

초광대역 통신 시스템

이정석*, 윤경호*, 가민호**, 박민용**

한국항공대학교 항공전자공학과*, 연세대학교 전기전자공학과**

I. 서 론

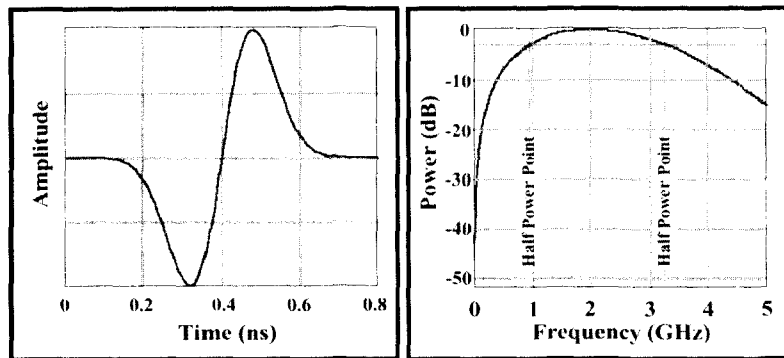
1. 기본적인 초광대역 통신 기술

초광대역(UWB: Ultra WideBand) 통신 시스템은 연속적인 초고주파 반송파 이용하지 않고 수 nsec 이하의 좁은 펄스 폭을 갖는 가우시안 모노펄스를 이용하여 정보를 전송하는 기술이다. 초광대역 시스템에 사용되는 기본 모듈들은 펄스 발생기, 펄스 변조기, 스위칭 펄스 발생기, 검출기 및 광대역 안테나 등이며 소자들은 애벌런치 트랜지스터 스위치, 광 응답 스위치, 링 북조기, 단안정 멀티바이브레이터 검출기, 상관 검출기 및 신호 적분기 등이다. 초광대역 통신 시스템의 송신기에서 생성하는 펄스는 각 펄스 사이의 간격이 매우 정밀하게 발생되어야 하며, 펄스 폭은 수 nsec 이하로 매우 좁은 가우시안(Gaussian) 모노펄스를 생성하여 신호를 전송한다. 일반적으로 초광대역 통신 시스템은 정보 신호와

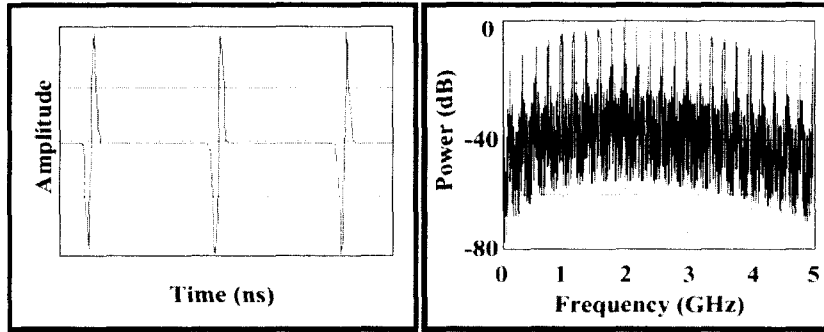
채널화를 위해 정보 신호에 따라 펄스의 위치를 변화시키는 펄스 위치 변조(PPM: Pulse Position Modulation) 방법을 이용한다.^[1] 또한 신호 대 잡음비 향상을 위하여 한 비트(bit)당 N 개의 모노펄스를 이용한다^[2]. 초광대역 통신 시스템의 수신기는 Homodyne 방식을 이용하며 수신된 초고주파 신호는 프론트 엔드(front end)의 상관기(correlator)를 거쳐 기저 대역(baseband)으로 직접 변환되므로 중간 주파수(IF: Intermediate Frequency)단이 필요 없게 되어 시스템이 간단해진다.

2. 가우시안 모노펄스

초광대역 통신 시스템에서 가장 필수적인 요구조건 중 하나는 가우시안 모노펄스를 발생시킬 수 있어야 한다는 것이다. <그림 1>은 Time domain사가 구성한 초광대역 통신 시스템에서 이용되는 가우시안 모노펄스로서 중심 주파수(Center Frequency)가 2 GHz인 모노펄스를



<그림 1> 가우시안 모노펄스 (중심 주파수: 2 GHz)



〈그림 2〉 가우시안 모노펄스 열

시간 및 주파수 상에서 나타낸 것이다.

중심 주파수와 대역폭은 모노펄스의 폭과 밀접한 관련이 있다. 가우시안 모노펄스는 시간 영역에서 가우시안 함수를 1차 미분한 형태를 갖는다. 중심 주파수는 모노펄스의 폭에 반비례하며 대역폭은 모노펄스의 중심 주파수를 기준으로 일반적으로 116% 정도이다. 〈그림 1〉은 모노펄스의 폭이 0.5 sec인 경우로 중심 주파수는 2 GHz 이고 3 dB 전력 대역폭은 약 2 GHz이다.

3. 모노펄스의 시퀀스

초광대역 통신 시스템은 긴 모노펄스 시퀀스(sequence)를 이용한다. 이와 같은 모노펄스 시퀀스를 전송할 때는 스펙트럼 특성이 유지되어야 한다. 〈그림 2〉와 같이 가우시안 모노펄스 열을 생각해보자.

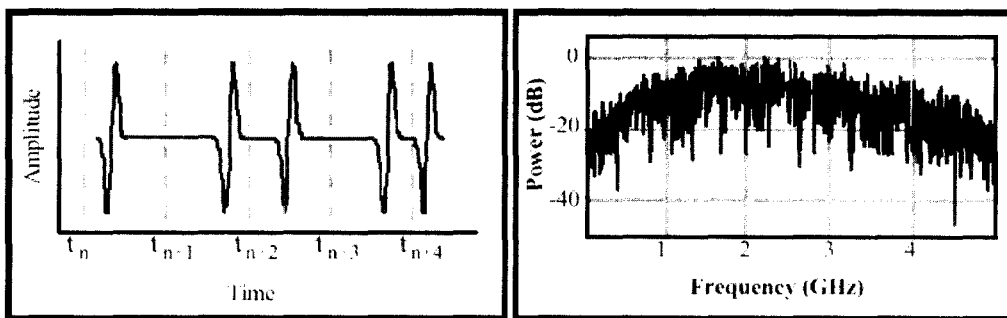
주파수 영역에서 매우 규칙적인 모노펄스 열은 규칙적인 간격으로 에너지 스파크(“comb

lines”)가 발생한다. 이러한 규칙적인 에너지 스파크 때문에 모노펄스 열은 정보를 효율적으로 전송하지 못하며, 기존의 무선 통신 시스템에 간섭 영향을 준다. 그러므로 “comb lines”에 의한 영향을 제거하기 위해 펄스 간격을 변화시킨다.

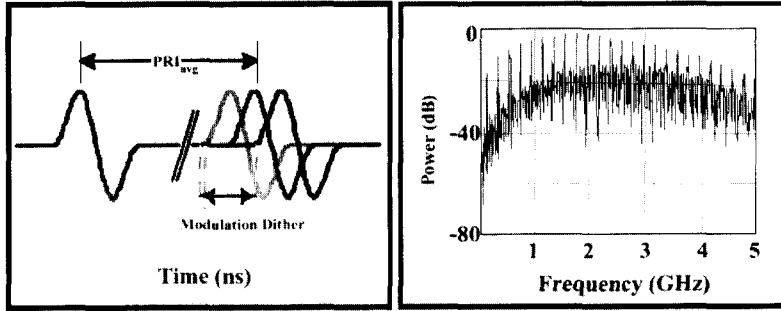
4. 변조

초광대역 통신 시스템은 정보를 전송하기 위하여 모노펄스 열의 위치를 변화시킨다. 수신기의 상관기는 Homodyne 수신기를 사용한다. 〈그림 3〉에 나타난 것처럼 기준 펄스 위치에 대해 모노펄스의 전송 시간을 정밀하게 변화시킴으로써 펄스 위치 변조가 이루어 진다.

〈그림 3〉의 우측에 나타난 것처럼 펄스 위치 변조는 초고주파 에너지를 대역 전반에 보다 균일하게 분포시키게 된다. 이러한 변조는 신호의 스펙트럼을 완만하게 하며, 다른 시스템에 의해서 검출될 확률이 낮아지게 된다.



〈그림 3〉 펄스 위치 변조(PPM)



〈그림 4〉 의사 잡음에 의한 변조

5. 채널화를 위한 부호화

최근에 초광대역 통신 시스템에서는 스펙트럼의 완만한 효과를 증가시키고 다중 접속을 가능하게 하기위하여 모노펄스의 전송 시간을 부호에 의해 변화시켜 펄스 열을 채널화 한다. 이러한 목적을 위해 〈그림 4〉에 나타난 것처럼 의사 잡음 코드가 사용된다.

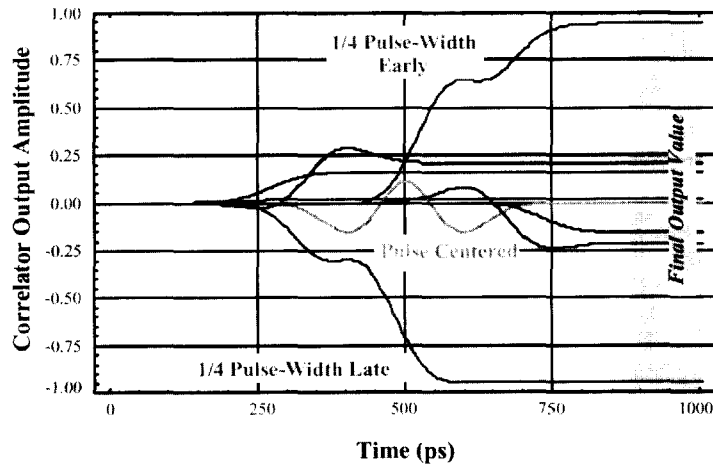
5)는 수신된 파형과 template에 대한 상관기의 출력을 나타낸 것이다. 모노펄스가 다른 신호의 배경 잡음 보다 낮을 때 초광대역 모노펄스의 검출은 불가능하나 “펄스 통합(pulse integration)” 과정을 이용하여 상관기의 출력 신호를 동위상으로 더함으로써 배경 잡음 보다 낮은 전력으로 송신된 신호를 감지, 추적 및 복조할 수 있다.

6. 모노펄스의 수신

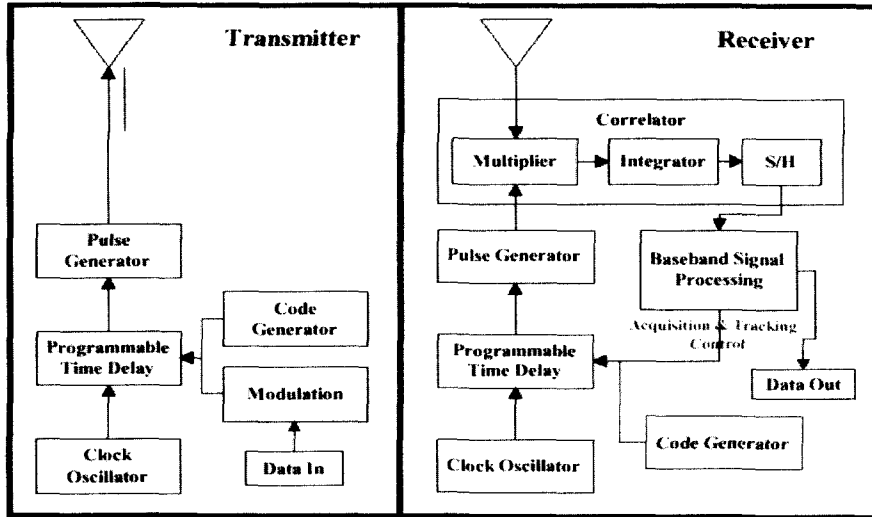
초광대역 통신 시스템에서 이용되는 최적 수신기에는 상관기가 사용된다. 상관기는 수신된 초고주파 신호를 “template” 파형과 곱하고 그 출력 신호를 적분한다. 적절한 template 파형에 의해 상관기의 출력은 수신된 모노펄스와 template의 상대적인 시간차이를 측정한다. 〈그림

7. 초광대역 시스템의 계통도

〈그림 6〉은 Time Domain에서의 초광대역 통신 시스템 구성도이다^[2]. 그림에서 송신기는 전력 증폭기를 포함하고 있지 않다. 대신 전송된 펄스는 적정의 전력 레벨에서 펄스 발생기에 의해 발생된다. 펄스 발생 회로에서 중요한 부분은 안테나로서 전파 방사기능 외에 필터 역할도 수행한



〈그림 5〉 상관기 출력



〈그림 6〉 초광대역 시스템 구성도

다. 기저대역에서는 신호 처리기에 의해 신호를 변조하고 신호의 감지 및 추적을 제어한다.

초광대역 통신 시스템은 고속의 데이터 전송을 위해 펄스의 폭을 짧게 함으로써 대역폭이 넓어지나 SNR이 감소하게 된다. 대역폭이 넓어지게 되면 주파수 사용 허가가 필요하며 SNR을 증가시키기 위해서 신호를 평균화하는 것은 신호·잡음 비율과 채널 용량의 감소를 유발한다. 기존의 통신 시스템의 경우처럼 초광대역 통신 시스템의 설계자들은 대역폭의 고 효율성, 낮은 전송 피크 전력, 회로 설계의 낮은 복잡도, 다중 전송율이 가능한 유동성 및 정해진 비트 오류에서 성능의 유지 등의 상호관계를 함께 고려해야 한다.

II. 초광대역 신호와 스펙트럼 확산 신호의 비교

본 절에서는 초광대역 신호와 스펙트럼 확산 신호를 LPI/D(Low Probability of Intercept and Detection) 관점에서 비교하고자 한다. LPI/D를 위한 성능 지수(figure of merit)로는 “거리-대역폭/에너지” 관계를 이용한다. “Point Sou-

rce”로 부터 수신된 신호의 세기는 Line-Of-Sight(LOS) 통신인 경우는 R^{-2} 에 비례하고 이동 통신인 경우는 R^{-4} 에 비례하므로 성능 지수 ξ 는 통신 거리 R , 신호의 대역폭 B 및 비트 대 신호 에너지 E_b 와의 관계로 나타낼 수 있다.

$$\xi = \frac{R^2 B}{E_b} \quad (1)$$

이 식은 수신된 신호 대 잡음비(SNR)에 반비례한다. 여기서 E_b 는 비트 간격 τ_b 와 신호 전력 P 에 비례한다($E_b = P\tau_b$).

1. 초광대역 신호

초광대역 신호의 광대역은 펄스 폭 및 모양에 의하여 결정되며 직접 시퀀스와 주파수 도약 스펙트럼 확산 방식과 같이 “칩(chip)” 또는 “호핑(hopping)” 시퀀스에 의해 확산되지 않는다. 따라서 신호의 시간과 대역폭의 곱은 1에 근사하다. 통신 거리 방정식과 식 (1)로부터 다음식을 얻을 수 있다.

$$\xi = \frac{\mu}{(SNR_R) \tau_b} \quad (2)$$

여기서 $\mu \left(= \frac{\lambda^2 G_T G_R}{16\pi^2 kT} \right)$ 는 대역폭 또는 펄스 폭

에 관련된 것이 아니라 안테나 이득, 중심 주파수 및 시스템 잡음 온도와 같이 시스템 운용상의 변수(즉, LNA 성능)와 관련된다.

초광대역 통신 시스템을 위한 LPI/D 성능 지수의 제한적 조건은 송신기에서 피크 전력을 억제하면서 가능한 범위 내에서 펄스 폭을 감소시키는 것이다. 초광대역 시스템에서는 LPI/D를 더욱 줄이기 위해 단일 정보 비트를 폭이 τ_b 인 N개의 펄스로 나누어 전송(가능하면 랜덤하게)하는 동기 가산(coherent addition) 방법을 이용한다. 따라서 동기 가산 초광대역 시스템의 경우 성능 지수 ξ 는 다음과 같다.

$$\xi = \frac{N\mu}{(SNR_R)\tau_b} \quad (3)$$

이 식에서 알 수 있듯이 동기 가산을 하는 것은 초광대역 신호의 대역폭을 N만큼 증가시키는 것과 동일한 효과를 보인다.

2. 스펙트럼 확산 신호

직접 시퀀스 스펙트럼 확산(DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum) 신호에서 단일 정보 비트는 칩(chip)에 의해 세분되어 확산된다. 비트 간격 τ_b 와 칩 간격 τ_c 와의 비율은 확산(spreading) 또는 처리 이득 G_P 로 나타낸다. 이 경우 ξ 는 다음과 같다.

$$\xi = \frac{G_P\mu}{(SNR_R)\tau_b} = \frac{\mu}{(SNR_R)\tau_b} \quad (4)$$

초광대역 시스템은 DSSS 시스템의 SNR보다 N배의 SNR을 얻기 위해 N개 펄스를 동기 가산한다는 점에서 초광대역 통신 시스템이 DSSS 통신 시스템보다 장점을 가지고 있다고 생각할 수 있다. 초광대역에서 동기 가산은 채널에 잡음이 존재하는 경우 DSSS 시스템이 처리 이득을 이용하여 SNR을 최대화시키는 방법과 동일하다. 그러나 SNR을 증가시키면 데이터율이 감소하므로 DSSS 시스템에서 고속의 데이터율을 유지하기 위하여 처리 이득을 최소화하듯이 초광대역 시스템도 동기 가산을 최소화하여야 한다.

데이터율의 유지를 위하여 초광대역 시스템이 선택할 수 있는 방법은 펄스 반복율(pulse repetition rate)을 증가시키는 것이며 DSSS 시스템의 경우는 칩 율을 증가시키는 것이다.

III. 결 론

초광대역 기술은 선형·시불변 특성을 갖기 위한 시스템의 임펄스 기술을 개발하는데서 유래하였다. 시간 영역 샘플링 오실로스코프의 개발과 수 nsec 이하의 펄스를 발생시키는 기술의 개발은 연구의 촉매제 역할을 하였다. 초광대역 통신 시스템은 0 Hz~수 GHz 주파수 대역에 걸쳐 배경 잡음보다 훨씬 낮은 레벨의 전력 스펙트럼 밀도를 갖는 초광대역 특성과 고유의 PN 부호를 갖고 있어 다른 시스템에 의한 인터섭트가 불가능하다. 또한 다중 경로 페이딩 현상을 완화시킬 수 있어 높은 비화성을 유지하며, 타 시스템에 대한 간섭이 적고 및 기존의 무선 시스템처럼 증가 주파수 단이 필요 없는 등 회로 구성이 간단해진다.^[3]

끝으로 초광대역 기술을 응용할 수 있는 군사 및 민수용 분야는 다음과 같다.^{[4][5][6]}

군수용 : LPI/D 무선 전술 휴대용 및 네트워크, Non-LOS LPI/D 지중파 통신, LPI/D 고도계/장애물 충돌 회피 시스템, 태그(Tag), 레이다 전 분야, 정밀 지리위치 시스템, UAV/UGV 데이터 링크, LPI/D 무선 인터컴 시스템 등.

민수용 : 고속(20+Mbps) LAN/WAN, LPI/D 고도계/장애물 충돌 회피 레이다, 충돌 회피 센서, 침입 감시 레이다, 정밀 지리위치 시스템, 공업용 초고주파 모니터 시스템 등.

참 고 문 헌

- [1] T. W. Barrett, "History of UltraWi-

- deband(UWB) Radar & Communication: Pioneers and Innovators”, Progress in Electromagnetic Symposium 2000(PIERS2000), Cambridge, MA, July, 2000, <http://www.multispectral.com>.
- [2] A. Petroff, P. Withington, “Time Modulated Ultra-Wideband(TM-UWB) Overview”, <http://www.time-domain.com>.
- [3] R. J. Fontana, “Recent Application of Ultra Wideband Radar and Communications Systems”.
- [4] R. Fleming, C. Kushner, “Low-Power, Miniature, Distributed Position Location and Communication Devices Using Ultra-Wideband Nonsinusoidal Communication Technology”, <http://www.aetherwire.com>.
- [5] M. Z. Win, R. A. Scholtz, “Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications”, IEEE Trans. on Comm. , vol. 48, No. 4, April, 2000.
- [6] M. K. Simon et. al. , Spread Spectrum Communications Handbooks, McGraw-Hill, 1994.

저 자 소개

이 정 석

1965년 2월 23일생, 1987년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사), 1991년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사), 1998년 8월 한국항공대학교 항공전자공학과 (박사수료), 1991년 3월~1994년 8월: 공군학사장교, 1994년 9월~1995년 5월: (주)신세기통신, <주관심 분야: GPS, ITS, 초광대역 통신 등>

윤 경 호

1961년 12월 22일생, 1984년 2월 인하대학교 응용물리학과 (공학사), 1997년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사), 1999년 8월 한국항공대학교 항공전자공학과 (박사수료), 1984년 2월~1996년 6월: (주)정진전자 연구소장, 1996년 7월~1998년 2월: (주)엠티아이 연구소장, 1999년~현재: (주)투비텔레콤 연구소장, <주관심 분야: RF 회로설계, 무선통신, 초광대역 통신, GPS, ITS 등>

가 민 호

1967년 4월 1일생, 1989년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사), 1991년 8월 연세대학교 전자공학과 (공학석사), 1997년 2월 모스크바 에너지공과대학, Dept. of Radio-Engineering (공학박사), 1997년 5월~2000년 6월: 국방과학연구소 (선임연구원), 1997년 9월~1999년 2월: 영국 Matra Marconi Space (System Engineer), 2000년 7월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 BK21 연구교수, <주관심 분야: 전파시스템, 초광대역 시스템 및 신호처리 등>

박 민 용

현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수