

Design of a Crowd-Sourced Fingerprint Mapping and Localization System

Eun-Mi Choi[†] · In-Cheol Kim^{**}

ABSTRACT

WiFi fingerprinting is well known as an effective localization technique used for indoor environments. However, this technique requires a large amount of pre-built fingerprint maps over the entire space. Moreover, due to environmental changes, these maps have to be newly built or updated periodically by experts. As a way to avoid this problem, crowd-sourced fingerprint mapping attracts many interests from researchers. This approach supports many volunteer users to share their WiFi fingerprints collected at a specific environment. Therefore, crowd-sourced fingerprinting can automatically update fingerprint maps up-to-date. In most previous systems, however, individual users were asked to enter their positions manually to build their local fingerprint maps. Moreover, the systems do not have any principled mechanism to keep fingerprint maps clean by detecting and filtering out erroneous fingerprints collected from multiple users. In this paper, we present the design of a crowd-sourced fingerprint mapping and localization(CMAL) system. The proposed system can not only automatically build and/or update WiFi fingerprint maps from fingerprint collections provided by multiple smartphone users, but also simultaneously track their positions using the up-to-date maps. The CMAL system consists of multiple clients to work on individual smartphones to collect fingerprints and a central server to maintain a database of fingerprint maps. Each client contains a particle filter-based WiFi SLAM engine, tracking the smartphone user's position and building each local fingerprint map. The server of our system adopts a Gaussian interpolation-based error filtering algorithm to maintain the integrity of fingerprint maps. Through various experiments, we show the high performance of our system.

Keywords : Indoor Localization, Crowd-sourced Fingerprint Mapping, WiFi SLAM, Error Filtering, Gaussian Interpolation

군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적 시스템의 설계

최 은 미[†] · 김 인 철^{**}

요 약

WiFi 신호지도법은 실내 환경을 위한 효과적인 위치 추적 기술로 잘 알려져 있다. 하지만 이 기술은 주어진 공간 전역에 걸쳐 미리 구축된 대용량의 신호지도가 있어야 적용할 수 있다. 또한 이 기술을 적용하기 위해서는 환경이 변함에 따라 전문가에 의해 주기적으로 새로운 신호지도를 구축하거나 변경하는 작업이 필요하다. 최근 들어 이러한 문제점을 극복하기 위한 한 가지 방법으로서, 군중-제공 신호지도 작성 방식이 많은 연구자들의 관심을 모으고 있다. 이 방식은 다수의 자발적인 사용자들로 하여금 특정 공간에서 수집한 자신들의 신호지도를 다른 사람들과 함께 서로 공유할 수 있도록 해준다. 따라서 군중-제공 신호지도 방식을 이용하면 신호지도를 자동으로 최신의 상태로 변경할 수 있다. 하지만, 대부분의 군중-제공 신호지도 작성 시스템들에서는 사용자들이 자신의 위치를 스스로 판단하여 수작업으로 직접 입력하도록 요구하고 있다. 그 뿐만 아니라, 이들 시스템에서는 다수의 사용자들로부터 수집되는 신호지도들 중에서 오류가 있는 것들을 찾아내고 이들을 여과해주는 체계적인 메커니즘을 가지고 있지 않다. 본 논문에서는 군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적(CMAL) 시스템의 설계에 대해 소개한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 다수의 스마트폰 사용자들로부터 수집된 지역 신호지도들을 이용하여 자동으로 공유 신호지도를 구축/갱신할 수 있을 뿐만 아니라, 동시에 새로운 신호지도를 이용하여 각 스마트폰 사용자의 위치를 추적할 수 있는 기능을 제공한다. 본 시스템은 각 스마트폰에서 신호지도를 수집하는 다수의 클라이언트들과, 공유 신호지도 데이터베이스를 관리하는 중앙의 서버로 구성된다. 각 클라이언트에는 스마트폰 사용자의 실시간 위치를 추적하면서 동시에 지역 신호지도를 생성하는 파티클 필터-기반의 WiFi SLAM 엔진을 내장하고 있으며, 서버에는 공유 신호지도의 무결성 유지를 위한 가우시안 보간법 기반의 오류 여과 알고리즘을 채택하고 있다. 다양한 실험들을 수행한 결과를 통해, 본 논문에서 제안한 시스템의 높은 성능을 확인할 수 있었다.

키워드 : 실내 위치 추적, 군중-제공 신호지도 작성, WiFi SLAM, 오류 여과, 가우시안 보간법

※ 본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업(10035348, 모바일 플랫폼 기반 계획 및 학습 인지 모델 프레임워크 기술 개발)의 지원으로 수행되었음.
[†] 준 회원 : 경기대학교 컴퓨터과학과 박사과정
^{**} 종신회원 : 경기대학교 컴퓨터과학과 교수

논문접수: 2013년 7월 16일
수정일: 1차 2013년 8월 6일
심사완료: 2013년 8월 6일
* Corresponding Author: Eun-Mi Choi(allychoi@kyonggi.ac.kr)

1. 서론

최근 들어 이동단말기사용자들을 위한 다양한 위치 기반 서비스들이 개발됨에 따라, 보다 정확한 실시간 위치 정보에 대한 요구도 더욱 증대되고 있다. 이러한 배경에 GPS 수신에 어려운 실내 환경에서 WiFi 신호를 이용한 위치 추적 기술이 많이 활용되고 있다[1]. WiFi 신호를 이용한 위치 추적 기술은 크게 삼각측량법(triangulation)[2]과 신호지도법(fingerprinting)[3, 4]으로 구분할 수 있다. 삼각측량법은 주변 송신기(AP)들의 위치와 실시간 WiFi 수신 강도를 이용하는 반면, 신호지도법은 실내 공간 전역에 걸쳐 수집한 WiFi 신호 데이터 집합을 기초로 미리 WiFi 신호지도를 구축해두고 이것을 이용한다. 일반적으로 신호 지도법이 삼각측량법에 비해 위치 추적 정확도가 높아 널리 이용되지만, 신호지도 구축 및 갱신 작업에 매우 많은 시간과 노력이 요구되며, 이와 같은 기술을 적용하기 위해서는 환경이 변함에 따라 전문가에 의해 주기적으로 새로운 신호지도를 구축하거나 변경하는 작업이 필요한 문제점이 있다.

최근 들어 이러한 문제점을 극복하기 위한 한 가지 방법으로서, 군중-제공 신호지도 작성(crowd-sourced fingerprint mapping) 방식이 많은 연구자들의 관심을 모으고 있다[5-7]. 이 방식은 다수의 자발적인 사용자들로 하여금 특정 공간에서 수집한 자신들의 신호지도를 다른 사람들과 함께 공유할 수 있도록 해준다. 따라서 군중-제공 신호지도 방식을 이용하면 신호지도를 자동으로 최신의 상태로 변경할 수 있다. 하지만, 대부분의 군중-제공 신호지도 작성 시스템들에서는 사용자들이 자신의 위치를 스스로 판단하여 수작업으로 직접 입력하도록 요구하고 있다. 그 뿐만 아니라, 이들 시스템에서는 다수의 사용자들로부터 수집되는 신호지도들 중에서 오류가 있는 것들을 찾아내고 이들을 여과해주는 체계적인 메커니즘을 가지고 있지 않다.

본 논문에서는 군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적 시스템의 설계에 대해 소개한다. 논문에서 제안한 시스템은 다수의 스마트폰 사용자들로부터 수집된 지역 신호지도들을 이용하여 자동으로 공유 신호지도를 구축/갱신할 수 있을 뿐만 아니라, 동시에 새로운 신호지도를 이용하여 각 스마트폰 사용자의 위치를 추적할 수 있는 기능을 제공한다. 본 시스템은 각 스마트폰에게 신호지도를 수집하는 다수의 클라이언트들과, 공유 신호지도 데이터베이스를 관리하는 중앙의 서버로 구성된다. 각 클라이언트에는 스마트폰 사용자의 실시간 위치를 추적하면서 동시에 지역 신호지도를 생성하는 파티클 필터-기반의 WiFi SLAM[11] 엔진을 내장하고 있으며, 서버에는 공유 신호지도의 무결성 유지를 위한 가우시안 보간법 기반의 오류 여과 알고리즘을 채택하고 있다. 다양한 실험들을 수행한 결과를 통해, 본 논문에서 제안한 시스템의 성능을 분석 한다.

2. 관련 연구

2.1 군중-제공 신호지도 작성 방식

군중-제공 신호지도 작성 방식은 다수의 일반 사용자들

이 자율적으로 협력하여 신호지도를 생성하는 방식이다. 이 방식은 크게 신호지도 수집, 신호지도 관리, 수집된 신호지도를 이용하는 위치 추적으로 구성되어 있다.

기존 연구의 신호지도 수집 방식은 사용자가 직접 위치 식별자(symbol) 입력한 후 신호를 수집하는 방식[5]과 평면지도가 있을 경우에 화면 인터페이스를 통해 화면에 터치하여 신호 수집 위치를 선택하는 방식[6,7]이 있다. 하지만 이와 같은 방식들은 신호를 수집할 때마다 사용자가 수동으로 신호 수집 위치를 지정해야 하는 문제점이 있다. 또한 신호 수집 단위가 작은 방(room) 단위로서 대형 홀, 긴 복도와 같은 복잡한 구조로 구성된 실내 공간을 반영하기에 한계가 있다.

신호지도 관리는 다수의 사용자가 수집한 지역(local) 신호지도를 수신 받아 전역(global) 신호지도를 생성하고, 공유하는 것이다. 다수의 사용자가 수집한 신호지도에는 WiFi 신호의 일시적 변화, 사용자의 부정확한 위치 입력 등의 여러 이유로 발생한 오류가 포함 될 수 있다. 한번 전역 신호지도에 포함된 오류는 지속적으로 다수의 사용자에게 공유되기에 오류를 찾아내어 여과(filter)하는 것은 매우 중요한 작업이다. 하지만 기존 연구에서는 오류를 사용자가 직접 수정하거나[6], 오류 여과 기능이 부족하다[5,7].

마지막으로 위치 추적은 전역 신호지도를 이용하여 신호 측정치의 유사도가 최대인 위치를 선정 하는 방식[5], MAO(Maximum weighted Overlap)방식[6], 베이저안 위치 추적 방식[7]을 사용한다. 하지만 신호지도 구축 단위가 방 단위를 사용하기에 보다 세밀한 연속 위치 추적을 수행하기에 어려움이 있다.

2.2 WiFi SLAM 방식

SLAM(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)은 미지의 공간에서 움직이는 물체의 이동 정보와 센서 데이터를 이용하여 물체의 실시간 위치를 추적하는 동시에 해당 공간에 관한 지도를 작성하는 기술이다. 이 기술은 이동 로봇 연구에 많이 활용되어 왔으며, 최근에는 WiFi를 이용하여 실내 위치 추적에 적용하는 WiFi SLAM 연구도 활발히 진행되고 있다. 로봇에 적용한 SLAM 기술은 이동 로봇이 이동하며 초음파나 레이저와 같은 거리 측정 센서를 이용하여 현재 위치를 추정하고, 평면지도를 얻는 것이 목적이다. 반면 WiFi SLAM 연구는 스마트폰을 사용하는 보행자의 현재 위치를 추정하고, WiFi 신호지도를 생성하는 것이 목적이다. 로봇을 이용한 SLAM 연구는 모터 혹은 거리 측정 센서 정보를 이용하여 로봇의 이동을 추측하고 이를 이용하여 로봇의 현재 위치를 추정한다. 반면 WiFi SLAM 기술은 스마트폰 사용자의 이동을 WiFi 혹은 스마트폰에 내장된 센서를 이용하여 예측하고 WiFi 신호지도를 생성해야 하기에 매우 어려운 작업이다.

다음은 WiFi SLAM에 관한 연구들이다. Brian[8]의 연구에서는 WiFi SLAM을 위해 가우시안 프로세스 은닉 변수 모델(Gaussian Process Latent Variable Models, GPLVM)을 이용하였고, Joseph[9]의 연구에서는 온라인 방식의 WiFi

SLAM 대신 오프라인 최적화방식인 Graph SLAM 방식을 제안하였다. 두 방식 모두 생성된 WiFi 신호지도의 질은 비교적 우수하지만, 많은 계산량으로 인해 휴대용 스마트 단말기에서 온라인 방식으로 이용할 수 없고 서버에서 오프라인 방식으로만 동작하는 한계점이 있다. Luigi[10]의 연구에서는 가속도 센서를 이용하는 파티클 필터 기반의 SLAM과 WiFi 신호를 이용하는 파티클 필터 기반의 SLAM을 동시에 수행하는 WiSLAM 방식을 제안하였다. 이 방식은 두 가지 서로 다른 SLAM을 수행하기 위한 파티클 필터들이 병행적으로 수행되는 구조로, 계산 복잡도가 매우 높아 실제로 의미있는 성능을 얻지는 못하였다.

이와 같은 WiFi SLAM 연구들은 자동으로 신호지도를 수집할 수 있는 장점이 있지만, 계산의 복잡도가 높아 광범위한 실내 공간에 적용하기에 한계가 있다. 또한 WiFi SLAM 연구들은 신호지도를 단독으로 사용하였지만, 군중-제공 신호지도 방식과 결합하여 신호지도를 통합, 공유한다면 두 가지 방식의 단점이 보완되며 장점이 극대화 될 것이다.

두 가지 방식을 결합한다면 WiFi SLAM을 이용하여 생성한 좁은 범위의 신호지도들을 군중-제공 신호지도 기술을 적용하여 통합함으로써 넓은 범위의 신호지도로 확장할 수 있으며, 군중-제공 신호지도 기술의 한계점인 수동으로 신호지도를 수집하는 방식에서 벗어나 WiFi SLAM을 이용해 자동으로 신호지도를 생성할 수 있게 된다.

3. 군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적 시스템

3.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적 시스템(Crowd-sourced Mapping And Localization) CMAL은 Fig. 1과 같이 WiFi SLAM 기능이 내장된 다수의 스마트폰 클라이언트들과 이들로부터 수집된 대용량의 전역적 WiFi 신호지도를 관리하고, 서비스하는 역할을 하는 서버로 구성되어 있다.

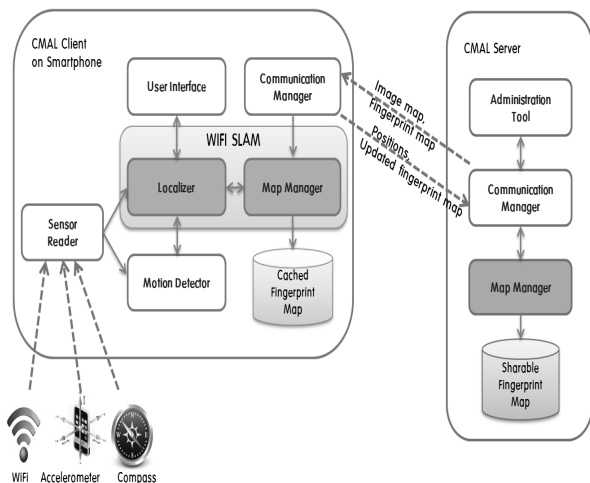


Fig. 1. Overall system architecture

CMAL의 클라이언트는 WiFi 신호지도가 없어도 스마트폰 내장 센서들의 도움을 받아 실시간 위치 추적과 동시에 지역적인 WiFi 신호지도를 구축할 수 있는 WiFi SLAM 알고리즘을 내장하고 있다[8-10]. CMAL 클라이언트에 내장된 파티클 필터(particle filter) 기반의 WiFi SLAM 알고리즘 [11]은 스마트폰 내장 가속도 센서와 방향 센서를 이용하여 보행자의 움직임을 정확히 추정할 수 있는 사용자 이동 모델(motion model)을 이용한다. 또한, 이 WiFi SLAM 알고리즘은 혼란 데이터 수집이 이루어지지 않은 임의의 지점에서도 WiFi 수신 강도의 확률 분포를 효과적으로 예측할 수 있는 가우시안 보간법(Gaussian interpolation) 기반의 관측 모델(observation model)도 이용하고 있다.

CMAL의 서버는 다수의 클라이언트 사용자가 수집한 지역적인 WiFi 신호지도들을 수신 받아 대규모의 전역적인 WiFi 신호지도를 구축하고 관리하는 역할을 수행한다. 각 클라이언트에서 수집한 WiFi 신호지도에는 센서들의 오동작, WiFi 신호의 일시적 변화 등 다양한 원인들로 인해 오류 데이터들이 포함될 수 있다. 이러한, 오류 데이터는 WiFi 신호지도의 품질에 치명적인 영향을 줄 수 있고, 결과적으로 이 WiFi 신호지도를 공유하는 다수의 사용자들에게 올바른 위치 추적 서비스를 제공할 수 없게 만들 수 있다. CMAL 서버에는 이러한 신호지도 오류를 여과하기 위한 확률 기반의 추론 알고리즘을 포함하고 있다.

이어지는 3.2 절에서는 CMAL 클라이언트에서 동작하는 파티클 필터 기반의 WiFi SLAM 알고리즘을 소개하고, 3.3 절에서는 CMAL 서버에서 이루어지는 신호지도 오류여과 방식에 대하여 자세히 소개한다.

3.2 파티클 필터 기반의 WiFi SLAM

CMAL 클라이언트는 WiFi SLAM 알고리즘을 이용하여 연속 자유 공간에서 실시간으로 위치 추정과 동시에 자동으로 신호지도를 구축한다. 본 연구에서 제안한 CMAL 클라이언트를 사용하면 군중-제공 신호지도 작성 방식의 수동 입력 방식에서 벗어나 자동으로 WiFi SLAM 알고리즘으로부터 추정된 위치를 신호 수집위치로 활용 가능하다. 또한 연속 자유 공간을 위치 추적 단위로 사용하기에 대형 홀, 긴 복도와 같은 현실 세계의 복잡하고 광범위한 실내 환경에 적용하기에 적합하다.

CMAL 클라이언트에서 사용하는 WiFi SLAM 알고리즘은 파티클 필터 기반으로 이동모델과 관측모델을 이용하여 SLAM 문제를 해결한 것이다.

이동모델(motion model)은 가속도 센서와 방향 센서 값을 이용하여 보행자의 움직임을 예측하는 것으로, 가속도 센서 값의 변화량을 이용하여 보행자의 걸음 수를 계산하고, 방향 센서 값을 이용하여 보행자의 진행 방향을 알아낸다. 보행자의 새로운 위치는 이전 위치에 추정 방향으로 평균보폭과 걸음 수를 곱한 거리만큼 이동시켜 계산한다. 관측모델(observation model)은 각 지역별로 수집된 WiFi 수신 강도의 확률 분포를 이용하여 신호수집이 이루어지지 않은 임의의 지역의 관측우도를 계산하는 것으로 가우시안 보간법을 이용하여 계산한다.

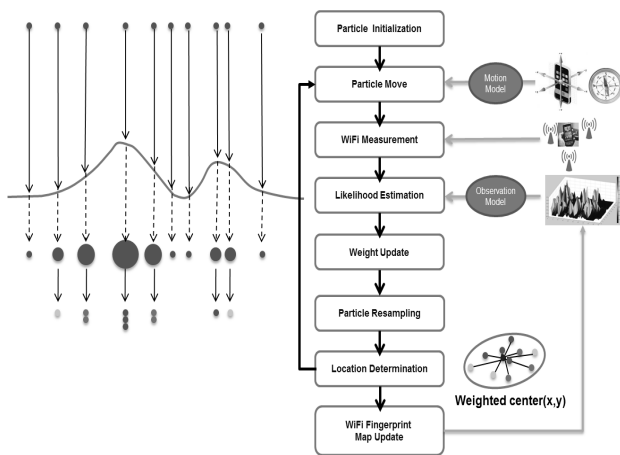


Fig. 2. WiFi SLAM using a particle filter

SLAM 문제를 해결하는 파티클 필터는 연속 공간상의 위치 추적을 위한 효율적인 베이스 필터(Bayesian filter)의 한 근사방법이다. 파티클 필터(particle filter) 기반의 WiFi SLAM 알고리즘은 Fig. 2와 같이 크게 예측, 갱신, 리샘플링, 신호지도 갱신 과정으로 구성되어 있으며 앞의 과정들을 순환 반복한다. 예측 단계(prediction step)에서는 이동모델을 이용하여 각 파티클의 다음 위치를 예측하고, 갱신 단계(update step)에서는 새로 수신한 WiFi 신호에 WiFi 관측 모델을 적용하여 각 파티클의 가중치(weight)를 계산한다. 리샘플링 단계(resample step)에서는 파티클들의 가중치에 비례하여 새로운 파티클 집합을 확률적으로 선택한다. 마지막으로 신호지도 갱신 단계(map update step)에서는 신호데이터를 신호지도에 갱신한다. 신호데이터는 WiFi SLAM 반복 순환 과정 중 1회 수행시 생성되는 값으로, 반복과정을 통해 신호지도에 지속적으로 갱신된다. 신호지도는 현재추정 위치, AP별 WiFi 관측정보, 위치 신뢰도로 구성되어 있다. 현재 추정 위치는 파티클 집합의 가중치를 고려한 무게중심점(weight centroid)으로 계산하고, AP별 WiFi 관측정보는 수신한 WiFi의 신호강도이다. 마지막으로 위치 신뢰도(location confidence)는 위치의 불확실성을 표현하는 값으로, 파티클들이 넓게 퍼져 있다면 위치 신뢰도가 낮고, 파티클들이 좁은 지역에 수렴(convergence)되었다면 위치 신뢰도가 높은 값을 나타내도록 하였다. 위치 신뢰도는 파티클 집합의 가중치를 고려한 무게중심점을 (식 1)와 같이 구한 후, 무게중심점과 각 파티클 위치들의 분산정도를(식 2)처럼 계산하여 불확실성에 반비례한 값으로 (식 3)과 같이 계산한다.

$$x_t^* = \sum_i^m w_t^i \cdot \vec{x}_t^i \quad \sum_i^m w_t^i = 1 \tag{1}$$

$$v_t^* = \frac{1}{m} \sum_i^m (\vec{x}_t^i - x_t^*)^2 \tag{2}$$

$$lc_t = 1/v_t \tag{3}$$

3.3 가우시안 보간법을 이용한 신호지도 오류 여과

서버는 다수의 클라이언트들로부터 수집한 신호지도들을 수신 받아 대규모의 전역 WiFi 신호지도를 구축하여 관리하고, 공유하는 역할을 수행한다. 신호지도 관리란 신호지도의 질(quality)을 유지하는 작업으로, 다수의 사용자가 수집한 지역 신호지도에는 다양한 원인으로 발생한 오류가 포함될 수 있기에 서버에서는 오류 여과를 통하여 신호지도의 질을 유지해야 한다. 신호지도의 질이란 위치정보와 WiFi 관측정보가 정확한 값을 가지고 있음을 의미하므로 CMAL 서버에서는 신호지도의 질을 유지하는 방법으로 신호지도의 두 가지 요소인 위치정보와 WiFi 관측정보의 정확성을 평가하여 오류 여과를 수행한다.

첫 번째, 위치정보의 정확성을 검증하는 방법으로 본 연구에서는 클라이언트에서 수집한 신호지도 요소인 위치 신뢰도를 이용하여 위치의 정확성을 검증한다. 위치 신뢰도가 높다는 것은 위치의 정확성이 높음을 의미하고, 위치 신뢰도가 낮다면 위치의 불확실성이 높음을 의미하여 위치의 정확성이 낮은 것으로 해석할 수 있다.

두 번째, WiFi 관측 정보는 AP별 WiFi 수신 강도를 의미한다. WiFi 수신 강도의 정확성을 검증하는 방법으로 가우시안 보간법(Gaussian interpolation)을 이용하여 신호의 일관성을 검증한다. 가우시안 보간법은 WiFi 신호지도의 전체 신호 강도의 분포함수를 미리 가정하지 않고 신호가 발생하면 주변 신호를 이용하여 예측 신호 강도를 계산하는 방법이다. 가우시안 보간법을 이용하여 신호강도의 일관성을 검증한다는 것은 다양한 원인으로 발생한 오류로 인하여 신호강도가 갑자기 증가하거나, 감소하였을 경우 가우시안 보간법을 통하여 계산한 예측 신호 강도와 차이를 계산하여 차이가 크다면 신호가 비정상적으로 증가, 감소되었다는 것을 확인할 수 있다. 이 방법을 사용하게 되면 신호강도가 갑자기 증가, 감소하는 것을 포함되지 않는 신호지도를 생성, 유지 할 수 있기에 신호강도의 일관성을 유지한다고 할 수 있다.

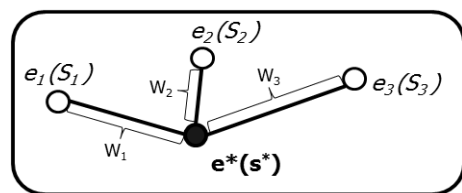


Fig. 3. Consistency check based on Gaussian Interpolation

Fig. 3은 가우시안 보간법을 이용한 방법을 나타내고 있다. WiFi 수신강도를 이미 알고 있는 전역 신호지도 내의 n개의 이웃지점들로부터 클라이언트로부터 수집된 새로운 지점 e*의 WiFi 수신 강도를 예측하는데 기여 정도를 (식 4)과 같이 e*와의 거리, 즉 |e* - e_i|에 반비례하는 가중치(weight) w_i를 계산한다. 그리고 (식 5)와 같이, 이웃 지점들의 WiFi 수신강도에 w_i를 곱해 일차 선형 결합함으로써 임의의 지역 e*의 예상 WiFi 신호강도를 쉽게 계산할 수 있다.

$$w_i = k(e_i, e^*) = \exp\left(-\frac{1}{2r^2}|e_i - e^*|\right) \quad (4)$$

$$s = \sum_{i=1}^n w_i \cdot s_i \quad (5)$$

(식 6)은 가우시안 보간법을 사용하여 예측한 WiFi 신호 강도 s 와 실제 수집한 s^* 의 WiFi 신호강도의 차를 계산하여, 그 차이가 임계치(threshold)를 초과하지 않는 경우 신호 강도에 일관성이 있다고 판단한다. 신호강도에 일관성이 존재한다면 전역 신호지도에 갱신하고, 임계치를 초과한 경우 실제 수집한 신호강도의 일관성이 부족한 것으로 판단하여 제거한다. 이때 사용하는 임계치는 실험을 통하여 적당한 값을 선택하며, 신호강도 일관성(signal strength consistency)의 임계치라 부른다.

$$|s^* - s| < sc_{threshold} \quad (6)$$

앞서 설명한 오류 여과의 두 가지 요소를 기준으로 오류 여과를 수행하는 오류 여과 알고리즘은 Fig. 4와 같이 이웃지점 선택, 가우시안 보간법으로 예상 신호강도 추정, 임계값을 검사하는 세 가지 과정으로 구성되어 있다.

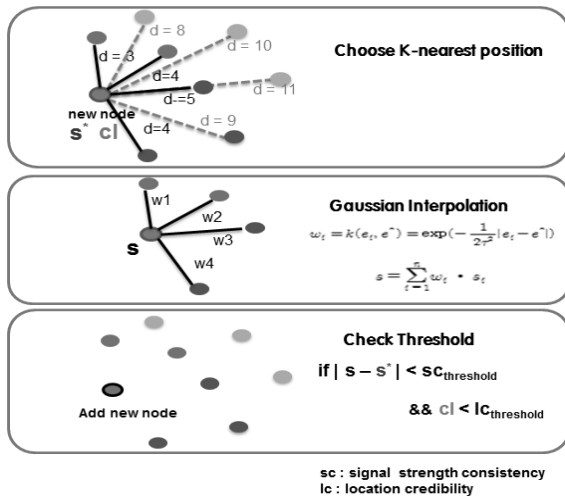


Fig. 4. Illustration of the error filtering algorithm

첫 번째, 이웃지점 선택 과정에서는 전역 신호지도에서 검증하고자 하는 신호데이터와 거리가 가까운 k 개의 신호데이터를 선택한다. 전체 신호지도에 포함된 신호데이터를 대상으로 가우시안 보간법을 적용하여 오류여과를 검증한다면 예측 신호강도를 정확히 계산할 수 있지만 신호지도가 증가할수록 오류여과를 위한 계산시간이 증가하게 된다. k 값은 서버의 계산 성능을 고려하여 경험을 통하여 알게 된 값이다.

두 번째, 가우시안 보간법으로 예상 신호강도 추정단계에서는 앞 단계에서 선택한 k 개의 이웃지점을 이용하여 가우시안 보간법으로 검증하고자 하는 위치의 예상 신호강도를 계산한다.

마지막으로 임계값 검사단계에서는 위치 신뢰도와 신호 일관성의 임계치를 이용하여 검증하고자 하는 신호데이터를 검증한다. 두 가지 검증의 대상이 되는 값들이 임계치 내에 있는지 검증한다. 위치 신뢰도는 위치 신뢰도 임계치 보다 적은지 확인하고, 동시에 앞의 과정에서 가우시안 보간법으로 계산한 예상 신호강도와 사용자가 실측한 신호강도의 차를 계산하고 그 차이가 신호강도 일관성의 임계치보다 적다면 신호지도에 갱신하고, 임계치보다 크다면 오류로 판단하여 제거한다.

4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 제안한 CMAL 시스템의 성능을 분석하기 위하여 클라이언트와 서버로 구성된 CMAL 시스템을 구현하였다. 클라이언트에서는 위치 추적과 동시에 신호지도 생성하는 WiFi SLAM 엔진을 안드로이드로 구현하여 스마트폰에 탑재하였다. 클라이언트는 신호지도가 없거나, 부족한 상황에서도 위치 추적과 동시에 신호지도 생성할 수 있으며, 사용자가 이동하며 수집한 신호지도는 서버로 송신하는 역할을 수행한다. 또한 서버가 생성한 공유 신호지도를 수신 받아 위치 추적을 수행할 수도 있다. 서버는 PC상에 자바로 구현하였으며, 공유 신호지도 데이터베이스를 관리하는 역할을 수행한다. 통신을 이용하여 클라이언트들이 작성한 신호지도를 전송받아 공유 신호지도 생성한다. 공유 신호지도 생성 시 앞서 소개한 오류 여과 알고리즘을 적용한다. 통신 시 주고받는 신호지도는 xml 메시지 형태로 정의하여 사용하였다.



Fig. 5. Screenshots of the CMAL implementation

Fig. 5는 실제 구현된 서버와 다수의 클라이언트를 이용하여 신호지도를 수집하고, 수집된 공유 신호지도를 관리하는 것을 단적으로 보여주는 화면이다. Fig. 5의 위쪽 부분은 안드로이드에 설치된 WiFi SLAM 엔진의 실행 모습으로, 두 명의 사용자가 각각 이동하면서 신호지도 생성 및 위치 추적을 수행하고 있다. 사용자가 위치 추적을 시작한 시작위치는 하나의 원으로 표현하였고, WiFi SLAM을 통해 추정된 현재 위치는 작은 원들로 파티클들의 집합을 지도위

에 표현 하였다. 시작위치와 현재위치를 연결한 선은 사용자가 이동한 이동경로를 의미한다. 아래쪽 UI화면은 자바로 구현된 CMAL 서버의 관리자 화면의 모습으로 서버상의 공유 신호지도의 수집 지역을 보여주고 있다. 화면상의 작은 점들이 사용자들이 이동하며 수집한 공유 신호지도의 신호 수집위치를 의미한다.

이와 같이 구현된 시스템을 이용하여 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 실험을 진행하였다. 평가 실험은 CMAL 신호지도 정확성 평가 실험, CMAL 신호지도를 활용한 위치 추적의 정확성 평가 실험 마지막으로 CMAL 신호지도의 범위 평가 실험으로 이루어져 있다. CMAL 신호지도 정확성 평가 실험은 다시 두 가지로 구성되어 있는데, 하나는 오류 여과 알고리즘을 통해 생성된 신호지도와 사람이 실측하여 생성한 신호지도의 신호강도를 비교하여 정확성을 평가하는 실험이고, 다른 하나는 오류 여과 알고리즘을 사용한 신호지도와, 사용하지 않는 신호지도 그리고 실측한 신호지도의 가우시안 분포를 비교하여 정확성을 평가하는 실험이다.

평가실험의 기준인 신호지도의 정확성을 평가하는 방법은 사람이 실측하여 생성한 실측신호지도(ground-truth fingerprints map)를 정확한 신호지도라 가정하고, CMAL 시스템을 통해 자동 생성된 신호지도와의 차이를 계산함으로써 정확성을 판단 한다. 신호지도가 위치와 신호 강도의 쌍으로 구성되어 있기에, 신호지도간의 차이는 실측신호지도를 기준으로 위치를 고정하고 다른 하나의 요소인 신호강도의 차를 계산한다. 동일 위치를 기준으로 실측신호지도와 CMAL 신호지도의 신호강도 차이를 비교하는 방법으로, 신호지도 수집 범위가 되는 여러 위치에서 신호강도를 비교하는 방법으로 신호지도의 정확성을 분석한다면 간접적으로 신호지도의 정확성을 검증할 수 있다고 판단되었다.

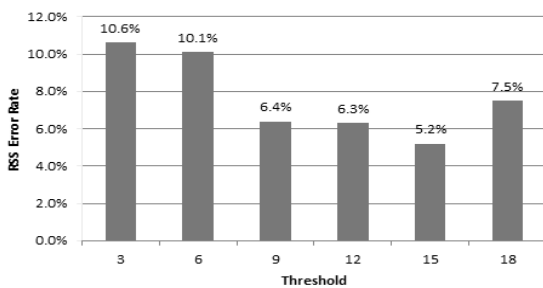


Fig. 6. Evaluation of average RSS error rate

첫째, Fig. 6은 CMAL 신호지도 정확성을 평가하는 첫 번째 실험으로 오류 여과 알고리즘을 통해 생성된 신호지도와 실측신호지도의 수신강도의 차이를 이용하여 신호지도의 정확성을 평가하는 실험이다. 실측신호지도의 수집위치인 대학 연구동의 한 층을 기준으로 복도의 한쪽 끝을 시작으로 3m간격으로 8곳의 위치를 선정하였으며, 신호 수집 방법은 선정된 8곳의 위치에서 각기 다른 방향으로 16번 신호를 수집한 후 평균값을 취하였다. 비교대상인 CMAL 신호

지도는 여자2명, 남자2명의 사용자가 이를 동안 신호수집의 대상이 되는 층을 자율적으로 이동하며 수집한 신호지도이다. 이와 같이 수집한 신호지도를 이용하여 공유 신호지도 생성시 오류여과 알고리즘의 임계값을 변화시키며 신호지도를 생성하였다.

실험결과는 실측 신호지도와 CMAL 신호지도의 신호강도 차이를 계산한 값이다. 동일 위치에서 신호강도의 차이를 계산하기 위하여 실측 신호지도가 수집되었던 8곳을 기준으로 신호강도의 차이를 비교하였다. CMAL 신호지도는 연속 자유공간을 대상으로 하여 비교 대상 위치들과 동등비교 하기 어려움이 있기에, 대안으로 가우시안 보간법을 이용하여 비교 대상 위치들의 예상 신호강도를 계산하여 신호강도의 차이를 계산하였다. 오류여과 알고리즘에서 신호강도의 일관성 평가 기준이 되는 임계값의 변화에 따라 최종 CMAL 신호지도의 정확성에 영향을 미치게 되므로, 임계값을 3에서 18까지 3씩 변화 시키며 임계값 별로 별도의 신호지도를 생성하였다. 8곳에서 신호강도의 차이를 계산하여 실측신호지도의 신호강도 비율로 계산하고, 그 값들의 평균값을 신호강도 오류율로 계산 하였다.

이와 같은 실험을 통하여 CMAL 신호지도 생성 시 각각 임계값 변화에 따라 신호지도의 정확성의 변화를 확인할 수 있으며, 더불어 최적의 임계값을 발견할 수 있을 것이라 예상하였다.

실험 결과인 Fig. 6의 y축은 신호지도의 오류율이고, x축은 위치 신뢰도의 임계값을 의미한다. 각 임계값 별로 신호지도의 오류율을 보면 임계값이 15일 때 신호강도의 오류율이 가장 적기에 CMAL 신호지도 중 정확성이 가장 높다고 판단할 수 있다. 실험 결과에서 임계치가 3과 6은 오류여과 과정에서 대부분의 신호 데이터가 제거되어 신호지도에 추가되는 양이 적어 신호지도의 품질이 낮았고, 임계치가 15 이상 증가되면 오류여과 기능이 약해져 오류데이터가 신호지도에 유입됨으로 신호지도의 품질이 낮아지는 것으로 추측 할 수 있다.

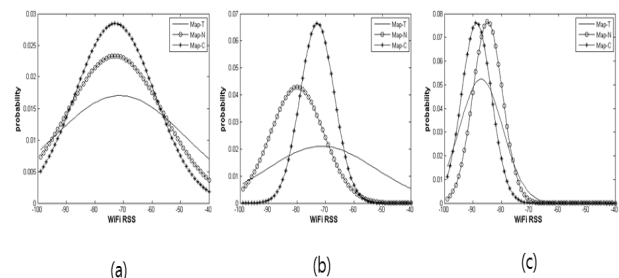


Fig. 7. Comparison among three fingerprint maps: Map_T, Map_C, and Map_N

둘째, Fig. 7은 신호지도의 정확성을 평가하는 두 번째 실험으로 실측신호지도(Map_T), 오류 여과 알고리즘을 사용한 신호지도(Map_C)와, 오류 여과 알고리즘을 사용하지 않는 신호지도(Map_N)를 이용하여 신호지도들의 가우시안 분

포를 비교하여 정확성을 평가하는 실험이다. 가우시안 분포를 이용한 신호지도의 정확성 평가는 가우시안 분포의 유사한 정도인 평균과 분산을 통해 확인할 수 있다.

실험에 사용한 Map_T는 Fig. 6의 실험에 사용한 것과 같은 신호지도이고, 비교 대상이 되는 Map_C는 Fig. 6의 실험결과 신호지도의 정확성이 가장 높은 임계치 15를 사용하여 생성된 CMAL 신호지도이다. 마지막으로 Map_N은 오류여과 알고리즘을 사용하지 않고 수집한 CMAL 신호지도이다. Fig. 7의 (a), (b), (c)는 각기 다른 지점으로 Fig. 6의 실험에서 실측신호지도 수집지역인 8곳 중 시작, 중간, 끝에 해당하는 위치이며, 전체 범위에서 수신이 잘되는 1개의 AP를 기준으로 실험하였다.

실험결과에서 실선은 Map_T, --- 는 Map_C, --- 는 Map_N을 의미한다. 각 선들은 각기 다른 신호지도를 이용하여 생성한 가우시안 분포를 의미한다. Fig. 7의 (a),(b),(c)의 결과를 통하여 Map_C의 가우시안 분포가 Map_N의 가우시안 분포보다 Map_T와 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 오류여과 알고리즘을 사용하는 것이 실측한 신호지도에 가깝다는 의미로 오류 여과알고리즘이 신호지도의 정확성을 높이는데 도움을 주는 것으로 판단할 수 있다.

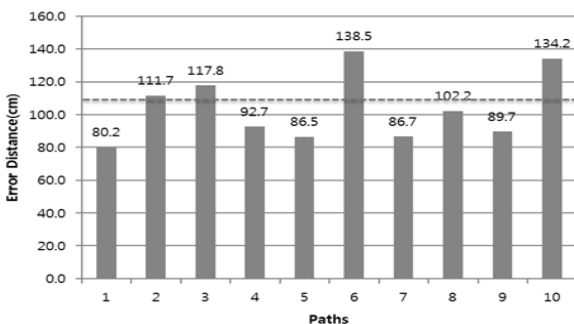


Fig. 8. Evaluation of localization accuracy

셋째, Fig. 8는 CMAL 신호지도를 활용하여 위치 추적의 정확성을 평가하는 실험결과이다. 실험에서는 Fig. 6의 실험결과 신호지도의 정확성이 가장 높았던 임계치 15를 이용하여 생성된 CMAL 신호지도를 이용한다. 선택한 신호지도를 WiFi SLAM 알고리즘이 적용된 클라이언트의 종자 데이터 (seed data)로 입력하여 위치 추적을 수행하고, 위치 추적의 정확성을 평가한 것이다. 위치 추적의 정확성은 사용자가 이동 중 사전에 실측해둔 위치를 지날 때 추정위치와 실측 위치 사이의 오차거리로 계산된다. 실험은 각기 다른 10가지 실험 경로를 대상으로 하였으며, 각 경로별 오차를 계산할 실측 위치집합을 가지고 있다. 실험 결과인 경로별 오차 거리는 개별 경로별로 실측 위치집합에서 오차 거리를 계산하고 이들의 평균을 계산한 값이다.

위치 추적의 평균 오차거리는 약 1.04 m로 매우 정확한 위치 추적 결과를 얻었다. 위치 추적의 결과가 신호지도만의 영향이라고 판단할 수는 없지만 부정확한 신호지도가 위

치 추적의 정확성을 낮춘다는 점을 고려 할 때 높은 위치 추적의 결과를 통해 CMAL 신호지도의 우수성을 확인할 수 있다.

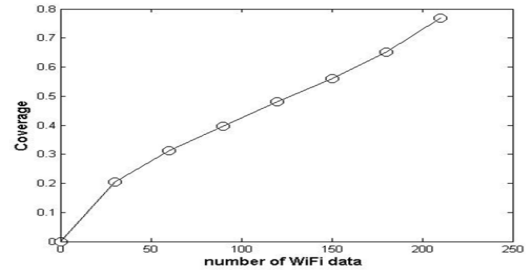


Fig. 9. Evaluation of map coverage

넷째, Fig. 9는 CLAM 시스템이 생성한 신호지도의 범위 (coverage)를 평가하는 실험이다. 신호지도의 범위를 평가한다는 것은 신호지도가 수집되어 확장될수록 넓은 범위의 신호지도가 수집되는지를 확인하는 실험이다. 실험 방식은 실험의 대상이 되는 공간을 격자로 나누고, 신호지도에 신호 데이터가 수집될 때마다 신호지도가 수집된 격자와 신호지도가 수집되지 않은 격자를 구분하여 비율을 계산하는 방식이다. Fig. 9의 x축은 확장되는 신호지도의 신호데이터의 수를 의미하고, y축은 신호데이터의 수에 따른 신호수집 범위의 비율이다.

실험 결과 신호지도의 신호데이터 수가 증가할수록 신호지도의 범위가 넓어지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과는 다수의 보행자가 가진 다양한 보행 패턴과 이동 경로가 자연스럽게 신호지도의 양이 늘어날수록 신호지도의 범위가 넓어지게 한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 군중-제공 신호지도 작성 및 위치 추적 (CMAL) 시스템을 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 다수의 스마트폰 사용자들로부터 수집된 지역 신호지도들을 이용하여 자동으로 공유 신호지도를 구축/갱신할 수 있을 뿐만 아니라, 동시에 새로운 신호지도를 이용하여 각 스마트폰 사용자의 위치를 추적할 수 있는 기능을 제공한다. 본 시스템은 각 스마트폰에서 신호지도를 수집하는 다수의 클라이언트들과, 공유 신호지도 데이터베이스를 관리하는 중앙의 서버로 구성된다. 각 클라이언트에는 스마트폰 사용자의 실시간 위치를 추적하면서 동시에 지역 신호지도를 생성하는 파티클 필터-기반의 WiFi SLAM 엔진을 내장하고 있으며, 서버에는 공유 신호지도의 무결성 유지를 위한 가우시안 보간법 기반의 오류 여과 알고리즘을 채택하고 있다. 다양한 실험들을 수행한 결과를 통해, 본 논문에서 제안한 시스템의 높은 성능을 확인할 수 있었다.

향후 연구로 오류여과를 강화시키고 효과적인 신호지도 관리와 공유를 위한 연구를 진행할 예정이다.

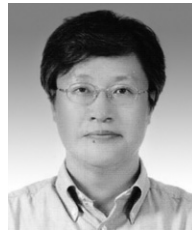
참 고 문 헌

- [1] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), 2000.
- [2] A. LaMarca, et al., "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild," Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing, 2005.
- [3] V. Honkavirta, et al., "A Comparative Survey of WLAN Location Fingerprinting Methods," Proceedings of the 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC), 2009.
- [4] B. Ferris, D. H'ahnel, and D. Fox, "Gaussian Processes for Signal Strength-Based Location Estimation," Proceedings of Robotics Science and Systems, 2006.
- [5] B. Philipp, "Redpin - Adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration," presented at the First ACM Int. Workshop Mobile Entity Localization Tracking GPS-less Environ, San Francisco, CA, 2008.
- [6] J. Ledlie, et al., "Mole: a Scalable, User-Generated WiFi Positioning Engine," Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011.
- [7] J. Park et al., "Growing an Organic Indoor Location System", Proceedings of the 8th International Conference on MobiSys-2010, San Francisco, CA, 271 - 284, 2010
- [8] B. Ferris, et al., "WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models," Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), 2007.
- [9] J.Huang, et al., "Efficient, Generalized Indoor WiFi GraphSLAM", Proc. of ICRA-2010, 2010.
- [10] L. Bruno, Patrick Robertson, "WiSLAM: Improving FootSLAM with WiFi", Proc. of IPIN-2011, 2011.
- [11] E. Choi, H. Oh, I. Kim, "Simultaneous Localization and WiFi Fingerprint Mapping Based on Particle Filters", Journal of KIISE: Software and Applications, Vol.40, No.4, 2013.



최 은 미

e-mail : allychoi@kyonggi.ac.kr
 2004년 경기대학교 컴퓨터학과(학사)
 2006년 경기대학교 컴퓨터학과(석사)
 2012년~현재 경기대학교 컴퓨터학과
 박사과정
 관심분야: 인공지능, 기계학습, 모바일
 컴퓨팅



김 인 철

e-mail : kic@kyonggi.ac.kr
 1985년 서울대학교 수학과(학사)
 1987년 서울대학교 전산학과(이학석사)
 1995년 서울대학교 전산학과(이학박사)
 1996년~현재 경기대학교 컴퓨터학과
 교수
 관심분야: 인공지능, 기계학습, 지능로봇