

지상파 디지털 멀티미디어 방송시스템을 위한 등화기반 동일채널 중계기의 성능분석

준희원 김 동 현*, 정희원 박 소 라**, 박 성 익**, 윤 석 현*, 이 용 태**

Performance Evaluation of Equalization based On-Channel Repeater for Terrestrial Digital Multimedia Broadcast

Dong-hyun Kim* *Associate Member,*

So-ra Park**, Sung-ik Park**, Seok-hyun Yoon*, Yong-tae Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 지상파 디지털 멀티미디어 방송시스템 용 등화기반 동일채널 중계기의 성능을 분석한다. 동일 채널 중계기의 가장 큰 문제는 에코에 의한 성능열화로 간섭제거기가 필연적으로 사용되어야 하는데, 일반적으로 간섭제거기는 중계기 출력을 기준신호로 LMS(Least mean square) 알고리즘을 적용하여 에코채널을 추정하고 중계기 입력에서 이를 제거하는 형태로 동작된다. 그러나, LMS 알고리즘의 추적성능에는 한계가 있어 제거되지 못한 잔여 에코가 나타나게 된다. 본 논문에서는 이러한 잔여 에코의 제거를 위하여 간섭제거 후단에 등화기를 사용하는 등화기반 동일채널 중계기를 고려하며 등화기를 사용함으로써 얻을 수 있는 이득에 대한 성능분석을 수행한다. 등화기는 우선 효과적인 잔여 에코 및 채널 추정을 위해 간섭제거기 후단에서 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정을 수행하며 이에 기초하여 호모모르픽 분해(Homomorphic decomposition)를 이용한 역채널 보상방법을 사용한다. 모의실험 결과는 잔여에코에 의한 성능열화를 등화기를 사용함으로써 상당부분 방지할 수 있음을 보여준다

Key Words : Equalizer, Echo cancellor, On-channel repeater, Terrestrial DMB

ABSTRACT

In this paper, the performance of equalization-based on-channel repeater for terrestrial DMB is analyzed. A primary concern in on-channel repeater is the performance degradation due to the echo and one of key component for on-channel repeater is the echo cancellor, which usually employs LMS algorithm utilizing the repeater output as a reference for echo channel estimation and compensation. One problem using LMS algorithm is the tracking capability and there necessarily exists residual echo that has not been cancelled. To effectively remove the residual echo, we consider an equalization based on-channel repeater where the echo-cancellor is followed by an equalizer that performs channel estimation using pilot symbol and the channel inversion utilizing homomorphic decomposition. According to the simulation result, the performance degradation caused by the residual echo can be considerably alleviated by using the equalizer following the echo-cancellor.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S006-01, OFDM 전송 방식에서의 동일채널RF 중계기술 개발] 과제번호 : 2007-S-006-01

* 단국대학교 전자컴퓨터공학부, ** 한국전자통신연구원

논문번호 : KICS2007-12-537, 접수일자 : 2007년 12월 3일, 최종논문접수일자 : 2008년 1월 7일

I. 서 론

지상파 디지털 멀티미디어 방송시스템(TDMB, Terrestrial Digital Multimedia Broadcast)는 무료 서비스와 다양한 공중파 방송 콘텐츠를 제공할 수 있다는 장점 때문에 수요가 급증하고 있으며 그로 인해 TDMB시청이 가능한 휴대폰, 네비게이션, TDMB용 포터블TV 등의 다양한 어플리케이션이 많이 개발되고 있고 수요도 급증하고 있다. 이런 다양한 신규수요를 충족시키기 위해 방대한 정보를 원활하게 공급해야 하지만 무선 송출 장치의 기술적 한계나 전파의 특성으로 인해 원활한 수신을 할 수 없는 음영지역이 많이 나타나고 있다. 이러한 음영 지역 또는 전파 난청지역은 중계기를 설치 함으로써 난청문제를 해결 할 수 있다¹⁻⁶⁾.

현재 미국식 지상파 디지털 TV 방송 서비스는 각각의 송신기 및 중계기마다 다른 주파수를 부여하여 주 송신신호의 난시청 지역을 해소하거나 방송 구역을 증가시키고 있지만⁹⁾ 각각의 중계기가 복수 개의 주파수 대역을 사용하므로 주파수를 효율적으로 사용하지 못한다. 이런 주파수 비효율성을 해결하기 위해 다수의 송신기 혹은 중계기가 같은 주파수를 사용하는 방송망, 즉 SFN(Single Frequency Network)으로 구성된 방송망을 사용하면 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 방송 신호의 평균적인 전파의 강도도 높일 수 있다⁴⁻⁶⁾.

기존의 동일채널 중계기에는 RF 처리 중계기, IF 처리 중계기, 기저대역 복호기반 중계기가 있는데⁹⁾ RF 처리 중계기와 IF 처리 중계기는 에코신호에 의한 간섭을 제거 할 수 없기 때문에 중계기 송신출력에 한계를 가지며 또한 채널에 의한 왜곡을 보상 해주지 못하기 때문에 수신신호의 품질이 많이 떨어질 수 있고 기저대역 복호기반 중계기는 시스템 지연이 매우 길어 동일채널 중계기에 적용이 불가능하다.

이런 문제를 해결하기 위해서 등화기 및 간섭 제거기로 구성된 등화기반 중계기시스템이 등장하게 되었다¹⁶⁻⁸⁾. ¹⁶⁻⁸⁾의 시스템 구성은 간섭제거기와 등화기가 연결된 구조로 간섭제거기는 1차로 큰 간섭신호를 걸러주는 역할을 하는데 이는 주 송신기로부터 수신된 신호보다 큰 에코신호를 1차로 걸러주는 역할을 한다. 일단 에코신호가 1차로 걸러지고 주 송신기로부터 수신된 신호전력레벨보다 작아지면 프레임 및 심볼동기가 가능해지며 따라서 퍼일릿 등

을 이용한 채널추정 및 등화가 가능해진다. 간섭제거기 후단의 등화기는 1차 간섭제거기에서 걸러지지 못한 잔여 에코와 주 송신기와 중계기간 다중경로 채널을 보상해주는데 사용된다.

본 논문에서는 ¹⁶⁻⁸⁾에서 제안한 등화기 및 간섭제거기가 사용된 중계기의 성능을 알아보기 위해 중계기에 등화기가 포함되어있지 않은 경우와 등화기가 포함되어 있는 경우 각각에 대하여 시뮬레이션 모델을 바탕으로 시뮬레이션 한 후 등화기가 포함되어 있는 경우에 얼마만큼의 이득이 있는지 알아보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TDMB시스템의 규격 및 중계기의 구성에 대해 언급하고, III장에서는 등화기반 중계기의 구성 및 동작을 수식적으로 모델링하며, IV장에서는 시스템 분석모델에 근거한 모의실험 결과를 분석하고, V장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. TDMB 시스템의 규격 및 중계기의 구성

2.1 TDMB 시스템의 규격

TDMB는 이동 중에도 고품질의 비디오 및 오디오 방송을 시청할 수 있도록 하기 위하여 고안된 것으로, 기존 유럽형 디지털 라디오 방송의 표준 Eureka - 147을 기본으로 하여 개발되었다. Eureka - 147규격은 Coded OFDM (COFDM) 전송 방식을 사용하고 오류 정정 부호화 방식으로는 1/4 콘볼루션 부호(convolutional code)를 기반으로 하여 채널환경에 따라 데이터 율을 가변하는 Rate Compatible Punctured Code(RCPC)를 사용하며 데이터의 연결 오류를 방지하기 위해 시간 영역 및 주파수 영역 인터리빙(Interleaving)을 사용한다. 또한, 전송 규격

표 1. EUREKA - 147 전송모드 1의 전송 파라미터

Transmission Mode	I
반송파 주파수	~375MHz
Size of FFT	2048
Carrier Number/Space	1,536/1KHz
Guard interval 길이	246 μ s
Useful Symbol 길이	1ms
Symbol Duration	1.246ms
전송 Frame 길이	96ms
Frame 당 심볼수	76
시스템 대역폭	1.536MHz
전송방식	COFDM
채널코딩	Convolutional Code
변조기법	DQPSK

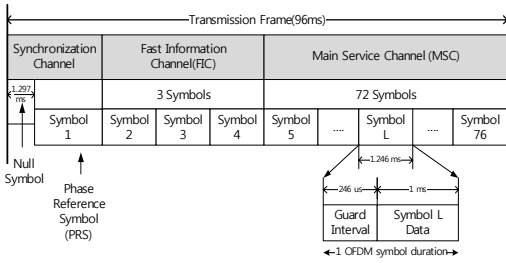


그림 1. Eureka-147 전송모드 I의 전송 프레임 구조

으로 I, II, III, IV의 4가지 전송 모드를 정의하고 있으며, 그 중에서 T-DMB에서는 전송모드 I을 사용한다. 표 1.에 우리가 사용하는 T-DMB의 전송모드 I에 대한 중요 전송 파라미터들을 표시하였다.

Eureka - 147 DAB 전송 프레임은 그림 1.에 나타낸 바와 같이 Synchronization Channel(SC), Fast Information Channel(FIC), Main Service Channel(MSC)로 구성되어 있다. 프레임의 첫 번째 심볼은 NULL symbol 이며 두 번째 심볼은 Phase Reference Symbol(PRS)로서 Differential QPSK(DQPSK)의 시작 위상에 대한 기준 심볼이다. 3개의 OFDM 심볼로 구성되어 있는 FIC에는 MSC를 구성하는 오디오와 데이터 서비스들과 관련된 모든 정보를 포함하고 있는 Multiplex Configuration Information(MCI)와 선택적 서비스가 가능한 System Information(SI) 및 데이터 서비스에 관한 정보를 포함하고 있다. MSC는 전송하고자 하는 오디오와 데이터를 포함하고 있으며 72개의 OFDM 심볼로 구성되어 있다.

2.2 TDMB용 중계기의 구성

본 논문에서 고려하는 TDMB를 위한 중계기 시스템의 모델은 그림 2와 같다. 그림 2.에서 Tx는 주 송신기, Rx는 이동수신단말기를 나타내며, 채널1은 주 송신기에서 중계기 수신단 사이의 채널, 채널2는 중계기 송신단에서 수신단말기 사이의 채널을 나타낸다. OCR은 동일채널중계기를 나타내고, 에코는 중계기의 송신부 신호가 케환되어 중계기 수신부로 들어오는 에코신호를 뜻한다. 주 송신기인 Tx에서 송신되는 신호가 채널1을 거쳐 동일채널중계기(OCR)에 수신되게 되는데 이 때 중계기 송신단에서 중계기 수신단으로 케환된 신호가 더해져 수신이 되고 중계기 송신단에서 송신된 신호가 채널2를 거쳐 이동수신단말기 Rx에 수신된다. 실제로는 주 송신기로부터 송신된 신호가 이동 수신단말기에 직접 수신될 수 있으며 따라서 주 송신기와 이동수

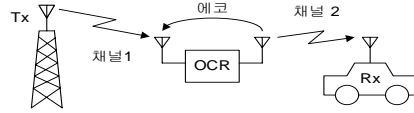


그림 2. TDMB 중계기 시스템 모델

신단말간의 직접채널이 존재하나 이 신호의 세기는 중계기로부터 수신된 신호에 비해 매우 약하다는 가정하에 주 송신기와 이동수신단말간 직접채널은 없는 것으로 가정한다.

앞에서 잠깐언급한 것처럼, 디지털 동일채널 중계기는 크게 RF 처리, IF 처리, 기저대역 복호기반 방식의 세가지로 분류할 수 있는데 이들의 특징은 다음과 같다. RF 처리 중계기는 주파수 상/하향 변환이 없어 구조가 간단하고 시스템지연이 짧지만 이와 같은 단순한 구성을 사용하면 채널에 의한 왜곡을 보상하지 못하므로 송신신호 품질이 좋지 못하다. IF 처리 중계기도 RF 처리 중계기와 마찬가지로 간단한 구조와 낮은 시스템 지연을 가지면서 RF 처리 중계기 보다 대역 여파기의 선택 특성이 더 우수하다. 하지만, 중계기 송/수신 신호의 동기를 위해 주파수 상/하향 변환기는 동일한 LO(Local Oscillator)를 사용해야 하지만 LO가 갖는 드리프트 등의 현상으로 송신기와의 주파수/위상 차가 발생하며 이로 인한 위상 잡음이 중계기 송신 신호에 더해진다. 또한, IF 처리 중계기의 경우도 채널에 의한 왜곡을 보상하지 못 한다는 문제점도 있다. 기저대역 복호기반 중계기는 주 송신기와 중계기 간의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 복조 및 재 변조 과정을 통하여 제거할 수 있기 때문에 중계기 출력 신호의 품질이 입력 신호보다 우수하다. 그러나 Time - deinterleaving과 forward error correction(FEC)부호화 과정에서 매우 큰 시스템 지연을 갖는데, 특히 Eureka - 147의 경우 비트 인터리버의 길이가500ms정도로 매우 커서 cyclic prefix(CP)길이보다 작은 지연을 요구하는 TDMB 동일채널중계기에는 적용이 불가능 하다.

2.3 TDMB용 중계기의 구성

본 연구에서 주목하는 등화기반 중계기는 간섭제거기와 등화기가 연결된 2단 구조로, 기본적으로는 기저대역 처리 중계기이나 일반 기저대역 복호기반 중계기와 달리 Time - deinterleaving과 FEC 복호까지 가지 않고 간섭제거와 등화를 수행하는 특징을 갖고 있다. 그림 3에 등화기반 중계기의 구성을 나

III. 등화기반 중계기의 구성 및 동작

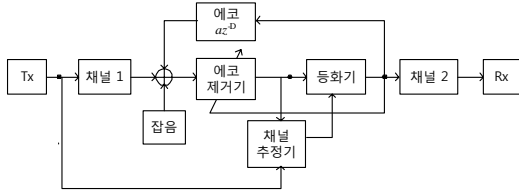


그림 3. 등화기반 TDMB 중계기 시스템 구조

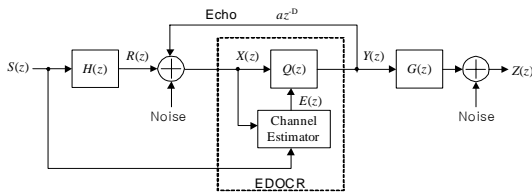


그림 4. 등화기반 TDMB 중계기 시스템의 분석모델

타내었는데 이러한 구조를 이용하면 간섭제거기가 1 차로 에코신호를 걸러주므로 이후에서의 프레임 및 심볼동기가 가능해지며 따라서 파일럿 심볼을 이용한 채널추정 및 등화가 가능해 지고, 잔여 에코 제거 이외에 주 송신기와 중계기 사이의 전송로에 의한 다중경로 신호 왜곡을 보상해 줄 수 있어 부분적으로나마 신호 품질의 향상을 기대할 수 있다.

에코신호는 동일채널 중계기가 정상상태에서 동작 할 경우 채널1을 통해 수신된 신호에 비해 훨씬 큰 전력으로 더해져 들어온다고 가정되며 따라서 동일채널 중계기에서 첫 번째 요소로 필연적으로 에코제거기가 사용되어야 한다. 에코제거가 안 될 경우에는 채널1을 통과한 신호보다 에코신호전력이 훨씬 커서채널추정 자체가 불가능하게 된다.

한편, 간섭 제거기를 통해 에코 제거가 일차로 이루어지면 PRS 심볼을 이용한 채널추정이 가능해지며 간섭제거 후단부의 등화기가 정상적으로 동작 될 수 있다. 그림 1의 프레임 구조에서 프레임의 두 번째 심볼은 PRS로 이는 중계기 수신단에서 채널추정에 사용 될 수 있는데, 수신된 신호의 두 번째 심볼과 미리 알고 있는 PRS 심볼을 이용하여 매 프레임마다 다중경로 및 궤환신호가 포함된 수신채널의 왜곡을 추정한다. 등화기는 채널추정기에서 추정된 채널을 이용해서 역 채널의 임펄스 응답을 얻고 이를 이용하여 등화를 수행한다. 특히, 역 채널의 임펄스 응답을 안정적으로 생성하기 위해, 호모모र्फ릭 분해(Homomorphic decomposition)^[10]을 이용하여 추정된 채널을 최소 위상 성분과 All-pass 성분으로 재구성하여 처리한다^[7].

3.1 분석모델

본 연구의 목적은 등화기를 사용함으로써 얻을 수 있는 이득에 대한 분석이므로 그림 3.의 등화기반 TDMB 중계기 시스템 구조에서 간섭제거는 원활히 이루어 지는 것으로 간주하고 본 논문에서는 고려하지 않을 것이다. 그림 4.에는 간섭제거부가 생략된 등화기반 TDMB 중계기 시스템 분석모델을 나타내었다. 그림 4.에서 $S(z)$ 는 입력 정보신호 $s[n]$ 의 Z-변환 표현을 의미하며 $s[n]$ 은 OFDM신호를 가정할 때 가우시안 분포를 갖는 램덤 프로세스로 모델링 되며 본 논문에서는 $\mathbf{E}[s[n]] = 0$, 신호전력 $\mathbf{E}[s[n]^2] = 1$ 로 가정한다. a 는 복소수로 잔여 에코신호의 진폭과 위상을 나타내며 $|a|^2$ 은 잔여 에코신호의 전력을 의미한다. $H(z)$ 는 주 송신기와 중계기 사이의 채널, $G(z)$ 는 중계기와 수신단말기 사이의 채널을 나타내며 일반적으로 FIR필터로 모델링 한다. $Q(z)$ 는 등화기 전달함수, $X(z)$ 는 등화기 입력, $Y(z)$ 는 중계기 출력, $Z(z)$ 는 $Y(z)$ 가 $G(z)$ 를 거쳐 잡음이 더해져 이동 수신단말기에 수신된 신호를 나타낸다. 잔여 에코신호는 등화기 전단의 간섭제거기에 의해서 대부분이 제거된 것으로 가정하며 따라서 잔여 에코전력 $10\log_{10}|a|^2$ 은 $-5 \sim -15\text{dB}$ 정도인 것으로 가정한다.

이러한 중계기 시스템 모델로부터 중계기 수신부의 입력 $X(z)$ 는 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X(z) = S(z)H(z) + az^{-D}Y(z) + N(z) \quad (1)$$

여기서 $N(z)$ 는 잡음신호 $n[n]$ 의 Z-변환을 의미하며 $n[n]$ 은 평균이 0이고 분산 $\mathbf{E}[n[n]^2] = \sigma_1^2$ 인 Additive White Gaussian Noise(AWGN)로 가정하며 채널전달함수 $H(z)$ 는 $X(z)$ 의 전력을 1로 정규화하기 위하여 다음의 식(2)와 같이 가정한다.

$$\sum_n |h[n]|^2 = 1 - |a|^2 \quad (2)$$

한편, 중계기 출력 $Y(z)$ 는 수신신호 $X(z)$ 가 등화기 $Q(z)$ 를 거쳐서 나오는 신호이므로 다음과 같다.

$$Y(z) = X(z)Q(z) \quad (3)$$

식(3)을 식(1)에 대입하고 이를 $X(z)$ 에 관해 정리 하면 다음과 같다.

$$X(z) = \frac{S(z)H(z)}{1-az^{-D}Q(z)} + \frac{N(z)}{1-az^{-D}Q(z)} \quad (4)$$

채널 추정치 $E(z)$ 는 프레임의 PRS 심볼에 대한 중계기 수신신호 $X(z)$ 를 미리 알고 있는 PRS 심볼 $S(z)$ 로 나누어 준 것 이므로 다음의 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E(z) = X(z)/S(z) \quad (5)$$

또한, 식(4)를 (5)에 대입하면 다음 식이 얻어진다.

$$E(z) = \frac{H(z)}{1-az^{-D}Q(z)} + N'(z) \quad (6)$$

여기서 첫 번째 항 $H(z)/1-az^{-D}Q(z)$ 는 에코채널을 포함하는 중계기 입력단에서 본 실효채널의 전달함수를 나타내며 두 번째 항 $N'(z) = N(z)/(S(z)(1-az^{-D}Q(z)))$ 는 채널추정에러를 나타낸다.

3.2 등화기의 동적 특성 및 안정성

등화기의 동적 특성: 그림 4의 시스템은 중계기의 "Power-on" 시점으로부터 정상상태에 도달할 때까지 과도상태를 거치게 되는데 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 설명의 단순화를 위하여 잡음은 없다고 가정하고 (즉, $N(z) = 0$) $n-1$ 번째 프레임의 등화기 전달함수를 $Q_{n-1}(z)$ 이라 하자. n 번째 프레임에 대한 채널 추정치 $E_n(z)$ 는 다음의 식(7)과 같다.

$$E_n(z) = \frac{H(z)}{1-az^{-D}Q_{n-1}(z)} \quad (7)$$

n 번째 프레임에서 등화기 전달함수 $Q_n(z)$ 는 추정된 채널의 역으로 주어지므로

$$Q_n(z) = E_n^{-1}(z) = H^{-1}(z)[1-az^{-D}Q_{n-1}(z)] \quad (8)$$

이 되는데, 여기서 $|a|$ 가 0이면 단순히 $Q_n(z) = H^{-1}(z)$ 가 된다. 그러나 $|a| > 0$ 이면 $Q_n(z)$ 가 $n-1$ 번째 프레임에서의 등화기 $Q_{n-1}(z)$ 의 영향을 받는데 이에 따라 등화기의 동적 특성이 나타난다.

그림 5는 등화기의 동적 특성의 예를 보여주는 데, 에코전력 -12dB 및 -6dB 에 대해 "Power-on" 시점으로부터 최초 10 프레임에 대한 $Q_n(z)$ 의 주파수 특성의 시간 변화를 보여준다. 아직까지는 $Q_n(z)$ 의 수렴을 수식적으로 증명하지는 못하였으나 모의 실험에 의하면 거의 모든 경우에서 수렴하는 것으로 나타났다.

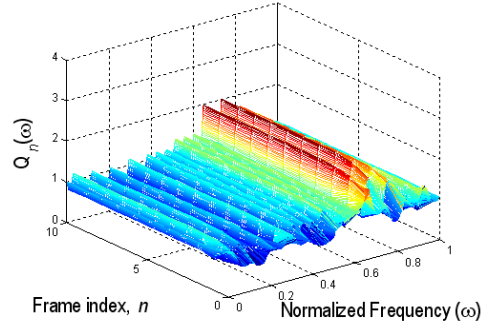


그림 5.1 에코전력 $10\log_{10}|a|^2 = -12\text{dB}$ 일 경우 n 증가에 따른 $|Q_n(w)|$ 의 수렴

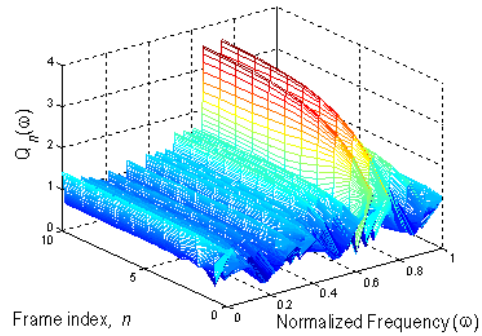


그림 5.2 에코전력 $10\log_{10}|a|^2 = -6\text{dB}$ 일 경우 n 증가에 따른 $|Q_n(w)|$ 의 수렴

등화기의 정상상태 특성: 일단 $Q_n(z)$ 이 n 이 증가함에 따라 수렴한다고 가정할 때 $Q(z) = Q_{n-1}(z) = Q_\infty(z)$ 이 되고 식(8)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$Q_\infty(z) = H^{-1}(z)[1-az^{-D}Q_\infty(z)] \quad (9)$$

$$\Rightarrow Q_\infty(z) = \frac{1}{H(z) + az^{-D}}$$

또한, 식(9)을 식(3)의 $Q_n(z)$ 대신 대입하면 중계기 출력 $Y(z)$ 는 다음의 식(10)과 같다.

$$Y(z) = Q_\infty(z)X(z) = \frac{H(z)S(z)}{Q_\infty(z)^{-1} - az^{-D}} = S(z) \quad (10)$$

식(10)은 잡음이 없는 환경에서 중계기 출력 $Y(z)$ 가 정상상태에서 전송된 정보신호 $S(z)$ 와 같아지는 것을 의미하는데, 따라서, n 이 증가함에 따라 $Q_n(z)$ 가 수렴하기만 하면 등화기는 제대로 동작이 된다는 것을 알 수 있다.

한편 중계기 전달함수 $Y(z)/R(z)$ 에 deep null이 생기면 중계기는 불안정한 상태에 놓이게 되고 전체 시스템이 제대로 동작하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위한 방편으로 본 논문에서는 $R(z)$ 와 $Y(z)$ 사이 시스템의 주파수 전달특성이 일정 값 이상으로 커질 경우 등화를 하지 않고 그냥 통과시키는 방법을 사용하였다. 잡음을 무시하고 에코를 포함하는 중계기 시스템만을 볼 때 이의 전달함수는 $Y(z)/R(z)|_{N(z)=0}$ 로 다음과 같이 주어진다.

$$T(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{Q(z)}{1 - az^{-D}Q(z)} \quad (11)$$

여기서, $Q(z) = Q_{\infty}(z)$ 이다. 시스템의 안정성은 $T(z)$ 의 극점의 위치, 즉 $1 - az^{-D}Q(z)$ 의 영점이 Z-평면상의 단위 원 안에 놓여 있는 것을 요구하는데 $T(z)$ 의 극점의 위치 추적은 어려우므로, 대신에, $|T(w)|$ 가 정해진 임계치 T_{th} 를 넘어가는가를 판정하여 등화기의 동작여부를 결정하도록 하였다. 다음절의 모의실험에서는 a 의 값을 알고 있다는 가정 하에 실험을 수행하였으나 실제 구현 시에는 간섭 제거 후단에 이의 추정을 위한 모듈이 요구된다.

IV. 성능분석

전체적인 시스템 구성은 앞에서 설명하였으므로 여기서는 사용된 채널에 대해서만 설명한다. 주 송신기와 중계기간 채널 $H(z)$ 는 중계기 송수신 안테나를 높은 곳에 설치하여 주 송신기 안테나가 보이는 위치에 있다는 가정하에 LOS(Line Of Sight)경로를 갖는 다중경로채널로 가정하고 중계기와 수신단말기 간 채널 $G(z)$ 는 이동수신단말기 안테나와 중계기 송신 안테나의 LOS경로 확보가 어렵다는 가정하에 LOS경로가 없는 Non-LOS 다중경로 채널로 가정한다. 특히, 본 논문에서는 주 송신기와 중계기간 채널, 중계기와 수신단말기간 채널을 각각 Brazil A 채널과 Typical Urban(TU) 6 채널^[11]로 모델링 하는데 이들 각각의 전력지연프로파일(Power Delay Profile)은 표 2.와 표 3.에 요약하였다.

표 2. Brazil A 채널의 전력지연프로파일

Brazil A	Time Delay(μ s)	Attenuation(dB)
Multipath1	0.00	0.0
Multipath2	0.15	-13.8
Multipath3	0.22	-16.2
Multipath4	3.05	-14.9
Multipath5	5.86	-13.6

표 3. TU 6채널의 전력지연프로파일

TU 6	Time Delay(μ s)	Attenuation(dB)
Multipath1	0.00	-3.0
Multipath2	0.20	0.0
Multipath3	1.60	-6.0
Multipath4	2.30	-8.0
Multipath5	5.00	-10.0

이러한 채널환경에 대하여 모의실험에서는 에코 전력(-6dB, -10dB, -15dB)에 대해 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우를 비교하여 등화기를 사용함으로써 얻어지는 성능이득을 평가하였다.

그림 6에 에코전력이 -10dB이고 Brazil A 채널의 SNR이 10dB, 20dB, 30dB인 각각의 경우에 대해 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 BER(Bit Error Probability) 곡선을 나타내었다. X축의 SNR은 TU 6 채널의 SNR을 나타내며 Y축은 수신단말기에서의 BER을 나타낸다. 그림 6에서 비트오율이 10⁻³일 경우 등화기를 사용해서 얻은 이득이 1.5dB정도가 되는 것을 알 수 있다. 실험에서 등화기의 안정상태를 판정하는 임계치 T_{th} 는 10dB로 설정하고 모의실험을 수행하였다.

그림 7은 Brazil A 채널이 20dB일 경우 에코전력에 따라 등화기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것인데, 이로부터 에코전력이 -6dB인 경우에는 BER이 10⁻³일 때 약 4dB, 에코전력이 -10dB인 경우에 1.5 dB, 에코전력이 -15dB인 경우에 0.5dB의 등화기 이득이 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 7로부터 에코전력이 클 경우에는 등화기로부터 얻을 수 있는 이득이 높지만 에코전력이 작을 경우에는 등화기 이득이 낮다는 것을 알 수 있다.

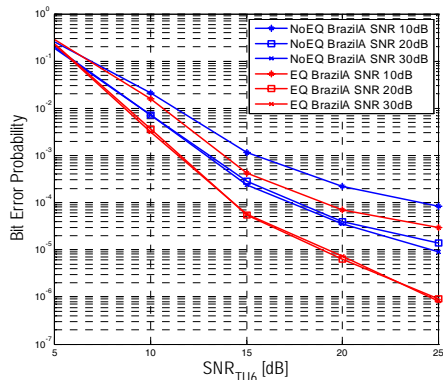


그림 6. TU 6채널 SNR에 따른 시스템 오류성능 Brazil A 채널 SNR = 10, 20, 30, 에코전력 $10\log_{10}|a|^2 = -10dB$, TU 6채널의 도플러주파수 = 22Hz

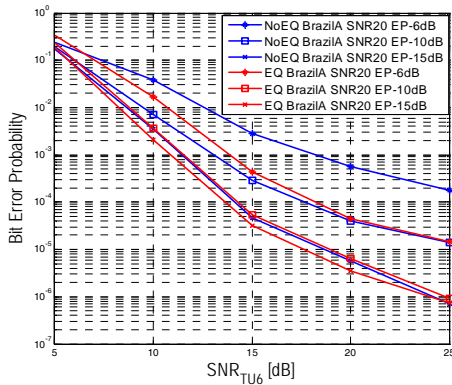


그림 7. TU 6채널 SNR에 따른 시스템 오류성능 Brazil A 채널 SNR = 20, 에코전력 $10\log_{10}|a|^2 = -6, -10, -15\text{dB}$, TU 6채널의 도플러주파수 = 22Hz

V. 결론

본 논문에서는 TDMB용 등화기반 동일채널 중계기의 성능 분석을 수행하였다. 등화기반 중계기는 에코제거기와 등화기가 연결된 구조로 잔여 에코의 제거를 위하여 간섭제거 후단에 등화기를 사용하며 이는 효과적인 채널추정 및 잔여에코 제거를 위해 간섭제거기 후단에서 파일럿 심볼을 이용한 채널추정을 수행하고 이에 기초하여 호모모르픽 분해 (Homomorphic decomposition)를 이용한 역채널 보상방법을 사용한다. 모의실험을 통하여 등화기를 사용함으로써 얻을 수 있는 이득에 대한 성능분석을 수행하였으며 잔여에코에 의한 성능열화를 등화기를 사용함으로써 상당부분 방지할 수 있음을 보였다. 특히, 수신단말에서의 10-3 BER에서 잔여 에코가 -6 및 -10 dB일 경우 각각 4dB 및 1.5dB의 이득을 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 등화 알고리즘으로 기본적으로 호모모르픽 기반 역채널 보상만을 고려하였으나 향후 ARMA모델 기반 채널단축 등화기 등과 같이 다른 등화 알고리즘에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

참고 문헌

[1] Salehian, M. Guillet, B. Carson, and A. Kennedy, "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 48, pp. 97-102, June 2002.
 [2] Salehian, B. Carson, and M. Guillet, "Using on-channel repeater to improve reception in DTV

broadcasting service area," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 49, pp. 309-313, Sept. 2003.
 [3] W. "Sam" Zborowski, "Single Frequency Network Technique For Use With On-Channel Boosters For DTV Broadcast," NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings, 2001.
 [4] 박성익, 이용태, 김승원, 이수인, "단일 주파수 망을 이용한 ATSC 지상파 디지털 TV 방송서비스를 위한 방법 연구," 방송공학회논문지, 제8권, 제2호, pp. 109-115, 2003년.
 [5] Y. T. Lee, S. I. Park, S. W. Kim, and J. S. Seo, "ATSC Terrestrial Digital Television Broadcasting using Single Frequency Networks," ETRI Journal, vol. 26, No. 2, pp. 92-100, April 2004.
 [6] Y. T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, H. N. Kim, S. W. Kim, and S. I. Lee, "A Novel Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network in ATSC System," NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings, pp. 128-133, 2004.
 [7] Y. T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, and S. W. Kim, "Equalization Digital On-Channel Repeater (EDOCR) Development for Single Frequency Network," ATSC T3S9 Meeting, Washington D. C, Jan. 2004.
 [8] Y. T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, S. W. Kim, and S. I. Lee, B. Ledoux, S. Lafleche, Y. Wu, "Laboratory and Field Test Results of Equalization Digital On-Channel Repeater (EDOCR)," in NAB Broadcast Engineering Conference Proceeding, 2005.
 [9] 박성익, 음호민, 이용태, 김홍목, 서재현, 김형남, 김승원, "ATSC 지상파 디지털 TV 방송의 단일 주파수 망 구성을 위한 등화형 디지털 동일 채널 중계기," 방송공학회논문지, 제9권, 제4호, pp 371-382, 2004년.
 [10] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, "Discrete-time Signal Processing," Prentice Hall, 1989.
 [11] COST 207 Digital land mobile radio Communications, final report, September 1988.

김 동 현 (Dong-hyun Kim)

정회원



2007년 2월 : 단국대학교 전자전기컴퓨터공학과 공학사
 2007년 3월 ~현재 : 단국대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 통신공학, 채널부호, 다중안테나

윤 석 현 (Seok-hyun Yoon)

정회원



1992년 2월 성균관대학교 전자공학과 공학사
 1996년 2월 성균관대학교 전자공학 석사
 1999년 3~8월 한국전자통신연구원 선임연구원
 2003년 1월 New Jersey Inst. of Tech., 전기컴퓨터공학과 박사

2003년 3월~2005년 2월 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2005년 3월~현재 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 조교수

<관심분야> 무선 전송/접속, 채널부호, 다중안테나

박 소 라 (So-ra Park)

정회원



1995년 2월 성균관대학교 전자공학과 학사
 1995년~1996년 삼성전자 연구원
 1999년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 석사
 1999년 2월~현재 한국전자통신연구원

<관심분야> 디지털 통신/방송 시스템, 멀티미디어 전송기술

이 용 태 (Yong-tae Lee)

정회원



1993년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
 1995년 8월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학석사
 2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
 1995년 8월~현재 한국전자통신연구원, 방송시스템연구그룹, 과제책임자

<관심분야> 디지털방송시스템, DSP, RF 신호처리

박 성 익 (Sung-ik Park)

정회원



1996년 3월~2000년 2월 한양대학교 전자전기공학부 공학사
 2000년 3월~2002년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사
 2002년 2월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구그룹 연구원

<관심분야> 채널코딩, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템