

Zigbee기반 능동형 위치 검출 시스템 알고리즘 구현

조현태*, 김동현*, 박재화*
*중앙대학교 컴퓨터 공학부

e-mail:{htjo, dhkim, jaehwa}@hil.cau.ac.kr

Implementation of Active Location Detecting System by Using Zigbee Module Technique.

Hyun-tae Jo*, Donghyun Kim*, Jaehwa Park*

*School of Computer Science and Engineering Chung-Ang Univ

요 약

본 논문에서는 긴급구조가 필요한 상황에서 구조대가 위험에 처한 사람이 가진 발신기의 신호를 이용하여 구조를 하는 서비스를 제시한다. 그리고 이러한 상황에서 필요한 실시간으로 주어지는 지향성 안테나의 수신 값과 지도 정보를 바탕으로 발신기의 위치와 이동을 예측하여 추적자가 발신기의 위치로 이동하는 알고리즘을 제안한다. 또한 이 알고리즘을 실제로 시뮬레이터로 구현하여 검증해보고 어느 정도의 성능을 보여주는지를 제시한다.

1. 서론

휴대폰의 기지국에 의한 위치검출이 셀 구조로 인하여 근본적으로 큰 오차를 가질 수밖에 없기 때문에 위급한 상황에 있는 사람을 구하는 데에는 도움을 크게 주지 못하는 것이 현실이다. 그렇기에 이러한 위험으로부터 사람들을 구조하기 위한 긴급구조 시스템과 이 시스템에서 사용할 알고리즘을 제안한다.

위급한 상황에 처한 사람이 자신의 발신기를 통해서 구조요청을 하면 주위의 휴대전화처럼 기존의 통신망에 접근이 가능한 단말기가 신호를 감지하여 구조센터에 위급한 상황에 처한 사람이 주위에 있음을 알린다. 그러면 구조센터에서는 긴급구조 신호를 수신한 기지국의 신호 수용 영역을 통해서 구조를 요청한 휴대전화가 존재하는 범위 얻어낼 수 있다. 이 정보를 바탕으로 구조센터에서는 구급차를 보내게 되며, 기존의 통신망을 이용한 통신은 모두 종료가 된다.

구조요청 신호를 수신한 기지국의 신호영역에 도착한 구급차는 발신기로부터 직접 구조요청신호를 받게 된다. 이 신호를 지향성 안테나를 사용하여 수신하면 안테나가 향한 방향에 따라 신호의 수신 세기가 달라지므로 신호가 어느 방향에서 왔는지를 계산할 수 있다. 그리고 수신된 신호의 방향과 주변의 지리정보를 이용하여 발신기가 있는 위치를 추적한다. 추적이 끝나 발신기의 위치에 구급차가 도착하게 되면 상황에 알맞은 조치를 취하게 되고 응급상황이 끝나게 되는 것이다. [그림1]에서 이와 같은 과정을 순서대로 나타내고 있다.

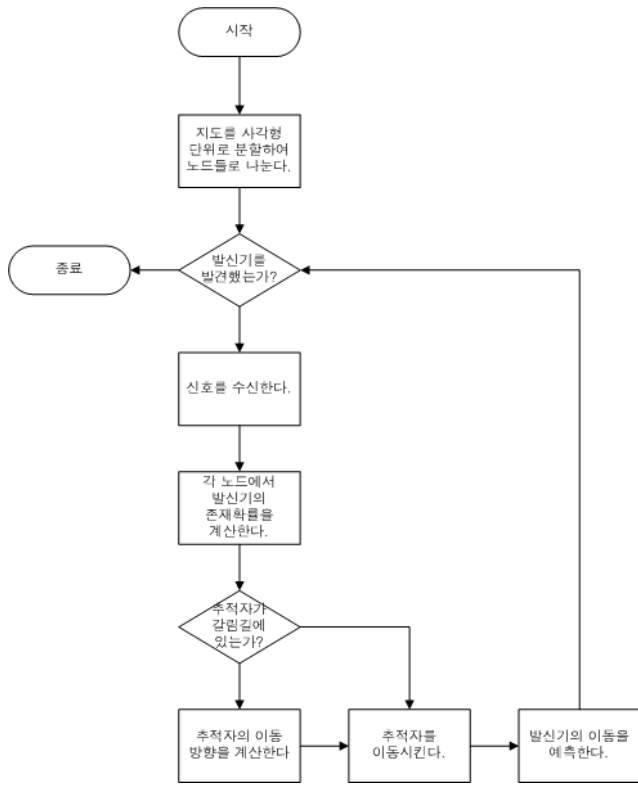


(그림 1) 위치 검출 과정

2. 발신기 추적 알고리즘

2.1 추적 알고리즘 개요

긴급구조 시스템에서는 신호를 발신하는 발신기와 이 신호를 수신하여 발신기의 위치로 이동하는 추적자가 있다. 발신기는 자신의 위치를 알리기 위해 신호를 주기적으로 보내고 발신기를 소지한 사람이 이동함에 따라 위치가 변할 수 있다. 추적자는 고감도의 지향성 안테나를 가지고 신호를 실시간으로 수신하여 신호의 방향을 계산한 뒤, 이를 바탕으로 발신기의 위치추정, 이동 예측을 한다. 예측이 끝나면 그 결과를 바탕으로 추적자가 이동할 방향을 결정한다. 이 과정은 다음과 [그림2]와 같은 과정을 따른다.



(그림 2) 추적 알고리즘 순서도

[그림2]의 과정을 수행함으로써 지도상의 각 위치에서 발신기의 존재 확률과 추적자가 이동할 방향을 구할 수 있고, 이 과정을 지속적으로 반복함으로써 결국 추적자가 발신기의 위치에 도달한다.

2.2 발신기의 위치 추정

지도상의 각 위치에서 발신기의 존재 확률을 구하기 위해서 지도를 사각형단위로 나눈다. 각 사각형에서 발신기가 존재할 수 있다면 그 사각형을 하나의 노드로 본다. 서로 이동할 수 있는 인접한 노드는 링크로 연결한다. 노드와 링크로 지도의 분할이 끝나면 각 노드마다 발신기의 존재 확률을 계산하기 위해서 발신기가 송신하는 신호를 수신한다. 발신기로부터 발신된 ZigBee신호를 수신하면 추적자의 다수의 안테나가 서로 다른 방향으로 설치되어 있기 때문에 각 안테나마다 다른 크기의 세기로 신호를 수신하게 된다. 수신된 신호의 세기와 안테나가 설치된 방향으로 각 안테나마다 벡터를 만들 수 있다. 이 벡터들을 모두 합하면 하나의 벡터가 나오는데, 그 벡터의 방향을 신호의 수신 방향으로 결정한다. 수신 방향이 결정되면 구성하고 있는 각 정점의 방향 벡터와 수신된 신호의 방향벡터가 이루는 각도를 계산한다. 그 각도를 θ 라고 하면 지도상의 각 정점k에서의 가중치는 다음과 같은 수식을 따른다.

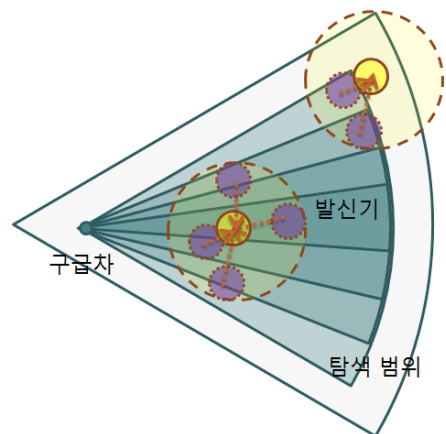
$$F_k = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\theta^2}{2}}$$

이 수식은 신호의 세기에 노이즈가 있을 수 있기 때문에 신호를 수신한 방향에 물체가 존재할 확률이 θ 에 따라 가우시안 확률함수를 따른다고 가정하고 만든 것이다. 그리고 θ 가 30도 오차를 벗어나면 지향성을 가지는 안테나의 특성상 신호가 수신될 수 없으므로 가중치를 0으로 계산한다. 가중치의 계산이 끝나면 각 노드에서의 가중치를 모두 더한 값으로 임의의 노드에서의 가중치를 나누게 되면 그 노드에 발신기가 존재할 확률을 구할 수 있다.

2.3 오브젝트의 이동 추정

계산된 각 노드에서의 오브젝트의 존재 가능성은 그 순간의 확률이기 때문에 물체의 움직임에 따라 확률을 재계산해주어야 할 필요가 있다. 추적하고자 하는 대상 물체의 최고 속력에는 한계가 존재하기 때문에, 물체의 순간 속도의 확률 함수는 0에서 최대 속도까지의 선형 확률함수를 따른다고 가정한다. 이는 추적하고자 하는 물체에 따라 물체의 특성에 맞는 다른 확률함수로 대체하여 발신기의 이동 예측의 정확도를 더 높일 수 있다. 하지만 단순 선형 확률함수를 사용하여도 발신기를 추적할 수 있기 때문에 선형 확률 함수를 사용하여 구현하였다.

시간 t가 흐른 뒤의 각 정점N에서의 발신기의 존재확률은 시간 t동안 최고 속도로 이동했을 때의 거리를 L을 반지름으로 하고 정점N을 원의 중심으로 하는 범위 내에서 발신기가 이동해올 확률과 같다. 이는 [그림3]의 그림에서 반투명한 노란색원이 최대 이동 범위라고 했을 때, 각 짙은 노란색 원에서의 발신기의 존재 확률은 (주변의 보라색 원에 발신기가 존재할 확률) x (짙은 노란색 원으로의 이동할 확률)의 값을 최대 이동 범위 내의 모든 노드에서 계산한 뒤 이를 합한 것과 같아진다.



(그림 3) 시간 t이후의 확률의 변화

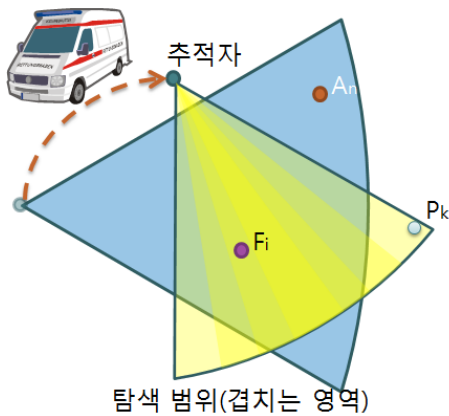
이를 수식으로 표현하면 시간 t가 흐른 뒤의 각 정점N에서의 발신기의 존재확률 $P_E(N)$ 은 점 K와 N의 거리가 L_{nk} 라 할 때, 아래의 수식을 따른다.

$$P_E(N) = \sum_k P_V(\frac{L_{NK}}{t}) P_E(K)$$

위의 수식은 많은 실수연산이 필요로 하고 범위를 매번 재계산해야 하기 때문에 많은 연산이 필요하다. 하지만 우리는 계산하기 전에 미리 최대 이동 범위와 각 방향으로의 이동 가능성을 계산할 수 있으므로, 미리 값을 계산하여 마스크를 만들 수 있다. 이동 예측을 할 때마다 미리 계산된 마스크를 원래의 확률 값에 곱함으로써 연산량을 줄일 수 있다.

2.4 새 신호의 수신

시간 t가 지난 후에는 대상 오브젝트만 이동하는 것이 아니라 추적자 역시 이동을 하게 된다. 추적자가 이동을 하면 신호의 수신 위치가 바뀌게 된다. 그렇기 때문에 다시 신호를 수신한 뒤, 발신기의 존재 확률을 재계산 해야 할 필요성이 있다.



(그림 4) 시간 t이후의 수신각도와 추적자의 위치 변화

시간이 지나면 [그림4]와 같이 신호를 수신하는 각도와 추적자의 위치가 변화하게 된다. 그렇기 때문에 이전에 수신했던 신호를 바탕으로 계산한 탐색 범위와 새로 수신된 신호를 바탕으로 계산한 탐색범위가 겹치는 부분만이 발신기가 존재할 가능성이 있다. 시간 t가 지나기 전의 각 정점 \$A_n\$에서의 가능성을 \$P_E(A_n)\$이라 하고 시간 t가 지난 이후 신호의 세기 만으로 계산된 확률을 \$P_E(B_k)\$이라 하면, 시간 t이후의 정점 \$F_i\$에서의 가능성을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$P_E(F_i) = \frac{\frac{P_E(A_n)}{2} + P_E(B_k)}{\sum_n \sum_k (\frac{P_E(A_n)}{2} + P_E(B_k))}$$

2.5 이동 방향의 결정

추적자가 위의 과정들을 따라 이동하다 보면 갈림길에 도착하게 된다. 이 때 추적자가 이동할 방향을 결정하는 요인으로 크게 두 가지를 정하였다. 우선 긴급 상황에서 발신기를 추적하므로 무엇보다 빨리 목적지에 도착하는 것이 중요하기 때문에 목적지까지 최대한 짧은 경로로 이

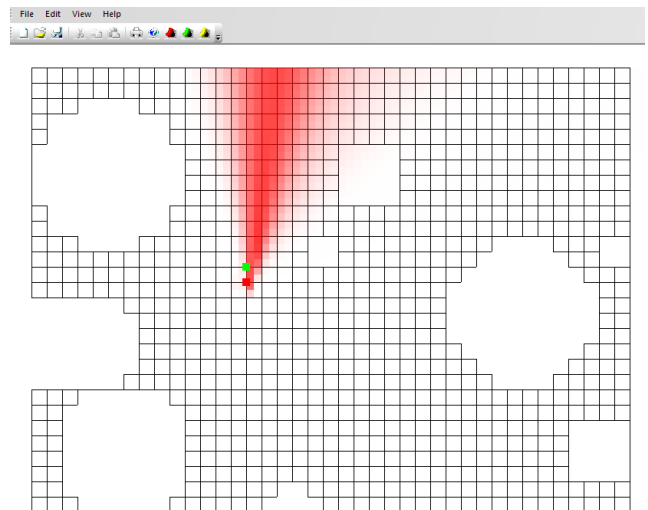
동하는 것을 목표로 한다. 또한 탐색범위가 넓으면 여러 곳을 탐색해야 하므로 탐색시간이 증가하게 된다. 그러므로 탐색 범위를 최소화 하는 것을 두 번째 목표로 한다. 이러한 가정을 바탕으로 방향 k로 이동했을 때의 비용을 \$C_k\$라고 가정하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$C_k = \sum_n (\alpha \times a_{n(i,j)} + \beta \times d_{n(i,j)}) \times \omega_{n(i,j)}$$

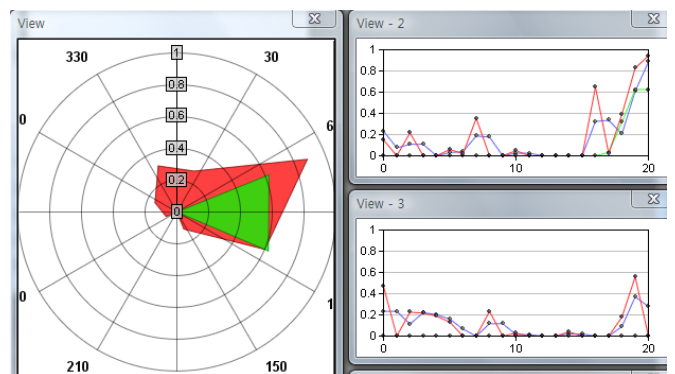
여기서 \$a_n\$은 해당 지점에서 발신기가 있다고 가정했을 때의 면적이며, \$d_n\$은 해당 지점까지의 이동 거리이다. \$\omega_n\$은 해당 지점에 발신기가 존재할 확률이며 \$\alpha\$와 \$\beta\$는 각각에 대한 가중치이다. 본 논문에서는 여러 차례의 실험을 통해 목적지와와의 최단거리와 실제 이동거리의 차이가 가장 적은 것으로 확인된 0.2와 0.8을 \$\alpha\$와 \$\beta\$로 사용하였다.

3. 구현 및 결과

기술된 알고리즘을 이용하여 8개의 안테나를 이용하는 위치 추적 시스템을 구현하였다. 구현 시스템은 IBM 호환 2.53GHz CPU, 4GB RAM의 윈도우즈 환경에서 개발하였다.



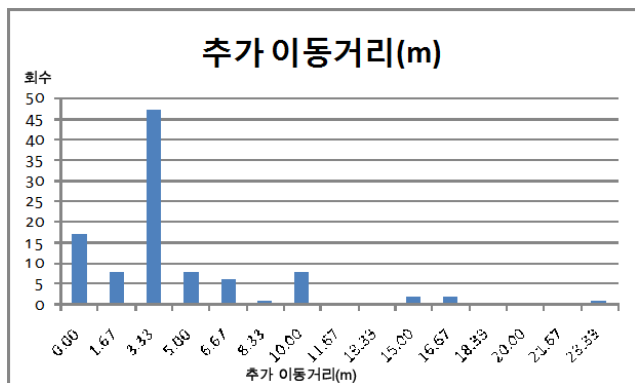
(그림 5) 구현 결과 1



(그림 6) 구현 결과 2

위의 구현된 시뮬레이터를 이용하여 추적자와 발신기를 매번 임의의 위치로 설정한 뒤, 추적자의 속도를 60km/h, 목표물의 속도를 최대 12km/h로 설정하고 40000m² 가량의 공간을 생성하였다. 각 공간은 무작위로 10여개 내외의 원과 사각형의 장애물이 임의의 크기로 임의의 위치에 생성되어 그 위치는 추적자와 발신기를 가진 사람 모두 지나갈 수 없도록 구현되었다. 이러한 지도 생성 결과는 [그림5]에서 보이듯이 사각형으로 이루어진 지도에 공백으로 장애물이 나타나 있는 것을 알 수 있다. 또한 [그림5]에서 보이는 붉은색 점은 추적자이고 녹색 점은 발신기이다. 두 선의 교차점은 각각의 노드이고, 노드의 붉은 빛은 붉은색이 선명한 정도에 따라 그 노드에서의 발신기의 존재 확률을 나타낸다. [그림6]에서는 추적자가 수신한 데이터를 보여주는데 [그림6]의 왼쪽의 레이더 모양에서 붉은색 영역은 각 방향에서 수신한 신호의 실제 세기이며, 녹색 영역은 각 방향에서 수신한 신호의 노이즈가 없는 이상적인 세기를 나타낸다. 그리고 [그림6]의 오른쪽의 붉은색 그래프는 실제 수신한 신호를 나타내며 녹색 그래프는 노이즈가 없는 이상적인 신호를 나타내고, 파란색 그래프는 실제 수신한 신호를 보정한 결과를 나타낸다.

위의 시뮬레이터는 각 노드들을 사각형모양으로 구성하였다. 우선 컴퓨터에서 추적을 위해서는 현실세계와 같이 모든 실수범위의 값을 갖는 위치를 시뮬레이션하기가 힘들기 때문에 지도를 일정 간격을 두고 나누어야 했다. 지도를 나눌 때에는 상황에 따라 삼각형, 육각형 등의 여러 가지 기본 도형으로 지도를 나눌 수 있지만, 일반적으로 컴퓨터에서 연산이 편리한 사각형으로 구성하는 것이 시뮬레이터의 구현과 연산에 있어서 효율을 높일 수 있기 때문에 사각형으로 지도를 나누게 되었다.



(그림 7) 100회 수행 결과

시뮬레이션은 위와 같은 환경에서 총 100회의 테스트를 하였다. 그 뒤 추적자의 실제 이동 거리를 이상적인 이동 거리와 빼서 두 거리간의 차이를 구하였다. 그 결과는 [그림7]과 같다. 시행횟수 100번 중에서 약 70회 정도의 결과가 5m의 오차 이내에서 실험이 종료된 것으로 보아 비교적 높은 정확도를 보인다고 할 수 있다.

4. 결론

지금까지 긴급구조 시스템은 기존에 존재하는 무선통신 네트워크를 이용함으로써 큰 오차를 가지고 있었다. 이러한 문제를 해결하고자 Zigbee기반의 능동형 위치검출 알고리즘을 이용하여 보다 오차가 적은 긴급구조 시스템을 제안하고 시뮬레이터로 알고리즘을 구현하여 그 성능을 측정해 보았다. 그 결과 비교적 높은 정확도를 보여 긴급구조시스템으로써 충분한 이용 가능성이 있음을 알 수 있었다. 하지만 실험결과 이상적인 상황에 비해 추적시간이 약간 더 걸린다는 것을 알 수 있었기 때문에 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법을 추후 연구 하여 개선하고자 한다.

참고문헌

[1] Dr. Richard Snay, National Geodetic Survey, NOAA, http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/compare/ERLA.htm, 2000.

[2] P.Deng, PZ. Fan, "AN AOA ASSISTED TOA POSITIONING SYSTEM," IEEE, Proc. of Intl. Conf. on Communication Technology, vol. 2, pp1501-1504, 2000

[3] Nilsson, M., "Localization using directional antennas and recursive estimation," Positioning, Navigation and Communication, WPNC Mar. 2008

[4] Joseph J. Carr, "Directional or Omni-directional Antenna" Joe Carr's Receiving Antenna Handbook, Hightext, 1993.

[5] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," Proc. IEEE Infocom 2000, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif., 2000.