

# 소프트웨어 정의 라디오 테스트베드 기반 노이즈 필터 성능 분석

오영우, 최우열

조선대학교 컴퓨터공학과

e-mail : duddn1022@naver.com, wyc@chosun.ac.kr

## Performance Analysis of Noise Filter based on Software-defined Radio Testbed

Youngwoo Oh, Wooyeol Choi

Department of Computer Engineering, Chosun University

### 요 약

본 논문은 무선 통신 시스템에서 발생하는 노이즈를 처리하기 위한 필터를 조사하고, 각 필터의 성능 비교 및 분석을 수행하였다. Software-defined Radio(SDR) 기반의 Universal Software Radio Peripheral(USRP)을 기반으로 무선 통신 테스트베드를 구성하였다. 무선 통신 환경의 노이즈는 Additive White Gaussian Noise(AWGN)로 구현하고, Butterworth, Chebyshev, Elliptic 필터를 설계하여 노이즈를 제거 하였다. 테스트베드를 이용한 모의실험을 통해 Butterworth Filter가 가장 우수한 노이즈 제거 성능을 보였으나, 노이즈가 증가할수록 성능이 감소하는 현상을 확인하였다. 이러한 문제 해결하기 위해, 필터를 복합적으로 사용하여 원 신호에 가까운 과형으로 복구가 가능한 것을 연구를 통해 확인하였다.

### 1. 서 론

최근 Cisco에서 발표한 ‘Annual Internet Report’에 따르면, 전 세계 네트워크 연결기기 중 IoT 어플리케이션을 지원하는 Machine to Machine(M2M) 연결은 147억 개에 달할 것으로 예상했다. 또한, 국내 전체 네트워크 연결기기 중 M2M 모듈이 차지하는 비율이 2018년 1억 9천만 개에서 2023년 4억 3천만 개로 늘어날 것으로 전망했다 [1]. 이러한 IoT 인프라의 확산은 초연결사회로 한 단계 더 발전할 수 있는 계기가 된다.

그러나 IoT 사용량이 증가함에 따라, 무선 통신 장비들 간의 신호 간섭 및 신호 왜곡을 포함하는 노이즈 현상이 증가하게 된다. 이는 무선 전송 효율을 감소시키고 가비지(Garbage)트래픽의 증가를 초래하여, 사용자가 체감하는 통신 성능 저하를 야기한다. 따라서, 본 논문에서는 무선 통신 간 발생하는 노이즈를 효과적으로 감소시키기 위한 필터 설계 및 성능 분석을 수행한다.

### 2. 본론

#### 2.1 노이즈 억제를 위한 필터 분석

본 논문에서 사용되는 Butterworth, Chebyshev, Elliptic 필터의 컷오프 주파수는 Nyquist의 샘플링 정리를 준수하도록 설계하였다. Butterworth 필터는 Chebyshev, Elliptic 필터와 달리, 통과 대역에서 신호변동 현상인 리플을 발생시키지 않는다. 이러한 Butterworth의 특징을 고려하여, 본 실험에서는 리플 값과 진폭 감쇠를 최소값으로 설정하여 설계한다. 또한, Infinite Impulse Response(IIR) 필터의 문

제점인 과도응답의 발생을 최소화하기 위해, 초기/연속 입력에 wiring을 추가한다.

#### 가. Butterworth Filter

Butterworth 다항식  $B_{Bandwidth}(w_{parametervalue}^2) = (w^2)^n$ 을 이용하여 Butterworth 필터의 신호 처리 특성은 아래 식 (1)과 같다. 이러한 특성으로 인해, 전체 주파수 대역에 대해 선형성을 유지한 부드러운 응답률을 지닌다 [2].

$$|B(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (w/w_c(Cutoff Frequency))^{2n}}} \quad (1)$$

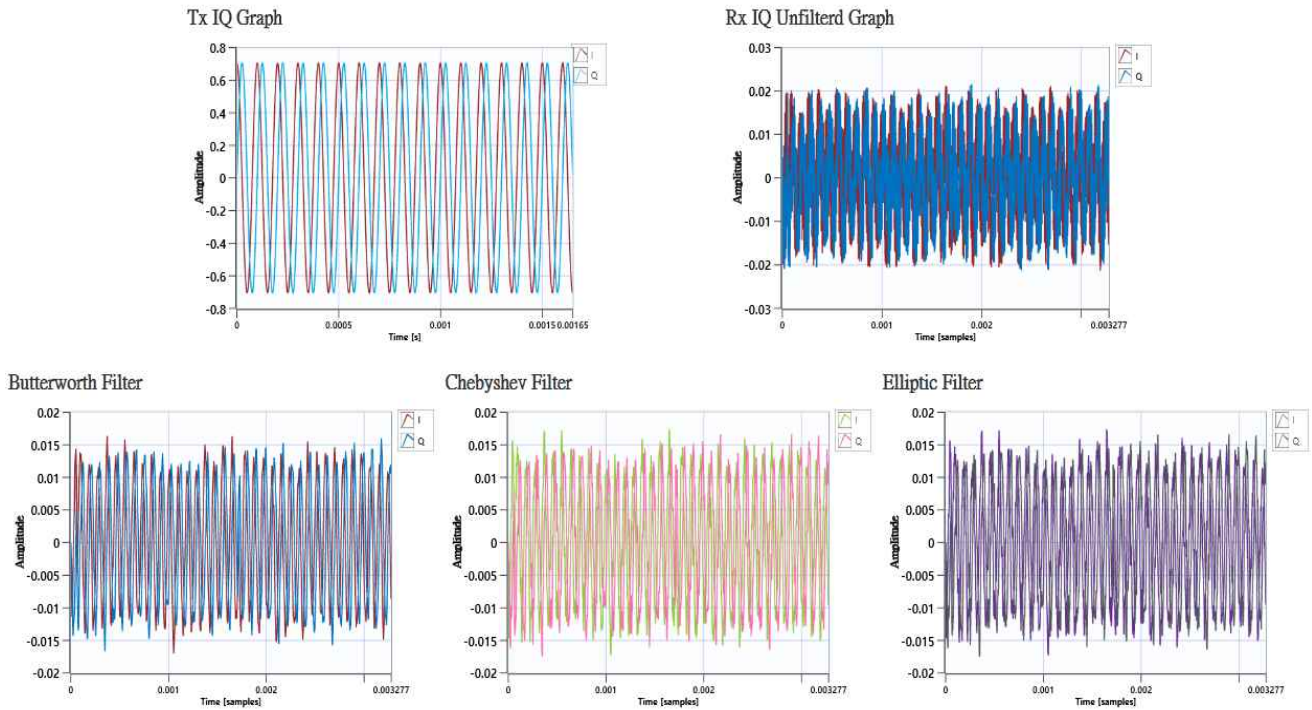
#### 나. Chebyshev Filter

Chebyshev 필터는 차수(Degree)가 낮을수록, Butterworth 필터와 같이 선형성을 유지하며 필터링하는 특성을 지닌다. Chebyshev 필터의 다항식인  $C_{(Chebyshev)_n}(x) = \cos(n \arccos x)$ 을 차수 N에 대해 정리하면 식 (2)와 같다. 신호 통과 대역에서의 감쇠는 이득의 역이므로, Chebyshev 필터는 이를 이용한 노이즈 제거를 수행한다 [3].

$$|A_{(Amplitude)}(\infty)| = \sqrt{1 + G_{(dB Gain)}^2 C_n^2(\infty)} \quad (2)$$

#### 다. Elliptic Filter

Elliptic 필터는 일반적으로는 사용해야하는 필터 차수의 최소값을 지정하게 되고, 필터의 품질 계수(Q-factor)와 상



(그림 1) 노이즈가 20dBm인 환경에서의 통신 간 버터워스, 체비세프, 타원형 필터를 이용한 신호 복원을 비교

관관계를 지닌다. 다른 필터들과 달리 품질 계수를 설정함으로써 선명한 신호로 필터링 하지만, 전체 대역폭에서 잔물결 형태를 띠는 특성을 지녔다 [4].

$$Q\_factor = -\frac{|S_{pm}|}{2Re(S_{pm})} = -\frac{1}{2\cos(\arg(S_{pm}))} \quad (3)$$

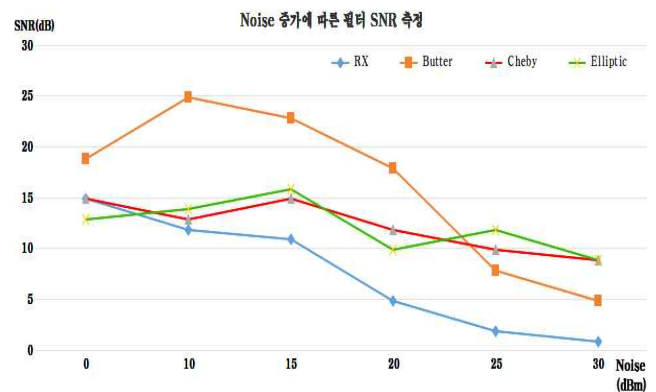
## 2.2 통신 환경 설정

본 연구는 SDR기반의 테스트베드 구성을 위해 USRP 하드웨어 장치와 LabVIEW를 이용하여 통신 시스템을 구성하였다. LabVIEW를 이용하여 위에서 언급한 3가지 필터를 설계하였다. 성능을 평가하는 지표로는 신호 대 잡음비를 나타내는 Signal-to-Noise Ratio(SNR)를 사용하였다. USRP에서 사용하는 주파수는 2.4GHz - 2.5GHz, 4.9GHz - 5.9GHz 대역을 지원한다. 노이즈 필터에 대한 성능 검증 및 비교를 위해, 송·수신단의 무선 통신에 필요한 다양한 파라미터 값은 동일하게 설정하였다.

## 2.3 필터 성능 분석 및 비교

무선 통신 간 노이즈 변화에 따라 Butterworth, Chebyshev, Elliptic 필터의 성능을 분석 및 비교를 진행하였다. 그림 1은 송신단의 원신호, 노이즈가 포함된 수신단의 신호, 3가지 필터를 통해 복구한 신호를 보여준다. 수신된 신호의 노이즈를 각각 제거 및 복구한 결과, Butterworth 필터가 가장 TX의 원 신호와 근접한 파형으로 복구됨을 확인하였다. Chebyshev와 Elliptic 필터는 복구는 되었지만, 왜곡된 원 신호의 파형이 동시에 나타나는

현상을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 2와 같이, 기존 신호 대비 SNR(dB)은 Butterworth의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났으며, Chebyshev와 Elliptic 필터의 성능은 대부분 동일함을 확인하였다.



(그림 2) 노이즈 0 - 30dBm 환경에서 수신단, 버터워스, 체비세프, 타원형 필터의 SNR 관측 그래프

## 3. 결론

본 논문에서는 SDR기반의 테스트베드를 구성하기 위해 USRP과 LabVIEW를 이용하여, 무선 통신 간 발생하는 노이즈를 처리하고, 필터들의 성능을 비교 분석을 수행하였다. 실험결과를 통해, Butterworth 필터가 원 신호의 파형을 가장 근접하게 복구하였으며, 노이즈가 20dBm 이하일 때의 SNR 성능에서도 수신된 신호 대비 10dB 이상으로 향상된 결과를 보여주었다. 그러나 노이즈가 심할수록 필

터 성능은 감소하는 것을 확인하였다.

이러한 성능저하 문제를 해결하기 위해, 추후 후속 연구에서는 필터를 복합적으로 사용하는 새로운 필터를 설계하고자 한다. 이를 통해, 많은 노이즈를 제거하면서 동시에 원 신호에 가까운 파형으로 복구가 가능한 연구를 수행할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음 (2017-0-00137).

### 참 고 문 헌

- [1] Cisco, “Annual Internet Report 2020 to 2023”, March 2020. pp.1-14.
- [2] 김재연, “Butterworth 필터를 이용한 地震波 노이즈 低減에 관한 研究”, 숭실대학교 정보과학대학원, 1992. pp.37-41.
- [3] 강두병, “차수가 다른 두 개의 Chebyshev 필터를 이용한 리플저감에 관한 연구”, 숭실대학교 일반대학원, 2010, pp.4-22.
- [4] 이창조, 이성현. “High Resistivity SOI RF CMOS 인덕터의 주파수 종속 Quality Factor 모델링”, 『전자공학회 논문지』 제54권 제9호, 2017. pp.31-37.

## 공지사항

스마트미디어학회 조직위원회를 대표하여, 2020 춘계학술대회를 보다 잘 준비하기 위한 협력에 감사드립니다. 논문 제출과 더불어 해당 논문의 분야에 대해 조사하고자 합니다.

논문이 수락된 경우, 학회 프로그램 세션에 분류될 트랙을 선택해주시기 바랍니다.

아울러 학문후속세대(학부생) 논문인 경우에는 아래의 칸에 추가 표시를 부탁드립니다.

### [ V ] Smart Information

지능형컴퓨터, 클라우드컴퓨팅, 분산 및 병렬처리시스템, 인공지능, 영상처리  
컴퓨터그래픽스, 음성처리, 멀티미디어, HCI, 빅데이터, 지능정보처리, 정보보호  
모바일정보통신, 사물인터넷, 자동제어, 반도체, Microwave/Wireless, Optics

### [ ] Information System

정보시스템 조직과 관리, e-비즈니스, ERP, CRM, SCM, 스마트워크, 소셜네트워크  
IT아웃소싱, 프로젝트관리, 스마트라이프, 스마트 물류/금융/농업/교통/헬스케어  
산업융합보안, 개인정보/의료정보/금융정보/산업기술보호, 스마트그리드, AMI

### [ ] Contents & Services

융복합콘텐츠, 게임, 애니메이션, 웹/모바일, 스마트러닝, 문화디자인, 유니버셜디자인  
UI/UX, 인터랙션 디자인, 디자인매니지먼트, 정보디자인, 디자인마케팅, 디자인방법론  
디자인이론

### [ ] Smart Media

미디어융합, 융복합 미디어, 디지털사이니지, 스토리텔링, 미디어콘텐츠와 기획, 창작, 전송  
유통, 마케팅

---

### [ V ] 학문후속세대(학부생) 논문