

## BLE Beacon의 실내 측위 정확도 향상을 위한 Genetic Algorithm 기반 Kalman Filter Parameters 최적화 방법

김성창<sup>1</sup> · 김진호<sup>2\*</sup>

### Optimization Method of Kalman Filter Parameters Based on Genetic Algorithm for Improvement of Indoor Positioning Accuracy of BLE Beacon

Seong-Chang Kim<sup>1</sup> · Jin-Ho Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Computer Engineering, Kyung-Nam University, Changwon, 51767 Korea

<sup>2\*</sup>Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Kyung-Nam University, Changwon, 51767 Korea

#### 요 약

실내 측위 시스템에 사용되는 Beacon의 신호는 반사 및 왜곡되어 노이즈 신호가 발생한다. 이 노이즈를 제거하기 위해 KF(Kalman Filter)가 널리 사용되어 왔다. KF를 적용하기 위해서는 각 제품의 신호 종류와 강도, 환경을 고려한 Parameters 최적화 과정이 필요하다. 본 논문에서는 BLE Beacon 기반 실내 측위 시스템에서 GA(Genetic Algorithm)를 활용한 KF Parameters의 최적화 문제 해결 방안을 제안한다. Beacon과 수신기 사이에 일정 거리를 두고 제한한 기법을 적용하여 KF Parameters를 최적화한 후, KF를 통과한 추정거리와 필터링을 거치지 않은 거리를 비교하였다. 제안하는 기법은 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 기반으로 하는 실내 측위 시스템에서 KF의 Parameters 최적화 소요시간 단축과 정확도 향상이 가능할 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

Beacon signals used in indoor positioning system are reflected and distorted, resulting in noise signals. KF(Kalman Filter) has been widely used to remove this noise. In order to apply the KF, optimization process considering the signal type, signal strength, and environmental elements of each product is required. In this paper, we propose a solution to the optimization problem of KF Parameters using GA(Genetic Algorithm) in BLE(Bluetooth Low Energy) Beacon-based indoor positioning system. After optimizing KF Parameters by applying the proposed technique with a certain distance between Beacon and receiver, we compared the estimated distance passed through KF with the unfiltered distance. The proposed technique is expected to reduce the time required and improve accuracy of KF Parameters optimization in an indoor positioning system based on RSSI (Received Signal Strength Indication).

**키워드** : 저전력 블루투스 비콘, 유전 알고리즘, 칼만 필터, 매개변수 최적화, 수신신호강도

**Keywords** : BLE beacon, Genetic algorithm, Kalman filter, Parameters optimization, RSSI

Received 10 August 2021, Revised 18 August 2021, Accepted 6 September 2021

\* Corresponding Author Jin-Ho Kim (E-mail:kimjh@kyungnam.ac.kr, Tel:+82-55-249-2394)

Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Kyung-Nam University, Changwon, 51767 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.11.1551>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

실내 공간에서의 활동 분야가 확장되면서 실내 공간에서 다양한 형태의 위치기반 서비스(LBS: Location-Based Service) 기술이 개발, 적용되고 있다. 그에 따라, 다양한 실내 측위 기술과 각 기술의 정확도 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재, 실내 측위 기술에 UWB(Ultra Wide Band), PDR(Pedestrian Dead Reckoning), Wi-Fi, 지자기, LED light, Vision Camera, Zigbee, BLE (Bluetooth Low Energy) Beacon 등이 활용되고 있다[1, 2].

위와 같은 다양한 기술 중에 BLE Beacon은 BLE 를 기반으로 작동하는 소형 무선 장치로써, 식별 정보와 송신 전력 등을 주기적으로 송출한다. BLE Beacon은 버튼형 전지 1개만으로도 수년간 사용 가능하고, 다양한 제품들이 있어 구현 및 개발이 용이하다. 또한, 기존 Bluetooth 프로토콜 대비 적은 배터리 소모량과 상대적으로 저렴한 가격, 넓은 측위 범위를 가지고 있어 오늘날 실내 측위 기술에 주로 사용되고 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고, Beacon 신호는 벽이나 사람 등의 장애물에 의해 감쇠, 반사, 흡수, 왜곡된 노이즈 신호가 발생하므로, RSSI(Received Signal Strength Indication)가 안정적이지 못하다는 문제점이 있다[3]. RSSI는 Receiver에서 측정되는 수신 신호 강도를 나타내는 지표이며, RSSI를 이용하여 BLE Beacon과 수신기(Receiver) 사이의 거리를 측정할 수 있다. RSSI는 습도, 장애물, 날씨 등의 다양한 간섭에 영향을 받으므로 반드시 보정이 필요하며 실제 거리와의 유사도를 높이기 위해 거리 정보의 최적화가 필요하다[4]. 노이즈가 포함된 RSSI를 보정하기 위한 방안으로 Particle Filter[5], Exponential Moving Average Filter[2], Gaussian Filter, Kalman Filter(KF)[6] 등이 사용되고 있다. RSSI를 보정하기 위해 주로 KF가 사용되었으며, KF를 적용했을 때 RSSI를 기반으로 한 비교적 안정적인 측위 시스템을 구축할 수 있다[7].

KF 모델링은 시스템의 물리적인 관계와 상태 변수들을 분석하여 매개변수들을 조정하는 과정이며, KF의 정확도를 향상시키기 위해서는 각 장치와 환경에 따른 물리량 사이의 관계와 영향을 미치는 오차 요인 등을 고려한 KF 모델링이 필요하다[8].

이 KF 모델링은 많은 시간을 들여 시행착오를 거듭해

야 하며, 비선형 시스템에서는 실험이 어렵고, 설계가 완료되더라도 신호 및 센서의 예상치 못한 변수 때문에 KF의 정확도가 보장되지 못하는 경우가 많다[4]. 또한, 조정된 노이즈 값과 측정기기 성능 사이의 관계가 매우 비선형적이고 확률적이라, 국소 최적해에 쉽게 갇힐 수 있다[9].

이와 같은 문제를 해결하기 위해 GA를 활용한 연구들이 진행되었다. [10]에서는 배터리 관리 시스템의 충전 상태(SoC) 추정을 위해 KF를 사용하였고, GA를 이용해 KF Parameters를 최적화하여 실측값과의 오차를 감소시켰다. [11]에서는 무인항공기(UAV) 항해 시스템의 다양한 센서에서 발생하는 노이즈를 억제하기 위해 주로 KF가 사용되었고, KF Parameters를 최적화하는 방법으로 GA를 사용하였다.

위와 같이 기존에는 배터리 관리 시스템과 무인항공기 항해 시스템에 대해 GA를 적용한 KF 최적화 연구만 있었을 뿐, 실내 측위 시스템을 위해 GA를 적용한 KF Parameters 최적화 방법에 대한 연구가 없었다. 또한, 기존의 연구들은 각 시스템에서 KF의 오차 공분산 관련 매개변수 최적화만을 고려하였고, 경로 손실지수와 KF의 관측 모델 최적화에 대한 고려는 없었다.

본 논문에서는 BLE Beacon 기반 실내 측위 시스템에서 KF의 정확도 향상과 소요시간 단축을 위해 KF Parameters의 최적화 기법으로 GA를 적용하는 방법을 제안하고자 한다. 이 방법을 통해 KF를 사용하는 시스템에서 GA를 적용하여 정확도를 향상시킬 수 있고, BLE Beacon뿐만 아니라 RSSI를 기반으로 하는 실내 측위 시스템에서 범용성 있는 KF 시스템 모델링이 가능할 것으로 기대된다.

## II. 배경 지식

### 2.1. BLE Beacon

BLE Beacon은 저전력 블루투스 프로토콜을 활용한 기술(BLE)을 적용한 기기으로써, 사용자가 정한 Advertising Interval마다 2.4GHz 대역의 주파수에서 주기적으로 정보를 전방위 송출한다. 전송된 정보에는 UUID(Universal Unique Identifier), Major, Minor, TxPower(Transmission Power)등이 포함된다. UUID, Major, Minor는 Beacon 식별을 위한 정보이다[12]. TxPower는 Beacon의 송신 전력 레벨을 나타내며, Beacon과 Receiver 사이의 거리

를 측정하기 위해 사용된다. 3개의 Receiver로 삼각측량을 사용함으로써 Beacon의 위치를 찾을 수 있다.

## 2.2. RSSI Based Distance Calculation

Receiver로 수신되는 Beacon의 신호 강도를 RSSI로 나타내며, RSSI는 Beacon과 Receiver 사이의 거리 측정에 사용된다. 거리 계산법은 다음과 같다.

$$d(\text{distance}) = 10^{(RSSI_m - RSSI)/(10 \times n)} \quad (1)$$

식 (1)에서  $RSSI_m$ 는 Beacon과 Receiver 사이의 거리가 1m일 때 측정되는 RSSI 값을 나타내며,  $n$ 은 경로 손실지수를 의미하고, 거리는 미터(m) 단위로 표현된다[13]. 아래 표 1은 환경에 따른 경로 손실지수를 나타낸다[14].

**Table. 1** Path Loss Exponent for Different Environment[14]

Environment	Path Loss Exponent
Free-space	2
Urban area cellular radio	2.7 to 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 to 5
In building line-of-sight	1.6 to 1.8
Obstructed in building	4 to 6
Obstructed in factory	2 to 3

## 2.3. Kalman Filter(KF)

KF는 노이즈가 포함된 측정치를 바탕으로 상태를 추정하는 재귀적 필터로서 추정 계산은 두 단계로 이루어진다.

첫 번째, 예측(prediction)단계는 이전 시간에 추정된 상태에 대해, 사용자 입력이 있을 때 예상되는 측정값을 계산하는 과정이다. 두 번째, 보정(update)단계는 앞서 예측된 측정값과 실제 측정값을 토대로 현재의 상태를 추정하는 과정이다. 표 2는 이 과정에서 사용되는 4가지 동적 시스템 모델을 나타낸다.

**Table. 2** Dynamical System Model[8]

Dynamical system model	Description
A	the state-transition model
H	the observation model
Q	the covariance of the process noise
R	the covariance of the observation noise

동적 시스템 모델 중 A는 시간에 따라 시스템이 어떻게 움직이는지를 나타낸다. A가 1보다 커질수록 직전 추정값에 대한 가중치가 높아져 현재 측정값에 대한 반응성이 낮고, 1보다 작아질수록 직전 추정값에 대한 가중치가 낮아져 현재 측정값에 대한 민감도가 높아진다. H는 추정값 출력에 영향을 미치는 모델이며, 노이즈로 인해 발생하는 offset을 조정하기 위해 GA를 적용하고자 한다. Q, R은 각각 시스템과 측정 노이즈의 공분산을 의미한다. 시스템 잡음과 측정 잡음의 특성을 분석해야만 Q, R에 대한 모델링이 가능한데, 이것은 시스템에 대한 지식과 경험을 바탕으로 하여 많은 시간이 필요한 작업이므로 GA를 적용하고자 한다. 또한, 실제 환경에서 식 (1)의 경로 손실지수  $n$ 을 정확히 구할 수 없기 때문에 출력값의 정확도를 높이기 위해 GA를 적용하고자 한다. 즉, 이 실험에서는 잡음 제거와 변화 민감성을 고려하여 A는 1로 고정하고, GA를 적용하여 H, Q, R, n 4개의 Parameters를 조정하고자 한다.

## 2.4. Genetic Algorithm(GA)

GA는 최적화 문제를 해결하는 기법 중 하나로써, 자연 선택과 진화를 모방한 알고리즘이다. 적합도 함수는 GA의 평가 함수로써, 염색체가 최적해에 얼마나 근사했는지 계산할 수 있다. GA를 구성하는 주요 연산자는 선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)이다. 선택 연산자는 높은 적합도 점수를 가진 염색체에게 우선순위를 부여하여 높은 확률로 유전자를 다음 세대에 전달할 수 있도록 하는 연산자이며, 교차 연산자는 선택 연산자에 의해 선택된 두 개의 염색체의 유전자를 설정된 교차 지점을 중심으로 서로 교환하는 연산자이고, 돌연변이 연산자는 국소 최적해를 피하고 개체의 다양성을 높이기 위해 유전자의 순서를 변경하거나 무작위 유전자를 삽입하는 연산자이다[15].

GA는 어려운 비선형 문제에서 근사 최적해를 찾는 데에 적합하고, 빠른 시간 내에 적당한 해를 찾을 수 있다. 또한, 국소 최적해를 피해 갈 수 있는 전반적인 메커니즘을 가지고 있고, 다양한 잡음들에 민감하지 않다는 장점을 가지고 있다.

### III. GA 기반 KF Parameters 최적화 방법

#### 3.1. 실험 환경

2가지의 조건에서 실험을 진행한다. 표 3과 같이 Bluetooth, Wi-Fi 등의 다양한 무선 신호가 공존해있는 밀폐된 실험실(Area 1)에서 Beacon을 고정하여 실험(Case I)을 진행하고, 비교적 무선 신호가 적고 인적이 없는 복도(Area 2)에서 Beacon을 왕복 이동하여 실험(Case II)을 진행하였다. 1개의 Receiver를 사용하여 Beacon과 Receiver 사이의 거리를 측정한다. 표 3은 실험 환경을, 표 4는 Beacon과 Receiver의 사양을 나타낸다. 그림 1은 실험에 사용한 Beacon을 보여준다.

Table. 3 Test environment

	Width × Depth × Height
Area 1 - Case I	6.8m × 6m × 2.7m
Area 2 - Case II	2.5m × 40m × 2.7m
Installation height of BLE Beacon and Receiver	1.2m

Table. 4 Beacon and Receiver specification

	Specification
BLE Beacon	Maker : KongTech, Model : Beacon Tag
	Advertising interval : 100 to 1000 ms
	TxPower : -40 to 4 dBm
	Beacon's Signal Range : Up to about 70m
Receiver : Raspberry Pi	Raspberry Pi 4 Model B
	OS : Raspbian OS ver 4.19
	Language : Python ver 3.9.5



Fig. 1 Beacon used in the test

#### 3.2. KF 최적화를 위한 설정

Beacon의 송신 출력 전력은 최댓값인 4dBm으로 설정하였다. Beacon의 Advertising Interval은 400ms로 설정하여, Beacon의 UUID와 TxPower 등의 정보가 담긴 Packet을 400ms마다 방출한다. Beacon이 Receiver와

30m 이내의 거리에서 장애물이 없을 때, Beacon의 신호는 약 55~70% 정도의 수신 성공 확률을 보였다. Latency를 확인하기 위해 Case II에서 실측거리와 Filtered거리(KF를 통과한 거리) 각각의 최댓값에 대한 비교 실험을 진행한 결과, 최댓값이 추정되기까지의 수신은 4회 지연됨을 확인할 수 있었다. 다른 Beacon과의 신호 충돌시 발생하는 임의의 지연 값과 수신 성공 확률, 비교 실험 결과를 고려하여 Latency를 1.6s(=400ms×4)으로 설정한다. 표 5는 설정값 및 실험시간과 실험시 Beacon과 Receiver 사이의 실측거리를 Case별로 나타낸 표이다.

Table. 5 Setting test value

	Test Value
Beacon's advertising interval	400ms
Beacon's TxPower	4dBm
Latency	1.6s (=400ms×4)
Experiment Time	Case I : 120s Case II : 920s
Distance between BLE Beacon and Receiver	Case I : 3m, 5m, 7m Case II : 0~30m

각각의 KF Parameter가 음수일 때 실측거리와의 유사도가 급격히 감소했다. Parameters 중 H가 1을 초과하거나 R이 8을 초과했을 때 KF의 반응성이 매우 낮아졌으며, Q는 1을 초과했을 때 KF는 노이즈에 민감하게 반응하는 것을 확인하였다. 경로 손실지수 n은 표 1을 참고하여 범위를 제한했으며, 위의 내용을 바탕으로 Parameters의 범위와 각각의 염색체 길이를 표 6에 정리하였다.

Table. 6 Range of parameters and chromosome length

Parameters	Range	Chromosome Length
H	0 ~ 1	8
Q	0 ~ 1	8
R	0 ~ 8	8
n	1.6 ~ 4.7	5

#### 3.3. KF 최적화를 위한 GA 설계 및 개발

GA를 적용할 KF Parameters의 염색체 길이는 총합 29이고, 염색체의 수는 4개로 설정하였다. 1000세대까지 시행했을 때 유의미한 결과값이 나왔으므로 시행은 1000세대까지만 진행한다. GA의 선택 연산자는 룰렛 휠 선택 알고리즘을 채택하여, 적합도가 높은 염색체가

선택될 확률이 높아지도록 설정했다. 교차 연산자는 원 포인트 교차 알고리즘을 적용하여, 각 Parameter에 해당하는 염색체 내부의 무작위 단일점을 기준으로 두 염색체를 교차하도록 설정했다. 변이율은 0.1로 설정하고, 변이율에 따라 비트를 0에서 1로 또는 1에서 0으로 변환하는 비트 플립 변이 알고리즘을 적용하였다. 위의 설계를 바탕으로 GA의 환경변수들을 설정하여 표 7에 정리했다.

Table. 7 Environment variables of genetic algorithm

Environment Variables	Values
Chromosome Length	29
Population Size	4
Generation	1000
Selection	Roulette wheel selection
Crossover	One Point Crossover
Mutation	Bit Flip Mutation
Mutation Rate	0.1

RSSI를 이용한 거리 측정 문제 같은 회귀 문제의 경우에는 주로 MSE(Mean Squared Error)를 이용하여 Fitness Function을 나타낸다. 실험 시간 내 수신 횟수를  $n$ , 각  $i$ 시간에 대한 실측거리를  $D_i$ , Filtered거리(KF를 통과한 거리)를  $\hat{D}_i$ 이라고 했을 때, Beacon과 Receiver 사이의 실측거리와 Filtered거리에 대한 MSE를 이용하여 계산식을 도출하고, Latency를 고려하여 GA의 Fitness Function(적합도 함수)을 식 (2)와 같이 설정한다.

$$f(\text{fitness function}) = \frac{n}{\sum_{i=4}^n (D_{i-4} - \hat{D}_i)^2} \quad (2)$$

적합도 함수  $f$ 의 결과값이 높을수록 실측거리와의 유사도가 높은 우성 형질로 인식된다.

실험의 순서는 다음과 같다. 정해진 실험시간 내에 BLE Beacon에서 400ms마다 UUID와 TxPower 등의 정보가 담긴 Packet을 송출하고 Receiver에서 수신하여 Data를 수집한다. GA를 KF Parameters에 적용하여 세대를 거듭하며 적합도를 비교하고, 높은 적합도를 갖는 Parameters를 기록한다. 그림 2는 위의 실험 순서를 도식화한 그림이다.

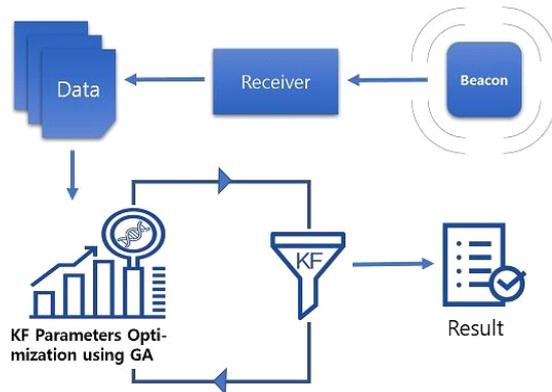
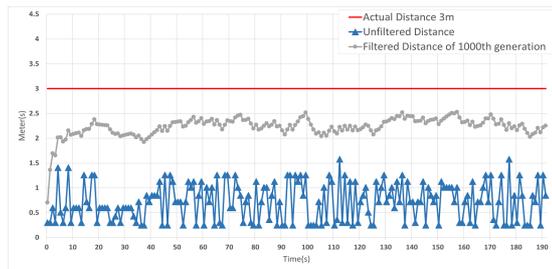


Fig. 2 KF Parameters Optimization Flowchart using GA

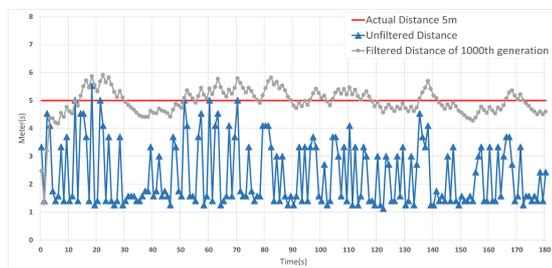
Receiver에서 수신한 Data를 excel파일로 구성하고 KF 알고리즘을 적용한 후, Python을 이용하여 KF Parameters를 최적화하는 GA를 개발하였다. 이 때, win32com 모듈을 활용하여 excel파일 내에 KF Parameters와 경로 손실 지수를 조정하고 계산된 적합도를 추출했다.

### 3.4. 실험 결과

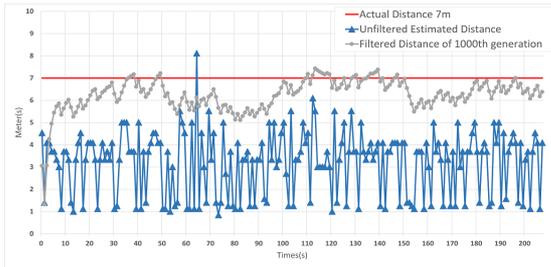
실험은 Beacon과 Receiver와의 거리를 각각 3m, 5m, 7m로 고정한 Case I 과 0m 부터 30m 까지의 거리를 1회 왕복하는 Case II로 나누어 데이터를 수집하였다. GA를 1000세대까지만 시행해도 유의미한 결과를 얻을 수 있었으므로, 1000세대까지 시행했다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Case I - Fixed Distance : (a) 3m; (b) 5m; (c) 7m

그림 3, 4는 각각 Case I, Case II의 실측거리(Actual Distance)와 필터링을 거치지 않은 거리(Unfiltered Distance), GA를 1000세대 거쳐 최적화된 Parameters를 적용한 거리(Filtered Distance of 1000th generation)를 나타낸다.

Case II는 무선 신호가 적고 인적이 없는 복도(Area 2)에서 실험을 진행하였으며, Beacon을 소지하여 수신기로부터 0~30m의 거리를 2m 단위로 20초 정지하고 10초 이동하며 1회 왕복(Round-trip)하였다.

Case I의 각 거리별 실험에서 최적화된 거리는 실측거리와 약 1 ~ 1.5m의 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 불안정한 Beacon 신호의 한계로 인해 발생하므로 추후 Beacon 신호를 안정적으로 수신할 수 있는 Receiver 또는 안테나를 사용하거나 보다 안정적으로 신호를 송출하는 Beacon을 사용한 추가 실험이 필요하다고 판단된다.

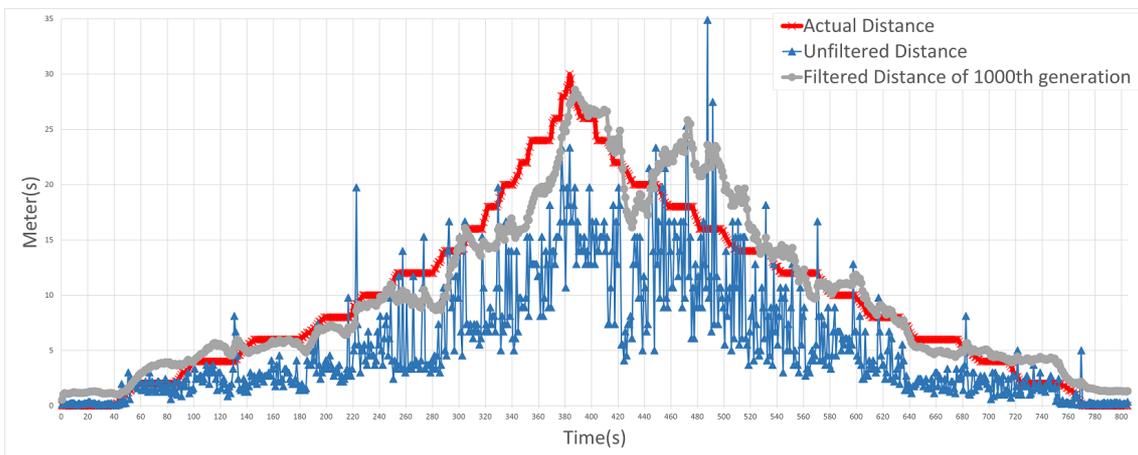


Fig. 4 Case II - Round-trip Distance : 0 ~ 30m

Case I에서 KF Parameters에 GA를 적용한 후, 1000세대에서의 Parameters를 표 8에 정리하였다.

Table. 8 KF parameters and path loss exponent using GA

Parameters	H	Q	R	n
Value	0.824219	0.046875	3.03125	3.3

필터링을 거치지 않은 거리의 적합도와 GA를 1000세대를 거쳐 최적화된 Parameters를 적용한 거리의 적합도를 표 9에 나타내었다.

Table. 9 Variation of fitness value

Actual Distance	Fitness Value	
	Unfiltered	Filtered (Using GA)
3m	$(5.328)^{-1}$	$(0.595)^{-1}$
5m	$(8.421)^{-1}$	$(0.253)^{-1}$
7m	$(16.298)^{-1}$	$(2.473)^{-1}$

필터링을 통과하기 전과 비교했을 때, 적합도는 평균적으로 약 9배 향상됨을 확인할 수 있었다.

표 10은 Case II에서 GA를 적용한 후, 1000세대에서의 Parameters를 정리한 표이며, 표 11은 적합도 수치 변화를 나타낸다.

Table. 10 KF parameters and path loss exponent using GA

Parameters	H	Q	R	n
Value	0.828125	0.046875	3.375	3.3

**Table. 11** Variation of fitness value

Actual Distance	Fitness Value	
	Unfiltered	Filtered (Using GA)
0 ~ 30m	$(37.529)^{-1}$	$(4.794)^{-1}$

Case I, II 모두 GA를 1000세대 통과한 KF Parameters와 경로 손실지수를 적용한 결과 적합도는 약 6.6 ~ 33배 정도 향상되었다. 두 Case의 Parameters 중 Q, n은 같은 값이 나왔다. H는 약 0.04, R은 약 0.34의 차이가 있었고, 각각의 평균값으로 설정을 변경 후 표 12에 적합도 수치 변화를 나타내었다.

**Table. 12** Variation of fitness value

Actual Distance	Fitness Value	
	Unfiltered	Filtered (Using GA)
3m	$(5.328)^{-1}$	$(0.632)^{-1}$
5m	$(8.421)^{-1}$	$(0.249)^{-1}$
7m	$(16.298)^{-1}$	$(2.498)^{-1}$
0 ~ 30m	$(37.529)^{-1}$	$(4.954)^{-1}$

#### IV. 결 론

본 논문에서는 BLE Beacon 기반 실내 측위 시스템에서 주로 사용되는 KF의 정확도를 향상시키기 위해 KF Parameters와 경로 손실지수에 GA를 적용하였고, 기존에 측정되었던 거리와 비교 실험을 실시하였다. 세대를 거듭하면서 적합도가 증가했으며, 1000세대를 거쳤을 때의 Filterd 거리는 실측 거리와 유사하게 측정되는 것을 그래프와 적합도 수치 변화로 확인할 수 있었다. 이와 같이, GA를 적용하면 BLE Beacon을 활용한 실내 측위 시스템에 최적화된 KF Parameters를 구할 수 있다.

반사, 왜곡되는 Beacon 신호의 특성과 Beacon 모델 각각의 편차들이 존재하여, 모든 Beacon에 적용할 수 있는 최적화된 Parameters를 구할 수는 없지만, 각 Beacon 모델에 대한 개별적인 실험을 통해 측위 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한, BLE Beacon 외에 RFID, Zigbee, Wi-Fi와 같은 RSSI 기반 실내 측위 기술에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, KF를 사용하는 시스템에서 Parameters를 조정할 때 제안한 기법이 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by University Innovation Support Project.

#### REFERENCES

- [1] J. N. Lee, H. Y. Kang, Y. T. Shin, and J. B. Kim, "Indoor Positioning Algorithm Combining Bluetooth Low Energy Plate with Pedestrian Dead Reckoning," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 302-313, Feb. 2018.
- [2] K. U. Ha, M. H. Cha, and D. W. Kim, "High Accuracy Indoor Location Sensing Solution based on EMA filter with Adaptive Signal Model in NLOS indoor environment," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 7, pp. 852-860, July. 2019.
- [3] M. Kohne and J. Sieck, "Location-Based Services with iBeacon Technology," in *2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation*, pp. 315-321, 2014.
- [4] C. P. Yoon and C. G. Hwang, "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 6, pp. 1368-1373, Jun. 2015.
- [5] R. Kaweck, P. Korbel, and S. Hausman, "Influence of User Mobility on the Accuracy of Indoor Positioning with the use of RSSI and Particle Filter Algorithm," in *2019 Signal Processing Symposium (SPSymposium)*, pp. 105-108, 2019.
- [6] J. Ren, Y. Wang, W. Bai, C. Niu, and S. Meng, "An improved indoor positioning algorithm based on RSSI filtering," in *2017 IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, pp. 1136-1139, 2017.
- [7] Zhou C, Yuan J, Liu H, and Qiu J, "Bluetooth Indoor Positioning Based on RSSI and Kalman Filter," in *2017 Wireless Personal Communications*, vol. 96, pp. 4115-4130, 2017.
- [8] P. Kim, *Kalman Filter for Beginners: With MATLAB Examples*, 2011.
- [9] Z. Chen, N. Ahmed, S. Julier, and C. Heckman. (2019, December). Kalman Filter Tuning with Bayesian Optimization [Internet]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1912.08601.pdf>.
- [10] T. O. Ting, K. L. Man, E. G. Lim, and M. Leach, "Tuning of

- Kalman Filter Parameters via Genetic Algorithm for State-of-Charge Estimation in Battery Management System,” *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 11, Aug. 2014.
- [11] J. Yan, D. Yuan, X. Xing, and Q. Jia, “Kalman filtering parameter optimization techniques based on genetic algorithm,” in *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, pp. 1717-1720, 2008.
- [12] W. A. Kristiana, M. Mizanul Achlaq, B. Anindito, A. Nugroho, C. Darujati, and M. N. Al Azam, “UUID Beacon Advertisements For Lecture Schedule Information,” in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, pp. 270-276, 2018.
- [13] A. Mussina and S. Aubakirov, “RSSI Based Bluetooth Low Energy Indoor Positioning,” in *2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, pp. 1-4, 2018.
- [14] M. Phunthawornwong, E. Pengwang, and R. Silapunt, “Indoor Location Estimation of Wireless Devices Using the Log-Distance Path Loss Model,” in *TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference*, pp. 0499-0502, 2018.
- [15] J. Chen, D. Zhang, D. Liu, and Z. Pan, “A Network Selection Algorithm Based on Improved Genetic Algorithm,” in *2018 IEEE 18th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, pp. 209-214, 2018.



**김성창(Seong-Chang Kim)**

2016년 2월 : 경남대학교 수학교육과 졸업  
2021년 3월 ~ 현재 : 경남대학교 융합IT공학과 석사과정  
※관심분야 : 실내 위치추위, 무선 통신, 사물 인터넷, 실시간 임베디드 시스템



**김진호(Jin-Ho Kim)**

2009년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학석사)  
2015년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학박사)  
2015년 4월 ~ 2019년 2월 : 현대자동차 책임연구원  
2019년 3월 ~ 현재 : 경남대학교 조교수  
※관심분야 : 차량 네트워크, 실시간 이더넷, AUTOSAR(Automotive open system architecture), 차량용 가상화 플랫폼 기술, 실시간 임베디드 시스템