블루투스 비콘을 이용하는 실내 측위에서 RSSI 신호의 통계적 분석

변석주, 김예빈, 유지현, 박양배, 이예훈
서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과
y.lee@seoultech.ac.kr

Statistical Analysis of RSSI Signals in Indoor Positioning Systems using Bluetooth Beacons

Ye-Bin Kim, Seok-Ju Byun, Ji-Hyeon Yoo, Yang-Bae Park, Ye Hoon Lee
Seoul National University of Science & Technology

요약

블루투스 비콘을 이용한 실내 측위 시스템에서 수신 RSSI 신호는 다중경로 페이딩, 주변 신호의 간섭 등의 영향으로 인하여 불규칙한 잡음이 섞이게 된다. 본 논문에서는 실제 실내 환경에서의 측정을 통해 RSSI 신호의 통계적 특성을 분석한다. 또한, RSSI 신호의 잡음을 완화시켜서 효과적으로 실내 측위를 수행할 수 있는 방안에 대해서도 모색해 본다.

1. 서론

실외에서는 GPS(Global Positioning System)를 활용하여 정확도가 높은 측위가 가능하지만, 실내에서는 GPS의 정확도가 떨어지기 때문에 와이파이, UWB(Ultra Wide-Band), 블루투스 비콘과 같은 장치를 활용한 측위 방법이 널리 쓰이고 있다. 블루투스 비콘을 실내 측위에 사용할 때 비콘이 보내는 신호의 수신 강도인 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 활용해서 측위를 진행하는데 이상적이라면 수신기에서 정확한 수신강도가 측정되어야 하지만 실제 환경에서는 다중경로 페이딩, 여러 간섭 신호 등의 영향으로 불규칙한 잡음이 섞이게 된다[4]. 이러한 잡음을 모델링할 때에는 많은 논문에서 평균이 0이고 표준편차가 σ인 가우시안 분포(정규 분포)를 따른다고 설명을 하고 있다[1][2].[1)]

본 논문에서는 실제로 실내 환경에서 측정한 데이터를 바탕으로 RSSI 값의 통계적 특성을 분석하여 기존 논문들에서 언급된 통계적 특성과 비교한다. 또한 이러한 잡음을 완화시킬 수 있는 방법에 대해서도 모색하여 효율적인 실내 측위 방안에 대해서도 고찰해 보고자 한다.

2. 경로 감쇄 모델

수신 RSSI 신호를 이용하여 실내 측위를 진행할 때, RSSI 값을 거리 값으로 환산해주는 경로 감쇄 모델이 필요하다. 여러 모델 중에서 Log-Normal Shadowing Model[4]을 많이 사용하고 있으며 본 논문에서도 다음과 같이 동일한 모델을 사용해서 실험을 진행하였다.

$$RSSI = A - 10n\log(\frac{d}{d_0}) + X_\sigma \quad (1)$$

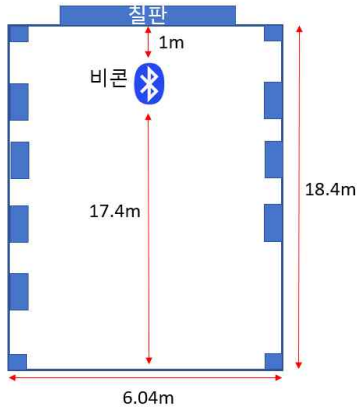
여기서 $RSSI$는 거리 d에서의 신호의 수신강도이며 그 단위는 dBm이다. A는 reference 거리인 d_0에서의 수신강도이며 일반적으로 d_0는 1m를 사용한다. 그리고 n은 손실계수를 의미하며 환경에 따라서 다르기 때문에 실제 측정을 통해서 결정하고, X_σ는 가우시안 랜덤 변수로 평균이 0이고 표준편차가 σ를 따르는 잡음을 의미한다. 따라서 본 논문에서는 가우시안 분포를 따른다고 알려진 X_σ를 실제 측정한 데이터를 바탕으로 그 통계적 특성을 확인하도록 한다.

3. 실험 및 결과 분석

3-1) 측정 실험 환경

실제 실내 환경에서 측정 데이터를 얻기 위하여 [그림 1]과 같이 닫힌 공간인 강의실에서 측정을 진행하였다. 블루투스 비콘의 실제 사용 환경을 고려하여 비콘을 벽면이 아닌 천장에 부착하여 실험을 수행하였다. 송신, 수신 주기는 수신기로 사용한 안드로이드폰의 RSSI 수신 주기의 default 설정 값인 1000ms를 수정 없이 사용하였다. 또한 수신기는 바닥면에서 1m 높이에 위치하였고, [그림1]과 같이 비콘으로부터 1m 간격으로 측정하여 각 거리별로 통계적 분석을 위하여 600개의 측정 데이터를 얻었다.

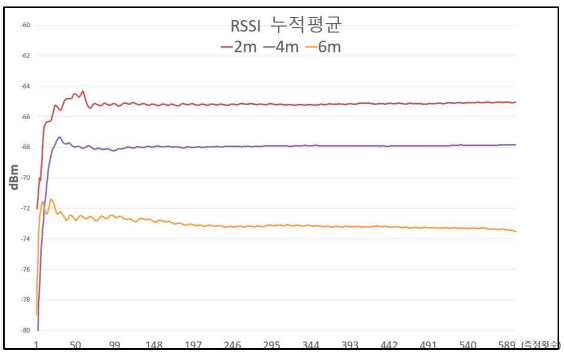
1) dBm scale인 RSSI가 가우시안 분포인 것은 실제 linear scale에서는 Log-Normal 분포임을 의미한다.



[그림 1] 측정이 수행된 실내 닫힌 공간

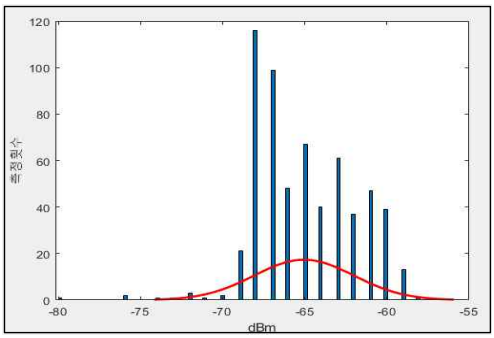
3-2) RSSI의 통계적 특성 분석

[그림 2]는 특정 거리에서 측정 횟수에 따른 RSSI 값의 누적 평균을 도시한 것이다. 불규칙한 순간 RSSI 값으로부터 신뢰성 있는 평균값을 얻기 위하여 측정 데이터의 누적 평균값을 구해보았는데, 본 실험에서는 측정 거리에 따라서 대략 200~300회 이상에서 누적 평균값이 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 Raw 데이터 기준으로 200~300회 이상의 측정값을 얻어야만 신뢰성 있는 RSSI 평균값을 이용할 수 있다는 것을 의미한다.

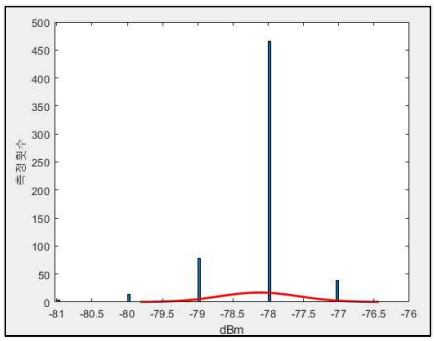


[그림 2] 측정 횟수 대 RSSI 누적 평균값

[그림 3]와 [그림 4]은 각각 4m와 15m 거리에서 측정한 600개의 RSSI 값의 분포를 나타내고 있다. 각각의 측정값이 가우시안 분포(정규 분포) 경향을 띈다는 것을 확인할 수 있으며 비콘으로 부터의 거리가 멀어질수록 좀 더 정규분포의 가까운 형태를 보이는 것을 확인할 수 있다.



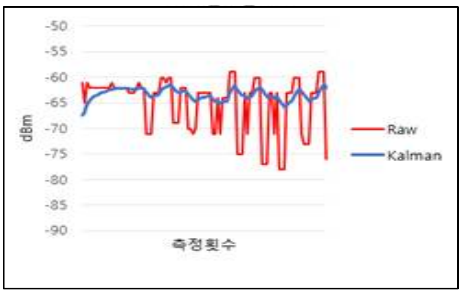
[그림 3] 4m에서 측정한 RSSI 값의 분포



[그림 4] 15m에서 측정한 RSSI 값의 분포

3-3) 칼만 필터를 이용한 잡음 완화

불규칙한 잡음으로 인하여 발생하는 RSSI 측정값의 신뢰도 문제를 해결하기 위하여 측정한 Raw 데이터를 그대로 사용하는 것이 아닌, 필터를 사용하여 조금 더 안정화된 데이터의 얻을 수 있는 방법을 고려하였다. 본 논문에서는 측정된 이전 데이터 값을 사용하여 다음 데이터의 결과 값을 예측하는 칼만 필터를 적용하였다[2][3]. [그림 5]에서 관찰할 수 있듯이 거리가 고정되어 있고 움직임이 적은 실내 환경에서 조차도 변동성이 심한 RSSI 측정값을 칼만 필터를 사용함으로써 보다 더 안정화된 값으로 변환할 수 있음을 확인할 수 있었다. [그림 5]에서 빨간색으로 표시된 그래프가 측정된 RSSI Raw 데이터이고, 파란색으로 표시된 그래프가 측정된 RSSI 데이터에 칼만 필터를 적용했을 때 얻은 결과 값을 나타낸다. 두 그래프를 비교해보면 칼만 필터의 출력값이 Raw 데이터와 비교했을 때 훨씬 변동성이 적으므로 보다 더 신뢰성 있는 값으로서 사용될 수 있음을 알 수 있다. [그림 5]의 결과를 보아 RSSI Raw 데이터에 칼만 필터를 적용하면 RSSI의 누적 평균값이 필터 적용 전보다 훨씬 적은 측정 횟수에서 수렴할 것으로 예상된다.



[그림 5] 칼만 필터가 적용된 RSSI 값의 변화

4. 결론

블루투스 비콘을 이용한 실내 측위에서 실제 실내 환경에서의 측정을 통해 RSSI 신호의 통계적 특성을 분석하였다. 다중경로 페이딩과 여러 주변 환경의 간섭들로 인하여 야기되는 잡음은 가우시안 분포를 따르는 것으로 보이며, 블루투스 비콘으로 부터 수신기가 멀어질수록 더욱 가우시안 분포에 가까운 것을 확인할 수 있었다. 또한, 이러한 정규분포를 따르는 RSSI 값을 칼만 필터를 이용하여 잡음의 영향을 효과적으로 완화시킬 수 있다는 것

을 확인하였다. 본 논문에서 고찰한 이러한 사실들은 블루투스 비콘을 이용한 실내 측위 시스템의 정확도를 향상시키는 데 많은 도움이 될 것으로 보인다.

5. ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원(No. 2016-0-00144, 시청자 이동형 자유시점 360VR 실감미디어 제공을 위한 시스템 설계 및 기반기술 연구)과 한국연구재단 이공분야기초연구사업의 지원(No. 2020R1F1A1071707)을 받아 수행된 연구임.

6. 참고문헌

[1] N. Patwari, A. O. Hero, M. Perkins, N. S. Correal and R. J. O'Dea, "Relative location estimation in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no. 8, pp. 2137-2148, Aug. 2003.

[2] J. Yang, et al. “A distance estimation scheme based on WLAN RF properties for localization of mobile terminals,” *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 39B, no. 7, pp. 449-458, July 2014.

[3] Vicente Cantón Paterna, Anna Calveras Augé, Josep Paradells Aspas, María Alejandra Pérez Bullones “A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering,” *Sensors 2017*, vol. 17, 16 December 2017

[4] T. S. Rappaport, *Wireless Communications : Principles and Practice,* NJ, Prentice-Hall, 1996.