

# 초음파 센서를 이용한 능동적 추적 시스템의 다중 객체 지원 기법

이신영 이지영<sup>0</sup> 차호정  
연세대학교 컴퓨터과학과  
(mainwork, jyyi<sup>0</sup>, hjcha)<sup>0</sup>@cs.yonsei.ac.krr

## A Technique for Multiple Objects Tracking in Ultrasonic based Active Tracking System

Shinyoung Yi Jiyoung Yi<sup>0</sup> Hojung Cha  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

무선 센서 네트워크를 이용한 초음파 기반 위치 인식 기술은 저비용 및 정확성을 장점으로 갖는, 잘 알려진 실내 위치 인식 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 라디오 기반의 능동적 추적 시스템에서 다중 이동 객체의 위치 인식을 지원하는 추적 시스템을 제안한다. 이를 위해 능동적 추적 시스템에서의 다중 객체 위치 인식 기술 개발상 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 저비용의 Adaptive Beacons 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘을 이용한 추적 시스템을 구현한 후, 실제 건물 내부에 배포하여 실험함으로써 다중 객체 위치 추적을 위한 알고리즘의 이론적 특성을 분석하였다.

### 1. 서론

실내 환경에서의 위치 정보 기반 서비스의 구현을 위해 다양한 위치 인식 기술이 연구되고 있다. 건물 내 위치 인식의 방법으로 적외선을 이용한 기술[1], Wireless LAN을 이용한 기술[2], 라디오와 초음파를 이용한 기술[3,4,5,6] 등이 존재한다. 건물 내에서 위치 기반 서비스의 적용을 목적으로 한 위치 인식 기술은 정확성이 높아야 하고 비용이 저렴해야 한다[3]. 초음파와 무선 센서 네트워크를 이용한 위치 인식 기술은 이 사항들을 만족시키는 중요한 기술 중 하나이다.

무선 센서 네트워크에서 초음파를 이용한 실내 위치 추적 기술은 위치를 알고자 하는 대상이 신호를 발생하는가에 따라 능동적인(active) 방식과 수동적인(passive) 방식으로 나누어진다[6]. Cricket system[3]은 수동형의 대표적 예이고 Active Bat[4]은 능동적인 방식의 대표적 예라 할 수 있다. 수동적 방식은 위치를 알고자 하는 객체가 미리 설치된 노드들로부터 신호를 받기 때문에 객체의 개수가 늘어더라도 네트워크에 존재하는 신호는 증가되지 않는다. 따라서 위치 추적 시스템이 동시에 여러 객체를 추적하는 것이 용이하다. 그러나 객체는 동일한 시점의 신호를 동시에 받지 못하기 때문에 이동 객체에 대한 위치 추적의 정확성이 능동적 방식보다 떨어진 다[6]. 능동적 방식은 위치를 알고자 하는 객체가 스스로 신호를 발생하기 때문에 이동하는 상황에서도 동일한 시

다. 하지만 객체의 수가 늘어날수록 네트워크 내의 신호가 증가하기 때문에 신호 충돌 등의 부가적인 문제가 발생한다.

본 논문은 센서 네트워크의 위치 추적 시스템에서 정확성은 높지만 다중 객체 위치 추적에 한계를 갖고 있는 능동방식에 초점을 맞춘다. 능동 방식은 위치를 알고자 하는 대상이 이동하더라도 정확하게 위치를 추적할 수 있기 때문에 실내 위치에 기반 서비스에 응용할 수 있다. 그러나 능동적 추적 시스템이 여러 객체의 위치를 동시에 알지 못한다면 그 활용의 폭이 좁을 수밖에 없다. 그러므로 능동적 추적 시스템이 올바르게 동작하기 위해서는 객체의 수가 늘어남에 따라 증가하는 시스템 내의 라디오 신호에 의해 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 이를 해결함으로써 이동 가능한 다중 객체의 위치를 추적할 수 있어야 한다. 본 논문은 이러한 능동적 추적 시스템에서 다중 객체 위치 추적이 가능하도록 하는 것을 목적으로 한다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 라디오[7]를 이용하여 다중 객체 위치 인식을 지원하는 능동적 추적 시스템을 구현하였다. IEEE 802.15.4 라디오는 2.4Ghz 주파수의 높은 전송률과 저전력으로 동작하는 특징으로 최근 무선 센서 네트워크에서 많이 사용되고 있다. 그러나 초음파 기반 위치 인식 방식에서 사용하는 두 신호의 도달 시간 차이(TDoA)를 계산하기 위해 사용하는 라디오 신호로서 IEEE 802.15.4 라디오는 기존의 센서 네트워크에서 많이 사용했던 433/900Mhz 라디오와 다른 동기화 기술을 필요로 한다[5,8]. [5]에서 개발한 IEEE 802.15.4 라디오 기반의 장치를 이용하여 본 논문에서는 다중 객체 위치 인

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 국가지정 연구실 사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2006-01546)  
점의 신호에 대해서 거리를 계산할 수 있어 정확성이 높

식 기법에 집중한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 능동적 위치 추적 시스템에서 다중 객체 위치 인식의 문제점을 분석한다. 3장에서는 이 문제를 분석하고 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안한 알고리즘 및 다중 노드 위치 추적 시스템의 성능을 평가하고 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 다중 객체 추적 시스템

초음파 기반의 다중 객체 위치 추적 시스템은 그림 1에서와 같이 위치를 알고자 하는 모바일 노드와 거리를 측정하는 기간 노드들로 구성된다. 모바일 노드는 동기화된 라디오 신호와 초음파 펄스를 주기적으로 송출한다. 기간 노드는 모바일 노드의 라디오 신호를 받으면 이후 도달하게 될 초음파를 인식한 후 두 도달 시간의 차이를 이용하여 거리를 측정하고 측정된 거리를 다시 모바일 노드에게 전송한다. 세 개 이상의 기간 노드들로부터 거리 정보를 받으면 모바일 노드는 삼변측량법을 이용하여 2D 좌표 평면상의 위치 좌표를 계산하여 자신의 위치를 인식한다. 이 과정을 일정 주기마다 수행하여 모바일 노드의 움직임을 추적할 수 있다.

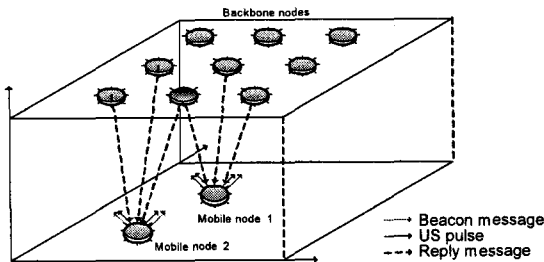
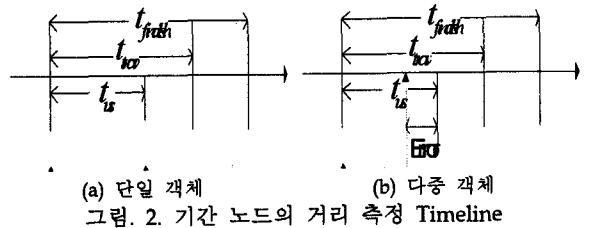


그림 1. 다중 객체의 위치 인식

그림 1은 또한 다중 모바일 노드가 존재하는 상황을 보여준다. 초음파를 이용한 Active 추적 시스템에서 위치를 알고자 하는 모바일 노드가 두 개 이상일 경우 다음과 같은 문제가 발생 할 수 있다. 인접한 두 개의 모바일 노드가 각각 비컨 메시지를 보냈을 때 기간 노드들은 두 메시지를 모두 받게 될 것이고 두 메시지를 거의 동시에 받게 될 경우 이후 도착하게 될 초음파 신호를 구분할 수 없게 되면서 거리 측정에 오차가 존재하게 된다. 이 문제의 해결을 위해서 동기화된 초음파와 라디오 신호를 이용한 거리 측정 방법을 자세히 분석할 필요가 있다.

그림 2는 기간 노드가 모바일 노드의 비컨 메시지를 받은 후 거리를 측정하고 측정된 거리 값을 다시 전송하는 과정까지의 Time-line을 보여준다. 기간 노드가 비컨 메시지를 받으면 받은 시점부터 이후 도착할 초음파의 도착 시점까지의 걸린 시간을 측정하기 위해 0부터 최대 시간  $t_{max}$  까지 진행되는 타이머를 작동시킨다. 타이



(a) 단일 객체  
(b) 다중 객체  
그림 2. 기간 노드의 거리 측정 Timeline

머가 동작하고 있는 동안에 초음파 신호가 들어오게 되면 그 시점에서의 타이머 값  $t_{ms}$ 를 저장하여 초음파가 도달하는데 걸린 시간을 측정하여 거리를 계산한다. 거리 계산이 완료되면 비컨 메시지를 보낸 모바일 노드에게 거리 값을 전송하게 된다. 그림 2(b)에서처럼 비컨 메시지를 받은 이후  $t_{max}$  동안에 다른 비컨 메시지를 받게 될 경우 타이머가 재시작 되어 먼저 받았던 비컨 메시지에 대한 초음파의 도달 시간은 측정할 수 없게 된다. 또한 다른 모바일 노드의 비컨 메시지가  $t_{max}$  이후 들어온 경우에도  $t_{ms}$ 는 정확히 저장되지만 이 값을 통한 거리 측정값을 모바일 노드에게 전송하기 전에 다른 모바일 노드의 비컨 메시지를 받아서 또 다른 값을 저장하게 될 경우 먼저 받았던 값이 손실되거나 변경될 수 있다.

이러한 문제를 피하기 위해서는 각각의 기간 노드들은 들어온  $i$ 번째의 비컨 메시지에 대한  $t_{ms-i}$ 를 저장하여 해당 모바일 노드에게 전송을 완료하는데 걸리는 시간  $t_{finish}$  동안에  $i+1$ 번째의 비컨 메시지를 받지 않아야 한다. 서로 다른 모바일 노드의 비컨 메시지가 동시에 보내지 않도록 하기 위해 여러 가지 기법을 생각할 수 있다.

모바일 노드들이 시간 동기화를 통해 Time-slot을 배분하여 자신의 slot에서만 비컨 메시지를 보내게 함으로써 동시에 비컨 메시지를 보내는 것을 방지하는 방법을 생각할 수 있다. 이 방법은 Time-slot을 배분하기 위해서 모바일 노드들의 시간이 동기화되어야 하는데 시간 동기화 작업은 시스템 상의 부하가 크기 때문에 실시간으로 위치를 추적해야 하는 본 시스템에 적용하기에는 비효율적이다. 또 다른 방법으로 하나의 모바일 노드가 비컨 메시지를 보내기 전에 선-비컨 메시지를 통해 미리 다른 모바일 노드에게 알림으로 충돌을 회피하는 것을 생각할 수 있다. 이 방법은 Time-slot을 배분하는 방법에 비해 오버헤드는 적지만 모바일 노드가 보내는 선-비컨 메시지를 기간 노드의 동작에 영향을 주게 된다.

본 논문에서는 모바일 노드들이 비컨 메시지를 보내는 주기를 유동적으로 변경하여 모바일 노드들 스스로 충돌하지 않도록 하는 방법을 제안한다. 이 방법은 비컨 메시지의 부가적인 라디오 채널을 사용하지 않고 기간 노드에서 처리해야 하는 작업이 없기 때문에 비용이 가장 적게 소요된다. 이를 통해 필수적인 데이터 이외에는 가능한 라디오 채널의 오버헤드를 줄일 수 있다.

### 3. Adaptive Beaconsing

제안하는 알고리즘을 설명하기 위해서는 시스템에서 시간에 따른 모바일 노드의 동작 상태를 설명할 필요가 있다. 그림 3에서처럼 모바일 노드는 비컨 메시지를 초음파 신호와 함께 전송한 후  $T_{wait}$  동안 대기하여 기간 노드의 거리 값을 받는다. 이후 세 개 이상의 거리 값을 얻으면  $T_{tri}$  동안 삼변측량을 수행한다. 위치 결과를 계산한 이후 정해진 시간 이후 다음 비컨 메시지를 보낸다.

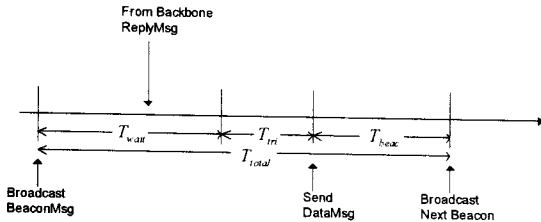


그림 3. 모바일 노드의 동작 Timeline

여기서 하나의 모바일 노드만 존재한다면,  $T_{wait}$  은 일정한 상수 값이고  $T_{tri}$  는 위치 계산에 소요되는 시간으로 일정하게 유지하며, 또한 상수 값이므로 신호발생 주기  $T_{total}$  은 항상 일정하게 된다. 그러나 다른 모바일 노드가 존재하고  $T_{beacon}$  기간 동안에 다른 모바일 노드의 비컨 메시지를 받게 된다면  $T_{beacon}$  이 변경된다.

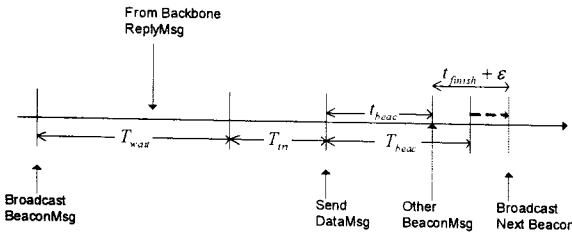


그림 4. Adaptive Beaconsing 동작

Adaptive Beaconsing 알고리즘은 다음과 같다. 임의의 모바일 노드가 다른 모바일 노드의 비컨 메시지를 받았을 때, 이를 받은 시점에서의 자신의 현재 상태를 판단한다. 그림 4.에서처럼, 현재 시점이  $t_{beacon}$  이라면 다음 신호발생까지 남은 시간( $T_{beacon} - t_{beacon}$ )을 계산하여 다른 모바일 노드의 신호발생 시점과 자신의 신호발생 시점의 선후관계를 추측한다.

자신의 다음 신호 발생 시점이 다른 모바일 노드의 신호발생시점보다 이후이고, 자신의 신호 발생 시점과 다른 모바일 노드의 신호 발생 시점과의 시간차이가  $t_{finish}$  보다 작다면 다음 신호 발생 시점  $T_{beacon}$  을  $t_{beacon} + t_{finish} + \epsilon$  로 변경한다.

### 4. 실험

Active 방식의 다중 객체 위치 추적 시스템 구현을 위해 본 연구팀은 40KHz의 초음파 펄스를 송출하고 감지할 수 있는 센서와 초음파 센서를 부착하여 동작하는 무선 센서 모드를 개발하였다[5]. 기간 노드로 9개의 모드를 천장에 부착하여 실험 환경을 구축하였고 GUI를 통해 결과를 확인하였다.

여러 모바일 노드가 넓게 분포되어 있어서 각 모바일 노드의 US 신호를 서로 다른 기간 노드들이 감지한다면 하나의 모바일 노드의 위치를 추적하는 상황과 동일한 결과를 갖는다. 이것은 다중 모바일 노드가 존재하더라도 시스템에 문제를 일으키지 않음을 의미한다. 따라서 Adaptive Beaconsing 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 최악의 경우로 세팅하여 실험하였다. 최악의 경우는 두 개 이상의 모바일 노드의 서로 다른 초음파를 동일한 기간 노드들이 모두 감지하는 경우이다.

표 1. Adaptive Beaconsing performance

노드 (정책: id)	총 신호 발생 수	위치 인식 성공 회수	성공비율
A : 1	180	5	2.7%
A : 2	180	3	1.7%
B : 1	180	160	88.9%
B : 2	180	168	93.3%

표 1은 제시하는 Adaptive Beaconsing을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 성능 차이를 보여준다. 4개의 기간 노드를 150x150 cm 격자형으로 배치한 후 두 개의 모바일 노드가 라디오와 초음파를 송출, 4개의 기간 노드가 모두 두 노드의 신호를 감지하도록 하여 실험하였다. 표에서 A는 알고리즘을 적용하지 않은 경우이고 B는 적용한 경우이다. 두 개의 모바일 노드로 비교하였을 경우 Adaptive Beaconsing을 적용하지 않았을 때에는 위치 인식을 거의 하지 못하지만 적용하였을 때에는 85%이상 성공하는 것을 알 수 있다.

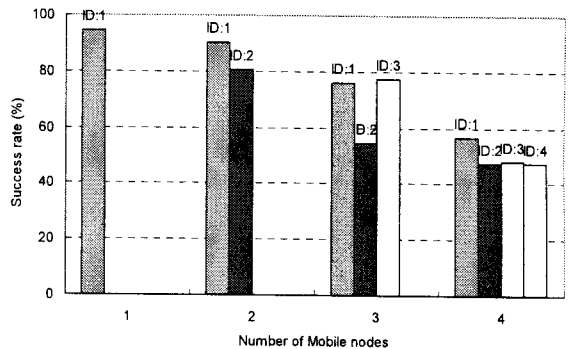


그림 5. 다중 객체의 위치 인식 성공 비율

그림 5는 본 논문에서 구현한 시스템의 설정에 따라

계산된 최대 모바일 노드의 개수 4개까지의 위치 인식 성공률에 대해서 보여준다. 각 모바일 노드에 따라 약간의 성공률의 차이가 존재하는 이유는 모바일 노드의 배치 상태에 따라 기간 노드들의 초음파 감지율이 변화하기 때문이다. 도표에서 보듯이 모바일 노드의 개수가 증가할수록 위치 인식의 성공률은 감소한다. 이는 모바일 노드가 3개 이상이 될 경우 Adaptive Beaconsing 알고리즘으로 정확하게 신호발생 시점을 분배할 수 없기 때문이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 기존의 능동형 방식의 초음파 기반 위치 추적 시스템에서 다중 노드들에 대한 위치 인식이 가능하도록 하는 Adaptive Beaconsing 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 알고리즘의 검증에 위해 IEEE 802.15.4 라디오와 40Khz 초음파 신호를 이용한 능동형 방식의 위치 인식 시스템을 실제로 구현하여 실험하였고 제안된 알고리즘의 이론적 분석을 통해 한계점을 기술하였다. Adaptive Beaconsing 알고리즘은 동시에 위치 인식을 할 수 있는 최대 노드 개수는 제한되지만 저비용으로 동작하여 다중 객체의 위치 추적을 지원한다. 본 논문은 기존의 동적 추적 시스템에서 지원하지 않았던 다중 노드에 대한 위치 추적을 위한 저비용의 알고리즘을 제안함으로써 무선 센서 네트워크에서 능동적 실내 위치 인식 시스템의 발전에 기여하였다.

현재 알고리즘은 한정된 time-slot을 여러 노드가 분배하여 사용하는 형식이기 때문에 지원 가능한 node의 개수에 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 우리는 모바일 노드들이 서로 인접한 상황에서 인접한 모바일 노드들이 Time-slot을 배분하여 충돌을 회피하도록 하는 시간 할당 알고리즘을 개발할 것이다.

## 참고 문헌

1. R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. In ACM Transactions on Information Systems, January 1992.
2. P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System. In INFOCOM 2000, Vol. 2, pp. 775-784, March 2000.
3. N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. The Cricket Location-Support System. In 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 00), August 2000.
4. A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, and P. Webster. The Anatomy of a Context-Aware Application. In 5th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 99), pp. 59-68, August 1999.
5. S. Yi, H. Cha, "Active Tracking System using IEEE 802.15.4-based Ultrasonic Sensor Devices," In 2nd International Workshop on RFID and Ubiquitous Sensor Networks (USN) 2006, Seoul, Korea, August, 2006.
6. A. Smith, H. Balakrishnan, and M. Goraczko. Tracking Moving Devices with the Cricket Location System. In 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications

and Services (Mobisys 2004), June 2004.

7. IEEE Standard for Information Technology: 802.15.4: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks.

2003  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>

8. W. Jung, S. Shin, S. Choi, H. Cha, "Reducing Congestion in Real-Time Multi-Party Tracking Sensor Network Application," In 1st International Workshop on RFID and Ubiquitous Sensor Networks(USN) 2005, Nagasaki, Japan, December 6-9, 2005