



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

RSSI의 최대값들 간의 상대적인 순위를  
이용한 사전 컷-오프 실내위치 추정방식

A Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme Using  
Relative Ranks between Peaks of RSSI



2018년 8월

한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과

김동준

본 논문을 김동준의 공학석사 학위논문으로 인준함

위원장 : 박 휴 찬 (인)

위 원 : 서 동 환 (인)

위 원 : 손 주 영 (인)

2018년 6월 26일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	vi
Abstract .....	viii
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 관련 연구 .....	4
2.1 삼각측량법을 이용한 실내 위치 추정 방식 .....	4
2.2 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식 .....	5
2.3 보행자의 걸음과 스마트폰을 이용한 실내 위치 추정 방식 ..	8
제 3 장 비콘과 참조위치의 배치 관계 .....	10
3.1 비콘과 참조위치의 배치에 대한 중요성 .....	10
3.2 비콘과 참조위치 배치 간격에 대한 실험 .....	10
3.2.1 실험 환경 .....	10
3.2.2 실험 결과 .....	12
3.3 최적의 비콘과 참조위치 배치 간격 .....	14
제 4 장 핑거프린트 지도 구성방식 .....	15
4.1 기존 핑거프린트 지도 구성 방식의 문제점 .....	15
4.2 컷-오프 핑거프린트 지도 구성 방식 .....	16
4.2.1 개요 .....	16
4.2.2 실험 환경 및 구성 .....	18
4.2.3 실험 결과 .....	19

4.3 여러 컷-오프 지도를 조합하는 핑거프린트 지도 구성방식	26
4.3.1 개요	26
4.3.2 실험 및 성능 평가	28
<b>제 5 장 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식</b>	<b>32</b>
5.1 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식	32
5.2 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식	36
5.3 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식	40
5.4 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식	43
<b>제 6 장 실험 및 성능 평가</b>	<b>46</b>
6.1 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식	46
6.1.1 실험 환경 및 구성	46
6.1.2 실험 결과	47
6.2 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식	51
6.2.1 실험 환경 및 구성	51
6.2.2 실험 결과	52
6.3 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식	57
6.3.1 실험 환경 및 구성	57
6.3.2 실험 결과	58
6.4 최대 RSSI간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식	62
6.4.1 실험 환경 및 구성	62
6.4.2 실험 결과	62

제 7 장 결 론 ..... 66

참고문헌 ..... 68



## List of Tables

<b>Table 4.1</b> A fingerprint map constructed by the previous method .....	20
<b>Table 4.2</b> A fingerprint map after applying the first cut-off step .....	21
<b>Table 4.3</b> The number of beacons received RSSI in all RPs .....	22
<b>Table 4.4</b> A cut-off fingerprint map after applying the second cut-off step .....	23
<b>Table 4.5</b> A cut-off fingerprint map among 10 maps .....	28
<b>Table 4.6</b> A cut-off fingerprint map combining 10 maps .....	29
<b>Table 5.1</b> Example of the received data in real-time (1) .....	35
<b>Table 5.2</b> Example of the reduced fingerprint map (1) .....	35
<b>Table 5.3</b> Pros and cons of existing algorithms .....	36
<b>Table 5.4</b> Comparison of Cut-off schemes .....	37
<b>Table 5.5</b> Example of the fingerprint map .....	39
<b>Table 5.6</b> Example of the received data in real-time (2) .....	39
<b>Table 5.7</b> Example of the reduced fingerprint map (2) .....	39
<b>Table 5.8</b> Example of the received data in real-time (3) .....	42
<b>Table 5.9</b> Example of the reduced fingerprint map (3) .....	42
<b>Table 5.10</b> Example of the received data in real-time (4) .....	44
<b>Table 5.11</b> Example of the reduced fingerprint map (4) .....	44
<b>Table 5.12</b> Example of the similarity and weight of peaks of RSSI ....	44
<b>Table 6.1</b> A fingerprint map which constructed in the first experiment environment .....	52
<b>Table 6.2</b> RSSI of beacon signal received by a user' s device .....	52

Table 6.3	A Fingerprint map which constructed in the Fig. 6.12 .....	58
Table 6.4	The received data at a random user location of ❶ .....	60
Table 6.5	The reduced fingerprint map for the user location of ❶ ..	60
Table 6.6	The received data at a random user location of ❷ .....	63
Table 6.7	The reduced fingerprint map for the user location of ❷ ..	63
Table 6.8	Similarity and weight of the peaks at the location of ❷ ...	64



## List of Figures

Fig 3.1 Distance between beacon and RP : 0m .....	11
Fig 3.2 Distance between beacon and RP : 1m .....	11
Fig 3.3 Distance between beacon and RP : 2m .....	12
Fig 3.4 Distance between beacon and RP : 3m .....	12
Fig 3.5 Estimated probability of distance between beacon and RP .....	13
Fig 3.6 Average error of distance between beacon and RP .....	13
Fig 4.1 A method constructing the cut-off fingerprint map .....	18
Fig 4.2 Experiment Environment for constructing the cut-off fingerprint map .....	19
Fig 4.3 Estimation probability of the 3 schemes .....	24
Fig 4.4 Average error of the 3 schemes .....	25
Fig 4.5 A method for combining multiple cut-off fingerprint maps .....	27
Fig 4.6 When two fingerprint maps are used respectively, the estimation probability .....	30
Fig 4.7 When two fingerprint maps are used respectively, the average error .....	31
Fig 5.1 The preliminary cut-off algorithm .....	34
Fig 5.2 The improved preliminary cut-off algorithm .....	38
Fig 5.3 A preliminary cut-off scheme considering the RP with same signal similarity .....	41
Fig 5.4 A weighted preliminary cut-off scheme based on similarity between peaks of RSSI .....	45

<b>Fig 6.1</b>	The first experiment environment : straight corridor .....	46
<b>Fig 6.2</b>	The second experiment environment : U-shaped corridor .....	47
<b>Fig 6.3</b>	Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme in the straight corridor environment .....	47
<b>Fig 6.4</b>	Estimated time comparison of the preliminary cut-off scheme in the straight corridor environment .....	48
<b>Fig 6.5</b>	Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment .....	49
<b>Fig 6.6</b>	Estimated time comparison of the preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment .....	50
<b>Fig 6.7</b>	An in-ship experiment environment .....	51
<b>Fig 6.8</b>	Accuracy comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment .....	53
<b>Fig 6.9</b>	Estimated time comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment .....	54
<b>Fig 6.10</b>	Accuracy comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the in-ship environment .....	55
<b>Fig 6.11</b>	Estimated time comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the in-ship environment .....	56
<b>Fig 6.12</b>	Experiment environment and arbitrary user location to be estimated .....	57
<b>Fig 6.13</b>	Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme considering the RP with the same signal similarity in the Fig.6.12 ...	59
<b>Fig 6.14</b>	Accuracy comparison of the weighted preliminary cut-off scheme based on similarity between peaks of RSSI in the Fig.6.12 ..	62
<b>Fig 6.15</b>	Accuracy comparison of three schemes .....	65

# A Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme Using Relative Ranks between Peaks of RSSI

Kim, Dongjun

Department of Computer Engineering,  
Graduate School of  
Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Recently, the indoor positioning schemes have been actively studied. The indoor positioning scheme can be roughly classified into four schemes using triangulation, fingerprint map, proximity or visualization, respectively. This paper introduces the preliminary cut-off indoor positioning scheme using the fingerprint map.

The preliminary cut-off scheme improves the accuracy of the K-Nearest-Neighbor (KNN) algorithm, which is a typical scheme of using the fingerprint map. This scheme consists of two phases: off-line and on-line phases. The off-line phase constitutes a fingerprint map necessary for real-time positioning. APs that periodically generate a

signal are arranged and reference points predefined in indoor environment are selected. Then, the RSSIs received from nearby beacons at each reference point are stored in the fingerprint map. The on-line phase actually estimates indoor position. The user's device receives the signal of the nearby APs. User's position is estimated by comparing the RSSI received in real-time and RSSI stored in the fingerprint map.

The KNN algorithm uses the Euclidean distance to compare the RSSI received in real-time and the RSSI stored in the fingerprint map. The K reference points with the shortest distance are selected and the position of user is estimated as the center of these reference points. However, since there are many obstacles in the indoor environment, the strength of signal is not constant even at the same position. To mitigate the instability and variability of the radio signal, the preliminary cut-off scheme utilizes the relative rank of the peak of signal strength, not the signal strength. Then, the user's position is estimated as the center of K reference points with the greatest similarity after calculating the similarity between the real-time ranking and the ranking of the fingerprint map.

This paper describes a continually improved study to improve the accuracy of the preliminary cut-off scheme. As a result, not only similarity to the relative rank of the peak of the signal strength but also the similarity to the peak is calculated and a weight based on this similarity is assigned. The user's position is estimated to be the calculated position by weighting each reference position, not the center of the K reference positions.

**Key Words:** Beacon, RSSI, Rank, Fingerprint Map, Indoor Positioning

## 제 1 장 서 론

위치 기반 서비스(Location Based Service, LBS)를 제공하기 위해 가장 널리 사용되는 GPS는 내비게이션 등과 같은 장비와 GPS 카드를 추가함으로써 다양한 장비에서 사용될 수 있다. 그러나 위성과 수신자 사이의 가시광선을 전송하는 GPS는 실내에서 동작이 불가능하기 때문에 사용할 수 없다. 오늘날 사물 인터넷(Internet of Things, IoT)이 우리들의 일상에 널리 사용되면서 이에 따른 실내 위치 기반 서비스의 수요가 증가하고 있다. 예를 들어, 크기가 크고 내부 구조가 복잡한 건물이나 대형 마트 내에서 사물 또는 매장의 위치를 파악하여 길 찾기 서비스를 제공함으로써 찾고자 하는 사물 또는 매장까지 더 빠른 시간 내에 도달할 수 있게 해준다. 그리고 아이의 위치를 파악함으로써 미아 방지 서비스를 제공할 수 있다. 또한 실내 위치 기반 서비스는 실내 주차장에도 적용될 수 있다. 최근 대형 마트 내의 주차장은 여러 서비스들을 제공하고 있다. 예를 들어, 전체 주차 공간 중 주차 가능한 자리의 수는 파악할 수 있으나 그 자리가 어느 위치에 있는지 쉽게 알 수 없다. 효율적으로 주차 가능한 자리를 찾기 위해서 주차 자리를 하나의 사물로 인식하고 해당 자리의 위치를 파악하여 운전자에게 경로를 안내하는 서비스도 제공될 수 있다. 이러한 서비스를 제공하기 위한 가장 중요한 요소는 대상의 실내 위치를 정확하게 추정하는 기술이다. 하지만 실내 환경은 실외보다 더 복잡한 구조로 구성되어 있다. 그리고 전자기파의 영향, 사람, 장비, 벽 등과 같은 다양한 장애물들로 인해 다중 경로 효과가 발생한다. 또한 습도, 바람 등과 같은 요소에도 영향을 받는다. 따라서 이런 방해 요소들의 영향을 극복하여 더 정확한 위치를 추정할 수 있어야 한다.

실내 위치 추정 시스템은 대상의 위치를 파악함으로써 경로 안내, 이동 경로 추적, 그리고 모니터링 등과 같은 위치 기반 서비스를 이용할 수 있도록 한다. 실내 위치 추정 방식은 크게 삼각측량법을 이용한 방식, 핑거프린트 지도를 이용한 방식, 사물의 근접도를 이용한 방식, 그리고 주변 이미지를 분석하는 방식으로 나눌 수 있다[1-2].

첫 번째 방식은 삼각측량법을 이용한 방식이다. 이 방식은 RSS (Received Signal Strength), TOA (Time of Arrival), 그리고 AOA (Angle of Arrival) 방식을 이용하여 위치를 추정한다. RSS와 TOA 방식은 신호원과 수신기, 그리고 각각 신호 세기와 신호 도달 시간을 필요로 한다. 반면 AOA 방식은 수신된 신호의 도래각과 신호원을 필요로 한다. 그러나 목표물이 멀어졌을 때 AOA 방식은 낮은 정확도의 결과를 갖는다.

두 번째 방식은 핑거프린트 지도를 이용한 방식으로 실내 위치 측정의 정확도를 높이기 위해 사용된다. 이 방식은 오프라인 단계와 온라인 단계로 진행된다. 오프라인 단계는 실내 환경의 다양한 위치에서 유용한 위치 관련 데이터를 측정하고 수집한다. 온라인 단계는 목표물의 정보와 관련된 위치를 측정하고 오프라인 단계에서 수집되어 데이터베이스 내에 저장된 정보와 비교하여 유사한 경우를 찾아 위치를 추정한다.

세 번째 방식은 근접도를 이용한 방식이다. 이 방식은 선정된 위치 또는 영역에서 목표물의 위치를 파악한다. 이를 위해 선정된 위치 또는 영역 내에 다수의 목표물 탐지기를 설치해야 한다.

마지막 방식은 이미지를 분석하는 방식이다. 이 방식은 하나 또는 다수의 지점에서 수신한 이미지로부터 목표물의 위치를 파악한다. 이를 위해 사전에 미리 데이터베이스 내에 정해진 위치에서 만들어진 이미지를 저장해야 한다. 실시간으로 수신한 이미지를 데이터베이스 내에 저장된 이미지와 비교하여 목표물의 위치를 추정한다.

위의 4가지 방식 이외에도 보행자의 걸음을 이용한 방식도 많이 소개되었다[3-4]. 그리고 현대 사회에서 스마트폰의 사용량이 증가함에 따라 스

마트폰의 내장되어있는 센서인 가속도 센서, 자이로스코프 센서 등을 이용한 실내 위치 추정 기술도 많이 소개되었다[5-6].

본 논문에서는 위의 방식들 중 핑거프린트 지도를 이용한 방식인 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식에 대해 소개한다. 핑거프린트 지도를 이용한 방식은 높은 정확도를 보이고 상대적으로 소규모인 데이터를 활용하는 핑거프린트 지도를 이용하여 목표물의 위치를 추정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 기존에 소개되었던 실내 위치 추정 방식들에 대해 살펴본다. 3장에서는 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식에서 주기적으로 신호를 발생하는 장비로써 사용되는 비콘과 참조 위치(Reference Point, RP)를 효율적으로 배치하기 위한 연구에 대해 설명한다. 4장에서는 정확도를 향상시키기 위해 기존 핑거프린트 지도 구성 방식을 개선한 새로운 핑거프린트 지도를 구성하는 방식에 대해 설명한다. 5장에서는 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식에 대해 설명한다. 여기서 사전 컷-오프 방식의 기본 개념을 설명하고 정확도를 향상시키기 위해 단계적으로 개선시킨 각 방식에 대해 설명한다. 6장에서는 5장에서 언급된 각 방식에 대한 실험과 각 방식의 성능을 평가한다. 마지막으로 7장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향을 제시한다.

## 제 2 장 관련 연구

### 2.1 삼각측량법을 이용한 실내 위치 추정 방식

TOA 기반의 위치 추정에 대한 연구[7]에서는 효율적인 NLOS(Non-Line Of Sight)감지와 제거를 위한 방식으로 IMR(Iterative Minimum Residual)이 사용된다. NLOS 노드가 많을 경우에 NLOS 감지 에러는 증가하고 정확도는 낮아진다. 여기서 NLOS 에러를 구하기 위해 GSDM(Gaussian Scatter Density Model)를 사용한다. 그리고 IMR은 측정된 데이터들을 조합하여 반복적으로 목표물의 위치를 추정하고 부정확한 노드의 추정 오류를 비교하여 감지되는 방식이다. [7]에서 제안한 NLOS 감지 방식은 부정확한 추정 거리를 갖는 노드는 반복적으로 한 단계씩 제거하고 높은 계산 복잡도를 요구하지 않아 낮은 계산 능력을 가지는 시스템에 알맞다.

[8]의 연구는 제한된 실험 영역이 아닌 실제 영역에서 동적으로 비콘 노드를 배치할 수 있는 3차원 삼각 측량 알고리즘(3D-TRIA)을 소개한다. 기존의 삼각측량법은 노드 간의 거리를 반지름으로 하는 3개의 원이 중첩되는 2차원 지점을 계산하지만, 이 알고리즘은 3개의 구 표면이 중첩되는 3차원 지점을 계산하는 방법을 적용한다.

[9]는 RSSI를 이용한 선박용 실내 위치 추정 알고리즘에 대해 소개한다. 이 방식은 Range base 방식과 Range free 방식으로 분류할 수 있다. 먼저 Range base 방식은 거리 추정 후 최소 제곱법을 이용한다. Range free 방식은 네트워크를 구성하는 고정 노드와의 특성을 이용하여 위치를 추정한다.

[10-11]은 무선 센서 네트워크에 설치된 센서 노드의 위치 정보를 이용하여 위치를 추정한다. [10]은 비선형 기법을, [11]는 선형 기법을 이용하여 센서 노드 간의 TOA를 이용한다.

[12]는 WiFi 기반 실내 환경에서 TOA 추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 방식을 제안한다. WiFi AP(Access Point)가 1개인 경우, Hybrid AOA/TOA 방식을 적용한다. Hybrid AOA/TOA 방식은 TOA와 AOA의 장점을 결합한 방식으로 단일 AP만으로 물체의 위치를 측정이 가능하다. 그리고 AP가 2개 이상인 경우, AOA를 사용한다.

## 2.2 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식

KNN 알고리즘(K-Nearest-Neighbor Algorithm)은 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식의 대표적인 알고리즘이다[13]. 먼저 오프라인 단계에서 핑거프린트 지도를 구성하기 위해 실내 환경에 주기적으로 신호를 발생하는 장비의 위치와 RP의 위치를 적절한 위치에 배치 및 선정한다. 각 RP에서 주변 신호발생장치로부터 신호를 수신하여 핑거프린트 지도의 해당 RP에 각 신호발생장치의 수신신호세기(Received Signal Strength Indication, RSSI)를 저장한다. 모든 RP에 대해 이 과정을 수행하여 전체 환경에 대한 핑거프린트 지도를 구성한다. 온라인 단계는 임의의 위치에서 사용자가 주변 신호발생장치로부터 신호를 수신한다. 사용자의 위치를 추정하기 위해 주변 신호발생장치의 실시간 RSSI와 핑거프린트 지도에 저장된 각 RP의 RSSI 간의 유클리드 거리를 계산한다. 유클리드 거리는 실질적인 거리가 아닌 두 정보의 유사성을 의미한다. 핑거프린트 지도의 모든 RP에 대해 유클리드 거리를 계산하고 가장 짧은 유클리드 거리를 가지는 K개의 RP를 추출한다. 이후 K개의 RP의 중점을 사용자의 위치로 추정한다.

KNN 알고리즘은 최종적으로 항상 K개의 RP를 추출해야 한다. 만약 K

가 3인 경우, 3개의 유클리드 거리에 대해 편차가 클수록 오차도 커진다. 예를 들어, 모든 RP에 대해 가장 짧은 유클리드 거리 3개의 값이 각각 1, 2, 3인 경우와 1, 2, 10인 경우, 두 경우에 대한 오차 간의 차이는 매우 크다. 유클리드 거리가 크면 두 정보의 유사성이 매우 낮음을 의미한다. 따라서 후자의 경우는 실제 사용자의 위치와 추정된 위치 간의 오차가 커진다. 그리고 이 알고리즘은 RSSI 값 자체를 활용하기 때문에 실내 환경에서 무선 신호의 불안정성과 가변성을 극복하기 힘들다. 그리고 핑거프린트 지도의 모든 RP에 대해 유클리드 거리를 각각 계산하기 때문에 추정 시간도 길어진다. 결과적으로 긴 추정 시간을 소비하고도 낮은 정확도를 가지는 문제점을 가진다.

Cluster KNN 방식은 KNN 알고리즘의 정확도와 추정 시간 측면을 개선시킨 방식이다[14]. 이 방식은 온라인 단계 이전에 핑거프린트 지도의 범위를 축소시킨다. 실시간으로 사용자가 수신한 주변 신호발생장치의 RSSI만을 저장한 RP들로 구성된 축소된 핑거프린트 지도를 재구성한다. 따라서 축소된 핑거프린트 지도의 모든 RP는 실시간으로 수신된 정보와 동일한 신호발생장치의 RSSI를 저장하고 있다. 핑거프린트 지도를 축소한 후에 KNN 알고리즘의 온라인 단계를 수행하여 사용자의 위치를 추정한다.

KNN 알고리즘은 핑거프린트 지도의 모든 RP에 대해 유클리드 거리를 계산하였지만 Cluster KNN 방식은 축소된 핑거프린트 지도의 RP에 대해서만 유클리드 거리를 계산하기 때문에 KNN 알고리즘에 비해 단축된 추정 시간을 가진다. 그리고 실시간 정보의 신호발생장치와 축소된 핑거프린트 지도의 RP에 저장된 신호발생장치의 종류가 일치하기 때문에 KNN 알고리즘에서 발생할 수 있는 오차가 급격히 커지는 문제점을 해결한다. 하지만 Cluster KNN 방식도 RSSI 값 자체를 활용하기 때문에 실내 환경에서 무선 신호의 불안정성과 가변성을 극복하기는 힘들다. KNN 알고리즘에 비해 정확도가 개선되었지만 여전히 낮은 정확도를 보이는 문제점을 가진다.

Rank Based Fingerprint(RBF)를 이용한 방식은 핑거프린트 지도를 구성하는 방식에 대해 KNN 알고리즘과 차별화를 둔다[15]. 핑거프린트 지도의 각 RP에 RSSI 값을 저장하는 기존의 방식과는 다르게 RSSI 값들의 상대적인 순위를 저장한다. 실내 환경에서 무선 신호의 불안정성과 가변성을 완화시키기 위한 방식이다. 핑거프린트 지도에는 순위가 저장되어 있기 때문에 온라인 단계에서 유클리드 거리 공식을 사용하지 않고 유사도를 계산하여 사용자의 위치를 추정한다. 여러 유사도 계산 방식 중 가장 오차가 작은 방식을 찾기 위한 연구도 포함되어 있다. 유사도 계산 방식은 Spearman distance, Spearman's footrule, Hamming distance, Jaccard coefficient, 그리고 Canberra distance 방식들을 비교한다. 이 중 Spearman's footrule 방식이 가장 작은 오차를 보였다. 더불어 KNN 알고리즘에서 최인접 이웃의 개수를 의미하는 K에 따른 오차에 대해서 연구하였는데, 결과적으로 K가 3일 때, 가장 작은 오차를 보였다. RSSI의 상대적인 순위를 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 RBF 방식은 기존 KNN 알고리즘뿐만 아니라 WKNN(Weighted KNN) 알고리즘보다도 더 작은 오차를 보인다.

[16]은 RSSI의 다중 경로 현상을 완화시키기 위해 RSSI 기반 핑거프린트 특성 벡터 알고리즘을 소개한다. 실시간 RSSI 특성 벡터와 RSSI 핑거프린트 데이터베이스 특성 벡터 사이의 유사성을 통해 목표물의 위치를 추정한다. 실내 환경을 격자로 나누고 각 격자에 대한 RSSI 핑거프린트를 생성한다. 격자와 데이터베이스의 형태를 동일하게 생성하고 각 격자에 해당하는 자리의 데이터베이스 값과 비교를 한다.

[17]은 삼각측량법과 핑거프린트 방식을 결합한 스위칭 기법을 소개한다. WiFi 기반 실내 위치 추정 기술인 삼각측량법과 핑거프린트 방식을 결합하여 처음 위치를 추정할 때, 핑거프린트로 위치를 개략적으로 추정한다. 이후 추정된 위치와 주변 세 AP정보들을 삼각측량법으로 추정한 위치 정보를 비교한다. 삼각측량법은 세 AP의 오차로 교점이 생기지 않는다면 위치 추정이 불가하다. 그리고 핑거프린트 방식은 AP가 넓은 간격으로

구축되어 있거나 수가 적으면 정확도가 낮아진다. 이 두 방식의 단점을 보완하기 위해 스위칭 기법을 제시한다.

[18]은 RSSI의 가변성으로 인한 낮은 정확성을 향상시키기 위해 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 알고리즘과 핑거프린트 방식을 통합하였다. PDR 알고리즘으로 이동 거리 및 방향을 구하고 실제 위치와 더 가까운 RP를 선택할 수 있도록 도와줄 KWNN(K-Weighted Nearest Node) 알고리즘을 조합한다.

### 2.3 보행자의 걸음과 스마트폰 센서를 이용한 실내 위치 추정 방식

[3]은 보행자의 걸음, 보폭, 그리고 방향을 분석하여 경로를 안내하는 방식에 대해 소개한다. 보행자의 걷는 단계를 3단계로 구분한다. 내딛는 발이 땅에서 떨어져 뒤로 가있는 상태, 내딛는 발이 땅을 밟기 위해 앞으로 와있는 상태, 그리고 내딛는 발의 뒤꿈치가 땅에 닿는 상태로 구분할 수 있다. 그리고 가속도는 수평 가속도, 수직 가속도, 그리고 중력으로 구성되어 있다. 하지만 사람마다 걷는 특성이 다르기 때문에 정확한 threshold를 정의하기가 어렵다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 가속도의 패턴을 사용한다. 걸음 수는 앞서 언급한 3단계를 모두 감지했을 경우에 카운트 한다. 이 방식을 통해 앉은 상태 등 걸음을 잘못 감지하는 경우를 줄임으로써 신뢰성을 높인다. 보폭은 걷는 속도, 걷는 빈도, 그리고 가속도와 관련 있다. 걷는 속도가 증가할수록 한 걸음의 주기는 짧아지고 보폭은 증가한다. 마지막으로 방향은 자이로스코프 센서와 자기장 센서를 이용한다. 이 두 센서는 서로의 장단점을 상쇄시키는 기능을 가진다.

[4]는 목표물의 초기 위치를 알지 못하는 경우에도 목표물의 발에 장착된 관성 센서와 자세한 실내 환경 모델을 결합하여 실제 위치를 추정한다. 그리고 복층과 계단을 다루는 방식과 WiFi 신호 강도를 사용하여 초기 복잡성을 줄이는 위치 추정 알고리즘에 대해 소개한다.

[5-6]은 스마트폰의 관성 센서를 이용하여 걸음 수, 보폭, 그리고 방향을 파악하고 이 정보들을 이용한 정확한 실내 위치 추정 방식에 대해 설명한다.



## 제 3 장 비콘과 참조 위치의 배치 관계

### 3.1 비콘과 참조 위치의 배치 관계에 대한 중요성

사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식은 핑거프린트 지도를 이용한다. 핑거프린트 지도를 구성하기 위해 실내 환경에 배치될 주기적으로 신호를 발생하는 장치로 BLE(Bluetooth Low Energy) 기반의 비콘을 사용한다. 그리고 핑거프린트 지도를 구성할 위치인 참조 위치(RP)를 선정해야 한다. 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식은 위치 추정 알고리즘의 성능뿐만 아니라 핑거프린트 지도의 성능도 정확도에 영향을 미친다. 따라서 핑거프린트 지도 구성에 중요한 비콘과 RP의 효율적인 배치 관계는 실내 위치 추정의 정확도를 향상시킨다. 따라서 높은 정확도를 위해 비콘과 RP의 배치 관계에 대한 실험이 필요하다[19].

### 3.2 비콘과 RP 배치 간격에 대한 실험

#### 3.2.1 실험 환경

실험 환경은 일자형 복도에 5개의 비콘이 배치되었고 8개의 RP가 선정되었다. 실험 환경에서 비콘 간의 간격은 10m이고, RP 간의 간격은 5m로 고정하였다. 비콘과 RP의 배치 관계는 첫 번째 비콘과 첫 번째 RP의 상호 이격 거리에 변화를 주어 실험을 진행하였다.

Fig. 3.1은 첫 번째 비콘과 첫 번째 RP의 상호 이격 거리가 0m인 경우

의 실험 환경이다. 이 환경은 비콘과 홀수 번째의 RP가 동일 선상에 배치되었다. Fig. 3.2에서 상호 이격 거리는 1m, Fig. 3.3은 2m, Fig. 3.4는 3m이다. Fig. 3.1 ~ 4에서 기호 ●은 비콘을, 숫자 ① ~ ⑧은 RP 번호를 의미한다. 4m 이상인 경우는 앞의 경우와 동일한 배치 관계를 가지기 때문에 추가 실험을 진행하지 않았다. 예를 들어, 상호 이격 거리가 4m인 경우는 1m인 경우와, 5m인 경우는 0m인 경우와 동일하다.

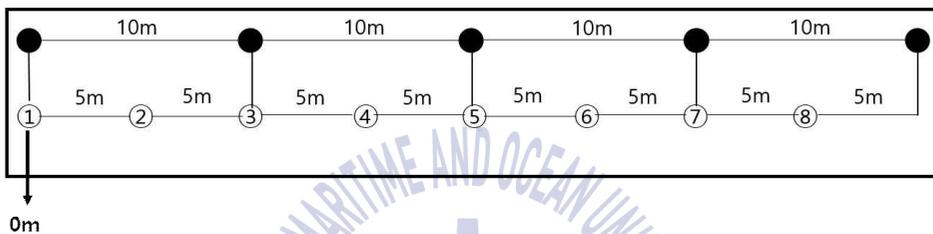


Fig. 3.1 Distance between beacon and RP : 0m

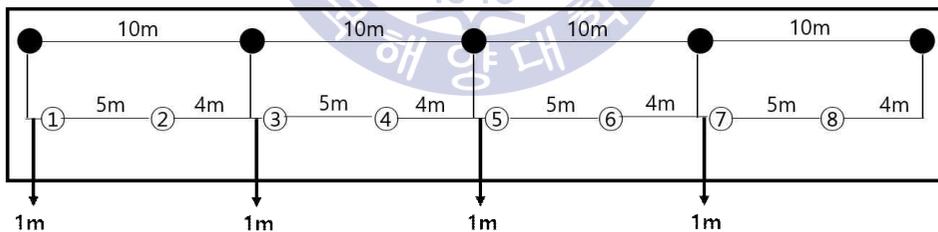


Fig. 3.2 Distance between beacon and RP : 1m

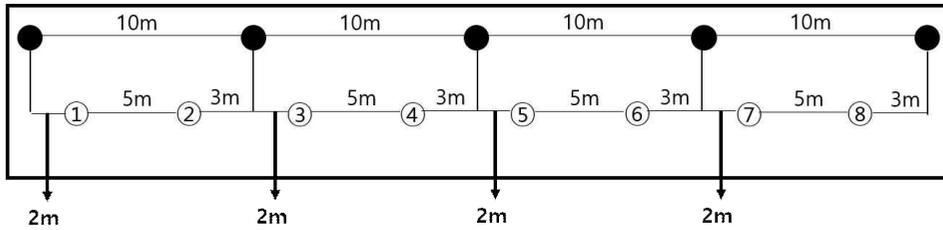


Fig. 3.3 Distance between beacon and RP : 2m

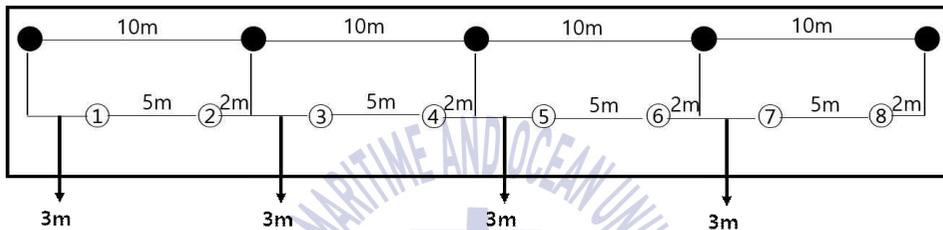
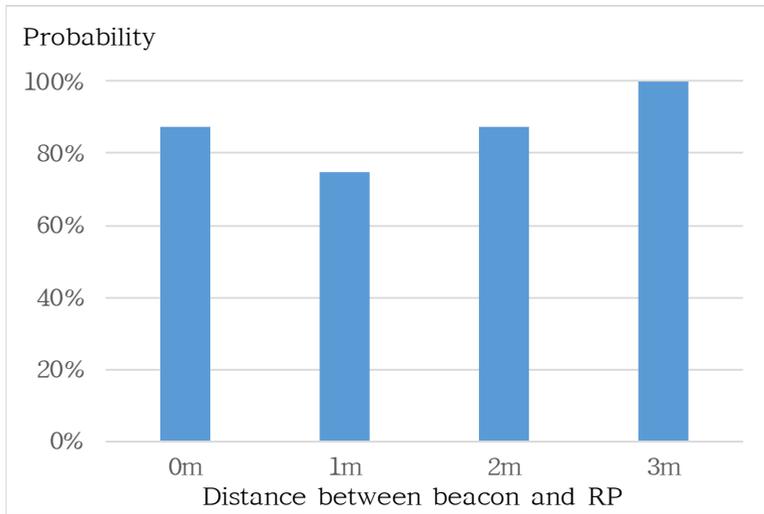


Fig. 3.4 Distance between beacon and RP : 3m

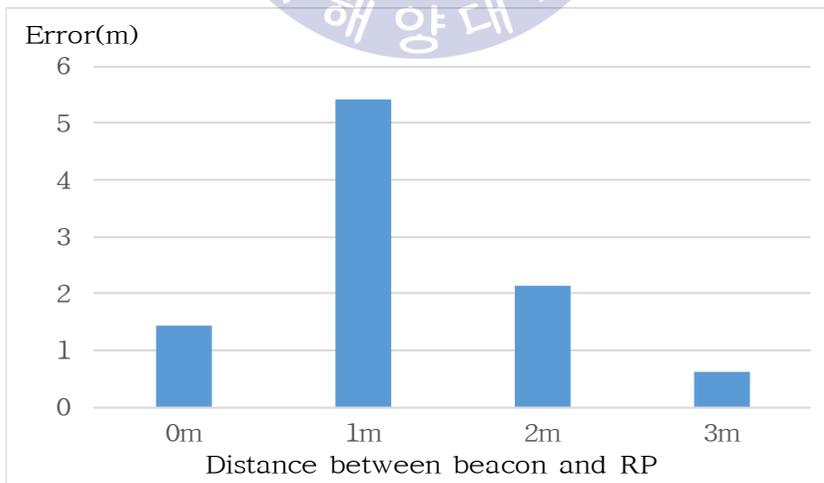
### 3.2.2 실험 결과

Fig. 3.5는 Fig. 3.1 ~ 3.4의 실험 환경에서의 위치 추정 확률을 보여준다. 위치 추정을 위한 알고리즘은 5장에서 소개될 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식을 사용하였다. Fig. 3.1의 환경에서 추정 가능 확률은 87.5%이고, Fig. 3.2 ~ 3.4에 대한 추정 가능 확률은 각각 75%, 87.5%, 그리고 100%이다. 결과적으로 비콘과 RP의 상호 이격 거리가 3m인 환경에서는 100% 위치 추정이 가능하지만 다른 환경에서는 위치 추정이 불가능한 경우가 발생한다. 실시간으로 수신한 비콘의 정보가 핑거프린트 지도의 RP에 저장된 비콘의 정보와 일치하는 경우가 없을 때는 핑거프린트 지도의 비교할 RP가 없기 때문에 위치 추정이 불가능하다.



**Fig. 3.5** Estimated probability of distance between beacon and RP

Fig. 3.6은 Fig. 3.1 ~ 3.4의 실험 환경에서의 평균 오차를 보여준다. 평균 오차는 실제 사용자의 위치와 추정된 사용자의 위치 간의 오차를 여러 차례 산출한 값들의 평균값이다. 각 실험 환경에 대한 평균 오차는 각각 1.43m, 5.42m, 2.14m, 그리고 0.63m이다.



**Fig. 3.6** Average error of distance between beacon and RP

### 3.3 최적의 비콘과 RP 간의 배치 간격

Fig. 3.5와 Fig. 3.6을 통해 추정 확률이 가장 높고 평균 오차가 가장 작은 이격 거리는 3m임을 확인하였다. 실험 환경 중 상호 이격 거리가 2m인 환경과 3m인 환경은 비콘과 참조 위치의 이격 거리가 동일하다고 볼 수 있다. 하지만 실험 결과인 추정 확률과 평균 오차의 차이를 보이는 이유는 비콘에 내재된 오차일 가능성이 있다. 따라서 이런 비콘의 내재 오차에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

비콘과 참조 위치를 동일 선상에 배치하게 되면, 다시 말해 상호 이격 거리가 0m인 경우, 특정 참조 위치에서 양쪽으로 가장 가까운 비콘으로부터 이격된 거리가 동일하기 때문에 양쪽의 비콘의 RSSI가 동일한 경우가 발생하기 때문에 상대적인 순위 결정에 혼란을 일으킬 수 있다. 이를 극복하기 위해 실내 환경의 모든 비콘과 RP들이 동일한 위치에 배치되지 않도록 선정하는 것이 중요하다. 결론적으로 비콘들과 RP들이 서로 소수 관계의 거리로 배치하여 동일한 위치에 비콘과 RP를 배치하는 것을 피하는 것이 가장 효율적이다.

## 제 4 장 핑거프린트 지도 구성 방식

### 4.1 기존 핑거프린트 지도 구성 방식의 문제점

핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식은 실시간으로 수신한 정보와 핑거프린트 지도의 정보를 비교하여 위치를 추정하기 때문에 핑거프린트 지도를 구성하는 방식에 따라 정확도의 차이가 생긴다. 기존의 핑거프린트 지도를 구성하는 방식은 실내 환경의 각 RP에서 주변 신호발생 장치로부터 하나의 RSSI 값을 저장한다. 하지만 실내 환경은 전자파, 벽, 그리고 사람 등과 같은 장애물들이 무수히 존재한다. 이로 인해 무선 신호는 매우 불안정하고 가변적이다. 따라서 어느 한 시점에 수신된 하나의 신호는 동일한 위치일지라도 다른 신호 세기를 가질 수 있다. 이런 문제점으로 인해 실시간 위치 추정을 위해 수신한 신호 세기와 핑거프린트 지도의 저장된 신호 세기가 달라 정확도가 낮아질 가능성이 있다. 신호의 불안정성과 가변성을 완화시키기 위한 해결 방안이 필요하다. 본 논문에서는 이 문제점을 완화시키기 위해 두 가지 구성 방식을 소개한다. 첫 번째는 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하는 방식이고 두 번째는 다수의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나로 조합하는 방식이다.

## 4.2 컷-오프 핑거프린트 지도 구성방식

### 4.2.1 개요

본 논문에서 소개하는 사전 컷-오프 방식은 실내 환경에서 신호의 불안정성과 가변성을 완화시키기 위해 RSSI의 최대값의 상대적인 순위를 이용한다. 따라서 핑거프린트 지도의 각 RP에도 주변 비콘의 최대 RSSI의 상대적인 순위가 저장된다. 핑거프린트 지도를 구성하는 단계에서 주변 비콘의 RSSI의 최대값을 정하기 위해 각 RP에서 일정 시간동안 신호를 수신한다. 사전 컷-오프 방식의 오프라인 단계는 각 RP에서 30초간 주변 비콘의 신호를 수신하여 그 신호들 중 최대값을 산출한다. 핑거프린트 지도를 구성하기 위해 소요되는 시간인 30초는 실시간 위치 추정에 있어서 매우 긴 시간이다. 그렇기 때문에 실시간 신호 수신은 1초간 수신한다. 이후 각 비콘의 최대값을 이용하여 상대적인 순위를 결정한다.

각 RP에서 30초간 주변 비콘의 RSSI를 수신한 결과, 각 비콘으로부터 평균 90개의 RSSI가 수신되었다. 그리고 실시간 위치 추정을 위한 시간인 1초간 주변 비콘의 RSSI를 수신한 결과, 각 비콘으로부터 평균 4개의 RSSI가 수신되었다. 하지만 여러 장애물의 영향으로 인해 동일한 지점에서 동일한 시간동안 신호를 수신할지라도 RSSI의 개수가 다를 수 있으며, 동일한 비콘의 RSSI 또한 다를 수 있다. 특정 RP에서는 평균보다 매우 적은 개수의 RSSI를 수신하는 경우가 발생한다. 이는 온라인 단계에서 사용자의 장비가 1초 동안 RSSI를 수신할 때, 전혀 수신하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이 문제점으로 인해 핑거프린트 지도의 정보와 비교하지 못하여 위치를 전혀 추정할 수 없는 결과를 초래하거나 추정을 하더라도 오차가 매우 커지는 결과를 가져올 수 있다.

이 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하는 방식에 대해 소개한다[20]. 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하는 방식은 2번의 축소과정을 추가하여 총 3단계로 나눌 수 있다.

첫 번째 단계는 기존 핑거프린트 지도를 구성하는 방식이다. 각 RP에서

30초간 주변 비콘들의 RSSI들의 최대값을 산출하고 상대적인 순위를 결정하여 해당 RP의 핑거프린트를 작성한다. 모든 RP에 대하여 이 과정을 수행하여 실내 환경 전체에 대한 핑거프린트 지도를 구성한다.

두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 구성된 핑거프린트 지도의 각 RP에서 주변 비콘들로부터 수신된 RSSI 개수가 N개 미만인 비콘은 해당 RP의 핑거프린트에서 제거한다. 모든 RP에 대하여 1차 축소과정을 수행한다. 이 과정을 통해 핑거프린트 지도를 구성할 때, 상대적으로 적은 수의 RSSI가 수신되어 실시간으로 수신할 때 신호를 수신하지 못하는 경우를 배제시킨다. 결과적으로 다중경로 현상을 완화시키는 효과를 보인다.

마지막 단계는 두 번째 단계의 1차 축소된 핑거프린트 지도를 2차 축소시킨다. 먼저, 1차 축소된 핑거프린트 지도의 각 RP에 남아 있는 비콘의 개수를 파악한다. 파악된 비콘의 개수가 M개 보다 많을 경우, 최대 RSSI의 상대적인 순위가 높은 M개의 비콘들을 제외한 나머지 비콘들은 해당 RP의 핑거프린트에서 제거한다. 이 과정을 통해 상대적인 순위가 낮은 비콘들, 다시 말해, 수신 위치에서 멀리 떨어진 혹은 중간에 장애물이 있는 비콘들을 제거한다.

위의 3단계를 거쳐 완성된 컷-오프 핑거프린트 지도의 각 RP는 상대적으로 적은 개수의 RSSI가 수신된 비콘들과 상대적인 순위가 낮은 비콘들을 제외한 위치 추정에 중요한 비콘들의 정보만 저장된다. Fig. 4.1은 컷-오프 핑거프린트 지도 구성 방식을 단계별로 보여준다.

- 1) 실내 환경의 적절한 위치에 비콘을 배치하고 RP를 선정한다.
- 2) 각 RP에서 30초간 주변 비콘으로부터 RSSI를 수신한다.
- 3) 각 비콘으로부터 수신된 RSSI의 최대값을 산출한다.
- 4) 이 최대값들간의 상대적인 순위를 계산한다.
- 5) 모든 RP에 대해서 과정 2) ~ 4)를 수행하여 전체 환경에 대하여 핑거프린트 지도를 구성한다.
- 6) 과정 5)의 핑거프린트 지도에서 각 RP에 저장된 RSSI 개수가 N개 미만인 비콘을 해당 RP에서 제외한다. (1차 축소 과정)
- 7) 모든 RP에 대하여 과정 6)을 수행하여 1차 축소된 핑거프린트 지도를 만든다.
- 8) 만약 1차 축소된 핑거프린트 지도에서 각 RP에 저장된 비콘의 수가 M개 이상인 경우, 상대적인 순위가 높은 M개 비콘을 제외한 나머지 비콘은 제외한다. (2차 축소 과정)
- 9) 모든 RP에 대하여 과정 8)을 수행하여 최종 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성한다.

Fig. 4.2 A method constructing the cut-off fingerprint map

컷-오프 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정을 위해서 실시간으로 사용자의 장비가 수신하는 정보 또한 이에 맞게 축소시켜야한다. 실시간 위치 추정을 위한 시간인 1초간 수신한 정보 중 RSSI 개수가 X개 미만인 비콘을 제외한 후, 남은 비콘의 수가 Y개 보다 많은 경우 상대적인 순위가 높은 Y개의 비콘을 제외한 나머지 비콘은 비교대상에서 제외시킨다.

#### 4.2.2 실험 환경 및 구성

컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였을 때, 실내 위치 추정의 확률과 정확도를 실험을 통해 비교하였다. 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용하는 KNN 알고리즘 및 사전 컷-오프 방식과 컷-오프 핑거프린트

트 지도를 이용하는 사전 컷-오프 방식에 대해 성능을 평가하였다.

Fig. 4.2는 실제 우리 대학교의 건물 3층 복도인 실험 환경에 배치된 비콘과 선정된 RP의 위치를 보여준다. 기호 ① ~ ⑭은 비콘 번호를, 숫자 1 ~ 21은 RP 번호를 의미한다. 비콘과 RP의 상호 이격 거리는 [19]의 연구를 바탕으로 배치하고 선정하였다.

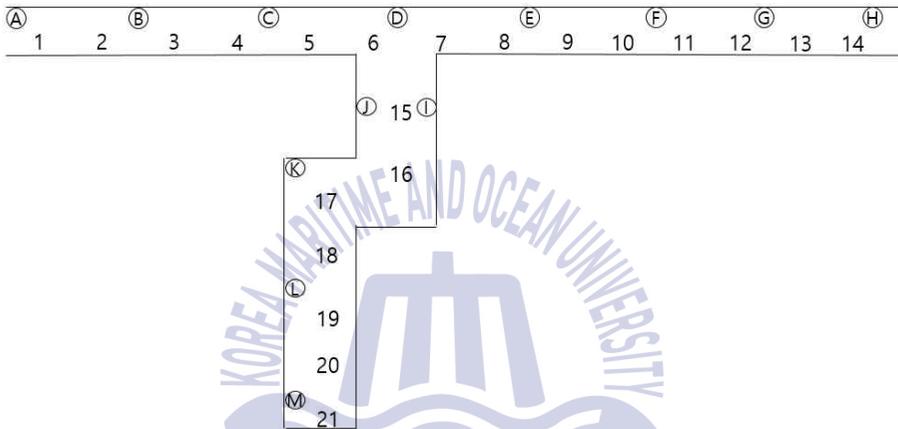


Fig. 4.2 Experiment environment for constructing the cut-off fingerprint map

### 4.2.3 실험 결과

Table. 4.1은 Fig. 4.2 환경에서 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 보여준다. Table 4.1은 각 RP에서 30초간 주변 비콘들로부터 수신된 RSSI의 개수와 RSSI들의 최대값에 대한 상대적인 순위를 보여준다. 각 행은 RP 번호를, 각 열은 비콘 번호를 의미한다. 예를 들어, RP 1에서 비콘 A, B, C의 RSSI를 수신하였고, 30초간 수신한 RSSI의 개수는 각각 97개, 97개, 96개이다. RSSI의 최대값의 상대적인 순위는 비콘 A, B, C에 대하여 각각 1, 2, 3이다.

**Table 4.1** A fingerprint map constructed by the previous method

RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	97, 1	97, 2	96, 3										
2	99, 2	99, 1	99, 3	99, 4									
3	99, 3	98, 1	98, 2	99, 4		51, 5							
4	98, 5	98, 2	99, 1	98, 3	99, 4	69, 8		96, 6	95, 7				
5	98, 4	97, 5	98, 1	98, 2	82, 7				98, 3	97, 6			
6			97, 2	98, 1	98, 5				97, 4	98, 3			
7		87, 9	99, 4	100, 1	100, 3	100, 7	93, 8	100, 6	99, 5	100, 2			
8	98, 8	88, 10	100, 3	101, 2	101, 1	97, 7	100, 6	100, 4	68, 9	101, 5			
9			114, 6	114, 5	114, 1	111, 2	115, 3	115, 4					
10			97, 5	97, 6	98, 2	99, 1	99, 4	99, 3					
11				80, 5	96, 4	99, 1	99, 2	98, 3					
12	34, 4				102, 5	105, 2	105, 1	105, 3					
13				53, 5	53, 4	99, 3	100, 1	100, 2					
14				34, 4		90, 3	97, 2	96, 1					
15			87, 4	97, 2	33, 7				97, 1	98, 3		67, 6	89, 5
16				115, 3					115, 1	115, 2	116, 4	114, 5	
17									47, 4	31, 5	127, 1	97, 2	98, 3
18									97, 4	38, 5	96, 3	97, 1	97, 2
19									91, 4		97, 3	97, 1	97, 2
20											96, 3	97, 2	97, 1
21											84, 3	100, 2	101, 1

Fig. 4.2의 모든 RP에서 30초간 수신된 RSSI의 평균 개수는 약 93개이다. 하지만 몇몇 RP에서 수신된 RSSI의 개수가 평균에 비해 매우 적은 경우가 있다. 예를 들어, RP 3의 비콘 F는 51개, RP 12의 비콘 A는 34개 등이 있다. 이 경우에 실시간으로 사용자의 장비가 1초간 신호를 수신하였을 때, 신호를 수신하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 만약 실시간으로 신호를 수신하지 못한다면 위치를 추정할 수 없는 결과를 초래한다.

Table 4.2는 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도에 1차 축소 과정을 적용시켜 구성된 핑거프린트 지도를 보여준다.

**Table 4.2** A fingerprint map after applying the first cut-off step

RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	97, 1	97, 2	96, 3										
2	99, 2	99, 1	99, 3	99, 4									
3	99, 3	98, 1	98, 2	99, 4									
4	98, 5	98, 2	99, 1	98, 3	99, 4			96, 6	95, 7				
5	98, 4	97, 5	98, 1	98, 2	82, 7				98, 3	97, 6			
6			97, 2	98, 1	98, 5				97, 4	98, 3			
7		87, 9	99, 4	100, 1	100, 3	100, 7	93, 8	100, 6	99, 5	100, 2			
8	98, 8	88, 9	100, 3	101, 2	101, 1	97, 7	100, 6	100, 4		101, 5			
9			114, 6	114, 5	114, 1	111, 2	115, 3	115, 4					
10			97, 5	97, 6	98, 2	99, 1	99, 4	99, 3					
11				80, 5	96, 4	99, 1	99, 2	98, 3					
12					102, 4	105, 2	105, 1	105, 3					
13						99, 3	100, 1	100, 2					
14						90, 3	97, 2	96, 1					
15			87, 4	97, 2					97, 1	98, 3			89, 5
16				115, 3					115, 1	115, 2	116, 4	114, 5	
17											127, 1	97, 2	98, 3
18									97, 4		96, 3	97, 1	97, 2
19									91, 4		97, 3	97, 1	97, 2
20											96, 3	97, 2	97, 1
21											84, 3	100, 2	101, 1

1차 축소 과정은 각 RP에서 RSSI의 개수가 N개 미만인 비콘을 제거하는 과정이다. 이 과정에서 N의 값을 결정하기 위해 60, 70, 80인 경우에 대해 각각 실험하였다. 70개 이상, 80개 미만의 RSSI를 수신한 경우는 없기 때문에 실험하지 않았다. 실험 결과, N을 80으로 설정하였을 때, 가장 정확도가 높았기 때문에 N을 80으로 결정하였다. 하지만 1차 축소 과정을

적용한 핑거프린트 지도에서 몇몇 RP는 다른 RP에 비해 상대적으로 많은 비콘의 RSSI를 수신한다. 낮은 상대적인 순위는 RSSI의 최대값이 상대적으로 작음을 의미하고, 이는 해당 비콘이 RSSI를 수신하는 위치에서 멀리 떨어져있거나 중간에 장애물이 있음을 의미한다. 예를 들어, Table 4.2에서 RP 7은 비콘 9개의 RSSI를 수신한다. 상대적인 순위가 낮은 비콘은 Fig. 4.2에서 확인할 수 있다시피 멀리 떨어져있다. 이렇게 상대적인 순위가 낮은 비콘들은 핑거프린트 지도를 구성하기 위한 시간인 30초에 비해 짧은 시간인 1초간 RSSI를 수신하는 실시간 상황에서 해당 비콘의 RSSI를 수신하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우를 해결하기 위해 1차 축소된 핑거프린트 지도에 2차 축소 과정을 추가 적용시켰다.

2차 축소 과정은 1차 축소된 핑거프린트 지도의 각 RP에서 수신된 비콘의 수가 M개 보다 많은 경우 상대적인 순위가 높은 M개를 제외한 나머지 비콘들을 제거시키는 과정이다. 이 과정에서 M을 크게 설정하면 실내 환경의 장애물에 대한 영향을 줄이는 효과가 미미하다. 반대로 M을 작게 설정하면 실시간 정보와 비교할 때, 적은 수의 비콘과 비교하기 때문에 정확도가 낮아지는 문제점이 발생한다. 효율적인 M을 결정하기 위해 각 RP 별로 수신한 비콘의 수를 확인하였다. Table 4.3은 Fig. 4.2의 실험 환경의 각 RP에서 RSSI를 수신한 비콘의 수를 보여준다.

**Table 4.3** The number of beacons received RSSI in all RPs

RP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Num	3	4	5	8	7	5	9	10	6	6	5	5	5	4	7	5	5	5	4	3	3

실험 환경의 전체 RP 21곳 중 8곳이 5개 비콘의 RSSI를 수신하였다. 5개 비콘의 RSSI를 수신한 RP가 가장 많기 때문에 M을 5로 결정하였다. 따라서 각 RP에서 상대적인 순위가 5보다 큰 비콘을 제거하였다. 이 과정을 통해 컷-오프 핑거프린트 지도의 각 RP는 최대 5개의 비콘에 대한 상대적인 순위를 저장하고 있다.

1차 축소 과정과 2차 축소 과정에서 각 N과 M은 실내 환경에 따라 변경될 수 있다. 그리고 비콘과 RP의 위치에 따라 평균 RSSI 개수와 각 RP에서 RSSI가 수신된 비콘의 개수가 다를 수 있기 때문에 실내 환경에 따라 적절한 값으로 N과 M을 설정해야 한다.

Table 4.4는 1차 축소된 핑거프린트 지도에 2차 축소 과정을 적용시켜 구성된 최종 컷-오프 핑거프린트 지도를 보여준다.

**Table 4.4** A cut-off fingerprint map after applying the second cut-off step

RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	97, 1	97, 2	96, 3										
2	99, 2	99, 1	99, 3	99, 4									
3	99, 3	98, 1	98, 2	99, 4									
4	98, 5	98, 2	99, 1	98, 3	99, 4								
5	98, 4	97, 5	98, 1	98, 2					98, 3				
6			97, 2	98, 1	98, 5				97, 4	98, 3			
7			99, 4	100, 1	100, 3				99, 5	100, 2			
8			100, 3	101, 2	101, 1			100, 4		101, 5			
9				114, 5	114, 1	111, 2	115, 3	115, 4					
10			97, 5		98, 2	99, 1	99, 4	99, 3					
11				80, 5	96, 4	99, 1	99, 2	98, 3					
12					102, 4	105, 2	105, 1	105, 3					
13						99, 3	100, 1	100, 2					
14						90, 3	97, 2	96, 1					
15			87, 4	97, 2					97, 1	98, 3			89, 5
16				115, 3					115, 1	115, 2	116, 4	114, 5	
17											127, 1	97, 2	98, 3
18									97, 4		96, 3	97, 1	97, 2
19									91, 4		97, 3	97, 1	97, 2
20											96, 3	97, 2	97, 1
21											84, 3	100, 2	101, 1

기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용한 KNN 알고리즘 및 사전 컷-오프 방식과 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식의 위치 추정 실험에 대한 결과는 Fig. 4.3과 Fig. 4.4를 통해 확인할 수 있다. Fig. 4.3은 3가지 비교대상의 추정 확률에 대한 그래프이다.

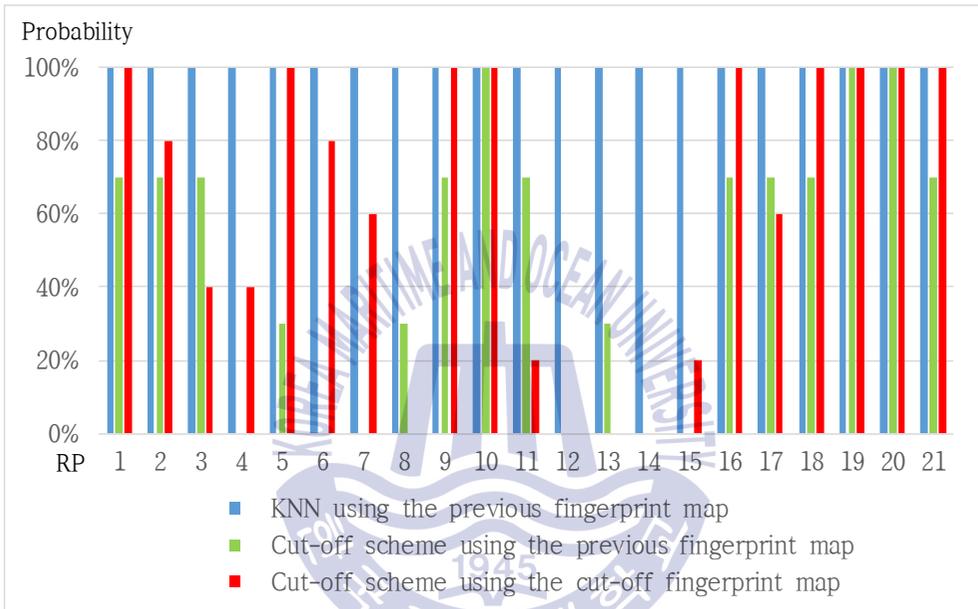


Fig. 4.3 Estimation probability of the 3 schemes

각 RP에서 10번씩 위치 추정을 한 결과, 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용한 KNN 알고리즘은 모든 RP에 대해 평균 100%의 추정 확률을 보이고, 사전 컷-오프 방식은 평균 50%의 추정 확률을 보인다. 그리고 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식은 평균 60%의 추정 확률을 보인다. KNN 알고리즘의 추정 확률이 평균 100%인 이유는 핑거프린트 지도의 모든 데이터와 비교를 하여 사용자의 위치를 추정하기 때문에 모든 경우에 위치를 추정할 수 있다. 하지만 사전 컷-오프 방식은 사용자가 실시간으로 수신한 RSSI와 비콘 정보를 확인하여 핑거프

린트 지도의 범위를 줄이기 때문에 100%의 추정 확률을 보이지 못한다.

Fig. 4.4는 3가지 비교대상의 평균 오차에 대한 그래프이다. Fig. 4.4에서 오차는 실제 RP 좌표와 추정된 좌표 간의 거리를 의미한다. 모든 RP에 대해서 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용한 KNN 알고리즘의 평균 오차는 약 5m이고, 사전 컷-오프 방식은 약 6.4m이다. 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식의 평균 오차는 약 4.1m이다.

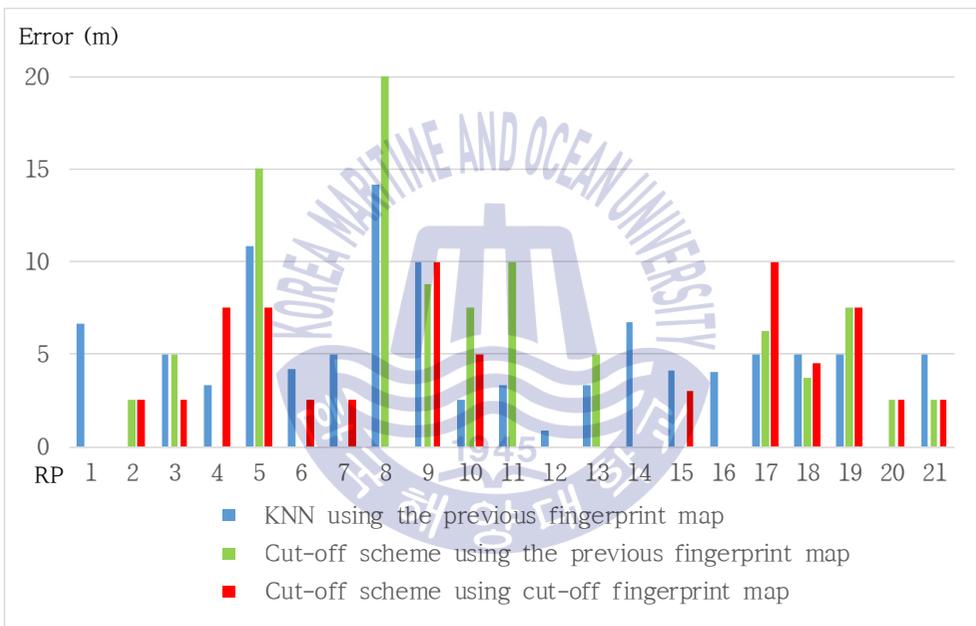


Fig. 4.4 Average error of the 3 schemes

기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도에 저장된 정보와 실시간으로 사용자가 수신한 정보가 서로 다를 수 있기 때문에 추정 확률이 줄어드는 문제점이 발생한다. 추가적으로 추정을 하더라도 오차가 매우 커진다. 하지만 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였을 때, 추정 확률이 높아지고 평균 오차는 줄어드는 것을 실험을 통해 확인하였다.

## 4.3 여러 컷-오프 지도를 조합하는 핑거프린트 지도 구성방식

### 4.3.1 개요

기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 의 정확도를 향상시키기 위해 컷-오프 핑거프린트 지도 구성 방식에 대해 소개하였다. 결과적으로 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용하였을 때보다 정확도가 향상되었지만, 더 높은 정확도를 가질 수 있도록 핑거프린트 지도를 구성하는 방식에 대한 연구가 필요하다.

본 절에서 소개하는 방식은 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나로 조합한다. 4.2 절에서 소개된 컷-오프 핑거프린트 지도는 신호의 불안정성과 가변성을 완화시켜 정확도를 향상시킨 지도이다. 하지만 핑거프린트 지도를 구성하는 시기에 따라 다른 형태의 핑거프린트 지도가 구성될 수 있다. 예를 들어, 컷-오프 핑거프린트 지도에서 특정 RP에서 수신된 RSSI에 대한 비콘의 종류가 다를 수 있다. 다시 말해, 특정 RP에서 M개 이상의 비콘으로부터 RSSI를 수신하였고, 이 RSSI의 최대값들의 상대적인 순위가 항상 일정하지 않고 다를 수 있음을 의미한다. 이 때, M개 이상의 비콘에 대한 상대적인 순위가 바뀔 수 있기 때문에 제거되는 비콘도 바뀔 수 있다. 이 경우에 정확도가 낮아지는 문제가 발생한다. 이 문제점을 해결하기 위해 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하고 이 핑거프린트 지도들을 하나의 핑거프린트 지도로 조합하는 방식을 본 절에서 소개한다[21].

Fig. 4.5는 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나의 핑거프린트 지도로 조합하는 과정을 단계별로 보여준다. Fig. 4.5의 과정 1) ~ 6)은 4.2 절에서 소개된 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하는 과정이다. 이 과정을 A번 수행하여 A개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성한다.

- 1) 실내 환경의 적절한 위치에 비콘을 배치하고 RP를 선정한다.
- 2) 각 RP에서 30초간 주변 비콘으로부터 RSSI를 수신한다.
- 3) 각 비콘으로부터 수신된 RSSI의 최대값을 산출한다.
- 4) 이 최대값들간의 상대적인 순위를 계산한다.
- 5) 모든 RP에 대해서 과정 2)와 3)을 수행하여 전체 환경에 대하여 핑거프린트 지도를 구성한다.
- 6) 과정 5)의 핑거프린트 지도를 컷-오프 핑거프린트 지도로 축소시킨다.
- 7) 과정 2) ~ 6)을 A번 수행하여 A개의 핑거프린트 지도를 구성한다.
- 8) A개의 핑거프린트 지도에서 각 RP마다 가장 많이 발생한 상대적인 순위 패턴으로 조합된 최종 핑거프린트 지도를 구성한다.

**Fig. 4.5** A method for combining multiple cut-off fingerprint maps

과정 7)을 통해 각 지도로부터 개별 RP를 기준으로 모든 비콘들의 상대적인 순위 패턴들을 각각 비교한다. 그 순위 패턴 가운데 가장 빈번하게 나타난 순위 패턴을 최종적으로 도출할 핑거프린트 지도의 해당 RP에 대한 핑거프린트로 저장한다. 이렇게 함으로써 핑거프린트 지도를 구성하기 위하여 수신되는 비콘들의 신호의 변동성(fluctuation)을 최소화하게 되어 핑거프린트 지도를 이용하는 실내 위치 추정의 확률과 정확도를 향상시킬 수 있다.

### 4.3.2 실험 및 성능 평가

하나의 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였을 때와 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나로 조합한 핑거프린트 지도를 이용하였을 때, 각각의 실내 위치 추정 확률과 정확도를 실험을 통해 비교하였다. 실험 환경 및 구성은 Fig. 4.2와 동일하다. 하나의 핑거프린트 지도로 조합하기 위해 10개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 구성하였다. Table. 4.5는 실험 환경에서 구성된 10개의 컷-오프 핑거프린트 지도 중 하나를 보여준다.

Table 4.5 A cut-off fingerprint map among 10 maps

RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	2	3										
2	2	1	3	4									
3	3	1	2	4									
4	3	2	1	4									
5	4	3	1	2									
6			3	2	5				1	3			
7			5	1	2				3	4			
8				2	1	3		5		4			
9				3	1	2	4	5					
10				4	2	1	3	5					
11					3		1	2	4				
12					4	2	1	3					
13					4	3	1	2					
14						3	2	1					
15				3					1	2		4	5
16				4					1	2	3	5	
17									4		1	2	3
18									4		2	1	3
19											2	3	1
20											3	2	1
21											3	2	1

Table 4.5는 각 RP에서 주변 비콘으로부터 수신된 RSSI의 최대값의 상대적인 순위만을 저장하고 있다. 동일한 실내 환경에서 구성된 핑거프린트 지도일지라도 Table 4.2의 컷-오프 핑거프린트 지도의 순위와 서로 다른 것을 확인할 수 있다. 이처럼 동일한 실내 환경에서도 서로 다른 핑거프린트 지도가 구성될 수 있기 때문에 정확도를 높이기 위해선 효율적인 핑거프린트 지도를 구성해야만 한다. Table 4.6은 10개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나로 조합한 핑거프린트 지도를 보여준다.

**Table 4.6** A cut-off fingerprint map combining 10 maps

RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	1	2	3										
2	2	1	3	4									
3	3	1	2	4									
4	4	2	1	3									
5	5	3	1	2					4				
6			2	1	5				3	4			
7			4	1	2				3	5			
8				2	1	3		5		4			
9				5	1	2	3	4					
10				5	2	1	4	3					
11					4	1	2	3					
12					4	2	1	3					
13					4	3	1	2					
14						3	2	1					
15				3					1	2		4	5
16				4					1	2	3	5	
17									4	5	1	2	3
18									4		2	1	3
19									4		3	1	2
20											3	2	1
21											3	2	1

Table 4.6은 각각 다른 시기에 구성된 컷-오프 핑거프린트 지도 10개를 하나로 조합한 핑거프린트 지도이다. Table 4.6의 각 RP는 10개의 지도 중에서 가장 많이 발생한 순위 패턴들로 구성되어 있다. 예를 들어, RP 4는 비콘 A, B, C, D의 RSSI를 수신하였고 RSSI의 최대값의 상대적인 순위에 대한 패턴은 각각 4, 2, 1, 3이 10개의 지도 중에서 가장 많이 발생하여 RP 4의 핑거프린트로 저장되었다.

두 개의 핑거프린트 지도를 각각 이용했을 때, 실내 위치 추정의 확률과 정확도에 대한 그래프는 Fig. 4.6과 Fig. 4.7을 통해 각각 알 수 있다.

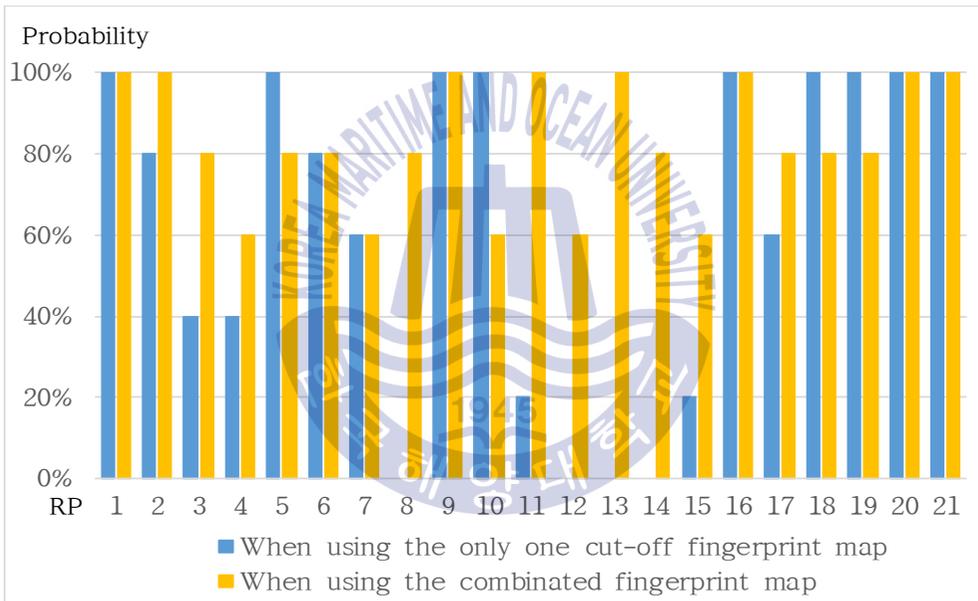


Fig. 4.6 When two fingerprint maps are used respectively, the estimation probability

각 RP에서 10번씩 위치 추정을 한 결과, 하나의 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였을 때, RP 8, 12, 13, 14는 위치를 전혀 추정하지 못하였다. 이 RP들은 주변으로부터 전자파, 다중 경로 현상 등과 같은 방해 요소로 인하여 추정이 불가능한 현상이 발생하였을 가능성이 높다. 하지만 여러 개의 핑거프린트 지도를 조합한 지도를 이용하였을 때, 추정 확률이 향상되

있음을 확인할 수 있다. 결과적으로 모든 RP에 대하여 하나의 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였을 때 평균 추정 확률은 약 62%이고, 여러 개의 핑거프린트 지도를 조합한 지도를 이용하였을 때 평균 추정 확률은 약 83%이다.

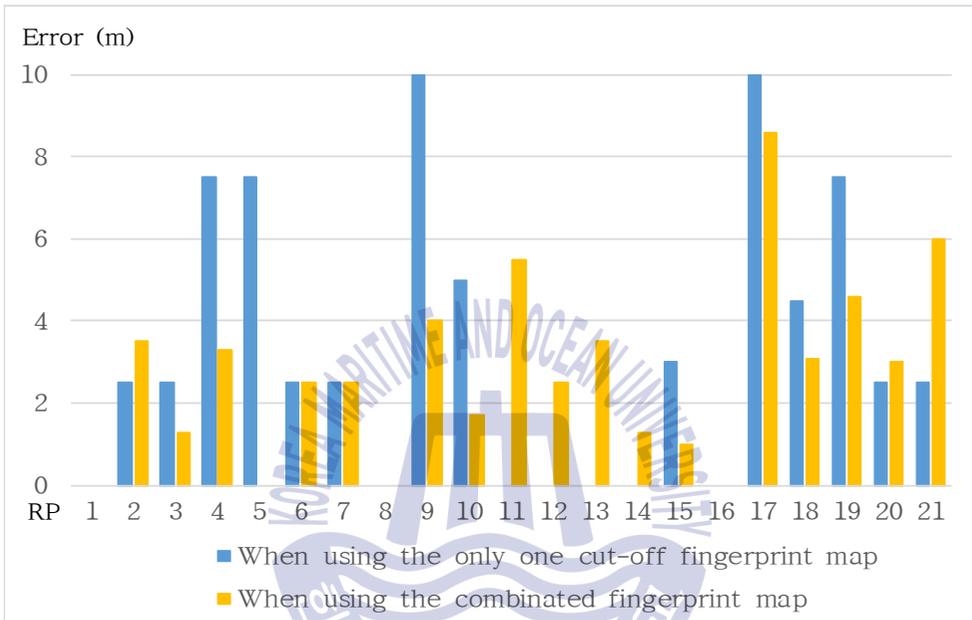


Fig. 4.7 When two fingerprint maps are used respectively, average error

하나의 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용한 경우, RP 8, 12, 13, 14는 실험이 진행되는 동안 전혀 추정하지 못하였기 때문에 평균 오차를 알 수 없다. 하지만 RP 1, 11, 16은 평균 오차가 0m인 경우로 추정이 가능한 경우에는 정확하게 추정하였다. 그리고 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 조합한 지도를 이용한 경우, RP 1, 5, 8, 16에서 평균 오차가 0m로 정확하게 추정하였다. 결과적으로 모든 RP에 대하여 두 핑거프린트 지도를 각각 이용하였을 때, 평균 오차는 각각 4.1m와 2.8m이다. 따라서 여러 개의 컷-오프 핑거프린트 지도를 하나로 조합한 핑거프린트 지도를 이용하였을 때 정확도가 향상되었다.

## 제 5 장 핑거프린트 지도를 이용한 사전 컷-오프 방식

### 5.1 사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식

사전 컷-오프 방식은 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식이다[22-24]. 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식 중 가장 대표적인 KNN 알고리즘은 WiFi AP의 RSSI 값 하나를 이용하여 실내 위치를 추정한다. 하지만 실내 환경은 많은 장애물들이 존재하기 때문에 무선 신호는 매우 불안정하다. 그렇기 때문에 RSSI 값 하나로 위치를 추정하는 것은 정확도가 낮다. 또한 KNN 알고리즘은 실시간으로 수신한 RSSI와 핑거프린트 지도의 모든 RP에 저장된 RSSI 간의 유클리드 거리를 계산하기 때문에 긴 추정 시간이 필요하다. 사전 컷-오프 방식은 WiFi AP 대신 BLE 기반의 비콘을 사용하고 KNN 알고리즘의 낮은 정확도와 긴 추정 시간 측면을 개선시킨 실내 위치 추정 방식이다. 그리고 Cluster KNN 방식과 RBF(Rank Based Fingerprint)를 이용한 방식의 단점을 보완하였다.

사전 컷-오프 방식은 하나의 RSSI를 사용하지 않고 일정 시간동안 수신된 RSSI 중 최대값을 각 비콘별로 산출하고[25] 이 최대값들의 상대적인 순위를 이용한다. 동일한 위치에서 일정 시간동안 수신된 RSSI는 항상 일정하지 않기 때문에 최대값을 산출한다. 하지만 이 최대값 또한 일정하지 않을 수 있다. 따라서 이 최대값들의 상대적인 순위를 계산하여 신호의 불안정성과 가변성으로 인한 영향을 완화시킨다. 이 방식은 오프라인 단계와 온라인 단계로 구성되어 있다. 오프라인 단계는 핑거프린트 지도를 구성하는 단계로, 먼저 실내 환경의 적절한 위치에 비콘을 배치하고 RP를 선정한다. 이후 각 RP에서 주변 비콘으로부터 RSSI와 비콘 정보를 일정 시간동안 수신한다. 수신된 RSSI의 최대값을 각 비콘별로 산출하고 이 최

대값들의 상대적인 순위를 해당 RP에 저장한다. 모든 RP에서 이 과정을 수행하여 전체 환경에 대한 핑거프린트 지도를 구성한다. 식 (5.1 ~ 5.3)은 사전 컷-오프 방식의 3가지 핑거프린트 지도를 보여준다. 식 (5.1)의 핑거프린트 지도  $\Omega$ 는 각 열에 비콘 정보를, 각 행에 RP 번호로 구성되어 있는 2차원 행렬이다. 이 지도의  $\gamma_{L, N}$ 은 각 RP (1, 2, ..., L)에서 주변 비콘 (1, 2, ..., N)으로부터 수신된 RSSI의 최대값의 상대적인 순위가 저장된다. 식 (5.2)와 식 (5.3)은 각각 비콘 정보와 RP의 좌표가 저장된다.

$$\Omega = \begin{pmatrix} \gamma_{1,1} & \gamma_{1,2} & \cdots & \gamma_{1,N} \\ \gamma_{2,1} & \gamma_{2,2} & \cdots & \gamma_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{L,1} & \gamma_{L,2} & \cdots & \gamma_{L,N} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

$$\Omega_{beacon} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L) \quad (5.2)$$

$$\Omega_{rp} = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N) \quad (5.3)$$

온라인 단계는 오프라인 단계에서 구성된 핑거프린트 지도를 이용하여 실제 사용자의 위치를 추정하는 단계이다. 먼저 사용자는 일정 시간동안 주변 비콘으로부터 신호를 수신한다. 수신된 신호에는 RSSI와 비콘 정보가 포함되어 있다. 핑거프린트 지도  $\Omega$ 에서 수신된 비콘 정보와 일치하는 비콘과 RP를 제외한 나머지 비콘과 RP는 소거한다. 이렇게 축소된 핑거프린트 지도를  $\Omega'$ 라 한다. 축소된 핑거프린트 지도  $\Omega'$ 는 사용자가 신호를 수신한 비콘만 저장된 RP들로 이루어진 예상 지역이 된다. 다음으로  $\Omega'$ 의 RP 개수 (열의 개수)를 파악한다. 만약 RP 개수가 사전에 정의된 K개 이하라면 예상 위치 지역이 충분히 작다고 판단하고 그 RP들을 최인접 이웃이라 한다. 반대로 RP 개수가 K개보다 많다면, 각 RP에 저장된 비콘들의 상대적인 순위와 실시간으로 수신한 정보의 순위 간의 유사도를 Spearman's footrule 공식을 이용하여 계산한다. 식 (5.4)는 실시간 정보의 순위( $x_i$ )와 RP에 저장된 순위( $y_i$ )를 마지막 순위까지(n) 비교하여 유사도를 계산하는 Spearman's footrule 공식이다. 계산 결과 값이 0에 가까울수록 유사도가 크다고 판단한다.

$$D_F = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| \quad (5.4)$$

유사도가 가장 큰 RP K개를 선정하고, 이들을 최인접 이웃이라 한다. 다음으로 이웃들 간의 중심좌표를 사용자의 위치로 추정한다. Fig. 5.1은 사전 컷-오프 방식의 온라인 단계를 단계별로 보여준다.

- 1) 사용자의 장비를 통해 주변 비콘의 정보와 RSSI를 수신한다.
- 2) 수신된 RSSI의 최대값의 상대적인 순위를 각 비콘별로 계산한다.
- 3) 수신된 신호에서 비콘의 정보를 확인한다.
- 4) 신호가 수신된 비콘만 저장된 RP와 해당 비콘만 남기고 나머지는 소거하여 축소된 핑거프린트 지도  $\Omega'$  를 만든다.
- 5) S는  $\Omega'$  의 RP 개수를 의미하고, K는 사전에 정의된 최인접 이웃의 수를 의미한다.
- 6) if  $S > K$
- 7)  $\Omega'$  의 각 RP에 저장된 순위와 과정 2)의 순위 간의 유사도를 Spearman's footrule 공식을 이용하여 계산한다.
- 8) 유사도가 가장 큰 K개의 RP를 최인접 이웃으로 선정한다.
- 9) end if
- 10) else //  $S \leq K$
- 11)  $\Omega'$  에서 최인접 이웃으로 S개의 RP를 선정한다.
- 12) end else
- 13) 최인접 이웃으로 선정된 RP들의 중점 좌표를 사용자의 위치로 추정한다.

Fig. 5.1 The preliminary cut-off algorithm

사전 컷-오프 방식의 위치 추정 과정에 대한 이해를 돕기 위해 자세히 설명한다. K는 [15]의 연구 결과에 따라 3으로 설정하였다. Table 5.1은 실시간으로 사용자의 장비를 통해 수신한 정보를 보여준다. 그리고 Table 5.2는 핑거프린트 지도와 실시간 정보를 이용하여 구성된 축소된 핑거프린트 지도이다.

**Table 5.1** Example of the received data in real-time (1)

Beacon	A	B	C	D
Peak RSSI, Rank	-80, 2	-70, 1	-85, 3	-96, 4

**Table 5.2** Example of the reduced fingerprint map (1)

RP \ BC	A	B	C	D
2	-77, 2	-73, 1	-92, 3	-97, 4
3	-85, 3	-76, 1	-82, 2	-95, 4
4	-92, 4	-84, 3	-80, 2	-75, 1

Table 5.1의 실시간 정보를 이용하여 구성된 축소된 핑거프린트 지도의 RP 수는 3개로 RP 2, 3, 4가 존재한다. 이 3개의 RP는 최인접 이웃으로 선정되었고 이 RP들의 중점을 사용자의 위치로 추정한다. RP 간의 간격은 동일하기 때문에 중점은 RP 3의 위치가 된다. 따라서 RP 3의 위치 정보를 사용자의 위치로 추정한다.

## 5.2 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식

5.1절에서 소개한 사전 컷-오프 방식은 KNN 알고리즘, Cluster KNN 방식, RBF를 이용한 방식의 단점을 보완한 실내 위치 추정 방식이다. 하지만 사전 컷-오프 방식도 단점을 지니고 있다. Table 5.3은 KNN 알고리즘, Cluster KNN 방식, RBF를 이용한 방식, 그리고 사전 컷-오프 방식의 장점과 단점을 정리한 표이다.

**Table 5.3** Pros and cons of existing algorithms

	Pros	Cons
KNN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Training is done very fast</li> <li>2. Simple and easy to learn</li> <li>3. More trained data, more effective</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biased by value of K</li> <li>2. Computation complexity</li> <li>3. Runs slowly</li> <li>4. Easily fooled by irrelevant data</li> </ol>
Cluster KNN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overcomes the defect of uneven distribution of trained samples</li> <li>2. Robust in nature</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Threshold parameter(K) is difficult to be chosen before running algorithm</li> <li>2. Runs slowly</li> </ol>
RBF	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Performs better when there are more similarity between map and user's data</li> <li>2. Robust as based on rank</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Performance depends on distribution of the trained data</li> </ol>
Cut-off	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High accuracy</li> <li>2. Runs fast</li> <li>3. Performs better when there are more similarity between map and user's data</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. If number of RPs used for user's location estimation (S) is 0, the estimation is impossible</li> </ol>

기존 사전 컷-오프 방식은 온라인 단계에서 위치 추정에 활용되는 축소된 핑거프린트 지도의 RP 개수(S)를 파악하고, 이를 통해 사용자 위치의 예상 지역을 형성위해서 반드시 RP 개수가 1개 이상이어야 한다. 만약 축소된 핑거프린트 지도의 RP 개수가 0개일 경우, 사용자 위치의 예상 지역을 형성할 수 없기 때문에 추정이 불가능한 상황이 발생한다.

본 절에서는 위와 같이 축소된 핑거프린트 지도의 RP 개수가 0인 경우, 위치를 추정할 수 없는 문제점을 해결하기 위해 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식을 소개한다[26-27]. 이 방식은 축소된 핑거프린트 지도( $\Omega'$ )의 RP 개수가 0개일 경우, 사용자의 장치가 수신한 비콘들의 RSSI 가운데 가장 낮은 RSSI를 갖는 비콘부터 순차적으로 하나씩 소거한다고 가정한다. 그 후 나머지 비콘들만의 RSSI를 갖는 RP들로 이루어진 핑거프린트 지도( $\Omega''$ )를 도출한다. 만약 이 핑거프린트 지도에서도 RP 개수가 0일 경우에 소거된 비콘과 그 다음 작은 비콘과 바꾸어 핑거프린트 지도를 도출한다. RSSI가 가장 작은 비콘부터 제외하는 이유는 강한 RSSI가 저장된 RP 주위에 사용자가 있을 가능성이 가장 높기 때문이다. Table 5.4는 기존 방식과 개선된 방식의 차이점이 기술되어 있다.

**Table 5.4** Comparison of Cut-off schemes

	Pros	Cons
Cut-off	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High accuracy and fast</li> <li>2. Performs better when there are more similarity between map and user's data.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. If number of RPs used for user's location estimation(S) is 0, the estimation is impossible.</li> </ol>
Improved Cut-off	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Higher accuracy</li> <li>2. Although number of RPs used for user's location estimation(S) is 0, the estimation is possible.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. If number of RPs used for user's location estimation (S) is 0, it takes more runtime for estimation.</li> </ol>
Improve-ment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- If number of RPs used for user's location estimation(S) is 0, ignore data of the beacon of which RSSI is the lowest in the set. Using the remaining beacons, at least more than one RPs are chosen.</li> </ul>	

Fig. 5.2는 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식의 알고리즘을 단계별로 보여준다. 기존 방식에서 개선된 부분은 과정 5) ~ 10)에 기술되어 있다.

- 1) 사용자의 장비를 통해 주변 비콘의 정보와 RSSI를 수신한다.
- 2) 수신된 RSSI의 최대값의 상대적인 순위를 각 비콘별로 계산한다.
- 3) 수신된 신호에서 비콘의 정보를 확인한다.
- 4) 신호가 수신된 비콘만 저장된 RP와 해당 비콘만 남기고 나머지는 소거하여 축소된 핑거프린트 지도  $\Omega'$  를 만든다.
- 5) do
- 6) S는  $\Omega'$  의 RP 개수를 의미하고,  
K는 사전에 정의된 최인접 이웃의 수를 의미한다.
- 7) if S = 0
- 8) 과정 2)에서 계산된 RSSI의 최대값 중 가장 작은 값의 비콘은 무시한다.
- 9) end if
- 10) end do while (S == 0)
- 11) if S > K
- 12)  $\Omega'$  의 각 RP에 저장된 순위와 과정 2)의 순위 간의 유사도를 Spearman's footrule 공식을 이용하여 계산한다.
- 13) 유사도가 큰 K개의 RP를 최인접 이웃으로 선정한다. (S = K)
- 14) end if
- 15) else // S <= K
- 16)  $\Omega'$  에서 최인접 이웃으로 S개의 RP를 선정한다.
- 17) end else
- 18) 최인접 이웃으로 선정된 RP들의 중점 좌표를 사용자의 위치로 추정한다.

Fig. 5.2 The improved preliminary cut-off algorithm

아래 예시는 본 방식의 위치 추정 과정을 자세히 설명한다. Table 5.5는 핑거프린트 지도의 예시를, Table 5.6은 실시간 정보를 보여준다.

**Table 5.5** Example of the fingerprint map

Beacon RP	A	B	C	D	E
1	-93, 2	-88, 1			
2	-98, 2	-75, 1	-99, 3		
3		-90, 1	-97, 2		
4		-96, 3	-90, 1	-94, 2	
5		-102, 3	-81, 1	-100, 2	
6			-95, 2	-88, 1	-97, 3

**Table 5.6** Example of the received data in real-time (2)

Beacon	B	C	D	E
Peak RSSI, Rank	-92, 3	-83, 1	-90, 2	-103, 4

Table 5.6의 실시간 정보와 동일한 비콘의 RSSI가 저장된 RP가 존재하지 않기 때문에 축소된 핑거프린트 지도를 구성할 수 없다. 이런 경우에 RSSI의 최대값 중 가장 작은 값을 무시하고 나머지 정보만을 이용하여 핑거프린트 지도와 비교한다. 위의 예시에서 Table 5.6의 비콘 E에 대한 정보를 무시하고 Table 5.5와 비교하였을 때, Table 5.7과 같은 축소된 핑거프린트 지도가 구성된다. 이후 Table 5.7의 RP들의 중점을 사용자의 위치로 추정한다.

**Table 5.7** Example of the reduced fingerprint map (2)

Beacon RP	B	C	D
4	-96, 3	-90, 1	-94, 2
5	-102, 3	-81, 1	-100, 2

### 5.3 신호유사도가 일치하는 참조위치를 고려한 사전 컷-오프 방식

사전 컷-오프 방식과 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식은 실시간으로 수신한 정보를 토대로 축소된 핑거프린트 지도의 RP들의 중점으로 사용자의 위치를 추정한다. RP들의 중점으로 위치를 추정하는 것은 RP 간의 간격이 클수록 오차가 커진다. 반대로 RP 간의 간격이 작으면 핑거프린트 지도를 구성하는 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라 크기도 커진다.

축소된 핑거프린트 지도의 RP 개수가 1개인 경우는 해당 RP를 사용자의 위치로 추정한다. 하지만 RP 개수가 2개 이상인 경우는 항상 중점으로 사용자의 위치를 추정하기 때문에 오차가 발생한다. 본 절에서는 이 오차를 줄이기 위해 신호유사도가 일치하는 RP를 고려한 사전 컷-오프 방식을 소개한다[28]. 이 방식은 축소된 핑거프린트 지도의 RP 개수(S)가 사전에 정의된 K개 보다 많을 경우뿐만 아니라, K개 이하일 경우에도 실시간으로 수신한 정보의 순위와 RSSI의 최대값의 상대적인 순위 간의 유사도를 계산한다. 유사도를 계산하기 위해 Spearman's footrule 유사도 계산 방식을 이용한다. 유사도 계산 결과 값이 작을수록 유사함을 의미하기 때문에 결과 값 0은 두 비교 대상이 서로 동일함을 의미한다. 실시간으로 수신한 정보의 순위와 축소된 핑거프린트 지도에 남은 RP의 순위 간의 유사도를 계산한 결과, 유사도가 0인 RP의 개수(T)를 파악한다. T가 0인 경우는 실시간으로 수신한 정보의 순위 패턴과 동일한 패턴을 가진 RP가 없음을 의미하기 때문에 S개 RP의 중점을 위치로 추정한다. T가 1 이상인 경우, T개 RP의 중점을 위치로 추정하여 정확도를 향상시킨다.

Fig. 5.3은 신호유사도가 일치하는 RP를 고려한 사전 컷-오프 방식의 추정 과정을 단계별로 보여준다. 기존 방식에 비해 신호유사도가 일치하는 RP를 고려한 사전 컷-오프 방식의 개선된 부분은 Fig. 5.3의 과정 15) ~ 22)에 기술되어 있다.

- 1) 사용자의 장비를 통해 주변 비콘의 정보와 RSSI를 수신한다.
- 2) 수신된 RSSI의 최대값의 상대적인 순위를 각 비콘별로 계산한다.
- 3) 수신된 신호에서 비콘의 정보를 확인한다.
- 4) 신호가 수신된 비콘만 저장된 RP와 해당 비콘만 남기고 나머지는 소거하여 축소된 핑거프린트 지도  $\Omega'$  를 만든다.
- 5) do
- 6) S는  $\Omega'$  의 RP 개수를 의미하고,  
K는 사전에 정의된 최인접 이웃의 수를 의미한다.
- 7) if S = 0
- 8) 과정 2)에서 계산된 RSSI의 최대값 중 가장 작은 값의 비콘은 무시한다.
- 9) end if
- 10) end do while (S = 0)
- 11) if S > K
- 12)  $\Omega'$  의 각 RP에 저장된 순위와 과정 2)의 순위 간의 유사도를 Spearman's footrule 공식을 이용하여 계산한다.
- 13) 유사도가 큰 K개의 RP를 최인접 이웃으로 선정한다. (S = K)
- 14) end if
- 15) S개 RP의 순위와 과정 2)의 순위 간의 유사도를 계산한다.
- 16) S개 RP 가운데 유사도가 0인 RP 개수(T)를 파악한다.  
// 실시간 수신 정보의 순위 패턴과 일치하는 RP들을 찾음
- 17) if T = 0
- 18) S개 RP의 중점을 최종 위치로 추정
- 19) end if
- 20) else // 순위 패턴이 일치하는 RP가 적어도 하나 있는 경우
- 21) T개 RP의 중점을 최종 위치로 추정
- 22) end else

Fig. 5.3 A preliminary cut-off scheme considering the RP with same signal similarity

본 방식의 위치 추정 과정을 Table 5.8의 실시간 정보와 Table 5.9의 축소된 핑거프린트 지도를 이용하여 구체적으로 설명한다.

**Table 5.8** Example of the received data in real-time (3)

Beacon	A	B	C	D
Peak RSSI, Rank	-80, 2	-70, 1	-85, 3	-96, 4

**Table 5.9** Example of the reduced fingerprint map (3)

RP \ BC	A	B	C	D
2	-77, 2	-73, 1	-92, 3	-97, 4
3	-85, 3	-76, 1	-82, 2	-95, 4
4	-92, 4	-84, 3	-80, 2	-75, 1

이전 방식은 Table 5.9의 RP 2, 3, 4의 중점인 RP 3을 사용자의 위치로 추정한다. 하지만 본 방식은 신호유사도가 일치하는 RP의 수를 파악하고 이를 이용하여 위치를 추정한다. 실시간 정보는 비콘 A, B, C, D로부터 각각 2, 1, 3, 4의 순위로 신호를 수신하였다. 축소된 핑거프린트 지도의 RP 2만 이 순위 패턴과 일치하였다. 따라서 순위 패턴이 일치하는 RP들의 중점으로 위치를 추정하는 본 방식은 RP 2를 위치로 추정한다.

결과적으로 동일한 비콘들의 신호를 수신한 RP들 중 동일한 순위 패턴을 가진 RP들을 추가적으로 확인하여 오차를 줄이는 효과를 보인다.

## 5.4 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식

5.3절에서 소개된 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 방식은 최인접 이웃으로 선정된 RP들 가운데 상대적인 순위의 유사도가 일치하는 RP가 다수인 경우에 오차가 커진다. Fig. 5.3의 과정 20)은 T가 1 이상인 경우로, T개 RP의 중점을 사용자의 위치로 추정한다. 여기서 중점이 실제 사용자의 위치에 부합되지 않아 전체적인 정확도가 저하되는 문제점을 보인다. 이 문제점을 극복하고 정확도를 더욱 높이기 위해 최인접 이웃으로 선정된 RP들의 RSSI의 최대값에 대한 가중치를 부여하여 가중치가 높은 RP에 가깝게 위치를 추정하는 방식을 본 절에서 소개한다[29].

최대 RSSI간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 방식은 위에서 언급된 경우뿐만 아니라 Fig. 5.3의 과정 17), 즉 T가 0인 경우에도 활용된다. T가 0인 경우에도 S개 RP에 대하여 각각 가중치를 부여하여 가중치가 큰 RP에 가깝게 사용자의 위치를 추정하여 정확도를 향상시킨다. T개 RP의 유사도가 각각  $S_1, S_2, \dots, S_t$  일 때, 사용자 위치  $P(x, y)$ 는 식 (5.5)와 식 (5.6)을 이용하여 추정된다.

$$P_x = \frac{\sum_{n=1}^t (S_{(t-n+1)} \times RP_n \cdot x)}{\sum_{m=1}^t S_m} = \sum_{i=1}^t (W_{(t-i+1)} \times RP_i \cdot x) \quad (5.5)$$

$$P_y = \frac{\sum_{n=1}^t (S_{(t-n+1)} \times RP_n \cdot y)}{\sum_{m=1}^t S_m} = \sum_{i=1}^t (W_{(t-i+1)} \times RP_i \cdot y) \quad (5.6)$$

아래의 Table 5.10 ~ 5.12는 식 (5.5)와 식 (5.6)을 이용하여 위치를 추정하는 과정에 대한 예시이다. Table 5.10은 실시간으로 수신한 정보를, Table 5.11은 축소된 핑거프린트 지도에서 T가 3인 경우를 보여준다.

**Table 5.10** Example of the received data in real-time (4)

Beacon	A	B	C	D
Peak RSSI, Rank	-80, 2	-70, 1	-85, 3	-96, 4

**Table 5.11** Example of the reduced fingerprint map (4)

RP \ BC	A	B	C	D
2	-77, 2	-73, 1	-92, 3	-97, 4
3	-82, 2	-76, 1	-83, 3	-95, 4
4	-83, 2	-74, 1	-84, 3	-92, 4

Table 5.12는 Table 5.10과 5.11을 이용하여 계산된 유사도와 가중치를 보여준다. 먼저 각 RP의 비콘 A, B, C, D에 대한 유사도를 계산하고 모두 합한다. 각 RP의 가중치는 해당 RP의 유사도를 모든 RP의 유사도 합으로 나눈 값이다. Table 5.12의 가중치를 이용하여 사용자의 위치  $P(x, y)$ 는 식 (5.7)과 식 (5.8)과 같이 추정된다.

**Table 5.12** Example of the similarity and weight of peaks of RSSI

RP \ BC	A	B	C	D	Similarity	Weight
2	3	3	7	1	14	0.38
3	2	6	2	1	11	0.3
4	3	4	1	4	12	0.32

$$\begin{aligned}
P_x &= \frac{(S_4 \times RP_2 \cdot x) + (S_3 \times RP_3 \cdot x) + (S_2 \times RP_4 \cdot x)}{S_2 + S_3 + S_4} \\
&= \frac{(12 \times RP_2 \cdot x) + (11 \times RP_3 \cdot x) + (14 \times RP_4 \cdot x)}{14 + 11 + 12} \\
&= (0.32 \times RP_2 \cdot x) + (0.3 \times RP_3 \cdot x) + (0.38 \times RP_4 \cdot x)
\end{aligned} \tag{5.7}$$

$$\begin{aligned}
P_y &= \frac{(S_4 \times RP_2 \cdot y) + (S_3 \times RP_3 \cdot y) + (S_2 \times RP_4 \cdot y)}{S_2 + S_3 + S_4} \\
&= \frac{(12 \times RP_2 \cdot y) + (11 \times RP_3 \cdot y) + (14 \times RP_4 \cdot y)}{14 + 11 + 12} \\
&= (0.32 \times RP_2 \cdot y) + (0.3 \times RP_3 \cdot y) + (0.38 \times RP_4 \cdot y)
\end{aligned} \tag{5.8}$$

아래의 Fig. 5.4는 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치 부여 사전 컷-오프 방식의 알고리즘이다. 이 방식은 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 방식의 알고리즘인 Fig. 5.3의 과정 16)까지는 동일하다.

- 1) Fig. 5.3의 과정 1) ~ 16)과 동일
- 2) if T = 0
- 3) T = S
- 4) end if
- 5) else // 순위 패턴이 일치하는 RP가 적어도 하나 있는 경우
- 6) T개 RP의 RSSI 최대값과 실시간 정보의 RSSI 최대값 간의 유사도를 계산한다.
- 7) 과정 6)의 유사도를 이용하여 T개 RP의 가중치를 각각 계산한다.
- 8) T개 RP의 가중치가 적용된 점을 사용자 위치로 추정한다.
- 9) end else

**Fig. 5.4** A weighted preliminary cut-off scheme based on similarity between peaks of RSSI

## 제 6 장 실험 및 성능 평가

### 6.1 사전 컷-오프 방식

#### 6.1.1 실험 환경 및 구성

사전 컷-오프 실내 위치 추정 방식은 기존 KNN 알고리즘의 추정 시간과 정확도 측면을 개선한 방식이다. 실험 환경, 비콘과 RP의 수, 그리고 비콘과 RP의 간격을 다르게 설정한 2가지의 실험을 통해 KNN 알고리즘, Cluster KNN 방식, 그리고 Rank Based Fingerprint(RBF) 방식과 추정시간 및 정확도에 대해 비교하였다. 2가지의 실험 환경은 다음과 같다. 첫 번째 실험 환경은 꺾이는 부분이 없는 일자형 복도에 5개의 비콘을 6m 간격으로, 10개의 RP를 2m 간격으로 배치하였다. 그리고 두 번째 실험 환경은 꺾이는 부분이 있는 니자형 복도에 7개의 비콘을 13m 간격으로, 17개의 RP를 6.5m 간격으로 배치하였다. Fig. 6.1과 Fig. 6.2는 두 실험 환경을 각각 보여준다. Fig. 6.1과 Fig. 6.2에서 기호 ◎은 건물 내의 방을, 기호 ■은 비콘을, 숫자는 RP 번호를 나타낸다.

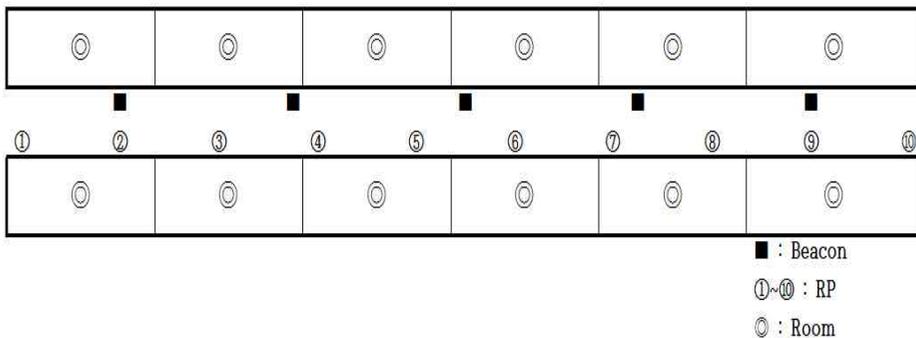


Fig. 6.1 The first experiment environment : straight corridor

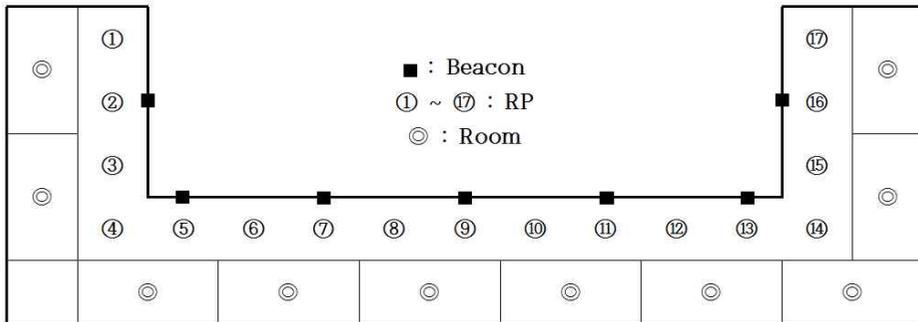


Fig. 6.2 The second experiment environment : U-shaped corridor

### 6.1.2 실험 결과

Fig. 6.3과 Fig. 6.4는 첫 번째 실험 환경에서 4가지 방식의 정확도를 CDF(Cumulative Distribution Function) 함수를 이용하여 표현한 그래프와 추정 시간을 표현한 그래프이다. CDF 그래프는 가로축의 값이 발생할 확률을 누적하여 표현한 그래프이다. 가로축은 사용자의 실제 위치와 추정된 위치 사이의 오차를 뜻한다.

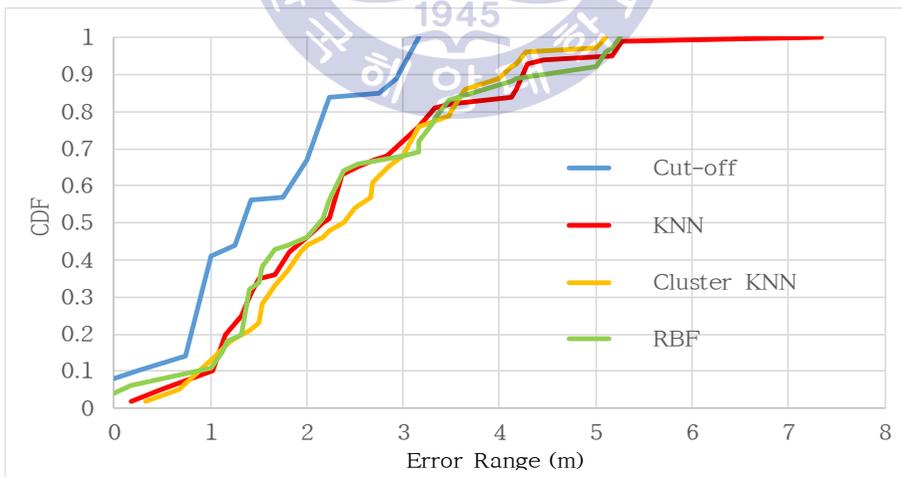
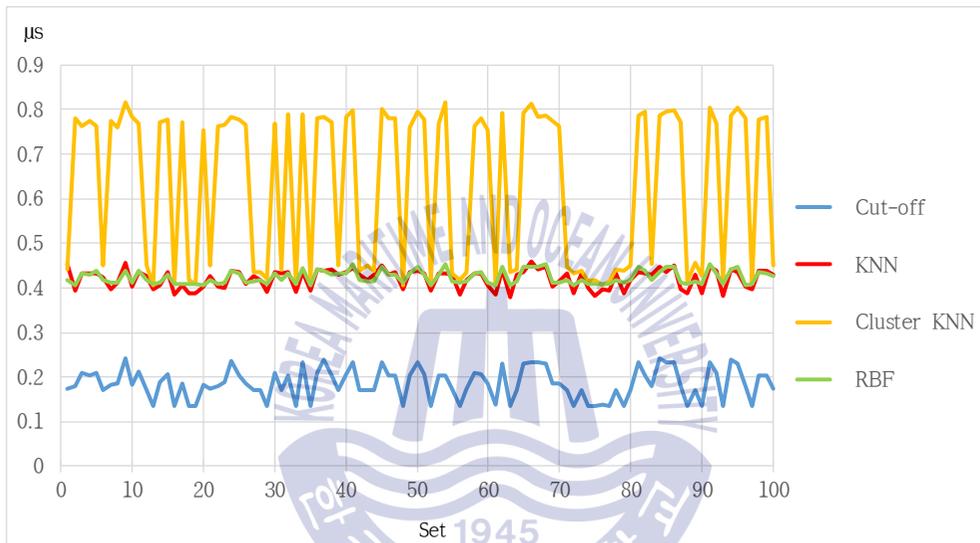


Fig. 6.3 Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme in the straight corridor environment

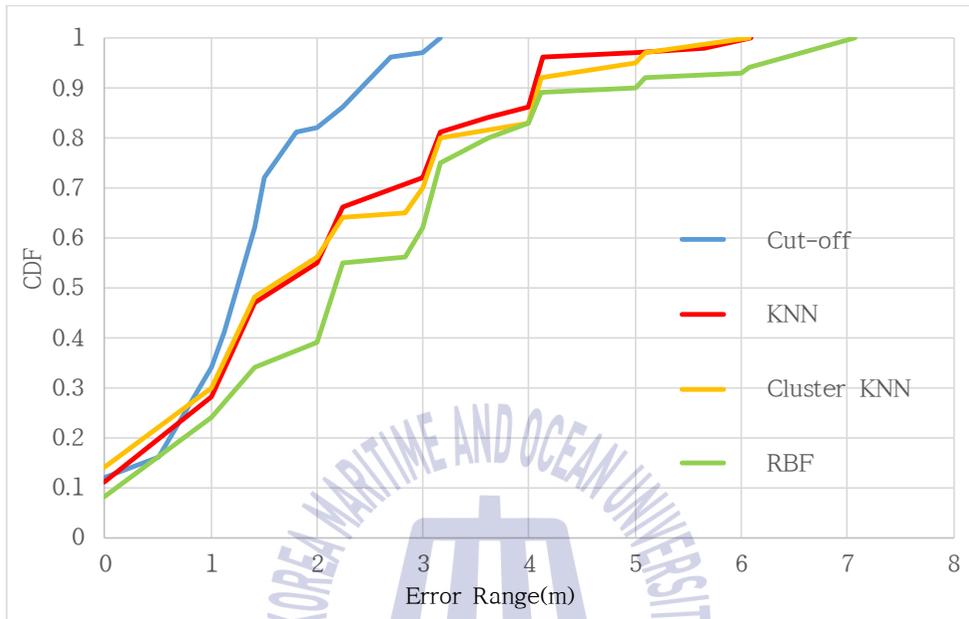
일자형 복도의 실험 환경에서 정확도를 표현한 Fig. 6.3에서 사전 컷-오프 방식은 오차 범위 3m에서 0.92, 즉 92%의 정확도를 가진다. 반면에 KNN 알고리즘, RBF를 이용한 방식, Cluster KNN 방식은 오차범위 3m에서 각각 0.72, 0.68, 0.68, 즉 72%, 68%, 68%의 정확도를 가진다. 그리고 사전 컷-오프 방식의 최대 오차는 3.2m인 반면에 KNN 알고리즘, RBF를 이용한 방식, Cluster KNN 방식은 각각 7.3m, 5.3m, 5.1m이다.



**Fig. 6.4** Estimated time comparison of the preliminary cut-off scheme in the straight corridor environment

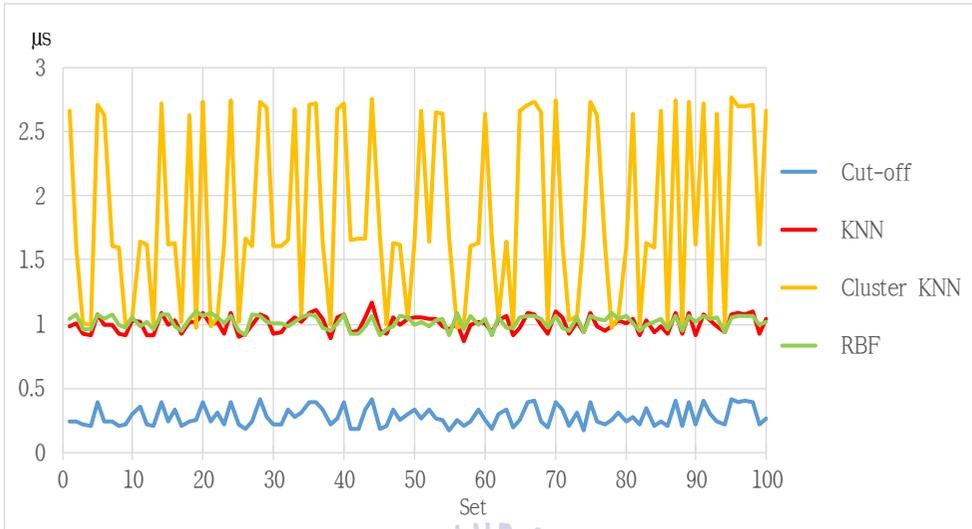
일자형 복도의 실험 환경에서 100set 시도 하였을 때, KNN 알고리즘은 평균 0.42 $\mu\text{s}$ , RBF를 이용한 방식은 평균 0.42 $\mu\text{s}$ , Cluster KNN 방식은 평균 0.63 $\mu\text{s}$ , 그리고 사전 컷-오프 방식은 평균 0.18 $\mu\text{s}$ 의 시간이 소요되었다. 1set는 100번 실행을 의미하기 때문에 결과적으로 4개 방식을 한 번 시도하였을 때 소요되는 시간은 각각 4.2ns, 4.2ns, 6.3ns, 1.8ns이다.

Fig. 6.5와 Fig. 6.6은 두 번째 실험 환경에서 4가지 방식의 정확도와 추정 시간을 표현한 그래프이다.



**Fig. 6.5** Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment

U자형 복도의 실험 환경에서 정확도를 표현한 Fig. 6.5에서 사전 컷-오프 방식은 오차 범위 3m에서 97%의 정확도를 가진다. 반면에 KNN 알고리즘, RBF를 이용한 방식, Cluster KNN 방식은 오차범위 3m에서 각각 72%, 62%, 70%의 정확도를 가진다. 그리고 사전 컷-오프 방식의 최대 오차는 3.2m인 반면에 KNN 알고리즘, RBF를 이용한 방식, Cluster KNN 방식은 각각 6.1m, 7.1m, 6.1m이다. 이 실험 환경에서 RBF를 이용한 방식의 정확도가 나머지 방식에 비해 정확도가 낮은 이유는 실험 환경에서 복도의 양 끝과 코너 부분에서 최인접 이웃으로 선정된 K개의 RP가 형성하는 예상 지역이 매우 커지기 때문이다.



**Fig. 6.6** Estimated time comparison of the preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment

U자형 복도의 실험 환경에서 KNN 알고리즘, RBF를 이용한 방식, Cluster KNN 방식, 그리고 사전 컷-오프 방식의 평균 추정 시간은 각각 10ns, 10ns, 18.5ns, 3ns이다.

위의 그래프들을 통해 사전 컷-오프 방식이 다른 3가지 방식에 비해 더 정확하고 빠르게 위치를 추정할 수 있음을 확인하였다.

## 6.2 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식

### 6.2.1 실험 환경 및 구성

이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식의 추정 시간과 정확도에 대한 성능을 평가하기 위해 2가지 실험 환경에서 KNN 알고리즘, Cluster KNN 방식, 그리고 기존 사전 컷-오프 방식을 실험을 통해 비교하였다. 첫 번째 실험 환경은 Fig. 6.2와 동일한 환경이다. 두 번째 실험 환경은 Fig. 6.7에서 표현한 실제 선박을 모델링한 실험 환경이다.

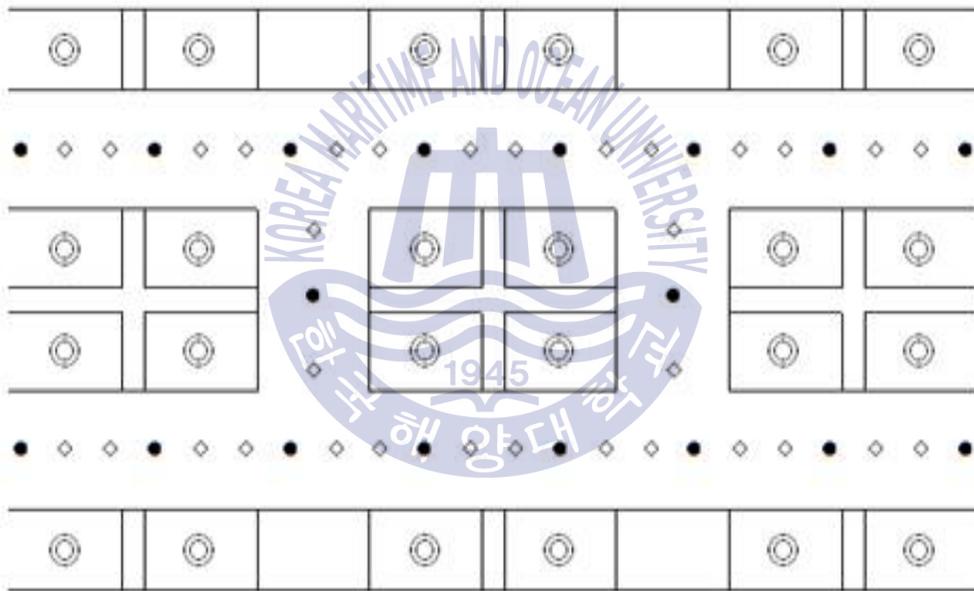


Fig. 6.7 An in-ship experiment environment

Fig. 6.7에서 기호 ◎은 선실을, 기호 ●은 비콘을, 기호 ◇은 RP를 나타낸다. 이 실험 환경에서 비콘 간의 간격은 10m이고 RP 간의 간격은 2m이다. 가로 86m, 세로 22m의 크기로 구성된 사다리모양의 실험 환경에서 가상으로 실험하였다.

### 6.2.2 실험 결과

기존 사전 컷-오프 방식을 제외한 모든 방식은 항상 사용자의 위치를 추정할 수 있다. 기존 사전 컷-오프 방식이 사용자의 위치를 추정하지 못하는 경우는 다음과 같은 상황에서 발생하였다. Table 6.1은 Fig. 6.2 환경에서 구성된 핑거프린트 지도를, Table 6.2는 실시간으로 수신한 정보를 각각 보여준다.

**Table 6.1** A fingerprint map which constructed in the first experiment environment

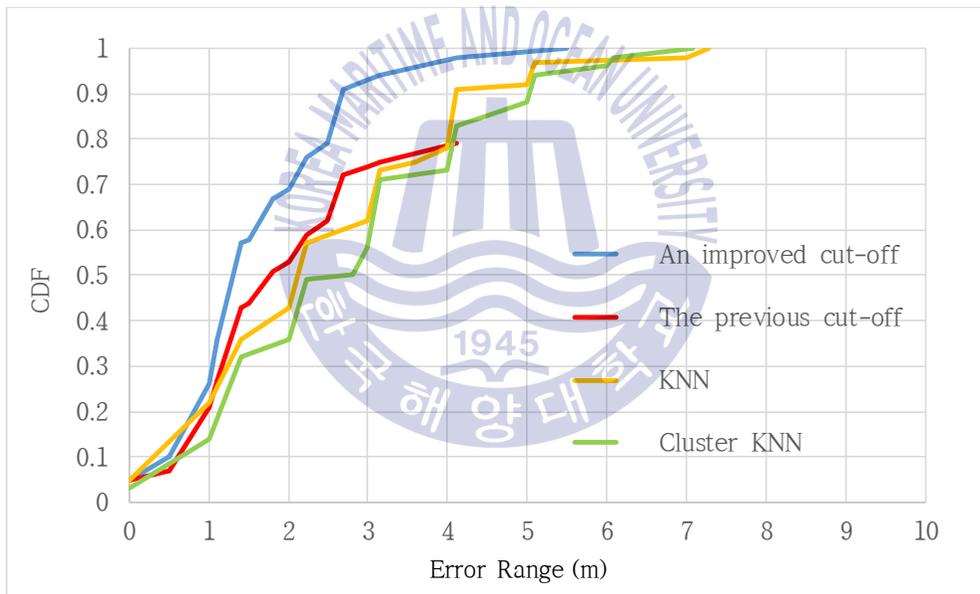
RP \ BC	A	B	C	D	E	F	G
1	-91, 1	-95, 2					
2	-77, 1	-94, 2					
3	-93, 2	-88, 1					
4	-98, 2	-75, 1	-99, 3				
5		-90, 1	-97, 2				
6		-96, 3	-90, 1	-94, 2			
7		-102, 3	-81, 1	-100, 2			
8			-95, 2	-88, 1	-97, 3		
9			-101, 3	-77, 1	-98, 2		
10				-90, 1	-94, 2		
11				-93, 2	-78, 1	-96, 3	
12				-97, 3	-91, 1	-94, 2	
13					-95, 2	-72, 1	-97, 3
14				-102, 3		-84, 1	-95, 2
15						-94, 2	-87, 1
16						-94, 2	-72, 1
17							-91, 1

**Table 6.2** RSSI of beacon signal received by a user's device

Beacon	A	B	C	D	E	F	G
RSSI, Rank		-92, 3	-83, 1	-90, 2	-103, 4		

임의의 위치에서 사용자가 Table 6.2와 같은 정보를 수신한 경우, Table 6.1의 핑거프린트 지도와 비교하였을 때 이웃 참조 위치가 없기 때문에 기존 사전 컷-오프 방식은 위치를 추정할 수가 없다. 하지만 실시간 수신 정보에서 RSSI가 가장 작은 비콘인 E를 소거하면 핑거프린트 지도의 RP 6, 7이 이웃 참조 위치로 결정되고 이후에 위치 추정 작업을 계속 이어 나갈 수 있다.

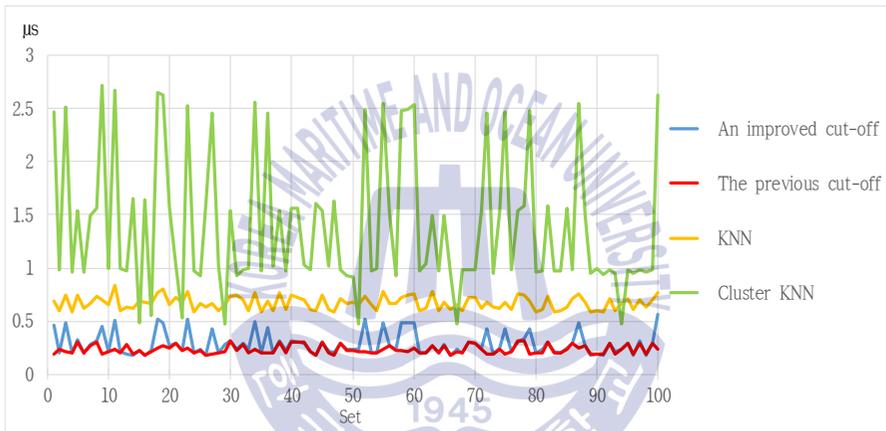
Fig. 6.8과 Fig. 6.9는 첫 번째 실험 환경에서 4가지 방식의 정확도와 추정 시간을 각각 보여주는 그래프이다.



**Fig. 6.8** Accuracy comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment

Fig. 6.8에서 이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식은 오차 범위 2m에서 약 70%의 정확도를 보인다. 반면에 기존 방식은 약 53%의 정확도를 보인다. 약 17%의 정확도가 차이나는 이유는 그 수치만큼 이웃하는

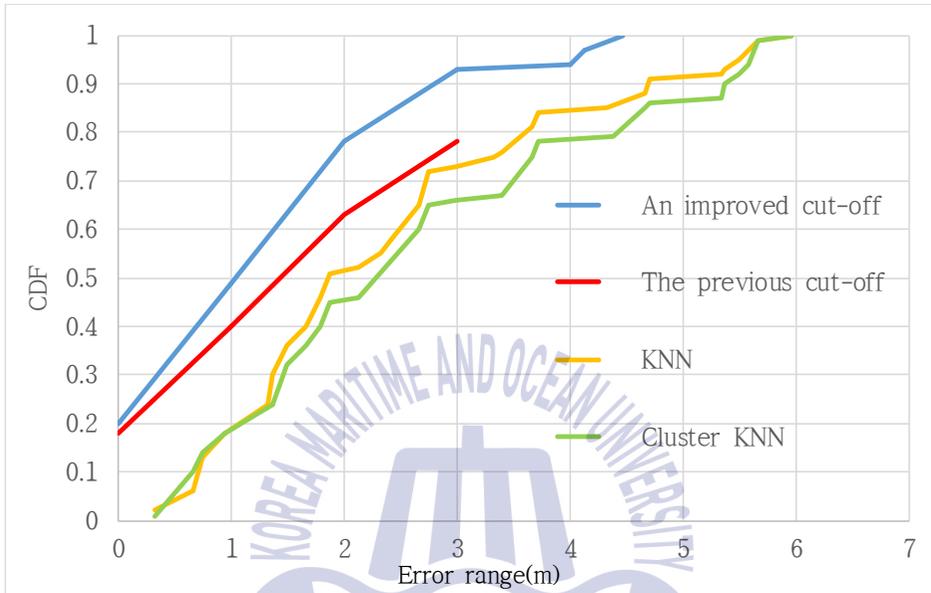
RP를 못 찾아서 위치 추정이 불가능하였기 때문이다. KNN 알고리즘은 약 42%, Cluster KNN 방식은 약 35%의 정확도를 보인다. 이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식의 최대 오차는 약 5.5m인 반면에 KNN 알고리즘과 Cluster KNN 방식의 최대 오차는 각각 약 7m이다. 기존 방식은 약 4.1m의 오차 범위 내에서 약 79%의 정확도를 보인 후 그래프에 나타나지 않는다. 그 이유는 약 21%에 해당하는 경우가 이웃 RP들을 선정하지 못하였기 때문이다. 따라서 위치 추정이 불가하여 나타내지 못하였다.



**Fig. 6.9** Estimated time comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the U-shaped corridor environment

이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식의 평균 추정 시간은 약 29ns 이고 기존 방식, KNN 알고리즘, 그리고 Cluster KNN 방식의 평균 추정 시간은 약 23ns, 67ns, 139ns이다. 개선된 방식이 기존 방식보다 긴 추정 시간이 소요되는 이유는 가장 낮은 RSSI의 비콘을 소거하는 작업이 추가되었기 때문이다. 기존 방식에 비해 추정 시간이 조금 길지만 정확도는 약 17% 개선되었다.

Fig. 6.10과 Fig. 6.11은 두 번째 실험 환경인 Fig. 6.7에서 4가지 방식의 정확도와 추정 시간을 각각 보여주는 그래프이다.



**Fig. 6.10** Accuracy comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the in-ship environment

Fig. 6.10에서 이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식은 오차 범위 2m에서 약 78%의 정확도를 보인다. 반면에 기존 방식은 약 63%, KNN 알고리즘은 약 51%, 그리고 Cluster KNN 방식은 약 47%의 정확도를 보인다. 기존 방식의 그래프는 전체 위치 추정 실험 중 약 79%만 추정할 수 있었다. 이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식의 최대 오차는 약 4.47m인 반면에 KNN 알고리즘과 Cluster KNN 방식의 최대 오차는 각각 약 6m이다.



**Fig. 6.11** Estimated time comparison of the improved preliminary cut-off scheme in the in-ship environment

이웃 참조 위치가 없는 사전 컷-오프 방식의 평균 추정 시간은 약 82ns 이고 기존 방식, KNN 알고리즘, 그리고 Cluster KNN 방식의 평균 추정 시간은 약 67ns, 200ns, 504ns이다. 두 번째 실험 환경에서도 기존 방식에 비해 추정 시간은 조금 길지만 정확도는 약 15% 개선되었다.

## 6.3 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식

### 6.3.1 실험 환경 및 구성

신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식의 정확도에 대한 성능을 평가하기 위한 실험은 실제 우리 대학교 건물 3층의 일부분에서 진행되었다. Fig. 6.12는 실험 환경으로 보여준다. Fig. 6.12에서 ① ~ ⑭은 비콘 번호를, ① ~ ⑳은 RP 번호를, ❶ ~ ❿은 임의의 사용자 위치를 의미한다. 임의의 사용자 위치는 실제 위치 추정을 위한 임의로 선택한 위치로, 이 위치와 추정된 위치 간의 거리를 오차로 계산한다. 실험 환경에서 비콘 간의 거리는 10m, RP 간의 거리는 5m이다.

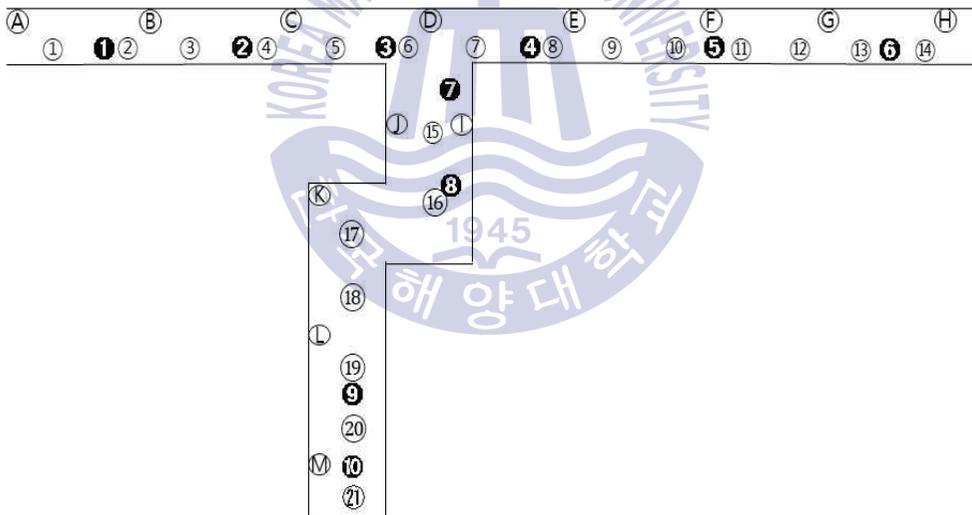


Fig. 6.12 Experiment environment and arbitrary user location to be estimated

### 6.3.2 실험 결과

Table 6.3은 Fig. 6.12의 환경에서 구성된 핑거프린트 지도이다. 이 핑거프린트 지도는 4장의 연구를 바탕으로 구성되었다. 각 열은 RP 번호를, 각 행은 비콘의 정보를 의미한다. 따라서 Table 6.3은 각 RP에서 수신한 비콘들의 RSSI 값 중 최대값과 이 최대값들에 대한 상대적인 순위를 보여준다.

**Table 6.3** A Fingerprint map which constructed in the Fig. 6.12

BC RP	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	-74,1	-80,2	-95,3										
2	-77,2	-73,1	-92,3	-97,4									
3	-87,3	-76,1	-79,2	-95,4									
4	-100,4	-84,2	-74,1	-92,3									
5	-98,5	-96,3	-75,1	-83,2					-96,4				
6			-78,2	-73,1	-96,5				-79,3	-85,4			
7			-87,4	-74,1	-82,2				-85,3	-87,5			
8				-84,2	-74,1	-92,3		-97,5		-93,4			
9				-94,5	-79,1	-81,2	-91,3	-92,4					
10				-97,5	-84,2	-74,1	-91,4	-90,3					
11					-93,4	-83,1	-71,2	-86,3					
12					-95,4	-83,2	-71,1	-86,3					
13					-97,4	-90,3	-75,1	-81,2					
14						-92,3	-83,2	-73,1					
15				-83,3					-68,1	-77,2		-97,4	-97,5
16				-92,4					-82,1	-83,2	-91,3	-98,5	
17									-96,4	-97,5	-76,1	-82,2	-88,3
18									-92,4		-84,2	-75,1	-90,3
19									-98,4		-93,3	-76,1	-80,2
20											-96,3	-86,2	-73,1
21											-98,3	-90,2	-75,1

Fig. 6.13은 이전 방식인 이웃 참조 위치가 없는 경우를 개선한 사전 컷-오프 방식과 정확도 측면을 비교한 그래프이다. 그래프의 가로축은 임의의 사용자 위치를 나타내고 세로축은 임의의 사용자 위치 10곳에서 각 10번씩 추정을 시도하였을 때, 추정된 위치 간의 평균 오차를 보여준다.

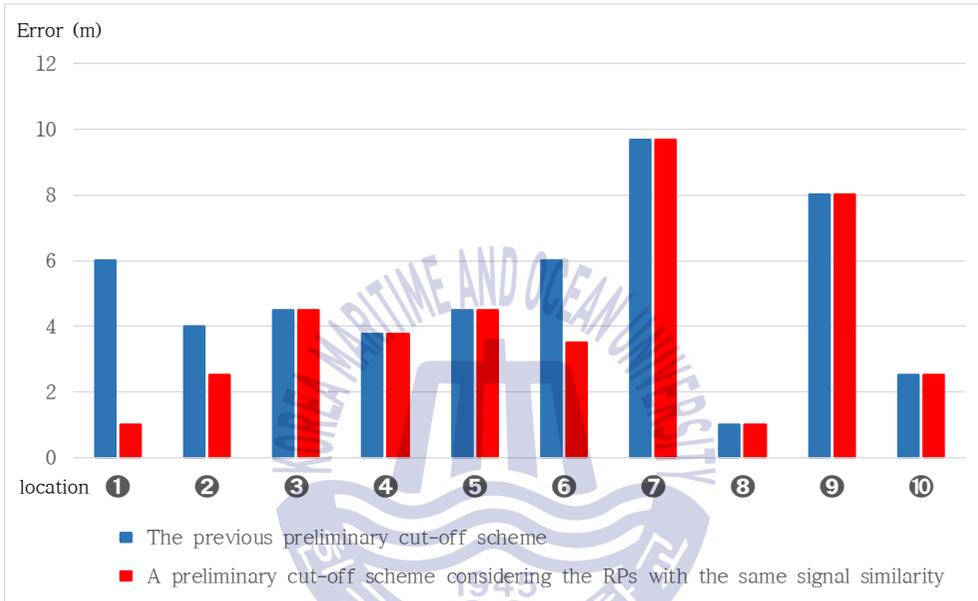


Fig. 6.13 Accuracy comparison of the preliminary cut-off scheme considering the RP with the same signal similarity in the Fig. 6.12

모든 임의의 사용자 위치에 대해서 기존 방식의 평균 오차는 약 4.75m 이고 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식의 평균 오차는 약 3.8m이다. 각 위치별로 기존 방식보다 오차가 개선된 위치와 동일한 위치로 나눌 수 있다. 먼저, 임의의 사용자 위치 ①, ②, ⑥은 기존 방식보다 평균 오차가 작아졌다. 특히 사용자 위치 ①에서 상당히 개선된 것을 확인할 수 있다. 이 방식의 위치 추정 과정에 대한 이해를 돕기 위해 아래와 같이 사용자 위치 ①에서 위치를 추정하는 과정을 설명

한다. Table 6.4는 사용자 위치 ❶에서 사용자의 장치를 통해 수신한 정보를 보여준다.

**Table 6.4** The received data at a random user location of ❶

Beacon	A	B	C	D
Rank	2	1	3	4

Table 6.5는 Table 6.3의 핑거프린트 지도에서 Table 6.4의 정보를 바탕으로 축소시킨 축소된 핑거프린트 지도를 보여준다.

**Table 6.5** The reduced fingerprint map for the user location of ❶

BC \ RP	A	B	C	D
2	2	1	3	4
3	3	1	2	4
4	4	2	1	3

사용자 위치 ❶에서 기존 방식은 Table 6.5의 RP 2, 3, 4의 중점으로 위치를 추정한다. RP 간의 거리는 5m로 일정하기 때문에 세 RP의 중점은 RP 3의 좌표가 된다. 하지만 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 사전 컷-오프 방식은 Table 6.5의 각 RP에 대해서 유사도를 계산한다. 유사도 계산 결과, RP 2, 3, 4에 대한 유사도는 각각 0, 2, 6이다. 유사도가 0인 RP는 1개이고 그 RP는 2다. 따라서 이 방식은 RP 2를 사용자 위치로 추정한다. 실제로 Fig. 6.12를 통해 사용자 위치 ❶과 가장 근접한 RP는 RP 2임을 확인할 수 있다.

사용자 위치 ①, ②, ⑥을 제외한 나머지 위치는 기존 방식과 동일한 평균 오차를 보인다. 두 방식이 동일한 평균 오차를 보이는 경우는 2가지이다. 첫 번째는 축소된 핑거프린트 지도의 RP 수가 1개인 경우이다. 두 번째는 축소된 핑거프린트 지도의 모든 RP에 대한 유사도가 0인 경우이다. 이 2가지 경우에는 신호유사도가 일치하는 RP를 고려한 사전 컷-오프 방식이 기존 방식과 동일한 과정으로 위치를 추정하기 때문에 평균 오차가 동일하다. 결과적으로 신호유사도가 일치하는 RP를 고려한 사전 컷-오프 방식이 기존 방식에 비해 약 20%의 정확도가 향상되었다.



## 6.4 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식

### 6.4.1 실험 환경 및 구성

최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식의 정확도에 대한 성능을 평가하기 위해 이전 방식인 신호유사도가 일치하는 참조 위치를 고려한 방식과 비교 실험하였다. 실험 환경은 Fig. 6.12와 동일하고 실험 방법 또한 동일하다.

### 6.4.2 실험 결과

이 실험 환경에서 구성된 핑거프린트 지도는 Table. 6.3과 동일하다. 아래의 Fig. 6.14는 이전 방식과 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식에 대한 정확도를 보여주는 그래프이다.

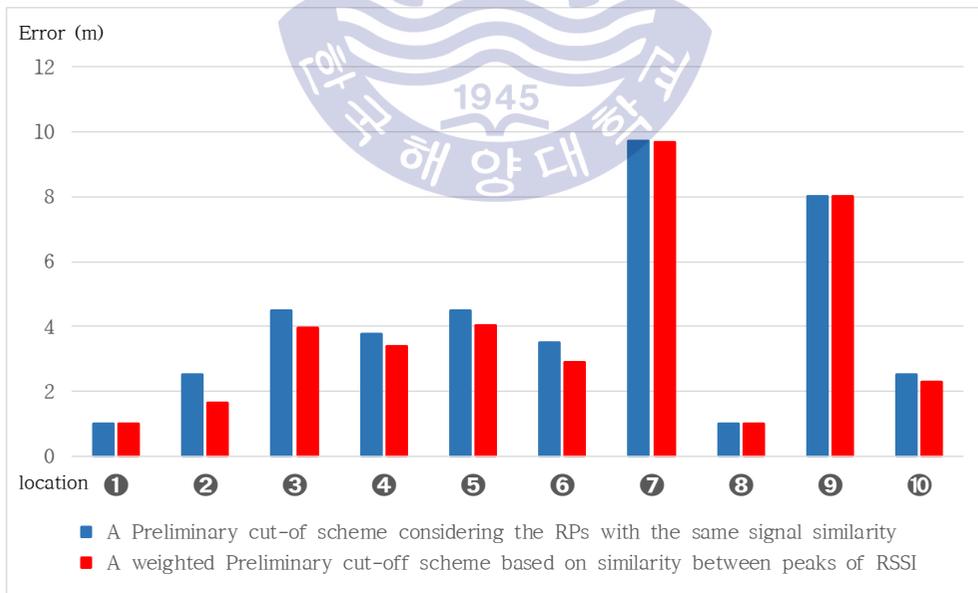


Fig. 6.14 Accuracy comparison of the weighted preliminary cut-off scheme based on similarity between peaks of RSSI in the Fig. 6.12

임의의 사용자 위치 10곳 중에 ② ~ ⑥, 그리고 ⑩ 위치에서 이전 방식에 비해 오차가 개선되었음을 Fig. 6.14를 통해 확인할 수 있다. ② ~ ⑥ 위치에서 T는 0이고, ⑩ 위치에서 T는 2이다. 이전 방식은 T가 0일 때 S개 RP의 중점을 사용자 위치로 추정하고 T가 2일 때 T개 RP의 중점으로 추정한다. 하지만 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식은 중점이 아니라 가중치가 적용된 지점을 사용자 위치로 추정하기 때문에 오차가 개선되었다.

다음은 정확도가 개선된 곳 가운데 임의의 사용자 위치 ②에서 위치를 추정하는 과정을 구체적으로 설명한다. Table 6.6은 임의의 사용자 위치 ②에서 사용자의 장비를 통해 수신된 정보이다. 그리고 Table 6.7은 이 위치에서 Table 6.6을 바탕으로 축소된 핑거프린트 지도이다. 축소된 핑거프린트 지도의 RP 수(S)는 3이고, 순위의 유사도가 0인 RP 수(T)는 0이다.

**Table 6.6** The received data at a random user location of ②

Beacon	A	B	C	D
Peak RSSI, Rank	-99, 4	-92, 3	-74, 1	-75,

**Table 6.7** The reduced fingerprint map for the user location of ②

RP \ BC	A	B	C	D
2	-77, 2	-73, 1	-92, 3	-97, 4
3	-87, 3	-76, 1	-79, 2	-95, 4
4	-100, 4	-84, 2	-74, 1	-92, 3

Table 6.8은 축소된 핑거프린트 지도의 각 RP에 최대 RSSI 간의 유사도와 가중치를 계산하고 부여한 표이다. 그리고 식 (6.1)과 (6.2)는 임의의 사용자 위치 ②에서 식 (5.2)와 (5.3)을 이용하여 사용자의 위치를 추정하는 계산 과정을 보여준다. 실험 환경의 RP 2, 3, 4의 좌표는 각각 (8, 1), (13, 1), (18, 1)이다. 각 RP의 좌표 값을 계산 과정에 대입하여 사용자 위치  $P(x, y)$ 를 추정한다.

**Table 6.8** Similarity and weight of the peaks at the location of ②

BC RP	A	B	C	D	Similarity	Weight
2	22	19	18	22	81	0.51
3	12	16	5	20	53	0.33
4	1	8	0	17	26	0.16

$$P_x = \frac{(26 \times 8) + (53 \times 13) + (81 \times 18)}{81 + 53 + 26} = 14.7 \quad (6.1)$$

$$P_y = \frac{(26 \times 1) + (53 \times 1) + (81 \times 1)}{81 + 53 + 26} = 1 \quad (6.2)$$

임의의 사용자 위치 ②의 좌표는 (17, 1)이고, 식 (6.1)과 (6.2)를 통해 추정된 위치의 좌표는 (14.7, 1)이다. 하지만 이전 방식은 RP 2, 3, 4의 중점으로 추정하기 때문에 RP 3의 좌표인 (13, 1)을 사용자 위치로 추정한다. 따라서 이 경우에 이전 방식은 4m의 오차를, 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식은 2.3m의 오차를 보인다. 결과적으로 임의의 사용자 위치 ②에서 약 1.7m의 오차가 개선되었다. 전체적으로 실험 환경의 임의의 위치 10곳에 대해서 이전 방식의 평균 오차는 약 4.1m이고, 가중치를 부여한 방식의 평균 오차는 약 3.8m로 평균적으로 약 7.9% 향상되었다.

Fig. 6.15는 KNN 알고리즘, 사전 컷-오프 방식의 초기 버전, 그리고 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치 부여 사전 컷-오프 방식의 정확도를 비교한 그래프이다. 실험 환경은 Fig. 6.12와 동일하고, KNN 알고리즘에 대한 핑거프린트 지도는 기존 방식으로 구성된 핑거프린트 지도를 이용하였다. 그리고 사전 컷-오프 방식 2가지 버전은 컷-오프 핑거프린트 지도를 이용하였다.

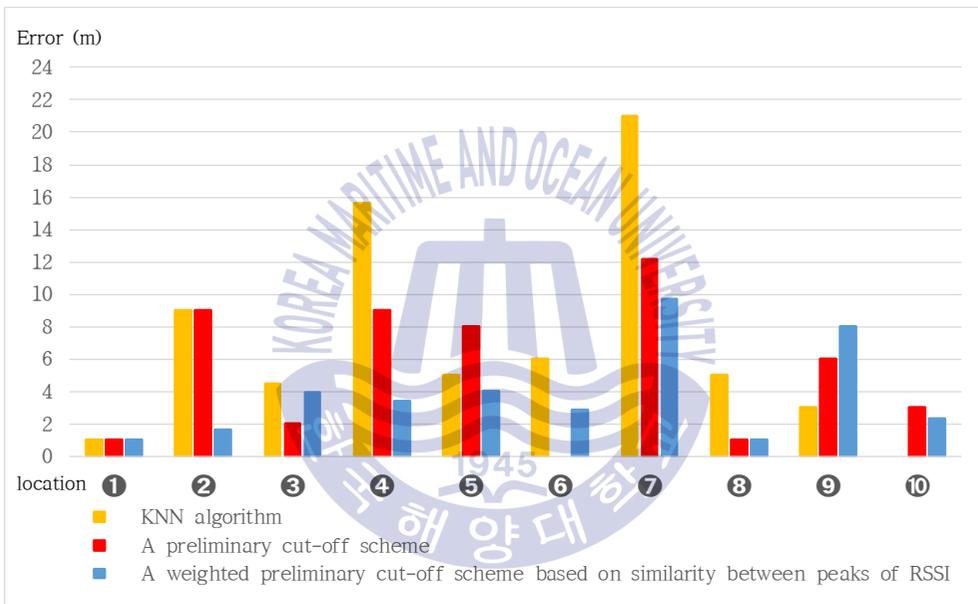


Fig. 6.15 Accuracy comparison of three schemes

Fig. 6.12 환경에서 KNN 알고리즘의 평균 오차는 약 7.02m, 사전 컷-오프 방식의 초기 버전은 약 5.69m, 그리고 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식은 약 3.8m이다. 최대 RSSI 간의 유사도를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식의 정확도는 임의의 위치 10곳에 대해서 KNN 알고리즘에 비해 약 46%, 사전 컷-오프 방식의 초기 버전에 비해 약 34% 개선되었다.

## 제 7 장 결 론

본 논문은 핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식 중 가장 대표적인 KNN 알고리즘의 정확도와 추정 시간을 개선시킨 사전 컷-오프 방식의 성능에 대해 소개하였다. 사전 컷-오프 방식은 실시간으로 수신한 신호 세기와 핑거프린트 지도의 모든 RP에 저장된 신호 세기를 비교하는 KNN 알고리즘과 다르게, 실시간으로 수신한 정보를 토대로 비교할 핑거프린트 지도의 범위를 축소시킨 후 축소된 핑거프린트 지도의 RP와 비교하여 위치를 추정한다. 그리고 비교 대상은 RSSI 값 자체가 아닌 RSSI들 중 최대값의 상대적인 순위를 이용하기 때문에 신호의 불안정성과 가변성을 완화시키는 효과를 보인다. 축소된 핑거프린트 지도의 RP들은 사용자가 위치할 것으로 예상되는 지역을 형성한다. 사용자의 예상 지역 외의 RP들은 비교 대상에서 모두 제외하여 정확도를 향상시킨다.

실내 위치 추정 정확도를 향상시키기 위해 비콘과 참조 위치의 배치 관계, 효율적인 핑거프린트 지도를 구성하는 방식, 그리고 위치 추정 알고리즘에 대해 지속적으로 연구하였다.

핑거프린트 지도를 이용한 실내 위치 추정 방식은 위치 추정 알고리즘 뿐만 아니라 핑거프린트 지도도 정확도에 영향을 준다. 더 나아가 AP와 참조 위치의 위치도 정확도에 영향을 줄 수 있다. 따라서 정확도를 향상시키기 위해서 위치 추정 알고리즘에 관한 연구뿐만 아니라 핑거프린트 지도를 구성하는 방식과 AP와 참조 위치 간의 관계 및 위치 선정에 관한 연구도 필요하다.

위치 추정 정확도를 평가하기 위한 실험을 통해 최대 RSSI 간의 유사도

를 기반으로 한 가중치를 부여한 사전 컷-오프 방식의 정확도는 KNN 알고리즘과 사전 컷-오프 방식의 초기 버전에 비해 각각 약 46%, 34% 개선되었음을 확인하였다.

RSSI는 벽이나 기둥과 같은 물리적인 장애물뿐만 아니라 전자파, 온도, 습도, 바람 등과 같은 환경요인으로 인한 변동도 매우 크다. 이러한 RSSI의 변동은 위치 추정에 있어 악영향을 줄 수 있기 때문에 실내 환경의 여러 가지 요인을 최소화하는 연구가 반드시 필요하다.



## 참고문헌

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, 2007. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 37(6), pp.1067-1080.
- [2] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, 2009. A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(1), pp.13-32
- [3] J.W. Kim, H.J. Jang, D.H. Hwang, and C.S. Park, 2004. A Step, Stride and Heading Determination for the Pedestrian Navigation System. *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), pp.273-279
- [4] O. Woodman and R. Harle, 2008. Pedestrian Localisation for Indoor Environments. *UbiComp' 08, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International conference on Ubiquitous computing*. Seoul, Korea, September 21-24, 2008, pp.114-123.
- [5] F. Li, C. Zhao, G. Ding, J. Gong, C. Liu, and F. Zhao, 2012. A Reliable and Accurate Indoor Localization Method Using Phone Inertial Sensors. *UbiComp' 12, Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous computing*. Pittsburgh, USA, September 5-8, 2012, pp.421-430.
- [6] K. Subbu, C. Zhang, J. Luo, and A. Vasilakos, 2014. Analysis and Status Quo of Smartphone-Based Indoor Localization Systems. *IEEE Wireless Communications*, 21(4), pp.106-112.

- [7] M. Horiba, E. Okamoto, T. Shinohara, and K. Matsumura, 2015. An Improved NLOS Detection Scheme Using Stochastic Characteristics for Indoor Localization. *Information Networking (ICOIN), 2015 International Conference on*. January 12-14, 2015, pp.478-482.
- [8] 이호철, 이동명, 2011. 비컨노드의 동적배치 기반 3차원 삼각측량 알고리즘을 적용한 위치인식 시스템에 대한 연구. *한국통신학회논문지*, 36(4), pp.378-385.
- [9] 이정규, 이성로, 김성철, 2014. 수신 신호 세기를 이용한 선박용 실내 위치 추정 알고리즘 분석. *한국정보통신학회*, 39(8), pp.643-650.
- [10] S. Ravindra and SN. Jagadeesha, 2013. Time of Arrival Based Localization In Wireless Sensor Networks: A Linear Approach. *Signal & Image Processing: An International Journal(SIPIJ)*, 4(4), pp.13-28.
- [11] S. Ravindra and SN. Jagadeesha, 2015. Time of Arrival Based Localization In Wireless Sensor Networks: A Non-Linear Approach. *Signal & Image Processing: An International Journal(SIPIJ)*, 6(1), pp.45-59.
- [12] C. Yang and H.R. Shao, 2015. WiFi-Based Indoor Positioning. *IEEE Communications Magazine*, 53(3), pp.150-157.
- [13] J.M. Keller, M.R. Gray, and J.A. Givens, 1985. A Fuzzy K-Nearest-Neighbor Algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-15(4), pp.580-585.
- [14] F. Yu, M. Jiang, J. Liang, X. Qin, M. Hu, T. Peng, and X. Hu, 2014. 5G WiFi Signal-Based Indoor Localization System Using Cluster K-Nearest Neighbor Algorithm. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, pp.1-12.

- [15] J. Machaj, P. Brida, and R. Piche, 2011. Rank Based Fingerprinting Algorithm for Indoor Positioning. *Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN), 2011 International Conference on*, pp.1-6.
- [16] A. Zhang, Y. Yuan, Q. Wu, S. Zhu, and J. Deng, 2015. Wireless Localization Based on RSSI Fingerprint Feature Vector. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(11), pp.1-7
- [17] 최성욱, 박현수, 이성환, 손민현, 구용현, 박경순, 김태석, 삼각측량법과 핑거프린트 방식을 결합한 효율적인 실내 위치인식 기법. 2011. *한국정보과학회*, 38(2), pp.112-114.
- [18] Q. Chang, S. Van de Velde, W. Wang, Q. Li, H. Hou, and S. Heidi, 2015. Wi-Fi Fingerprint Positioning Updated by Pedestrian Dead Reckoning for Mobile Phone Indoor Localization. *Proceedings on China Satellite Navigation Conference(CSNC) 2015*, Vol.3, pp.729-739.
- [19] D. Kim and J. Son, 2017. Placement of Beacons and Reference Points in Indoor Positioning Schemes Using Fingerprint Maps, *Proceedings on Spring Conference of Korean Society for Internet Information*, 18(1), pp.241-242.
- [20] D. Kim and J. Son, 2017. A Method to Construct a Cut-off Fingerprint Map to Improve Accuracy in Indoor Positioning Scheme. *Journal of Korea Multimedia Society*, 20(8), pp.1330-1337.
- [21] D. Kim and J. Son, 2017. A Method to construct a Fingerprint Map by Combining Multiple Maps to Improve the Accuracy of the Indoor Localization. *Proceedings of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers (KIISE) Korea Computer Congress*, pp.412-414.

- [22] 손주영, 박병관, 김동준, 2016. 우선배제 핑거프린트 실내위치 추정에 대한 알고리즘 이론 연구. *2016년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회*, pp.161.
- [23] 김동준, 박병관, 손주영, 2016. 비콘을 활용하여 실내위치 찾는 사전 컷-오프 방식. *2016년 한국컴퓨터종합학술대회*, pp.592-594.
- [24] D. Kim, B. Park, and J. Son, 2017. A Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme Using Beacons. *KIISE Transactions on Computing Practices*, 23(2), pp.110-115.
- [25] Y. Kim, H. Shin, Y. Chon, H. Cha, 2013. Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variance problem. *Pervasive and Mobile Computing*, 9(3), pp.406-420.
- [26] B. Park, D. Kim, J. Son, and J. Choi, 2017. An Improved Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme in Case of No Neighborhood Reference Point. *Journal of Korea Multimedia Society*, 20(1), pp.74-81.
- [27] D. Kim, B. Park, and J. Son, 2016. A Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme Applied to Positioning in Vessels. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(21), pp.10497-10500.
- [28] D. Kim and J. Son, 2017. A Preliminary Cut-off Indoor Positioning Scheme considering the Reference Points with the Same Signal Similarity. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(14), pp.4735-4740.
- [29] D. Kim and J. Son, 2017. A weighted preliminary Cut-off indoor positioning scheme based on similarity between peaks of RSSI. *Journal of Korea Multimedia Society*, To be appeared.