

무인원격 무선 네트워크 환경에서의 저전력 운용을 고려한 LP-MAC 기법

윤종택^{1*} · 류정규² · 김용이³

LP-MAC Technique in association with Low Power operation in unmanned remote wireless network

Jong-Taek Youn^{1*} · Jeong-Kyu Ryu² · Yongi Kim³

^{1*}LIG NEX1 Co.,Ltd / NCW Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

²FUMATE Co.,Ltd, Daejeon 305-325, Korea,

³LIG NEX1 Co.,Ltd, Seongnam 463-400, Korea

요 약

원격 무선 네트워크 환경에서의 무인 센서 신호처리기의 임무 수행을 위해서는 한정된 전력 자원으로 인해 무인 원격 센서 무선운용 상황에 적합한 신뢰성 있는 저전력 매체 접속 제어 기법이 요구된다. 저전력 무선 네트워크에서 효과적인 신호 전송을 위해서는 CSMA/CA, X-MAC을 일반적으로 고려한다. 본 논문에서는 고정 노드로 구성되는 무선 네트워크에서 노드 제어를 위한 이동 노드의 망 참여/탈퇴가 유동적인 망 형태에서의 신속한 데이터 전달 및 소모 전력 최소화 달성이 가능한 저전력 성능이 향상된 LP-MAC 동작 기법을 제안한다. 고정노드는 망 자율구성을 수행하여 망에 수시로 참여/탈퇴하는 이동 노드로의 빠른 정보 전달을 위해 비동기 방식으로 동작한다. 이동 노드가 망에서 탈퇴할 경우, 망 전체 운용모드가 소모 전력의 최소화를 위한 동기모드로 천이됨으로써 최소 전력 운용이 가능한 매체접속 제어 기법이다.

ABSTRACT

Because of the limited power resource, we need a reliable low-power media access control technique suitable for unmanned remote sensor operation condition for the unmanned sensor processor to perform the task in the remote wireless network situation. Therefore CSMA/CA and X-MAC is generally considered to effectively transmit the signal in the low-power wireless network. In this paper, we propose the more efficient low-power LP-MAC Technique which consumes the minimum power and transmits the data faster in condition that the mobile nodes' joining to and leaving from the network which consists of the fixed nodes is fluid. The fixed nodes operate in an asynchronous mode to perform the network self-configuration and transmit data faster to the mobile node which is frequently join and leave the network. When the mobile node leaves the network, the network's operation mode will be synchronous mode to achieve the minimum power consumption, thus the minimum power operation becomes possible.

키워드 : 저전력, MAC, 동기, 비동기

Key word : Low-power, MAC, Synchronous, Asynchronous

접수일자 : 2014. 07. 07 심사완료일자 : 2014. 07. 24 게재확정일자 : 2014. 08. 05

* **Corresponding Author** Jong-Taek Youn(E-mail:jtyoun37@lignex1.com, Tel:+82-31-8026-4565)

Communication R&D Lab, LIG NEX1 Co.,Ltd, Seongnam 463-400, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.8.1877>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 무인화 체계, 센서 응용 분야에서 저전력이 요구되는 무선 네트워크는 한정된 주파수와 상황에 적합한 효율적인 망 구성을 위해 다중접속 프로토콜인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access) 방식을 적용한 무선 네트워크를 기반으로 하여 진화하고 있다. 또한, 원격 무인 센서 신호 송수신 및 무선 네트워크 구성이 필요한 운용 환경에서 최소한의 전력으로 신뢰성 있는 통신이 가능한 무인 원격 무선 네트워크 운용 환경에서의 신호 처리 기법이 요구된다. 고정 및 이동 노드의 수시 망 가입, 탈퇴가 일어나는 망 형태에서 전력 최소화 신호 처리 기법은 필수적이다.

저전력 구현을 위해 무선 네트워크는 각 노드들 간의 경제적인 접속 구조를 제공하여 최종 운용자의 단말에 의한 제어, 관리를 수행할 수 있도록 구성되어야 한다.

대용량의 상태 및 제어 신호를 요구하지 않는 상황에서 저속의 통신 속도, 저전력 운용, 구성을 위한 무선 접속 기술들은 지속적으로 기술적인 발전을 해 오고 있다. 이런 예로 IEEE802.15.4 Working Group에서 표준화를 진행하는 Bluetooth, HR-WPAN, LR-WPAN, LR-UWB 등이 있다.

일반적인 저전력 무선 접속 망에서 MAC protocol들은 에너지 소모를 줄이기 위해 주기적인 기상(Wakeup), 수면(Sleep)을 반복시키는 방법을 사용한다. 이 방법을 사용하기 위해서는 송신/수신측 모두 Wakeup 상태를 동일 시점에 유지할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 동기/비동기 MAC protocol 이 제안되었고, 이런 유희(Idle), 듣기(Listening) 및 누화(Overhearing) 등의 문제들을 효율적으로 극복하고자 하였다.

본 논문에서는 무인원격 무선 네트워크 환경에서의 임무 수행에 최적화된 무선 통신 신호처리 기술 적용을 위해 요구되는 저전력 무선 네트워크를 동기/비동기의 혼합 방법을 사용하여 저전력 운용 효율을 극대화하고 이미 구성된 망에 동적으로 참여하는 망 관리, 제어 장치로의 효과적인 데이터 전달을 위한 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 IEEE 802.15.4에서 정의하는 PHY를 기반으로 비동기 모드의 구동 방식을 설명하고, III장에서 저전력 성능이 향상된 LP(Low Power)-MAC(Media Access Control) 기법을 제안하고, IV장에서 모의실험 및 분석 결과를 제

시하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 저전력 무선 통신 연구

2.1. ZigBee mesh 네트워크 구조

ZigBee 망을 이용하여 Star, Tree, Mesh 형태의 망을 구성할 수 있다. ZigBee에서 정의하고 있는 Mesh 네트워크는 IEEE802.15.4[10]의 비동기 방식인 Non-beacon mode를 사용하도록 정의하고 있다.

이와 같은 구조에서는 IEEE802.15.4에서 정의하는 동기 방식(Beacon mode)을 사용할 수 없으며, 이는 효율적인 저전력 통신을 어렵게 만드는 요인이 된다. 즉, ZigBee 조정자(coordinator)나 ZigBee 라우터(router)는 항상 전원이 인가되는 상태에서 동작해야 하므로 저전력 모드를 효율적으로 지원하기 어려운 구조가 된다. IEEE802.15.4의 동기 방식은 Superframe 구조를 갖고 있으며 비활성(Inactive)으로 정의된 구간에서 Sleep 상태로 천이할 수 있도록 정의하고, 경합 접속(Contention access) 구간에서는 CSMA/CA 방식으로 매체 접속하도록 정의하고 있다.

2.2. IEEE802.15.4 망 동기 구조

IEEE802.15.4 표준에서는 망 구조에 대해서는 언급하고 있으나 망의 운용 형태에 대해서는 구현에 맡기고 있다. 하지만 Superframe 구조를 기반으로 나무형(Tree) 구조의 동기 망을 구성할 경우, [그림 1]과 같은 구조의 Superframe으로 구성해야 하기 때문에 망 상위로 갈수록 전력 소모에 취약하게 된다. 즉, 포함하는 자식(Child) 노드의 수가 많아질수록 부모(Parent) 노드의 활성화(Active) 구간이 커짐으로써 상대적으로 상위 노드의 전력 공급에 대한 부담이 증가되는 구조를 갖는다. 또, 망에 포함된 하위 노드의 수에 따라서 점유해야 하는 Active 구간의 길이가 길어지고, 정확한 Traffic 양을 예상하기 어렵기 때문에 Child 노드가 발생할 수 있는 Traffic 양을 적절히 추측하여 Active 구간의 길이를 할당해야 하는 구조가 된다. 결국, 상위 노드의 전력 공급 증가로 인한 물리적인 조치 및 자율적인 네트워크 구성, 설정, 복구의 제한사항 등이 수반되는 결과를 초래한다.

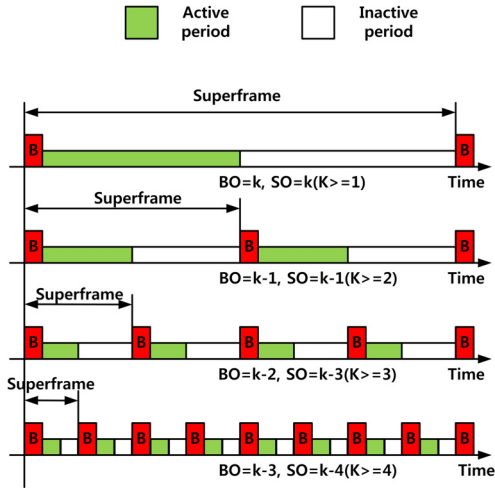


그림 1. IEEE 802.15.4 망 계층에 따른 슈퍼프레임 구조
 Fig. 1 IEEE 802.15.4 superframe structures of network layers

이런 동기 망 구조에서는 정형화된 Superframe의 구성으로 인하여 Active 구간에서 통신이 실패할 경우, 다음 Active 구간까지 기다려야 송신을 재수행할 수 있는 지연(Delay) 측면의 제약이 발생하게 된다.

2.3. Sensor network 비동기 MAC 운용

일반적인 소모 전력을 줄이기 위해 제안된 MAC들은 WiseMAC(Wireless Sensor MAC)[1], B-MAC(Berkeley MAC)[6], X-MAC[6], S-MAC(Sensor MAC)[8, 9], T-MAC(Timeout MAC)[8, 9] 등 다양한 종류가 있다.[3-5, 7] 이들 중, S-MAC과 T-MAC은 동기 프로토콜 군에 속하고, WiseMAC, B-MAC과 X-MAC은 비동기 프로토콜 군에 속한다. 이들은 동기 방식과는 달리 송/수신을 원하는 시점에 통신이 이루어지도록 구성되어 있다. 대부분의 비동기 MAC은 Preamble sampling 방식에 기초하여 동작한다. 이는 packet의 시작을 알리고 동기화를 제공하기 위한 PHY header의 Preamble를 이용하여 전력소모를 줄이는 기법이다. 송신측은 Preamble를 길게 늘려 Frame을 전송하고 수신측은 주기적인 채널 접속(Channel access)과 Sleep을 통해 소모 전력을 줄이는 방법을 사용한다. 이 방법은 동기 방식의 Idle Listening 구간에 대한 소모 전력을 효과적으로 줄일 수 있지만 Preamble 길이가 길어짐으로 송신을 위한 소모 전력이 증가하고 수신측의 주기적인 Listening

작동으로 인한 소모 전력 증가를 나타내게 된다.

WiseMAC(Wireless Sensor MAC)도 Preamble sampling access 방식으로 동작한다. 하지만 Preamble의 길이 증가를 줄이기 위해 수신측 ACK frame에 Wakeup 시간 정보를 포함한다. 이 정보를 이용하여 Preamble의 송신 시간을 줄일 수 있다. 하지만, 한번 Preamble를 수신하게 되면 데이터의 목적지와 상관없이 전체 Frame을 모두 수신해야 하며 동기화를 유지하기 위하여 전체 Listening/Sleep 주기 동안 긴 Preamble를 계속 송신해야 하는 문제점을 갖는다.

B-MAC은 RTS/CTS, ACK 등의 제어 기능은 상위 계층에서 수행하여 간단한 MAC을 구현토록 설계되었으며, 목적지 노드가 깨어나는 시점을 알 수 없기 때문에 Sleep 주기보다 긴 Preamble를 전송하는 Preamble sampling 기법을 사용하였다. 이 기법은 Preamble이 상당히 긴 문제가 있으나 각 노드의 Wakeup 시점을 맞추지 않아도 되므로 구현이 용이한 장점이 있다. 하지만 송신자는 긴 Preamble를 계속 송신해야 하고, 수신자가 Preamble이 끝나는 시점까지 계속 Listening해야 하는 Overhearing 문제로 에너지 소모가 많은 단점이 있다.

X-MAC은 B-MAC의 이러한 Overhearing 문제를 해결한다. X-MAC에서는 송신자는 목적지 주소를 넣은 Short preamble를 전송하고, 수신자는 Short preamble를 수신한 다음, 바로 Early ACK를 송신한다. Early ACK를 수신한 후 송신자에게 더 이상 Preamble 신호를 보내지 않고 바로 Data frame을 전송할 수 있도록 설계되어 있다. 또, 다른 노드들은 Preamble 신호에 있는 목적지를 보고 목적지가 자신이 아니면 Sleep 모드로 전환하여 에너지 낭비를 줄이게 된다.

또, IEEE802.15.4에서의 비동기 방식은 Non-beacon mode로, Beacon을 송신하지 않고 필요한 시점에 정보 전달을 수행하여 비동기 방식으로 동작한다.

2.4. Sensor network 동기 MAC 운용

대표적인 동기 MAC은 IEEE802.15.4의 Beacon mode가 있다. Beacon mode에서는 주기적으로 Beacon을 송신하여 동기화된 동작을 수행하며, IEEE802.15.4에서 정의하는 Superframe의 구조상 전력관리 측면에서 큰 오버헤드(Overhead)를 갖는다.

S-MAC은 SYNC frame의 broadcast를 통해 각각의 노드들을 slot이라는 시간 구간으로 동기화 시킨다. 동

기화된 각 노드들은 고정된 시간 동안 Wakeup 상태를 유지하여 주변 Frame을 감지한다. S-MAC은 간단하고 구현이 용이하여 많이 사용하지만 Duty cycle을 가지기 때문에 수신할 Frame이 없어도 Wakeup 상태를 유지해야 하는 단점을 가진다[6].

T-MAC은 고정적인 사용률(Duty cycle)로 인한 S-MAC의 단점을 보완하기 위해 제안되었으며, timeout을 이용하여 S-MAC의 Idle Listening 전력소모를 보완한다. 즉, timeout 시간까지 Frame의 교환 시도가 없을 경우, Sleep 상태로 천이하여 S-MAC의 Idle Listening으로 인한 소모 전력을 줄이게 된다.

2.5. 동기/비동기 Hybrid MAC 운용

대표적인 Hybrid MAC은 SCP-MAC(Scheduled Channel Polling MAC)[2]을 들 수 있다. SCP-MAC은 동기화 특성을 가진 Scheduled Listening 방식과 LPL(Low Power Listening) 특성을 가진 Preamble 방식(B-MAC)을 혼합하여 구성한 MAC이다. Scheduling Listening 방식은 전송 측면에서는 효율적이지만, 동기화 과정에서 발생하는 Overhead와 Idle Listening이 너무 길다는 단점이 있다. LPL 방식은 Traffic이 없는 상황에서 Listening Cost를 효과적으로 줄일 수 있으나, 전송에 드는 Cost가 높다. 이들의 단점을 보완하고 장점만을 결합한 것이 SCP-MAC이다. SCP-MAC에서는 Ultra low duty cycle을 목표로 한다. 그리고 짧은 시간 동안 Wakeup tone을 사용하여 수신단을 Wakeup 상태로 유지시키고 경합 창(Contention window)를 두어 충돌(Collision)이 감소되도록 정의한다.

III. 저전력 성능 향상 LP-MAC 기법

동기 MAC과 비동기 MAC은 각각 응용에 따른 서로 다른 장단점을 가진다. 동기 MAC의 경우, 동시에 Wakeup 시간을 맞추어 작동하기 때문에 소모 전력 측면에서 효과적이거나 이를 위해서 낮은 Duty cycle로 인하여 전송 지연이 증가한다. 비동기 MAC은 전송 지연을 낮출 수 있는 반면 상대적인 Overhearing, Idle Listening 비율이 높아져 소모 전력이 높다. 이런 서로 다른 한계를 극복하기 위하여 본 논문에서는 전송 지연을 감소시키고, 소모 전력을 낮출 수 있는 LP-MAC 기

법을 제안한다.

3.1. 비동기 망 동작 기법 제안

제안하는 비동기 방식은 X-MAC의 전송 방식을 기반으로 한다. X-MAC은 B-MAC의 LPL(Low Power Listening) 기법을 개량하여 저전력 송수신을 가능하게 한 USN 저전력 MAC protocol이다. Duty cycle을 가지고 있으며, 송신 노드가 수신 노드에 보낼 데이터가 있음을 알리기 위해 Preamble sampling 기법(LPL)을 사용한다. 이 때, 사용하는 Preamble의 길이는 Sleep mode 주기보다 약간 길게 되는데, 수신할 노드, 또는 송신 노드의 이웃 노드들이 긴 Preamble을 끝까지 수신하여야 하므로 에너지가 낭비되고, 전송지연이 발생하는 단점을 지닌다. X-MAC은 이런 Long preamble을 Short preamble로 대체하고, 이를 여러 번 송신하는 Strobe preamble 방법을 사용하여 전력 효율을 높인다.

다음 [그림 2]는 X-MAC의 전송 방식에 근거한 비동기 동작 기법이다.

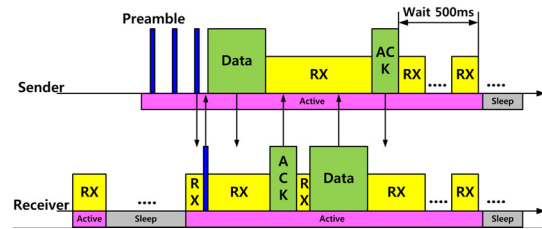


그림 2. X-MAC의 기본 동작
Fig. 2 Basic behavior of X-MAC

[그림 2]에서와 같이 X-MAC의 동작 방식을 활용하여 송신하고자 하는 노드는 Preamble를 주기적으로 송신하고 주기적으로 Listening을 수행하는 수신 노드가 이를 수신하면 Early ACK를 Preamble 형태로 송신하여 Data를 수신할 수 있도록 한다. 모든 Frame 송/수신 절차가 완료되면 추가적인 송/수신을 대비하여 Listening 구간을 연장하여 송/수신 재시도에 의한 Overhead를 줄이도록 정의한다.

앞서 언급한 바와 같이 이와 같은 방법을 사용하게 되면 B-MAC 보다는 적지만 Preamble을 수신 노드가 Listening할 때까지 송신해야 하는 문제를 갖는다. 또, 비동기 방식인 X-MAC을 사용할 경우, 동기 방식과는 달리 빠른 송/수신이 짧은 Duty cycle로 이루어질 수

있다. 이런 장점들을 살리고 단점을 보완하기 위해 X-MAC의 동작 방식에 기반한 비동기 요소에 다음 절에서 제시하는 동기 방식을 추가 제안한다.

3.2. 동기 망 동작 기법 제안

앞서 언급한 동기망의 이점은 시간 동기화를 통한 전력 효율 극대화에 있다. 이를 적용하여 [그림 3]에서와 같은 구조로 모든 노드들이 동기를 유지시키기 위한 Beacon frame을 송신하도록 한다. 동기를 담당하는 Beacon frame을 너무 낮은 Duty cycle로 송신하게 되면 전력 효율이 떨어지게 되므로 사용하는 하드웨어 플랫폼(H/W platform)의 Clock 오차를 감안하여 10분 이상의 Duty cycle로 송신하게 되면 동기를 유지하면서 소모 전력에 크게 영향을 주지 않도록 할 수 있다.

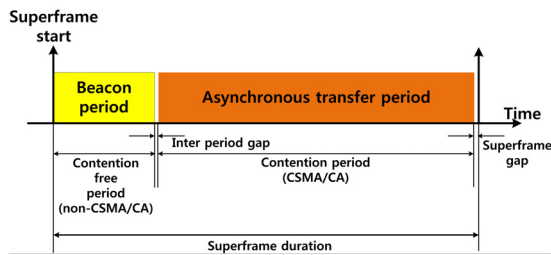


그림 3. 제안 동기 슈퍼프레임 구조
Fig. 3 Proposed synchronous superframe structure

[그림 3]에서 Superframe의 Asynchronous transfer period 구간에 위에서 설명한 X-MAC이 동작하도록 한다. 이렇게 구성함으로써 X-MAC의 단점인 Preamble의 주기적인 전송을 통한 송신 기회 획득의 시간을 대폭 줄일 수 있게 된다. Preamble의 전송 간격을 20ms라고 가정하고 수신측의 RX interval을 1초라고 가정한다면 Preamble은 최대 약 50회 이하로 송신된다. 이는 경우에 따라 심각한 Overhead로 작용할 수 있다. 위와 같이 동기화 된 구조를 사용한다면 Preamble의 손실을 감안하여도 1 ~ 3번의 Preamble 송신으로 충분히 통신 준비를 마칠 수 있다. 이와 같은 방법은 소모 전력 측면 뿐 아니라 송/수신 지연에도 크게 영향을 미친다.

이와 같은 구조에서 고려해야 할 사항이 동기를 위해 사용하는 Beacon이다. 거리가 먼 노드의 경우, 동기 신호를 자식에게 전달하여야 전체 망에서의 동기가 유지될 수 있다. 이를 위해서 모든 노드는 Beacon을 송신하게 되

며, 동기가 맞을 경우, Beacon의 송신 시점의 결정이 필요하다. 동시에 Beacon을 송신하면 모든 Beacon이 충돌하므로 [그림 4]와 같은 방법으로 충돌을 회피한다.

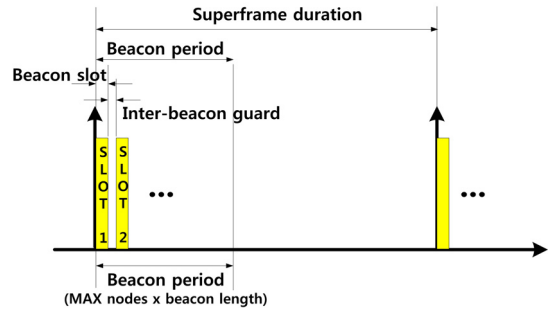


그림 4. Beacon의 할당
Fig. 4 Allocation of beacon

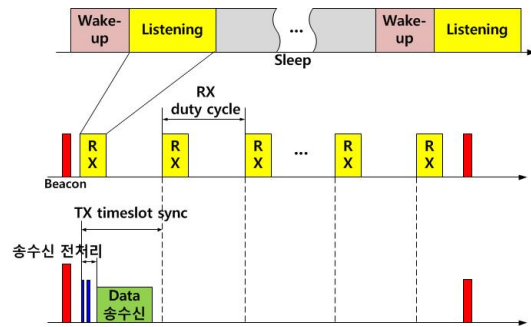


그림 5. 동기/비동기 혼합운용 구조의 LP-MAC 기법
Fig. 5 LP-MAC Technique which the structure is mixture of synchronous and asynchronous mode

이런 방법을 사용하여 전체적인 Superframe 구조는 [그림 5]와 같은 형태로 나타낼 수 있다. 즉, 본 논문에서는 동기 Superframe 내에 존재하는 비동기 MAC의 송/수신 시도에 걸리는 시간을 줄임으로써 소모 전력 및 응답 시간을 줄이는 효과를 얻는 기법을 제안하고 있다.

3.3. LP-MAC 기법 적용 MAC 동작 절차

제안하는 MAC의 초기화 동작 절차는 다음 [그림 6]과 같다. [그림 6]에서 네트워크 구성을 위한 초기화 작동 후 저장되어 있던 채널 설정 정보에 따라서 고정 채널 설정 과정 또는 자동 채널 설정 과정을 진행한다. 채널이 설정된 후 해당 채널로 Beacon request 메시지를

송신한 후 Beacon을 수신하며, 이 과정은 Beacon 수신이 성공할 때까지 반복한다. Beacon 수신이 성공할 경우에는 적당한 Parent을 선택한 후 동기를 맞추며, 네트워크 초기 접속 절차로 이어서 진행한다.

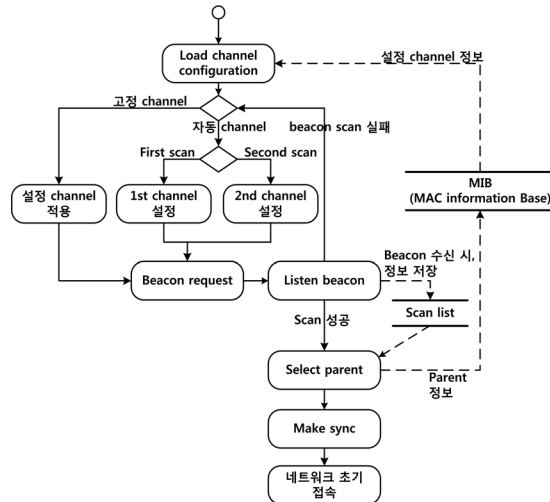


그림 6. LP-MAC 기법 적용 매체 접속 초기화 절차
Fig. 6 Medium access procedure by using LP-MAC technique

3.4. Mesh network 구성 지원

IEEE802.15.4 MAC Beacon mode 구조를 기반으로 동작하는 망이라면 Mesh network을 구성하기 어려운 구조가 된다. 저전력 상태를 유지하면서 주변 Link 상태를 파악하고 Mesh network을 구성하기 위해서는 비동기 방식을 사용하여 빠른 망 상태 파악이 중요하다. 본 논문에서 제시하는 기법은 주변 link의 상태를 노드들이 빠르게 파악할 수 있는 기법을 제시하고 있으며 더불어 저전력 구조를 유지할 수 있는 장점이 있다.

IV. 모의실험 및 분석

제안된 LP-MAC 기법의 성능을 평가하기 위해 LP-MAC 기법이 적용되는 설계, 제작품 H/W platform을 이용하였으며 해당 platform의 구성품에 대한 [표 1] 동작을 통해 [표 2] MAC 구동 파라미터 값으로 모의실험을 수행하였다.

표 1. 통신장치 소모 전류(mA)

Table. 1 Current consumption of communication device

	Wake-up	Sleep	RX	TX
소모전류 (mA)	224.365	2.9	345.3	516.2

시험 보드(board)는 기존 ZigBee 대역을 사용하는 상용 보드를 사용하지 않고 자체 제작한 H/W를 기반으로 사용하여 소모 전력이 다소 높을 수 있다. 사용 전원은 4.038Ah 용량의 12.52V 전지를 사용하여 구현하였다.

표 2. 실험에 대한 파라미터 값

Table. 2 Simulation set up parameters

파라미터	설정값
Preamble length	7.72 ms
Preamble TX interval	20 ms
Data TX를 위한 preamble 전송 duration	100 ms
RX interval	1 ms ~ 6 ms
RX 구간 동안 Listening하는 duration	50 ms
Data TX interval	60 sec

전송 지연 시간 및 소모 전력 측정 시험은 Sleep이 없는 구조에서의 CSMA-CA만으로 동작하는 환경, X-MAC이 적용된 환경, 본 제안이 적용된 환경(WOT-MAC)으로 각각 구분하여 수행하였다.

4.1. 평균 전송 지연 시간 측정

전송 지연 평가는 노드 개수 4개, Duty cycle을 1000 ~ 6000ms로 가변정의하고 Frame 길이는 150byte로 정의하여 3hop을 기준으로 전송 지연을 측정하였다.

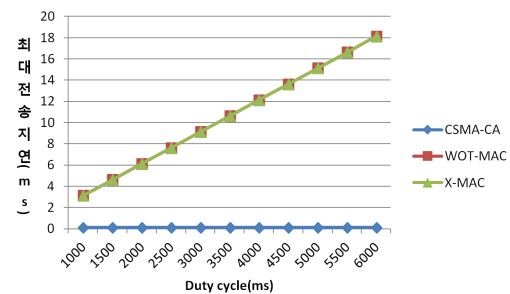


그림 7. Duty cycle에 따른 최대 전송지연
Fig. 7 Maximum delay as duty cycle varies

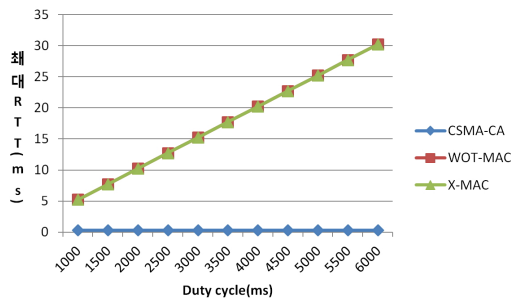


그림 8. Duty cycle에 따른 최대 round-trip time
Fig. 8 Maximum round-trip time as duty cycle varies

위 그림과 같이 X-MAC과 Duty cycle의 측면에서는 동일한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 본 제안이 X-MAC 기반의 비동기 방식을 채택하고 있기 때문이다.

4.2. 평균 에너지 소모량 측정

에너지 소모량 평가는 전송 지연 시간 측정과 동일하게 노드 개수 4개, Duty cycle을 1000 ~ 6000ms로 가변 정의하고 Frame 길이는 150byte로 정의하여 측정하였다. 해당 측정은 최종 leaf node에 해당하는 node의 소모 전력으로 한정하였다.

이와 같이 동일한 지연시간에도 불구하고 소모 전력은 Duty cycle의 증가에 따라 소량 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 비동기 구조에 동기 요소를 추가시켜 대기 시간을 현저히 줄임으로써 효율을 극대화하였다.

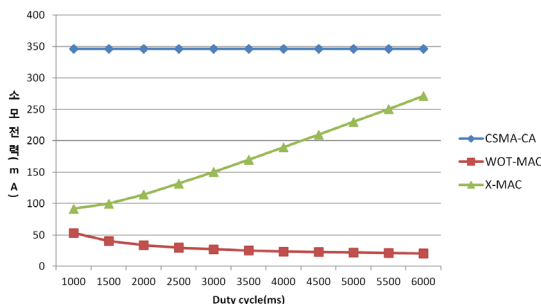


그림 9. Duty cycle에 따른 소모 전력 비교
Fig. 9 Comparison of Current consumption as duty cycle varies

V. 결론

본 논문에서는 무인 원격 무선 네트워크 환경에서의 한정된 전력자원으로 인한 에너지 소모량 및 전송 지연을 줄이기 위한 저전력 성능이 향상된 LP-MAC 동작 기법을 제안하고 자체 제작한 H/W platform을 활용하여 실험에 적용하였다. 무선 네트워크 내에서 매체접속 제어를 위해 Beacon을 이용한 동기를 유지하고 이와 동시에 Superframe을 구성하면서, Superframe 내부에서 비동기 X-MAC의 동작 형태를 기반으로 하는 LP-MAC 기법을 적용함으로써 X-MAC 및 IEEE802.15.4에 비해 높은 에너지 효율과 전송 지연 시간 측면에서의 더욱 차별화된 성능을 확인하였다. 이는 저전력 무선 네트워크가 필요한 환경에서 적용시 더욱 효과를 발휘할 것으로 예상되며, 필수 제어 무선 네트워크 분야에서도 유용하게 기여할 것이다.

향후 연구에는 네트워크 환경에 따라 전력 소모와 전송 지연을 고려한 다양한 운용모드로 개발하여 구현하고자 한다.

REFERENCES

- [1] A.El-Hoiydi and J.-D. Decotignie "WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for the Downlink of Infrastructure Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of the 9th International Symposium on Computers and Communications*, Alexandria, Egypt, pp. 244-251, 2004.
- [2] W. Ye, J. Heidemann J, "SCP-MAC: reaching ultra-low duty cycles (poster)," in *Proc. IEEE SECON'05*, pp.1-2, Sept. 2005.
- [3] Jeong-Yeob Oak, Saewoong Bahk, "Early Preamble MAC to reduce delay and energy consumption in duty cycle based asynchronous wireless sensor networks," *The 2008 Fall conference of IEIE*, 2008.
- [4] Tijs van Dam and Koen Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. SenSys 2003*, pp. 171-180, Nov. 2003.
- [5] Ho-chul Lee, Jeong-hwan Hwang, and Hyun Yoe, "Energy Efficient MAC Protocol for Ubiquitous Agriculture," *International Journal of Smart Home*, Vol.4, No.3, July, 2010.
- [6] Jun Young Nam, "Performance Comparing & Analysis of

- Synchronous and Asynchronous MAC for Hybrid MAC Implementation," Master thesis, Dongguk University, Seoul, 2013.
- [7] Tae-Seok Lee, "Unification of Schedule according to the Energy-Efficient H-SYNC Method in the S-MAC-based Wireless Sensor Networks," Master thesis, Korea University, Seoul, 2005.
- [8] Sarika Khatarkar and Rachana Kamble, "Wireless Sensor Network MAC Protocol: SMAC & TMAC," *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, Vol. 4, No.4, Aug-Sep 2013.
- [9] Sang-Ha, Park, "Performance Enhancement of IEEE 802.15.4 non-beacon mode for Low power Sensor Networks," Master thesis, Kyung Hee University, Seoul, 2008.
- [10] IEEE Std 802.15.4-2006, *IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local metropolitan area networks - Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs)*, IEEE, 2006.



윤종택(Jong-Taek Youn)

1994년 2월 동아대학교 전자공학과(공학사)
2010년 8월 아주대학교 정보통신대학원(공학 석사)
1996년 7월~2014년 8월 현재 LG빅스원(주) 통신연구센터 수석연구원
※관심분야 : 무선통신, 네트워크, MAC, 마이크로웨이브 통신, 무선망 설계



류정규(Jeong-Kyu Ryu)

2000년 2월 대전대학교 컴퓨터공학과 학사
2011년 3월 충남대학교 전자정보통신공학과 공학석사 수료
2000년 1월 ~ 2001년 6월 삼성전자주식회사 연구원
2001년 7월 ~ 2005년 7월 (주)올리넷 과장
2005년 8월 ~ 2006년 7월 (주)에스엔에이치 주임연구원
2006년 9월 ~ 현재 (주)휴메이트 수석연구원
※관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 통신, USN, WLAN, Ad-hoc network, 무선 MAC, 무선 routing



김용이(Yongi Kim)

1998년 2월 한국과학기술원 학사
2000년 2월 한국과학기술원 석사
2010년~현재 LG빅스원(주) 통신연구센터 선임연구원
※관심분야 : 무선통신, WLAN, Ad-hoc network, 라우팅