

# T-DMB 동일 채널 중계기의 주파수 영역에서 ICI를 고려한 적응형 채널 추정과 결정지향 잡음 제거

## Adaptive Channel Estimation and Decision Directed Noise Cancellation in the Frequency Domain Considering ICI of Digital on Channel Repeater in the T-DMB

김기영 · 유상범\* · 유흥균\*\*

Gi-Young Kim · Sang-Burm Ryu\* · Heung-Gyoon Ryu\*\*

### 요약

최근 OFDM 시스템의 T-DMB 동일 채널 중계기에서 궤환 신호를 제거하여 송신 출력을 증강시키고, 등화기를 사용하여 ICI(Inter Carrier Interference)를 제거함으로써 시스템 성능을 개선하기 위하여 노력하였다. 그러나 T-DMB 동일 채널 중계기의 경우, 정상도 번짐 현상으로 수신 단말기에서 완벽하게 신호 품질이 개선되지 않고 있다. 그러므로 본 논문에서는 정상도 번짐 현상을 억압하기 위하여 파일럿(PRS)을 이용하여 주파수 영역에서의 ICI를 고려한 적응형 채널 추정과 결정지향 잡음 제거 기법을 제안함으로써 단말기에서 수신 품질을 확보한다. T-DMB 단말기에서 요구되는 QoS(Quality of Service)를 확보하기 위하여 동일 채널 중계기에서 SNR과 BER을 평가하고, 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 back-off=9 dB 상태에서 위상 잡음 -18 dBc의 경우, 위상 잡음을 보상하여 수신기에서 SNR=14 dB 이하에서 BER=10<sup>-5</sup>의 성능을 만족할 수 있다.

### Abstract

Recently, many papers have been proposed in order to improve the OFDM system performance in T-DMB DOCR (Digital On Channel Repeater), by using removing the feedback signal so that the transmitter power can be increased or by using the equalizer to remove ICI. Despite these efforts, however, signal quality at the receiving terminal has not been improved because of constellation smearing in T-DMB DOCR. In this paper, in order to suppress constellation smearing, we propose an effective equalizer algorithm that can improve system performance. We perform adaptive channel estimation and non-coherent decision directed noise cancellation method that can estimate the channel subsequently during data symbols period in the frequency domain. So we can obtain better quality of the signal at the receiving terminal. In order to secure QoS(Quality of Service) required in T-DMB handsets, we evaluate SNR and BER in T-DMB DOCR(Digital On Channel Repeater) and verified by simulation. In this simulation results, this system is satisfied the performance of BER=10<sup>-5</sup> at less than SNR=14 dB at the receiver after compensation of phase noise -18 dBc.

Key words : T-DMB, Digital On Channel Repeater(DOCR), Feedback, ICI(Inter Carrier Interference), Effective Equalizer, Phase Noise, Decision Directed, Noise Cancellation

방송통신위원회 대전전파관리소 전파업무과(Radio-Wave Monitoring Part, Daejeon Radio Management Office, Korea Communications Commission)

\*한국항공우주연구원(Satellite Electronics Dept., Satellite Technology Division, Korea Aerospace Research Institute)

\*\*충북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

· Manuscript received July 29, 2011 ; Revised January 13, 2012 ; Accepted January 18, 2012. (ID No. 20110729-080)

· Corresponding Author : Heung-Gyoon Ryu (e-mail : ecomm@cbu.ac.kr), Sang-Burm Ryu (e-mail : uglypean@hotmail.com)

## I. 서론

최근 지상파 디지털방송의 서비스 권역 확대와 난시청을 해소하기 위해 동일 채널 중계기에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. T-DMB 중계기는 동일 채널을 사용하여 모국에서 온 수신 신호를 증폭하여 송신한다. 일반적으로 중계기는 재변조 방식과 IF 중계 방식이 주로 쓰이고 있으나, 최근에는 중계기의 지연 시간을 줄이기 위하여 IF 중계 방식에 FEC(Forward Error Correction)를 제외하고 un-coded 신호까지만 수신하여 재송신하는 방식이 사용되고 있다. 또한, 중계기에서 양질의 신호 품질을 확보하기 위하여 동일 채널 중계기에서의 케환 신호를 제거하고 등화기를 사용하는 방식이 개발되어 사용되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 중계기의 특성상 수신부에서 SNR(Signal-to-Noise Ratio)과 BER(Bit Error Rate)이 좋아야 한다. 그러나 좋은 품질을 확보하더라도 성상도에서의 번짐 현상은 제거되지 않는다. 즉,  $\pi/4$ DQ-PSK의 경우, BER이 확보되더라도 단말기에서의 수신 품질은 나빠질 수 있기 때문에 기존<sup>[3]</sup> 방식에서 ICI(Inter Carrier Interference)를 제거함으로써 성능을 개선하고자 하였다. 그러나 수신 단말기에서 완벽하게 수신 품질이 개선되지 않는다. 그러므로 본 논문에서는 성상도 상에서 번짐 현상을 억압하기 위하여 파일럿(PRS: Phase Reference Symbol)을 이용하여 주파수 영역에서의 ICI를 고려한 적응형 채널 추정과 결정지향 잡음 제거 기법을 제안하여 수신 단말기의 품질을 확보한다. T-DMB 단말기에서 요구되는 QoS(Quality of Service)를 확보하기 위하여 동일 채널 중계기에서 SNR과 BER을 평가하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 기존 연구 결과와의 다른 점은 참고문헌 [3]의 방법은 LMS를 통과한 후에 적응적으로 채널을 추정하지 않으므로 LMS 과정을 거친 후에 신호 변동은 알고 있다고 가정하였다. 본 논문에서는 LMS를 거친 후에 채널 추정 값의 평균값을 사용하여 기준 값으로 활용하고 채널의 ICI를 제거하였다. 또한, 채널을 제거한 후에도 위상 잡음의 영향은 계속 존재하므로 기존 방법<sup>[4]</sup>을 사용하여 제거한다. 또한, 참고문헌 [3]의 연구 결과는 중계기에서의 성능만 검토하였으나, 앞서 언급한 바와 같이 신호의 번짐 현상을 제거함으로써 단말기에서의 BER 성능

을 개선할 필요가 있다. 그러므로 위상 잡음과 채널에 의한 영향이 보상된 신호의 성상도 번짐 현상을 없애기 위하여 결정 지향 방식으로 잡음을 제거하여 단말기에서의 수신 품질을 확보한다.

본 논문의 구성은 제2장에서 동일 채널 중계기의 전반적인 구조와 ICI의 영향을 언급하며, 3장에서는 OFDM 시스템의 RF 불균형이 중계기에 미치는 영향과 다중 경로 채널에서 채널 추정 과정의 ICI 억압에 대해 살펴본다. 4장에서는 파일럿(PRS)이 없는 데이터 심볼 구간에서 non-coherent 결정 지향 방법을 이용하여 잡음을 제거함으로써 높은 신호대 잡음비를 확보하여 시스템 성능이 크게 개선됨을 제안한다. 5장에서는 제안하는 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한 후 6장에서는 결론을 맺는다.

## II. 동일 채널 중계기의 구조와 ICI의 영향

### 2-1 케환 신호 제거용 중계기의 동작 및 구조

본 논문에서는 기존 IF 중계 방식에 케환 신호 제거 기술과 적응형 ICI 및 노이즈 제거기법을 추가해서 RF의 출력 신호가 입력 신호로 케환되는 신호를 제거함으로써 발진 현상을 막고 원하는 신호를 보낼 수 있다.

그림 1의 T-DMB DOCR(Digital On Channel Repeater) 시스템에서는 수신부에서 모국 수신 신호  $s(n)$ 과 케환되는 신호  $f(n)$ 이 들어오게 된다. DOCR은 RF 신호를 수신하여 Down converter를 통하여 IF 신호를 만든다. 그리고 IF 신호는 디지털 프로세싱을 하기 위하여 기저대역으로 변환된다. 즉, ADC를 이용하여 고속으로 디지털 신호  $d(n)$ 로 변환된다.

이 변환된 디지털 신호는 케환 간섭 신호와 ICI

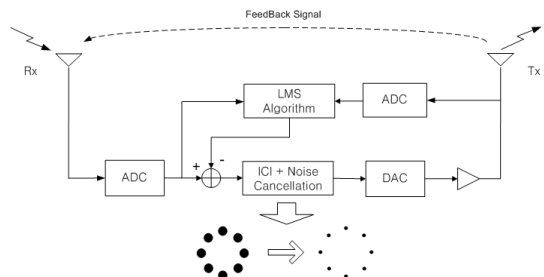


그림 1. T-DMB 동일 채널 중계기 구조  
Fig. 1. Structure of T-DMB DOCR.

제거 과정을 거친다. 그리고 출력된 디지털 신호는 송신하기 위해 DAC를 거쳐 IF 신호로 변환되고, Up converter를 통해 주파수 상향 변환되어 송출된다.

### 2-2 동일 채널 중계기의 ICI 영향

OFDM 시스템에서 PAPR 및 ICI 문제는 매우 중요한 이슈이며, 많은 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 위상 잡음으로 인한 ICI 성분을 제거하기 위한 대부분의 연구들은 파일럿 심볼을 이용하여 추정하고 보상하는 방식을 제안하고 있다. OFDM 동일 채널중계기의 경우, 시스템 내부에서 RF 불균형에 의해 그룹 딜레이와 신호대 잡음비(SNR)가 열화되는 단점이 있다. 그 원인을 보면 위상 잡음과 HPA(High Power Amplifier)의 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)이 있다<sup>[4],[5]</sup>. 먼저 위상 잡음 및 높은 PAPR에 의한 비선형 왜곡(Nonlinear distortion)이 OFDM 동일 채널 중계기에 미치는 영향에 대해 살펴보자.

첫째, OFDM 통신 시스템에서 위상 잡음은 송수신기에서 up-down conversion을 위해 사용되는 국부 발진기로 인해 발생하고, 이는 시스템 전체에 영향을 끼치게 된다. 이상적인 OFDM 신호가 잡음성 국부 발진기와 곱해진 후에는 모든 OFDM 부반송파에서 왜곡 현상이 나타난다. 국부 발진기의 영향을 받은 하나의 OFDM 신호는 자신의 신호에 영향을 주는 성분과 인접 부반송파 신호에 영향을 주는 성분을 가지게 된다<sup>[6]-[10]</sup>. 전자의 경우는 일반적으로 공통 위상 에러(Common Phase Error: CPE)로 신호의 constellation을 회전시키는 작용을 하며, 후자의 경우는 일반적으로 인접 부반송파간 간섭(Inter Carrier Interference: ICI) 성분으로 OFDM 신호의 직교성을 저해하게 된다<sup>[11],[12]</sup>.

그림 2는 T-DMB 동일 채널 중계기에서 RF 불균형의 영향을 표현한 것이며, 중계기의 수신 입력에서 RF 불균형과 다중 경로 채널이 고려된 신호는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(n) = \left\{ \begin{array}{l} [x(n) \otimes h(n) + v(n)] \\ + \beta \cdot [(z \cdot x_F(n-d)) \cdot e^{j\Phi_{rx}(n)}] \\ + i_F(n-d) + v_F(n) \end{array} \right\} \cdot e^{j\Phi_{rx}(n)} \quad (1)$$

여기서  $x(n)$ 는 모국 수신 신호,  $x_F(n)$ 는 케환 신호,

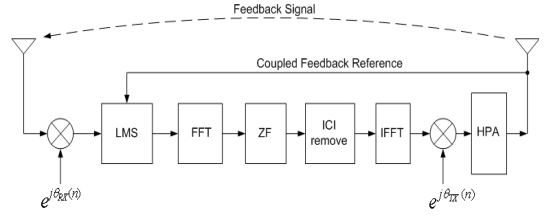


그림 2. T-DMB 동일 채널 중계기에서 RF 불균형의 영향

Fig. 2. Effect of RF impairment in the T-DMB DOCR.

$\beta$ 는 케환 신호의 크기,  $d$ 는 케환 지연 시간,  $z$ 는 비선형 왜곡에 의한 감쇄 상수이며,  $\Phi_{(n)}$ 는 시변 위상 잡음,  $v(n)$ 는 AWGN,  $i(n)$ 는 clip noise 항이다. 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$p(n) = (Rx + \beta \cdot Fx) \cdot e^{j\Phi_{rx}(n)} \quad (2)$$

여기서,  $Rx = x(n) \otimes h(n) + v(n)$ 는 모국에서 온 수신 신호이며,  $Fx = (z \cdot x_F(n-d)) \cdot e^{j\Phi_{rx}(n)} + i_F(n-d) + v_F(n)$ 는 중계기 케환 신호이다.

### III. 다중 경로 채널에서 적응형 ICI 제거 기법

그림 3은 RF 불균형을 고려한 동일 채널 중계기의 ICI 제거 기법을 나타낸다. 그림과 같이 위상 잡음과 비선형 증폭기의 왜곡을 고려한다. 채널은 다중 경로 채널과 AWGN의 영향을 받는다. 또한, 모국 보다는 중계에서의 영향만을 고려하였다.

LMS(Least Mean Square)에 의하여 케환 신호와 시간 지연이 제거된 신호는  $y(n) = p(n) - w(n) \cdot Fr(n)$ 이다. 여기서  $w(n)$ 는 LMS를 수행한 후의 갱신된 필터계수 추정 값이며,  $Fr(n)$ 은 케환 기준 신호이다. LMS 알고리즘은 케환 기준 신호를 사용하여 에코 성분만을 제거하고, HPA에 의한 비선형 에러와 위상 잡음에 의한 영향은 제거되지 않았으며

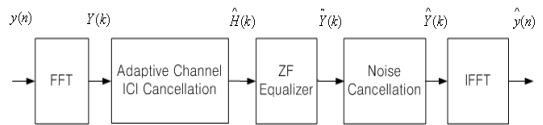


그림 3. RF 불균형을 고려한 동일 채널 중계기의 ICI 제거 기법

Fig. 3. ICI cancellation method of DOCR considering RF impairment.

로  $y(n)$ 은 식 (3)과 같이 가정한다.  $\alpha$ 는 추정 값을 뺀 후의 신호 크기의 변동 값이며,  $i(n)$ 은 비선형 증폭기에 의한 클립 노이즈 성분의 합산이며, 감쇄 정도는  $\alpha$ 에 비하여 매우 작다. 또한, LMS를 통과한 후 위상 잡음에 의한 영향은  $\Phi_X$ 로 표현한다.

$$y(n) = \alpha \cdot [x(n) \otimes h(n) + v(n) + i(n)] \cdot e^{j\Phi_X(n)} \quad (3)$$

순환 지연을 제거하고, FFT 처리를 통해 복원된  $k$  번째 부반송파에서 복조된 신호는 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_k &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y[n] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \{ \alpha \cdot [x(n) \otimes h(n) + v(n) + i(n)] \cdot e^{j\Phi_X(n)} \} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \\ &= \alpha H_k X_k \cdot Q_0 + \sum_{i=0, i \neq k}^{N-1} \alpha H_k X_k \cdot Q_{i-k} + W_k \end{aligned} \quad (4)$$

참고문헌 [13]에 따라 위상 잡음의 영향을 위주로 전개하면 RF 불균형을 가지는 간략화 된 식은 식 (4)와 같다. 여기서 첫 번째항  $Q_0$ 는  $i=k$ 일 때 복조 신호와 CPE 성분이며, 두 번째항  $Q_{i-k}$ 는  $i \neq k$ 일 때 ICI 성분을 나타낸다. 그리고  $W_k$ 는 비선형 에러에 의한 클립 노이즈와 AWGN에 의한 영향의 합산이다.

본 논문에서는 다중 경로 시변 채널 환경에서 케환 신호(echo)가 가산된 경우, 케환 신호를 제거한 후 채널 추정의 정확도를 높이기 위하여 PRS를 이용한 주파수 영역에서 채널 추정과 ICI 제거기법을 사용한다. LMS를 거친 후 출력신호는 비정상적으로 커질 수 있다. 그러므로 식 (5)와 같이 채널의 평균 전력을 구하여 식 (7)에 사용한다<sup>[3]</sup>. 여기서  $\tilde{H}_k$ 는 채널 추정 신호이며,  $\mu$ 는 필터링을 하기 위한 스텝 사이드이다.

$$\eta = \text{mean}(\tilde{H}) \quad (5)$$

$$\hat{H}_k = \mu \tilde{H}_k + (1 - \mu) \hat{H}_{k-1} \quad (6)$$

$$|\tilde{H}_k - \hat{H}_{k-1}| > \mu \cdot \eta, \quad \tilde{H}_k = \hat{H}_{k-1} \quad (7)$$

주파수 영역에서 파일럿 심볼을 사용하여 채널을 추정한 후 평균값과 필터링을 통하여 간섭 신호와 일치 않는 이득 에러를 추정하고 제거한다. 또한, 비

선형 에러의 영향이 있는 상태에서 위상 잡음의 영향을 제거하기 위하여 결정지향 방법을 사용하여 ICI를 제거한다.

#### IV. Non-Coherent 결정지향 잡음 제거

채널이 제거된 신호에는 위상 잡음과 비선형 증폭기에 의하여 발생된 간섭 성분들이 남아 있다. 참고문헌 [3]의 방법에서는 채널에 섞인 ICI 성분을 제거하여 BER 성능을 개선하고, 채널 보상 후에 남은 ICI 성분은 ICI 제거 기법으로 제거하여 SNR을 개선시키지만,  $\pi/4$ DQPSK의 BER 성능은 개선되지 않는다. SNR 개선으로 중계기로부터 수신하는 단말기의 수신 성능은 향상되지만 완벽하지는 않다. 중계기에서는 일정한 수신 품질을 확보하여야 하므로 BER 성능이 개선된 상태에서 성상도 상에서 잡음을 완벽하게 제거하고 송출함으로써 수신 단말기에서 요구되는 수신 품질을 만족할 수 있다. 본 논문에서는 BER 성능을 만족하는 상태에서 잡음을 제거하는 방법을 아래와 같이 제안한다. 기존 방법<sup>[3]</sup>의 경우, 혼련 심볼을 사용하여 결정 케환 방식으로 ICI를 제거하지만 T-DMB에서 혼련 심볼을 사용하기에는 비용이 많이 증가한다. 또한, 혼련 심볼 대신 수신 신호를 결정 지향적으로 사용한다면 수신 신호의 에러 정도에 종속되므로 성능 향상이 크지 않다. 또한, 엔코딩과 디코딩 과정에서 신호의 성능이 향상되므로 이를 이용하는 잡음 제거 기법을 제안한다.

- 1) 채널이 제거된 신호로부터 differential 디코딩 과정을 거치고 판정 후 다시 엔코딩을 수행한다.
- 2) 1)의 과정을 거친 후에 수신 신호로부터 잡음 성분을 추출한다.
- 3) 수신 신호로부터 잡음을 제거한 후 송출한다.

Cyclic Prefix가 제거된 수신 신호는 FFT 후단에서 식 (5)~(7)을 사용하여 채널 추정 후에 아래의 식과 같이 보상하게 된다.

$$\tilde{Y}_k = Y_k / H_k = z \cdot X_k \cdot Q_0 + \sum_{i=0, i \neq k}^{N-1} z \cdot X_i \cdot Q_{i-k} + I_k + N_k \quad (8)$$

위 식의 첫 번째 항은 CPE 성분이고, 두 번째 항은 ICI 성분이며,  $I_k$ 는 비선형 왜곡 성분이고,  $N_k$ 는

AWGN 잡음이다. 여기서  $X^*$ 는  $X$ 의 conjugation,  $X_D$ 는  $X$ 의 decision 값이다.

$$\tilde{Q}_k = \tilde{Y}_k / X_D^* \approx z \cdot Q_0 + \sum_{i=0, i \neq k}^{N-1} z \cdot Q_{i-k} + I_k + N_k \quad (9)$$

$$\hat{Y}_k = \tilde{Y}_k / \tilde{Q}_k^* \approx X_k \quad (10)$$

채널이 보상된  $\hat{Y}_k$ 는 정상도 상에서 번짐 현상이 없어지게 되지만, BER 성능이 개선되는 것은 아니다. 그러나 중계기 내부에서 발생한 RF 불균형 성분과 AWGN 잡음이 제거되기 때문에, 그림 1에서와 같이 정상도의 신호 품질은 향상된다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 분석

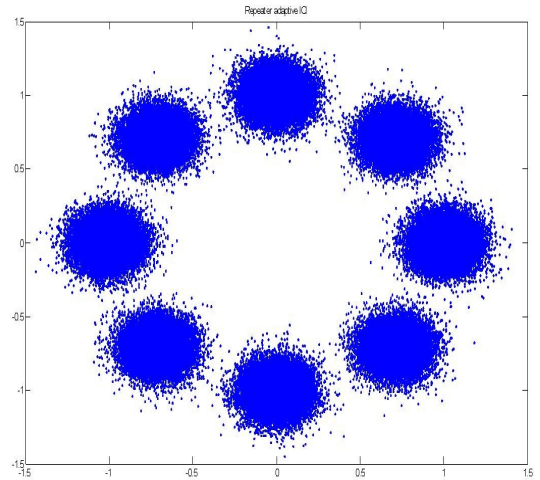
T-DMB 동일 채널 중계기에서 위상 잡음의 영향을 효과적으로 제거하기 위해 제안된 알고리즘에 대해 시뮬레이션을 실시하였다. 성능 평가를 위해 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

T-DMB 전송 프레임 구조를 고려하였으며, 채널 추정을 위한 스텝 사이즈  $\mu$ 는 0.4를 사용하였다. 본 논문에서는 채널 프로파일 모델로 ITU-R Pedestrian A를 적용하고, 퀘환 신호가 모국 수신 신호보다 +20 dB 이상 크고, 위상 잡음  $-11 \text{ dBc} \sim -20 \text{ dBc}$ , 차단 주파수 10 kHz 경우에 시뮬레이션을 실시하였다. 중

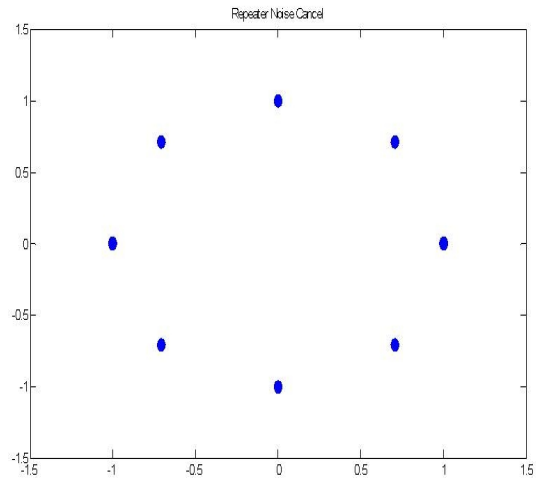
표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. Simulation parameters.

구분	T-DMB repeater	Receiver
Sub carrier	1,536	1,536
Sub carrier interval	1 kHz	1 kHz
Symbol period	1 ms	1 ms
Sample period	0.5 $\mu$ s	0.5 $\mu$ s
Sampling frequency	2.048 MHz	2.048 MHz
Cyclic prefix	1/4*TS	1/4*TS
SNR	15~20 dB	0~20 dB
Modulation	QPSK, $\pi/4$ DQPSK	QPSK, $\pi/4$ DQPSK
Channel model	ITU-R Pedestrian A	ITU-R Pedestrian A
에코 전력	+20 dB 이상	-
시간 지연	75 us	-



(a) 적응형 ICI 제거 기법을 사용한 경우  
(a) Case using adaptive ICI cancellation method



(b) 잔류 잡음을 제거한 경우  
(b) Case cancelling residual noise

그림 4. T-DMB repeater의 정상도  
Fig. 4. Constellation of T-DMB repeater.

계기 수신부에 퀘환되는 에코 채널 제거 후에도 중계기 송수신부에서 발생하는 위상 잡음 및 비선형 왜곡이 제거되지 않아 ICI가 많이 발생되고 있음을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다. 중계기 수신부에 입력되는 퀘환 간섭 신호를 제거하기 위해 LMS를 사용하고, 추정된 채널에 포함되어 있는 ICI를 제거하기 위하여 적응형 채널 추정 기법을 사용하여 SNR을 개선하고, 수신단 신호 품질을 개선하기 위하여 결정지향 잡음 제거 기법을 이용하였다. 그러므로 T-DMB 수신기에서 신호 품질을 크게 향상시켰다.

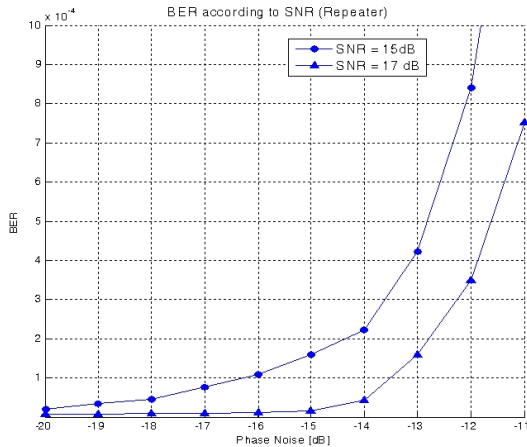


그림 5. 수신 SNR에 따른 EDOCR의 BER(SNR=15, 17 dB)  
 Fig. 5. BER of EDOCR according to SNR(SNR=15, 17 dB).

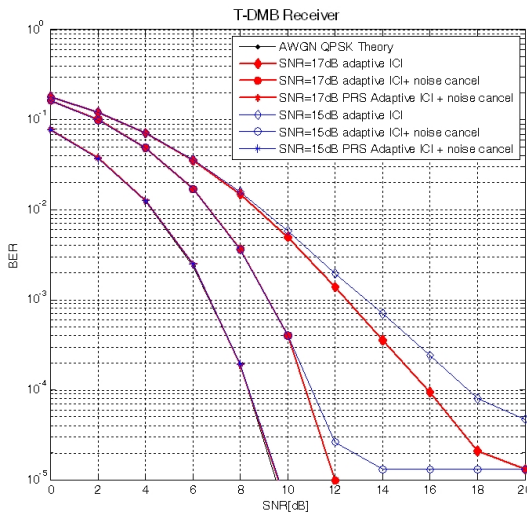


그림 6. 보상 방법에 따른 T-DMB 수신기의 BER 비교  
 Fig. 6. BER comparison of T-DMB receiver according to compensation method.

그림 4는 중계기에서 SNR=10 dB, 위상 잡음 -18 dBc일 때 적응형 ICI 제거 기법을 사용한 경우와 잔류 잡음을 제거한 경우의 T-DMB 중계기에서의 성능도를 나타낸다.

그림 5는 모국으로부터 수신된 신호의 SNR이 15 dB와 17 dB이고, 수신 채널은 Pedestrian A를 사용하였으며, 제안된 적응형 채널 ICI 제거 기법을 사용하여 채널을 보상하고, 참고문헌 [4]의 방법을 사용하여 위상 잡음을 보상한 경우의 BER 성능이다. 시물

레이션 결과로부터 BER=10<sup>-4</sup>을 만족하는 위상 잡음은 SNR=15 dB의 경우 -17 dBc 이하이며, SNR=17 dB의 경우 -14 dBc 이하이다. 그러므로 결정지향 잡음 제거 기법을 사용하기 전에 중계기의 수신 품질을 확보하기 위하여 위상 잡음은 -18 dBc를 사용하여 수신 단말기의 성능 평가를 그림 6 및 그림 7과 같이 수행하였다. 또한, 본 연구는 단말기에서의 수신 품질을 향상시키기 위하여 PRS를 보상하여 개선함으로써 PRS 성능도 같이 나타내어 비교하였다. 그리고 Adaptive ICI 제거는 참고문헌 [4]의 방법과 제안된 적응형 채널 추정 기법을 같이 사용한 방법을 나타낸다.

그림 6은 중계기에서의 보상 방법에 따른 수신 단말기의 BER 성능을 나타낸다. 모국으로 부터 수신된 중계기 입력 신호는 Pedestrian A를 사용하고 중계기로부터 수신된 수신기 입력 신호는 AWGN만을 적용하였다. 중계기에서 기존의 적응형 채널 ICI 제거 기법을 사용할 경우, 수신기에서의 성능은 BER =10<sup>-4</sup>을 확보하기 위하여 각각 SNR=16 dB와 SNR=17.5 dB가 필요하다. 그러나 제안된 기법을 사용하면 BER=10<sup>-4</sup>에서 SNR=10.6 dB와 SNR=11 dB가 필요하게 된다. 그러므로 T-DMB 시스템 성능이 중계기 입력 SNR=17 dB의 경우 5.4 dB 개선되고, 중계기 입력 SNR=15 dB의 경우 6.5 dB 개선된다. PRS의 경우 BER=10<sup>-4</sup>에서 SNR=8.2 dB 정도가 요구되며, 중계기 수신부의 SNR에 따라 큰 변동은 없으며, 이 경우는 제안된 기법을 사용한 경우만 표시하였다.

그림 7은 모국에서 중계기로 보낸 신호와 중계기로부터 수신기로 보내는 신호에 각각 Pedestrian A를 적용하였다. 적응형 채널 ICI 기법의 경우는 수신기에서의 BER=10<sup>-4</sup>을 만족하기 위하여 중계기 SNR=17 dB의 경우, 단말기 SNR=19.4 dB가 필요하게 되어 AWGN과 비교하여 3.4 dB가 열화된다. 결정지향 잡음 제거 기법을 사용한 경우는 SNR=13 dB와 SNR=12.8 dB가 필요하다. AWGN과 비교하여 SNR이 각각 2 dB 정도 열화된다. PRS의 경우는 Pedestrian A 채널에서 BER=10<sup>-4</sup>에서 SNR=12.2 dB가 되므로 SNR가 약 4 dB 열화된다. 이와 같이 동일 채널 중계기에서 결정지향 잡음 제거 기법을 사용하게 되면 수신기가 다중 경로의 영향을 받을 때도 시스템 성능이 6.2 dB 정도 개선되게 된다. 그러므로 제안된

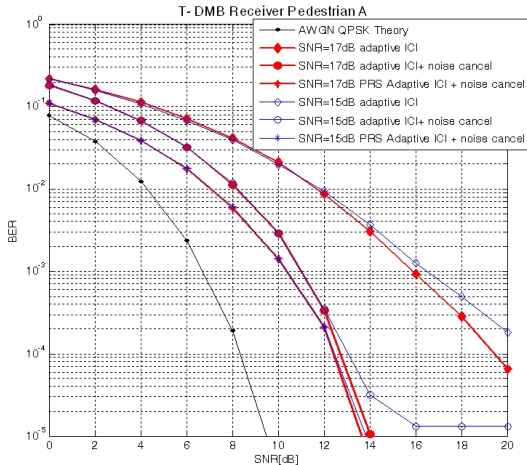


그림 7. 보상 방법에 따른 T-DMB 수신기의 BER 비교  
Fig. 7. BER comparison of T-DMB receiver according to compensation method.

잡음 제거 기법을 사용하게 되면 T-DMB 수신기에서 요구되는 BER=10<sup>-4</sup>일 경우 중계기의 입력 SNR을 15 dB까지 사용하더라도 성능을 만족시킬 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 T-DMB의 동일 채널 중계기(DOCR: Digital On Channel Repeater)에서 발생하는 RF 불균형을 효과적으로 제거하기 위해 기존 파일럿(PRS)에 기반한 채널 추정 기법의 성능을 크게 향상시킬 수 있는 결정지향 잡음 제거 기법을 사용하였다.

기존 T-DMB 동일 채널 중계기(DOCR)의 문제점은 케환 간섭 신호와 중계기 시스템 내부에서 발생하는 위상 잡음으로 인해 신호대 잡음비(SNR)가 열화되어 수신기의 신호 품질을 저하시켰다. 그러나 기존의 채널 추정 방법과 ICI 제거 기법만 사용할 경우, 수신기의 신호 품질을 개선시킬 수 없었다. 그래서 본 논문에서는 SNR이 열화된 신호를 사용하여 수신기에서의 성능을 분석하고, 제안된 결정지향 잡음 제거 기법을 사용하여 신호 품질의 개선도를 파악하였다.

제안된 방법과 기존 방법을 사용하여 수신 단말기에서의 성능을 평가한 결과, 중계기가 Pedestrian A 채널이고 수신기가 AWGN인 경우, SNR이 약 5~6.5

dB 개선되었으며, 중계기와 수신기 모두 Pedestrian A를 사용할 경우 6.2 dB가 개선되었다. 그러므로 수신기의 신호 품질을 향상하기 위해서 먼저 정확한 채널 추정을 통하여 BER 성능을 개선시켜야 하고, 이를 만족할 경우 잡음을 제거하는 것이 중요하다.

이와 같이 제안된 알고리즘은 중계기에서 필요한 SNR을 충분히 확보할 수 있어 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Young-Jun Lee, Ji-Bong Lee, Sung Ik Park, Yong-Tae Lee, Heung Mook Kim, and Hyoung-Nam Kim, "Feedback cancellation for T-DMB repeaters based on frequency-domain channel estimation", *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 6, pp. 535-537, Dec. 2002.
- [2] Wan-Jin Kim, Young-Jun Lee, Hyoung-Nam Kim, Hyoungsoo Lim, and Jong Soo Lim, "Coded decision-directed channel estimation for coherent detection in terrestrial DMB receivers", *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 2, May 2007.
- [3] 김기영, 유상범, 유흥균, "T-DMB 동일 채널 중계기의 RF 불균형 보상 및 성능 개선", 한국전자과학회논문지, 22(4), 2011년 4월.
- [4] 유상범, 유흥균, "DFT 확산 방식의 OFDM 통신 시스템에서 위상 잡음과 직교불균형 보상", 한국전자과학회논문지, 20(1), 2009년 1월.
- [5] H. Ochiai, H. Imai, "Performance analysis of deliberately clipped OFDM signals", *IEEE Transactions, Communications*, vol. 50, pp. 89-101, Jan. 2002.
- [6] 이영선, 김남일, 김상우, 유흥균, "위상 잡음 보상과 PAPR 저감을 고려한 DFT-Spread OFDM 통신 시스템 설계와 성능평가", 한국전자과학회논문지, 17(7), pp. 638-647, 2006년 7월.
- [7] H. G. Ryu, S. B. Ryu, "Design and performance analysis of the SPW method for PAPR reduction in OFDM systems", *IEEE International Conference Communication*, pp. 3632-3636, May 2008.
- [8] Songping Wu, Y. Bar-Ness, "A phase noise suppression algorithm for OFDM-based WLANs", *IEEE*

*Communications Letters*, vol. 6, pp. 535-537, Dec. 2002.

- [9] Songping Wu, Y. Bar-Ness, "OFDM channel estimation in the presence of frequency offset and phase noise", in *Proceeding of IEEE International Conference on Communication (ICC)*, vol. 5, pp. 3366-3370, May 2003.
- [10] R. J. Baxley, G. T. Zhou, "Comparing selected mapping and partial transmit sequence for PAR reduction broadcasting", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 53, pp. 797-803, Dec. 2007.

- [11] Ana Garcia Armada, "Understanding the effects of phase noise in OFDM", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 47, no. 2, pp. 153-159, Jun. 2001.
- [12] Claus Muschallik, "Influence of RF oscillators on an OFDM signal", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 592-603, Aug. 1995.
- [13] 이영선, 유홍균, 정영호, 함영권, "OFDM 통신시스템에서 위상 잡음 분석", *한국전자과학회논문지*, 15(11), 2004년 11월.

### 김 기 영



1995년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
 2000년 3월~2002년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2010년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 1996년 8월~현재: 방송통신위원회

근무

[주 관심분야] OFDM 통신시스템, DAB 및 VSB 등 방송시스템

### 유 홍 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수  
 2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
 1992년~현재: IEEE, IET 논문 심사위원  
 2002년: 한국전자과학회 학술상 수상

2008년: 그리스 ICWMC 2008 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상

2009년: 프랑스 SPACOMM 2009 국제학술대회 'Best Paper Award' 수상

[주 관심분야] 이동 통신 시스템, 위성통신, 3G/4G 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

### 유 상 범



1996년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
 1999년 3월~2001년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2006년 3월~2010년 8월: 충북대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1996년 3월~1999년 2월: 영동공과

대학 조교

2001년 3월~2006년 2월: 태영텔스타 등 근무

2011년 1월~현재: 한국항공우주연구원 근무

[주 관심분야] OFDM 통신시스템, 디지털위성통신 및 무선 LAN 등