

# 3차원 공간에서의 능동형 위치 추적 시스템 알고리즘 구현

조현태<sup>o</sup>, 김동현, 이장길, 박재화  
 중앙대학교 컴퓨터 공학부

htjo@hil.cau.ac.kr, dhkim@hil.cau.ac.kr, ljk@hil.cau.ac.kr, jaehwa@hil.cau.ac.kr

## Implementation of Active Location Detecting System In 3D.

Hyun-tae Jo, Donghyun Kim, Jangkil Lee, 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. 서 론

사람들은 간혹 위기 상황에 처하게 되어 긴급 구조를 요청한다. 이러한 경우에는 구조대가 구조를 요청한 사람을 구하기 위해서 어느 위치에서 구조 요청이 보내졌는지를 확인해야 한다. 하지만 위기 상황에 처한 사람이 모두 자신의 위치를 알고 있는 것이 아니며 또 자신의 위치를 이야기해줄 수 없는 상황에 처하는 경우도 있기 때문에 이러한 경우 다른 방법을 통해서 구조 요청자의 위치를 찾게 된다. 기존의 긴급구조는 구조를 요청한 사람의 휴대전화가 주기적으로 보내는 신호를 찾아서 위치를 찾는 방법을 사용하게 된다 하지만 휴대폰의 신호를 이용하는 방법은 통신사 기지국이 셀 구조를 가지기 때문에 근본적으로 큰 오차를 가지게 된다 그렇기 때문에 구조대가 구조 요청을 한 사람의 근처에는 갈 수 있지만, 요청을 한 사람을 정확하게 찾아낼 수는 없다 그렇기 때문에 구조대가 구조 요청을 한 사람의 부근에 이동한 다음에 정확한 위치를 찾으면서 구조 요청을 한 사람의 위치로 이동할 수 있는 방법이 있어야 한다 그렇기에 구조 요청자의 주변에서 이동하면서 구조 요청자의 정확한 위치를 찾아 낼 수 있는 알고리즘을 제안한다

우선 위급한 상황에 처한 사람이 발신기를 통해 긴급 상황을 알리는 신호를 보내면 주변의 휴대전화가 이 신호를 받아서 경찰서나 소방서와 같은 구급요원에게 긴급 신호가 발생했음을 알린다. 그러면 구급요원은 휴대전화의 긴급 신호를 수신한 기지국의 전파 수신 범위를 구조 요청자가 존재할 수 있는 범위로 가정한다 그리고 그

위치로 이동하면 긴급 구조를 요청한 사람의 주변으로 이동하게 된다. 그렇게 되면 기존의 휴대폰 통신망을 이용한 통신이 끝나게 되고 본 알고리즘을 사용하여 발신기의 위치를 탐색하게 된다



그림 1. 능동형 위치 추적 시스템의 흐름도

구조대가 기지국의 전파 수신 범위에 도달하게 되면 발신기로부터 신호를 받아서 구조 요청자를 찾아가게 된다. 발신기가 보내는 신호를 지향성 안테나를 여러개를 사용하여 수신하게 되면 각각의 안테나가 수신하는 신호의 세기가 다르다. 이 때, 각각의 안테나가 향한 방향과 수신한 신호의 세기를 조합하면 발신기의 신호가 오는 방향을 가늠할 수 있기 때문에 이러한 정보를 이용하여 발신기의 위치를 추적할 수 있다 추적하는 과정에서 구조대가 이동하는 방향은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 따르게 되며, 이는 주변의 지리정보와 자신의 위치를 GPS를 이용해서 알고 있다는 가정하에 탐색하게 된다. 최종적으로 발신기의 위치에 도착하게 되면 구조대는 적절한 조치를 구조 요청자에게 취하게 된다 이러한

과정을 통해서 긴급 상황에서 구조 요청자를 찾아가는 알고리즘이 동작하게 된다. 이 과정을 [그림]에서 볼 수 있다.



그림 2. 추적 알고리즘 순서도

## 2. 발신기 추적 알고리즘

### 2.1 추적 알고리즘 개요

본 논문에서 제안하는 긴급 구조상황에서의 위치 추적 알고리즘에서는 구조를 요청한 사람이 가지고 있는 발신

기와 발신기에서 보내는 신호를 수신하여 발신기의 위치를 찾아가면서 이동하는 구조대가 존재한다 발신기는 구조를 요청한 사람이 가지고 있기 때문에 발신기는 구조를 요청한 사람과 함께 움직이게 된다 그렇기 때문에 발신기의 위치를 추적하면 구조대는 구조 요청자를 찾을 수 있다. 추적자는 고감도의 지향성 안테나를 여러개 사용하여 발신기로부터의 신호를 수신한다 각각의 안테나는 서로 다른 수평방향이나 서로 다른 수직방향을 가지기 때문에, 같은 위치에서 신호를 수신하더라도 서로 다른 크기의 세기의 신호를 수신하게 된다 수신한 신호의 세기가 얼마나 큰가를 바탕으로 신호가 어느 방향에서 오는지를 계산할 수 있고 이 정보와 현재 구조대 주변의 지리 및 건물 정보를 이용하여 구조대가 어느 방향으로 이동해야 구조 요청을 한 사람을 찾을 수 있는지를 계산할 수 있다 구조대가 발신기의 위치로 이동하는 동안 발신기를 가지고 있는 사람도 이동할 수 있기 때문에, 시간의 경과에 따라 발신기의 이동 가능성을 계산하여 구조대의 이동 방향을 계산하는 과정에서 참고한다 이와 같은 추적 과정은 [그림2]와 같은 과정을 따른다. 위 과정을 지속적으로 수행하여 3차원 지도의 각 위치에서 발신기가 존재할 가능성을 계산할 수 있다 계산된 가능성을 바탕으로 구조대가 어느 위치로 이동해야 발신기의 위치에 도착할 수 있을지를 계산할 수 있고 구조대가 발신기의 위치에 도달하면 알고리즘은 종료되고 구조대는 현장 상황에 맞는 처치를 할 수 있다

### 2.2 발신기의 위치 추정

지도상의 각 위치에서 발신기의 존재 확률을 구하기 위해서 지표면을 구성하는 모든 영역을 사각형 단위로 나눈다. 또한 지면 위에 세워진 건물은 정육면체의 모양으로 분할한다. 사각형이나 정육면체의 각 꼭지점에서 발신기가 존재할 수 있다면 각각을 하나의 노드로 본다 인접한 두 노드가 사이에 장애물이 없어서 서로 이동할 수 있다면 두 노드를 링크로 연결한다 건물내부의 노드들도 마찬가지로 알고리즘으로 링크와 노드로 구성된다 이와 같은 알고리즘이 끝나면 각각의 노드는 지면과 그 위에 존재하는 건물을 구성하는 노드로 나눈다

노드와 링크로 지도의 구성이 끝나면 각 노드에서의 발신기의 존재확률을 초기화 한다 이후 각각의 노드의 위치에서 발신기의 존재확률을 계산하기 위해서 발신기에서 송신되는 신호를 안테나로 수신한다 각각의 안테나는 서로 다른 방향을 향하고 있다 이러한 안테나가 가리키는 각각의 방향을 방향으로 하고 안테나에서 수신

되는 신호의 세기를 크기로 가지는 벡터를 안테나마다 만들 수 있다. 이러한 각각의 벡터들의 합을 구하면 하나의 벡터가 나오는데, 그 벡터가 가리키는 방향을 발신기에서 보내는 신호를 수신한 방향으로 정한다. 이 때 각 안테나가 수신하는 신호의 세기를 RSSI라고 한다. 각 안테나에서 수신되는 신호의 RSSI값의 갱신 속도가 각각 다르기 때문에 존재확률을 계산할 때에는 가장 최근에 수신한 신호의 RSSI값을 계산에 사용하여 오차를 줄인다. 또한 구조대의 위치나 안테나의 방향에 따라 신호가 전혀 수신되지 않는 경우도 있기 때문에 일정 시간 이상 수신되는 신호가 존재하지 않는 안테나는 수신한 신호의 세기를 0으로 하여 의미가 없는 RSSI값이 계산에 사용되지 않도록 한다. 각 안테나에서 발생하는 수신 신호의 세기는 노이즈나 여러 가지 장애 요소에 의해서 오차값을 가지게 된다. 이러한 오차는 여러 안테나에서 수신되는 신호를 하나로 합치는 과정에서 서로 상반되는 위치의 안테나에서 수신된 신호의 세기가 더해지기 때문에 노이즈가 상쇄되어 오차의 영향이 줄어들게 된다. 수신 방향이 결정되면 지도상의 각 정점의 방향 벡터와 수신된 신호의 방향벡터가 이루는 각도를 계산한다. 그 각도를  $\theta$ 라고 하면 지도상의 각 정점에서의 가중치는 다음과 같은 수식을 따른다.

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

서로 반대 방향의 신호의 세기를 벡터의 합으로 더함으로써 오차가 상쇄되어 줄어들기는 하지만 전부 없어지는 것은 아니기 때문에 수식에 의해서 계산된 방향에서 각 노드의 위치가 가지는 각도에 따라 발신기가 존재할 확률이 가우시안 확률함수를 따른다고 가정하였다. 또한 구조대가 사용하는 지향성 안테나의 특성상 신호를 일정 각도 내에서만 수신할 수 있기 때문에  $\theta$ 가 일정 범위를 지향성 안테나의 수신 각도를 벗어나면 지향성을 가지는 안테나의 특성상 신호가 수신될 수 없으므로 발신기가 존재할 확률을 0으로 계산한다. 각 노드에서의 가중치의 계산이 끝나면 전체 노드의 가중치를 더한 값으로 각 노드에서의 가중치를 나누어 노드에 발신기가 존재할 확률을 구할 수 있다.

### 2.3 발신기의 이동 추정

시간이 지나면 구조요청을 한 사람이 이동을 할 수도 있

다. 그렇게 되면 발신기의 위치는 시간에 따라 발신기를 가지고 있는 사람과 함께 이동하게 된다. 그렇기 때문에 이전에 계산했던 각 노드에서의 발신기의 존재확률이 무의미하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 시간이 흐름에 따라 각 노드에서의 발신기의 존재확률을 발신기의 이동을 고려해서 재계산 해야한다. 발신기를 가지고 이동하는 대상은 일반적인 사람이기 때문에 단위 시간당 이동할 수 있는 거리에는 어느 정도 한계가 있고 추가적인 조사를 통해서 단위 시간당 이동거리에 대한 확률 함수도 만들 수 있다. 하지만 본 논문에서는 계산의 편의를 위해서 발신기의 이동 확률 함수는 최대 속도내의 선형 확률 분포를 가지는 함수를 따른다고 한다. 이와 같은 선형 확률 함수도 발신기를 추적할 수 있지만 보다 대상에 알맞은 확률 함수를 사용하면 더 정확한 예측이 가능하다.

시간이  $t$ 만큼 흐른 뒤의 지도를 구성하는 각 노드  $N$ 에서의 발신기의 존재확률은 시간  $t$ 동안 최고 속도로 이동했을 때의 거리를  $L$ 을 반지름으로 하고 노드  $N$ 을 원의 중심으로 하는 범위 내에서 발신기가 이동했을 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.

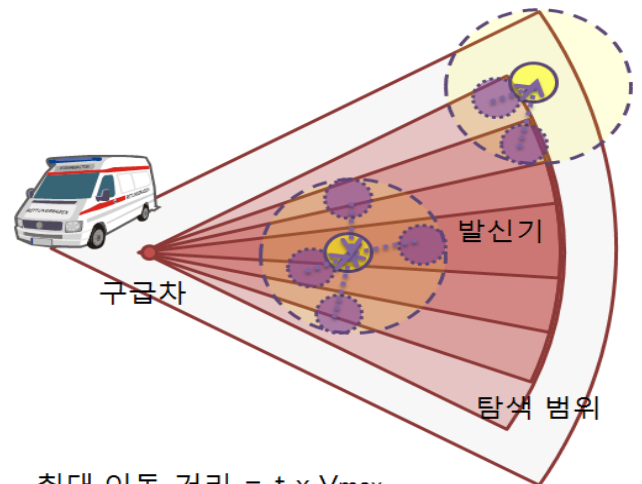


그림 3. 시간  $t$ 가 흐른 뒤의 오브젝트의 이동 추정

이를 수식으로 표현하면 시간  $t$ 가 흐른 뒤의 각 정점  $N$ 에서의 발신기의 존재확률  $PE(N)$ 은 점  $K$ 와  $N$ 의 거리가  $L_{nk}$ 라 할 때, 아래의 수식을 따른다.

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

위와 같은 수식은 실수연산을 많이 필요로 한다 이 필요로 하고 범위를 매번 재계산해야 하기 때문에 전체 노드의 확률을 매 시간마다 재계산 하는데 많은 연산이 필요하다. 발신기의 최대 이동범위와 각 방향으로의 이동 가능성은 시간이 변해도 바뀌지 않는다. 그렇기 때문에 각 노드에서의 존재확률을 재계산하기 전에 미리 최대 이동 범위와 각 방향으로의 이동 가능성을 계산할 수 있다. 이러한 성질을 이용하여 미리 계산된 값을 마스크로 만들 수 있다. 그리고 만들어진 마스크를 이동 예측을 할 때마다 원래의 확률 값에 곱함으로써 전체 연산량을 줄일 수 있다.

#### 2.4 오브젝트의 이동 추정

각 노드에서의 가중치를 계산한 다음 시간이 지나게 되면 구조대의 위치가 바뀌게 된다 또한 새로운 신호를 수신하기 때문에 각 안테나가 수신한 신호의 세기가 이전과 달라지게 되어 새로운 확률을 계산할 수 있다

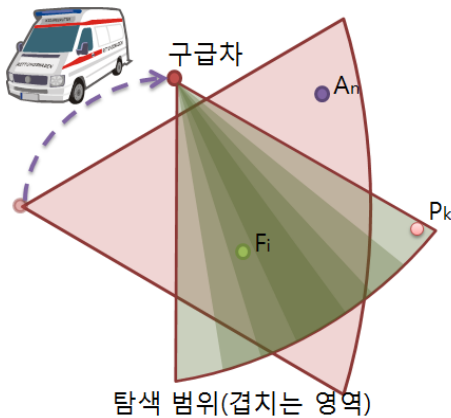


그림 4. 시간 t후의 새로운 신호 수신

시간이 지나면 구조대의 위치가[그림4]와 같이 바뀌게 된다. 그렇기 때문에 구조대의 안테나에서 신호를 수신하는 각도가 변화하게 된다. 이전에 수신했던 신호를 바탕으로 계산한 탐색 범위와 새로 수신된 신호를 바탕으로 계산한 탐색범위가 겹치는 부분만이 발신기가 존재할 가능성이 있다. 시간  $t$ 가 지나기 전의 각 정점  $A_n$ 에서의 가능성을  $PE(A_n)$ 이라 하고 시간  $t$ 가 지난 이후 신호의 세기만으로 계산된 확률을  $PE(P_k)$ 이라 하면, 시간  $t$ 이후의 정점  $F_i$ 에서의 가능성을 구하는 공식은 다음과 같다

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

위의 공식을 적용하면 새 신호가 수신되었을 때 이전에 계산한 각 노드에서의 존재 확률과 새로 계산한 존재 확률을 더해서 새로운 노드별 존재확률을 결정하게 된다 또한 탐색범위는 두 수신 안테나의 수신 가능 각도에 모두 포함되는 영역이 된다. 수평 방향과 수직 방향 양쪽으로 계산을 하여 3차원 공간의 모든 노드에서 확률을 계산한다. 각 노드별 존재 확률의 계산이 끝나면 건물의 각 층마다의 확률을 계산할 수 있어 어느 층의 어느 방에 발신기가 존재하는지를 방별로 추정할 수 있다

#### 2.5 이동 방향의 결정

구조대는 이동 과정에서 수많은 갈림길을 만나게 된다. 이 갈림길에서 어떤 길을 선택 하는가에 따라 발신기의 위치에 빠르게 도달하는지 아니면 더 먼 거리를 돌아서 가게 되는지가 결정된다 구조대가 이동할 방향을 결정하는데 두 가지 목표를 설정해서 결정하도록 하였다. 첫 번째는 긴급 상황에서 구조를 요청한 사람을 찾는 일이기 때문에 빨리 구조대가 발신기의 위치에 도착하는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 목적지까지 최대한 짧은 경로로 이동하는 것을 목표로 한다 또한 탐색 범위가 넓으면 여러 노드를 탐색해야 하므로 탐색시간이 증가하게 된다. 그러므로 탐색할 노드의 개수를 최소화하는 것을 두 번째 목표로 한다. 마지막으로 건물을 탐색하는 것은 일반 도로를 탐색하는 것에 비해 많은 시간이 소모되며, 주민들에게 피해를 끼칠 수 있다. 그렇기 때문에 최대한 발신기가 존재하는 건물이 확정된 다음에 그 건물을 탐색해야할 필요가 있다 이러한 가정을 바탕으로 방향  $k$ 로 이동했을 때의 비용을  $C_k$ 라고 가정하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다

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

여기서  $a_n$ 은 해당 지점에서 발신기가 있다고 가정했을 때의 면적이며,  $d_n$ 은 해당 지점까지의 이동 비용이다  $w_n$ 은 해당 지점에 발신기가 존재할 확률이며  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각에 대한 가중치이다 본 논문에서는 여러 차례의 실험을 통해 목적지와 최단거리와 실제 이동거리의 차이가 가



장 적은 것으로 확인된 0.2와 0.8을  $\alpha$ 와  $\beta$ 로 사용하였다.



그림 5. 건물을 구분하기 위한 이동 가중치

또한 탐색 과정에서 여러 건물에 발신기의 존재 확률이 있는 경우, 보다 건물을 빠르게 구분짓기 위해서 구급차의 위치에서 각 건물들이 최대한 큰 각도의 차이를 보이는 곳으로 이동하면 건물들을 구분하는데 도움이 된다. 예를 들어 3건물이 [그림5]와 같이 위치하고 있을 때 각 건물이 이루는 각도가 커지는 위치일수록 붉게 표시하면 [그림5]와 같은 모습을 얻을 수 있다. 붉은 위치에 이동하면 발신기가 존재하는 건물을 빠르게 확정할 수 있기 때문에 각도의 차이의 정도를  $a_n$ 에서 줄여서 계산한다.

### 3. 성능 분석

기술된 알고리즘을 바탕으로 수평 방향으로 8개의 안테나를 이용하고 이를 3층으로 쌓아서 위치 추적 시스템을 구현하였다. 구현 시스템은 IBM 호환 3.0GHz CPU, 8GB RAM의 64비트 윈도우즈 환경에서 개발하였다. 개발 도구와 언어는 Visual studio 2008에서 개발 되었으며 C++와 MFC, Direct X 9.0라이브러리를 이용하여 구현 되었다.

위의 구현된 시뮬레이터를 이용하여 추적자와 발신기를 매번 임의의 위치로 설정한 뒤 추적자의 속도를 60km/h, 목표물의 속도를 최대 12km/h로 설정하고 160000m<sup>2</sup> 가량의 수평 공간을 생성하였다. 그 다음 무작위로 3-4개의 사각형의 건물과 같은 장애물이 200m 이하의 높이로 생성된다. 장애물의 크기와 위치는 매 시뮬레이션마다 무작위로 결정된다. 빌딩에도 거주하는 주민이 응급 신호를 발신할 수 있기 때문에 그 위치에도 발신기가 위치할 수 있도록 구현되었다. 지도 생성 결과는 [그림6]에서 보이듯이 높낮이가 있는 지형으로 이루어져 있으며 각각의 노드는 작은 사각형으로 표현된다. 또한 [그림6]에서 보이는 붉거나 검은 점은 각각의 노드이다. 검은색에서부터 붉은 색까지의 색을 가진다. 각 노드의 붉은색이 선명한 정도에 따라 그 노드에서의 발신기의 존재 확률이 높다는 것을 나타낸다. [그림7]에서

는 추적자가 수신한 데이터를 보여주는데 [그림7]의 왼쪽의 레이더 모양에서 붉은색 영역은 각 방향에서 수신한 신호의 실제 세기이며 녹색 영역은 각 방향에서 수신한 신호의 노이즈가 없는 이상적인 세기를 나타낸다. 그리고 [그림7]의 오른쪽의 붉은색 그래프는 실제 수신한 신호를 나타내며 녹색 그래프는 노이즈가 없는 이상적인 신호를 나타내고 파란색 그래프는 실제 수신한 신호를 보정한 결과를 나타낸다.

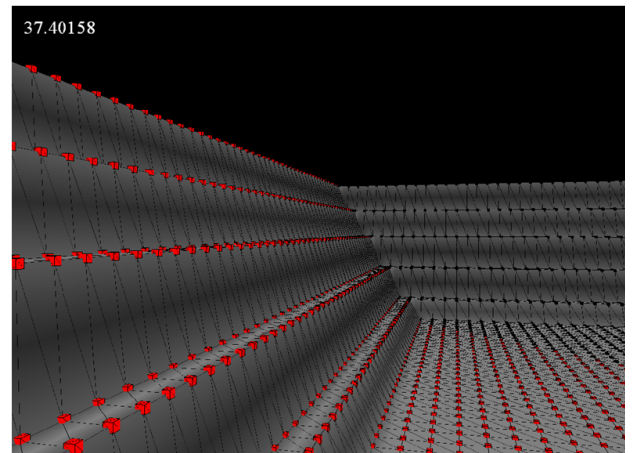


그림 6. 구현 결과1

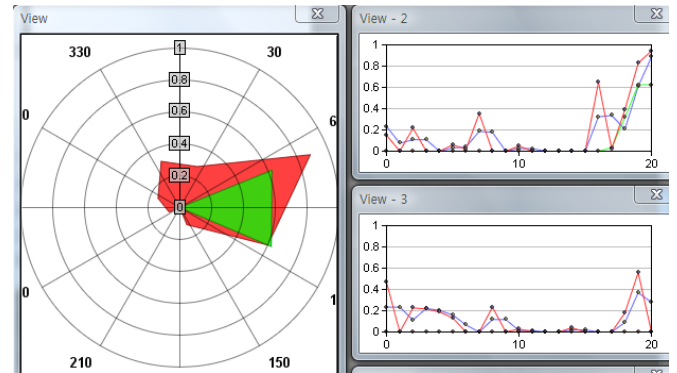


그림 7. 구현 결과2

위의 시뮬레이터는 각 노드들을 정육면체 모양으로 구성하였다.

	회수
4분 미만의 시간에 추적	96
4분 이상의 시간에 추적	4

표 1. 100회 수행 결과

시뮬레이션은 위와 같은 환경에서 총 100회의 테스트를 하였다. 그 뒤 추적자가 응급환자의 최대 치료 효과를 기대할 수 있는 시간인 4분내에 구급차가 발신기의

위치에 도달하는 경우를 세어보았다 위의 실험 결과를 통해서 본 알고리즘이 비교적 높은 추적 정확도를 보인다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

지금까지 긴급구조 시스템은 휴대폰 전화망과 같은 기존에 존재하는 무선통신 네트워크를 이용하였다하지만 이러한 서비스가 위치 추적을 목적으로 만들어진 것이 아닌 네트워크상에서 제공되면서 발신기의 위치를 정확하게 찾아내지 못하고 많은 오차를 가져 원할한 긴급구조를 하지 못했다. 이러한 문제는 근본적으로 긴급구조 서비스를 염두에 두지 않은 네트워크의 설계에 있기 때문에 발생하는 문제이다 이러한 문제를 해결하고자 능동형 위치검출 알고리즘을 이용하여 보다 오차가 적은 긴급구조 시스템을 제안하고 시뮬레이터로 알고리즘을 구현하여 그 성능을 측정해 보았다 이 알고리즘을 기반으로 하는 시스템은 위치 추적서비스를 목적으로 하여 만들어 졌기 때문에 높은 정확성을 가지고 있으며 구조대가 위기에 처한 대상을 찾아간다는 점을 알고리즘에 잘 반영하였다. 또한 기존의 네트워크가 잘 만들어져 있다는 점을 이용하기 때문에 높은 추가 비용을 들이지 않고 기존의 시스템에 반영이 가능하다는 점은 본 시스템이 긴급구조시스템으로써 충분한 이용 가능성이 있음을 알 수 있었다. 하지만 실험결과의 오차가 안정적이지 못하다는 문제점이 있다. 그리고 시뮬레이션에서 높은 건물에 의한 전파의 반사와 같은 현상이 반영되지 않았기 때문에 실제와 차이가 있을 수 있다는 점에서 아직 개선해야 할 문제점이 남아 있다고 볼 수 있다 이러한 문제점을 개선할 수 있는 방안을 마련하기 위해 더 연구하고자 한다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] Dr. Richard Snay, National Geodetic Survey, NOAA, [http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans\\_SA/compare/ERLA.htm](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.