

논문 2007-44TC-1-2

계층 변조를 포함한 개선된 지상파 DMB 시스템에서 연결 부호들의 오류 성능 분석

(Error Performance Analysis of Concatenated Codes in advanced T-DMB System with Hierarchical Modulation)

임형택*, 이상훈*, 김정구**, 주언경***

(Hyung Taek Lim, Sang Hoon Lee, Jeong Goo Kim, and Eon Kyeong Joo)

요약

본 논문에서는 기존의 지상파 DMB 방식과 역 호환성을 유지하는 동시에 고전송효율, 고품질 서비스를 제공하기 위한 계층 변조 기법을 소개한다. 계층 변조를 통해 기존의 데이터 스트림에 추가적인 데이터 스트림을 삽입함에 따라 개선된 지상파 DMB 시스템은 보다 더 많은 유효 전송률을 확보하고 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있으며, 동시에 보다 많은 방송 서비스 채널을 제공할 수 있다. 그러나 기본 서비스의 품질을 유지하면서 추가적인 서비스의 품질을 보장하기 위해서 강력한 오류정정 방식이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 다양한 오류정정 방식에 따른 계층변조가 적용된 개선된 지상파 DMB 시스템의 오류 성능을 조사하고 분석한다.

Abstract

Hierarchical modulation technology which can make the advanced T-DMB(terrestrial-digital multimedia broadcasting) system backward compatible with the conventional T-DMB system and provide high-rate and high-quality services is introduced in this paper. As additional data streams are embedded within the conventional data streams by the hierarchical modulation, the advanced T-DMB system can provide high-quality video service and more broadcasting service channels. In order to guarantee the quality of both the conventional and additional services powerful error correcting scheme is required. The error performance of advanced T-DMB system with hierarchical modulation is investigated and analyzed according to the various error correcting schemes in this paper.

Keywords : T-DMB, Hierarchical modulation, Concatenated code.

I. 서론

지상파 DMB (terrestrial-digital multimedia broadcasting; T-DMB)는 다양한 디지털 멀티미디어 신호를

소형 휴대 단말기로 언제, 어디서든 수신할 수 있는 “내 손안의 TV”라 불리는 이동 멀티미디어 방송이다^[1]. 지상파 DMB의 1개의 주파수 블록은 약 1.7 Mbps의 대역폭을 가진다. 그러나 주파수 혼신을 방지하기 위한 가드밴드(guard band)나 신뢰할 수 있는 수신을 보장하기 위한 오류정정부호 등을 고려하면 실제로 1.152 Mbps 대역만이 사용가능하다. 그리고 이 대역에 소형 휴대단말기를 위한 1개의 비디오 채널과 3개의 오디오 또는 데이터 채널을 할당할 수 있다.

기존의 지상파 DMB는 휴대폰, PDA 등과 같은 소형 휴대 단말기의 5인치 정도의 디스플레이어인 경우 고품질의 비디오 서비스를 보장할 수 있다. 그러나 노트북,

* 학생회원, *** 평생회원 경북대학교

전자전기컴퓨터학부

(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

** 평생회원, 부산대학교 정보컴퓨터공학부

(School of Computer Science and Engineering, Pusan National University)

※ 본 연구는 한국전자통신연구원(ETRI)의 연구비 지원에 의해 이루어졌음

접수일자: 2006년12월10일, 수정완료일: 2007년1월15일

차량장착 단말기와 같이 비교적 큰 디스플레이어로 수신할 경우 고화질의 서비스를 보장할 수 없을 뿐만 아니라 3-D영상과 같은 대용량 멀티미디어 방송을 하기에는 적합하지 못하다. 또한 DVB-H (digital video broadcasting- handheld), FLO (forward link only) 등에 비해 사업자들이 다양한 채널을 확보하기 힘들다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 기존 지상파 DMB 방식과 역 호환성을 유지하는 동시에 고전송효율 및 고품질 서비스를 제공하기 위한 기법에 대한 연구가 진행되고 있다. 이를 위한 대표적인 방법으로 계층변조 (hierarchical modulation) 기법이 있다^[2]. 이 기법은 계층 변조를 통해 기존의 데이터 스트림에 추가적인 데이터 스트림을 삽입함으로써 기존의 지상파 DMB 보다 더 많은 유효 전송률을 확보하여 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있으며, 동시에 보다 많은 방송 서비스 채널을 제공할 수 있다.

계층변조는 기존의 데이터에 추가적인 데이터를 삽입하므로 기존 서비스와 역 호환성을 유지할 수 있다. 그러나 추가적인 데이터는 기존의 데이터에 비해 상대적으로 수신 환경이 열악하다. 따라서 기존의 데이터의 수신율을 유지하면서 추가적인 데이터의 수신율을 보장하기 위해 부가정보에 대한 강력한 오류정정 방식이 요구된다. 본 논문에서는 우선 계층변조와 계층변조가 적용된 지상파 DMB 시스템을 소개한다. 그리고 다양한 오류정정 방식에 따른 계층변조를 적용하여 개선된 지상파 DMB 시스템의 오류성능을 조사 분석한다.

II. 계층 변조

계층 변조는 서로 다른 두 가지의 데이터 스트림을 하나의 데이터 스트림으로 변조한다. 이러한 계층 변조의 방식은 여러 형태가 있을 수 있다. 그러나 본 논문에서는 비균일 16QAM(non-uniform 16 quadrature amplitude modulation)을 이용하는 계층변조 방식만을 고려한다. 먼저 비균일 16QAM 성상도를 살펴보면 그림 1과 같다. 그림 1에 나타난 것처럼 계층 변조된 심볼은 네 비트로 구성되며 최상위 두 비트는 첫 번째 데이터 스트림에 의해 결정되고 나머지 두 비트는 두 번째 데이터 스트림에 의해 결정된다.

그리고 성상도에서 α 는 QPSK(quadrature phase shift keying) 심볼사이의 최소거리와 비균일 16QAM 심볼사이의 최소거리의 비로 정의되며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

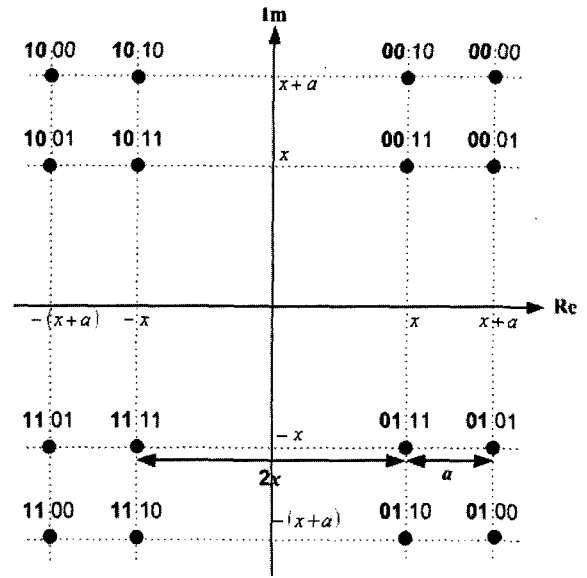


그림 1. 비균일 16QAM 성상도

Fig. 1. Non-uniform 16QAM constellation.

$$\alpha = \frac{2x}{a} \tag{1}$$

성상도에서 $\alpha = 1$ 인 경우는 QPSK 심볼 사이의 거리와 비균일 16QAM 심볼 사이의 거리가 일정해져서 균일 16QAM 시스템이 된다. 그리고 α 값이 증가하면 첫 번째 데이터 스트림을 이루는 심볼 사이의 거리는 증가하게 되고 두 번째 데이터 스트림을 이루는 심볼 사이의 거리는 감소하게 된다.

상기 계층변조를 지상파 DMB에 적용하면, 첫 번째 데이터 스트림은 기존의 지상파 DMB 시스템의 데이터 스트림이 되고 기본계층(base layer: BL) 스트림으로 불린다. 이는 기존의 지상파 DMB 시스템을 기반으로 기존 데이터 스트림이 채널 부호화 되고 $\pi/4$ -DQPSK(differential quadrature phase shift keying) 변조된 것이다. 두 번째 스트림은 부가적으로 제공되는 서비스에 관한 데이터 스트림이 되고 강화계층(Enhancement layer: EL) 스트림이라 불린다. 이는 앞서 언급한 것과 같이 기본계층 $\pi/4$ -DQPSK 심벌에 추가된다.

그림 2에 지상파 DMB의 $\pi/4$ -DQPSK 성상도를 나타내었다. 그림에서 ●는 홀수 번째 심볼을 ○는 짝수 번째 심볼을 나타낸다.

계층변조가 적용된 지상파 DMB 시스템의 구조를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 음영으로 표시된 부분은 부가 데이터를 전송하는 강화계층을 나타낸다. 강화계층의 시간 인터리버, 심볼 매핑 및 주파수 인터리버는 기본계층과 동일한 것을 사용한다. 강화계층에서 기본

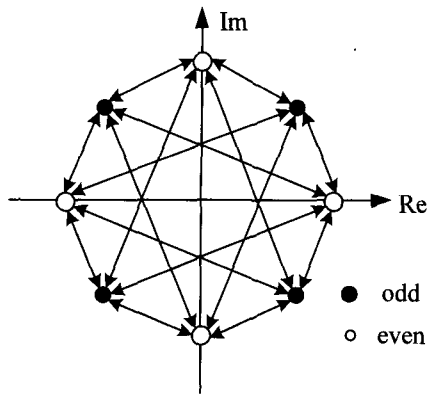


그림 2. $\pi/4$ -DQPSK 성상도
Fig. 2. Constellation of $\pi/4$ -DQPSK.

계층에 기초한 위상 편이(base layer based phase shifting) 블록은 기본계층의 $\pi/4$ 차동변조에 의한 위상 편이를 맞추어주는 역할을 한다. 그리고 ∇ 는 α 값에 따른 증폭기를 나타낸다.

그림 3의 지상파 DMB 시스템에 의해 계층 변조된 심볼의 성상도를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 α 값이 증가하면 기본계층 스트림을 이루는 심볼 사이의 거리는 증가하게 되고 강화계층을 이루는 심볼 사이의 거리는 감소하게 된다. 따라서 기본계층의 전송 품질을 보장하기 위해서는 계층변조 시 큰 α 값이 요구된다. 그러나 α 값이 증가할수록 강화계층 심볼사이의 거리가 감소하므로 강화계층의 전송 품질이 크게 저하된다. 따라서 기본계층의 전송 품질을 유지하면서 강화계층의 전송 품질을 보장하기 위해서는 보다 강력한 오류정정 방식이 요구된다.

III. 연접 부호

앞서 언급한 바와 같이 기본계층의 수신 성능과 강화계층의 수신 성능은 α 값에 따라 서로 상충적인 관계에 있다. 그러므로 지상파 DMB 서비스인 기본계층의 수

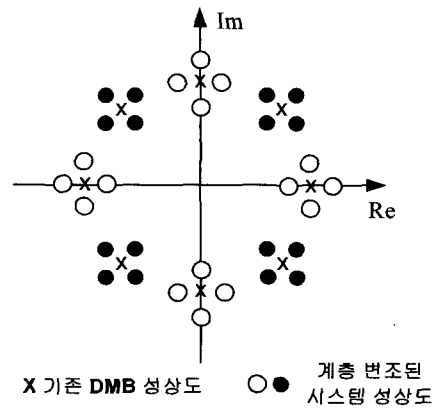


그림 4. 계층 변조된 지상파 DMB 성상도
Fig. 4. Constellation of the hierarchical modulated T-DMB.

신 성능을 크게 저하시키지 않는 범위에서 강화계층의 수신 성능을 보장할 수 있어야 한다. 따라서 강화계층 스트림의 신뢰할 수 있는 수신을 위한 오류 정정 방식으로 연접 부호(concatenated code)^[3]를 이용한 오류 정정 방식을 사용한다. 연접 부호는 내부 부호와 외부 부호로 구분되는 두 가지의 서로 다른 오류 정정 부호를 이용하여 오류를 정정하는 기법이다. 일반적으로 연접 부호를 이용한 오류 정정 방식은 기존의 단일 부호를 이용한 오류 정정 방식보다 우수한 성능을 보인다. 뿐만 아니라 기존 지상파 DMB 시스템에서도 랜덤 오류 정정에 좋은 성능을 보여주는 길쌈 부호(convolutional code)와 군집 오류 정정에 우수한 성능을 보이는 RS(Reed-Solomon) 부호를 연접하여 사용하였다.

우선 내부 부호로는 단일 부호로서 우수한 성능으로 인해 최근 많은 연구가 진행되고 있는 터보(turbo) 부호와 LDPC 부호를 사용하였다. 그리고 외부 부호로는 기존 지상파 DMB 시스템과의 호환성을 위하여 RS 부호와 BCH(Bose Chaudhuri Hocquenghem) 부호를 사용하였다. 그림 5에 사용된 연접 오류정정부호의 블록도를 나타내었다.

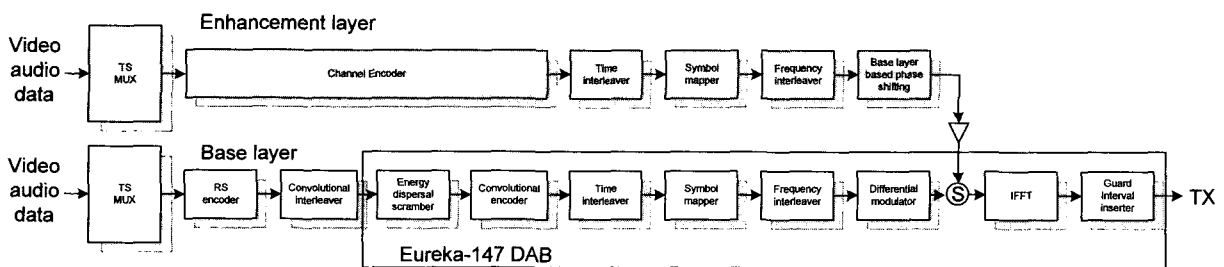


그림 3. 계층변조가 적용된 지상파 DMB 시스템
Fig. 3. T-DMB system with hierarchical modulation.

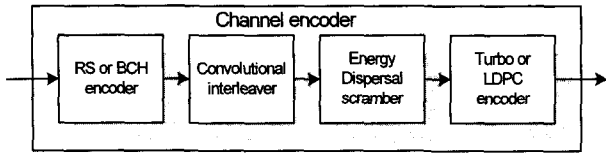


그림 5. 사용된 연접부호 블록도
Fig. 5. Block diagram of used concatenated code.

외부 부호로 사용된 RS 부호와 BCH 부호의 경우 거리제한적(distance-bounded)^[4]인 특성을 가지므로 전체 오류의 수가 오류 정정 능력보다 적게 되면 어떤 패턴의 오류도 모두 정정이 가능하다. 또한 내부부호의 오류 성능을 바탕으로 식 2와 3을 이용하여 계산을 통해 전체적인 연접부호의 오류 성능을 계산할 수 있다^[5].

$$P_B \approx \frac{1}{n_B} \sum_{j=t_B+1}^{n_B} j \binom{n_B}{j} p_b^j (1-p_b)^{n_B-j} \quad (2)$$

$$P_R \approx \frac{2^{m-1}}{2^m-1} \sum_{j=t_R+1}^{n_R} j \binom{n_R}{j} p_s^j (1-p_s)^{n_R-j} \quad (3)$$

위의 식 2에서 P_B 는 외부부호로서 부호어의 길이가 n_B 비트인 BCH 부호를 사용한 경우의 전체 연접 부호의 비트 오류 확률을 나타낸다. 그리고 이때 t_B 는 사용된 BCH 부호의 오류 정정 능력을 나타내며 p_b 는 입력 비트 오류를 나타낸다. 다음으로 식 3에서 P_R 는 외부부호로서 부호어의 길이가 n_R 심볼이고 한 개의 심볼은 m 비트인 RS 부호를 사용한 경우의 전체 연접 부호의 비트 오류를 나타낸다. 그리고 식 2와 유사하게 t_R 는 사용된 RS 부호의 오류 정정 능력을 나타내며 p_s 는 입력 심볼 오류를 나타낸다. 입력 심볼 오류 p_s 는 입력 비트 오류 p_b 를 가지고 아래 식 4와 같이 구할 수 있다.

$$p_s = 1 - (1 - p_b)^m \quad (4)$$

그리고 LDPC 부호와 터보부호의 오류 성능은 부호어의 블록이 매우 크고 계산이 복잡하여 이론적인 형태로는 그 성능을 구하기 어렵다. 따라서 이 경우 일반적으로 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 그 성능을 분석한다.

IV. 모의실험 및 성능 분석

모의실험에 사용된 외부부호와 내부부호의 매개 변수 값을 표 1에 나타내었다. 기본계층에서는 기존의 지

표 1. 계층별 오류 정정 부호의 매개변수 값
Table 1. values of parameters of error correcting codes at each layer.

BL	내부	길쌈부호	생성다항식	$(171,133)_8$
		외부	RS 부호	부호율
EL	내부	터보 부호	생성다항식	$(7,5)_8$
			부호율	$1/2$
		LDPC 부호	최대반복복호회수	10
			검사 행렬 크기	1632×3264
	외부	RS 부호	부호율	$188/204$ [byte]
		BCH부호	부호율	$1504/1632$ [bit]

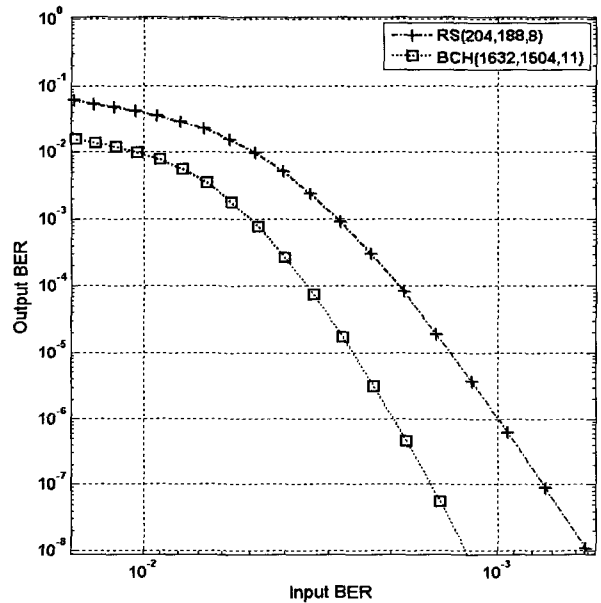


그림 6. 강화계층 외부부호의 오류성능
Fig. 6. Error performance of the enhancement layer outer codes.

상과 DMB에서 사용하는 길쌈부호와 RS(204, 188, 8) 부호를 사용하였다. 길쌈부호의 부호율은 천공을 통하여 지상파 DMB의 MSC(main service channel)에서 사용하는 대표적인 부호율인 $1/2$ 을 사용하였다.

강화계층의 외부부호는 기본계층에서 사용하는 RS(204, 188, 8)부호와 RS 부호의 부호율과 가장 비슷한 BCH(1632, 1511, 11)부호를 변형한 BCH(1632, 1504, 11) 부호를 사용하였다. 또한 강화계층의 내부부호는 외부부호의 부호어 길이를 입력 블록으로 하고 부호율은 기본계층의 길쌈부호의 부호율과 동일하게 하였다. 따라서 입력 블록의 크기 1632 비트, 부호율 $1/2$, 출력 블록의 크기 3264 비트인 터보부호와 LDPC 부호를 사용하였다.

그림 6과 7에 강화계층에 사용된 외부부호와 내부부호의 오류 성능을 나타내었다. 그림 6에서의 오류 성능은 각각 식 2와 3을 이용하여 이론적으로 구하였다. 성능 그래프에서 x축은 입력 비트오율을 나타낸다.

그림 7에서 터보부호는 10^{-5} 까지의 비트오율에서는 급격하게 떨어져 LDPC 부호보다 오류 성능이 우수하나, 10^{-6} 이하에서는 오류 성능의 개선이 느린 오류마루 현상을 보인다. 그리고 LDPC 부호는 터보부호에서 나타나는 오류마루 현상이 없어 10^{-6} 이하의 비트오율에서는 터보부호 보다 우수한 오류 성능을 나타낸다.

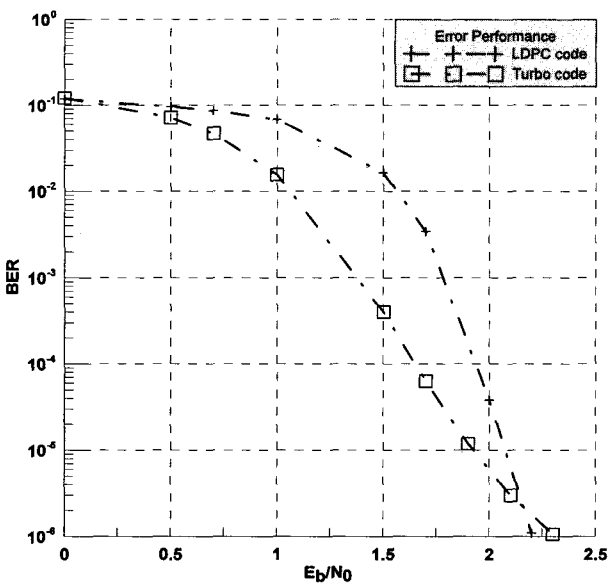


그림 7. 강화계층 내부부호의 오류 성능
Fig. 7. Error performance of the enhancement layer inner codes.

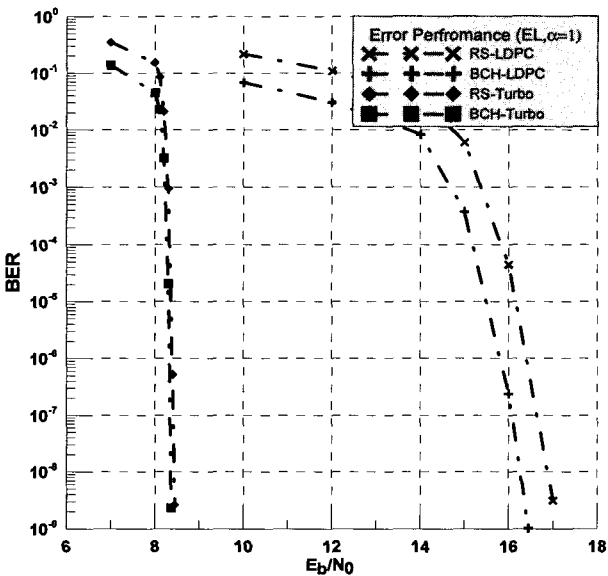


그림 8. $\alpha = 1$ 일 때 강화계층에서의 오류 성능
Fig. 8. Error performance at $\alpha = 1$ in EL.

지상파 DMB의 비디오 서비스에서 오류 성능은 10^{-8} 비트오율 이하를 요구한다. 이러한 비트오율을 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 구하기는 매우 어렵다. 그림 6의 성능 그래프를 살펴보면 RS 부호인 경우 입력 비트오율 약 5×10^{-4} 에서, BCH 부호인 경우 입력 비트오율 약 2×10^{-3} 에서 출력 비트오율 10^{-8} 을 얻을 수 있음을 보인다. 따라서 전체 시스템에서 10^{-8} 의 비트오율을 분석하기 위해서는 내부부호의 10^{-4} 출력 비트오율 정도 분석하면 된다.

본 논문에서는 먼저 내부부호의 오류 성능을 1632비트 길이의 1000개 프레임을 사용한 터보 부호와 LDPC 부호를 AWGN (additive white Gaussian noise) 환경에서 모의실험을 통하여 구하였다. 이때 사용된 LDPC 부호는 비규칙 검사 행렬(irregular parity check matrix)^[6]를 사용한 LDPC 부호이다. 다음으로 획득한 오류 성능을 이용하여 입력 비트 오율과 입력 심볼 오율을 계산한 후 이를 바탕으로 식 2와 3에 의해 전체적인 연결 부호의 오류 성능을 계산하였다.

그림 8은 $\alpha = 1$ 일 때 강화계층에서 오류 정정 부호에 따른 오류 성능곡선을 나타낸 것이다. 10^{-8} 비트오율을 기준으로 보면 BCH-터보 그리고 RS-터보 부호는 약 8.5dB의 신호 대 잡음비가 요구되고 BCH-LDPC 부호 그리고 RS-LDPC 부호는 각각 16.5 dB와 17 dB가 요구된다. 즉 내부 부호로서 터보 부호를 사용한 경우가 LDPC 부호를 사용한 경우에 비해 약 8dB의 이득을 가진다. 이때 사용된 신호 대 잡음비는 계층 변조된 전체 신호에서의 신호 대 잡음비 이므로 강화계층만을 고려한 신호 대 잡음비와는 다소 차이가 있다.

그리고 LDPC 부호를 내부 부호를 사용한 경우에는 외부 부호로서 RS 부호를 사용했을 때 BCH 부호를 사용했을 때 보다 약 0.5 dB의 이득을 가진다. 그러나 터보 부호를 내부 부호로 사용한 경우에는 RS 부호와 BCH 부호 사이의 성능 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

이는 터보 부호가 낮은 신호 대 잡음비에서 LDPC 부호에 비해 우수한 성능을 보이고 신호 대 잡음비가 약간만 증가하여도 오류 성능이 급격하게 개선되기 때문으로 사료된다. 또한 외부부호로 사용된 BCH 부호와 RS 부호의 경우 앞서 언급한 바와 같이 거리 제한적인 특징으로 인해 입력 오율이 오류 정정 능력 보다 낮게 되면 한 프레임 내에 존재하는 실제 오류의 수에 무관한 오류 성능을 보여주기 때문으로 사료된다.

그림 9와 10은 α 값이 각각 3과 5일 때의 강화계층에서 오류 정정 방식에 따른 오류 성능곡선을 나타낸 것

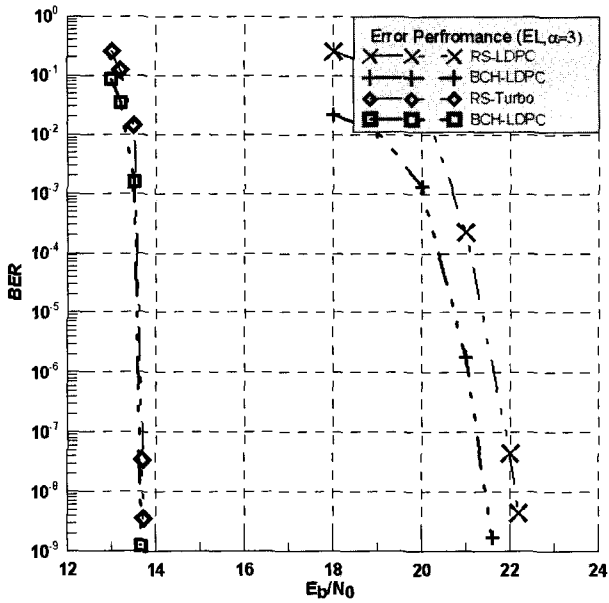


그림 9. $\alpha = 3$ 일 때 강화계층에서의 오류 성능
Fig. 9. Error performance at $\alpha = 3$ in EL.

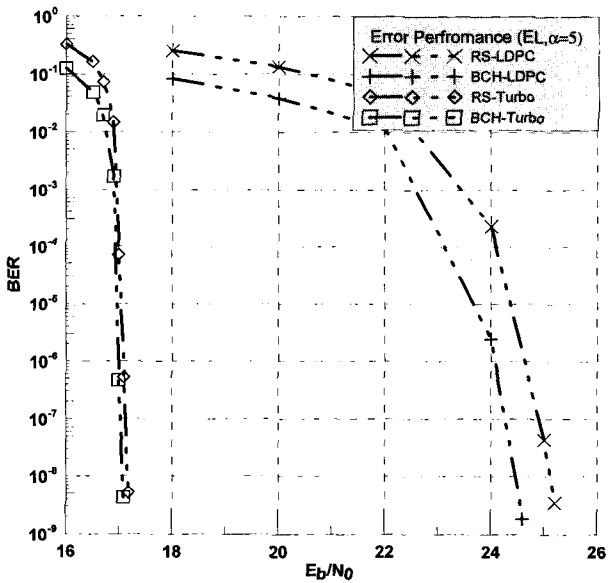


그림 10. $\alpha = 5$ 일 때 강화계층에서의 오류 성능
Fig. 10. Error performance at $\alpha = 5$ in EL.

이다. $\alpha = 1$ 인 경우와 동일하게 10^{-8} 비트오율을 기준으로 보면 α 값에 따라 10^{-8} 비트오율에 도달하는 신호 대 잡음비 값은 다르지만 터보 부호가 LDPC 부호에 비해 약 8dB의 이득을 가짐을 알 수 있다. 예를 들면 $\alpha = 3$ 인 경우에는 터보 부호와 LDPC 부호가 각각 13.5 dB 그리고 21.5 dB에 10^{-8} 비트오율에 도달한다. 그리고 $\alpha = 5$ 인 경우에는 터보 부호와 LDPC 부호가 각각 17 dB 그리고 24.5 dB에 10^{-8} 비트오율에 도달한다. 그리고 외부부호의 성능차이 또한 $\alpha = 1$ 일 때와 유

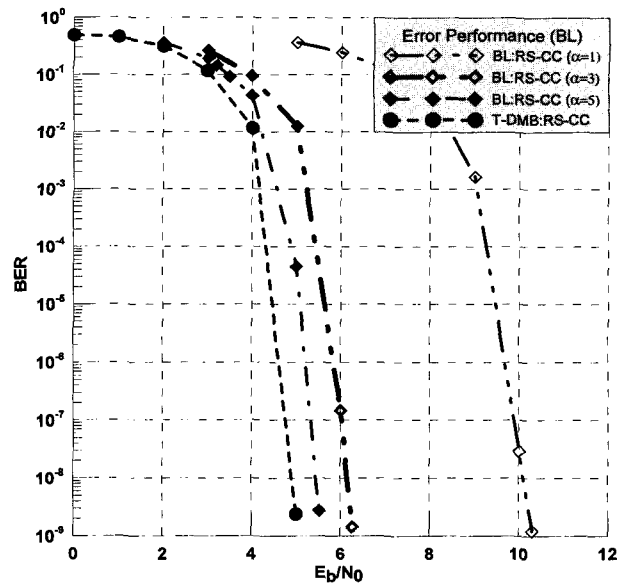


그림 11. 다양한 α 값에 따른 기본계층에서 오류 성능
Fig. 11. Error performance at in BL according to various α value.

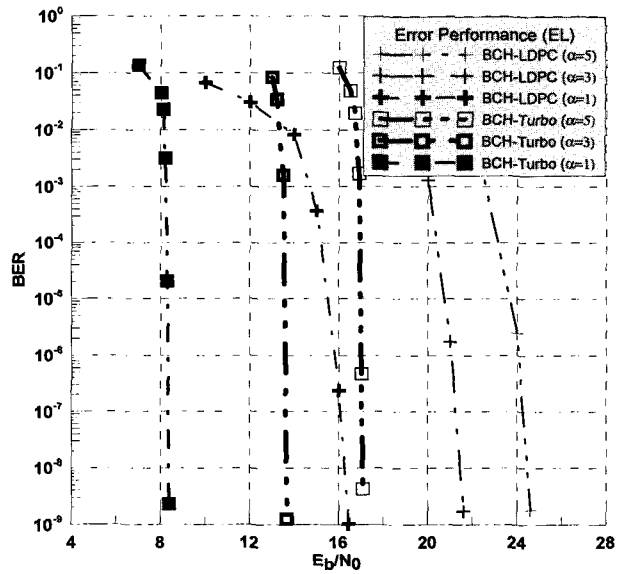


그림 12. 다양한 α 값에 따른 강화계층에서 오류 성능
Fig. 12. Error performance at in EL according to various α value.

사한 결과를 보여준다.

그림 11과 12는 각각 α 값에 따른 기본계층에서 오류 성능과 강화계층에서의 오류 성능을 보여준다. 그림 7 을 보면 10^{-8} 비트오율을 기준으로 $\alpha = 1$ 일 때는 약 10 dB가 요구되지만 $\alpha = 3, \alpha = 5$ 일 때는 각각 약 6 dB 그리고 5.5 dB가 요구된다. 즉 α 값이 1에서 3으로 그리고 3에서 5로 증가함에 따라 각각 4 dB와 0.5 dB의 성능 개선을 보인다. 그리고 $\alpha = 5$ 일 때에는 계층 변조가 적용되지 않은 기존의 지상파 DMB 시스템과 0.5 dB의

성능 차이를 보인다.

그림 12를 보면 BCH-터보 부호의 경우 10^{-8} 비트오율을 기준으로 $\alpha=1$ 일 때는 약 8.5 dB가 요구되고 $\alpha=3$, $\alpha=5$ 일 때는 각각 약 13.5 dB 그리고 17 dB가 요구된다. 즉 α 값이 1에서 3으로 그리고 3에서 5로 증가함에 따라 각각 5 dB와 3.5 dB의 성능 열화를 보인다. 그리고 BCH-LDPC 부호의 경우 10^{-8} 비트오율을 기준으로 $\alpha=1$ 일 때는 약 16.5 dB가 요구되고 $\alpha=3$, $\alpha=5$ 일 때는 각각 약 21.5 dB 그리고 24.5 dB가 요구된다. 즉 BCH-터보 부호의 경우와 유사하게 α 값이 1에서 3으로 그리고 3에서 5로 증가함에 따라 각각 5 dB와 약 3 dB의 성능 열화를 보인다.

이는 앞서 언급한바와 같이 기본계층과 강화계층의 상충관계에 의한 결과로 사료된다. 즉 α 값이 증가함에 따라 기본계층의 수신상황은 개선되지만 강화계층의 수신상황은 열화되기 때문이다.

V. 결 론

디지털멀티미디어 방송에서 역 호환성을 유지하면서 고전송효율 및 고품질 서비스를 제공하기 위하여 계층 변조를 지상파 DMB 시스템에 적용하였다. 계층변조 적용시 기본계층과 강화계층의 상충적인 관계와 기존의 지상파 DMB 시스템과 계층변조가 적용된 T-DMB 시스템 사이에 호환성문제로 인하여 강화계층의 전송품질을 보장하기 위해서는 보다 강력한 오류정정 기법이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 우수한 오류정정 성능을 가지는 터보 부호와 LDPC 부호를 내부 부호로 하는 연결 부호를 사용한 개선된 지상파 DMB 시스템의 오류 성능을 분석하였다. 실험 결과에 따르면 내부 터보 부호를 사용한 경우가 LDPC 부호를 사용한 경우 보다 약 8 dB의 이득을 보였다. 그리고 외부 BCH 부호를 사용한 경우가 RS 부호를 사용한 경우보다 근소하지만 약간의 이득을 보였다.

그리고 α 값이 1에서 3으로 그리고 3에서 5로 증가함에 따라 기본계층에서는 각각 약 4 dB와 0.5 dB 만큼 성능이 개선이 되었다 그러나 강화계층에서는 각각 약 5 dB와 3.5 dB 만큼 성능이 열화 되었다.

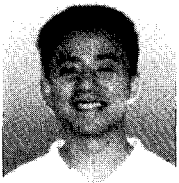
따라서 강화계층의 전송품질을 고려할 때 BCH-터보 부호가 계층변조가 적용된 지상파 DMB 시스템에 가장 적합하다고 판단되나, 시스템의 복잡도를 동시에 고려할 경우 RS-터보 부호도 적절한 오류정정 부호로

고려될 수 있다. 또한 계층 변조 적용시 α 값은 3보다 작은 값이 적합할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI TS 102 428 v1.1.1, *Digital audio broadcasting (DAB); DMB video service; Use application specification*, ETSI, Jun. 2005.
- [2] A. Schertz and C. Weck, "Hierarchical modulation - the transmission of two independent DVB-T multiplexes on a single frequency," *EBU Techn.* April 2003.
- [3] D. G. Forney Jr, *Concatenated Codes*, Cambridge, MIT Press, 1966.
- [4] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
- [5] E. R. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley Publishing Co., Menlo, California, 1983.
- [6] D. J. C. Mackay, S. T. Wilson and M. C. Davey, "Comparison of constructions of irregular Gallager codes," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 47 pp. 1449-1454, Oct. 1999.

저 자 소 개



임 형 택(학생회원)
 2006년 경북대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2006년 경북대학교 대학원
 전자공학과 석사 졸업.
 2006년~현재 경북대학교 대학원
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 오류정정부호, WCDMA, 이동휴대
 방송 기술>

이 상 훈(학생회원)

제39권 TC편 제11호 참조



김 정 구(평생회원)-교신저자
 1991년 경북대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1991년 경북대학교 대학원
 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 경북대학교 대학원
 전자공학과 박사 졸업.

1995년~2005년 국립밀양대학교 정보통신공학과
 부교수.

1999년~2001년 UC San Diego 교환교수.

2006년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부
 부교수.

<주관심분야 : 부호 이론, 통신 시스템, 방송전송
 기술>

주 언 경(평생회원)

제39권 TC편 제11호 참조