
무선 센서 네트워크를 위한 전송 지연 적응형 시각 동기화

김민제* · 장경식*

*한국기술교육대학교

Transmission Delay Adopted Time Synchronization Method for Wireless Sensor Network

Min-Je Kim* · Kyung-Sik Jang*

*Korea University of Technology and Education

E-mail : opopkmj@kut.ac.kr ksjang@kut.ac.kr

요 약

무선 센서 네트워크는 여러 노드들이 서로 간에 정보를 교환하고 유기적으로 협력하여 데이터 수집 및 처리를 수행하기 위한 시스템이다. 이러한 작업의 수행을 위해서는 명령 수행의 동기화 및 이벤트 발생순서 구분 등의 작업이 필요하고 이를 위해서는 모든 노드가 같은 시각 정보를 필요로 한다. 모든 노드가 같은 시각 정보를 가지기 위해서는 외부의 절대 시각을 참조하는 방법이 가장 정확하지만 무선 센서 네트워크에서 이를 적용하는 것이 어렵기 때문에 시각 동기화에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 센서 네트워크에서 시각 동기화를 수행하게 되면 오차가 발생하게 되는데 이 오차를 최소화 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 여러 차례의 타임스탬프 정보 교환을 이용하여 최초의 네트워크 구성 시의 시각 동기화에서 발생하는 오차를 줄이는 방법을 제안한다. 노드 간의 통신에서 트래픽 과부하 등의 이유로 송신과 수신 시간 지연 간에 큰 차이가 발생 할 경우 오차가 큰 시간 보정 값과 전송 지연 시간을 얻게 되는데 한차례의 타임스탬프 정보 교환 시에는 이를 찾아 낼 수 없다. 이에 여러 차례의 타임스탬프 정보 교환을 통하여 구한 전송 지연과 시간 보정 값 중 중앙값을 이용하여 시간 보정을 함으로서 서로 다른 송신과 수신시의 통신 지연으로 인한 오차를 배제하여 시각 동기화 시 발생할 수 있는 오차를 줄인다.

ABSTRACT

Wireless sensor network is the system for data collection and data process between many nodes. For this work, Synchronization of operation execution and ordering many events are needed. Reference the external time information is the most accurate way to have same time information for all nodes but it's hard to apply these to sensor network. So there are many study of time synchronization there are many error occurred when the time synchronization is executed in the sensor network and minimizing these errors is important. In this paper, we propose how to minimize errors using several time stamp information exchanging when the network is initialized. When the big difference is occurred between receive time and send time in the node communication(cause of traffic overhead and etc), it shows big error of time correction and transfer delay time. but it's hard to detect these errors when it exchanges time stamp information just one time. so we try to reduce these errors using the median value of transfer delay and time correction value with many times of time stamp information exchange.

키워드

무선 센서 네트워크, 시각 동기화, 전송 지연

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 여러 개의 센서 노드들이 서로 협력하여 수집한 데이터를 네트워크를

통해 베이스 스테이션으로 전달하는 시스템이다.[1] 이러한 무선 센서 네트워크는 환경 조사, 산업, 군사 등 여러 분야에서 이용되고 있다.

무선 센서 네트워크에서 작업을 수행 할 경우 동일한 작업이 전체 네트워크에서 동시에 수행되거나 필드에서 발생한 이벤트의 발생 순서를 파악하는 작업등이 필요한 경우가 있다. 이러한 작업을 수행하기 위해서는 무선 센서 네트워크를 구성하는 모든 노드가 동일한 시각 정보를 가지고 있어야 한다.

모든 노드가 동일한 시각 정보를 가지기 위한 가장 확실한 방법은 외부의 절대적인 시각 정보를 모든 노드가 참조하는 방법이다. 하지만 이 방법을 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 어려움이 따른다. 외부의 시각을 참조하는 방법으로 GPS(Global Positioning System)을 이용하는 방법이 많이 쓰이게 되는데 GPS모듈이 고가라는 점과 장비의 크기가 크다는 점 그리고 실내와 같은 환경에서는 정보를 제대로 받아들 수 없는 점 등의 단점이 존재한다.[2]

RTC(Real Time Clock)를 이용하는 방법 또한 모든 노드가 동일한 시각 정보를 가지기 위한 방법이다. 이 방법은 자체적인 클럭을 이용하여 시각 정보를 참조하는 방법으로 모든 노드가 한번은 같은 시각을 가지도록 설정을 하여야 한다. 단 센서 노드에서 일반적으로 사용하는 발진기가 정확도가 높지 않아 시간이 흐름에 따라 시각 정보가 어긋나게 되는 단점이 있다.[3]

이러한 이유들로 무선 센서 네트워크에서는 네트워크 구성 시와 일정 주기마다 시각 동기화를 수행한다. 시각 동기화를 수행하는 과정에서는 여러 가지 요인으로 인하여 오차가 발생하게 되는데 시각 동기화를 수행하는 노드 양단간의 송수신 지연의 차이에 의해서도 오차가 발생한다. 본 논문에서는 송수신단의 전송 지연 차이에 의해서 발생하는 오차를 줄이기 위한 시각 동기화 방법을 제안한다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크 분야에서 시각 동기화에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다.[2-8] 시각 동기화 방법에는 수신자-수신자(Receiver-receiver) 방법과 송신자-수신자(Sender-receiver) 방법이 있는데 각각 대표적인 방법으로 RBS(Reference Broadcast Synchronization) 방식[4]과 TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Network)[5]방식이 있다.

RBS 방식은 참조 노드에서 브로드캐스트된 무선 비콘 메시지를 수신한 노드들 간에 시각 정보를 교환하여 시각 동기화를 이루는 방식이다.

TPSN 방식은 레벨 기반의 시각 동기화 기법으로 두 단계로 나뉘어 진행된다. 첫 번째 단계인 레벨 설정 단계에서 각 노드들에 레벨을 설정하

고 계층적 구조를 구성한다. 두 번째 단계인 시각 동기 단계에서 페어와이즈 시각 동기화(Pair-wised time synchronization) 기법을 이용하여 시각 동기화를 수행한다.

III. 제안 기법의 특징

제안 기법은 TPSN방식에서 사용한 페어와이즈 시각 동기화 기법을 사용한다. 페어와이즈 시각 동기화 기법은 기준 시각을 가지는 노드(상위 노드) 하나와 시각 동기화를 수행할 노드(수신 노드) 간에 시각 정보를 교환하여 시각 동기화를 진행하는 방법으로 진행 방법은 아래의 그림과 같다.

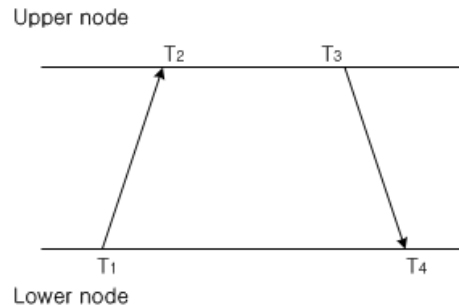


그림 1. 페어와이즈 시각 동기화 기법의 시각 동기화

Step 1. 하위 노드는 상위 노드로 시각 동기화를 요청하고 이때의 시각 정보를 저장한다. 이때의 시각은 T_1 으로 한다.

Step 2. 상위 노드는 하위 노드의 시각 동기화 요청을 받고 자신의 시각 정보를 확인한다. 이때의 시각은 T_2 라 한다.

Step 3. 상위 노드는 일정 시간 후 현재 자신의 시각 정보 T_3 와 시각 동기화 요청을 받은 시각 T_2 의 정보를 하위 노드로 전송한다.

Step 4. 상위 노드의 시각 정보를 받은 하위 노드는 자신의 시각 정보를 확인한다. 이때의 시각을 T_4 라 한다.

Step 5. 하위 노드는 $T_1 \sim T_4$ 까지의 시각 정보를 가지고 아래의 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 시간 보정 값 T_c 와 왕복 전송 지연 d_{rt} 를 계산하고 시각 정보를 보정한다.

$$T_c = \frac{(T_2 - T_1) + (T_3 - T_4)}{2} \quad (1)$$

$$d_{rt} = (T_4 - T_1) - (T_3 - T_2) \quad (2)$$

위의 방식을 이용하여 시각 동기화를 진행할 경우 다음과 같은 특징 있다. 시각 동기화가 진행될 때 하위 노드에서 시각 동기화 요청을 보낼 때의 전송 지연과 상위 노드에서 하위 노드로 시

각 정보를 보낼 때의 전송 지연이 전송 지연이 정확히 일치 할 경우 두 노드간의 시각차를 정확히 구할 수 있다는 점이다. 하지만 양단간의 전송 지연의 차이가 커지면 커질수록 오차는 더욱 커지게 된다. 이는 통신 시에 특정 노드에 부하가 커져 노드 양단간의 전송 지연차가 커질 경우 시각 동기화의 정확도가 떨어지는 문제를 일으킬 수 있다. 하지만 노드 양단간의 전송 지연이 차이가 크게 나는 경우가 그리 많은 것은 아니므로 시각 동기화시에 시각 정보 교환을 여러 차례 수행하여 구한 시각 보정 값 중 중앙값을 이용하여 시각 동기화를 수행하는 방법을 제안한다.

IV. 제안 기법의 시각 동기화 순서

앞서 언급한 방법처럼 시각 동기화 시 수차례의 시각 정보 교환을 하게 되면 통신량이 늘어남에 따라 전력 소모가 증가하게 되고 센서 노드의 생존 시간도 짧아지게 된다. 이에 앞서 언급한 방법을 모든 시각 동기화 과정에 적용하지 않고 시각 동기화 과정을 네트워크 구성시의 최초 시각 동기화 과정과 주기적인 동기화 과정으로 나누어 최초의 시각 동기화 과정에만 적용한다.

1. 네트워크 구성시의 최초 시각 동기화

네트워크 구성시의 최초 시각 동기화는 아래와 같은 방법으로 진행된다.

Step 1. 필드에 투입된 센서 노드는 기존의 센서 노드에 센서 노드 등록 과정을 수행한다.

Step 2. 등록 과정을 마친 센서 노드는 상위 노드(베이스 스테이션 혹은 클러스터 헤더)로 시각 동기화 요청을 한다.

Step 3. 시각 동기화 요청을 받은 상위 노드는 센서 노드로 두 개의 시각 정보를 전송한다.

Step 4. 시각 정보를 받은 센서 노드는 시각 보정 값과 왕복 전송 지연을 계산한다.

Step 5. Step 2부터 Step 4까지의 과정을 수차례 반복한다.

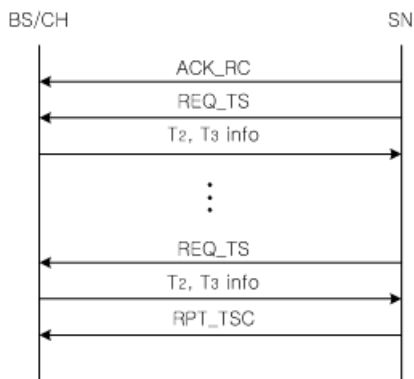


그림 2. 최초 시각 동기화시의 패킷 교환 순서

Step 6. 구해진 시각 보정 값 중 중앙값을 이용하여 시각 오차를 보정한다.

Step 7. 시각 동기화를 마친 센서 노드는 상위 노드로 시각 동기화가 완료되었음을 보고한다.

II. 주기적인 시각 동기화

주기적인 시각 동기화는 아래와 같은 방법으로 진행된다.

Step 1. 일정 주기마다 베이스 스테이션은 하위 노드(클러스터 헤더 혹은 센서 노드)로 시각 동기화 수행 명령을 전송한다.

Step 2. 시각 동기화 수행 명령을 수신한 노드는 상위 노드로 시각 정보를 요청하여 상위 노드로부터 시각 정보를 받는다. 시각 동기화 보류 메시지를 수신한 노드는 하위 노드가 있으면 시각 동기화 보류 메시지를 전송하고 하위 노드로부터 시각 동기화 완료 메시지를 기다린 후 이 메시지를 수신 후 상위 노드로 시각 동기화 완료 메시지를 전송한다.

Step 3. 수신한 시각 정보를 가지고 시각 보정 값을 구한다.

Step 4. 시각 보정 값이 지정된 Threshold 값보다 작으면 시각 정보를 수정하지 않고 시각 동기화를 완료하며 Threshold 값보다 크면 발진기 주파수의 오차 누적 등으로 인하여 시각 정보가 바뀌었거나 전송 양단간의 지연에 차이가 발생한 것으로 간주하고 판정 보류 상태로 들어가서 다음 시각 동기화 주기까지 시각 정보 변경을 보류한다. 이 때 직전의 주기가 판정 보류로 두 차례가 Threshold 값을 넘겼을 경우 노드 양단간의 오차지연 차이가 아닌 두 노드간의 시각차로 보고 구해진 시각 보정 값을 이용하여 시각 정보를 변경한다.

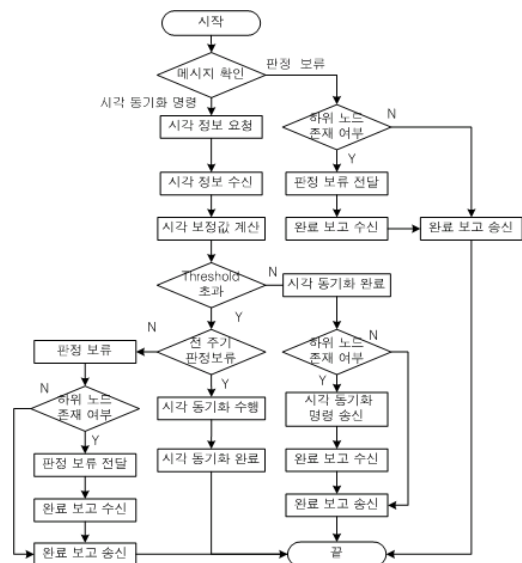


그림 3. 주기적인 시각 동기화시 순서도

Step 5. Step4까지 마친 상태에서 센서 노드일 경우 상위 노드로 시각 동기화 완료 메시지를 전송하고 클러스터 헤더일 경우 시각 동기화 완료 시에는 하위 노드로 시각 동기화 명령 메시지를 판정 보류일 경우는 시각 동기화 보류 메시지를 전송하고 하위 노드로부터의 시각 동기화 완료 메시지를 기다린다.

Step 6. 모든 하위 노드로부터 시각 동기화 완료 메시지를 수신한 클러스터 헤더는 상위 노드로 시각 동기화 완료 메시지를 전송한다.

Step 7. 베이스 스테이션에 속한 모든 노드로부터 시각 동기화 완료 메시지를 수신하면 시각 동기화가 완료된다.

분산 다중노드를 위한 시간동기화 프로토콜 설계 및 구현”, 2006년도 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol.33 No.2(D), pp.50-55, 2006

[8] 임형근, 백장운, 고석영, 남영진, 서대화, “무선 센서 네트워크에서 비잔틴 오류를 고려한 시각 동기화 기법”, 2007 한국정보과학회 학술 심포지움 논문집, 제1권 제1호, pp.24-29, 2007

V. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크의 시각 동기화시 두 노드의 송수신 양단간의 전송 지연의 차이로 인한 오차에 대응하기 위한 방법을 제안하였다. 제안 방법의 경우 두 노드간의 시각 정보 교환의 횟수가 늘어나게 되어 전력 소모가 크다는 단점이 있으며 전송 지연의 차이로 인한 오차에 100% 대응 할 수는 없다는 단점이 있다. 이에 실험을 통하여 적절한 시각 정보 교환 횟수를 결정하는 작업을 수행하고 발생하는 시각 동기화시 발생할 수 있는 오차를 최소화하는 방향으로의 개선이 필요하다.

참고문헌

[1] 정성영, 이동욱, 김재훈, “센서 네트워크를 위한 그리드 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜”, 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터, 제 14권 제 2호, pp.216-220, 2008.

[2] S.M.Lasassmeh, J.M.Conrad, "Time synchronization in wireless sensor networks: A survey", IEEE SoutheastCon 2010, pp.242-245, 2010

[3] 정준호, 홍영식, “고장 감내를 지닌 무선 센서네트워크에서의 누적 시간 정보를 이용한 시각 동기화”, 한국정보과학회 2008 가을 학술발표논문집, 제35권 제 2호(D), pp.401-404, 2008

[4] J.Elson, L.Girod, D.Estrin, "Fine-Granined Time Synchronization using Reference Broadcasts", Proceedings of the Fifth Symposium on Operating System Dedign and Implementation, pp.1-14 , 2002.

[5] S.Ganeriwal, R.Kumar, M.Srivastava, "Timing Sync Protocol for Sensor Networks", ACM Sensys, pp.138-149, 2003.

[6] 황소영, 정연수, 백윤주, “센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜”, 한국통신학회논문지, Vol.31 No.3A, pp.274-281, 2006.

[7] 김기현, 김희철, 홍원기, “무선 센서 네트워크의