

논문 2007-44TC-10-18

이동 통신 환경에서 고차원 변조 방식의 적용

(The Application of High Order Modulation Scheme in the Mobile Communication System)

서인권*, 원세영**, 김영록**

(Inkwon Seo, Seyoung Won, and Younglok Kim)

요약

본 논문에서는 이동 통신 환경에서 데이터율을 높이기 위해 현재 사용되는 변조 방식보다 고차원의 변조방식에 대한 성능을 비교 분석하였다. 기존에 주로 사용되던 정사각형 형태의 QAM은 BER 성능 면에서는 다른 변조 방식에 비해 우수한 특성을 보이거나 진폭의 수가 증가함에 따라 송수신 신호의 다이내믹 레인지가 증가하여 증폭기의 선택에 제한이 생기고, 증폭 과정에서 여러 발생물이 증가하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안하는 APSK 방식의 변조 방식은 기존의 QAM에 비해 미미한 성능 저하를 보이지만 송수신 신호의 다이내믹 레인지 면에서 이득을 얻을 수 있기 때문에 특히 CDMA나 OFDM과 같이 여러 신호가 합쳐진 형태로 송수신되는 시스템에 제한된 범위의 고차원의 변조 방식으로 성능의 유효성이 있다. 또한 이 경우 전력 효율이 좋은 비선형성 증폭기의 사용이 가능하기 때문에 시스템 면에서도 큰 이득이 예상된다.

Abstract

In a TDD system, the length of slots can be unequal, and the number of downlink (DL) and uplink (UL) slots per frame can be different as well. The advantage of using TDD is the capability to accommodate asymmetric high-bit-rate services for the DL and UL, which will be one of the prominent features in 4G systems.

This paper analyzes the performance of TDD system on mobile channel environments like indoor, pedestrian and vehicular channel, and proposes optimum modulation/demodulation method in TDD system. A rectangular QAM (RQAM) used in various communication systems has good BER performance but the much more signal amplitudes also have become one of the barriers to implement receiver. While PSK receiver is implemented easily because it has a constant amplitude, but its BER performance is worse than RQAM. APSK proposed in this paper integrates merits of RQAM and PSK, and minimizes demerits of them. And a simple method is also proposed to demodulate the soft symbol.

The results indicate that the proposed APSK has a little worse performance than RQAM, but the dynamic range of APSK is about 4 dB, 8 dB better than RQAM at 16-ary, 64-ary modulation/demodulation respectively.

Keywords : RQAM, QPSK, APSK, DR, BER

I. 서론

현재 이동통신 서비스는 음성 서비스 뿐만 아니라,

대용량의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 이러한 서비스의 경우 상향 링크를 통한 데이터 전송은 적은 반면에, 하향 링크에서는 동영상과 같은 대용량의 데이터가 이동하게 되는 비대칭적 트래픽 특성을 보이게 된다. 이러한 트래픽 특성을 효율적으로 처리하기에 알맞은 방식으로 time division duplex (TDD)^[4-6] 방식이 각광받고 있다. code division multiple access (CDMA) 를 기반으로 한 방식에 time division multiple access (TDMA) 개념을 도입한 universal mobile telecommunication system terrestrial radio access (UTRA) TDD 방식은 위에서 언급한 비

* 정회원, LG 이동통신 연구소
(Mobile Communication Technology Lab.
LG Electronics)

** 정회원, 서강대학교
(Dept. of Electronic Engineering and Program of
Integrated Biotechnology Sogang University)

※ This work is supported by [Nano IP/SoC
Promotion Group of [Seoul R&BD Program] and
[IDEC] in 2007

접수일자: 2007년7월2일, 수정완료일: 2007년10월12일

대칭적 트래픽 구조를 적절한 타임 슬롯의 할당을 통해 효율적으로 처리할 수 있다.^[1-2]

또한 현재의 이동통신에서는 심볼당 두 개의 비트 정보를 포함하는 QPSK 방식으로 변복조를 수행하고 있다. 그러나 대용량의 데이터를 전송하기 위해 하나의 심볼에 많은 정보를 포함시킬 수 있는 고차원의 변조 방식이 필요하며, 실제로 4G를 위해 제안된 시스템 중 중국에서 제안되고 있는 TD-CDM-OFDM^[3]의 경우 하나의 심볼을 이루는 비트의 수가 여섯 개까지 증가할 것으로 예상된다. 그런데 현재 사용되는 QPSK보다 한 심볼에 포함되는 비트의 수가 많아지면, 심볼들의 진폭이 여러 가지로 나뉘게 되고, 이는 전력 효율이 좋은 비선형 증폭기의 사용에 제한 요소로 작용하게 된다.^[8]

본 논문에서는 3G의 TDD 시스템에서 16, 64진 변조 방식을 적용할 경우, 신호의 진폭 변화를 줄이면서, BER의 증가를 최소화시킬 수 있는 성상도를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 16, 64진 변조 방식에 대한 설명을 하고, III장에서는 복잡도를 줄이기 위한 복조 방식을 기술한다. IV장에서는 TDD 시스템에서 각 변조방식의 성능을 비교 분석하고, V장에서는 결론 및 추후 과제를 제시한다.

II. 본 론

1. 16, 64진 변조 방식

현재 이동 통신에서는 주로 QPSK 방식을 사용한다. 하지만 대용량 파일의 전송이나 인터넷과 같은 서비스를 제공하기 위해서는 심볼당 비트수를 증가시켜 주파수 효율을 높여야만 한다. 주파수 효율을 증가시키기 위하여 케이블 모뎀등의 유선 통신 시스템과 같은 경우 QAM 변조를 많이 사용하고 있으며, 다양한 표준에서 변조 방식의 하나로 채택되고 있다. 그러나 QAM 변조가 주파수 효율면에서는 이득을 갖는 반면, 진폭의 수가 증가함에 따라 증폭기, ADC 등의 과정에서 복잡도를 증가시킨다. 이동통신용 단말기의 경우 전력 효율을 높이기 위해 비선형적 특성을 갖는 전력 증폭기가 사용되는데, 이 경우 진폭의 수가 증가할수록, 즉 송수신 신호의 다이내믹 레인지가 증가할 수록 수신 성능의 열화가 심해지게 된다.^[8]

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 16, 64진 변조 방식에 대해서 기술한다.

1-1 16-Amplitude Phase Shift Keying (APSK)

16진 변조 방식으로 흔히 사용되는 16 - Rectangular QAM (RQAM)은 심볼간의 Euclidean 거리가 최대이기 때문에 심볼당 비트수가 같은 다른 형태의 변조 방식에 비해 우수한 BER 성능을 나타낸다. 하지만 진폭이 세 종류로 나뉘기 때문에 송수신 신호의 다이내믹 레인지가 커지는 단점을 가지고 있고, 이러한 단점으로 인해 선형구간이 넓은 증폭기를 사용해야만 증폭기로 인한 신호의 왜곡을 줄일 수 있다.

반면에 본 논문에서 제안하는 APSK 방식은 진폭의 수에 따라 변조 방식이 결정되며, 각 진폭에서는 PSK 방식으로 심볼이 배치된다. 그림 1은 16진 변조 방식에서 진폭이 두 가지이고, 각 진폭은 8-PSK type으로 이루어진 성상도를 나타낸다.

성상도를 구성하는 규칙은 표 1과 같이 하나의 심볼을 구성하는 네 개의 비트중 첫 번째 비트는 진폭을 결정하고, 두 번째와 세 번째 비트는 심볼 실수값과 허수값의 부호를 결정하며, 마지막으로 네 번째 비트는 심볼 실수값과 허수값의 조합을 이용하여 성상도 상에서의 위치를 결정하게 된다.

그림 1과 같이 성상도를 구성할 경우, 시뮬레이션에

표 1. 16-APSK의 심볼 결정 방법

Table 1. Symbol decision method of 16-APSK.

진폭	1st bit	1: r_a , 0: r
위상	2nd bit	1: $R > 0$, 0: $R < 0$
	3rd bit	1: $I > 0$, 0: $I < 0$
	4th bit	1: $R^2 - I^2 > 0$
		0: $R^2 - I^2 < 0$

r : 안쪽 원의 반지름, a : 원간 반지름의 비율
 R : 심볼의 실수값, I : 심볼의 허수값

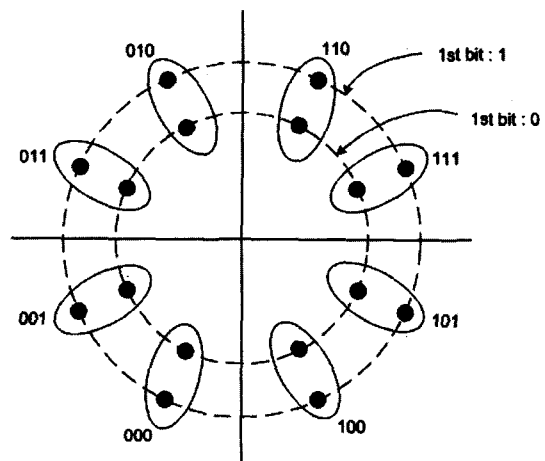


그림 1. 16-APSK (8-PSK type) 성상도

Fig. 1. 16-APSK (8-PSK type) constellation.

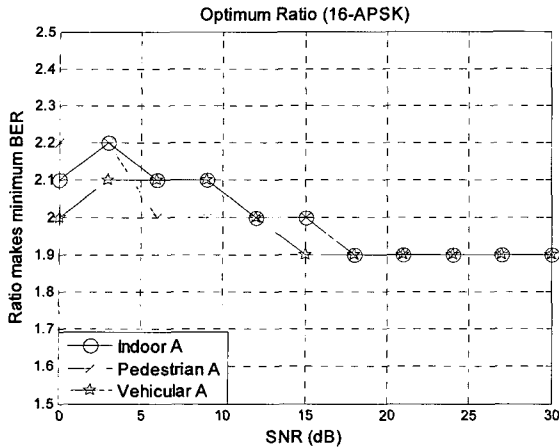


그림 2. 16-APSK의 최적비
Fig. 2. Optimal ratio of 16-APSK.

서는 각 변조 방식의 평균 파워를 고정하여 변조 방식 별 성능을 비교하기 때문에 각 원의 반지름간의 비율에 따라 BER 특성이 달라지게 된다. 16-APSK (8-PSK type)의 최적 비율을 구하기 위해 각 진폭 비율에 따른 성능을 비교하여 최적의 비율을 구했으며, 그 결과는 그림 2와 같다.

채널 환경은 ITU에서 제시한 이동 통신 채널 환경 [7]을 사용하였고, 시뮬레이션 결과 각 SNR에 따라 최적의 비율이 조금씩 차이를 보였지만, 15 dB 이상에서는 1.9의 비율에서 가장 좋은 BER 성능을 나타냄을 알 수 있다.

최적의 성상도를 구하기 위해 진폭을 4개로 하고 각 진폭은 QPSK로 구성된 성상도의 성능 역시 시뮬레이션 해보았으나 BER 성능과 다이내믹 레인지 모두 좋지 않은 성능을 나타내기 때문에 16-APSK 방식에서는 8-PSK type이 최적의 성상도임을 알 수 있었다. 그리고 이와 같이 성상도를 구성할 경우 다이내믹 레인지 면에서 약 4 dB 정도의 이득을 얻을 수 있기 때문에 수신단의 증폭기나 ADC와 같은 과정에서 복잡도를 줄이고 전력 소모 또한 낮출 수 있을 것으로 기대된다. 제안된 성상도에 대한 BER 성능 비교는 IV장에서 설명한다.

1-2 64-Amplitude Phase Shift Keying (APSK)

64-APSK는 16-APSK와 같은 방식으로 성상도를 구성했으며, 16 - PSK type의 64-APSK 성상도는 그림 3과 같다. 64-APSK는 16-APSK보다 심볼당 비트의 수가 6개로 두 개 더 많기 때문에 비트열을 심볼로 변환할 경우 표 1의 내용을 확장해야만 한다. 그림 3과 같은 16-PSK type의 64-APSK는 진폭의 갯수가 네 개이

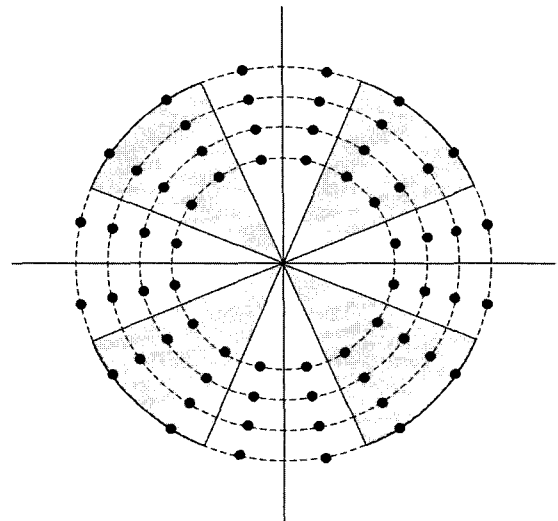


그림 3. 64-APSK (16-PSK type) 성상도
Fig. 3. 64-APSK (16-PSK type) constellation.

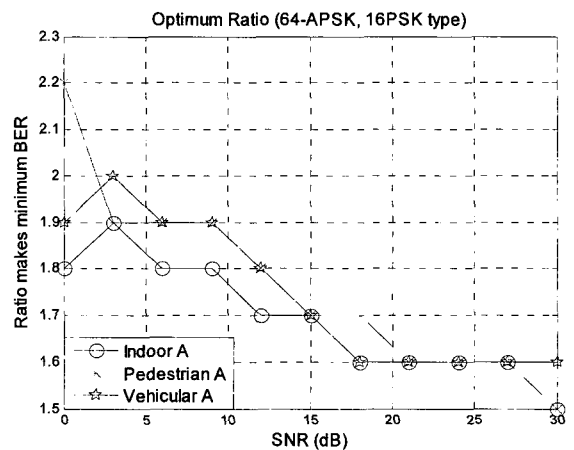


그림 4. 64-APSK의 최적비
Fig. 4. Optimal ratio of 64-APSK.

므로 비트열 중 처음 두 비트가 진폭을 결정하게 된다. 인접 진폭간 에러율을 최소화하기 위하여 인접 진폭들의 비트는 한 개씩만 틀리게 배치하는 gray 방식으로 진폭을 결정하였다. 또한 위상은 16개 중 하나를 선택해야 하므로 네 개의 비트를 이용하고, 네 개의 비트 중 처음 세 개의 비트는 표 1과 같이 결정하고, 나머지 한 개의 비트가 1 일 경우 심볼의 위치는 그림 3에서 음영이 위치한 부분이 된다. 이렇게 6 개의 비트의 조합은 하나의 심볼의 위치를 구성하게 되고, 전송이 이루어진다. 64-APSK 역시 진폭의 수에 따라 16-PSK type, 32-PSK type 등으로 나뉘게 되며, 시뮬레이션 결과 16-PSK type이 가장 적절하다는 것을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 IV장에서 설명한다. 또한 16-APSK와 마찬가지로 64-APSK에서도 진폭간의 최적비가 존재하게 되며, 16-PSK type에서 최적비를 구하기 위한

시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에서 알 수 있듯이 16-PSK type의 64-APSK의 경우 최적비는 1.6이고, 최적의 성상도를 구하기 위해 비교했던 또 다른 64-APSK인 32-PSK type의 경우 최적비는 1.4 임을 알 수 있었다.

2. 복조 방식

기존에 많이 사용되는 QAM의 경우 복조는 수신 심볼과 성상도 상의 심볼들간의 Euclidean 거리를 모두 구해서 그 중 가장 작은 값을 갖는 심볼을 수신 심볼로 판정하는 방법이 일반적으로 많이 쓰이고 있다. 그러나 이 경우 성상도 상의 심볼 수만큼 Euclidean 거리 계산이 필요하고 이는 복잡도의 상승을 의미한다.

본 논문에서 제안되는 성상도의 경우 수신 심볼과 성상도 상의 원점과의 Euclidean 거리 계산 한번과 수신 심볼의 실수값, 허수값등을 이용한 비교연산으로 심볼을 비트 단위로 변환할 수 있다. 8-PSK type의 16-APSK의 경우 표 1의 과정을 역순으로 진행하여 심볼을 비트 단위로 변환이 가능하다. 심볼을 수신하면, 일단 수신 심볼과 성상도 상의 원점과의 Euclidean 거리를 계산하여 그 값이 $\frac{r(a+1)}{2}$ 보다 크면 첫 번째 비트는 1로 판정하고, 작으면 0으로 판정한다. 나머지 비트들의 경우 수신 심볼의 실수값, 허수값이 0보다 클 경우 두 번째, 세 번째 비트는 1, 작을 경우 0이 되며, 실수값의 제곱과 허수값의 제곱의 차가 0보다 크면, 네 번째 비트가 1, 작으면 0으로 판정하게 된다. 64-APSK의 경우 위상에 관계된 마지막 비트의 판정과정에 나눗셈 연산등이 필요하기 때문에 복잡도가 16-APSK의 경우에 비해 증가하지만, 64번의 거리 계산을 하는 RQAM에 비해 복잡도를 줄일 수 있다.

위와 같이 복조를 수행할 경우, 기존의 방법을 사용하면 각각 최소한 16번, 64번의 Euclidean 거리 계산이 필요하던 16진, 64진 복조 방식이 한번의 거리 계산과 비교연산들로서 이루어지므로 복잡도 면를 크게 줄일 수 있다.

또한 수신단에서 복조 다음 과정인 복호 과정에서 위의 복조 방법을 사용해도 문제가 없을 것으로 판단되며, 이에 대한 연구가 진행중이다.

III. 실험

16진 변조 방식에 대한 비교 실험은 기존에 가장 많

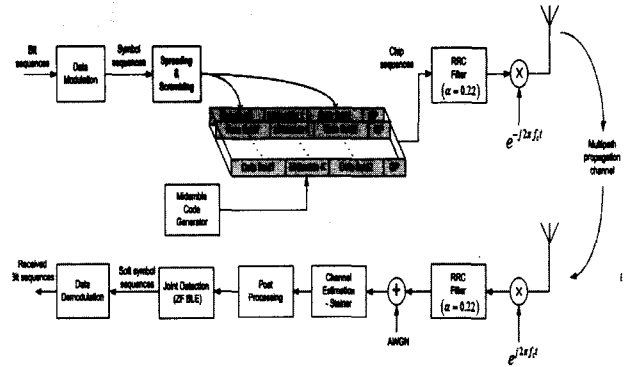


그림 5. 시뮬레이션 블록 다이어그램
Fig. 5. Simulation block diagram.

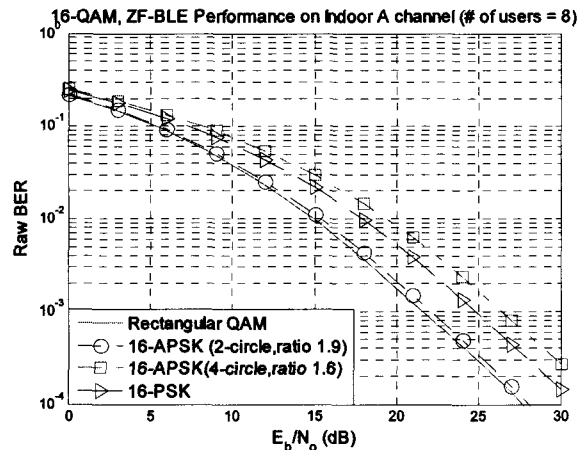


그림 6. indoor 채널에서 16진 변조 방식들의 성능 비교
Fig. 6. 16-modulation performance in indoor channel.

이 사용되는 Rectangular QAM (RQAM) 형태와 제안된 16-APSK, 그리고 16-PSK 방식에 대한 성능을 ITU에서 제시한 이동 통신 환경^[7]에서 TDD 시스템을 적용하여 비교하였다. 실험에 사용된 블록 다이어그램은 그림 5와 같다.

전체적인 과정은 3G TDD 시스템과 같으며, 채널 코딩과 전력 제어등은 포함하지 않았다. 또한 실험 환경은 16진이나 64진 변조 방식이 채널 환경이 좋을 경우 사용될 것으로 예상되기 때문에 indoor 채널과 pedestrian 채널에서 단말의 속도가 3 km/h일 경우로 가정하였다.

16진 변조 방식들의 성능 실험 결과는 그림 6, 7과 같다. 그림 6, 7은 각각 indoor 채널과 pedestrian 채널에서의 실험 결과를 나타내며, 두 경우 모두 RQAM이 가장 좋은 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 제안하는 APSK 방식의 성능은 RQAM에 비해 10⁻³ BER 기준으로 0.5 dB 정도의 미세한 성능 감소를 보인다.

그러나 다이내믹 레인지 (DA) 면에서 보면 다음과

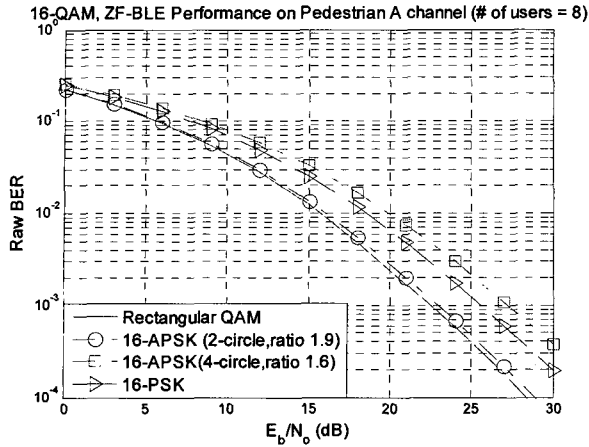


그림 7. pedestrian 채널에서 16진 변조 방식들의 성능 비교

Fig. 7. 16-modulation performance in pedestrian channel.

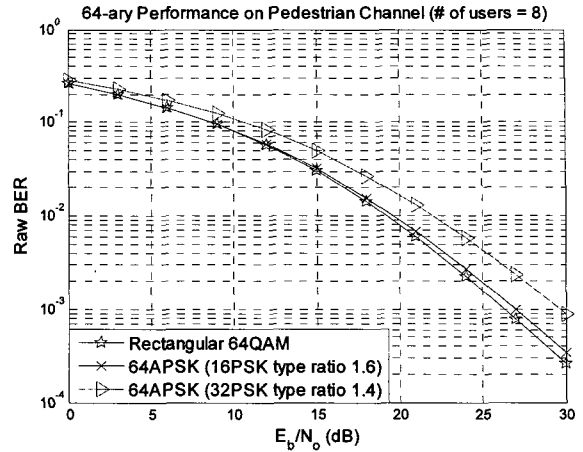


그림 9. pedestrian 채널에서 64진 변조 방식들의 성능 비교

Fig. 9. 64-modulation performance in pedestrian channel.

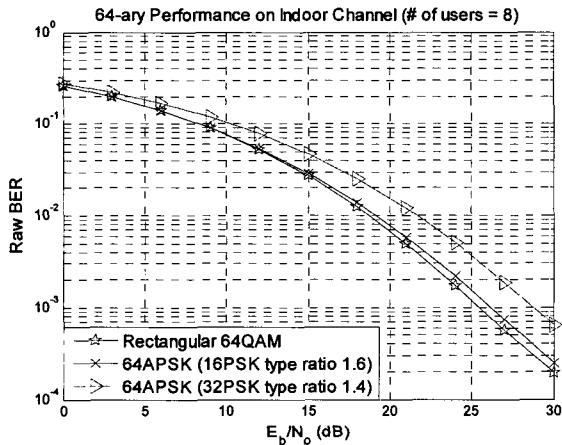


그림 8. indoor 채널에서 64진 변조 방식들의 성능 비교

Fig. 8. 16-modulation performance in indoor channel.

같이 16-APSK가 약 4 dB 정도의 DA 이득이 있음을 알 수 있다.

$$DA_{16-RQAM} = 10\log_{10}\left(\frac{(3\sqrt{2})^2}{\sqrt{10}}\right) = 9.5424 (dB)$$

$$DA_{16-APSK} = 10\log_{10}\left(\frac{(1.2515)^2}{(0.6587)^2}\right) = 5.5749 (dB)$$

위의 식에서 $\sqrt{10}$ 은 RQAM의 평균 파워를 1로 맞추기 위한 정규화 요소이며, 각 식의 분모는 성상도 상에서 가장 작은 파워이며, 분자는 가장 큰 파워를 나타낸다.

64진 변조 방식에 대한 실험 결과는 그림 8, 9와 같다. 64진의 경우 비교를 위한 변조 방식으로 RQAM과 APSK를 사용했으며, APSK에서 16-PSK type과

32-PSK type을 비교하였다. 8-PSK type은 DA 면에서나 BER 성능 면에서 모두 안좋은 성능을 보이기에 제외시켰으며, 64-PSK의 경우 정진폭 특성을 갖기 때문에 DA 면에서는 가장 좋으나, BER 성능이 RQAM방식에 비해 크게 떨어지기 때문에 제외시켰다. 16진 변조 방식의 경우와 마찬가지로 BER 성능 면에서는 RQAM이 가장 좋은 성능을 보였다.

그러나 64-APSK 역시 BER 면에서는 10^{-3} BER에서 0.7 dB 정도의 미세한 성능 감소를 보이나 DA 면에서는 다음과 같이 이득을 얻을 수 있다.

$$DA_{64-RQAM} = 10\log_{10}\left(\frac{(7\sqrt{2})^2}{\sqrt{42}}\right) = 16.9020 (dB)$$

$$DA_{64-APSK} = 10\log_{10}\left(\frac{(1.3896)^2}{(0.4963)^2}\right) = 8.9429 (dB)$$

위와 같이 64-APSK 방식이 DA 면에서 약 8 dB 정도의 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 고속의 대용량 데이터 서비스를 위해 요구되고 있는 고차원 변조 방식에 대해서 알아보고, 고차원 변조를 함에 있어 BER 성능이나 하드웨어 복잡도, 전력 소모 면에서 적합한 성상도를 제안하고 그 성능을 기존의 방법과 비교하였다.

우선 본 논문에서 제안한 APSK 방식은 진폭의 수에 따라 여러 가지 형태를 지닐 수 있는데, 실험을 통해 16

진 변조 방식에서는 8-PSK type, 64진 변조 방식에서는 16-PSK type이 가장 적합한 방식임을 확인하였다. 또한 각각의 경우 가장 좋은 BER 특성을 갖는 진폭간의 비율을 실험을 통해 제시하였다.

APSK 방식은 BER 성능 면에서는 기존의 RQAM에 비해 약간 뒤지지만, 16진, 64진 등의 고차원 변복조를 수행함에 있어 문제점 중 하나인 다이내믹 레인지 면에서 RQAM에 비해 각각 4 dB, 8 dB의 이득이 있으므로 더 좋은 전력 효율을 갖는 증폭기를 사용할 수 있고, ADC등의 과정에서도 복잡도를 줄일 수 있기 때문에 고차원 변복조 방식에 적합하다고 판단된다. 이러한 장점은 특히 CDMA나 OFDM과 같은 합성의 형태로 신호가 전송되는 시스템에서 더욱 유용하게 활용될 것으로 예상된다. 더불어 복조시 계산량을 줄일 수 있는 복조 방법에 대해서도 언급하였으며, 복조 방식을 복호단에서의 활용하는 것에 대한 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] M. Haardt, A. Klein, R. Koehn, S. Oestreich, M. Purat, V. Sommer, and T. Ulrich, "The TD-

CDMA based UTRA TDD mode", IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, no. 8, pp. 1375-1385, Aug., 2000.
[2] M. Haardt, A. Klein, S. Oestreich, M. Purat, V. Sommer, and T. Ulrich, "The Physical Layer of UTRA TDD", Proc. IEEE VTC, pp. 1175-1180, Spring, 2000.
[3] Kan Zheng, Lin Huang, Wenbo Wang, Guiliang Yang, "TD-CDM-OFDM : Evolution of TD-SCDMA toward 4G", Comm. magazine, IEEE, vol. 43, no.1, Jan., 2005.
[4] 3GPP TSG WG TS 25.223 "Spreading and modulation (TDD)", version 5.3.0, March, 2003.
[5] 3GPP TSG WG TS 25.221 "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (TDD)", version 5.5.0, June, 2003.
[6] 3GPP TSG WG TS 25.222 "Multiplexing and channel coding (TDD)", version 5.5.0, June, 2003.
[7] UMTS TR 30.03 : Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ; "Selection Procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS", version 3.2.0, April, 1998
[8] 김태환, 성원진, "비선형성 전력증폭기를 사용한 16-QAM 변조방식의 성능분석 및 최적화", 한국통신학회논문지, vol.27. no.9A, Sept. 2002.

저 자 소 개



서 인 권(정회원)
2004년 서강대학교
전자공학과 학사 졸업.
2006년 서강대학교
전자공학과 석사 졸업.
2006년~현재 LG전자
이동통신 연구소.
<주관심분야 : 통신 변조 방식, 신호처리>



원 세 영(정회원)
2006년 서강대학교
전자공학과 학사 졸업.
2006년~현재 서강대학교
전자공학과 석사 재학중.
<주관심분야 : OFDM 시스템, 디지탈신호처리>



김 영 록(정회원)
1991년 서강대학교
전자공학과 학사 졸업.
1993년 Polytechnic Univ.
공학석사 졸업.
1998년 Polytechnic Univ.
공학박사 졸업.
1998년~1999년 AT&T 연구소 연구원
1999년~2003년 InterDigital Comm. Corp.,
연구원
2003년~현재 서강대학교 전자공학과 부교수
<주관심분야 : VLSI 설계를 위한 DSP 알고리즘,
레이다 및 무선 통신 신호처리>