특집논문-10-15-1-11

고유 공간 빔형성 알고리즘을 이용한 AT-DMB 수신 방법

이 재 홍^{a)*}, 최 승 원^{a)}

AT-DMB Reception Method with Eigen-space Beamforming Algorithm

Jae Hong Lee^{a)*} and Seung Won Choi^{a)}

요 약

고전송률 지상파 디지털멀티미디어 방송 즉 Advanced T-DMB 방송 (이하 AT-DMB)은 기존 T-DMB와 역호환성을 유지하면서 전송률을 최대 2 배로 높이기 위한 방법의 하나로 개발 되고 있다. AT-DMB 시스템은 T-DMB의 DQPSK 변조신호에 새로운 변조가 적용된 신호를 중첩하는 계층변조를 적용 한다. AT-DMB의 계층변조에는 새로 추가하는 향상 계층신호로 이동성에 강한 BPSK 신호를 더하는 B 모드와 보다 많은 데이터 전송을 위한 QPSK 신호를 더하는 Q 모드가 있다. T-DMB와 역호환성 유지 및 방송권역 축소를 최소화하기 위해 향상 계층의 신호를 작게 유지 해야 한다. 이 때문에 새로 추가된 향상계층 신호는 전송채널에 존재하는 페이딩에 의해 쉽게 왜곡될 수 있다. 이를 위해 향상 계층의 신호에는 기존의 길쌈 부호 보다 에러 정정 능력이 뛰어난 터보 부호를 채용하고 있다. 그러나 AT-DMB의 경우 기본계층과 향상계층 사이에 존재하는 QEF(quasi error free) SNR(signal to noise ratio) 차이로 인해 방송권역에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 별도의 송신 출력의 증가 없이 AT-DMB 신호를 안정적으로 수신할 수 있는 빔형성 이득과 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있는 고유 공간 빔형성 기법을 적용한 AT-DMB 수신 방법을 제안한다. 제안한 고유 공간 빔형성 기법이 적용된 AT-DMB 수신 방법에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였고 그 적용성을 제시하였다.

Abstract

AT-DMB system has been developed to increase data rate up to double of conventional T-DMB in the same bandwidth while maintaining backward compatibility. The AT-DMB system adopted hierarchical modulation which adds BPSK or QPSK signal as enhancement layer to existing DQPSK signal. The enhancement layer signal should be small enough to maintain backward compatibility and to minimize the coverage loss of conventional T-DMB service coverage. But this causes the enhancement layer signal of AT-DMB susceptible to fading effect in transmission channel. A turbo code which has improved error correction capability than convolutional code, is applied to the enhancement layer signal of the AT-DMB system for compensating channel distortion. However there is a need for other solutions for better reception of AT-DMB signal in receiver side without increasing transmitting power. In this paper, we propose adaptive array antenna system with Eigen - space beamforming algorithm which benefits beamforming gain along with diversity gain. We analyzed the reception performances of AT-DMB system in indoor and mobile environments when this new smart antenna system and algorithm is introduced. The computer simulation results are presented along with analysis comments.

Keyword : Eigen-space beamforming, smart antenna, AT-DMB, diversity gain, hierarchical modulation.

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Dept. of Electronics Computer Eng. Hanyang University

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

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

· 접수일(2009년12월8일), 수정일(2010년1월19일), 게재확정일(2010년1월19일)

I. 서 론

국내에서 이동 휴대 방송에 적합하게 개발한 T-DMB는 2005년 12월 상업 방송을 시작한 이후 2009년 말 현재

T-DMB 수신기 판매 대수가 3000만대를 넘어서고 있다. T-DMB 관련 기술과 서비스는 한국정보통신기술협회 규격, 즉 TTA 규격 (TTAS.KO.07-0024)을 거쳐서 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standards Institutes) TS 102 407 및 TS 102 428 규격으로 그리고 2007년 12월에는 DVB-H, One-Seg 및 MediaFLO와 함께 ITU의 전세계 이동 휴대 방송 규격의 하나로 공식 승인 되었다.

T-DMB는 유럽에서 개발된 Eureka-147 DAB 시스템을 기반으로 하고 있는데 DQPSK(differential quadrature phase shift keying)과 COFDM(coded orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 사용하며, 1.536 MHz 대역폭을 사용하여 전송 가능한 유효 데이터는 1.06 Mbps이다.

이동 휴대 수신기 목적이기 때문에 2~7 인치 정도의 작은 스크린 사이즈에서 CIF급(322 * 288 픽셀)의 영상을 재생하는 것에는 문제가 없다. 그러나 버스나 열차 및 선박에서와 같이 20 인치 이상의 디스플레이에서는 낮은 데이터 전송률로 인하여 압축률이 우수한 H.264 방식을 사용하더라도 화질의 열화가 크게 느껴진다.

이에 기존 T-DMB 수신기에 대한 역방향 호환성을 가지면서도 전송률을 높이는 연구가 수행되게 되었다. 전송률을 높이기 위해서는 T-DMB의 DQPSK 변조신호에 새로운 변조의 신호를 중첩하는 형태의 변조를 적용하는 계층변조 방식의 AT-DMB(advanced T-DMB) 시스템의 개발이 수행되었다^[1]. 그간 개발된 AT-DMB의 연구 성과는 2009년 6월 한국정보통신기술협회에서 새로이 고전송률 지상파 디지털멀티미디어 방송(AT-DMB) 송수신 정합 규격 (TTAK.KO-07.0070)으로 정하여 고시 되었다^[2].

AT-DMB는 기본 DQPSK 변조 신호에 더해지는 향상 계층의 신호를 BPSK 형태로 더하느냐 또는 QPSK 형태로 더하느냐에 따라 B 모드 및 Q 모드로 나누는데 보다 많은 데이터 전송이 가능한 Q 모드의 경우 전송률을 최대 2 Mbps까지 증가시킬 수 있다. 그래서 AT-DMB는 더 많은 채널 서비스를 제공하거나, SD(standard definition)급 화질과 5.1 채널 음향의 고품질 비디오 서비스를 제공할 수 있다. 특히 2 Mbps의 데이터를 H.264 압축 방식으로 하나의 채널에 할당하면 VGA급(720 * 480 픽셀)의 화질로서 24 인치 이상의 디스플레이에서도 아날로그 지상파 TV 이상

의 선명한 화질을 제공할 수 있는 장점이 있다.

AT-DMB시스템에서 새로 추가되는 향상 계층 신호는 기존의 T-DMB 수신기에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 크기가 작아야 하기 때문에 전송 채널에서 발생하는 잡음 및 페이딩에 영향을 받기 쉽다. 이런 점을 고려하여 향상 계층에는 T-DMB에 적용되는 길쌈(convolutional) 부호에 비해 오류정정 능력이 우수한 터보(turbo) 채널부호를 적용하고 있다^[3]. 이러한 터보 채널 부호의 채용에도 불구하고 AT-DMB의 Q 모드 경우는 수신기에서 향상 계층의 신호를 안정적으로 수신하려면 기본 계층의 수신 신호 레벨보다 약 5-6 dB 정도 높아야 한다.

본 논문에서는 AT-DMB 시스템의 향상 계층 신호의 수신률을 대폭적으로 개선하기 위한 방법의 하나로 최근 4세대 이동통신에 적용을 위해 시도되고 있는 MIMO (multi input multi output) 안테나 시스템과 스마트 안테나 시스템을 통한 높은 효율의 고이득 안테나 시스템을 AT-DMB 시스템에 적용 시키는 방안을 강구하였다. DMB 방송 특성상 송신 안테나는 하나 밖에 사용할 수 없기 때문에 수신 안테나를 다소자 안테나로 사용하는 스마트 안테나 시스템을 선정하여 이에 고유 공간 빔형성 수신 알고리즘을 적용하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능 개선 효과를 알아 보았다. 2장에서는 AT-DMB 시스템의 설계개념과 계층변조에 대해 소개한다. 3장은 적용한 고유공간 빔형성 수신방식의 알고리즘에 대해 설명한다. 4장은 AT-DMB 시스템에 제안 알고리즘을 적용하여 그 효과를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시하고 분석결과를 기술한다. 5장에서는 결론으로서 AT-DMB 시스템의 대한 빔형성 알고리즘의 적용 가능성에 대해 언급한다.

II. AT-DMB 시스템 설계 개념과 계층 변조

기존 T-DMB는 1.06 Mbps 데이터 전송률을 가지면서 QCIF, QVGA, WDF 및 CIF의 4 가지 영상 규격을 지원한다. 그러나 20인치 이상의 대형 화면에서 SD 급의 화질로 서비스 하기 위해, 또 보다 많은 채널의 방송을 내 보냄으로서 다른 이동 휴대 매체와의 경쟁에 보다 유리한 자리를

그림 1. AT-DMB 시스템의 프레임 구조
Fig. 1 Frame structure of AT-DMB systems

점하기 AT-DMB의 개발은 시작되었다. AT-DMB는 T-DMB의 주파수 대역폭 1.536 MHz 내에서 T-DMB와의 호환성을 유지하면서 데이터 전송률을 최대 2 배까지 증가시킬 수 있다.

AT-DMB 시스템의 기본적 개념은 그림 1에서 보는 바와 같다. 기본 계층 신호인 BL(base layer) 신호는 기존의 T-DMB 신호와 동일하다. AT-DMB 시스템은 T-DMB와 동일한 데이터 프레임 구조를 가지며, 1개의 null 심볼, 1개의 PRS(phase reference symbol) 심볼, 3개의 FIC(fast information channel) 심볼과 72개의 MSC(main service channel)로 구성된다^[3]. 이 BL 신호에 항상 계층 신호인 EL(enhancement layer) 신호를 더하여 AT-DMB 신호가 얻어지며, PRS 신호는 DQPSK 변조의 위상기준 및 동기화를 위하여 사용되고 FIC 신호는 비디오 및 오디오 그리고 데이터 방송 서비스의 정보를 알려주는데 사용된다. 실제의 방송 데이터는 MSC 채널에 의해 전송된다. AT-DMB에서 계층 변조는 데이터 구간인 FIC 심볼 및 MSC 심볼에 대해서만 수행되며, T-DMB 신호의 매 프레임의 시작을 나타내는 영(null) 심볼과 바로 다음에 나오는 PRS 심볼에 대해서는 수행되지 않는다.

BL 신호의 성상도는 그림 2와 같이 기존 T-DMB의 성상도와 동일하다. 그림 2는 T-DMB의 기수차 및 우수차 심볼의 성상도를 나타낸다. 이것은 $\pi/4$ -DQPSK로서 일반적인 DQPSK와 비슷하나 위상변화가 $\pm 45^\circ$ 및 $\pm 135^\circ$ 의 크기를 가지기 때문에 진폭의 영점 교차가 발생하지 않는 장점이 있다. 현재 개발되고 있는 AT-DMB에 있어 계층 변조 방식은 두 가지가 선택되었다. EL 신호에 BPSK 신호를 적용하

그림 2. T-DMB의 성상도
Fig. 2 T-DMB constellations

는 $\pi/4$ -DQPSK/BPSK 방식(B 모드)과 EL 신호에 QPSK를 적용하는 $\pi/4$ -DQPSK/QPSK 방식(Q 모드)이 있다. B 모드의 성상도는 그림 3 (a)와 같다. B 모드는 기본 계층의 BL 신호에 의해 전송되는 1152 Kbps의 데이터 외에 항상 계층의 신호를 통해 576 Kbps(부호율=1/2)의 데이터를 추가로 더 전송할 수 있으며, 이동 수신에 강한 장점을 가진다. 한편 Q 모드의 성상도는 그림-3 (b)와 같다. Q 모드는 항상 계층을 통하여 추가로 1152 Kbps(부호율=1/2)의 데이터 전송률을 얻을 수 있어 B 모드 보다 더 많은 데이터의 전송이

그림 3 AT-DMB 시스템의 (a) B 모드와 (b) Q 모드의 계층변조 성상도
Fig. 3 AT-DMB system constellations (a) B mode and (b) Q mode

가능하지만 이동수신 성능이 떨어지는 단점이 있다.

AT-DMB 신호를 식으로 표현 하면 다음과 같이 나타난다^[3].

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

$$\theta = \begin{cases} \text{if } EL \text{ is QPSK, } \theta = -\frac{\pi}{4} \\ \text{if } EL \text{ is BPSK, } \theta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

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

여기서 $S_{BL}(1,k)$, $y_{BL}(1,k)$ 는 PRS, $y_{BL}(l,k)$ 는 BL의 QPSK 심볼이고, α 는 성상 비이다. l 은 OFDM 심벌 인덱스이고 $l = 1, 2, 3, \dots, L$ 의 값을 가진다. k 는 부반송파 인덱스이고 $k = 1, 2, 3, \dots, N$ 이다. 성상비 $\alpha = \frac{a}{b}$ 로 나타나는데 a 는 성상 군간의 간격이고 b 는 성상간의 간격이다. 식 (1)에서 기본 계층 신호 $S_{BL}(l,k)$ 은 DQPSK 변조를 수행하므로 이전 신호 $S_{BL}(l-1,k)$ 와 현재의 OFDM 심볼 $y_{BL}(l,k)$ 의 복소곱으로 나타난다. 향상계층 신호 $S_{EL}(l,k)$ 는 QPSK 또는 BPSK로 변조가 되며, 기본계층 대비 크기가 성상 비에 의해 $\frac{1}{1+\alpha}$ 만큼 작은 크기를 가진다. 향상계층 신호는 기본 계층신호의 성상에 더해지는데, 현재 기본계층 신호의 위상만큼 향상계층의 위상을 회전하는 과정이 요구된다. 특

히 향상계층 신호에 적용된 변조가 QPSK인 경우에는 기본 계층 신호의 위상 이외에 추가로 $-\frac{\pi}{4}$ 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 $\frac{1}{1+\alpha} S_{EL}(l,k) e^{j(\angle S_{BL} + \theta)}$ 를 더하는 과정으로 이루어진다.

III. 제안한 고유 공간 빔형성 알고리즘을 적용한 AT-DMB 수신 방법

AT-DMB 서비스를 시행하는데 있어 현재의 T-DMB 송신 시스템의 출력을 그대로 유지하거나 계층변조로 인한 기존 T-DMB 수신기에 대한 영향을 감쇄 할 수 있는 최소한의 출력 증강 만으로서 제한한다면, AT-DMB의 경우에 기본계층과 향상계층간에 QEF SNR 차이가 존재하여 수신 가능 방송권역의 크기가 다를 수 있다. 따라서 기본계층과 동일한 향상계층의 방송권역을 얻기 위해서는 향상계층 수신에 높은 효율의 고이득 안테나가 필요하다. 이러한 문제를 개선하기 위한 방법으로는 MIMO 안테나 시스템과 스마트 안테나 시스템 있다. 그러나 DMB 방송에 있어 송신

안테나를 복수 개로 설치하는 것은 현실적으로 실현 가능성이 낮아서 MIMO 시스템은 적용하기 어렵다. 이러한 기본계층과 향상계층 간의 QEF SNR 차이로 인한 수신 문제를 극복하기 위해 고유 공간 빔형성 기법을 적용할 수 있는데, 이 기법은 빔형성 이득과 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 기본계층과 향상계층간에 존재하는 QEF SNR 차이를 극복할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 고유 공간 빔형성 기술이 적용된 AT-DMB 수신 방법을 제안한다. AT-DMB 시스템을 위한 고유 공간 빔형성 알고리즘을 설명하기 앞서, 벡터 채널 모델(model)에 대하여 설명한다.

1. AT-DMB를 위한 벡터 채널 모델

L 개의 안테나 소자를 갖는 빔형성 시스템에서 Q 개의 산란 컴포넌트(scattered component)를 갖는 벡터 채널은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$h = \frac{1}{\sqrt{Q}} \sum_{q=1}^Q \alpha_q e^{-j\pi d \sin(\theta + \Delta\theta_q)}, \quad (2)$$

여기서 α_q 와 $\Delta\theta_q$ 는 각각 복소 채널 이득과 q 번째 산란 컴포넌트의 산란각을 나타내며, θ 는 산란 컴포넌트의 평균적인 입사각(angle of arrival, AOA)과 d 는 수신 신호의 파장(wave length)으로 정규화된(normalized) 안테나 소자 간 간격이다^[6].

Karhunen-Loève transformation(KLT)^[7]를 사용하여 (2)식을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$h = \sum_{l=1}^L \beta_l e_l, \quad (3)$$

여기서, e_l 은 벡터 채널 공간의 l 번째 베이스이고, e_l 에 해당하는 β_l 은 복소 채널 계수로 영 평균 가우시안 분포(zero-mean Gaussian distribution)를 갖는다.

수신기에서 완벽한 시간 동기를 가정하면, 주파수 도메인(frequency domain)에서의 수신 데이터 신호 벡터는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y_k = s_k H_k + N_k, \quad (4)$$

여기서, 아래첨자 k 는 주파수 인덱스이며, s_k 는 송신 데이터 신호를 나타낸다. 또, N_k 는 N_0 의 분산을 갖는 가산 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise, AWGN)을 나타낸다.

수신 데이터 신호의 자기 상관 행렬은 다음과 같다^[8].

$$R_k = E[Y_k Y_k^H] = R_{H_k} + N_0 I, \quad (5)$$

여기서, $E[\bullet]$ 는 $\bullet$ 의 평균값을 나타내고, R_{H_k} 는 벡터 채널 H_k 의 자기 상관 행렬을 나타내고 I 는 항등 행렬(identity matrix)를 나타낸다. 식 (3), (4), (5)를 이용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$R_k = \sum_{l=1}^L \beta_l^2 e_{k,l} e_{k,l}^H + N_0 I. \quad (6)$$

2. 고유 공간 빔형성 알고리즘의 적용

고유 공간 빔형성은 수신 신호의 자기상관 행렬에 고유치 분해법(eigen value decomposition)을 적용하여 벡터 채널 공간의 베이스(basis)들을 추정하고, 이 베이스들을 이용하여 다중 차원 빔형성(multi-dimensional beamforming)을 수행함으로써 이루어진다. 이 과정을 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 수신 신호와 빔형성 웨이트 벡터들에 의한 선형 결합기 출력을 라하면, 각 웨이트 벡터에 의한 출력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_l = w_l^H Y_k = s_k w_l^H H_k + w_l^H N_k \quad (7)$$

여기서 w_l^H 는 l 번째 웨이트 벡터이며, 위 첨자 H 는 허미션(Hermitian) 연산을 나타낸다. 따라서, 선형 결합기 출력의 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio; SNR)는 다음과 같다.

$$r = \frac{\sum_{l=1}^L |s_k w_l^H H_k|}{\sum_{l=1}^L |w_l^H N_k|} = \frac{\sum_{l=1}^L w_l^H R_{H_k} w_l}{N_0} \quad (8)$$

그림 4. 고유 공간 빔형성 알고리즘을 적용한 AT-DMB 시스템 수신기 구조

Fig. 4 Receiver structure of AT-DMB systems which are adopted eigen-space beamforming algorithm

식 (7)로부터 고유 공간 빔형성 웨이트 벡터는 채널의 자기상관 행렬의 고유치 분해로부터 얻어질 수 있음을 알 수 있다. 하지만, 실제 시스템에서는 채널의 자기상관 행렬을 구할 수 없기 때문에, 식 (5)와 같이 수신 데이터로부터 자기상관 행렬을 추정하여야 한다^[9].

그림 4는 고유 공간 빔형성 알고리즘을 적용한 AT-DMB 시스템의 수신기 구조를 나타낸다. 배열 안테나로부터 수신된 신호 y 는 푸리에 변환 (Fourier transform)되어 식 (4)와 같이 된다. 식 (5)와 같이 구한 자기상관 행렬을 고유치 분해하여 얻은 웨이트 벡터를 수신 신호 Y 와 선형 결합하면 식 (7)과 같은 결합기 출력 z 을 얻을 수 있다. BL 데이터 복조는 결합기 출력 z 를 직접 사용하여 수행되지만, EL 데이터 복조는 위상동기 복조이므로 채널 추정 및 보상 후 수행된다. 채널 추정은 각 안테나 별로 판정의거 (decision direct) 방식^[10]을 이용한다. 추정된 채널은 식 (3)과 같이 웨이트 벡터와 선형 결합되어 고유공간 채널 계수인 각 eigen-branch의 복소 채널 이득 β_i 로 변환된다. 이렇게 변환된 복소 채널 이득 β_i 는 결합기 출력 z 의 채널 보상에 사용된다. 채널 보상된 신호 r 은 EL 데이터 복조를 위해 사용

된다. 마지막으로 BL과 EL 데이터 복조를 위한 결정변수들에 위상 비동기 선형 결합을 수행하여 독립적인 고유공간 채널의 복소 채널 이득 β_i 를 통한 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

이 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 고유 공간 빔형성 알고리즘이 적용된 AT-DMB 시스템의 성능을 실내, 실외환경에서 다양한 각 퍼짐에 따라 분석한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 식 (2)와 (4)에 따른 수신 신호와 그림 4와 같은 AT-DMB 수신기를 가정하였으며, 언코디드 비트 에러율(uncoded bit error rate)을 성능 평가 기준으로 사용하였다. 사용된 수신 안테나는 4개의 안테나가 각각 중심 주파수 파장의 1/2 만큼 떨어진 선형배열 안테나를 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 10^6 심볼을 이용하여 수행되었으며, Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터는 표 1에 나타나 있다.

표 1. 컴퓨터 시뮬레이션 파라미터

Table 1. computer simulation parameters

중심 주파수	200MHz
프레임 길이	76 OFDM 심볼+Null 심볼(2656 샘플구간)
심볼 길이	1ms
Cyclic prefix	504 샘플
FFT 사이즈	2048
변조 방식	DQPSK (BL) + BPSK 혹은 QPSK (EL)
계층 변조 성상비	2.5

그림 5와 그림 6은 각각 실내 환경에서 B 모드 즉, DQPSK와 BPSK로 계층 변조된 AT-DMB 시스템의 BL과 EL을 복조한 시뮬레이션 결과이며, 그림 7과 그림 8은 Q 모드 즉, DQPSK와 QPSK로 계층 변조된 AT-DMB 시스템의 BL과 EL을 복조한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과에 나타나 있는 것과 같이, 두 모드 동일하게 BL과 EL 모두 각 퍼짐이 존재하지 않는 환경에서는 제안된 시스템이 배열 안테나에 의한 SNR 이득만을 얻다가 각 퍼짐이 커질수록 다이버시티 이득을 얻는다. 이 다이버시티 이득은 앞에서 언급한 바와 같이, 제안된 알고리즘이 각 퍼짐에 의해 신호 공간으로 분산되어 독립적인 페이딩 채널을 겪은 신호를 결합하면서 얻는 이득이다. 반면에 기존의 단일 안테나 수신기의 경우 각 퍼짐과 무관한 성능을 갖는 것을 알 수 있다.

그림 5. 실내 환경에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 BL 성능
Fig. 5. Performance of BL of B mode AT-DMB systems in indoor environment

또한, 그림 5를 통해 언코딩 비트 에러율 10^{-3} 을 기준으로 제안된 시스템의 기존 단일 안테나 수신기 대비 성능 향상은 각 퍼짐 0, 5, 15, 30도인 환경에서 각각 6dB, 12dB, 16dB, 17dB로 나타나 각 퍼짐이 커질수록 다이버시티 이득도 커지지만 30도 정도가 되면 포화되어 더 이상의 각 퍼짐이 있더라도 그 성능 향상 정도는 작다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 그림 6, 그림 7 및 그림 8에서도 성능 향상 정도의 차이만 존재할 뿐 동일한 추세를 나타내고 있다.

그림 6. 실내 환경에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 EL 성능
Fig. 6. Performance of EL of B mode AT-DMB systems in indoor environment

그림 7. 실내 환경에서 Q 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 BL 성능
Fig. 7. Performance of BL of Q mode AT-DMB systems in indoor environment

그림 8. 실내 환경에서 Q 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 EL 성능
Fig. 8 Performance of EL of Q mode AT-DMB systems in indoor environment

그림 9에서부터 그림 12는 각각 실외 이동 환경에서 B 모드로 계층 변조된 AT-DMB 시스템의 BL과 EL을 복조한 시뮬레이션 결과이다. 그림 9와 그림 10은 60Km/h로 수신기가 이동하는 환경이며, 그림 11과 그림 12는 120Km/h로 이동하는 환경이다. 이전의 결과와 마찬가지로, BL과 EL 모두에 대하여 제안된 시스템은 각 퍼짐에 따라 SNR 이득과 다이버시티 이득을 얻는다는 것을 알 수 있다. 또한 기존의 단일 안테나 수신기는 여전히 각 퍼짐과 무관한 성능을 갖는 것을 알 수 있다. 다만, 실내 환경과 구분되는 점은 실외 이동환경에서 채널 추정을 하지 않는 기본계층 BL의 성능 저하이다. 이는 판정 의거 (decision direct) 방식을 통한 채널 추정을 통해 복조 되는 EL의 성능에 직접적인 영향을 주는 것도 확인 할 수 있다. 또한 그림 9와 그림 11, 그림 10과 그림 12의 비교를 통해 이동 속도의 증가가 시스템의 성능을 저하시킴을 확인할 수 있다. 그러나 제안된 시스템의 경우 각 퍼짐을 통한 다이버시티 이득을 얻어 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 기준에서의 성능 저하 정도가 기존 단일 안테나 수신기에 비해 현저히 낮다는 것을 확인할 수 있다. 그림 5-12까지의 결과를 살펴보면 단일 안테나 (SISO) BL의 동작 영역이 되는 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 영역에서 고유 공간 빔형성 알고리즘을 적용한 스마트 안테나는 BL/EL의 수신 SNR이 다소 높거나 비슷하다.

따라서 다중 안테나를 사용할 수 있는 이동체의 단말기기는 BL 및 EL 신호를 모두 수신하여 대형 디스플레이에 SD 급의 서비스를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 실제 AT-DMB의 수신기에서는 BL 신호는 길쌈 부호 복호를 위한 비터비 (Viterbi) 복호기를 거치고, EL 신호는 길쌈 부호 보다 더욱 강력한 에리 정정 능력을 가지는 터보 부호 복호기를 거치므로 BER은 이보다 더 낮아지게 된다.

그림 9. 이동 환경(60km/h)에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 BL 성능
Fig. 9. Performance of BL of B mode AT-DMB systems in mobile environment (v=60km/h)

그림 10. 이동 환경(60km/h)에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 EL 성능
Fig. 10. Performance of EL of B mode AT-DMB systems in mobile environment (v=60km/h)

그림 11. 고속 이동 환경(120km/h)에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 BL 성능

Fig. 11. Performance of BL of B mode AT-DMB systems in mobile environment ($v=120\text{km/h}$)

그림 12. 고속 이동 환경(120km/h)에서 B 모드를 적용한 AT-DMB 시스템의 EL 성능

Fig. 12. Performance of EL of B mode AT-DMB systems in mobile environment ($v=120\text{km/h}$)

이동 휴대 방송에서 방송권역은 기지국의 송신 출력과 비례한다. 따라서, 기존 DMB 시스템의 방송 권역의 변경 없이 제안된 고유 공간 빔형성 수신 시스템을 적용한 AT-DMB 시스템을 운영하기 위해서는 단일 안테나를 가진 기존 DMB 수신기의 최소 요구 SNR보다 낮은 SNR 환경에서 제안된 고유 공간 빔형성 수신기가 AT-DMB 신호의 EL 신호까지 복조 할 수 있어야 한다. 이에 따라 SISO

(single input single output) 채널을 통한 BL의 수신 성능과 제안된 알고리즘을 적용한 EL 수신 성능의 비교를 통해 제안된 고유 공간 빔형성 수신기를 적용한 AT-DMB 시스템의 실현 가능성을 검토해본다. 그림 13과 14는 각각 60km/h와 120km/h의 이동환경에서 SISO BL 수신 성능과 SIMO (single input multi output) EL 수신 성능을 비교한 것이다. 그림 13을 통해 60 km/h의 이동 속도의 경우 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 기준으로 각 퍼짐이 5° 이상 일 때 EL 신호를 고유 공간 빔형성 알고리즘을 통해 수신하는 성능이 BL 신호를 단일 안테나로 수신 하는 것 보다 더 우수함을 알 수 있다. 또한 그림 14를 통해 120 km/h의 이동 환경의 경우 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 기준으로 단일 안테나로는 BL 신호도 수신하기 어려우나 고유 공간 빔형성 알고리즘을 통해서도 각 퍼짐이 15° 이상 이 되면 EL 신호를 안정적으로 수신 할 수 있음을 알 수 있다. 표 2는 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 기준에서 SISO BL과 SIMO EL의 요구 SNR을 정리한 것이다. 일반적인 이동 통신 환경의 각 퍼짐이 $10^\circ \sim 30^\circ$ 임을 감안한다면^[6], 본 논문에서 제안하는 고유 공간 빔형성 수신기를 이용한 AT-DMB 시스템은 기존 DMB 시스템의 방송 권역 재설계 없이 운영 가능하다고 결론 지을 수 있다.

그림 13. 이동 환경(60km/h)에서 SIMO 안테나 EL과 단일 안테나 BL의 성능 비교

Fig. 13. Performance comparison between SIMO EL and SISO BL in mobile environment ($v=60\text{km/h}$)

그림 14. 고속 이동 환경(120km/h)에서 SIMO 안테나 EL과 단일 안테나 BL의 성능 비교

Fig. 14. Performance comparison between SIMO EL and SISO BL in mobile environment ($v=120\text{km/h}$)

표 2. 이동 환경에 따른 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 만족하기 위한 요구 SNR (dB)

Table 2. Required SNR(dB) for satisfying uncoded bit error 10^{-3} in mobile environments

이동환경	SISO, BL	SIMO, EL			
	All AS	AS=0°	AS=5°	AS=15°	AS=30°
60Km/h	42	-	22.4	15.3	14.7
120Km/h	-	-	-	20.8	17.1

V. 결 론

본 논문에서는 계층변조 된 AT-DMB의 신호를 안정적으로 수신하기 위해서 빔형성 이득과 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있는 고유 공간 빔형성 알고리즘을 적용한 AT-DMB 수신 방법에 대하여 기술 하였다. AT-DMB시스템에 추가되는 항상 계층 신호는 기존의 T-DMB 수신기에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 크기를 작게 하기 때문에 전송 채널에서 발생하는 잡음과 페이딩에 영향을 받기 쉽다. 이를 해결하기 위해서 4개의 안테나 소자를 가지는 스마트 안테나를 사용하여 빔형성 알고리즘을 적용하여 수신 성능 개선을 시도하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여

실내 및 60 km/h 와 120km/h의 이동 환경 상황에서 B 모드 즉, DQPSK와 BPSK로 계층 변조된 AT-DMB 시스템의 BL과 EL 계층 복조의 결과를 살펴 보았는데 각 퍼짐이 존재하지 않는 환경에서는 제안된 시스템이 배열 안테나에 의한 SNR 이득만을 얻다가 각 퍼짐이 커질수록 다이버시티 이득을 얻는다는 것을 알 수 있었다. 언코디드 비트 에러율 10^{-3} 을 기준으로 기존 단일 안테나 수신기 대비 제안된 시스템의 성능 향상은 각 퍼짐 0, 5, 15, 30도인 환경에서 각각 6 dB, 12 dB, 16 dB, 17 dB로 나타나 각 퍼짐이 커질수록 다이버시티 이득도 커졌다. 이러한 현상은 Q 모드 즉, DQPSK와 QPSK로 계층 변조된 경우에도 거의 같은 결과를 얻었다. DMB 방송에 사용하는 중심 주파수는 200 MHz 근처 이므로 4 소자로 구성된 안테나의 크기는 대략 3 m 정도가 되기 때문에 버스, 열차 및 선박에서의 설치에는 별다른 어려움이 없을 것이다. 따라서 제한한 고유공간 빔 형성 알고리즘을 적용한 AT-DMB 수신 방법은 충분한 공간이 확보 가능한 버스, 열차 및 선박에 적용 가능하고, 특히 20 인치 이상의 디스플레이에 적용 가능한 SD(standard definition)급 TV 서비스에 적용성이 높을 것으로 기대된다. 이렇게 되면 휴대전화에 내장된 DMB 수신기와 같은 포터블 단말 기기는 BL 신호만을 수신하여 소형 디스플레이에 서비스를 제공하고 다중 안테나를 사용할 수 있는 이동체의 단말기기는 BL 및 EL 신호를 모두 수신하여 대형 디스플레이에 SD급의 서비스를 제공할 수 있어 보다 다양한 기기에 대해 보다 나은 화질 또는 더 많은 채널의 보다 향상된 DMB 서비스가 가능해 질 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 이상진, 이상운, 양규태, 임종수 "AT-DMB 시스템을 위한 계층 변조 방식의 성능 분석" 방송공학회 논문지 제 14권 제 4호 pp. 509-517, 2009년 8월.
- [2] 한국정보통신기술협회, TTAK.KO-07.0070, 고전송률 지상파 디지털멀티미디어 방송(AT-DMB) 송수신 정합, 2009. 6.
- [3] 이재홍, 배재휘, 최승원 "계층변조 기반 AT-DMB의 성능비에 따른 LAB 테스트 결과 분석" 방송공학회 논문지 제 14권 제 6호 pp. 721-732, 2009년 11월.
- [4] 현승현, 최승원 "적응형 배열 안테나를 위한 감소 차수 고유 공간 빔형성 알고리즘" 통신학회 논문지 Vol. 33, No. 3 pp. 336-341, 2008년 4월.

- [5] Ji-Hyun Kim, Ji-Bong Lee, Hyoung-Nam Kim, Hyoungsoo Lim, Jong Soo Lim "Coherent Detection for T-DMB Receivers in Hierarchical Modulation Mode," IEEE Trans. on Consumer Electronics Vol.53, no.2, pp.294- 299, May 2007.
- [6] J. Choi and S. Choi, "Diversity Gain for CDMA Systems Equipped With Antenna Array," IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 52, No. 3, pp. 723-725, May 2003.
- [7] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 3rd ed., Prentice Hall, 1996.
- [8] F. A. Dietrich and W. Utshick, "Maximum Ratio Combining of Correlated Rayleigh Fading Channels With Imperfect Channel Knowledge," IEEE Communications Letter, vol. 7, No. 9, pp. 419-421, Sep. 2003.
- [9] S. Choi and D. Shim, "A Novel Adaptive Beamforming Algorithm for a Smart Antenna System in a CDMA Mobile Communication Environment," IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 49, No. 5, pp. 1793-1806, Sep. 2000.
- [10] S. Kim, Y. Kim, J. Lim, C. Ahn, U. Choi, and B. Soe, "Design of the Channel Estimation Algorithm for Advanced Terrestrial DMB System," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 54, no. 4, pp. 816-820, Dec. 2008.

저 자 소 개

이 재 홍

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

최 승 원

- 1980년 3월 : 한양대학교 공과대학 졸업
- 1982년 3월 : 서울대학교 공과대학 석사
- 1988년 12월 : 미국 Syracuse대 공과대학 박사
- 1992년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 교수
- 2004년 11월 ~ 현재 : SDR Forum 부회장
- 주관심분야 : Software Defined Radio, 스마트 안테나 시스템