

훈련 수열을 이용한 UWB 채널 추정 기법

김 종 민, 김 선 용
건국대학교 전자공학부
전화 : 02-450-3463

A UWB Channel Estimation Technique Using Training Sequence

JongMin Kim, Sun Yong Kim
Dept. of Electronic Engineering, Konkuk University
E-mail : kimsy@konkuk.ac.kr

Abstract

무선 통신 서비스에 대한 수요가 급격히 증가하면서 높은 데이터 전송율을 갖는 무선 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. UWB는 (Ultra Wide Band) 이러한 문제점을 해결할 수 있는 통신 방법 중의 하나로 이 논문에서는 현재 IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서 제시하고 있는 채널 모델에 대해서 알아보고, 제시된 채널 모델에 LS (Least Square) 방법을 적용하여 채널의 임펄스 응답을 (Channel Impulse Response) 추정한다. 채널 추정의 성능 지표로 Preamble의 크기에 따른 MSE와 (Mean Square Error) 각각의 채널에 대한 비트 에러율을 사용하여 모의 실험을 본 논문에서 다루는 추정 기법의 성능을 분석한다.

I. 서론

최근의 무선 통신 기술은 3세대 통신을 지나 4세대 무선 이동통신 기술에 관심이 높아지고 있으며, 이러한 4세대 무선통신을 위한 표준화가 진행 중에 있다. UWB 통신 시스템은 매우 짧은 펄스를 이용한 광대역 통신 방법을 말하는데 1.5GHz이상의 주파수 대역을 사용함으로써 높은 데이터 전송율을 보이며, 전송

에너지를 광대역 주파수로 분산 시키기 때문에 기존의 주파수 대역에 간섭 영향을 주지 않으면서도 통신이 가능하다.

또한, 펄스 전송을 하는 특성 때문에 믹서, 주파수 신디사이저, IF (Intermediate Frequency) 필터 등이 필요 없으며, 통신 데이터의 도달거리가 제한적인 응용 분야에서는 파워 앰프도 필요 없다는 장점을 가지고 있다 [1].

미국의 연방통신위원회에서는 (FCC) UWB 무선장치를 허가 받지 않고 사용할 수 있는 무선장치로 사용하기 위하여 기존의 무선 기술이 사용하고 있는 주파수 대역에서 UWB 무선 기술의 스펙트럼 방사 전력을 보다 엄격하게 제한하고 있다. 그림 1과 같이 UWB 무선 기술의 경우 3.1~10.6GHz 주파수 대역에서 Part15의 비허가 무선 기술의 최대 방사 전력인 41.25dBm/MHz로 규제하고 있으며, 이는 잡음 수준의 전력임을 알 수 있다 [2].

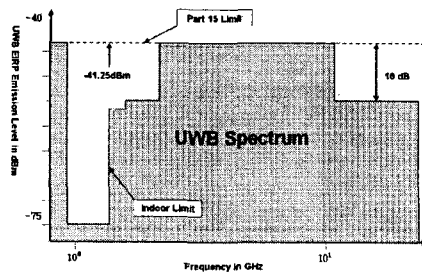


그림 1. FCC의 UWB 주파수 스펙트럼 방사규정

무선 통신 시스템에서 채널 추정은 없어서는 안 될 중요한 부분 중의 하나로 등화기 보다 간단한 방법으로 채널을 추정할 수 있다 [3]. 본 논문에서는 혼련 수열을 이용한 LS 채널 추정 방법을 사용하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UWB 채널의 특성에 대해서 소개하고, 3장에서는 채널 추정 방법에 대해서 알아본다. 4장에서는 UWB 채널에 LS 채널 추정 방법을 적용하여 컴퓨터를 이용한 모의 실험을 하고 각각의 채널 모델에 대한 비트 에러율 결과와 채널 추정의 MSE를 제시하며 결과에 대한 토의를 하고 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

II. UWB 채널 특성

실내 환경에서의 UWB 채널 모델에 대한 여러 연구 결과가 제안되었지만 본 논문에서는 현재 IEEE 802.15.TG3a 표준화 위원회에서 사용하고 있는 수정된 S-V (Saleh-Valenzuela) 채널 모델을 적용한다.

S-V 채널 모델은 클러스터와 (Cluster) 레이로 (Ray) 구성되어 있으며 또 각각의 클러스터와 레이의 세기 분포는 지수 함수 분포를 갖는 특징이 있다 [4].

수정된 S-V 채널 모델은 0~4M 거리에서의 LOS 일 (Line of Sight) 때와 0~4M 거리에서의 NLOS (Non Line of Sight), 4~10M 거리에서의 NLOS, 그리고 Extreme NLOS 일 때의 4가지 경우로 나누어져 있으며, 클러스터와 레이의 분포가 로그 노말 (Log-normal) 분포를 가진다. 그림 2는 채널 모델 1에서의 채널의 임펄스 응답을 나타내고 있다. 채널 모델 1에서 채널 모델 4로 갈수록 임펄스 응답이 확산이 되는데, 이는 실내 환경에서의 다중경로에 의한 페이딩 현상으로 거리가 멀어질수록 신호 간 간섭 영향이 커지게 됨을 알 수 있다.

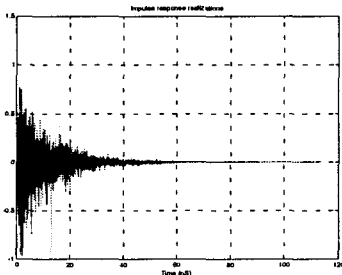


그림 2. UWB 채널 모델 1의 임펄스 응답

실내 다중 경로를 고려한 수정된 S-V 채널 모델

에서는 다음 표 1과 같은 채널의 특성을 제시하고 있다.

채널 특성	CM 1	CM 2	CM 3	CM 4
Mean excess delay	5	9.9	15.9	30.1
RMS delay	5	8	15	25
NP(10dB)	12.5	15.3	24.9	41.2

표 1. UWB 채널 특성

Mean excess delay는 첫 번째 클러스터에 첫 번째 레이가 들어오는 초과 지연시간의 평균을 의미하고, RMS delay는 실효치 지연 시간, NP(10dB)는 다중경로 중에서 최대값의 10dB안에 들어오는 경로의 수를 의미한다 [5].

III. 채널 추정 방법

본 장에서는 UWB 채널에서의 채널 추정 방법에 대해 설명한다. 표준화 위원회에서 채택하고 있는 UWB 채널 임펄스 응답은 클러스터와 레이의 지연 시간이 포아송 분포를 (Poisson Distribution) 따르기 때문에 오버 샘플링을 한 후에 원하는 임펄스 응답의 심벌 주기로 샘플링 한다. 따라서, UWB 채널 추정을 위한 채널의 임펄스 응답을 다음 식 (1)와 같이 가정한다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^L h_l \delta(t - lT). \quad (1)$$

h_l 는 l 번째 채널 임펄스 응답의 계수가 되고, T 는 채널 임펄스 응답의 주기를 의미한다. 여기서 채널의 임펄스 응답을 벡터로 표현하면 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{h} = [h_0, h_1, h_2, \dots, h_L]. \quad (2)$$

수신단에서 수신된 신호는 식 (3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{M}\mathbf{h} + \mathbf{n}, \quad (3)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_L & \dots & m_1 & m_0 \\ m_{L+1} & \dots & m_2 & m_1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ m_{L+P-1} & \dots & m_P & m_{P-1} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

여기서 \mathbf{M} 은 식 (4)와 같은 훈련 수열을 이용한 상관 행렬을 의미하고, P 는 훈련 수열의 길이, \mathbf{n} 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 백색잡음을 의미한다.

일반적인 LS 방식의 채널 추정 방법에 의한 채널 응답 $\hat{\mathbf{h}}$ 은 식 (5)으로 표현된다.

$$\hat{\mathbf{h}} = \arg \min \|\mathbf{y} - \mathbf{M}\mathbf{h}\|. \quad (5)$$

백색잡음에서의 LS 채널 추정 방법은 식 (6)로 표현된다.

$$\hat{\mathbf{h}} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T \mathbf{y}. \quad (6)$$

여기서 \mathbf{M}^T 는 행렬 \mathbf{M} 의 전치행렬을 의미하고, 추정하려는 채널의 응답 $\hat{\mathbf{h}}$ 는 훈련 수열 행렬의 역행렬을 이용하여 구할 수 있다.

또한, $\mathbf{P} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T$ 라고 하면 채널 추정의 MSE는 식 (7)으로 표현된다 [6][7].

$$\text{MSE} = 2\sigma^2 \mathbf{P}(\mathbf{P})^T. \quad (7)$$

IV. 모의 실험 및 결과

본 장에서는 앞서 설명한 채널 추정 방법을 UWB 채널에 적용하여 컴퓨터를 이용해서 모의 실험을 수행하였다. 변조 방법은 BPSK를 (Binary Phase Shift Keying) 사용하였으며, 채널 추정을 위해 사용된 수열은 길이가 31인 m -수열을 사용하였다.

우선 Preamble의 길이가 UWB 시스템에 미치는 영향에 대해서 알아보았는데 수열을 반복 사용하면서 채널의 Preamble의 길이를 증가시켰을 때 다음과 같은 결과를 얻었다. 신호대 잡음비를 5dB로 고정하고 길이가 31인 m -수열을 이용하여 모의 실험을 수행한 결과이다. 앞장에서 유도된 식 (7)을 이용하여 계산된 MSE와 실제 모의 실험을 통하여 식 (8)와 같이 모의 실험한 결과값이 동일하다는 것을 확인할 수 있었다.

$$\text{MSE} = E[|\hat{\mathbf{h}} - \mathbf{h}|^2]. \quad (8)$$

그림 3에서와 같이 Preamble의 길이가 증가 할수록 MSE는 계속적으로 감소됨을 확인할 수 있었는데 이는 채널 추정에서 추정된 채널 임펄스 응답과 채널

의 임펄스 응답간의 오차의 분산을 줄이기 위해서는 Preamble의 길이를 증가시켜야 함을 알 수 있다.

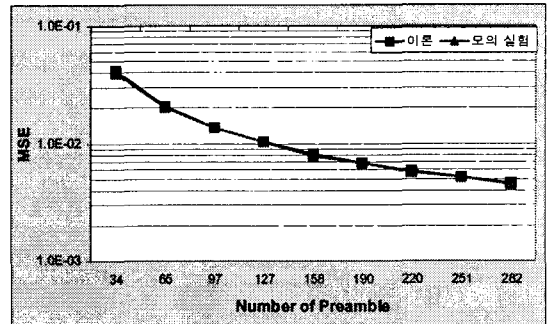


그림 3. Preamble 길이에 따른 MSE

그림 4는 신호대 잡음비를 5dB로 고정하고 Preamble의 길이를 변화시켰을 때의 UWB 채널 모델 1에서의 비트 에러율을 비교한 그래프이다. 추정하려는 채널의 임펄스 응답의 개수 보다 Preamble의 길이가 길때 Preamble의 길이를 증가 시켜 나가면 비트 에러율 성능은 거의 일정한 값으로 수렴함을 확인할 수 있었는데, 이는 채널 추정을 위해서 Preamble의 길이를 무한히 길게 하여도 심벌간 간섭에 대한 영향으로 비트 에러율 성능에는 큰 변화가 없음을 확인할 수 있었다.

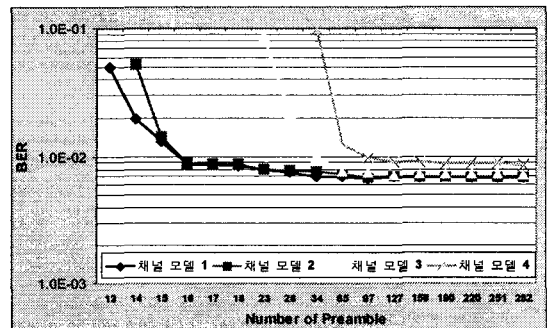


그림 4. Preamble 길이에 따른 UWB 각 채널의 비트 에러율

UWB 표준화 위원회에서 제시하고 있는 각 채널 모델별 비트 에러율은 송신단과 수신단간의 거리가 가까울수록 다중경로에 대한 간섭 영향이 적기 때문에 비트 에러율은 채널 모델 1에서 채널 모델 4로 갈수록 나빠짐을 확인할 수 있었다.

본 모의 실험을 통해서 UWB 채널 환경에서의 각 채널 모델에 따른 비트 에러율 성능을 알아보았고 LS 채널 추정 방법을 직접 적용해 봄으로써 Preamble 길이에 따른 MSE를 알아보았다. Preamble

의 길이를 증가시키면 MSE는 지속적으로 감소하지만 채널 모델 1에서 채널 모델 4까지 비트 에러율은 Preamble 길이에 따라 더 이상 개선되지 않음을 확인할 수 있었다.

V. 결론

UWB 통신 시스템은 저전력을 이용한 초고속 무선 통신 시스템으로 근거리 무선 홈 네트워크를 위한 무선 통신 기술로 주목을 받고 있는 통신 기술이다.

본 논문은 현재 표준화가 진행되고 있는 UWB 통신 시스템의 채널의 특성에 대해서 알아보았고, 구조가 간단한 LS 채널 추정 알고리즘을 UWB 채널에 적용해 보았다. 모의 실험을 통해서 UWB 채널 모델 1에서 채널 모델 4까지의 비트 에러율 성능에 대해서 알아 보았으며 Preamble의 길이가 채널 추정에 미치는 영향에 대해서 추정된 채널 임펄스 응답의 MSE를 통해서 알아보았다. 또한 Preamble의 길이가 UWB 시스템의 비트 에러율 성능에 미치는 영향에 대해서도 알아보았다.

본 논문의 채널 추정 알고리즘에서는 송신단과 수신단의 동기는 완벽하게 맞았다고 가정하고 있는데, 동기가 완전하지 않을 때 채널 추정에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하고 있다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-041-D00380)

참고문헌

- [1] 이형수, 김재명, "UWB 무선 기술 및 규제 동향," *한국통신학회지* 제 20권, 제 2호, pp.13-21, 2003년 2월.
- [2] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra wideband transmission systems," *ET Docket*, 98-153
- [3] J.G. Proakis, *Digital Communications 3rd Ed*, McGraw Hill Inc., Singapore, 1995.
- [4] A.A. Saleh and R.A. Valenzuela, "A statical model for indoor multipath propagation," *IEEE journal*, vol. 1, SAC-5, no. 2, Feb. 1987.
- [5] J. Foerster, "Channel Modeling Sub-committee Report Final," *IEEE Working Group 802.15 Document*, Nov. 2002.
- [6] A. Rizaner, H.A. Amca, K. Hacıoglu, and A.H. Ulusoy, " Channel estimation using short training sequence," *IEEE VTS-Fall VTC 2000*, vol. 6, pp. 2630-2633, 2000.
- [7] S.N. Crozier, D.D. Falconer and Mahmoud, "Least sum of squared errors (LSSE) channel estimation," *IEEE Proc.* vol. 138, no. 4, Aug. 1991.