

무선 센서 네트워크에서 RSSI와 AoA를 활용한 GPS 정밀도 향상 방안

조해민* · 권태욱**

GPS Accuracy Revision Using RSSI and AoA in Wireless Sensor Network

Hae-Min Cho* · Tae-Wook Kwon**

요 약

무선 센서 네트워크 환경에서 요구되는 데이터는 기술의 발전과 그 복잡성이 증가함에 따라 더욱 정확한 수치를 요구한다. 하지만 넓은 지역에서 많은 수의 센서노드를 운용하는 경우, 소모되는 전력 및 비용과 그에 따라 획득할 수 있는 데이터 품질의 균형은 그 목적에 따라 고려되어야 한다. 특히 인구 밀도가 높은 복잡한 도심 지역이나 특정 목표를 가진 군사작전에서 위치 데이터는 넓은 범위에 점차 세밀하고 높은 정확도를 요구한다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 전개된 센서노드 중 일부에만 GPS(: Global Positioning System)을 탑재하고, 해당 센서노드에서 측정된 GPS 위치 데이터의 오차를 센서노드간 주고받는 무선 신호수신 각도인 AoA(: Angle of Arrival)와 수신 신호 세기 지표인 RSSI(: Received Signal Strength Indicator)를 통해 향상시키는 방법을 제안하고자 한다.

ABSTRACT

Data required in a wireless sensor network environment requires more accurate figures as technology advances and its complexity increases. However, in the case of operating a large number of sensor nodes in a large area, the balance between the power consumed and the data quality that can be acquired accordingly should be considered for that purpose. In particular, in complex, densely populated urban areas or military operations with specific goals, location data requires increasingly detailed and high accuracy over a wide range. In this paper, we propose a method of mounting a Global Positioning System(: GPS) only on some of the sensor nodes deployed in the wireless sensor network and improving the error of GPS location data measured on that sensor node through Angle of Arrival(: AoA) and Received Signal Strength Indicator(: RSSI).

키워드

Wireless Sensor Network, Global Positioning System, Received Signal Strength Indicator, Angle of Arrival
무선 센서 네트워크, 범지구 위치 결정 시스템, 수신 신호 세기, 신호 수신 각도

* 국방대학교 관리대학원(haemin_27@naver.com)

** 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과

• 접수 일 : 2022. 07. 18

• 수정완료일 : 2022. 08. 30

• 게재확정일 : 2022. 10. 17

• Received : Jul. 18, 2022, Revised : Aug. 30, 2022, Accepted : Oct. 17, 2022

• Corresponding Author : Tae-Wook Kwon

Dept. Computer engineering, Korea National Defense University

Email : kwontw9042@korea.kr

I. 서론

현대 사회에서 IT기술의 발전은 점차 가속화되고 있으며 우리는 점차 수많은 전자기기와 네트워크로 구성된 환경에 노출되고 있다. 이러한 기기들은 각종 상황과 일상생활에서 점차 높은 정밀도와 효율성이 요구된다.[1-2]

수 개에서 수 천 개까지 센서노드들을 분산 배치하는 무선 센서 네트워크에서는 각 센서가 필요한 데이터를 수집·처리하며, 특정한 노드나 중앙 시스템으로 그 데이터를 전송한다. 이때, 네트워크의 목적과 필요한 데이터의 종류에 따라서 위치정보의 유무와 정밀도까지 요구되는 범위가 달라진다. 특히 인구 밀도가 높고 다양한 이동수단의 발달로 인해 복잡해진 도심 지역이나, 복합적인 환경 속에서 특정 목표를 수행하는 군사작전 등에서 위치 데이터는 점차 높은 정밀도를 요구한다. 하지만 네트워크를 운용하는 지역이 넓어지거나 더욱 다양하고 정밀한 데이터가 요구되는 경우, 센서노드의 비용과 전력 소모는 급격히 증가하게 된다. 그러므로 네트워크 구성 시 목적에 따라 소요와 데이터 품질 사이의 균형을 고려하여야 하며, 상대적으로 적은 소요를 통해 보다 높은 데이터 품질을 획득할 수 있는 방안을 지속적으로 강구하여야 한다 [3-4].

본 논문에서는 기반 시설이나 장비의 구성 없이 센서노드만으로 구성된 WSN 환경을 가정한다. 새로운 지역에 네트워크를 구성하거나 기존 네트워크에 접속하는 것이 제한되는 경우, 혹은 짧은 기간만 사용될 임시 네트워크를 설치해야 할 때에는 시간과 노력은 물론, 가급적 저비용으로 높은 효율을 강구해야 한다. 그러므로 센서노드의 추가적인 비용 및 전력 소모를 감소시키기 위해 일부 센서노드에만 GPS를 부착하고, WSN 환경에서 기본적으로 주고받는 무선 신호를 통해 편차가 큰 GPS 위치 데이터의 정밀도를 향상시키기 위한 기법을 연구하였다. 센서노드가 주고받는 무선 신호에서 측정된 RSSI를 통해 거리를 산출하고, GPS를 통해 얻은 위치 데이터와 조합하여 대략적인 AoA를 산출한다. RSSI와 GPS를 통해 얻은 거리 오차와 AoA에 따른 보정값을 도출하여 센서노드의 위치 정밀도를 향상시키는 기법을 제안한다.

II. 관련연구

2.1 기본 GPS(: Global Positioning System) 위치 데이터 획득

GPS는 우주공간 상 일정 궤도에 위치한 인공위성으로부터 송출되는 신호의 도달시간을 바탕으로 삼변측량법을 통해 위치를 측정한다. 하지만 인공위성의 유동성, 시간 동기화 및 정밀도, 환경적 요인에 의한 신호 왜곡 등으로 발생한 신호 잡음으로 인해 정밀도의 차이가 발생한다[5]. 그에 따라 RTK-GPS 기법이나 다른 데이터와 병합하여 위치 정밀도를 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[6-8].

무선 센서 네트워크에서는 센서에 GPS를 탑재하기 위한 비용과 전력, 효율성이 추가로 고려되어야 한다. 그러므로 본 논문에서는 상대적으로 소모가 큰 별도 네트워크나 기기와의 통신을 통한 위치 데이터 보정은 제외한다. 센서노드만으로 이루어진 WSN 환경에서 각각의 센서노드가 측정된 GPS 좌표의 편차를 확인하고, 센서노드간 주고받는 무선 신호에서 측정된 AoA와 RSSI를 통해 위치 데이터의 보정값을 도출한다.

2.2 AoA(: Angle of Arrival) 근사값을 통한 보정값 가감 여부 판단

무선 센서 네트워크에서 무선 신호수신 각도(AoA)는 다수의 센서노드가 수신하는 신호의 지연시간을 통한 도출 방법이나 방향성이 다른 안테나의 RSSI를 이용하여 계산한다[9-10]. 이러한 측정방식은 시스템의 규모가 커지거나 여러 개의 안테나가 요구되는 비용적 단점이 있으며, 작은 센서노드에 여러 개의 안테나를 장착하더라도 안테나의 간격이 확보되지 않아 효과적 산출에 어려움이 있다.

AoA의 정밀한 계산이 아닌 보정값의 가감 여부만을 확인하기 위해서는 위·경도의 상대적 위치, 즉 AoA의 근사값으로 판단 가능하다. 그러므로 본 논문에서는 GPS를 보유한 센서노드들의 위치 데이터를 기준으로 RSSI에 따라 산출된 거리에 삼변측량법을 통해 GPS를 미보유한 센서노드들의 위치를 확인한다. 센서노드들의 위치로 AoA의 근사값을 얻을 수 있으며, 그 값에 따라 보정값의 가감 여부를 판단한다.

2.3. RSSI(Received Signal Strength Indicator) 평균값을 통한 거리 산출

수신 신호 세기 지표(RSSI)는 WSN 환경에서 센서노드 내부에 구현된 회로를 이용하여 전달된 신호의 전압 세기를 측정한다. RSSI 측정은 센서노드가 데이터를 전송할 때 발생하는 신호를 통해 추가적인 신호 대역이나 에너지 소모 없이 측정할 수 있다. 이론적으로 신호의 세기는 송신자와 수신자의 거리 제곱에 반비례하여 감소한다. 하지만 현실에서는 각종 요인들에 의해 RSSI 오차가 발생하기 때문에 일부 보정이 필요하다[11-13]. 이렇게 측정된 RSSI를 이용하여 다중 수신기를 통해 위치추적 시스템을 설계한 예는 RADAR가 있으며[14], 다양한 환경에서 개선된 방안에 대한 연구가 이루어지고 있다[15-18].

본 논문에서는 실제 센서를 이용하여 측정된 거리별 RSSI의 평균값을 통해 센서노드간 거리를 확인한다. 이때 RSSI를 통해 산출된 거리와 GPS 위치 데이터를 통해 산출된 거리와의 차이값에 인접 센서노드에서 측정된 RSSI에 따른 거리값을 활용해 보정값을 도출한다.

III. RSSI에 따른 거리 측정과 GPS 위치 데이터의 오차를 활용한 GPS 보정 기법

다수의 센서노드로 구성된 무선 센서 네트워크 환경에서 일부 센서노드만 GPS를 탑재하고 있을 때, 2개 이상의 GPS를 탑재한 센서노드에서 GPS 위치 데이터를 측정하고, 2개 이상의 GPS를 탑재하지 않은 센서노드와 상호 전달하는 무선 신호의 수신을 통해 RSSI를 측정하여 RSSI의 평균값을 통해 센서노드간 대략적인 거리를 산출한다. 그림 1은 제시하는 기법에서 RSSI에 따른 거리 측정을 활용해 GPS 위치 데이터를 보정하기 위한 센서노드들의 기본 구성 모습이다. 센서노드간 거리와 2개 이상의 센서노드 위치 데이터를 통해 삼변측량법으로 각 센서노드의 추정 위치와 AoA를 얻을 수 있다.

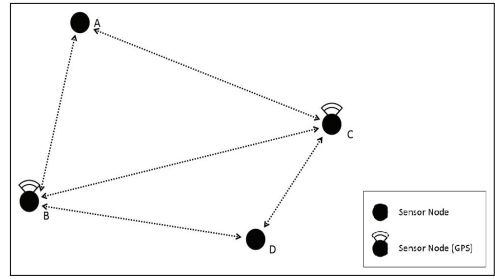


그림. 1 WSN 환경에서 센서노드간 무선통신
Fig. 1 Wireless communication between sensor nodes in a WSN environment

측정된 2개의 GPS 위치 데이터를 위도, 경도의 방위각으로 나타낼 경우 각각 위도 $N \cdot 0.000009^\circ$, 경도 $E \cdot 0.000011^\circ$ 는 약 1m에 해당한다. 센서노드 B에서 C까지 RSSI 평균값에 따른 거리(m)를 R_{BC} , 센서노드 B, C의 위·경도 좌표를 각각 $N_B \cdot E_B$, $N_C \cdot E_C$ 라 정의한다. GPS를 보유한 센서노드 B와 C의 방위각 차이는 식 1과 같다.

$$|N_B - N_C| + |E_B - E_C| = L_{BC} \quad (1)$$

$$|10 * R_{BC} - L_{BC}| = D_{BC} \quad (2)$$

위의 식 2와 같이 방위각과 단위를 맞춰주기 위해 R_{BC} 에 10을 곱한 숫자와 L_{BC} 의 차이는 D_{BC} 라 정의하며, RSSI와 GPS를 통해 얻은 센서노드간 거리의 방위각 오차이다. 보정값을 구하기 위하여 $10 * R_{BC}$ 와 L_{BC} 중에서 더 작은 값을 분모로 하는 분수를 만든다. 이때 D_{BC} 의 값이 일정 수치 이하인 경우에는 오차 범위가 너무 작아서 동일한 보정값이 적용될 경우 역방향으로 오차를 발생시킬 수 있으며, D_{BC} 의 값이 일정 수치 이상인 경우에는 GPS나 RSSI의 편차가 심하여 오류가 발생할 수 있다. 오차값이 상대적으로 랜덤하게 분포되는 GPS와 대상과의 거리가 너무 가깝거나 먼 경우 신호 세기의 변화율이 달라지는 RSSI의 특성을 고려하여, 보정값의 범위를 조절하기 위해 D_{BC} 의 크기에 따라 3개의 구간으로 나누어 도출한 함수 $f_{(B,C)}$ 는 식 3과 같다.

$$f_{(B,C)} = \begin{cases} \frac{1}{10} * \sqrt{\frac{L_{BC}}{10 * R_{BC}}} & (L_{BC} \geq 10 * R_{BC}, D_{BC} \leq 30) \\ \frac{1}{10} * \left(\frac{L_{BC}}{10 * R_{BC}}\right)^2 & (L_{BC} \geq 10 * R_{BC}, 30 < D_{BC} < 100) \\ \frac{1}{30} * \left(\frac{L_{BC}}{10 * R_{BC}}\right)^2 & (L_{BC} \geq 10 * R_{BC}, 100 \leq D_{BC}) \end{cases} \quad (3)$$

센서노드 A, D를 기준으로 측정된 $R_{AB} \cdot R_{AC}, R_{DB} \cdot R_{DC}$ 에서 아래 식 4-6과 같이 센서노드 B, C에 대한 함수 $k_{(B,C)}$ 를 구한다.

$$\frac{R_{AB} + R_{DA}}{\sqrt{R_{AB}^2 + R_{DA}^2} + \sqrt{R_{AC}^2 + R_{DC}^2}} = P_1 \quad (4)$$

$$\frac{R_{AC} + R_{DC}}{\sqrt{R_{AB}^2 + R_{DA}^2} + \sqrt{R_{AC}^2 + R_{DC}^2}} = P_2 \quad (5)$$

$$k_{(B,C)} = \begin{cases} P_1 * |N_B - N_D| + P_2 * |E_B - E_D| \\ (P_1 * |N_B - N_D| + P_2 * |E_B - E_D| \\ \leq P_2 * |N_B - N_D| + P_1 * |E_B - E_D|) \\ P_2 * |N_B - N_D| + P_1 * |E_B - E_D| \\ (P_1 * |N_B - N_D| + P_2 * |E_B - E_D| \\ > P_2 * |N_B - N_D| + P_1 * |E_B - E_D|) \end{cases} \quad (6)$$

식 3과 식 6을 상수로, 측정된 GPS 위치 데이터와 RSSI 평균값에 따른 보정값의 적용은 다음과 같다.

$$X_{(N_B, N_C)} = \begin{cases} N_B + f_{(B,C)} * k_{(B,C)}, N_C - f_{(B,C)} * k_{(B,C)} \\ (R_{BC} \geq \sqrt{(N_B - N_C)^2 + (E_B - E_C)^2}, N_B \geq N_C \\ \text{or } R_{BC} < \sqrt{(N_B - N_C)^2 + (E_B - E_C)^2}, N_B < N_C) \\ N_B - f_{(B,C)} * k_{(B,C)}, N_C + f_{(B,C)} * k_{(B,C)} \\ (R_{BC} \geq \sqrt{(N_B - N_C)^2 + (E_B - E_C)^2}, N_B < N_C \\ \text{or } R_{BC} < \sqrt{(N_B - N_C)^2 + (E_B - E_C)^2}, N_B \geq N_C) \end{cases}$$

IV. 실험 결과

4.1 실험환경

제안 기법의 성능을 확인하기 위하여 사용한 센서는 Arduino사의 WiFi+BlueTooth 일체형 개발 보드인 ESP-WROOM-32를 사용하였다. 주파수 대역은 현재 일반적으로 사용되는 2.4GHz 대역이며, Arduino IDE 프로그램을 통하여 노트북에서 RSSI값을 확인한다. 측정 거리별 평균 RSSI값은 표 1과 같다.

표. 1 거리에 따른 RSSI 측정 평균값
Table 1. Average RSSI measurements by distance

Distance (m)	Average RSSI (dBm)
5	-62 ~ 71
10	-76 ~ 80
15	-82 ~ 84
20	-84 ~ 87
25	-86 ~ 90
30	-88 ~ 92

GPS 위치 데이터는 Chartcross Limited의 GPS Test 앱을 통하여 위도, 경도를 방위각 소수점 6자리 까지 측정하였다. 실험장소는 별도의 구조물이나 장애물이 없는 공원에서 50*50(m) 구역을 설정하고, 그림 2와 같이 구역 내 임의의 20개 지점에서 측정하였다. 각 지점의 GPS 위치 데이터와 실제 좌표의 차이값을 계산하기 위해 Googlemap의 도상 좌표를 확인하였다.

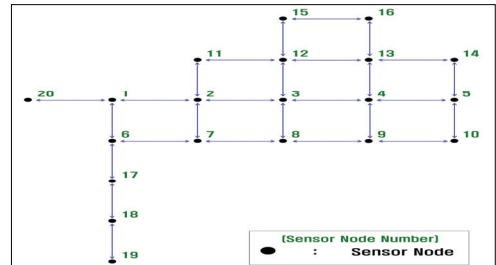


그림. 2 센서노드 배치도
Fig. 2 Sensor node plan

4.2 실험결과

20개 지점 중 RSSI를 측정할 2개의 센서노드 선정하고 해당 노드를 제외한 센서노드를 순차적으로 2개씩 묶어 보정값을 계산하였다. 18개 센서노드에 각각 17쌍의 보정값을 도출하여 지점별 평균을 계산하였으며, 다른 임의의 지점을 선정하여 동일한 측정을 3번 반복하였다. 각 지점별 GPS 위치 데이터와 보정값을 적용한 결과는 아래 그림 3과 같다. 그래프의 가로축은 센서노드 지점 번호이며, 세로축은 실제 도상 좌표와 센서노드에서 측정된 위치 데이터의 차이값이다.

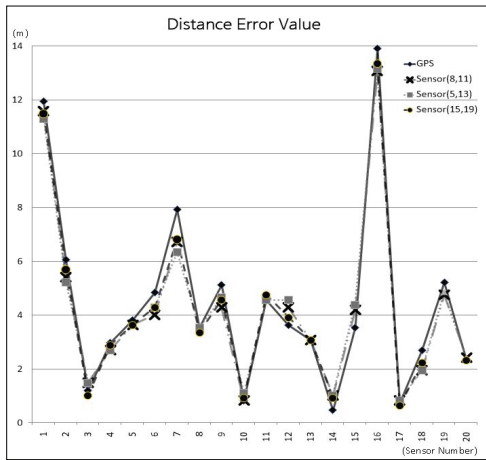


그림. 3 노드별 GPS 거리 오류값 및 개선값
Fig. 3 GPS distance error value and revision value by node

20개 지점에서 측정한 GPS 위치 데이터와 실제 도상 좌표의 오류값은 0.5 ~ 15m의 범위로 평균 4.76m의 오차를 보인다. 그림 3에서 붉은 점으로 표시한 기본 GPS 위치 데이터와 보정값을 적용한 다른 점과의 비교를 통해 확인되는 것과 같이, 5 ~ 9개 지점에서 GPS보다 거리 오차가 일부 커지는 현상이 나타났으나, 과반수의 센서노드에서 오차가 1 ~ 10여 % 개선되어 평균 1 ~ 5% 개선되는 효과를 확인할 수 있었다. RSSI 측정 지점에 따른 보정값 적용 후 거리 오차 평균과 개선율은 표 2와 같다.

표. 2 노드별 GPS 거리 오류값 및 개선값
Table 2. GPS distance error value and revision value by node

Position Measurement	GPS	Revision		
		datum point Node (8,11)	datum point Node (5,13)	datum point Node (15,19)
Error Value Average (m)	4.76	4.59	4.71	4.55
Percentage (%)	100	103	101	105

V. 결 론

본 논문에서는 WSN 환경에서 센서노드가 주고받는 무선 신호의 AoA, RSSI를 통해 GPS 위치 정밀도를 향상시키기 위한 기법을 제안하였다. 다양하고 복잡한 환경에서 GPS의 위치 정밀도를 향상시키는 방안들 중 센서노드로만 구성된 WSN 환경에서 외부 네트워크나 별도 기반 장비와 통신을 하지않고 센서노드가 기본적으로 주고받는 무선 신호를 통해 얻을 수 있는 정보만을 활용하였으며, 결과적으로 평균적인 위치 정밀도를 향상시킬 수 있었다. 실제 환경에서의 실험을 통해 제안한 기법이 기존 GPS만을 활용한 위치 데이터보다 실제 좌표에 근접함으로써 정밀도가 향상되었음을 증명하였고, 이를 적용 시 다양한 WSN 환경에서 위치 정밀도 향상 및 활용에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 제안한 기법은 보정값의 적용 조건과 구간에 대한 세분화 및 수학적 보안을 통해 정밀도를 더욱 높이는 것이 가능할 것으로 예상된다. 향후 연구에서는 더욱 효율적이고 높은 정밀도를 도출할 수 있는 기법과 3차원 좌표를 고려하거나 장애물 등 다양한 조건의 환경에서 변수를 고려하여 정밀도를 높이는 방법에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

References

- [1] J. Seo, "Temperature Data Visualization for Condition Monitoring based on Wireless Sensor Network," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 15, no. 2, Apr. 2020, pp. 245-252.
- [2] S. Jeon, S. Hwang, "Location Estimation Technique Based on TOA and TDOA Using Repeater," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 17, no. 4, Aug. 2022, pp. 571-576.
- [3] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," *MobiCom '03: Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile Computing and networking*, New York, USA, Sept. 2003, pp. 81-95.
- [4] I. Kim, "Classification of Location Verification in WSN," *Journal of Korea Contents Association*, vol. 20, no. 8, Aug. 2020, pp. 359-367.
- [5] N. Pham, J. Chung, "Design of a Vehicle-Mounted GPS Antenna for Accurate Positioning," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 11, no. 2, Feb. 2016, pp. 145-150.
- [6] J. Yun, D. Ko, B. Kim, and S. Ahn, "ELS: An Efficient Localization Scheme based on GPS for Ubiquitous Sensor Network," *Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 59, no. 1, Jan. 2010, pp. 197-203.
- [7] S. Noh, T. Kim, N. Ko, and Y. Bae, "Particle filter for Correction of GPS location data of a mobile robot," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 7, no. 2, Apr. 2012, pp. 381-389.
- [8] H. Jo, S. Kwak, and J. Yang, "Vehicle Localization Using Internal Sensors and Low-Cost GPS for Autonomous Driving," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 27, no. 3, June 2017, pp. 209-214.
- [9] T. Kim, S. Hwang, "Cascade AOA Estimation Using Uniform Rectangular Array Antenna," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 13, no. 5, Oct. 2018, pp. 923-930.
- [10] H. Cho, C. Park, D. Park, and J. Park, "AoA Localization System based on Zigbee Experimentation and Realization," *Journal of advanced navigation technology*, vol. 15, no. 1, Feb. 2011, pp. 83-90.
- [11] J. Park, S. Im, and G. Lee, "A Study on the Localization Mechanism using Two Sensor Nodes," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 39, no. 6, June 2014, pp. 463-464.
- [12] S. Jung and H. Kim, "A study on the location aware improving by using data accumulation of RSSI in wireless sensor network," *Journal of the Korea Multimedia Society*, vol. 12, no. 2, Nov. 2009, pp. 159-162.
- [13] H. Jeon, N. Kim, U. Jo, M. Cho, and Y. Kim, "Performance Evaluation of RSSI based positioning scheme over different receiving positions," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 36, no. 2, Feb. 2011, pp. 568-569.
- [14] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE INFOCOM 2000*, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000, pp. 775-784.
- [15] H. Han and T. Kwon, "On the Design of ToA Based RSS Compensation Scheme for Distance Measurement in WSNs," *Journal of the Korea Information Processing Society C*, vol. 16, no. 5, 2009, pp. 615-620.
- [16] N. Park, C. Son, and W. Kim, "The Efficient Computation of Node Position on Mobile Sensor Network," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol 5, no. 4, Aug. 2010, pp. 391-398.
- [17] H. Mun, H. Jeong, and K. Han, "Improved Trilateration Method on USN for reducing the Error of a Moving Node Position Measurement," *Journal of Digital Convergence*, vol. 14, no. 5, May 2016, pp. 301-307.
- [18] S. Go, "Effective ToA-Based Indoor Localization Method Considering Accuracy in Wireless Sensor Network," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 41, no. 6, June 2016, pp. 640-651.

저자 소개



조해민(Hae-Min Cho)

2014년 육군사관학교 전자공학과
졸업(공학사)

2021년 - 현재 국방대학교 대학
원 컴퓨터공학과

※ 관심분야 : Next Generation Networking,
U-Sensor Networking



권태욱(Tae-Wook Kwon)

1986년 육군사관학교 전자공학과
졸업 (공학사)

1995년 美해군대학원 컴퓨터공학과
졸업 (공학석사)

2001년 연세대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박
사)

2007년 - 현재 국방대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : Next Generation Networking,
Content Centric Networking, Software Defined
Networking, Network Function Virtualization,
U-Sensor Networking, VR, RFID

