

계층변조 모드에서 지상파 DMB 수신기의 채널등화 성능 향상

김지현*, 김형남*, 임형수**, 임종수**

*부산대학교 전자공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

*hnkim@pusan.ac.kr, **lim@etri.re.kr

Channel equalization using high-priority DD information for Terrestrial DMB receivers with the hierarchical mode.

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

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

요 약

현 지상파 DMB 시스템에서는 CIF급 화질의 비디오를 방송할 수 있도록 설계되어 있지만, 이동단말에서도 점차 고해상도에 대한 요구가 증가할 것으로 전망된다. 지상파 DMB 시스템의 데이터 전송률을 높이기 위해서 계층 변조 방법이 적용 가능하다. 계층 변조 적용 시 전송 신호는 High-Priority (HP) 신호와 Low-Priority (LP) 신호로 나누어 질 수 있다. 본 논문에서는 HP 신호는 기존 지상파 DMB 수신기에서 널리 사용하는 복조 방식인 차등 복조를 사용하고 LP 신호 복조를 위하여 차등 복조를 통하여 얻어진 HP 정보 및 추정된 채널 계수의 크기 정보를 사용하여 채널을 등화 하는 방법을 제안한다. 시뮬레이션 결과를 보면 제안된 방법이 기존의 등화방법인 추정된 채널 계수를 사용하여 inverse filtering 하는 방법 보다 성능 개선이 있는 것을 볼 수 있다.

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) 의 전송 모드 I 를 채택 하고 있다 [1]. 현재의 지상파 DMB 시스템의 실제 비트 전송률은 1.06 Mbits/s 이다. 최대 해상도가 355x288 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 서비스를 가능하게 하는 것은 흥미로운 연구 분야 이다. 비트 전송률을 높이기 위하여 계층 변조가 좋은 방법으로 고려 될 수 있다 [3][4]. 계층 변조 적용 시 전송 신호는 HP 신호와 LP 신호로 나누어 질 수 있다 [4]. 그러나 지상파 DMB 시스템에 계층 변조 적용 시 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. 그러므로 계층 변조 모드에서 기존 수신기와의 호환성을 보장 시키기 위해서 적당한 LP 심벌간의 간격을 선택해야 한다.

높은 비트 전송률을 요구하는 수신기에서는 HP 신호와 LP 신호 둘 다를 복원해야 한다. 본 논문에서는 HP신호는 대부분의 기존 지상파 DMB 수신기에서 사용하고 있는 복조 방식인 비동기 검파를 이용한

DQPSK 복조를 사용한다. 그러나 LP 신호를 복원하기 위해서는 새로운 수신기의 구조가 필요하다. 현재의 지상파 DMB 시스템의 구조에서는 Phase Reference Symbol (PRS) 만이 알고 있는 파일럿 신호로 사용할 수 있다. 그러나 PRS 이후에는 파일럿으로 사용할 수 있는 심볼이 존재 하지 않는다. 이동수신을 전제로 하는 지상파 DMB 시스템에서는 PRS 심볼 만으로는 채널의 변화를 추정 하기는 힘들다 [5]. 그래서 기존 지상파 DMB 시스템의 전송 프레임을 변화 시키지 않고 파일럿을 삽입하기 위해서 HP 에 의존하는 파일럿 심볼을 고려 해 볼 수 있다. 이러한 방식을 이용하기 위해서는 정확한 파일럿을 먼저 복원을 하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 HP 를 복원하기 위해 사용된 Viterbi 디코더를 통과한 데이터를 사용하여 파일럿을 복원하는 방식을 사용하였다. 추정된 파일럿을 이용하여 채널 추정 및 등화가 이루어지며 LP 를 동기 검파를 통해 복원한다 [6][7]. 그리고 추정된 채널 계수의 역수를 이용하여 채널 등화를 하는 방식인 inverse filtering 방식보다 채널 계수의 크기 정보 와 추정된 HP 정보를 이용하여 등화 하는 방식을 통하여 BER 성능을 개선시키는 방법을 제안한다.

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 1에 계층 변조된 시스템의 성상도를 그림 2에 나타내었다. 계층 변조된 시스템의 특성을 결정하는 중요한 변수인 α 를 다음 식 과 같이 정의 한다.

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

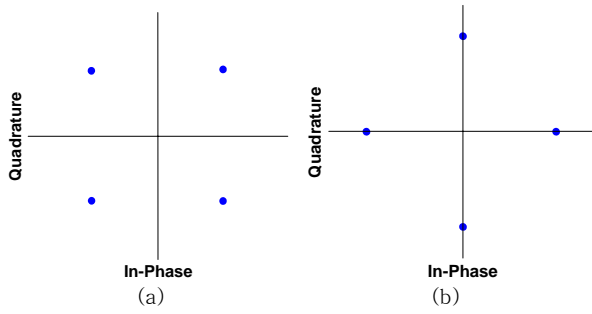


그림 1. $\pi/4$ -DQPSK 성상도 (a) 홀수 번째 심볼, (b) 짝수 번째 심볼

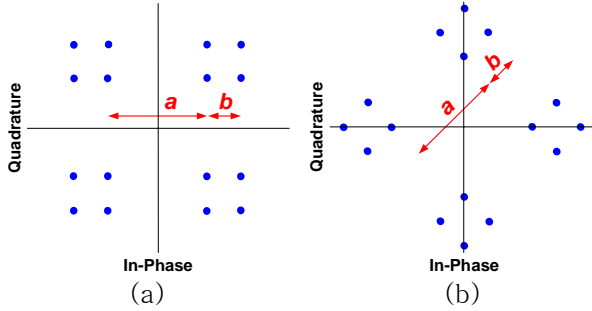


그림 2. 계층 변조된 신호의 성상도 (a) 홀수 번째 심볼, (b) 짝수 번째 심볼

여기서 a 와 b 는 계층 변조 후 인접한 심볼간의 길이를 나타내며 그림 2(a)와 2(b)에 표시하였다. α 값이 작을수록 심볼간의 간격이 짧아 지므로 기존 수신기의 성능 열화가 커진다 [3]. 지상파 DMB 시스템의 전송프레임 구조는 Synchronization Channel, Fast Information Channel (FIC), Main Service Channel (MSC)로 구성된다. 본 논문에서는 Synchronization Channel을 제외한 FIC와 MSC에서 HP 신호와 LP 신호를 모두 가진다고 가정한다.

III. 채널 추정 방법

채널 추정에 필요한 파일럿의 배치를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 주파수 방향으로 1536개의 부 반송파 중에서 10개의 부 반송파마다 하나씩 존재하며 시간 방향으로 3개의 OFDM 심볼마다 동일한 부 반송파 위치에 파일럿이 존재하게 되는 분산 파일럿 구조이다. 파일럿은 HP 심볼에 의존하여 생성되며 성상도를 그림 4에 나타내었다. 그림 4를 보면 파일럿이 가질 수 있는 성상은 HP 심볼이 가질 수 있는 성상의 수인 홀수 번째 심볼이나 짝수 번째 심볼 각각 4가지 경우가 있다. 이러한 HP 신호를 power boost 하여 파일럿 심볼로 사용한다. 수신기에서는 먼저 파일럿 심볼을 정확히 추정하는 과정이 필요하다. 이러한 수신기의 구조를 그림 5에 나타내었다. 그림 5를 보면 파일럿 심볼을 추정하기 위하여 DQPSK 복조 및 Viterbi 디코더 거친 후 출력을 다시 HP 심볼로 복원하는 과정이 들어있다. 추정된 파일럿 심볼을 통하여 채널을 추정하기 위해서 Least-Squares (LS) 방법을 사용한다 [8]. 채널 추정 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{\mathbf{H}}_{p,n,k} = \frac{\mathbf{Y}_{p,n,k}}{\hat{\mathbf{Y}}_{p,n,k}} \quad (2)$$

여기에서 p 는 파일럿을 나타내며 k 는 파일럿 심볼의

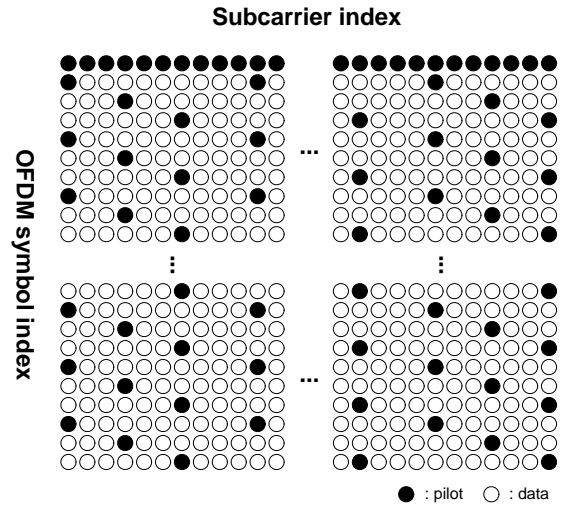


그림 3. 파일럿 신호의 배치도

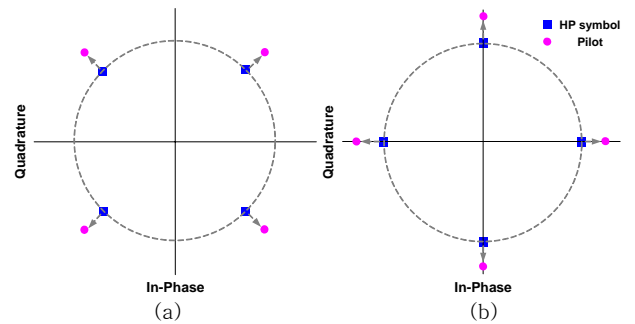


그림 4. 파일럿 신호의 성상도 (a) 홀수 번째 심볼, (b) 짝수 번째 심볼

부 반송파 위치이다. $\mathbf{Y}_{p,n}$ 는 n 번째 OFDM 심볼의 파일럿 부 반송파 위치에서 수신된 심볼 벡터이며 $\hat{\mathbf{Y}}_{p,n}$ 은 추정된 파일럿 심볼들로 이루어져 있는 벡터이다. LS 방법으로 추정된 채널 계수를 통하여 전체의 부 반송파 위치의 채널 계수를 얻기 위하여 채널 interpolation 방법을 사용하였다. 채널 interpolation 방식으로는 Linear interpolation을 시간영역에서 먼저 적용한 후 주파수 영역으로 Linear interpolation을 적용하는 방식을 사용하였다 [9]. 이렇게 추정된 채널 계수는 채널 등화를 위해 사용된다.

IV. 채널 등화 방법

채널 등화를 위한 블록을 그림 6에 나타내었다. $\mathbf{Y}_{n,k}$ 을 n 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부 반송파 위치에서 수신된 심볼이며 $\mathbf{X}_{n,k}$ 를 송신 심볼이라고 하면 등화를 하기 위해서 사용되는 식은 다음과 같다.

$$\mathbf{Y}'_{n,k} = \frac{\mathbf{Y}_{n,k}}{\hat{\mathbf{H}}_{n,k}} = \frac{\mathbf{X}_{n,k} \cdot \mathbf{H}_{n,k}}{\hat{\mathbf{H}}_{n,k}} + \frac{\mathbf{W}_{n,k}}{\hat{\mathbf{H}}_{n,k}} \quad (3)$$

여기에서 $\mathbf{Y}'_{n,k}$ 은 n 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부 반송파 위치의 등화기 출력이며 $\hat{\mathbf{H}}_{n,k}$ 는 III장에서 설명한 LS 방법에 의해 추정된 채널 계수이다. $\mathbf{W}_{n,k}$ 는 채널과 상관관계가 없는 Gaussian 잡음이다. 식 3에서 사용된 inverse filtering 방법의 등화 방법은 $|\hat{\mathbf{H}}_{n,k}|$ 값이

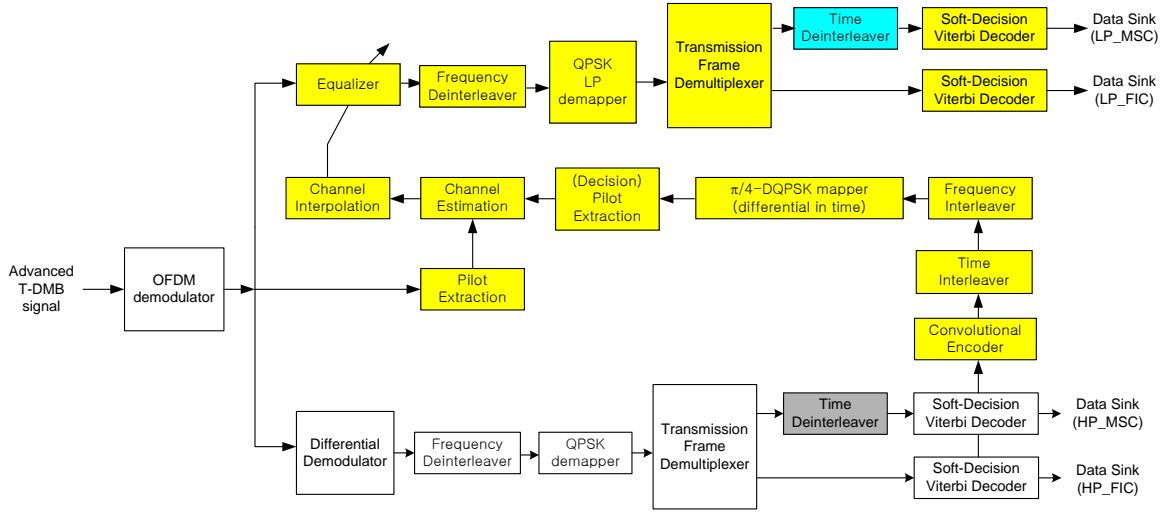


그림 5. HP 와 LP 를 복원하기 위한 수신기의 구조

작은 즉 채널의 널 부분에서는 잡음 증폭을 야기 시켜 등화기 성능을 열화 시킨다. 이러한 채널의 널 부분에서 잡음을 증폭시키는 문제점을 보완해 주기 위한 방법으로 제안된 채널 등화를 하기 위해서 사용되는 식은 다음과 같다.

$$Y'_{n,k} = \begin{cases} \frac{Y_{n,k}}{\hat{H}_{n,k}} & , \text{ if } |\hat{H}_{n,k}| > \gamma \\ \frac{Y_{n,k} + \hat{Y}_{hp,n,k} \hat{H}_{n,k}}{\hat{H}_{n,k} + \hat{H}_{n,k}} & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기에서 $\hat{Y}_{hp,n,k}$ 는 추정된 HP 심볼로 그림 7에 나타내었다. 식 (4)를 보면 $|\hat{H}_{n,k}| \leq \gamma$ 인 부분 즉 채널계수의 크기가 작은 부분에서는 수신심볼과 추정된 HP 심볼과의 평균을 이용하여 등화 하였다. 이러한 등화 방법은 채널 크기가 작은 부분에서 채널 등화기 다음 블록인 soft-decision Viterbi 디코더의 입력으로 잡음의 분산이 줄어든 심볼이 사용되는 효과가 있다. 예를 들어 채널 및 HP 심볼 추정이 정확하다고 가정하면 등화기의 출력은 다음 식과 같이 된다.

$$Y'_{n,k} = \frac{Y_{n,k} + X_{hp,n,k} H_{n,k}}{2H_{n,k}} = \frac{X_{n,k} + X_{hp,n,k}}{2} + \frac{W_{n,k}}{2H_{n,k}} \quad (5)$$

식 (5)를 보면 등화기 출력이 $(X_{n,k} + X_{hp,n,k})/2$ 에 bias 되어 있고 잡음의 분산은 1/4로 줄어드는 효과가 있다. 채널의 크기가 작은 부분 즉 추정된 채널 계수의 부정확성이나 잡음의 증폭이 심한 부분에서 잡음 효과가 줄어든 등화기 출력을 다음 블록인 soft-decision Viterbi 디코더 입력으로 사용할 수 있다. 등화방법의 효과를 알아보기 위해 제안된 방법과 inverse filtering 방법에 따른 등화기 출력 심볼의 정상도를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)는 $|\hat{H}_{n,k}| \leq \gamma$ 인 부분에서 제안된 방법과 inverse filtering 방법을 적용한 등화기 출력 심볼의 정상도이며 8(b)는 $|\hat{H}_{n,k}| > \gamma$ 에서 등화기 출력 심볼의 정상도이다. 등화기 출력 심볼의 정상도를 나타내기 위해 사용된 채널은 COST 207 TU6 채널 이다 [10]. 고려된 이동 속도는 120 km/h, SNR 24dB 일 때 그리고 γ

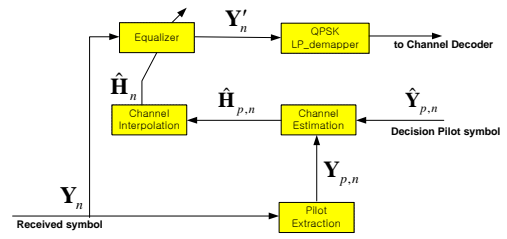


그림 6. Inverse filter 을 사용한 채널 등화 구조

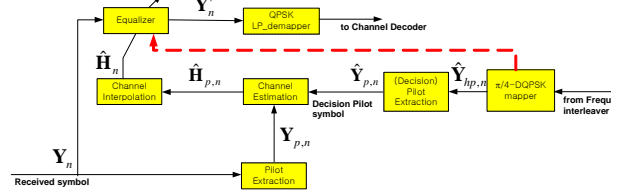


그림 7. 제안된 방법을 위한 채널 등화 블록도

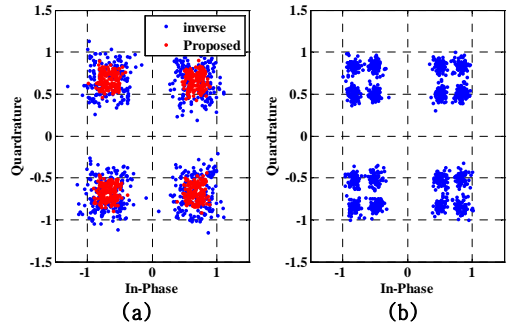


그림 8. 등화기 출력 심볼의 정상도 (a) 채널의 크기가 0.5 보다 작은 경우, (b) 0.5 보다 큰 경우

값으로는 0.5를 사용하였다. 그림 8을 보면 잡음 증폭으로 인하여 $|\hat{H}_{n,k}| \leq \gamma$ 경우 정상도가 $|\hat{H}_{n,k}| > \gamma$ 인 경우 보다 넓게 퍼져 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 제안된 방법의 경우 심볼의 정상도가 HP 값 주변으로 모여 있는 것을 볼 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

제안된 채널 등화방법의 성능평가를 위하여 모의 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 채널은 COST 207 TU6이다. 모의 실험에 사용된 중심 주파수는 200 MHz

이다. 실험에 고려된 이동 속도는 80 km/h, 120 km/h, 200km/h 이다. 성능 분석을 위하여 4 프레임 단위로 20번의 모의 실험을 수행 하였다. 그리고 BER 분석을 위하여 사용된 길쌈 부호화기의 부호율 (code rate) 은 LP 신호와 HP 신호 둘 다 1/2을 적용하였다. 그리고 수신단에서는 trace back-depth 가 64인 soft-decision Viterbi 알고리즘을 적용 하였다. 성능 분석을 위하여 α 값이 3 그리고 γ 값은 0.5일 때 가 고려 되었다. 그림 9, 10, 11에 이동속도가 80 km/h, 120 km/h, 그리고 200 km/h 일 때 기존 시스템의 성능, HP 성능, 그리고 LP의 성능을 각각 나타내었다. 그림에서 no LP는 계층변조가 적용되지 않은 지상파 DMB 시스템의 성능이며 HP 는 계층 변조 시스템에서 DQPSK 복조를 통한 HP 의 성능이다. LP의 성능의 경우에는 제안된 등화방법과 기존의 등화방법을 비교 하여 나타내었다. 제안된 채널 등화 방법을 적용함으로써 BER 성능이 향상 됨을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 계층 변조가 적용된 지상파 DMB 시스템에서 LP 복원을 위하여 채널 등화 방법을 제안 하였다. 모의 실험의 결과를 제안된 채널 등화 방법은 LP 성능의 향상을 가져 오며 이를 통하여 계층 변조를 적용한 지상파 DMB 시스템의 LP 수신 성능 향상에 기여 할 것으로 기대 된다.

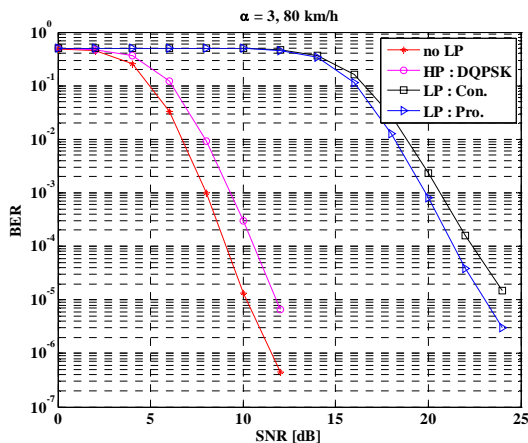


그림 9. 이동속도가 80 km/h 일 때 BER 성능

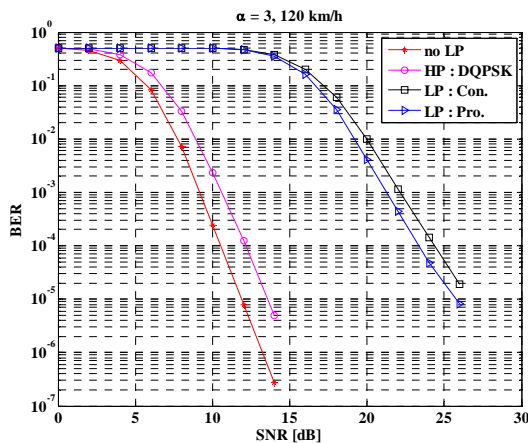


그림 10. 이동속도가 120 km/h 일 때 BER 성능

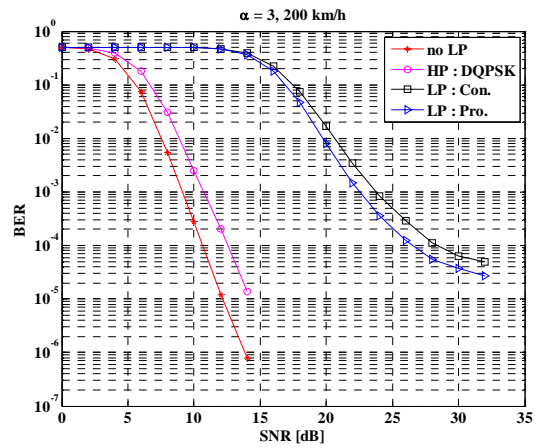


그림 11. 이동속도가 200 km/h 일 때 BER 성능

VII. 참고 문헌

- [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] 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.
- [6] Pei-Yun, Tzi-Dar Chiueh, "Frequency-domain interpolation-based channel estimation in pilot-aided OFDM systems," *IEEE Vehicular Technology Conf.*, vol. 1, pp. 420-424, May 2004
- [7] Sinem Coleri, Mustafa Ergen, Anuj Puri, Ahmad Bahai, "A study of Channel Estimation in OFDM Systems," *IEEE Vehicular Technology Conf.*, vol. 2, pp. 894-898, Sept. 2002.
- [8] 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.
- [9] Yi-Ju Chen, Yi-Ching Lei, and Tzi-Dar Chiueh, "Baseband Transceiver Design for the DVB-Terrestrial Standard," *IEEE Asia-Pacific Conf. on Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 389-392, Dec. 2004.
- [10] COST 207 Report, Digital land mobile radio communications, Commission of European Communities, Directorate General, Telecommunications, Information Industries and Innovation, Luxemburg, 1989.