한국통신학회논문지 '13-06 Vol.38C No.06
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.6.531

신뢰도 기반 Wi-Fi 핑거프린트 위치 추정 시스템

손 상 현◆, 박 영 준*, 김 범 준**, 백 윤 주°

Wi-Fi Fingerprint Location Estimation System Based on Reliability

Sanghyun Son◆, Youngjoon Park*, Beomjun Kim**, Yunju Baek°

요 약

Wi-Fi 기반 위치 추적 기술은 다양한 방법들이 제시되어 있으나 일반적으로 지정한 참조위치에서 측정한 신호 세기 정보를 활용하는 핑거프린트 기법을 주로 이용한다. 그러나 핑거프린트 기법이 높은 해상도와 정밀도를 가지기 위해서는 다수의 참조위치를 필요로 하지만, 다수의 정보를 위해서는 많은 비용의 소모가 발생한다. 본 논문에서는 서비스 지역을 격자로 구분하고 가상의 참조위치를 바탕으로 신호 세기 모델을 만들어서 격자의 신호 세기 정보를 예측하고 신뢰도를 부여하여 핑거프린트 맵을 생성한다. 이렇게 생성된 맵은, 위치 추정을 위해 입력된 신호 세기 리스트와 비교하여 추정하고자 하는 대상이 어떠한 격자에 있는지 비교하는데 사용한다. 제안하는 기법과 시스템의 성능을 평가하기 위해 20m × 22m의 실내 환경에서 기존의 핑거프린트 기법(RADAR)과 비교한 결과 제안하는 시스템을 이용할 때 위치 측정 에러가 감소하는 결과를 확인하였다. 그리고 실험 결과 기존의 방법에 비해 1.74미터의 에러가 감소한 것을 확인했다.

Key Words : Wi-Fi, fingerprint, reliability, RSSI modeling, locating system

ABSTRACT

Fingerprinting technique uses the radio signal strength measured reference locations is typically used, although there are many Wi-Fi based location tracking techniques. However, it needs numerous reference locations for precision and accuracy. This paper the analyzes problems of previous techniques and proposes a fingerprinting system using reliability based on a signal strength map. The system collects the signal strength data from a number of reference locations designated by the developer. And then it generates path-loss models to one of the access points for each reference location. These models calculate the predicted signal strength and reliability for a lattice. To evaluate proposed method and system performance, We perform experiments in a 20m × 22m real indoor environment installed access points. According to the result, the proposed system reduced distance error than RADAR. Comparing the existing system, it reduced about 1.74m.

Ⅰ. 서 론

최근 무선 통신 기술이 급격하게 발전함과 동시에 스마트 폰의 보급이 급증하면서 이런 응용 기술들을 기반으로 사용자들에게 편의성을 제공하는 위치 기반 서비스가 많은 관심을 받고 있다. 위치 기반 서비스에서 가장 중요한 것은 사용자의 위치를 어떤 방법으로 정밀하게 측정하는 문제이다[1].

※ 본 과제는 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행한 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.
◆ 주저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, sonsang@eslab.re.kr, 정회원
° 교신저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, yunju@pusan.ac.kr, 종신회원
* 네오랩 컨버전스 R&D 센터, yjpark@neolab.kr, 준회원
** 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실, bjkim@eslab.re.kr, 학생회원
논문번호 : KICS2013-03-155, 접수일자 : 2013년 3월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 6월 13일

일반적으로 실외 위치 기반 서비스에는 GPS를 이용한 위치 추적이 대중적으로 사용되고 있지만, GPS 위성과 통신할 수 없는 실내에서 사용할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 실내 위치 추적을 위해서는 RFID[2], Bluetooth[3], Wi-Fi와 같은 네트워크 기반 측위 기술이 사용 된다.

RFID를 기반으로 측위 시스템을 구축하는 경우, 상대적으로 높은 측위 정밀도와 낮은 거리 오차를 제공하지만, 측위를 위해 사용되는 인프라의 구축비용이 높다는 단점이 있다. Bluetooth 기반의 측위 시스템은 인프라 구축비용은 상기 기술들에 비해 저렴하지만, 신호의 통신 거리가 짧아서 안정적인 성능을 보장하기 어렵다. Wi-Fi의 경우, 신호의 통신 거리가 Bluetooth에 비해서 길고, 인프라 구축비용에서는 RFID에 비해서 비용이 저렴하고 과정이 간편하다는 장점을 가지고 있다[1,4].

Wi-Fi 기반 위치 추적 기술은 3가지 기술이 존재하며, 각각 Cell-ID, 삼각측량법, 핑거프린트(fingerprint) 기법이 있다[1,5]. Cell-ID 방식은 위치 측정 대상 주변에 가장 근접한 access point(AP)를 기준으로 현재의 위치를 추정한다. 이 방법은 구현이 단순하지만, 측위 정밀도가 높지 않다. 삼변측량법은 기본적으로 높은 위치 해상도를 제공하지만 다중경로 페이딩(multipath fading)과 같은 현상에 의해 위치 오차가 높아질 수 있다. 그리고 이 정보들을 정확히 측정할 수 있는 특수 장치가 필요하기 때문에 구축비용이 증가한다. 따라서 언급된 2가지 방법보다 핑거프린트 기법이 선호되고 있다.

핑거프린트 기법은 서비스 지역에서 미리 임의로 여러 개의 위치를 선정하고 선정한 위치에서 수집한 신호 세기 정보를 이용하여 위치를 추정하는 방법이다. 이 때 선정한 위치를 참조위치라고 부르며, 핑거프린트 기법의 측위 정밀도는 많은 수의 참조위치가 조밀하게 배치될수록 향상되는 경향이 있다. 최종 위치 결정에 거리 정보만이 영향을 주는 삼변측량법과 같은 수준의 측위 정밀도를 보이기 위해서는 사전 정보 수집 단계에서 많은 참조위치가 넓은 서비스 지역에 고루 선정되어야 한다. 문제는 참조위치에서 신호 세기 정보를 수집하는 과정은 수동적으로 이루어지므로 참조위치의 수가 증가할수록 많은 노동력과 시간 비용이 발생한다[8].

본 논문에서는 핑거프린트 기법의 성능을 높이기 위해 사전 정보 수집 단계에서 설정할 참조위치의 수를 줄이는 대신, 스코어맵(scoremap)을 활용하여 실시간 위치 추적 단계에서 측위 정밀도를 높이는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문에서 스코어맵이란 신호 세기 정보와 해당 정보의 신뢰도를 가진 격자로 나누어진 가상 참조위치의 모임을 의미한다. 제안하는 방법은 서비스 지역에 설정되어있는 참조위치에서 신호 세기 정보를 수집한다. 서비스 지역은 격자로 나누어 측위 정밀도를 향상시키고, 각 참조위치에서 수집한 신호 세기 정보를 바탕으로 기본적인 경로 손실 모델을 생성하여 각 가상 참조위치에 신호 세기 정보를 할당하고 신뢰도를 설정하여 실제 값과 할당한 값의 오차를 줄인다.

Ⅱ. 관련 연구

이 장에서는 Wi-Fi에서 위치 추적을 위해 어떤 정보를 활용할 수 있는 지 알아본다. 또한, 위치 추적 시스템의 기본 구조를 살펴보고, Wi-Fi를 이용한 위치 추적 시스템을 구현 기법에 따라 분류하여 각 기법들이 가지는 한계점을 파악하고 이를 극복하기 위한 기존 연구들을 살펴본다.

2.1. Wi-Fi 기반 위치 추적 시스템의 구조

위치 추적 시스템은 태그, 리더, 위치 추정 서버로 구성된다. 그림 1은 위치 추적 시스템의 기본 구조를 나타내는 그림이다. 태그는 일정한 간격으로 통신 범위 내의 리더에게 신호를 송신한다. 이러한 송신 신호를 블링크(blink)라 한다. 리더는 태그의 블링크를 받아 태그가 송신한 위치 관련 정보와 리더가 가진 정보를 위치 추정 서버에게 전달한다.

Wi-Fi를 이용한 위치 추적 시스템은 상기 기본적인 구조와 유사한 형태를 가지게 되는데 태그의 역할은 스마트폰과 같은 Wi-Fi를 지원하는 기기가, 리더의 역할은 AP가 하게 된다. 블링크는 AP에서 주기적으로 전송하는 비컨 메시지나 Wi-Fi 연결이 성립된 상태에서 주기적으로 전송하는 TCP/UDP 패킷을 사용하여 구현한다. 그 중에서 패킷을 이용하는 방법은 연결을

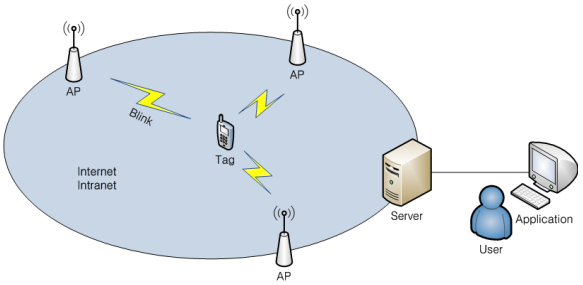

그림 1. 위치 추적 시스템의 기본 구조
Fig. 1. Basic structure of locating system

수립하는 과정에서 지연시간이 발생할 수 있으므로, 본 논문에서는 비컨 메시지를 이용하여 위치 추정을 수행한다.

2.2. 기존 Wi-Fi 기반 위치 추적 기법

Wi-Fi 기반 위치 측정 방법은 IEEE 802.11에서 위치 측정과 관련된 프로세스를 제공하지 않기 때문에 이러한 점을 극복하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 대표적인 Wi-Fi 기반 위치 측정 방법은 Cell-ID 기법[7] 삼변측량법[6], 핑거프린트 기법[8]이 존재한다.

Cell-ID 방식은 위치 측정의 대상이 되는 태그에서 수집한 주변 AP 정보 중 신호 세기가 가장 강한 AP의 위치를 태그의 위치로 결정하는 방법이다. 구현이 단순하고 별도의 비용이 들지 않으며 위치 정보를 신속히 얻을 수 있다는 장점이 있지만 서비스 지역의 AP 설치 밀도가 낮으면, 측위 정밀도가 낮다. Paek의 논문[7]에서는 스마트폰이 갖는 시퀀스 매칭을 통하여 단순한 형태의 Cell-ID 방식의 알고리즘을 다소 개선한 결과를 보여주고 있다.

삼변측량법은 세 기준점의 좌표와 위치 측정 대상이 되는 태그까지의 거리를 알아내어 실제 대상의 위치를 계산하는 방법이다. Wi-Fi에서는 AP와 태그의 거리를 측정하기 위해, 신호 세기를 거리 정보로 변환하거나, 무선 신호가 전달되는 시간(Time of Arrival, ToA)를 이용하여 삼변측량한다. 신호세기를 이용하는 경우 변환 모델에 따라 측정 정밀도에 영향을 받으며 무선 신호의 불규칙한 감쇄 특성으로 측정성능이 낮다. Neri의 논문[6]에서는 ToA 기반의 측정을 소개하고 있다. 그러나 ToA는 무선 신호의 빛의 속도를 측정할 수 있는 하드웨어적인 기능이 필요하므로 기존의 인프라를 이용하는 시스템에서 활용하기 어려운 단점이 있다.

핑거프린트 기법은 그림 5처럼 서비스 지역에서 참조위치를 선정하여 신호 세기 정보를 수집하고, 수집한 정보를 바탕으로 태그에서 전송하는 신호 세기 정보를 통해 위치를 추정하는 방법이다. 이 방법은 주변의 채널 환경적인 요소를 사전 정보 수집 단계를 통해서 경감시키는 장점으로 Microsoft 사의 RADAR 시스템으로 제안된 이래 많은 분야에서 연구되어 왔다[8]. 그러나 정밀한 측위를 위해서는 위치 추정에 사용할 참조위치가 많이 필요하고, 참조위치에서 신호 세기 정보를 수집하는 과정은 수동으로 이루어지기 때문에 많은 비용이 낭비된다. 따라서 핑거프린트 관련 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 방향으로 많은 연구가 진행되고 있다. Kim이 제안한 Sybot[9]은 이러한 측정을 자동으로 수집할 수 있는 로봇을 구성하고 일정 주기마다 측정 할 수 있도록 하는 시스템을 제안하였다. 이러한 자동 측정 시스템은 측정비용을 줄이는 좋은 방법이다.

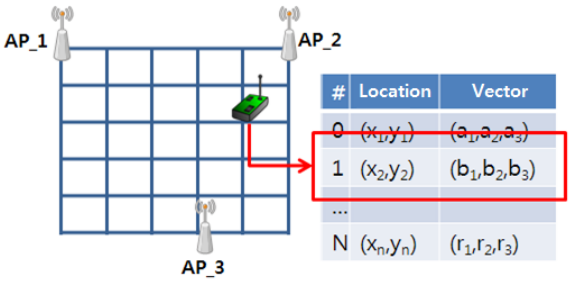

그림 2. RF 핑거프린트 기반 위치 측정 기법 개요
Fig. 2. Overview of RF Fingerprint locating method

추가적인 설비를 활용하는 방법은 Wi-Fi의 인프라 구축비용이 더 필요하기 때문에 일반적인 환경에서 적용하기 힘든 방법이라고 볼 수 있다. 또한 특정 환경이나 객체의 속성을 활용한 방법은 일반적인 경우에 적용되기 힘들다는 단점을 가진다. 따라서 기존에 제시된 방법들과는 다르게 다른 장비를 사용하는 것은 지양하고, 서비스 환경에 구애받지 않는 새로운 방식이 필요하다.

Ⅲ. 스코어맵 기반 Wi-Fi 측위 시스템 설계

이 장에서는 앞서 언급한 것과 같이 기존에 구현된 Wi-Fi 위치 추적 시스템들과는 다르게 일반적인 환경에서 적용 가능하도록 별도의 추가 설비를 이용하지 않으며, 참조위치의 수를 기존의 방법에 비해 적게 설정하더라도 일정 수준의 정확도를 얻을 수 있는 스코어맵 기반 위치 추적 시스템을 제안한다. 본 시스템은 2단계로 나눌 수 있으며, 사전 정보 수집 단계와 위치 추정 단계로 나누어진다.

3.1. 사전 정보 수집 단계

사전 정보 수집 단계는 사전 조사를 통해서 얻은 정보를 이용하여 시스템을 적용할 위치정보 제공을 위한 작업을 수행한다. 서비스 지역의 환경 정보와 참조위치에서 수집한 신호 세기 정보들을 활용해서 서비스 지역을 격자로 구분하고 그 중심을 가상 참조위치로 두어 추정한 신호 세기 정보와 신뢰도 정보를 부여한다. 이 단계에서 새롭게 생성된 격자로 나뉜 정보들의 모임을 스코어맵이라고 부르기로 한다. 스코어맵은

위치 추정 프로세스에서 사용할 수 있는 형태로 저장된다.

3.1.1. 격자의 생성과 경로 손실 모델의 작성

서비스 지역을 나누기 전 먼저 구획 단위, 즉 격자의 크기를 결정하기 위해 신호의 파장 길이를 고려한다. Wi-Fi 무선 신호의 한 파장은 4분의 3 파장의 길이(9cm)부터 한 위치에서 변동폭이 줄어든다[10]. 이러한 정보를 토대로 구현의 편의를 고려하여 10cm 단위로 분할하였다. 구획된 격자의 중심인 가상 참조위치에 신호 세기를 부여해야 한다. 무선 신호의 세기는 거리와 반비례하는 관계를 가지며, 여러 연구 결과 신호 세기는 거리에 따라 신호가 일정하게 감쇄하는 log-distance 경로 손실 모델을 따른다. 이 모델은 수식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$PL(d) = PL(d_0) - 10n\log(\frac{d}{d_0}) \quad (1)$$

여기서 d는 두 노드 사이의 거리, $PL(d)$는 거리 d의 경로 손실, d_0는 기준 거리($d_0 < d$), $PL(d_0)$는 기준 거리에서의 경로 손실, n은 경로 손실 계수를 의미한다. 경로 손실은 경로 손실 계수에 비례하여 발생한다. 경로 손실 계수 n은 주변 환경을 나타내는 변수로서 주변 환경에 따라 적합한 변수를 선택할 수 있으며 실내 실험 결과 $n=2$ 일 때 좋은 측정 결과를 나타냄을 확인하였다.

생성한 경로 손실 모델은 지정한 가상 참조위치와 AP 사이의 거리가 주어지면 해당 위치의 신호 세기를 계산할 수 있다. 그러나 실측한 참조위치가 N개가 존재할 경우, 각 참조위치에 대한 가상 참조위치의 값은 N개가 생성되므로 여러 개의 모델이 존재하게 된다. 모델을 하나로 통일한다면 각 참조위치의 환경적인 특성을 나타낼 수 없으므로 각 모델에서 얻은 N개의 정보에 신뢰도를 부여하고 이 값을 조정하여 더 실제 환경에 가까운 값을 얻어낸다.

3.1.2. 가상 참조위치의 신뢰도 설정

신뢰도는 해당 가상 참조위치의 신호 세기 값에 영향을 주는 두 가지 요소인 참조위치와 AP에 영향을 받는다. 참조위치에서 얻은 신호 세기 정보는 실제 측정 과정을 통해서 얻은 정보이므로 주어진 정보 중에서 가장 신뢰성이 높다. 반대로 참조위치로부터 멀어지면 멀어질수록 해당 참조위치를 이용해서 만든 가상 참조위치의 신뢰도는 낮다고 할 수 있다. 따라서 참조위치와 지정한 가상 참조위치에 이르는 거리와 신뢰도 사이의 관계는 수식 2와 같이 표시할 수 있다. 수식에서 β는 신뢰도, δ는 가상 참조위치와 실제 참조위치 사이의 거리를 나타낸다.

$$\beta \propto \frac{1}{\delta} \quad (2)$$

AP와 각 가상 참조위치들의 거리를 이용해 생성한 신호 세기 정보 또한 신뢰도의 척도가 될 수 있다. 신호 세기는 log-distance 모델을 따르기 때문에 신호 세기가 비교적 강한 경우에는 신호 세기의 오차가 거리 오차에 비교적 작은 영향을 미치지만, 신호 세기가 약한 경우에는 신호 세기의 오차가 거리 오차에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 격자로 나누어진 가상 참조위치에서의 신호 세기 정보 또한 신뢰도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 수식 2에서 신뢰도는 거리에 대해서 정리되어 있으므로 신호 세기에 대한 신뢰도 또한 거리에 대해서 정리되어야 할 것이다. 신호 세기는 거리 정보에 대해 log-distance 모델을 따르므로 경로 감쇄 모델을 역으로 신호 세기에 대해 수식 3[11]처럼 표현할 수 있다. 수식에서 $RSSI_{MIN}$는 최소 신호 세기, $RSSI_{Max}$는 해당 격자에서의 신호 세기를 나타낸다.

$$\beta \propto 10^{RSSI_{MIN} - RSSI_{grid}} \quad (3)$$

수식 2와 수식 3은 각각 참조위치와 AP에 대한 식으로 서로의 값에 영향을 미치지 않으므로 서로 독립적이라 할 수 있다. 그리고 신호 세기의 오차와 거리의 오차가 미치는 영향을 동일하다고 가정했을 때, 수식 2와 수식 3이 동일한 영향을 가져야 한다. 반복적인 변수 설정을 통해서 수식 2와 수식 3의 그래프가 유사하게 하는 상수를 설정한다, 최종적인 식은 수식 4와 같다.

$$\beta = \frac{1}{\delta} + 10^{\frac{RSSI_{MIN} - RSSI_{grid}}{6}} \quad (4)$$

수식 4가 제안 기법에서 사용할 신뢰도를 구하는 식이 되고, 이를 바탕으로 해당 가상 참조위치의 평균적 신호 세기를 계산한다.

3.1.3. 신뢰도 기반 스코어맵 생성

스코어맵 생성 과정은 신뢰도 정보를 점수로 하여 가상 참조위치들의 신호 세기 정보를 더 실측값에 가깝게 조절하는 과정이다. 그림 3은 해당 가상 참조위

치에 주어진 신뢰도를 이용해 조절하는 모습을 보여준다. 하나의 AP를 선택하고 이를 중심으로 각 실제 참조위치와 경로 손실 모델을 이용하여 신호세기의 보간값을 생성한다. 생성 결과는 그림 3-(a)와 3-(b)와 같으며 셀의 색이 짙을수록 신호 세기가 약한 것을 뜻하고, 거리에 따라 신호 세기에 대한 등고선을 그리는 형태로 결정된다.

같은 AP지만 참조위치 주변의 환경에 따라 경로 손실 모델에서 차이가 있는 경우도 볼 수 있다. 이 과정에서 신호 세기가 비슷하지 않고 차이가 큰 경우, 그림 3의 사각형이 가리키고 있는 부분처럼 "N개의 신호 세기"가 발생한다면, 앞서 정의한 신뢰도를 바탕으로 해당 격자의 신호 세기와 주변 참조위치가 가지는 신호 세기 값을 비교하여 적절한 평균값을 계산한다. 최종적으로 모든 참조위치에 대해서 계산을 수행할 경우 그림 3처럼 기존의 동심원와 비슷한 등고선 형태와는 다르게 굴곡이 있는 형태로 신호 세기의 형태가 변경된다.

앞서 언급한 "적절한 평균값"을 계산하기 위해서 수식 4의 신뢰도 공식을 이용한다. 앞서 이야기한 "N개의 신호 세기"에 대한 문제를 가중 평균을 이용해서 격자로 나뉜 가상 참조위치의 신호 세기를 최적화 한다. 가중 평균이란 n개의 수치의 평균값을 구할 때 중요도나 영향력에 해당하는 각각의 가중치를 곱하여 구한 평균값을 구하는 방법을 말한다. 제안 기법에서 중요도는 신뢰도를 나타내므로 계산 공식은 수식 5과 같다. 수식에서 β_{total}는 모든 신뢰도의 합, β_b는 참조위치 에서 신뢰도, $RSSI_i$는 I번째 참조위치 에서의 RSSI, $RSSI_{ave}$는 평균 RSSI이며 n은 참조위치의 수를 나타낸다.

수식 5에서 얻은 가중 평균 신호 세기를 해당 스코어맵의 최종 신호 세기로 결정한다. 가중 평균 계산 작업을 모든 가상 참조위치에 반복하면 최적화된 신호 세기를 가진 스코어 맵을 얻을 수 있다.

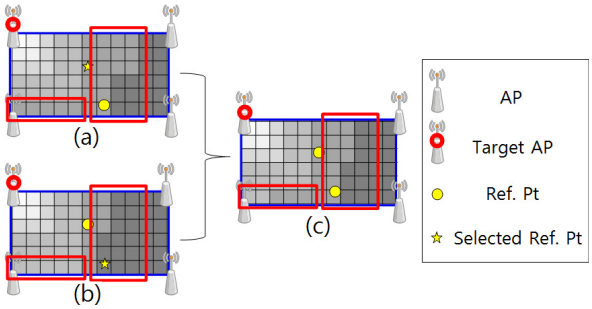

그림 3. 신뢰도 기반 스코어맵 생성 과정 개념도
Fig. 3. Reliability based creating process of scoremap

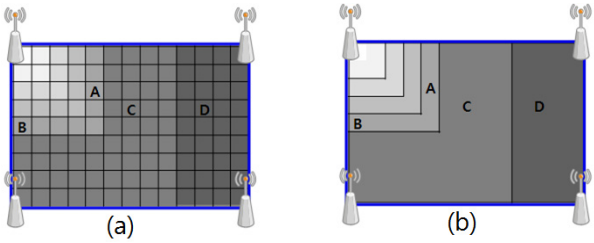

그림 4. 신호세기의 그룹화 개념도
Fig. 4. The concept of RSSI grouping

$$RSSI_{ave} = \sum_{i=0}^{n} (RSSI_i \times \frac{\beta_i}{\beta_{total}}) \quad (5)$$

3.1.4. 신호 세기에 따른 가상 참조위치의 분류

지금까지 여러 참조 위치에서 측정된 값을 이용하여 가상 참조위치들의 신호 세기를 결정하고 이를 종합한 스코어맵을 얻는 작업을 수행하였다. 그러나 신호 세기 정보는 반드시 오차를 가지고 있고 그 오차의 변동폭이 크기 때문에 태그로부터 수신한 신호 세기 정보를 일대일로 대응시키는 방법은 위치 추정을 실패할 가능성이 있기 때문이다. 따라서 신호 세기들을 일정한 범위로 나누어 하나의 그룹으로 구분하여 최종 위치에 사용할 수 있도록 한다.

그림 4는 신호 세기들을 그룹으로 나누는 작업에 대한 개념도이다. 그림 4-(a)는 각 격자마다 신호 세기가 할당되어 있는 모습니다. 격자 A에 대하여, 격자 B는 신호 세기의 차이가 작고 C와 D는 그 차이가 매우 크다고 가정하자. 이 때 A와 B는 오차 범위 안에서 발생할 수 있는 값이므로 하나의 그룹으로 구분하고, C와 D는 각각 다른 그룹으로 구분한다. 그 결과 그림 4-(b)처럼 등고선 형태의 맵이 최종적으로 생성된다. 그룹의 크기는 신호 세기가 강할수록 대응하는 거리가 짧기 때문에 포함하는 격자의 수가 작고, 신호 세기가 약할수록 대응하는 거리가 길어지기 때문에 그룹이 포함하는 격자의 수가 더 많아진다는 것은 경로 손실 모델을 이용해서 직관적으로 알 수 있다. 이 그룹의 정보는 위치 추정 단계에서 실제 위치가 있을 가능성이 높은 후보그룹으로 선정하여 사용하게 된다. 사전 정보 수집 단계를 통해서 생성된 신뢰도 기반 스코어맵과 그룹의 정보는 실제 위치 추정에서 사용할 수 있는 형태로 데이터베이스화하여 전달한다.

3.2. 위치 추정 단계

위치 추정 단계는 태그로부터 수집한 신호 세기 정

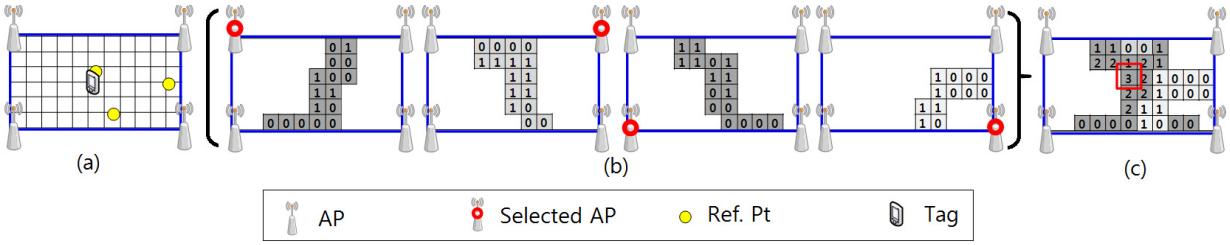

그림 5. 위치 추정을 위한 신뢰도 가산
Fig. 5. Reliability calculation to estimate location

보와 사전 정보 수집 단계에서 생성한 맵 정보, 그룹에 대한 정보, 신뢰도 정보를 비교하여 최종 위치를 추정하는 단계이다.

각각의 가상 참조위치들은 사전 정보 수집 단계를 거치면서 각 AP에 대하여 자신이 속한 그룹의 정보와 신뢰도 정보를 가진다. 태그로부터 수신한 신호 세기 정보에 대하여 AP의 신호 세기가 어떤 그룹에 속하는지 분류하고, 그룹에 속하는 위치에 신뢰도 정보를 가산한다. 그림 5는 스코어맵 기반 추정 과정에 대한 개념도이다. 그림 5-(a)는 AP가 시스템이 설치된 서비스 지역에서 태그가 위치한 모습을 보여주고 있다. 태그들은 배치된 주변의 AP로부터 신호 세기 정보를 수집하여 위치 추적 서버로 전달한다. 그림 5-(b)는 태그가 수신한 신호 세기 정보에서 각 AP의 신호 세기에 따른 그룹과 해당 그룹에 속하는 가상 참조위치들의 신뢰도 정보를 보여주고 있다. 신호 세기를 통해 선정된 "후보그룹"들을 하나로 모으고, 각 AP별로 부여된 신뢰도를 가산한다. 그 결과가 그림 5-(c)이며, 가장 높은 신뢰도를 가지는 참조위치가 실제 태그의 위치가 될 가능성이 높으므로 최종 위치로 선택한다.

그림 6. 실험에 사용된 wi-fi 태그 프로토타입
Fig. 6. Wi-Fi tag prototype using test

Ⅳ. 성능 평가

이 장에서는 본 논문에서 제안했던 기법을 검증한다. 먼저 실험에 사용할 하드웨어인 태그와 AP의 제원에 대해서 설명한다. 또한 실험을 수행할 서비스 지역으로 설정된 장소의 환경(공간 구조, AP의 배치, 설정된 참조 위치)도 소개한다. 성능 평가에서는 기존의 방법과 비교하여 생성된 핑거프린트맵에 대해서 정성적으로 평가하고, 같은 참조 위치의 수를 가졌을 때 기존의 방법과 거리 오차를 비교하여 정량적으로 성능을 평가한다.

4.1. 실험 환경

위치 측정 태그는 신호 세기 정보를 수집해서 전달하는 역할을 수행한다. 본 실험에서는 그림 6과 같이 본 연구실에서 제작한 Wi-Fi 태그 프로토타입을 이용하였다. 본 태그는 IEEE 802.11b/g 표준을 준수하며 약 100 미터 가량의 통신 성능을 가지고 있다. 실험에 사용한 AP는 EFM네트웍스사의 ipTIME N104A이다. 이 시리즈는 국내에서 대중적으로 사용되는 AP이며 칩셋은 브로드컴 BCM5357을 사용하며 IEEE 802.11 b/g/n 표준을 준수한다. 각 장치는 5dBi 무지향성 안테나를 이용하였다.

실험 장소는 부산대학교 내 과학기술연구동 건물 1층에 위치한 실내 테스트베드에서 진행하였다. 테스트 공간의 크기는 가로 22m × 세로 20m이며 총 8대의 그림 7의 AP를 설치하였다. AP는 통신 범위와 가시선 확보에 우선순위를 두고 설치한 결과이다. 참조 위치의 수와 위치는 임의로 설정하였으며 26개의 참조 위치를 3m 간격으로 배치했다.

4.2. 성능 평가

MSE 값을 비교하여 최종 위치를 선정하는 전통적인 핑거프린트 기법과 비교한다. 이 방법은 RADAR 시스템에서 대표적으로 사용하는 방법이며 이 외의 시스템에서도 대중적으로 사용하는 방법이다[8]. 이 후

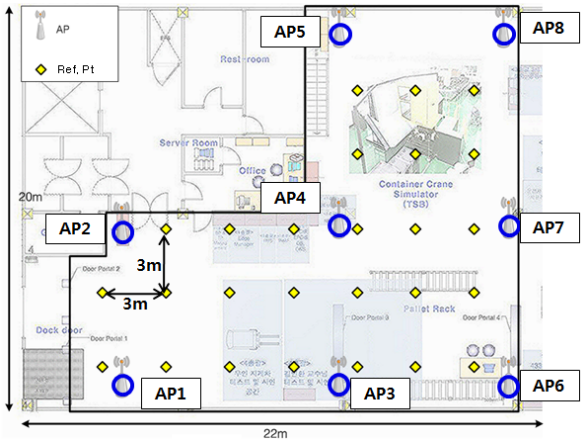

그림 7. 실험 장소의 평면도 및 구축 환경
Fig. 7. The floor plan and environment of test bed

논문에서는 "RADAR 방식"으로 지칭하기로 한다.

4.2.1. 생성한 가상 참조위치 맵의 정밀도 비교

기존의 기법을 이용해 생성한 맵과 제안한 기법으로 생성한 맵을 실제 측정한 신호 세기 값과 비교하기 위하여 특정 AP에 대하여 생성된 맵을 시각적으로 비교한다. 그림에서 각 핑거프린트의 색은 신호 세기를 의미하며, 색이 짙을수록 신호 세기가 강하고 연할수록 신호 세기가 약하다는 것을 의미한다.

그림 8은 참조 위치의 수가 3개, 26개인 경우를 비교하고 있다. 그림 8-(a)는 RADAR 방식으로 핑거프린트 맵을 생성한 경우를 보여주고 있다. RADAR 방식의 경우 참조 위치의 수가 충분치 않은 경우 하나의 참조 위치가 대표해야 하는 영역이 지나치게 커지게 된다. MSE 비교를 통해서 실제 위치 근처의 참조 위치를 구할 수는 있으나 참조 위치가 실제 위치를 대표 할 만큼 정밀하지 못하기 때문에 신뢰성 또한 떨어진다고 볼 수 있다. 그림 8-(b)는 제안한 기법을 통해서 각 맵마다 신호 세기를 할당한 모습이다. 경로 손실 모델에 기반을 두기 때문에 등고선의 형태를 보이지만 참조 위치가 존재하는 부분에서는 등고선의 형태가 일그러지거나 새로운 등고선이 생기는 것을 알 수 있다. 이는 주변 참조 위치의 신호 세기와 신뢰도를 비교해서 높은 쪽을 선택해서 발생한 현상이다. 또한 기본적으로 모든 위치에 각각의 신호 세기가 부여되어 있으므로 RADAR 방식에 비해서 정밀도가 높다는 것을 직관적으로 알 수 있다. 공통적으로 좌측 하단이 신호 세기가 강한 것을 보이는 것은 (c)와 (d) 모두 유사하지만, RADAR 방식은 그림 8-(a)(c)와 같이 대표 영역에 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

4.2.2. 실제 위치 측정을 통한 거리오차 비교

실제 환경에서 RADAR 방식을 통해 구현한 시스템과 제안 시스템을 동작시켜 출력한 최종 결과와 실제 위치의 거리 오차를 통해서 시스템의 성능을 비교 평가한다. 실험은 태그를 우측 하단의 고정된 위치에 배치한다. 참조 위치는 개수를 증가시키되 선정 방법은 되도록 중복되는 영역이 없도록 임의로 선정한다. RADAR 방식과 제안한 기법은 상기 제시된 환경에서 태그의 위치 추정을 수행한다. 15분 동안 작업을 수행하며 이렇게 얻은 위치 결과들을 바탕으로 실제 태그의 위치 사이의 평균 거리 오차를 구하고 그 표준 편차를 분석하여 시스템의 성능을 평가한다.

각각의 실험에서 평균 거리 오차 측정 결과는 표 1에서 보이는 것처럼 RADAR 방식에 비해 제안한 방식이 향상된 성능을 보이고 있다. 제안 시스템은 RADAR의 참조 위치 수보다 적음에도 불구하고 더 좋은 성능을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

Wi-Fi 기반 위치 추적 시스템은 스마트폰의 보급과 함께 활발해진 Wi-Fi 환경을 활용해서 위치를 추적하는 방법이며 그중 핑거프린트 기법은 서비스를 제공하기에 앞서서 설치 지역의 환경적인 정보를 우선 수집함으로써 무선 통신이 실내에서 겪을 수 있는, 채널 환경에 의한 장애 요소를 극복하면서 위치를 추정할 수 있는 좋은 방법이다. 그러나 이

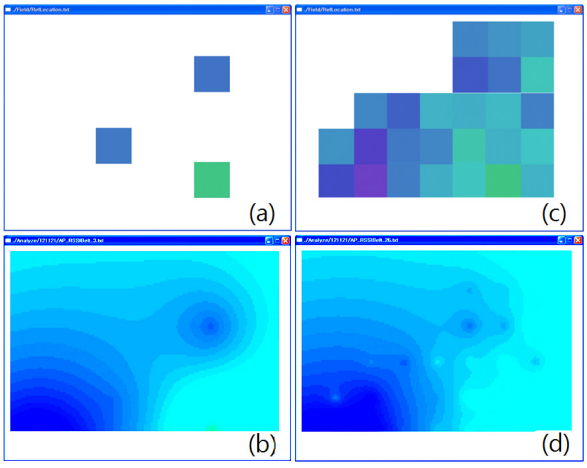

그림 8. 시각화한 RADAR와 제안 기법의 참조 위치 수에 따른 신호 세기 맵 (RADAR : (a), (c), Proposed method : (b), (d))
Fig. 8. Visualization of RSS maps of RADAR and proposed method according to RP (RADAR : (a), (c), Proposed method : (b), (d))

표 1. 위치 측정 성능 결과
Table 1. Result of location estimating performance

Num of Ref. Pt	RADAR		Proposed System	
	Error	Std.	Error	Std.
2	5.1	1.1	4.1	1.7
4	5.9	1.4	3.8	1.5
6	9.1	2.9	4.7	2
8	6.6	1.8	3.8	1.9
10	7.1	1.7	3.9	1.7
12	6.2	1.7	3.8	1.7
14	6.1	1.2	4	1.9
16	6.8	1.7	3.2	1.5
17	6.8	1.5	3.5	1.4
20	6.3	1.3	4	1.8
22	6.3	1.3	4.1	1.8
24	6.3	1.3	3.9	1.8
26	6.3	1.3	4.1	1.8
Avg	**6.5**	**1.6**	**3.9**	**1.7**

기법은 사전에 정보를 수집하는 과정은 노동력과 많은 시간을 필요로 하지만 기법의 측위 정밀도와 정확도를 높이기 위해서는 충분한 수만큼 정보를 수집하는 과정 또한 요구된다.

본 논문에서는 실내에서 사용하는 Wi-Fi 기반 위치 추적 시스템이 추적 대상을 한정하거나 추가적인 보조 설비의 설치 없이도 성능이 향상된 위치 측정 기법을 제안하였다. 제안한 시스템을 실제 환경에서 적용하여 기존의 시스템과 비교하여 성능을 평가하였으며 다음과 같은 개선점을 보였다. 첫째, 참조위치의 수를 줄여서 사전 정보 수집 단계에 소모되는 비용을 감소시킨다. 둘째, 적은 참조 위치 수로 기존의 연구보다 향상된 측위 정밀도를 가진다. 셋째, 신뢰도와 스코어 맵을 바탕으로 실제 대상이 존재할 가능성이 있는 위치를 선택할 수 있다.

성능 평가 결과 제안한 방식은 두 번의 실험에서 평균 거리 오차를 각각 3.9m로 나타남을 확인하였으며, 이는 기존의 방식에 비해 거리 오차를 30%~40% 감소시킨 결과이다.

References

[1] G. Kim, I. Park, Y. Im, A. Hong, J. Kim, and Y. Shin, "Recent trends in location-based services," *J. Korea Inform. Commun. Soc. (KICS) : Inform. Commun.*, vol 28, no. 7, pp. 3-14, June 2011.

[2] L. Wu, J.-L. Huang, and Z.-H. Zhao, "ZigBee wireless location system research," in *Proc. Int. Conf. Comput. Modeling Simulation(ICCMS)*, vol. 3, pp. 316-320, Sanya, China, Jan. 2010.

[3] U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, and T. Aoyama, "Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system," in *Proc. IEEE Radio Wireless Conf.*, pp. 319-322, Atlanta, U.S.A., Sep. 2004.

[4] S. Han, H. S. Lim, and J. M. Lee, "An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no 6, pp. 3362-3369, Dec. 2007.

[5] C. Wu, Z. Yang, Y. Liu, and W. Xi "WILL: wireless indoor localization without site survey," in *Proc. IEEE INFOCOM 2012*, pp 64-72, Orlando, U.S.A., Mar. 2012.

[6] A. Neri, A. D. Nepi, and A. M. Vegni. "DOA and TOA based localization services protocol in IEEE 802.11 networks." *Wireless Personal Commun.,* vol. 54, no. 1, pp. 155-168, July 2010.

[7] J. Paek, K.-H. Kim, J. P. Singh, and R. Govindan, "Energy-efficient positioning for smartphones using cell-id sequence matching," in *Proc. 9th Int. Conf. Mobile Syst., Applicat., Services.*, pp. 293-306, Bethesda, U.S.A., June-July 2011.

[8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in *Proc. 19th Annu. Joint Conf. IEEE Comput. Commun. Soc. (INFOCOM 2000)*, vol. 2, pp. 775-784, Tel Aviv, Israel, Mar. 2000.

[9] K.-H. Kim, A. W. Min, and K. G. Shin. "Sybot: an adaptive and mobile spectrum survey system for wifi networks," in *Proc. 16th Annu. Int. Conf. Mobile Comput. Networking*, pp. 293-304, Chicago, U.S.A., Sep. 2010.

[10] J.-Y. Wang, C.-P. Chen, T.-S. Lin, C.-L. Chuang, T.-Y. Lai, and J.-A. Jiang, "High-precision RSSI-based indoor localization using a transmission power

adjustment strategy for wireless sensor networks," in *Proc. IEEE 14th Int. Conf. High Performance Comput. Commun.*, pp. 1634-1638, Liverpool, U.K., June 2011.

[11] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specification, IEEE Std 802.11, 2007.

손 상 현 (Sanghyun Son)

2007년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
2009년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2009년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> RFID, 센서 네트워크, 임베디드시스템, indoor/outdoor RTLS, Wi-Fi p2p

박 영 준 (Youngjoon Park)

2011년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학과 학사
2013년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
2013년 3월~현재 네오랩컨버전스 R&D 센터 연구원

<관심분야> 운영체제, 위치추적시스템, 임베디드시스템

김 범 준 (Beomjun Kim)

2012년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학과 공학학사
2012년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> 임베디드시스템, 하드웨어 모듈 기반 시스템 설계, 무선 센서네트워크, 시스템 드라이버

백 윤 주 (Yunju Baek)

1990년 2월 한국과학기술원 전산학과 공학학사
1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 공학석사
1997년 2월 한국과학기술원전산학과 공학박사
1999년~2002년 NHN기술연구소 소장
2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 정교수

<관심분야> RFID, 센서 네트워크, 임베디드시스템, 시각동기, RTLS, 스마트 블랙박스, Wi-Fi p2p