

이동 환경에서 디지털 방송 시스템을 위한 채널 추정 기법의 성능 비교

Comparison of Channel Estimation Schemes for Digital Broadcasting System in a Mobile Environment

김기남*, 김진호*, 조성준**

Ki-Nam Kim*, Jin-Ho Kim*, and Sung-Joon Cho**

요 약

본 논문에서는 유럽의 DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld) 시스템을 위한 여러 채널 추정 기법의 성능을 분석하였다. 채널 보상 기법으로는 주파수 영역에서 사용되는 선형 보간법, 이차 보간법, cubic-spline 보간법, time-domain 보간법을 사용하였고, 레일리과 라이시안 페이딩 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 MSE (Mean Square Error)와 BER (Bit Error Rate) 성능과 연산의 복잡도를 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 결과 높은 E_b/N_0 환경에서 가장 우수한 채널 추정 방식은 cubic spline 보간법임을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, the performances of various channel estimation schemes for DVB-H system are investigated. The linear interpolation, the second order interpolation, the cubic spline interpolation, and the time-domain interpolation, which are used in frequency domain, are chosen as the channel estimation schemes. We derived the performances of Mean Square Error (MSE), Bit Error Rate (BER), and the complexity of calculation in Rayleigh and Rician fading channel through computer simulations. From the simulation results, the cubic spline interpolation shows the best performance under high E_b/N_0 environments.

Key words : 디지털 방송 시스템, DVB-H, OFDM, 채널 추정, 보간법

I. 서 론

향상된 품질의 영상을 효율적으로 전송할 수 있는 디지털 방송 시스템이 개발되면서, 이를 멀티미디어 서비스의 킬러 애플리케이션으로 활용하려는 이동통신 사업자들의 관심이 증가하고 있다. 그로인해 고속 이동 환경에서 디지털 방송의 수신이 가능

한 디지털 방송 시스템에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 결과로 국내에서는 지상과 이동멀티미디어 방송 서비스로 지상과 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스가 준비중이고 유럽의 경우 휴대단말기를 위한 DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld) 시스템에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다. 본 논문에서는

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과(Dept. Graduate School of Information and Telecommunication Eng., Hankuk Aviation University)

** 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부(School of Avionics and Telecommunication Eng., Hankuk Aviation University)

· 접수일자 : 2005년 4월 10일

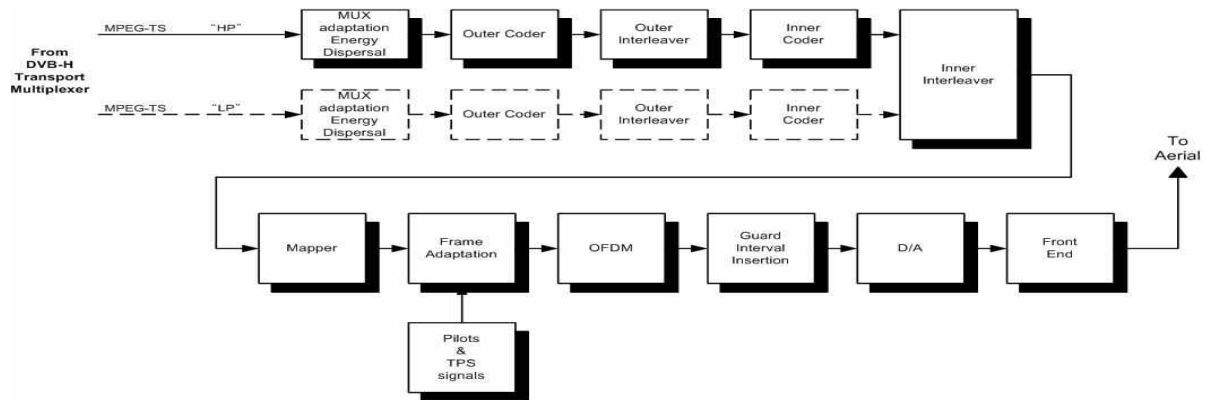


그림 1. DVB-H 송신 시스템 블록도

Fig 1. DVB-H transmitter system block.

차후 유럽시장에 대한 진입과 고속 이동 환경에서 디지털 방송의 수신에 더 적합한 DVB-H 시스템에 대한 연구를 진행한다.

DVB-H는 유럽형 지상파 디지털 방송 시스템인 DVB-T (Digital Video Broadcasting- Terrestrial) 표준을 휴대단말기에서 고속 이동 환경 중에도 디지털 방송 수신이 가능하도록 보완작업 중인 표준안이다 [1]-[4]. DVB-H 시스템은 이동 수신을 고려하여 다중경로 페이딩 환경에서 발생하는 ISI (Intersymbol Interference) 의 영향에 강한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송 방식을 사용한다. 그렇지만 휴대단말기가 고속으로 이동하는 환경에서 무선 채널의 다중경로 페이딩과 Doppler spread의 영향을 보상하기 위해서는 강력한 채널 추정 기법이 추가적으로 필요하다. 채널 추정 기법은 시간축 상에서 추정 및 보상하는 방식과 주파수축 상에서 추정 및 보상하는 방식으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 OFDM 전송 방식의 특성상 주파수축 상에서 배치되는 파일럿 톤을 이용하여 채널을 추정하고 보상한다.

본 논문에서 사용한 채널 추정 방식은 낮은 연산량으로 강력한 채널 추정이 가능한 LS (Least Square) 방식을 선택하고, 파일럿 톤과 파일럿 톤 사이에 적용되는 보간법에 따라 선형보간법 [5], 이차보간법 [5][6], cubic spline 보간법 [7], time-domain 보간법 [8] 등으로 나뉘어진다. 또한, LS 방식은 잡음에 의해 왜곡이 발생하므로 [6], 이를 보상하기 위해 시간축에서 평균을 취하는 방식을

적용한다 [9]. 각 채널 추정 방식의 성능 비교를 위해 레일리 채널과 라이시안 채널에서 MSE (Mean Square Error) 성능, BER (Bit Error Rate) 성능, 연산의 복잡도 등에 대해 평가한다.

II. DVB-H 시스템

DVB-H 시스템의 송신 블록도는 그림 1과 같다 [2]. 기저대역 TV 신호는 정보원 부호화기를 통하여 ISO/IEC 13818 표준안의 MPEG-2 형식으로 부호화되고 멀티플렉서에 의해 고정된 길이의 패킷으로 구성된다. 각 패킷은 채널 부호화기에 의해 심볼화되고 QAM (Quadrature Amplitued Modulation) 매핑에 의해 변조된 후 OFDM 심볼로 전송된다. 이때 각 부반송파의 정보 신호 사이에 미리 정의된 규칙에 따라 파일럿 톤을 삽입하고 그를 이용해 채널을 추정하는 시스템은 그림 2와 같다.

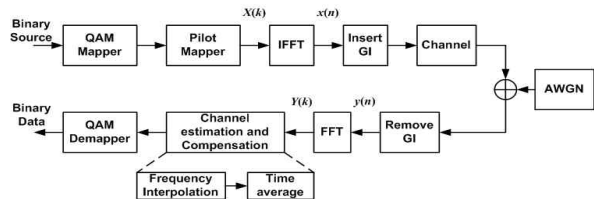


그림 2. 채널 추정을 위한 OFDM 시스템의 시뮬레이션 블록도

Fig 2. Simulation block to estimate the channel impulse response for OFDM system.

N 의 길이를 갖는 $X(k)$ 데이터 시퀀스는 IFFT 블록을 거쳐 시간축의 신호 $x(n)$ 으로 변형된다. 그 후

다중경로 지연으로 인한 ISI와 ICI (Intercarrier Interference)를 제거하기 위하여 cyclic prefix가 삽입된다. 전송되는 신호는 주파수, 시간 선택적인 페이딩과 AWGN에 의해 왜곡된다.

$$Y(s, k) = X(s, k)H(s, k) + W(s, k) \quad (1)$$

단, $H(s, k)$ 는 s 번째 심볼, k 번째 반송파의 채널 응답, $Y(s, k)$ 는 수신된 OFDM 심볼, $X(s, k)$ 는 전송되는 OFDM 심볼, $W(s, k)$ 는 AWGN을 의미한다.

수신단에서는 cyclic prefix를 제거한 수신 신호 $y(t)$ 을 FFT 블록으로 보낸다. 파일럿 톤의 추출은 FFT 통과 후의 신호에서 추출한다. 추출된 파일럿 톤을 이용하여 파일럿 반송파의 채널 전송 특성 ($H_P(s, k)$)을 추정할 수 있다. 본 논문에서 사용하는 LS 채널 추정 방식 [5] 은 식 2와 같다.

$$\begin{aligned} H_P(s, k) &= \frac{Y(s, k_P)}{X(s, k_P)} \\ &= \frac{X(s, k_P)H(s, k_P) + W(s, k_P)}{X(s, k_P)} \end{aligned} \quad (2)$$

식 2에서 추정된 $H_P(s, k)$ 를 이용하여 주파수 축의 보간에 의해 데이터 부반송파를 포함한 전체 반송파에 대한 응답 $H_e(s, k)$ 를 구할 수 있다.

III. 보간법을 이용한 채널 추정 알고리즘

3-1 주파수 영역에서의 보간

주파수 영역에서의 보간은 선형보간법 [5], 이차 보간법 [5][6], cubic spline 보간법 [7], time-domain 보간법 [8] 을 적용하였다.

선형 보간법은 구현이 간단하며 성능이 우수하다. 2개의 연속적인 파일럿 톤을 사용하여 파일럿 톤 사이에 위치한 데이터 반송파의 채널 응답을 구한다. 파일럿 톤의 수가 N_P 인 경우, 파일럿 반송파의 주파수 채널응답을 $H_P(s, 0), H_P(s, 1), \dots, H_P(s, m), \dots, H_P(s, N_P/L)$ 이라 하면, 데이터 반

송파 k 에서 채널 추정은 다음 식 3과 같다.

$$\begin{aligned} H_e(s, k) &= (H_P(s, m+1) - H_P(s, m)) \frac{l}{L} \\ &\quad + H_P(s, m) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 L (=반송파의 수/파일럿 신호의 수)은 반송파수와 파일럿 신호의 비, m 은 파일럿 신호의 위치, l 은 파일럿 신호와 k 번째 반송파와의 거리를 나타낸다. 따라서 l/L 은 파일럿 신호에 대한 부반송파의 상대적 위치를 나타낸다.

이차 보간법은 선형 보간법보다 더 우수한 성능을 갖는다. 그러나 차수가 증가함에 따라 연산의 복잡성이 증가한다는 단점이 있다. 이차 보간법은 연속적인 세 개의 파일럿 신호를 사용하여 다음 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} H_e(s, k) &= c_{-1} \left(\frac{l}{L} \right) H_P(s, m-1) \\ &\quad + c_0 \left(\frac{l}{L} \right) H_P(s, m) + c_1 \left(\frac{l}{L} \right) H_P(s, m+1) \end{aligned} \quad (4)$$

$$c_{-1} \left(\frac{l}{L} \right) = \frac{a(a-1)}{2}$$

단, $c_0 \left(\frac{l}{L} \right) = -(a-1)(a+1), \quad a = \frac{l}{L}$

$$c_1 \left(\frac{l}{L} \right) = \frac{a(a+1)}{2}$$

Cubic spline 보간법은 파일럿 구간 사이를 부드럽고 연속적인 3차 polynomial을 생성하여 보간한다. 보간은 4개의 연속적인 파일럿 톤과 2차 미분값을 이용하여 polynomial의 계수값을 구하여 이루어진다. 데이터 부반송파에서의 채널 추정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_e(s, k) &= A \left(\frac{l}{L} \right) H_P(s, m) + B \left(\frac{l}{L} \right) H_P(s, m+1) \\ &\quad + C \left(\frac{l}{L} \right) z(s, m) + D \left(\frac{l}{L} \right) z(s, m+1) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 $A(l/L), B(l/L), C(l/L), D(l/L)$ 은 l/L 에 의해 결정되는 상수, $z(s, m)$ 은

m 번째 파일럿 신호 채널 응답의 2차 미분값이다.

Time-domain 보간법은 zero-padding과 DFT/IDFT에 기초한 방식이다. 먼저 각 파일럿 반송파에서 추정된 채널응답 $H_p(s, k)$ 를 N_p -IDFT 변환한다.

$$G(s, n) = \sum_{k=0}^{N_p-1} H_p(s, k) e^{j\frac{2\pi kn}{N_p}}, \quad (6)$$

$$n = 0, \dots, N_p - 1$$

시간축의 $1 \times n$ 신호 $G(s, n)$ 에 0을 삽입하여 $1 \times N$ 신호를 얻는다.

$$G_N(s, n) = \begin{cases} G(s, n) & 0 \leq n \leq N_p/2 \\ 0 & \text{otherwise} \\ G(s, n) & N - N_p/2 + 1 \leq n < N \end{cases} \quad (7)$$

시간축에서 zero-padding된 신호, $G_N(s, n)$ 을 DFT 변환하여 모든 반송파에서의 채널 응답을 구할 수 있다.

$$H_e(s, k) = \sum_{n=0}^{N-1} G_N(s, n) e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad (8)$$

$$0 \leq k \leq N-1$$

3-2 시간 평균

주파수 영역 보간에 의한 채널 추정치는 잡음에 의한 왜곡 성분이 포함되어 있다 [6]. E_b/N_0 가 충분히 높은 경우에는 잡음에 의한 왜곡을 무시할 수 있지만 E_b/N_0 가 작으면 잡음에 의한 왜곡 성분으로 채널 추정이 부정확하게 된다. 따라서 이러한 잡음에 의한 왜곡 성분을 보상하기 위해 OFDM 심볼의 각 부반송파의 채널 추정치를 시간축으로 OFDM 심볼수(N_s)만큼 평균을 취하였다.

$$H'_e(s, k) = \frac{1}{N_s} \sum_{s=0}^{N_s} H_e(s, k) \quad (9)$$

$$= H(s, k) + \frac{1}{N_s} \left(\sum_{s=0}^{N_s} W_e(s, k) \right)$$

$H'_e(s, k)$ 는 $H_e(s, k)$ 를 시간축으로 평균한 값으로 N_s 이 증가할수록 잡음에 의한 왜곡 성분은 0이 된다. 이와 같이 보간된 채널 추정값을 이용하여 페이딩에 의해 왜곡된 OFDM 심볼을 보상할 수 있다. 시간축에서 10개 이상의 심볼을 평균하면 왜곡 성분이 거의 제거되어 기존의 주파수축에서만 보간을 취한 방식에 비해 2 dB 이상의 이득을 얻을 수 있다 [9].

IV. 채널 추정 알고리즘의 성능 시뮬레이션

채널 추정 알고리즘의 성능을 보기 위해 사용 대역폭으로 8 MHz를 사용하고 DVB-H 4K 전송 방식에서 MSE (Mean Square Error)와 BER (Bit Error Rate) 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한 보간법의 복잡성 측면에서 각 방식을 분석하였다.

MSE는 제곱 평균 에러를 나타내는 값으로 채널 추정 성능의 기본적인 파라미터이다. MSE는 식 10과 같이 나타낼 수 있다.

$$MSE = E[|H(s, k) - H'_e(s, k)|^2] \quad (10)$$

단, $H(s, k)$ 는 채널 응답이며 $H'_e(s, k)$ 는 각 보간법과 시간 평균에 의해 추정된 채널 응답이다.

시뮬레이션에 사용된 OFDM 시스템 파라미터로는 유효 심볼 지속 시간이 448 μ s, 보호 구간은 유효 심볼 지속 시간의 1/4인 112 μ s, 데이터의 변조는 16-QAM을 사용하였다. 부반송파의 수는 3409 개이며 이중 실제로 사용되는 부반송파는 3058 개, 파일럿 톤이 351 개이다. 사용 대역폭은 8 MHz를 가정한다 [2].

채널 추정에 사용된 파일럿 톤은 DVB-H에서 정

의한 파일럿 톤을 사용한다. 파일럿 톤은 분산 파일럿 톤과 연속 파일럿 톤으로 구성되어 있다. 그림 3과 같이 분산 파일럿 톤은 12개의 부반송파를 주기로 삽입된다. 분산 파일럿 톤에 추가적으로 삽입되는 연속 파일럿 톤은 모든 심볼에서 고정적인 위치에 파일럿 톤이 삽입된다. 4K 전송 방식에서는 89개의 연속 파일럿 톤이 표 1의 위치에 삽입되어 하나의 OFDM 심볼에 총 351개의 파일럿 톤이 삽입된다.

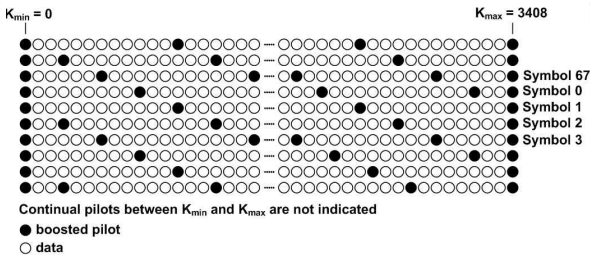


그림 3. 분산 파일럿 톤의 위치

Fig 3. Location of scattered pilot tone.

표 1. 4K 전송 방식에서 연속 파일럿 톤의 위치

Table 1. Location of continual pilot tone in 4K transmit mode.

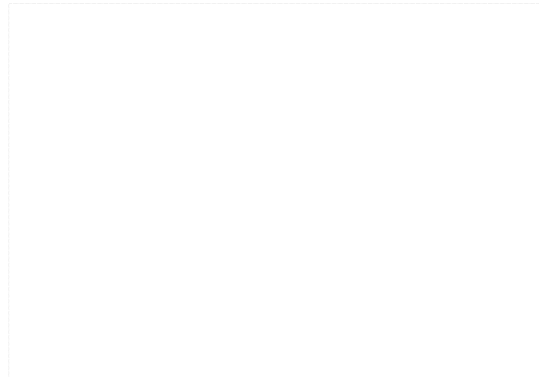
432	450	483	525	531	618	636	714	759	765	780	804
873	888	918	939	942	969	984	1050	1101	1107	1110	1137
1140	1146	1206	1269	1323	1377	1491	1683	1704	1752	1758	1791
1845	1860	1896	1905	1959	1983	1986	2037	2136	2154	2187	2229
2235	2322	2340	2418	2463	2469	2484	2508	2577	2592	2622	2643
2646	2673	2688	2754	2805	2811	2814	2841	2844	2850	2910	2973
3027	3081	3195	3387	3408							

시뮬레이션에 사용된 전송 채널은 DVB-T 표준 안에 정의되어있는 고정 수신시의 라이시안 채널 모델과 이동 수신시의 레일리 채널 모델을 사용하였다. 이 채널은 다중 경로 에코의 수 (N)가 20, 에코의 최대 지연 시간 (τ_{max})은 $5.422 \mu s$ 이다 [2]. 라이시안 채널 모델에서 직접파 대 간접파 경로의 전력비인 라이시안 계수 K 는 10 dB로 하였다.

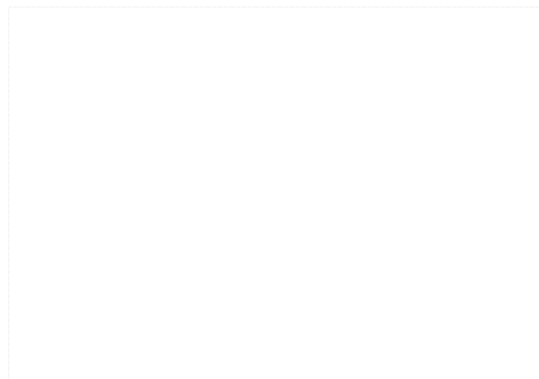
그림 4는 라이시안 채널에서 MSE, BER 성능을 나타낸다. 그림 4 (a)는 MSE 성능을 나타내는 그림으로 E_b/N_0 가 20 dB일 때까지는 선형, 이차 보간법의 성능이 우수하다가 20 dB를 초과하면 cubic spline 보간법이 가장 우수한 성능을 나타냄을 알

수 있다. 이는 E_b/N_0 가 작은 경우에 채널 추정을 위한 연산량이 많아질수록 에러가 증가하기 때문이다 (표 2). 그림 4 (b)는 BER 성능 곡선으로 cubic spline 보간법과 이차 보간법이 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다. BER이 10^{-4} 의 경우 cubic spline 보간법이 이차 보간법보다 2 dB 정도 좋은 성능임을 알 수 있다. Time-domain 보간법의 경우 IFFT/FFT를 이용하여 간단히 구현할 수 있으나 다중경로 지연 시간과 샘플링율에 따라 IFFT/FFT 변환시에 간섭을 일으킬 수 있다 [10]. 이러한 간섭으로 인하여 다른 보간법에 비해 성능이 저하된다.

그림 5는 레일리 채널에서 MSE, BER 성능을 나타낸다. 그림 5 (a)는 MSE 성능을 나타내는 그림으로서 E_b/N_0 가 25 dB일 때까지 선형 보간법과 이차 보간법이 cubic spline 보간법보다 좀 더 우수한 성능을 보인다. 그림 5 (b)는 BER 성능을 나타내는데 cubic spline 보간법이 가장 우수한 성능을 보인다.



(a) MSE



(b) BER

그림 4. 라이시안 채널에서 MSE와 BER 성능
Fig 4. Performance of MSE and BER in Rician Channel.

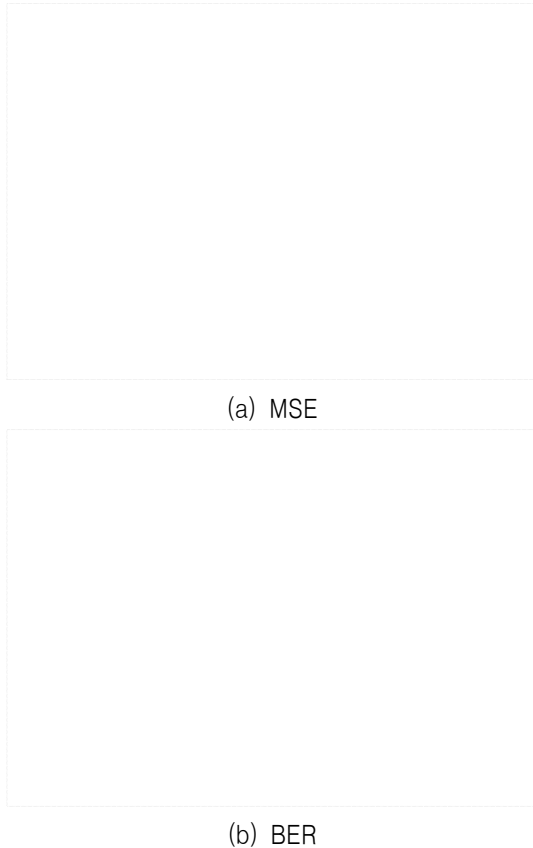


그림 5. 레일리 채널에서 MSE와 BER 성능
 Fig 5. Performance of MSE and BER in Rayleigh channel.

보간법의 성능을 비교하는 척도로 각 방식에 대한 연산의 복잡도를 분석하였다. 복잡도는 채널 추정을 위해 사용되는 파일럿의 수와 사용된 파일럿에 대한 연산 횟수를 기준으로 하였다. 각 보간법에 따른 연산의 복잡도를 표 2에 나타내었다. 선형 보간법과 이차 보간법이 연산의 복잡도면에서는 cubic spline 보간법과 time-domain 보간법에 비해 우수한 성능임을 알 수 있다.

표 2. 연산의 복잡도
 Table 2. The complexity of calculation.

보간법	파일럿 수	연산 횟수 (덧셈 / 곱셈)	Equation
선형	2	1 / 1	(3)
이차	3	2 / 3	(4)
cubic spline	4	3 / 4, 미분 2	(5)
time-domain	N_p	$N_p \log_2 N_p + N \log_2 N / N_p / 2 \log_2 N_p + N / 2 \log_2 N$	(6)~(8)

V. 결 론

본 논문은 OFDM기반의 휴대단말기를 위한 유럽형 디지털 방송 표준안인 DVB-H 시스템에 대해 분석하였다. 고속 이동 환경에서 DVB-H 시스템에 적합한 채널 추정 기법을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. MSE, BER의 에러 성능에 대해서는 E_b/N_0 값이 작은 경우에는 선형보간법, 이차보간법, cubic spline 보간법의 성능이 비슷하지만 일정 E_b/N_0 값(20-25 dB)을 초과하면 cubic spline 보간법이 가장 우수하였다. 연산의 복잡도면에서는 선형 보간법과 이차 보간법의 성능이 우수하였다. 따라서 DVB-H 시스템에 가장 적합한 채널 추정 방식은 E_b/N_0 값이 작은 경우에는 이차 보간법이, E_b/N_0 값이 큰 경우에는 cubic spline 보간법이 적합함을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

참 고 문 헌

- [1] D. Lenton, "The small screen [TV to Mobile Devices]," *IEE Rev.*, vol. 49, no. 10, pp. 38-41, Oct. 2003
- [2] *Digital Video Broadcasting(DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television*, ETSI EN 300 744 V1.5.1, June 2004.
- [3] *Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*, TM3037 DVB-H202r4, June 2004.
- [4] <http://www.dvb.org>
- [5] M. Hsieh and C. Wei, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective

- fading channels," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, no. 1, pp. 217-225, Feb. 1998.
- [6] S. Sampei and T. Sunaga, "Rayleigh fading compensation for QAM in land mobile radio communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 2, pp. 137-147, May 1993.
- [7] S. G. Kang, Y. M. Ha, and E. K. Joo, "A comparative investigation on channel estimation algorithms for OFDM in mobile communications," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 49, no. 2, pp. 142-149, June 2003.
- [8] J. J. Beek *et al*, "On channel estimation in OFDM systems," *IEEE 45th Veh. Technol. Conf.*, vol. 2, pp. 815-819, July 1995.
- [9] 문재경, 오길남, 박재홍, 하영호, 김수중, "지상파 방송 채널에서 OFDM 시스템의 시간 평균 채널 추정기의 성능," *한국전자과학회논문지*, 제10권, 제1호, pp. 44-53, 1999. 2.
- [10] Y. Baoguo *et al*, "Windowed DFT based pilot-symbol-aided channel estimation for OFDM systems in multipath fading channels," *Proc. IEEE 51th Veh. Technol. Conf.*, vol. 2, pp. 1480-1484, May 2000.

김 기 남(金基男)



1994년 2월: 서울산업대학교 전자공학과(공학사)
 1987년~1991년: (주)범양상선 무선국 통신장
 1992년~1997년: 한국기술연구소 책임연구원

1997년 2월: 고려대학교 대학원 전파공학과(공학석사)
 1998년~현재: (주)네트웍텔레콤 대표이사
 2003년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
 관심분야: 디지털 방송 시스템, UWB, OFDMA

조 성 준(趙成俊)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
 1975년 2월 : 한양대학교 대학원(공학석사)
 1981년 3월 : 오사카대학 대학원(공학박사)

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
 관심분야: 이동통신, 무선통신, 환경전자공학, 이동무선인터넷

김 진 호(金珍鎬)



2004년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
 2004년 3월~현재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정
 관심분야: 디지털 방송 시스템, OFDMA