

계층 16QAM의 SNR 추정 성능에 대한 연구

A Study on the SNR Estimation Performance of Hierarchical 16QAM

곽재민*

Jae-Min Kwak*

요 약

서로 다른 품질을 요구하는 데이터들의 동시 전송 또는 효율적인 영상전송시스템에 응용될 수 있는 계층 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 시스템에 대한 SNR 추정성능에 대해 분석한다. 계층 16QAM은 계층 변조파라미터를 제어하여 성좌점들의 형태를 변형시켜 사용자에게 고품질과 저품질 데이터서비스를 동시에 제공할 수 있는 변조 시스템이다. AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널환경에서 계층 16QAM 시스템에서 계층변조파라미터와 성좌점별 특성을 고려한 SNR (Signal to Noise power Ratio) 추정성능 특성을 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 계층 16QAM의 여러성좌점들 중에 SNR 추정이 상대적으로 정확하게 이루어지는 성좌점이 존재함을 확인하였고, 계층변조파라미터 값에 따라 SNR 추정이 유리한 영역이 달라진다는 것을 알아내었다.

Abstract

The SNR estimation performance of hierarchical 16QAM system, which is adopted to simultaneous transmission or efficient image transmission system, is analyzed. Hierarchical 16QAM is modulation system which has different constellation shape from conventional QAM and can provide users with high quality and low quality of data services simultaneously by controlling hierarchical modulation parameter. Assuming AWGN channel, SNR estimation performance characteristics are investigated considering hierarchical modulation parameter and type of constellation points. From simulation results, it is found that constellation point showing superior SNR estimation performance relative to other points is exist. Also, it is known that according to hierarchical modulation parameter, SNR estimation range with more accurate estimation performance is divided.

Key words : Hierarchical, 16QAM, Estimation, SNR

I. 서 론

최근의 통신시스템에서 SNR(Signal to Noise power Ratio)에 대한 추정성능은 매우 중요한 성능지표 중 하나이다. SNR 추정을 통해 핸드오프, 전력제어, 채널할당 알고리즘 등에 필요한 채널상태정보를 제공

할 수 있다. 특히, 적응변조시스템과 같은 링크적응 기술이 필요한 시스템에서는 SNR 추정기술을 통해 채널 상황에 따라 시스템 파라미터를 적절히 조절하여 쓰루풋(Throughput)을 극대화 할 수 있게 된다 [1][2].

한편, [3],[4],[5]에서는 이동통신시스템에서 서로

* 목포해양대학교 해양정보통신공학과(Department of Information and Communication Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 곽재민 (Jae-Min Kwak, Tel : +82-61-240-7268, email : kjm@mmu.ac.kr)

· 투고일자 : 2012년 1월 28일

· 심사(수정)일자 : 2012년 10월 17일 (수정일자 : 2012년 12월 20일)

· 게재일자 : 2012년 12월 30일

다른 품질을 갖는 데이터를 동시에 전송하거나, 정지 영상을 효율적으로 전송하기 위한 방법으로 계층변조를 이용한 전송시스템이 제안되었다. 계층변조방식은 제한된 주파수자원의 효율적 이용과 기존 시스템과의 호환성을 유지하기 위해 사용되며 최근 디지털 방송영역에서 많이 사용되고 있다. 유럽의 DVB-T(Digital Video Broadcasting — Terrestrial)나 DVB-S2(Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation)의 경우에는 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 계열의 계층변조방식을 사용하여 서비스의 유연성을 증가시킬 수 있도록 하였으며, 최근에는 AT-DMB(Advanced Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting)에서도 가용서비스 수를 증가시키기 위해 계층변조를 도입하고 있다[6].

계층변조를 이용한 전송시스템의 예로 계층 16QAM은 한 사분면내의 성좌점들간의 최소거리와 서로다른 사분면 성좌점들 사이의 최소거리비인 계층변조 파라미터를 제어하여 고품질과 저품질 데이터의 BER 성능을 제어할 수 있는 변조 시스템이다.

기존의 논문들에서는 일반적인 QAM 방식에서의 SNR 추정방식에 대해 크게 송·수신기 사이에 미리 정해 놓은 특정 훈련심볼열을 이용하는 방법과, 두 번째는 훈련심볼열들을 이용하지 않고 실제 수신된 신호들로부터 SNR을 추정하는 방법 들로 구분될 수 있다. 그러나 앞에서 언급한 계층적 변조방식관련 논문들에서 계층변조 파라미터를 고려한 SNR 추정 성능과의 연관관계에 관련된 연구는 진행되지 않았다. 본 논문에서는 [7]에서 SNV RXDA 추정이라고 명명된 SNR 추정기법을 기준으로 하여 계층 16QAM 방식에 이를 적용하였을 때, 시스템의 SNR 추정성능이 계층변조파라미터와 어떠한 관계를 가지는 지에 대해 다양하게 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서 계층 16QAM의 시스템 모델과 계층변조 파라미터에 따른 성좌도 특성과 BER 성능에 대해 간단히 살펴본다. III장에서는 계층 16QAM에 적용할 SNR 추정기법으로 [7]에 언급된 추정방법에 대해 설명한다. IV장에서 계층 16QAM 특성을 고려한 SNR 추정 시뮬레이션 및 분석결과를 제시하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 계층 16QAM 시스템

계층 16QAM 시스템의 블록도를 그림 1에 나타내었다. 정보데이터 소스는 고품질데이터 경로와 저품질 데이터 경로 두가지로 나누어져 계층 16QAM mapper로 전달된다. 고품질 데이터경로의 2비트는 사분면을 결정하는 데이터가 되고, 저품질 데이터경로의 2비트는 정해진 사분면 내의 4개 성좌점중 하나를 결정하게 된다. 이러한 방식으로 HL-16QAM 매핑된 최종 출력 신호는 4비트 정보를 포함하게 되며, 계층변조파라미터($\lambda = D_2/D_1$)에 의해 그림 2와 같은 독특한 성좌도를 가지게 된다.

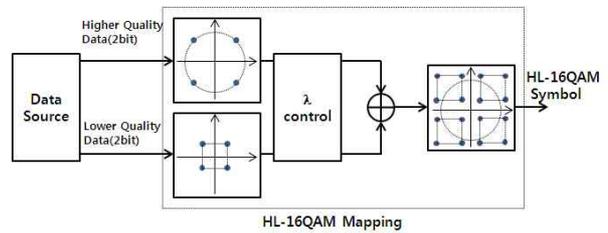


그림 1. 계층 16QAM 변조기의 블록도
Fig. 1. Block diagram of hierarchical 16QAM modulator.

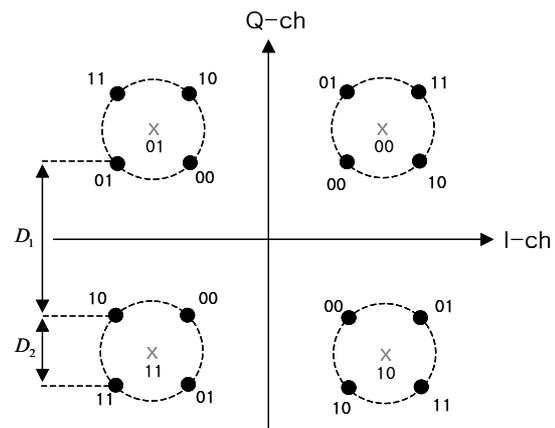


그림 2. 계층 16QAM 시스템의 성좌도 ($\lambda < 1$ 인 경우)

Fig. 2. Constellation diagram of hierarchical 16QAM System($\lambda < 1$).

그림 2에서 D_1 과 D_2 는 각각 클러스터(한 사분면 내의 4개 성좌점의 집합)들 간의 최소거리와 클러스터 내의 성좌점들 간의 최소거리로 정의된다. 그림에서 1사분면의 성좌점들에 대한 4비트 매핑을 설명하

면, 2비트 “00”이 1사분면을 결정하는 것이고, 나머지 2비트 “01”, “11”, “10”에 의해서 1사분면 내의 4개의 성좌점중 하나가 결정된다. 계층 16QAM에서 계층변조파라미터 λ 를 제어함으로써, 각각의 두경로의 비트들의 BER 성능을 서로 다르게 조절할 수 있게 된다.

AWGN 채널에서 계층 16QAM 시스템을 고려할 때, 고품질 데이터비트들의 BER(P_H)과 저품질 데이터 비트들의 BER(P_L)은 각각 다음 식과 같이 유도 된다.

$$P_H = \frac{1}{2} Q\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2\lambda^2 + 2\lambda + 1}}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\sqrt{\gamma \cdot \frac{4\lambda^2 + 4\lambda + 1}{2\lambda^2 + 2\lambda + 1}}\right) \quad (1)$$

$$P_L = Q\left(\sqrt{\frac{\lambda^2 \gamma}{2\lambda^2 + 2\lambda + 1}}\right) \quad (2)$$

여기서, γ 는 수신기의 SNR이고 $Q(\cdot)$ 는 오차보합 수로서 식(3)으로 정의된다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-u^2/2) du \quad (3)$$

III. SNR 추정 기법

본 논문에서는 [7],[8]에서 제시된 SNR 추정기법을 계층 16QAM에 적용하는 방안을 고려한다.

계층 16QAM 변조된 신호를 s_k 이라 하면 AWGN 채널을 거쳐 수신된 신호는 $r_k = s_k + n_k$ 이다. 여기서 n_k 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 AWGN이다. 잡음전력은 수신된 신호의 전체전력에서 신호성분의 전력을 빼줌으로서 구할 수 있으므로, 수신신호로부터 식(4)와 같이 SNR을 추정할 수 있다.

$$\widehat{SNR} = \frac{\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |r_k|\right)^2}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r_k^2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |r_k|\right)^2} \quad (4)$$

송·수신기에서 계층 16QAM 변·복조방식을 채용하는 경우, 수신기에서 수신신호를 판정한 후의 성좌점과 이를 기준으로 잡음을 거쳐 실제 수신된 신호의 복소 값을 비교하여 거리를 구하여 잡음성분을 구해낼 수가 있다. 여기서, 분자와 분모의 평균전력 성분은 이상적인 경우의 성좌점의 전력 P_0 로 대체하여, 아래식과 같이 분모는 수신신호의 분산, 분자는 평균 전력으로 고려하여 적용하기로 한다.

$$\widehat{SNR} = \frac{P_0}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r_k^2 - P_0} \quad (5)$$

일반적인 Rectangular QAM이나 Square QAM과 판정영역 및 성좌점이 어떻게 다른지를 살펴보기 위해 그림3에 계층 16QAM의 성좌도와 판정경계의 예를 나타내었다.

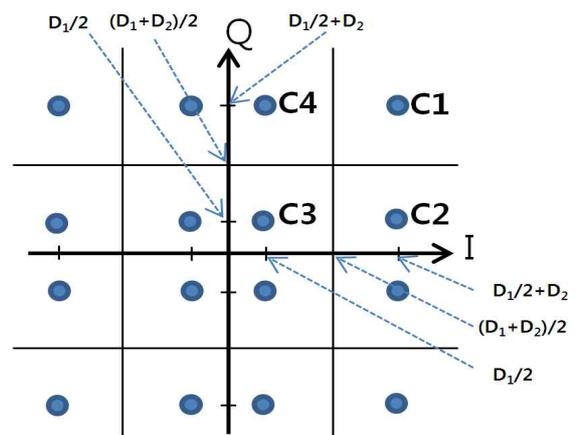


그림 3. 계층 16QAM 시스템의 성좌도와 판정영역 ($\lambda > 1$ 인 경우)

Fig. 3. Constellation diagram and decision boundary of hierarchical 16QAM system ($\lambda > 1$)

계층 16QAM 심볼을 구성하는 4비트중 사분면을 결정하는 2비트와 사분면 내의 성좌점을 결정하는 2비트들의 BER 성능은 계층변조파라미터에 따라 각

각 다르다. 특히, $\lambda = 1$ 인 경우는, Square QAM과 동일한 성좌점을 가지며 전체적인 평균 BER도 동일하다는 것이 알려져 있다. 그러나 SNR 추정에 있어서는, 계층변조파라미터에 따라 성좌점별로 추정 성능이 다르게 나타날 것을 예상할 수 있다. 1사분면의 예를 들면, C1 성좌점이 판정영역이 넓기 때문에 판정에러가 발생할 확률이 낮아서 AWGN 채널에서 다른 성좌점 심볼들보다 SNR 추정의 정확도가 높을 것이라고 예상할 수 있다. 반면, 상대적으로 C2, C3, C4 점은 판정경계에 인접하게 되어 잘못 판정된 성좌점을 기준으로 추정이 이루어질 확률이 높아 SNR 추정 성능이 열악할 것으로 예측할 수 있다. 이러한 현상은 λ 값이 1보다 큰 경우와 1보다 작은 경우 모두 공통적인 경향이 될 것이다. 한가지 더 주목할 점은 $\lambda > 1$ 인 경우 C1점을 기준으로 한 SNR 추정 성능과 C2, C3, C4를 기준으로 한 추정 성능의 차이는 $\lambda < 1$ 인 경우보다 크게 될 것을 예상할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

4장에서는 본 논문에서 설명한 SNR 추정기법을 적용했을 때, 계층 16QAM의 성능제어 파라미터인 계층변조파라미터 λ 에 따라 SNR 추정 성능의 성좌점별 특성을 시뮬레이션을 통해 분석한다.

표 1. 계층 16QAM에서의 SNR 추정 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation condition for SNR estimation in hierarchical 16QAM.

파라미터	설명
변조방식	Hierarchical 16QAM
SNR 추정을 위한 개별 성좌점	C1, C2, C3, C4
채널	AWGN
실제 SNR	0dB ~ 20dB
계층변조파라미터 λ	0.1~2.5
SNR 추정용 샘플 수	5000

계층 16QAM의 SNR 추정 시뮬레이션을 위해 사용한 파라미터들을 표 1에 나타내었으며 매트랩으로 시뮬레이션을 수행하였다. 계층 16QAM 변조방식에 대해 고려하였으며, 그림 3에 제시된 C1, C2, C3, C4 성좌점들에 대해서 AWGN 채널을 고려하여 SNR, 계층변조파라미터에 따라 다양한 시뮬레이션을 수행하

였고, 사용한 추정용 샘플은 성좌점별로 5000개로 하였다.

그림 4는 AWGN 채널에서 $\lambda = 0.5$ 인 계층 16QAM 방식을 적용한 경우의 성좌점들 C1, C2, C3, C4에 대해서, 각각 SNR 추정을 수행한 시뮬레이션 결과이다. 전체적으로 약 17dB 이상의 SNR에서는 모두 정확한 추정이 이루어지고 있다. 그러나 SNR이 낮은 경우에는 C1점이 다른 성좌점들에 비해 상대적으로 추정 오차가 작아서 추정 성능이 우수한 것으로 나타났다.

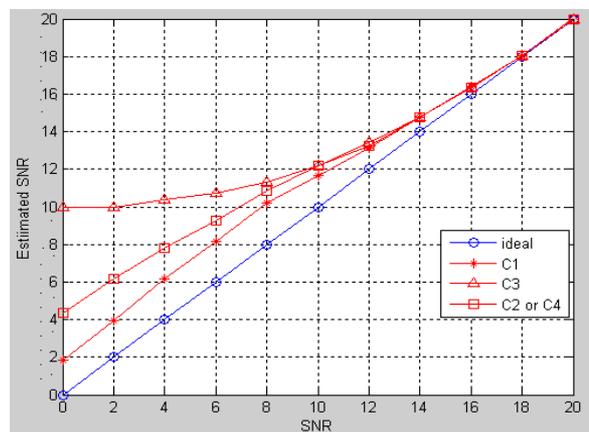


그림 4. 계층 16QAM에서 실제 SNR에 따른 SNR 추정 성능 1 (dB단위, $\lambda = 0.5$)

Fig. 4. SNR estimation performance 1 according to actual SNR in hierarchical 16QAM (dB scale, $\lambda = 0.5$)

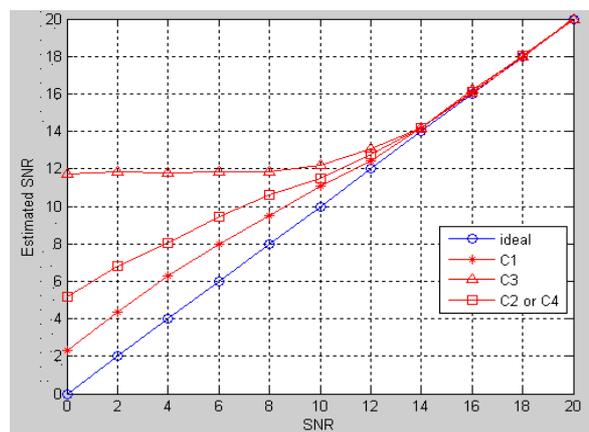


그림 5. 계층 16QAM에서 실제 SNR에 따른 SNR 추정 성능 2 (dB단위, $\lambda = 1$)

Fig. 5. SNR estimation performance 2 according to actual SNR in hierarchical 16QAM (dB scale, $\lambda = 1$)

그림 5는 AWGN 채널에서 $\lambda = 1$ 인 계층 16QAM 방식에 대해 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 4와 나머지 조건들은 동일하게 적용하였으며, 이 경우에는 전체적으로 약 14dB이상의 SNR에서는 모든 성좌점에서 정확한 추정이 이루어지고 있다. 앞의 경우와 유사한 패턴으로 성능그래프가 나타났으나, 차이점은 낮은 SNR의 경우, C3성좌점의 추정성능이 상대적으로 크게 열화된 것을 확인할 수 있다.

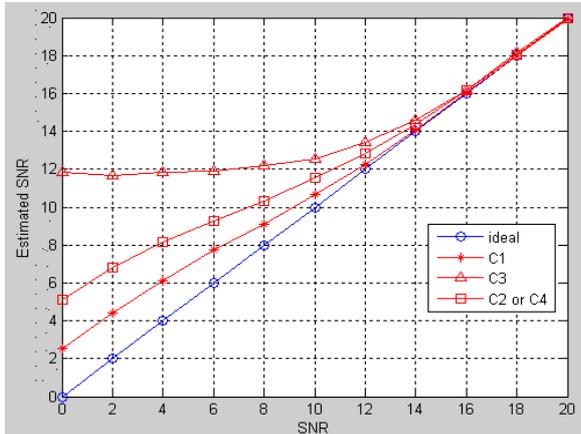


그림 6. 계층 16QAM에서 실제 SNR에 따른 SNR추정성능3(dB단위, $\lambda = 1.5$)

Fig. 6. SNR estimation performance 3 according to actual SNR in hierarchical 16QAM(dB scale, $\lambda = 1.5$)

그림 6은 AWGN 채널에서 $\lambda = 1.5$ 인 계층 16QAM 방식에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 4와 나머지 조건들은 동일하게 적용하였으며, 이 경우에는 전체적으로 약 16dB 이상의 SNR에서는 모든 성좌점에서 정확한 추정이 이루어지고 있다. 이 조건에서도 앞의 경우와 유사한 패턴으로 성능그래프가 나타났으나, 낮은 SNR일 때, 그림 5의 경우와 비교했을 때는 성좌점별 추정성능이 미세한 차이를 보였다.

그림 4~6으로부터 λ 값이 얼마인지에 따라 성좌점별로 SNR 추정성능이 각각 다르게 나타나고 있고, 예상대로 C1점이 SNR 추정 성능이 가장 우수하며 이로부터 기본적으로 C1 성좌점만을 이용한 SNR 추정이 보다 유리하다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 SNR은 특정 값(15dB)로 고정해 놓고, C1, C2, C3, C4점의 추정성능을 λ 값에 따라 나타낸 그래프이다. SNR이 15dB인 경우, 개략적으로 λ 값이 1보다 작을 때에는 모든 성좌점이 유사한 추정성능을 보이고 있으나, λ 값이 1보다 커지면서 C1, C2(or

C4), C3 순으로 추정성능의 격차가 벌어지고 있다.

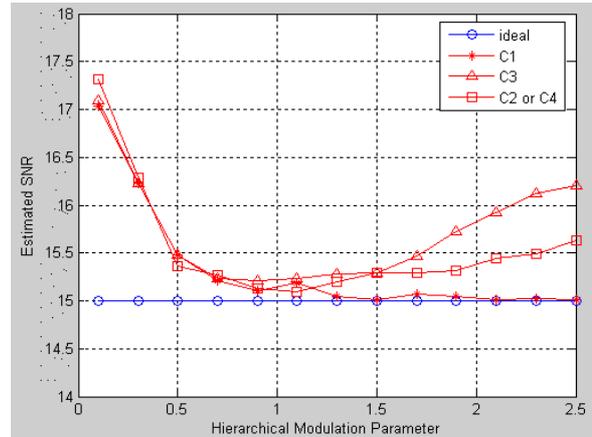


그림 7. 계층 16QAM에서 계층변조파라미터에 따른 SNR추정성능 (SNR=15dB)

Fig. 7. SNR estimation performance according to hierarchical modulation parameter in hierarchical 16QAM(SNR=15dB)

그림 8은 성능이 가장 우수한 C1점에 초점을 맞추어 여러 가지 SNR값에서의 λ 에 따른 SNR추정성능을 복합적으로 살펴볼 수 있도록 나타난 그래프이다. λ 값이 작을 때에는 낮은 SNR에서 추정성능이 상대적으로 우수하게 나타나고 있고, λ 값이 커짐에 따라 SNR이 클 때에, 추정성능이 보다 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

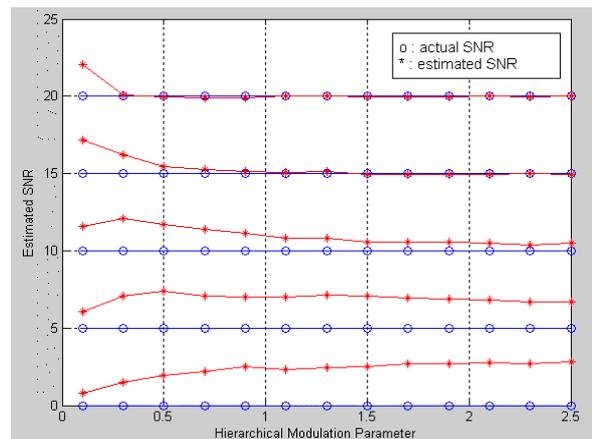


그림 8. 계층 16QAM에서 계층변조파라미터에 따른 C1기준 SNR추정성능(SNR=0~20dB)

Fig. 8. SNR estimation performance of C1 point according to hierarchical modulation parameter(SNR=0~20dB)

표 2. 실제 SNR과 계층변조파라미터에 따른 SNR 추정치에 대한 시뮬레이션 데이터

Table 2. Simulation data for estimated SNR value according to hierarchical modulation parameter.

SNR \ λ	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5
0dB	0.774	1.565	1.910	2.107	2.386	2.595	2.492	2.607	2.667	2.660	2.557	2.664	2.689
2dB	2.931	3.680	4.179	4.449	4.295	4.481	4.326	4.267	4.631	4.475	4.406	4.411	4.433
4dB	5.083	5.825	6.097	6.334	6.200	6.300	6.149	6.034	6.044	6.007	6.039	6.038	6.085
6dB	7.049	8.114	8.311	8.247	8.044	7.990	7.710	7.671	7.596	7.501	7.597	7.467	7.565
8dB	9.315	10.253	10.160	9.949	9.514	9.392	9.265	9.193	9.052	9.160	9.009	8.877	8.905
10dB	11.459	12.193	11.755	11.354	11.093	10.926	10.819	10.649	10.577	10.414	10.467	10.463	10.513
12dB	13.913	13.947	13.264	12.782	12.579	12.426	12.304	12.185	12.251	12.218	12.250	12.129	12.027
14dB	16.180	15.410	14.800	14.352	14.132	14.111	14.064	14.098	14.065	13.984	13.992	13.974	14.023
16dB	18.203	16.914	16.338	16.072	16.051	16.003	16.089	16.102	16.018	15.952	15.947	15.964	16.082
18dB	20.101	18.499	18.059	18.114	18.048	17.985	18.080	17.996	18.029	17.902	17.977	17.942	18.085
20dB	21.976	20.249	20.033	19.986	20.062	20.006	20.059	19.989	19.965	20.038	20.110	19.930	19.963

표 2는 C1점을 기준으로 하여 실제 SNR과 λ 에 따른 SNR 추정치를 시뮬레이션을 통해 구해낸 데이터이다. 표에서 음영으로 표시된 추정치는 각각의 실제 SNR값에서 가장 좋은 추정성능을 나타내는 λ 값을 활용하였을 때의 추정 값을 표시한 것이다. 이러한 최적의 λ 값을 활용한다고 가정하면, C1점으로 추정할 수 있는 optimum SNR추정값들을 도출해 낼 수 있으며, 이러한 최적의 추정값들을 이용해 그래프로 나타낸 것이 그림 9이다. 대략 SNR 12dB부터 추정의 정확도가 이상적인 경우에 근접하였으며, 낮은 SNR에서도 1dB이내의 추정오차를 보여주고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 최근 제한된 주파수자원의 효율적 이용과 기존 시스템과의 호환성을 유지하기 위해 디지털 방송영역을 포함한 다양한 통신시스템에서 응용되고 있는 계층변조 방식중 계층 16QAM 변조시스템의 SNR추정성능을 분석하였다. 우선, 계층 16QAM의 시스템 모델과 계층변조 파라미터에 따른 성좌도 특성과 BER 성능에 대해서 설명하고, 계층 16QAM에 적용할 SNR 추정기법을 설명한 후, AWGN 채널환경을 고려하여, 계층변조파라미터와 성좌점별 특성을 고려한 SNR 추정성능 특성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

분석 결과, 계층 16QAM의 여러성좌점들 중에 SNR추정이 상대적으로 정확하게 이루어지는 성좌점이(C1) 존재함을 확인하였고 이는 다른 성좌점들에 비해 판정영역이 보다 넓어서 발생하는 현상임을 알아내었다. 또한, 계층 16QAM에서 계층변조파라미터 값에 따라 SNR 추정이 유리한 영역이 달라진다는 것을 알아내었으며, 이로부터 판정영역이 넓은 C1 성좌점을 기준으로 하였을 때에 달성할 수 있는 최적 SNR 추정성능을 실험적으로 도출해 내었다.

이로부터 AWGN 채널에서 계층 16QAM 방식을 채용하는 경우, 제시된 결과를 활용하여, SNR 추정에 연관된 시스템의 성능상한을 확인할 수 있으며, 추정성능을 개선하여 설계하는데 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

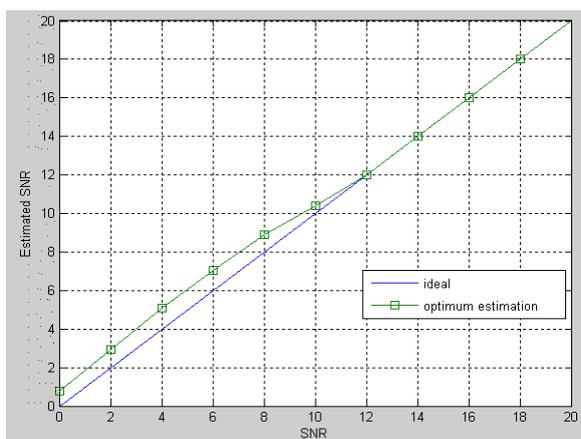


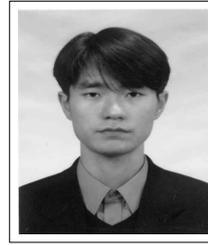
그림 9. 계층 16QAM에서 실제 SNR에 따른 최적화된 SNR추정성능(dB단위, C1 point)

Fig. 9. Optimized SNR estimation performance according to actual SNR in hierarchical 16QAM(dB scale, C1 point)

Reference

- [1] S. Panigrahi and T. Le-Ngoct, "Fine-granularity loading schemes using adaptive Reed-Solomon coding for discrete multitone modulation systems," *Proc. IEEE ICC'05*, vol. 2, Seoul, Korea, pp 1352-1356, May 2005.
- [2] Myung-Ik Kim and Sang-Sik Ahn, "Adaptive OFDM system employing a new SNR estimation method," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 43-TC, no. 3, Nov. 2006.
- [3] Y. Sakamoto, M. Morimoto, M. Okada, and S. Komaki, "A wireless multimedia communication system using hierarchical modulation," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 12, Dec. 1998.
- [4] M. Morimoto, M. Okada, and S. Komaki, "A hierarchical image transmission system for multimedia mobile communication," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 15, Dec. 1997.
- [5] Jim Kim, Eun-Su Kang, Chae-Hyun Lim and Dong-Seog Han, "Performance analysis of hierarchical modulation based on DQPSK," *Conference of Korean Society of Broadcast Engineers*, pp. 165-168, Nov. 2006.
- [6] Sang-Jin Lee, Sang-Woon Lee, Kyu-Tae Yang and Jong-Soo Lim, "Study on the performance of hierarchical modulation for AT-DMB system," *Journal of Korean Society of Broadcast Engineers*, vol. 14 no. 4, pp. 509~517, July 2009.
- [7] B.Li, R. DiFazio, and A. Zeira, "A Low Bias Algorithm to Estimate Negative SNRs in an AWGN Channel," *IEEE Comm. Letters*, vol.6, no.11, pp.469-471, November 2002.
- [8] Doukas, Athanasios, Kalivas, Grigorios, "A modified EVM SNR estimation method for QAM OFDM systems in AWGN channel," *Wireless Conference 2006*, pp. 1-6, Apr. 2006

곽재민 (郭宰旻)



1998년 2월 : 한국항공대학교 통신
정보공학과(공학사)

1999년 8월 : 한국항공대학교
대학원통신정보공학과(공학석사)

2002년 8월 : 한국항공대학교
대학원통신정보공학과(공학박사)

2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자

통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)

2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터
책임연구원

2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 해양정보통신공학과
조교수

관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리