

임펄스 라디오 초광대역 통신에서 다중 심벌 검파를 적용한 트렐리스 부호화 변조

홍 찬 기*, 김 종 일^o

Trellis Coded Modulation Using Multiple Symbol Detection for Impulse-Radio Ultra-Wideband Communications

Chan-ki Hong*, Chong-il Kim^o

요 약

본 논문에서는 임펄스 라디오 초광대역 통신시스템에서 BER 성능을 향상시키고자 연속적인 다중 심벌 검파를 적용한 트렐리스 부호화 변조를 제안한다. 또한 다중 심벌 검파를 비터비 디코더에 적용시키기 위해 새로운 경로 매트릭을 사용하는 알고리즘을 설계한다. 연속적으로 수신된 신호에서 다중 심벌 위상차를 추출하고 이를 이용하여 비터비 디코더의 가지 매트릭으로 사용한다. 본 연구를 통하여 주어진 E_b/N_0 에서 BER 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

Key Words : IR-UWB, UWB, Trellis-Coded Modulation, Multiple Symbol Detection

ABSTRACT

In this paper, we propose a Trellis Coded Modulation using Multiple Symbol Detection for Impulse-Radio Ultra-Wideband Communications. The Viterbi decoder containing new branch metrics of the squared Euclidean distance with multiple order phase differences is introduced in order to improve the bit error rate (BER) in the differential detection of the trellis-coded modulation for Impulse-Radio

Ultra-Wideband Communications. Our study shows that such a Viterbi decoder improves BER performance for the given E_b/N_0 .

I. 서 론

초광대역(Ultra Wide Band; UWB) 통신은 지난 수십 년 동안 미국방성에서 사용한 군사 기술로써 2002년 상업화이후 초광대역 통신 기술에 대한 연구와 개발이 활발하게 진행되어 왔다^{1,2}. IEEE 802.15.4a의 임펄스 라디오 초광대역 통신 PHY에서는 하이브리드 변조 방식에 대한 동기식 및 비동기식 수신기 기술이 설명되어 지고 있고 이 기술은 기존의 트렐리스 부호화변조(TCM, Trellis-Coded Modulation)와 유사한 방식이다. 특히 하이브리드 변조의 에너지 검파(ED, Energy Detection) 비동기식 방식은 동기식에 비해 설계가 쉽고 높은 처리이득(processing gain)을 가지고 있으나 다중접속 간섭 현상에 따라 성능이 저하되는 단점이 있다.

이러한 단점 때문에 에너지 검파 비동기식 방식의 임펄스 라디오 초광대역 통신은 상용화에 어려움이 있다³. 따라서 본 논문에서는 비동기식 방식의 임펄스 라디오 초광대역 통신에서 트렐리스 부호화 변조를 이용하고 수신단에서 다중 심벌 검파를 이용하여 성능을 향상시키고자 한다.

II. 임펄스 라디오 초광대역 통신

임펄스 라디오 초광대역 통신용 채널 모델로 IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서 제시한 클러스터링(Clustering) 현상에 기반을 둔 수정된 S-V 모델(Sach-Venezuela Model) 사용되고 있다⁴.

수정된 S-V 모델은 실내의 다중 경로 지연 현상을 고려하여 모델링 되었고, 로그-노말(Log-normal) 분포를 사용하여 다중 경로 이득 크기를 모형화 하였다. 다중 경로를 고려하여 모형화 한 초광대역 통신 채널의 이산 임펄스 응답(Discrete-time Impulse Response)은 그림 1과 같다⁴. 기본적으로 펄스를 이용해 정보를 보내기 위해서는 기본 펄스를 변조시켜야하고 변조 방법으로는 On-Off Keying(OOK), 펄스 진폭 변조(PAM), 펄스 위치 변조(PPM) 등의 여러 변조를 사용하게 된다. 이동통신과 같이 정형파를 사용

* First Author : Catholic Kwandong University, Department of computer science, chankih@cku.ac.kr, 정희원

^o Corresponding Author : Catholic Kwandong University, Department of Electronic Engineering, cikim@cku.ac.kr, 정희원
논문번호 : KICS2017-11-326, Received November 1, 2017; Revised November 16, 2017; Accepted November 16, 2017

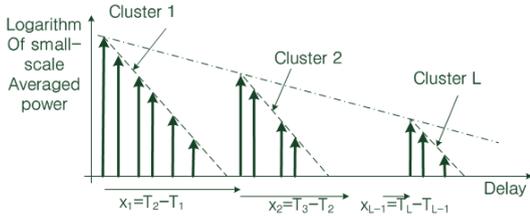


그림 1. 초광대역 통신의 S-V 채널 모델
Fig. 1. S-V channel model of UWV

하는 기존의 통신 시스템은 건물 안에서 여러 가지 복잡한 장애물에 반사되어 신호의 확산 및 지연에 의한 페이딩 현상이 일어나고 이러한 영향을 줄이기 위해 송신기의 전력을 증대시키거나 보다 복잡하고 정교한 수신기와 신호처리를 사용하게 된다.

초광대역 통신 다중경로 채널 모델은 전형적으로 탭-지연선(Tap-Delay-Line) 으로 모델링 가능하며 이러한 경우 채널 임펄스 응답 $h(t)$ 는

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^k h_{k,l} \delta(t - T_l - \tau_{k,l}) \quad (1)$$

이다. 여기서 $h_{k,l}$ 는 다중경로 이득, T_l 는 l 번째 클러스터 지연, $\tau_{k,l}$ 는 l 번째 클러스터의 k 번째 다중경로 지연이다^[4].

III. 임펄스 라디오 초광대역 통신에서 다중심벌검파를 적용한 트릴리스 부호화 변조

임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에서 트릴리스 부호화를 이용한 변조 시스템은 전통적인 트릴리스 부호화 변조 시스템을 따른다^[5]. 여기서 트릴리스 부호화 변조는 위상차의 유클리드 거리를 최대가 되도록 하기 위하여 Ungerboeck의 신호 집합 분할 기법을 사용한다. 이것은 채널 신호 집합을 연속적으로 부집합으로 분할하는데 부집합내 신호들 사이의 유클리드 거리가 점차적으로 증가하도록 신호 분할하는 것이다^[5]. 트릴리스 부호화 변조의 기저대역 신호는

$$s_i = a_i \cdot a_{i-1} \quad (2)$$

이다. 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에서 수신된 신호

$$r(t) = s(t) \otimes h(t) + n(t) = \sum d_i \sum g(t - jT_f - \tau_j) + n(t) \quad (3)$$

가 되고 여기서 $n(t)$ 는 평균이 0이고 전력스펙트럼밀도가 $N_0/2$ 인 부가백색 가우시안 잡음이며 τ_j 는 l 번째 경로의 시간 지연이며 T_f 는 프레임 구간이다, 여기서 변조된 펄스간 간섭을 피하기 위해 T_f 가 $g(t)$ 의 구간 T_g 보다 크거나 같고 수신단에서 차동 검파와 상관 수신기를 사용한다고 가정하면 다중경로에 의한 펄스간 간섭의 영향을 거의 받지 않는다고 할 수 있다. 따라서 차동 검파 후 수신단에서의 주요 동작은 수신된 열 \mathbf{Y} 를 $\hat{\mathbf{d}} = (\hat{d}_0, \hat{d}_1, \dots, \hat{d}_{N-1})$ 로 평가하는 일이다. 모든 정보 심벌은 일정한 비율로 발생하고 에러 확률을 줄이기 위해 최대 확률론적 비터비 디코딩을 하게 된다^[6]. 즉

$$P_N(\mathbf{Y} | \hat{\mathbf{d}}) = \max_{all \mathbf{d}} P_N(\mathbf{Y} | \mathbf{d}) \quad (4)$$

가 되는 \mathbf{d} 를 선택하게 된다. 만일 채널에서 평균이 0인 백색 가우시안 잡음이 더해지고 변조된 펄스간 간섭을 피하기 위해 T_f 가 $g(t)$ 의 구간 T_g 보다 크거나 같다고 보면 잡음이나 다중경로가 채널신호에 독립적으로 영향을 미친다는 것이고 1차 차동 검파뿐만 아니라 2차, 3차 차동 검파를 수행한다고 했을 때

$$P_N(\mathbf{Y} | \hat{\mathbf{d}}) = \max_{all \mathbf{d}} \prod_{k=0}^{N-1} P(\mathbf{Y} | d_i, d_{i-1}, \dots, d_{i-M+1}) \propto \prod_{i=1}^N \prod_{m=1}^M \exp\left(-\left|Y_{i,m} - \left(\prod_{z=i-m+1}^i d_z\right) N_f^2 E_s\right|^2 / \sigma_n^2\right) \quad (5)$$

가 된다. 여기서 E_s 는 신호 $g(t)$ 의 에너지 N_f 는 프레임의 신호수이다^[6].

이러한 계산은 곱셈의 복잡성 때문에 곱셈을 덧셈으로 변환시키는 Log를 취하게 되고 정리하면

$$P_N(\mathbf{Y} | \hat{\mathbf{d}}) = \max_{all \mathbf{d}} \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M \left(-\left|Y_{i,m} - \left(\prod_{z=i-m+1}^i d_z\right) N_f^2 E_s\right|^2 / \sigma_n^2\right) \quad (6)$$

여기서 최대 확률론적 비터비 디코더를 수행하게 되며 한 프레임 내에서만 비터비 디코더의 깊이(depth)를 제한하면 수신된 신호열 \mathbf{Y} 를 다음과 같이 정의된 경로 메트릭을 최소화시키는 것과 같게 된다.

$$m_p = \min_{all \mathbf{d}} \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M \left(\left|Y_{i,m} - \left(\prod_{z=i-m+1}^i d_z\right)\right|^2\right) \quad (7)$$

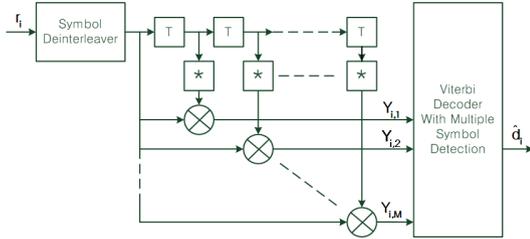


그림 2. 다중 심벌 검파를 이용한 트렐리스 부호화 변조 수신기 시스템

Fig. 2. TCM receiver using multiple symbol detection

이러한 경로 메트릭을 이용한 복조 블록도가 그림 2에 나와 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문의 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에서 다중 심벌 검파를 적용한 TCM을 시뮬레이션 하기 위한 시스템 모델은 그림 2와 같다. 랜덤 발생기에 의해 데이터를 발생시켜 트렐리스 부호화된 차동 검파와 심벌 인터리빙을 통과하여 전송하게 된다. 여기서 TCM의 콘벌루션 인코더의 상태수는 4, 8, 16이다. 전송된 신호는 S-V 모델의 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널과 AWGN 채널을 통과하게 된다. 수신측에 의해 수신된 신호는 인접된 채널 신호열들 간의 1차 위상차와 2차 위상차를 추출하게 되며 다중 심벌 검파를 수행하는 TCM의 비터비 디코더에 입력되어 진다. 시뮬레이션 결과 그림 3처럼 BER 특성 중 다중심벌검파를 이용하면 약 4-5dB 코딩 이득의 향상이 있게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에서 코딩 이득을 향상시키고자 다중 심벌 검파를 수행하는 트렐리스 부호화 변조를 적용하였다. 트렐리스 부호화 변조는 전력과 대역폭의 증가 없이 코딩 이득을 얻는 기법으로 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에서 다중 심벌 검파를 수행하는 트렐리스 부호화 변조 방식을 제안하였다. 이러한 시스템을 임펄스 라디오 초광대역 통신 채널에 적용하였을 때 얻을 수 있는 코딩 이득은 상태수에 따라

4-5dB의 코딩 이득 개선이 있다. 상태수가 증가하면 더 큰 코딩 이득을 얻을 수 있으리라 판단된다.

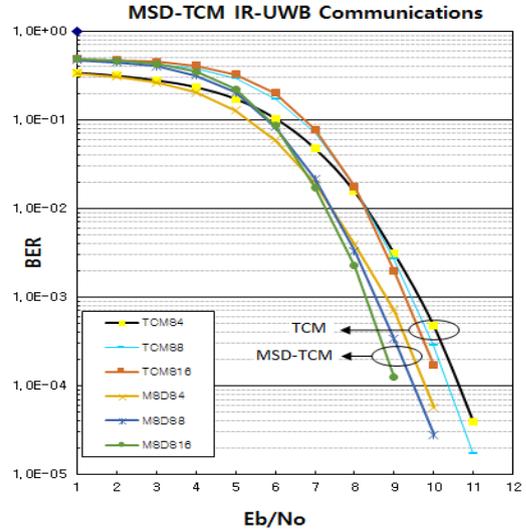


그림 3. 임펄스 라디오 초광대역 통신에서의 다중 심벌 검파를 이용한 트렐리스 부호화 변조 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation Result of TCM using multiple symbol detection for IR-UWB

References

- [1] K. H. Jung and S. Y. Kim, "UWB signal acquisition based on differential sign correlation," in *Proc. IEIE Conf.*, pp. 174-177, Jul. 2003.
- [2] S. Kim, J. Kim, Y. Shin, and D. Roh, "Differential-average transmitted reference ultra wide band communication system," *J. KICS*, vol. 34, no. 1, pp. 81-89, Jan. 2009.
- [3] I. Dotlic and R. Miura, "Novel trellis coded modulation for coherent IEEE 802.15. 4a impulse-radio ultra- wideband communications," *IEEE ISSNIP*, pp. 1-6, Apr. 2014.
- [4] J. R. Foerster, M. Pendergrass, and A. F. Molisch, "A channel model for ultrawideband indoor communication," *Int. Symp. Wirel. Pers. Multimedia Commun.*, vol. 15, Oct. 2003.
- [5] G. Ungerboeck, "Channel coding with multilevel phase signals," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-28, pp. 55-67, Jan. 1982.
- [6] T. Wang, T. Lv, H. Gao, and S. Zhang, "Joint multiple symbol differential detection and channel decoding for noncoherent UWB impulse radio by belief propagation," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 1, pp. 293-306, Jan. 2017.