일반논문 (Regualar Paper)
방송공학회논문지 제26권 제6호, 2021년 11월 (JBE Vol.26, No.6, November 2021)
https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.6.790
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

각도 및 거리 유효성 검사를 적용한 블루투스 도래각 기반의 측위 방식

송 경 희[a], 백 정 훈[b)‡]

Bluetooth AoA based Positioning Scheme using Angle and Distance Validation Test

Kyounghee Song[a)] and Junghoon Paik[b)‡]

요 약

본 논문에서는 기존의 도래각을 활용한 블루투스 기반의 측위방식에 각도 및 거리 유효성 검사를 추가하여 측위의 정확도를 개선하는 방식을 제안한다. 기존의 측위방식은 비 가시거리 환경에서 유발되는 다중경로 현상 등에 의하여 측위 값에 오차가 발생하는 현상이 발생한다. 제안된 방식은 피 측위 장치의 이동속도를 고려하여 측정될 수 있는 최대 도래각과 최소 도래각을 도출한 후 측정된 도래각이 최대 도래각과 최소 도래각 범위를 초과하는지를 검사하는 각도 유효성 검사와 측정된 피 측위 장치의 위치 및 측위 장치와의 거리가 유효거리를 초과하는지 검사하는 거리 유효성 검사를 시행하여 측위의 정확성을 제고한다. 제안된 방식과 기존 방식과의 측위 성능을 분석하기 위하여 모의실험을 실시하고, 모의실험 결과를 통해 측위 오차가 증대되는 상황에서는 기존의 방식에 비하여 각도 및 거리 유효성 검사를 통해 측위 성능이 개선됨을 확인한다.

Abstract

In this paper, we propose a method to improve the accuracy of positioning by adding angle and distance validation to the existing Bluetooth-based positioning method using the angle of arrival. In the existing positioning method, an error occurs in the positioning value due to a multipath phenomenon induced in a non-visible distance environment. The proposed method derives the maximum and minimum angles of arrival that can be measured in consideration of the moving speed of the positioned device, and then examines whether the measured angle of arrival exceeds the range of the maximum and minimum angles of arrival. The accuracy of positioning is improved by conducting a distance validation check to see if the location of the device to be positioned and the distance to the positioning device exceed the effective distance. A simulation was conducted to analyze the positioning performance between the proposed method and the existing method, and it was confirmed that the positioning performance was improved through angle and distance validation compared to the existing method in a situation where the positioning error increased through the simulation results.

Keyword : Bluetooth, Angle, Arrival, Positioning, Multipath

Copyright ⓒ 2021 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.
“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

Ⅰ. 서 론

차량 추적, 대인 추적, 내비게이션, 재난 구조와 같은 다양한 서비스에 활용되는 무선 측위 기술은 기지국과 단말간에 전송되는 전파 신호의 활용 여부에 따라 구분된다. 기지국과 단말간의 전파 신호를 사용하지 않는 방식으로는 APIT(Approximation Point-In-Triangulation), DV(Distance Vector)-HOP, Centroid, Cell ID 방식이 있으며, 기지국과 단말간의 전파 신호를 사용하는 방식으로는 TOA(Time Of Arrival, TTOA(Time Difference Of Arrival), AOA(Angle of Arrival), RSS(Received Signal Strength Index) 방식 등이 있다[1][2]. APIT 방식은 세 개의 비콘(beacon) 노드로 이루어진 삼각형 영역을 활용하는 방식이며 DV-HOP 방식은 비콘 노드 사이에 존재하는 노드 간의 평균 거리와 홉(hop) 수를 이용한다. Centroid 방식은 기지국의 좌표를 이용하며, Cell ID 방식은 기지국 반경 셀을 활용한다. TOA 방식은 기지국으로부터의 신호 도달 시간을 이용하며, TTOA 방식은 여러 기지국에서 수신되는 신호의 도달 시간 차이를 이용한다. AOA 방식은 두 개 이상의 기지국으로부터 수신되는 신호의 방향을 활용하며, RSS 방식은 수신되는 신호 세기를 이용하여 위치를 측정하는 방식이다.

2019년에 발표된 블루투스 5.1 에는 방향 탐색(Direction Finding) 기능이 도입되어 측위 활용성이 제고되었다[3]. 블루투스 방향 탐색 기능은 그림 1과 같이 송신측이 송신한 신호가 수신측에 도래되는 각도를 계산하여 상대 장치의 방향을 탐지하는 도래각(AoA) 방식과 송신측에서 수신측으로 송신되는 신호가 형성하는 각을 이용하는 발사각(AoD, Angle of Departure) 방식으로 구분된다.

두 가지 방식 모두 배열 안테나를 사용하며 그림 1과 같이 도래각 방식에서는 수신기에 다중 안테나가 설치되고 발사각 방식에서는 송신기에 다중 안테나가 설치된다. 도

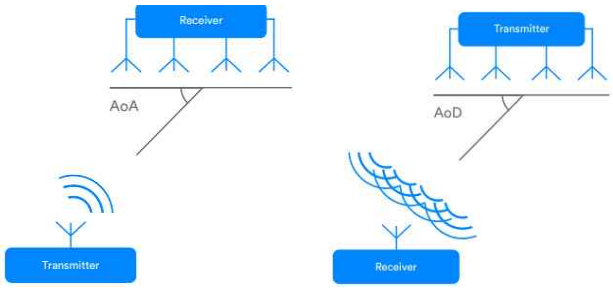

그림 1. 블루투스 도래각 방식과 발사각 방식
Fig. 1. AoA and AoD Scheme in Bluetooth

래각을 이용한 측위에 관한 연구로서 [4],[5]에서는 ad hoc 네트워크 환경에서 모든 노드는 도래각을 측정할 수 있고 이 중 일부만이 자체적인 위치 확인 기능이 있는 경우에 DV-Bearing과 DV-Radial 방식을 통해 비연결형 네트워크에서도 절대좌표와 방향을 측정할 수 있음을 보이고 있다. 그러나 이 방식은 네트워크의 중앙에서의 측위 성능과 에지(edge)에서의 측위 성능간에 측위 정밀도의 차이가 발생하는 한계성이 있다. [6]에서는 무선 센서 네트워크에서 수 홉(hop) 거리에 위치하는 비콘의 위치 정보를 활용한 도래각 기반의 측위방식을 제안하여 적은 수의 비콘과 부정확한 도래각 측정 환경에서도 [4]의 성능결과 보다 측위의 정밀도가 개선됨을 보이고 있다. [7]에서는 다중 안테나 시스템 기반에서 도래각 기법의 측위 오차를 줄이기 위하여 안테나간 위상 차이를 이용한 방식을 제시하여 기존 방식보다 8m 정도의 측위 성능이 개선됨을 보인다. 하지만 이 방식은 도래각의 각도 변화가 매우 심한 환경에서는 측위 성능 향상을 기대하기가 어렵다는 한계성이 존재한다. 도래각이나 발사각 방식의 한계점 중 하나는 가시거리(LoS, Line of Sight) 상황이 아닌 비 가시거리 환경에서 다중경로 등의 이유로 도래각 및 발사각 측정에 오차가 발생하여 측위의 정밀도가 낮아지는 것이다[8]. [9]를 통해 비 가시거리 환경에서의 측위오차가 가시거리 환경보다 73% 증가되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 비 가시거리 환경에서의 다중경로에 의한 도래각 측정의 오차를 줄이기 위해서는 수신기 설치 간격이 좁아져야 하므로 설치 비용의 증가 문제가 발생한다. 따라서, 블루투스 기반의 도래각 및 발사각 방식이 측위 방법으로 활용되기 위해서는 비 가시거리 환경에서 발생하는 측위 오차를 제어하는 방안이 마련되어야 한다. [10]에서 측위 오차 개선을 위한 알고리

a) 위즈노바(Wiznova)
b) 동아방송예술대학교 방송기술계열(Department of Broadcasting Technology, Dong-Ah Institute of Media and Arts)
‡ Corresponding Author : 백정훈(Junghoon Paik)
E-mail: jhpaik@dima.ac.kr
Tel: +82-31-670-6734
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2022-1487
· Manuscript received September 3, 2021; Revised October 12, 2021; Accepted October 22, 2021.

듬이 제시되었지만 연산량의 증대로 실시간 처리의 제약이 존재하고 고속사양의 시스템이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 개선하기 위하여 적은 연산량을 통해 측정된 도래각이 유효범위 내의 값 인지 아닌지를 검사하는 단계를 추가하여 오차가 포함된 도래각을 선별하는 각도 유효성 검사와 측정된 피 측위 장치의 위치와 측위 장치와의 거리가 유효거리를 초과하는지 검사하여 오차가 포함된 측정값을 구별하는 거리 유효성 검사방식을 제안한다. 또한, 제안된 방식의 개선 정도를 확인하기 위하여 모의실험을 통해 기존 방식과의 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 II장에서 도래각을 이용한 기존의 위치 추적 방식을 기술하고 III장에서는 제안한 방식을 기술한다. IV장에서는 제안 방식의 성능분석을 위한 모의실험 결과를 나타내고 V장에 결론을 기술한다.

Ⅱ. 도래각을 활용한 블루투스 위치 추적 방식

1. 도래각 도출

블루투스 5.1에서는 도래각 방식을 지원하기 위해 16us에서 160us의 가변시간을 갖는 싱글 톤 신호((Constant Tone Extension :CTE)를 정의하였다. 도래각 방식에서 송신기는 CTE 신호를 전송패킷에 부가하여 송신하고, 수신기는 CTE 수신 시점에서 1us 또는 2us 마다 안테나를 변경하며 수신한다.

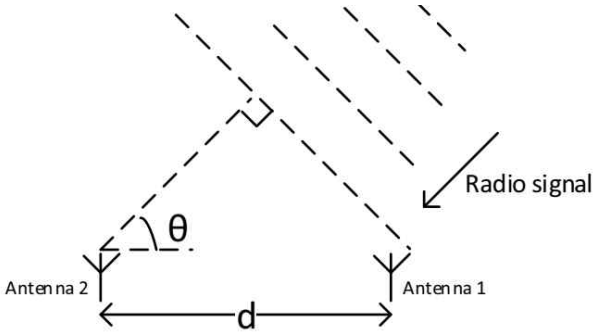

그림 2. 위상 차이를 사용한 도래각 측정
Fig. 2. Measurement of Angle of Arrival using Phase Difference

이러한 환경하에서 직선상에 위치하는 두 개의 안테나 간의 거리(d)와 두 개의 수신 안테나에 수신되는 신호의 위상 차이(ψ) 및 신호의 파장(λ)이 주어지면 신호의 도래각(Θ)은 (1)로 계산된다[그림 2].

$$\Theta = \arccos((\psi\lambda)/(2\pi d)) \quad (1)$$

2. 위치 계산

그림 2에서 송신기의 위치는 그림 3 과 같이 두 개의 수신기에서 계산된 도래각으로 구성되는 직선의 교차점에 위치한다.

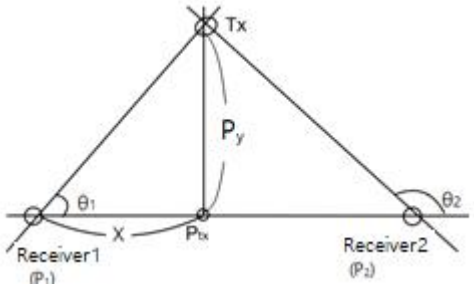

그림 3. 도래각을 이용한 송신기 위치 측정
Fig. 3. Positioning of Transmitter using AoA

x축 y축 위치가 각 각 x1, y1인 수신기1과 x2, y2인 수신기2가 같은 y축 위치에 있는 경우(y1=y2), 수신기1의 도래각(Θ1)과 수신기2의 도래각(Θ2)은 다음과 같이 표현할 수 있다. X는 송신기와 수신기1의 x축 좌표 차이 값이고, Y는 송신기와 수신기1의 y축 좌표 차이 값을 나타낸다.

$$\tan(\theta_1) = \frac{Y}{X} \quad (2)$$

$$\tan(180-\theta_2) = \frac{Y}{x_2 - x_1 - X} \quad (3)$$

위 두 식을 이용하여 송신기의 X축 위치인 xt 와 Y축 위치인 yt 를 계산할 수 있다.

$$X = \frac{(x_1 - x_2)*\tan(180-\theta_2)}{\tan(\theta_1)+\tan(180-\theta_2)} \quad (4)$$

$$x_t = x_1 + X \tag{5}$$

$$y_t = y_1 + Y = y_1 + X^* \tan(\theta_1) \tag{6}$$

위치 계산은 동일한 송신패킷의 도래각으로 계산해야하므로 수신패킷의 순차번호가 바뀔 때마다 수행한다. 동일한 순차번호 패킷의 도래각 정보를 각 수신기로부터 모아 인접한 수신기 두 대씩 위치검사를 수행하고, 위치검사 결과를 평균하여 최종 위치로 사용한다.

Ⅲ. 제안 방식

본 논문에서는 다중경로에 의한 측정오차를 개선하기 위하여 정확성을 높이는 기존의 연구방향과 달리 오차를 감소시키는 각도 유효성 검사와 거리 유효성 검사를 제안한다.

1. 각도 유효성 검사

각도 유효성 검사는 송신기의 이동속도에 따라서 이동할 수 있는 최대 이동거리를 이용하여 다음의 싱글 톤 계산시 변경될 수 있는 도래각의 범위에 대하여 각도 정보의 유효성을 판단하는 기능이다. 일반적인 사람이 걷는 평균속도는 약 5km/h 이고 단거리에는 9km/h 까지 가능하다[5]. 사람의 평균속도를 7Km/h로 가정하면, 1초에 약 2m 이동하게 된다. 따라서 이전 도래각 정보 수신 이후 현재 시점까지 최대 위치 변화(D)를 예측할 수 있다. 송신기가 A위치(현재 도래각 계산 시점의 위치, Xtx(n))에서 최대 거리만큼 이동했다고 가정했을 때의 위치를 B 위치(X'tx(n+1))로 설정한다.

1.1 최대 도래각

송신기의 다음 위치가 도래각이 증가하는 방향으로 최대 이동했을 때의 예상 도래각을 최대 도래각(maximum AoA)으로 정의한다. 그림 4와 같이 송신기의 최대 이동시 다음 예상 위치(X'tx(n+1))가 수신기의 x 좌표인 XRX 보다 작은 경우와 큰 경우의 최대 도달각 계산식은 각각 (7), (8)과 같다.

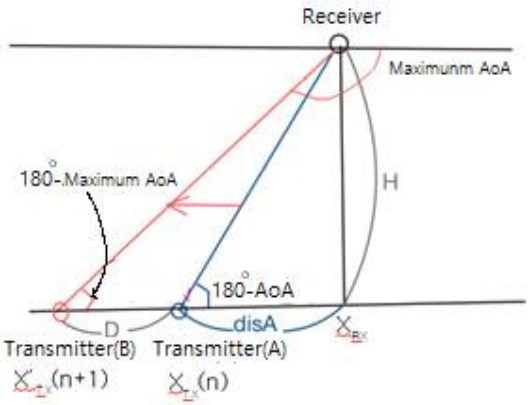

그림 4. 최대 도래각
Fig. 4. Maximum AoA

$$\text{최대도달각} = 180 - \arctan\left(\frac{H}{X_{RX} - X'_{tx}(n+1)_{\max}}\right) \tag{7}$$

$$\text{최대도달각} = \arctan\left(\frac{H}{X_{RX} - X'_{tx}(n+1)_{\max}}\right) \tag{8}$$

1.2 최소 도래각

송신기의 다음 위치가 도래각이 감소하는 방향으로 최대 이동했을 때의 예상 도래각을 최소 도래각(minimum AoA)으로 정의한다. 그림 5와 같이 송신기의 최대 이동시 다음 예상 위치(X'tx(n+1))가 수신기의 x 좌표인 XRX 보다 작은 경우와 큰 경우의 최소 도래각 계산식은 각각 (9), (10)과 같다.

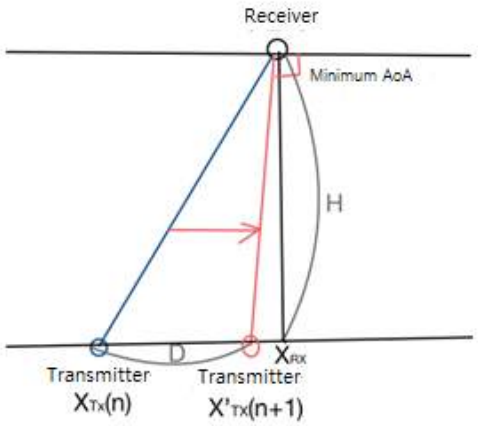

그림 5. 최소 도래각
Fig. 5. Minimum AoA

$$\text{최대도달각} = 180 - \arctan\left(\frac{H}{X_{RX} - X'_{tx}(n+1)_{\min}}\right) \tag{9}$$

$$\text{최대도달각} = \arctan\left(\frac{H}{X_{tx}(n+1)_{\min} - X_{RX}}\right) \quad (10)$$

2. 거리 유효성 검사

거리 유효성 검사는 도래각의 오차에 의해 송신기 위치의 계산 결과가 수신기 위치와의 차이가 유효거리 이상 즉, 수신기 설치 간격의 2배 이상이면 이를 교정하는 기능이다. 그림 6에서 수신기3과 수신기4의 도래각을 이용하여 계산된 송신기의 위치가 수신기3과는 유효거리 이내이지만 수신기 4와는 유효거리를 벗어나게 되면 측정된 위칫값을 사용하지 않는다.

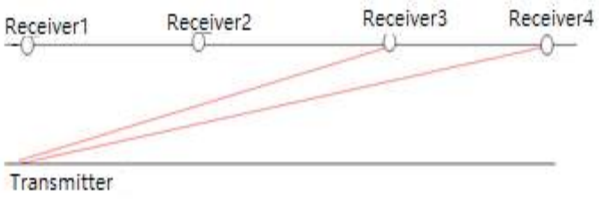

그림 6. 거리 유효성 검사
Fig. 6. Distance Validation Test

위의 경우 거리 유효성 검사를 통과한 위치 정보들만 모아 평균하여 최종 위치로 사용한다. 만약 해당 순차번호를 갖는 유효한 위치정보가 하나도 없는 경우는 이전 위치정보를 그대로 유지한다.

Ⅳ. 모의실험

1. 환경변수

표 1은 제안한 위치측정 방식의 성능을 확인하기 위한 모의실험 환경변수이다.

도래각의 오류 값은 [6]을 참고하여 가우시안(Gaussian) 랜덤변수(random variable) 를 이용한다. 가우시안 랜덤변수의 기댓값(μ)을 실제 각도 정보로 사용하고, 표준편차(σ)는 [3]의 결과를 참고하여 각도 별로 상이한 오차를 부여하기 위해 표 2와 같이 설정한다. 또한 각도별 오류가 아닌 환경이나 주파수에 따른 전체 오류를 반영하기 위하여 전체 표준편차의 기준 값(E_std)을 변화시킨다.

표 1. 모의실험 환경변수
Table 1. Simulation Environment Variables

Number of Transmitter	1
Number of Receive	5
Error Model	Random Gaussian
Minimum Distance between Transmitter and Receiver(H)	100cm
Distance between Receivers	Y(cm)
Valid Angle(ω)	35°

표 2. 도래각 오차
Table 2. AoAA Error

도달각(°)	표준편차(°)
60-90	E_std
55-60	E_std+2
50-55	E_std+3
45-50	E_std+4
40-45	E_std+7
35-40	E_std+10
25-35	E_std+15
15-25	E_std+20
10-15	E_std+35
0-10	E_std+40

2. 절차

그림 7과 그림 8은 모의실험 환경 및 절차를 나타낸다. 총 5대의 수신기를 Y간격 마다 위치시킨다. 송신기의 현재 위치(Xtx(n-1)), 이동주기, 이동속도를 이용하여 다음 위치(Xtx(n))를 계산하고 해당 위치의 도래각(A1(n), A2(n), A3(n), A4(n), A5(n))을 수신기별로 계산한다. 계산된 도래각에 오류 값을 부가하여 오류가 반영된 각도(A1'(n), A2'(n), A3'(n), A4'(n), A5'(n))를 도출하고 각도 유효성 검사를 시행한다. 각도 유효성 검사를 통과하지 못하면 해당 각도 정보는 사용하지 않는다. 이 후 각도 유효성 검사를 통과한 각도 정보를 가진 인접한 수신기 2대에서 위치 계산을 수행한 후(X1,X2,X3,X4) 위치 유효성 검사를 수행하여 오검출된 위치 정보를 제거한다. 위치 유효성 검사를 통과한 정보들을 평균하여 송신기의 위치(X'tx(n))를 계산한 후 오류가 반영된 위치와 반영 전의 위칫 값의 차이를 계산하여 위치 오차(Xerr(n))를 도출한다. 이렇게 계산된 위치 오차(Xerr)의 누적분포함수(CDF, Cumulative Distribu- tion Function)값을 모의실험 결과로 사용한다.

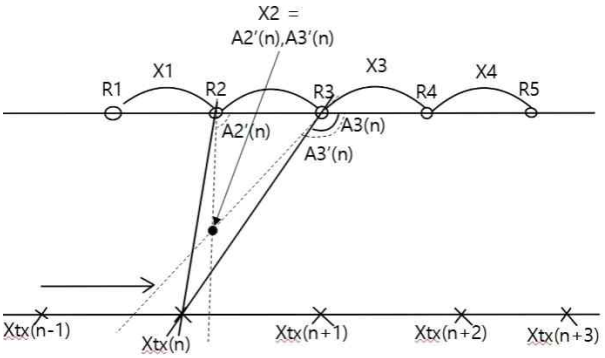

그림 7. 모의실험 환경
Fig. 7. SImulation environment

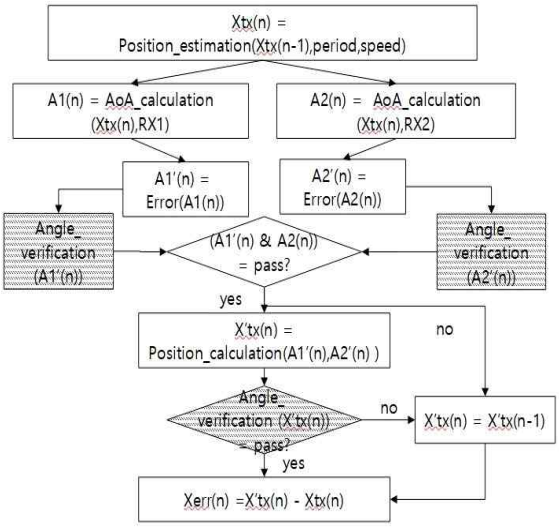

그림 8. 제안하는 위치 측정 방식에 대한 모의실험 절차
Fig. 8. Simulation for Suggested Location Positioning Scheme

3. 결과 및 분석

3.1 송신기의 이동속도에 따른 측위 오차

송신기의 이동속도에 따른 위치 오차 성능을 측정하기 위해 송신기 입력 위치(Xtx)를 변화시키고, 이에 따른 도래각 오류를 반영하여 송신기의 입력 위치와 계산된 위치 간의 오차를 계산한다. 동일한 오류 환경에서 송신기의 이동주기에 따라 위치 오차에 대한 누적 분포 함수의 80%에 해당하는 값(CDF = 80)의 변화를 나타낸다.

그림 9는 네 가지 오류 상황에서 송신기의 속도가 시속 0.5km 인 경우의 위치 오차를 나타낸다.

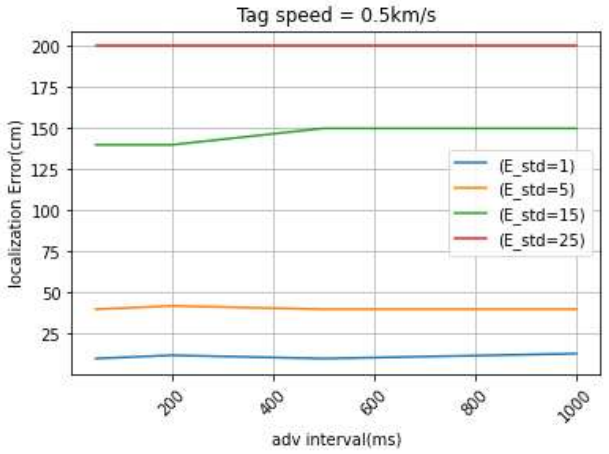

그림 9. 송신기 속도 5km/h 의 오류상황별 위치 오차(CDF=0.8)
Fig. 9. Location Positioning Error for 5km/h of transmitter moving speed(CDF=0.8)

그림 9로 부터 오류가 커지는 환경일수록 위치 오차가 커짐을 확인할 수 있으며 송신기의 싱글 톤 신호 송신 주기의 영향은 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 송신기의 이동속도가 느리거나 거의 움직이지 않을 때는 송신 주기를 최소화하여 송신기의 전력 소모를 낮출 수 있음을 알 수 있다.

그림 10은 송신기의 속도가 시속 3km 인 경우의 위치 오차를 나타낸다.

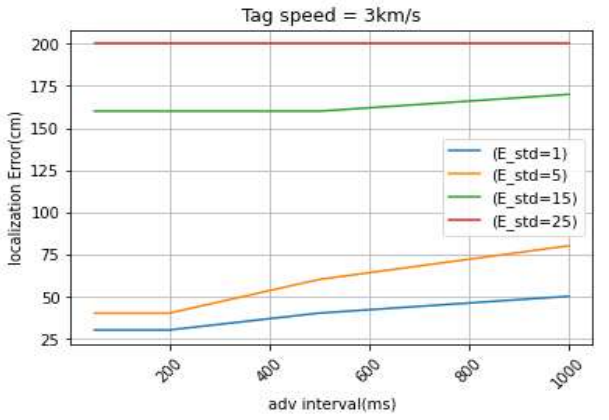

그림 10. 송신기 속도 3km/h 의 오류상황별 위치 오차(CDF=0.8)
Fig. 10. Location Positioning Error for 3km/h of transmitter moving speed(CDF=0.8)

그림 9의 결과와 비교하면 송신기의 이동속도가 증가할

수록 측위 오차가 증가함을 알 수 있다. 오류가 적은 환경(E_std=1,E_std=5)에서는 송신기의 신호 송신 주가가 약 200ms 보다 크게 되면 측위 오차가 증가하며 오차 수준은 1m 이내임을 알 수 있다.

그림 11은 송신기의 속도가 시속 7km 인 경우의 위치 오차를 나타낸다.

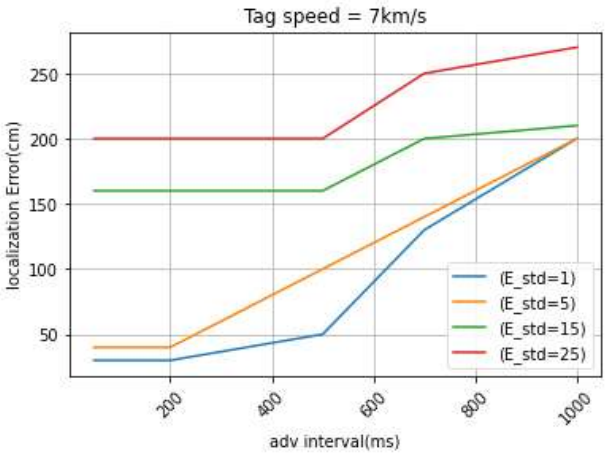

그림 11. 송신기 속도 7km/h 의 오류상황별 위치 오차(CDF=0.8)
Fig. 11. Location Positioning Error for 7km/h of transmitter moving speed(CDF=0.8)

송신기의 이동속도가 높을수록 송신기의 신호 송신 주기에 영향을 크게 받음을 확인할 수 있다. 오류가 적은 환경(E_std=1,E_std=5)에서는 송신기의 신호 송신 주기가 약 200ms보다 크면 측위 오차가 지속적으로 증가하여 약 500ms 일 때 측위 오차가 1미터가 초과되는 것을 알 수 있다. 또한, 오류가 큰 상황(E_std=15,E_std=25)에서는 송신기의 신호 송신 주기가 500ms 보다 크면 측위 오차가 급격히 증가함을 알 수 있다.

3.2. 수신기 설치 간격에 따른 측위 오차

수신기 설치 간격에 따른 측위 오차를 분석하기 위하여 수신기의 설치 간격을 Y = β*H(100cm)로 정의하고 β 값을 변화시켜 측위 오차의 변화를 확인한다. 송신기의 속도는 7km/h이고 주기 간격은 500ms로 설정한다.

그림 12는 오류를 최소로 하는 환경 (E_std=1)에서 수신기의 설치 간격 별로 측위 오차를 비교한 결과이다.

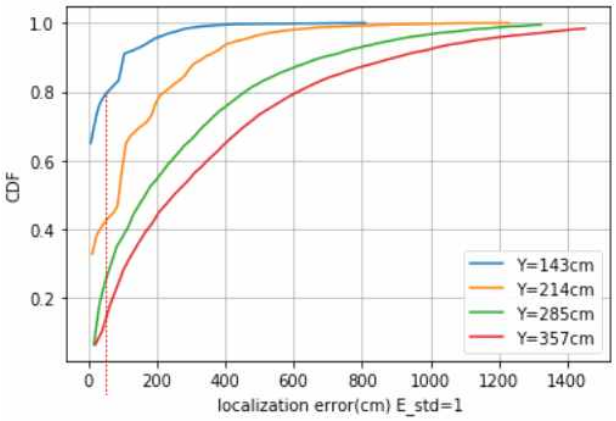

그림 12. 수신기 설치 간격별 위치 오차(E_std=1)
Fig. 12. Location Positioning Error for Installation Interval of Receivers(E_std=1)

수신기의 설치 간격이 증가할수록 위치오차의 누적 분포 확률이 낮아짐을 알 수 있다. 수신기의 설치 간격(Y)이 143cm인 경우 측위 오차 값이 80cm보다 적을 확률이 0.8 이지만 수신기 설치 간격이 357cm로 증가되면 해당 값은 0.1 수준으로 낮아짐을 확인할 수 있다.

그림 13은 오류 환경 (E_std=10)에서 수신기의 설치 간격별로 측위 오차를 비교한 결과이다. 최소 오류(E_std=1)인 경우에 비하여 측위 오차가 증가함을 확인할 수 있다. 즉, 수신기의 설치 간격이 357cm인 경우 E_std=1 환경에서는 측위 오차가 200cm 이내가 될 확률이 0.65인 반면에 E_std=10에서는 해당 값이 0.60으로 낮아짐을 확인할 수 있다.

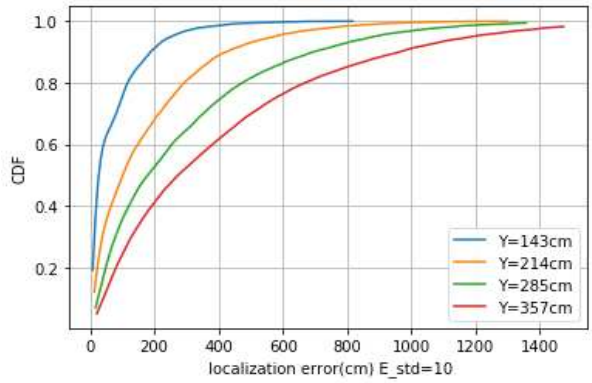

그림 13. 수신기 설치 간격별 위치 오차(E_std=10)
Fig. 13. Location Positioning Error for Installation Interval of Receivers(E_std=10)

4. 개선 방안 반영에 따른 위치 오차 변화

그림 14와 15는 본 논문에서 제안한 각도 유효성 검사와 위치 유효성 검사를 적용한 방식(NEW)을 기존의 방식과 비교한 결과이다.

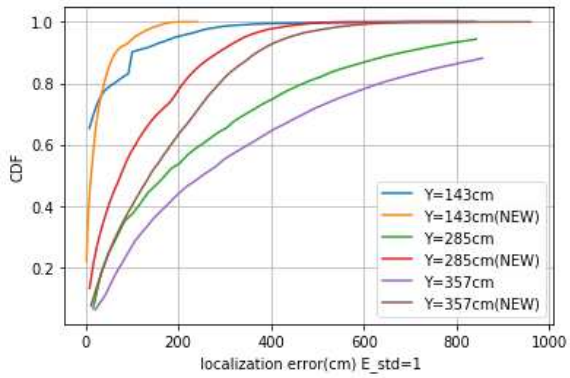

그림 14. 제안한 방식의 수신기 설치 간격별 위치 오차(E_std=1)
Fig. 14. Location Positioning Error for Installation Interval of Receivers for Suggested Scheme(E_std=1)

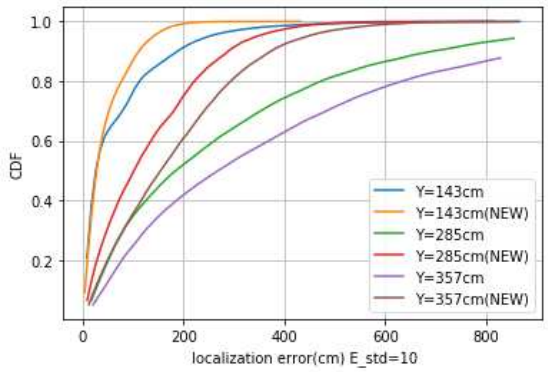

그림 15. 제안한 방식의 수신기 설치 간격별 위치 오차(E_std=10)
Fig. 15. Location Positioning Error for Installation Interval of Receivers for Suggested Scheme(E_std=10)

수신기의 설치위치가 유효각도 내에 설치되어 각도 유효성 검사가 수행되지 않는 환경 (Y=143cm)에서는 제안한 방식과 기존 방식과의 측위 오차는 유사함을 확인할 수 있다. 그러나 수신기의 설치 간격을 늘려 도래각이 유효각도를 벗어나는 환경에서는 제안한 방식이 기존 방식보다 측위 오차 확률이 낮아짐을 확인할 수 있다. E_std=1인 오류 환경에서 수신기의 설치 간격(Y)이 285cm인 경우 측위 오차가 200cm 이내일 확률은 기존 방식의 경우 0.55인 반면에 제안한 방식에서는 0.8로 개선됨을 확인할 수 있다. 이와 동일한 수신기 설치 간격하에서 오류 환경이 E_std=10으로 열악해진 경우에는 기존 방식의 경우 0.50이지만 제안한 방식에서는 0.75로 개선됨을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 도래각을 활용한 블루투스 기반의 측위방식에 각도 및 거리 유효성 검사를 추가하여 측위의 정확도를 개선하는 방식을 제안하고, 모의실험을 통해 송신기의 이동속도 및 수신기의 설치간격에 대한 측위오차의 성능을 도출하였으며 도래각이 유효각도를 벗어나는 환경에서는 제안한 방식이 기존 방식보다 측위 오차 확률이 낮아짐을 확인하였다. 제안된 방식의 성능을 더욱 개선하기 위한 추후 연구 방향으로는 거리 유효성 검사에서 성능개선이 담보할 수 있는 유효거리를 도출하는 것이라 사료된다.

참 고 문 헌 (References)

[1] K. M. Yeo, J. H. Ahn, “Location Based Service Technologies and Standards”, Electronics and telecommunications trends, vol. 25, no. 6, pp. 11~19, 2010. 12
[2] P. Bahl and V. Padmanabhan, “RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system,” in Proc. of Infocom’2000, vol. 2, Tel Aviv, Israel, pp. 775 – 784, Mar. 2000.
[3] Bluetooth Core Specification v5.1
[4] D. Niculescu, B. Nath, “Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA,” Proceesings on Annual Joint Conference of the IEEEComputer and Communications, pp.1734-1743, 2003.
[5] C. Savarese, J. M. Rabaey, and J. Beutel, “Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks,” in Proc. of ICASSP’01, vol. 4, pp. 2037 – 2040, 2001.
[6] R. Peng, M.L. Sichitiu, “Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks,” Proceedings on Sensor and AdHoc Communications and Networks, pp.374-382, 2006.
[7] Ik-Hyun Park, Kook Yeol Yoo, Yong Wan Park, “Multi-Antenna based AOA Positioning using Phase Difference”, Journal of Embedded Systems and Applications, vol.8, no.2, pp. 95-102, 2013. 4
[8] C. Mensing, S. Plass, "Positioning Algorithms for Cellular Networks Using TDOA," Proceedings on IEEE Acoustics, Speech and Signal, vol.

5, pp.513-516, 2006.
[9] M. Cominelli, P. Patras, and F. Gringoli, "Dead on Arrival: An Empirical Study of The Bluetooth 5.1 Positioning System",13th International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization, pp. 13-20, 2019.
[10] Jongmin Kim, Dongjae Oh, Sanghoon Park, Seunghyeok Lee, Yunho Jung, “Design of MUSIC-based DoA Estimator for Bluetooth Applications“, Journal of IKEEE vol. 24 no.1, pp.339-346, 2020.

저 자 소 개

송 경 희

- 2004년 2월 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
- 2004년 3월 ~ 2009년 2월 : 한국전자통신 연구원 차세대 무선랜 연구팀
- 2009년 3월 ~ 현재 : (주)위즈노바 책임연구원
- ORCID : https://orcid.org/0000-0003-3699-9365
- 주관심분야 : 블루투스, 무선통신

백 정 훈

- 2002년 9월 ~ 현재 : 동아방송예술대학교 방송기술계열 교수
- ORCID : http://orcid.org/0000-0003-2022-1487
- 주관심분야 : 방송네트워크 기능 고도화 및 성능분석