

Antipodal 초광대역 통신 시스템의 변·복조기 설계

이정석* · 김유창** · 김원후*
*한국항공대학교 항공전자공학과
**유니모 테크놀로지
e-mail:createlee@hanmail.net

Design of Pulse Transceiver for Antipodal Ultra Wideband System

Jung Suk Lee *, Yoo Chang Kim**, and Won Hoo Kim*
*Dept of Avionic, Han-Kook Aviation University
**UNIMO Technology Co., Ltd.

요약

한정된 주파수 문제를 해결하기 위해 제안된 초광대역 통신 시스템은 전 주파수 대역에 걸쳐 스펙트럼이 마치 지 대역 잡음과 유사한 형태로 존재하여 다 통신 시스템에 간섭을 주지 않고 고속의 통신이 가능하며, 반송파를 사용하지 않기 때문에 송·수신기의 소비 전력과 그 구조를 간략화 시킬 수 있다. 그러나 기존의 펄스 위치 방식(Pulse Positioning Modulation : PPM)은 주파수 스펙트럼 상에 불연속 전력 스펙트럼 성분이 존재하여 시스템의 효율을 저하된다. 본 논문에서는 불연속 전력 스펙트럼 성분이 발생하지 않고, 유클리드 거리가 최대가 될 수 있는 Antipodal 신호를 제안한다. 또한, 고주파 시뮬레이터인 Agilent 사의 Advanced Design System을 사용하여 Antipodal 신호를 이용한 변·복조기를 설계하여 구현 및 적용 가능성을 보였다.

I. 서론

현재 무선 통신 분야에서 한정된 주파수 자원에 대한 사용 효율성을 극대화하기 위한 세계 각국의 노력에도 불구하고, 주파수 자원에 대한 문제는 매우 심각하다. 이를 해결하기 위해 기존의 통신 시스템과 주파수 스펙트럼을 공유하여 사용함으로써 주파수 자원을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있는 초광대역(Ultra Wideband : UWB) 통신 방식이 등장하였다.

초광대역 통신 방식은 연속적인 RF 반송파를 사용하는 기존의 무선 통신 방식과 달리 정보 신호를 전송하기 위해 폭이 매우 좁은 단일 주기(Monocycle) 형태의 펄스를 이용한다. 이 신호는 0 Hz ~ 수 GHz에 이르는 초광대역 주파수 스펙트럼 특성을 갖게 되며, 마치 가저대역 잡음과 같이 존재하여 타 통신 시스템에 간섭을 주지 않고 통신이 가능하고 대역폭 또한 광대역으로 취할 수 있기 때문에 전송속도에 있어서도 기존 통신 시스템에 비해 유리하다. 그리고 기존 시스템에서 필수적으로 사용되었던 반송파를 사용하지 않으므로 송·수신기의 소비 전력을 현격하게 줄일 수 있으며, 기본적으로 헤테로다인 방식을 사용하지 않기 때문에 송·수신기를 간략화 시킬 수 있다. 그러나 전송 주파수 대역이 넓어질수록, 주파수 대역에 따른 신호 대 잡음비(Signal to Noise : SNR)가 감소하게 되어 SNR을 향상시키기 위해 한 정보 신호에 대해 여러 개 (N_s 개)의 펄스를 규칙적인 간격으로 전송하여 통신에 필요한 평균 전력 레벨을 유지한다. 여기서 규칙적인 간격은 펄스 반복 시간(Pulse Repetition Time) 또는 펄스 반복율

(Pulse Repetition Rate)이라 한다[1],[2].

현재의 초광대역 통신 방식에 대한 대부분의 연구는 펄스의 시간 위치를 변화시켜 정보 신호를 변조하는 펄스 위치 변조(Pulse Position Modulation : PPM) 방식이다. 이는 기본 펄스의 시간 위치보다 빠르거나 느리게 펄스의 시간 위치를 정하여 정보 신호를 변조하는 방식이다. 이 방식에 의한 초광대역 신호의 전력 스펙트럼 밀도는 연속 성분 이외에 불연속 성분도 존재하게 된다. 이 때 불연속 성분을 억압시키지 않는다면, 전체 송신 전력을 감소시켜 시스템의 효율이 저하된다[3].

이에 본 논문에서는 시스템의 성능을 향상시키고자, 정보 신호에 따라 (+), (-) 신호를 갖는 Antipodal 방식을 제안한다. 이 방식은 PPM 방식에 비해 정보 신호 사이의 유클리드 거리가 멀고 정보 신호의 평균값은 0, 상관값은 -1 또는 0이 될 뿐만 아니라, PPM보다 2배의 심벌을 구성할 수 있어 오류확률, 전송속도 면에서 유리하며, PPM 방식에서 필연적으로 발생한 불연속 성분이 제거되기 때문에 스펙트럼 억압도가 향상된다[4].

그러므로 본 논문은 위에서 언급한 Antipodal 방식의 장점을 가지면서 펄스의 폭이 좁고 펄스 반복 시간이 빠른 펄스를 발생시킬 수 있는 펄스 변조기 및 복조기를 고 주파 전용 시뮬레이터인 ADS를 사용하여 설계하였다.

II. PPM 방식과 Antipodal 방식의 초광대역 신호

일반적으로 초광대역 통신 방식의 신호는 정보 신호에 대해 N_s 개의 단일 주기 형태의 펄스를 이용한다. 이는 시

간 천이된 펄스의 합으로 나타낼 수 있다. 만약 k번째 펄스가 균일한 시간 간격($t=kT$)으로 발생하고 M진 신호로 구성된다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N_s-1} a_k \delta(t-nT-kT) \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 초광대역 신호, $p(t)$ 는 기본 펄스, a_k 와 T_s 는 각각의 펄스 진폭 및 펄스 반복 시간이다.

먼저 PPM 방식을 살펴보면, PPM 방식은 정보 신호를 변조하기 위해 기본 펄스의 시간 위치보다 빠르거나 느리게 펄스의 시간 위치를 정한다. 다시 말하면, 펄스의 시간 간격이 일정한 것이 아니라 "1" 또는 "0" 비트의 정보 신호에 따라 시간 간격이 변하게 된다. 그림 1은 PPM 방식에서 SNR을 향상시키기 위해 정보 신호를 N_s 개의 규칙적인 간격으로 펄스를 구성한 것으로 "1" 비트일 때, 기본 펄스의 시간 위치와 동일하고 "0" 비트일 때, 기본 펄스의 시간 위치보다 빠르게 위치시켜 구성한 것이다[1]. Antipodal 방식은 PPM 방식과 달리 정보 신호에 따라 펄스의 진폭을 (+), (-)로 변화시키는 것이다. 그림 2는 "1" 비트일 때, (+) 펄스로 "0" 비트일 때, (-) 펄스로 구성한 것이다[4].

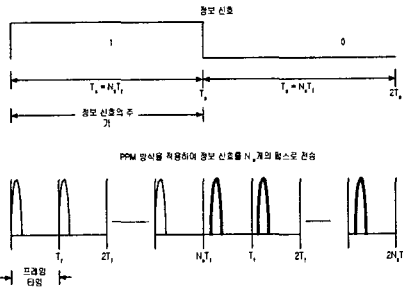


그림 1 PPM 방식에서 펄스의 구성

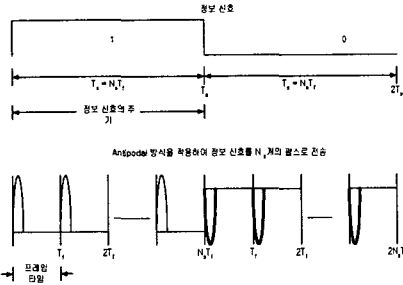


그림 2 Antipodal 방식에서 펄스의 구성

III. Antipodal 펄스 변조기

본 논문은 펄스의 폭이 Insec 이하이고 펄스 반복 시간은 10nsec(100MHz) 이상의 펄스를 발생시킬 수 있는 펄스 변조기를 구현하고자 한다. 그림 3과 그림 4는 본 논문에서 제안한 Antipodal 펄스 변조기의 회로이다. 펄스 변조기는 NPN 및 PNP 광대역 트랜지스터와 그의 콜렉터단에 충·방전을 위해 저항과 커패시터를 연결한 회로로 구성된다. 그림 3은 NPN 광대역 트랜지스터에 의한 (-) 펄스를 발생시키는 회로이다. 그림 3에서 정보 신호는 펄스 반복 시간 T_s 인 N_s 개의 구형파(Square Wave)로 구성되며, 이 구형파는 NPN 광대역 트랜지스터의 베이스

입력 단에 (+) 트리거(Trigger) 신호로써 입력된다.

(+) 트리거 신호가 NPN 광대역 트랜지스터의 베이스 입력 단에 인가되기 전, NPN 광대역 트랜지스터의 콜렉터의 커패시터 C_o 에 전압 V_{cc} 가 충전된다. NPN 광대역 트랜지스터의 베이스 입력 단에 (+) 트리거 신호가 인가되면, 입력 신호의 상승 구간(Leading Edge)에서 커패시터 C_o 에 충전되어 있던 전압 V_{cc} 는 출력 단의 저항 R_o 을 통해 방전하게 된다. 이 때, NPN 광대역 트랜지스터의 동작 특성에 의해 출력 단의 저항 R_o 의 양단에 (-) 펄스가 발생한다. 이는 NPN 광대역 트랜지스터의 스위칭 시간과 애벌런치(Avalanche) 특성을 이용한 것이다. 방전한 후, NPN 광대역 트랜지스터의 특성과 커패시터 C_o 와 저항 R_o 의 관계에 의해 다시 충전된다.

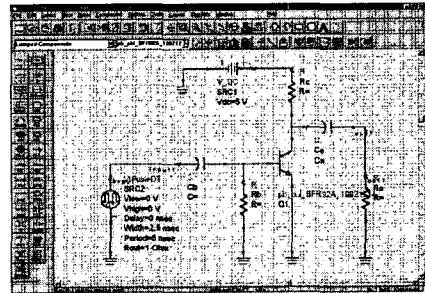


그림 3 (-) 펄스 변조기

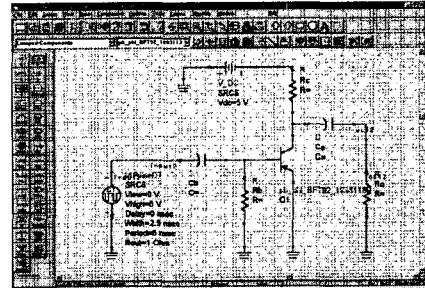


그림 4 (+) 펄스 변조기

또한, 그림 4의 PNP 광대역 트랜지스터를 이용한 (+) 펄스를 발생하기 위한 회로는 그림 3의 NPN 광대역 트랜지스터를 이용한 방법과 동일하게 동작한다. PNP 광대역 트랜지스터의 베이스 입력 단에 (-) 트리거 신호가 인가되면, PNP 광대역 트랜지스터의 동작 특성에 의해 출력 단의 저항 R_o 의 양단에 (+) 펄스가 발생하는 것이 다를 뿐이다.

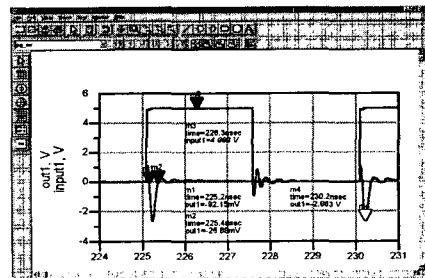


그림 5 (-) 펄스 변조기의 입출력 파형

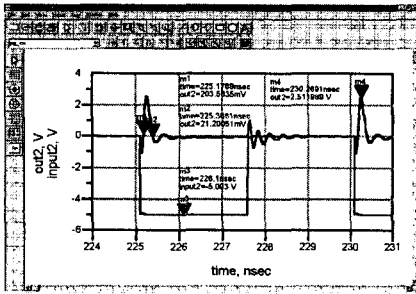


그림 6 (+) 펄스 변조기의 입출력 파형

그림 5와 그림 6은 (-), (+) 펄스 변조기의 입출력 파형을 나타낸 것이다. (-) 펄스 변조기의 입력 구형파(Input1)의 펄스 반복 시간 T_p 는 5nsec(200MHz)이고 진폭은 5V일 때, 출력(Output)은 펄스 진폭 약 -2.663V, 펄스 폭은 약 0.205nsec으로 나타났고, (+) 펄스 변조기의 입력 구형파(Input2)의 펄스 반복 시간이 (-) 펄스 변조기와 동일할 때, 출력(Output)은 펄스 진폭 약 +2.510V, 펄스 폭은 약 0.203nsec으로 나타났다. 한편 각각의 (-), (+) 펄스에 대한 전력 스펙트럼은 그림 7과 그림 8과 같다. 각각의 출력 전력의 피크값은 -11.108dBm, -9.980dBm으로 나타났다.

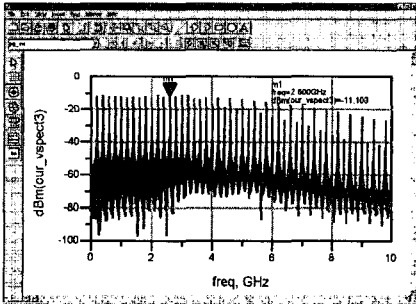


그림 7 (-) 펄스 변조기의 전력 스펙트럼

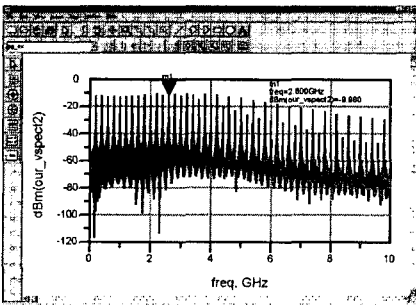


그림 8 (+) 펄스 변조기의 전력 스펙트럼

다음 표는 각각의 펄스 변조기의 출력을 비교한 표이다.
표 1 (±) 펄스 변조기의 출력 비교

	(-) 펄스	(+) 펄스	단위
펄스 진폭	-2.663	+2.510	V
펄스 폭	0.205	0.203	nsec
출력 전력 (Peak)	-11.108	-9.980	dBm

IV. Antipodal 펄스 복조기

그림 9와 그림 10은 Antipodal 방식의 (-), (+) 펄스 복조기의 회로이며, 변조기와 마찬가지로 NPN 및 PNP 광대역 트랜지스터로 구성된다. 그림 9는 PNP 광대역 트랜지스터로 구성된 (-) 펄스 복조기이다. 그림에서 NPN 광대역 트랜지스터로 구성된 펄스 변조기에 의해 (-) 펄스(In_minus)가 입력되었을 때, (-) 펄스(Out_minus)를 검출하는 회로이다. 그림 10은 NPN 광대역 트랜지스터로 구성된 (+) 펄스 복조기이다. PNP 광대역 트랜지스터로 구성된 펄스 변조기에 의한 (+) 펄스(In_plus)가 입력되었을 때, (+) 펄스(Out_plus)를 검출한다.

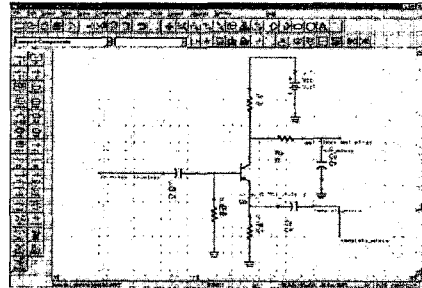


그림 9 (-) 펄스 복조기

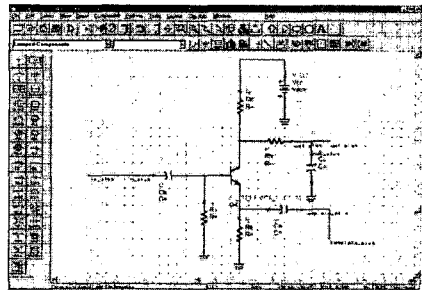


그림 10 (+) 펄스 복조기

그림 11과 그림 12는 각각의 (-), (+) 펄스 복조기의 입출력 파형을 나타낸 것이다.

그림 11에서 볼 수 있듯이 (-) 펄스 복조기는 m1로 표시된 -2.2V의 (-) 펄스(In_minus)가 입력되었을 때, m2로 표시된 약 -2.0V의 (-) 펄스(Out_minus)가 출력되며, 그림 12의 (+) 펄스 복조기는 m1로 표시된 +2.17V의 (+) 펄스(In_plus)가 입력되었을 때, m2로 표시된 약 +2.1V의 (+) 펄스(Out_plus)가 출력된다. 그림 11과 그림 12에서 Template_plus, Template_minus 펄스는 수신된 (-), (+) 펄스를 검출하기 위해 복조기 단에서 발생된 펄스로서, 이 신호와 수신 신호를 상관(Correlation)시켜 펄스를 검출한다. 그림 11과 그림 12의 수신된 (-), (+) 펄스와 Template_plus, Template_minus 펄스는 놓기 되었다고 가정한다.

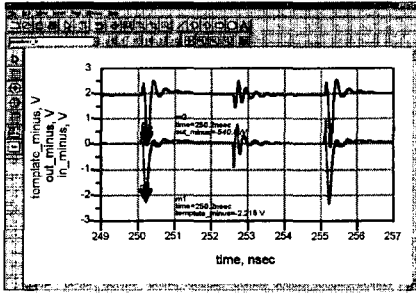


그림 11 (-) 펄스 복조기의 입출력 파형

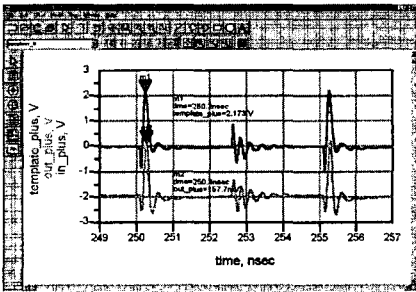


그림 12 (+) 펄스 복조기의 입출력 파형

다음은 (-), (+) 각각의 펄스 복조기의 입출력을 나타낸 표이다.

표 2 (±) 펄스 복조기의 입출력 비교

	(-) 펄스 복조기	(+) 펄스 복조기	단위
펄스 입력	-2.215	+2.173	V
펄스 출력	-2.0	+2.1	V

V. 결론

한정된 주파수 문제를 해결하기 위해 제안된 초광대역 통신 시스템은 스펙트럼이 마치 기저 대역 잡음과 유사한 형태로 존재하여 타 통신 시스템에 간섭을 주지 않고 고속의 통신이 가능하며, 반송파를 사용하지 않기 때문에 송·수신기의 소비 전력과 그 구조를 간략화 시킬 수 있다. 그러나 펄스 위치 방식은 주파수 스펙트럼 상에 불연속 전력 스펙트럼 성분이 존재하여 시스템의 효율이 저하될 수 있다. 그러나, 본 논문에서 제안하는 Antipodal 방법은 PPM 방식에 비해 정보 신호 사이의 유클리드 거리가 멀고 정보 신호의 평균값은 0, 상관값은 -1 또는 0이 될 뿐만 아니라, PPM보다 2배의 심벌을 구성할 수 있어 오류확률, 전송속도 면에서 유리하며, PPM 방식에서 필연적으로 발생한 불연속 성분이 제거되기 때문에 스펙트럼 억압도가 향상된다.

이에 본 논문은 Antipodal 방식의 펄스 변조기 및 복조기를 실제 제작하기 전에 폭이 좁고 고속의 펄스 반복 시간을 갖는 펄스의 발생과 이러한 펄스의 수신 가능성을 알아보기 위해 고주파 전용 시뮬레이터인 Agilent의 Advanced Design System (ADS)을 이용하여 타당성을 검증하여 구현 및 적용 가능성을 보였다. 고주파 전용 시

뮬레이터에 의한 (-), (+) 펄스 변조기는 각각 -2.663V, +2.510이며, 폭은 200psec이고 펄스 반복 시간은 100MHz 이상의 고속 펄스 변조기를 설계할 수 있으며, 또한 (-), (+) 펄스를 검출하기 위한 펄스 복조기는 펄스 변조기에 의해 발생된 펄스와 동일한 펄스 폭을 검출할 수 있음을 알았다. 이러한 변·복조기는 낮은 가격으로 고속의 전송 속도가 가능하고, 낮은 송신 전력을 갖는 무선 통신 시스템에 적용 가능할 것으로 생각된다.

참고 문헌

[1] P. Witthinton, "Impulse Radio Overview", Time Domain Inc., 1998.
 [2] L. W. Fullerton, "Reopening the electromagnetic spectrum with ultra wide band radio for aerospace", IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2000, vol. 1, pp. 201-210, 2000.
 [3] M. L. Welborn, "System Considerations for Ultra-Wideband Wireless Networks", IEEE Radio and Wireless Conference, 2001., pp. 5-8, 2001.
 [4] 이정석, 김종한, 김유창, 김정선, 김원후, "초광대역 통신 시스템의 전력 스펙트럼 밀도 분석", 대한전자 공학회, 제38권, 제10호, pp. 34-40, 2001. 10.
 [5] J. T. Conroy, J. L. LoCierro, D. R. Ucci, "Communication Techniques Using Monopulse Waveforms", MILCOM, vol.2, pp. 1181-1185, 1999.
 [6] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Wireless Multiple-Access Using SS Time-Hopping and Block Waveform Pulse Positioning Modulation, Part I : Signal Design", Proc. IEEE ISITA Conference, Oct. 1998.
 [7] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Wireless Multiple-Access Using SS Time-Hopping and Block Waveform Pulse Positioning Modulation, Part II : System Performance", Proc. IEEE ISITA Conference, Oct. 1998.
 [8] F. Ramirez-Mireles, R. A. Scholtz, "Multiple-Access with Time Hopping and Block Waveform PPM Modulation", Proc. IEEE ICC Conference. pp. 775-779, June 1998
 [9] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time Hopping Impulse Modulation", Proc. IEEE MILCOM, pp. 447-450, Oct. 1993.
 [10] M. Z. Win, R. A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communication", IEEE Trans. on Comm. vol. 48, No. 4, pp. 679-691, Apr. 2000.