

# 통학 차량 안전사고 예방을 위한 선형회귀 기반 거리 추정 모델

이솔비, 권정혁, 김의직\*

한림대학교 소프트웨어융합대학

{thfqla3535, jhkwon, \*ejkim32}@hallym.ac.kr

## Linear Regression-Based Distance Estimation Model for Preventing Safety Accidents in School Vehicles

Sol-Bee Lee, Jung-Hyok Kwon, Eui-Jik Kim\*

School of Software, Hallym University

### 요약

본 논문은 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘 사이의 거리를 정확하게 추정하기 위해 머신러닝 기반의 거리 추정 모델을 제안한다. 이를 위해, 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘과의 실제 거리 및 비콘으로부터 수신된 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 데이터를 활용한 학습을 통해 거리 추정을 위한 선형회귀 모델을 개발한다. 선형회귀 기반 거리 추정 모델은 Python과 sci-kit learn 오픈소스 라이브러리를 사용하여 개발되었다. 제안하는 모델의 성능을 검증하기 위해, 선형회귀 기반 거리 추정 모델과 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델의 거리 추정 정확도를 비교하였다. 실험결과는 선형회귀 기반 거리 추정 모델이 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델보다 86.29% 더 높은 거리 추정 정확도를 나타냄을 보여주었다.

### I. 서론

최근에는 아동 안전사고 예방에 대한 관심과 중요성이 크게 증가함에 따라 아동이 탑승한 차량에 대한 관련 법 개정 및 특별 보호가 의무화되었다. 이에 따라, 통학 차량 내 아동 승하차 확인 장치를 설치하여 차량 운전자의 아동 승하차 확인에 대한 책임을 강화하는 슬리핑 차일드 체크 시스템이 도입되었다 [1]. 그럼에도 불구하고, 아동 안전사고는 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 아동의 통학 차량 승하차 시, 통학 차량과 아동 사이에 충분한 안전거리가 확보되지 않은 상태에서 통학 차량의 출발로 인한 안전사고가 계속해서 발생되고 있다. 이를 해결하기 위해, BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘(Beacon) 기술을 활용한 승하차 안전 관리 시스템이 활발히 연구되었다 [2]. 그러나 기존 연구들은 이상적인 환경만을 고려한 거리 추정 모델을 사용함에 따라 거리 추정의 정확도가 떨어진다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘 사이의 거리를 정확하게 추정하기 위한 머신러닝 기반 거리 추정 모델을 제안한다. 이를 위해, 통학 차량 내 비콘 수신기가 측정한 비콘의 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 데이터와 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘 사이의 실제 거리 데이터를 통해 학습된 거리 추정용 선형회귀(Linear Regression) 모델을 개발한다. 제안하는 모델의 성능을 검증하기 위해, 제안하는 모델과 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델의 거리 추정 정확도를 비교하였다 [3].

### II. 선형회귀 기반 거리 추정 모델 개발

일반적으로 RSSI 값과 거리 간의 관계는 식 (1) 및 (2)와 같은 수식으로 표현된다 [4].

$$RSSI = -10N \log(d) + TxPower \quad (1)$$

$$d = 10^{\left( \frac{TxPower - RSSI}{10N} \right)} \quad (2)$$

여기에서  $d$ 는 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘과의 거리를 나타내고,  $N$ 은 환경 상수를 나타낸다. 또한,  $TxPower$ 와  $RSSI$ 는 비콘의 송신 전력 레벨과 비콘의 수신 신호 세기를 나타낸다. 식 (1) 및 (2)는 이상적인 환경만을 고려하여 개발된 거리 추정 모델로,  $RSSI$ 와 거리 간의 관계가 로그 및 지수 함수로 각각 표현됨을 보여준다.

본 논문에서, 우리는 기존 모델의 RSSI와 거리 간의 관계 (즉, 지수-로그 관계)를 참조하여 선형회귀 모델을 정의하고, 수집된 실측 데이터를 활용하여 정의된 모델을 학습시킴으로써, 실제 환경에서 비콘 수신기와 비콘 사이의 거리를 정확하게 추정하는 모델을 개발한다. 구체적으로, 식 (3)과 같이  $RSSI$ 를 독립변수로 가지고 거리에 로그를 취한 값을 종속변수로 가지는 1차 함수 형태의 선형회귀 모델을 정의하고,  $RSSI$  및  $\log(d)$  쌍으로 표현되는 실측 데이터들과 정의된 선형회귀 모델의 오차가 최소화되도록 학습시킨다.

$$\log(d) = A(RSSI) + B \quad (3)$$

여기에서  $A$ 와  $B$ 는 학습을 통해 얻어진 선형회귀 모델의 기울기와  $\log(d)$ 에 대한 절편을 각각 나타내며, 각각은 상수 값으로 얻어진다.

최종적으로 비콘 수신기에 탑재되는 거리 추정 모델은, 식 (4)와 같이 표현된다.

$$d = 10^{(A(RSSI) + B)} \quad (4)$$

### III. 실험 및 결과

본 논문에서는 선형회귀 기반 거리 추정 모델 개발을 위해, 대형 강의실

에 비콘 수신기를 위치시키고, 비콘 수신기로부터 10m 범위까지 1m씩 거리를 증가시켜가며 총 10 개의 비콘을 배치하여 그 중 하나의 비콘으로부터  $RSSI$  및  $TxPower$ 를 수집하였다. 이렇게 비콘으로부터 수집한 데이터, 비콘 수신기 및 비콘 간의 실제 거리 및 실제 거리에 대한  $\log(d)$  값으로 데이터셋을 구성하였다. 이후, 데이터셋에서 이상치 및 결측치를 제거하고, 데이터셋의 각 m별 수집 데이터가 20,000 개가 되도록 전처리를 수행하였다. 선형회귀 기반 거리 추정 모델 개발을 위해 Python과 오픈소스 라이브러리인 *sci-kit learn*을 사용하였다. 선형회귀 기반 거리 추정 모델과 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델의 성능을 비교하기 위해, 실제 데이터와 추정 데이터 간의 오차를 나타내는 Root Mean Square Error(RMSE)를 사용하였다. 식 (5)는 iBeacon 오픈소스의 거리 추정 모델을 나타낸다.

$$d = 0.89976 \left( \frac{RSSI}{TxPower} \right)^{7.7095} + 0.111 \quad (5)$$

그림 1은 선형회귀 분석 모델을 보여준다. 그림의 직선은  $RSSI$ 와  $\log(d)$ 의 값을 통해 학습된 거리 추정을 위한 선형회귀 모델을 나타낸다. 그림에서  $RSSI$ 가 증가함에 따라 비콘 수신기와 비콘 사이의 거리가 가까워진다. 결과적으로, 해당 선형회귀 분석 모델의 기울기와 절편은 각각 -0.03 및 -1.58로 도출되었다.

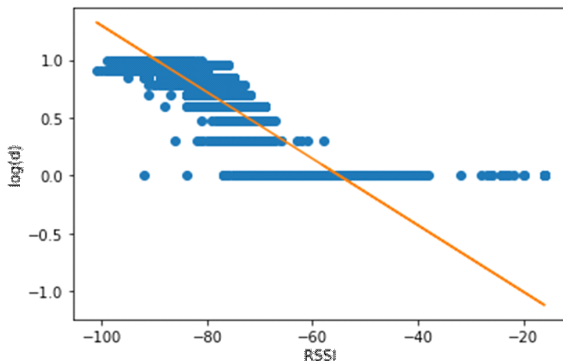


그림 1. 선형회귀 분석 모델

그림 2는  $RSSI$  기반 거리 추정 모델을 보여준다. 이는 선형회귀 분석 모델을 통해 얻어진 기울기와 절편이 적용된 식 (4)에 의해 도출된다.

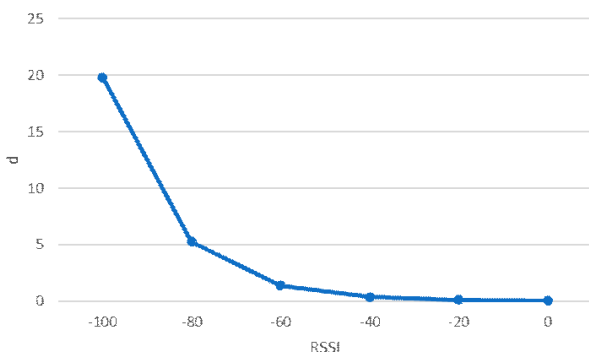


그림 2.  $RSSI$  기반 거리 추정 모델

표 1은 RMSE를 통해 도출된 선형회귀 기반 거리 추정 모델과 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델의 거리 추정 오차를 보여준다. 결과적으로, 선형

회귀 기반 거리 추정 모델이 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델보다 86.29% 더 낮은 오차를 보였다.

표 1. 측정 거리에 따른 거리 추정 오차

Linear Regression					
실제거리 (m)	1	2	3	4	5
추정거리 (m)	0.96	4.46	4	4.88	7.72
평균오차	0.04	2.46	0.98	0.88	2.72
실제거리 (m)	6	7	8	9	10
추정거리 (m)	11.3	10.6	20.7	15.1	24.5
평균오차	5.25	3.58	12.7	6.13	14.5

iBeacon					
실제거리 (m)	1	2	3	4	5
추정거리 (m)	1.24	3.17	2.96	3.34	4.55
평균오차	0.24	1.17	0.04	0.66	0.45
실제거리 (m)	6	7	8	9	10
추정거리 (m)	5.9	5.64	9.26	7.3	10.6
평균오차	0.09	1.36	1.26	1.71	0.56

#### IV. 결 론

본 논문에서는 통학 차량 내 비콘 수신기와 비콘 사이의 거리를 정확하게 추정하기 위한 머신러닝 기반 거리 추정 모델을 제안하였다. 이를 위해, 비콘의  $RSSI$ 와 비콘 수신기와 비콘 사이의 실제 거리 데이터를 사용하여 선형회귀 기반 거리 추정 모델을 개발하였다. 제안하는 모델의 성능 검증을 위해, 제안하는 모델과 iBeacon 오픈소스 거리 추정 모델의 거리 추정 정확도를 비교하였다. RMSE를 통한 거리 추정 오차 비교를 통해 제안하는 선형회귀 기반 거리 추정 모델이 iBeacon 오픈소스의 거리 추정 모델보다 평균적으로 86.29% 더 우수함을 검증하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2019R11A1A101059787).

#### 참 고 문 헌

- [1] H. Kim, S. Lee, S. Ham, and S. Kim, "Accident Prevention and Safety Management System for a Children School Bus," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 21, no. 7, pp. 446-452, 2020.
- [2] K. Kim, "Design of School Commuting System using Beacon," *The Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 10, pp. 1941-1948, 2016.
- [3] Apple, "iBeacon for developers," <https://developer.apple.com/> (accessed May 28, 2021)
- [4] J. Arias, A. Zuloaga, J. Lázaro, J. Andreu, and A. Astarloa, "Malguki: an RSSI based on ad hoc location algorithm," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 28, no. 8, pp.403-409, 2004.