JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항공 우주 해상

J. Adv. Navig. Technol. 24(4): 267-272, Aug. 2020

선박의 진단 및 정비를 위해 사용되는 무선 센서 간 효율적인 시간동기 알고리즘 제안

A Proposal of Time Synchronization amongst Wireless Sensors for Ship Diagnosis and Maintenance Supporting

김 병 국
대한항공 항공기술연구원

Byoung-Kug Kim
Koreanair, R&D Center, Daejeon 34054, Korea

[요 약]

선박의 상태를 공간 제약 없이 광범위하게 측정하고 이를 정밀히 분석하기 위한 수단들 중 하나로 무선 네트워크의 활용이 하나의 방법이 될 수 있다. 여러 개의 센서들을 적절한 곳에 배치하고 이들 간 네트워크가 자동으로 구성이 되고나면 선박의 상태를 한 장소에서 모니터링 할 수 있다. 아울러 배치된 모든 센서들이 동일한 시각정보를 갖는다면, 이들로부터 감지된 동일한 이벤트에 대하여 위치 또는 이동방향 등도 알아낼 수 있다. 따라서 동기화된 센서들의 활용은 메타정보의 생산을 위한 중요한 요소가 될 수 있다. 이 논문은 선박에서의 효율적 활용을 위한 센서 간 시각동기 알고리즘을 제안한다.

[Abstract]

In order to monitor in large area of a ship without any concerns of spacial environments, there can be the use of many sensors that support wireless network technologies. Through the deployment of the wireless sensors and their autonomous network formations, the status of a ship can be easily monitored in real time. Moreover, if all the sensors are timely synchronized with each other, the locations and the moving directions of certain events can be estimated. Thus, the time synchronization amongst wireless sensors are crucial. In this paper, we propose an algorithm which supports reduced message transmissions between the sensors for synchronization.

Key word : WSN, Wireless sensor, Network, Time synchronization, Ship diagnosis and maintenance.

https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.4.267

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 5 August 2020; **Revised** 7 August 2020
Accepted (Publication) 25 August 2020 (30 August 2020)

***Corresponding Author; Byoung-Kug Kim**

Tel: +82-43-868-6280
E-mail: byoungkugkim@koreanair.com

Ⅰ. 서 론

최근 들어 무선 센서 네트워크 (wireless sensor networks)를 기반으로 다양한 응용들이 나타나고 있다. 무선센서네트워크 구성요소로 주변의 환경요소들을 감지하는 다수의 센서노드(sensor node)와 최종적으로 모든 데이터를 수집하거나 최종 게이트웨이 역할을 수행하는 소수의 싱크노드(sink node)로 이루어진다. 그리고 일부 노드는 실행기(actuator)의 역할도 수행한다. 이러한 기능을 위해 각 노드는 일반적으로 처리장치(processing units), 센서(sensors), 실행기(actuators) 그리고 무선통신장치(RF module)를 탑재한다[1].

MEMS (micro-electro mechanical systems)의 발달로 인해 시간이 흐를수록 센서노드는 더더욱 소형화되고 저전력으로 운영되고 있으며, 현재는 많은 센서노드들이 배터리를 기반으로 운영이 되고 있다. 따라서 감지할 장소에 대한 전력과 통신선로 등의 공급문제는 고려대상에서 제외될 수 있으므로 운영에 대한 공간적인 제약을 적게 받는다는 장점을 갖는다.

선박의 경우 NMEA-0183[2] 규격의 유선기반의 네트워크 표준이 있다. 항해에 관련한 다수의 단말과 통신을 위해 범용적으로 사용이 되고 있으나 이 통신기술은 낮은 데이터 전송률과 그에 따른 다중 송/수신 부분에서 많은 문제점을 갖는다. 이를 해결하기 위해 광 네트워크를 구축하는 연구사례도 있다.[3] 이곳에 여러 개의 추가 센서들을 부착하고 통합적으로 함께 운영을 하게 된다면, 득보다는 실이 클 것이다. 오히려 상태 감지를 위한 별개의 구성을 갖는 게 더 이득이 될 수 있다. 이에 대한 해결책이 바로 무선센서네트워크의 활용이 하나의 대안이 될 수 있다.

선박의 상태(예: 화제, 진동, 음향, 균열, 부식, 뒤틀림 등)를 감지하는 다종의 센서노드들과 이들의 정보를 수집하고 제어하기 위한 싱크노드의 설치와 운영을 통해 효율적인 모니터링이 가능할 것으로 판단된다.

무선센서네트워크기술을 이용하게 될 경우 배치된 센서노드들은 수집한 감지데이터들을 싱크노드에게 전송하기 위하여 무선네트워크(토폴로지)를 형성한다. 그리고 수집된 데이터들은 이 네트워크의 라우팅 경로를 통해 전달되는 과정에서 다른 센서노드의 수집데이터들과 통합(combine) 또는 병합(merge)되고 최종적으로 싱크노드로 전달된다. 싱크노드는 네트워크를 통해 수신한 감지데이터들을 최종적으로 사용자에게 보여주거나 구성된 제3의 통신인터페이스(예: 이동통신망, WiFi)를 통하여 외부네트워크로 중계한다. 이 외, 사용자의 명령을 받아 네트워크 구성원인 센서노드들의 동작을 제어한다.

감지된 고유 데이터(1차 정보)는 특성에 따라 자체적으로 활용이 가능할 수 도 있으나, 센서노드들 간 모두 시각적으로 동기화가 되어있다면 이 데이터들의 융합(2차 정보 또는 메타데이터(meta-data))을 통해 제 3의 상태를 감지할 수도 있다. 예를 들어 동일 신호나 이벤트를 감지하는 다수의 센서들의 수집정보를 활용하여 신호 또는 이벤트의 상대적인 위치 /이동방향/속도 등을 예측할 수 있다. 이런 예와 같이 수집정보의 융합에 따른 메타데이터 생성과 이를 적극 활용하기 위한 필수조건으로 센서네트워크에서 노드 간 시각 동기는 반드시 이루어져야만 한다.

본 논문에서는 하나의 싱크노드와 다수의 센서노드들로 운영되는 센서네트워크 환경을 시뮬레이터(NS-2[4])로 구성한다. 그리고 이 노드를 기준 시각으로 정의하고 동일한 네트워크를 구성하는 모든 센서노드들간 동일한 시간값을 가질 수 있도록 제안한다. 시각동기를 위해 수행되는 다수의 데이터 전송은 센서노드들의 전력소모를 증가시켜 센서노드의 수명을 단축시키므로 이를 고려하여 효율적으로 시각을 동기화하는 방안을 제안한다.

이를 위해 본 논문에서는 II에 센서노드 간 시각동기를 위한 대표적인 연구들을 살펴본다. III은 시각동기를 위한 기법[5],[6]에 대하여 선박 같은 형태로 배치 시 효율적으로 활용할 수 있도록 기능을 개선하고 E3TS (enhanced energy-efficient time synchronization)를 제안한다. 그 후 IV에서 제안한 기법을 시뮬레이션을 통해 분석 후 최종적으로 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

초기 센서노드 간 시각동기가 이루어져있다 하더라도 시각 틱(tick)을 생성기 위해 사용되는 오실레이터의 미세한 정밀 오차로 인해 시간적으로 왜곡(skewing)과 표류(drifting)가 발생한다. 버클리의 Mote[7] 프로젝트에 따르면 두 센서노드 사이에 초당 최대 4.75㎲의 오차가 발생한다. 이는 시간(hour)으로 환산하면 17.1㎳ (4.71㎲ × 3600s)의 차이가 있는 것으로 계산된다. 따라서 이를 보정하기 위해 적절한 주기를 갖고 시각을 보정할 필요가 있다.

시각동기를 위한 가장 잘 알려진 기술로 NTP(network time protocol)[8][9]이 있으나 이는 TCP/IP를 기반으로 운영된다. 일반적으로 센서노드들은 탑재된 센서 장치의 제어와 RF를 통한 단순한 형태의 무선 네트워크를 구성하고 데이터통신이 이루어진다. 이러한 이유로 탑재되는 프로세서의 성능도 PC대비 현저하게 낮으며 운영체제 또한 펌웨어(firmware)수준으로 낮기 때문에 TCP또는 UDP, IP 스택을 구성하고 운영되기에는 부족한 자원이다. 또한 1:1 통신방식을 통해 통신단말간에 동기가 이루어지기 때문에 노드의 개수만큼 비례적으로 싱크노드는 시각동기 절차를 수행해야한다는 중복된 작업에 의해 많은 전력소모가 발생하며 이로 인해 결과적으로 네트워크에서 데이터중계역할을 하는 센서노드들의 수명이 단축될 수 있다.

센서네트워크 환경을 고려한 다양한 연구들이 진행되었다. 대표적으로 GPS, RBS[10], TPSN[11], TSYNC[12] 외 다양한 기술들이 있다.

GPS(global positioning system)는 다수의 정지궤도 위성으로부터 수신한 신호를 통해 정교한 시각뿐만 아니라 탑재장치의

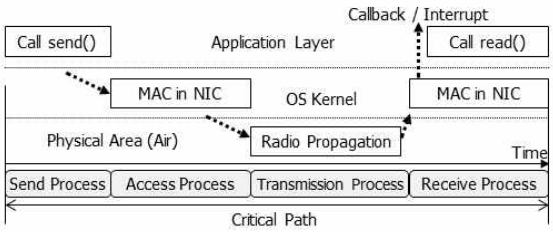

그림 1. 시간지연을 발생하는 네 가지 주요소들
Fig. 1. Four major delay elements between two nodes

위치정보까지 파악할 수 있다. 이를 이용하기 위해서는 별도의 GPS 수신 안테나와 관련 처리 모듈이 별도로 필요하며 그에 따른 비용과 많은 에너지 소비가 요구된다. 아울러, GPS에 대한 운용은 야외에서만 가능하다.

무선통신의 경우 실제적으로 전송과정에서의 지연 변수로 인해 시각동기의 정확도가 상당히 악화된다. 센서노드 간 시각동기 시 지연요소의 주 발생요인은 그림1과 같이 크게 네 가지(Send, Access, Transmission 그리고 Receive Process)의 요소로 분류된다.

응용계층에서 동작하는 시각동기 프로세스는 시각정보를 메시지로 전송하기 위해 송신 함수(함수명: send)를 호출하게 될 경우, 커널내 태스크 스케줄러에 의해 관리되기 때문에 일정시간 대기상태에 진입하게 된다. 이때의 지연을 "송신처리시간"이라 한다.

커널의 NIC(network interface card)의 제어는 디바이스 드라이버에 의해 관리되고 이를 통해 전송될 메시지들은 MAC (mediam access control)에 의한 스케줄러에 의해 또 한 번의 지연이 발생되는데 이때의 지연이 "접속처리시간"에 해당된다.

무선을 기반으로 한 센서노드의 MAC의 경우 보통 10m 내외의 통신거리를 갖는다. RF 신호는 광속(3×10^9m/s)을 갖기 때문에 이 과정에서의 전송지연(전파시간)은 나머지 요소들에 비해 무시될 수준이다. 실제로 이를 무시한 시험(예: 루프백 이더넷)을 해봐도 비슷한 결과를 얻을 수 있을 정도이다.

MAC을 통한 메시지의 수신처리는 일반적으로 커널에서 인터럽트방식으로 처리되며 이를 즉각 해당 프로세스에게 알리기 위해 콜백 이벤트를 생성하여 수신기능을 수행될 수 있도록 등록된 함수(함수명: read)가 호출된다. 그러므로 송신처리 시간대비 수신처리에 걸리는 시간은 상대적으로 짧다.

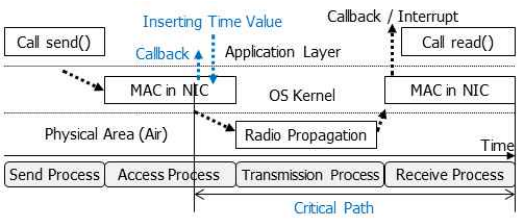

그림 2. RBS의 Critical Path 축소방안 제안
Fig. 2. The Critical Path of RBS between two nodes

시각동기를 위한 RBS 기법은 이 네 가지를 포함한 전체 영역을 최상경로(critical path)라는 명칭으로 정의하고, 이 경로의 간격을 최소화하기 위한 방법을 제안한다. 제안방안으로 그림2와 같이 MAC에서 프레임이 전송되는 시점에 시각정보(time-stamp)를 할당한다. 네트워크상의 노드 간 시각동기는 기존의 NTP 기법을 사용한다. 이는 NTP기반에서 동기화된 시각의 오차범위가 줄어든다는 장점이 있으나 서두에 언급된바와 같이 무선센서네트워크에서의 이를 위한 잦은 메시지 전송은 센서노드들의 수명을 고려해보았을 때 적절치 못하다.

TPSN 기법은 기존 NTP를 무선센서네트워크에 활용할 때, 문제가 되는 RBS의 잦은 메시지 전송 문제를 해결하기 위해 토폴로지 내 싱크노드를 중심으로 연결된 이웃 노드 간 계층화개념을 적용하여 이 계층 간 지역적으로 NTP 기능을 수행하는 방식을 제안한다. 이를 위해 계층탐색단계(level discovery phase)와 시각동기단계(synchronization phase)를 순차적으로 진행한다. 네트워크를 구성하는 모든 센서노드들이 싱크노드와 1:1 시각동기를 하는 방식이 아니라 자신의 상위 노드를 기준으로 각자의 시각을 동기화한다. 그림3은 TPSN에서 이웃노드와 시각동기를 하는 과정을 보여주고 있다. 노드B의 경우 자신이 시각동기가 완료되면, 자신의 시각을 기준으로 다른 이웃들(E, F, G, H)과 반복적인 대화방식(iterative)로 통신하는 과정을 거치며 시각을 동기화한다.

한 센서노드를 중심으로 이웃하는 모든 센서노드들은 전송한 하나의 메시지에 대하여 모두 수신할 수 있다. 이를 활용하면 TPSN에서 각 이웃노드별 반복되는 메시지의 전송에 대한 단점이 개선될 수 있다. 단, 링크간 최소 세 번의 메시지 전송이 수행되어야 시각동기가 가능하다. 따라서 시간기준을 수행하는 센서노드는 모든 이웃이 수신할 수 있도록 방송(broadcast) 형태의 메시지를 송출하고 이웃 중 한곳에서만 그에 대한 응답을 받는다면 가능하다.

TSync 기법은 방송과 유니캐스트(unicast)를 같이 적용하여 TPSN에서의 전체적인 메시지 전송횟수를 감소시켰다. 그림4는 TSync를 통한 무선센서 간 시각동기를 수행하는 과정을 순차적으로 보여준다.

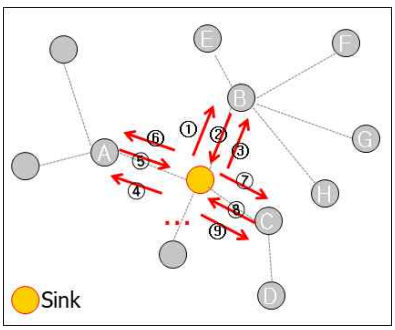

그림 3. TPSN에서 이웃노드 간 시각동기
Fig. 3. Time Synch. between neighbour nodes in TPSN

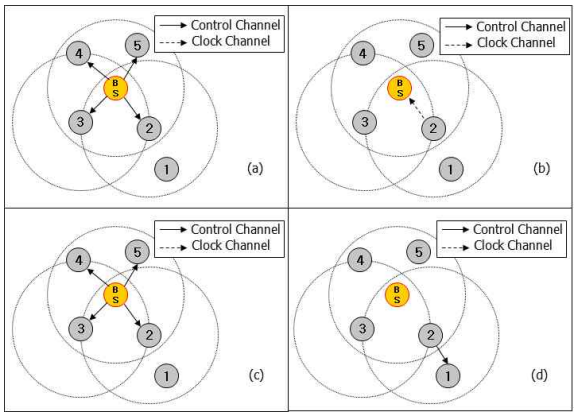

그림 4. TSync에서 이웃노드 간 시각동기
Fig. 4. Time Synch. between neighbour nodes in TSync

그림의 (a)와 같이 기준시각이 되는 센서노드(BS)는 이웃하는 주변 노드들(2, 3, 4, 5)에게 자신의 시각정보가 포함된 요청(request)를 한 번 방송한다. 이웃한 모든 노드로부터의 메시지 수신은 hidden-node와 exposed-node 문제를 야기할 수 있기 때문에, 하나의 노드로부터만 응답을 받을 수 있도록 요청메시지를 보낼 때, 응답할 노드(2)를 지정한다. 그림의 (b)와 같이 수신한 노드 중 노드2는 송신자에게 응답을 유니캐스트 방식으로 전달한다. 그리고 응답을 받은 BS는 자신의 시각, 노드2의 시각(또는 오프셋) 그리고 수신시각을 활용하여 전송지연시간을 판단한다. 그 후 (c)의 그림과 같이 전송지연시간을 함께 반영하여 시각동기는 방송기법을 통해 이웃하는 모든 노드들에게 한 번에 전송한다. 센서노드 자신의 시각동기가 완료되면 BS의 동작처럼 다른 이웃노드들과 동일한 절차를 수행한다. 이 과정은 모든 네트워크 구간에 걸쳐 반복 수행된다.

TSync는 시각동기과정에서 TSPN에 비해 메시지 전송을 현저히 감소시킨다. 따라서 메시지 전송에 따른 전력소모를 최소화 할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 TSync에서 응답으로 사용되는 메시지의 경우 유니캐스트 방식을 사용하지만 무선의 특성상 그와 이웃하는 다른 노드들도 이를 수신할 수 있다. 이 수신기능을 활용하면 기존의 TSync보다 조금 더 효율적이고 빠른 시각동기가 가능할 것이다. 이 응답 부분에 대한 방식을 방송기법으로 변환하여 이 TSync의 성능을 개선하는 다른 방식의 시각동기 방식(E3TS: enhanced energy – efficient time synchronization)을 본 논문에서는 제안한다.

Ⅲ. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하는 시각동기 방식은 이전에 소개된 TPSN과 TSync과 같이 계층탐색단계(level discovery phase)와 시각동기단계(synchronization phase)를 순차적으로 수행한다.

3-1 계층탐색단계(Level Discovery Phase)

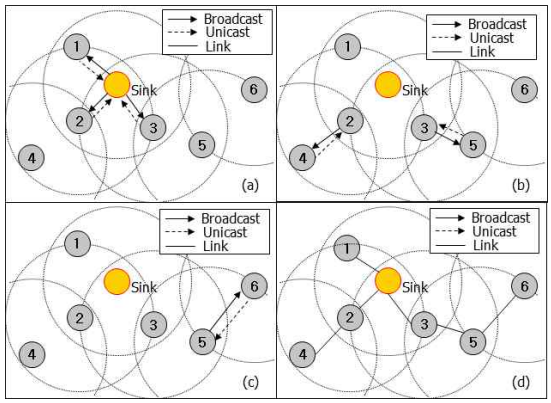

그림 5. E3TS의 계층탐색단계
Fig. 5. Level Discovery Phase in E3TS

이 단계에서는 계층을 정의하기 위해 트리구조의 토폴로지를 생성한다. 이때 최상위(root) 노드는 싱크노드(sink node)가 된다. 트리형태의 라우팅경로가 형성되면 이 싱크노드를 기준으로 멀어지는 중계(hop)별로 각 단계(level)가 결정된다.

그림5는 트리구조를 형성하는 과정을 순차적으로 보여준다. 주변을 탐색하기 위해 전송되는 탐색요청(discovery request)은 방송기법으로 먼저 송신되고, 이를 받은 이웃노드들은 자신이 송신할 응답메시지(discovery reply)에 대한 충돌을 방지하기 위해 각자 랜덤백오프타임(random back-off time)기법을 적용하여 송신자에게 유니캐스트 기법을 통해 응답한다.

탐색요청메시지와 응답메시지의 송/수신을 통해 최종적으로 그림의 (d)와 같은 형태의 트리구조의 토폴로지가 생성된다. 이후 생성된 이 경로를 기반으로 싱크노드(sink)를 기준으로한 시각동기단계가 수행된다.

3-2 시각동기단계(Synchronization Phase)

제안한 E3TS의 시각동기는 트리구조의 토폴로지에서 단계별 전송되는 메시지들에 대하여 모두 방송기법을 사용한다. 그림6은 시각동기단계에서의 실행과정을 예시로 보여주고 있다.

싱크노드는 그림6에서의 (a)와 같이 시각동기 요청(sync. request)을 최초로 방송한다. 요청메시지에는 싱크노드의 시각정보와 지연시간에 대한 계산 기준이될 후보 (CNI; candidate node ID) 정보를 포함한다. (a)에서 방송된 메시지는 트리상에서 다음 계층(k 계층)에 해당되는 노드들(1, 2, 3)에 전달된다. 요청메시지를 수신한 k 계층의 노드들은 (b)의 그림에서와 같이 (a)와 동일한 방법으로 자신의 시각과 새로운 CNI를 선정 후 요청메시지를 k+1 계층의 자식 노드들에게 방송한다. 이때 전송되는 메시지는 k+1계층의 모든 노드들과 k-1계층에 해당되는 부모노드에게도 전달된다. 부모노드는 이를 응답메시지로 활용하여 TSync에서의 응답메시지 처리와 같이 자신의 시각, 전송지연시간, 그리고 수신시각을 활용하여 시각차(오프셋)를 알아낼 수 있다.

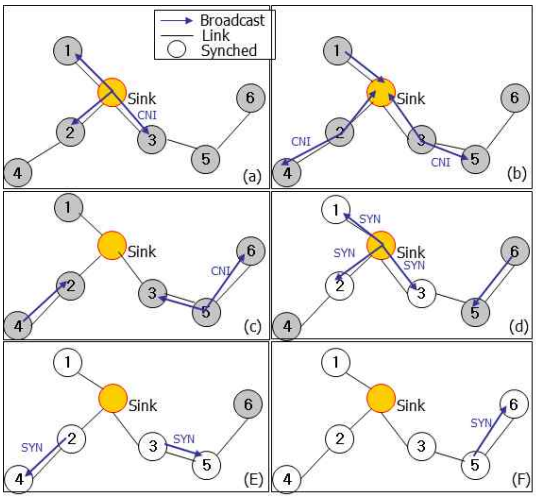

그림 6. E3TS의 시각동기단계
Fig. 6. Synchronization Phase in E3TS

부모노드는 응답 메시지들 중 CNI를 기준으로한 시각차를 추출 후 그림6의 (d)와 같이 자식노드의 시각을 보정하기 위한 SYN 메시지를 방송한다. 그리고 이를 수신한 자식노드들(1, 2, 3)은 자신의 기준시각을 갱신한다. 동일한 방법으로 그림의 (E)와 (F) 같이 각 단계를 거치며 순차적으로 모든 자식노드들을 동기화 한다.

시각동기 요청 (sync. request)과 SYN 간의 전송 간격(interval)은 hidden node 문제를 고려하여 최소 요청메시지의 RTT 에 1.5배로 한다.

Ⅳ. 실험 및 결과

4-1 실험 환경

본 제안에 대한 시험을 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 실함하였다. 성능을 측정하기 위한 환경으로 모든 노드들은 802.15.4 기반의 40 m의 통신거리를 갖는 무선 환경을 설정하고 선박의 형태를 감안하여 350 m x 60 m의 영역을 설정 후 총 43개의 무선노드들에 대하여 그림7과 같은 형태로 배치(인접 노드 간 최대 20m 간격)하였다.

성능비교를 위해 본 실험에서는 TPSN과 TSync를 동일한 환경으로 구축한 후 시험하였다.

그림 7. 시험을 위한 노드들의 배치
Fig. 7. Nodes' Deployment for Evaluations

표 1. 시험환경
Table 1. Simulation Environments

Fields	Values
Backoff Time	-100 ~ 100 ms
Topology Update Period	60 sec
Synchronization Period	2 sec
Sync. Request Interval	Synchronization Period + 200 ms + Backoff Time
SYNC message Interval	Synchronization Period + 550 ms + Backoff Time

최초 시각동기를 시행하는 센서 노드는 중심에 배치된 0번 노드를 통해 이루어지도록 환경을 구축하였다. TPSN과 TSync 방식 또한 본 제안과 동일하게 계층탐색단계(level discovery phase)와 시각동기단계(synchronization phase)를 순차적으로 수행한다. 계층탐색단계를 통해 802.15.4를 기반으로한 트리형태의 네트워크 토폴로지를 형성한다. 이 단계는 모두 동일한 절차를 수행하므로 이에 대한 측정이나 성능평가 등은 본 논문에서는 제외하였다.

4-2 실험 결과

그림8은 시뮬레이터(ns-2)의 구현을 활용하여 본 실험을 위해 배치한 네트워크에서 시각동기를 완료하는데 걸리는 시간을 보여준다. 실험결과와 같이 센서노드에 대하여 본 논문에서 제안한 기법을 활용하고 선박의 형태로 배치 적용할 경우 TPSN과 TSync에 비해 현저히 빠른 완료가 진행되는 것을 확인할 수 있다.

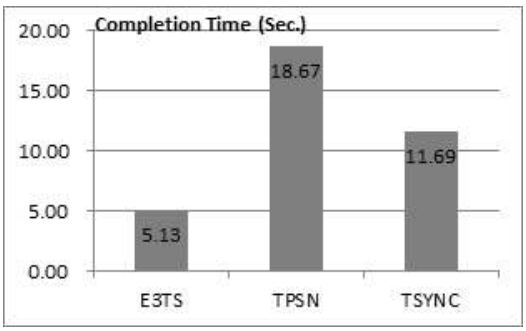

그림 8. 시각동기 완료 시간
Fig. 8. The Completion Time for Synchronization

방송기법의 장점은 주변에 이웃하는 모든 센서노드들이 송신메시지에 대하여 한 번에 수신이 이루어질 수 있다. 이 방송기법의 장점을 활용하여 전체적인 전송 패킷의 개수를 크게 줄일 수 있는 것을 그림9와 같이 확인해 볼 수 있었다.

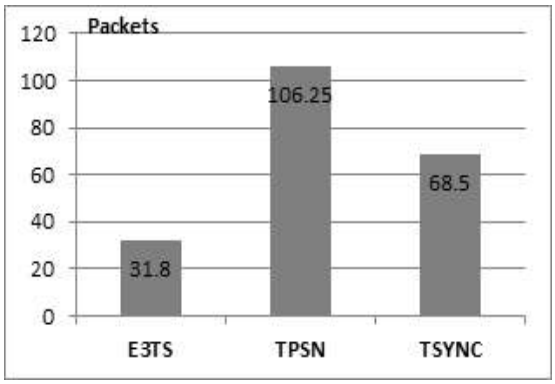

그림 9. 시각동기를 위한 전송 패킷의 개수
Fig. 9. The Total Number of Packets for Synchronization

Ⅴ. 결 론

센서네트워크에서 노드들의 시각동기는 메타데이터(meta-data) 생성을 위한 필수 기능이다. 이를 위한 다양한 연구들이 진행되어오고 있으며, 본 논문을 통해 관련 기술을 소개하고 분석하였다.

무선 통신 기능이 탑재된 센서노드의 경우 한정된 에너지(배터리 탑재)를 기반으로 동작하기 때문에 잦은 메시지 전송에 따른 RF 소모로 수명이 크게 단축될 수 있다. 따라서 전송되는 메시지의 개수를 최소화하는 게 가장 효율적일 것이다. 시각동기를 위해 사용되는 메시지의 전송회수를 줄이기 위한 방법으로 본 논문에서는 E3TS(enhanced energy efficient time synchronization) 기법을 제안하였다. 그리고 이 제안을 통한 센서노드의 에너지 효율성을 입증하기 위해 선박의 형태에 맞추어 노드들을 배치하고 시뮬레이터의 구현을 통해 유사기술(TPSN, TSync)과 비교하였다.

관련연구에서 언급된바와 같이 센서도드간 시각동기가 이루어져있다 하더라도 노드에 장착된 오실레이터의 정밀도 오차로 인해 왜곡(skewing)과 표류(drifting)현상이 발생한다. 따라서 허용범위(time resolution)내 운영될 수 있는 최적의 주기를 결정하는 것도 중요한 과제이며 감지데이터에 대한 수집주기와 시각동기 요청주기에 대한 스케줄링도 향후 도전하고자 한다.

References

[1] J. H. Kim, W. J. Park, et al., “LoRa LPWAN sensor network for real-time monitoring and it’s control method,” *Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol. 31, Issue 6, pp.359-366, Dec. 2018.

[2] NMEA-0183(IEC61162-1), Standard for Interfacing Marine Electronic Devices, Ver. 3.01, 2002.01.01.

[3] S. R. Lee, “Monitoring system for optical network of ship,” *The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 23, Issue 2, pp.731-733, Oct. 2019.

[4] NS-2. Available: www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial

[5] B. K. Kim, S. H. Hong, et al., “Energy − efficient and rapid time synchronization for wireless sensor networks,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics,* Vol. 56, Issue 4, pp. 2258-2266, Nov. 2010.

[6] S. J. Kim, S. H. Hong, et al., “EETS : Energy − efficient time synchronization for wireless sensor networks,” *Journal of Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 11, Issue 4, pp. 322-330, Dec. 2007.

[7] J. Hill, “System architecture for wireless sensor networks,” Ph.D. dissertation, UC Berkeley, CA, May 2003.

[8] NTP: The Network Time Protocol.

[9] SNTP: Simple Network Time Protocol version 4. IETF RFC 2030.

[10] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, “Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts,” in *Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, Boston: MA, Vol. 36, pp. 147-163, Dec. 2002.

[11] S. Ganeriwal and M. Srivastava, “Timing-sync protocol for sensor networks,” *ACM Sensys’03: Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Los Angeles: CA, pp. 138-149, Nov. 2003.

[12] H. Dai and R. Han, “TSync: A lighweight bidirectional time synchronization service for wireless sensor networks,” *ACM SIGMOBILE: Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 8, No. 1, pp. 125-39, Jan. 2004.

김 병 국 (Byoung-Kug Kim)
2002년 8월 : 원광대 컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
2004년 8월 : 고려대 통신시스템기술협동 (공학석사)
2011년 8월 : 고려대 전자컴퓨터공학과 (공학박사)
2011년 9월 ~ 2013년 8월 : 동양미래대학 소프트웨어정보과 전임강사
2013년 8월 ~ 현재 : 대한항공 항공기술연구원 시스템개발팀 근무中
※관심분야 : 센서네트워크, 유비쿼터스컴퓨팅, 임베디드시스템, 운영체제, 네트워크 미들웨어