를 가진다. 주어진 N 과 L 값에서 시스템에서 요구하는 평균 광 전력은 항상 최저치의 나타내는 방식이다.

본 논문에서는 위에서 소개된 3가지 방식에 대한 normalized power requirement와 normalized bandwidth requirement에 대한 수치해석(numerical analysis)의 결과를 아래의 4-D block coder를 사용한 MSM 방식의 결과와 각각 비교하였다. 논문 [2]의 결과에서는 고정 바이어스와 시간변환 바이어스의 경우 모두를 나타내었으나, 여기에서는 고정 바이어스의 경우 만 비교하였고 시간변환 바이어스에 대한 연구는 향후에 그 결과를 도출하기로 하고자 한다.

2. 4-D Block code의 유도

이 섹션에서는 제안된 시스템에서 4-D MSM 신호를 발생을 위한 block coder로 활용하기 위하여 4-D구 표면에 위치하는 신호 점들의 MED (Minimum Euclidean-Distance)를 최대화 하는 (Optimization of Signal Waveforms) 기술^[6]의 원리와 프로그래밍 방법에 대하여 설명하며 그 수행 결과를 나타내었다.

OSW 기술은 n -D구 표면에 임의의 위치에 존재하는 입자들이 에너지 보존장에 의해 활성화되어 이동함으로써 결국 각각의 신호는 상호 동일 distance를 가지는 symmetry상태를 유지한다. 본 섹션에서는 심볼 상호간 MED를 가지는 a_{ij} 계수들을 유도하기 위하여 사용된

OSW기술의 원리 및 수행 결과 대하여 언급 하였다.

가. n -D Euclidean구면 상의 신호점

<그림 1>에서 언급된 A_i 심벌들은 동일 에너지를 가지기 때문에 반지름이 $\sqrt{E/T}$ 인 n -D Euclidean 공간의 구 표면의 점들로 간주할 수 있다. 이러한 신호 점들이 에너지 보존장 내의 n -D 구 표면상에 위치하는 입자들이라고 하자. 이 입자들은 에너지 장에 의해 활성화되어 이동 함으로써 결국에는 시스템 전체 포텐셜이 local minimum에 이르게된다. 여기에서 시스템 포텐셜을 시스템 오류율(error rate)이라 간주할 때 우리는 이 오류율을 local minimum화 할 수 있다.

시스템 포텐셜이 거의 steady state상태에 이르렀을 때 n -D구 표면상의 입자의 좌표들은 오류율에서의 local minimum을 제공하는 a_{ij} 계수가 된다. 전송 신호 $A_i(t)$ 는 주기 T 시간 내에서 2^m 개의 신호들 중 하나이므로 각각의 $A_i(t)$ 신호는 상호 독립이며 disjoint 된다. P_c 를 correct decision 확률이라 할 때 다음과 같이 표현된다.

$$P_c = \sum_{i=1}^{2^m} P(A_i) P_c(A_i) \quad (3)$$

여기에서 m 은 변조기의 입력 비트 수, $P(A_i)$ 는 전송 신호 A_i 의 priori 확률, $P_c(A_i)$ 은 A_i 을 전송될 때 error 없이 수신될 조건부 확률이다.

일반적으로 M -ary PSK 변조 방식에서 에러 확률은 거의 전적으로 가장 가까운 두 신호점 사이의 Euclidean distance에 기인된다. 만약 SNR이 크다면 다음과 같이 n -D 구면상 입자간 보존장의 세기를 정의 할 수 있다.

$$F_{ik} = C(k_0) e^{-|d_{ik}|^2 / 4k_0 T} d_{ik} / |d_{ik}| \quad (4)$$

위 식에서 F_{ik} 는 입자 i 와 k 간의 보존 장력, k_0 는 잡음의 주파수 대역, d_{ik} 는 입자 i 에서 k 로 연결되는 벡터이며, T 는 신호의 주기이다.

예를 들어 두 입자간에 작용하는 힘이 반발력일 때 n -D 공간에서 두 입자의 운동은 n -D공간에서 임의의 입자 A, B와 반지름이 $\sqrt{E/T}$ 인 n -D구가 존재할 때 먼저 각 입자들과 구 중심간의 거리를 구의 반지름의 거리로 normalize하면 각각 구 표면상의 점 A', B'로 된다. 에너지 보존장이 입자 A', B'간 상호 반발력을 유발한다면 다시 입자들의 새로운 위치는 각각 A'', B''로 되며

이들의 위치를 다시 normalize하면 최종 위치는 각각 A", B"로 되어 다시 구 표면상의 입자가 된다. 이러한 일련의 과정이 프로그래밍의 한 iteration동안 수행되는 동작으로 나타난다.

나. 프로그래밍 수행결과

프로그램 수행 결과는 <표 1>에 나타내었다. 시스템 포텐셜이 steady state일 때의 4-D 벡터인 a_j 계수와 입자 상호간 거리의 제곱(SD, squared distance)를 산출하였다. 여기에서 나타낸 SD는 입자의 한 점을 A_0 라 할 때 나머지 다른 점들간의 거리를 나타내며 그 크기가 작은 순으로 배열했다.

4-D 구면상의 16-point는 <표 1>과 같이 minimum SD가 1.223으로 산출되었다. 따라서 입자의 점(A_0) 주위에 7개의 점들이 동일한 거리를 두고 위치하며 기타의 다른 점들은 점점 먼 거리에 위치해 있으므로 각 입자들이 상호 symmetry (입자들간의 거리가 항상 균등)임을 알 수 있고 입자간 거리의 제곱은 최대값이 4이하이며 벡터의 크기 $|A_i| = \sqrt{a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + a_{i3}^2 + a_{i4}^2} = 1$ 이다. 따라서 <표 1> 상에 표시된 모든 입자들은 4-D구면상에 위치함을 알 수 있다.

표 1. 4차원 공간 구 표면에 위치하고 각각의 신호 간 동일거리를 가지는 16개 신호 점의 좌표

Table 1. 16-point vector with maximized minimum squared distance on the surface of 4-D sphere.

Ai	ai1	ai2	Ai3	ai4	$d_{A_0}^2$
A0	0.658161	0.727785	0.184561	0.055596	0.000
A1	0.611962	0.142302	0.263235	0.732071	1.223
A2	0.926621	0.252992	0.127305	0.247309	1.223
A3	0.290729	0.388937	-0.643680	0.591507	1.223
A4	0.305343	0.454497	0.600646	0.582600	1.223
A5	0.322096	0.182096	0.478185	0.796514	1.223
A6	0.209338	0.508136	0.834258	0.044604	1.223
A7	0.368454	0.910504	-0.183474	0.039525	1.223
A8	0.405778	0.257479	0.160944	0.862059	2.004
A9	0.191508	0.519871	0.831972	0.029688	2.201
A10	0.624431	-0.188116	-0.092000	0.752485	2.666
A11	-0.157128	0.468879	0.867366	0.056034	2.802
A12	0.029424	0.737302	0.011063	0.674831	3.191
A13	0.780091	0.017110	0.592842	0.199259	3.248
A14	0.124137	0.869804	-0.030985	0.476519	3.388
A15	0.827956	0.336276	0.454868	0.033600	3.393

V. 시스템 성능 분석

본 섹션에서는 고정 바이어스를 가지는 유형 별 MSM 시스템에서 요구하는 밴드폭과 power를 ON-OFF Keying (OOK) 변조 방식과 각각 비교 하였다. OOK IM/DD Optical 채널 의 경우 하나의 신호 symbol은 하나의 subcarrier로 전송이 되나 4-D MSM 의 경우 하나의 symbol을 전송하기 위하여 4개의 subcarrier가 필요하다. 수신부에서 요구되는 전기적 밴드폭을 B , 주기 T 를 가지는 구형 펄스로 변조되는 OOK 변조방식의 경우 정보의 비트율 $R_b = 1/T$ 일 때 MSM신호의 비트오율은 다음과 같다^[3].

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{r^2 P^2 T}{N_0}} \right) \tag{7}$$

여기에서 $Q(x)$ 은 Gaussian Q 함수이며 N_0 는 AWGN (additive white Gaussian noise)이다. 따라서 QPSK신호나 4-D MSM신호의 경우 비트 오율은 $P_b = Q \left(\sqrt{r^2 A^2 T / 2N_0} \right)$ 가 된다. 여기에서 A 는 subcarrier 신호 진폭의 scale factor이다^[2].

가. Subcarrier 수에 따른 Normalized Power Requirement 비교

<그림 2>에서는 n 개의 subcarrier 별로 요구되는 Normalized Power를 고정 바이어스 상태에서 OOK방식과 QPSK 변조 및 제안된 방식과 비교하였다. QPSK 방식에서는 [2] 에서 제안한 normal 상태, Reserved Subcarrier, Minimum Power 방식 등과 각각 비교하였다. <그림 2>에서 보면 4-D orthogonal 방식은 QPSK보다 매우 적은 Normalized Power를 요구하고 있다. 예를 들어 사용 subcarrier 주파수 $n = 2$ 일 경우 normal 방식에 비해 3 dB, Reserved Subcarrier 나 Minimum Power에 비해 3.3 dB 의 power를 각각 절감하고 있으며, 이는 subcarrier의 수가 증가 하더라도 신호의 진폭은 항상 일정하기 때문이다.

나. 밴드폭에 따른 Normalized Power Requirement 비교

<그림 3>에서는 Normalized bandwidth 별로 요구되는 Normalized Power를 OOK, QPSK 변조와 제안된 방식과 비교하였다. QPSK 방식에서는 <그림 2>의 경

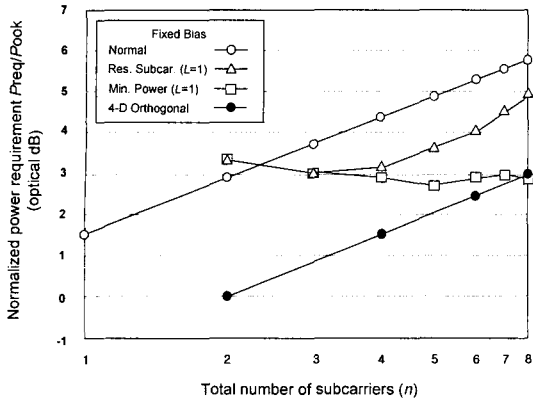


그림 2. 일반적인 QPSK방식, Res. Subcarrier방식, Min. Power방식 등과 제안된 4차원 직교변조를 이용한 MSM 시스템에 대한 subcarrier 수 별 평균 전력 요구 값의 비교

Fig. 2. Normalized power requirement versus total number of subcarriers for Normal QPSK, Res. Subcarrier, Min. Power, and 4-D orthogonal MSM systems.

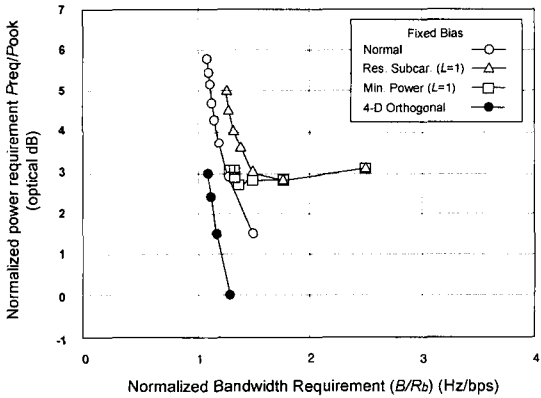


그림 3. 일반적인 QPSK방식, Res. Subcarrier방식, Min. Power방식 등과 제안된 4차원 직교변조를 이용한 MSM 시스템에 대한 Normalized bandwidth 별 평균 전력 요구 값의 비교

Fig. 3. Normalized power requirement versus normalized bandwidth requirement for Normal QPSK, Res. Subcarrier, Min. Power, and 4-D orthogonal MSM systems.

우와 동일하게 normal 상태, Reserved Subcarrier, Minimum Power 방식 등과 각각 비교하였다. 요구되는 normalized bandwidth 1.125 ~ 1.25의 범위에서 normal QPSK에 비해 평균 3 dB, Res. Subcarrier 방식에 비해 2 ~ 4 dB, Min. Power 방식에 비해 0 ~ 3 dB의 절감 효과를 각각 나타내고 있다.

VI. 결론

OSW기술에 의해 유도된 4-D 벡터를 이용 하여 MSM 시스템을 설계한 결과 subcarrier를 줄이거나 코딩 시스템을 채용하지 않고도 시스템에서 요구되는 normalized power를 현저히 절감할 수 있다. 또한 밴드 폭을 효과적으로 사용할 수 있으므로 광통신에서의 dense packing의 구현이 매우 용이하다. 4-D MSM 스킴의 경우 4개의 orthogonal 신호 단위로 확장이 가능하므로 타 방식에 비하여 대역폭을 크게 증가 시키지 않고도 다수의 subcarrier수용이 가능하다.

본 논문에서는 광carrier의 변조 신호로써 MSM신호에 고정된 dc 바이어스를 부가하였으나, 차 후 심벌 주기 별 바이어스를 다르게 부가하는 시간변환 바이어스를 고려할 경우 시스템 성능을 보다 향상시킬 수 있다.

4-D MSM 신호는 에너지 심벌을 사용하는 orthogonal 변조 방식이므로 광 채널 뿐만 아니라 위성 통신 시스템 등 비 선형소자를 사용하는 통신 시스템의 다중화에 적합하다 할 수 있다.

참고 문헌

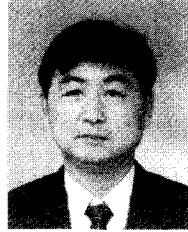
- [1] T. Ohtsuki, "Multiple-Subcarrier Modulation in Optical Wireless Communications," IEEE Commun. Mag., vol. , March 2003, pp. 74-79.
- [2] R. You and J. Kahn, "Average Power Reduction Techniques for Multiple-Subcarrier Intensity-Modulated Optical Signals," IEEE Trans. Commun., vol. 49, December 2001, pp. 2164-2171.
- [3] J. Kahn and J. Berry, "Wireless Infrared Communications," Proc. IEEE, vol. 85, Feb. 1997, pp. 265-298.
- [4] S. Teramoto and T. Ohtsuki, "Multiple-subcarrier Optical Communication System with Subcarrier Signal Point Sequence," IEEE GLOBECOM 2002, Taipei, Taiwan, Nov. 2002.
- [5] H. Yamaguchi, T. Ohtsuki, and I. Sasase, "Multiple Subcarrier Modulation for Infrared Wireless Systems using Punctured Convolutional Codes and Variable Amplitude Block Codes,"

IEEE GLOBECOM 2002, Taipei, Taiwan, Nov. 2002.

forms," IEEE Trans. Information Theory," vol. IT-9, No. 2, April 1963.

[6] Gerard Lachs, "Optimization of Signal Wave

저 자 소 개



金海根(正會員)

1977년 : 경북대학교 전자공학과(학사). 1983년 : 연세대학교 전자공학과(석사). 1994년 : 미국University of South Florida 전기공학과(박사). 1980년~2003년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원, 실장, 팀장,

부장 등 역임, 2003년 3월~현재 : 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수. <주관심분야 : 광통신시스템, 통신이론, 통신네트워크 등임>