

주파수 영역 기반 TR-UWB 수신기

정회원 우 선 결*, 학생회원 최 호 선*, 정회원 양 훈 기*,
정회원 김 영 수**, 육 종 관***, 강 봉 순****

Frequency Domain based TR-UWB Receiver

Seonkeol Woo* *Regular Member*, Hoseon Choi* *Student Member*,
Hoongee Yang*, YoungSoo Kim**, JongGwan Yook***, Bongsoon Kang**** *Regular Members*

요 약

본 논문은 UWB 신호의 초광대역 특성으로 인해서 시간영역에서 디지털적 구현이 어려운 TR-UWB 시스템을 주파수영역에서 구현할 수 있는 방법을 제시한다. 한 시스템은 Parseval 정리로부터 유도되었으며 그로 인해 시간영역에서 구현되는 TR-UWB 시스템과 동일한 성능을 갖는다. 또한 주파수 성분들의 복소수 특성을 이용해서 성능을 보다 개선할 수 있는 새로운 구조의 TR-UWB 시스템을 제시한다. 마지막으로 시뮬레이션에 의해서 시간영역에서 구현될 수 있는 TR-UWB 시스템과 주파수영역 시스템들 간의 성능을 비교한다.

Key Words : UWB, Frequency domain, TR, Auto-correlation

ABSTRACT

Due to the ultrawide band property of an UWB pulse, it is difficult to digitally implement a TR-UWB system in time domain. In order to overcome this problem, we propose two types of TR-UWB systems which can be implemented in frequency-domain. One of them is derived from the Parseval's theorem, which results in its system performance equitable to that of time-domain based system. In addition, we propose another receiver structure which can improve the performance by exploiting the complex nature of the frequency components. Finally, through simulations, we compare the performances of two receiver structures with the time domain counterpart.

I. 서 론

무선통신시스템에서 다중경로채널은 페이딩의 원인이 되고 수신기에서는 등화기를 이용하여 채널추정을 하여 페이딩을 보상한다. UWB와 같이 광대역의 대역폭을 가지는 신호의 경우 주파수선택적페이딩(frequency selective fading)을 겪게 되고 펄스형태인 UWB 시스템은 채널의 페이딩특성을 알아내

기 위한 채널추정블록이 필요한데 주파수 선택적 페이딩 채널은 채널추정이 어렵다.^{[1][2]} 수신기에서 정확한 채널의 페이딩특성과 동기특성을 알고 있을 때 수신기에서는 채널정보와 동기정보를 가지고 있는 템플릿 신호를 발생시켜 데이터를 복원하는데 이러한 수신기를 LGR(Locally Generated Reference)시스템이라 한다. 하지만 UWB의 경우 채널추정이 어렵기 때문에 송신기에서 채널추정을 위한 템

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (IITA-2006-C1090-0603-0038) 및 광운대학교 2005년 교내연구비의 연구결과로 수행되었음

* 광운대학교 전자공학과 (inosrjfl@kw.ac.kr, 2saint@gmail.com, hgyang@kw.ac.kr)

** 경희대학교 전자통신공학과 (yskim@khu.ac.kr), *** 연세대학교 전기전자공학부 (jgyook@yonsei.ac.kr)

**** 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 (boonsoon@dau.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-12-529, 접수일자 : 2006년 12월 13일, 최종논문접수일자 : 2007년 3월 27일

플릿 신호를 데이터신호와 함께 전송하여 수신기에서 이를 이용하여 데이터를 복원하는 TR(Transmitted Reference)방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[3][4]}

TR-UWB 시스템은 수신기에서 채널추정블럭을 가지고 있지 않고 대신 송신시에 데이터 변조된 데이터신호와 함께 템플릿신호도 전송하는 시스템이다. 이때 템플릿으로 이용되는 신호를 기준신호라 한다. 데이터신호는 기준신호와 일정한 시간간격을 유지하며 전송 된다. 각 신호가 채널을 통과할 때 동일한 채널 특성을 가지도록 신호간 시간간격을 결정하면 수신기에서는 신호간 시간간격의 정보만을 이용하여 채널추정을 하고 간단한 시간지연블럭을 이용한 상관기(correlator)를 이용하여 데이터를 복원할 수 있다. 수신기구조를 간단히 할 수 있는 장점을 가진 반면 템플릿신호에 더해지는 잡음성분은 수신기를 통과하면서 추가적인 성능저하의 요인으로 작용을 하고 추가적인 신호의 전송은 에너지 효율면이나 대역폭등의 단점을 지니고 있다.^{[5][6][7][8]} 이때 에너지의 효율성을 개선하는 시스템으로 TR-UWB 시스템에 Differential 기법을 적용한 DTR(Differential TR)-UWB 시스템 등이 연구되고 있고 TR-UWB 시스템의 장점을 유지하면서 단점들을 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[9]

일반적으로 시간 영역에서 디지털시스템의 구현을 위해서는 신호대역폭의 2배 이상으로 샘플링을 취해야하는 Nyquist 샘플링조건을 만족해야 한다.^[10] 매우 넓은 대역폭을 사용하는 UWB 시스템을 시간 영역에서 샘플링 할 경우 요구되는 초고속의 샘플러는 큰 부담으로 작용한다. 이러한 초고속의 샘플러 구현에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 특히 주파수영역에서의 샘플링에 관한 연구가 진행되고 있다. 시간 영역 신호의 주파수 변환은 특정주파수 성분의 단위직교함수와 시간신호간 내적을 이용한 신호전개과정을 기반으로 얻을 수 있다. 시간신호의 특정 주파수성분은 시간신호에 특정주파수성분의 단위직교함수와 내적을 취함으로써 얻을 수 있다.^[11-14]

본 논문에서는 채널추정이 간단한 장점을 지닌 TR-UWB 시스템의 디지털 구현을 주파수영역에서 할 수 있는 두 가지 형태의 TR-UWB 수신기구조를 제안하고 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시스템모델로서 TR-UWB 시스템을 설명하고 3장에서 주파수영역 수신기구조를 설명하고 4장에서는 시뮬레이션 통하여 주파수영역에서 구현된 수신기의 동작과 성능을 분석하고 시간영역

TR-UWB 시스템과 비교하며 마지막으로 결론을 맺는다.

II. TR UWB systems

TR-UWB 시스템은 데이터가 변조되는 펄스 $g_D(t)$ 에 채널추정을 위한 기준펄스 $g_R(t)$ 를 같이 전송하는 시스템으로 하나의 데이터비트를 전송하기 위해서 다음과 같은 송신신호를 전송한다.

$$s(t) = \sum_i \{g_R(t - iT_T) + g_D(t - iT_T)\} \quad (1)$$

여기서 $g_D(t) = d_i g_R(t - D)$ 로 표현가능하며 D 는 기준펄스와 데이터펄스의 펄스간 간격이고 d_i 는 $\{+1, -1\}$ 의 값을 갖는 데이터비트이다(그림 1 참조). 송신신호 $s(t)$ 에 대한 수신신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t - \tau)h(\tau)d\tau + n(t) \quad (2)$$

여기서 $h(t)$ 는 무선구간의 채널특성 및 수신부의 필터를 포함하는 채널임펄스 응답함수이며 $n(t)$ 는 평균이 '0'이고 PSD(Power Spectral Density) 가 $\frac{N_0}{2}$ 인 WGN(White Gaussian Noise)이다.

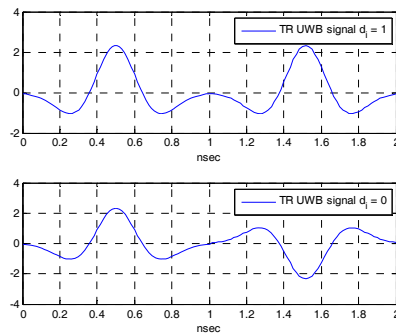


그림 1. TR-UWB 송신신호
Fig. 1. TR-UWB pulse

수신기의 필터가 이상적인 필터특성을 갖는다면 필터를 통과한 잡음 $n(t)$ 의 자기상관함수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{n_n}(\tau) = BN_0 \text{sinc}(B\tau) \quad (3)$$

여기서 B 는 이상적인 필터의 통과대역폭이다. 시간

영역에서 TR-UWB 수신기는 기준펄스와 데이터펄스간의 상관(correlation) 특성을 이용하여 데이터를 복원하는 수신기로 그림 2에서 그 블록도를 나타내었다. 기준펄스와 데이터펄스간 간격이내에는 채널의 변화가 없기 때문에 각각의 펄스는 동일한 채널 특성을 가지게 된다. 따라서 수신기에서는 펄스간 간격에 관한 정보만 알고 있다면 간단한 상관 연산을 이용하여 채널추정 및 데이터복원이 가능하다. 시간영역 TR 수신기의 상관기 출력 z 는 다음과 같다.

$$z = \int_{\langle T \rangle} r(t)r(t-D)dt \quad (4)$$

$$= m_Z + N_1 + N_2 + N_3$$

여기서 T 는 펄스에너지가 존재하는 적분구간이며 m_Z 는 신호성분이고 N_1 , N_2 그리고 N_3 는 잡음성분으로 다음과 같이 정의 된다.

$$m_Z = \int_{\langle T \rangle} g_D(t)g_R(t-D)dt \quad (5.1)$$

$$N_1 = \int_{\langle T \rangle} g_D(t)n_R(t-D)dt \quad (5.2)$$

$$N_2 = \int_{\langle T \rangle} n_D(t)g_R(t-D)dt \quad (5.3)$$

$$N_3 = \int_{\langle T \rangle} n_D(t)n_R(t-D)dt \quad (5.4)$$

N_3 는 잡음간 곱성분으로 신호대잡음비가 높을 때 무시할 수 있을 만큼 작지만 UWB와 같이 낮은 신호대잡음비로 동작하는 시스템의 경우 시스템 성능에 영향을 미치게 된다.

III. 주파수영역 TR-UWB 수신기

식 (4)에서 신호성분만 있는 경우의 상관기 출력 z 는 다음과 같다.

$$z = \int_{\langle T \rangle} g_R(t-D)g_D(t)dt \quad (6)$$

유도과정의 편의를 위해서 D 만큼 지연된 기준신호를 $g_S(t)$ 라 정의한다. 즉 $g_S(t) = g_R(t-D)$ 이라하면 $g_S(t)$ 와 $g_D(t)$ 는 동일한 채널을 통과하기 때문에 잡음이 더해지지 않는다면 서로 같다. 식 (6)에 Parseval의 정리를 적용하면 z 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = \int_{\langle T \rangle} g_S(t)g_D(t)dt \quad (7)$$

$$= \int_{\langle T \rangle} g_S(t)g_D(t)e^{-j2\pi ft}dt|_{f=0}$$

$$= G_S(f)^*G_D(f)|_{f=0}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} G_S(\lambda)G_D^*(f-\lambda)d\lambda|_{f=0}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} G_S(\lambda)G_D^*(\lambda)d\lambda$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} G_S(f)G_D^*(f)df$$

$g_D(t) = d_i g_S(t)$ 이므로 z 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = d_i \int_{-\infty}^{\infty} |G_S(f)|^2 df \quad (8)$$

즉, 잡음이 없는 경우 z 값은 실수 값을 가진다. 식 (7)을 디지털적으로 구현하기 위해서는 이산(discrete) 위치의 값, 즉 $f = f_n$ ($n=0, \dots, N-1$)에서의 주파수 성분 $G_D(f_n)$ 과 $G_S(f_n)$ 를 구해야 한다. $G_D(f_n)$ 과 $G_S(f_n)$ 은 $g_D(t)$ 과 $g_S(t)$ 와 다음의 관계가 있다.

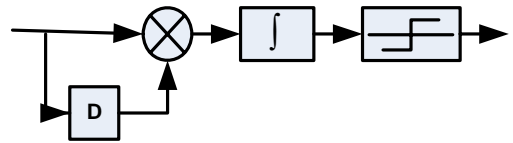


그림 2. 시간영역 TR-UWB 수신기
Fig. 2. Time-domain based TR-UWB receiver

$$G_D(f_n) = \int_0^T g_D(t)e^{-j2\pi f_n t}dt \quad (9)$$

$$G_S(f_n) = \int_0^T g_S(t)e^{-j2\pi f_n t}dt \quad (10)$$

그러므로 그림 3에서 제시한 주파수변환블록을 이용하여 $G_D(f_n)$ 과 $G_S(f_n)$ 을 구할 수 있다. 이때 주파수간격 $\Delta f = f_n - f_{n-1}$ 은 적분구간과 역수관계 즉 $\Delta f = \frac{1}{T_c}$ 의 관계가 있다. 즉, 실제 수신신호에서는 잡음성분도 포함되므로 D 만큼 지연된 기준신호의 $f = f_n$ 에서의 주파수성분 $r_{S,n}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{S,n} = a_{S,n} + jb_{S,n} + p_{S,n} + jq_{S,n} \quad (11)$$

여기서 $G_S(f_n) = a_{S,n} + jb_{S,n}$ 이며 $p_{S,n} + jq_{S,n}$ 은 기준신호에 포함된 잡음신호의 주파수성분을 나타낸다. 마찬가지로 데이터신호의 $f = f_n$ 에서의 주파수 성분 $r_{D,n}$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{D,n} = a_{D,n} + jb_{D,n} + p_{D,n} + jq_{D,n} \quad (12)$$

식 (11)과 (12)를 이용해서 식 (8)을 다시 쓰면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = \sum_n r_{S,n} r_{D,n}^* \quad (13)$$

$$= \sum_n \left[\begin{matrix} a_{S,n} a_{D,n} + b_{S,n} b_{D,n} \\ + j \{ b_{S,n} a_{D,n} - a_{S,n} b_{D,n} \} \end{matrix} \right] + w_n$$

여기서 w_n 은 $f = f_n$ 주파수성분의 잡음성분이다. 즉 D 만큼 지연된 기준펄스의 각 주파수성분 $r_{S,n}$ 과 데이터펄스의 각주파수성분 $r_{D,n}$ 을 주파수성분별로 곱한 후 각 성분들을 더해서 z 를 구할 수 있다. 식 (8)에 의해서 상관기 출력 z 의 실수부에만 신호성분이 존재하므로 판정규칙(Decision rule)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Re\{z\} = \sum_n \{ a_{S,n} a_{D,n} + b_{S,n} b_{D,n} \} + Re\{w_n\} \quad (14)$$

$$\tilde{d}_i = \begin{cases} 1 & \text{for } Re\{z\} > 0 \\ -1 & \text{for } Re\{z\} < 0 \end{cases} \quad (15)$$

그림 4는 Parseval 정리에 의해 시간영역에서의 TR-UWB 시스템을 주파수 영역에서 구현한 것이다 (이후 시스템 A라 명명). 그러므로 이론적으로 시간영역에서의 TR-UWB 시스템과 동일한 성능을 나타낼 수 있으나 판정과정은 실수영역에서만 이루어지므로 주파수성분의 복소수 성질을 충분히 활용하지는 못하였다. 그림 5는 그림 4에 제시된 시스템 A의 문제점을 개선할 수 있는 새로운 시스템(이후 시스템 B라 명명)으로 주파수성분에 대해서 상관을 취하기 전에 실수부와 허수부로 구분한 후 별도로 상관을 취하였다. 상관 결과는 실수부와 허수부로 구분해서 더하고 그림 4의 구조와는 달리 두 성분이 합산 되지는 않는다. 실수부와 허수부의 상관기 출력을 x_1 과 y_1 라 할 때 각각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1 = \sum_n Re\{r_{S,n}\} Re\{r_{D,n}\} \quad (16)$$

$$y_1 = \sum_n Im\{r_{S,n}\} Im\{r_{D,n}\}$$

잡음이 없는 경우에 계산된 x_1 과 y_1 은 복소평면상의 한 좌표에 대응되며 (x_1, y_1) 와 $(-x_1, -y_1)$ 은 각각 $d_i = 1$ 및 $d_i = -1$ 인 경우의 신호점(Message points)의 좌표이다. 이때의 신호점을 극좌표로 (r, θ) 와 $(r, \theta + \pi)$ 로 나타낼 수 있다. 이 경우 수신신호로부터 얻어진 z 의 판정규칙은 다음과 같다.

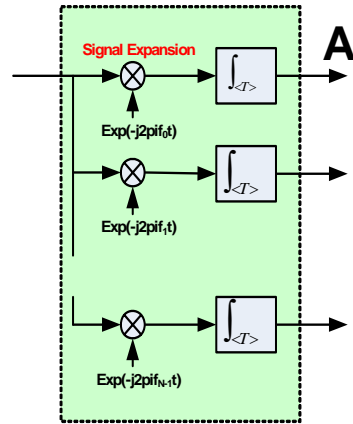


그림 3. 주파수변환블록
Fig. 3. Frequency conversion block

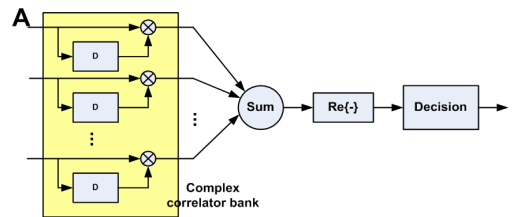


그림 4. 주파수영역 TR-UWB 시스템 (시스템 A)
Fig. 4. Frequency-domain based TR-UWB system (System A)

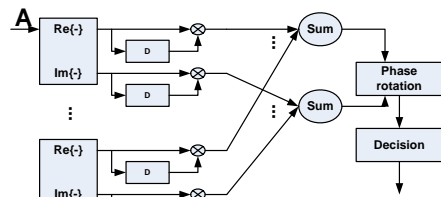


그림 5. 제안하는 주파수영역 TR-UWB 시스템 (시스템 B)
Fig. 5. Proposed Frequency-domain based TR-UWB system (System B)

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{for } \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \operatorname{Re}\{e^{j(\hat{\theta}-\theta)}\} > 0 \\ -1 & \text{for } \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \operatorname{Re}\{e^{j(\hat{\theta}-\theta)}\} < 0 \end{cases} \quad (17)$$

여기서 $\hat{\theta} = \tan^{-1} \frac{y_1}{x_1}$ 이다. 즉, 수신신호의 복소평면 상에서의 주파수성분 (x_1, y_1) 을 θ 만큼 회전시킨 후 얻어진 좌표 (x_2, y_2) 의 실수값 x_2 의 부호에 의해 d_i 값을 판정할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

그림 4와 그림 5에서 제시한 주파수영역 TR-UWB 수신기의 성능을 비교분석하기 위해 표 1의 파라미터를 이용해서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 1에서 보여준 시간영역 TR 신호를 그림 3의 주파수변조블록에 의하여 복소주파수 성분으로 분해하였으며 $d_i = -1$ 일 때 기준펄스(위)와 데이터펄스(아래)의 주파수 성분을 그림 6에서 나타내었다. 그림 7은 $d_i = -1$ 일때 기준신호와 데이터신호의 각 주파수 성분중에 임의로 뽑은 4 주파수 $f_0 \sim f_3$ 성분의 신호점을 나타내었다. $d_i = -1$ 일때는 기준신호와 데이터신호간 극성이 반대이므로 그림 7에서 처럼 각 성분간의 위상차가 180도 차이남을 확인할수 있다. 각 신호점들은 수신신호의 형태, 지연시간 그리고 잡음등의 다양한 요인에 의하여 벡터공간상에 위치한다. 수신신호의 지연에 따른 신호점의 위상변화를 그림 8에서 나타내었다. 그림 9와 그림 10에서 AWGN 환경에서 잡음에 의해 신호점을 중심으로 신호가 흩어진 정도를 나타내었다. 시스템 A는 실수 값을 택해서 판별을 하므로 잡음의 영향이 실수영역에 나타내게 되고 시스템 B에서 잡음의 영향은 실수성분과 허수성분이 좌표형태로 나타나게 된다. 각각의 방법을 이용한 수신기의 BER 성능과 시간 영역에서의 TR 수신기의 BER 성능을 그림 11에서 나타내었다. 그 결과 시간 영역에서의 TR 수신기 성능과 시스템 A의 성능은 동일하며 시스템 B의 성능은 더 우수하다. 이는 시스템 A는 Parseval 정리에 의하여 시간영역수신기의 주파수영역 수신기 구조이기 때문에 성능이 같고 시스템 B에서의 성능 향상의 원인은 신호의 주파수성분은 같지만 시스템 A와 B에 따라서 잡음의 영향이 적용되는 좌표가 다르기 때문일 것으로 예상된다. 가우시안 2차미분형 펄스의 경우 시스템 A와 시스템 B의 신호공간도상의 신호점은 같고 시스템 B에 의해 얻어지는 좌표의 각 $\theta = 0$ 이

된다. 이때 분산을 표 2에서 나타내었고 그 결과 시스템 A보다 시스템 B의 분산값이 작다. 동일한 신호점 값에 비해 분산이 작다는 것은 시스템의 성능이 더 우수한 것으로 그림 11에서 보이는 성능차이를 설명해주고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 주파수영역에서 동작을 하는 TR-UWB 시스템 수신기를 제안하고 분석하였다. 광대역의 대역폭을 가진 UWB의 경우 시간 영역에서 동작하는 디지털시스템 구현은 ADC의 제한으로 구현이 어렵지만 시간신호를 주파수신호로 변환을 하면 샘플단위로 데이터를 얻어낼 수 있기 때문에 디지털구현 측면에서 강점을 가진다. 인접한 두 펄스간의 상관 특성을 이용하여 데이터를 복원하는 시간영역에서 TR-UWB 수신기와 마찬가지로 주파수영역에서도 각각의 펄스의 주파수 성분 간 상관 특성을 이용하여 데이터를 복원할 수 있음을 유도하였다. 주파수영역에서 구현 가능한 두 가지 형태의 TR-UWB 시스템 구조를 비교 분석하고 시뮬레이션을 통해서 각각의 성능을 시간 영역 TR-UWB 시스템과 비교하였다. 신호전개과정으로 얻어지는 각각의 주파수성분의 크기는 UWB 펄스형태에 따라 정해지므로 주파수성분의 진폭을 효과적으로 이용함으로써 개선에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

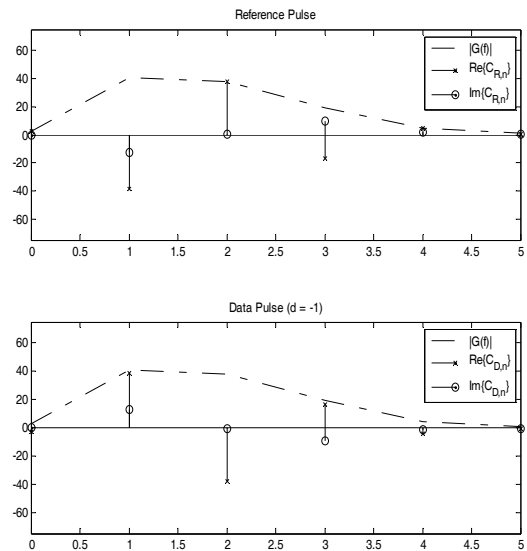


그림 6. 각 주파수별 복소주파수성분
Fig. 6. Complex frequency components

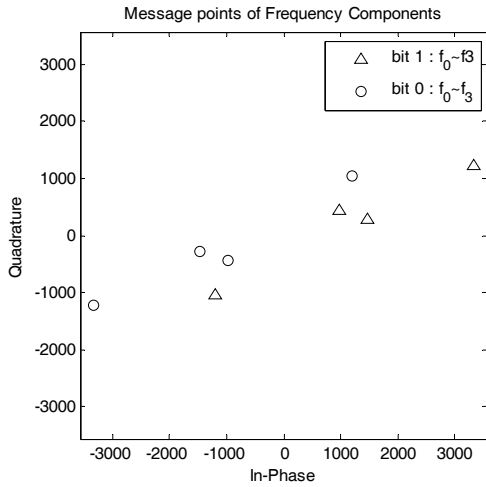


그림 7. 각 주파수별 신호점
 Fig. 7. Message points of frequency samples

표 1. 시뮬레이션 파라미터
 Table. 1. Simulation parameters

파라미터	값
펄스 대역폭	5GHz
필터 대역폭	5GHz
펄스형태	가우시안 2차미분형
펄스간격 D	1 nsec
주파수간격 Δf	1GHz
적분구간 T	1 nsec
주파수성분의 개수 N	6개 $(f_0 = 0GHz, f_1 = 1GHz,$ $f_2 = 2GHz, f_3 = 3GHz,$ $f_4 = 4GHz, f_5 = 5GHz)$

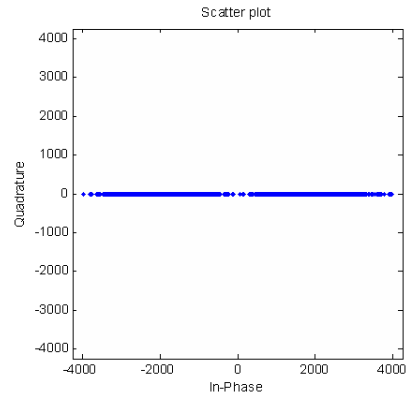


그림 9. 산점도 (시스템 A)
 Fig. 9. Scatter plot (System A)

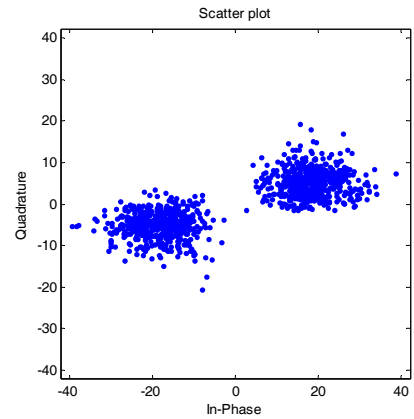


그림 10. 산점도 (시스템 B)
 Fig. 10. Scatter plot (System B)

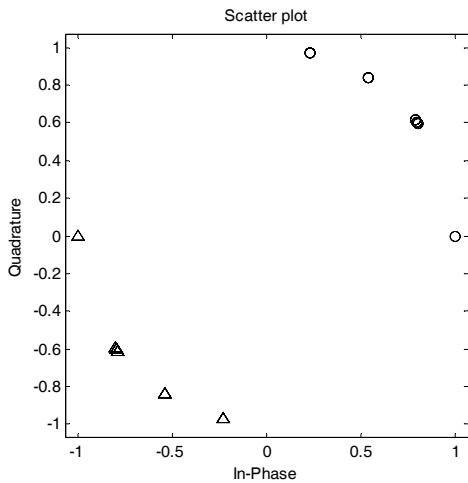


그림 8. 시간지연으로 인한 신호점 분포
 Fig. 8. Message points

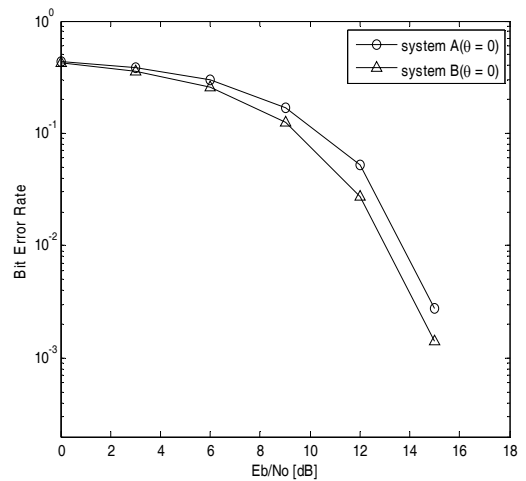


그림 11. BER 성능 ($\theta = 0^\circ$)
 Fig. 11. BER performance($\theta = 0^\circ$)

표 2. 시스템별 분산비교
Table. 2. Variance comparison between two systems

Eb/No (dB)	시스템 A의 분산	시스템 B의 분산
0	54.205487	38.264527
3	15.814025	11.619281
6	4.732557	3.670006
9	1.654723	1.410019
12	0.617289	0.551864
15	0.257946	0.241968
18	0.115818	0.111723

참 고 문 헌

[1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "On the robustness of ultra-wide bandwidth signals in dense multipath environments," *Communications Letters, IEEE*, Vol. 2, Feb 1998.

[2] Tony Q. S. Quek and M. Z. Win, "Analysis of UWB transmitted-reference communication systems in dense multipath channels," *Journal on Selected Areas in Commun.*, Vol. 23, No. 9, Sept. 2005.

[3] T. Q. S. Quek and M. Z. Win, "Ultrawide bandwidth transmitted-reference signaling," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 3409-3413, Jun. 2004.

[4] T. Q. S. Quek and M. Z. Win, "Performance analysis of ultrawide bandwidth transmitted-reference communications," in *Proc. IEEE Semiann. Veh. Technol. Conf.*, pp. 1285-1289, May 2004.

[5] R. Hoctor and H. Tomlinson, "Delay-hopped transmitted-reference RF communication," in *Proc. Conf. Ultra Wideband Systems and Technologies* Baltimore, MD, pp. 265-269, May 2002.

[6] H. Zhang and D. L. Goeckel, "Generalized transmitted-reference UWB systems," in *Proc. Conf. Ultra Wideband Systems and Technologies* Reston, VA, Nov. 2003, pp. 147-151.

[7] A. Rabbachin and I. Oppermann, "Comparison of UWB transmitted reference schemes," *IEEE Proc. Comm.* Vol. 153, No. 1, pp. 136-142, Feb. 2006.

[8] S. Gezici, F. Tufvesson and A. F. Molisch, "On the performance of transmitted-reference impulse radio," in *Proc. 2004 IEEE Global Commun. Conf.*, pp. 2874 - 2879, Dec. 2004.

[9] M. Ho, V. S. Somayazulu, J. Foerster, and S.

Roy, "A differential detector for an ultra-wideband communications system," in *IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1896-1900., Spring 2002.

[10] J. G. Proakis *Digital Communications*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 2001.

[11] S. Hoyos, B. M. Sadler and G. R. Arce "Monobit digital receivers for ultra-wideband communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, pp. 1337, Jul. 2005.

[12] S. Hoyos and B. M. Sadler "Ultra-wideband analog to digital conversion via signal expansion," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, pp. 1609, Sep. 2005.

[13] S. Hoyos and B. M. Sadler "Frequency-domain implementation of the transmitted-reference ultra-wideband receiver," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, Part 2, pp. 1745 - 1753 Jun. 2006.

[14] H.J. Lee, D.S. Ha, and H.S. Lee, "A Frequency-domain Approach for all-digital CMOS Ultra-wideband Receivers," in *Proc. of UWBST 2003, IEEE Conf. Ultra Wideband Systems and Technologies* Reston, VA, , pp. 86-90, Nov 2003.

우 선 결 (Seonkeol Woo)

정회원



2001년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 학사
2003년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사
2003년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정
<관심분야> UWB 시스템, mobile

channel model

최 호 선 (Hoseon Choi)

학생회원



2006년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
2006년 3월~현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
<관심분야> : UWB, RFID

양 훈 기 (Hoongee Yang)

정회원



1985년 : 연세대학교 전자공학과
학사
1987년 : SUNY at Buffalo ECE
석사
1992년 : SUNY at Buffalo ECE
박사
1993년 3월~현재 : 광운대학교 전

파공학과 교수

<관심분야> 무선통신시스템, UWB, RFID, 스펙트럼 공
학

김 영 수 (YoungSoo Kim)

정회원



1981년 2월 : 연세대학교 전자공
학과 학사
1983년 2월 : 연세대학교 전자공
학과 석사
1988년 12월 : 미국 Arizona State
University 전기 및 컴퓨터공학
과 박사

1992년 9월~현재 : 경희대학교 전자정보대학 전파통신
공학 교수

<관심분야> 4G, RFID, SDR

육 증 관 (JongGwan Yook)

정회원



1987년 : 연세대학교 전자공학과
학사
1989년 : 연세대학교 전자공학과
석사
1998년 : University of Michigan
전기전자공학과 박사
1997년 1월~1998년 10월 :

University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월 : Qualcomm Inc. Senior
Engineer

1999년 3월~2000년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공
학과 조교수

2000년 3월~2003년 8월 연세대학교 전기전자공학부 부
교수

2003년 8월~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교수

강 봉 순 (Bongssoon Kang)

정회원



1985년 : 연세대학교 전자공학과
공학사

1987년 : University of Pennsyl-
vania 전기공학과 석사

1990년 : Drexel University ECE
박사

1999년~현재 : 동아대학교 전기전
자컴퓨터 공학부 부교수