센서네트워크에서 IEEE 802.15.4 및 초음파 기반 위치 추적 기법

이신영[O] 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{mainwork[O], hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

IEEE 802.15.4/Ultrasound-based Tracking Technique in Wireless Sensor Networks

Shinyoung Yi[O] Hojung Cha
Department of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 초음파 기반 위치 인식 기술의 발전을 목적으로 한 새로운 초음파 위치 인식 시스템을 제안한다. 이를 위해 본 연구팀은 저전력, 높은 전송률 등의 장점으로 최근 무선 센서 네트워크에 많이 적용되고 있는 IEEE 802.15.4 라디오를 이용한 새로운 초음파 센서 장치를 개발하여 Active 방식의 실질적 응용 수준의 위치 추적 시스템을 구현하였다. 본 연구팀은 구현한 시스템을 실제 건물 내부에 배포하여 실험함으로써 위치 인식 시스템이 실제 적용되었을 때의 기술적 문제점을 분석하였고, 이를 해결하여 실제 응용 가능한 수준의 신뢰성을 갖고 동작하도록 하였다.

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] 등이 존재한다. 건물 내에서 위치 기반 서비스의 적용을 목적으로 한 위치 인식 기술은 정확성이 높아야 하고 비용이 저렴해야 하며 개인성을 보장해야 한다[3]. 그런 점에서 초음파와 무선 센서 네트워크를 이용한 위치 인식 기술은 이 사항들을 만족시키는 중요한 기술 중 하나이다.

그러나 기존에 존재하던 센서 네트워크를 이용한 초음파 위치 인식 기술들은 예전에 개발되어 낮은 전송률의 무선 라디오를 사용하거나, 유선망을 사용하여 개인성 보장 및 시스템 성능에 한계를 갖고 있었다. Cricket[3]은 위치를 알고 있는 고정된 Beacon 노드들이 주기적으로 라디오와 초음파 신호를 보내며 위치를 알고자 하는 대상 노드는 두 신호를 받아 두 신호의 TDoA를 측정한 거리를 이용하여 위치를 계산한다. Cricket에서 사용하는 라디오 스택은 TinyOS에서 구현된 B-MAC으로서, 완전 Software로 동작하기 때문에, 라디오와 초음파 신호의 동기화 시점을 제어하기 쉬워 거리 측정이 정확하다는 장점을 갖는다. 하지만 Cricket의 라디오 채널은 전송률 및 전력 소모에서 본 논문에서 구현한 시스템에서 사용한 라디오 채널에 비해 취약하다[5]. 또한 Cricket이 사용한Passive 방식은 Sender와 Receiver간의 통신 부하가 적고 분산 방식으로 Privacy를 보장한다는 장점이 있지만 움직이는 노드의 위치를 연속적으로 추적하는 응용에서는 Active방식에 비해 정확성이 떨어진다[6]. Active Bat[4]은 Bat이라 부르는 Sender가 동기화 된 라디오 신호와 초음파 펄스를 보낸다는 점에서 Cricket과 차별된다. Bat 시스템은 Sender가 보낸 두 신호를 받은 Receiver가 거리를 측정하여 유선으로 연결된 Host에게 보내고 Host에서 모아진 정보를 이용하여 위치를 계산한다. Active Bat에서는 초음파와 동기화 목적으로만 433Mhz 라디오 채널을 사용하며 설치된 Receiver들은 유선 통신을 통해 거리 정보를 Host에 전송하여 중앙 처리방식으로 위치를 계산한다. 유선망을 통해 거리 정보를 전달하여 정보의 신뢰성은 우수하지만 유선을 미리 설치해야 한다는 한계를 갖고 있으며 중앙 처리 방식으로 사용자의 Privacy를 보장하지 못한다.

본 연구에서는 기존의 초음파 위치 인식 시스템의 기술적 진보를 목적으로, 최근 많이 사용되고 있는 IEEE 802.15.4 Radio를 이용한 초음파 위치 인식 기술을 개발하여 이를 적용한 새로운 이동 음원 위치 추적 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 새로운 위치 추적 시스템은 Active 위치 추적 방식[6]을 적용함으로써 분산처리 방식으로 동작하여 사용자의 Privacy를 보장하며 높은 정확성을 보장한다. 또한 구현한 시스템을 실제로 배포하여 실험을 함으로써 실제 응용 시 발생할 수 있는 기술적인 한계 및 문제점을 분석하여 이를 해결함으로써 초음파 위치 추적 시스템의 실제 응용을 위한 기술적 정보를 제시한다.

2. 초음파 기반 위치 추적 시스템

본 시스템은 그림1에서와 같이 위치를 알고자 하는 Mobile node와 거리를 측정하는 Backbone node들로 구성된다. Mobile node는 동기화된 라디오 신호와 초음파 펄스를 주기적으로 송출한다. Backbone node는 Mobile node의 동기화된 라디오 신호를 받으면 이후 도달하게 될 초음파 펄스를 인식한 후 두 도달 시간의 차이를 이용하여 거리를 측정하고 측정된 거리를 다시 Mobile node에게 전송한다. 세 개 이상의 Backbone node들로부터 거리 정보를 받으면 Mobile node는 Trilateration을 이용하여 2D 좌표 평면상의 위치 좌표를 계산하여 자신의 위치를 인식한다. 이 과정은 Mobile node의 beaconing 주기마다 수행되기 때문에 Mobile node가 움직임에 따라 변화되는 위치의 변화를 추적할 수 있다.

본 시스템에서 설계한 위치 인식 방식은 위치 인식의 대상이 Beacon message를 송출하는 Active방식이기 때문에 거리를 측정하는 여러 개의 Backbone node들은 동일한 시점의 위치에서 발생한 신호를 감지하게 된다. 따라서 각 Backbone node들 간의 거리

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 국가지정연구실사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2005-01352)

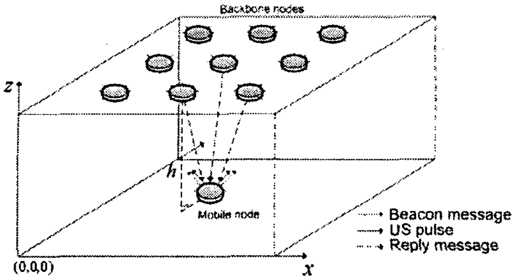

그림 1 위치 추적 시스템 구성

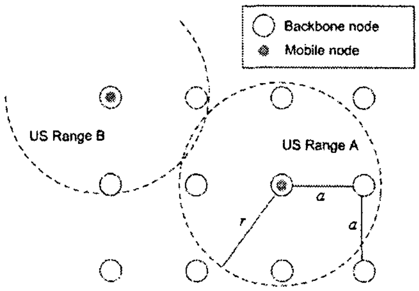

그림 2 위치에 따른 초음파 도달 반경

측정의 차이가 발생하지 않으므로 위치 인식이 정확하다. 하지만 세 개 이상의 Backbone node가 동시에 초음파 신호를 감지하여 계산한 거리 정보를 동시에 Mobile node에게 전송하기 때문에 Passive방식에 비해 라디오 채널 부하가 크며 많은 Backbone node가 동시에 전송할 경우에 Packet loss가 발생할 수 있다. 이 문제에 대한 해결은 2.2에서 기술한다.

본 논문에서 구현한 시스템에서 계산된 위치 좌표는 가장 가까운 거리에 존재하는 Backbone node에게 전송되고 Backbone node들 간의 라우팅을 통해 Host 에게 전달되어 GUI를 통해 시각적으로 위치 파악이 가능하다.

2.1 초음파와 라디오 신호의 동기화

Active방식의 초음파 기반 무선 센서 네트워크 위치 추적 시스템을 위해 본 연구팀은 40Khz의 초음파 펄스를 송출하고 감지할 수 있는 센서와 초음파 센서를 부착하여 동작하는 무선 센서 모트를 개발하였다. 센서 모트는 MSP430 F1611 마이크로 콘트롤러와 IEEE 802.15.4 라디오 기반 칩[7]을 사용한 Telos와 유사한 센서 장치이다. 본 연구팀에서 사용한 라디오 스택은 PHY 상에 구현되어 하드웨어 상에서 동작하기 때문에 소프트웨어적으로 Packet의 전송 시점을 제어 하는 것이 불가능하다. 따라서 Packet 전송이 완료된 후에 초음파 신호와 동기화를 해야 하는데 이 경우 라디오를 통해 데이터가 전달되는 시간이 일정하지 않다면 라디오 신호와 초음파 펄스의 도달 시간의 차이에 오차가 포함되게 된다. Packet을 보내기 전에 동기화를 한다면 거리 측정의 정확성은 보장되지만 Receiver가 라디오 신호를 받았을 때 초음파 신호와 동기화된 라디오 신호인지 다른 목적의 라디오 신호인지 구분할 수 없다는 문제가 생긴다. 본 논문에서는 MAC상에서 들어온 Packet의 목적 주소가 자신 노드가 맞는지 검사하는 부분에서 동기화 시점을 잡아 이 문제를 해결하였다.

2.2 거리 측정의 신뢰성 보장

Backbone node의 거리 측정은 장애물 등의 외부 환경 요인에 의해 오차가 발생할 수 있다. 위치 추적 시스템에서는 연속적인 신뢰성 있는 거리 측정이 그 시스템의 신뢰도를 나타내기 때문에 거리 측정의 오차를 최대한 방지해야 한다. 하지만 초음파 스피커에서 도달 위치의 각도가 크고 거리가 멀수록 거리 측정의 오차는 증가하기 때문에 거리 측정의 오차가 존재하게 된다. 본 연구팀에서는 이 문제를 해결하기 위해 두 가지 방법을 사용하였다. 배포된 건물 내부의 높이 는 일정하기 때문에 Backbone node가 측정할 수 있는 거리의 최소값은 h가 된다. 즉 배포된 환경에 의해 결정되는 상수 h가 정해지면 거리 측정의 최소값 $DIST_{min}$은 h와 동일하다. Backbone node가 $DIST_{min}$보다 큰 거리 값을 측정하였을 경우는 그 Backbone node는 초음파 음원 위치로부터 수직선상에 존재하지 않을 때이다. 따라서 측정한 거리 값이 $DIST_{min}$보다 클수록 더 많은 오차를 포함함을 의미하기 때문에 상수 α를 곱하여 오차를 보정하였다. 측정한 거리 값을 d 보정된 새로운 거리 값을 d_{nw}라 할 때 d_{nw}는 식 (1)에 의해 구해진다. 여기서 α는 d와 $DIST_{min}$의 차이에 비례한다. 본 연구팀은 시스템을 실제 배포한 환경에서 실험하여 α값을 구하였다. 높이 230cm, Grid size 150X150cm 에서 값은 0.98이다.

$$d_{nw} = \alpha \cdot d \qquad (1)$$

일정한 높이 h에서의 초음파 펄스의 도달 반경을 r이라 하였을 때, 그림 2에서처럼 $a$size의 Grid로 배치된 Backbone node들은 음원이 어디에 있더라도 최소 3개의 Backbone node가 초음파 펄스를 감지한다. 원 A는 가장 적은 수의 Backbone node가 감지하는 위치에서의 초음파 도달 반경이고 원 B는 가장 많은 개수의 Backbone node가 감지할 수 있는 위치에서의 도달 반경이다. 이 때 측정 거리의 최대 값 $DIST_{max}$는 식(2)과 같다. Backbone node 들의 거리 측정값 d_{nw}가 $DIST_{min}$보다 크고 $DIST_{max}$보다 작은 경우에만 Mobile node에게 전송하도록 함으로써 거리 측정의 오차를 줄이고 불필요한 Packet의 발생을 방지한다.

$$DIST_{max} = \sqrt{h^2 + 2a^2} \qquad (2)$$

본 연구팀에서 거리 오차를 줄이기 위해 산출한 높이 230cm 상의 건물 내에서 9개 이상의 Backbone node들을 150cm size의 Grid로 배포할 경우 Mobile node의 위치에 따라 거리를 측정할 수 있는 노드의 개수가 최대 9개까지 가능해진다. 9개의 Backbone node가 측정한 거리 값은 위에서 기술한 방법에 의해 걸러지므로 전송하는 노드의 개수가 줄어들지만 측정 오차에 의해 9개의 노드가 모두 전송하는 경우도 발생할 수 있다. 9개의 Backbone node들 중 Mobile node와 먼 노드는 큰 오차를 포함하기 때문에 위치 계산에 포함될 경우 위치 계산의 오차도 증가하게 된다. 이 문제는 Mobile node에서 정렬을 하여 작은 3개의 거리 값을 선택하는 방법으로 해결되지만 9개의 Backbone node가 동시에 Mobile node에게 전송할 경우 Radio problem으로 인해 거리 측정값이 손실되거나 변경되어 위치 계산이 올바르지 않게 수행될 가능성이 존재한다. 이 문제의 해결을 위해 Backbone node들은 측정 거리 값을 전송할 때 Random delay를 갖도록 하였다.

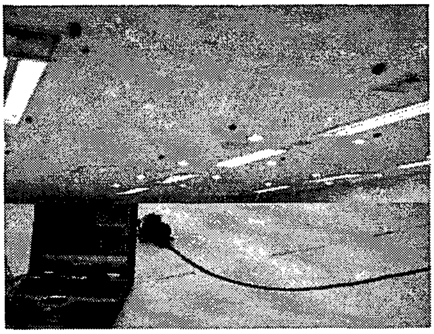

그림 3 위치 추적 시스템 실험 환경

3. 실험

본 논문에서는 그림 3에서처럼 IEEE 802.15.4 Radio 기반의 초음파 센서 장치를 새롭게 개발하여 위치 추적 시스템을 구현하고 시스템의 성능 평가를 위하여 연구실 내에 9개의 Backbone node와 1개의 Sink node, 1개의 Mobile node 그리고 Mobile node를 트랙에 따라 움직이도록 하는 무인 라인 트랙 모터 자동차를 사용하여 실제 실험 환경을 구축하였다. 성능 평가 및 모니터링 목적으로 GUI 응용을 개발하여 위치 추적의 결과를 확인하였다.

초음파 기반 위치 추적 시스템을 올바로 배포하기 위해서는 Backbone node들을 건물 내 천장에 설치 할 경우 최소 3개 이상의 Backbone node가 이 신호를 감지하여 거리를 계산할 수 있어야 한다. 본 연구팀에서 개발한 초음파 센서의 경우 직선거리 최대 11m 까지 안정적으로 초음파 펄스를 감지하였고, 230cm 직선거리를 기준으로 120도 내의 반경에서 안정적으로 초음파 펄스를 감지하는 성능을 보였다.

그림 4는 정해놓은 트랙을 따라 모터 자동차가 0.3m/s의 속력으로 움직이고 자동차에 부착된 Mobile node는 500ms 마다 Beacon message를 송출하여 이에 대한 연속적인 위치 인식의 결과를 그림으로 도식화 한 것이다. 그림에서 보듯이 Mobile node가 움직이는 동안 평균20cm이내의 오차로 정확한 위치를 추적하는 성능을 보여 주었다. 오차는 천장에 배포한 Backbone node의 위치 오차, 거리 측정의 오차에 의한 것이다.

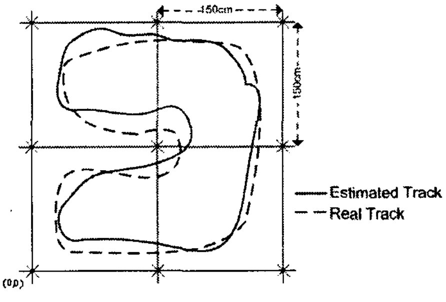

그림 4 초음파 기반 위치 추적 결과

그림 5과 6은 거리 측정의 신뢰성 보장 기법을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 위치 인식의 차이를 나타낸다. 위치 계산의 오차가 가장 큰 경우는 Grid로 배포된 Backbone node들의 정 중앙에 있을 때 이므로 (150,150)에서의 성능 차이를 실험하였다. 해당 위치에서 50회를 반복하여 계산한 위치 좌표를 얻었고 그 결과 도

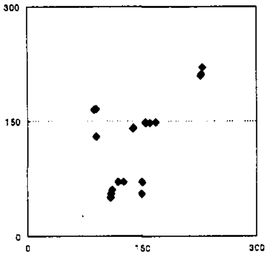

그림 5 정책 미적용 결과

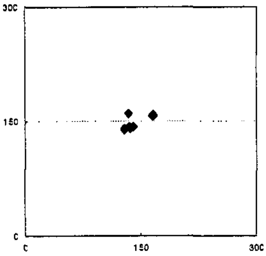

그림 6 정책 적용 결과

시한 것이 그림 5,6이 된다. 그림 5는 해결책을 적용하지 않았을 때의 위치 인식 결과이고 그림 6은 본 연구팀에서 새롭게 개발한 해결책을 적용한 결과이다. 그림에서 보듯이 본 연구팀에서 설계한 기술에 의해 위치 계산의 오차가 거의 존재하지 않음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반 라디오와 초음파 신호를 이용한 Active방식의 위치 인식 기법을 적용하여 이동 음원 위치를 추적할 수 있는 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 사용자의 Privacy를 보장하고 정확한 위치 추적이 가능하여 실제 응용에 적용할 수 있는 발전된 초음파 위치 인식 시스템이다. 또한 제안한 시스템을 구현한 후 건물 내에 실제 배포하여 실험함으로써 본 시스템의 응용 가능성을 검증하였다. 이러한 위치 추적 시스템은 실내 물체 추적, 네비게이션 등의 위치 인식 서비스에 활용될 수 있다.

참고문헌

[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. Steggles, A. Ward, and P. Webster. The Anatomy of a Conetxt-Aware Application. In 5th ACM International Conference on Mobile Computing and Net-working (Mobicom 99), pp. 59-68, August 1999.

[5] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. Culler. Telos: Enabling Ultra-Low Power Wireless Re-search. In Proceedings of IPSN/SPOTS, April 2005.

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