

임펄스 라디오 시스템에서 RF 대역 통과 필터의 군지연 영향 분석

Impact of Group Delay in RF BPF on Impulse Radio Systems

명성식 · 권봉수 · 김영환* · 육종관

Seong-Sik Myoung · Bong-Su Kwon · Young-Hwan Kim* · Jong-Gwan Yook

요 약

본 논문은 초광대역 통신 방식(Ultra Wide Band, UWB)의 하나인 임펄스 라디오 시스템에서 RF(Radio Frequency) 필터의 군지연 차에 의한 펄스 신호의 왜곡과 펄스 신호 왜곡으로 인한 시스템 성능의 열화에 대해 분석하였다. 임펄스 라디오는 시간 영역에서 매우 짧은 지속 시간을 갖는 펄스 신호를 변조하여 송신한 후 수신단에서 송신 펄스와 동일한 펄스를 발생하여 상호 상관(cross correlation)을 구해 신호를 판별하게 된다. 이로 인해 군지연 차이로 인한 펄스 파형의 왜곡은 심각한 시스템 성능 열화를 야기할 수 있다. 특히 RF 필터는 공진을 이용한 특성으로 인해, 필터의 차단 특성이 우수할수록 더 큰 군지연 차이를 야기하며, 본 논문에서는 이러한 RF 필터의 군지연 차이가 시간 영역에서 펄스 파형의 왜곡에 미치는 영향 및 시스템 성능 열화에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문은 2 단자 회로의 입출력단이 이상적으로 매칭되어 있을 경우 소신호 산란계수 S_{21} 이 필터의 전달 함수 $H(\omega)$ 임을 이용하여 임의의 필터를 설계 후 그 S_{21} 을 구하고, 역 푸리에 변환을 구하여 입력 펄스 파형과 컨볼루션 적분을 통해 출력 파형을 구하였다. 또한 BPM(Bi-Phase Modulation) 및 PPM(Pulse Position Modulation) 변조 임펄스 라디오 시스템의 BER(Bit Error Rate)을 분석하여 RF 필터의 군지연 차이로 인한 시스템 성능의 열화를 분석하였다.

Abstract

This paper presents analysis results of the effects of RF filter characteristics on the system performance of impulse radio. The impulse radio system transmits modulated pulses having very short time duration and information can be extracted in receiver side based on cross-correlation between received and transmitted pulses. Accordingly, the pulse distortion due to in-band group delay variation can cause serious system performance degradation. In general, RF bandpass filters inevitably cause group delay difference to the signal passing through the filter which is proportional to its skirt characteristic due to its resonance phenomenon. For time as well as frequency domain analysis, small signal scattering parameter S_{21} and its Fourier transform are used to characterize output pulse waveform under the condition that the input and output ports are matched. The output pulse waveform of the filter is predicted based on convolution integral between input pulse and filter transfer function, and resulting BER performances in the BPM and PPM based impulse radio system are calculated.

Key words : Impulse Radio, Filter, Group Delay, Pulse Waveform, BPM, PPM

I. 서 론

최근 FCC(Federal Communication Commission)의

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*삼성종합기술원(Samsung Advanced Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20041231-169

· 수정완료일자 : 2005년 3월 24일

상업화 승인이 있는 후, 이전까지 군사용 통신 및 레이다 시스템 등에 국한되어 사용되어 오던 UWB 통신 방식은 새로운 고속 통신 방식으로 주목받고 있다. 표준화 그룹 IEEE 802.15.3a에서는 UWB 통신 방식에 대한 표준화를 진행하고 있으며, 국내외 다수의 기업들이 표준화 참석 및 칩셋 개발을 진행 중이다. UWB 통신은 WPAN(Wireless Personal Area Network)과 같은 실내 근거리 환경에서 수백 Mbps의 매우 높은 데이터 전송률을 목표로 표준화 진행 및 연구 중이며, 고전적인 임펄스 라디오와 멀티밴드 및 다중대역 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 등의 다양한 방식으로 연구가 진행되고 있다. 그 중 임펄스 라디오 시스템은 나노 세컨드 단위의 매우 좁은 펄스 폭을 갖는 가우시안 펄스 또는 미분된 가우시안 펄스 등을 펄스 위치 변조(PPM) 및 펄스 극성 변조(BPM) 등의 방식을 통해 단속적으로 전송하고, 수신된 신호는 상관기(correlator)를 거쳐 복조된다^{[1][2]}. 또한 임펄스 라디오 시스템은 시간 부호화에 의해 랜덤한 시간도약(time hopping)을 이용하여 스펙트럼 특성이 우수하며 높은 비화성과 낮은 간섭 특성을 갖게 된다^[3].

그러나 이러한 임펄스 라디오 시스템은 매우 짧은 지속 시간을 갖는 펄스 신호를 사용하여 신호 전송 후 상관을 통해 복조되기 때문에 필터나 안테나 등의 소자에서 발생하는 군지연 차로 인한 펄스 파형의 왜곡은 전체 시스템의 성능에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제들에 대해 기존의 연구들은 안테나 전달함수의 각 스펙트럼에 대한 크기 차에 대한 연구 및 보상에 관한 연구가 진행되어 왔으나^{[4]-[6]}, 필터에 대한 연구는 그에 비해 크게 부족한 실정이다. 특히 RF 필터는 방사 스펙트럼 제한과 수신 잡음을 제거하기 위해 반드시 필요한 소자인 반면, 통과 대역 특성을 필터를 구성하는 각각의 공진기들의 공진 특성으로 얻어내기 때문에 필터의 차단 특성은 군지연 차로 직결되며, 이로 인해 원하는 차단 특성을 얻고자 할 경우 어느 정도의 군지연 차이가 발생하는 것을 피할 수 없게 된다. 그러나 최근 안테나의 비이상적인 전달함수의 보상에 관한 연구^[7]는 안테나 전달함수의 크기 특성만을 보상함으로 안테나나 필터에서 발생하는 군지연 차로 인한 문제는 전혀 보상하지 못한다.

본 논문은 이러한 필터의 군지연 차로 인한 펄스 파형의 왜곡에 대해 분석하였다. 펄스 파형의 왜곡을 분석하기 위해 필터의 입출력 단이 매칭되었을 경우 필터의 소신호 산란계수 S_{21} 이 필터의 전달 함수 $H(\omega)$ 가 되는 것을 이용하여 임의의 필터를 설계 후 측정되거나 또는 시뮬레이션 된 S_{21} 을 역 푸리에 변환하여 필터의 임펄스 응답을 구하고, 입력 펄스 파형과 컨벌루션 적분을 통해 출력 파형을 구하여 RF 필터로 인한 파형의 왜곡을 분석하였다. 또한 임펄스 라디오 통신 시스템에 필터의 전달 함수로 S_{21} 을 추가한 후 BPM, PPM 변조의 경우 BER 특성을 시뮬레이션 하여 필터의 군지연 차이에 따른 시스템 성능의 열화를 분석하였다.

II. 펄스 파형 분석

필터는 다수의 공진기를 조합하여 원하는 전달 특성을 얻게 된다. 따라서 공진기의 공진 특성은 필터의 전체 군지연 특성에 직접적인 영향을 주게 된다. 단일 공진기의 부하 Q (loaded Q) Q_L 은 아래 식과 같이 정의된다.

$$Q_L = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{\omega_0}{2} \left| \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega = \omega_0} \quad (1)$$

위 식 (1)로부터 공진기 또는 필터의 차단 특성(skirt)은 군지연 특성($d\phi/d\omega$)과 정비례 관계에 있음을 알 수 있다. 즉 주어진 공진 주파수에서 더 넓은 대역폭을 가지며 낮은 차단 특성을 가질 경우 더 낮은 Q_L 을 갖게 되어 군지연 차는 적게 된다. 또한 위 식으로부터 동일한 단수의 필터의 경우 중심 주파수가 낮을수록, 통과 대역이 넓을수록 군지연 차이가 적어짐을 알 수 있다. 즉 식 (1)을 통해 필터의 군지연 특성은 필터의 형태보다는 필터의 차단 특성과 더욱 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다. 이러한 특성을 확인하기 위해 RF 필터에서 많이 사용되는 최대 평탄 필터(maximally flat filter)와 다양한 통과대역 리플을 갖는 체비셰프 필터(Chebyshev filter)의 차단 특성과 군지연 차이를 시뮬레이션 하여 그림 1에 그렸다. 필터의 차단 특성은 정규화된 주파수 $\omega/\omega_c = 1.25$ 에서의 차단 특성이며, 군지연 특성은 통과대역 내에서 각 주파수 성분의 가장 빨리 도착하는 신

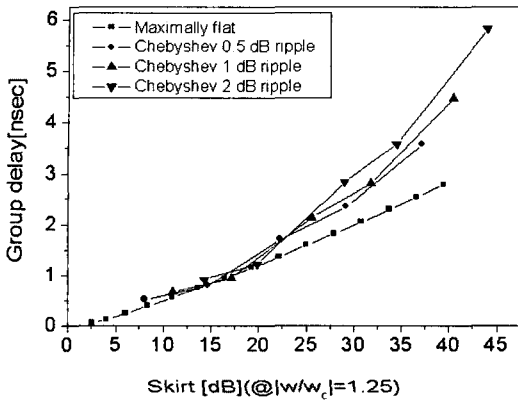


그림 1. 최대 평탄 필터와 체비셰프 필터의 차단 특성 및 군지연 특성

Fig. 1. Skirt and group delay characteristics of maximally flat and Chebyshev filters.

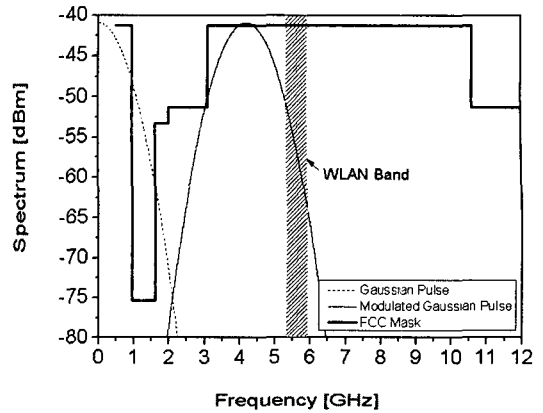
호와 늦게 도착하는 신호의 시간 차이를 그린 것이다. 그림 1에서 알 수 있듯이 매우 높은 차단 특성을 갖는 영역을 제외하고 필터의 형태에 무관하게 차단 특성에 따라 비슷한 정도의 군지연 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 이상의 과정을 통해 원하는 차단 특성을 얻기 위해 필터를 사용할 경우, 그에 해당하는 만큼의 군지연 차이가 발생하는 것을 피할 수 없게 됨을 알 수 있다.

이러한 군지연 차이는 대부분 통과 대역 내에서 발생^[8]하기 때문에 임펄스 라디오와 같이 펄스 신호가 대역 전체를 차지하는 경우 펄스 신호는 필터의 군지연 차이를 모두 겪게 되고 심각한 신호의 왜곡이 생기게 된다.

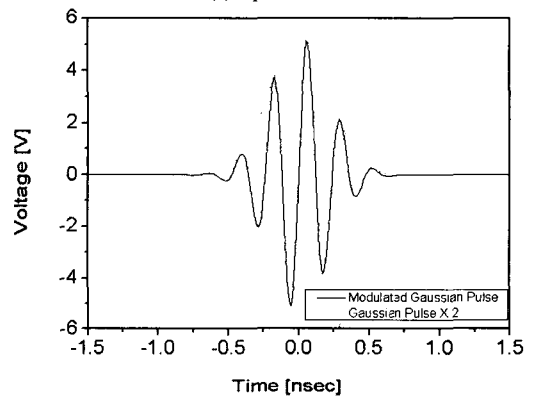
본 논문은 필터 통과 후 펄스 파형의 왜곡을 분석하기 위해 필터의 소신호 산란 계수 S_{21} 을 이용하였다. 소신호 산란 계수 S_{21} 은 입력 입사 전압에 대한 출력 반사 전압으로 입출력 단이 완벽하게 매칭되었다고 가정하면 아래와 같이 정의된다.

$$S_{21} = \left. \frac{V_2^-}{V_1^+} \right|_{V_2^+ = V_1^- = 0} = \frac{V_2}{V_1} = H(\omega) \quad (2)$$

일반적인 경우, 필터는 통과 대역 내에서 입출력 단이 매칭되어 있으므로 필터의 소신호 산란 계수 S_{21} 은 필터의 전달함수가 됨을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 설계된 필터의 S_{21} 을 구한 후 역 푸리에 변환을 통해 필터의 임펄스 응답을 구하여 입력 파



(a) 스펙트럼
(a) Spectrum



(b) 파형
(b) Waveform

그림 2. 펄스 스펙트럼과 파형
Fig. 2. Pulse spectrum and waveform.

형과 컨벌루션 적분을 통해 필터의 출력 파형을 얻었다. 본 논문에서 임펄스 라디오의 소스로 사용한 필터는 500 psec 펄스 폭을 갖는 가우시안 펄스에 4.2 GHz 캐리어 주파수가 곱해진 3.1~5.3 GHz 대역을 갖는 신호이며, 펄스의 스펙트럼 및 파형은 그림 2와 같고 식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$s(t) = \exp(-0.5(t)^2 / \tau^2) \sin(\omega_0 t) \quad (3)$$

펄스 신호의 왜곡을 분석하기 위해 사용한 필터는 3, 5, 7, 9차 0.5 dB 리플 체비셰프 필터를 사용하였다. 체비셰프 필터는 적은 차수의 공진기로 우수한 차단 특성을 얻을 수 있어 RF 필터에 많이 사용되고 있으며, 그림 1에서 알 수 있듯이 어느 정도의 차단 특성을 얻기 위해서는 어떤 형태의 필터를 사

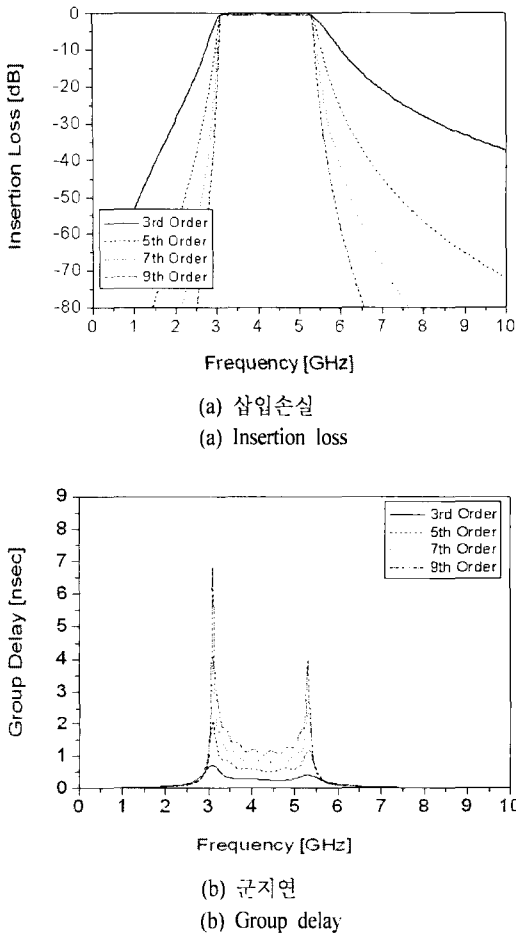


그림 3. 시뮬레이션을 위한 필터의 삽입 손실 및 군지연 특성
Fig. 3. The insertion loss and group delay characteristics of the filters for the simulation.

용하더라도 비슷한 정도의 군지연 차이가 발생하므로, 최대 평탄 필터 등 다른 형태의 필터에도 이하의 과정을 동일하게 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 3, 5, 7, 9차 0.5 dB 리플 체비셰프 필터의 삽입 손실 및 군지연 특성을 그린 것이다. DC(Direct Current)와 무한대의 주파수에서 삽입 손실이 무한대가 되기 때문에 저주파 차단 특성이 고주파 차단 특성에 비해 더 급한 스킨트 특성을 보임을 알 수 있으며, 이에 따라 저주파 차단 영역에서 더 큰 군지연 변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 그림 4는 필터 통과 후 스펙트럼이며, 그림 5는 필터 통과 후 펄스 파형이다.

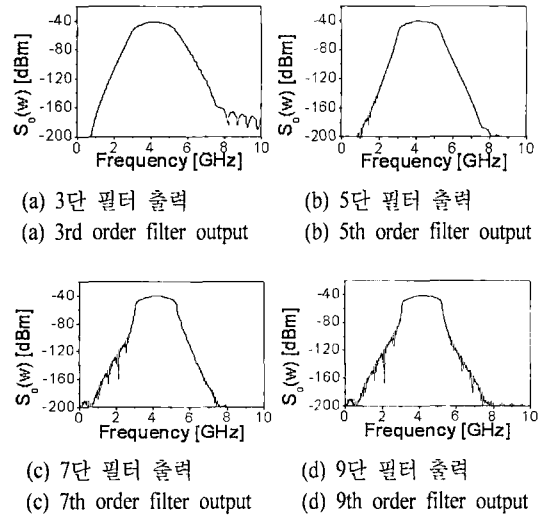


그림 4. 필터 통과 후 신호 스펙트럼
Fig. 4. Signal spectrum after filtering.

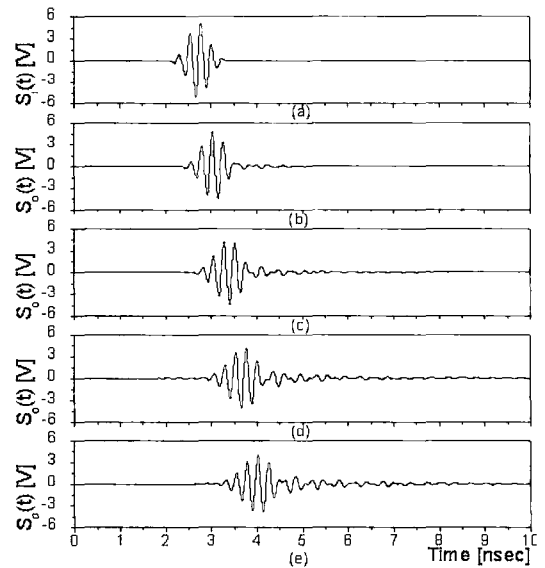


그림 5. 군지연 차이를 갖는 필터 통과 후 신호 파형
Fig. 5. Output waveform of the filters having group delay variation. (a) input waveform, (b) 3rd order filter output, (c) 5th order filter output, (d) 7th order filter output, (e) 9th order filter output.

그림 5(a) 파형은 필터의 입력으로 사용된 변조된

가우시안 펄스의 파형이며, 아래의 파형들은 입력 파형이 필터의 입력으로 인가되었을 때, 각각 3차, 5차, 7차, 9차 체비셰프 필터의 출력 파형이다. 그림 5의 결과를 보면 필터의 지연 특성으로 인해 펄스 파형 자체가 어느 정도 지연되어 나타남과 동시에 각 주파수 성분별로 다른 지연으로 인해 필터의 파형이 심각히 왜곡되고 있으며, 펄스의 폭이 매우 크게 늘어나고 있는 것을 알 수 있다. 그림 5의 결과를 보면 단지 5차 이상의 필터를 통과함만으로 필터의 파형이 원래의 입력 파형과 매우 다른 형태를 갖는 것을 알 수 있으며, 이로 인해 임펄스 라디오 시스템에 심각한 장애가 될 수 있음을 예상할 수 있다. 그러나 그림 5의 파형은 단지 군지연 차이만으로 인한 펄스 폭이 늘어나는 것이 아니라, 그림 4에서 볼 수 있듯이, 필터를 통과한 후 필터의 차단 특성으로 인해 신호의 스펙트럼이 줄어들게 되며, 이로 인해 펄스의 폭이 늘어나는 영향이 함께 나타나고 있다. 따

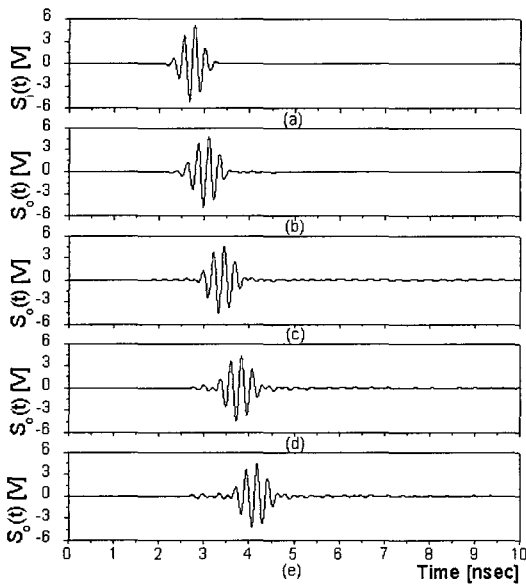


그림 6. 군지연 차이가 없는 필터 통과 후 신호 파형 (a) 입력 파형, (b) 3단 필터 출력 파형, (c) 5단 필터 출력 파형, (d) 7단 필터 출력 파형, (e) 9단 필터 출력 파형

Fig. 6. Output waveform of the filters having no group delay variation. (a) input waveform, (b) 3rd order filter output, (c) 5th order filter output, (d) 7th order filter output, (e) 9th order filter output.

라서 본 논문에서는 필터의 차단 특성으로 인해 발생하는 신호의 손실로 인한 영향을 고려하기 위해 군지연 차가 없이 단지 차단 특성만 가지는 이상적인 필터를 이용해 동일한 과정으로 시뮬레이션 해보았다. 이상적인 필터는 앞에서 생성한 필터의 소신호 산란계수 S_{21} 의 크기 특성은 유지한 채, 위상을 모두 0으로 바꾼 후 필터의 입출력단에 이상적인 지연 선로를 삽입하여 생성하였다. 이때 필터의 입출력단에 삽입된 이상적인 지연 선로는 모든 주파수에서 동일한 시간 지연을 가지며, 그 지연 정도는 실제 군지연 차이를 가지는 필터의 통과대역 내에서 가장 빨리 통과하는 신호의 지연 시간과 같이 하였다. 그림 6은 군지연 차가 없는 이상적인 필터를 통과한 후의 펄스 파형이다.

그림 6의 결과를 보면 각각의 필터를 통과한 펄스 신호는 필터의 차단 특성으로 인해 펄스의 앞뒤에 미세한 신호가 유지되는 것을 알 수 있다. 그러나 펄

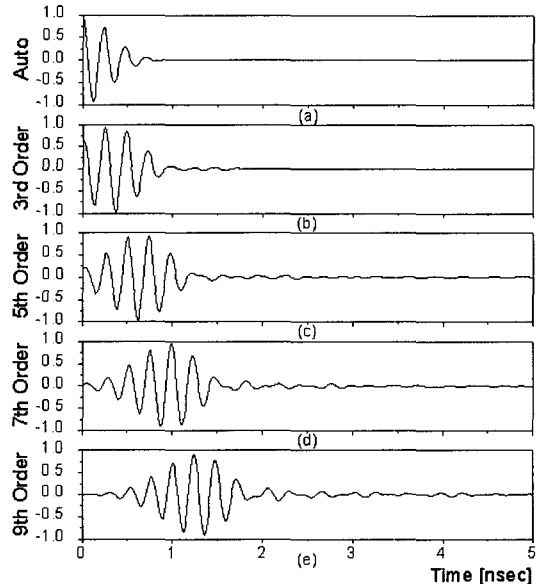


그림 7. 군지연 차이를 갖는 필터 통과 후 입출력 신호 파형의 상관관계 (a) 입력 파형의 자기상관, (b) 3단 필터 출력, (c) 5단 필터 출력, (d) 7단 필터 출력, (e) 9단 필터 출력

Fig. 7. Correlation of input and output waveform of the filters having group delay variation. (a) auto-correlation of the input waveform, (b) 3rd order filter output, (c) 5th order filter output, (d) 7th order filter output, (e) 9th order filter output.

스의 주요 부분은 입력 파형과 매우 흡사하게 유지되고 있음을 알 수 있다. 즉 그림 5에서 발생하는 펄스의 왜곡은 대부분 필터의 군지연 차이로 인해 발생하는 것임을 알 수 있다. 좀 더 정확한 분석을 위하여 입력 펄스와 각각의 필터를 통과한 후의 상관 관계를 구해 보았다. 실제로 임펄스 라디오 통신은 송신된 신호와 동일한 펄스를 만든 후 수신된 신호의 상관 관계를 통해 신호를 수신하기 때문에 입출력 파형의 상관 관계는 매우 중요하다. 그림 7은 입력 신호를 지연시키며, 출력 신호와의 상관 관계 크기를 그린 것이다. !

그림 7(a)는 입력 파형의 자기 상관 크기를 그린 것이다. 그리고 나머지는 각 필터의 출력 파형과 입력 파형의 상관 관계를 그린 것이다. 입력 펄스 파형의 특성으로 인해 자기 상관 관계에 매우 높은 인접 피크가 발생하는 것을 알 수 있다. 더욱이 군지연 차

이가 있는 필터를 통과한 각각의 출력 파형과의 상관 관계를 보면 최대 피크의 크기가 1에 미치지 못하며, 경우에 따라 인접 피크와 거의 비슷한 정도를 갖는 경우 및 음의 피크가 매우 큰 경우도 있다. 아래 그림 8은 군지연 차이가 없는 필터를 통과한 파형의 입출력 상관 관계를 그린 것이다.

그림 8을 보면 대부분의 필터 출력 파형과 입력 파형과의 상관 관계의 최대 피크가 거의 1로 유지됨을 알 수 있으며 인접 피크의 크기가 입력 파형의 자기 상관 관계와 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 즉 필터의 차단 특성으로 인한 신호의 손실은 펄스의 특성에 크게 영향을 미치지 않고 있으며, 그림 5의 출력 파형의 왜곡은 대부분 필터의 군지연 차이로 인한 것임을 알 수 있다. 또한 그림 7, 8을 통해 군지연 차이가 있는 실제의 필터는 필터의 군지연 차이로 인해 PPM, BPM 경우 모두 임펄스 라디오 시스템에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 예상할 수 있다.

III. 시스템 성능 분석

그림 9는 임펄스 라디오 시스템의 개략적인 블록도이다. 아래 그림 9과 같이 BPM 또는 PPM으로 변조된 펄스를 발생시킨 후, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 잡음을 더한 후 군지연 차이가 있는 필터와 차이가 없는 필터를 통과한 후 BER(Bit Error Rate) 특성을 분석하였다. 시스템에서 필터의 특성은 II장에서와 같이 S_{21} 을 이용하여 입출력 특성을 정의하였으며, 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터는 아래 표 1과 같다.

그림 10은 각각의 필터를 통과한 후, BPM 변조와

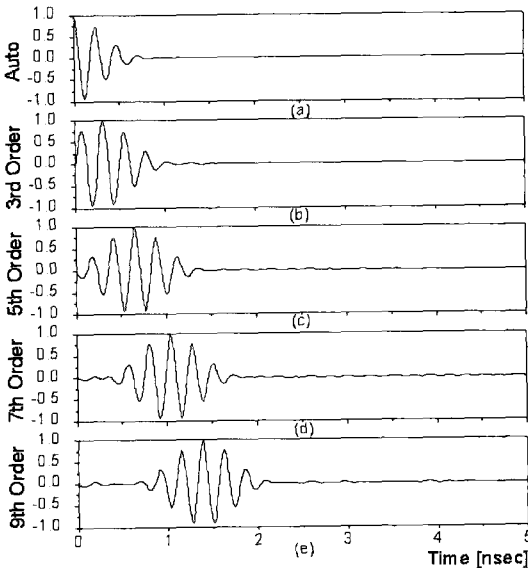


그림 8. 군지연 차이가 없는 필터 통과 후 입출력 신호 파형의 상관관계 (a) 입력 파형의 자기 상관, (b) 3단 필터 출력, (c) 5단 필터 출력, (d) 7단 필터 출력, (e) 9단 필터 출력

Fig. 8. Correlation of input and output waveform of the filters having no group delay variation. (a) auto-correlation of the input waveform, (b) 3rd order filter output, (c) 5th order filter output, (d) 7th order filter output, (e) 9th order filter output.

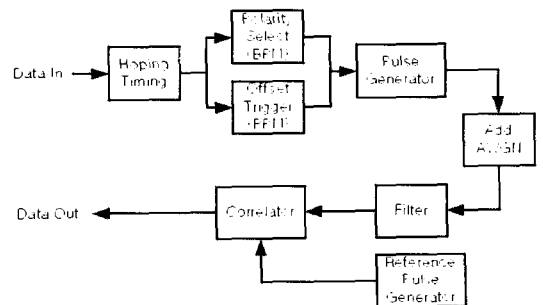
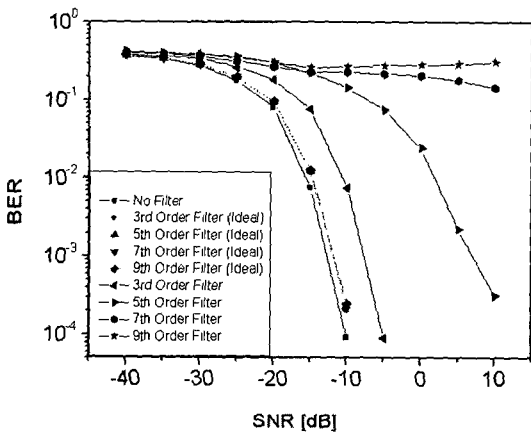


그림 9. 임펄스 라디오 시스템 블록도
Fig. 9. Impulse radio system block diagram.

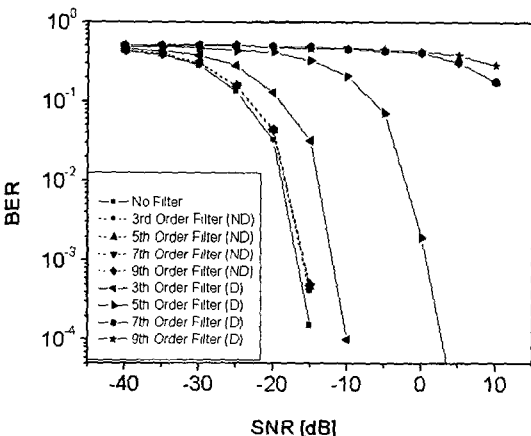
표 1. 임펄스 라디오 시스템 파라미터

Table 1. Impulse radio system parameters.

Pulse width (Gaussian pulse)	500 psec
Carrier Frequency	4.2 GHz
Band Width	3.1~5.3 GHz
Chip Interval	10 nsec
Chips per Bit	5
Hopping Time Step	13.889 psec
PPM Offset (Only PPM case)	1.111 nsec
Data Rate	200 Mbps



(a) PPM



(b) BPM

그림 10. 필터 통과 후 BER 특성

Fig. 10. BER characteristics after filtering.

PPM 변조 방식을 사용할 때의 BER 특성을 그린 것이다. 두 그림의 실선은 필터가 없는 경우와 균지연

차이가 있는 필터를 통과한 후의 BER 특성이며, 점선은 균지연 차이가 없는 필터를 통과한 후의 균지연 차이이다. BPM 변조 및 PPM 변조의 경우 모두 균지연 차이가 있는 필터를 통과함으로써 인해 BER 특성이 급격히 나빠짐을 알 수 있다. 특히 7차 9차 필터를 통과할 경우, 거의 통신이 안 되는 것을 알 수 있다. 또한 균지연 차이가 없는 필터의 경우, 필터의 차단 특성으로 인해 통과 대역 밖에서 신호의 손실이 발생해 어느 정도의 BER 특성이 악화되지만, 그 정도가 매우 미미한 것을 알 수 있다. 이는 II장에서 분석했던 결과로부터 예측할 수 있는 결과로서 균지연 차이로 인해 펄스가 분산되고 형태가 심각히 왜곡되어 PPM의 경우 펄스의 정확한 위치를 찾을 수 없고, BPM의 경우 펄스의 극성(polarity)을 찾을 수 없기 때문이다. 즉 필터의 균지연 특성은 필터의 공진 특성으로 인해 피할 수 없이 발생하지만, 이러한 필터의 균지연 차이는 임펄스 라디오 통신의 특성으로 인해 매우 치명적인 영향을 미치게 된다. 또한 이러한 문제는 필터의 전달함수의 크기 특성보다는 위상 특성에 관련된 문제로 필터의 전달함수의 크기 특성 이상으로 위상 특성이 매우 중요하며, 이에 대한 보상에 관한 연구는 임펄스 라디오 시스템의 구현을 위해 반드시 필요할 것으로 사료된다.

IV. 결론

본 논문은 최근 고속 근거리 통신 방식으로 주목받고 있는 UWB 통신 방식의 하나인 임펄스 라디오 통신에서 RF 필터의 균지연 특성이 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문은 필터의 균지연 차이가 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위해 먼저 필터에 입력 펄스가 인가될 때 필터의 균지연 특성으로 출력 펄스 파형의 왜곡을 분석하였다. 출력 펄스 파형은 2단자 회로의 입출력 단이 매칭되어 있을 경우 소신호 산란계수 S_{21} 이 회로의 전달함수임을 이용하여 소신호 산란계수 S_{21} 을 역 푸리에 변환 후 입력 펄스와 컨벌루션 적분을 통해 출력 파형을 구하였다. 또한 균지연 차이가 없이 모든 신호에 동일한 지연 시간을 갖는 이상적인 필터를 모델링한 후 같은 과정을 반복해 출력 파형을 구하였다. 시뮬레이션 결과 균지연 차이가 없는 필터의 경우 필터의

차단 특성으로 인한 신호의 손실로 파형의 앞뒤로 약간의 리플이 있으나, 펄스의 주요 부분은 거의 그 형태를 유지하고 있는 반면, 군지연 차이가 있는 필터의 경우는 펄스 파형이 심하게 왜곡되어 나왔다. 또한 입출력 파형 간의 상관 관계를 구해본 결과, 군지연 차이가 없는 필터의 경우, 상관 관계의 최대 피크가 거의 1을 유지하고 있으며 인접 피크의 크기가 자기 상관 관계의 수준을 유지하는 반면, 군지연 차이가 있는 실제의 필터는 상관 관계의 피크가 낮아지고, 인접 피크의 수준이 매우 커지는 것이 나타났다. 또한 BPM 변조와 PPM 변조의 경우 모두 필터의 군지연 차이로 인해 BER 특성이 심하게 악화되는 것이 나타났다.

즉 RF 필터는 그 공진 특성으로 인해 차단 특성만큼 해당하는 군지연 차이를 피할 수 없이 만들어 내지만 이러한 군지연 차이는 임펄스 라디오 통신에 치명적인 영향을 미치며, 최악의 경우 통신이 전혀 불가능하게까지 만들기도 할 수 있음을 알 수 있다. RF 필터는 방사 전력 제한 및 수신 잡음 제거를 위해 반드시 필요한 소자이기 때문에 RF 필터에서 발생하는 군지연 차이로 인한 문제는 향후 임펄스 라디오 통신 시스템의 구현을 위해 반드시 해결해야 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Impulse radio : How it

works", *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36-38, Feb. 1998.

[2] R. A. Scholtz, M. Z. Win, "Impulse radio", Invited paper, *IEEE PIMRC' 97*, Helsinki, 1997.

[3] R. A. Scholtz, "Multiple access with time hopping impulse modulation", *MILCOM*, Boston, pp. 447-450, 1993.

[4] H. G. Schantz, "Ultra wideband technology gains a boost from new antennas", *Applied Antenna Systems & Technology*, vol. 4, Issue 1, Jan.-Feb. 2001.

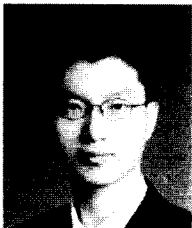
[5] D. M. Pozar, "Waveform optimizations for ultra-wideband radio systems", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 2335-2345, Sep. 2003.

[6] D. M. Pozar, "Closed-form approximations for link loss in a UWB radio system using small antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 2346-2352, Sep. 2003.

[7] 이원철, 박운용, "안정성을 갖는 최소 위상 ARMA 시스템 모델링을 이용한 코히어런트 임펄스 통신 시스템의 광대역 안테나 확산 및 공진 특성 보상 기법", 한국전자과학회논문지, 5(10), pp. 983-995, 2004년 10월.

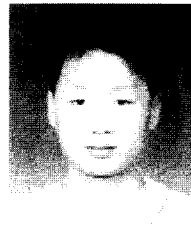
[8] S. B. Cohn, "Phase-shift and time-delay response of microwave narrow-band filters", *The Microwave Journal*, vol. 3, pp. 47-51, Oct. 1960.

명 성 식



2002년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파 집적회로

권 봉 수



2004년 2월: 연세대학교 기계전자공학부 (공학사)
 2004년 3월 ~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 집적회로, 초고주파 여파기

김 영 환



현재: 삼성종합기술원
[주 관심분야] 초광대역 통신

육 중 관



1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월: University of Michigan (공학박사)
2000년 2월~현재: 연세대학교 전

기전자공학과 교수
[주 관심분야] MEMS, 초고주파 회로, EMI/EMC, 초고주파 수치해석