

# DQPSK 변조방식에서의 계층변조 성능분석

김집 강은수 임채현 한동석

(lampjims, kesno1, chlim, dshan)@ee.knu.ac.kr

## Performance Analysis of Hierarchical Modulation based on DQPSK

Kim, Jim Kang, Eun Su Lim, Chae-Hyun Han, Dong Seog

Kyungpook National University

### 요약

최근 디지털 변복조 방식에서 추가적인 전송률 증가를 통하여 기존 시스템의 성능개선 및 서비스의 유연성 확보를 위해 계층변조에 대한 연구가 활발하다. 기존의 QAM(quadrature amplitude modulation)계열의 계층변조 방식은 이미 많은 연구를 통해 분석되고 응용되고 있지만 차분변조 방식을 취하고 있는 DQPSK(differential quadrature phase shift keying) 방식에 대한 계층변조 기법은 아직까지 선행연구가 활발히 진행되지 않았다. 본 논문에서는 DQPSK 방식에 가능한 계층변조기법을 성상에 따라 분석하고 AWGN(additive white Gaussian noise)과 TU6(typical urban 6) 채널에서의 성능을 분석하여 DQPSK방식에 가장 적합한 계층변조기법을 도출한다.

### 1. 서론

계층변조방식[1]은 제한된 주파수 자원의 효율적 이용과 기존 시스템과의 호환성을 유지하기 위하여 사용되며 최근 디지털 방송 영역에서 많이 사용되고 있다. 유럽의 DVB-T나 DVB-S2의 경우에는 QAM계열의 계층변조방식[2]을 사용하여 서비스의 유연성을 증가시킨다. 계층변조 방식은 시스템의 따라 다양하게 구현될 수 있지만 아직까지 지상파 DMB 시스템에서의 계층변조 방식은 연구가 진행되지 않았다.

지상파 DMB의 경우 DQPSK 변조방식을 사용하고 있으며 DQPSK변조방식은 연속된 두 심볼간의 위상차이에 대한 정보를 보내는 방식으로 신호의 판단이 이전 신호와 이후 신호와의 관계에서만 이루어지므로 잡음의 영향을 대략적으로 코히어런트 신호의 2배 정도 받게 된다. 그러나 이전 신호와 이후 신호와의 관계만을 이용한다는 것은 동기나 등화에는 강점을 지닌다. 따라서 DQPSK 방식은 이동채널에서 우수한 성능을 보이며 수신기의 구조를 간단히 할 수 있는 장점이 있다. 또한 기존의 QAM 방식이나 PSK 방식과 마찬가지로 계층변조 기법을 도입할 수 있는 가능성을 지닌다. DQPSK 방식을 이용하여 계층변조 기법을 사용한다면 기존의 DQPSK 방식의 전송규격을 한층 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 다크코히어런트 방식인 DQPSK 방식의 계층변조 기법을 살펴보고 각 계층변조 방식에 따른 성능을 분석한다. 본 논문은 제1장의 서론에 이어서 제2장에서 DQPSK 방식의 변조 방식을 수학적으로 살펴보고, 제3장에서 다양한 계층변조 기법을 논한다. 제4장에서 AWGN과 TU6 채널[3]에서의 성능을 분석한 후 5장에서 가장 적합한 변조기법에 대해 결론을 내린다.

### 2. DQPSK 변조

DQPSK 방식은 이전신호와 이후신호의 위상차인  $\phi_n = \pm \frac{\pi}{4}, \pm \frac{3\pi}{4}$  이용하여 정보를 전송한다[4]. 신호의 BER(bit error rate)은 심볼간의 위상차에 대한 관계를 바탕으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_0(t) &= \sqrt{2S_0} \cos(\omega t + \phi_n), \quad nT_s \leq t \leq T_s \\ &= \sqrt{2S_0} \cos(\omega t + \phi_{n-1} + \Delta\phi_n) \\ &= \sqrt{2S_0} (I_n \cos \omega t - Q_n \sin \omega t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $S_0$ 는 원신호,  $\omega$ 는 각주파수  $I_n = \cos \phi_n, Q_n = \sin \phi_n$  이다. 그리고 필터를 통과한 신호는 다음과 같이 표현 된다.

$$s(t) = \sqrt{2S} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos(\omega t + \phi_n) \cdot p(t - nT_s) \quad (2)$$

여기서  $p(t)$ 는 펄스성형 필터를 나타낸다. 이를 이용하여 다음과 같이 차분변조를 수행하면

$$\begin{aligned} y_I(t) &= [s(t)s(t-T)]_{LPF, t=nT_s} \\ &= S[I(t)I(t-T) + Q(t)Q(t-T)]_{LPF, t=nT_s} \\ &= S(I_n I_{n-1} + Q_n Q_{n-1})p^2(0) \\ &= S \cos \Delta\phi_n \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
y_Q &= [s(t - \pi/2w)s(t - T_s)]_{LPF, t = nT_s} \\
&= S[Q(t)I(t - T_s) - I(t)Q(t - T_s)]_{t = nT} \\
&= S(Q_n I_{n-1} - I_n Q_{n-1})p^2(0) \\
&= S \sin \Delta \phi_n
\end{aligned} \quad (4)$$

를 얻는다. 잡음성분을 고려한다면, 잡음은

$$n(t) = n_c(t)\cos 2\pi ft - n_s(t)\sin 2\pi ft \quad (5)$$

이 된다. 여기서  $n(t)$ 는 백색 가우스 잡음이다. 잡음의 분산

$$\sigma^2(t) = En^2(t) = En_c^2(t) = En_s^2(t) \quad (6)$$

라 할 때, 잡음의 상관관계

$$\begin{aligned}
R_n(t_1, t_2) &= R_c(t_1, t_2)\cos[2\pi f(t_2 - t_1)] \\
&\quad - R_{cs}(t_1, t_2)\sin[2\pi f(t_2 - t_1)]
\end{aligned} \quad (7)$$

가 되며, 여기서

$$R_c(t_1, t_2) = E\{n_c(t_1)n_c(t_2)\} = E\{n_s(t_1)n_s(t_2)\} \quad (8)$$

와

$$R_{cs}(t_1, t_2) = E\{n_c(t_1)n_s(t_2)\} = -E\{n_s(t_1)n_c(t_2)\} \quad (9)$$

라 둔다. 시간에 따라 다음과 같이

$$\sigma_1^2 = \sigma^2(t_1), \sigma_2^2(t) = \sigma^2(t_s) \quad (10)$$

로 구분 짓는다. 이를 이용하여 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\rho(t_1, t_2) = R_c(t_1, t_2)/\sigma_1\sigma_2 \quad (11)$$

$$r(t_1, t_2) = R_{cs}(t_1, t_2)/\sigma_1\sigma_2 \quad (12)$$

이를 이용하여 신호를 재구성하면

$$\begin{aligned}
r(t) &= s(t) + n(t) \\
&= [I(t) + n_c(t)]\cos wt - [Q(t) + n_s(t)]\sin wt \quad (13) \\
&= r_c(t)\cos wt - r_s(t)\sin wt
\end{aligned}$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $r_c(t)$ 와  $r_s(t)$ 는 수신신호의 실수, 허수 성분을 나타낸다.

$$y_I = \frac{1}{2}[r_c(nT_s)r_c(nT_s - T_s) + r_s(nT_s)r_s(nT_s - T_s)] \quad (14)$$

이고

$$y_Q = \frac{1}{2}[r_s(nT_s)r_c(nT_s - T_s) - r_c(nT_s)r_s(nT_s - T_s)] \quad (15)$$

이다.

### 3. DQPSK에서의 계층변조 기법

DQPSK 방식에서 계층변조를 구성하는 추가적인 성상을 고려하면 PASK(phase and amplitude shift keying)방식과 Y자 성상, QPSK, DQPSK방식을 고려할 수 있다. 먼저 PASK 방식은 그림 1에서 처럼 8개의 큰 그룹이 존재하고 한 그룹 당 삼각형 형태의 성상이 크기와 위상 차이에 따라 그룹 내의 신호 성분을 구분 짓게 된다. 그림 2에는 Y자 형태의 성상을 나타내었다. PASK와 같이 8개의 큰 그룹을 가지고 있으며 각 그룹에는 4개의 심볼이 Y자 형태로 배치되어 있다. 이 성상 역시 크기와 위상정보를 이용하여 복조할 수 있다. 그림 1에 비해 그룹내의 신호간 거리가 일치하는 특징을 파악할 수 있다. DQPSK에 추가적인 성상을 얻는 방법에는 DQPSK에 추가적인 QPSK 나 DQPSK를 더한 성상을 고려할 수 있다. DQPSK 성상을 추가할 경우, 두 계층 모두 년코이던트 방식이기 때문에 DQPSK 방식의 장점을 그대로 얻을 수 있지만, 잡음에 대한 영향이 코히어런트 시스템보다 크기 때문에 원하는 성능을 얻지 못할 수도 있다.

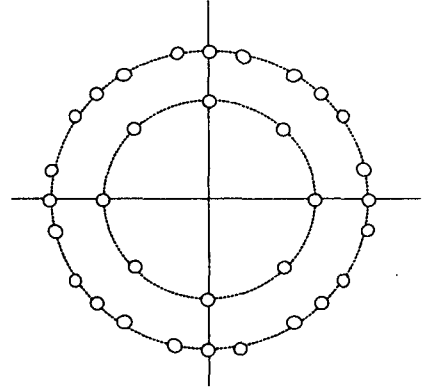


그림 1. 8PSK 변조방식

DQPSK에 QPSK 성상을 더한 경우에는 수신기에서의 정확한 동기화 등화가 필요한 단점은 있지만 동기와 등화가 이루어졌다고 가정할 때, 잡음에 대한 영향이 줄어들게 되므로 우수한 성능을 얻을 수 있다. 또한 두 심볼간의 거리를 최대로 하기 위해 그림 3에서처럼 축상에 존재하는 성상들을 45도 위상이동을 시켜준다. 수신시에는 동일한 크기의 위상을 반대도 이동시켜주면 변복조시 성상에는 왜곡이 일어나지 않고 인접 심볼간 거리를 크게 할 수 있다.

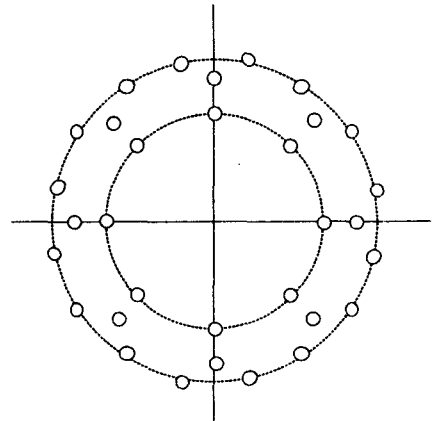


그림 2. Y자형 성상

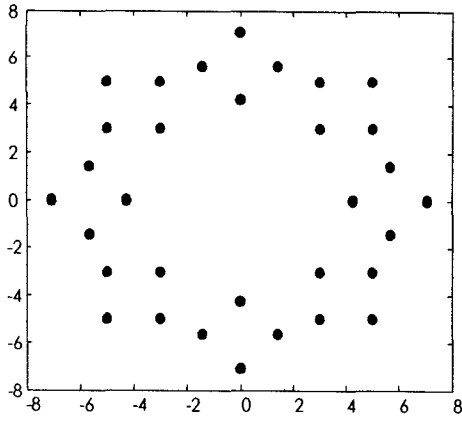


그림 3. 사각형 모양의 계층변조 기법

#### 4. 모의실험

본 절에서는 3절에서 제안한 계층변조 성상을 AWGN과 TU6채널에 통과시켰을 때 나타나는 성능을 분석한다. 그림 4는 DQPSK에 추가적인 성상으로 DQPSK 성상을 적용시켰을 때 수신기 구조가 코히어런트 또는 네크코히어런트 방식에 따른 성능을 나타낸다. 그림 4에서 수신기의 수신 방식이 달라지더라도 성능차이는 1dB내외이다. 그림 5는 추가적인 성상으로 QPSK를 이용한 경우의 성능을 나타낸다. 수신방식에 따른 성능은 1dB내외로 나타나지만 그림 6에 나타난 것과 같이 QPSK 방식을 사용하는 계층변조 방식이 DQPSK 방식을 사용하는 계층변조 방식에 비해 4dB이상의 이득을 얻는 것을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8은 8PSK 성상과 Y자 성상을 high priority와 low priority에 대한 거리비에 대한 성능을 나타낸다. 그림 7과 그림 8에서 알 수 있듯이 high priority에서는 거리비가 클수록 성능이 우수하게 나타나며, low priority에서는 반대로 거리비가 작을수록 성능이 좋게 나타났다. 그러나 이들 성상에 대한 성능은 DQPSK-QPSK방식을 이용한 계층 변조서보다 성능이 작게는 1dB에서 크게는 5dB이상 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 위에서 제안한 성상 중 가장 효과적인 성능을 나타내는 성상은 DQPSK-QPSK를 적용시켰을 때이다.

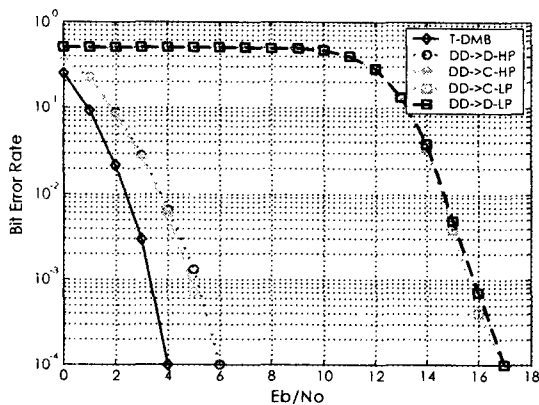


그림 4. DQPSK 방식을 사용했을 때의 성능

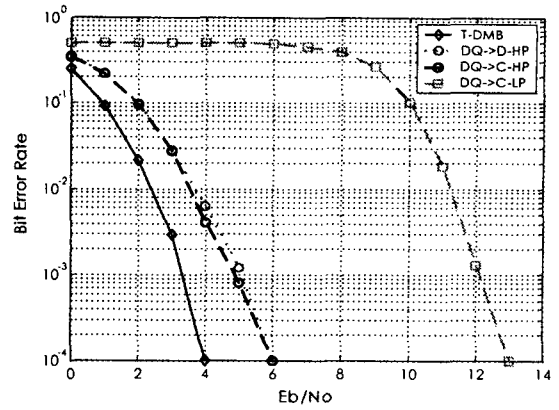


그림 5. QPSK 방식을 사용했을 때의 성능

DPQSK-QPSK 성상을 TU6채널을 통과시켰을 때의 성능을 high priority와 low priority의 거리비에 따른 성능을 나타내었다. 그림 9는 high priority에서의 성능을 나타낸다. 그림 9에서 일반적인 DQPSK만을 적용했을 때 보다 high priority에서의 성능이 약 4dB정도 차이가 나는 것을 알 수 있고 거리비와 신호대 잡음비에 따라 성능 차이가 나는 것을 알 수 있으며 특히 20dB 이상일 때에는 거리비가 2보다 큰 성상이 거리비가 1인 경우보다 10dB이상의 큰 성능차이가 나타남을 알 수 있다. 그림 10은 채널 추정이 완벽하게 이루어지고 이상적인 등화기를 low priority에 적용했다고 가정할 때, low priority에서의 성능을 거리비에 따라 나타내었다. 그림 10에서 거리비가 1부터 1씩 커짐에 따라 성능이 2-3dB정도씩 신호대 잡음비의 차이가 발생하여 성능이 나빠지는 것을 알 수 있다.

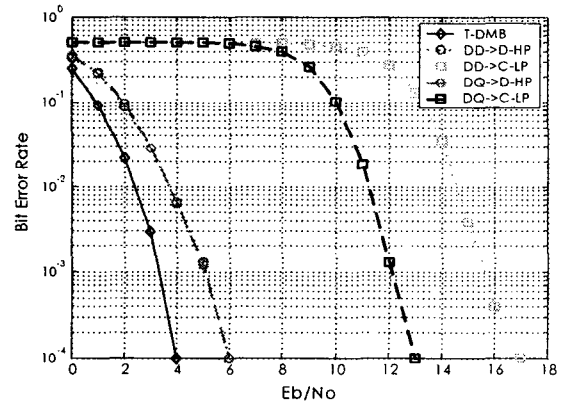


그림 6. DQPSK-DQPSK 와 DQPSK-QPSK의 성능비교

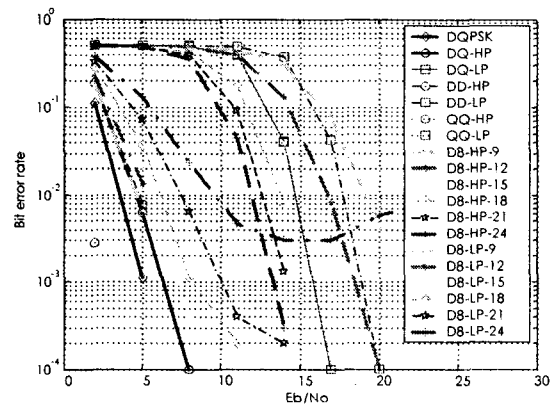


그림 7. 8PSK 형태를 이용 했을 때의 성능비교

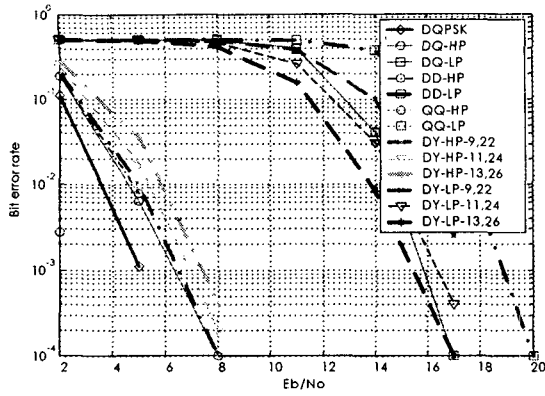


그림 8. Y자형 성상을 이용했을 때의 성능비교

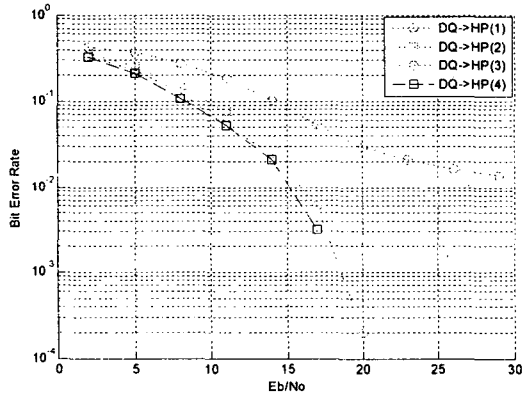


그림 9. DQPSK-QPSK의 high priority 성능비교

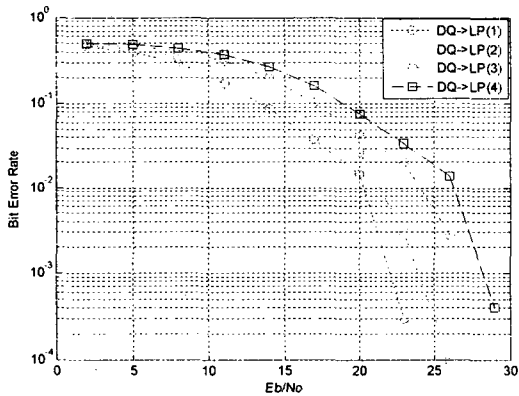


그림 10. DQPSK-QPSK의 low priority 성능비교

#### 4. 결론

본 논문에서는 DMB 시스템에서 사용하고 있는 DQPSK 변조방식에 적용할 수 있는 계층 변조에 대해 비교 분석하였다. 여러 종류의 성상 중 DQPSK에 추가적인 성상으로 QPSK를 적용한 성상이 가장 좋은 성능을 나타내었다. 그리고 이 성상을 TU6 채널에 적용한 결과 high priority에서는 거리가 클수록, low priority에서는 거리가 작을수록 우수한 성능을 나타내었다.

#### 참고문헌

- [1] F. Xiong, *Digital Modulation Techniques*, MA, Artech House : 2000.
- [2] P. K. Vitthaladevuni and M. Alouini, "BER computation of 4/M-QAM hierarchical constellations," *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 47, no. 3, pp. 228-239, September, 2001.
- [3] TeamCast, *DVB-H Validation Task Force-final report*, Jan.2005
- [4] S. Chennakeshu, "Differential detection of  $\pi/4$ -shift-DQPSK for digital cellular radio" *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 42, no. 1, February, 1993.