

PDA를 이용한 지속적인 상대 거리 측정 모니터링 시스템 개발에 관한 연구*

오재오, 이명수, 조윤희, 이상근
고려대학교 정보통신대학 컴퓨터통신공학부
e-mail:{doublefive, lms9711, cloudjo21, yalphy}@korea.ac.kr

Implementing a Continuous Relative Localization Monitoring System using PDAs

Jae-Oh Oh, Myong-Soo Lee, Yoon-Ho Cho, SangKeun Lee
Division of Computer and Communication Engineering, Korea University

요 약

본 논문에서는 PDA에서 지속적인 상대 거리 측정 모니터링 시스템을 제안하고자 한다. 제안하는 시스템은 GPS나 다른 값비싼 디바이스를 제외하고 PDA의 기본 사양인 802.11, 무선 랜, 마이크, 스피커를 이용한다. 802.11 무선 랜을 이용하여 거리 변화의 감지 및 변화에 따른 거리를 측정한다. 거리 변화 감지는 RSSI값을 이용하고 TCP 패킷과 UDP패킷을 이용하여 RTT를 계산하고 거리 측정을 하고 기존에 있던 시스템을 통합한다. 이러한 시스템 개발은 PDA와 같은 모바일 디바이스에서 공유를 통한 멀티미디어 서비스 및 재난 상황 같은 곳에서 위치 정보 파악을 위해서 이용 가능할 것이라 예상된다.

1. 서론

이동 통신의 발전은 재난 및 전시 상황, 그리고 위치 기반 서비스의 응용을 가능하게 하였고 계속해서 많은 응용을 하고 있다[4][6][11]. 예를 들면, 재난 상황 경우 많은 구조사들은 모바일 디바이스를 이용하여 통신을 하게 된다. 또한, 위치 추적을 위해서 GPS를 이용하여 위치 정보를 제공 받을 수 있다. 하지만, GPS를 이용하는 것은 부가적인 비용을 부담해야하고 실내에서는 정확한 위치 정보를 제공할 수 없다는 단점이 있다[7][10]. 이러한 단점으로 인해서 GPS 없이 위치 정보파악을 위해서 모바일 디바이스의 기본적인 구성을 이용하여 연구가 진행되고 있다[4][5][6][8].

많은 모바일 디바이스들은 802.11[1]을 이용한 무선 통신을 지원하고 기본적인 하드웨어 구성이 되어가고 있다. 따라서 기본적인 하드웨어로서 802.11 이용하는 것은 부가적인 장비의 도입에 따른 가격 상승이 없고 실내에서도 거리 측정이 가능하다는 장점이 있다[5][6]. 따라서 본 논문에서는 802.11을 이용하여 지속적인 상대 거리 측정 시스템 개발 및 연구에 대해서 살펴보고자 한다.

802.11 무선 랜을 이용하여 상대적인 거리 측정을 위한 방법은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)[1]를 이

용하여 많은 연구[4][5][6]가 이루어지고 있지만, RTT(Round Trip Time)[1]을 이용하여 상대적 거리 측정을 하기 위한 연구는 많이 진행되지 않았다. 우리는 RTT 값을 이용한 거리 측정 방법에 대해서 제안하고 이를 이용하여 PDA 상에서의 지속적으로 상대거리 측정가능한 모니터링 시스템 개발에 대해서 살펴보고 시스템을 제안하고자 한다.

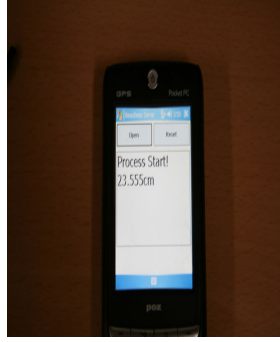
제안하는 시스템은 다음과 같다. 사전에 샘플된 RSSI값과 RTT값을 이용하여 거리에 따른 신호 감도의 변화에 임계값(Threshold)을 계산하고 RSSI값의 변화와 RTT값의 변화 통해서 거리 변화를 감지하게 되면 두 PDA 사이에서 TCP 패킷을 교환한다. 각 디바이스는 패킷을 주고 받는 시간을 계산한다. 각 디바이스의 내부의 프로세싱 타임 계산을 위해서 루프백 인터페이스(Loopback Interface)을 통해서 자신에게 패킷을 보내서 내부 프로세싱 타임을 측정한다. 또한 UDP통신을 이용하여 두 PDA 사이의 TCP통신의 ACK패킷의 프로세싱에 대해서 예측하여 RTT값을 계산하게 된다. 이렇게 측정된 RTT값을 이용하여 상대적인 거리를 측정하고 수학적인 방법과 사운드를 이용한 BeepBeep[8]시스템을 이용하여 오차를 보정하고 BeepBeep 시스템을 통합한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 살펴본다. 3장에서는 제안하는 시스템을 살펴보고 4장에서는 향후 연구 방향과 함께 결론을 내린다.

* 이 연구에 참여한 연구자는 '2단계 BK21'의 지원비를 받았음



(그림 1) BeepBeep 데모



(그림 2) 거리 측정 결과

2. 관련 연구

거리 측정에 관한 연구는 센서 네트워크 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다[7]. 센서 네트워크는 작고 가격이 저렴한 센서들로 구성되어져야 하기 때문에 GPS를 이용하는 것은 가격과 크기에 대한 센서 네트워크에 대한 요구사항을 충족시키지 못한다[7]. 그래서 GPS를 이용하지 않고 무선주파수와 사운드를 이용한 연구가 진행되었다[7][8][10]. 무선 주파수를 이용할 경우 정확한 시간 측정을 필요로 하기 때문에 특별히 제작된 하드웨어를 이용한다[10].

사운드를 이용하는 방식은 사운드의 상대적으로 느린 신호 속도 때문에 무선주파수를 이용한 시스템에 비해서 상대적으로 적은 오차를 보인다[8]. 이러한 센서 네트워크의 방법을 이용하여 모바일 디바이스를 이용한 실내 환경에서의 거리 측정에 관한 연구가 진행되고 있다[4][5][6].

모바일 디바이스에 진행되는 연구는 주로 많은 모바일 디바이스에 802.11을 지원하기 때문에 802.11 무선 랜을 이용하여 진행되고 있다[5]. 802.11 무선 랜을 이용하여 상대적인 거리 측정을 위한 방법은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하는 방법과 RTT(Round Trip Time)을 이용하는 방법으로 분류 할 수 있다[7]. RSSI를 이용하는 경우 거리 측정을 위한 방법은 많이 연구되고 있지만, RSSI값의 변화에 따른 거리 측정을 위해서는 많은 요소를 고려해야 하기 때문에 정확한 예측은 힘들다. 하지만, 많은 RSSI 샘플들을 다양한 프로세싱을 통해서 어느 정도 예측 가능하다. RTT를 이용하여 거리 측정에 대한 연구는 시스템 내부의 프로세싱 타임의 예측에 대한 어려움과 함께 빛의 속도에 따른 상당히 미세한 시간측정에 대한 필요 때문에 상대적으로 적게 연구가 되고 있다.

최근 제안된 시스템 중 사운드를 이용하여 상당히 정확하게 두 모바일 디바이스 간의 상대적인 거리를 구하는 시스템(BeepBeep)[8]이 제안되었다. 이 시스템은 PDA의 스피커와 마이크를 이용하여 다른 시스템들에 비해서 상당히 정확한 거리 측정을 가능하게 하였다. 하지만, RF와 802.11을 이용하는 것 보다는 상대적으로 측정 범위가 적다.

거리	평균측정거리	표준편차
2m	202.973cm	2.46cm
4m	402.925cm	1.854cm
6m	607.525cm	4.741cm
8m	807.133cm	3.819cm
10m	1004.685cm	3.504cm

<표 1> 구현된 BeepBeep 시스템 거리 측정 (각각 10회 측정, 6m와 8m의 경우 주변의 소음에 따른 영향)

3. PDA를 이용한 거리 측정 시스템

본 논문에서 제안하는 시스템은 PDA를 기반으로 한다. PDA가 마이크, 스피커, 802.11 무선 랜을 기본적인 하드웨어 구성으로 한다고 가정한다. 또한, 근거리 측정을 위한 기본적인 시스템은 BeepBeep시스템을 이용하고 두 PDA 사이의 거리를 측정을 한다. 네트워크는 모바일 애드혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Network)를 이용하고 가시거리(Line of Sight) 통신을 한다고 가정한다.

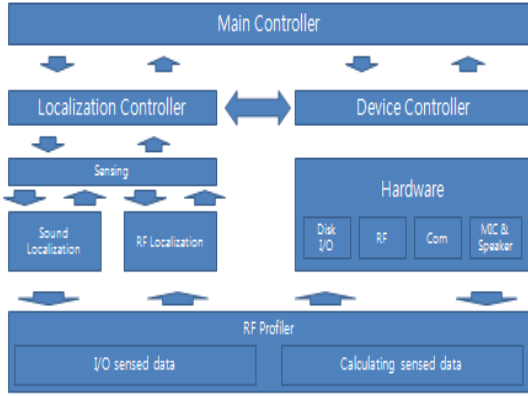
3.1. 기존 BeepBeep 시스템 문제점

기본적인 시스템인 BeepBeep 시스템 사운드를 이용하여 표 1에서와 같이 상당히 정확한 거리 측정을 한다. 하지만, 주변 소음에 따라 정확도가 영향을 받는다[7][8]. PDA와 같은 모바일 디바이스의 대부분이 사운드 출력에 제한 측정 가능한 거리 범위에 제한을 준다[8]. 현재, 우리가 가지고 있는 PDA를 이용하여 측정된 결과 최고 18m 까지 가능하였다. 하지만, 18m는 주변의 소음에 대한 영향이 적을 때 측정 결과이다.

거리 측정을 위해서는 두 PDA는 연속적으로 특정 사운드를 출력하고 이를 각각 녹음한다. 녹음된 데이터는 버퍼에 저장된 다음, 녹음된 데이터를 분석하여 두 PDA 사이의 거리를 측정하게 된다. 하지만, 지속적인 거리 측정을 위해서는 사운드를 지속적으로 출력하고 녹음해야한다. 계속적인 녹음은 버퍼의 크기를 계속적으로 늘릴 것이며 이것은 메모리 문제를 발생 시킬 것이다. 또한, 녹음된 데이터를 분석하기 상호 연관기법(Cross-correlation)[8]을 이용한다. 하지만, 이 기법은 시간복잡도(Time complexity)가 상당히 크기 때문에 버퍼의 크기가 커질 수록 연산시간은 커질 것이다.

3.2. 802.11 이용 방법

본 논문에서는 802.11 무선 랜을 이용한다. 802.11 무선 랜 카드의 경우 스스로 RSSI값을 주기적으로 감지하게 된다. 현재 많은 운영체제에서는 이러한 RSSI값을 읽어오기 위해서 API를 지원하고 있다. 운영체제에서 지원하는 API를 이용하여 RSSI값에 따른 거리를 사전에 측정한다. 측정된 샘플은 수학적 방법을 이용하여 거리 변화에 따



(그림 3) 제안하는 모니터링 시스템 구조

른 프로파일로 이용하게 된다.

우리는 RSSI값은 베이저안 이론(Bayesian Theorem)[5]을 이용하여 RSSI값에 따른 변화를 모델링하고 프로파일을 작성한다. 이렇게 작성된 프로파일은 제안하는 시스템에서 거리 변화 감지를 위한 참고자료로 이용하게 된다.

RTT값의 계산은 TCP 패킷, UDP 패킷, 그리고 루프백 인터페이스(Loopback interface)를 이용하여 RTT 값을 측정한다. 정확한 시간 값을 계산하기 위해서 PDA 상에 존재하는 시스템 타이머를 이용한다. 이 시스템 타이머를 위한 API 또한 운영체제에서 지원하게 된다. 현재 우리가 보유하고 있는 PDA의 경우 496 KHz의 시스템 클럭(System clock)을 지원하며 이를 이용하여 계산한다.



(그림 4) RTT 계산

거리 측정 프로세스가 시작이 되면 TCP 통신을 이용하여 두 PDA는 패킷을 보내고 받는 시간을 계산한다. 이때 시스템 내부 프로세싱 타임은 운영체제에서 지원하는 루프백 인터페이스를 자신에게로 패킷을 보내어 측정한다. TCP 통신의 경우 보낸 패킷에 대해서 ACK 응답을 하게 된다. 따라서 ACK응답에 따른 시간 지연을 고려해야한다. UDP 통신의 경우에 보낸 패킷에 대한 ACK 응답을 하지 않기 때문에 UDP의 RTT를 계산하고 TCP에 대한 RTT

값에서 UDP의 RTT 값을 빼주게 되면 ACK응답에 따른 시간 지연을 예측할 수 있다[그림 4]. 다음과 같이 수식으로 표현 될 수 있다.

$$d_{A,B} = c * Rtt_{A,B} = 0.5 * c * ((T_{A,B} - L_A) - (T_{B,A} - L_B) - (U_{A,B} - L) + (U_{B,A} - L)) \quad (1)$$

수식 1 에서 $d_{A,B}$ 는 A,B 사이의 거리, $Rtt_{A,B}$ 는 두 PDA 사이에서의 RTT값, c 는 빛의 속도, $T_{A,B}$ 는 두 PDA 사이의 전송 시간, $L_{A,B}$ 은 루프백을 통한 내부 프로세싱 타임이다.

3.3 제안하는 모니터링 시스템

본 논문에서는 802.11 무선 랜을 이용하여 PDA와 같은 모바일 디바이스 상에 거리 변화를 지속적으로 모니터링하기 위한 시스템을 제안한다.

1) 사운드 이용한 거리 측정(Sound localization) : 근거리 측정을 위해서 시스템은 BeepBeep시스템을 이용한다. 현재 BeepBeep 시스템은 16 비트, 44.1khz 샘플링을 이용한다. 또한, 사운드 감출을 위해서 피르첼 필터(Goertzel filter)[9]를 이용하여 사운드에 대한 소음을 필터링 하고 가중치를 이용한 상호 연관 기법(Weighted cross correlation)[3]을 이용하여 녹음된 사운드를 분석한다. 근거리 통신을 및 오차 보정을 위해서 이용한다. RSSI값과 RTT값에 따른 거리 계산이 어떤 임계점(Threshold)이 되면 사운드를 이용한 거리 측정을 하고 이 거리 측정된 값과 RSSI값과 RTT값을 프로파일로 만든다.

2) 변화 감지(Sensing) : RSSI값을 이용하여 신호 감도의 변화에 따라 거리 측정 프로세스를 실행 시킨다.

3) 무선 주파수를 이용한 거리 측정(Radio Frequency Localization) : 변화 감지(Sensing)을 통해서 거리 변화가 감지되면 RTT값을 측정하여 거리를 계산한다. 오차 보정을 위해서 프로파일에 저장된 값을 이용한다.

4)프로파일 관리(Profile management) : 프로파일이 많아지면 보다 정확한 거리 측정 가능하게 된다. 프로파일은 PDA와 같은 모바일 디바이스의 하드 디스크에 저장된다. 또한 수학적 분석을 수행하여 오차 보정 및 근거리 통신에 대한 임계점을 계산한다.

근거리 측정을 위해서 사운드를 녹음 할 경우 다른 프로세스에 의해서 녹음 프로세스가 영향을 받을 수 있다. 이는 정확도에 영향을 줄 수 있기 때문에 각 프로세스가 서로에게 영향을 주지 않게 적절한 제어가 필요하다[8]. 이

것은 메인 컨트롤러(Main controller)에 의해서 적절히 관리 된다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문은 PDA상에서 이용 가능한 지속적인 상대 거리 측정 시스템에 대한 제안을 하였다. 제안된 시스템은 현재 연구 중에 있으며 Windows mobile 5.0, .Net compact framework 2.0에서 C#으로 개발 및 연구가 진행 중에 있다. 이러한 시스템이 개발될 경우 많은 모바일 디바이스에 적용가능 할 것이며 위치 정보가 필요한 많은 응용 프로그램의 개발 및 관련 서비스의 확대를 통해서 사용자는 더 많은 서비스를 제공받을 수 있을 것이며 기업은 더 많은 서비스를 제공 가능할 것이라고 생각이 된다. 또한 이러한 시스템을 개발 후 이러한 시스템을 이용하는 모바일 서비스에 대한 연구도 진행할 것이다. 향후 이러한 시스템을 이용할 수 있는 서비스에 대해서도 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 802.11 Standard, <http://ieee802.org/11/>.
- [2] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin. GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices. *IEEE Personal Communications*, 7(5):28-34, 2000.
- [3] J. Chen, J. Benesty, and Y. Huang. Performance of GCC-and AMDF-based time-delay. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2005(1):25-36, 2005.
- [4] M. Ciurana, F. Barcelo-Arroyo, and F. Izquierdo. A Ranging Method with IEEE 802.11 Data Frames for Indoor Localization. In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pages 2092-2096, 2007.
- [5] U. Grossmann, M. Schauch, and S. Hakobyan. RSSI based WLAN Indoor Positioning with Personal Digital Assistants. In *Proceedings of IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. pages 653-656, 2007.
- [6] H. Lim, L. Kung, J. C. Hou, and H. Luo. Zero-configuration, robust indoor localization: theory and experimentation. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, pages 1-12, 2006.
- [7] G. Mao, B. Fidan, and B. Anderson. Wireless sensor network localization techniques. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 51(10):2529-2553, 2007.
- [8] C. Peng, G. Shen, Y. Zhang, and K. Tan. BeepBeep: A High Accuracy Acoustic Ranging System using

- COTS Mobile Devices. In *Proceedings of the ACM International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pages 1-14, 2007.
- [9] J. G. Proakis, and D. G. Manolakis, *Introduction to Digital Signal Processing*, Macmillan Publishing Company, 1998.
- [10] A. Savvides, C. Han, and M.B. Strivastava. Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors. In *Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 166-179, 2001.
- [11] G. Shen, Y. Li, and Y. Zhang. Mobius: enable together-viewing video experience across two mobile devices. In *Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pages 30-42, 2007.