

ToA 기반 실내 위치측위 시스템 개발에 관한 연구

이 두 용* · 박 설 화* · 송 영 근* · 장 정 환* · 조 용 철** · 이 창 호*

*인하대학교 산업공학과 · **한국항만연수원 인천연수원

A Study on Development based on ToA Method of Location Determination System in Indoor

Doo-Yong Lee* · Xue-Hua Piao* · Young-Keun Song*

Jung-Hwan Jang* · Yong-Chul Jho** · Chang-Ho Lee*

*Department of Industrial Engineering, INHA University

**Korea Port Training Institute Incheon

Abstract

Location-Based Service(LBS) is a service that provides a variety of convenience in life using location information that can be obtained by mobile communication network or satellite signal. In order to provide LBS precisely and efficiently, we have to need technologies such as location determination technology, platform technology and server technology first. In this study, we studied on how we can reduce the error on location determination of objects such people and things.

Fingerprint location determination method was applied to this study because it can be used at current wireless communication infrastructure and less influenced by a variety of noisy environment than other location determination methods. We used the time of arrival(ToA) method in fingerprint location determination method. In order to confirm the performance of suggested method, we developed location determination test program with LAbVIEW 2010 and performed the test. According to indoor test results, the suggested method reduced the distance error by 24%, 34% and 19% respectively at indoor environment compared with deterministic kWNN and Rice Gaussian fingerprint methods.

Keywords : Location Based Service, ToA, Location Determination, Fingerprint

1. 서 론

최근 스마트폰의 급속한 보급으로 위치기반서비스(LBS: Location-Based Service)의 관심이 높아지고 있으며, 타 산업이나 서비스와 접목되면서 점차 영향력이 커지고 있다. 물류 및 유통 산업에서는 위치 정보를 이용하여 물류의 흐름을 추적할 수 있고 처리 과정을 실시간으로 확인하는 등 산업 전반에 혁신을 가져와 기업

에게 비용절감 효과를 제공하고 있다. 개인에게는 위치 기반 생활정보, 증강현실, 친구 찾기 서비스 등을 제공하여 생활에 많은 변화를 주고 있는 등 위치기반서비스는 새로운 컨버전스 서비스로 부각되고 있다.

LBS 기술은 현재까지 이동통신 기술의 발전 및 측위 기술의 고도화를 통해 다양한 측위 인프라를 기반으로 발전되어 왔다. 측위기술의 구분은 단말을 중심으로 위치를 수행하는 방식인 단말 기반의 측위 하는

† 본 연구는 한국연구재단의 지원으로 연구되었음(2010-0014211)

† 교신저자: 이창호, 인천시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

M · P: 010-3761-2995, E-mail: lch5601@inha.ac.kr

2011년 1월 20일 접수; 2011년 3월 2일 수정본 접수; 2011년 3월 11일 게재확정

방식인 네트워크 기반의 측위(Network Based Positioning), 이들 둘을 융합하여 사용하는 방식을 혼합형 측위(Hybrid Positioning) 등이 있다. 하지만 현재 네트워크 기반 측위 기술은 쉽게 접근할 수 있는 인프라임에도 불구하고 상용 수준에서 만족할 만한 성능을 보이고 있지 않다.

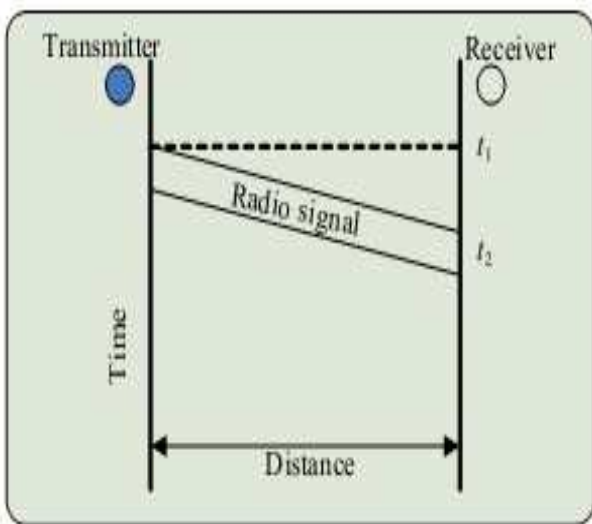
따라서 본 연구에서는 네트워크 기반 측위기술 중 실내에서 이동체의 위치를 결정하기 위해 주위의 환경 정보를 반영하여 잡음으로 인한 오차요인을 줄일 수 있는 Fingerprint 방법을 적용하여 ToA 기반의 위치추위 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 또한 Fingerprint 방법의 확률론적 알고리즘을 개선하여 계산된 확률 값을 Log-scale로 변환하여 가중치를 부여하는 방법을 적용한 Log-scale 알고리즘을 이용하였다. ToA 방법을 적용한 실내 위치추위 시스템을 구현하여 실내에서 테스트를 수행하고 취득한 정보를 바탕으로 다양한 분석을 통해 시스템의 성능을 검증하였다.

2. 이론적 배경

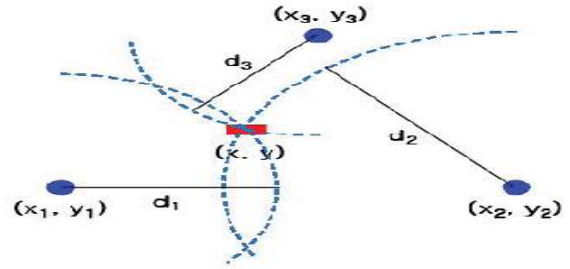
2.1 ToA(Time of Arrival)

ToA는 무선 노드 간 거리를 측정하기 위해 시간 정보를 이용한다. 일반적으로 RF 신호는 빛의 속도로 전파되기 때문에 송신 노드에서 수신 노드까지 신호를 전송하는데 걸리는 시간에 RF 신호의 속도를 곱해서 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리로 계산할 수 있다.

일반적으로 두 노드 사이의 거리는 하나의 노드에서 다른 노드로 신호를 전파하는데 걸리는 시간과 비례한다[6].



[그림 1] ToA(Time of Arrival) 방법



[그림 2] 삼각측량법

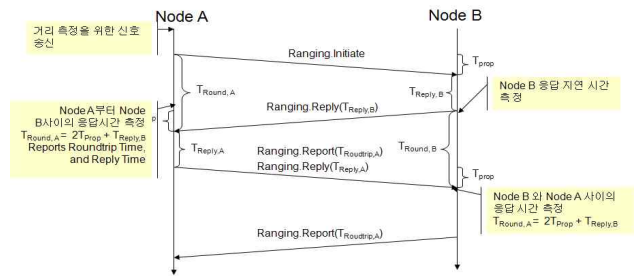
송신 노드에서 t_1 시간에 신호를 보내고 수신 노드에서 t_2 시간에 신호가 도착하면, 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리 $d = s_r(t_2 - t_1)$ 이 된다. 여기서 s_r 은 무선신호의 전파 속도이고, t_1 과 t_2 는 각각 송신 노드에서 보내고 수신 노드에서 받은 시간이다. ToA 기반 거리 측정은 송신 노드와 수신 노드가 정확하게 동기화된 시간을 요구하고, 송신 노드가 보내는 패킷에 신호 시간을 포함해야 한다.

ToA를 기반으로 이동 단말기의 위치를 계산하기 위한 직접적인 접근은 ToA 기반의 알고리즘의 경우 세 원의 교차점을 계산하는 삼각측량법을 사용한다.

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} \\
 d_2 &= \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} \\
 d_3 &= \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 노드간 거리를 측정하기 위해 IEEE 802.15.4a 에 정의된 SDS-TWR(Symmetric Double Sided Two-Way Ranging) 프로토콜을 사용하였다.

SDS-TWR 프로토콜은 송신측에서 출발하여 수신측에 도착한 전파 전송 시간과 전파 속도를 통해 거리를 측정하는 기술이다. 먼저 두 개의 장치 사이에서 거리를 측정하는 방법으로 수신신호에 대한 도착시간과 응답시간을 측정하여 거리를 계산한다[2][4][8].



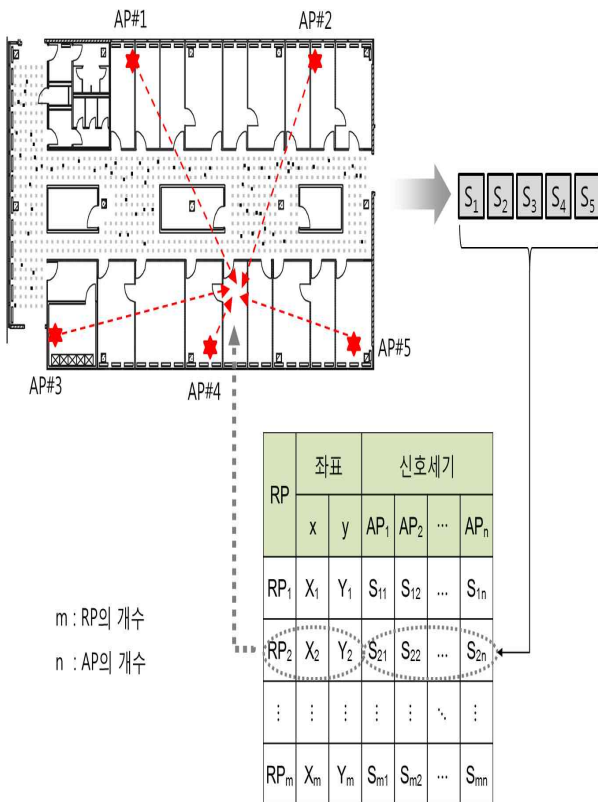
[그림 3] SDS-TWR 프로토콜

노드 A부터 B까지 통신에 걸린 지연시간과 통신시간을 노드의 타이머를 이용하여 측정하고 노드에 걸리는 통신시간에 지연시간을 제외한 후 여기에 전파의 속도 c 를 곱하여 거리 d 값을 계산한다.

$$d = c \frac{T_{RoundA} - T_{ReplyB} + T_{RoundB} - T_{ReplyA}}{4} \quad \text{식(2)}$$

2.2 Fingerprint

Fingerprint 방법은 전파 패턴 매칭 방식으로 위치별 신호 세기 정보를 먼저 DB로 구축한 다음, MU의 전파 특성 정보를 DB와 비교하여 최적의 위치를 추정하는 방법이다. Fingerprint 방법의 정확도는 데이터베이스 구축 시 샘플 포인트 밀도에 따라 달라지며, 주위의 환경 상황이 반영되므로 정확한 측위가 가능하다. 위치 추정은 추정 대상이 되는 공간에 다수의 참조 포인트를 설정하고, 모든 참조 포인트에서의 전파 특성 값을 채취하여 DB를 구축하는 Training 단계와 MU의 전파 특성 값을 측정하여 기 구축된 DB 검색을 통해 가장 유사한 값을 선택한 후 그에 해당하는 참조 포인트를 제시하는 Positioning 단계를 통해 MU의 위치를 추정하는 방법이다.



[그림 4] Fingerprint 방법에 의한 측위

<표 1> 국내의 ToA 기반 위치추적 시스템 사례들

기술	시스템 및 업체
초음파	• 나인티 시스템, Active Bat 등
UWB	• Multispectral Solutions Inc., PAL(Precision Asset Location System) 등
Wi-Fi	• AeroScout, Hitachi, AriLocation 등
Zigbee	• 삼성 네트워크의 CSS 기반 고정밀 위치추적 솔루션, 세연 테크놀로지 등

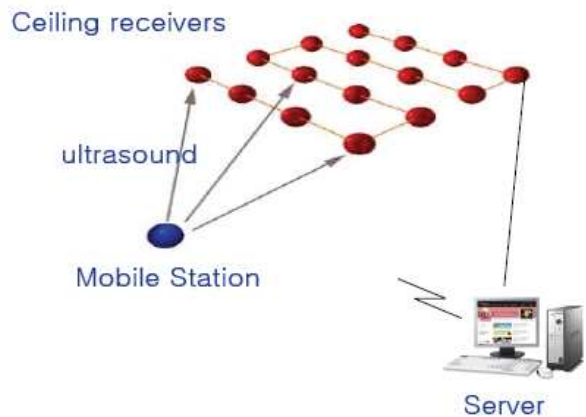
2.3 국내의 연구 사례들

국내의 ToA 방법을 이용하여 위치추적 시스템을 개발한 업체 및 제품은 위<표 1>과 같다.

국의 사례 중 초음파의 비행시간을 이용하는 Active Bat System은 위치인식 대상체에 부착되어 있는 송신기에서 천장에 달린 수신기까지 초음파 비행시간을 이용한 방법으로 초음파의 비행시간을 통해 대상체까지의 거리를 측정하고, 거리를 이용해 삼각측량을 통해 위치를 추정하는 시스템이다.

MIT의 Cricket System은 천장에 부착된 Beacon 유닛이 주기적으로 초음파와 RF 신호를 동시에 발생시키면 사용자가 들고 있는 Listener가 초기 신호와 도달 신호의 시간차를 이용해 거리를 측정하여 삼각측량을 통해 위치를 추정하는 시스템이다.

국내 사례 중 삼성네트워크의 CSS 기반 고정밀 위치추적 솔루션은 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기술을 적용하여 삼각측량을 통해 위치를 추정하는 솔루션이다. CSS 기술은 Zigbee의 성능을 보완하기 위해 개발된 기술로 도달거리 확장, 정밀 거리 측정 등에 개선된 성능을 보여준다. 이 솔루션은 CSS를 기반으로 전파의



[그림 5] Active Bat System

도달시간을 삼각측량함으로써 정밀한 위치 분석이 가능하고 방해전파에 대한 내구성이 뛰어나 무선 랜 등 타 무선 통신방식과 함께 사용하는 것이 가능하다 [3][5][7].

3. ToA 기반 실내 위치추위 알고리즘

3.1 Log-scale 변환 확률론적 알고리즘

본 연구에서 사용된 확률론적 알고리즘은 일반적으로 사용되는 우선순위가 가장 높은 RP를 MU의 위치로 결정하는 Rice Gaussian 알고리즘이 아닌 우선순위가 높은 k개의 RP를 고려하여 확률값을 Log-scale로 변환하여 새로운 가중치를 계산하여 MU의 위치를 추정한다. 따라서 Log-scale로 변환한 확률값을 이용하여 j번째 RP의 가중치 w_j 를 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$w_j = \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} P_j(S))^2 + \epsilon}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} (\prod_{i=1}^m P_{ij}(S_{ap_i})))^2 + \epsilon}} \quad \text{식(3)}$$

가중치 w_j 의 계산은 모든 확률값이 폐구간 [0, 1] 내에 존재하기 때문에 Log값이 항상 음수가 되므로 분모가 0이 되는 것을 방지하기 위해 Log값을 제공하고 루트를 사용하여 변환하였다.

이 가중치를 이용한 확장된 확률적인 알고리즘을 적용하여 MU의 위치 추정은 식(4)을 이용하여 계산할 수 있다[1].

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} P_j(S))^2 + \epsilon}} (x_j, y_j)}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} P_j(S))^2 + \epsilon}}}$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} (\prod_{i=1}^m P_{ij}(S_{ap_i})))^2 + \epsilon}} (x_j, y_j)}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{\sqrt{(\log_{10} (\prod_{i=1}^m P_{ij}(S_{ap_i})))^2 + \epsilon}}}$$

식(4)

본 연구에서는 Log-scale 변환 확률론적 알고리즘을 사용함으로써 사용자의 위치를 정확히 계산하기 위해 가장 적절한 RP의 수를 고려하였고, 실험을 통해 기존의 방법과 비교·분석하였다.

3.2 위치추위 프로세스

본 연구의 위치추위 프로세스는 [그림 6]과 같다.

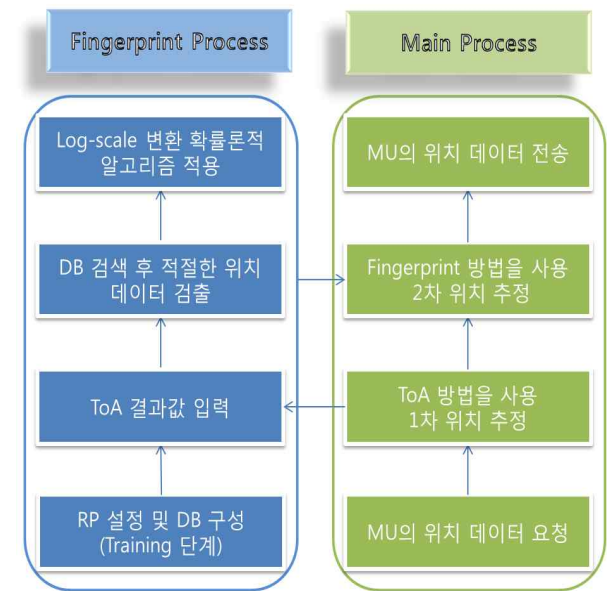
먼저 사용자가 Mobile 노드의 위치 데이터를 요청하게 되면 각 AP 노드와 Mobile 노드 사이의 전파 도달 시간을 이용하여 AP 노드와 Mobile 노드 사이의 거리를 측정하기 위해 SDS-TWR 알고리즘을 사용한다. 계산된 AP 노드와 Mobile 노드 사이의 거리 정보는 서버로 전송되고, 서버는 거리 정보를 이용하여 삼각측량 방법을 통해 Mobile 노드의 1차 추정 위치를 계산한다.

1차 추정 위치가 각 AP 노드의 설정 범위 내에 있을 경우에는 결과 값을 리턴하고 설정 범위 밖에 있을 경우 경로 이탈 메시지를 전송한다.

ToA 방법을 통해 계산된 거리 정보 및 추정된 위치 정보는 Fingerprint 프로세스로 전송된다.

Fingerprint 프로세스의 DB는 이전 Training 단계를 통해 미리 RP를 설정하고 각각의 RP에서 AP 노드와의 거리 정보 및 위치 정보를 DB화 하여 저장한다.

ToA 방법에 의해 계산된 결과값이 전송되면 Fingerprint DB에서 ToA 방법의 추정 위치 및 거리 정보와 가장 적합한 RP를 선별한 후 Log-scale 변환 확률론적 알고리즘을 이용하여 최종 Mobile 노드의 위치를 계산하고 2차 추정 위치를 사용자에게 전송한다.



[그림 6] 위치추위 프로세스

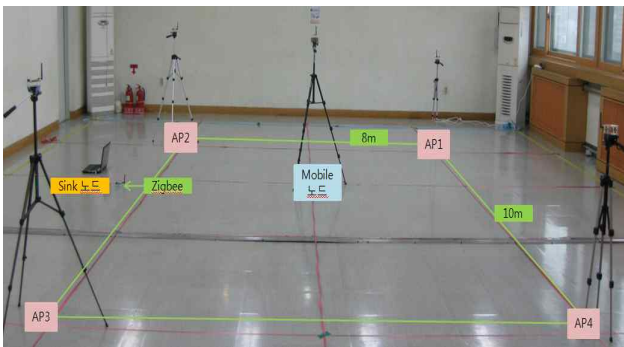
4. 시스템 구현 및 결과 분석

4.1 시스템 구현 및 실험 환경

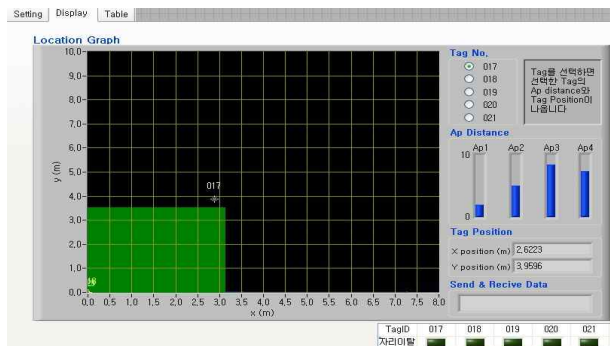
본 연구에서 구현하는 실내 위치추위 시스템의 검증을 위해 H/W는 독일 Natotron Technologies사의 2.4GHz ISM 대역의 RFID 리더와 태그를 사용하여 시스템을 구성하였다. RFID 리더는 4개의 AP 노드와 PC와 통신하기 위한 Sink 노드로 구성하였고, 태그는 Mobile 노드로 구성하였다. [그림 7]은 본 연구에서 구현된 시스템 장비 및 구성도이다.

시스템의 성능을 분석하기 위한 실험 환경은 8m x 10m 공간의 강의실 네 모서리에 각각 AP 노드를 설치하고, 실험 구역 밖에 Sink 노드와 PC를 설치하여 구성하였다. 또한 전파의 회절, 반사, 흡수 등으로 받는 영향을 최소화하기 위해 각 AP 노드들과 Mobile 노드의 높이를 삼각대를 이용하여 지면에서 150cm 높이에 설치하였다.

H/W를 제어하고 알고리즘을 구현하기 위한 S/W는 계측/제어 솔루션인 National Instrument 사의 LabVIEW 2010을 사용하였다. [그림 8]은 각 AP 노드들과 Mobile 노드의 거리를 계산하기 위해 수행되는 프로그램 실행 화면이다.



[그림 7] 시스템 실험 장비 및 구성도

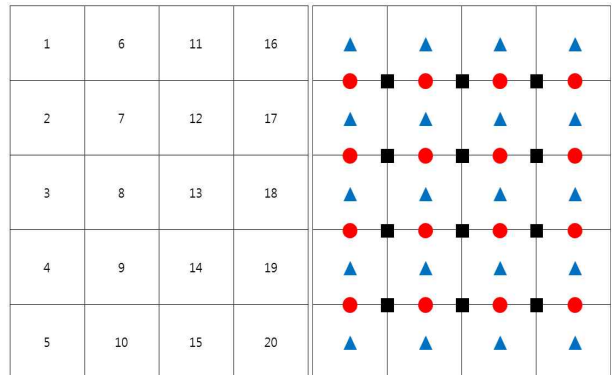


[그림 8] LabVIEW 프로그램 실행 화면

4.2 실험 결과 분석

Mobile 노드의 위치를 추정하기 위해 Training 단계에서 20개의 RP에 Mobile 노드를 위치시키고 1초에 1번씩 총 35회를 측정하여 각 AP 노드들과 Mobile 노드의 거리 정보 및 위치 정보를 Fingerprint DB에 저장하였다. Positioning 단계에서는 [그림 9]와 같이 구성된 RP의 중간 지점, 2개의 RP 중간 지점, 4개의 RP 중간 지점 등 48개의 지점에 Mobile 노드를 위치시키고 각 1초에 1번씩 총 10회를 측정하여 Fingerprint 방법을 적용하여 Mobile 노드의 위치를 추정하여 구현된 시스템의 성능을 분석하였다.

Mobile 노드가 RP 중간에 위치하면 제안된 확률론적 알고리즘과 ToA 방법을 적용한 시스템의 오차가 9cm로 상당히 적다는 것을 알 수 있다. 이는 평균값 또는 메디안 값을 이용하여 가중치를 계산한 결정론적 알고리즘에 비해 제안된 확률론적 알고리즘을 이용하는 것이 Fingerprint 방법을 적용하는데 적절하다는 것을 보여준다.



[그림 9] RP 구성도 및 Positioning 단계에서의 측위지점

<표 2> 측위 알고리즘별 성능 비교

(단위 : cm)

측위 지점	측위 횟수	결정론적 알고리즘		확률론적 알고리즘	
		평균	메디안	RICE 알고리즘	논문의 알고리즘
		kWNN	kWNN		
RP 중간	20	51	71	0	9
두 RP 중간	16	163	176	179	143
네 RP 중간	12	102	115	141	103
평균 오차	48	101	117	95	77

Mobile 노드가 2개 RP 중간 또는 4개 RP 중간에 위치하였을 경우 Mobile 노드가 RP 중심과 가장 멀리 떨어져 있어 Fingerprint 방법을 적용할 경우 인접한 RP 이외의 다른 RP를 선정할 확률이 높다는 것을 의미한다.

실내 실험환경에서 구현된 시스템의 성능은 기존의 결정론적 알고리즘을 활용한 평균과 메디안을 활용한 kWNN 측위방법에 비해서 평균 측위오차가 약 24%, 34% 작게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 기존의 확률론적 알고리즘인 Rice Gaussian 알고리즘과 비교하였을 때에도 19% 측위 오차가 감소하는 것을 볼 수 있다.

본 연구를 통해 우선순위에 따라 동일하지 않은 가중치를 가지는 확률론적 알고리즘을 활용한 Fingerprint 방법을 적용한 ToA 기반 실내 위치추위 시스템을 구현하고, 실험을 통해 설정한 RP 간격의 절반인 1m 이내로 오차범위를 줄인 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 위치기반서비스의 핵심기능을 담당하는 측위기술 중 ToA 방법을 적용한 위치추위 시스템을 구현하고 그 성능을 검증하였다.

제안하는 위치추위 시스템은 사용자가 Mobile 노드의 위치 데이터를 요청하게 되면 TOA의 SDS-TWR 프로토콜을 이용해 거리를 계산하고, 계산된 AP 노드와 Mobile 노드 사이의 거리 정보를 통해 Mobile 노드의 추정 위치를 계산한다. 그 다음으로 ToA 방법으로 추정된 위치 정보 및 거리 정보는 Fingerprint 프로세스로 전송되어 Training 단계에서 미리 구성된 RP의 데이터를 바탕으로 ToA 방법으로 계산된 추정 위치 및 거리 정보와 가장 적합한 RP를 선별한 후 본 연구에서 적용한 확장된 확률론적 알고리즘을 이용하여 최종 Mobile 노드의 위치를 계산하여 사용자에게 위치 정보를 전송하는 단계로 구성된다.

이러한 측위 시스템을 사용하여 실내 환경에서 실험한 결과 기존의 결정론적 알고리즘 중 평균값과 메디안 값을 이용한 kWNN 측위방법에 비해서 평균 측위 오차가 약 24%, 34% 작게 나타난 것을 알 수 있었고, 1m 이내로 오차범위를 줄인 것을 확인할 수 있었다.

추후 연구로는 실내의 이상적인 환경이 아닌 다양한 AP 노드들이 불규칙하게 설치되고 장애물이 존재하는 일반적인 환경에서 다양한 환경 변수들을 고려하여 실험을 실시하고자 한다. 또한 이동하는 물체에 대한 필터링 기법과 ToA 기반 Fingerprint 방법을 적용하여 실외 환경에서 오차를 줄일 수 있는 연구가 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] 권대우, "Fingerprint 방법에 의한 실내와 실외 위치결정의 측정오차 감소 방안"에 관한 연구", 인하대학교 석사학위 논문, 2011. 02.
- [2] 김보미, 심민진, 이종은, "유비쿼터스 센서 네트워크의 위치탐지 기술 및 동향", IITA 주간기술동향 통권 1291호, 2007. 04.
- [3] 김학용, 김성덕, 서동길, 지정강, 장현태, "근거리 위치추적 기술 동향", 삼성네트웍스 주간기술 동향, 2007. 02.
- [4] 박찬휘, 최재혁, 진희채, "LBS 시장과 산업의 동향 및 전망", TTA Journal No.123, 2009. 06.
- [5] 여건민, 안지환, "LBS 기술 및 표준화 동향", ETRI 전자통신동향분석 제25권 제6호, 2010. 12.
- [6] 이동환, 박종진, 김수용, 문영성, 이만형, "유비쿼터스 컴퓨팅의 실내 측위 기술을 위한 U-SAT 시스템의 적용에 관한 연구", 제어, 자동화 시스템공학 논문지 제12권 제9호, 2006. 09.
- [7] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, "실내의 연속측위 기술 동향", ETRI 전자통신동향분석 제22권 제3호, 2007. 06.
- [8] 최현민, 박영균, 김창훈, 남영진, 홍준표, "무선 센서 네트워크를 위한 위치 인식 시스템", 대구대학교 대학원 정보통신공학과, 2008.

저 자 소 개

이 두 용



인하대학교 산업공학과 석사 취득. 현재 동 대학원 산업공학과 박사과정 중.
관심분야 : RFID 기반 물류 관리 시스템, SCM, LBS 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

장 정 환



한라대학교 산업경영공학과 공학사 취득. 현재 인하대학교 대학원 산업공학과 석사과정 중.
관심분야 : RFID 관련 물류 관리 시스템 개발, 항공물류 RFID 시스템 개발 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

박 설 화



중국 연변대학교 경영정보학과 학사 취득. 현재 인하대학교 대학원 산업공학과 박사과정 중.
관심분야 : SCM, ERP, RFID 관련 물류관리 시스템 개발, 항공물류 RFID 시스템 개발 등.

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

조 용 철



인하대학교 산업공학과 공학사, 공학석사 취득. 동 대학원에서 공학박사 취득. 현재 한국항만연수원 인천연수원 교수로 재직 중.
관심분야 : ERP, SCM, 항만물류, RFID, EPCglobal Network

주소: 인천광역시 중구 항동 7가 1-31 한국항만연수원 인천연수원

송 영 근



인하대학교 산업공학과 공학사 취득. 현재 동 대학원 산업공학과 석사과정 중.
관심분야 : SCM, RFID 관련 물류 관리 시스템, EPCglobal, 시물레이션 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과

이 창 호



인하대학교 산업공학과 학사 취득. 한국과학기술원 산업공학과 석사, 경영과학과 공학박사 취득. 현재 인하대학교 교수로 재직 중.
관심분야 : 물류, RFID, SCM 등

주소: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 산업공학과