

EETS : Energy-Efficient Time Synchronization for Wireless Sensor Networks

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 시간 동기 알고리즘

Kim Soo-Joong, Hong Sung-Hwa, Eom Doo-Seop
김수중, 홍성화, 엄두섭

고려대학교
전자컴퓨터공학과

Abstract

Recent advances in wireless networks and low-cost, low-power design have led to active research in large-scale networks of small, wireless, low power sensors and actuators. In large-scale networks, lots of timing-synchronization protocols already exist (such as NTP, GPS). In ad-hoc networks, especially wireless sensor networks, it is hard to synchronize all nodes in networks because it has no infrastructure. In addition, sensor nodes have low-power CPU (it cannot perform the complex computation), low batteries, and even they have to have active and inactive section by periods. Therefore, new approach to time synchronization is needed for wireless sensor networks.

In this paper, I propose Energy-Efficient Time Synchronization (EETS) protocol providing network-wide time synchronization in wireless sensor networks. The algorithm is organized two phase. In first phase, I make a hierarchical tree with sensor nodes by broadcasting "Level Discovery" packet. In second phase, I synchronize them by exchanging time stamp packets. And I also consider send time, access time and propagation time.

I have shown the performance of EETS comparing Timing-sync Protocol for Sensor Networks (TPSN) and Reference Broadcast Synchronization (RBS) about energy efficiency and time synchronization accuracy using NESLsim.

1. 서론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks, WSN)에 대한 활발한 연구와 함께 센서 기술, MEMS(Mirco-Electro-Mechanical System) 기술, 저전력 전자 공학 기술, 저전력 RF 설계 기술 등의 발달로 센서 노드가 등장하면서 현대 사회는 유비쿼터스 시대를 맞이하고 있다. 센서 노드들은 센싱, 데이터 처리, 통신 구성요소들로 이루어지며 게이트웨이 역할을 하는 기준국과 함께 ad-hoc

네트워크의 일종인 센서 네트워크를 형성한다. 기본적으로 센서 노드는 감지된 정보를 기준국으로 전달하고, 기준국은 인터넷과 같은 기존의 네트워크를 통하여 사용자에게 해당 정보를 제공한다. 여기서, 사용자는 사람이 될 수도 있고 센서 네트워크 응용 소프트웨어가 탑재된 장치가 될 수도 있다. 그 과정에서 센서 노드들은 기존 인프라의 이용 없이 스스로 ad-hoc 네트워크를 구성하여 기준국에 데이터를 전송한다. 센서 노드들의 역할은 단순히 감지한 데이터를 전 처리하여 기준국으로 전달하는 것으로 국한되지 않고 주변의 다른 센서 노드들과의 협력을 통하여 추상화된 고급 문맥 정보를 생성할 수도 있다. 이러한 센서 네트워크는 헬스, 군사, 홈

본 연구는 민간검용기술사업 (Dual Use Technology Program)으로 지원받았음.

네트워크, 환경 감시, 공장 관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수 있다[1].

센서 네트워크에 필요한 기술로는 센서

네트워크의 특성에 맞는 초소형 OS 기술 및 시각 동기화 및 위치 인식을 포함하는 미들웨어 기술, 보안 기술, 에너지 관리 기술 등이 있다. 이 중에서 시각 동기화 기술은 네트워크로 이루어진 시스템 구조에서는 필수적 요구사항이며 신뢰성 있는 정보의 전달에 있어서 이벤트의 중복 감지 및 발생 순서 구분 등의 센서 네트워크 미들웨어 기술에서 중요한 역할을 담당하고 있다.

시각 동기화를 위한 기존의 방법으로 Global Positioning System (GPS) [2]와 Network Time

Protocol (NTP) [3]를 등을 들 수 있는데, 이는 컴퓨터의 계산 능력과 많은 양의 데이터 교환에 적합한, 즉 인터넷이나 Local Area Networks (LANs)을 기준으로 만들어진 것들이 대부분이다. 하지만 무선 센서 네트워크의 제한된 에너지, 리소스, 데이터 처리 능력을 감안하고 많은 노드들이 밀집하는 구조, 데이터의 발생이 특정 시간에 폭발적인 분포를 가지는 특성이 있으므로 기존의 시스템에서 사용되고 있는 시각 동기화 알고리즘을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 예를 들어 GPS의 경우 정확한 시각 동기화를 할 수 있는데 반하여 에너지 소모가 심하기 때문에 에너지 효율이 중요한 무선 센서 네트워크 상에서는 적합한 모델이 될 수 없다. 또한 NTP의 경우도 상당한 시스템 자원을 필요로 하기 때문에 역시 적합하지 않다.

본 논문에서는 기본적으로 Sender to Receiver 동기화 방법을 선택하였고, 신뢰성 있는 데이터의 전달을 위해 루트노드로부터 계층적인 구조를 가지는 트리를 구성하고, 이후에 동기화를 수행하는 과정을 거치게 된다. 기존의 알고리즘들이 대부분 상위 레벨의 노드와 시각 정보를 교환하는 과정을 거치기 때문에 노드의 개수가 늘어날수록 메시지 발생량의 증가추세가 커지게 되는데 본 논문에서는 이러한 시각 정보를 교환할 때 발생하는 메시지의 수를 줄임으로써 결과적으로 에너지 효율을 높이는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 무선

센서 네트워크 및 시각 동기화 기술의 개요를 살펴보고, 3 장에서는 기존의 시각 동기화 알고리즘 연구에 대해 알아보고, 4 장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대해 설명한다. 5 장에서는 시뮬레이션을 통한 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하며, 끝으로 6 장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존의 시각 동기화 방법들은 컴퓨터 네트워크 기반에는 효과적이었으나 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 무리가 있었다. 이에 따라 여러 응용에 적용할 수 있는 새로운 동기화 알고리즘들이 개발되고 있다.

2.1 RBS (Reference Broadcast Synchronization)

기존의 시간 동기 방식들은 대부분 원격 시간 서버와 클라이언트를 동기화 하는 방식으로 시각 동기화를 위한 패킷 송수신시에 send time, access time, propagation delay, receive time 이 소요되고 이 중에서 send time, access time 를 예측하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

따라서 기존의 송신기-수신기간의 시간 동기 방식을 따르지 않고 수신기-수신기 사이의 방식을 사용하여 레퍼런스 송신기가 physical layer broadcast 를 이용하여 주기적으로 이웃 노드들에게 레퍼런스 비컨을 보내고, 이를 수신한 노드들은 자신의 시각 소인값을 저장한다. (이 때 계산되는 시각 소인값은 비컨 메시지를 받은 시간을 참조로 하여 지역적인 시간으로 계산된다). 그리고 각각의 시각 소인값을 교환하여 전송간의 오프셋을 계산하여 동기화를 하게 된다.

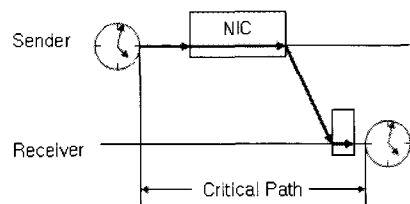


그림 1. 전통적인 방식의 시각 동기화 프로토콜에서의 Critical Path

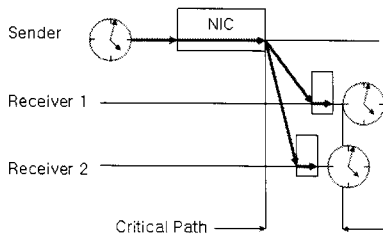


그림 2. RBS 프로토콜의 Critical Path

위의 그림 1 에서 볼 수 있듯이 기존의 시각 동기화 프로토콜들의 Critical Path 는 송신기가 전송을 시작하여 수신기가 수신하기까지 걸리는 과정이라고 볼 수 있는데 비해 그림 2 에서 보면 RBS[4]의 경우는 Critical Path 가 NIC(Network Interface Card)로부터 수신기가 수신하기까지 걸리는 과정이다. NIC 에서 네트워크로 패킷을 전송하는 시점에서 시각 소인을 사용함으로써 send time 과 access time 에 의한 오차를 줄일 수 있다. 또한 무선 통신 물리 계층의 방송 특성을 이용함으로써 네트워크 자원의 효율성을 높일 수 있다. 하지만 레퍼런스 비전을 수신하는 모든 노드에 대해 시각 차 값을 계산하고 유지하기 때문에 노드의 시각 정보 교환에 많은 에너지가 발생하게 되어 에너지 효율성의 면에서 개선이 필요하다. 또한, 물리적 방송 채널이 요구되고 point-to-point link 에서 사용이 부적합하다는 문제점이 있다.

2.2 TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Networks)

NTP와 같은 기존의 시간 동기 프로토콜들은 제한된 에너지 자원과 많은 수의 노드를 가지는 센서 네트워크의 특성에 적합하지 않다는 전제 하에 설계된 TPSN[5]은 루트 노드(root node)로부터 시작하여 레벨을 가지는 계층적 구조를 형성하고, 각 노드는 상위 레벨의 노드와 time stamp 메시지를 교환함으로써 offset 과 전달 지연을 계산, 자신의 클럭을 보정하는 형태이다. 레벨 탐색 단계(level discovery phase)와 동기화 단계(synchronization phase)로 나누어 동작하며 시각 오류 요소를 줄이기 위해 MAC 계층에서 시각 소인을 생성한다.

레벨 탐색 단계에는 가장 먼저 루트(root) 또는

싱크(sink) 노드가 자신을 레벨 0 로 놓고 레벨 탐색 패킷을 방송하면서 시작된다. (이 단계에서 i 레벨에 있는 하나의 노드는 반드시 i-1 레벨에 속해 있어야 한다.) 이를 수신한 노드들이 응답을 보냄으로써 트리 구조의 레벨 1 을 형성하게 된다. 마찬가지로 방법으로 순차적으로 노드들이 레벨 1, 레벨 2 등을 형성함으로써 트리가 형성된다.

레벨 탐색 단계를 거친 후 트리가 형성되면 본격적인 동기화 단계가 시작된다. 계층적인 관계를 형성하고 있기 때문에 동기화 역시 루트 노드에서 레벨 1, 레벨 2, 레벨 3 등으로 단계적으로 이루어진다. 이 때, 동기화는 상위 노드와의 시각 소인 메시지의 교환에 의해 이루어지며 시각 차의 계산은 각각의 노드 내에서 이루어지게 된다.

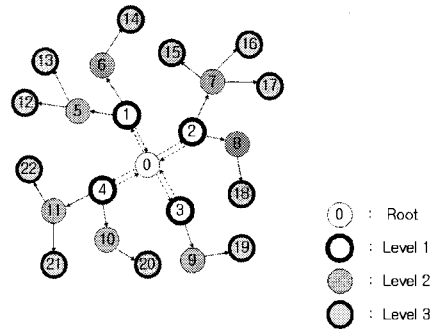


그림 3. TPSN 의 시각 동기화

그림 3 에서 1, 2, 3, 4 번 노드들은 자신들의 부모 노드인 0 번 노드와 시각 소인 메시지를 교환하게 된다. 각각의 노드마다 2 번씩의 메시지 교환이 이루어지기 때문에 레벨 1 을 동기화시키기 위해서는 총 8 번의 메시지 교환이 이루어져야 한다는 것을 알 수 있다.

TPSN 은 트리 구조를 형성한 후에 동기화를 수행하기 때문에 비교적 안정적인 성능을 얻을 수 있지만, 레벨 탐색 단계와 동기화 단계로 나뉘어지기 때문에 dynamic topology 에서는 준비시간이 오래 걸린다는 점과 메시지 수의 관점에서 살펴보면 계층 구조 형성과 동기화를 위한 시각 소인 메시지 교환이 이루어져야 하므로 낮은 에너지 효율성을 가지게 되는 문제점이 있다. 또한 위에서 밝히고 있는 것처럼, 노드의 수가 늘어나고 트리의 깊이가 증가할수록 시각 동기화를 이루기 위해 필요한

메시지의 양이 그에 비례하여 증가한다는 문제점이 있다.

3. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Networks)을 개선한, 무선 센서 네트워크를 위한 보다 에너지 효율적인 시각 동기화 알고리즘을 제안한다. 즉, 노드를 동기화시키는데 필요한 메시지의 수를 줄임으로써 에너지 효율을 높일 수 있다.

3.1 EETS (Energy-Efficient Time Synchronization)

EETS 는 TPSN 과 마찬가지로 2 가지 단계로 동작한다. 첫 번째로 무선 센서 네트워크에서 계층적인 트리구조를 형성하는 단계인 레벨 탐색 단계(Level Discovery Phase)와 실제 동기화 단계(Synchronization Phase)로 나뉘어진다. 이는 신뢰성 있는 데이터의 전송을 목표로 할 경우에 먼저 트리구조를 구성한 후 동기화시키는 것이 효율적이라고 판단하였기 때문이다.

3.1.1 레벨 탐색 단계

레벨 탐색 단계는 루트 노드가 계층적인 트리 구조를 구성하기 위해 레벨 탐색 패킷을 방송하는 과정으로부터 시작한다. 아래 그림 4 로부터 첫 번째 레벨을 탐색하는 과정을 확인할 수 있다.

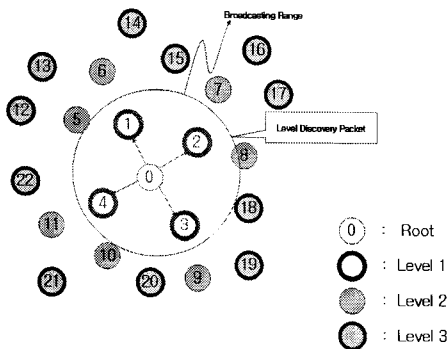


그림 4. 첫 번째 레벨 탐색과정

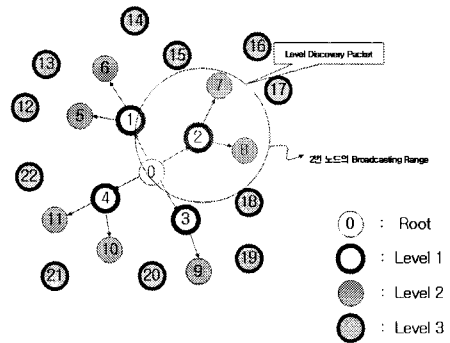


그림 5. 두 번째 레벨 탐색과정

루트 노드의 레벨 탐색 패킷을 받은 각 노드들은 먼저 자신의 레벨을 정하게 되는데 이는 부모 노드의 레벨 0 에 1 을 더한 값이 된다. 이렇게 자신의 레벨을 정한 후에 루트 노드에게 응답을 보내게 되면 응답을 받게 된 루트 노드는 응답을 받을 때마다 자신의 자식 수를 1 만큼 증가시키게 된다. 이로써 빨간 색으로 표시된 레벨 1 위치에 있는 1, 2, 3, 4 번 노드들이 네트워크에 합류하게 된다.

편의상 2 번 노드의 방송 범위만을 표시하여 나타내었는데, 2 번 노드가 레벨 1 에 합류한 다음 일정 시간 기다린 후 2 번 노드는 다시 레벨 탐색 패킷을 방송하게 된다. 그림 4.2 에서 볼 수 있는 것처럼 7, 8 번 노드는 2 번 노드의 방송 범위 내에 있으므로 2 번 노드의 레벨에 1 을 더한 2 의 값을 자신의 레벨로 세팅하고 네트워크에 참여하게 되며, ACK 메시지를 부모 노드인 2 번 노드에게 보내게 된다. 이를 받은 2 번 노드는 자신의 자식 수의 정보를 2 로 갱신하게 된다. 마찬가지로 레벨 1 의 위치에 있는 1, 3, 4, 5 번 노드들도 각각 레벨 2 의 위치에 있는 5, 6, 9, 10, 11 번 노드들의 부모 노드가 된다.

같은 방법으로 모든 노드들이 레벨을 가지는 트리 구조를 형성하고 되는데, 이와 같은 과정에서 방송 범위가 중복되는 위치에 있는 노드들은 레벨 탐색 패킷을 중복되어 받게 되는 문제가 생기게 되는데, 이러한 문제는 각 노드가 중복된 메시지를 받았을 때, 먼저 받은 메시지의 레벨보다 나중에 온 메시지의 레벨이 더 하위에서 왔을 경우, 이를 폐기함으로써 해결할 수 있다. 이는 좀 더 낮은 깊이의 트리 구조를 형성할 수 있다는 점에서도 의미가 있다.

3.1.2 동기화 단계

EETS 는 기본적으로 일반적인 two-way 메시지 교환을 통한 동기화가 이루어진다. 시각 소인 메시지 교환은 부모 노드와 자식 노드 사이에서 그림 6 의 원리에 따라 이루어지며, 둘 사이에 교환한 T1 ~ T4 의 시각 정보를 통해 계산한 시각 차(offset) 과 전송 지연(propagation delay)을 통해 각 노드의 시각 동기화가 이루어진다.

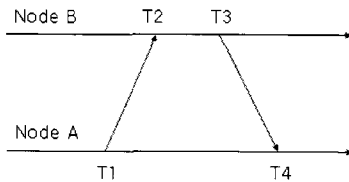


그림 6. two-way time stamp 메시지 교환

EETS 의 시각 동기화는 루트노드의 시각 동기화 요청 메시지에 의해 시작되며 그 과정은 그림 7 에서 확인할 수 있다. 루트노드는 시각 동기화 요청을 한 후 일정 시간 기다렸다가 time stamp T1 을 포함한 동기화 메시지를 방송한다. 이 때, 모든 시각 소인은 MAC 구간에서 이루어짐으로써 send time, access time 에 의한 오류를 최소화하였다.

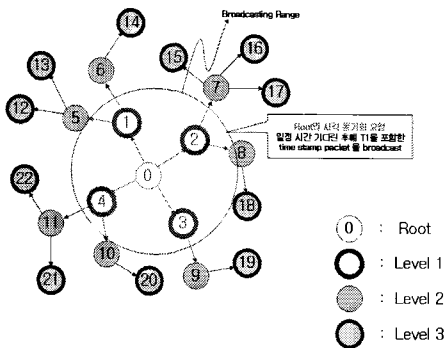


그림 7. 루트노드의 시각 동기화 요청

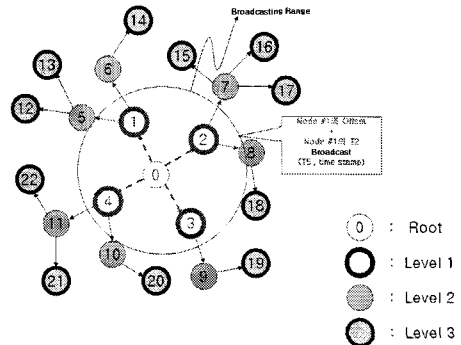


그림 8. 루트노드-레벨 1 노드들간의 시각 동기화

그림 8 에서 볼 수 있듯이 T1 을 포함한 시각 소인 메시지를 루트 노드로부터 받은 레벨 1 의 노드들 중에서 가장 먼저 응답(ACK)을 보낸 노드는 1 번 노드임을 알 수 있다. 루트노드는 가장 먼저 응답한 1 번 노드의 time stamp T2, T3 가 포함된 패킷만을 받고 나머지 2, 3, 4, 5 번 노드로부터 오는 패킷은 폐기시킨다. 그리고 루트노드가 ACK 메시지를 받는 시각을 T4 라 한다. 이 때 2, 3, 4, 5 번 노드는 루트노드로부터 처음에 패킷을 받았을 때의 각각의 시각 T2 를 기록해둔다.

이렇게 되면 1 번 노드와 루트노드 간의 T1 ~ T4 의 값을 알 수 있게 되고 그림 4.6 의 계산 과정을 통해 1 번 노드의 루트노드와의 시각 차와 전송 지연 값을 얻을 수 있게 된다. 이 때, 최종적으로 T4 의 시각정보를 얻은 곳은 루트노드이므로 루트노드에서 계산이 이루어지게 된다.

이렇게 루트노드가 1 번 노드의 시각 차 값을 계산하고 난 후에는 그림 8 과 같이 1 번 노드의 Offset 값과 1 번 노드의 T2 값을 방송하게 된다. 이 때, 방송시의 메시지에 시각 소인값을 포함시켜 보낸다(T5). 이렇게 새로운 시각 정보 T5 를 추가하게 되면, 나중에 계산과정에서 전송지연에 의한 오류를 줄일 수 있는 장점이 있다.

최종적으로 레벨 1 의 노드들은 루트노드의 방송된 1 번 노드의 오프셋, 1 번 노드의 T2, 가장 처음 받았던 각각 자신의 T2, 그리고 T5 가 시각 소인값이 포함된 메시지를 받은 시각 T6 의 시각 정보를 가질 수 있다. 그리고 이 정보들을 종합하여 자신의 시각을 동기화시킬 수 있게 되는데, 그 계산 과정은 다음과 같다.

먼저 기본적인 가정으로 전송 지연을 일정하다고 하기로 한다. 패킷의 전송은 굉장히 빠른 시간 안에 이루어지기 때문에 전송 지연은 시각 동기화에 매우 작은 영향을 주는 요소이기 때문에 일단은 일정하다고 하고 나중에 부가적인 시각정보인 T5, T6 을 바탕으로 보정할 것이다. 전송 지연을 일정하고 하였으므로 오프셋과 전송 지연을 구하는 식에 따라 계산해보면

$$offset = \frac{(T4 - T3) - (T2 - T1)}{2}$$

$$전송\ 지연 = \frac{(T4 - T3) + (T2 - T1)}{2}$$

에서 전송 지연을 일정하다 하였으므로 전송지연 = D 로 놓으면,

$$offset = D - (T2 - T1)$$

여기서 T1, 즉 루트 노드가 시각 소인 메시지를 보낸 시각은 모두 같으므로

$$D = offset + T2$$

의 관계를 얻어낼 수 있다. 이러한 식을 예를 들어 레벨 1 의 위치에 있는 노드 2 의 경우에 적용해 보면,

$$Node\#2's\ offset + Node\#2's\ T2 = Node\#1's\ offset + Node\#1's\ T2$$

의 관계를 얻을 수 있는데 여기서 노드 2 의 T2, 노드 1 의 offset 과 T2 는 모두 알고 있는 값이기 때문에 이에 따라 노드 2 의 오프셋 값을 계산할 수 있게 된다.

여기에 앞에서 전송 지연을 일정하다 하였기 때문에 나타날 수 있는 문제점을 다음과 같이 보완하였다. 앞에서 1 번 노드의 오프셋 값과 1 번 노드의 T2 값을 방송할 때 T5 의 시각 소인값을 추가함으로써 노드들이 받을 때의 시간을 T6 이라 하였으므로 이를 고려하여 생각해 보면 최종적으로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Node\#2's\ offset + Node\#2's\ T2 = Node\#1's\ offset + \frac{(Node\#1's\ T2 - T1) + (T6 - T5)}{2}$$

위의 과정을 통해 전송 지연을 보완하여 보다 정확한 시각 동기화를 이룰 수 있다. 그리고 레벨 1 위치에 있는 2 번 노드 외에도 3, 4, 5 번 노드들도 같은 계산과정을 통해 오프셋을 결정하여 시각 동기를 이루게 된다.

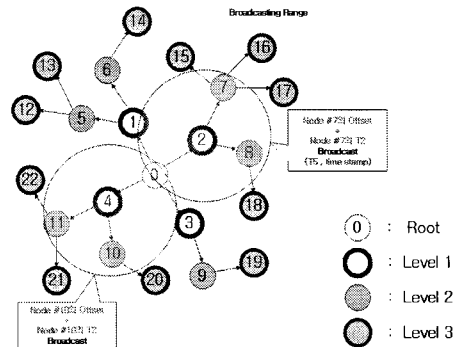


그림 9. 레벨 1-레벨 2 노드들간의 시각 동기화

위의 그림 9 는 레벨 1 레벨 2 노드들 간의 시각 동기화에 대해 설명하고 있다. 편의상 노드 2 과 4 을 부모로 가지는 노드들에 대해서만 나타내었다. 위의 루트노드 레벨 1 간의 동기화 방법과 마찬가지로 레벨 1 의 노드들은 레벨 2 와 시각 소인 메시지의 교환을 통해 한 노드와의 오프셋 값을 계산한 후, 위에서 설명한 정보들, 선택된 노드의 T2 와 오프셋, T5, T6, 각 노드들마다 개별적으로 가지고 있는 첫 메시지를 받은 시각인 T2 를 가지고 각자의 시각을 동기화시킨다. 다시 말하면 한 노드에 대한 오프셋과 T2 를 계산하고, 나머지 노드들은 방송된 정보를 가지고 자신의 offset 을 계산하는 방법을 사용하게 된다. 이와 같은 방법으로 루트 노드를 중심으로 한 계층적인 동기화가 트리의 leaf 노드들까지 모두 이루어지게 된다.

4. 성능 분석

성능 평가를 위해 PARSEC 플랫폼 기반의 NESLsim 에서 시뮬레이션 환경을 구축하였다. PARSEC (PARAllel Simulation Environment for Complex systems)은 C 언어 기반의 이산 이벤트 시뮬레이션 언어이다.

4.1 시뮬레이션 환경

NESLsim 에서 센서 네트워크는 센서 노드, 무선 채널, 노드를 생성하는 관리 부분으로 구성된다. 그림 10 은 NESLsim 시뮬레이터의 구조를 나타내고 있다.

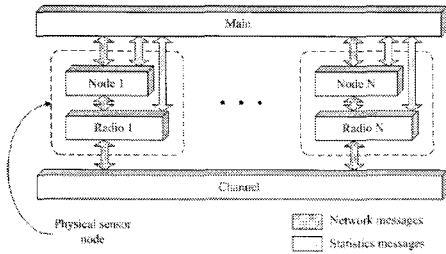


그림 10. NESLsim 시뮬레이터의 구조

4.2 성능 평가

표 1 의 내용과 같이 100 * 100 크기의 센서 필드에 센서 노드들을 배치하였고, 그 형태는 uniformly random 으로 하였으며, 루트 노드는 (0,0)에 있다. 또한 데이터 전송 속도는 19.2kbps 로 Berkeley MICA mote 와 같은 속도로 하고, MAC 으로 CSMA 를 사용하였다. Radio range 는 기본값을 28 로 놓고 40 으로 증가시켰고, 노드 수를 100, 150, 200, 250 으로 점점 증가시키면서 실험을 하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

항목	설정값
필드 크기	100 x 100
노드 수	100,150,200,250
방송 범위	28, 40
MAC	CSMA
전송 속도	19.2 kbps
패킷 크기	128 bits

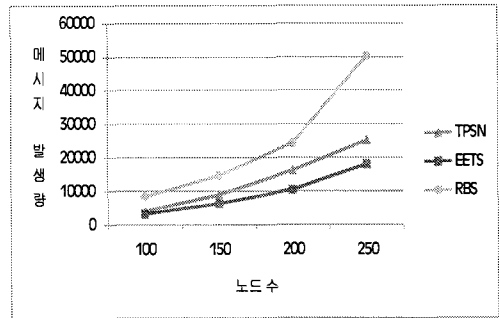


그림 11. 노드 수에 따른 메시지 발생량(radio range=28)

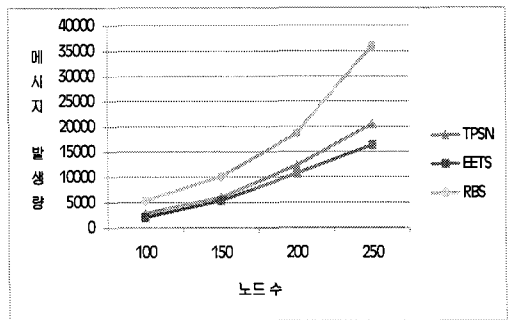


그림 12. 노드 수에 따른 메시지 발생량(radio range=40)

그림 11 과 그림 12 은 앞에서 정한 파라미터의 값을 가지고 시뮬레이션을 실행했을 때의 각 알고리즘에 따른 메시지 발생량을 나타낸 것이다. 노드 수를 100 ~ 250 으로 증가시키면서 실험한 결과, EETS 의 전체 메시지 발생량이 나머지 알고리즘에 비해 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 이는 곧 에너지 효율의 향상이라고 볼 수 있다. RBS 의 경우 노드의 수가 증가할수록 수신기간의 메시지 교환이 빈번하게 일어나 위와 같은 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다.

이를 각각 비교해보면, EETS는 방송 범위가 28일 때 에너지 효율이 평균적으로 RBS 에 비해 약 2.65 배, TPSN 에 비해 약 1.38 배 정도 향상되었고, 방송 범위가 40 일 때는 RBS 에 비해 약 2.03 배, TPSN 에 비해 약 1.18 배 정도 향상된 것을 확인할 수 있다.

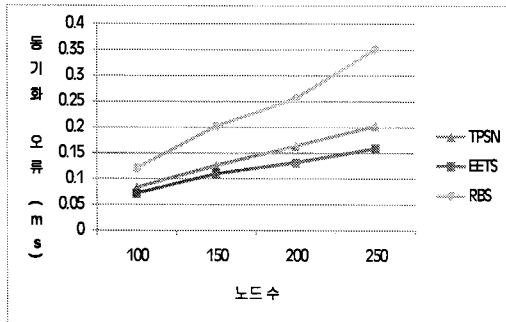


그림 13. 노드 수에 따른 동기화 오류(radio range=28)

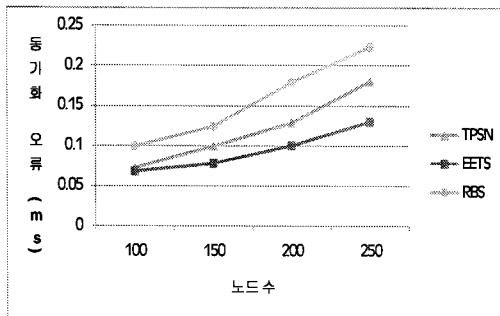


그림 14. 노드 수에 따른 동기화 오류(radio range=40)

위의 그림 13 과 14 를 보면 EETS 는 RBS 와 TPSN 에 비해 메시지 발생량을 낮추어 시각을 동기화 하는데 필요한 에너지 효율을 향상시켰을 뿐 아니라, 동기화 정확도의 면에서 보아도 RBS 와 TPSN 보다 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다.

각 알고리즘 별로 살펴보면, EETS 는 Radio range가 28일 때는 동기화 정확도가 RBS 에 비해 약 1.9 배, TPSN 에 비해 약 1.19 배 정도 향상되었다. 또한 Radio range 가 40 일 때는 RBS 에 비해 약 1.66 배, TPSN 에 비해서는 약 1.27 배 정도 향상된 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

시간 동기화에 고려해야 할 사항으로는 에너지 효율성, 확장성, 정확성, 장애내성, 범위성, 토폴로지가 있는데, 모두를 고려할 수는 없기 때문에 응용

분야에 맞추어 어떤 점을 부각시켜야 하는지를 선택해야 한다. 그리고 일반적인 시각 소인 메시지 교환을 하는 시간 동기화 알고리즘의 경우 동기화 오류 요소인 send time, access time, propagation time, receiver time 도 하나의 큰 고려 사항이 된다[6].

기존의 RBS 알고리즘은 수신기 간의 동기화를 기본으로 하기 때문에 send time, access time 에 의한 오류 요소를 제거할 수 있으나 노드의 수가 증가하면 교환하는 메시지의 수가 기하급수적으로 증가하여 센서 네트워크의 가장 중요한 요소 중 하나인 에너지 효율적인 면에서 좋지 않은 결과를 가지게 된다.

TPSN 과 같은 알고리즘의 경우는 먼저 트리를 구성하기 위한 네트워크 내의 메시지 교환과 동기화를 위한 시각 소인 메시지 교환에 있어서 각 노드는 자신의 부모 노드와 메시지를 주고 받는 과정이 필요하기 때문에 불가피하게 많은 메시지의 교환이 이루어졌다. 그리고 이는 노드의 수가 늘어날수록, 트리의 깊이 가 증가할수록 에너지 효율의 감소를 가져오게 된다.

제안하는 알고리즘은 TPSN 의 동기화 기법을 기본으로 하여 레벨을 가지는 트리를 구성하고, 동기화 메시지의 발생량을 줄이면서 정확도에서도 떨어지지 않는 방안이다. 계층적인 트리 구조의 네트워크를 형성하고, 루트 노드부터 시작하여 계층적으로 시각을 동기화시킨다. 동기화 메시지를 보낸 부모 노드는 일정 시간을 기다렸다가 시각 소인 메시지를 방송하고, 자식 노드들은 기본적으로 이를 받은 시간을 기억하고 있는 상태에서 선택된 한 개의 자식 노드와의 오프셋 계산을 통해, 다른 자식 노드의 시각을 동기화 시킬 수 있다. 또한 MAC 계층에서 시각 소인 메시지를 형성하기 때문에 send time, access time 에 의해 생길 수 있는 오류를 최소화 하였고, 다른 하나의 오류의 원인이 될 수 있는 Propagation delay 의 측면도 새로운 시각 소인 메시지를 기존의 메시지에 추가하여 보내는 방법으로 개선하였기 때문에 성능 평가의 결과에서도 볼 수 있듯이 동기화 정확도가 RBS, TPSN 에 비해 향상되었고, 메시지의 발생량 면에서도 기존의 알고리즘보다 노드가 증가함에 따라 상대적으로 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 패킷 교환량이

줄어든다는 것은 각각의 노드의 에너지 효율의 향상을 가져온다는 점에서 큰 의미를 가진다고 할 수 있다.

References

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communication Magazine*, Volume 40, Issue 8, p102-114, August 2002.
- [2] US Coast Guard Navigation Center, <http://www.gps.gov/>.
- [3] NTP: The Network Time Protocol, <http://www.ntp.org/>.
- [4] J. Elson, L. Girod, D. Estrin. "Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts," *Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation(OSDI 2002)*, December 2002.
- [5] S. Ganeriwal, M. Srivastava, "Timing-sync Protocol for Sensor Networks," ACM Sensys '03, 2003
- [6] Soyoung Hwang and Yunju Baek, "Reliable Time Synchronization Protocol for Wireless Sensor Networks", Lecture Notes in Computer Science, Volume 3824, p663-672, November 2005.

저 자 소 개

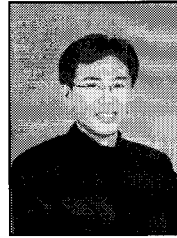
Kim Soo-Joong (Member)



2005 : BS degree in Electronic Engineering, Korea University.
2008 : MS degree in Electronics and Computer Engineering, Korea University.

His research interests include Home Networks, WLAN, and ad-hoc networks.

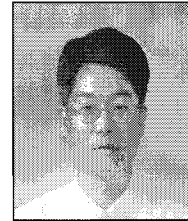
Hong Sung-Hwa (Member)



1996 : BS degree in Computer Science, Korea University.
2002 : MS degree in Infor. and Communication Engineering, Hankuk Aviation University.
2008 : PhD program in Electronics and Computer Engineering, Korea University.

His research interests include Home Networks, WLAN, and ad-hoc networks.

Eom Doo-Seop (Member)



1987 : BS degree in Electronics Engineering, Korea University.
1989 : MS degree in Electronics Engineering, Korea University.
1999 : PhD degree in Information and Computer Science Engineering, Osaka

University.

He joined the Communication System Division, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Korea, in 1989. Since September 2000, he has been an Associate professor in the Department of Electronic Engineering at Korea University. His research interests include communication network design, Bluetooth, ubiquitous networking and Internet QoS.