

센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜

정회원 황 소 영*, 준회원 정 연 수*, 종신회원 백 윤 주*

Reliable Time Synchronization Protocol in Sensor Networks

Soyoung Hwang* *Regular Member*, Yeonsu Jung* *Associate Member*,
Yunju Baek* *Lifelong Member*

요 약

센서 네트워크에서 시각 동기 기술은 동기 기반 통신 프로토콜 개발뿐만 아니라, 암호화 기술에서의 타임 스탬프, 타 노드들로부터의 같은 이벤트 중복 감지 인식, beamforming, 기록된 이벤트들의 발생 순서 구분 등 다양한 응용을 위해 필요하다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜(RTSP: Reliable Time Synchronization Protocol)을 제안한다. 제안하는 기법은 깊이가 낮은 계층적 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하여 동기 오류를 줄이고, 후보 부모 노드의 정보를 유지함으로써 노드의 이동, 에너지 소진 및 물리적 결함으로 인한 토폴로지 변화에 대응한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과는 RTSP가 기존의 TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Networks)과 비교하여 동기 정확도에 있어 20% 가량 향상됨을 보인다. 또한, 네트워크 내 노드의 결함으로 토폴로지 변화 시 동기화에 필요한 메시지 수를 20%~60% 감소시키는 효과를 보인다. 노드의 무선 전송 거리를 서로 다르게 설정했을 경우에도 RTSP의 통신 부하는 TPSN에 비해 최대 40% 이상 감소된다.

Key Words : sensor networks, time synchronization, topology, synchronization accuracy, communication overhead

ABSTRACT

Sensor network applications need synchronized time extremely such as object tracking, consistent state updates, duplicate detection, and temporal order delivery. This paper describes reliable time synchronization protocol (RTSP) for wireless sensor networks. In the proposed method, synchronization error is decreased by creating hierarchical tree with lower depth and reliability is improved by maintaining and updating information of candidate parent nodes. The RTSP reduces recovery time and communication overheads comparing to TPSN when there are topology changes owing to moving of nodes, running out of energy and physical crashes. Simulation results show that RTSP has about 20% better performance than TPSN in synchronization accuracy. And the number of message in the RTSP is 20%~60% lower than that in the TPSN when nodes are failed in the network. In case of different transmission range of nodes, the communication overhead in the RTSP is reduced up to 40% than that in the TPSN at the maximum.

I. 서 론

센서 기술, 저전력 전자 공학 기술, 저전력 RF

설계 기술 등의 발달로 무선 네트워크를 통하여 연결될 수 있는 소형, 저가, 저전력의 센서 노드들이 개발되어 왔다^[1]. 이러한 센서 노드들은 센싱, 데이

※ 이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R05-2004-000-11838-0).

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실 (youngox@pusan.ac.kr, rookie@embed.re.kr, yunju@pusan.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-10-436, 접수일자 : 2005년 10월 27일, 최종논문접수일자 : 2006년 3월 7일

터 처리, 통신 컴포넌트들로 구성되며 게이트웨이 또는 데이터 집중국 역할을 하는 기준국과 함께 애드 혹 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 기존에 미리 설치된 네트워크의 이용 없이 스스로 애드 혹 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 네트워크, 환경 감시, 공장 관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수가 있다^{2,3)}.

센서 네트워크의 핵심 기술 요소로는 하드웨어 및 초소형 운영체제 기술, 저전력 네트워크 프로토콜 기술, 시각 동기 및 위치인식 기술, 미들웨어 기술, 네트워크 보안 기술, 센서 네트워크 응용 기술 등으로 분류할 수 있다. 특히, 센서 네트워크에서 시각 동기 기술은 동기 기반 통신 프로토콜 개발뿐만 아니라, 암호화 기술에서의 타임 스탬프, 타 노드들로부터의 같은 이벤트 중복 감지 인식, beam-forming, 기록된 이벤트들의 발생 순서 구분 등 다양한 응용을 위해 필요하다. 그러나 제한된 처리 능력과 전력을 가진 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에 기존의 분산 시스템에서 사용되는 시각 동기화 기술을 그대로 적용하기는 어렵다^{4,5)}. 따라서 센서 네트워크를 위해 기존의 동기화 기법이 수정되거나 다양한 새로운 기법들이 제시되고 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜(RTSP: Reliable Time Synchronization Protocol)을 제안한다. 제안하는 기법은 토폴로지 설정 단계와 시각 동기 및 토폴로지 변화 관리 단계로 구성된다. 이는 깊이가 낮은 계층적 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하여 동기 오류를 줄이고, 후보 부모 노드의 정보를 유지함으로써 노드의 이동, 에너지 소진 및 물리적 결함으로 인한 토폴로지 변화에 대응한다. 시뮬레이션을 통한 성능 평가에서 RTSP는 기존의 TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Networks)⁶⁾과 비교하여 동기 정확도는 향상시키고 통신 부하는 감소시킴을 보인다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 연구 동기와 관련 연구에 대해 논하고, 3장에서는 제안하는 시각 동기 기법에 대해 기술한다. 4장에서 제안한 기법의 성능을 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

기존의 분산 시스템에 적용되었던 전통적인 시각 동기 기법은 센서 노드의 제한된 에너지와 처리 능력으로 인해 센서 네트워크에 그대로 적용하기가 어렵다. 따라서 기존의 동기 기법을 수정하거나, 새로운 동기 기법들이 제시되고 있다. 아래에서 현재까지 제시된 센서 네트워크 시각 동기 기법에 대해 정리하고, 접근 방법에 따라 분류하였다.

초창기의 센서 네트워크 시각 동기에 대한 연구는 대부분 이벤트 순서화 혹은 상대적인 시각 오프셋 값을 관리하는 동기 모델에 기초를 두고 있다. 이들은 센서 노드의 시각값을 수정하지 않고, 이벤트의 순서표를 생성하거나 노드간 상대적인 시각차 값을 유지함으로써 동기를 이루었다. 네트워크 토폴로지 관점에서는 시각 동기 범위가 하나의 브로드캐스트 영역 내로 제한되어 있었다. 그러나, 대부분의 센서 네트워크 응용은 한 노드의 브로드캐스트 범위보다 넓은 영역을 다루고 있다. 따라서 네트워크 전체 멀티 홉 시각 동기는 필수적이다. 게다가, 상대적 시각차 값을 유지하기 위해서는 더 많은 메모리 공간과 통신 부하를 초래하기 때문에 노드의 로컬 클럭을 수정하는 것이 더 효율적이다. 이러한 요구 사항을 만족하는 기법으로 TPSN⁶⁾과 FTSP (Flooding Time Synchronization Protocol)⁷⁾가 있다. 표 1은 센서 네트워크 시각 동기 프로토콜의 분류를 요약한 것이다⁸⁾.

TPSN은 레벨 설정과 시각 동기, 두 단계로 동작한다. 첫번째 단계의 목적은 네트워크의 각 노드에 레벨을 할당하여 계층적 토폴로지를 형성하는 것이다. 레벨 0에 해당하는 하나의 루트 노드를 중심으로 트리 구조가 형성된다. 두번째 단계는 하위 레벨의 노드가 상위 레벨의 노드에 시각 동기를 수행한다. 동기화 단계의 마지막 시점에 모든 노드는 루트 노드에 동기되며 네트워크의 전체적 동기가 이루어지게 된다⁶⁾.

FTSP의 목적은 네트워크 전체 노드의 로컬 클럭을 동기시키는데 있다. FTSP는 각 센서 노드의 로컬 클럭은 명시된 오류를 가지며, 오류 정정된 무선 링크를 통해 이웃간 통신이 이루어 진다는 것을 가

표 1. 센서 네트워크 시각 동기 프로토콜 분류

| Synchronization method | Synchronization model | | | Clock source | | Network topology | | |
|--------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|--------------|----------|------------------|--------------|------|
| | Event Ordering | Relative clock | Adjusted clock | Internal | External | Flat | Hierarchical | |
| | | | | | | | Cluster | Tree |
| K. Römer ^[9] | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | |
| RBS ^{[10]*} | | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| Tiny/mini-sync ^[11] | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | |
| LTS ^[12] | | ✓ | | ✓ | | | | ✓ |
| TPSN ^{[6]**} | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| TSync ^[13] | | | ✓ | | ✓ | | | ✓ |
| Global sync ^{[14]+} | | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | |
| Adaptive sync ^[15] | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | |
| ISDC ^[16] | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | |
| FTSP ^{[7]++} | | | ✓ | ✓ | | | | ✓ |

* RBS는 multi-hop으로 확장시 cluster 구조를 이용한다.
 ** TPSN은 루트 노드에 GPS와 같은 시각 참조 장치 유무에 따라 external과 internal로 구분할 수 있다.
 + Global sync에서는 3가지 동기 기법을 제안하고 있는데, 그에 따라 flat과 cluster 구조로 구분된다.
 ++ FTSP의 경우 topology 관리를 하지 않으나 flooding에 의해 tree구조가 생성된다.

정한다. 이 기법은 플러딩(flooding)을 통해 시각 정보를 전송하고 이를 수신한 수신자가 동기화를 수행한다. 이때, 수신자는 미리 분석해 놓은 오류 요소와 선형 회귀 분석을 통해 시각 오류를 보정한다^[7].

FTSP는 주기적인 동기 메시지의 플러딩에 의해 노드의 결함 및 통신 두절로 인한 토폴로지 변화에 동적으로 대응할 수 있다. 이에 반해, TPSN은 토폴로지 변화에 대한 적절한 처리 능력이 없다. 그러나 FTSP에서 분석한 오류 요인은 적용되는 시스템이 변화할 때마다 달라지며 이는 동기화 정확도에 영향을 끼치므로 일반적인 적용은 어렵다. 네트워크 전체 멀티 홉 시각 동기의 정확도는 트리의 형성 시간 및 트리의 깊이(depth)에 영향을 받는다. 동기 오류는 홉을 거칠 때 마다 재전파 되기 때문이다. 그러므로, 이와 같은 동기 오류를 줄이고, 다양한 토폴로지 변화에 대응할 수 있는 새로운 접근 방법이 필요하다.

III. 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜

본 장에서는 논문에서 제안하는 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜(RTSP: Reliable Time Synchronization Protocol)에 대해 기술한다. 앞서 언급한 바와 같이, 동기 정확도는 네트워크 트리 형성 시간 및 트리의 깊이에 영향을 받는다. 따라서 동기 오류를 줄이기 위해서 임의의 노드는 루트 노드로부터 최단 거리의 레벨을 할당 받아야 한다. 또한, 센서 네트워크는 노드의 이동이나 에너지 고

갈 혹은 물리적인 파괴로 인해 토폴로지의 변화가 쉽게 발생할 수 있다. 그러므로 프로토콜 설계 단계에서 동기화 정확도와 에너지 효율성을 위해 토폴로지 변화 관리를 고려해야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 고려하여 프로토콜을 설계하였다.

제안한 RTSP는 두 과정으로 나뉘어 동작하며, 네트워크 내 각 노드는 고유한 ID를 갖는다고 가정한다. 그러나 각 노드가 TPSN에서 처럼 이웃 노드 집합을 알 필요는 없다. 이웃 노드의 관리는 프로토콜의 동작에 포함된다. 그림 1과 식 (1)은 여러 시각 동기 프로토콜에서 사용되는 시각 오프셋을 얻는 방법을 나타낸 것이다. 시각 오프셋은 기준 시각에 일치하도록 조절해야 하는 지역 클럭의 보정량을 나타낸다.

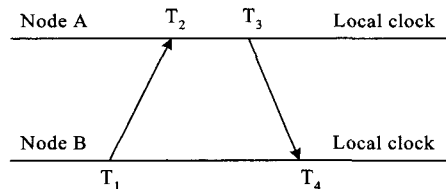


그림 1. 오프셋과 전송지연 측정

NTP에서처럼, 노드 A와 B, 두 개 노드 사이의 전송 지연과 시각 오프셋은 무선 통신 링크를 통해 교환되는 타임스탬프 메시지에 의해 구해진다. 노드 A에 대한 노드 B의 전송 지연 δ 와 시각 오프셋 θ 를 구하는 식은 다음과 같다^[17].

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

3.1 토폴로지 설정

첫 번째 과정으로, RTSP는 네트워크의 계층적 토폴로지를 형성한다. 이 과정에서 네트워크 토폴로지 변화를 관리하기 위한 후보 부모 리스트와 낮은 깊이를 갖는 트리 구조를 만든다.

단계 1: 루트 노드에 의해 토폴로지 설정이 초기화된다. 루트 노드에 레벨 0을 할당하고 루트 노드는 자신의 ID와 레벨을 포함하는 토폴로지 설정 메시지를 방송(broadcast)한다.

단계 2: 노드는 미리 정해진 시간 동안 토폴로지 설정 메시지를 수신한다. 루트 노드는 이 메시지를 폐기한다. 노드는 받은 메시지 중 가장 작은 레벨을 가지는 부모를 선택하고 레벨에 따라 후보 부모 리스트에 정보를 저장한다. 그리고 자신의 ID와 레벨을 포함하는 토폴로지 설정 메시지를 방송한다.

단계 3: 네트워크의 각 노드는 단계 2를 수행하고 결과적으로 모든 노드는 레벨을 할당 받는다.

단계 4: 노드가 토폴로지 설정 메시지를 받지 못했거나, 새로운 노드가 네트워크에 합류했을 때 레벨을 할당 받기 위해 미리 정의된 시간 동안 기다린다. 그 동안 레벨을 할당 받지 못하면, 토폴로지 설정 요청 메시지를 방송하고 이웃 노드의 응답 메시지를 이용하여 단계 2를 수행한다.

3.2 시각 동기 및 토폴로지 변화 관리

두 번째 과정에서, 레벨 i 에 속하는 노드는 레벨 $i-1$ 에 해당하는 부모 노드와 타임스탬프 메시지를 교환함으로써 시각 동기를 수행한다. 임의의 노드가 부모 노드와 통신할 수 없을 경우, 후보 리스트에서 다른 부모를 선택하고 동기를 수행한다.

단계 1: 루트 노드가 동기 메시지를 방송하여 두 번째 과정을 시작한다.

단계 2: 동기 메시지를 받으면 레벨 1에 속한 노드는 루트 노드와 타임스탬프 메시지를 교환하여 지역 클럭을 보정한 후, 동기 메시지를 방송한다.

단계 3: 동기 메시지를 받으면 레벨 i 에 속한 각 노드는 자신의 부모와 타임스탬프 메시지를 교환하고 단계 2를 수행한다. 이러한 과정을 통해 모든 노드는 동기된다. 다른 상위 레벨의 노드로부터 추가의 동기 메시지를 받으면 폐기한다.

단계 4: 부모 노드와 통신이 불가능할 경우, 후보

부모 리스트에서 다른 부모를 선택하고 필요한 경우 자신의 레벨을 갱신하고 단계 3을 수행한다. 자신의 자식 노드의 레벨은 그 노드의 동기가 수행될 때 갱신된다. 후보 리스트가 비어 있는 경우, 앞의 토폴로지 설정 과정의 단계 4를 수행한 후 시각 동기 과정을 진행한다. 후보 리스트는 이웃 노드의 통신을 들음으로써(overhear) 주기적으로 갱신한다.

루트 노드가 고장난 경우는, 다음 레벨에서 최하위 아이디를 갖는 노드가 루트를 대신하도록 한다. 동기 정확도는 TPSN에서처럼 MAC 계층 타임스탬프 개념을 이용하여 향상시킬 수 있으며, 랜덤 백오프(random-backoff) 기법은 무선 링크의 충돌을 회피하는데 적용될 수 있다.

IV. 성능 평가

제안한 기법의 성능 평가를 위해 PARSEC 플랫폼 기반의 NESLsim에서 시뮬레이션 환경을 구축하였다. PARSEC(PARAllel Simulation Environment for Complex systems)은 C 기반의 이산 이벤트 시뮬레이션 언어이다^[18]. NESLsim에서 센서 네트워크는 센서 노드, 무선 채널, 노드를 생성하는 관리 엔티티로 구성된다^[19].

4.1 시뮬레이션 환경

N 개의 노드를 100×100 크기의 센싱 지역에 균일하게 무작위 형태로 배치하고, 각 노드의 무선 전송 거리는 28로 설정하였다. 노드의 수는 100개에서 300개까지 50개씩 증가시켰다. 나머지 설정 값은 TPSN의 시뮬레이션과 동일한 값으로 설정하였으며, CSMA MAC도 포함시켰다. 데이터 전송 속도는 UC Berkeley MICA Motes와 비슷한 19.2kb/s이며 모든 패킷은 128비트 고정 길이이다. 루트 노드는 무작위로 선정되며, 시뮬레이션 환경에서 시각 정밀도 즉, 노드 클럭의 해상도는 $10\mu s$ 이다. 시뮬레이션에서 사용된 클럭 모델은 센서 노드에 사용된 수정 발진자의 특성에서 유도하였다. 모든 센서 노드의 시각은 독립적으로 흐른다. 초기 시작 시각 차이를 보여주기 위해 각 센서 노드의 시각을 2초 가량의 랜덤 오프셋을 적용하였다^[20].

4.2 시뮬레이션 결과

모든 결과는 100회 이상의 시뮬레이션을 수행하여 평균값을 취한 것이다. 성능은 TPSN과 비교하였다. 노드의 차수(degree)란 자식 노드의 수를 의

미하고, 트리의 깊이(depth)는 루트 노드에서 가장 높은 레벨 값을 갖는 노드까지 경로의 길이를 의미한다. 동기 오류는 센서 노드의 시각과 루트 노드 시각의 차이로 정의하였다.

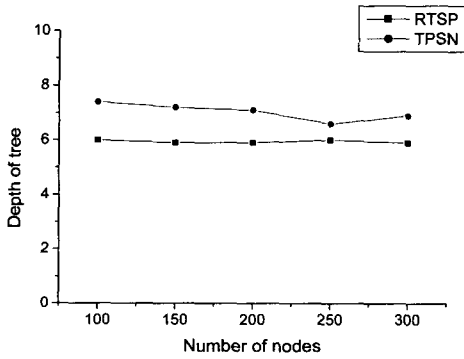


그림 2. 트리의 깊이

그림 2는 노드의 수를 변화시켰을 때, 트리의 평균 깊이를 나타낸 것이다. 멀티 홉 동기의 정확도는 트리의 깊이의 영향을 받는다. 따라서 깊이 값이 작을수록 더 나은 동기 정확도를 보장한다. RTSP는 TPSN에 비해 대개 1~2정도 낮은 깊이를 가진다.

RTSP와 TPSN의 내부 노드의 차수를 표 2와 표 3에 제시하였다. 차수는 동기화 단계에서 무선 링크의 충돌에 영향을 준다. 그러나 충돌은 랜덤 백오프 기법을 통해 개선될 수 있다.

표 2. RTSP에서 내부 노드의 차수

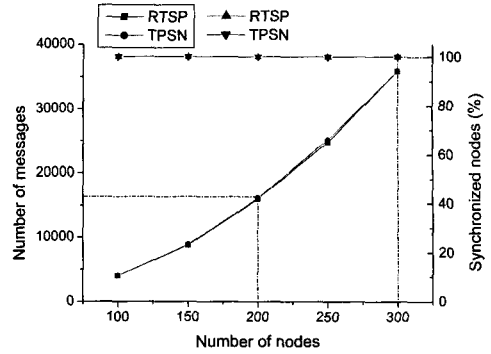
| 노드수 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 최대 | 9 | 12 | 16 | 19 | 21 |
| 평균 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

표 3. TPSN에서 내부 노드의 차수

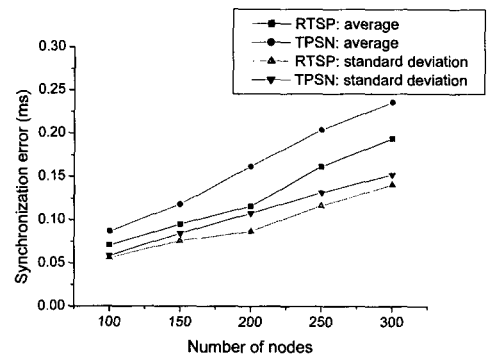
| 노드수 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 최대 | 8 | 10 | 11 | 16 | 19 |
| 평균 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |

그림 3은 네트워크 내 노드의 결함이 발생하지 않았을 경우, 동기 수행시 발생한 메시지 수와 동기화 정확도를 나타내고 있다. 메시지 수는 거의 동일하며, 동기정확도 측면에서 RTSP가 더 좋은 성능을 보인다. 이것이 트리 깊이의 효과로 볼 수 있다.

그림 4에서 그림 6까지는 네트워크 내 노드의 결함이 각각 10%, 20%, 30%일 경우, 동기 과정에서



(a) 메시지 발생량

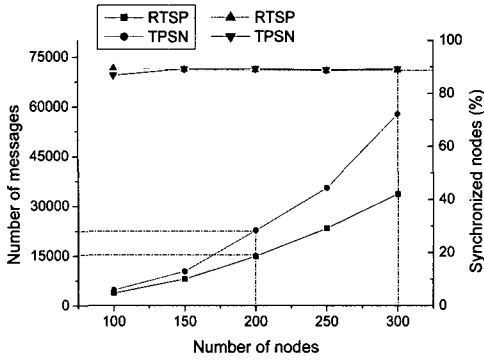


(b) 시각 동기 오류

그림 3. 노드 결함이 없는 경우

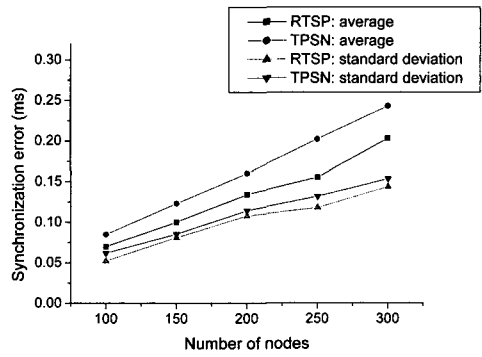
발생한 메시지 수와 동기된 노드 수의 비율 및 동기화 정확도를 나타낸 것이다. 센서 네트워크에서 센서 노드는 이동, 에너지 고갈 및 물리적 파괴 등으로 쉽게 결함이 발생할 수 있으며 이러한 결함은 토폴로지 변화를 수반한다. 시뮬레이션 상에서 노드의 결함은 토폴로지 변화를 의미한다. 실험 결과에서처럼, 전체 노드 수 대비 동기된 노드 수의 비율은 비슷한 수치를 보이고, 메시지 수 및 동기 정확도에서는 RTSP가 더 좋은 성능을 보인다. 센서 네트워크에서 통신 부하는 에너지 효율성 나타내는 주요한 척도 중 하나이다. 따라서 에너지 소모를 줄이기 위해서는 통신 부하를 감소시키는 것이 중요하다. RTSP의 경우 후보 부모 리스트를 통해 동적 토폴로지 변화를 제어하며, 이를 통해 메시지 발생량을 감소시키고, 동기 정확도에서도 향상된 성능을 보였다.

결과에서 나타난 것과 같이 RTSP의 성능은 결함 비율(토폴로지 변화)이 높을수록 TPSN보다 더 좋은 성능을 보인다. 300개 노드, 10% 노드 결함일 경우, RTSP의 메시지 수는 TPSN에 비해 40%이상 감소하며, 300개 노드, 30% 노드 결함일 경우는 60% 가량 감소하였다.

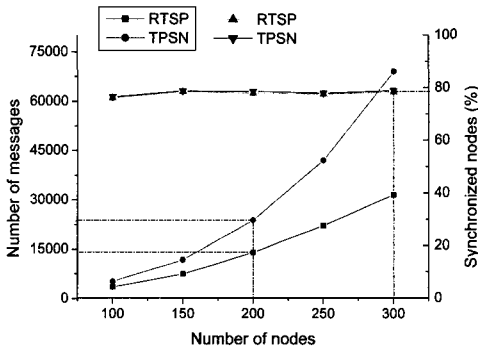


(a) 메시지 발생량 및 동기된 노드 수 비율

그림 4. 전체 노드 중 10% 노드가 결함인 경우

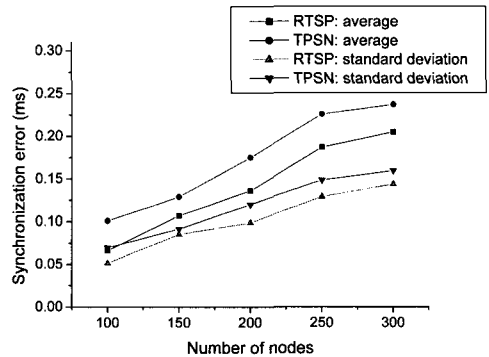


(b) 시각 동기 오류

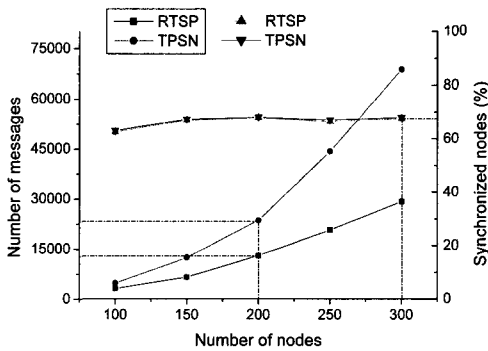


(a) 메시지 발생량 및 동기된 노드 수 비율

그림 5. 전체 노드 중 20% 노드가 결함인 경우

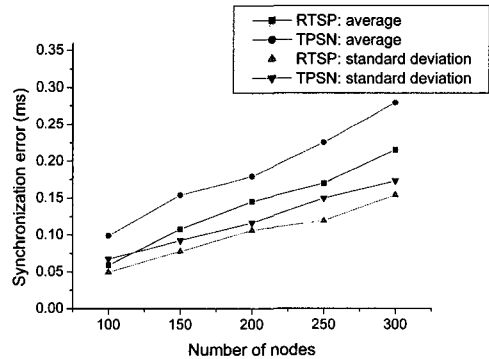


(b) 시각 동기 오류



(a) 메시지 발생량 및 동기된 노드 수 비율

그림 6. 전체 노드 중 30% 노드가 결함인 경우



(b) 시각 동기 오류

추가적으로, 노드의 무선 전송 거리를 개별 노드 마다 다르게 설정하여 실험해보았다. 전송 거리를 제외한 나머지 매개 변수는 “4.1 시뮬레이션 환경”에서 기술한 것과 동일하게 설정하였다. 각 노드는 20~40 사이 값에서 전송 거리 값을 취한다.

그림 7은 노드 수에 따른 트리의 평균 깊이를 나

타낸 것이다. 동일 전송 거리를 갖는 실험 결과에서와 마찬가지로 RTSP가 TPSN보다 낮은 깊이를 갖는다.

그림 8은 각 노드가 다른 전송 거리를 가지며 노드의 결함비율이 30%일 때, 동기 수행 동안 발생한 메시지의 수와 동기된 노드 수의 비율 및 동기 정

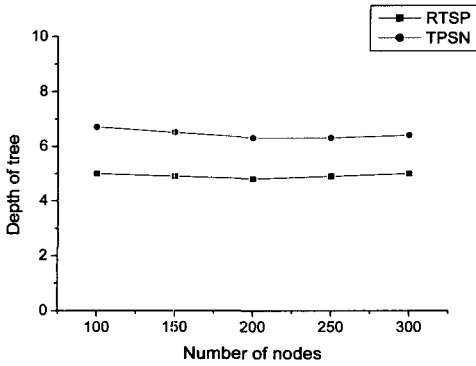
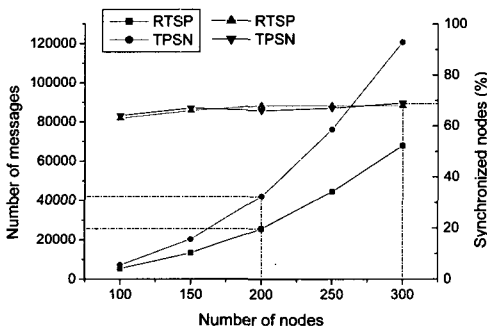
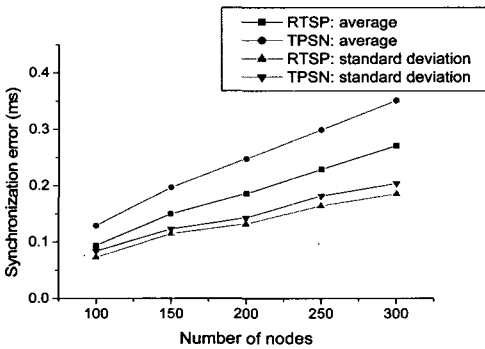


그림 7. 트리의 깊이(무선 전송 거리가 다를 때)



(a) 메시지 발생량 및 동기된 노드 수 비율



(b) 시각 동기 오류

그림 8. 전송 거리가 다를 때 30% 노드의 결합 시

확도를 나타낸 것이다. 이 경우, RTSP의 메시지 수가 TPSN보다 20%~40% 가량 감소하였다.

V. 결론

전통적인 분산 컴퓨팅 시스템에서와 같이 센서 네트워크에서도 시각 동기는 중요한 요소 중 하나이다. 특히, 센서 네트워크에서 시각 동기 기술은 동기 기반 통신 프로토콜 개발뿐만 아니라, 암호화 기술에서의 타임스탬프, 타 노드들로부터의 같은 이

벤트 중복 감지 인식, beamforming, 기록된 이벤트들의 발생 순서 구분 등 다양한 응용을 위해 필요하다. 또한 센서 네트워크는 이러한 개별 응용분야의 요구사항 외에도 전통적인 분산 시스템에서 요구되었던 것과 같이 보안 암호 기법, 이벤트 순서화, 시스템 디버깅 등에 동기화된 시각을 요구한다. 그러나 제한된 처리 능력과 전력을 가진 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에 기존의 분산 시스템에서 사용되는 시각 동기화 기술을 그대로 적용하기는 어렵다.

본 논문은 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 시각 동기 프로토콜(RTSP)을 제안하였다. 제안하는 기법은 깊이가 낮은 계층적 트리 형태의 네트워크 토폴로지를 구성하여 동기 오류를 줄이고, 후보 부모 노드의 정보를 유지함으로써 노드의 이동, 에너지 소진 및 물리적 결합으로 인한 토폴로지 변화에 대응하도록 하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 RTSP가 기존의 TPSN과 비교하여 동기 정확도에 있어 20% 가량 향상되었으며, 네트워크 내 노드의 결합으로 인한 토폴로지 변화 발생시 동기화에 필요한 메시지 수를 20%~60% 감소시키는 결과를 보였다.

참고 문헌

- [1] 배정숙, 김성희, “무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”, IITA IT정보단, 2004.
- [2] 김대영, “유비쿼터스 센서 네트워크”, *Real-Time Embedded World*, 19:34-43, 2004.
- [3] Akkaya, K., Younis, M., “A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks,” *Elsevier Ad Hoc Networks Journal*, 3(3):325-349, 2005.
- [4] 김대영, “센서 네트워크 클록 동기 및 위치인식 기술”, *FA저널*, 268:134-139. (주)인포더, 2004.
- [5] J. Elson, K. Römer, “Wireless Sensor Networks: A new regime for time synchronization,” *ACM Computer Communication Review*, 33(1):149-154, 2003.
- [6] S. Ganeriwal, R. Kumar, M.B. Srivastava, “Timing-sync protocol for sensor networks,” *Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.138-149, 2003.

[7] M. Maróti, B. Kusy, B. Simon, Á. Lédeczi, "The flooding time synchronization protocol," Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.39-49, 2004.

[8] 황소영, 백윤주, "센서 네트워크 시각 동기 연구 사례 분석", ESLAB Technical Report, 2004.

[9] K. Römer, "Time synchronization in ad hoc networks," Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, pp.173-182, 2001.

[10] J. Elson, L. Girod, D. Estrin, "Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts," ACM Operating Systems Review, 36(SI):147-163, 2002.

[11] M.L. Sichitiu, C. Veerarittiphan, "Simple, accurate time synchronization for wireless sensor networks," IEEE Wireless Communications and Networking 2:1266- 1273, 2003.

[12] J.V. Greunen, J. Rabaey, "Lightweight time synchronization for sensor networks," Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Wireless Sensor Networks and Applications, pp.11-19, 2004.

[13] H. Dai, R. Han, "TSync: a lightweight bi-directional time synchronization service for wireless sensor networks," ACM Mobile Computing and Communications Review, 8(1):125-139, 2004.

[14] Q. Li, D. Rus, "Global Clock Synchronization in Sensor Networks," IEEE Infocom, 2004.

[15] S. PalChaudhuri, A.K. Saha, D.B. Johnson, "Adaptive clock synchronization in sensor networks," Proceedings of the 3rd International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2004.

[16] L. Meier, P. Blum, L. Thiele, "Internal synchronization of drift-constraint clocks in ad-hoc sensor networks," Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2004.

[17] D. Mills, "Network Time Protocol(Version

3) Specification, Implementation and Analysis," RFC1305, 1992.

[18] PARSEC User Manual, 1999.

[19] S. Ganeriwal, V. Tsatsis, C. Schurgers, M.B. Srivastava, "NESLsim: A parsec based simulation platform for sensor networks," NESL, 2002.

[20] S. Ganeriwal, R. Kumar, S. Adlakha, M.B. Srivastava, "Network-wide time synchronization in sensor networks," NESL Technical Report, 2003.

황 소 영 (Soyoung Hwang)

정회원



1999년 2월 부산대학교 전자계산학과 학사
 2001년 2월 부산대학교 전자계산학과 석사
 2006년 2월 부산대학교 전자계산학과 박사
 <관심분야> 시각동기, 센서네트워크, 임베디드시스템, GPS/GIS응용

정 연 수 (Yeonsu Jung)

준회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 2005년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 <관심분야> 센서네트워크, 임베디드시스템, RFID

백 윤 주 (Yunju Baek)

중신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사
 1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
 1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 박사
 1999년~2002년 NHN주식회사

기술연구소 소장
 2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 조교수
 <관심분야> 임베디드시스템, 센서네트워크, 컴퓨터구조, 멀티미디어처리