

MAC 프로토콜에 따른 무선 센서 네트워크의 소비 전력 비교

정우혁*, 김준교*, 황현철**, 오용국**, 박재현*

*인하대학교 정보통신공학과, **한국철도기술연구원

e-mail : {whjeong,jkkim}@emcl.org, {hchwang,yongkuk5}@krri.re.kr, jhyun@inha.ac.kr

Comparison of Power Consumption of Wireless Sensor Network according to the MAC Protocol

Woohyuk Jeong*, Joonkyo Kim*, Hyun Chyeol Hwang**, Yong-Kuk Oh**, Jaehyun Park*

*Dept. of Information and Communication Engineering, Inha University

**Korea Railroad Research Institute

요 약

철도 차량의 상태를 측정하고 모니터링하기 위하여 센서를 이용한 다양한 장비들이 이용되고 있다. 하지만 현재 사용되고 있는 장치들은 대부분 유선 네트워크를 기반으로 하고 있기 때문에 공간적, 비용적인 제약을 받는다. 이러한 제약을 극복하기 위하여 무선 통신을 이용하는 방법이 있으며, 다양한 MAC 프로토콜을 통해 데이터를 송수신할 수 있다. 하지만 무선 센서네트워크에 사용되는 MAC 프로토콜은 매우 다양한 종류가 있으며, 각각의 MAC 프로토콜은 데이터 송수신 속도, 배터리 소모량 등에 있어서 다양한 특성을 지닌다. 본 논문에서는 센서네트워크에서 사용되는 다양한 MAC 프로토콜의 특성을 분석하여, 공간과 사용시간에 있어서 제약적인 철도 센서 기기에 적합한 프로토콜을 선별할 수 있도록 한다.

1. 서론

철도 분야에서는 정밀한 센서 장비를 이용하여 차량이 움직일 때 받는 충격량, 바퀴 회전량, 선로 상태 등을 측정하고 분석하여 철도 체계를 실시간으로 모니터링 하기 위한 임베디드 시스템이 다양하게 활용되고 있다[1,2,3,4]. 하지만 센서를 이용한 기존의 철도 장비들은 유선 환경을 기반으로 하여 동작하기 때문에 공간적인 제약을 많이 받으며, 배선 작업과 관리를 위해서 많은 설치, 유지 비용이 소모된다[5]. 이러한 유선 환경의 문제점을 극복하기 위하여 무선 통신을 이용할 수 있다. 하지만 무선 통신은 다수의 노드가 통신을 시도할 경우 충돌 현상이 발생할 수 있기 때문에 이를 효과적으로 관리하기 위한 MAC 프로토콜이 필요하다. 센서 네트워크 분야에서는 무선 채널을 효과적으로 활용하기 위한 다양한 MAC 프로토콜 연구가 진행되고 있으며, 그 목적과 용도에 따라서 다양한 특성을 가진다[6,7,8].

무선 센서 노드로 차량 환경 데이터를 측정할 경우, 유선에 비하여 공간적인 제약은 적게 받지만, 배터리와 데이터의 전송 속도에 제약을 가질 수 있다. 더욱이 장시간 차량을 모니터링 해야 하는 경우나, 다량의 데이터를 전송 받아야 하는 경우, 데이터의 생명주기가 시간에 민감한 경우는 무선 센서 노드가 가지는 장점이 단점으로 부각될 수 있다[9]. 그렇기 때문에 적용하고자 하는 어플리케이션의 특성에 따라 적

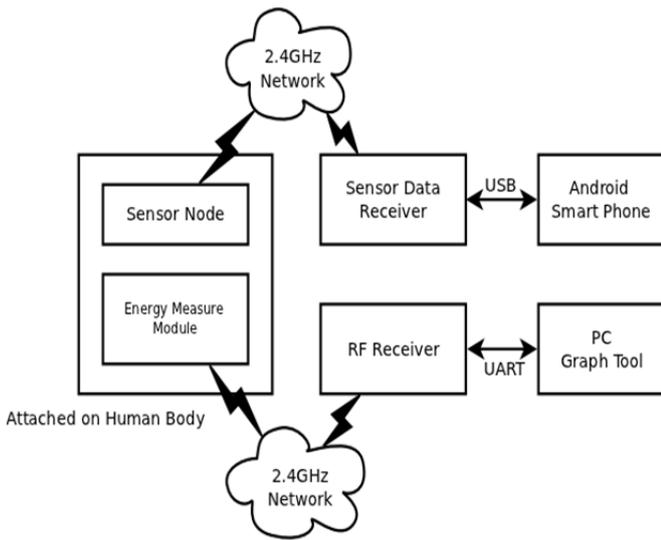
합한 MAC 프로토콜을 선정하는 것이 중요하다. 예를 들어 차량의 움직임과 상태를 정밀하게 파악하고자 한다면 데이터의 전송속도가 빠른 MAC 프로토콜을 사용해야 하며, 단순히 주기적으로 차량의 상태만을 확인하고자 한다면, 배터리를 좀 더 효율적으로 사용하는 MAC 프로토콜을 사용할 수 있다[10].

본 논문에서는 현존하는 다양한 MAC 프로토콜의 유형을 분석하고 이에 대한 성능을 측정하여 맥 프로토콜들의 특성을 분석한다. 또한 이를 기반으로 측정 어플리케이션의 유형에 따른 적합한 MAC 프로토콜을 선정하기 위한 방법을 제시한다.

2. 본론

2.1 측정시스템 구조

전체 시스템은 그림 1 과 같이 3 개의 하위 시스템으로 구성된다. 첫 번째는 센서 데이터를 취득하여 전송하는 센서 노드와 이때 센서 노드의 전력 사용량을 측정하여 전송하는 에너지 측정 모듈로 구성되어 있다. 두 번째는 센서 노드로부터 송신된 센서 데이터를 수신하고 처리하는 센서 데이터 처리 노드로 구성되어 있다. 이 하위 시스템은 Android 기반의 스마트폰과 연결하도록 설계되었으며, 센서 데이터를 스마트폰의 다양한 어플리케이션에 활용할 수 있도록 하는 확장성을 제공한다. 세 번째는 전력 측정 모듈로부터 송신된 전력 데이터를 수신하여 이를 직렬 통



(그림 1) 전체 시스템 블록도

신으로 재전송하는 전력 데이터 처리 노드로 구성되어 있다.

1.2 MAC 프로토콜

MAC 프로토콜은 네트워크 상의 여러 노드가 하나의 물리 매체를 공유할 수 있도록 해주는데, 이로 인해 네트워크의 통신 성능이 대폭 향상된다. 하지만 MAC 프로토콜은 수백 가지에 이를 정도로 많이 개발되어 있으며, 그 소비전력과 전송 속도 등에 있어 다양한 특성을 지니고 있다. 이러한 점에서 무선 센서네트워크에서 어플리케이션에 맞는 적절한 MAC 프로토콜을 선택하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

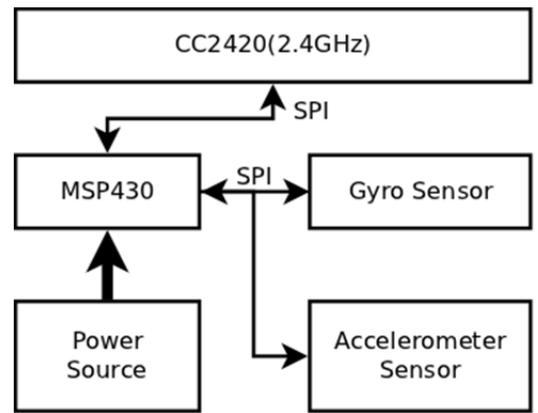
본 논문에서는 TinyOS 상에 구현이 되어 있는 3개의 MAC 프로토콜, BMAC, TDMA, BOXMAC2를 선정하여 통신 테스트를 수행하고 이들을 비교 한다 [11,12,13].

1.3 센서 노드

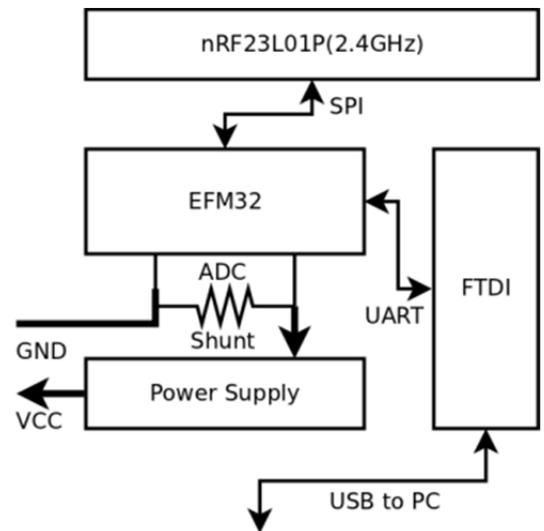
논문에 사용된 센서 노드는 그림 2 과 같은 구조를 가진다. 이 센서 노드는 인체 움직임을 측정하는 용도로 개발되었으며, 가속도 센서와 각속도 센서를 포함하고 있다. 마이크로컨트롤러로 MSP430 을 사용하였고, 무선 통신 컨트롤러로 2.4 - 2.5GHz 의 ISM 대역을 지원하는 CC2420 을 사용하였다.

소프트웨어는 오픈소스로 공개되어 있는 TinyOS 운영체제 플랫폼을 사용하였다. TinyOS 는 nesC 언어를 사용하고 있으며, Wiring 을 이용하여 모듈을 자유롭게 연결하여 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

이 센서 노드는 다양한 철도 시스템에 적용될 수 있다. 예를 들어, 이 노드를 차체에 부착하면 차량이 현재 어떠한 자세로 있는지, 어느 방향으로 얼마큼 치우쳐 있는지를 실시간으로 모니터링 할 수 있다[2]. 또한 운행 중에 얼마 만큼의 충격량을 받는지 측정하고 이를 토대로 철로 구간별로 운행 정보를 수집하는



(그림 2) 센서노드 블록도



(그림 3) 전력 측정 노드 블록도

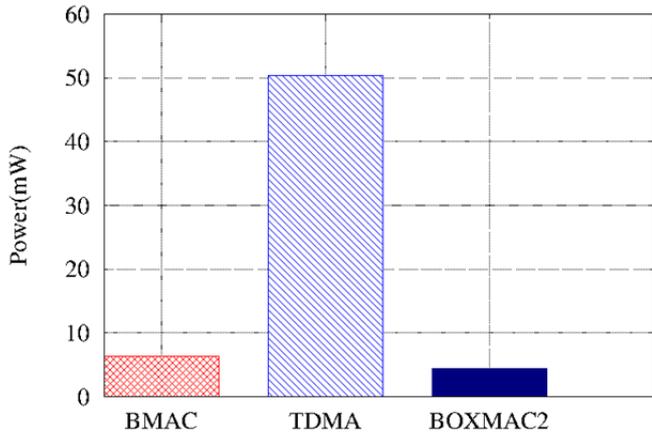
등 유용하게 사용될 수 있다.

1.4 전력 측정 노드

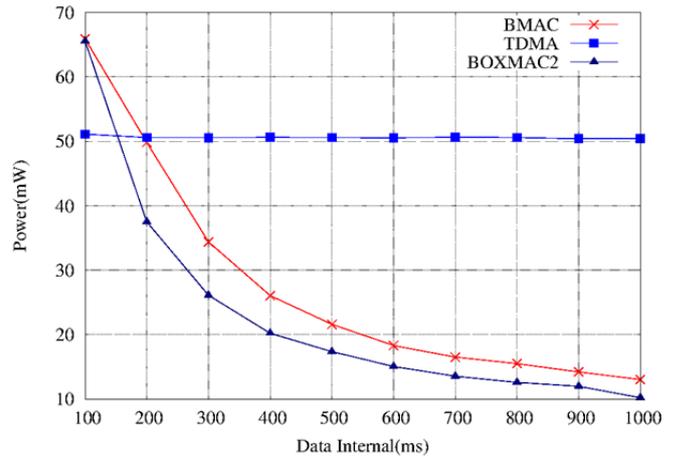
MAC 프로토콜의 변화에 따른 전력 소모량의 변화를 측정하고, 이를 평가하기 위해서는 전력 소모량을 측정할 수 있는 장치가 필요하다. 기존의 전력 측정 장치는 PC 와 USB 나 직렬 통신으로 연결되는 유선 기반의 장치들이 대부분인데, 이러한 장치로는 센서 노드를 사용하는 동안의 정확하고 실제적인 변화량을 측정하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 무선 기반의 전력 측정 노드를 직접 설계하고 제작하였다.

그림 3 은 무선 기반의 전력 측정 노드에 대한 구조를 보여주고 있다. 마이크로컨트롤러로 ARM Cortex M3 기반의 EFM32 를 사용하였다. 이 칩은 16Bit ADC 를 제공하므로 별도의 칩을 사용하지 않고도 정밀한 변화량을 측정할 수 있으므로 노드의 소형화에 적합하다. 그리고 무선 통신 컨트롤러로 2.4 - 2.5GHz 의 ISM 대역을 지원하는 nRF24LP01 을 사용하였다.

전력 소모량을 측정하는 방법으로 가장 많이 사용



(그림 4) 유휴 시간에서의 전력 소모량



(그림 5) 데이터 주기에 따른 전력 소모량

되는 방법은 전류량에 따라 양단에 걸리는 전압이 변화하는 Shunt 저항을 사용하는 방법이다. Ohm의 법칙에 따라 저항 값과 양단의 전압을 측정할 수 있으면 흐르는 전류량을 구할 수 있으므로, 이로부터 시스템의 전력 소모량을 산출할 수 있다. 저항의 한쪽에 피 측정 시스템의 Power Ground를 연결하고, 다른 쪽에 Power Supply의 Ground에 연결하면 피 측정 시스템에 흐르는 전류는 모두 Shunt 저항을 통하게 되므로 정확히 독립된 전력 소모량을 측정할 수 있다. 본 시스템에서는 1Ω의 Shunt 저항을 사용하였으며, 16Bit ADC를 사용하고 있기 때문에, 약 19.μA 단위의 전류 측정이 가능하도록 설계되었다.

3. 실험

실험은 세 개의 MAC 프로토콜에 대하여 수행하였으며, 데이터 전송 주기에 따른 소비 전력을 측정하였다. BMAC의 경우는 Wakeup Interval을 3초로 설정하였고, 전송 주기마다 32 바이트의 데이터를 전송하였다.

우선 센서 노드가 데이터를 전송하지 않을 때에는 소비전력에서 TDMA는 다음 MAC들과 큰 차이를 보인다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 BMAC은 TDMA에 비하여 소비 전력이 약 8배 가량 적게 소모하는 것을 확인할 수 있다.

데이터 전송 주기에 따른 소비 전력은 그림 5와 같은 유형을 가진다. TDMA의 경우 데이터 전송량이 많지 않음에도 불구하고 에너지 소비가 높지만, 전송 주기가 짧아진다 하더라도 소비 전력이 크게 달라지지 않음을 확인할 수 있다. 하지만 BMAC과 BOXMAC2의 경우는 노드가 대기 중일 경우에는 적은 에너지를 소모한다는 장점을 가지고 있으나, 데이터 주기가 약 0.2초 이하로 짧아질 경우에는 TDMA보다 에너지 효율이 좋지 않음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 무선 센서네트워크의 MAC 프로토콜을 철도 어플리케이션에 적용하기 위하여 소비 전력에 대한 실험을 수행하였다. MAC 프로토콜들은 그

동작 유형과 특성이 다양하기 때문에, 데이터 전송 속도, 소비 전력에 있어서 서로 다른 특성을 지닌다. 실험에서 볼 수 있듯이 데이터 주기에 따른 소비 전력의 변화가 상이함을 확인할 수 있다. 그러므로 원하는 목적의 어플리케이션에 따라 적합한 MAC 프로토콜을 선정함이 중요하다는 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 철도기술연구원의 연구비 지원으로 작성하였습니다.

참고문헌

- [1] Mirabadi, A. "Application of sensor fusion to railway systems", International IEEE/SICE/RSJ Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp.185-192, December, 1996.
- [2] Oliver Heirich, Andreas Lehner, Patrick Robertson, and Thomas Strang, "Measurement and Analysis of Train Motion and Railway Track Characteristics with Inertial Sensors", 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.1995-2000, October, 2011.
- [3] Aboelela, E., Edberg, W., Papakonstantinou, C., and Vokkarane, V., "Wireless Sensor Network Based Model for Secure Railway Operations", Performance, Computing, and Communications Conference, 2006. IPCCC 2006. 25th IEEE International, pp.623-628, April, 2006.
- [4] Barke, D., and Chiu, W. K., "Structural Health Monitoring in the Railway Industry : A Preview", Structural Health Monitoring 2005, vol.4, pp.81-93, February, 2005.
- [5] Pascale, A., Varanese, N., Maier, G., and Spagnolini, U., "A wireless sensor network architecture for railway signaling", 9th Italian Networking Workshop, pp.1-4, January, 2012.
- [6] Yamamoto Fukuta, "Possibility of Sensor Network Applying for Railway Signal System", 5th International INSS Conference on Networked Sensing Systems, pp.170-172, June, 2008.

- [7] Petrova, M., Riihijarvi, J., Mahonen, P., and Labella, S., "Performance study of IEEE 802.15.4 using measurements and simulations", Wireless Communications and Networking Conference, 2006, WCNC 2006. IEEE, vol.1, pp.487-492., April, 2006.
- [8] Ilker Demirkol, Cem Ersoy, and Fatih Alagöz, "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: a Survey", Communications Magazine, IEEE, vol.44, no.5, pp.115-121. April, 2006.
- [9] Mathias Gruden, Alexander Westman, Janis Platbardis, Paul Hallbjorner, and Anders Rydberg, "Reliability Experiments for Wireless Sensor Networks in Train Environment", Wireless Technology Conference, EuWIT 2009, pp.37-40, September, 2009.
- [10] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", INFOCOM, IEEE, vol.3, pp.1567-1576, 2002.
- [11] Wei Ye, Fabio Silva, and Jone Heidemann, "Ultra-low duty cycle MAC with scheduled channel polling", SenSys 2006, Proceedings of the 4th ACM international conference on Embedded networked sensor systems, pp.321-334, November, 2006.
- [12] David Moss, and Philip Levis, "BoX-MACs: Exploiting Physical and Link Layer Boundaries in Low-Power Networking", Technical Report SING-08-00, Stanford Information Networks Group, 2008.
- [13] Stevan Marinkovic, Christial Spagnol, and Emanuel Popovici, "Energy-Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks", 2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp.604-609, June, 2009.