일반논문-09-14-6-05

계층변조 기반 AT-DMB의 성상비에 따른 LAB 테스트 결과 분석

이 재 홍^{a)†}, 배 재 휘^{b)}, 최 승 원^{a)}

Analysis of laboratory test results on the constellation ratio in hierarchical modulation based AT-DMB

Jae Hong Lee^{a)†}, JaeHwui Bae^{b)}, and Seung Won Choi^{a)}

요 약

AT-DMB(Advanced T-DMB) 시스템은 기존 T-DMB와 역호환성을 유지하면서 동일한 주파수 대역폭에서 전송률을 최대 2배로 높이기 위해 개발되었다. AT-DMB 시스템은 T-DMB의 DQPSK 변조신호에 새로운 변조가 적용된 BPSK 또는 QPSK 신호를 향상 계층으로 중첩하는 계층변조를 적용한다. AT-DMB의 계층변조에 새로 추가되는 신호는 T-DMB와 역호환성 유지 및 방송권역 축소를 최소화하기 위해 크기가 충분히 작아야하는데, 추가되는 크기가 작은 신호는 전송채널에 존재하는 페이딩에 의해 쉽게 왜곡될 수 있다. 따라서 AT-DMB의 계층변조에 새로 추가되는 신호에는 오류정정 성능이 우수한 터보(turbo) 부호를 적용하여 채널왜곡을 보상한다. 이러한 AT-DMB 시스템의 성능검증을 위해, AT-DMB 송·수신기를 구현하여 LAB 테스트를 통해 계층변조 신호의 성상비(constellation ratio)에 따른 AT-DMB 시스템의 수신율 측정결과를 얻었고, 결과분석을 통하여 AT-DMB 시스템의 적용성을 제시하였다.

Abstract

AT-DMB system has been developed to increase data rate up to double of conventional T-DMB in same bandwidth while maintaining backward compatibility. The AT-DMB system adopted hierarchical modulation which adds BPSK signal or QPSK signal as enhanced layer to existing DQPSK signal. The enhanced layer signal should be small enough to maintain backward compatibility and to minimize the coverage loss of existing T-DMB service area. But this causes the enhanced layer signal of AT-DMB susceptible to fading effect in transmission channel. A turbo code which has powerful error correction capability is applied to the enhanced layer signal of the AT-DMB system for compensating channel distortion. We developed the prototype AT-DMB transmitter and receiver systems for performance evaluation. LAB test for analysing the effect of constellation ratio between existing base layer signal and enhancement layer signal, was conducted and the measurement results are shown with analysis comments.

Keyword : hierarchical modulation, Advanced T-DMB, Enhanced layer

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Dept. of Electronics Computer Eng. Hanyang University

b) 한국전자통신연구원 차세대모바일방송기술연구팀

Next Generation Mobile Broadcasting Technology Research Team, Electronics and Telecommunication Research Institute

† 교신저자 : 이재홍 (jhlee@dsplab.hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음.

· 접수일(2009년9월4일), 수정일(2009년10월7일), 게재확정일(2009년10월28일)

I. 서론

T-DMB는 Eureka 147 DAB 시스템을 기반으로 하고 있으며 이동 환경에서 방송 서비스를 제공하기 위해 개발되었다^{[1][2]}. T-DMB는 CD급 음질의 오디오 서비스뿐만 아니라 QVGA(quarter video graphics array)급 화질의 비디오 서비스 및 데이터 방송까지 제공할 수 있다. 2000년대 후반에 들어서면서 이동방송에 대한 사용자의 요구가 증가하고 다양해짐에 따라, 이를 지원할 수 있는 디지털 방송, 이동통신 및 휴대 인터넷과 같은 동종 및 유사 시스템 간에 기술 경쟁이 커지게 되었다^[3]. 이러한 사용자의 요구를 만족시키고 다른 시스템과 기술경쟁에서 보다 유리한 위치를 확보하기 위하여 T-DMB의 전송률을 높이는 연구가 수행되었다. 특히 Eureka 147 DAB의 전송률을 높이기 위해 계층변조를 도입하는 연구는 이전에 수행된 적이 있으나 본격적인 시스템 개발로 이어지지는 않았다^[4]. 이러한 상황에서 T-DMB의 전송률을 높이기 위해 T-DMB의 DQPSK(differential quadrature phase shift keying) 변조신호에 새로운 변조의 신호를 중첩하는 형태의 변조를 적용하는 AT-DMB 시스템의 개발이 수행되었다^[5]. AT-DMB는 대역폭 1.536 MHz에 약 1 Mbps 정도인 T-DMB의 전송률을 최대 2 Mbps까지 증가시켜 T-DMB 대비 최대 2배의 전송률을 가지게 된다. 그래서 AT-DMB는 더 많은 채널 서비스를 제공하거나, 또는 SD(standard definition)급 화질과 5.1 채널 음향의 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있다. AT-DMB시스템에서 새로 추가되는 신호는 T-DMB 신호의 수신에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 크

기가 작아야 하기 때문에 전송 채널에서 발생하는 페이딩에 의해 쉽게 왜곡되는 문제가 있다. 이것을 극복하기 위해 T-DMB에 적용되는 길쌈(convolutional)부호에 비해 오류 정정 능력이 보다 우수한 채널부호를 적용해야 한다.

본 논문에서는 계층변조를 기반으로 개발된 AT-DMB 시스템의 성능분석을 위해, 구현된 AT-DMB 송수신기를 적용한 LAB 테스트를 통해 계층변조 성상비에 따른 수신율을 측정한 결과를 제시하고 AT-DMB의 적용성을 분석하였다. 제 2 장에서는 AT-DMB 시스템의 설계 개념 및 적용된 주요기술에 대해서 기술한다. 제 3 장은 AT-DMB 시스템의 기능 구성과 송수신기 구현에 대하여 언급하고 제 4장은 LAB 테스트 과정 및 수신율 측정 결과를 제시하고, 이들을 분석한 결과를 기술한다. 제 5 장에서는 결론으로서 AT-DMB 시스템의 적용성에 대해 언급한다.

II. AT-DMB 시스템 개요

1. AT-DMB 시스템 설계 개념

AT-DMB는 T-DMB의 주파수 대역폭 1.536 MHz 내에서 전송률을 최대 2 Mbps까지 높여 서비스 채널수를 증가시키거나 SD급 비디오와 5.1 채널 오디오 서비스를 지원하기 위해 개발되었다. AT-DMB 시스템의 서비스 개념은 다채널 서비스와 고품질 서비스가 있으며, 다채널 서비스 개념은 그림 1 (a)와 같고 고품질 서비스 개념은 그림 1 (b)와

그림 1. AT-DMB의 서비스 개념도

Fig.1. Service concept of AT-DMB (multi-channel and high-quality service)

같다. AT-DMB 다채널 서비스는 증가된 전송률을 이용하여 더 많은 서비스 채널을 제공하는 것이다. 다채널 서비스는 입력 AV(audio and video) 신호를 T-DMB와 동일한 MPEG-4 부호화, 다중화를 거쳐 계층변조를 통해 전송된다. 이에 반해 AT-DMB 고품질 서비스는 증가된 전송률을 이용하여 아날로그 TV 수준의 해상도를 가지는 SD급 비디오와 5.1 채널의 오디오 서비스를 제공하는 것이다. 고품질 서비스에서는 입력 AV 신호를 SVC(scalable video coding)로 부호화하여, QVGA급으로 부호화된 비디오 신호와 스테레오 오디오 신호를 QPSK 변조를 적용한 기본계층(base layer)으로 전송한다. 보다 나은 화질을 제공하기 위한 추가적인 비디오 신호와 MPEG 서라운드 오디오는 향상계층(enhancement layer)으로 전송된다. 이 경우 T-DMB수신기는 기본계층 서비스만 수신할 수 있고, AT-DMB 수신기는 기본계층과 향상계층 신호를 모두 수신하여 SD급 비디오와 5.1 채널의 오디오 서비스를 제공한다.

AT-DMB는 T-DMB에 기반을 두고 T-DMB와 역호환성을 유지하기 위해, 새로운 변조가 적용된 신호를 T-DMB의 DQPSK 변조 신호에 중첩하는 형태로 계층변조를 수행한다. 이에 따라 AT-DMB 시스템은 T-DMB 시스템과 역호환성을 유지하지만 계층변조의 적용에 의해 T-DMB의 방송 권역이 축소되는 결과가 나타난다. 이에 대한 영향을 줄이려면 AT-DMB 시스템 향상계층의 신호 크기를 작게 해서 기존 T-DMB의 수신에 미치는 영향을 줄여야 한다. 그러나 크기가 작은 신호는 전송채널에서 발생하는 페이딩에 의해 쉽게 왜곡되는 문제가 발생한다.

이에 T-DMB에서는 채널부호로 길쌈 부호와 리드-솔로몬(Reed-Solomon)부호의 연결부호(concatenated code)를 사용하였지만 AT-DMB에서는 향상계층에 길쌈 부호에 비해 오류정정 성능이 우수한 터보(turbo) 부호를 적용하였다.

2. AT-DMB 시스템에 적용된 계층변조

OFDM 전송 시스템에 계층변조를 적용한 사례는 DVB-T 시스템이 있다. DVB-T 시스템에서는 16QAM, 64QAM 변조에 계층변조 기법을 적용하는 것을 표준에 포함하고 있다^[3]. AT-DMB에 적용된 계층변조는 기존 T-DMB를 기본

계층 신호로 하고 새로운 변조를 갖는 향상계층 신호를 중첩하는 형태로 변조를 수행하며, 다음 식과 같이 표현된다^[5].

$$S_H(n) = S_{TDMB}(n) + S_{NEW}(n) \quad (1)$$

T-DMB 신호의 프레임은 1개의 null 심벌, 1개의 PRS(phase reference symbol) 심벌, 3개의 FIC(fast information channel) 심벌과 72개의 MSC(main service channel)로 구성된다^[1]. T-DMB에 계층 변조를 할 때 계층변조는 데이터 구간인 FIC 심벌 및 MSC 심벌에 대해서만 수행되며, T-DMB 신호의 매 프레임의 시작을 나타내는 null 심벌과 바로 다음에 나오는 PRS 심벌에 대해서는 수행되지 않는다. 계층변조 된 T-DMB에서 PRS는 기본계층 및 향상계층에 대해 공통으로 적용된다. PRS 심벌은 송신 단에서 T-DMB 신호의 DQPSK 변조에 사용되고, 수신 단에서는 DQPSK 복조를 위한 위상 기준값으로 사용된다.

T-DMB에 계층변조를 적용하는 경우, 향상계층 신호는 기본계층 신호에 최소한의 영향을 주면서 수신 성능을 최대화 할 수 있는 변조가 적용되어야 한다. AT-DMB는 계층변조를 위해 향상계층 변조에 BPSK 또는 QPSK 변조를 적용한다. 기본계층 신호에 향상계층 신호를 더하여 얻어지는 AT-DMB 신호 $S_H(n)$ 은 다음과 같이 나타난다^[6].

$$S_H(l,k) = S_{BL}(l,k) + \frac{1}{1+\alpha} S_{EL}(l,k) e^{j(\angle S_{BL} + \theta)} \quad (2)$$

$$\theta = \begin{cases} \text{if } EL \text{ is QPSK, } \theta = -\frac{\pi}{4} \\ \text{if } EL \text{ is BPSK, } \theta = 0 \end{cases}$$

$$S_{BL}(l,k) = S_{BL}(l-1,k) \times y_{BL}(l,k)$$

여기서, $S_{BL}(1,k) = y_{BL}(1,k)$, $y_{BL}(1,k)$ 는 PRS, $y_{BL}(l,k)$ 는 BL의 QPSK 심벌이고, α 는 성장비이다. l 은 OFDM 심벌 인덱스이고 $l=2,3,4,\dots,L$ 의 값을 가진다. k 는 서브캐리어 인덱스이고 $k=1,2,\dots,N$ 이다.

식 (2)에서 기본계층 신호 $S_{BL}(l,k)$ 은 DQPSK 변조를 수행하므로 이전 신호 $S_{BL}(l-1,k)$ 와 현재의 OFDM 심벌 $y_{BL}(l,k)$ 의 복소 곱으로 나타난다. 향상계층 신호 $S_{EL}(l,k)$ 은 QPSK 또는 BPSK로 변조가 되며, 기본계층 대비 크기가 성장비에 의해 $1/(\alpha+1)$ 만큼 작은 크기를 가진다. 향상

계층 신호는 기본 계층신호의 성상에 더해지는데, 현재 기본계층 신호의 위상만큼 향상계층의 위상을 회전하는 과정이 요구된다. 특히 향상계층 신호에 적용된 변조가 QPSK인 경우에는 기본계층 신호의 위상이외에 추가로 $-\pi/4$ 만큼 더 위상회전을 한다. 이것은 최대한 성상간의 거리를 크게 하여 향상계층 성상의 강인성을 높이기 위한 것이다. 따라서 계층변조 신호 $S_H(l,k)$ 는 현재 기본계층 신호 $S_{BL}(l,k)$ 와 크기 조절 및 위상 회전된 향상계층 신호 $1/(1+\alpha) \cdot S_{EL}(l,k)e^{j(\angle S_{BL} + \theta)}$ 를 더하는 과정으로 이루어진다.

계층변조 된 AT-DMB 신호의 성상은 그림 2와 같이 나타난다. PRS를 기준으로 홀수 번째 OFDM 심벌은 (a), 짝수 번째 심벌은 (b)와 같이 나타난다. 그리고 성상비 α 는

다음과 같이 정의된다^[6].

$$\alpha = a/b \quad \text{여기서 } a \text{ 는 성상 군 간의 간격이고, } b \text{ 는 성상간의 간격이다.} \quad (3)$$

BPSK 변조가 적용된 계층변조 B 모드의 성상은 그림 2의 (a), (b)에 나타내었다. 그림 2 (a)는 PRS를 기준으로 홀수 번째 심벌 성상을 나타내었는데 T-DMB 신호의 홀수 번째 심벌의 성상은 x, y 축 상에 존재하기 때문에, 여기에 BPSK 신호가 더해지는 경우에 계층 변조된 신호의 성상은 그림 2 (a)와 같이 x, y 축 상에 존재하게 된다. 그리고 짝수 번째 심벌은 T-DMB 신호의 짝수 번째 심벌이 대각선상에 존재하기 때문에 그림 2 (b)와 같이 대각선상에 존재하게

그림 2. AT-DMB 시스템의 B 모드/Q 모드의 계층변조 성상도

Fig. 2. Constellations of AT-DMB system (B mode and Q mode)

된다. QPSK 변조가 적용된 계층변조 Q 모드의 성상은 그림 2 (c), (d)에 나타내었다. 계층변조 Q 모드의 성상은 계층 변조 B 모드와 달리 $\pi/4$ -rotated QPSK 변조를 적용한 차이가 있다. 이것은 성상 군 간의 거리가 최대가 되게 하기 위한 것이다.

계층변조 B 모드는 신호의 성상이 전달과정에서 왜곡되어 위상이 변하더라도, 수신 단에서는 수신신호의 위상은 고려하지 않고 진폭만 구별하기만 하면 되기 때문에 정보를 복원하기가 용이하다. 따라서 BPSK 변조를 적용하는 경우에는 신호의 전달과정에서 발생하는 위상 왜곡에 대해 강한 특성을 가진다.

3. AT-DMB에 적용된 터보부호 구조

AT-DMB 향상계층은 길쌈 부호 대신에 천공(puncturing)을 바탕으로 하는 터보 부호를 사용한다. 이 부호는 균등 오류보호(ECP, equal error protection)만 지원한다. 터보 부호화 과정은 각각의 에너지 분산 스크램블러(energy dispersal scrambler)의 출력에 적용된다. 스크램블러의 출력은 I 비트의 벡터 $(a)_i^T_{i=0}$ 로 표현된다. 모부호(mother code)에는 이중이진(double binary) 순회 재귀 체계 길쌈 부호(circular recursive systematic convolutional code)를 이용한 터

보부호화가 적용되며 그 구조는 그림 3과 같다^[6].

터보 부호기의 입력은 N 쌍 비트의 데이터로 이루어진다. 즉 길이 N 의 이중이진 벡터 $(x_i)_{i=0}^{N-1}$, $x_i = \{x_i^e, x_i^o\}$ 가 터보 부호기의 입력이 된다. 입력 벡터의 길이 N 은 전송률(bit rate)에 따라 정해지며, N 의 허용된 값은 $N=384l$, $l=1,2,3,4$ 이다. 구성부호기의 연결선을 나타내는 다항식을 8진(octal) 또는 자연기호(D)로 나타내면 다음과 같다.

- 제한 가지(feedback branch) : 15 octal 또는 $1+D+D^3$
- 패리티 비트 p_1 : 13 octal 또는 $1+D^2+D^3$
- 패리티 비트 p_2 : 11 octal 또는 $1+D^3$
- 패리티 비트 p_3 : 17 octal 또는 $1+D+D^2+D^3$

입력 x^e 는 자연소자의 탭 “1”에 연결되고, 입력 x^o 는 자연소자의 탭 “1”, “ D ” 및 “ D^2 ”에 연결된다.

III. AT-DMB 시스템 구현

1. AT-DMB 시스템 기능 구성

AT-DMB 시스템의 전체적인 기능 구성은 그림 4와 같이

그림 3. 이중이진 순회 재귀 체계 길쌈 부호를 이용한 터보 부호기
Fig. 3. Double binary circular recursive systematic convolutional code

그림 4. AT-DMB 시스템 계층변조 구성도

Fig. 4. AT-DMB system hierarchical modulation configuration

나타나며, T-DMB 신호에 해당하는 기본계층 신호는 길쌈 부호화를 거치고, 전송 프레임 믹스를 통해서 서비스 프로그램을 다중화 하고, QPSK 변조를 하고 다시 DQPSK 변조를 한 후에 OFDM 변조를 수행하게 된다. 항상계층 신호는 터보 부호화를 거치고, 전송 프레임 믹스를 거쳐 얻어진 신호에 대해, BPSK 또는 QPSK 변조를 수행하게 된다. 그리고 주파수 인터리빙을 거쳐 OFDM 변조를 수행하고, OFDM 변조된 신호는 기본계층 신호와 같이 IFFT(inverse

fast Fourier transform)를 통해 시간영역신호로 변환된다. 새로 추가되는 항상계층 신호는 상상비 $1/\alpha$ 만큼 크기를 줄여 기본계층 신호와 더해서 계층변조를 수행한다.

2. AT-DMB 시스템 구현

개발된 AT-DMB 시스템 장비는 크게 송신 장비와 수신 장비로 이루어진다. AT-DMB 송신 장비는 그림 5와 같으

그림 5. 개발된 AT-DMB 송신 장비 형상

Fig. 5. Configuration of prototype AT-DMB transmission system

며, 기본계층 및 향상계층을 위한 MPEG-4 부호기(encoder), 앙상블 다중화기(ensemble multiplexer), 계층변조기(hierarchical modulator), 주파수 상향 변환기(frequency up-converter) 및 고출력 증폭기(high power amplifier)로 구성된다. MPEG-4 부호기는 기본계층 및 향상계층 입력 AV 신호에 대해 MPEG-4 부호화를 수행하며, 특히 고품질 서비스에 대해서는 비디오 신호는 SVC 부호화를 수행하고 오디오 신호는 MPEG-4 서라운드 부호화를 수행한다⁷⁾. 부호화된 신호는 앙상블 다중화기에 입력되어 전송을 위한 MPEG-2 TS(transport stream)으로 다중화되며, 특히 고품질 서비스에 대해서는 기본계층 TS 스트림과 향상계층 TS 스트림은 매우 밀접하게 관련이 되어 있어서 이들 두 신호의 동기를 맞추기 위한 시간 스탬프가 적용된다. TS 스트림은 계층변조기에 입력되어 기본계층은 DQPSK 변조가 되고 향상계층은 BPSK 또는 QPSK 변조가 되고, 이들 두 신호의 성상이 중첩되는 형태로 더해서 AT-DMB 전송신호가 만들어진다. AT-DMB 전송신호는 주파수 상향변환기를 거쳐 원하는 방송 주파수 대역으로 변환되고, 고출력 증폭기를 통해 신호의 출력을 증폭한 이후에 송신안테나를 통해 방송신호가 송출된다.

AT-DMB 테스트 수신기는 그림 6 (a)에 나타나 있다.

AT-DMB 테스트 수신기는 AT-DMB 신호를 수신하여 TS 스트림을 출력하는 기능까지 수행한다. 출력된 TS 스트림은 PC 기반 소프트웨어 형태의 MPEG-4 복호기에서 수행하며 그림 6 (b)와 같이 미디어플레이어를 통해 수신된 비디오 및 오디오 서비스를 복원한다. AT-DMB 테스트 수신기의 중요한 기능은 수신된 AT-DMB 신호에서 매 초당 전체 수신된 TS 패킷 개수 정보와 수신 TS 패킷 중에서 오류정정이 안 되는 패킷개수 정보를 출력하는 것이다. TS 패킷에 발생한 오류는 리드-솔로몬 복호기에서 오류정정을 수행하며, 리드-솔로몬 복호 이후에 TS 패킷 단위로 오류정정 여부를 확인하여 오류 정정된 TS 패킷개수와 오류정정이 안되는 TS 패킷개수를 계산하여 출력한다. 이 정보를 이용하여 LAB 테스트에서 AT-DMB의 TS 패킷 단위의 수신율을 계산할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

이 장에서는 AT-DMB의 성능분석을 위해 구현된 AT-DMB 송수신장비를 적용하여 LAB 테스트를 수행하여 수신율을 측정한다. 수신율 측정 결과를 분석하여 계층변

(a) AT-DMB 수신기 형상

(b) AT-DMB 미디어 플레이어 화면

그림 6. 개발된 AT-DMB 수신 장비 및 미디어 플레이어

Fig. 6. Configuration of prototype AT-DMB receiver and media player

조 상상비에 따라 나타나는 기본계층 및 향상계층의 수신율을 변화를 분석한다.

1. 실험조건

AT-DMB 시스템의 Q 모드 서비스 중 주요한 것의 하나는 SD급 영상품질을 제공하는 서비스이다. 특히 개발도상국에서는 본격적인 지상파 디지털 TV로 전환하기 전에, 이를 통해 보다 간편하고 저렴한 비용으로 디지털 TV 대체 서비스가 가능하다. 이 경우 사용 환경이 외부 안테나나 실내 안테나를 통한 고정 수신에 많은 것이므로, 고정된 수신 채널환경에서 일정시간 (약 2분) 동안 사람이 지켜보고 화면이 정상적으로 나오는지 확인하는 간단한 과정으로 테스트를 할 수 있다. 그러나 B 모드의 주요 서비스 형태는 이동방송 서비스이므로, 이동수신 조건에서 AT-DMB 시스템의 기본계층 및 향상계층의 수신율을 분석 할 필요가 있다. 이에 LAB 테스트는 이동 수신 환경에서 B 모드를 중심으로 실시하였다.

1.1 AT-DMB 변조 파라미터

LAB 테스트에 적용된 AT-DMB 변조 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. AT-DMB 변조 파라미터

Table 1. AT-DMB modulation parameter

항목	변조방식	부호화율	채널부호	상상 비
향상계층	BPSK	1/2	터보 부호	1.5, 2.0 2.5, 3.0
기본계층	DQPSK	1/2	길쌈 부호	

1.2 적용 채널 모델 및 수신기 속도

적용된 이동방송 채널 모델은 DVB에서 제안한 이동멀티미디어 방송 시스템인 DVB-H 시스템의 LAB 테스트에 적용한 COST207에서 제안한 도심지 환경의 이동채널 모델인 TU6(typical urban 6 path) 채널을 적용하였다^[8]. TU6 채널의 파라미터는 표 2와 같다. 그리고 수신기의 이동 속도는 도심지에서 가장 많이 나타나는 이동속도인 60 Km/h를 대표 값으로 적용하였다.

표 2. TU6 채널 파라미터

Table 2. TU6 channel parameter

경로	지연시간(μ s)	전력(dB)	도플러 스펙트럼
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

1.3 수신율 정의

LAB 테스트는 송신기의 출력신호가 채널 에뮬레이터의 TU6 채널을 통과한 이후에 수신기의 리드-솔로몬 복호 이후에 얻어지는 TS 패킷의 수신율을 계산하였다. LAB 테스트에서는 적용되는 TS 패킷의 수신율은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{수신율}(\%) = \frac{\text{에러없는 TS패킷 개수/초}}{\text{전체수신 TS패킷 개수/초}} \times 100 \quad (3)$$

2. LAB 테스트 및 결과분석

2.1 LAB 테스트

LAB 테스트 장비 구성도는 그림 7과 같다. 송신기의 신호는 채널 에뮬레이터에 입력되고, 채널 에뮬레이터의 출력신호는 스텝 감쇄기(step attenuator)에 입력되어 신호의 크기를 조절한다. 스텝 감쇄기는 1 dB 단위로 신호의 크기를 조절한다. 스텝 감쇄기의 출력신호는 AT-DMB 수신기와 스펙트럼분석기에 입력하기 위해 전력분배기를 통해 2개로 나누어진다. 따라서 AT-DMB 수신기에 입력되는 신호의 전력은 스펙트럼분석기에서 측정된다. 그리고 AT-DMB 수신기는 입력신호에 대해 매 초당 수신되는 TS 패킷의 개수와 오류정정이 되어 오류가 없는 TS 패킷 개수 정보를 출력한다. LAB 테스트에서는 이 정보를 이용하여 수신율을 계산한다.

AT-DMB의 수신율은 스텝 감쇄기는 일정한 값으로 고정시키고 채널 에뮬레이터 내부에서 출력신호의 전력을 1 dB 단위로 감소시키면서 측정하였다. 그리고 통계적 관점에

그림 7. AT-DMB 성능 측정 장비 구성도

Fig.7. The configuration of AT-DMB performance measurement system

서 충분히 신뢰할 수 있는 데이터를 수집하기 위해 각 측정 수신신호 전력에 대해 30분간 측정을 수행하였다.

2.2 LAB 테스트 결과 분석

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 BER 분석 결과는 그림 8과

같이 나타나고, LAB 테스트에서 측정된 B 모드 계층변조 시의 수신율은 그림 9와 같이 나타났다. 그림 9에서와 같이 수신율은 터보 부호의 부호화율=1/2로 고정하고 성상 비를 3.0, 2.5, 2.0 및 1.5로 줄여감에 따라서 기본계층의 수신율은 열화 되고, 향상계층의 수신율은 개선되는 것을 볼 수

그림 8. 터보 부호화율 CR=1/2일 때, 성상비 변화에 따른 BER 분석 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Simulation results of BER analysis with varying constellation ratio when CR=1/2

있다. 이것은 성상비가 감소하면 기본계층 신호 대비 향상 계층 신호가 커져서, 향상계층은 신호의 오류가 줄어들고 반면에 기본계층은 향상계층의 영향이 커져 오류가 많아지기 때문으로 분석된다. 이같이 성상비가 감소함에 따라 기본계층과 향상계층 사이의 수신율 차이가 줄어들는데, 성상비가 1.5가 되었을 때의 향상계층의 수신율은 기본계층의 수신율보다 더 좋게 나타나며 심지어 T-DMB의 수신율과 비슷한 값을 보인다. 이것은 터보 부호가 갖는 강력한 오류정정 성능에 기인한 것으로 해석된다. 결론적으로 상대적인 수신율은 성상비가 3.0, 2.5, 2.0, 1.5로 변함에 따라 기본계층과 향상계층의 수신율 간격이 점차 좁아지게 되는데, 성상비=1.5 일 때는 기본계층과 향상계층의 수신율 역전현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 8에서의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 일치한다.

LAB 테스트에서 얻은 수신율 측정값은 적용된 계측장비에 의한 오차가 존재할 수 있다. 적용한 계측장비는 대부분 1 dB 단위로 값이 변화하며, 스텝 감쇄기의 신호감쇄 값도 1 dB 단위로 변화하고 채널 에뮬레이터 내부의 신호 감쇄기의 값도 1dB 단위로 변화한다. 따라서 LAB에서 얻을 수 있는 정확도는 각 계측장비마다 최대 ± 1 dB의 오차가 존재할 수 있다. 또한 LAB 테스트 결과는 측정 실험실의 주변온도와 같은 환경조건에 따라 송신기, 수신기 및 계측장비의 동작이 영향을 받는다. 그림 9의 (a) - (d)의 데이터는 각기 다른 시간대에 측정된 것으로서 서로 간을 비교 하는 것은 적절치 못 할 수 있다. T-DMB 수신율 또한 별도로 다른 기간에 측정된 것이다. 따라서 기본계층과 향상계층의 절대적인 수신율 보다는 상대적인 수신율의 관점에서 LAB 테스트 결과를 분석해야 할 것으로 생각된다.

그림 9. 터보 부호화율 CR=1/2일 때, 성상비 변화에 따른 LAB 테스트 결과

Fig. 9. LAB test results of reception rate with varying constellation ratio when CR=1/2

V. 결 론

본 논문에서는 터보 부호를 적용한 AT-DMB 시스템의 개발에 대해 기술하였다. AT-DMB는 T-DMB 시스템을 기반으로 하며, T-DMB 신호에 새로운 변조의 향상계층 신호를 중첩해서 더하는 형태의 계층변조를 수행하여 T-DMB 대비 최대 2배의 전송률을 얻을 수 있다. 이렇게 증가된 데이터터를 사용하여 AT-DMB는 SD급 수준의 보다 나은 품질의 영상 서비스 또는 더 많은 채널의 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 AT-DMB의 향상계층은 T-DMB의 수신에 미치는 영향을 최소화하기 위해 크기가 작아야하는데, 이것은 전송 채널의 페이딩에 의해 쉽게 왜곡되는 문제를 발생시키게 된다. 이것을 위해 AT-DMB 향상계층에 터보 부호와 리드-솔로몬 부호의 연접부호를 적용하여 신호 크기가 작아서 발생하는 신호의 왜곡 영향을 해결하고자 하였다.

AT-DMB의 수신 성능 분석을 위해 구현된 AT-DMB 송신기 및 수신기를 적용하여 성상비에 따른 수신율을 분석하였는데 동일한 터보부호 부호화율=1/2에 대해 성상비가 3.0, 2.5, 2.0, 1.5 로 변해감에 따라 향상계층의 수신율은 개선되고, 기본계층의 수신율은 열화 되는 것을 확인하였다. 따라서 AT-DMB 시스템을 이용하여 방송을 실시할 경우에는 향상계층에 적용되는 터보 부호의 부호화율 및 성상비와 같은 파라미터를 적절하게 선택하여야한다. AT-DMB에 대한 가장 큰 수요 중의 하나가 버스나 열차 및 선박 안에서 대형 화면에 보다 나은 화질로 영상을 제공하려

는 것인데 이 경우는 기존 T-DMB의 방송권역에 대한 영향을 최소화 할 수 있고 안테나 이득이 높은 다이버시티(Diversity) 안테나를 사용할 수 있다는 점 등을 감안 해 볼 때 성상비 2.5 정도가 적절할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI EN 300 401, Radio Broadcasting Systems ; Digital Audio Broadcasting(DAB) to mobile, portable and fixed receivers, April 2000.
- [2] ETSI TS 102 428, Digital Audio Broadcasting (DAB) ; DMB video service ; User Application Specification, Jun. 2005.
- [3] JaeHwui Bae, Gwangsoon Lee, JongSoo Lim, Soo In Lee, Dong-Seok Han, "An overview of terrestrial multimedia broadcasting systems : T-DMB and DVB-H," ABU DTV Symposium, October 2005
- [4] Michael J. Ruf, H. Schulze, "Erhöhung der Datenkapazität bei DAB durch hierarchische Modulation," ITG-Fachtagung Codierung, März 1998 in Aachen, ITG Fachbericht 146, S. 249-257
- [5] Ji-Hyun Kim, Hyoun-Nam Kim, Hyounsoo Lim, Jong Soo Lim "Performance Improvement of Terrestrial DMB Receivers in Hierarchical Modulation Mode," Consumer Electronics 2007 ICCE2007 International Conference on. Jan. 2007.
- [6] 한국정보통신기술협회, TTAK.KO-07.0070, 고전송률 지상파 디지털 멀티미디어 방송(AT-DMB) 송수신 정합, 2009. 6.
- [7] ISO/IEC 23003-1, information technology- MPEG audio technologies -Part 1: MPEG Surround, February 2007.
- [8] ETSI 2005., "ETSI TR 102 401, Digital Video Broadcasting (DVB);Transmission to Handheld Terminals(DVB-H); Validation Task Force Report," European Telecommunications Standards Institute, May 2005.

저 자 소 개

이 재 홍

- 1980년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학석사)
- 1986년 6월 : 미국 Syracuse 대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 1996년 7월 ~ 1998년 6월 : 미국 IBM Watson 연구소 객원연구원
- 2008년 2월 ~ 현재 : 지식경제부 우정사업본부
- 주관심분야 : 디지털 휴대이동방송, HDTV, 스마트 안테나 시스템

 저 자 소 개

배 재 휘

- 1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 3월 ~ 2000년 12월 : 국방과학연구소
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원
- 주관심분야 : 지상파 DMB, 디지털 방송

최 승 원

- 1980년 3월 : 한양대학교 공과대학 졸업
- 1982년 3월 : 서울대학교 공과대학 석사
- 988년 12월 : 미국 Syracuse대 공과대학 박사
- 1992년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 교수
- 2004년 11월 ~ 현재 : SDR Forum 부회장
- 주관심분야 : Software Defined Radio, 스마트 안테나 시스템