무선 간섭 제거 중계기에서 적응형 위상 잡음 보상기 연구

Adaptive Phase Noise Compensator in Wireless ICS Repeater

정 해 성 · 백 광 훈* · 유 흥 균

Haeseong Jeong · Gwang Hoon Baek* · Heung-Gyoon Ryu

요 약

본 논문에서는 위상 잡음 분석과 성능 평가를 통한 OFDM 기반의 새로운 무선 간섭 제거 중계기를 제안한다. 최근 무선 중계기에 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 이전의 연구는 단지 케환 신호를 제거하는 알고리즘에 관한 것이었다. 하지만, 무선 중계기 시스템에서는 up/down 컨버터에 위상 잡음의 영향이 존재한다. 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향이 있게 되면 시스템 성능은 매우 열화될 것이다. 따라서, 무선 중계기 시스템에서는 위상 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 위상 잡음 보상기가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 위상 잡음의 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 OFDM 기반의 적응형 위상 잡음 보상기를 제안한다. 간섭을 효과적으로 제거하기 위해서, 무선 중계기 시스템에 적응형 위상 잡음 보상기를 적용한다. 본 논문에서 제안하는 적응형 위상 잡음 보상기를 통해서 위상 잡음의 영향을 효과적으로 제거한다. 또한, OFDM 기반 무선 중계기 시스템에서 발생하는 위상 잡음의 영향을 분석한다. 변조 방식이 4QAM이고 위상 잡음의 전력이 -15 dBc, 위상 잡음의 cutoff 주파수가 100 kHz인 경우에, 제안된 알고리즘의 BER 성능은 10^{-4} 에서 적응형 등화기를 사용하고 위상 잡음 보상기를 사용하지 않은 경우보다 4 dB 정도 더 좋다.

Abstract

In this paper, we study a novel wireless interference cancellation system(ICS) repeater based on OFDM system with phase noise analysis and performance evaluation. Recently, there were many researches about wireless repeater. The previous study is just considering the feedback channel cancellation algorithm. But, in wireless repeater system, the phase noise effect can exist at up and down converter of wireless repeater. In wireless repeater system, if there are phase noise effects, the performance of system will get worse. So, the phase noise compensator is needed in wireless repeater. Therefore, we propose adaptive phase noise compensator based on OFDM system in order to effectively cancel phase noise. In order to cancel interference, we adapt adaptive phase noise compensator in wireless repeater system. The adaptive phase noise compensator compensates phase noise effect. Therefore, in this paper, we analyze phase noise of wireless repeater based on OFDM system. In this paper, when phase noise power is -15 dBc and phase noise cutoff frequency is 100 kHz at 4QAM, the BER performance of propose algorithm is better about 4 dB than with adaptive equalizer and without phase noise compensator at 10^{-4} .

Key words : OFDM System, Phase Noise, ICS, Repeater, Equalizer, Feedback Channel

I. 서 론

무선 간섭 제거 중계기는 기지국의 RF 신호를 무선으로 중계기에 전송하고, 중계기는 원 신호 그대로

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

*국방과학연구소 위성통신연구그룹(Satellite Communication Group, ADD)

· 논 문 번 호 : 20110110-001

· 교 신 저 자 : 유흥균(e-mail : ecomm@cnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 3월 18일

로를 재 송신하는 방식으로, 이때 재 송신 신호가 수신 안테나로 재 유입되는 간섭(interference) 신호를 제거하는 DSP(Digital Signal Processor) 기술을 이용한 간섭 제거 중계기 시스템이다. 일반 무선 중계기는 송수신 안테나 간 케환으로 송신 출력과 통신 품질이 떨어지는 단점이 있어 건물 지하 등 제한적인 장소에만 사용되어 왔으나, 무선 간섭 제거 중계기는 지상 무선 구간에서 간섭 신호를 직접 찾아 제거함으로써 무선 환경이 열악한 도심지 외곽 및 교외 지역과 고속 도로, 지방 도로 등에 폭넓게 적용된다. 이에 따라 무선 간섭 제거 중계기는 WiBro와 WCDMA 등 차세대 이동 통신용 중계 시스템에 들어가는 핵심 설비로 인정받으며, 국내의 수요가 폭발적으로 늘고 있다. 무선 간섭 제거 중계기는 서비스 권역을 확장하기 위해서 사용이 되고, 음영 지역 해소에 탁월한 성능을 보인다. 또한, 기지국, 중계기에서 모두 신호가 수신 가능하기 때문에 재 중계가 가능한 장점을 지닌다. 설치 및 위치 변경, 유지 보수가 간편하다. 따라서 무선 간섭 제거 중계기는 기존 무선 중계기와 광 중계기의 단점을 보완하여 주파수의 효율성 증대 및 경제적 효율을 증대하는 장점을 갖는다. 무선 간섭 제거 중계기의 이득이 중계기의 송수신 안테나의 분리도보다 더 클 때, 중계기의 송신 안테나로부터 수신 안테나로 들어온 케환 신호는 입력 신호에 상관없이 중계기의 신호를 발진시킨다. 무선 중계기의 송수신 안테나 사이의 분리도를 높이기 위한 몇몇 간섭 제거 중계기는 발표되었다^{[1]~[5]}. 이들 중에서, 아날로그 간섭 제거 중계기는 케환 신호와 똑같은 크기와 역 위상을 갖는 신호를 만들어서 케환 신호를 제거한다^{[1],[2]}. 능동 필터 기반의 디지털 간섭 제거 중계기는 또한, 참고문헌 [1]~[5]에서 구현되었다.

본 논문에서는 위상 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서 OFDM 기반의 적응형 위상 잡음 보상기를 제안한다. 최근 무선 중계기에 관련된 많은 연구가 진행 중이다. 하지만, 이전의 많은 연구들은 단지 케환 채널을 제거하기 위한 알고리즘에 관해서 연구가 진행되었다. 그러나, 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향이 존재하는 경우에 시스템의 성능이 열화된다. 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향은 up/down 컨버터에 존재한다. 따라서 무선 중계기

시스템에서 위상 잡음 보상기가 필요하다. 위상 잡음은 랜덤한 특성을 갖고 있기 때문에, 본 논문에서는 IEEE 802.11a WLAN 기반의 comb type 파일럿을 이용하여 위상 잡음의 영향을 추정하고 보상한다. 본 논문에서 위상 잡음의 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 OFDM 기반의 적응형 위상 잡음 보상기를 제안한다. 또한, 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음과 케환 신호를 고려한다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 기반의 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향을 분석하고 성능을 확인한다. 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향을 분석하기 위해서, 본 논문에서는 케환 신호의 추정치는 완벽하다고 가정한다. II장에서는 본 논문에서 제안한 무선 중계기 시스템의 전반적인 구성도와 케환 채널 환경에 대해서 소개하였고, III장에서는 위상 잡음의 영향을 수식으로 분석하고 적응형 위상 잡음 보상기를 이용하여 무선중계기 시스템에서 발생하는 위상 잡음의 영향을 제거하는 방법에 대한 설명을 하였다. 그리고 시뮬레이션 결과는 IV장에서 보여준다.

II. 무선 중계기 시스템 모델

그림 1은 무선 중계기의 구조이다. 케환 채널은 RF 송신기의 증폭기에 의해서 발생되고, 무선 중계기 시스템의 RF 송·수신기의 오실레이터에서 위상 잡음의 영향이 발생한다. 무선 중계기 시스템에서 케환 채널이 무선 중계기의 입력 신호로 들어오고, 위상 잡음의 영향이 발생되면 시스템의 송수신 성능이 매우 나빠진다. 따라서 케환 채널을 제거하고 위상 잡음과 같은 간섭을 제거하기 위해서 본 논문에서는 OFDM 기반의 적응형 등화기를 제안한다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 무선 중계기 시스템의 전반적인 블록도이다. 그림 2에서 무선 중계기

그림 1. 무선 중계기의 구조

Fig. 1. Structure of wireless repeater.

그림 2. 무선 중계기 시스템의 블록도
Fig. 2. Block diagram of wireless repeater system.

시스템에서 발생될 수 있는 궤환 채널과 위상 잡음의 영향을 고려한다. 무선 중계기 시스템에서 궤환 채널은 송·수신 안테나의 충분치 못한 분리도로 인해 발생된다. 그리고 위상 잡음은 기지국, 이동국, 중계기의 RF 송·수신기의 오실레이터에서 발생된다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 기반의 무선 중계기 시스템에서 발생될 수 있는 궤환 채널과 위상 잡음으로 인한 영향을 분석하고 성능을 개선시키는 연구를 진행한다.

그림 3은 무선 중계기 시스템을 위한 궤환 채널의 모델을 나타낸다. 본 논문에서 궤환 채널은 궤환 이득과 지연만을 고려한다. 시간 영역에서, 입력 신호와 궤환 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_C(n) = i(n) + \sum_l \alpha_l i(n - \tau_l) + n(n), \quad (1)$$

여기서 α_l 는 l 번째 궤환 이득이고, τ 는 지연이고, $n(n)$ 은 AWGN이다. 기지국으로부터 중계기로 온 입력 신호는 궤환된 신호에 비해서 매우 작기 때문

그림 3. 무선 중계기의 궤환 채널 모델
Fig. 3. Feedback channel model for wireless repeater.

그림 4. 시간 영역에서의 신호 구성
Fig. 4. Signal compositions in time domain.

에, $\alpha > 1$ 이다. 그림 4는 시간 영역에서의 입력 신호와 궤환 신호의 구성을 보여준다.

III. 제안된 시스템

본 논문에서는 무선 중계기 시스템의 궤환 채널을 추정하기 위해서 훈련 신호를 사용하고 MMSE (Minimum Mean Square Error)를 사용함으로써 궤환 채널을 추정한다. IEEE 802.11a WLAN의 경우에, 데이터 전송 시간이 짧고 그 시간 동안 채널이 크게 변하지 않기 때문에 전송의 초기 단계에서 훈련 신호를 사용하여 채널을 추정하고, 그 값을 데이터 전송 시 사용하는 것이 효율적이다. 따라서 IEEE 802.11a WLAN에서는 한 OFDM 심볼 길이에 해당하는 긴 훈련 심볼을 전송하고, 수신단에서는 이를 이용하여 전체 부채널에서의 채널을 추정하여 등화기 계수를 구한다. 먼저, 훈련 신호를 보내고 나서 궤환 채널을 추정한다. MMSE를 사용해서 궤환 채널을 추정한 후에, 제안한 무선 중계기 시스템의 위상 잡음 보상을기 이용하여 위상 잡음의 영향을 제거한다. 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향을 분석하기 위해서, 본 논문에서는 궤환 신호의 추정은 완벽하다고 가정한다. 그림 5는 본 논문에서 제안한 무선 중계기 시스템을 위한 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기의 블록도이다. 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기는 궤환 채널을 포함한다. 입력 신호 $i(n)$ 는 기지국으로부터 송신된 신호와 중계기 자체에서 발생된 AWGN 잡음이 합쳐진 신호로써 표현된다.

위상 잡음의 영향 $e^{j\phi(n)}$ 는 그림 5에서 표현된 바와 같이 발생된다. 그리고 궤환 신호 $y_F(n)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$y_F(n) = h(n) * x(n - k_0), \quad (2)$$

그림 5. 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상
기의 블록도

Fig. 5. Block diagram of feedback channel equalizer and adaptive phase noise compensator.

여기서 $*$ 는 컨벌루션을 나타낸다. 그리고 $h(n)$ 는
 궤환 채널 필터를 나타내고, k_0 는 지연을 나타낸다.
 무선 중계기 시스템에서 궤환 채널과 위상 잡음의
 영향을 효과적으로 제거하기 위해서 그림 5에서 궤
 환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기를 제안
 한다. 그리고 제안된 무선 중계기 시스템의 추정된
 궤환 신호 $y_E(n)$ 는 궤환 채널 등화기와 적응형 위
 상 잡음 보상기의 계수 $w(n)$ 와 $c(n)$ 에 의해서 추정
 된다.

$$y_E(n) = w(n) * e(n - l_0), \quad (3)$$

여기서 l_0 는 궤환 신호의 추정된 지연이다. 본 논문에서는 $l_0 = k_0$ 라고 가정한다. 궤환 채널을 추정하기 위해서, IEEE 802.11a 기반의 훈련 신호를 사용한다. 무선 중계기 시스템의 입력 신호와 궤환 신호, 그리고 추정된 신호의 오류 신호 $e(n)$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= i(n) \cdot e^{j\phi(n)} + y_F(n) \cdot e^{j\phi(n)} - y_E(n) \\ &= i(n) \cdot e^{j\phi(n)} + h(n) * x(n - k_0) \cdot e^{j\phi(n)} \\ &\quad - w(n) * e(n - k_0). \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 증계기의 출력 신호 $x(n)$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} x(n) &= G \cdot \varrho(n) * c(n) \\ &= G \cdot i(n) \cdot e^{i\phi(n)} * c(n) + G \cdot h(n) * x(n - k_0) \cdot e^{i\phi(n)} \\ &\quad - G \cdot w(n) * \varrho(n - k_0). \end{aligned} \quad (5)$$

LMS(Least Mean Square) 알고리즘과 같은 반복적인 알고리즘은 무선 중계기 시스템의 간섭을 제거하기 위해서 오류 신호 $e(n)$ 의 최소 제곱 에러를 계산하기 위해서 사용된다. MMSE 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E\{e^2(n)\} &= E\left\{\left[i(n) \cdot e^{j\phi(n)} + y_F(n) \cdot e^{j\phi(n)} - y_E(n)\right]^2\right\} \\ &= E\left\{\left[i(n) \cdot e^{j\phi(n)}\right]^2\right\} + E\left\{\left[y_F(n) \cdot e^{j\phi(n)} - y_E(n)\right]^2\right\} \\ &\quad - 2E\left\{i(n) \cdot e^{j\phi(n)} \left[y_F(n) \cdot e^{j\phi(n)} - y_E(n)\right]\right\}. \quad (6) \end{aligned}$$

궤환 채널 등화기의 LMS 알고리즘은 계수 $w(n+1)$ 를 계산한다. 계수 $w(n+1)$ 는 오류 신호 $e(n)$ 와 지연된 출력 신호 $x(n-l_0)$ 와 이전의 계수 $w(n)$ 에 의해서 계산된다. 따라서,

$$w(n+1) = w(n) + \mu e(n)x(n-l_0), \quad (7)$$

여기서 μ 는 스텝 사이즈이다. 중계기의 궤환 채널 $y_F(n)$ 은 추정된 궤환 채널 $y_E(n)$ 에 의해서 제거된다.

그리고 위상 잡음을 보상하기 위해서, 그림 6처럼 적응형 위상 잡음 보상기를 사용한다. 그림 6은 무선 중계기 시스템을 위한 적응형 위상 잡음 보상기의 블록도이다. 위상 잡음의 영향에 의해서 ICI (Inter-subcarrier Interference)가 발생한다. ICI의 첫째 항은 성상점의 위상 회전을 가져오는 CPE(Common Phase Error) 성분이고, 나머지는 성상점을 퍼트리는 ICI 성분이다. 궤환 채널 추정 후에, 제한한 무선 중계기 시스템의 위상 잡음 보상기를 이용하여 위상 잡음의 영향을 보상한다. 위상 잡음 보상기에서, 먼저 comb type 파일럿을 이용하여 CPE 성분을 제거하고, decision과 MMSE를 이용하여 ICI를 보상

그림 6. 적응형 위상 잡음 보상기의 블록도
Fig. 6. Block diagram of adaptive phase noise com-
pensator.

한다. 채널 보상 후에, 수신된 신호는 궤환 채널의 영향은 제거되고 위상 잡음의 영향만 남게 되는데, 이는 다음과 같다.

$$\tilde{e}(n) = i(n) \cdot e^{j\phi(n)}. \quad (8)$$

그리고 FFT 후의 k 번째 반송파의 샘플된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_k &= \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{e}(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \{i(n) \cdot e^{j\phi(n)}\} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} I_l \cdot e^{j\phi(n)} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}(l-k)n} \\ &= I_k + \left(jI_k \cdot \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\phi(n)} \right) + \left(\sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} I_l \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\phi(n)} \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}(l-k)n} \right) \\ &= I_k + CPE + ICI. \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서, 분석의 편의를 위해서 잡음은 고려하지 않는다. 그리고 식 (9)처럼 위상 잡음의 영향은 원하는 신호, CPE 성분, 그리고 ICI 성분으로 나뉜다. CPE 성분을 제거하기 위해서 제안된 무선 중계기 시스템의 적응형 위상 잡음 보상기는 comb type 파일럿을 사용한다. 이 과정은 다음과 같다.

$$CPE_k = \frac{Y_k}{X_k} = Q_0 + \frac{ICI + N_k}{X_k} = Q_0 + W_k, \quad (10)$$

여기서 Y_k 는 수신된 파일럿이고, X_k 는 송신된 파일럿이다. 그리고 $Q_0 = \frac{1}{N_k} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\frac{2\pi\phi(n)}{N}} \cdot e^{j\frac{2\pi n(k+\phi(n))}{N}}$ 이다. 그리고 나서 식 (11)과 같이 CPE 성분의 평균을 구한다.

$$r_{cpe} = \frac{1}{N_p} \sum_{k \in S_p} CPE_k = Q_0 + \frac{1}{4} \sum_{k \in S_p} W_k, \quad (11)$$

여기서 N_p 는 한 심볼 내의 comb type 파일럿의 수이고, S_p 는 파일럿 심볼을 나타낸다. 식 (11)을 사용하여 CPE를 제거한 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \tilde{E}_k &= I_k + \left(\sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} I_l \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\phi(n)} \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}(l-k)n} \right) \\ &= I_k + \left(\sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} I_l \cdot Q_{l-k} \right) = I_k + ICI. \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)에서 ICI 성분은 여전히 남아 있다. ICI 성분을 보상하기 위하여 decision과 MMSE 과정을 거친다.

$$\tilde{Q}_{l-k} = \frac{\sum_{k \in S_d} \tilde{Y}_d D_d^*}{\sum_{k \in S_d} |D_d|^2}, \quad (13)$$

여기서 D_d 는 훈련 신호이고, S_d 는 훈련 신호의 수를 나타낸다. 그리고 MMSE 판정 기준을 위한 수식은 최종적으로 다음과 같다.

$$C_k = \frac{\tilde{Q}_{l-k}^* \cdot H_k^*}{|\tilde{Q}_{l-k}^* \cdot H_k^*|^2 + \frac{\tilde{\sigma}_{ph}^2}{U_x}}, \quad (14)$$

여기서 H_k 는 추정된 채널 응답을 나타내고, σ_{ph}^2 는 ICI와 AWGN의 잡음 전력을 나타내며, U_x 는 채널 추정을 통한 유용한 전력을 의미한다. 등화 과정에서 ICI의 영향이 FFT 후의 잡음 전력보다 충분히 크기 때문에, 등화기의 최적화된 탭 계수를 위해서 파일럿 심볼로부터의 오류 전력을 사용한다.

$$\tilde{\sigma}_{ph}^2 = \frac{1}{N_p} \sum_{k \in S_p} |\tilde{E}_k|^2. \quad (15)$$

그리고 나서 적응형 위상 잡음 보상기는 위상 잡음에 의해서 발생된 CPE와 ICI 성분을 식 (13)을 때 부 반송파당 갱신하면서 MMSE 판정 기준을 이용하여 보상한다. CPE가 제거된 신호는 ICI의 영향을 효과적으로 제거하기 위해서 MMSE 판정 기준을 이용한 등화기를 거친다. 그리고 최종 신호는 다음과 같다.

$$\hat{I}_k = \tilde{E}_k \cdot C_k. \quad (16)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 논의

표 1은 본 논문에서 제안한 무선 중계 시스템을 위한 시뮬레이션 파라미터이다. 본 논문에서 IEEE 802.11a WLAN의 프레임 구조를 고려하였다. 무선 중계기 시스템에서 발생할 수 있는 HPA(High Power Amplifier) 비 선형성으로 인한 성능 열화, IQ 불균형과 같은 여러 RF 불균형 중에서 위상 잡음의 영향과

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Cyclic prefix	16
Number of subcarriers	64
Modulation	4QAM, 16QAM
Channel	AWGN + Feedback channel
Delay	10, 15
Phase noise	-15 dBc(cutoff=10 kHz, 100 kHz)
Frame structure	Based on IEEE 802.11a

그림 7. 시간 영역에서의 입력 신호와 궤환 신호의 구성

Fig. 7. Signal compositions of input signal and feedback signal in time domain.

무선 중계기에서 중요한 궤환 채널만 고려를 하였다. 그림 7은 시뮬레이션 상의 시간 영역에서의 입력 신호와 궤환 신호의 구성을 보여준다. 그리고 그림 8은 시간 영역에서의 훈련 신호를 사용하여 추정된 궤환 신호의 구성을 보여준다. 시뮬레이션 결과에서 데이터 전송 속도는 짧고, 데이터 전송 시간 동안에 채널이 크게 변화하지 않는다고 가정한다. 따라서 훈련 신호를 이용하여 채널 응답을 추정할 수 있다. 또한, 위상 잡음의 조건을 위상 잡음 전력과 차단 주파수의 파라미터를 이용하여 시뮬레이션을 하였는데, 위상 잡음 전력이 증가하면 CPE(Common Phase Error) 성분이 커지게 되고, 차단 주파수가 커지게 되면, ICI(Inter-subcarrier Interference) 성분이 커지게 된다. CPE 성분은 성상점을 회전시키는 성분이고, ICI는 성상점을 퍼트리는 성분으로 위상 잡음에 의해서 CPE와 ICI 성분이 모두 발생하게 된다.

그림 8. 시간 영역에서의 추정된 궤환 신호의 구성

Fig. 8. Signal compositions of estimated feedback signal in time domain.

그림 9. 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기의 BER 성능 평가(4QAM, 위상 잡음(power=-15 dBc, cutoff freq.=100 kHz)).

Fig. 9. BER performance of feedback channel equalizer and adaptive phase noise compensator(4QAM, Phase noise(power=-15 dBc, cutoff freq.=100 kHz)).

그림 9와 10은 각각 4QAM인 경우와 16QAM인 경우의 궤환 채널 등화기(FCE)와 적응형 위상 잡음 보상기(APNC)를 이용한 BER 성능을 평가한 비교 곡선이다. 그림 9와 10에서, 실선은 각각 4QAM과 16QAM의 AWGN 환경에서의 이론적인 BER 그래프이다. 그리고 파선-점선은 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기가 없는 경우의 BER 곡선을 나타낸다. 궤환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상

그림 10. 케환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기의 BER 성능 평가(16QAM, 위상 잡음 (power=-15 dBc, cutoff freq.=10 kHz)).

Fig. 10. BER performance of feedback channel equalizer and adaptive phase noise compensator (16QAM, Phase noise(power=-15 dBc, cutoff freq.=100 kHz)).

기가 없는 경우에는 전혀 통신을 할 수 없다. 그리고 점선은 케환 채널 등화기는 적용되고, 적응형 위상 잡음 보상기는 없는 경우의 BER 곡선이다. 점선은 단지 케환 채널 등화기만을 적용하였기 때문에, 케환 채널은 제거가 되었지만 위상 잡음의 영향은 여전히 남아 있게 된다. 그리고 실선은 케환 채널 등화기와 적응형 위상 잡음 보상기를 동시에 적용하여 시스템 성능을 향상시킨 BER 그래프이다. 케환 채널 등화기를 이용하여 케환 신호를 제거하고 나서 적응형 위상 잡음 보상기를 이용하여 무선 중계기 시스템에서의 위상 잡음의 영향을 제거하였다. 변조 방식이 4QAM이고, 위상 잡음의 전력이 -15 dBc이며, cutoff 주파수가 100 kHz일 때, 제안된 방식의 BER은 적응형 등화기를 사용하고 위상 잡음 보상기를 사용 안한 경우보다 10^{-4} 에서 약 4 dB 정도 더 좋다.

V. 결 론

무선 간섭 제거 중계기는 기지국의 RF 신호를 무

선으로 중계기에 전송하고, 중계기는 원 신호 그대로를 재송신하는 방식이다. 무선 중계기 시스템에서, 위상 잡음의 영향은 up/down 컨버터에 존재한다. 위상 잡음의 영향이 발생하면, 시스템의 성능은 나빠질 것이다. 따라서 무선 중계기 시스템에 위상 잡음 보상기가 필요하다. 위상 잡음은 랜덤한 특성을 갖고 있기 때문에, IEEE 802.11a WLAN 기반의 comb type 파일럿을 이용하여 위상 잡음의 영향을 추정하고 보상한다. 위상 잡음의 영향을 효과적으로 제거하기 위하여, OFDM 기반의 적응형 위상 잡음 보상기를 제안한다. 무선 중계기 시스템에서 위상 잡음의 영향을 분석하기 위해서, 본 논문에서는 케환 신호의 추정치는 완벽하다고 가정한다. 변조 방식이 4-QAM이고, 위상 잡음의 전력이 -15 dBc이며, cutoff 주파수가 100 kHz일 때, 제안된 방식의 BER은 적응형 등화기를 사용하고, 위상 잡음 보상기를 사용 안한 경우보다 10^{-4} 에서 약 4 dB 정도 더 좋다.

참 고 문 헌

- [1] S. J. Kim, J. Y. Lee, J. C. Lee, J. H. Kim, B. Lee, and N. Y. Kim, "Adaptive feedback interference cancellation system(AF-ICS)", *IEEE Microwave Symposium(MTT-S) Digest*, pp. 627-630, 2003.
- [2] J. Lee, S. Park, H. Choi, Y. Jeong, and J. Yun, "A design of co-channel feedback interference cancellation system using analog control", *Microwave Conf., 36th European*, Sep. 2006.
- [3] W. Moon, S. Im, and C. Kim, "Adaptive feedback interference cancellation using correlation for WCDMA wireless repeaters", *The Institute of Electronics Engineers of Korea, Journal*, vol. 44, issue 7, Jul. 2007.
- [4] T. Yoo, D. Woo, J. Kim, S. Ha, J. Van, and J. Lee, "Wireless repeating interference cancellation using signed-DLMS adaptive algorithm", *The Institute of Electronics Engineers of Korea, Conference & Workshop*, vol. 30, issue 1, Jul. 2007.
- [5] D. Choi, H. Yun, "Interference cancellation repeater", *PCT Patent WO 2007/078032 A1*, Jul. 2007.
- [6] A. G. Armada, "Estimation and correction of phase

- noise effects in orthogonal frequency division multiplexing", in *Proc. of IEEE GLOBECOM*, San Francisco, CA, pp. 1-5, Nov. 2006.
- [7] H. G. Ryu, Y. S. Li, "Phase noise analysis of the OFDM communication system by the standard frequency deviation", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 1, pp. 41-47, Feb. 2003.
- [8] S. B. Ryu, J. Kim, H. G. Ryu, and Y. Li, "PNS algorithm for the SC-FDMA communication system with phase noise", *Wireless and Optical Communications Networks, 2009 IFIP International Conference*, Apr. 2009.
- [9] S. Wu, Y. Bar-Ness, "OFDM system in the presence of phase noise: consequences and solutions", *IEEE Transactions on Communication*, vol. 52,

issue 2, pp. 1988-1996, Nov. 2004.

- [10] S. Wu, Y. Bar-Ness, "A phase noise suppression algorithm for OFDM-based WLANs", *IEEE Transactions on Communication Letters*, vol. 6, no. 12, pp. 535-537, 2001.
- [11] Songping Wu, Y. Bar-Ness, "OFDM channel estimation in the presence of frequency offset and phase noise", in *Proc. of IEEE International Conference on Communication(ICC)*, vol. 5, pp. 3366-3370, May 2003.
- [12] J. Tubbax, L. V. Perre, and S. Donnay, "Compensation of IQ imbalance and phase noise in OFDM systems", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, issue 3, pp. 872-877, May 2005.

정 해 성

2010년 2월: 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부(공학사)
2010년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선 통신 시스템, 이동 통신 시스템, WPAN, LTE-Advanced

유 흥 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, 위성 통신, 3G/4G 시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

백 광 훈

1988년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
1990년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학석사)
2007년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정
1990년 1월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 위성 통신 시스템, 네트워크, 모뎀