
복소 주파수 성분 처리를 통한 TR-UWB 시스템의 성능분석

장동헌* · 양훈기**

Performance Analysis for TR-UWB System Exploiting Complex Frequency-Components

Dongheon Jang* · Hoongee Yang**

본 연구결과물은 「2008 지식경제부 성장동력 산업」의 「유비쿼터스 홈 네트워크 범용 침입대응 시스템 개발사업」의 지원으로 수행되었음.

요 약

본 논문에서는 UWB 펄스 신호를 주파수 성분으로 분리해서 수 MHz 정도의 ADC로 디지털 구현이 가능한 새로운 구조의 TR-UWB 시스템의 성능을 수학적으로 분석한 후 기존 시스템과 이론적으로 비교한다. TR-UWB 신호의 주파수 변환 특성 및 복소수 성분들의 평균, 분산 값을 유도하여 이를 활용한 이론적인 SNR 계산을 통해 시스템 성능을 분석하고 SNR 비 관점에서 기존 시스템과의 성능을 비교한다. 모의 실험에서는 AWGN 환경과 IEEE 802.15.3a의 다중경로 채널 환경에서의 BER을 통해 제시한 TR-UWB 시스템의 성능이 기존 시스템보다 우수함을 보인다.

ABSTRACT

This paper, mathematically analyzes the performance of newly proposed TR-UWB system which the frequency components of a UWB pulse were processed so that the system could be implemented with ADCs of a few MHz sampling rate, and presents the comparison with an existing frequency-domain based TR-UWB system. The comparison is mainly based on the SNR ratio which depends on the mean and the variance of the frequency components. We also shows that the simulation results to support the theoretical analysis where the comparison is made under the IEEE 802.15.3a channel model as well as AWGN channel.

키워드

Transmitted-Reference UWB, Frequency component, Correlation, ADC

I. 서 론

초광대역 (ultra-wideband : UWB) 통신 시스템은 나노 초 단위의 짧은 펄스를 사용함으로써 초광대역 주파수

대역폭을 점유하여 통신하는 시스템으로써 다른 통신 시스템에 비해 높은 데이터 전송률과 고해상도의 거리 및 위치 인식이 가능하고, 반송파를 사용하지 않기 때문에 시스템의 아날로그 부분을 간소화할 수 있다[1][2][3].

* 광운대학교 전자공학과 석사과정

** 광운대학교 전자공학과 교수

UWB 시스템은 펄스를 사용하여 통신하기 때문에 데이터 복원을 위해 기준신호(reference signal)를 필요로 하게 되는데, 수신기에서 동기 및 채널 추정 정보를 바탕으로 데이터 복원을 위한 기준신호를 국부발진기에서 발생하게 된다. 하지만 UWB 펄스가 채널을 통과하면서 생기는 복잡한 다중경로 채널 환경으로 인해 전체 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 정보인 채널 추정과 동기 정보를 얻기 쉽지 않다. 복잡한 다중경로 채널로 인한 성능저하를 극복하기 위한 방식으로는 송신기에서 데이터 펄스 전송 이전에 채널추정을 위한 펄스열을 전송하고 이를 수신단에서 저장하고 이를 기준신호로 사용하여 데이터를 복원하는 SR (stored-reference) 시스템, 데이터 펄스와 다중경로 채널 정보를 위한 기준펄스를 하나의 심볼로 하여 통신하는 TR(transmitted-reference) 시스템이 있다. 특히, TR-UWB 방식은 수신시스템에 기준신호 생성을 위한 국부발진부를 사용할 필요가 없이 AcR(auto-correlation receiver)의 구조를 통해 시스템 단순화를 기대할 수 있다[4][5][6].

높은 데이터 전송률 실현을 목표로 하는 UWB 시스템의 수 나노초에 불과한 짧은 펄스폭은 수 GHz에 해당하는 신호샘플러를 필요로 하게 되어 디지털 시스템 구현에 큰 어려움이 가져다준다. 하지만 UWB 펄스를 다수의 주파수 성분으로 변환하여 신호처리하는 방식으로 디지털 UWB 시스템 구현에 보다 쉽게 접근할 수 있는 주파수 영역 기반의 ADC(analog-to-digital converter)를 이용한 TR-UWB 시스템이 제안되었다[7][8][9].

본 논문은 UWB 시스템의 디지털 구현을 목적으로 제안하였던 새로운 구조의 주파수 영역 기반의 TR-UWB 시스템[10]을 이론적으로 분석하고 특히, 시스템의 성능에 영향을 미치는 정보들에 대한 분석과 기존 시스템[9]과의 성능비교를 하고자 한다. II장에서는 TR-UWB 시스템에 대해 설명하고, III장에서는 새로운 구조의 TR-UWB 시스템[10]과 기존의 시스템[9]을 주파수 성분단위로 SNR(signal-to-noise ratio) 관점에서 이론적으로 비교분석하고, IV장에서는 AWGN(additive white gaussian noise) 채널 및 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널에서의 성능을 평가하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. TR-UWB 시스템

UWB 통신 시스템의 데이터 변복조 방식 중 다중경로 채널에서 우수한 특성을 갖는 TR 방식은 데이터가 변조된 펄스(data pulse)와 다중경로 채널 응답의 측정을 위한 기준 펄스(reference pulse)가 하나의 심볼로 구성되어 전송되며, 수신기에서 자기상관(auto-correlation)을 통해 데이터가 복원되는 기법이다. 전송되는 TR 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다[3][5][9].

$$s(t) = \sum_{i=0}^{I-1} [p_{ref}(t - iT_p) + p_{dat}(t - iT_p)] \quad (1)$$

여기서 $p_{ref}(t), p_{dat}(t)$ 는 각각 기준펄스와 데이터펄스이고 펄스 신호는 2차 미분된 가우시안 신호이다. T_p 는 심볼 간의 시간간격을 의미한다. 데이터펄스인 $p_{dat}(t)$ 는 $d_i p_{ref}(t - T_d)$ 로 나타낼 수 있고 d_i 은 $\{\pm 1\}$ 의 데이터정보, T_d 는 기준펄스와 데이터펄스 사이의 지연 시간을 나타낸다.

TR-UWB 시스템의 수신단에서 데이터정보를 복원하기 위해 수신 신호를 T_d 만큼 지연한 신호와 상관(correlation)시켜 데이터 정보를 복조하는 과정을 갖는다. 즉, $p_{dat}(t)$ 와 $p_{ref}(t)$ 를 T_d 만큼 시간 지연시킨 $p_{ref}(t - T_d)$ 를 상관시키는 과정을 거쳐게 되며, 이때 수신단의 상관기(corr-elator) 출력 Z 는 다음과 같다[3][5].

$$Z = \int p_{ref}(t - T_d) p_{dat}(t) dt \quad (2)$$

III. 주파수 영역 기반 TR-UWB 시스템 및 성능분석

식 (2)에서 제시한 상관기 출력 Z 는 Parseval 정리를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \int P_R(f) P_D^*(f) df = d_i \int |P_R(f)|^2 df \quad (3)$$

여기서 $P_R(f)$ 와 $P_D(f)$ 는 각각 지연된 기준펄스 $p_{ref}(t - T_d)$ 와 데이터 펄스 $p_{dat}(t)$ 의 주파수 영역의 신호이고, $P_R(f)$ 와 $P_D(f)$ 간의 켈레곱 연산으로 인해 수신기의 상관기 출력 Z 는 오직 실수값을 갖는 것을 알 수 있다.

채널 조건이 AWGN인 경우, 수신기에 도달하는 수신 신호는 주파수 변환 블록을 통과하여 주파수 성분으로 변환되는데, 수신기에서 T_d 만큼 시간지연된 기준펄스 $p_{ref}(t - T_d)$ 와 데이터펄스 $p_{dat}(t)$ 의 $f = f_k$ 에서 갖는 주파수 성분 $S_{R,k}$ 과 $S_{D,k}$ 은 식 (4), (5)와 같다.

$$S_{R,k} = (x_{R,k} + jy_{R,k}) + (p_{R,k} + jq_{R,k}) \quad (4)$$

$$S_{D,k} = (x_{D,k} + jy_{D,k}) + (p_{D,k} + jq_{D,k}) \quad (5)$$

여기서 기준펄스가 $f = f_k$ 에서 갖는 주파수 성분 $P_R(f_k)$ 은 $x_{R,k} + jy_{R,k}$ 이고, $p_{R,k} + jq_{R,k}$ 은 기준펄스에 더해진 잡음의 주파수 성분을 의미한다. 마찬가지로 데이터펄스의 주파수 성분 $P_D(f_k)$ 은 $x_{D,k} + jy_{D,k}$ 이고 잡음성분은 $p_{D,k} + jq_{D,k}$ 이다. 이때 주파수 성분간의 간격 Δf 는 $1/T_p$ 와 같으며, 식 (4)와 (5)를 이용하여 식 (3)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z = \sum_{k=0}^{K-1} S_{R,k} S_{D,k}^* \quad (6)$$

식 (6)에서 신호성분은 (3)에 의해서 오직 실수값만을 가져야 하므로 데이터 복원을 위한 판정규칙은 다음의 식 (7)을 적용할 수 있다.

$$\hat{d}_i = \begin{cases} +1 & (Re[Z] > 0) \\ -1 & (Re[Z] < 0) \end{cases} \quad (7)$$

상관기 출력의 실수 성분 $Re[Z]$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Re[Z] = Re \left[\sum_k S_{R,k} S_{D,k}^* \right] \quad (8)$$

복소수 성질에 의해서 실수값만 갖는 식 (8)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Re[Z] = \sum_k Re[S_{R,k}] Re[S_{D,k}] + \sum_k Im[S_{R,k}] Im[S_{D,k}] \quad (9)$$

여기서 TR-UWB 시스템의 통계적인 분석을 위해 $S_{R,k}$ 과 $S_{D,k}$ 의 실수부 성분 간의 상관연산인 $\sum Re[S_{R,k}] Re[S_{D,k}]$ 을 랜덤변수 A 라고 하면, 랜덤변수 A 는 $\mu_A + w_A$ 로 나타낼 수 있다. μ_A 는 $\sum x_{R,k} x_{D,k}$ 이며 랜덤변수 A 의 평균을 의미하며, AWGN에 의한 잡음 성분 w_A 는 식(4),(5)를 통해 $\sum [x_{R,k} p_{D,k} + x_{D,k} p_{R,k} + p_{R,k} p_{D,k}]$ 의 주파수성분으로 분해 가능하다. 또한, $S_{R,k}$ 허수부 성분과 $S_{D,k}$ 의 허수부 성분간의 상관연산된 결과 $\sum Im[S_{R,k}] Im[S_{D,k}]$ 가 랜덤변수 B 라고 한다면, $B = \mu_B + w_B$ 로 표현가능하다. 이때 B 의 기대값 μ_B 는 $\sum y_{R,k} y_{D,k}$ 이고 잡음에 의한 성분 w_B 는 $\sum [y_{R,k} q_{D,k} + y_{D,k} q_{R,k} + q_{R,k} q_{D,k}]$ 이 된다.

데이터값이 1인 경우, $Re[Z]$ 는 다음과 같이 랜덤변수 A, B 의 인수로 나타낼 수 있다.

$$Re[Z] = \mu_A + \mu_B + w_A + w_B \quad (10)$$

잡음에 의해 생겨난 성분인 w_A 와 w_B 는 AWGN의 성질에 의해서 서로 독립적(independent)이며 기대값은 0이 된다. 따라서 $Re[Z]$ 의 평균과 분산은 다음과 같다.

$$E[Re[Z]] = \mu_A + \mu_B \quad (11)$$

$$Var[Re[Z]] = E[(w_A + w_B)^2] = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 \quad (12)$$

w_A 와 w_B 는 서로 독립적이기 때문에 분산은 각각 σ_A^2 와 σ_B^2 로 구분할 수 있고, 잡음 성분의 실수 및 허수 부분의 기대값이 0이기 때문에 σ_A^2 는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\sigma_A^2 \approx \sum_k (x_{R,k}^2) E[p_{D,k}^2] + \sum_k (x_{D,k}^2) E[p_{R,k}^2] + \sum_k E[p_{R,k}^2] E[p_{D,k}^2] \quad (13)$$

잡음 성분 $p_{D,k}^2$ 는 그림 2와 같이 주파수 $f = f_k, (k=0,1,\dots,K-1)$ 에서 고르게 분포되어 있고, $p_{R,k}^2$ 은 $p_{D,k}^2$ 와 거의 같다. $E[p_{R,k}^2]$ 와 $E[p_{D,k}^2]$ 가 일정한 값을 갖기 때문에 $E[p_{R,k}^2]$ 와 $E[p_{D,k}^2]$ 를 상수 V_p 로 가정하면 σ_A^2 은 식 (16)과 같이 표현가능하다.

$$\sigma_A^2 \approx \sum_k (x_{R,k}^2 V_p + x_{D,k}^2 V_p) + K V_p^2 \quad (14)$$

K 가 사용가능한 주파수 성분의 개수라면, 주파수 샘플링 간격이 작을수록, 즉 TR 신호의 심볼간 간격 T_p 가 커질수록 K 는 커지게 된다.

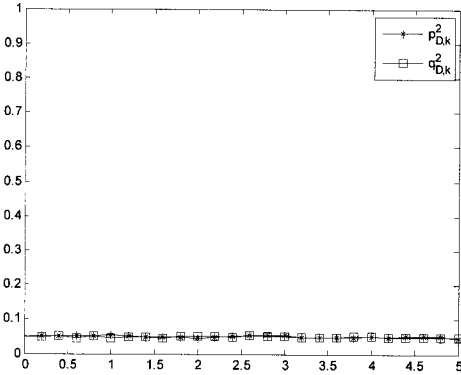


그림 1. $p_{D,k}^2, q_{D,k}^2$
Fig. 1. $p_{D,k}^2, q_{D,k}^2$

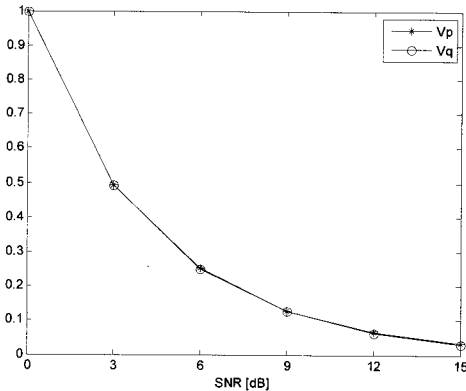


그림 2. V_p & V_q vs SNR
Fig. 2. V_p & V_q vs SNR

$x_{R,k}$ 와 $x_{D,k}$ 는 시간축 상에서는 시간 지연된 만큼의 차이가 있지만 주파수 성분의 값은 같으며, 랜덤변수 A 의 기대값 $E[A]$ 는 $E[\sum x_{R,k}^2]$ 이라 할 수 있으므로 w_A 의 분산 σ_A^2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_A^2 \approx 2\mu_A V_p + K V_p^2 \quad (15)$$

랜덤변수 Y 의 분산 σ_B^2 은 식 (13), (14)와 같은 과정을 통해서 얻을 수 있으며, 그림 1과 같이 주파수 성분에 따라 고르게 분포된 $q_{R,k}^2$ 과 $q_{D,k}^2$ 의 평균값 $E[q_{R,k}^2]$ 과 $E[q_{D,k}^2]$ 을 V_q 로 가정하면 σ_B^2 은 다음의 식 (16)과 같고, 위의 그림 2와 같이 V_p 와 V_q 는 서로 같은 값을 갖는다.

$$\sigma_B^2 \approx 2\mu_B V_q + K V_q^2 \quad (16)$$

식 (15), (16)을 이용하여 $Var[Re[Z]]$ 를 표현하면 다음과 같다.

$$Var[Re[Z]] \approx 2\mu_A V_p + K V_p^2 + 2\mu_B V_q + K V_q^2 \quad (17) \\ \approx 2V_p(\mu_A + \mu_B) + 2K V_p^2$$

식 (11)과 (17)은 주파수 성분을 활용한 기존 TR-UWB 시스템의 성능분석을 위해 랜덤변수 A 와 B 를 정의하여 $A+B$ 를 sufficient statistics로 활용하였다. 이러한 기존의 TR-UWB 수신기를 시스템 α 라고 명명하자. 이 시스템의 복조단의 신호대잡음비 SNR_α 는 다음과 같이 표현가능하다.

$$SNR_\alpha = \frac{(\mu_A + \mu_B)^2}{2V_p(\mu_A + \mu_B) + 2K V_p^2} \quad (18)$$

기존의 시스템과 달리 랜덤변수 A 와 B 를 각각 신호공간도(signal space diagram)의 x, y 좌표로 갖고 이에 근거해서 복조를 하는 시스템을 시스템 β 라고 하자. 좌표 (A, B) 의 메시지점은 전송데이터 비트값에 따라서 신호공간도에서 $\pm(\mu_A, \mu_B)$ 에 위치하게 되는데, 시스템 β 는 두 메시지점을 θ 만큼 회전시켜 신호공간도의 가로축에 위치하게 한다.

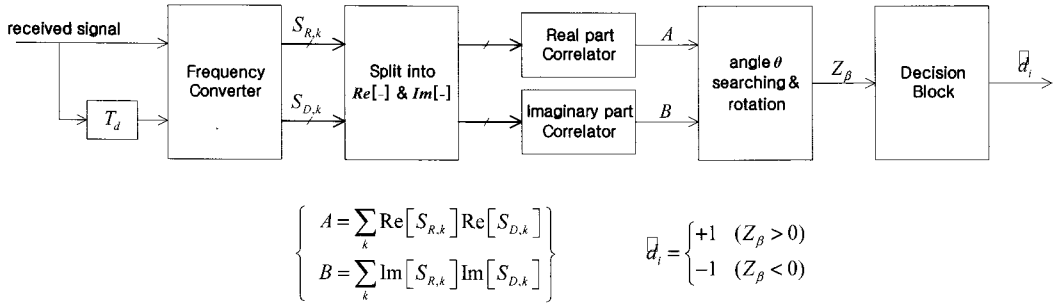


그림 3. 주파수 영역 기반 시스템의 블록도
Fig. 3. Block diagram of frequency-domain based system

그림 3은 최근에 제시한 새로운 구조의 주파수 영역 기반 TR-UWB 시스템을 나타낸다. 또한, 그림 4는 신호공간도를 나타내며, $\pm(\mu_A, \mu_B)$ 를 θ 만큼 회전시킨 결과 메시지점은 $\pm(a, 0)$ 이라는 새로운 위치에 존재하고 판정경계는 가로축에서 0을 기준으로 데이터값을 복원한다. 여기서 변수 a 와 θ 는 각각 다음과 같다.

$$a = \mu_A \cos \theta + \mu_B \sin \theta \quad (19)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\mu_B}{\mu_A} \quad (20)$$

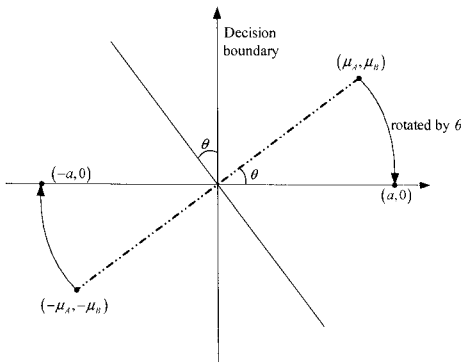


그림 4. 신호공간도
Fig. 4. Signal space diagram

수신단에서 주파수 변환 후, 상관기를 거친 이후 메시지점을 θ 만큼 회전시킨 새로운 수신단의 출력 Z_β 는 다음과 같다.

$$Z_\beta = A \cos \theta + B \sin \theta \quad (21)$$

시스템 β 에 의한 결과 Z_β 의 평균 및 분산은 수신단의 주파수 변환부에서 얻은 성분을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[Z_\beta] = \sqrt{\left(\sum_k x_{R,k} x_{D,k}\right)^2 + \left(\sum_k y_{R,k} y_{D,k}\right)^2} \quad (22)$$

$$\text{Var}[Z_\beta] = (2\mu_A V_p + K V_p^2) \cos^2 \theta + (2\mu_B V_q + K V_q^2) \sin^2 \theta \quad (23)$$

또한, 식 (23), (24)의 결과를 바탕으로 좌표 (A, B) 를 사용하는 시스템 β 의 복조기 후단에서의 SNR_β 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$SNR_\beta = \frac{\mu_A^2 + \mu_B^2}{\left\{ \begin{aligned} &(2\mu_A V_p + K V_p^2) \cos^2 \theta \\ &+ (2\mu_B V_q + K V_q^2) \sin^2 \theta \end{aligned} \right\}} \quad (24)$$

기존 시스템 α 와 새로운 시스템 β 사이의 성능을 비교하기 위해 SNR_β 를 SNR_α 로 나누는 SNR 의 비(ratio) Γ 를 정의하자. 식 (18)과 식 (24)에 의해서 Γ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$\Gamma = \frac{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}{(1 + \sin 2\theta) (\sigma_A^2 \cos^2 \theta + \sigma_B^2 \sin^2 \theta)} \quad (25)$$

여기서

$$\sigma_A^2 \approx 2\mu_A V_p + KV_p^2$$

$$\sigma_B^2 \approx 2\mu_B V_q + KV_q^2.$$

시스템 β 의 회전각 θ 의 값이 45° 일 경우 $\Gamma=1$ 이 되어 두 시스템의 성능은 동일해진다. θ 값이 0° 또는 90° 일 경우에 SNR 비 Γ 를 주파수 성분의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\Gamma_{\theta=0^\circ} = \frac{2(\sum x_{R,k}^2 + \sum y_{R,k}^2 + KV_p)}{2\sum x_{R,n}^2 + KV_p} \quad (26)$$

$$\Gamma_{\theta=90^\circ} = \frac{2(\sum x_{R,k}^2 + \sum y_{R,k}^2 + KV_q)}{2\sum y_{R,k}^2 + KV_q} \quad (27)$$

주파수 성분의 개수 K 는 $\sum x_{R,k}$ 와 비례관계에 있기 때문에 식 (26)과 (27)의 값은 1보다 크게 되어 결과적으로 시스템 β 의 성능이 우수한 것을 알 수 있다. 따라서 θ 의 변화에 따른 SNR의 비 Γ 는 1보다 크다는 것을 알 수 있다 (IV장의 그림 6 참조).

IV. 모의 실험

본 논문에서 제시한 시스템의 성능분석을 위해 AWGN 채널과 IEEE 802.15.3a 다중 경로 채널 모델을 이용하여 모의 실험을 진행하였다. 시스템의 성능 검증을 위해 시뮬레이션에서 사용하는 TR-UWB 변복조 모델은 T_p 는 5nsec이고, 기준펄스 및 데이터 펄스는 10dB 대역폭이 약 1.5GHz인 2차 미분된 가우시안 펄스를 사용하였다. TR 심볼 간격과 밀접한 관계가 있는 주파수 샘플 간격 Δf 는 200MHz가 된다.

아래의 그림 5는 주파수성분의 개수 K 와 시스템 β 의 신호대잡음비 SNR_β 와의 관계를 나타낸 것이다. 주파수성분의 개수가 많아질수록 또는 주파수변환부에서 샘플링간격이 좁을수록 제안한 시스템의 수신기 출력단에서의 신호대잡음비가 좋아짐을 알 수 있고, K 를 증가시키면 시스템의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

그림 6은 AWGN 채널 환경에서 제시한 시스템(β)과 기존 시스템(α)와의 신호대잡음비 성능을 회전각 θ 의 변화에 따라 나타낸 것이다. III장의 성능분석 결과와 같

이 θ 가 45° 일때 성능이 동일하며, 시스템 β 에서의 회전각 θ 가 0° 또는 90° 에 가까울수록 제시한 시스템(β)의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

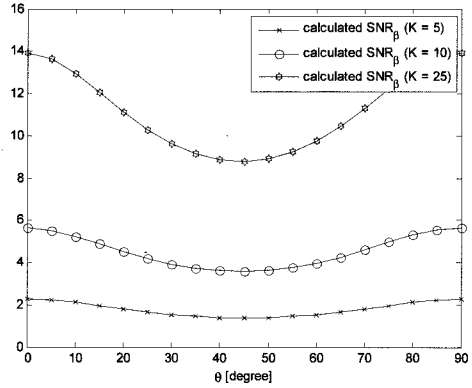


그림 5. 주파수성분 개수(K)에 따른 SNR_β
Fig. 5. SNR_β as the function of K

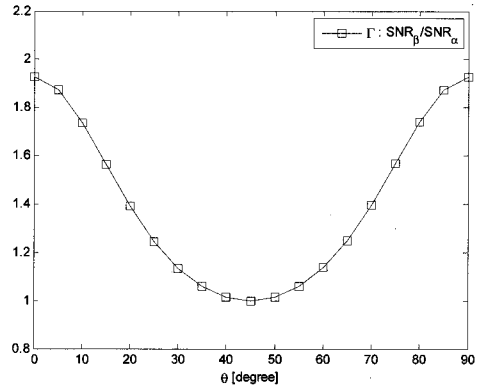


그림 6. SNR 비 (Γ)
Fig. 6. SNR ratio Γ

아래의 그림 7은 AWGN 채널에서의 새로운 시스템 (β)과 기존 시스템(α)와의 BER 성능을 나타낸 것이다. 사용하는 UWB 펄스 모델이 우함수 형태인 2차 미분된 가우시안 펄스이기 때문에 θ 는 거의 0° 에 가깝다. 최근에 제시한 새로운 시스템(β)의 성능이 그림 6의 SNR 비 Γ 에서 보는 바와 같이 기존 시스템의 성능보다 개선되었음을 알 수 있다. E_b/N_0 가 15dB일때 새로운 시스템 (β)는 기존 시스템(α)보다 BER 성능의 수치가 약 7.2dB 정도 개선되었다. 다중경로 환경에서의 성능 검증을 위해 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널 모델 (CM1, CM3)을 적

용하여 모의 실험을 진행하였다.

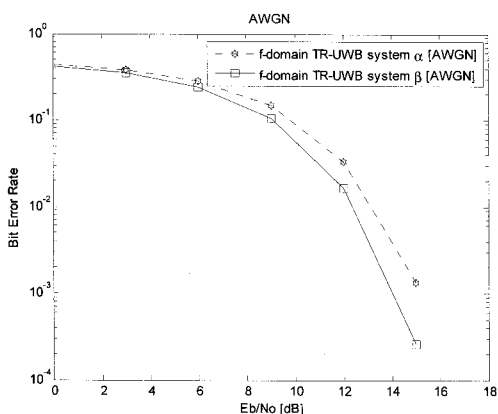


그림 7. AWGN에서의 BER 성능 ($\theta = 0^\circ$)
Fig. 7 BER performance for AWGN ($\theta = 0^\circ$)

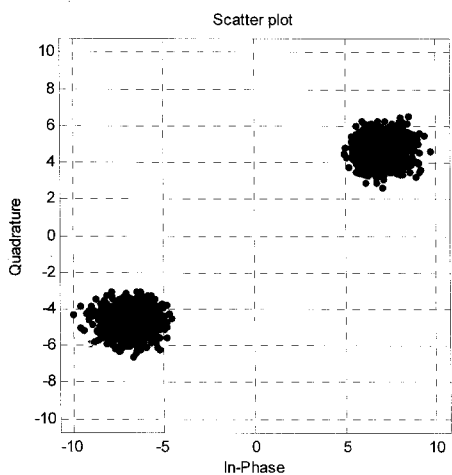


그림 8. 수신신호의 산점도 (CM1)
Fig. 8. Scatterplot of received signal (CM1)

그림 8은 데이터정보가 변조된 TR-UWB 신호가 CM1 채널을 통과한 후 잡음이 더해진 수신신호의 시스템 β 에서의 산점도를 나타낸 것이다. 다중경로 채널에 의한 영향으로 메시지점의 위치가 가로축이 아닌 평면상에 위치하게 된다. 그림 8에서의 θ 는 37° 가 된다.

그림 9와 그림 10은 IEEE 802.15.3a 다중경로 채널 (CM1, CM3)을 통과하고 잡음이 더해진 채널에 대한 기존 시스템 α 와 제시한 시스템 β 와의 BER 성능을 비교하여 나타낸 것이다. 모의실험을 위하여 CM1, CM3의 채널

모델을 각각 100개를 발생한 후 임의의 다중경로 채널을 추출하였다. 100개의 CM1 채널 중에서 θ 가 82.7° 인 다중경로 채널 임펄스 응답을 추출하였고, CM3는 θ 가 4.5° 인 채널 임펄스 응답을 얻었다. 이것은 III장에서 이론적인 분석한 성능을 검증하는데 효과적인 수치이다. 여기서, 제시한 시스템 β 에서 사용하는 변수 θ 는 채널모델(CM1, CM3)에 따라 일정한 값을 갖는 것이 아니라, 각 채널 임펄스 응답마다 $0^\circ \sim 90^\circ$ 의 다양한 값을 갖는다. 그림 9, 10을 보면 새로운 시스템(β)의 성능이 그림 7의 AWGN 환경뿐만 아니라 다중경로 채널 환경에서도 기존 시스템(α)보다 우수한 성능을 갖음을 알 수 있다. E_b/N_0 가 15dB일때 시스템 β 는 시스템 α 보다 BER 성능이 CM1, CM3에서 각각 3.2dB, 3.6dB정도 개선되었다.

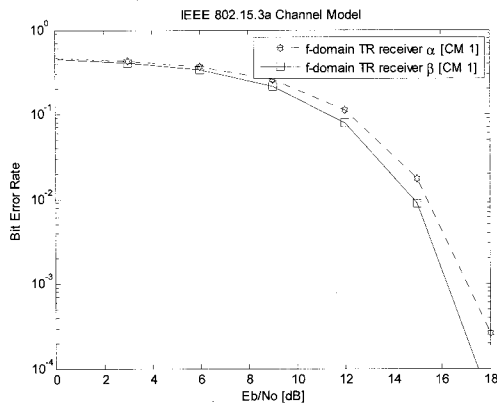


그림 9. CM1에서의 BER 성능 ($\theta = 82.7^\circ$)
Fig. 9 BER performance for CM1 ($\theta = 82.7^\circ$)

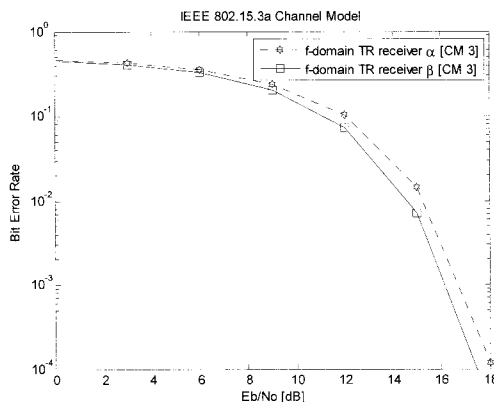


그림 10. CM3에서의 BER 성능 ($\theta = 4.5^\circ$)
Fig. 10. BER performance for CM3 ($\theta = 4.5^\circ$)

V. 결 론

본 논문에서는 TR-UWB 시스템의 주파수 성분을 이용하여 TR 심볼을 구성하는 기준펄스와 데이터펄스를 실수부와 허수부로 분리하여 수신단의 상관기 출력에서 최대의 신호대잡음비를 얻는 수신기 시스템에 대한 성능 분석 및 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 즉, 시스템의 성능에 관계된 주파수 성분 개수 K 에 따른 신호대잡음비, 회전각 θ 에 따른 기존시스템과 새로운 시스템과의 신호대잡음비 비교를 통해 이론적으로 성능을 분석하였다. AWGN 채널과 다중경로 환경에서의 모의 실험 결과, 주파수 기반의 새로운 TR-UWB 시스템의 BER 성능은 기존의 시스템에 비해서 E_b/N_0 이 15dB 일 때, AWGN 환경에서 7.2dB, CM1 채널에서 3.2dB, CM3 채널에서 3.6dB 정도의 성능개선을 보임을 확인하였다.

참고문헌

[1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple access communications," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 48, no. 4, pp. 679-691, Apr. 2000.

[2] M. Z. Win and R. A. Sholtz, "On the energy capture of ultrawide bandwidth signals in dense multipath environments," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 2, pp. 245-247, Sept. 1998.

[3] 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.

[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] Y. L. Chao and R. A. Scholtz, "Ultra-wideband transmitted reference systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, pp. 1556-1569, Sept. 2005.

[6] M. Chang and R. A. Scholtz, "Comparison of transmitted-and stored-reference systems for ultrawideband communications," *Proc. IEEE MILCOM*,

vol. 1, pp. 521-527, Nov. 2004.

[7] S. Hoyos and B. M. Sadler, "Ultra-wideband analog-to-digital conversion via signal expansion," *IEEE Trans. on Vehic. Tech.*, vol. 54, no. 5, pp. 1609-1622, Sept. 2005.

[8] S. Hoyos, B. M. Sadler, and G. R. Arce, "Monobit digital receivers for ultrawideband communications," *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, vol. 4, no. 4, pp. 1337-1344, July 2005.

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

[10] 우선걸, 최호선, 양훈기, 김영수, 육종관, 강봉순, "주파수 영역 기반 TR-UWB 수신기," *한국통신학회논문지*, vol. 32, no. 4, pp. 336- 343, 2007년 4월.

저자소개

장동현(Donghoen Jang)



2007년 2월 : 광운대학교
전파공학과 공학사
2007년~현재 : 광운대학교
전파공학과 석사과정
※관심분야: UWB, RFID/USN, 무선통신시스템

양훈기(Hoongee Yang)



1985년 : 연세대학교 전자공학과
공학사
1987년 : SUNY at Buffalo ECE
공학석사
1992년 : SUNY at Buffalo ECE공학박사
1993년~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
※관심분야: 무선통신시스템, UWB, RFID/USN,
스펙트럼 공학