

論文97-34S-7-1

다중레벨 편광편이키잉 시스템의 성능

(Performance of multilevel polarization shift keying system)

姜 碩 根 * , 盧 潤 煥 ** , 朱 彦 暉 *

(Seog Geun Kang, Yun Hwan Rho, and Eon Kyeong Joo)

요 약

본 논문에서는 다차원 유클리디안 구조에서 신호점을 구하는 포텐셜 함수를 도입하여 전송광의 편광상태를 표시하는 스톱스 파라메타를 구하였다. 또한 구해진 파라메타를 다중레벨 편광편이키잉 시스템에 적용하여 시스템의 성능을 분석하였다. 그 결과 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 비트오율은 기존의 거리행렬을 이용한 경우에 비하여 포텐셜 함수를 이용한 경우 더욱 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 10^{-9} 의 비트오율을 얻기 위한 비트당 양자수는 레벨수의 증가에 따라 선형적인 특성을 나타내었다. 따라서 다중레벨 편광편이키잉 시스템은 기존의 변조방법보다 레벨의 증가에 따른 에너지 소모의 증가율 면에서 효율적인 광변조방법임을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, Stokes parameters which represent the states of polarization of transmitted light are determined by potential function, which is used to obtain signal points in a multidimensional Euclidean structure. And performance of multilevel polarization shift keying(POLSK) system using the obtained parameters is also represented and analyzed. As results, bit error rate of multilevel POLSK system using the potential function is shown to be lower than the conventional one using the distance matrix. And as number of levels increases, the number of photons per bit for bit error rate of 10^{-9} is also increased linearly. The multilevel POLSK system, therefore, is an energy efficient modulation technique as compared with the conventional ones.

I. 서 론

최근 대용량의 정보를 고속 장거리 전송하기 위하여 코히어런트 광통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 기존의 강도변조/직접검파 방식이나 디지털 변조방법을 이용하는 방식에 비하여 높은 수

신 감도를 얻을 수 있고, 레이저의 위상 잡음에도 우수한 성능을 나타내는 변조방법으로 편광편이키잉(POLSK; polarization shift keying)^[1-7] 시스템이 제안되었다.

편광편이키잉 시스템에서 전송되는 정보는 광의 편광상태로 표시되고, 각각의 편광상태는 스톱스 파라메타(Stokes parameters)를 이용하여 정량적으로 나타내어진다. 그러므로 다중레벨 편광편이키잉 시스템에서는 파라메타의 값이 정확히 결정되어야 한다. 기존의 다중레벨 편광편이키잉 시스템에서는 Poincaré 구면^[1-6]에서 각 심볼들 간의 거리행렬을 구하고, 거리행렬로부터 파라메타를 결정하는 간접적인 방법^[7]을 이용하였다. 그러나 이 방법에서는 파라메타의 정확성에 문제가 있을 수 있으며, 레벨수가 증가됨에 따라 파라메타가 결정되는 과정은 더욱 복잡해지는 단점을 가지

* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Department of Electronics, Kyungpook National University)

** 正會員, LG電子 通信機器研究室

(Telecommunication R&D Lab., LG Electronics Inc.)

接受日子: 1996年2月24日 수정완료일: 1997年6月24日

고 있다. 이에 대한 해결책으로 최근 다차원 유클리디안 구조에서 신호점의 좌표 값을 구하는 방법으로 알려진 포텐셜 함수^[8,9]를 3차원 Poincaré 구에 적용하여 스톱스 파라메타를 결정하는 방법이 소개된 바 있다^[10]. 이 방법은 거리행렬을 이용하는 방법에 비하여 더욱 정확한 스톱스 파라메타를 구할 수 있고 레벨수가 증가되어도 계산상의 복잡성의 증가없이 스톱스 파라메타를 쉽게 결정할 수 있는 장점이 있다.

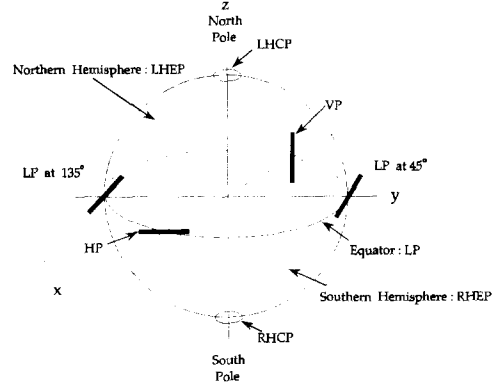
본 논문에서는 포텐셜 함수를 이용하여 다중레벨로 확장된 스톱스 파라메타를 결정하고, 이를 적용한 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 성능을 고찰하였다. 또한 레벨수에 따른 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 성능을 분석하였다. 그리고 다중레벨 편광편이키잉을 이용한 광통신 시스템이 10^{-9} 의 비트오율을 가지도록 하는 최소한의 비트당 양자수도 구하였다. 그 결과 다중레벨 편광편이키잉 시스템은 기존의 강도변조/직접검파 방법과 디지털 변조방법을 이용한 시스템에 비하여 에너지 효율 면에서 우수한 변조방법임을 알 수 있었다.

II. 다중레벨 편광편이키잉 시스템

편광편이키잉을 이용한 코히어런트 광통신 시스템에서는 광의 편광상태를 통해 모든 정보가 전송되고, 수신단에서는 수신된 신호의 편광상태로부터 스톱스 파라메타를 추출해내어 정보를 재생한다. 이러한 편광상태를 표현하는 방법으로는 편광타원을 이용하는 방법, Poincaré 구를 이용하는 방법, 복소벡터를 이용하는 방법 등이 있다. 그 중 Poincaré 구를 이용하는 방법은 편광상태가 3차원의 구 표면상의 한 점으로 표시되므로 가장 많이 이용된다. 그림 1에 Poincaré 구를 나타내었다.

여기서 직선편광은 구상의 적도에, 원형편광은 구의 양극점에 표시된다. 그리고 타원형편광은 적도와 양극점사이의 구표면에 하나의 점으로 표시되며 구의 남반구에 위치하는 오른손 타원형편광과 북반구에 위치하는 왼손 타원형편광으로 나누어진다.

편광상태가 전파되는 광섬유 케이블 내부에서 전기장의 기준축 x, y에 대하여 송신측 레이저 출력광이 $\pi/4$ 의 직선편광을 가지는 것으로 가정하면 송신광의 각 축방향으로 생성되는 전기장은 다음과 같이 정의된다.



LP: linear polarization
 HP: horizontal polarization VP: vertical polarization
 LH/RHEP: left hand/right hand elliptical polarization
 LH/RHCP: left hand/right hand circular polarization

그림 1. Poincaré 구
 Fig. 1. The Poincaré sphere.

$$\vec{E}_x(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \cos[\omega t + \varphi_x(t)]\hat{x}$$

$$\vec{E}_y(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \cos[\omega t + \varphi_y(t)]\hat{y}$$
(1)

여기서 A_0^2 는 전송광의 평균 전력, ω 는 반송파의 각주파수, $\varphi(t)$ 는 송신측 레이저의 위상잡음을 나타내고 \hat{x} 와 \hat{y} 는 각각 기준축 방향의 단위벡터를 나타낸다. 주어진 입력신호에 대한 편광상태를 얻기 위하여 송신단에서 변조시킬 위상의 양은 다음의 식과 같이 결정된다.

$$\psi(t) = \cos^{-1}\left(\frac{s_1}{A_0^2}\right) + \frac{\pi}{2}$$

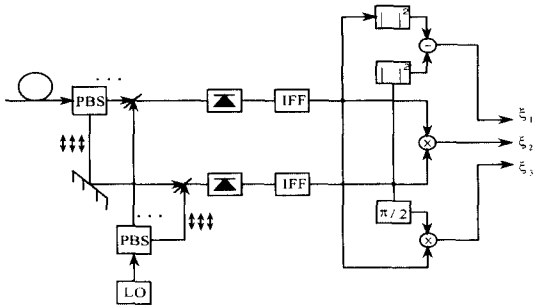
$$\gamma(t) = \cos^{-1}\left(\frac{s_2}{\sqrt{A_0^4 - s_1^2}}\right) + \frac{\psi}{2} - \pi$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{s_3}{\sqrt{A_0^4 - s_1^2}}\right) + \frac{\psi}{2} - \pi$$
(2)

여기서 $s_j, 1 \leq j \leq 3$,는 송신단의 스톱스 파라메타이다. 따라서 송신단에서는 먼저 스톱스 파라메타가 결정되고 그에 따라 레이저의 출력광을 변조시킬 위상의 크기 $\psi(t), \gamma(t)$ 가 정해지므로써 입력신호에 대한 편광상태가 정의된다.

수신단에서는 코히어런트 헤테로다인 수신기를 이용하여 수신광의 편광상태로부터 스톱스 파라메타를 추출하여 신호를 검출한다. 그러나 광섬유 케이블의 출력단에서 광의 편광상태는 복굴절 변화, 외압, 그리고 구부림 등으로 인하여 송신광의 편광상태와 동일하게 유지되지 못하고 불규칙적으로 변화될 수 있다. 이러

한 문제점을 완화시킬 수 있는 방법으로는 편광상태조절, 편광다이버시티 등의 방법이 있다^[11,12]. 그러나 이러한 방법들은 수신감도의 저하로 인하여 전체 시스템의 성능이 열화될 수 있으며 편광조절과 다이버시티를 위하여 수신기의 구조가 복잡해지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 이상적인 위상편이키잉 헤테로다인 시스템에 비하여 3dB 가량의 성능상의 손실은 있지만 시스템의 복잡도가 크게 증가되지 않으면서도 편광상태 변화에 대하여 독립적인 수신기^[2-4]가 많이 사용되고 있다. 그림 2에 이러한 다중레벨 편광편이키잉 시스템에 대한 헤테로다인 수신기를 나타내었다. 여기서도 국부발전기 레이저 출력광은 기준축으로부터 $\pi/4$ 의 직선편광을 가진다고 가정한다.



LO : local oscillator
 PBS : polarization beam splitter
 IFF : intermediate frequency filter

그림 2. 코히어런트 헤테로다인 수신기
 Fig. 2. Block diagram of coherent heterodyne receiver.

수신된 광신호는 편광 분광기에 의하여 국부발전기 레이저 광신호와 결합되어 광검출기의 입력이 된다. 국부발전기 레이저 출력광의 세기를 1로 정규화시키고 수신단의 입력광의 세기가 충분히 크다고 가정하면 수신단의 산탄잡음(shot noise)은 영평균 가우시안 분포를 가지며 분산은 수신광의 주파수 대역 W 에 비례하는 값을 가진다고 가정할 수 있다. 따라서 수신단의 스톱스 파라메타는 중간 주파수 필터의 출력신호로부터 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} \xi_1 &= [I_x^2 - I_y^2] = s_1 + N_1(t) \\ \xi_2 &= I_x I_y = s_2 + N_2(t) \\ \xi_3 &= I_x |I_y|_{\pi/2} = s_3 + N_3(t) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 ξ_j 와 s_j $1 \leq j \leq 3$,는 각각 추정된 파라메타의 값과 수신된 신호광의 스톱스 파라메타 성분을 나타내고, $N_j(t)$ 는 잡음성분, 그리고 $|\cdot|_{\pi/2}$ 는 신호의 위상성분을 $\pi/2$ 만큼 천이시킨 것을 나타낸다. 추정된 파라메타를 이용하여 Poincaré 구면에 존재하는 각 심볼을 판정하기 위한 판정변수는 다음 식과 같이된다.

$$q_i = s_{1,i} \xi_1 + s_{2,i} \xi_2 + s_{3,i} \xi_3 \quad (4)$$

여기서 q_i 는 Poincaré 구면의 i 번째 심볼에 대한 판정변수를 나타내며 심볼의 평균에너지를 나타내는 구의 반경을 s_0 라고 하면 $q_i < |s_0|$ 이다. 그리고 $s_{j,i}$, $1 \leq j \leq 3$,은 i 번째 신호에 대한 스톱스 파라메타를 나타낸다. 따라서 광수신기의 산탄잡음으로 인하여 i 번째 신호에 대하여 수신단에서 판정오류를 일으키는 경우는 $q_i > q_k$ 가 되므로 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 심볼오율은 다음과 같다.

$$\Pr[q_i > q_k] = Q \left[\sqrt{\frac{F_s}{W/R_s}} \left(\sqrt{\frac{1+d_{i,k}}{2}} - \sqrt{\frac{1-d_{i,k}}{2}} \right) \right] \quad (5)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 오류함수이고, F_s 는 전송되는 심볼당 양자수, R_s 는 심볼의 전송률, 그리고 W 는 수신된 신호의 대역폭이다. 또한 $d_{i,k}$ 는 Poincaré 구면에서 i 번째 점과 k 번째 점 사이의 유클리드 거리를 구의 직경으로 정규화시킨 값으로 1보다 작다. 그러므로 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 심볼오율은 전송되는 광의 비트당 양자수와 각 심볼간 거리의 함수로 나타내어진다. 시스템의 심볼오율을 감소시키기 위해서는 전송되는 비트당 양자수를 증가시키거나, 구면에 존재하는 심볼간 거리를 증가시켜야 됨을 알 수 있다. 그러나 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 경우 구면에 존재하는 심볼들간의 최소 유클리드 거리는 레벨이 증가될수록 감소된다. 그러므로 레벨이 증가됨에 따라 전송되는 신호의 평균에너지를 나타내는 구의 반경도 증가되어야 하며, 이는 전송되는 신호의 비트당 양자수가 증가되어야 함을 의미한다.

III. 최적 스톱스 파라메타의 결정

편광편이키잉 시스템에서 전송되는 정보는 광의 편광상태로 표시되고, 각각의 편광상태는 스톱스 파라메타를 이용하여 정량적으로 나타내어진다. 그러므로 다

중레벨 편광편이키잉 시스템에서는 파라메타의 값이 정확히 결정되어야 한다. 이러한 스톱스 파라메타를 구하기 위한 방법으로는 거리행렬을 이용하는 것과 포텐셜 함수를 이용하는 것이 있다.

1. 거리행렬을 이용하는 방법

이 방법에서는 주어진 심볼당 양자수에 대하여 심볼 오율이 최소가 되는 거리행렬을 먼저 구한다. 이 때 심볼의 편광상태를 나타내는 i 번째 점과 k 번째 점 사이의 거리 $d_{i,k}$ 는 구의 직경으로 정규화되어 최소 0에서 최대 1의 범위를 가지며 변한다. 그리고 파라메타는 구해진 거리행렬을 만족시키는 3차원 좌표 값을 구함으로써 결정된다^[7]. 따라서 이 방법에서는 파라메타가 고정된 심볼당 양자수에 대하여 거리행렬을 이용하여 간접적으로 결정되므로, 그 값의 정확성이 떨어질 우려가 있다. 또한 레벨의 수가 증가될수록 거리행렬을 구하는 과정이 어려워지고, 파라메타를 결정하는 과정은 더욱 복잡해지는 단점이 있다.

2. 포텐셜 함수를 이용하는 방법

거리행렬을 이용하여 스톱스 파라메타를 결정하는 방법은 계산상의 어려움과 정확도의 문제를 가지고 있다. 이에 대한 해결책으로 TCM(trellis coded modulation)에 적용된 바 있는 다차원 유클리디안 구조에서 신호점의 좌표 값을 구하는 포텐셜 함수^[8,9]를 3차원 Poincaré 구에 적용하여 스톱스 파라메타를 결정할 수 있다^[10].

Poincaré 구면에 위치하는 광의 편광상태를 나타내는 심볼은 구면에 존재하는 보존역장의 영향을 받는다. 전체 시스템 포텐셜에 의하여 정의되는 보존역장이 k 번째 심볼에 가하는 힘은 다음의 식과 같이 시스템 포텐셜을 각 기준축에 대한 변위로 미분하여 구할 수 있다^[8].

$$F_k = \sum_{j=1}^3 -\frac{\partial V}{\partial a_{kj}} e_j, \quad (6)$$

여기서 e_j 는 j 번째 기준축의 단위벡터이고, a_{kj} 는 k 번째 입자의 j 번째 기준축에 대한 변위를 나타낸다. 이때 보존역장의 영향으로 인하여 Poincaré 구면상의 각 심볼들 간에 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$F_{ik} = C(k_0) e^{-1} \frac{d_{ik}^2 / (4k_0 / T)}{d_{ik}} d_{ik} \quad (7)$$

여기서 F_{ik} 는 i 번째 입자와 k 번째 입자사이의 힘을 나

타내는 벡터이고, k_0 는 단위 잡음 대역폭, $C(k_0)$ 는 k_0 에 따라 변하는 상수, T 는 심볼의 신호구간, d_{ik} 는 i 번째 입자에서 k 번째 입자로의 거리벡터를 나타낸다. 따라서 힘 F_{ik} 는 구면에 존재하는 각 심볼들 간의 거리가 증가됨에 따라 지수함수적으로 감소됨을 알 수 있다. 또한 안정된 시스템을 이루기 위해서는 전체 시스템 포텐셜은 최소가 되어야 하므로 Poincaré 구면상의 각 심볼들은 최소 유클리드 거리가 최대화된 상태에서 고정되어야 한다. 이와 같이 포텐셜 함수를 이용하여 스톱스 파라메타를 결정하는 방법에서는 다음의 식과 같이 시스템 포텐셜을 시스템의 심볼오율로 대응시킨다.

$$V = 1 - p_c \quad (8)$$

여기서 V 는 전체 시스템의 포텐셜이고 p_c 는 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 수신단에서 오류없이 신호를 검출할 확률을 나타낸다.

시스템 포텐셜이 최소가 되면 보존역장이 각 심볼에 미치는 힘은 식(6)에 따라 0이 되고 심볼은 고정된다. 따라서 식(7)로 표시되는 심볼들 간의 힘은 일정하게 유지되며 최소 유클리드 거리는 최대가 된다. 이 때 전송되는 각 심볼들의 편광상태를 나타내는 스톱스 파라메타는 시스템의 심볼오율을 최소화시키는 최적 스톱스 파라메타가 된다. 이러한 스톱스 파라메타를 구하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 방법으로 심볼간 최소 유클리드 거리를 최대화시켰다.

구의 표면을 m 개의 구역으로 분할하고 각 구역에 하나의 점만이 위치하도록 m 개의 3차원 좌표값을 입력한다. 그리고 원점에서 각 점까지의 거리를 1로 정규화시켜 모든 점들이 구의 표면에 위치하도록 한다. 한 점을 고정하여 기준점으로 정하고 이 점과 나머지 점들간의 거리를 구하여 가장 인접된 점을 선택한다. 선택된 점과 기준점을 식(7)의 F_{ik} 에 의하여 움직인다. 변경된 위치의 점과 원점사이의 거리를 다시 1로 정규화시킨다. 이와 같은 과정을 나머지 모든 점에 대하여 반복한 후 구면상의 점들의 위치가 더 이상 변경되지 않을 때까지 전체의 과정을 반복하여 수행한다.

IV. 성능분석 및 고찰

다중레벨 편광편이키잉을 이용하는 코히어런트 광통신 시스템에서 시스템의 심볼오율은 Poincaré 구면에

서 가장 가까운 심볼들 사이에 작용하는 힘의 영향을 가장 크게 받는다. 따라서 구면에 존재하는 심볼들 간의 최소 유클리드 거리는 광통신 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 증가되는 것이 바람직하다. 스톡스 파라메타를 구하기 위하여 거리행렬을 이용하는 방법과 포텐셜 함수를 이용하는 방법에 의하여 구해진 심볼간 최소 유클리드 거리를 표 1에 비교하여 나타내었다.

표 1. 레벨의 수에 따른 최소거리
Table 1. Minimum distances for various number of levels.

No. of levels	Minimum distance	
	Distance matrix	Potential function
4	1.633	1.633
8	1.210	1.214
16	0.860	0.880
32	N.A.	0.642
64	N.A.	0.452
128	N.A.	0.296
256	N.A.	0.220
512	N.A.	0.157

N.A. : not available

4진의 경우 두 방법은 동일한 최소 유클리드 거리를 가지며, 8진의 경우에도 두 방법은 0.004 정도의 근소한 차이를 보인다. 그러나 16진으로 확장되면서 두 방법에 의한 최소 유클리드 거리의 차이는 0.02가 되어 매우 커짐을 알 수 있다. 따라서 포텐셜 함수를 이용하여 스톡스 파라메타를 구하면 기존의 거리행렬을 이용하는 방법에 비하여 심볼간 최소 유클리드 거리가 더욱 길어짐을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 포텐셜 함수를 이용하여 구해진 스톡스 파라메타를 다중레벨 편광편이키잉 시스템에 적용하고 그 성능을 분석하였다. 전송채널에 의하여 발생될 수 있는 편광상태의 변화를 보상하는 방법과 최적 스톡스 파라메타를 결정하는 방법은 각각 독립적으로 고려될 수 있으므로 여기서는 송신광의 편광상태가 유지되는 것으로 가정하였다.

그림 3과 그림 4에 기존의 다중레벨 편광편이키잉 시스템과 포텐셜 함수를 이용하여 구해진 스톡스 파라메타를 적용한 8진과 16진 편광편이키잉 시스템의 비트오율 특성을 비교하여 나타내었다. 이 때 산탄잡음의 분산을 송수신단의 발진기에 의한 전체 선폭 (linewidth)의 8배로 가정하면 수신단 필터에 의하여

발생되는 왜곡은 무시될 수 있다^[7].

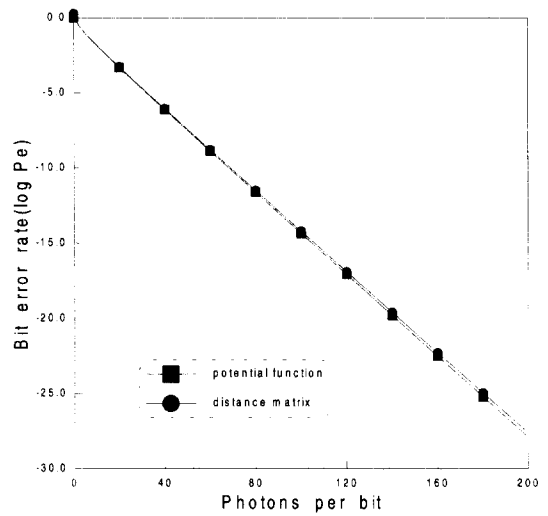


그림 3. 8진 편광편이키잉 시스템의 비트오율
Fig. 3. Bit error rate of 8-POLSK system.

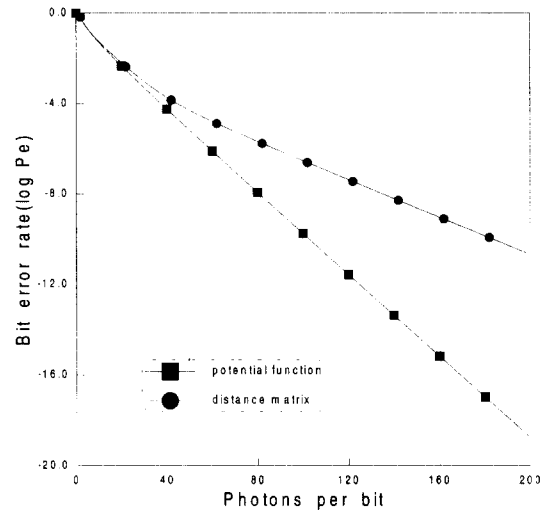


그림 4. 16진 편광편이키잉 시스템의 비트오율
Fig. 4. Bit error rate of 16-POLSK system.

표 1로 부터 예상될 수 있는 것처럼 8진 편광편이키잉 시스템의 경우 포텐셜 함수를 이용하여 구해진 스톡스 파라메타를 적용한 시스템의 비트오율은 거리행렬을 이용한 경우에 비하여 미미하게 향상되었다. 그러나 16진 편광편이키잉 시스템의 경우에는 기존의 거리행렬을 이용한 경우에 비하여 포텐셜 함수를 이용하여 구해진 스톡스 파라메타를 적용한 시스템의 비트오율이 훨씬 낮아짐을 알 수 있다. 이는 레벨수가

증가될수록 포텐셜 함수를 이용하여 구한 스톱스 파라미터들이 더욱 정확한 좌표 값을 나타냄을 의미한다. 또한 그림 3과 그림 4를 통하여 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 비트오율 특성은 스톱스 파라미터로 표시되는 Poincaré 구면에 존재하는 심볼들의 최소 유클리드 거리와 직접적인 관계를 가지고 있음을 알 수 있다.

다음 그림 5에 다중레벨 편광편이키잉을 이용한 코히어런트 광통신 시스템의 비트오율 특성을 레벨수에 따라 계산하여 나타내었다. 여기서 스톱스 파라미터는 포텐셜 함수를 이용하여 구한 것을 사용하였다.

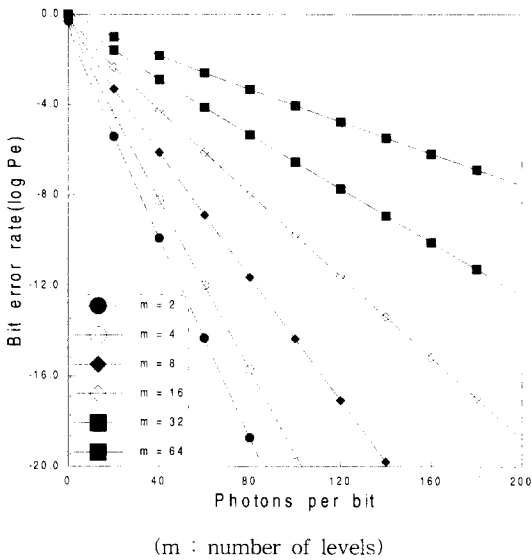


그림 5. 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 비트오율
Fig. 5. Bit error rate of multilevel POLSK system.

그림 5에서는 레벨수의 증가에 따른 심볼간 최소 유클리드 거리의 감소로 인하여 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 비트오율이 높아지는 것을 알 수 있다. 일반적으로 코히어런트 광통신 시스템에서 헤테로다인 수신기의 수신감도는 시스템의 비트오율이 10^{-9} 가 되도록 하는 최소한의 비트당 양자수로 표시된다^[13]. 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 심볼오율을 나타내는 식 (5)로부터 레벨수가 증가될수록 Poincaré 구면에 존재하는 심볼들의 수가 증가되므로 시스템의 심볼오율을 10^{-9} 로 일정하게 유지하기 위한 수신기의 수신감도는 증가되어야 함을 알 수 있다. 다음의 표 2에 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 레벨수에 따른 수신

감도를 나타내었다. 여기서 수신단의 광검출기의 양자 효율(quantum efficiency)은 1로 가정하였다.

표 2. 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 수신감도

Table 2. Receiver sensitivity of multilevel POLSK system.

No. of levels	No. of photons
2	36
4	45
8	61
16	92
32	142
64	242
128	472
256	774

표 2는 레벨수가 증가됨에 따라 구면에는 더 많은 수의 심볼들이 존재하게 되므로 주어진 비트오율을 만족시키기 위한 비트당 양자수는 거의 선형적으로 증가하여 전체 심볼의 평균에너지를 나타내는 구의 반경이 증가되는 것을 나타낸다. 16진까지의 편광편이키잉을 이용한 시스템에서는 10^{-9} 의 비트오율을 가지기 위해 비트당 100개 이하의 양자수가 필요하였다. 반면에 헤테로다인 수신기를 사용하여 10^{-9} 의 비트오율을 얻기 위하여 2진 진폭편이키잉(ASK: amplitude shift keying)의 경우 약 72~80개, 2진 주파수편이키잉(FSK: frequency shift keying)의 경우 약 36~40개 정도의 비트당 양자수^[7]가 요구된다. 따라서 다중레벨 편광편이키잉은 기존의 변조방법에 비하여 레벨수의 증가에 따른 에너지 증가율의 측면에서 우수한 변조방법임을 알 수 있다. 또한 포텐셜 함수를 이용하면 주파수 효율을 증가시키기 위한 다중레벨로의 확장이 용이하다. 따라서 다중레벨 편광편이키잉은 에너지 효율의 측면과 확장성의 측면에서 기존의 변조방법에 비하여 유리한 것으로 사료된다.

V. 결론

편광편이키잉 시스템은 광의 편광상태를 변조하는 방법으로 강도변조/직접검파 방법이나 기존의 변조방법에 비해 높은 수신감도를 얻을 수 있고 레이저의 위상잡음에도 우수한 성능을 나타낸다. 그러나 이 시스템에서는 전송되는 광의 편광상태를 나타내는 스톱스 파라미터가 정확히 결정되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 포텐셜 함수를 이용하여 결정된 스톱스 파라메타를 이용하여 다중레벨 편광편이키잉의 성능을 분석하였다. 포텐셜 함수를 이용하여 구한 파라메타를 적용한 경우의 8진 편광편이키잉 시스템의 비트오율은 기존의 거리행렬을 이용한 경우와 매우 미미한 차이를 보인다. 그러나 16진의 경우 포텐셜 함수를 이용하는 방법은 거리행렬을 이용하는 방법에 비하여 비트오율이 훨씬 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서 포텐셜 함수를 이용하는 방법은 거리행렬을 이용하는 방법에 비하여 심볼간 최소 유클리드 거리를 감소시킬 수 있으므로 더욱 정확한 파라메타를 구할 수 있다.

일반적으로 레벨수가 증가됨에 따라 동일한 비트오율을 가지기 위해서는 더 많은 비트당 양자수가 요구된다. 그러나 헤테로다인 수신기를 사용하는 다중레벨 편광편이키잉 시스템의 경우 10^{-9} 의 비트오율을 얻기 위하여 요구되는 최소 비트당 양자수는 강도변조/직접검파 방법이나 기존의 변조방법에 비하여 매우 적은 편이다. 그러므로 다중레벨 편광편이키잉은 기존의 변조방법에 비하여 레벨수의 증가에 따른 에너지 증가율의 측면에서 우수한 변조방법임을 알 수 있다.

편광편이키잉 시스템은 포텐셜 함수를 이용하면 주파수 효율을 증가시키기 위한 다중레벨로의 확장이 용이하다. 따라서 다중레벨 편광편이키잉 시스템은 에너지 효율성의 측면과 확장성의 측면에서 기존의 변조방법에 비하여 유리한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Betti, G. De Marchis, and E. Iannone, "Polarization modulated direct detection optical transmission systems," *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, no. 12, pp. 1985-1997, Dec. 1992.
- [2] S. Benedetto and P. Poggiolini, "Theory of polarization shift keying modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, no. 4, pp. 708-721, Apr. 1992.
- [3] S. Benedetto, R. Gaudino, and P. Poggiolini, "Performance of coherent optical polarization shift keying modulation in the presence of phase noise," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp. 1603-1612, Feb./Mar./Apr. 1995.
- [4] S. Betti, F. Curti, B. Daino, G. De Marchis, and E. Iannone, "State of polarization and phase noise independent coherent optical transmission system based on Stokes parameter detection," *Electron. Lett.*, vol. 24, no. 23, pp. 1460-1461, Nov. 1988.
- [5] S. Benedetto and P. Poggiolini, "Multilevel polarization shift keying: optimum receiver structure and performance evaluation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, no. 2/3/4, pp. 1174-1186, Feb./Mar./Apr. 1994.
- [6] I. Seto, T. Ohtsuki, H. Yashima, I. Sasase, and S. Mori, "Coherent optical polarization-shift-keying(POLSK) homodyne system using phase-diversity receivers," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E75-A, no. 1, pp. 52-59, Jan. 1992.
- [7] S. Betti, F. Curti, G. De Marchis, and E. Iannone, "Multilevel coherent optical system based on Stokes parameters modulation," *J. Lightwave Technol.*, vol. 8, no. 7, pp. 1127-1136, Jul. 1990.
- [8] G. Lachs, "Optimization of signal waveforms," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 9, no. 2, pp. 95-97, Apr. 1963.
- [9] H.G. Kim, *Subcarrier Modulated Optical Communication System using QPSK and Trellis-Coded Modulation Schemes*, Ph.D. Dissertation, University of South Florida, Aug. 1994.
- [10] Y.H. Rho, S.G. Kang, and E.K. Joo, "On determination of the Stokes parameters for multilevel polarization shift keying," *Proc. KSPC*, vol. 8, no. 1, pp. 26-29, Sep. 1995.
- [11] P. Poggiolini and S. Benedetto, "Theory of polarization spreading techniques-Part I," *IEEE Trans. Commun.* vol. 42, no. 5, May 1994.
- [12] T.G. Hodgkinson *et al.*, "Polarisation insensitive heterodyne detection using polarisation scrambling," *Electron. Lett.*, vol. 23, no. 10, pp. 513-514, May 1987.
- [13] J.R. Barry and E.A. Lee, "Performance of coherent optical receivers," *Proc. IEEE*, vol. 78, no. 8, pp. 1369-1394, Aug. 1990.

저 자 소 개



姜 碩 根(正會員)

1965년 7월 10일생. 1988년 경북대학교 전자공학과 학사. 1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 석사. 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 변·복조이론, 디지털신호처리,

디지털 통신시스템 등임

朱 彦 熒(正會員)

第 32卷 A編 第 5號 參照

현재 경북대학교 전자·전기공학부 부교수

盧 潤 換(正會員)

1971년 10월 25일생. 1994년 경북대학교 전자공학과 학사. 1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 석사. 현재 LG전자(주) 통신기기연구실 근무. 관심분야는 광통신 시스템, 무선단말기 시스템 등임