

확장 칼만 필터를 이용한 비콘의 거리 측정에 관한 연구

장 규 호*

Study on Distance Measurement of Beacon Using Extended Kalman Filter

Jang Gyuhoo

〈Abstract〉

In this study, inaccurate RSSI values of beacons are corrected using extended Kalman filter. For the experiment, the beacon was manufactured using Arduino Uno board and HM-10 Bluetooth module. RSSI values according to the distance between beacon and the viewer were measured at intervals of 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, and 5m. To remove the irregular signal pattern of the beacon, the extended Kalman filter was applied to obtain the average and standard deviation of the actual distance and the measured distance, and it was confirmed that more than 76.6% of the irregular signal pattern was removed after using the extended Kalman filter. In addition, through the smartphone app, it was confirmed that the distance accuracy between the beacon and the measurer was less than the actual distance and the measured distance within 2m, and the standard deviation was small.

Key Words : Beacon, Extended Kalman Filter, RSSI, Distance Measurement, Signal Pattern

I. 서론

1)

사물인터넷(IoT : Internet of Things)은 사물과 사물 또는 사람과의 통신을 의미하는 것으로, 정보 교환을 위해 저 전력 블루투스(BLE : Bluetooth Low Energy) 방식의 비콘(Beacon)이 최근 각광 받고 있다 [1, 2]. 비콘은 위치 기반의 서비스를 제공하며, 신호 송수신 거리가 최대 50m로 길기 때문에 NFC(Near Field Communication)와 달리 근거리 접촉이 필요 없어 사용자의 행동을 요구하지 않는 편리함을 제공한다. 이런 장점으로 현재 다양한 사물인터넷 서비스가 출시되고 있으나 비콘은 장애물이나 전파방해 등

환경요소에 영향을 받아 거리 측정에 사용하는 RSSI(Receiver Signal Strength Indicator)값의 신뢰성이 떨어지는 단점을 가지고 있다[3]. 본 연구에서는 비콘의 부정확한 RSSI 값을 확장 칼만 필터를 이용하여 보정하고 신뢰성 있는 거리 측정값을 확인한다.

본 연구를 위해 아두이노 우노 보드와 HM-10 블루투스 모듈을 이용하여 비콘을 제작하였으며, RSSI 값을 측정하기 위해 안드로이드 스마트폰 앱을 프로그래밍하였다. 확장 칼만 필터를 이용한 보정된 RSSI 값을 측정하기 위해 비콘과 측정자와의 거리를 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m 간격으로 측정하여 실제 거리 값으로 환산 및 확장 칼만 필터를 이용하여 실제 거리 값으로 보정하였다. 기존에

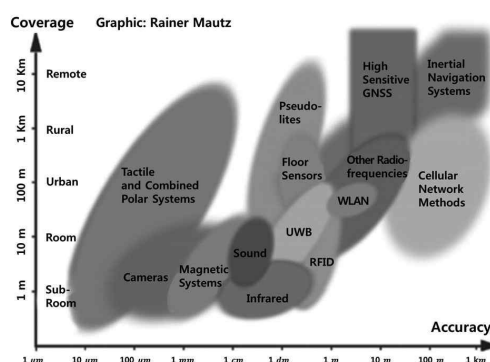
* 명지전문대 소프트웨어콘텐츠과 조교수

연구된 논문에서는 제품화된 비콘이나 칼만 필터를 이용한 주제로 연구되었으나, 본 연구는 기존의 선형 시스템에 사용되는 칼만 필터가 아닌 비선형 현상을 적용할 수 있는 확장 칼만 필터를 사용하여 RSSI 값에 정확성을 기할 수 있었으며, 제작된 비콘으로 신뢰성 있는 측정 거리를 확인할 수 있었다.

II. 관련 연구

거리 측정 및 위치 파악을 위해 실외의 경우 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 차량 내 비게이션과 스마트폰에서 사용자의 위치를 얻을 수 있으나 전체 생활의 80% 이상의 시간을 거주하는 실내공간에서는 아직 표준화된 측위 기술은 없으며, 현재 실내공간에서의 정확한 측위를 확인하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 실내 측위 기술은 WLAN(Wireless Local Area Network), 블루투스, 기지국, 관성항법, 고감도 GNSS(Global Navigation Satellite System), UWB(Ultra Wide Band), RFID, 의사 위성, 초음파, 적외선, 지자기, 카메라 등 위치 정확도와 가용 서비스를 기준으로 다양한 물리적 자원을 활용한 측위 서비스로 분류되고 있다[4-7]. WiFi, Bluetooth, RFID, UWB 센서별 실내 측위를 비교한 결과 네트워크 속도는 UWB가 우수하며, 보안 여부는 WiFi와 Bluetooth가 우수하다. 인식 거리는 WiFi가 2m에서 5m이며, 블루투스는 상황에 따라 100m, 20m, 10m이며, RFID는 20m 이내, UWB는 9m 정도이다. <그림 1>은 위치 정확도 및 가용 서비스 영역별 실내 측위 기술이 나타나 있다. 이 중에서 블루투스를 이용한 비콘이 측정자와의 거리를 정밀하게 감지하는 데 활용되고 있다[8]. 비콘은 저전력 블루투스 4.0 기반의 근거리 무선 통신 장치로써 사물인터넷 구현 기술 중 하나인 위치기반 서비스(LBS) 기술이며, 소량의 패킷을 사용하여 주기적으로 신호를 발송

하고, NFC와 달리 기기를 서로 연결하여 동작할 수 있도록 해주는 과정인 페어링이 필요 없으며, 저전력으로 신호 범위가 최대 50m에 달하는 특징을 가지고 있다. 비콘은 RSS를 이용하여 사용자의 거리를 감지하는데, 이는 기존의 위치측정 방법인 GPS가 Wi-Fi 기술과 달리 비콘에 접근하는 사용자를 정밀하게 인식하는 기술로 활용되고 있다.



<그림 1> 위치 정확도 및 가용 서비스 영역별 실내 측위 기술 분류[9]

III. 연구 목표 및 범위

비콘은 RSS(Received Signal Strength)를 이용하여 측정자와의 거리를 감지하고 있다. 비콘의 송수신 패킷의 데이터 포맷은 <표 1>과 같다.

<표 1> 비콘 패킷의 데이터 포맷

Data Format	Manufacture ID(9 Byte)
	UUID(16 Byte)
	Major(2 Byte)
	Minor(2 Byte)
	TX Power(1 Byte)

Manufacture ID는 제조사 ID이며, UUID는 사용자

고유 식별자이며, Major는 동일한 UUID를 가진 비콘을 구분하기 위하여 사용하며, Minor는 동일한 UUID, Major를 가진 비콘을 식별하기 위해 사용된다. TX Power는 비콘이 1m 거리에서 측정되는 RSSI 값을 나타낸다. RSSI는 무선 수신기에 수신되는 전력의 수치로 비콘의 신호 강도는 양의 dBm값을 제공할 정도로 강하지 않기 때문에 음의 값을 갖는다. 따라서 0에 가까워질수록 신호가 강하다는 것을 의미하며 Tx값을 RSSI로 환산하기 위한 수식은 식(1)로 나타낼 수 있으며 식(1)에서 D는 측정자와 비콘과의 거리를 의미한다. 해당 식을 변형하면 식(2)가 되며, RSSI의 값을 식(2)에 적용하면 dBm으로 표현되는 값을 거리(m)로 표현할 수 있다. 식(2)에서 n은 주변 환경으로 인해 발생하는 전파의 손실 정도인 전파 손실 계수를 의미하여 손실된 값을 보정하기 위한 값으로 일반적인 자유 공간에서 일반적으로 n=2 값을 가진다. <표 2>는 환경에 따른 전파 손실 계수를 나타내었다.

<표 2> 전파 손실 계수 n[10]

환경	전파 손실 계수
자유공간	2
시가지	2.7 ~ 3.5
방해물이 없는 빌딩	1.6 ~ 1.8
방해물이 있는 빌딩	4 ~ 6
사무실	2 ~ 3

<표 3> 비콘의 송신 전력값[11]

TX Power	Decimal Value	RSSI @ 1meter	Range(meter)
0	-30dBm	-115 dBm	2
1	-20dBm	-84 dBm	4
2	-16dBm	-81 dBm	10
3	-12dBm	-77 dBm	20
4	-8dBm	-72 dBm	30

이득을 계산한다. 세 번째는 입력된 측정값으로 추정값을 계산하며, 네 번째는 오차 공분산을 구하는 단계로 오차 공분산은 추정값이 얼마나 정확인지 알려주는 척도로 보통 오차 공분산을 가지고 앞에서 계산한 추정값으로 사용 여부를 판단한다.

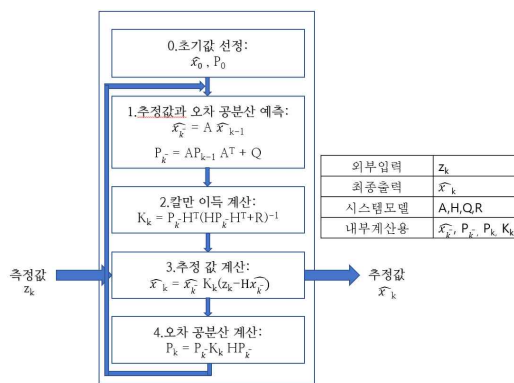
본 논문에서 사용한 확장 칼만 필터는 기존의 칼만 필터가 그래프의 형태가 1개의 직선을 표현되는 선형 시스템에 적용되지만, 자연계의 현상은 모두 비선형으로 볼 수 있으므로 이를 위해 확장 칼만 필터를 사용하였다.

$$RSSI = -10 * n * \log(D) + TX Power [dBm] \quad (1)$$

$$D = 10^{((TX Power - RSSI) / (10 * n))} [m] \quad (2)$$

<표 3>은 식 (2)를 이용하여 비콘이 제공하는 송신 전력 세기의 단계와 최대 전송범위를 나타내었다.

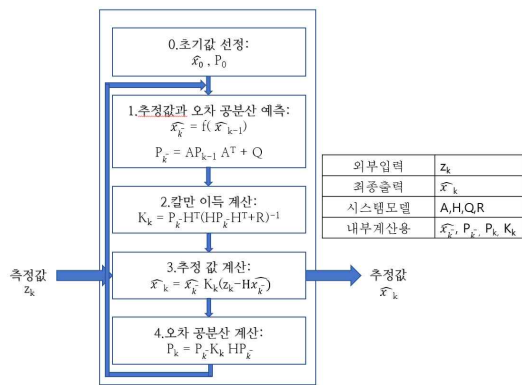
RSSI 값은 장애물이나 전파방해 등 환경요소에 영향을 받기 때문에 본 논문에서는 이를 칼만 필터를 이용하여 보정하게 되었다. 칼만 필터는 루돌프 칼만(R. E. Kalman)이 1960년대 처음 제안하였으며, 해당 알고리즘은 과거, 현재, 미래의 상태를 예측하여 보정하는 것으로써, 다음의 상태를 예측하거나 추정하는 모델 시스템에 활용되고 있다[12]. 칼만 필터는 입력과 출력이 하나씩인 구조로써, 측정값(Zk)을 입력받아 내부에서 처리한 다음 추정값을 출력한다. 칼만 필터 계산은 <그림 2>와 같이 이루어진다. 첫 번째는 추정값과 오차 공분산 예측단계이며 두 번째는 칼만



<그림 2> 칼만 필터 알고리즘

<그림 3>에 나타난 확장 칼만 필터 알고리즘은 <그림 2>와 같이 상태변수가 계수를 따로 분리해서 쓰지 않고, 식(3)과 같이 선형 행렬식을 비선형으로 바꾸어 사용한다.

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= f(x_k) + w_k \\ z_k &= h(x_k) + v_k \end{aligned} \quad (3)$$



<그림 3> 확장 칼만 필터 알고리즘

<그림 3>에서 Q는 프로세스 노이즈, R은 측정잡음 공분산 행렬값, P는 추정 오차 공분산 행렬값, K는 칼만 이득이다. <그림 4>는 <그림 3>에 나온 확장 칼만 필터 알고리즘을 활용한 안드로이드 스마트폰 앱의 결과값으로 본 논문에서는 비선형 현상을 표현할 수 있는 확장 칼만 필터를 이용하여 불규칙한 블루투스 신호 패턴을 보정하였다.

id	RSSI	Tx	거리
B4:52:A9:12:92:02	-75.0dBm	-59dBm	3.86m
B4:52:A9:12:92:21	-75.0dBm	-59dBm	6.14m
B4:52:A9:01:75:D3	-76.0dBm	-59dBm	6.05m
kalman01=>-78.67053960551003			
kalman02=>-83.87114939438277			
kalman03=>-83.8663174742107			

<그림 4> 비콘 데이터 측정 앱

IV. 실험 및 분석

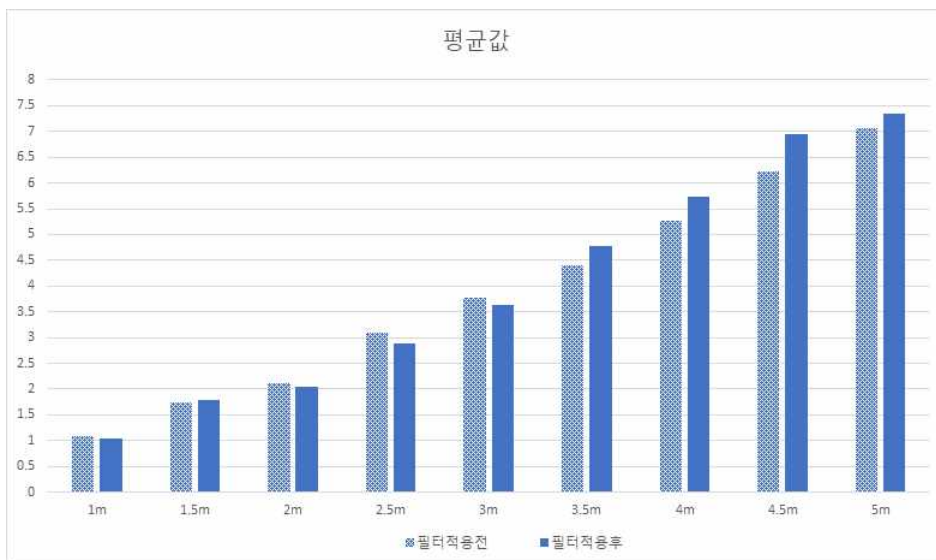
확장 칼만 필터를 적용하여 거리 측정을 위해 RSSI 값을 측정할 수 있는 스마트폰 앱을 통해 비콘과 측정자의 거리 정확도 실험을 진행하였다. <표 4>에 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리를 정리하였다. 거리별 RSSI값과 RSSI값으로 환산한 거리, 확장 칼만 필터를 활용하여 실제거리 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m에서 각각 100차례 반복하여 RSSI값을 측정하고 확장 칼만 필터 적용 전후 평균과 표준편차를 계산하였다. 확장 칼만 필터 적용 전 실제 거리 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m에서의 RSSI를 활용한 환산 거리의 평균값은 1.0814m, 1.743m, 2.1263m, 3.1005m, 3.7737m, 4.4014m, 5.2642m, 6.2206m, 7.073m이며 표준편차는 0.317343837, 0.583693494, 0.64795135, 1.763912877, 2.040935444, 2.352229984, 2.615936852, 3.128154592, 3.819422057으로 2.5m가 넘어가면서 실제 거리와 측정 거리와의 오차 및 표준편차가 증가하는 것을 알 수 있다. <그림 5>는 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리의 평균값을 나타내고 있으며, <그림 6>은 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리의 표준편차를 나타내고 있다. 확장 칼만 필터 적용 전후의 평균값의 추이는 일정하게 나타나고 있으나 표준편차 값으로 볼 때 측정값의 산포도가 일정치 않고, 실제 거리가 증가할수록 산포도가 더욱 고르지 않음을 알 수 있다. 이로써 확장 칼만 필터 적용 전의 측정값을 실생활에 사용하기에 재현성이 낮다는 것을 알 수 있다. 확장 칼만 필터 적용 후에는 실제 거리 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m에서의 RSSI를 활용한 환산 거리의 평균값은 1.04099687m, 1.796322095m, 2.048961749m, 2.885960991m, 3.633753256m, 4.78522824m, 5.738142834m, 6.954616918m, 7.340618845m이며, 표준편차는 0.091969276, 0.100078809, 0.170075311, 0.283538531,

<표 4> 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리

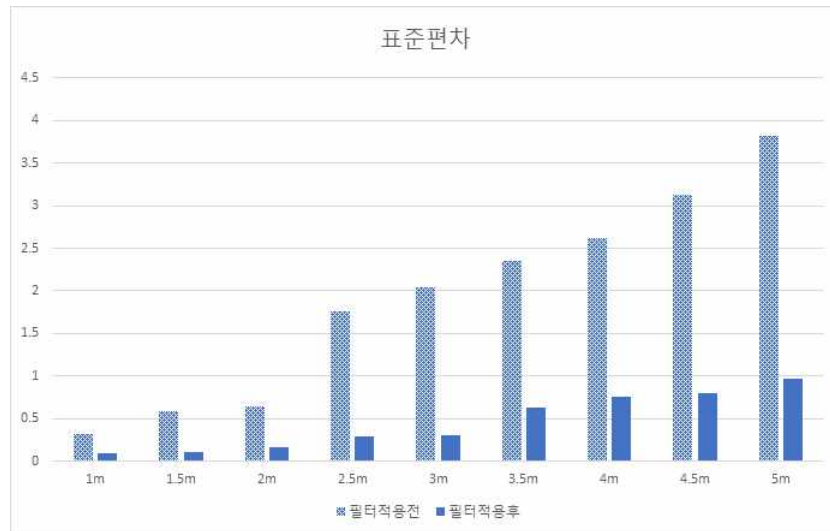
구분	필터 적용 전		필터 적용 후		잡음 제거율
	평균(m)	표준편차	평균(m)	표준편차	
실제 거리					
1m	1.0814	0.317343837	1.04099687	0.091969276	0.710190446
1.5m	1.743	0.583693494	1.796322095	0.100078809	0.828542189
2m	2.1263	0.64795135	2.048961749	0.170075311	0.737518394
2.5m	3.1005	1.763912877	2.885960991	0.283538531	0.839255932
3m	3.7737	2.040935444	3.633753256	0.309076953	0.848561132
3.5m	4.4014	2.352229984	4.78522824	0.630570309	0.731926592
4m	5.2642	2.615936852	5.738142834	0.758108184	0.710196298
4.5m	6.2206	3.128154592	6.954616918	0.792632509	0.746613383
5m	7.073	3.819422057	7.340618845	0.972288064	0.745435815
					평균: 0.766471131 => 76.6%

0.309076953, 0.630570309, 0.758108184, 0.792632509, 0.972288064으로 확장 칼만 필터 적용 전에 비하여 76.6% 이상 잡음이 제거된 우수한 효과를 보여주고 있다. 또한 확장 칼만 필터 적용 후에 산포도가 일정하며 측정값을 실생활에 사용하기에 재현성에 문제가 없음을 알 수 있다. 결론적으로 해당 실험을 통해

스마트폰 앱을 통해 비콘과 측정자의 거리 정확도는 2.5m가 넘어가면서 실제 거리와 측정 거리와의 오차 및 표준편차가 증가하는 것으로 나타나며 2m 내에서 실제 거리와 측정 거리와 오차가 적고 표준편차 값이 적은 것으로 확인할 수 있다.



<그림 5> 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리 평균값



<그림 6> 확장 칼만 필터 적용 전후의 측정 거리 표준편차 비교

V. 결론

확장 칼만 필터를 이용한 비콘의 거리 측정에 관한 연구를 진행하였다. 거리 측정을 위해 아두이노 우노 보드와 HM-10 블루투스 모듈로 제작된 비콘의 RSSI 값을 사용하였으며, RSSI 값의 부정확성을 확장 칼만 필터로 보정하여 신뢰성 있는 거리 측정값을 확인하였다. RSSI 값 측정은 실제 거리 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m에서 회당 100차례 총 900회의 측정실험이 진행되었고 이를 통해 실제 거리와 측정 거리의 평균 및 표준편차를 구하였다. 실험 결과 확장 칼만 필터 적용전 RSSI 값의 재현성이 낮음을 표준편차 값을 통해 알 수 있었으며 이런 불규칙한 신호 패턴을 제거하기 위해 확장 칼만 필터를 적용해 실제 거리와 측정 거리의 평균 및 표준편차를 구해 확장 칼만 필터 사용 후 76.6% 이상의 불규칙한 신호 패턴이 제거된 것을 알 수 있었다. 또한 스마트폰 앱을 통해 비콘과 측정자의 거리 정확도는 2m 내에서 실제 거리와 측정 거리와 오차가 적고 표준편차 값이 적은 것으로 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김성립, "비콘을 이용한 매장관리 모바일 어플리케이션 설계 및 구현," 디지털산업정보학회 논문지, 제14권, 2호, 2018, pp.1-9.
- [2] 서두욱, "사물인터넷 환경에서 CoAP 기반의 저전력, 신뢰성 향상을 위한 경량 프로토콜," 디지털산업정보학회 논문지, 제15권, 1호, 2019, pp.21-28.
- [3] 정한욱, "Bluetooth 특집: 블루투스 기술전망," TTA 저널 75호(정보통신 및 표준 기술 동향), 2001, pp.30-35.
- [4] 유재준, 조영수, "실내 위치 기반 서비스 기술 개발 및 표준화 동향," 전자통신동향 분석, 제29권, 제5호, 2014, pp.51-61.
- [5] 이재기, 소운섭, 이준섭, 유성제, "모바일 단말 기반 고정밀 실내 융합 측위 방법," 전자 통신 동향 분석, 제29권, 제6호, 2014, pp.113-125.
- [6] Rainer Mautz, "Indoor Positioning Technologies," Habitation Thesis submitter to

ETH Zurich, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environment and Geomatic Engineering, ETH Zurich, 2012.

[7] Yanging Gu, A.L., "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks," IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, FIRST QUARTER, 2009, pp.13-32.

[8] 박남욱, "비콘을 이용한 위치 추정 방식에 관한 연구," 한남대학교 대학원, 2019.

[9] 유재준, "실내 위치 기반서비스 국제 표준화 동향 및 이슈," TTA 저널, 157호, 2015, pp. 82-87.

[10] Agustí Corbacho Salas. "Indoor Positioning System based on Bluetooth Low Energy," 71. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.

[11] Transmission power, Range and RSSI, kontakt.io <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201621521-Transmission-power-Range-and-RSSI>, 2018.

[12] 김성필, MATLAB 활용 칼만필터의 이해, 도서출판 아진, 2010.

■ 저자소개 ■



장규호
(Jang Gyuho)

2014년 9월~현재
명지전문대 소프트웨어콘텐즈과
조교수
2021년 8월 명지대학교 전자공학과(공학박사)
2000년 2월 명지대학교 전자공학과(공학석사)
1998년 2월 명지대학교 전자공학과(공학사)
관심분야 : 사물인터넷, 증강현실
E-mail : ghjang@mjc.ac.kr

논문접수일 : 2022년 6월 12일
수정일 : 2022년 6월 30일
게재확정일 : 2022년 8월 24일