

에드혹 네트워크 기반의 실내 보행자 위치 추적 알고리즘

한 지 용*, 장 재 민*, 한 정 희^o

On-Time Internal Pedestrian Localization Algorithm Based on Ad-Hoc Networks

Ji-yong Han*, Jae-min Jang*, Junghee Han^o

요 약

본 논문에서는 GPS의 사용이 불가능한 실내 교통 환경에서 이동 에드혹 네트워크 환경을 통해 차량 운전자가 시야에서 볼 수 없는 근처 보행자의 위치 추적을 통해 충돌 사고의 발생을 미연에 방지하기 위한 알고리즘을 제안한다. 기존의 연구와는 달리, 제안 알고리즘은 WiFi AP 또는 bluetooth 시스템과 같은 기반시설에 의존하지 않고, 자동차와 보행자 간의 에드혹 망을 실시간으로 구성함으로써 자동차와 보행자의 상대적 위치 추적을 제공한다. 또한 제안 알고리즘은 유전자 알고리즘을 기반으로 하여 기존의 방식보다 효과적으로 신속하고 정확한 위치추적을 수행한다. 시뮬레이션 성능 평가를 통하여 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 정확성과 신속성을 비교한다.

Key Words : Indoor, Localization, Adhoc, GPS-free, Infrastructure-free, Genetic Algorithm

ABSTRACT

Situation awareness for vehicles and pedestrians is very critical to ensure safety. While on-board sensors or systems can easily detect line-of-sight pedestrians, it is difficult to locate the positions of out-of-sight pedestrians especially with no GPS service. This paper proposes a method for accurate and on-time localization of indoor pedestrians by nearby vehicles. The proposed method is based on mobile ad-hoc networks among vehicles and pedestrians, without relying on infrastructures such as GPS, WiFi AP, and Bluetooth-based systems. Also, this paper develops a genetic algorithm to accurately and promptly locate pedestrians. Finally, simulation results are presented to quantitatively evaluate the proposed method compared to other studies.

I. 서 론

근래에, IT기술을 도로의 자동차 및 교통 체계에 융합함으로써 교통 환경의 안전성, 편의성 등을 최적화 하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 도로상황, 주행상황, 및 운전자행동 등을 자동으로 인식하여 발생 가능한 위험상황이나 사고 상황을 예측함으로써 주행안전을 도모하고 사고를 방지하기 위한

연구 등이 수행되고 있다.^[1-2] 실내 교통 환경이란 밀폐된 공간에서 차량이나 보행자들이 움직일 수 있고 외부의 인프라 스트럭처나 GPS 위성과의 직접적인 통신은 불가능한 환경이다. 예를 들면, 지하 주차장 혹은 터널 등이 이러한 환경이라 할 수 있다.

구체적으로, 최근 GPS 서비스가 작동하지 않는 실내 교통 시스템에서 차량 운전자가 갑자기 나타난 보행자를 보고 미처 대응할 시간도 없이 충돌하는 사

* First Author : Jiyong Han, Korea Advanced Institute of Science and Technology, jazzineer@gmail.com, 정희원

^o Corresponding Author : Junghee Han, Korea Aerospace University, junghee@kau.ac.kr, 학생회원

* Korea Aerospace University, hotgodboy@gmail.com

논문번호 : KICS2014-07-265, Received July 14, 2014; Revised September 15, 2014; Accepted October 14, 2014

고가 빈번히 발생하고 있다. 이에 대하여, 충돌을 미연에 방지하기 위하여 보행자가 가지고 있는 스마트 디바이스를 통해 보행자의 위치를 차량 운전자에게 알리기 위한 위치 추적 시스템이 요구되고 있다.

이러한 실내 교통 환경에서의 위치추적 시스템의 가장 큰 장애 요소는 GPS 서비스의 사용이 불가능하다는 사실이다. 실내 교통 환경에 있는 보행자의 스마트 디바이스와 자동차의 GPS 모두 서비스가 불가능하므로 차량 운전자와 보행자는 서로의 위치를 파악하기가 힘들다.

이를 해결하기 위하여 기존의 많은 연구들이 Wi-Fi AP 또는 bluetooth 시스템과 같은 기반 시설을 바탕으로 한 위치 추정 방식을 제안하여 왔다.^[6-14] 본 논문의 제안 방식은 이러한 기존의 연구와는 달리 기반시설에 의존하지 않고, 자동차와 보행자 간의 애드혹 망을 실시간으로 구성함으로써 자동차와 보행자의 상대적 위치 추적을 제공한다. 구체적으로, 이 논문에서 제안한 알고리즘은 실내 환경에서 GPS 및 Wi-Fi AP를 사용할 수 없다는 환경으로 가정한다. 몇몇 연구자들은 기존의 네트워크를 대신하여 무선 애드혹 네트워크를 다양한 목적으로 제시하였다. 무선 애드혹 네트워크는 백본망이 존재하지 않는 네트워크로, 클라이언트 디바이스가 클라이언트 노드와 백본 노드의 역할을 같이 하여 단말기 혹은 Wi-Fi Chipset이 탑재된 디바이스만으로 구성된 네트워크를 만들 수 있게 해 준다. 이러한 애드혹 네트워크는 통신을 관리하기 위한 백본 인프라의 필요가 없다는 점에서 분산적(Decentralized)이라 볼 수 있다. 이러한 ad-hoc 네트워크를 기반으로 하여 자동차와 보행자 간의 직접 통신을 함으로써 보행자의 위치 추적을 수행한다.

또한 본 논문에서 제안하는 위치 추정 알고리즘은 유전자 알고리즘을 기반으로 하여 기존의 방식보다 효과적으로 신속하게 정확한 위치추적을 수행한다. 교통 환경에서의 사고 방지를 위해서는 보행자의 상대적 위치를 정확히 추정해야 할 뿐만 아니라, 빠른 시간 내에 신속하게 위치를 추정하여야 한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 정확성과 신속성을 제공하도록 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 본론의 연구의 배경 및 목적에서는 관련 연구, 제안하는 알고리즘의 특징에 대하여 살펴보고, 제안하는 알고리즘의 구현에 대하여 설명한다. 그리고 4장 결론에서 알고리즘의 적용 방안 및 향후 계획에 대하여 살펴보고 논문을 마무리한다.

II. 관련 연구

이 장에서는 위치추정과 관련된 연구에서 어떤 기술을 사용하느냐에 따라 존재하는 다양한 방식에 대해 살펴본다.

2.1 Ad-hoc 기반 위치추정 연구

위치 측위 기술 방식에서 Ad hoc 인식 방식의 종류는 WSN(Wireless Sensor Network), MANET(Mobile Ad-hoc NETwork) 2가지가 있으며, 적용 기술로는 Centroid, APIT(Approximation Point-In-Triangulation), DV-Hop(Distance Vector-hop)이 있다.^[5] Centroid는 모든 수신 레퍼런스 노드들의 평균치로 위치를 계산한 기술이고, APIT는 노드가 3개의 비컨 노드로 이루어진 삼각형 영역의 내부인지 외부인지를 검사하여 영역을 좁혀나가는 방식이며, DV-Hop은 비컨노드 사이에 존재하는 노드간의 평균 거리와 Hop수를 이용하여 노드간의 거리를 측정하는 방식이다. 그러나 위의 방식들은 모두 앵커에 해당하는 노드(예: WiFi AP 또는 고정 센서 등)들의 위치는 이미 알려져 있다는 가정을 하고 있다.

2.2 앵커 기반 (Anchor Based) 위치 추정

앵커 기반 알고리즘은 GPS 서비스나 다른 통신 기반을 통해 얻어진 위치정보를 갖는 복수개의 앵커노드를 이용한다. 이러한 앵커노드들을 통하여 알고리즘은 위치 정보를 모르는 노드의 위치를 계산한다.^[3,7-9] 예로, Niculescu와 Nath는 거리-벡터 라우팅과 비슷한 분산 알고리즘의 애드혹 포지셔닝 시스템(Ad-hoc Positioning System, APS)^[7]을 제안하였다. 또한, [8]은 [7]에 개선 단계를 도입하였는데 [7]에서의 DV-홉전과 방식을 첫번째 단계로 사용한 뒤, 얻어진 위치 결과를 개선 단계를 이용하여 개선시킨다.

그러나, 이러한 방법은 노드들이 서로 간에 높은 연결성을 가진 경우에만 제대로 동작한다. Savvide-setal.은 반복적인 다변 측량법(multilateration)^[8]과 몇 홉 떨어져 있는 앵커 노드의 정보를 이용하는 N-홉 다변 측량법(multilateration)^[9]을 제안하였다. 이 알고리즘은 최소사승 추정법을 이용하여 위치 개선을 하고 칼만 필터를 이용하여 에러의 축적을 막는다. 하지만 이 방법은 네트워크 내에 앵커의 수가 충분하지 않을 경우나, 앵커의 위치 에러가 클 경우에는 적합하지 않다.

2.3 앵커 프리 (Anchor Free) 위치 추정

일반적으로, 앵커 기반의 방법은 몇 제약 조건이 따른다. 앵커들은 GPS 모듈이 필요하므로 추가적인 비용이 따르고, 이러한 앵커들은 적절한 위치에 배치되어 그들의 위치 정보를 가능한 많은 노드에게 제공하여야 한다. 실내 환경이나 특정한 재난 지역 환경의 경우, GPS가 제대로 동작하지 않을 경우가 많으므로 앵커 기반 알고리즘이 유용하지 않을 수 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 몇 앵커 프리 알고리즘이 제안되었다.^[10,11] 앵커 프리 위치추정 (Anchor-Free Localization, AFL)^[10]에서, 모든 노드들은 무작위의 초기 좌표에서부터 시작하고 그들의 이웃까지의 거리 정보를 이용하여 Fold-free 그래프를 생성한다. 그 후 mass-spring 기반 최적화를 이용하여 에러를 줄인다. 그러나 이러한 방법은 너무 많은 오버헤드를 생성할 뿐만 아니라, 지역 최적해 (local optima) 에 빠질 가능성이 있다. Assumption-Based Coordinates(ABC) 알고리즘^[11]은 하나의 노드를 초기 노드로 잡고 이웃 노드들의 위치를 RSSI 값을 이용하여 하나 하나씩 찾아나간다. 하지만 이러한 전파 방식의 위치 측정은 결국 에러를 축적시켜 전체 네트워크로 에러가 확산되게 한다.

앵커 프리 방식의 확장으로, 모바일 비전 방법이 제안되었다.^[12-15] 일반적으로 위치 에러는 앵커 노드의 수가 증가할수록 줄어드는데 이 점에 착안하여 Sichertu^[12]는 하나의 이동 앵커를 사용하며 계속 변화하는 위치를 각각 앵커로 간주하는 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. Sun과 Guo는 확률적 추정에 기반한 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 하지만 모바일 앵커의 궤도가 나선형으로 고정되어 있다는 한계점이 있다.^[13] 또한 Ssu와 Yu는 RSSI 값 반경을 가지는 원 위의 점을 선택한 뒤 서로 이은 현의 수직이등분선과 원의 성질을 이용하여 노드의 위치를 알아낸다.^[14,15] 그러나, 이러한 이전의 연구들은 모바일 앵커의 궤적이 고정되어 있어 모바일 앵커의 위치를 이미 알고 있다고 가정된 상태에서만 사용 가능하다. 하지만 이러한 제약 조건들로 인하여 우리가 가정한 차량과 보행자로 이루어진 실내 교통 시나리오에는 기존의 방법들이 그대로 적용되기에는 한계점이 있다.

III. 제안하는 기법 : IGAML 알고리즘

3.1 연구의 배경 및 목적

그림 1에 제시된 바와 같이 이를 이용하여 GPS서비스가 없는 실내 교통 시스템 시나리오에 특화된 위



그림 1. 애드혹 네트워크 기반의 실내 교통 시스템 시나리오
Fig. 1. Internal Traffic System Scenario based ad-hoc Networks

치 추정 알고리즘을 개발하고자 한다. 이 논문에서 제안하는 기법의 특징은 다음으로 요약될 수 있다.

- ✓ 제안하는 위치추적 알고리즘은 고정된 앵커, 즉, 정확한 위치기 이미 알려져 있는 정적 노드 (예: Wi-Fi Access point)가 하나도 없더라도 빠르게 보행자의 위치를 찾아내고자 한다는 점에서 기존의 위치 추정 알고리즘보다도 강점을 가진다.
- ✓ 스마트 기기를 이용한 모바일 애드혹 네트워크를 이용하여 위치 추적 계산을 수행하며, 또한 이러한 위치 정보를 ad-hoc Group 내의 보행자/차량 운전자에 퍼뜨림으로써 이러한 확산을 통해 위치 계산이 좀 더 정확히, 빨리, 효과적으로 수행될 수 있도록 한다.
- ✓ 이 플랫폼을 이용하여 보행자와 차량 운전자 노드는 서로 연결되어 차량 운전자가 보행자의 위치를 쉽게 찾아낼 수 있다.
- ✓ GPS 서비스가 없는 실내임을 고려하여, 정확한 위치추적 결과를 제공하는 동시에, 이를 위해 차량 운전자가 별도로 사용하는 에너지를 최소화 하고, 계산 복잡도를 낮춘다.
- ✓ 기존 위치추적과는 달리 보행자와 차량 운전자가 동시에 움직이는 경우에도 비교적 정확한 위치 정보 제공할 수 있도록 한다.
- ✓ 추가 모듈의 장착 없이, 현재 시중에서 유통되는 smart device 와 상호 호환적인 메카니즘을 제안한다.

이러한 목표를 달성하기 위해, 본 논문에서는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA) 기반의 점진적 모바일 위치 측정 알고리즘(Incremental Genetic Algorithm for Mobile Localization, IGAML)을 제안하고자 한다. 기존의 칼만 필터를 이용한 다변 측량법(multilateration) 위치 측정 알고리즘³⁾들은 몇 가지 한계점이 존재한다. 이 알고리즘은 앵커 노드의 위치 정보에 비교적 정확하다는 가정 하에 이러한 앵커 노드의 위치 정보에 의존하여 다른 노드의 위치 정보를 알아낸다. 하지만 이러한 가정은 우리의 표적 GPS 서비스가 없는 실내 교통 시나리오에 적용될 수 없다. 구체적으로, 실내 교통 상황에서는 정확한 위치 정보를 가지고 있는 정적 앵커 노드는 사용하지 않을 경우가 많고, 정확하지 않고 앵커 노드에 기반한 위치 추적은 임계점 이상의 에러율을 가지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 새로운 위치 측정 알고리즘을 제안한다.

첫 번째로, 계산 복잡도를 줄이기 위해 “점진적” 알고리즘을 제안한다. 이러한 복잡도 감소는 차량 운전자의 전력 소비를 감소시킨다.

두 번째로, 제안된 알고리즘은 유전 알고리즘을 기반으로 하여 차량 운전자와 보행자의 위치 에러율을 최소화시킴으로써 정확한 위치 추적을 가능케 한다. 유전 알고리즘은 많은 최적화 문제들에서 solid한 전역 최적해를 제공한다.⁴⁾

세 번째로, 제안하는 방법은 그림 2와 같이 차량 운전자의 움직임에 따른 각각의 위치를 분리된 또 다른 가상의 앵커 노드로 간주함으로써 차량 운전자의 이동성을 최대한 활용하고자 한다. 본 논문에서는 위에서 언급한 알고리즘의 feasibility를 검증하기 위해, 일단 차량 운전자 1대, 보행자 1명인 상태의 간단한 실내 교통 상황을 가정하여 알고리즘을 구상하였다.

3.2 IGAML 알고리즘

그림 2와 같이, 최초 위치 l_1 에 차량 운전자 A (즉, 앵커 A)가 위치하고 있다고 한다면, l_1 의 좌표를 가상으로 (0,0)이라고 가정한다. 이를 기준으로, 두 번째, 세 번째, ..., n번째 위치 (즉, $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$)는, 차량 운전자 A가 이동함에 따라 각각 위치에서 속도의 이중 적분과 자기 센서를 이용하여^{17,18)} 최초 위치에 대해 상대적으로 계산된다. 이러한 차량 운전자 A의 매 위치 l_n 은 별도의 앵커로 간주된다. 이렇게 함으로써, 차량 운전자가 한 대 뿐이더라도, 여러 대의 가상 앵커노드를 위치 추적에 이용할 수 있게 되어 보행자의 위치를 정확하게 계산할 수 있다, 이에 우리는 제안하

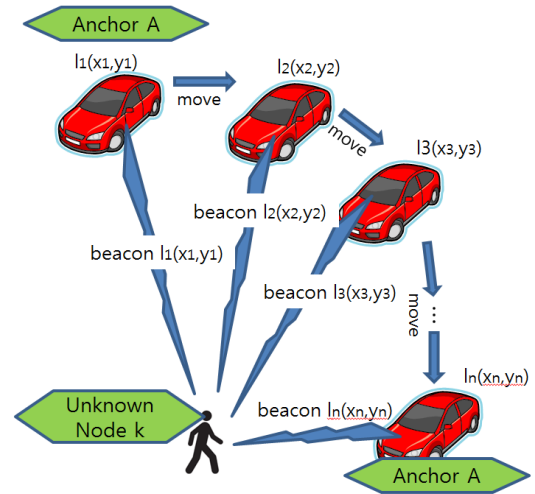


그림 2. 자동차 A의 이동 경로 : $l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow l_3 \rightarrow \dots \rightarrow l_n$
 Fig. 2. Moving path of the car A : $l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow l_3 \rightarrow \dots \rightarrow l_n$

는 위치 측정 알고리즘을 “유전 알고리즘 기반의 점진적 모바일위치 측정 알고리즘 (Incremental Genetic Algorithm for Mobile Localization, IGAML)”으로 명하고자 한다.

일반적으로, GA (Genetic Algorithm)는 다음과 같은 4단계로 구성된다: 초기화, 선택, 유전 연산(교배, 변이), 그리고 종료. 표 1은 이러한 일반적인 GA의 의사 코드를 보여준다.¹⁶⁾

본 논문에서 제안하고자 하는 IGAML은 위에 기술된 기본 GA 연산을 기본으로 하여, 실내 공간에서의 위치 추적에 최적화 하여 모델링을 수행한다. 아래는 제안하는 IGAML의 각 단계별 수행 내역을 기술한다.

1) 단계 1: Wait Beacon ()

차량 운전자는 자신의 시작 위치를 (0,0)으로 가정하고 자신의 위치를 비컨 프레임으로 브로드 캐스팅 하면서 움직인다. 이 때, 보행자의 이동 경로는 사전 지정된 (pre-defined) 것이 아니라 임의의 방향으로 이동할 수 있다. 차량 운전자의 최초 시작 위치는 하나의 앵커로 가정되고, 보행자가 이동함에 따라 비컨을 새로운 위치에서 브로드캐스팅 하게 되면, 이때 차량 운전자의 각각의 위치는 그림 2와 같이 새로운 가상의 앵커로 간주된다. 그리고, 실내 공간에서는 GPS 서비스가 불가능하므로, 차량 운전자의 각 위치는 최초 위치 (0,0)에 따른 상대 거리와 방향에 따라 계산된다. 본 논문에서는, 차량 운전자의 이동 경로에 따른 각 위치를 구하기 위해 가속도의 이중 적분과 자기

표 1. 간단한 유전자 알고리즘의 의사 코드
Table 1. Pseudo Code of Genetic Algorithm

line	Pseudo Code
1.	Procedure GA {
2.	generation=0;
3.	Initialize population();
4.	Evaluate population();
5.	While(!terminated) {
6.	Selection();
7.	If(rand[0,1]>crossrate) Crossover();
8.	if(rand[0,1]>mutationlate) Mutation();
9.	Evaluate polulation();
10.	isTerminated();
11.	}
12.	}

센서를 이용하고 이러한 환경에서, 보행자 노드 k가 위치 $l_i = (x_i, y_i)$ 인 앵커 i로부터 비컨 메시지를 받으면, 노드 k는 받은 비컨 신호의 RSSI값을 이용하여 자신과 앵커까지의 거리 d_i 를 계산하고, 비컨 프레임에서 앵커 i의 위치 정보, $l_i = (x_i, y_i)$ 를 추출해 낸다. 아래는 저장된 받은 비컨들의 집합 B이다.

$$B = \{b_1(l_1, d_1), b_2(l_2, d_2), \dots, b_n(l_n, d_n)\} \quad (1)$$

(where $n = \text{the latest beacon number}$)

2) 단계 2: ObtainSamples ()

자신의 위치를 모르는 보행자 노드 k는 앵커가 움직임에 따라 3개 또는 그 이상의 비컨 메시지를 받을 때까지 기다린다. 3개 이상의 비컨 메시지를 받으면, 노드 k는 스스로 자신의 위치 측정을 시작한다 (그림 3 참조). 구체적으로, 첫째, 노드 k는 표본들(Samples)을 뽑아낸다. 구체적으로, 각 앵커 노드의 위치와 거리 정보에 기초하여 노드 k는 b_n, b_{n-1}, b_{n-2} 에 해당하는 3개의 가장 최근 비컨을 추출하여 3개의 원을 그린다. 이 원의 중심과 반지름은 비컨 b_n 의 위치와 노드 k까지의 거리를 이용한다. 그러나, 받은 위치와 거리의 에러 요소 때문에 이 3개의 원은 그림 3와 같이 한 점에서 만나는 대신 교집합을 생성하게 된다. 이 3개의 원의 교집합 지역은 노드 k의 위치가 될 수 있는 높은 확률을 가지고 있다. 노드 k는 이 지역에서 무작위로 어느 정도의 표본 위치를 뽑은 후, $Sample_n$ 에 저장한다.

우선, 표본 집합(Sample set)에서 무작위로 2개의 개체를 선택한 후, 아래에 정의된 적합도 함수를 이용하여 두 개체의 적합도를 비교한다. 적합도 함수는 에러의 정도를 평가하기 위해 정의되었다. 두번째로, 더 높은 적합도를 가진 표본이 GA의 개체로 선택되고

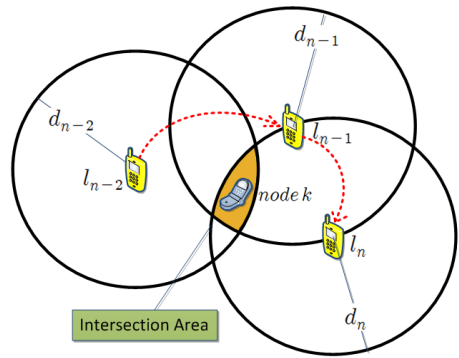


그림 3. 3개의 원으로부터의 샘플링
Fig. 3. Sampling from three circle

세대(Population)에 삽입된다.

$$F = \sum_{j=1}^n \frac{(n+1) - j}{(dist(sample\ point, l_i) - dist_{RSSI})^2} \quad (2)$$

3) 단계 3,4: Incremental Selection(and Evaluation)

보행자 노드 k의 위치 후보자들인 표본들의 집합 $Sample_n$ 를 구한 이후에, 노드 k는 $Sample_n$ 에서 개체들을 선택하여 유전 알고리즘에 적용할 최초 세대를 만든다. 선택 과정은 토너먼트 방법을 사용한다. 단, 차량 운전자의 처음 위치가 (0,0)으로 정의되고 다음 위치는 차량 운전자의 가속도와 자기센서에 의해 계산되기 때문에 이러한 방식으로 계산된 차량 운전자의 다음 위치는 에러 요소를 가지게 된다. 이는 차량 운전자가 계속 이동할수록 에러 요소가 누적되게 되므로 차량 운전자의 위치는 점점 더 부정확해 진다는 것을 의미한다. 이러한 사실을 반영하여 본 논문의 알고리즘에서는, 가장 에러율이 낮은 최초의 비컨에 가장 높은 우선순위를 주고, 가장 최근의 비컨에 낮은 우선순위를 주고자, 식 (2)의 적합도 함수에 가중치로 $(n + 1) - j$ 를 명시하였다.

노드 k가 차량 운전자의 새 위치로부터 새로운 비컨을 수신하면(i.e., b_{n+1}), 새로 수신한 비컨을 포함한 3개의 개체 즉, b_{n+1}, b_n, b_{n-1} 을 이용하여 새로운 3개의 원을 생성하고, 이를 이용하여 표본집합(Samples)을 새로 생성하고, GA 연산을 위해 그 중 몇 개체를 뽑아 세대에 삽입한다. 즉, 이미 세대에 포함된 개체에 낮은 적합도를 가진 몇 개체들을 제거하고 새로 선택된 개체들이 그 자리를 채우게 된다 (그림 4 참조). 이때, 노드 k가 이전에 수신했던 모든 비컨을 이용하여 알고리즘을 수행하는 것이 아니라, 제안하는 알고

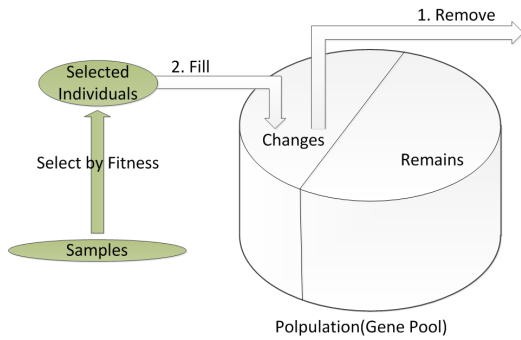


그림 4. 점진적 개체 선택
Fig. 4. Incremental Selected Individuals

리즘은, 가장 최근 3개의 비컨만을 사용하여 세대를 구성하기 때문에 이 과정을 “점진적(Incremental)” 이라고 표현한다.

4) 단계 5,6: Crossover () and Mutation()

일단, 유전자 pool(세대, Population)이 개체들로 채워진 후에는, 교배, 변이의 유전 연산을 한다.^[2] 먼저 적합도가 가장 높은 2개의 개체(위치 정보), individual_a, individual_b 두 개를 선택하고 식 (3)을 이용하여 교배 연산을 한다.

$$\begin{aligned} individual_a &= individual_a * \alpha + individual_b * (1 - \alpha) \\ individual_b &= individual_a * (1 - \alpha) + individual_b * \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

α 는 [0,1]의 범위를 가지는 랜덤수이며 생성된 두 자손에 대하여 아래와 같이 변이 연산을 한다.

$$individual_i = individual_i \pm \gamma \quad (4)$$

$(0 \leq \gamma \leq individual_i)$

5. 단계 7: Termination()

변이된 두 자손들은 유전자 풀(세대)에 삽입되고 가장 적합도가 낮은 개체 둘은 풀에서 제거된다. 이는 GA의 한 세대 진화에 해당한다.

만약 어떤 개체가 가진 가장 높은 적합도 F가 임계 값(TERMINATE_FITNESS) 보다 높다면, 반복 계산은 끝이 나고 해당 개체의 좌표를 노드 k의 위치로 결정한다. 새 비컨을 받은 후에는 n 이 1만큼 증가하고 알고리즘은 위의 1~5 단계를 반복한다.

IV. 성능 평가

이 장에서는 제안된 IGAML을 잘 알려진 위치 추

정 알고리즘 중 하나인 다변측량(multilateration) 기반 알고리즘과 비교한다. 이를 위하여 제안된 알고리즘과 다변측량법을 탑재한 NS-2 시뮬레이션 모듈을 개발하였고, 다음과 같이 환경을 설정하였다. 첫번째로, 보행자와 자동차 노드를 100m x 100m 2D 지역에 무작위로 배치하였다. 자동차 노드는 주기적으로 비컨을 통하여 자신의 위치를 브로드캐스팅하고 보행자 노드는 비컨 신호를 받아 스스로 자신의 위치 측정을 시도한다. 이동하는 자동차는 애드혹 네트워크에 접속하는 시점의 위치를 (0,0)이라 가정하며, 이후 계속 움직이면서 자신의 상대 위치를 가속도와 자기 센서를 이용하여 계산한다.^[17,18]

또한 위치를 모르는 보행자 노드는 이동하는 자동차 노드로부터 받은 비컨의 RSSI값을 이용하여 자동차 노드까지의 거리를 계산한다. NS-2 시뮬레이션에서, 우리는 자동차의 위치정보 및 자동차-보행자 간 RSSI 기반 거리 에러 요소를 추가하였다. 에러 요소 식 (5)는 참고문헌 [19]을 참조하여 만들어졌다.

$$\begin{aligned} loc_{anchor} &= loc_{anchor} (1 + gaussian_noise() * NF) \\ dist &= dist (1 + gaussian_noise() * NF) \end{aligned} \quad (5)$$

gaussian_noise는 0의 평균과 표준편차 1을 가지며, NF는 0과 0.1 사이의 노이즈 요소이다.^[19] 세부적인 실험 세팅은 표 2와 같다. 이 장에서는 제안된 IGAML을 잘 알려진 위치 측정 알고리즘 중 하나인 알고리즘 평가의 척도로 각 노드의 위치 측정 에러율을 다음 식 (6)과 같이 정의하였다.

$$Error = \frac{distance(estimated_loc, actual_loc)}{MAX_RANGE} * 100 \quad (6)$$

정의된 에러율은 정규화되었고 백분율로 나타내어

표 2. 시뮬레이션 변수 설정
Table 2. Parameters for simulation

Parameters	Parameter Value
Population Size	100
Crossover Probability	0.9
Mutation Probability	0.1
Max_Generation	200
Terminate_Fitness	150000
Proportion for Incremental Selection	0.2
Speed of a rescuer and victims	Randomly selected in range of [0.5m/s, 1.5m/s]

진다. 시뮬레이션 시나리오에서는 자동차만 움직이고 보행자 노드는 고정으로 하는 경우와, 차량과 보행자 모두 움직이는 환경에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 10회씩 반복되었고 그림 5, 6의 그래프는 10회 시뮬레이션의 평균 위치 측정 에러율을 보여준다. 그림 5의 경우 차량만 이동한 시나리오의 결과이며 그림 6의 경우는 차량과 보행자 모두 이동한 시나리오의 결과이다. 위의 두 경우 모두에서, NF(Noise Factor)가 커질수록 위치 측정 에러가 커지는 것은 당연하다. 주목할 점은 제안된 IGAML이 다변측량 알고리즘보다 대부분의 경우에서 더 나은 성능을 보인다는 것이다. 특히, 거리정보의 Noise Factor가 클 경우, 다변측량법의 에러율은 급격하게 늘어나는 반면 IGAML은 보다 천천히 에러율이 증가하는 것을 볼 수 있다.

흥미로운 점은, 자동차 노드의 위치 에러가 거의 없는 경우 (예를들어, GPS 등에 의해 자동차 노드의 위치는 정확히 알려져 있는 경우) 다변 측량법은 IGAML보다 안정적이고 향상된 에러율을 가진다. 그

러나 본 논문의 목표 시나리오에서와 같이 자동차 노드 또한 실내에 위치하기 때문에 GPS나 다른 기반 네트워크를 통하여 위치정보를 획득할 수 없는 경우에는 위의 가정이 성립하지 못하므로 다변측량법은 장점을 가지지 못한다.

보행자 인식 시스템에 있어서, 정확성 뿐만 아니라 신속성도 위치 측정 알고리즘에서 중요한 요소이다. 이러한 관점으로, 제안된 알고리즘의 시간 지연을 평가하였다. 계산 시간 지연의 측정 척도로 우리는 보행자 노드가 정확하게 자신의 위치를 찾기 위해 필요한 비컨 메시지의 개수를 택하였다. 그림 7에서 y축은 받은 비컨의 수를 의미하고 x 축은 각 시뮬레이션 시행을 의미한다. NF는 0.1로 설정하였고 50번의 시뮬레이션 시행을 하였다. 평균적으로 다변측량법은 위치 추정을 위해 80여개의 비컨을 기다린 반면 IGAML은 45여개의 비컨을 기다렸다. 이는 다변측량법으로 비교적 정확한 위치 측정을 하려면 많은 시간을 기다려야 하고, 상대적으로 IGAML은 위치 추정을 비교적 빠르게 할 수 있다는 것을 의미한다.

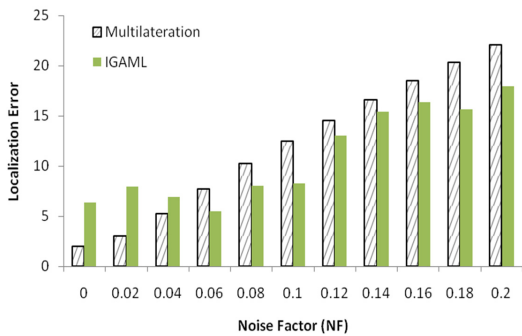


그림 5. NF 값에 따른 위치 측정 에러율(차량만 이동)
Fig. 5. Localization error rates with different NF.(Only vehicle moved)

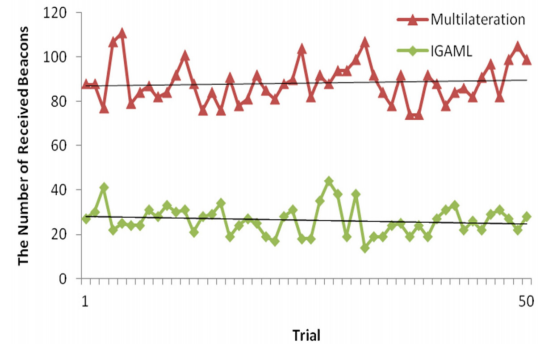


그림 7. 받은 비컨 수에 따른 위치 측정
Fig. 7. The number of beacons received to be localized.

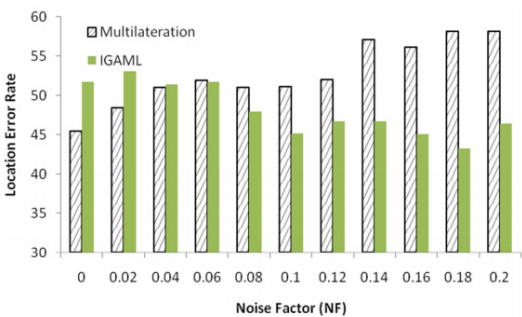


그림 6. NF 값에 따른 위치 측정 에러율(차량과 보행자 모두 이동)
Fig. 6. Localization error rates with different NF.(Moved vehicle and pedestrian)

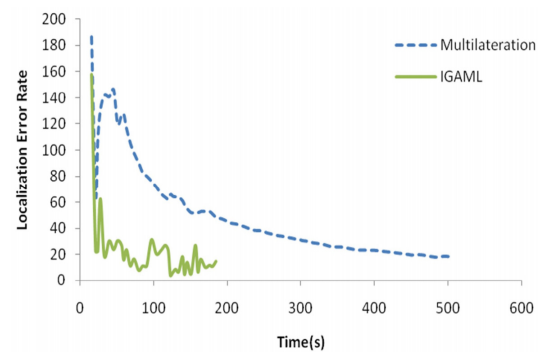


그림 8. 위치 측정 시간
Fig. 8. Localization time with noise factor 0.1

V. 결 론

본 논문에서는 애드혹 네트워크 기반에서 유전자 알고리즘을 사용하여 위치를 추정하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. GPS 서비스와 기존의 인프라 및 Wi-Fi AP를 사용할 수 없는 실내 교통 시스템에서 차량 운전자는 논문에서 제안한 알고리즘 및 애드혹 네트워크를 사용하여 사전에 같은 공간에 위치한 보행자의 위치를 알 수 있고, 이는 곧 실내 교통 환경에서 보행자가 갑자기 나타난다하더라도 차량 운전자는 미리 보행자의 움직임을 파악하고 보행자를 충돌하는 사고를 미연에 방지할 수 있을 것이다. 제안한 시스템은 Wi-Fi Chipset만 탑재되어 있다면 스마트 디바이스뿐만 아니라 다양한 제품군들에 적용되어 사용될 수 있다. 향후 연구에서는 해당 알고리즘을 ns-2에서 시뮬레이션을 통해 구축하고 다른 기존의 알고리즘들과의 비교 분석을 해 볼 예정이다.

References

- [1] H. Seo, J. Jung, and S. Lee, "Scenario and network performance evaluation for a do not pass warning service based on vehicle-to-vehicle communications," *J. KICS*, vol. 38C, no. 03, Mar. 2013.
- [2] J. Shin, "Coverage extension for vehicle-to-roadside communication with cooperative relay," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. (KICS ICC 2012)*, vol. 48, Jeju Island, Korea, Jun. 2012.
- [3] A. Savvides, H. Park, and M. B. Srivastava, "The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems," in *Proc. 1st ACM Int. Workshop Wirel. Sensor Netw. Appl. (WSNA '02)*, pp. 112-121, 2002.
- [4] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company INC., Reading, 1989.
- [5] J. Lim and G. Choi, "A study on a location determination system using infrastructure information of a wlan network," *J. The Korea Inst. Intell. Transport Syst.*, vol. 10, no. 6, pp. 98-107, Dec. 2012.
- [6] D. Ahn and R. Ha, "Indoor localization methodology based on smart phone in home environment," *J. KICS*, vol. 39C, no. 04, Apr. 2014.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (aps) using aoa," *IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM '01)*, vol. 5, pp. 2926-2931, Nov. 2001.
- [8] S. Chris, R. Jan, and L. Koen, "Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks," in *Proc. General Track of the Annu. Conf. USENIX Annu. Tech. Conf. (ATEC '02)*, pp. 317-327, 2002.
- [9] A. Savvides, C. Han, and M. B. Srivastava, "Dynamic finegrained localization in ad-hoc networks of sensors," in *Proc. 7th Annu. Int. Conf. Mob. Comput. Netw.*, pp. 166-179, Rome, Italy, Jul. 2001.
- [10] N. B. Priyantha, H. B. Hnan, E. Demaine, and S. Teller, "Poster abstract: Anchor-free distributed localization in sensor networks," in *Proc. 1st Int. Conf. Embedded Netw. Sensor Syst. (SenSys '03)*, pp. 340-341, 2003.
- [11] C. Savarese, J. M. Rabaey, and J. S. Beutel, "Location in distributed ad-hoc wireless sensor networks," *IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Process. (ICASSP '01)*, vol. 4, pp. 2037-2040, 2001.
- [12] M. L. Sichitiu and V. Ramadurai, "Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon," *IEEE Int. Conf. Mob. Ad-hoc and Sensor Syst.*, pp. 174-183, Oct. 2004.
- [13] G. L. Sun and W. Guo, "Comparison of distributed localization algorithms for sensor network with a mobile beacon," *IEEE Int. Conf. Netw., Sensing and Control*, vol. 1, pp. 536-540, Mar. 2004.
- [14] K. F. Ssu, C. H. Ou, and H. C. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 3, pp. 1187-1197, May 2005.
- [15] G. Yu, F. Yu, and L. Feng, "A three dimensional localization algorithm using a mobile anchor node under wireless channel,"

IEEE Int. Joint Conf. Neural Netw. (IJCNN 2008), pp. 477-483, Hong Kong, Jun. 2008.

- [16] M. D. Vose, *The Simple Genetic Algorithm: Foundations and Theory*, MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- [17] Y. Xu, Y. Ouyang, Z. Le, J. Ford, and F. Makedon, "Mobile anchor-free localization for wireless sensor networks," in *Distrib. Comput. Sensor Syst.*, vol. 4549, pp. 96-109, 2007.
- [18] H. Liu and G. Pang, "Accelerometer for mobile robot positioning," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 37, no. 3, pp. 812-819, May/Jun. 2001.
- [19] S. Severi, G. Abreu, and D. Dardari, "A quantitative comparison of Multihop Localization Algorithms," *2010 7th Workshop Positioning Navig. Commun. (WPNC)*, pp. 200-205, Mar. 2010.

한 지 용 (Ji-yong Han)



2012년 8월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 학사
 2014년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사
 2014년 2월~현재 : 카이스트 전산학과 박사과정
 <관심분야> 센서 네트워크, 모바일 네트워크, 네트워크 보안, 임베디드 시스템

장 재 민 (Jae-min Jang)



2014년 2월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 학사
 2014년 2월~현재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 센서 네트워크, 모바일 네트워크, 네트워크 보안, 임베디드 시스템

한 정 희 (Junghee Han)



1995년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1997년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
 2004년 2월 : University of Michigan 박사
 2005년~2006년 8월 : Ohio state

University research scientist

2005년 11월~2009년 8월 : 삼성전자
 2009년 9월~현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 부교수
 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 센서 네트워크, 네트워크 보안, Self-organizing 네트워크