일반논문-09-14-6-06

효율적 다차원 성상도를 이용한 다중 반송파 전송 시스템의 전력 감소법

이 경 원[a)], 김 장 현[a)], 김 대 진[a)‡]

Power Reduction of Multi-Carrier Transmission System by Using Multi-Dimensional Constellation Mappings

Kyoung Won Lee[a)], Jang Hyun Kim[a)] and Dae Jin Kim[a)‡]

요 약

디지털 통신 시스템에서는 대역폭과 전력을 효율적으로 사용하면서 신뢰성 높은 데이터 전송을 요구한다. 본 논문에서는 다중 반송파 방식을 사용하는 시스템에서 반송파의 직교성을 이용하여 다차원 성상도를 구현하고 전력 소비가 큰 성상 포인트의 위치를 재배치하여 평균 소비 전력을 감소시킬 수 있는 기술을 제안한다. 기존의 2차원 QAM 변조 방식을 N개의 부반송파를 사용하여 다차원 QAM 형태로 단순하게 변환하면 2 N차원 큐브 형태의 성상 포인트가 구성되는데, 전력 소비가 많은 최외각 성상 포인트들을 효율적으로 재배치하면 전력 소비를 최소화할 수 있는 2 N차원 구 형태의 성상도를 구성할 수 있다. 이와 같은 방식으로 16-QAM부터 2,048-QAM까지의 2차원 성상도를 다차원으로 변환하여 구성하고 전산모의실험을 통해 얻을 수 있는 평균 소비 전력 이득 값을 비교 분석하였다. 차원을 높일수록 재배치 성상 포인트들이 증가하므로 평균 소비 전력 이득 값이 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 차원 증가에 따른 이득의 증가비율은 로그 형태를 가지고 있기 때문에 QAM의 성상 포인트 개수에 따라 일정한 이득값에 수렴하게 되고 수렴 값을 바탕으로 적정 다차원 성상도를 유도할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법으로 데이터를 전송하는 것은 하드웨어 복잡도 증가가 거의 없이 소비 전력의 효율성을 높이는데 효과적이다.

Abstract

The design rule of digital communication systems is the reliable data transmission with high spectral efficiency and minimum allowable power. This paper suggests the method that saves the average power by implementing a multi-dimensional constellation in case of multi-carrier communication system. By using multi-dimensional constellations we can relocate constellation points in the form of a sphere. If we simply convert the two-dimensional QAM modulation into multi-dimensional QAM, constellation points of 2 N dimensional cube form are made up. Relocating outermost constellation points of 2 N dimensional cube form into low energy constellation points, the constellation of the 2 N-dimensional sphere form is made up which decreases power consumption. In this paper, the multi-dimensional constellations of 2 N-dimensional sphere form are designed from 16-QAM to 2,048-QAM, and power reductions are obtained by comparing constellations of 2-dimensional QAMs and multi-dimensional constellations of 2 N -dimensional sphere form. The result shows that the average power consumption of higher dimensional constellations increases, because the more a dimension elevates, the more the relocatable constellation points increase. But, the increment of the average power savings decreases as the a dimension elevates. The transmission of the data by using multi-dimensional constellations of the sphere form is effective to save the average power consumption with little hardware complexity.

Keyword : Multi-carrier system, Multi-dimensional constellation, QAM

Ⅰ. 서 론

지금까지 디지털 통신 시스템에서 효율적이고 신뢰성 있는 통신을 위한 성상도 배치에 대한 연구는 대역폭이 매우 제한적인 전화선 모뎀에서 집중적으로 이루어졌다. 1950년대에 300~3,000 Hz의 대역폭을 가진 모뎀이 개발되면서 상업적인 성공을 이룩하였고 그와 함께 신호 처리 분야의 큰 발전을 가져왔다[1]. 이후 QAM 방식의 도입으로 16개의 신호 성상도를 사용하여 4비트/Hz로 전송하는 전화선 모뎀이 개발되었고, 64-QAM을 이용한 14.4 kbps의 속도를 지닌 모뎀이 개발되었다. 또한 에너지 소비가 큰 최외각 성상 포인트를 제외시켜 평균 소비 전력을 감소시키는 구조인 십자가 구조(Cross Constellation)에 대한 연구[2]가 진행되었고 이는 32-QAM, 128-QAM과 같은 성상 포인트에 적용하였다. 전화선의 협대역에 56 kbps까지 데이터 속도를 늘리기 위해 QAM의 성상점을 많이 늘리고 이를 효율적으로 배치하는 연구가 이루어졌다[3-4]. 하지만 ADSL 및 무선 대역에서와 같이 대역폭이 수 MHz 및 수십 MHz로 대폭 늘어남에 따라 효율적인 성상도 배치에 대한 연구는 최근 들어 많이 이루어지지 않고 있다.

전력 소모를 최소화하는 효율적인 성상도 디자인은 평균을 0으로 하고, 심볼 값들 간격을 일정하게 유지시키면서 동일 원 내에 성상 포인트를 배치시키는 방법이 가장 효과적인 디자인이라고 할 수 있다. 이를 M차원으로 디자인했을 경우는 M차원 구 형태가 가장 이상적이라고 할 수 있다.

다차원 성상도에 관한 연구를 살펴보면, 1차원에서 사용되는 PAM(Pulse Amplitude Modulation)방식보다 2차원에서 사용되는 QAM에서 평균 전력 소비 측면에서 0.2 dB의 성능이 개선된다[4]. 4차원 큐브 형태를 4차원 구의 형태로 디자인 했을 때, 0.45 dB의 성능개선이 있고, 8차원의 경우는 0.73 dB의 에너지 절약이 가능하다[5]. 통신시스템에서는 신호를 검출하기 쉬운 2차원 격자형 구조의 성상도를 많이 사용하였다. 특히 단일 반송파를 이용하는 통신시스템의 경우는 하나의 반송파로 2차원 성상도 배치만 가능하므로 다차원의 성상도를 적용하기가 쉽지 않았다.

본 논문에서는 다중 반송파를 이용하여 QAM 변조방식 구조를 다차원 성상도로 디자인한다. 다중 반송파 전송 시스템은 N개의 부반송파가 있는 경우 각 부반송파들의 직교성을 이용하여 $2N$차원의 성상도를 구현할 수 있다. 각 반송파에 전송하고자 하는 QAM 데이터를 병렬로 전송하는데, $2N$차원 큐브 구조를 $2N$차원 구 형태로 변환하기 위해 최외각 성상 포인트를 전력이 작은 신호 포인트로 재배치한다. 데이터는 병렬 처리되기 때문에 전송 지연 문제가 없으며, 구 형태로 다차원 성상도를 구성하는 것이 채널코딩 같은 특별히 복잡한 하드웨어의 추가 없이도 1 dB에 가까운 전력 이득을 얻을 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 기존 성상도를 다차원으로 구성하게 되면 송·수신단의 심볼 매퍼 부분만 여러 부반송파를 묶어서 처리할 뿐, 나머지 송·수신단의 시스템은 그대로 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어서 본문의 Ⅱ장에서는 다중 반송파 전송 방식과 이를 다차원으로 매핑하는 방법에 대해서 설명하고, Ⅲ장에서는 QAM 구조와 이를 다차원으로 변환했을 때 특징을 살펴보고, Ⅳ장에서는 다중 반송파를 이용한 다차원 상상도의 패턴과 모의전산실험을 통한 성능을 분석하였다. 마지막 Ⅴ장에서 결론을 끝으로 본 논문을 마무리한다.

Ⅱ. 다중 반송파 전송 방식과 다차원 매핑 구조

1. 다중 반송파 전송 방식

단일 반송파 방식과 비교해서 다중 반송파 방식은 송신 데이터를 N개의 반송파에 분산하여 전송한다. 이 경우, 전송 심벌 1개의 계속 시간은 단일 캐리어 방식의 약 N배가 되는데, 여기에 보호구간을 첨가하여 다중경로로 인한 열화에 대하여 효율적으로 대응할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 각 반송파들은 작은 비트율과 협대역의 디지털 변

a) 전남대학교 전자컴퓨터공학과
Dept. of Electronics and Computer Engineering, Cheonnam National University
‡ 교신저자 : 김대진(djinkim@chonnam.ac.kr)
· 접수일(2009년9월7일),수정일(2009년11월27일),게재확정일(2009년11월27일)

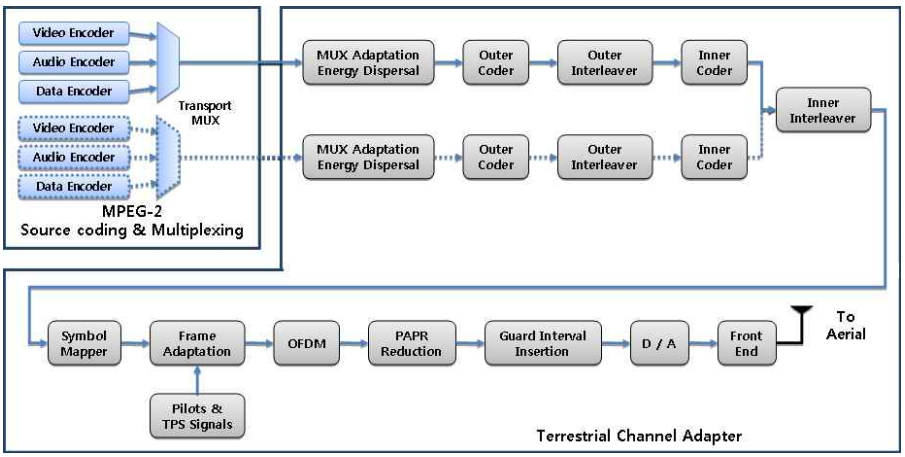


그림 1. 다중 반송파를 이용한 DVB-T 시스템의 송신기 블록도
Fig. 1. The block diagram of DVB-T transmitter

조이기 때문에 전력 스펙트럼의 사이드로브는 급격히 감쇠하고 전력 누설이 적어 스펙트럼 효율이 높다[6]. 다중 반송파 방식은 특정 주파수 대역에 방해 신호가 존재하는 경우에도 그 영향을 받는 것은 일부 데이터 비트에 한정되며, 인터리버와 에러정정 부호로 에러율을 효과적으로 개선할 수 있다. 그림 1에 DVB-T 시스템의 전송 블록도를 도시하고 있다. DVB-T의 외부 부호화는 RS(204,188)을 사용하고 컨볼루션 인터리버를 외부 인터리버로 사용한다. 부반송파는 QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 변조방식으로 변조되고, DVB-T2에서는 256-QAM까지 사용하고 있다. 또한 채널 환경이 양호한 지역은 고속 데이터 전송율을 채널환경이 열악한 환경에서는 저속 데이터 전송율을 보장하는 계층적 전송이 가능하다.

채널 정보에 따라 두개의 서로 다른 채널 부호화 경로를 통하여 부호화된 신호가 OFDM 신호로 변조되어 전송된다.

2. 다차원 매핑 구조

다중 반송파 통신시스템에서 QAM 심볼 매퍼 부분은 소스 및 채널 코딩이 된 비트들이 병렬로 입력되어 In-phase 성분과 Quadrature 성분으로 표현되며 신호 성상도를 구성하는 전압 형태의 데이터로 변형된다. N개의 부반송파를 이용하여 다차원 성상도를 구성하게 되면 $2N$차원 QAM 변조방식 형태로 심볼 매핑이 이루어지면서 $2N$개의 출력 전압 데이터가 IFFT단의 입력으로 전송된다.

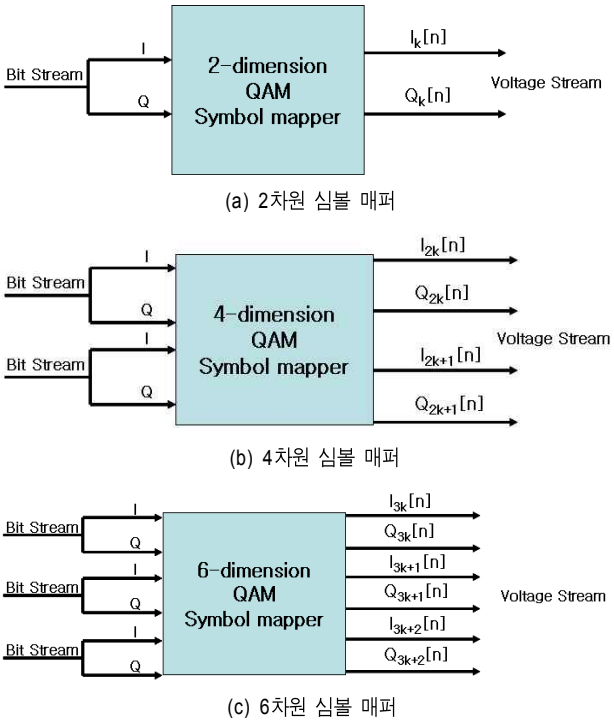


그림 2. 다차원 성상도를 위한 매핑 시스템
(k는 부반송파의 번호를 나타내기 위한 자연수)
Fig. 2. Symbol mapper for multi-dimensional constellation

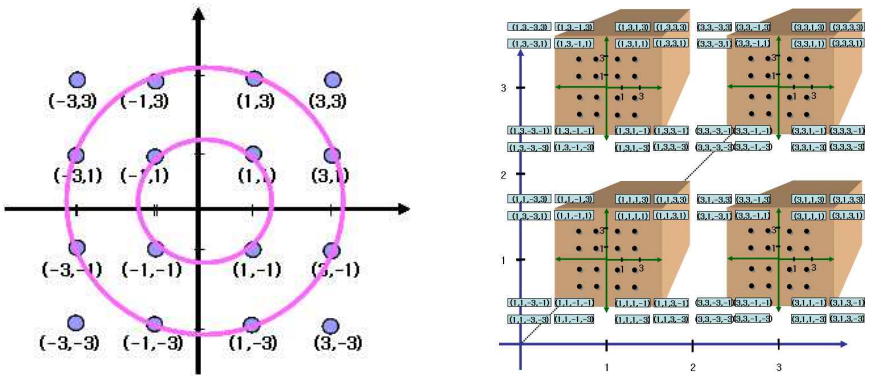
그림 2는 다차원 성상도를 위한 매핑 시스템 구성도인데 I, Q 비트스트림을 입력받아 QAM 성상도에 맞는 I, Q 전압 스트림을 만들어 준다. 그림 2(a)는 1개의 부반송파에 1개의 QAM을 보내기 위한 2차원 QAM 매핑을 보여주고 있다. 여기서 k=[0, N-1] 이다. 그림 2(b)는 2개의 부반송파를 사용하는 4차원 심볼 매퍼 구성을 나타낸다. 그림 2(c)는 3개의 부반송파에 6차원 QAM 신호를 전송하기 위한 6차원 심볼 매퍼를 보여준다. N개의 부반송파를 사용하는 2N차원 성상도를 구현하는 매퍼의 경우 입력되는 데이터 비트는 증가하지만 각 심볼 매퍼에서 병렬처리를 하기 때문에 전송 지연 문제는 발생하지 않는다.

다차원 매핑에 대한 이해를 돕기 위하여 예를 들어 설명하는데, 부반송파의 개수가 N=2048개 이고 16-QAM을 사용한다고 가정하자. 그림 2(a)와 같이 2차원 심볼 매퍼를 사용할 경우 심볼 매퍼가 2048개 존재하고 각각의 심볼 매퍼에서는 4비트 입력을 받아 16-QAM 변조를 수행하며 한 개의 16-QAM 변조 신호는 한 개의 부반송파를 통하여 전송한다. 그림 2(b)와 같이 4차원 심볼 매퍼를 사용할 경우, 심볼 매퍼가 1024개 존재하고 각각의 심볼 매퍼는 8비트 입력을 받아 4차원 256-QAM 변조를 수행하며 한 개의 4차원 256-QAM 신호는 두 개의 부반송파를 통하여 전송한다. 그림 2(c)도 같은 방식으로 설명이 가능하다.

Ⅲ. QAM 변조 방식의 다차원 변환 방법 및 장단점

2차원 QAM 변조 방식을 다차원 QAM 변조 방식으로 구성하게 되면 평면에서 다차원 큐브 형태의 구성을 이루게 된다. 각 성상 포인트들은 차원에 따라 증가한다. 그림 3은 2차원과 다차원 성상도를 보여주기 위한 예시로서 16-QAM을 2차원과 4차원으로 매핑했을 때 성상도를 나타낸 그림이다. 4차원을 평면에 표현하는 것이 어렵기 때문에 좌표 수치로 표시하였다.

그림 3(a)은 일반적인 16-QAM의 정사각형태의 성상도이다. 2차원 평면상에서 일정한 간격을 유지한 상태로 16개의 성상 포인트를 가지고 있다. 그림 3(b)은 4차원 16-QAM을 표현하기 위해 256개의 성상 포인트가 필요하지만 그림상에서는 4차원 16-QAM의 1사분면에 존재하는 64개의 성상 포인트만 나타내었다. 4차원에 표현된 16-QAM의 성상 포인트는 8비트로 표현이 된다. 2차원 16-QAM의 성상 포인트 좌표값은 {(±1, ±1), (±1, ±3), (±3, ±1), (±3, ±3)}이다. 4차원 큐브형태의 16-QAM의 경우, 좌표값은 {(±1, ±1, ±1, ±1), (±1, ±1, ±1, ±3), (±1, ±1, ±3, ±1),…(±3, ±3, ±3, ±3)}이고, 총 256개의 성상 포인트가 있다. 4차원 큐브형태의 4차원 16-QAM 성상 포인트 중에서 제일 에너지가 큰 좌표는 {(±3, ±3, ±3, ±3)}값이다.



(a) 16-QAM 2차원 성상도 (b) 16-QAM 4차원 성상도(1사분면 도시)

그림 3. 16-QAM의 2차원과 4차원 성상도

Fig. 3. 2-dimensional and 4-dimensional constellations of 16-QAM

4차원 큐브형태를 4차원 구 형태로 변환하기 위해서는 먼저 ±5[V]의 전압레벨을 추가한다. 그리고 4차원 큐브의 꼭지점 부근의 에너지가 큰 좌표들을 에너지가 적은 좌표값으로 재배치해야 한다. 즉, 16-QAM의 4차원 큐브 형태의 포인트의 구성 중에 {(±3, ±3, ±3, ±3)}로 이루어진 최외각 성상 포인트들은 {(±5, ±1, ±1, ±1)}의 포인트로 이동한다. 그렇게 하면 에너지가 36에서 재배치 후 28로 줄어듦을 알 수 있다.

6차원 16-QAM의 경우 6차원 큐브형태를 6차원 구 형태로 재배치하는 것을 표 1에서 보여주고 있다. 표 1(a)를 살펴보면 6차원 큐브형태에서의 최외각 성상 포인트인 {(3, 3, 3, 3, 3, 3)}의 에너지는 54이다. 또한 {(3, 3, 3, 3, 3, 1), (3, 3, 3, 3, 1, 3), (3, 3, 3, 1, 3, 3), …, (1, 3, 3, 3, 3, 3)}의 6개의 성상 포인트는 에너지가 46이다. 이를 표 1(b)에서와 같이 {(5, 1, 1, 1, 1, 1), (1, 5, 1, 1, 1, 1), (1, 1, 5, 1, 1, 1), …, (1, 1, 1, 1, 1, 5)}의 6개의 성상 포인트로 사용하면 에너지가 30으로 줄어든다. 또한 {(5, 3, 1, 1, 1, 1)}의 좌표로 이루어진 성상 포인트로 재배치하면 에너지가 38로 줄어든다.

표 1과 같은 방법으로 16-QAM의 경우 4차원부터 30차원까지 2 N차원 구 형태로 재배치하여 얻을 수 있는 소비전력 이득값을 전산모의실험을 통하여 구하여 이를 표 2에 나타내었다.

표 2의 결과를 보면 차원이 증가하면서 재배치되는 성상 포인트 수가 늘어남에 따라 소비전력 이득이 증가함을 알 수 있다. 또한 차원이 증가하면서 증가폭이 감소하여 일정 값에 소비전력 이득이 수렴해 가는 것을 알 수 있다.

표 1. 6차원 16-QAM의 6차원 구 형태의 성상 포인트 재배치 방법
Table 1. A rearrangement method for 6-dimensional 16-QAM sphere constellation

(a) 6차원 16-QAM의 재배치 전 전력이 큰 외각 성상 포인트 좌표

변조 방식	6차원 좌표		소비 전력	성상 포인트 개수
	좌표 값	좌표 개수		
16-QAM	3	6	54	1
	3	5	46	6
	1	1		

(b) 6차원 16-QAM의 재배치되는 신규 성상 포인트 좌표

변조 방식	6차원 좌표		소비 전력	성상 포인트 개수
	좌표 값	좌표 개수		
16-QAM	5	1	30	6
	1	5		
	5	1	38	1
	3	1		
	1	4		

다차원 성상도를 구성하면서 발생하는 단점으로는 다차원 QAM 심볼 매퍼를 구성하면서 데이터의 병렬처리를 위해 메모리가 증가한다는 점이다. 그러나 병렬처리를 위하여 필요한 메모리는 통신시스템에서 사용하는 인터리버에 비하면 매우 작기 때문에 이 문제는 무시할 만하다. 다른 단점으로는 수신단에서 성상 포인트들의 위치결정을 위해 경계

표 2. 16-QAM에서 효율적인 다차원 성상도를 사용했을 때의 소비전력 이득 값
Table 2. Power reduction of 16-QAM by using efficient multi-dimensional constellation mappings

16 QAM	Dimension	2차원 재배치	4차원 재배치	6차원 재배치	8차원 재배치	10차원 재배치
	소비전력이득	0dB	0.11dB	0.26dB	0.42dB	0.53dB
	Dimension	12차원 재배치	14차원 재배치	16차원 재배치	18차원 재배치	20차원 재배치
	소비전력이득	0.56dB	0.61dB	0.69dB	0.72dB	0.74dB
	Dimension	22차원 재배치	24차원 재배치	26차원 재배치	28차원 재배치	30차원 재배치
	소비전력이득	0.77dB	0.83dB	0.82dB	0.83dB	0.87dB

판단 슬라이스의 수가 증가한다는 점이다. 2차원 성상도를 다차원 성상도로 변환한 후에 다차원 큐브형태의 에너지 소비가 큰 최외각 성상 포인트를 다차원 구 형태를 띤 에너지 소비가 작은 성상 포인트로 재배치하는 과정에서 기존의 전압 레벨보다 높은 전압레벨에 해당하는 성상 포인트를 사용한다. 예시로 그림 4에 2차원 정사각형 형태를 2차원 원 형태로 변환하는 1,024-QAM의 그림을 도시하였다.

그림 4(a)는 2차원 1,024-QAM의 기본 구조와 재배치될 수 있는 최외각 성상 포인트들을 표시하였고, 그림 4(b)는 원 형태로 재배치 후 추가된 높은 전압을 가진 성상 포인트를 판별하기 위해 추가된 판별 슬라이스의 모습을 보여주고 있다.

표 3. 차원별 경계 판단 슬라이스 증가 표
Table 3. Increment of the number of slices according to multi-dimensional constellation mappings

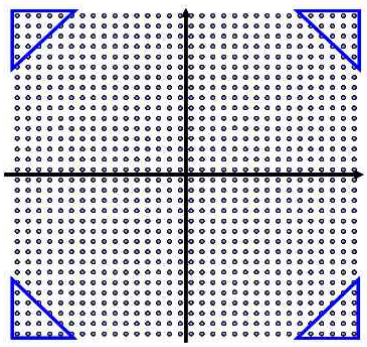
차원 / QAM	2차원	4차원	6차원	8차원
16-QAM	0 X 4	1 X 4	1 X 4	1 X 4
32-QAM	0 X 4	1 X 4	1 X 4	1 X 4
64-QAM	1 X 4	1 X 4	2 X 4	3 X 4
128-QAM	1 X 4	1 X 4	2 X 4	3 X 4
256-QAM	1 X 4	3 X 4	4 X 4	5 X 4
512-QAM	1 X 4	3 X 4	5 X 4	7 X 4
1024-QAM	2 X 4	5 X 4	8 X 4	11 X 4
2048-QAM	3 X 4	7 X 4	11 X 4	15 X 4

표 3에서는 차원이 증가하는 만큼 QAM별 증가하는 경계 판단 슬라이스의 수치를 표현하였다. 하지만 이런 경계 판단 슬라이스의 증가는 전압 판별을 위한 구조이므로 하드웨어적으로 복잡하지 않고 장점인 소비전력 이득에 비해 미미한 단점이므로 무시할 만하다.

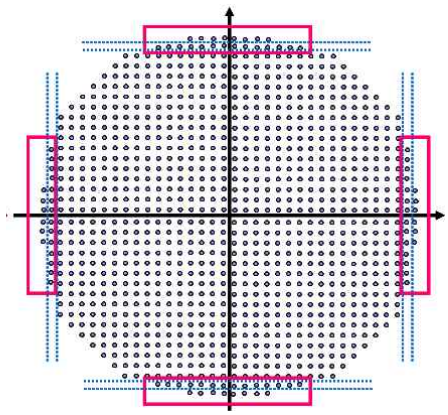
Ⅳ. 다중 반송파를 이용한 다차원 상상도의 전산모의실험

이번 장에서는 전산모의실험을 통해 각 QAM 별 다차원 성상도의 소비전력 이득과 특징에 대해 설명한다. 실험을 위한 조건으로 DVB-T와 ADSL과 같은 다중 반송파 전송 시스템에 적용할 수 있도록 16-QAM부터 2,048-QAM의 성상 포인트를 $2N$차원(N= 1, ⋯, 15)으로 구성하였다. 단순하게 차원을 증가시키면 QAM의 성상도가 다차원 큐브 형태를 구성한다. 큐브 형태를 가진 성상 포인트 중에서 에너지 소비가 큰 성상 포인트들은 좌표축 근처의 에너지 소비가 적은 성상 포인트로 재배치하여 다차원 구의 형태를 이루게 한다.

실험 결과를 살펴보면 2가지 특징을 발견할 수 있다. 첫째, 차원이 증가할수록 재배치될 수 있는 성상 포인트가 증가하므로 평균 소비전력 이득이 증가함을 알 수 있다. 특히



(a) 재배치 전의 1,024-QAM의 2차원 구조와 재배치될 외각 성상 포인트



(b) 재배치 후의 1,024-QAM의 2차원 구조 및 슬라이서 증가 형태

그림 4. 성상 포인트 재배치에 따른 경계 판단 슬라이서의 증가
Fig 4. Increment of the number of slicers in case of constellation relocation

32-QAM, 128-QAM, 512-QAM, 2,048-QAM과 같은 십자가 형태(Non square)의 QAM은 2차원 성상도 자체가 정사각형 태가 아닌 십자가 형태이기 때문에 재배치 할 수 있는 최외각 성상 포인트의 수가 적다. 따라서 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, 1,024-QAM와 같이 정사각형구조에 비해 평균 소비전력 이득이 적다는 것을 알 수 있다.

둘째, QAM의 성상 포인트가 많을수록 더 높은 소비전력 이득을 얻을 수 있다. 이는 성상 포인트가 적을 경우 구 형태를 정밀하게 만들지 못하기 때문이다.

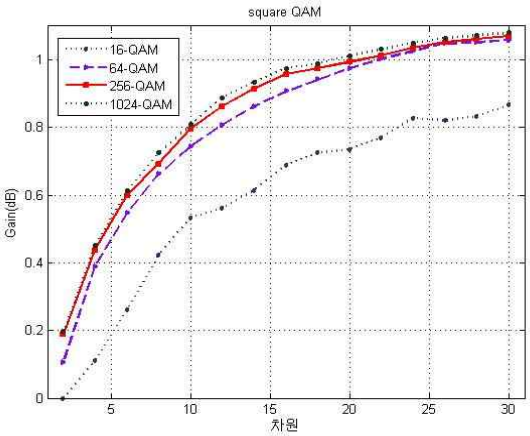
그림 5에서 정사각형 형태와 십자가 형태 QAM, 두 가지 경우로 나누어서 차원의 증가에 따른 평균 소비 전력 이득을 그래프로 나타내었다. 낮은 차원에서는 급격한 증가를 보이지만 차원이 높아지면서 점점 수렴하는 모습을 볼 수 있는데, 이는 차원이 계속하여 증가함에 따라 추가로 재배치되는 최외각 성상 포인트의 영향이 점점 작아지는 현상이라고 볼 수 있다.

그림 5(a)의 16-QAM의 경우는 다른 그래프와는 다르게 이득값이 낮게 형성되는데 16-QAM은 다른 QAM보다 성상 포인트가 적기 때문에 다차원 성상도를 구성하더라도 재배치되는 성상 포인트가 적다. 그래서 16-QAM의 경우는 50 차원부근에서 수렴하며 약 1 dB의 소비전력 이득이 있다.

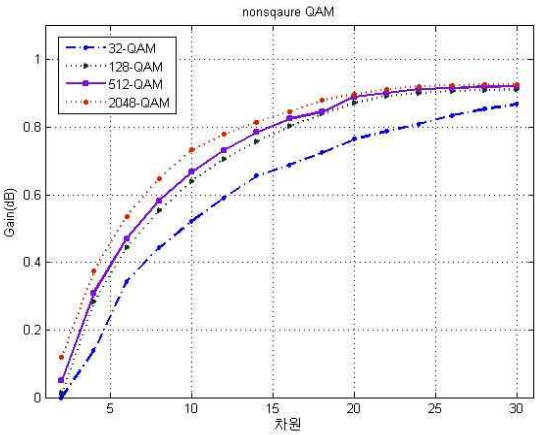
본 논문이 제안한 방법의 전산모의실험을 통해 16에서 2,048까지의 QAM에 대해 다차원 성상 포인트 재배치를 이용한 소비전력 이득을 구하였다. 하지만 차원이 올라갈수록 데이터를 모아서 처리해야하는 심볼 매퍼가 복잡해진다. 또한, 차원이 증가할수록 일정한 적정 이득에 수렴해가는 현상을 감안할 때, 무한히 차원을 늘리기보다는 본 논문을 통해 나온 데이터를 참고삼아 적정 차원 수를 디자인하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 위의 그림 5 그래프를 살펴볼 때 16-QAM을 제외하고 30차원 부근에서 수렴점을 찾아가는 모습을 볼 수 있으므로 20차원정도의 다차원 성상도를 구성하는 것이 적절하다고 볼 수 있다.

V. 결 론

다중 반송파를 사용하는 통신 시스템에서 소비전력의 효율성을 높이기 위한 방식을 본 논문에서 제안하였다. 다중 반송파 시스템의 특징인 부반송파들의 직교성을 이용하여 다차원 성상도를 구현하고, 큐브 형태의 다차원 성상도를 다차원 구 형태로 변환함으로서 평균 소비전력 이득을 얻을 수 있었다. 전력을 최소화하는 전산 모의실험을 통해 차



(a) 정사각형태의 QAM에서 구 형태의 다차원 성상도를 사용할 때 생기는 전력 이득 그래프



(b) 십자가형태의 QAM에서 구 형태의 다차원 성상도를 사용할 때 생기는 전력 이득 그래프

그림 5. 각 QAM별 차원 증가에 따른 효율적 다차원 성상도 사용에 의한 소비 전력 이득 그래프
Fig 5. A graph of power gain by using efficient multi-dimensional constellation mappings

원과 성상 포인트별로 평균 소비전력 이득을 구하였다. 실험 결과를 분석한 결과 정사각형 형태의 QAM과 십자가 형태 QAM의 이득의 차이는 있지만 차원이 올라가고 QAM의 성상 포인트가 많을수록 이득이 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 차원 증가에 따른 전력 이득이 로그형태로 증가하기 때문에 30차원 정도에서 수렴하게 되고, 20차원 정도의 다차원 성상도를 구현했을 때 십자가 형태의 QAM은 약 0.9 dB정도의 평균 소비전력 이득을 얻을 수 있고 정사각형 형태의 QAM은 약 1 dB의 평균 소비전력 이득을 얻을 수 있다. 다중 반송파 시스템에서 다차원 성상도를 구성하면서 차원의 증가에 따른 메모리 증가와 재배치를 통한 경계 슬라이스의 증가라는 단점을 보인다. 하지만 메모리의 증가는 인터리버의 메모리 사용에 비해 미미하고, 경계 판단 슬라이스 증가도 수신기의 하드웨어 복잡도에 비해서 무시할 만하다. 다중 반송파 전송방식 시스템에서 기존의 전송방식의 최소한의 하드웨어 변화로 다차원 성상도를 구성할 수 있기 때문에 본 논문에서 제안한 방법으로 데이터를 전송하는 것은 소비 전력의 효율성을 높이는데 효과적이다.

참 고 문 헌

[1] B. Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2/e, Prentice-Hall, 2000.

[2] M. Naeem, S. I. Shah, and H. Jamal, "Performance analysis of odd bit QAM constellation," in Proc. IEEE International Conference on Emerging Technologies, pp. 178-181, Sept. 2005.

[3] G. D. Forney, "Multidimensional constellations-Part Ⅱ: Voronoi constellations," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 7, no. 6, pp. 941-958, Aug. 1989.

[4] A. K. Khandani and P. Kabal, "Shaping multi-dimensional signal spaces-Part Ⅰ: Optimum shaping, shell mapping," IEEE Trans. Information Theory, vol. IT-39, pp. 1799-1808, Nov. 1993.

[5] G. D. Forney and L.-F. Wei, "Multidimensional constellations-Part Ⅰ: Introduction, figures of merit, and generalized cross constellations," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 7, no. 6, pp. 941-958, Aug. 1989.

[6] G. D. Forney. Jr, R. G. Gallager, G. R. Lang, F. M. Longstaff and S. U. Qureshi, "Efficient modulation for band-limited channal," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 2, no. 5, pp. 632-647. Sep. 1984.

[7] G. D. Forney, Jr., "Coding and its application in space communications," IEEE Spectrum, vol. 7, pp. 47-58, 1970.

저 자 소 개

이 경 원

- 2002년 2월 : 전남대학교 전자공학과 학사
- 2004년 2월 : 전남대학교 전자공학과 석사
- 2009년 8월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사
- 주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송

김 장 현

- 2008년 8월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 학사
- 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
- 주관심분야 : DTV, 디지털 통신

저 자 소 개

김 대 진

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1991년 7월 ~ 1996년 12월 : LG전자 멀티미디어연구소 책임연구원
- 1997년 1월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 지식경제부 디지털TV/방송 PD
- 주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송