Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 7 pp. 740-748, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.740
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

지하철 역사 내 WSN 환경구축을 위한 고정 전파범위 기반의 효율적인 AP설치에 관한 연구

안태기[1], 안치형[1], 이영석[2], 남명우[3*]
[1]한국철도기술연구원, [2]청운대학교 전자공학과, [3]혜전대학교 전자캐드과

A Study on Efficient Access Point Installation Based on Fixed Radio Wave Radius for WSN Configuration at Subway Station

Taeki An[1], Chihyung Ahn[1], Youngseok Lee[2], Myungwoo Nam[3*]
[1]Korea Railroad Research Institute, [2]Dept. of Electronics, Chungwoon Univ., [3]Dept. of Electronic CAD, Hyejeon College

요 약 도시철도는 많은 사람들이 이용하는 대표적인 대중교통 수단으로 이용객의 안전 및 편의를 위한 다양한 장비들이 지속적으로 설치되어 왔다. 최근에는 IT기술의 발전에 힘입어 무선네트워크 기술과 접목된 여러 센서들을 설치한 후 데이터를 수집하여 이용객에게 편의를 높이고 있다. 도시철도 역사 내에 무선 센터 네트워크 환경을 구축하기 위해서는 센서들의 데이터를 수집할 수 있는 AP의 설치 방법이 중요하다. 그러나 현재 AP의 설치방법은 역사 내를 이동하며 전파 세기를 측정한 후 AP를 설치하는 방법을 사용하고 있다. 효율적인 AP설치는 적은 수의 AP설치만으로 넓은 지역에 설치된 센서들의 데이터를 수집할 수 있으며, 추후 추가적인 센서 설치시 유지보수 비용을 줄일 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 센서들의 설치 위치와 AP의 전파 범위를 기반으로 최적의 AP설치 위치와 개수를 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 방법을 이용하여 시뮬레이터를 개발한 후 부산 서면역 도면에 적용하여 WSN을 구축하는 모의실험을 수행하였다. 개발된 시뮬레이터는 향후 도시철도 환경에 WSN을 구축하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract IT and communication technologies has contributed significantly to the convenience of passengers and the financial management of stations in accordance with the task automation in the field of the urban railway system. The foundation of the above development is based on the large amounts of data from various sensors installed in railways, trains, and stations. In particular, the sensor network that is installed in the station and train has played an important role in the railway information system. The performance of AP is affected by the number of APs and their locations installed in the station. In the installation of APs in stations, the intensity of the radio wave of the AP on its underlying position is considered to determine the number and position of APs. This paper proposes a method to estimate the number of APs and their position based on the structure of the underlying station and implemented a simulator to simulate the performance of the proposed method. The implemented simulator was applied to the decision of AP installation at Busan Seomyeon station to evaluate its performance.

Keywords : IoT, Access point, Wireless sensor network, K-means clustering, WiFi propagation model

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 "ICT기반 철도 이용객 정보 제공기술 개발" 연구비지원 (16RTRP-B086929-03)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Myungwoo Nam(Hyejeon College)
Tel: +82-10-5642-2241 email: mwnam@hj.ac.kr

Received April 19, 2016 Revised May 25, 2016
Accepted July 7, 2016 Published July 31, 2016

1. 서론

최근 사물인터넷(IoT)에 대한 관심이 고조되면서 무선 센서 네트워크(WSN:Wireless Sensor Network)의 구축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크란 유비쿼터스의 개념이 발전되면서 만들어진 기술로 각종 센서에서 수집된 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 의미한다. 무선센서 네트워크에서 무선 센서들은 다양한 환경에서 정보를 수집하고 가공한 후 데이터를 AP(Access Point)로 전송하게 된다. 전송된 데이터는 메인 네트워크를 통해 데이터베이스에 저장된 후 가공되어 다양한 형태로 사용되어진다. 특히 IT기술의 발전과 더불어 센서들의 크기가 소형화되면서 설치되는 센서들의 수도 많아지게 되었고 이로 인해 설치되는 AP의 개수도 증가되어 효율적인 AP 설치 위치에 대한 고민도 증가하게 되었다 [1][2].

무선센서는 설치의 편리함으로 인해 많이 이용되고 있으나 데이터 수집을 위한 AP설치를 반드시 필요로 한다. AP의 설치를 위해서는 무선센서들의 전파신호를 측정한 후 이를 이용하여 적절한 위치에 AP의 설치를 진행하고 있으나 정확한 AP의 설치위치와 필요 개수 파악은 어려운 상황이다.

도시철도는 매일 수많은 사람들이 이용하는 대표적인 대중교통수단으로 안전과 이용객 편의에 대한 관심이 매우 높다. 지하철 역사 내에는 화재, 테러 등의 내·외부 위험요인을 감시하기 위하여 CCTV와 각종 센서들을 이용한 감시시스템이 구축되어 왔다. 지하철 역사에는 화재, 제한지역 침입, 승객 혼잡도, 우범지역, 역사 건전성 등을 종합적으로 판단하기 위하여 많은 센서들이 설치되어 있다. 최근에는 무선네트워크기술과 접목된 다양한 무선센서들이 이용객 편의를 위해 신규로 설치되고 지고 있다. 그러나 도시철도 역사에 설치된 센서들은 서로 독립적으로 구축되고 있어 향후 이용객 편의를 위한 안전설비가 증가하게 되면 센서들의 중복설치와 유지보수 문제 등 다양한 문제가 발생할 수 있다. 이를 위해 센서의 기능이 서로 다르다 할지라도 센서의 통신부분은 서로 연계가 가능하도록 효율적인 무선네트워크 구축이 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 무선 센서의 설치위치와 AP 신호의 전파범위를 이용하여 최적의 AP설치 위치와 개수를 추정할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. 지하철 역사 내 WSN 구축환경

센서 통신부분은 현재 대부분 무선센서 네트워크 기술에 기반을 두고 있으며 이러한 기술은 다양한 모듈로 상용화되어 현재 여러 산업분야에 적용되고 있다. 이러한 기술은 무선에 기반을 두고 있어 사용 환경에 따라 성능에 많은 영향을 받을 수 있으므로 사용하고자하는 목적에 따라 적절한 통신방식을 사용하여야한다. 특히 도시철도와 같이 복잡한 환경에서는 이러한 통신방식들에 대한 시험 및 분석이 필요하며, 이러한 분석결과를 이용하여 사용목적에 맞는 적절한 무선통신기술을 적용하여야 한다. 표 1은 도시철도에서 대표적으로 사용하고 있는 무선통신 방법들을 설명한 것이다.

Table 1. Wireless device specification in subway

Spec.	RFID	Beacon	Zigbee	WiFi
protocol	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11.b/g/n
freq.	13.56MHz	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
max range	< 1m	< 70m	< 30m	< 100m
range err.	-	~ 1m	~ 1m	~ 1m

최근 지하철 역사 내에는 지능형 종합 감시 시스템을 구축하기 위해 WLAN, RFID, Beacon, ZigBee 등 대표적인 무선 기술들이 검토를 거쳐 사용되어지고 있다. 특히 ZigBee 기술은 저전력 송수신기를 센서와 결합하여 하나의 커다란 네트워크를 구성할 수 있게 해주는 기술로 각종 건물, 문화재 등의 화재 및 침입 감지 등에 사용되고 있다.

도시철도 내에 WSN을 구축하기 위하여 반드시 필요한 승강장 및 대합실의 무선 스펙트럼 분석결과를 살펴보면, ZigBee기반의 센서 네트워크와 중첩되는 주파수는 없었으며 전파 감쇄는 열차의 승강장 진출입시의 영향보다 승강장 혹은 대합실의 이용승객 수 및 유동량에 의한 멀티패스 페이딩(multi- path fading) 효과에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다 [3]. 지하철 역사 내에는 벽안의 철골이나 마감재로 인해 무선 신호의 도달률이 급격히 감소하게 되며, 역사 내에 설치된 여러 전자제품의 방해전파와 이용객 등에 의해서도 수신률이 감소하게 된다. 따라서 통신 가능 거리는 매우 많은 요소들(주파수, 송신출력, 송/수신 안테나 이득, 지형 모델, path-loss 모델, interference, 변조방식, BER 커브 등)에

의해서 영향을 받고 변화하기 때문에 효율적인 WSN 구축은 향후 WSN의 유지보수 및 신규 설치 등에 큰 영향을 미치게 된다. Fig. 1은 도시철도 내의 WSN 구축 개념도를 나타낸 것이다.

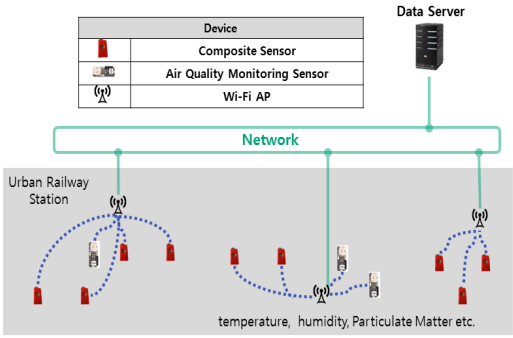


Fig. 1. Conceptual installation of WSN at urban railway station

3. AP전파범위기반의 클러스터링 알고리즘

무선기기의 보급과 무선랜 인프라 구축이 활성화 되면서 사용자가 많은 밀집지역(Hotspot)에 다수의 AP (Access Point)를 설치하여 WLAN 서비스를 제공하고 있다. 본 논문에서는 WSN 구축환경에서 최적의 AP 설치위치 및 설치 개수를 추정하기 위해 각 AP의 전파범위, 전파감쇄, 패킷 에러율을 고려하여 수신율을 최대화하는 AP전파범위기반의 클러스터링 알고리즘을 제안하였다.

3.1 AP전파기반 공간 분할

무선센서 네트워크를 구성할 공간이 정해졌을 때 공간 내 무선 센서들의 설치위치가 센서 설치 목적에 따라 결정되게 된다. 이때 설치되는 센서들의 위치 분포에 따라 필요한 AP의 개수 및 설치위치가 결정된다. 본 연구에서는 공간 내에 설치되는 센서들의 위치좌표가 결정되었다는 가정 하에 센서들의 위치좌표를 기반으로 가장 멀리 떨어진 2개의 센서를 식 (1)과 같이 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 활용하여 구하게 된다. 구해진 2개 센서들 거리는 AP의 전파범위와 비교되어 전파범위보다 클 경우, K-means 클러스터링 알고리즘을 적용하여 공간을 2개로 분할한 후 다시 각 공간에서 가장 멀리 떨어진 2개의 센서를 유클리디안 거리를 활용하여 구하게 된다. 이와 같은 과정을 반복하며 AP 전파범위 내에 모든 센서들이 포함될 수 있도록 공간을 분할하게 된다.

$$D = [d_i] = [|r_i - x|] = \left[\sqrt{\sum_{i}^{k}(r_i - x)^2}\right] \quad (1)$$

3.2 K-means 클러스터링 알고리즘

K-means 클러스터링은 주어진 데이터를 k개의 클러스터로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 방식이다 [4][5]. 이 알고리즘은 자율학습의 일종으로, 레이블이 달려 있지 않은 입력 데이터에 레이블을 달아주는 역할을 수행한다. 역사 내에 설치된 n개의 센서들의 위치가 2차원 좌표로 구성되어 집합 $x = x_1, x_2, \cdots, x_n$ 와 같이 주어졌을 때, K-means 알고리즘은 n개의 좌표 데이터를 사용하여 상호 좌표간에 유클리디안 거리를 계산한 후 유사도가 높은 $k(\leq n)$ 개의 집합 $S = S_1, S_2, \cdots, S_k$ 으로 분할한다. 따라서 u_i를 집합 S_i의 중심점이라 할 때 분할된 집합 S는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\arg\min_{S} \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in S_i} \| x - u_i \|^2 \quad (2)$$

3.3 클러스터 내 중심 좌표 추출

클러스터링이 완료된 집합 S_i에 식 (3)을 만족하는 m개의 무선센서 집합이 존재하면 m개의 무선센서는 집합 S_i에 할당된 AP의 전파범위 내에 있어야 한다. 이을 위해 집합 S_i의 중심좌표를 구하여 AP설치위치로 정하게 된다.

$$x = \{x_1, x_2, \cdots, x_m | x_j \in S_k\} \; (1 \leq m \leq n-k+1) \quad (3)$$

집합 S_i의 중심좌표는 집합 S_i에 속한 데이터 중 가장 작은 x좌표, y좌표 값과 가장 큰 x좌표, y좌표 값의 중간 값을 계산하여 얻어지게 된다.

얻어진 중심좌표에 AP를 설치했다고 가정한 후 AP의 전파범위 안에 집합 S_i에 속한 센서들이 모두 포함되는지 검사한다. 만약 전파범위 안에 포함되지 않는 센서가 존재한다면 K-means 클러스터링을 다시 실행한 후

중심좌표를 구하는 과정을 1000회까지 반복한 후 조건이 만족되지 않는다면 클러스터링 개수를 1개 증가시켜 과정을 반복하게 된다. 1000회를 반복하는 이유는 K-means 클러스터링이 자율 학습의 일종이여서 매번 결과가 달라질 수 있기 때문이며 모의실험결과 1000회가 최적의 결과를 얻는데 가장 유효하였다.

3.4 WiFi 전파 모델링

WiFi용 AP에서 전파된 신호는 거리에 의해 발생되는 전파 경로 손실과 터널 벽면과 구조물 등에 의해 반사되어 생기는 반사 손실이 발생하게 된다. 또한 지하철 이용승객의 유동량과 역사 내에 설치된 다른 전자제품에서 발생되는 방해전파 등에 의해 전파손실이 발생하게 된다. 이러한 변수들을 고려하여 식 (4)와 같이 전파신호의 세기(RSSI)를 모델링하였다 [6][7].

$$P_{rz}(dB) = P_{d_0}(dBm) - 10\alpha\log_{10}(\frac{d}{d_0}) - WL \quad (4)$$

$$P_{rz}(dB)_{noise} = P_{rz}(dB) - 0.05 * P_{rz}(dB) * rand$$
$$(where,\ 0 \le rand \le 1) \quad (5)$$

식 (4)에서 P_{d_0}는 WiFi용 AP에서 방사된 전파 신호가 거리 d_0에 도달했을 때의 세기(dBm)를 나타내며, d는 임의의 신호 수신 위치까지의 거리를 나타낸다. 또한 WL은 터널의 벽면과 구조물에 의한 전파 손실(wall loss)를 의미한다.

식 (5)는 식 (4)를 통해 얻어진 결과에 5% 미만의 잡음을 더하여 지하철 이용승객의 유동량에 대한 전파감쇄를 고려한 것이다. Fig 2는 식 (5)의 결과로 얻어진 거리에 따른 AP의 RSSI를 도시한 것이다.

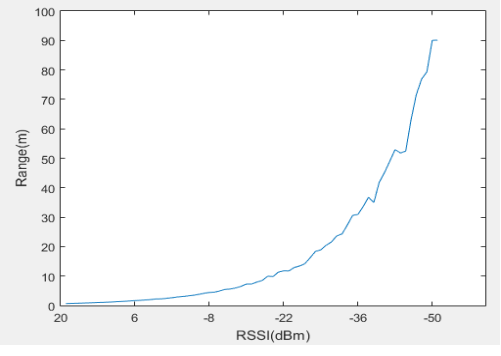


Fig. 2. WiFi signal propagation

3.5 전체 알고리즘

효율적인 AP의 개수와 설치위치를 구하는 알고리즘을 블록도로 나타내면 Fig. 3과 같다. 설치된 무선센서들의 위치정보를 바탕으로 AP전파범위를 이용하여 클러스터링을 진행하게 되며, 얻어진 결과는 검증을 통하여 조건을 만족하지 않는다면 클러스터링을 반복하게 되는 과정이다. 일정회수 이상 클러스터링을 반복했을 경우에도 조건을 만족하지 않는다면 클러스터 개수를 1개 증가시킨 후 과정을 반복하게 된다.

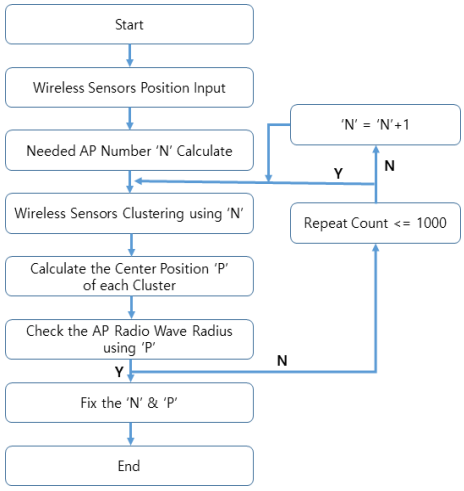


Fig. 3. Clustering Algorithm using AP in Fixed Radio Wave Radius

4. 시뮬레이터 개발 및 적용

본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 matlab을 이용하여 개발하였으며 무선센서들의 위치정보를 엑셀 파일 형태로 입력받아 AP의 개수와 위치를 구하도록 설계하였다. Fig. 4는 개발된 시뮬레이터의 초기화면이다.

Fig. 5는 제안된 알고리즘을 이용하여 클러스터링이 완료된 후 나타나는 결과 화면이다. 결과화면에는 입력된 모든 무선센서들이 AP와 연결될 수 있도록 계산된 최소의 AP 개수와 위치가 도시되며, 얻어진 AP들의 좌표값을 출력하게 된다. 또한 각 AP의 전파범위도 도시하여 무선센서들의 위치를 변경하거나 추가로 설치할 경우에 설치 장소를 계획할 수 있도록 하였다. 또한 AP의 전파범위를 상수 값으로 입력 받을 수 있도록 하여 AP

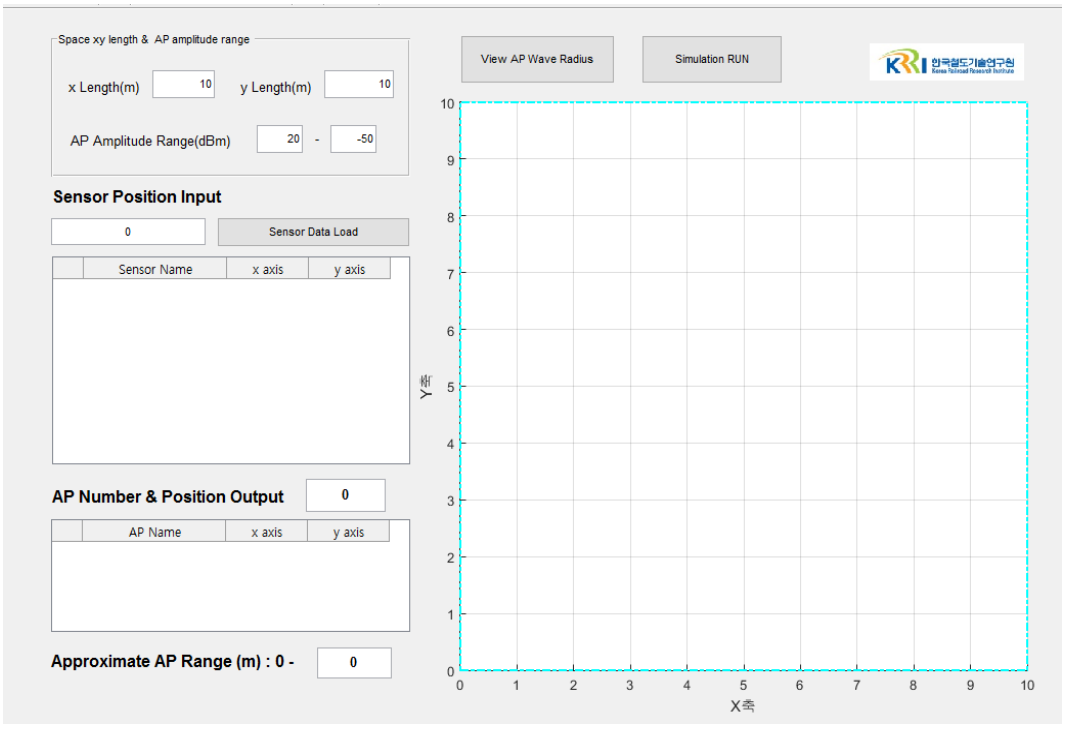


Fig. 4. Simulator initialize view

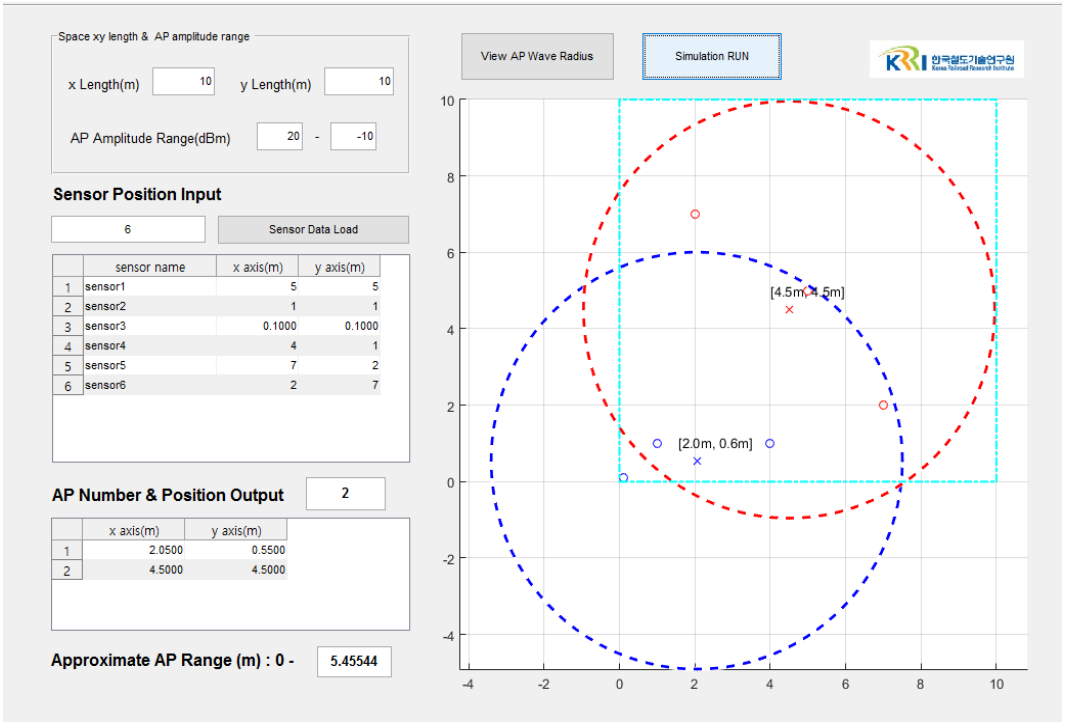


Fig. 5. Clustering result view

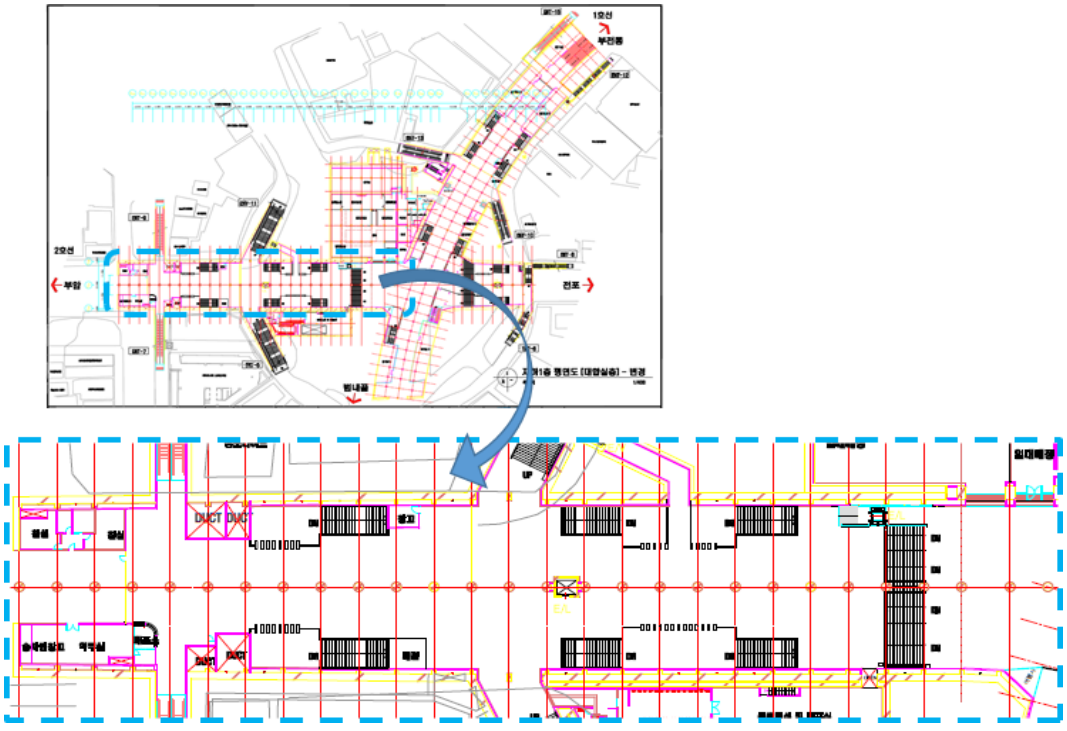
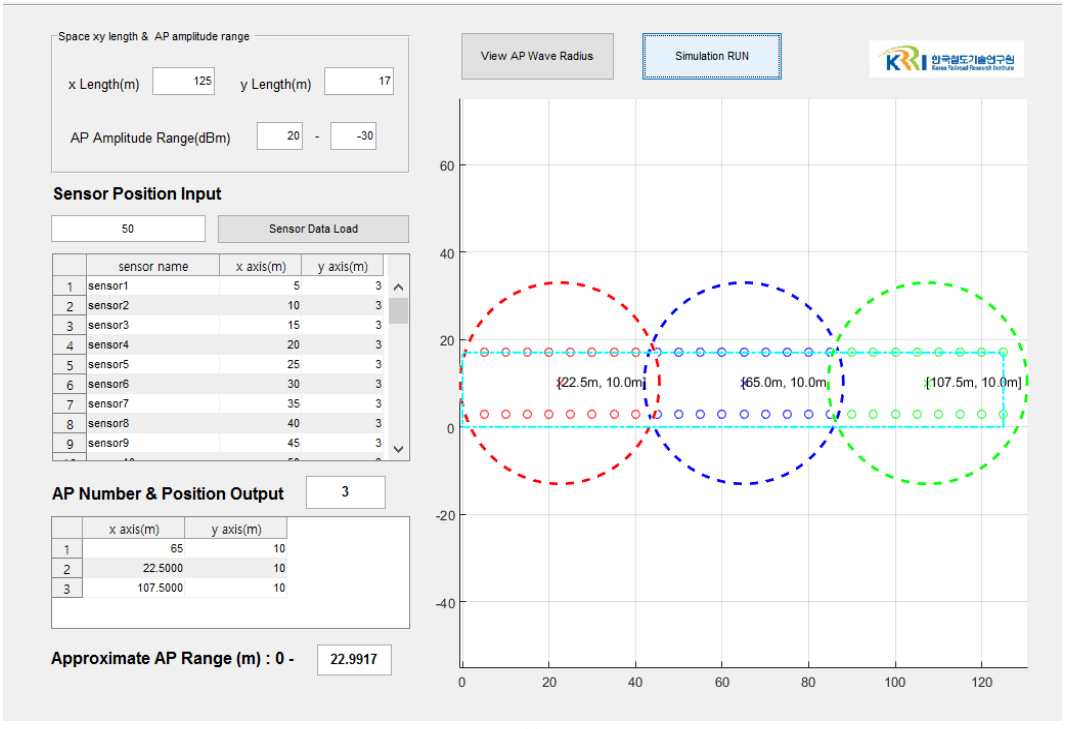
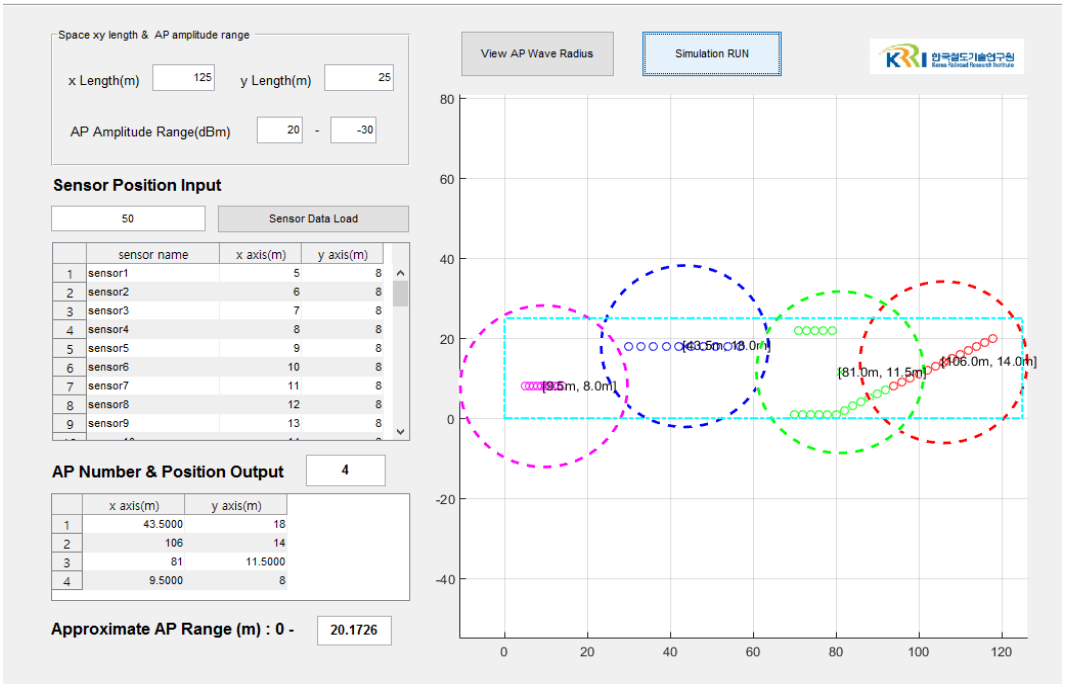


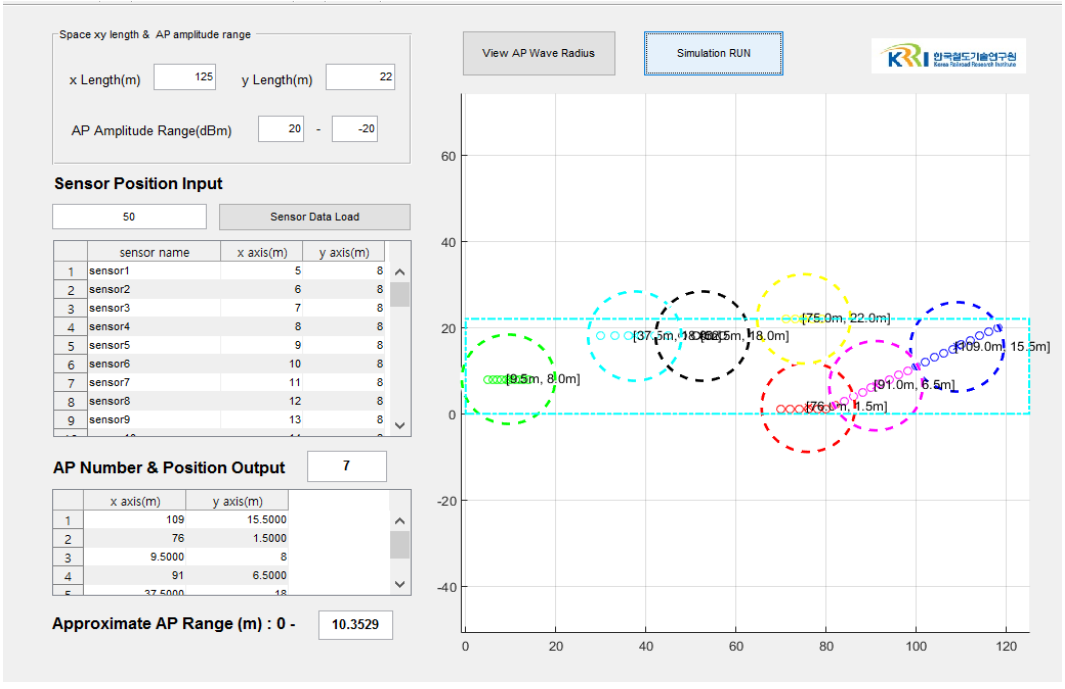
Fig. 6. Busan Seomyeon station B1 plan



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Simulation result of Busan Seomyeon station B1 plan
(a) 5m gap & both side (-30dBm) (b) random gap (-30dBm) (c) random gap (-20dBm)

장비의 특성과 WSN이 설치될 공간의 주파수 특성을 고려한 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

Fig. 6는 부산 서면역 지하1층 평면도이다. 확대된 점선 부분의 공간을 시뮬레이터에 입력한 후, 임의로 무선센서들이 설치되었다고 가정하고 필요한 AP의 개수와 위치를 추정해 보았다. 모의실험 결과는 Fig. 7에 보였다. Fig. 7 (a)는 공간의 위쪽과 아래쪽에 5m 간격으로 무선센서들이 설치되었다고 가정한 경우로 AP의 전파범위는 20dBm ~ -30dBm으로 설정하였다. 실험결과 3개의 AP가 균등한 간격으로 필요한 것으로 나타났으며, AP의 전파범위는 반경 23m정도로 계산되었다. Fig. 7 (b)는 무작위로 무선센서들이 설치되었다고 가정한 경우로 AP의 전파범위는 동일하게 설정하였다. 모의실험결과 4개의 AP가 필요한 것으로 나타났다. Fig. 7 (c)는 AP의 전파범위를 20dBm ~ -20dBm으로 작게 설정하여 실험한 경우로 모두 7개의 AP가 필요한 것으로 나타났다.

위의 결과와 같이 입력조건을 변경하며 다양한 모의실험을 수행한 결과, 개발된 시뮬레이터를 이용하여 효율적인 AP의 개수와 위치 추정이 가능함을 알 수 있었다.

5. 결론

도시철도는 대표적인 대중교통 수단으로 매일 많은 사람들이 이용하고 있어 안전과 이용객의 편의 증진이 매우 중요하다. 이 때문에 최근에는 무선센서 네트워크 기술을 이용하여 많은 센서들을 역사 내에 설치하고 환경 정보를 수집하여 이용객의 안전과 편의를 높이는 노력을 기울이고 있다.

무선 센서는 IT기술의 발전에 힘입어 점점 소형화되고 종류도 다양화되면서 설치되는 센서들의 양도 증가하게 되었다. 무선 센서들은 수집된 정보를 메인 시스템에 전달하기 위해 AP장비를 필요로 한다. 본 논문에서는 역사 내에 무선센서 네트워크를 구축하기 위해 필요한, 최적의 AP장비 개수와 설치위치를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 효율적인 AP설치는 적은 수의 AP 설치만으로 넓은 지역에 설치된 센서들의 데이터를 수집할 수 있으며, 추후 추가적인 센서 설치 시 유지보수 비용을 줄일 수 있는 장점을 가진다.

제안된 알고리즘의 검증을 위해 Matlab을 이용하여 시뮬레이터를 개발하였으며 부산 서면역 도면을 이용하여 무선센터 네트워크를 구축하는 모의 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 수행한 결과 무센센서들의 설치위치로부터 효율적인 AP 설치 개수와 설치 장소 추정이 가능함을 알 수 있었다. 개발된 시뮬레이터는 지하철 역사 내에 무선센서 네트워크를 구축할 경우 무선 센서들의 설치위치와 AP의 전파범위 등을 변경해가며 미리 모의실험을 진행할 수 있어 향후 도시철도 환경에 WSN을 구축하는데 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

개발된 시뮬레이터는 장애물이 없는 직사각형 공간만을 가정하여 모의실험을 수행하고 있어 향후 다각형 공간과 장애물에 대한 고려가 추가된 모의실험이 가능하도록 개선해 나갈 예정이다.

References

[1] Li, Yong-Zhen, Shi-Mei Jin, and Chung-Sei Rhee. "A Low-Power Clustering Algorithm Based on Fixed Radio Wave Radius in Wireless Sensor Networks." The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 35.7B, pp. 1098-1104, 2010.

[2] Kim, Chang-Joon, Doo-Wan Lee, and Kyung-Sik Jang. "i-LEACH: Head-node Constrained Clustering Algorithm for Randomly-Deployed WSN," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 16.1, pp.198-204, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.1.198

[3] An Tae-Ki, Shin Jeong-Ryol, Lee Moon-Ho, Kim Gab-Young, Jeon Bo-Ik, “Experimental Analysis of Wireless Sensor Networks Performance in the Subway Station", Proc. of Fall Conference on Korean Society for Railway, pp. 2849-2854, November, 2009.

[4] Hartigan, J. A., Wong, M. A., “Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm,” Journal of the Royal Statistical Society, pp. 100 - 108, 1979.
DOI: http://dx.doi.org/10.2307/2346830

[5] Zha, Hongyuan, et al., "Spectral relaxation for k-means clustering," Advances in neural information processing systems, pp. 1057-1064, 2001.

[6] Taeki An, Chihyung Ahn, Myungwoo Nam, Jinhong Park, Youngseok Lee, “A Study on Improving Accuracy of Subway Location Tracking using WiFi Fingerprinting”, KAIS, vol.17, no.1, pp. 1-8, 2016.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/kais.2016.17.1.1

[7] Peerapong Torteekay, XIU Chundi, “Indoor Positioning based on WiFi Fingerprint Technique using Fuzzy K-Nearest Neighbor,” Sciences and Technology(IBCAST), pp. 461-465, January, 2014.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/IBCAST.2014.6778188

안 태 기(Tae-Ki An) **[정회원]**

- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(공학박사)
- 1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (책임연구원)

<관심 분야>
멀티미디어 통신, 영상분석, 인공지능

안 치 형(Chi-Hyung Ahn) **[정회원]**

- 2002년 2월 : 인하대학교 전기공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 포항공대 전자공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : TEXAS A&M 전기전자공학과 (공학박사)
- 2010년 10월 ~ 2013년 12월 : 삼성전자(삼성종합기술원)
- 2014년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 (선임연구원)

<관심 분야>
전자파해석, 안테나, 무선전력전송, 무선통신시스템

이 영 석(Young-Seok Lee) **[정회원]**

- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 인천캠퍼스 전자공학과 교수

<관심분야>
디지털신호처리, 워터마킹, 임베디드시스템, 기계학습

남 명 우(MyungWoo Nam) **[정회원]**

- 1992년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 혜전대학교 전자캐드과 교수

<관심분야>
디지털신호처리, 워터마킹, 회로설계, 마이크로프로세서