JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 10 : 1994~2000 Oct. 2016

센서 융합 기반의 실내외 연속 위치 인식

김정이*

Sensor Fusion for Seamless Localization using Mobile Device Data

Jung-yee Kim*

Department of Port Logistics System, TongMyong University, Pusan 48520, Korea

요 약

개인의 위치를 확인할 수 있는 기술은 위치기반제어, 개인화된 광고 등 다양한 응용분야에서 요구된다. 미아발생 방지나 현장 학습을 위한 지원, 사용자의 위치에 따른 적절한 Push 이벤트 등 그 응용분야는 무궁무진하다. 기존의 많은 연구들이 위치 확인의 정확도에 비중을 두고 연구되어, 별도의 장비를 장착하거나 시설물에 특정 장치를 해야 하는 등의 제약 조건이 있었던 것과 달리 본 논문에서 제안한 알고리즘은 대부분의 사용자가 갖고 있는 스마트폰의 기본 사양만으로 위치 추적을 수행하는 것을 목적으로 하였다. 스마트 폰에 의해 수집 가능한 GPS와 WiFi RSS, 가속도계 센서 데이터를 파티클 필터를 적용하여 센서 융합을 실행하여 위치를 확인하는 알고리즘을 설계・구현하였고, 실험 결과, 사용자의 위치 확인 정확도가 다른 비교 알고리즘에 비해 우수한 성능을 보여, 해당 알고리즘의 실제 환경 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Technology that can determine the location of individuals is required in a variety of applications such as location based control, a personalized advertising. Missing-child prevention and support for field trips, and applications such as push events based on the user's location is endless. In particular, the technology that can determine the location without interruption in the indoor and outdoor spaces have been studied a lot recently. Because emphasizing on accuracy of the positioning, many conventional research have constraints such as using of additional sensing devices or special mounting devices. The algorithm proposed in this paper has the purpose of performing the positioning only with standard equipment of the smart phone that has the most users. In this paper, sensor Fusion with GPS, WiFi Radio Map, Accelerometer sensor and Particle Filter algorithm is designed and implemented. Experimental results of this algorithm shows superior performance than the other compared algorithm. This could confirm the possibility of using proposed algorithm on actual environment.

키워드 : 위치확인, 센서 융합, GPS, 와이파이 라디오 맵, 가속도계, 파티클 필터

Key word : Localization, Sensor Fusion, GPS, WiFi Radio Map, Accelerometer, Particle Filter

Received 22 September 2016, **Revised** 27 September 2016, **Accepted** 06 October 2016

* **Corresponding Author** Jung-Yee Kim(E-mail:kjy6858@tu.ac.kr, Tel:+82-51-629-1464)
Department of Port Logistics System, TongMyong University, Pusan 48520, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.10.1994 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

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

Ⅰ. 서 론

위치 추적 기술은 사람이나 물체의 물리적, 지리적, 논리적 위치 정보를 인식하는 기술이다[1]. 개인의 위치를 확인할 수 있는 기술은 위치기반제어, 개인화된 광고 등 다양한 응용분야에서 요구된다. GPS(Global Positioning System) 기술은 실외 영역에서 위치 확인 기술로 일반화되어 사용되고 있는 반면, 신호 차단 현상으로 인해 실내에서는 신뢰할 수 없는 기술이다. 이와 같은 문제점 해결을 위해, 최근 실내 환경에서의 무선랜 신호와 이 신호를 수집할 수 있는 디바이스 중의 하나인 스마트폰 사용자의 폭발적 증가를 계기로 스마트폰을 이용한 실내 위치인식이 활발히 연구되고 있다.

실내에서의 위치 추적에는 WiFi나 이동 통신망 무선 네트워크의 AP(Access Point)부터 수신하는 신호의 세기(RSS : Received Signal Strength)를 이용한 핑거프린팅(Fingerprinting) 등 다양한 기술이 사용되어 왔다. RSS 기반 핑거프린팅 방식은 시스템 설계 과정에서 관리자가 미리 위치가 알려진 여러 RP(reference point)에서 네트워크 AP 의 RSS 를 측정하여 Radio Map을 생성하고, 이후 사용자가 측정하는 RSS 와 Radio Map 간 근사도를 측정함으로써 자신의 위치를 찾는다. 그러나 RSS는 주변환경 변화 및 사용하는 무선단말 차이에 따라 서로 다른 특성을 보이며[2], Radio Map 제작(offline) 단계와 사용자 측위(online) 단계 간 차이는 측위성능을 크게 저하시킨다. 최근에는 핑거프린팅 방식의 단점을 보완하기 위해 핑거프린팅 방식을 관성센서 기반 측위 방식과 융합하는 위치추적 기법들이 소개되고 있다[3].

특히, 스마트폰의 보급 및 확산으로 인해 스마트 폰에 내재된 다양한 센서 하드웨어를 이용하여 스마트 폰만으로도 실내 및 실외에서의 사용자의 위치를 확인하는 것은 많은 애플리케이션에서 필요로 하는 기술이다.

본 논문은 위치 인식을 위해 고가의 센서 장비를 활용하는 연구를 피하고, 별도의 디바이스 추가 없이 스마트폰만으로 스마트폰의 기본 구성인 GPS 센서, Wifi 센서, 가속도 센서 데이터의 융합을 파티클 필터와 결합하는 센서 데이터 융합 알고리즘을 제시하고, 해당 알고리즘의 위치 추적 성능을 확인하고자 한다.

이 논문의 구성은 2장에서 파티클 필터와 위치 추적을 위한 센서 데이터 융합을 다루며, 3장에서 제안한 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서 실험을 통해 타당성을 입증한 후, 5장에서 결론 및 향후 계획이 뒤따른다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1. 파티클 필터

센서 정보 융합을 위한 최첨단 기술 중의 하나로 사용되고 있는 기법인 파티클 필터는 잡음이 많은 입력으로부터 동적 시스템의 상태를 예측하는 베이지안 필터의 확률적 접근 알고리즘이다. 다양한 베이지안 필터 중에서도 칼만 필터와 파티클 필터는 위치 추적에 많이 사용되고 있다. 칼만 필터는 가우시안 모델이라는 가정과 상태간의 관계가 선형이라는 조건을 가지지만 파티클 필터는 비가우시안 모델에도 적용 가능하며 비선형 시스템에도 활용할 수 있어 시스템 모델을 선형으로 변환해야 하는 칼만 필터보다 광범위하게 적용되고 있다.

파티클 필터는 샘플링 방법을 사용하여 베이지안 필터를 구현한 예측기술이다. 주어진 관찰 데이터로부터 알려지지 않은 상태를 예측하는 것이다[4]. 베이즈 추정은 시각 t에서의 상태 벡터를, 시각 t-1에서 예측한 사전 확률과 시각 t에서 관측 결과에 의한 사후 확률에서 계산한 확률 밀도 분포에 의해 추정하는 방법이지만 상태 벡터의 모든 상태를 계산하는 것은 현실적으로는 어렵다. 이에 반해, 파티클 필터는 이산적인 유한개의 샘플(파티클)의 랜덤 샘플링과 가중치(중요도)를 이용, 확률 밀도 분포를 근사계산함으로서 현실적인 이용이 가능하다.

파티클 필터에 의해 추정되는 상태 x^t의 사후확률은 식 1과 같고, 그림 1은 일반적인 파티클 필터 알고리즘이다[5].

$$p(x_t|z_t) = \sum_{i=1}^{N} \omega_t^i \delta(x_t - x_t^i). \quad (1)$$

Line 3~4는 예측 단계로서 사전 확률을 이용하여 수신된 측정값 z_t를 이용한 가중치를 갖는 파티클을 N개 생성한다. Line 7~10은 모든 파티클의 가중치의 합이 1이 되도록 정규화한 후, 사후 확률의 추정값인 새로운 파티클을 생성하는 과정이다. Line 11은 측정값에 가까운 파티클들이 더 자주 뽑히도록 파티클을 재샘플링하

는 과정을 나타낸다.

1: $\overline{\chi_t} = \chi_t = 0$;
2: for i = 1 to N do
3: sample $x_t^i \sim p(x_t | x_{t-1}^i)$
4: assign particle weight $\omega_t^i = p(z_t | x_t^i)$
5: end for
6: calculate total weight $k = \sum_{i=1}^{N} \omega_t^i$
7: for i = 1 to N do
8: normalize $\omega_t^i = k^{-1} \omega_t^i$
9: $\overline{\chi_t} = \overline{\chi_t} + x_t^i, \omega_t^i$
10: end for
11: $\chi_t = Resample(\overline{\chi_t})$
12: return χ_t

Fig. 1 Particle Filter(χ_{t-1}, z_t)

2.2. 센서데이터 융합

위치 추적을 위한 센서 데이터 융합은 실외 환경에서 GPS와 지자계 센서 데이터의 융합에서 시작되었다[6,7]. 일반적인 상황에서는 GPS가 실시간으로 정확한 위치를 제공할 수 있지만, GPS가 일정 시간 동안 감지가 차단되거나 에너지 절약을 위해 GPS의 감지 주기를 조정하려는 경우에는 센서 데이터 융합이 필요하다[8].

실내 환경에서는 GPS의 사용이 불가하므로, WiFi[9], 초음파[10], UWB[11]와 같은 기술이 위치 추적을 위해 적용된다. 이 중에서도 대부분의 건물에 WiFi 라우터가 광범위하게 설치되어 있어, WiFi를 적용하는 기술이 가장 많이 사용되고 있다. 최근의 센서 데이터 융합은 WiFi와 PDR(Pedestrian Dead Reckoning) 방식을 같이 사용하는 경향을 보이고 있다. [12]에서는 WiFi와 PDR, 기압계 센서 데이터를 이용한 위치 추정을 연구하였고, [13]은 자이로 센서와 WLAN의 RSS, 실내 맵 정보의 핑거 프린팅을, [14]는 가속도계와 WLAN RSS 맵 정보를 이용한 파티클 필터를 구현하였다.

하지만, 대부분의 실내 위치인식의 경우는 정확도 향상을 위해 고가의 센서 장비를 활용하는 경우가 많은 상황이다. 또한, 대부분의 연구가 실내 환경에서의 위치 추적 기술을 다루고 있어, 실내외 환경 모두에서 위치를 확인하는 방법에 대해서는 연구가 드물었다.

본 논문에서는 대부분의 사용자가 갖고 있는 스마트폰의 가속도 센서, WiFi RSS, GPS 센서 데이터만을 활용하여 사용자의 위치 확인하는 방법을 제안하고, 제안한 방법은 실험을 통해 성능을 입증한다.

Ⅲ. 위치 추적을 위한 센서 데이터 융합

스마트폰의 내장 센서로는 가속도 센서, 나침반 센서, 근접 센서 등이 있다. 본 논문에서 사용할 센서 데이터는 스마트폰 내장 센서를 활용하여 수집된, WiFi RSS를 이용한 핑거프린팅, 가속도계 데이터를 이용한 사용자의 이동 여부 확인, 그리고, 외부에서의 이동 상태 및 위치 확인을 위한 GPS 데이터이다.

3.1. 가속도 센서 데이터

3축 가속도 센서는 그림 2[15]와 같이, x 축은 스마트폰의 정면을 기준으로 좌우 방향을, y축은 위아래 방향, z축은 앞 뒤 방향으로 가해지는 압력을 측정한다. 무중력 상태라면, $x = y = z = 0$이 측정된다. 만약, 스마트폰을 책상위에 두는 경우는, 움직임이 없이 중력의 영향만을 받는 상황으로 $x = y = 0, z = 1$의 값을 나타낸다.

Fig. 2 x, y, z Axes of Accelerometer

사람에 따라 스마트폰을 가지고 다니는 방법은 여러 가지이다. 주머니에 넣거나, 손에 들고 다니거나, 가방에 넣고 다니는 등 매우 다양하다. 스마트폰의 방향이 x, y, z축의 측정값에 영향을 많이 주기 때문에, 본 논문에서는 사용자의 이동여부 검출을 위해서만 가속도

계를 사용하였다. 이동 여부 검출을 위해 식 2를 사용하였고, 그림 3은 3축 센서 측정값을 식 2에 적용한 결과를 나타낸 것으로 정지 상태와 이동 상태에서의 가속도 측정값을 차이를 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 이동 상태와 정지 상태 시의 3축 가속도 측정값이 특성이 확연히 다르다는 것을 알 수 있다. 따라서, 가속도 측정 데이터를 이용하여 계산한 값에 임계치를 적용하여 사용자의 이동 상황을 판단하였다.

$$\sqrt{(x-x^{'})^2+(y-y^{'})^2+(z-z^{'})^2} \qquad (2)$$

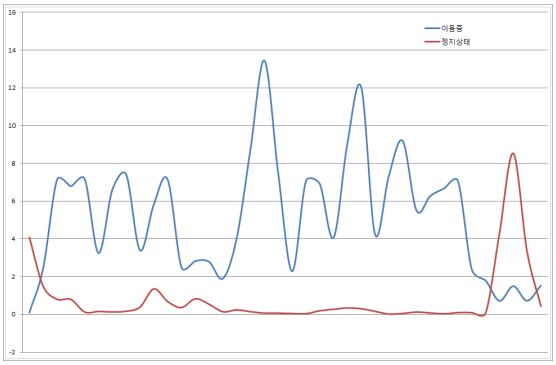

Fig. 3 Acceleration Value Corresponding to the Moving State

3.2. WiFi 핑거프린트

핑거프린트는 한 위치에서 각각의 AP에 대한 서로 다른 전파의 특성을 반영하는 원리를 이용하여 위치를 결정하는 방식으로 일종의 패턴 인식이다. 구현을 위해서는 오프라인(Offline) 단계와 온라인(Online) 단계로 나뉘는데, 오프라인 단계에서는 측정 대상 지역을 임의 크기의 그리드(Grid)로 분할한 후, 각 그리드에서 RSS를 측정하여 데이터베이스를 구축한다. 온라인 단계에서는 이동 중에 RSS를 측정하여 오프라인 단계에서 구축된 데이터베이스에서 가장 유사한 패턴의 그리드를 사용자 위치로 결정한다. 이 과정에서 k-NN(K-Nearest Neighbor) 알고리즘, Ranking 알고리즘, 산술평균 알고리즘, 확률적 알고리즘 등 다양한 방법이 연구되었다.

본 논문에서는 그림 4의 건물 2개동을 이동하면서 수집된 WiFi RSSI를 이용하였고, 두 개 건물 사이에는 약 100m 정도의 실외 공간을 이동해야 하는 구조이다. 그림에서 빨간 점으로 표시된 부분이 설치된 AP의 위치를 나타내고, 초록 점은 신호 참조 위치(Reference Point)이다.

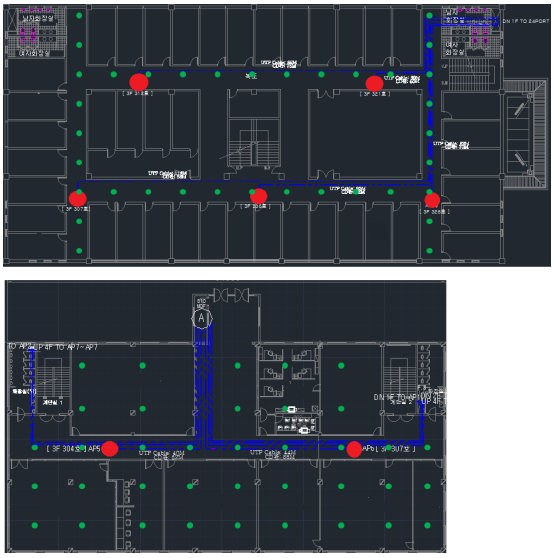

Fig. 4 Wifi Radio Map

수집 정보는 각 AP의 위치와, SSID, BSSID, Mac Address, RSSI이고 수집된 위치이다. 수집된 WiFi 인프라 정보를 가지고 라디오 맵 데이터베이스를 구축하기 위해, 수집 장소와 수집 시간대의 기준에 따라 데이터를 필터링하고, WiFi AP의 수집 구역을 정의된 크기의 그리드 형태로 분할하여 그리드 별 WiFi AP 신호에 대한 평균 신호 패턴을 저장하여 라디오 맵을 구축하였다. 온라인 단계에서는 WiFi 신호의 전파감쇄모델을 대비하여 해당 건물의 수평위치(x, y 좌표)를 추정하였다.

3.3. 센서 데이터 융합 알고리즘

본 논문은, 대부분의 센서 융합 알고리즘이 각각의 센서 데이터를 따로 파티클 필터에 적용하고 그 결과를 융합하는 것과의 차별성을 두고, 기본적으로는 파티클 필터 과정안에서 측정된 각각의 센서 데이터 융합을 진행하도록 설계하였다. 제안 알고리즘의 순서도는 그림 5와 같다.

알고리즘을 설명하면, 수집된 가속도 센서 데이터를 이용하여 사용자의 동작여부를 식별한다. 가속도계 센서 데이터를 식 2에 적용하여 임계값을 2를 기준으로 정지상태와 이동상태를 판별하였다.

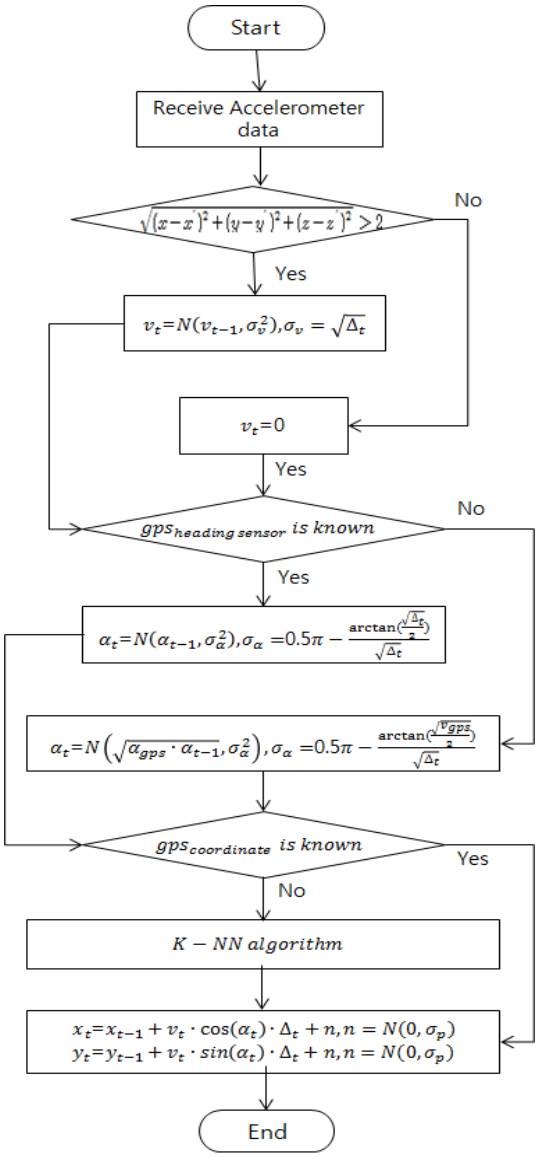

Fig. 5 Fusion Algorithm

정지상태인 경우 속도벡터를 0으로, 이동상태인 경우 이전 속도벡터를 평균으로 하고, 측정 시간 단위를 분산으로 사용하는 가우시안 분포를 이용한 파티클 필터 수행하여 현재 속도를 추정한다. 다음으로 GPS 센서 데이터를 이용하여 방향 벡터 α_t를 추정한다. 방향을 추정할 수 없는 경우는 이전 방향벡터 α_{t-1}를 적용하여 추정을 시도한다. GPS 좌표데이터는 이전 위치 좌표 (x_{t-1}, y_{t-1})와 방향벡터(v_t), 속도 벡터(α_t)를 이용하여 현재 위치좌표 (x_t, y_t)를 추정한다. 또한, GPS 센서 데이터의 수신이 불가능한 경우는 WiFi RSS 데이터를 이용하여 K-NN 알고리즘$(K=5)$을 적용, 위치 좌표를 추정하였다. 해당 과정은 리샘플링을 파티클의 수만큼$(N=100)$ 반복하여 최종 위치를 추정하였다.

Ⅳ. 구현 결과

본 장에서는 제안 센서 융합 알고리즘의 위치 추정 결과를 측정하여 제안 시스템을 효율성을 평가한다. 실험에서는 사람은 2개 건물 사이를 그림 6과 같은 방법으로 이동하고, 성능 비교를 위해 제안한 알고리즘이 추정한 결과와, GPS 센서만을 사용, WiFi 센서 데이터와 GPS 센서 데이터를 동시에 이용한 데이터를 수집하여 비교하였다. 비교 결과는 그림 7과 같다.

Fig. 6 Movement Path of the Experimenter

실험 결과를 살펴보면, GPS만으로의 위치 추적은 실외 공간과 달리 실내 공간에서는 위치 추적이 진행되지 않는다. 실내에서 실외로 이동한 경우, GPS 위성값을 수신 시작 지점까지의 지연 현상이 있었으며, 실외에서 실내로 진입한 후에는 이전 위성좌표값을 현재 위치로

인식하는 오류가 존재하였다. 정상적인 경우의 평균 위치 오차는 3.68m 정도였다. WiFi와 GPS를 이용하는 경우는, 실내에서 WiFi 라디오 데이터만을 이용하기 때문에 인식 지연 및 오류가 존재함을 보여준다. 평균 위치 오차는 4.96m 정도이다. 반면, 파티클 필터로 센서 융합을 구현한 제안 알고리즘의 경우에는 실내 및 실외 환경 모두에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있고 평균 위치 오차 역시 3.599m를 보였다. 다만, 초기 위치 산정에 있어 지연 현상을 보여 이에 대한 보완이 필요하다.

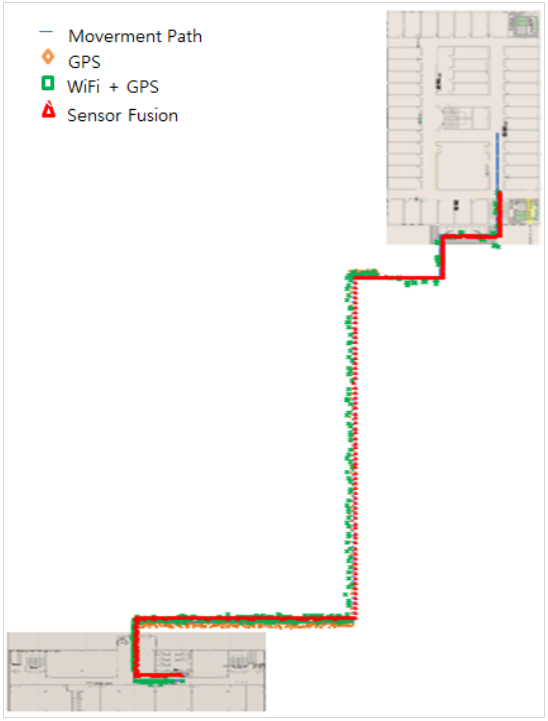

Fig. 7 Experiment Result

V. 결 론

본 연구는 스마트폰 환경에서 실외는 물론 실내에서도 사용자의 위치를 파악할 수 있도록 실외 공간에서의 위치 추적에 주로 사용되는 GPS 센서 데이터와 실내 공간에서의 위치 추적을 위한 WiFi RSS 센서 데이터를 사용하되 사용자의 이동 여부 판단을 위해 가속도 센서를 사용, 세 가지 센서 데이터의 융합을 파티클 필터와 결합하는 새로운 위치 추적 알고리즘을 제안하였다. 비교를 통해 스마트 폰의 하드웨어 사양만으로도 실내와 실외 공간에서의 위치 추적의 단절 현상을 해소하면서, 사용자가 불편하지 않을 정도의 위치확인오차를 나타냄을 확인하였다.

스마트 폰만을 이용하여 사용자의 위치를 실시간으로 인식하는 기법은 다양한 서비스에 활용될 수 있을 것이다. 최근에는 단순한 위치 기반 서비스에서 발전하여 사용자의 시간, 상황, 타인과의 관계 등 다양한 컨텍스트를 고려한 시공간 기반 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어, 박물관 혹은 문화 유적지의 답사, 미아 발생 방지와 같은 실내외 위치 인식이 요구되는 다양한 애플리케이션에서의 활용을 기대할 수 있다. 향후에는, 더 많은 센서 데이터의 적용 가능성과 초기 위치 산정 지연 문제 해결 및 정확도 제고에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

This Research was supported by the Tongmyong University Research Grants 2016(2014A041).

REFERENCES

[1] J. Hightower and G. Borriello, “Location systems for ubiquitous computing,” *Computers*, vol. 34, no. 8, pp. 56-66, Aug. 2001.

[2] C. Laoudias, R. Pich, and C. G. Panayiotou, “Device self-calibration in location systems using signal strength histograms,” *Journal of Location Based Services*, vol. 7, no. 3, pp. 165-181, Aug. 2013.

[3] A. Kushki, K. Plataniotis, and A. Venetsanopoulos, “Intelligent dynamic radio tracking in indoor wireless local area networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 405-419, Mar. 2010.

[4] K. H. Yun, D. J. Kim, and S. Y. Park, “Robust Location Tracking Using a Double Layered Particle Filter,” *Journal of Korean Institute of Information Scientiests and Engineers*, vol 33, no. 12, pp. 1022-1030, Dec. 2006.

[5] M. Weyn, “Opportunistic Seamless Localization,” Master’s

Thesis, Artesis University College of Antwerp, Mar. 2011.

[6] Q, Ladetto. “On foot navigation: Continuous step calibration using both complementary recursive prediction and adaptive Kalman filtering,” *Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2000)*, pp. 1735-1740, Sep. 2000.

[7] Qi. H, Moore. J.B, “Direct Kalman filtering approach for GPS/INS integration,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst*, pp. 687-693, 2002.

[8] Z. Chen, H. Zou, H. Jiang, Q. Zhu, Y. C. Soh and L. Xie, “Fusion of WiFi, Smartphone Sensors and Landmarks Using the Kalman Filter for Indoor Localization,” *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 715-732, Jan. 2015.

[9] C. H Lim, Y. Wan, B. P. Ng, C. See, “A real-time indoor WiFi localization system utilizing smart antennas,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 53, pp. 618-622, May. 2007.

[10] D. A. Kuban, L. Dong, R. Cheung, E. Strom, R. de Crevoisier, “Ultrasound-based localization,” *Seminars in Radiation Oncology*. vol. 15, no. 3, pp. 180-191, Jul. 2005.

[11] S. Gezic, Z. Tian, G. B. Giannakis, H. Kobayashi, A. F. Molisch, H. V. Poor, Z. Sahinoglu, “Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, pp. 70-84, Jul. 2005.

[12] F. Evennou, F. Marx, “Advanced integration of WiFi and inertial navigation systems for indoor mobile positioning,” *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, pp. 164-164, Apr. 2006.

[13] H. Leppäkoski, J. Collin, J. Takala, “Pedestrian navigation based on inertial sensors, indoor map, and WLAN signals,” *Journal of Signal Processing Systems*. vol. 71, pp. 287-296, Jun. 2013.

[14] H. Wang, H. Len, A. Szabo, J. Bamberger, U. D.Hanebeck, “WLAN-based pedestrian tracking using particle filters and low-cost MEMS sensors,” *In Proceedings of the 2007 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC’07)*, Hannover, Germany, pp. 1-7, Mar. 2007.

[15] Venusyu. (2015, November). Example of utilizing acceleration sensor and acceleration sensor readings [Internet]. Available: http://blog.naver.com/venusyu/220548449802.

김정이(Jung-Yee Kim)

1990년 경성대학교 전산통계(이학사)
1994년 경성대학교대학원 전산통계학과(이학석사)
2005년 부산대학교 지형정보협동과정 박사과정 수료
2001~2006년2월 동명대학 컴퓨터정보처리과 교수
2006년 3월~현재 동명대학교 항만물류시스템학과 교수
※관심분야 : 위치인식, 안드로이드 앱, 공간정보, 센서네트워크