

# 계층 변조 모드에서의 지상파 DMB 수신 성능 향상

김지현\*, 김형남\*, 임형수\*\*, 임종수\*\*

\*부산대학교 전자공학과, \*\*한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

## Performance Improvement of Terrestrial DMB Receivers with Hierarchical Modulation Scheme

Ji-Hyun Kim\*, Hyoung-Nam Kim\*, Hyoungsoo Lim\*\*, and Jong Soo Lim\*\*

\*Dept. of Electronics Engineering, Pusan National University,

\*\*Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

\*[hnikim@pusan.ac.kr](mailto:hnikim@pusan.ac.kr), \*\* [lim@etri.re.kr](mailto:lim@etri.re.kr)

**Abstract:** 현 지상파 DMB시스템에서는 CIF급 화질의 비디오를 방송할 수 있도록 설계되어 있지만, 이동단말에서도 점차 고해상도에 대한 요구가 증가할 것으로 전망된다. 지상파 DMB시스템의 데이터 전송률을 높이기 위해서 계층변조 방법이 적용 가능하다. 그러나 계층 변조 시 기존 수신기의 성능 열화가 발생한다. 지상파 DMB시스템에서 채택하고 있는 복조 방법인 DQPSK보다는 동위상 복조를 이용함으로써 성능을 향상시킬 수 있으며 동위상 복조를 위해서는 채널 추정기가 필요하다. 본 논문에서는 성능 열화를 극복하기 위하여 판정의거 채널 추정 방법에 의하여 추정된 채널 정보를 이용하여 위상을 보상해 주는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 보면 제안된 방법이 계층 변조 시 기존 시스템이 계층 변조 시 생기는 성능 열화를 줄여 주는 것을 볼 수 있다.

**Keywords:** Terrestrial DMB, Channel estimation, Hierarchical modulation

### I. 서론

지상파 Digital Multimedia Broadcasting (DMB) 시스템은 전송 표준으로 Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM) 과 Differential Quadrature Phase shift Keying (DQPSK) 을 사용하고 있는 유럽의 Eureka 147 Digital Audio Broadcasting (DAB) [1] 의 전송 모드 I를 채택 하고 있다. 현재의 지상파 DMB 시스템의 실제 비트 전송률은 1.06 Mbits/s 이다. 최대 해상도가  $355 \times 288$  이며 이 것은 5-7 인치 LCD 디스플레이에서 적당한 해상도이다 [2]. 이러한 해상도는 자동차 내부에서 주로 사용하는 작은 디스플레이에서 적당하다. 그러나 버스나 기차와 같은 곳 내부에서는 24 인치 정도의 디스플레이가 적당하다. 따라서 지상파 DMB 시스템에서 비트 전송률을 올려서 큰 사이즈의 디스플레이에서도 고 품질의 비디오 서비

스를 가능 하게 하는 것은 흥미로운 연구 분야 이다. 비트 전송률을 높이기 위하여 계층 변조가 좋은 방법으로 고려 될 수 있다 [3],[4]. 그러나 지상파 DMB 시스템에 계층 변조 적용시 심벌 간의 간격이 멀어지는 효과가 발생 하여 기존 수신기의 성능 열화를 피할 수 없고 계층 변조를 적용할 경우 기존 수신기와의 호환성이 반드시 보장 되어야 한다.

대부분의 지상파 DMB 수신기에서는 낮은 하드웨어의 복잡도 때문에 약 3 dB 신호 대 잡음비 (SNR) 의 열화 에도 불구하고 비동기 검파를 이용한 DQPSK 복조를 사용한다 [5]. 그러나 동기 검파를 이용할 경우 채널 추정이 필요 하고 알고 있는 파일럿 심볼이 있어야 원하는 성능을 얻을 수 있다 [6]. 알고 있는 파일럿 심볼이 없을 경우에는 판정된 심볼을 파일럿 심볼 대신 사용하는 방법인 판정 의거 채널 추정 방법이 유용하게 사용 될 수 있다 [7],[8]. 지상파 DMB 시스템에서는 Phase Reference Symbol (PRS) 만이 알고 있는 파일럿 신호로 사용 될 수 있다. 그러나 PRS 이후에는 파일럿으로 사용할 수 있는 심볼이 존재 하지 않는다. 따라서 지상파 DMB 수신기에서 동기 검파를 사용하기 위하여 판정 의거 채널 추정 방법이 사용 될 수 있다. 본 논문에서는 비트 전송률을 높이기 위해서 계층 변조가 적용된 지상파 DMB 시스템에서 기존 수신기의 성능 열화를 최소화 하기 위한 방법으로 판정 의거 채널 추정 방법에 기초를 둔 동기 검파 방법을 제안 한다.

### II. 계층 변조

계층 변조는 데이터 전송률을 높이기 위한 방법으로 사용 될 수 있다. 현재 지상파 DMB 시스템에서 데이터 전송률을 높이기 위해서 계층 변조 방법 적용을 고려해 볼 수 있으며 계층 변조 시 기존 수신기와의 호환성이 유지 되어야 한다. 먼저 기존 지상파 DMB 의 성상도를 그림 1 에 나타내었다. 그림 2 는 계층 변조 적용 시 성상도 이다. 성상도 와 계층변조 적용 시 성상도를 그림 1 과 그림 2 에 나타내었다. 계층 변조된 시스템의 특성을 결정하는 중요한 변수인  $\alpha$  를 다음 식 과 같이 정의 한다.

본 논문은 정보통신부의 출연금 등으로 수행하고 있는 한국전자통신연구원의 정보통신연구개발사업 위탁연구과제 연구결과입니다.

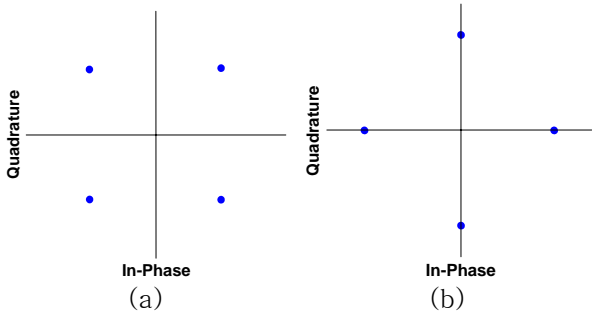


그림 1.  $\pi/4$ -DQPSK 성상도 (a) 홀수 번째 심볼, (b) 짝수 번째 심볼

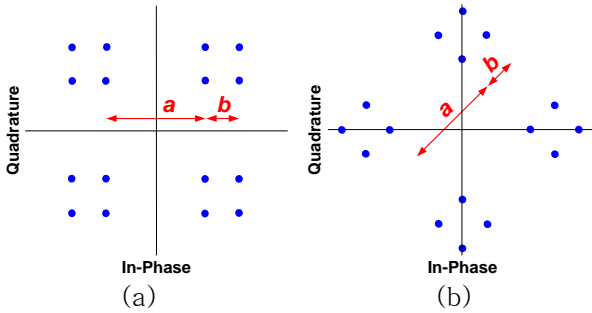


그림 2. 계층 변조된 신호의 성상도 (a) 홀수 번째 심볼, (b) 짝수 번째 심볼

$$\alpha = a/b \quad (1)$$

여기서  $a$ 와  $b$ 는 계층 변조 후 인접한 심볼간의 길이를 나타내며 그림 2 (a)와 (b)에 표시하였다.  $\alpha$  값이 작을수록 심볼간의 간격이 짧아 지므로 기존 수신기의 성능 열화가 커진다 [3]. 지상파 DMB 시스템의 전송 프레임 구조는 Synchronization Channel, Fast Information Channel (FIC), Main Service Channel (MSC)로 구성된다. 계층 변조 시 전송 신호는 High-Priority (HP) 신호와 Low-Priority (LP) 신호로 나누어 질 수 있다 [4]. 본 논문에서는 Synchronization Channel을 제외한 FIC와 MSC에서 HP 신호와 LP 신호를 모두 가진다고 가정한다.

### III. 판정 의거 채널 추정

대부분의 지상파 DMB 수신기에서는 비동기 검파를 이용한 DQPSK 복조를 사용한다. 비동기 검파시 하드웨어 복잡도는 낮아지지만 동기 검파시 성능을 향상시킬 수 있으므로 본 논문에서는 동기 검파 방법을 사용한다. 동위상 복조를 위해서는 채널 추정이 필요하다. 그림 2.는 판정의거 채널 추정방법을 위한 블록도이다. 지상파 DMB 시스템에서는 블록 타입 파일럿으로 여겨 질 수 있는 PRS가 한 프레임에 한 심볼이 존재한다. PRS은 Least-Square (LS) 방법을 사용하여 채널 추정을 수행한다 [9]. 채널 추정 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{\mathbf{H}}_1 = \mathbf{X}_1^{-1} \mathbf{Y}_1 \quad (2)$$

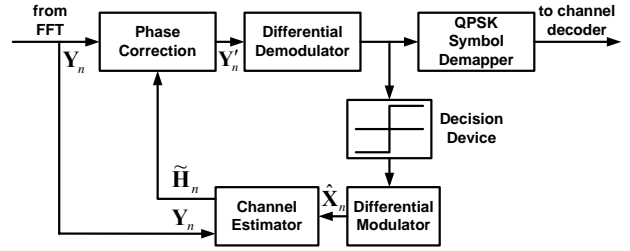


그림 3. 판정 의거 채널 추정을 위한 블록도

여기서

$$\mathbf{X}_1 = \begin{bmatrix} X_{1,0} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & X_{1,1} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & X_{1,1536} \end{bmatrix} \quad (3)$$

이며,  $X_{1,k}$ 는 PRS의  $k$  번째 부 반송파의 복소  $\pi/4$ -DQPSK 심볼이다.  $\mathbf{Y}_1$ 은 PRS를 송신했을 경우 수신된  $\pi/4$ -DQPSK 심볼 벡터이다.  $\mathbf{Y}_1$ 을 수신한 이후의 경우에는 파일럿 심볼로 이용할 수 있는 심볼이 없다. 이러한 경우에는 판정된 심볼을 파일럿 심볼 대신 사용하는 방법인 판정 의거 채널 추정 방법을 이용한다. 판정 의거에 의한 채널 계수 갱신 식은 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{H}}_n = (1-\gamma)\tilde{\mathbf{H}}_{n-1} + \gamma\hat{\mathbf{H}}_n, \quad n = 2,3,\dots,76 \quad (4)$$

여기서  $\hat{\mathbf{H}}_n$ 는 다음 식과 같다.

$$\hat{\mathbf{H}}_n = \hat{\mathbf{X}}_n^{-1} \mathbf{Y}_n \quad (5)$$

$\hat{\mathbf{H}}_n$ 은 LS방법에 의해 추정된 채널 계수이며  $\hat{\mathbf{X}}_n$ 은 차등 복조의 결과 행렬이며 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{\mathbf{X}}_n = \begin{bmatrix} \hat{X}_{n,0} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \hat{X}_{n,1} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \hat{X}_{n,1536} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서  $\hat{X}_{n,k}$ 는 한 프레임 내에서  $n$  번째 OFDM 심볼의  $k$  번째 부 반송파 신호를 차등 복조하고 QPSK 심볼로 결정한 후 다시 차등 변조 한 신호를 나타낸다.  $\gamma$ 는 결정된 심볼의 질에 의존하는 망각 인자 (forgetting factor)이다 [8]. 판정 의거 채널 추정 방법에 의해 채널을 추정 한 후 채널 계수를 이용하여 위상을 보상 해준다. 한 프레임 내에서  $n$  번째 OFDM 심볼을 보냈을 때 수신된  $\pi/4$ -DQPSK 심볼 벡터를  $\mathbf{Y}_n$ 라하고 위상이 보상된 후의 심볼을  $\mathbf{Y}'_n$ 라 하면  $\mathbf{Y}_n$ 과  $\mathbf{Y}'_n$ 은 다음과 같이 표현된다.

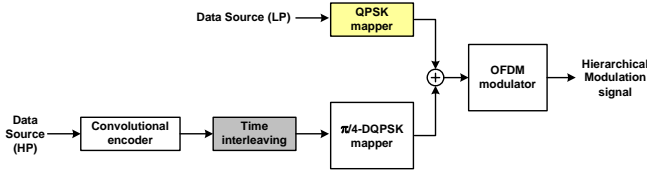


그림 3. 계층 변조된 신호를 생성 하기 위한 블록도

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}'_n &= [y'_{n,1}, y'_{n,2}, \dots, y'_{n,1536}]^T \\ \mathbf{Y}_n &= [y_{n,1}, y_{n,2}, \dots, y_{n,1536}]^T \end{aligned} \quad (7)$$

$\phi_k$  를  $\tilde{\mathbf{H}}_n$  의  $k$  번째 원소의 위상 성분 이라고 하면 위상을 보상해 주기 위한 식은 다음과 같다.

$$\mathbf{Y}'_n = \begin{bmatrix} \exp(-j\phi_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \exp(-j\phi_2) & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \exp(-j\phi_{1536}) \end{bmatrix} \mathbf{Y}_n \quad (8)$$

위상이 보상된 후 보상된 신호는 차등 복조를 거치고 QPSK demapping 과정을 거친 후 채널 복호기로 전달 된다.

표 1. 채널 정보 (Cost 207 TU6).

Path Number	Delay [ $\mu\text{s}$ ]	Power [dB]	Doppler Spectrum
1	0.0	-3	Rayleigh
2	0.2	0	Rayleigh
3	0.5	-2	Rayleigh
4	1.6	-6	Rayleigh
5	2.3	-8	Rayleigh
6	5.0	-10	Rayleigh

#### IV. 시뮬레이션 결과

계층 변조된 지상파 DMB 시스템에서 제안된 방법의 성능평가를 위하여 모의실험을 수행하였다. 실험에 사용된 채널은 COST 207 TU6 이다 [10]. 채널 정보는 표 1 과 같다. 모의 실험에 사용된 중심 주파수는 200 MHz 이다. 실험에 고려된 이동 속도는 300 km/h 이다. 성능 분석을 위하여 4 프레임 단위로 70번의 모의 실험을 수행 하였다. 계층 변조를 적용 하기 위한 시스템의 블록도는 그림 3. 에 나타내었다. 그림 3. 을 보면 HP 신호는 길쌈부호화기 와 시간 인터리빙을 거친 후  $\pi/4$ -DQPSK 심볼로 mapping 한 후 QPSK 심볼로 mapping 된 LP 신호와 결합 되어 계층 변조 신호를 생성 한다. 채널 계수 갱신에 사용되는  $\gamma$  는 0.2 로 두고 실험하였다. 그리고 BER 분석을 위하여 사용된 길쌈 부호화기의 부호율 (code rate) 은 FIC 에는 1/3을 MSC 에는 1/2를 각각 적용 하였다. 그리고 수신단에서는 trace back-depth 가 64인 soft-decision

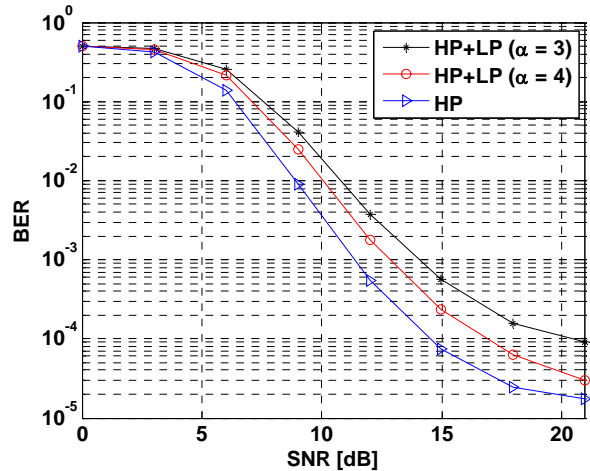


그림 4.  $\alpha$  값에 따른 기존 수신기의 BER 성능 비교

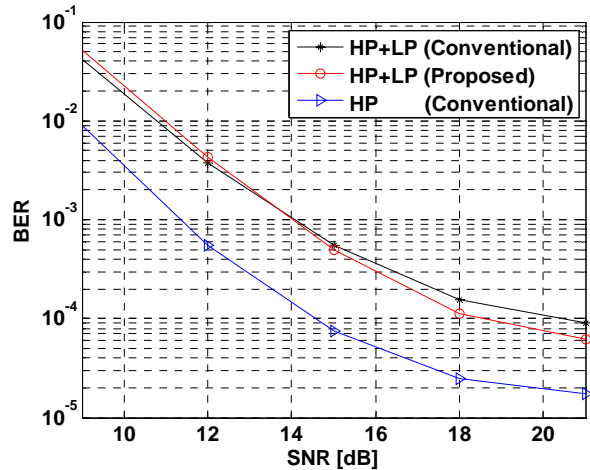


그림 5.  $\alpha$  값이 3 일 때 BER 성능 비교

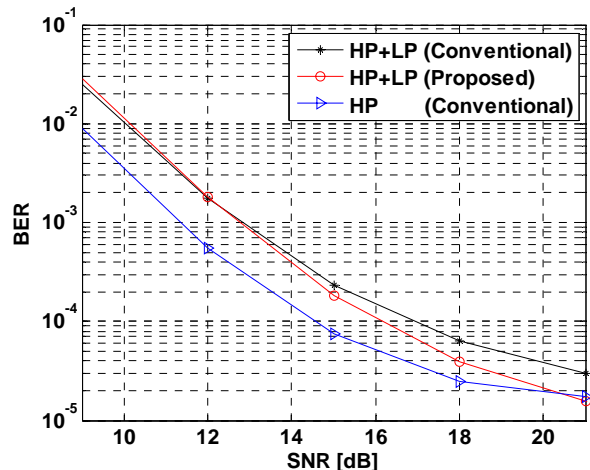


그림 6.  $\alpha$  값이 4 일 때 BER 성능 비교

비터비 알고리즘을 적용 하였다. 성능 분석을 위하여  $\alpha$  값이 3, 4 일 때가 고려 되었다. 그림 4 에서는  $\alpha$  값이 기존 지상파 DMB 시스템에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 BER 성능을 나타내었다.  $\alpha$  값이 작을수록 기존 시스템의 성능 열화가  $\alpha$  값이 클 때 보다 더

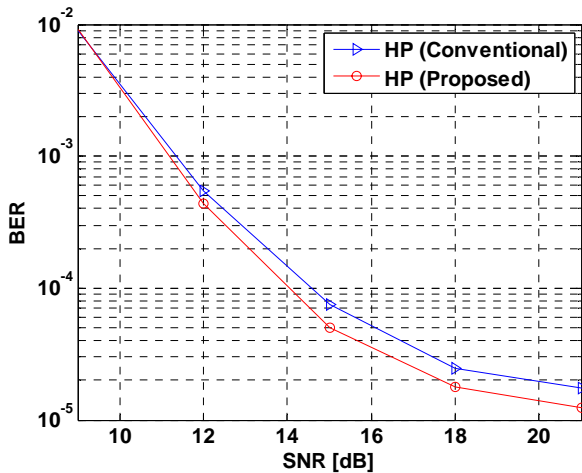


그림 7.  $\alpha$  값이  $\infty$  일 때 BER 성능 비교

많이 발생 함을 보여 주고 있다. 그림 5에서는  $\alpha$  값이 3일 때 그림 6에서는 4일 때의 제안된 방법과 비동기 검파 방법을 사용 했을 때의 BER 결과를 보여 주고 있다. 그림 7에서는  $\alpha$  값이  $\infty$  일 때 즉 계층 변조를 적용하지 않은 시스템에서의 비동기 검파와 제안된 방법의 성능을 비교 하였다. 비록 제안된 방법이 계층 변조 적용 시 기존 수신기의 성능 향상을 위해 제안 되었지만 계층 변조가 적용 되지 않은 시스템 즉 기존의 지상파 DMB 시스템에서 비동기 검파 방법 대신 판정 의거 채널 추정을 통한 동기 검파 방법을 적용 함으로써 더 나은 성능을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 계층 변조가 적용된 지상파 DMB 시스템에서 판정 의거방법에 기초한 동위상 복조 방법을 제안 하였다. 모의 실험을 통해서 제안 된 방법을 사용함으로써 고 전송 효율 즉 기존의 지상파 DMB 시스템 보다 높은 비트 전송률을 가지는 지상파 DMB 시스템을 기존 수신기의 열화를 줄이면서 구현 될 수 있을 것으로 기대 된다. 또한 기존 지상파 DMB 시스템에서 판정 의거 채널 추정 방법을 통한 동기 검파 방법을 적용 함으로써 기존 지상파 DMB 시스템의 성능 향상에 기여 할 수 도 있을 것으로 기대 된다.

### 참고문헌

[1] ETSI, 2001, " ETSI EN 300 401, Radio broadcast systems, Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," *European Telecommunications Standards Institute*, May 2001.

[2] Gwangsoon Lee, Sammo Cho, Kyu-Tea Yang, Young Kwon Hanhm, and Soo In Lee, " Development of terrestrial DMB transmission system based on Eureka-147 DAB system," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 63-68, Feb. 2005.

[3] Hong Jiang, Paul A. Wilford, " A Hierarchical modulation for upgrading digital broadcast systems," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 51, no. 2,

pp. 223-229, Jun. 2005.

[4] U. Reimers, " DVB-T: the COFDM-based system for terrestrial television," *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 28-32, Feb. 1997.

[5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3<sup>rd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

[6] James K. Cavers, " An analysis of pilot symbol assisted modulation for fayeigh fading channels," *IEEE Vehicular Technology Conf.*, vol. 2, pp. 894-898, Sept. 2002.

[7] Dieter Schafhuber, Gerald Martz, " MMSE and adaptive prediction of time-varying channels for OFDM systems," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 4, no. 2, pp. 593-602, Mar. 2005.

[8] Ran J., Grunheid R., Rohling H., Bolinth E., Kern R., " Decision-directed channel estimation method for OFDM systems with high velocities," *VTC 2003-Spring*, vol. 4, pp. 2358-2361, Apr. 2003.

[9] J. J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson, and P. O. Börjesson, " On channel estimation in OFDM systems," *IEEE Vehicular Technology Conf.*, vol. 2, pp. 815-819, July 1995.

[10] COST 207 Report, Digital land mobile radio communications, Commission of European Communities, Directorate General, Telecommunications, Information Industries and Innovation, Luxemburg, 1989.