

에너지 효율성을 갖는 그리드 기반 선박 내 WPAN 프로토콜

이성로*, 정민아*, 허경°

Energy Efficient Grid-Based WPAN Protocol for Ship Area Networks

Seong Ro Lee*, Min-A Jeong*, Kyeong Hur°

요약

선내 통합유무선 네트워크에서는 선내의 각종 센서와 제어기를 자율적으로 구성관리하고 원격제어를 제공하는 기능을 수행한다. 특히 센서장비에 장착되는 무선통신 모듈은 선내 통합유무선 네트워크와의 원활한 연결을 위하여 무선 게이트웨이 기능을 수행하는 브릿지(bridge)를 통한 데이터 전송방식이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 선내 센서네트워크를 위한 그리드 기반 WPAN을 제안한다. 제안한 그리드 기반 WPAN은 그리드 기반의 네트워크 구조로서 다중 경로 통신을 지원하고 에너지 효율적이며 강인성을 갖는다. 제안한 방식을 시뮬레이션한 결과, 제안한 그리드 기반 WPAN은 IEEE 802.15.4 기반 망 보다 수율 및 전력소비 면에서 우수한 성능을 나타내었다.

Key Words : Grid, Ship Integrated Network, WPAN, Wireless bridge

ABSTRACT

An integrated ship area network has functionality of remote control and autonomous management of various sensors and instruments embedded or boarded in a ship. For such environment, a wireless bridge is essential to transmit control and/or managing information to sensors or instruments from a central integrated ship area network station. In this paper, one of reliable schemes of In-ship sensor networks using a Grid-based WPAN is proposed. The proposed scheme is based on a novel grid network which allows a multi-path communication, and is robust, energy efficient. The results demonstrate that the proposed Grid-based WPAN outperforms the IEEE 802.15.4 based network in terms of success ratio and power efficiency.

I. 서론

최근 국내에서는 ETRI와 현대중공업이 공동으로 스마트쉽을 만들기 위해 IT기반 선박용 통합모니터링 인프라 기술인 선박 네트워크(Ship Area Network)를

개발하고 있다^{1,2)}.

선박용 부가 서비스 지원 선박 네트워크 구조기술은 선박 네트워크모델을 제시하고 선박 네트워크에 연결된 기관감시제어장치, 항해기록저장장치, 통합항해장치를 선박 내에서 통합적으로 모니터링을 가능하

* 본 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)의 연구결과로 수행되었음

♦ First Author : Mokpo National University Department of Electronics Engineering, srllee@mokpo.ac.kr, 정희원

° Corresponding Author : Gyeongin National University of Education Department of Computer Education, khur@ginue.ac.kr, 종신희원

* Mokpo National University Department of Computer Engineering, majung@mokpo.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2014-10-399, Received October 8, 2014; Revised November 17, 2014; Accepted November 17, 2014

도록 한다. 그리고 육상에서는 인공위성을 통해 선박 내 IT기자재에 대한 원격제어가 가능하다. 이는 조선 산업에 첨단 IT기술을 접목해 선박장치 통합제어를 기반으로 지능화 및 자동화된 항해정보 시스템을 개발하고 광대역 유무선 네트워크 및 각종 센서연동 기술을 기반으로 선박 항해를 실시간으로 모니터링해서 선박의 각종 센서 및 장치들을 원격에서 유지보수하고 제어할 수 있는 기술을 의미한다.

또한 선박의 표준네트워크는 International Electronics Committee (IEC)에서 IEC 61162-1, 2, 3, 4로 규정하고 있다. IEC 61162-1은 NMEA 0183 (National Marine Electronics Association)으로서 1980년대부터 주로 선박의 항해장비가 공통적으로 장착한 4,800bps의 single talker, single listener 시리얼 데이터 통신이며, IEC 61162-2는 NMEA 0183 High Speed 버전으로 38.4 kbps의 single talker, multi listener, 전기적신호는 RS422인 직렬통신이다. NMEA 2000은 multi-talk, multi-listen, multi master, PnP이며 물리계층은 CAN 2.0B를 사용하고 IEC 61162-3으로 표준화되어 선박에서는 200m, 250 kbps를 사용한다. NMEA 2000은 SAE J 1939 (Society of Automotive Engineers)의 single packet와 multi packet외에 fast packet 프로토콜을 추가하여 선박에서 실시간으로 제어하여야 하는 instrument level network에 맞도록 수정하였다. 또한 IEC 61162-4는 ethernet base의 MiTS(Maritime Information Technology Standards) 프로토콜로서 노르웨이에서 시작한 것으로 shipboard control network의 표준으로 사용하고 있다^[3].

선내 통합유무선 네트워크에서는 선내의 각종 센서와 제어를 자율적으로 구성관리하고 원격제어를 제공하는 기능을 수행한다. 특히 센서장비에 장착되는 무선통신 모듈은 선내 통합유무선 네트워크와의 원활한 연결을 위하여 무선 게이트웨이 기능을 수행하는 브릿지(bridge)를 통한 데이터 전송방식이 필요하다. 본 논문에서는 무선 게이트웨이와 연결된 선내 센서 네트워크를 위한 그리드 기반 WPAN을 제안한다. 제안한 그리드 기반 WPAN은 그리드 기반의 네트워크 구조로서 다중 경로 통신을 지원하고 에너지 효율적이며 강인성을 갖는다^[4].

WPAN의 저전력 프로토콜인 802.15.4는 낮은 데이터 전송률, 저 전력, 저가격의 어플리케이션을 지원하고, 신뢰도 또한 높다. 하지만, 802.15.4는 표준화 작업이 마무리 되지 얼마 되지 않기 때문에 네트워크의 확장성과 연결성에 있어서 미흡한 점이 많다^[5]. 시장

에서 소비자의 욕구와 어플리케이션의 다양화로 인해 네트워크의 확장은 피할 수 없으며 확장함에 따른 강인하고 효율적인 토폴로지관리는 필수적이다. 802.15.4는 기본적으로 트리 방식의 네트워크를 따르기 때문에 Load balancing의 어려움과 떨어지는 강인성 그리고 1:N 통신에 적합하지만 단대단 통신에는 적합하지 않은 문제점 등을 가진다. 때문에 WPAN을 위한 802.15.4와 같이 높은 에너지 효율을 가지면서 단대단 통신에 적합하고 Load balancing이 가능하며 높은 강인성을 가지는 새로운 네트워크의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 위와 같은 요구사항을 만족하는 그리드 기반 WPAN을 제안하고 실험을 통해 그 성능을 분석한다^[6]. 제안하는 네트워크는 그리드 형태의 토폴로지로 라우팅 시에 멀티 패스로 인한 Load balancing이 가능하며, 트리 기반의 네트워크와는 달리 소수 노드의 고장이 전체 네트워크에 크게 영향을 미치지 않는 강인성을 가진다. 그리고 네트워크에 참여하는 모든 노드는 동기를 맞추어 허락된 시간에만 송수신을 하고 나머지 시간은 송수신기와 MCU를 슬립 모드로 동작하여 높은 에너지 효율을 가진다.

본 논문의 2장에서는 제안된 그리드 기반 WPAN 프로토콜을 제안하고, 3장에서는 제안된 프로토콜을 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고, 4장에서 결론을 맺는다.

II. 에너지 효율성을 갖는 그리드 기반 선박 내 WPAN 프로토콜

기존의 선내 유선네트워크와 NMEA 네트워크의 구성은 그림 1과 같이 선내 제어 네트워크(이더넷기반의 MiTS)에 게이트웨이가 연결되어있고, 그 하부에는 각 장치들이 연결되어 있는 NMEA 장치네트워크(instrument network)로 구성되어진다. 본 논문에서는 그림 1의 게이트웨이가 무선화된 환경에서 하위 무선 NMEA 장치네트워크를 제안하는 그리드 기반 WPAN으로 구성하고자 한다.

제안하는 그리드 기반 WPAN은 ERGP(Energy efficient, Robust Grid based WPAN)으로 명명한다. LR-WPAN(Low-rate WPAN)에서는 에너지 제한적인 측면이 가장 큰 문제로 두각 되고 있다. 이를 해결하고자 802.15.4에서는 트리 기반으로 네트워크를 형성하고 동기화함으로써 에너지 효율을 향상시켰다. 하지만 네트워크가 확장됨에 따라 여러 가지 문제점들이 존재한다.

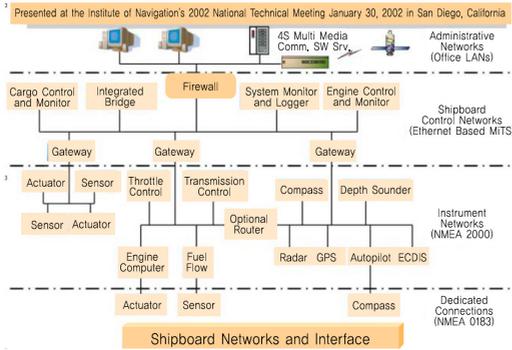


그림 1. 기존의 선내 유선네트워크(MiTS), NMEA 네트워크
Fig. 1. Ship Integrated Network(MiTS), NMEA Network

첫 번째, 트리 기반의 네트워크는 그 모양의 특성상 단대단 통신 보다는 1 대 N의 통신에 적합하다. 다시 말해 한 노드에서 패킷을 보낼 수 있는 경로는 자신의 부모 노드와 자식 노드들로 제한이 되기 때문에 Ad-hoc 통신에서의 라우팅 경로는 유일하며 최적화 될 수 없다. 두 번째, 상위 레벨의 한 노드가 통신 불능 상태가 되면 그 노드의 가지에 속하는 모든 자식 노드들 또한 통신 불능 상태가 된다. 이 때문에 네트워크에서 제외된 노드들은 다시 네트워크에 가입하는 과정을 가지며, 시간과 에너지를 낭비하게 된다. 세 번째, 라우팅 경로는 유일하며 상위 레벨의 노드들에 많은 부하가 걸리기 때문에 Load balancing이 어렵고, 노드의 에너지 소비 또한 레벨이 높아질수록 많아진다. 그림 2는 트리 기반 네트워크에서의 라우팅의 문제점을 보여준다. 그림 2에서 Source 노드는

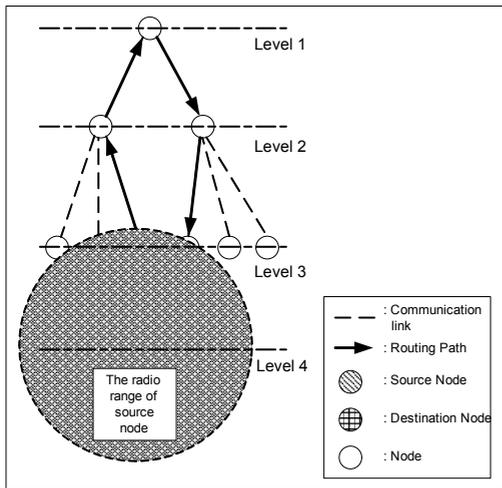


그림 2. 트리 기반 802.15.4 네트워크에서의 라우팅
Fig. 2. Routing in Tree-based 802.15.4 networks

Destination 노드에게 패킷을 바로 보낼 수 있음에도 불구하고 서로 통신 링크가 설정되어 있지 않아 우회하여 보낸다. 이러한 문제점을 해결함과 동시에 802.15.4와 유사한 에너지 효율을 가지는 ERGP를 제안한다.

ERGP에서 고려될 제약사항들은 다음과 같다. 첫 번째로, 네트워크의 규모, 즉 네트워크에 참여 가능한 노드 수는 상위 계층에서 조절이 가능하지만 WPAN을 목적으로 하기 때문에 네트워크에 참가하는 노드의 수는 어느 정도 제한이 있다. 두 번째로, 노드들은 그리드를 원만하게 형성하기 위해 조밀하게 배치되어 있다고 가정한다. 세 번째로, ERGP에서 그리드 형성 시 RSSI(Received Signal Strength Indication) 값을 이용하므로 노드는 RSSI 값 측정이 가능하여야 한다. RSSI는 수신신호강도를 나타내는 정도로, 현재 생산되고 있는 대부분의 RF 통신 칩들이 RSSI 기능을 제공하고 있다. ERGP는 상대적인 RSSI 값을 이용하기 때문에 높은 정확성을 요구하지는 않는다. ERGP는 전체 네트워크를 동기화하여 에너지 소모에 많은 부분을 차지하는 Idle listening, Over hearing 그리고 패킷 간 충돌 요소들을 제거함으로써 에너지 효율을 높였다.

그림 3은 ERGP의 네트워크 구조를 나타낸다. 네트워크를 구성하는 노드들은 PC(Pan Coordinator), NN(Non-Overlapping Node), ON(Overlapping Node) 그리고 LN(Leaf Node)이 있으며 각각의 기능은 다음과 같다. PC(Pan Coordinator)는 전체 네트워크의 토폴로지를 관리하며 네트워크에 참여하는 노드에게 주소와 타임슬롯을 할당한다. 때문에 PC는 메모리, 프로세스 그리고 파워 등의 자원이 무한하다. PC를 제외한 나머지 노드들은 전전지 구동의 제한된 하드웨어

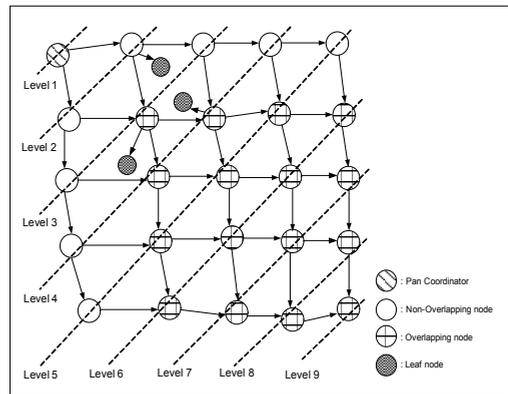


그림 3. ERGP 네트워크의 토폴로지와 구조
Fig. 3. ERGP network topology and its structure

를 가지며 다른 노드들과 중첩되지 않는 한 타임 슬롯을 PC에게 할당 받는다. 각 노드는 자신의 슬롯에서는 항상 깨어나 이웃 노드로부터의 데이터를 수신하며 자신과 이웃하는 노드에게 전송이 필요할 때에는 이웃 노드의 슬롯에 깨어나 전송을 한다. 나머지 슬롯 구간에서는 RF와 MCU를 Sleep함으로써 에너지를 절약한다.

이러한 동작이 가능하기 위해서는 전체 네트워크의 동기화가 필요하며 이는 PC로부터의 비컨 메시지 릴레이를 통해 이루어진다. Beacon 메시지는 자신의 슬롯의 시작부분에서 방송하게 된다. 그림 3에서 화살표의 방향은 Beacon 메시지의 릴레이 방향이며 Level 1은 PC에게 Level n+1은 Level n에게 동기를 맞추는 것을 알 수 있다. ON은 Level n+1(n>=1) 노드들 중에 Level n의 두 노드에게 비컨 메시지를 받는 노드이며, NN은 한 개의 노드에게 비컨 메시지를 받는 노드이다. 그리고 그리드가 이미 형성된 지역 중간에 네트워크에 참여한 노드를 LN이라 한다.

ERGP에서 한 노드는 네트워크에 참가 시, PC로부터 중첩되지 않는 한 개의 타임 슬롯을 할당받는데 이러한 타임 슬롯들의 전체 집합을 SuperFrame이라 한다. PC는 비컨 메시지를 한 SuperFrame 기간마다 방송하며 Level 1 노드들은 이 메시지에 동기를 맞추고 자신의 슬롯의 시작부분에서 다시 비컨 메시지를 방송한다. 이에 Level 2 노드들은 동기를 맞추고 자신의 슬롯 시작 부분에서 각각 비컨 메시지를 방송하여 Level 3 노드들이 동기를 맞춘다. 이러한 방식으로 네트워크의 모든 노드는 동기화를 이룬다. Level이 깊어짐에 따라 전파지연, 각 노드의 비컨 처리지연 그리고 노드별 오실레이터 오차 등의 이유로 타임 슬롯들이 겹치는 현상이 발생할 수 있다. 이렇게 타임 슬롯 구간이 겹치다 보면 결국 한 슬롯이 다른 슬롯의 영역을 침범하여 서로 간에 간섭이 발생할 수 있다. 하지만 Level의 차가 커진다는 것은 물리적으로 노드의 위치가 서로 떨어진다는 것을 의미하며 그 만큼 간섭의 영향이 줄어든다는 것을 의미한다. 또한 ERGP에서 한 노드는 이웃 노드들과의 동기화만 중요하기 때문에 전체 네트워크의 정확한 동기화는 필요하지 않다. 그림 4는 SuperFrame 구조와 슬롯 구조를 나타내고 있다. 전체 SuperFrame을 구성하는 슬롯의 개수는 그 네트워크가 수용할 수 있는 최대 노드의 수와 같으며 그림 4에서 N이 그것이다. 이는 상위 계층에서 선택 가능하며 SuperFrame의 주기는 식 (1)과 같이 계산된다.

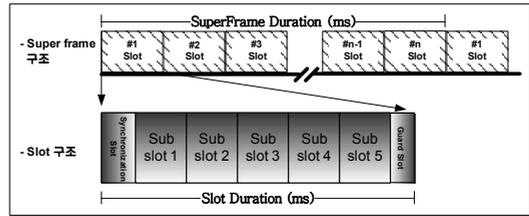


그림 4. Superframe과 슬롯의 구조
Fig. 4. Structures of superframe and slots

$$\text{SuperFrame Duration (s)} = N * \text{Slot duration (s)} \tag{1}$$

여기서 N은 최대 슬롯의 개수를 나타낸다. 슬롯의 구조는 Synchronization Slot, Sub Slot1, Sub Slot2, Sub Slot3, Sub Slot4, Sub Slot5 그리고 Guard Slot으로 이루어져 있으며 각각의 쓰임새는 다음과 같다. Synchronization Slot 구간은 네트워크 동기를 위해 PC로부터 Relay받은 Beacon Message를 하위 Level 노드에게 전달하는 구간이다. 네트워크 참여 등의 제어 메시지송수신은 모두 이 Slot 내에서 이루어진다. Sub Slot1 ~ 5 구간들은 자신의 이웃 노드들에게 각각 할당되어 이웃 노드들이 자신에게 패킷 전송 시 서로간의 충돌을 피하도록 해준다. Guard Slot 구간은 Slot간 간섭을 피하기 위해 존재한다. 그림 6은 그림 5에서와 같이, 노드 A와 이웃하는 노드 B, C들이 있을 때, 서로간의 데이터 통신 타이밍을 나타낸다. 노드 A, B, C는 각각 Slot 5, Slot 8, Slot 10을 할당 받았다고 가정한다.

그림 6과 같이, 한 노드는 자신의 슬롯 때 항상 깨어나 이웃 노드들로부터 패킷을 수신한다. 이웃 노드에게 전송할 패킷이 있을 때에는 그 노드의 슬롯에서 깨어나 송신을 하며, 전송할 데이터가 없을 때에는 Sleep Mode를 유지하여 에너지를 절약한다. 즉, 이웃

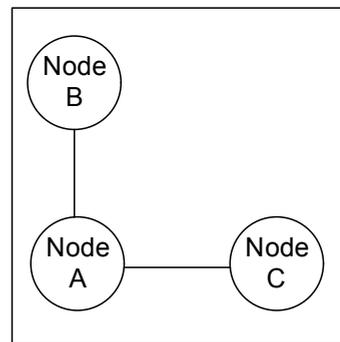


그림 5. 노드의 연결 상태
Fig. 5. Connection Status of nodes

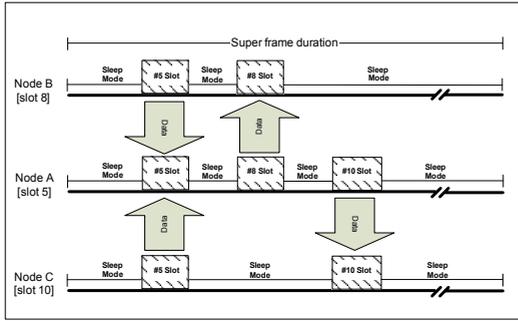


그림 6. 데이터 송수신 타이밍도
Fig. 6. Timing Diagram of data transmission/reception

하는 노드가 4개인 노드는 Super frame 동안 최소 한 개의 슬롯에서 최대 다섯 개의 슬롯 구간에서 깨어나게 되며 나머지 슬롯에서는 Sleep하여 에너지를 절약한다.

III. 시뮬레이션결과 및 분석

ERGP는 NS-2.29 (Network Simulator)을 통해 제작하여 성능 분석하였다. ERGP의 성능을 검증하기 위한 비교대상으로 MAC은 802.15.4를 사용하였으며 라우팅 프로토콜로는 ZBR(ZigBee Routing)을 사용하였다. 앞에서 설명한 바와 같이, 802.15.4는 본 논문에 ERGP가 목적으로 하는 WPAN에서의 저전력 네트워크에서의 대표적인 표준이며 ZBR은 802.15.4MAC을 위한 라우팅 프로토콜이다. 성능 분석 비교는 최초로 같은 에너지를 가진 노드들이 필드에 뿌려지게 되고, 자체구성을 통해 상호간의 연결, 라우팅을 위한 경로를 찾게 된다. 그리고 모든 노드들은 항상 고정되어 있다고 가정하며, 네트워크를 이루는 노드의 수와 트래픽을 발생시키는 노드의 수에 변화를 주며 성능을 분석하였다.

본 논문에서 가정하고 있는 환경을 최대한 고려하여 시뮬레이션 수행 환경을 구성하였다. 각 노드는 최초로 같은 양의 에너지를 가지고 동작을 시작한다. 또한 모든 노드는 초기에 유일한 아이디를 가지며 원만한 그리드 형성을 위해 조밀하게 배치하였다. 시뮬레이션 상에서 가로 150m, 세로 150m인 필드에 80개의 노드가 설치되었을 때의 환경을 설정하였다.

ERGP과 802.15.4-ZBR에서 노드는 공통적으로 Duty cycle을 가지며 이에 Sleep과 Active를 반복함으로써 에너지 소모를 줄인다. Duty cycle에 따라 노드가 소비하는 에너지는 달라지며 이는 전체 네트워크 생명주기에 영향을 미치기 때문에 두 프로토콜에

적용할 Duty Cycle은 같아야 한다. ERGP에서는 Duty cycle을 정하는데 제약이 없어 유연함을 가지나 802.15.4-ZBR는 그러지 못하므로 802.15.4-ZBR에서 정한 Duty cycle을 ERGP에 적용하였다. 기본적으로 노드는 0.0625의 Duty cycle을 가지며 0.49152초마다 동기를 맞추고 0.03072초의 Active 구간을 가진다. 각 알고리즘에 따라 노드는 기본 Duty cycle에서 더 많은 혹은 더 적은 Active 구간을 가지며 이는 곧 에너지 측면에서의 성능과 직결된다.

시뮬레이션 시 에너지를 측정하기 위해서는 에너지 모델을 결정하여야 한다. 우리는 802.15.4 호환 칩인 Chipcon사의 CC2420에 적용되고 있는 에너지 특성을 이용하였다. ERGP와 802.15.4에서 노드는 에너지를 절약하기 위해 주기적으로 Sleep 모드로 들어가는 데, 이때 소모하는 에너지량은 매우 적으므로 전체 에너지 소비량에 포함하지 않았다. 또한, ERGP는 WPAN을 목적으로하기 때문에 노드는 좁은 라디오 전파 범위를 가지며, 완전한 그리드 형성을 위해 조밀하게 배치되었다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터들은 표 1과 같으며 이는 모든 시뮬레이션에서 공통으로 적용된 값들이다.

ERGP의 에너지 소비량을 측정하고 802.15.4-ZBR의 에너지 소비량과 비교 분석하였다. 본 논문에서

표 1. 시뮬레이션 파라미터값
Table 1. Simulation parameter values

Traffic	Continuous bit rate / 5kbps
Packet Size	100Bytes
Transmission Range	12m
Node Distance	10m
Bandwidth	250kbps
Field Size	150 m * 150 m
RF module Current (RX)	19.7 mA at 3.3V
RF module Current(TX)	17.4 mA at 3.3V
RF module Current(IDLE)	0.426 mA at 3.3V
BO (802.15.4)	5
SO (802.15.4)	1
Duty cycle	0.0625
Simulation Time	1000 sec
Network Nodes	9 ~ 100 nodes
Number of Source nodes generating Traffic	1 ~ 10 nodes

서 ERGP은 WPAN에서의 저전력 네트워크를 목표로 하고 있기 때문에 효율적인 에너지 사용은 매우 중요하다. 시뮬레이션 환경은 표 1과 같으며 네트워크를 구성하는 노드의 개수는 100개로 고정하고 트래픽을 발생시키는 소스 노드의 개수를 증가시키면서 노드 당 소비되는 에너지를 측정하였다.

먼저 ERGP와 802.15.4-ZBR에서 시간과 소스 노드 개수의 변화에 따라 소모되는 에너지를 측정해보았다. 그림 7에서와 같이 시뮬레이션 시간 증가에 따라 소모되는 에너지는 두 알고리즘 모두 일정한 비율을 가지고 계속 증가한다. 소스 노드가 한 개일 때에는 ERGP가 802.15.4-ZBR 보다 더 많은 에너지를 소비한다. 하지만 소스 노드의 개수가 5개로 늘어남에 따라 그 차이는 작아지고 10개일 때에는 그 차이가 거의 없어지는 것을 알 수 있다. 그래서 우리는 시뮬레이션 시간을 1000초로 고정하고 소스 노드 개수 증가에 따라 소모되는 에너지를 측정해보았다. 그림 8에서 보듯이, 소스 노드의 개수가 늘어날수록, 즉 네트워크에 부하되는 트래픽이 증가할수록 두 알고리즘에서

소모되는 에너지량은 그 차가 점점 줄어든다.

IV. 결 론

본 논문에서는 선박 내 유선네트워크의 게이트웨이가 무선화된 환경에서 하위 무선 NMEA 장치네트워크를 제안하는 그리드 기반 WPAN으로 구성하였다. 제안된 ERGP는 802.15.4 기반의 네트워크와 비슷한 에너지 효율을 가지면서 높은 강인성을 가지는 장점을 가진다. 또한 ERGP는 네트워크의 크기가 커지고 트래픽이 많아지는 환경에서 더욱 향상된 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 하지만 ERGP는 선박 내에서 그리드 토폴로지를 형성해야 하고, 선박 내 특성을 고려하여 이동성 또한 고려하지 않는 환경 하에 적용시킬 경우 효율적이다.

References

- [1] S. Park and S. R. Lee, "Marine disasters prediction system model using marine environment monitoring," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 263-270, Mar. 2013.
- [2] S.-H. Lee, J.-H. Kim, K.-D. Moon, K. Lee, and J. H. Park, "Performance analysis on integrated ship area network," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 247-253, Mar. 2013.
- [3] O.-S. Park and J.-M. Ahn, "Implementation algorithms and performance analysis of maritime VHF data system based on filtered multi-tone modulation," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 254-262, Mar. 2013.
- [4] IEEE 802.15.3, "Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specification for High Rate Wireless Personal Area Networks," 2003, <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/restricted/802.15.3-2003.pdf>
- [5] IEEE P802.15.4/D18, *Draft Standard: Low Rate Wireless Personal Area Networks*, Feb. 2003.
- [6] K.-I. Kim, "Adjusting transmission power for real-time communications in wireless sensor networks," *J. Inf. Commun. Convergence Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 21-26, Mar. 2012.

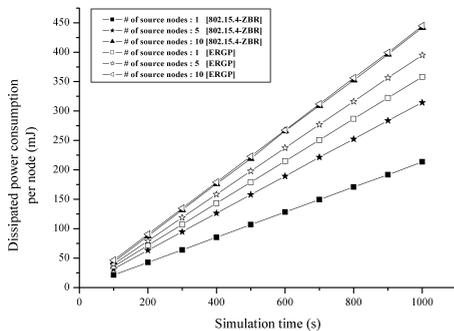


그림 7. 소스 노드 개수에 따른 시간대별 에너지 소모량 변화
Fig. 7. Energy Consumption at each number of source nodes

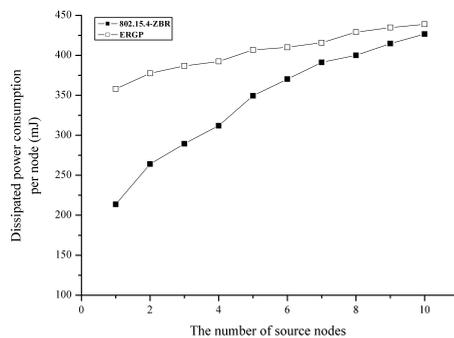


그림 8. 소스 노드 개수에 따른 소모된 평균 에너지 비교
Fig. 8. Average Energy Consumption at each number of source nodes

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템

허 경 (Kyeong Hur)



1998년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업
2000년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
2004년 8월 : 고려대학교 전자공학과 공학박사
2004년 8월~2005년 8월 : 삼성

중합기술원(SAIT) 전문연구원
2005년 9월~현재 : 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수

<관심분야> 유무선통신시스템설계, 상황인지기술, 컴퓨터교육

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사
1994년 2월 : 전남대학교 이학석사
2002년 2월 : 전남대학교 이학박사
2002년 4월~2003년 2월 : 광주과학기술원정보통신공학과 Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research

2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템