

Vterbi decoding을 적용한 UWB 시스템이 성능분석

Performance of analysis UWB system using Vterbi decoding

최정훈, 한태영*, 박성균**, 김남***

충북대학교, 충북대학교*, SK Telecom**, 충북대학교***

Choi Jung-Hun, Han Tae-Young*,

Park Sung-Kyung**, Kim Nam***

Chungbuk Nat'l Univ., Chungbuk Nat'l Univ.*,

SK Telecom**, Chungbuk Nat'l Univ.***

요약

본 논문에서는 고속 데이터 전송을 위한 UWB 시스템에 BPSK(Binary Phase Shift Keying)와 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)의 변조 방식을 적용하고 고속 전송으로 발생 할 수 있는 높은 에러율을 감소시키기 위해 부호율(code rate)이 1/2 이고 구속장(constraint length)이 K=7인 convolution code를 적용하였다. 그리고 다중사용자의 접속으로 인하여 발생 할 수 있는 다중사용자 간섭을 고려하여 Time-hopping sequence를 적용하였으며, 수신 단에서 viterbi decodig 알고리즘을 사용하여 수신된 신호를 복호함으로서 AWGN(Additive White Gaussian Noise) channel 환경에서의 UWB 통신 시스템의 성능변화를 분석하였다.

Abstract

In this paper, the UWB(ultra wideband) system is used for high speed transmission applying BPSK(Binary Phase Shift Keying) and QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), and utilizing the convolution coding with code rate, 1/2 and constraint length, K=7 in order to reduce the bit error rate. And the performance of system is analyzed in the AWGN(Additive White Gaussian Noise) channel environment by using the Viterbi decoding algorithm and adopting the time-hopping sequence as a multiple access method in order to avoid the multiuser interference.

I. 서론

무선통신기술의 발달과 더불어 고속데이터 전송의 필요성은 점점 증가하고 있다. 이에 대한 여러 가지 해결책 중의 하나로 UWB를 이용한 무선통신이 현재 부각되어지고 있다. UWB(ultra wideband)를 이용한 무선통신은 저전력을 사용하면서도 수백 Mbps로 데이터를 전송하는 것이 가능하기 때문에 미래의 무선통신기술로 발달할 가능성이 높아 많은 관심이 모아지고 있는 기술이다. UWB 통신의 특징은 200 mW 이내의 저 전력을 사용하여 고속의 데이터를 전송 할 수 있으며, 41.25 dBm의 낮은 방사 제한으로 기존의 협대역을 사용하는 통신 시스템에 간섭을 일으키지 않는다. 또한 다중경로 성분들을 분해 할 수 있기 때문에 직접경로 검출이 가능하다. 그리고 펄스폭이 1ns이하이기 때문에 위치 추

적 시스템에서도 사용이 가능하다. 즉 0.5ns의 펄스 폭을 갖는 UWB 시스템은 15 cm 이상의 서로 다른 경로 길이를 갖기 때문에 15 cm 이상의 range resolution을 갖게 됨으로 사용자의 위치를 정확하게 파악 할 수 있다[1]-[3].

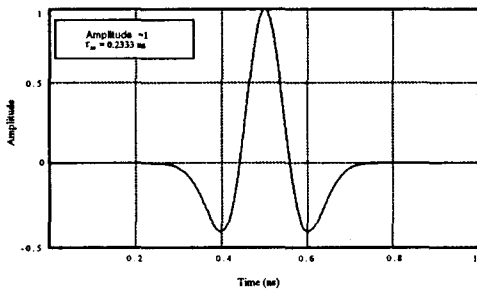
본 논문에서는 위와 같은 특성들 가운데 고속 데이터 전송에 초점을 두고 고속 데이터 전송 시 발생하는 BER(Bit Error Rate)을 줄이기 위한 길쌈부호를 적용하고 다중사용자의 간섭을 줄이기 위해 Time-Hopping 방식을 적용한 UWB 시스템에 대한 내용을 다루겠다. 제 2장은 UWB 파형에 대해서 살펴보고, 제 3장은Time-Hopping 방식을 적용한 UWB 시스템을 분석한다. 제 4장에서는 Viterbi 복호를 적용한 성능분석을 하겠다.

II. UWB 파형

UWB 통신기술의 기본기술은 모노사이클 파형 (τ_m)을 펄스 반복 간격(T_f)으로 전송하는 것이다. 모노사이클 파형은 여러 가지 충격파가 발생할 수 있는데 본 논문에서는 다른 충격파에 비해 생성이 쉬운 Gaussian impulse를 사용하였다. 전송된 Gaussian impulse는 다중경로를 통하여 수신기에 도달하는데 송·수신된 모노사이클 파형은 식 (1)과 같이 수식화할 수 있다[4].

$$w(t) = \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_m} \right)^2 \right] \quad (1)$$

여기서 τ_m 은 impulse 폭을 나타내는 매개 변수로서 주파수 범위에 따라 변화한다. 그림 1은 진폭이 1이고 $\tau_m = 0.2333\text{ns}$ 인 수신된 UWB의 모노사이클 파형을 나타낸 것이다.



▶▶ 그림 1. UWB 모노펄스 파형

k번째 사용자의 모노사이클 파형의 주기적인 전송을 식으로 표현하면 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$s^{(k)}(t) = \sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - jT_f) \quad (2)$$

여기서 N_s 는 펄스의 반복주기를 나타낸다. 식 (2)에서 알 수 있듯이 한 심벌의 주기는 $N_s T_f$ 가 되고, 펄스 주기는 펄스폭의 수백에서 수천배가 됨으로 펄스 폭과 펄스 주기와의 비를 나타내는 duty cycle은 매우 낮아지게 된다[5].

III. TH-MPSK를 적용한 UWB 시스템

1. 전송신호(Transmitter signal)

MPSK 변조방식을 적용한 UWB 전송파형은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 P_k 는 전송전력을 나타내며, m^k 는 k번째 사용자에게 대한 위상의 변화를 가지는 변조된 데이터를 나타내고, $w(t)$ 는 전송되는 모노 사이클 파형을 나타낸다[6].

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{P_k} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} m^k w(t - jT_f) \quad (3)$$

일반적으로 Time-Hopping을 적용한 MPSK의 k번째 사용자의 전송신호를 보면 다음과 같다.

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{P_k} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_s-1} m^k w(t - jT_f - C^k_j T_c) \quad (4)$$

식 (4)에서 C^k_j 는 시간도약 부호이고, T_c 는 chip 구간을 의미한다. 각각의 시간 천이 구성요소의 구조는 다음과 같이 설명할 수 있다[7].

1.1 일정한 펄스열 간격

$\sum_{j=0}^{N_s-1} w(t - jT_f)$ 형태의 펄스열은 시간 T_f 초의 시간 간격으로 떨어진 모노사이클 펄스들로 구성된다. 프레임 시간 또는 펄스 반복시간은 모노사이클 펄스폭의 수백에서 수천배이므로, 결국 매우 낮은 duty cycle을 가지는 신호가 된다. 균일하게 시간 간격을 둔 펄스들로 구성된 다중접속 신호들은 여러 신호들로부터 많은 수의 펄스가 동시에 수신되는 경우에 막대한 간섭이 일어나게 된다.

1.2 랜덤/의사랜덤 TH(Time-Hopping)

다중접속으로 인한 막대한 간섭을 제거하기 위하여 TH를 사용하는데 TH는 서로 다른 펄스 천이 패턴 $\{C^k_j\}$ 를 사용한다. 이들 펄스 천이 패턴 $\{C^k_j\}$ 는 $0 \leq C^k_j \leq N_s$ 범위에서 정수인 주기 N_s 의 의사랜덤이다. 따라서 TH시퀀스는 j번째 모노사이클이 0부터

$N_h T_c$ 초 사이의 불연속 값을 갖는 $C^k T_c$ 초의 천이 시간을 추가하여 펄스열의 각 펄스에 추가적인 천이 시간을 준다. 의사잡음 TH시퀀스는 주기가 N_s 이기 때문에 파형은 $T_p = N_s T_f$ 의 주기를 갖는 선스펙트럼 간격이 $1/T_p$ 인 전력 스펙트럼 밀도를 지닌다. $N_h T_c \leq T_f$ 로 가정하면 $N_h T_c \leq T_f$ 는 TH이 허용되는 프레임 구간 T_f 의 일부분을 나타낸다. 모노 사이클 상관기의 출력을 읽고 상관기를 리셋하는데 짧은 시간 간격이 필요하므로 $N_h T_c \leq T_f$ 는 1보다 작아야 한다. 만약 $N_h T_c \leq T_f$ 가 너무 작다면, 펄스들의 충돌 가능성이 매우 높아 간섭이 발생 할 수 있지만, $N_h T_c \leq T_f$ 의 값이 충분히 크고 TH시퀀스의 설계가 잘 이루어지면 다중접속 간섭은 가우시안 랜덤 프로세서로 모델링 할 수 있다.

2. 수신신호(Received signal)

수신된 MPSK UWB 신호는 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.[6]

$$r(t) = \sqrt{P_k} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_i-1} m^k_i w(t - jT_f - C^k_j T_c) + M(t) + I(t) + n(t) \tag{5}$$

여기서 k는 k번째 사용자를 나타내며, M(t)는 다중접속 간섭을 표시하고, I(t)는 "협대역 간섭"을 표시한다. n(t)는 양방향 전력 스펙트럼 밀도가 $\eta_0/2$ 인 수신된 AWGN을 나타낸다. 식 (5)에서 다중접속 간섭을 수식화하면 다음과 같다.

$$M(t) = \sum_{l \neq k}^{M-1} \sqrt{P_l} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{N_i-1} m^l_i w(t - jT_f - C^l_j T_c) \tag{6}$$

식 (6)에서 l은 k번째 사용자를 제외한 M명의 사용자들의 간섭을 나타낸다. "협대역 간섭"영향은 전형적인 단일반송파 BPSK로 변조된 파형으로 모델링 할 경우 다음과 같이 주어진다.

$$I(t) = \sqrt{2P_l} \cos(\omega_0 t + \theta) \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i w(t - iT_f - \tau_i) \tag{7}$$

여기서 P_l 는 협대역 파형의 평균 송신전력이고 $\omega_0 = 2\pi f_0$ 는 협대역 파형의 반송파 주파수이며, θ 는 반송파의 랜덤 위상이다. $\{b_i\}$ 는 $\{b_i\} \in \{\pm 1\}$ 인 랜덤하게 변조된 BPSK 심볼이고 T_f 는 심볼주기, τ_i 는 $[0, T_f]$ 에 균일하게 분포된 랜덤지연이며, $w(t)$ 는 기저대역 파형을 나타낸다.

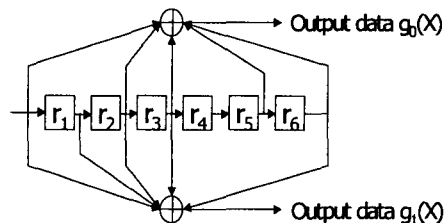
IV. Viterbi decoding을 적용한 UWB 시스템

UWB 시스템은 저 전력으로 고속의 데이터를 전송하는 무선통신 기술이라는 특성상 신호를 전송하는데 많은 에러가 발생 할 수 있다. 이러한 이유 때문에 UWB 시스템의 성능을 향상시키려면 에러확률을 낮추어야 한다. 본 논문에서는 UWB 시스템의 에러율을 낮추는 방법으로 컨벌루션 코딩을 적용하였다. 대부분 일반적인 컨벌루션 코딩은 코드율이 0.90 이하이기 때문에 에러정정능력이 우수하며, 높은 에러 발생확률을 갖는 잡음이 많은 채널에서 사용하기 적당하다. [8]

본 논문에서 적용한 컨벌루션 코딩방식은 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨벌루션 코딩이며, 복호는 비터비 복호 알고리즘을 사용하였다. 그림 2는 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨벌루션 부호기를 나타낸다. 컨벌루션 부호화의 생성다항식은 식(8)과 같다.[9]

$$g_0(X) = X^6 + X^5 + X^3 + X^2 + 1$$

$$g_1(X) = X^6 + X^3 + X^2 + X + 1 \tag{8}$$



▶▶ 그림 2. 컨벌루션 부호기

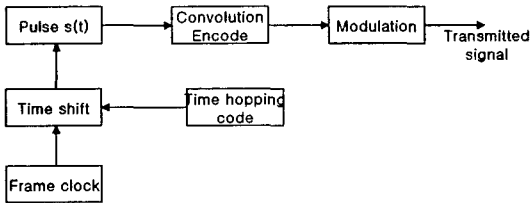
따라서 코드다항식은 식 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_0(X) &= m(X) g_0(X) \\ C_1(X) &= m(X) g_1(X) \end{aligned} \quad (9)$$

식(9)에서 $m(X)$ 는 메시지 비트를 나타내며 다항식의 벡터로 표시하면 식(10)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} C(X) &= [C_0(X) \ C_1(X)] = m(X) [g_0(X) \ g_1(X)] \\ &= m(X)G(X) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 생성 벡터 $G(X)$ 의 범위는 $G(X) = [g_0(X), \dots, g_{n-1}(X)]$ 이다. 그림 3은 컨벌루션 부호화를 적용한 송신단 블록 다이어그램이다.



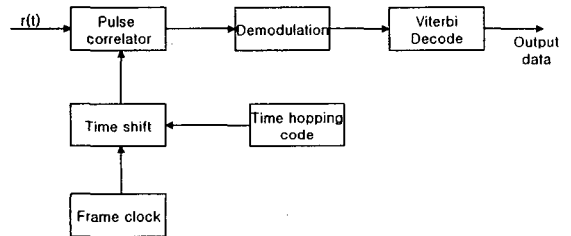
▶▶ 그림 3. 컨벌루션 부호를 적용한 송신단 블록 다이어그램

Viterbi 복호 알고리즘은 수신단에서 MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation)를 수행하는 알고리즘으로 수신된 시퀀스와 각각의 격자 경로들 사이의 거리를 계산하여 최소 경로를 선택하는 방식이다. 즉 Viverbi 복호는 격자를 통과하는 2개의 경로만을 선택하고 각 프레임에서 어느 경로를 선택하고 취소할지를 결정하는 것이다. Viterbi 복호 알고리즘의 과정은 다음과 같다.[9]

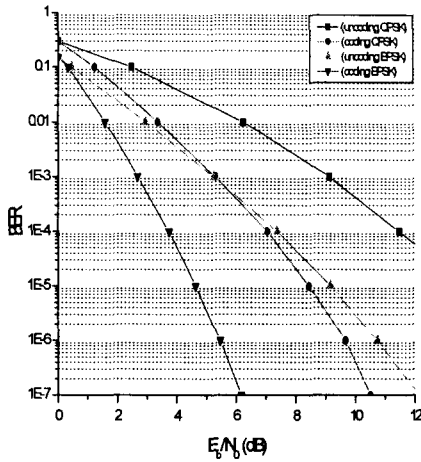
1. $j=K$ 에서 시작하여 $j-1$ 번째의 상태쌍으로부터 각 상태에 들어오는 개별 가지의 가지 메트릭을 계산한다. 알고리즘의 시작에서는 이전에 계산된 부분 경로 메트릭 값이 없으므로 현재 계산된 값이 부분 경로 메트릭이 된다. 각 상태의 각 경로 중 최상의 부분 경로 메트릭을 갖는 생존 경로와 메트릭 값을 저장한다.

2. j 를 1 증가시킨후, 각 상태에 들어오는 가지의 가지 메트릭을 계산하고 각 가지가 속하는 $j-1$ 상태의 생존 부분 경로 메트릭을 더하여 각 상태에서의 부분 경로 메트릭을 구한다. 각 상태에 대하여 경로중에 최상의 부분 경로 메트릭을 갖는 생존 경로와 메트릭을 저장하고 나머지 경로들은 제거한다.

그림 4는 viterbi 복호 알고리즘을 적용한 UWB 통신 시스템의 수신단 블록 다이어그램이고, Viterbi 복호를 적용한 UWB 시스템의 성능을 실험한 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같다. 그림 5은 Viterbi 복호를 적용한 BPSK와 QPSK의 성능변화를 실험한 시뮬레이션이다. 시뮬레이션 결과 고속 전송을 하는 UWB 통신에서 Viterbi 복호를 적용하여 성능을 분석하면 BPSK는 2.57 dB, QPSK는 3.83 dB의 성능이 향상되는 것을 보였다.



▶▶ 그림 4. Viterbi decoding 알고리즘을 적용한 수신단 블록 다이어그램



▶▶ 그림 5. Viterbi decoding을 적용한 MPSK UWB 시스템의 성능분석

V. 결론

초 광대역을 갖는 UWB 통신 시스템은 현재 사용되어지고 있는 통신기기에 영향을 미치지 않으면서도 저 전력의 고속 데이터 통신이 가능하다는 점에서 실내 환경에서의 홈 네트워크나 멀티미디어 시스템 구축 등의 응용 분야에 활용 될 것으로 기대된다. 본 논문에서는 이러한 UWB 시스템을 이용한 고속 전송에 있어서 발생할 수 있는 에러율을 줄일 수 있는 방법으로 convolution coding을 제안함으로써 UWB 시스템이 성능이 개선되는 것을 알 수 있었다. 앞으로 UWB 시스템의 성능향상을 위하여 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 적용하는 부분에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 본 논문에서 다른 Viterbi 복호 알고리즘뿐만 아니라 Turbo code나 LDPC(Low Density Parity Check) code와 같은 고성능 코딩 방식을 적용한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] K. Siwiak, "Ultra-wide band radio: introducing a new technology," IEEE. vol. 2, pp.1088-1093, May. 2001
- [2] 이준용, "UWB와 Indoor Radio Location," 한국통신학회지, vol. 20, no. 2, pp.77-85, 2003년 2월
- [3] J.M. Cramer, R.A. Scholtz, M.Z. Win, "On the analysis of UWB communication channels," IEEE. Military Communications Conference Proceedings, vol. 2, pp.1191-1195, 31 Oct.-3 Nov. 1999.
- [4] C.M. Canadeo, M.A. Temple, and R.O. Baldwin, R.A. Raines, "Code selection for enhancing UWB multiple access communication performance using TH-PPM and DS-BPSK modulations," IEEE. Wireless Communications and Networking, vol. 1, pp.678-682, March 2003.
- [5] 송형규, 유영환, 박현진, "UWB 변복조 기술," 전파진흥, 12권 4호, pp.32-43, 2000년 8월
- [6] J.R. Foerster, "The performance of a direct-sequence spread ultrawideband system in the presence of multipath, narrowband interference, and multiuser interference," IEEE. Ultra Wideband Systems and Technologies Conference, pp.87-91, May 2002.
- [7] M.Z. Win, and R.A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," IEEE. vol. 48, pp.679-689, April 2000.
- [8] K. M. Lee, D. S. Han, and K. B. Kim, "Performance of the viterbi decoder for DVB-T in Rayleigh fading channels," IEEE Trans. on Cons. Elec., vol. 44, no. 3, pp.994-1000, Aug. 1998.
- [9] Peter Sweeney, "Error control coding an introduction," Prentice Hall, pp.135-161, May 1991.