무선 센서 네트워크에서 비동기적인 위치 측정

장상욱° 하 란
홍익대학교 컴퓨터 공학과
{swjang°, rhanha}@cs.hongik.ac.kr

An Asynchronous Locationing Scheme in Wireless Sensor Networks

Sangwook Jang°, Rhan Ha
Department of Computer Science, Hongik university

요 약

무선 센서 네트워크에서는 고정된 인프라에 의존하기 어려운 환경을 가지고 있다. 하지만, 위치기반 기술을 접목하여 센서의 절대적 또는 상대적인 위치정보를 이용하면 다양한 응용서비스를 효과적으로 적용할 수 있다. 이러한 센서 노드의 위치를 측정하는 방법 중에 시간을 기반으로 위치를 측정하는 방법이 가장 정확도가 높게 평가되었다[1]. 그러나 이러한 TOA방법은 노드의 Clock Rate에 의존적이기 때문에 위치오차가 발생하게 된다. 따라서 Node의 Clock Drift를 줄이기 위해서 주기적인 시간동기화가 필요했다[3,4]. 하지만 본 논문에서는 이러한 거리오차를 제거하기 위한 방법으로 시간 비동기화 방법(ALS)을 소개하고, ALS를 기반으로 시뮬레이션과 실질적인 센서를 가지고 노드 사이의 거리와 위치를 측정하였다. 실험 결과, 기존의 TOA방법과 비교하여 거리 및 위치 정확도, Packet 트래픽에 대해서 성능 향상을 확인한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크의 가장 큰 특징은 고정된 인프라의 도움없이 센서 노드만으로 이루어진 네트워크로서, 네트워크의 독립성과 융통성을 높일 수 있다. 이러한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 논리적 또는 절대적인 위치 정보를 이용하면, 효율적인 라우팅이나 Tracking, 감지범위, 보안등 여러 가지 기술에 활용할 수 있다. 이러한 센서 노드의 위치를 파악하는 고도의 위치인식 기술은 센서 네트워크의 핵심기술로 자리매김하고 있는데, 가장 정확도가 높은 기술로서 신호의 도착시간차를 이용한 TOA(Time of Arrival)를 들 수 있다[1]. 실제 Berkeley Motes에서 Mica 센서는 이론적으로 위와 같은 방식으로 거리를 측정하였을 경우, 거리오차가 3m 당 약 2cm가 발생하였다. 또한, 시간동기화를 하였을 경우에는 더 작은 거리오차를 발생하게 되는데, 이렇게 시간 동기화를 통해서 거리의 오차를 줄일 수 있는 방법 중에 하나로 Clock drift를 줄이는 방법이 있다[2,3,4]. 실질적인 시험을 통해서 연구된 논문들 중에 센서 노드들 사이의 Logical time이 최대 40μs의 Clock Drift가 발생할 수 있다고 보고되었다[3].

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문은 Clock Drift와 센서 노드간의 거리에 무관한 왕복시간차 거리측정 및 위치측정 방법을 제시한다.

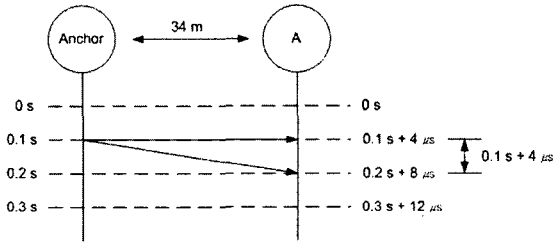
2절에서는 ALS 거리 측정에 대한 방법을 알아보고 Simulation을 통하여 실험결과를 확인한다. 3절에서는 ALS 거리 측정을 기반으로 노드의 위치를 측정한다. 4절에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해서 기술한다.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10073-0) 지원으로 수행되었습니다.

2. ALS 거리 측정 방법

2.1 기존 TOA 거리 측정 방법 및 문제점

가정 1) Anchor 노드 : 절대적인 시간과 동일하게 동작.
2) 초음파의 전파 속도 : 340m/s
3) 노드 A의 Clock drift : Anchor 노드의 시간보다 초당 40us 빠르게 동작함.



<그림 1> 기존 TOA방법의 이론적인 거리측정 오차

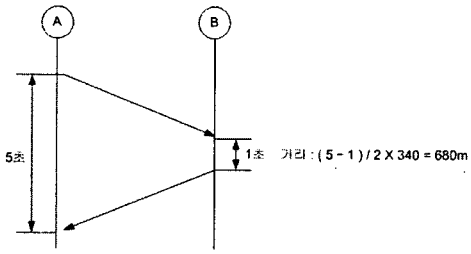
$$Distance = (0.1 + \frac{4}{1000000}) \times 340m = 34.00136m$$

<그림 1>과 같이 노드 A가 Clock Drift가 존재할 경우에 이론적으로 거리측정에 오차(0.00136m)를 발생하게 된다. 이러한 거리오차는 거리와 Clock Drift가 증가함에 따라서 더 크게 발생하게 된다.

2.2 ALS 기본적인 거리 측정 방법

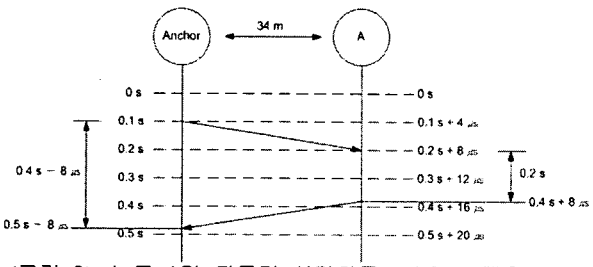
<그림 2>와 같이 초음파의 왕복시간을 측정하고 초음파의 속도(340m/s)를 곱하여 서로의 거리를 측정한다. 만약, 서로의 Clock Drift가 같으면, 정확한 거리가 측정된다. 하지만, 여기에서도 노드 A 또는 노드 B에서 Clock Drift가 발생하면 거리가 잘못 계산된다.

기존의 TOA방법은 거리 오차가 실질적인 노드의 거리와 두 노드의 Clock Drift에 따라서 영향을 받게 되지만, ALS방법은 두 노드 사이의 왕복시간을 계산하기 때문에 앞의 두가지 요소(실질적인 거리, Clock Drift)에 영향을 받지 않게 된다.



< 그림 2 > 초음파의 왕복 거리 계산

2.3 Anchor 노드와 1-hop 내에 있는 노드 A사이의 거리 측정



<그림 3> 노드 A가 되돌린 시간차를 0.2초로 했을 경우

Phase 1 : <그림 3>에서와 같이 Anchor 노드는 노드 A와의 거리를 측정하기 위해서 Message를 보내고, 되돌아오는 시간차를 측정한다. 이 때 노드 A는 되돌려 보내는 Message에 자신이 Packet을 handling한 시간을 같이 담아 보낸다. <그림 3>에서는 노드 A는 Message를 0.2초 후에 보냈다고 했지만, 노드 A는 절대적인 시간에 40us만큼 빠르게 동작하기 때문에, 실질적으로 0.2s - 8us가 소요된 것이다. 따라서 Anchor 노드는 Message의 총 소요 시간은 0.4s - 8us가 된다.

※ 거리 (m) :

$$(0.5-(\frac{8}{1000000})-0.1-0.2)\times\frac{1}{2}\times340=33.99864m$$

※ 거리 오차 (m) : |34 - 33.99864 | = 0.00136m

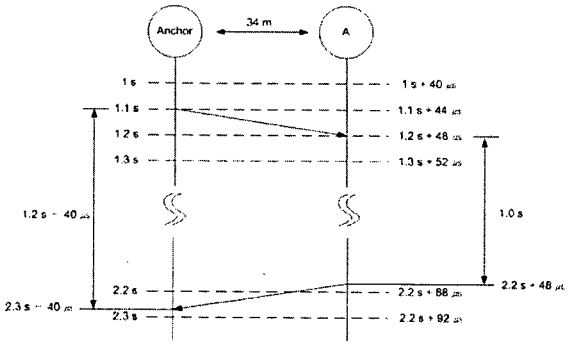
따라서 실질적인 거리는 34m이지만, ALS에 의해서 계산된 거리는 33.99864m로서 거리오차는 0.00136m이다. 따라서 Phase 2에서 <그림 4>와 같이 수행한다.

※ 거리 (m) :

$$(2.3-\frac{40}{1000000}-1.1-1.0)\times\frac{1}{2}\times340=33.9932m$$

※ 거리 오차 (m) : | 34 - 33.9932 | = 0.0068m

Anchor 노드는 Phase 1결과와 Phase 2결과를 비교하여 노드 A와 Clock Drift 비율을 계산하게 된다.



<그림 4> 되돌리는 시간차를 1초로 했을 경우

Anchor 노드 Clock	0.8 - 32u
노드 A의 Clock	0.8 = 1 - 40u : 1

따라서 노드 A의 Clock은 Anchor노드보다 40us 빠르기 때문에, 노드 A의 되돌리는 시간차에 비율을 곱함으로서, 절대적인 시간의 소요 시간을 측정할 수 있게 된다. 따라서 다음과 같이 수정하여 정확한 거리를 측정한다.

※ 거리 수정 :

$$(0.5-\frac{8}{1000000}-0.1-0.2\times(1-\frac{40}{1000000}))\times170=34m$$

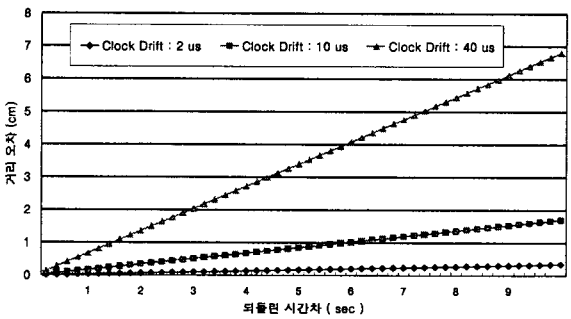
또는

$$(2.3-\frac{40}{1000000}-1.1-1.0\times(1-\frac{40}{1000000}))\times170=34m$$

2.4 되돌리는 시간차에 대한 거리 오차

ALS의 방법은 신호의 왕복시간에 따라서 거리를 측정하기 때문에 노드간의 거리와는 무관하게 동작하게 된다. 단지, 두 노드간의 거리오차는 Clock Drift와 되돌리는 시간차에 의해서만 결정되게 된다.

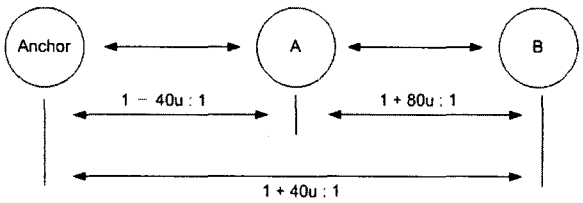
다음 <그림 5>는 서로 다른 Clock Drift에 대한 되돌리는 시간차와의 관계를 보여주고 있다.



<그림 5> 되돌리는 시간차에 따른 이론적인 거리오차

2.5 Multi-hop 거리 측정

<그림 6>와 같이 노드 B는 절대 시간을 알고 있는 Anchor 노드와 직접적으로 통신을 하지 못하는 경우라고 가정해 보자. 하지만 노드 A는 양쪽 모두 통신이 가능하다고 가정하면, 노드 B는 노드 A를 통해서 자신의 Clock Drift를 조정할 수 있다.



< 그림 6 > Multi-hop Clock Drift 조정

<그림 6>에서 노드 B의 Clock은 절대시간보다 40us 느리게 동작하고, 노드 A의 Clock 보다 40us 빠르게 동작한다고 가정해 보자. 우선 노드 B는 노드 A와의 Clock을 비교하여 노드 A보다 80us 느리게 동작한다는 것을 알 수 있다. 이 때, 노드 A는 Anchor 노드와의 통신이 가능하다고 하면, 자신이 절대 시간보다 40us 빠르게 동작하는것을 알 수 있기 때문에, 노드 B에게 절대시간보다 40us 느리게 동작한다는 전달할 수 있게 된다.

Multi-hop Clock Drift : 절대적인 시간을 알고 있는 노드와 직접적인 통신을 할 수 없다고 할 경우에, 주변의 다른 노드들과의 통신을 통해서 절대적인 시간과 Clock Drift를 조정할 수 있게 된다. 이렇게 Hop-by-Hop통신을 통해서 네트워크안에 있는 모든 노드들은 자신의 Clock Drift를 조정할 수 있게 된다[5].

2.6) 거리 측정 증명

가정) 노드 A의 clock과 절대 시간과의 clock 비율을 m이라 하고, 노드 B의 clock과 절대 시간과의 clock 비율을 n이라고 했을 경우, 두 노드 사이의 거리는 다음과 같다.

$$d_{AB}=(t_A-R_B\times\frac{m}{n})\times\frac{1}{2}\times s$$

단, d_{AB}: 노드A가 추정하는 노드B까지의 거리
t_A:노드A에서 신호의 총 왕복시간
R_B: 노드B에서 신호를 되돌리는 시간차
s: 전파의속도

증명) 총 왕복 거리는 편도 거리의 2배임으로 $\frac{1}{2}$를 곱하여 거리를 계산한다. 또한, 노드 A의 Clock과 노드 B의 Clock 비율이 m : n임으로, 노드 A의 입장에서 노드 B의 clock은 $\frac{m}{n}$배 만큼 차이가 발생한다.

$$(\text{노드}A\,Clock=\text{노드}B\,Clock\times\frac{m}{n})$$

따라서 전파신호의 순수한 이동시간은 노드 A의 입장에서 볼 때, $t_A-R_B\times\frac{m}{n}$임으로 위의 공식은 성립한다.

3. ALS 위치 측정 방법

센서노드의 위치를 측정하는 방법으로 삼변측량을 사용한다. 즉, 자신과 다른 노드들과의 상대적 또는 절대적인 위치를 측정하기 위해서, 적어도 3개의 node들과의 거리를 측정하여 결정하게 된다.

3.1) 위치 보정

위치 보정은 최소제곱법(Least Square Method)을 사용한다. 즉, 반복적인 거리측정을 하고, 이러한 거리측정을 토대로 위치 오차가 최소인 위치를 계산하는 것이다.[6]

4. 결론 및 향후 연구 과제

본 ALS방법을 사용함으로서 센서 노드간의 거리와 위치를 좀 더 정확하게 측정함에 있어서 시간동기화에 따른 Overhead가 없다. 또한 센서 노드의 Clock Drift현상이 발생하거나 노드간의 거리가 증가하더라고 거리오차에는 영향을 주지 않는다. 또한 Multi-hop을 통하여 전체 네트워크안에 있는 센서노드들은 Anchor노드와의 Clock Drift를 계산할 수 있다. 향후 연구 과제는 불규칙적인 Clock Drift에 대한 거리오차의 보정과 micro단위의 연산을 통하여 Computation Error보정에 대한 연구가 필요하다.

5. 참고 문헌

[1] Andreas Savvides, Chin-Chieh Han and Mani B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", ACM SIGMOBILE 7/01 Rome, Italy 2001.

[2] Miklos Maroti, Branislav Kusy, Gyula Simon, Akos Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol", SenSys '04, November 3-5, Baltimore, Maryland, USA, 2004 ACM.

[3] Jeremy Elson, Lewis Girod and Deborah Estrin, "Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts", OSDI 2002, Boston MA. December 2002.

[4] Geoffrey Werner-Allen, Geetika Tewari, "Firefly-Inspired Sensor Network Synchronicity with Realistic Radio Effects", In Proc. ACM SenSys '05, Nov 2005

[5] Dragos Niculescu and Badri Nath, "Ad Hoc Positioning Systems (APS)", Proc, of the IEEE International Conf. on INFOCOM, 2001.

[6] David Moore , John Leonard, Daniela Rus, Seth Teller, "Robust Distributed Network Localization with Noisy Range Measurements", SenSys '04, November 3-5, Baltimore, Matyland, USA, 2004.