
Non Beacon Enabled PAN 환경에서 ZigBee Router의 저전력 알고리즘

The Low Power Algorithm of ZigBee Router for Non Beacon Enabled PAN

윤성근, Sungkun Yoon*, 박수진, Sujin Park**, 이호응, Hoeung Lee***,
박현주, Hyunju Park****

요약 ZigBee는 저전력 저속 근거리 무선 통신 프로토콜로서 센서 네트워크에 많은 적용이 되는 프로토콜이다. ZigBee가 PAN을 구성하는 방법은 Beacon Enabled PAN과 Non Beacon Enabled PAN의 두 가지가 존재 한다. Non Beacon Enabled PAN에서 데이터 전송방식은 End-Device가 원하는 시점에 Active 상태에 진입하여 데이터를 보내는 방법으로 저전력을 지원한다. 그러므로 Router는 End-Device가 데이터를 보내는 시간을 정확히 알수 없게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해서 Router는 항상 Active 상태로 존재해야 한다. 이로 인해 Non Beacon Enabled PAN을 사용하는 센서 네트워크에서 Router는 별도의 상시 전원을 공급 받아야한다.

그러나 Non Beacon Enabled PAN의 ZigBee Router가 건전지와 같은 한정적인 전력 공급원을 가지게 되는 상황에서는 안정적인 네트워크 구축이 불가능하게 된다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 PAN Time을 통한 네트워크 동기화를 사용한 저전력 알고리즘을 제안한다. End-Device는 PAN Time을 사용하여 PAN의 동기화를 수행하며, PAN Time을 통해 Router의 저전력 진입을 지원한다.

Abstract ZigBee is Low Power and Low Data Rate Wireless Communication protocol. It apply to much Ubiquitous Sensor Network. ZigBee PAN is two type PAN. One is Beacon Enabled PAN, the other is Non Beacon Enabled PAN. To support Low Power in Non Beacon Enabled PAN, End-Device enter Active status at End-Device's wishing time and send a data. So, Router does not know End-Device sends a data time. To solving this problem, Router must always exist to Active status. In this case, Router receive a power supply always in Non Beacon Enabled PAN. But Router does not receive a power supply always, Router can not normal operation, such as Router use a battery. To solve this problem, Router will be support low power.

In this paper, we will present Router's Low Power Algorithm. And we suggest 'PAN Time'. Device use 'PAN Time' for PAN synchronous. Router using Low Power Algorithm can be enter to inactive status. So Non Beacon Enabled PAN of Router support the low power mode. Therefore Router does not receive a power supply always, Router can normal operation.

핵심어: IEEE 802.15.4, ZigBee, Non Beacon Enabled PAN, Low Power,

본 논문은 2007년 한밭대학교 BK21 사업에 의하여 연구되었음.

*주저자 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전파공학과 석사과정 e-mail: anytimesk@naver.com

**공동저자 : 한밭대학교 정보통신공학과 학부과정 e-mail: macsnh@nate.com

***공동저자 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 박사과정 e-mail: hoeung@naver.com

****교신저자 : 한밭대학교 전파공학과 정교수; e-mail: phj@hanbat.ac.kr

1. 서론

ZigBee는 저전력 저속 근거리 무선 통신 프로토콜로서 센서 네트워크에 많은 적용이 되는 프로토콜이다. ZigBee가 PAN을 구성하는 방법은 Beacon Enabled PAN과 Non Beacon Enabled PAN의 두 가지가 존재 한다.[1-3]

Beacon Enabled PAN은 Beacon을 기준으로 Active 구간과 Inactive 구간을 구분지어 저전력 모드를 지원하는 방법이다. 그러나 주변에 ZigBee와 동일 주파수 대역의 Bluetooth나 IEEE 802.11 표준과 같은 무선랜의 사용이 많은 환경에서는 주변의 무선 환경이 나빠 정상적인 데이터 송수신이 어려운 단점이 존재한다.[4]

Non Beacon Enabled PAN은 End-Device가 원하는 시점에 Active 상태에 진입하여 데이터를 송수신한다. 그러므로 Beacon Enabled PAN에 비해 주기적으로 보내는 Beacon이 없어 무선 환경의 영향을 덜 받는 장점이 존재한다. 그러나 Device가 데이터를 송수신 시점을 Router가 알 수가 없기 때문에 항상 Active 상태에 존재하면서 End-Device의 데이터 송수신 요청을 처리해야 한다. 그러므로 Non Beacon Enabled PAN을 사용하는 센서 네트워크에서 Router에게 건전지와 같은 한정된 전원보다는 별도의 안정적인 전원을 공급해야한다.

본 논문에서는 Non Beacon Enabled PAN에서 Router의 저전력 알고리즘을 제안하며, 실제 보드에 적용하여 기존 ZigBee와 저전력 알고리즘 적용에 따른 Router의 동작 시간을 비교 평가한다.

2. 관련 연구

2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 표준은 Beacon Enabled PAN과 Non Beacon Enabled PAN의 두 가지 방법으로 PAN을 구축한다. PAN은 하나의 PAN Coordinator와 하나 이상의 End-Device로 구성된다.

Beacon Enabled PAN은 PAN Coordinator가 PAN에 속한 End-Device들에게 주기적으로 Beacon을 보내는 방법으로 PAN을 제어하는 방법이다. End-Device는 Beacon에 기록된 정보를 바탕으로 PAN Coordinator가 동작하는 주기와 데이터 전송 구간을 얻어 낼 수 있으며, End-Device는 이 정보를 바탕으로 PAN Coordinator와 동기를 맞춰 데이터 송수신을 할 수 있다. 그림 1은 Beacon Enabled PAN에서의 데이터 송수신 절차이다. 그림 1-a는 End-Device가 Coordinator에 데이터를 전송하는 절차로 Beacon을 통해 Coordinator의 데이터 수신이 가능한 시간을 알아낸 뒤 해당 시간에 데이터를 송신한다.

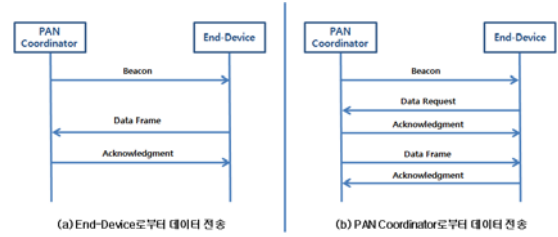


그림 1 Beacon Enabled PAN에서 데이터 전송

그림 1-b는 Coordinator가 End-Device에게 데이터를 전송하는 절차로 Coordinator는 Beacon에 해당 Device가 전송 받을 데이터가 있음을 기록하여 보낸다. 그 이유는 Coordinator에서는 자신이 데이터를 보내고 싶은 시점에 End-Device가 Active 상태에 진입했는지를 모르기 때문에 End-Device가 Beacon 수신을 위해 Active 상태로 진입한 구간에서 송신할 데이터가 있음을 통지하여 데이터 수신이 가능하게 한다. Beacon을 수신한 End-Device는 해당 시간에 데이터를 요청하여 Coordinator로부터 데이터를 수신 받는다. 이와 같이 PAN Coordinator는 End-Device가 데이터 송수신이 가능한 Active 구간과 저전력 모드로 진입 할 수 있는 Inactive 구간을 정의하여 Device들의 저전력 모드를 지원한다. 또한 End-Device와 Beacon을 통해 동작 시간을 동기화 했으므로 Coordinator 역시 저전력 모드로 진입이 가능하다.

Non-Beacon Enabled PAN은 Beacon Enabled PAN과는 달리 PAN Coordinator가 PAN에 속한 Device 들에게 Beacon을 보내지 않고 PAN을 제어하는 방법이다. Beacon에 의한 PAN 동기화가 이루어지지 않았기 때문에 End-Device는 원하는 시간에 데이터를 전송하는 방법으로 데이터를 송수신한다. 그림 2는 Non Beacon Enabled PAN에서의 데이터 송수신 절차이다.

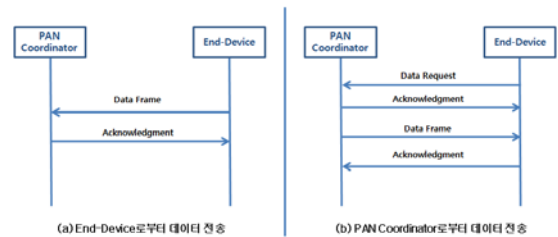


그림 2 Non Beacon Enabled PAN에서 데이터 전송

그림 2-a는 End-Device로부터 PAN Coordinator에게 데이터가 전송되는 그림이다. PAN Coordinator는 End-Device가 데이터를 송신하는 시점을 모르므로 항상 Active 상태에 존재해야한다. 이를 통해 End-Device는 원하는 시점에 PAN Coordinator에게 데이터를 송신한다. 반대로 PAN-Coordinator가 End-Device로 데이터를 송신하고 싶을 때는 문제가 발생한다. 그 이유는 End-Device가 동작하고 있는지를 판단 할 수 없기 때문이다. End-Device

는 자신이 정한 동작을 수행하고 저전력 모드를 지원하기 위해 저전력 모드로 진입할 상태일 수 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해 PAN Coordinator는 End-Device에게 보낼 데이터를 저장해둔다. 그림 2-b는 PAN Coordinator가 End-Device에게 데이터를 송신하는 절차로서 End-Device는 PAN Coordinator에게 Data Request 명령을 보내 PAN Coordinator에게 자신이 동작 중임을 알려주며 자신에게 보낼 데이터의 송신을 요청한다. PAN Coordinator는 해당 요청이 왔을 경우 저장된 데이터 중에 Data Request 명령을 보낸 End-Device에게 보낼 데이터가 있는지를 조사한다. 만약 보낼 데이터가 존재하면 해당 데이터를 송신함으로써 데이터 전송이 이루어진다. End-Device는 Non-Beacon Enabled PAN에서 자신이 원하는 시점에 데이터를 송신하므로 주기적으로 Beacon 수신을 위해 RF 모듈을 동작시켜야 하는 Beacon Enabled PAN에서보다 우수한 저전력 모드를 지원한다. 그러나 PAN Coordinator는 End-Device의 요청을 처리하기 위해서 항상 Active 상태에 존재하므로 Beacon Enabled PAN에서와는 달리 저전력 모드를 지원하기 어렵다.

2.2 ZigBee

ZigBee는 IEEE 802.15.4 표준에서 구축된 PAN을 하나의 클러스터로 인식하여 이를 네트워크로 구성하게 해주는 네트워크 계층 정의한 표준이다.

그림 3은 Beacon Enabled PAN에서의 Coordinator와 Router의 Beacon 송수신 관계이다. 그림에서처럼 Router는 정해진 시간에 Coordinator의 Beacon을 수신 받은 뒤 Coordinator의 Inactive 구간에서 Router의 동작을 위한 구간을 선택하여 자신에게 조인된 Device들을 위한 Active 구간을 설정하여 데이터 송수신이 가능하게 해준다. Router는 수신 받은 데이터 중 라우팅이 필요한 데이터를 Coordinator의 동작 주기에 전송하여 자신에게 조인한 End-Device의 데이터의 라우팅을 수행한다. 이와 같이 Beacon을 사용하여 Coordinator와 Router는 Inactive 상태로 진입할 수 있는 구간을 정의할 수 있다. 이를 통해 Router는 Inactive 구간 동안 저전력 모드로 진입한다.

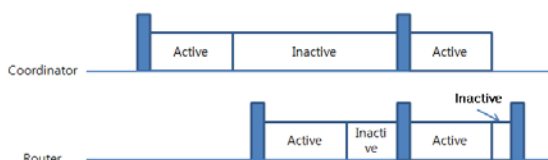


그림 3 Coordinator와 Router의 Beacon 송수신 관계

그러나 Non Beacon Enabled PAN으로 구축된 ZigBee 네트워크에서는 클러스터 내부에서 Beacon을 사용하지 않음으로 인해 그림 3에서 정의한 슈퍼프레임 구조를 활용할 수

없다. 이로 인해 Non Beacon Enabled PAN의 Router는 Beacon Enabled PAN의 슈퍼프레임의 Inactive 구간과 같은 저전력 모드 지원 구간을 정의할 수 없게 된다. 이로써 Non Beacon Enabled PAN에서 Router는 저전력 모드를 지원할 수 없다.

앞에서 설명한 바와 같이 Non Beacon Enabled PAN에서는 Router의 저전력 모드 지원이 어렵다. 이를 해결하기 위해서 Router는 상시 전원을 공급해주거나 Beacon Enabled PAN으로 PAN을 구성해야 한다.

3. ZigBee Router의 저전력 알고리즘

Beacon Enabled PAN을 구축하기 어려운 상황에서 Non Beacon Enabled PAN을 구축한 경우 네트워크의 저전력을 위해 Router가 저전력 모드로 진입하게 되면 Router에 조인되었던 End-Device가 데이터 처리를 할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해서는 End-Device는 Router의 Active 상태에 존재하는 시간과 Inactive 상태에 존재하는 시간을 알아야 한다. 그러나 Beacon과 같이 주기적으로 데이터를 보내 동기화를 유지하는 방법을 사용하게 되면 주변 무선 환경과 End-Device의 저전력 효율이 떨어지게 된다.

그러므로 주기적으로 Beacon과 같은 데이터를 보내지 않고 동기화를 유지하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방법으로 Non Beacon Enabled PAN의 Device가 각자 PAN의 동작 시간과 동작 주기를 유지하는 방법을 통해 동기화를 수립하는 방법을 제안한다. 이를 통해 PAN을 구성하는 모든 Device가 동작 시간과 동작 주기를 유지하여 자신이 동작해야 할 시간을 알 수 있게 된다.

3.1 End-Device와 Router 동기화

Non Beacon Enabled PAN의 Router의 저전력 모드를 지원하기 위해 망에 모든 Device는 동기화가 이루어져야 한다. 동기화를 위해서 Device들은 'PAN Time'이라는 PAN의 시간 정보를 설정한다. 각각의 Device는 PAN Time을 바탕으로 각자의 동작시간 및 다른 Device의 동작시간을 판단한다. 그러나 최초 Device가 제작되었을 때의 시간이 다르기 때문에 Device들이 유지하는 PAN Time은 각각 다르다. 이렇게 다른 PAN Time을 가지게 되면 정상적인 동기화가 이루어지지 않는다.

이를 위해 Device들은 PAN에 조인을 하고 난 뒤 PAN Time 값을 얻는 PAN 동기화 과정을 수행해야 한다. 그림 4는 End-Device가 조인한 뒤 시간 동기화하는 절차이다.

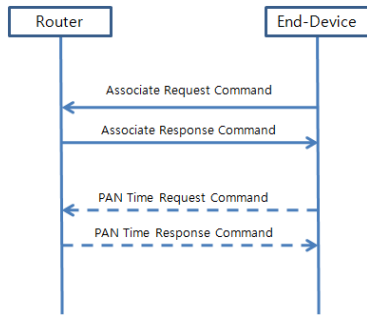


그림 4 개선된 조인 절차

End-Device는 Router에 조인을 요청하고 성공적으로 PAN에 조인하면 Router의 PAN Time을 요청하여 PAN Time 값을 전달 받아 End-Device의 PAN Time을 전달 받은 값으로 설정하여 Router와 PAN Time 동기화를 이룬다. 이렇게 조인 절차와 PAN 동기화를 따로 진행하는 것은 ZigBee 조인 절차에서 조인 요청에 대한 수락으로 보내는 Association Response Command가 Pending 방식으로 데이터를 전송하기 때문에 Association Response Command가 전송되는 시점이 늦어져 정확한 시간 동기화를 이룰 수 없기 때문이다. 그러므로 별도의 PAN Time 동기화 절차를 이용하여 Router와 End-Device는 동기화를 진행한다. Router와 End-Device는 동기화된 PAN Time을 이용하여 저전력 모드를 수행한다.

3.2 Router 저전력 알고리즘

앞에서 설명한 것처럼 Router는 PAN Time을 사용하여 End-Device와 동기화를 수행하였다. 동기화를 통해 End-Device는 Router가 사용하는 PAN Time과 동일한 시간을 사용하게 된다. Router는 동작 주기와 동작 시간을 설정해 저전력 모드 진입을 한다. Router의 동작 주기와 동작 시간을 설정할 때 다음과 같은 규칙을 사용하여 정의하였다.

1) 동작 시간은 분과 초 단위를 사용하며 항상 매 정시부터 동작을 시작한다.

2) Router의 동작 주기는 End-Device의 동작 주기의 약수이다.

1)번 규칙에 의해 Device의 Active 진입을 판단하는 시간이 매 정시로 통일되어 Device가 진입 가능한 시간을 시간 단위로 판단하여 시간 단위의 저전력 진입이 가능하게 된다.

2)번 규칙은 저전력 알고리즘에서 중요한 전제조건이다. 일반적으로 End-Device는 Router에 비해 처리할 동작이 많지 않으므로 Active 상태로 진입하는 경우가 적다. 즉 Router의 동작 주기가 End-Device의 동작 주기보다 짧게 된다. 이 경우 End-Device의 동작 주기가 Router의 동작 주기의 배수로 동작 하지 않으면 PAN Time 동기화를 수행해도 Router의 동작 주기와 맞지 않는 상황이 존재한다. 이를 해

결하기 위해서 Router는 2)번 규칙에 따라 동작 주기가 결정된다.

앞의 2가지 규칙을 통해 PAN의 End-Device는 Router의 동작 시간과 동작 주기를 판단 할 수 있게 된다. 이를 통해 Router는 저전력 모드 진입이 가능하다. Router는 End-Device와 2가지 규칙에 따라 동작 주기와 시간을 정의하고 저전력 모드로 진입한다. Router는 주기적으로 PAN Time을 확인하여 Active 상태의 진입 여부를 결정한다. 이때, Device의 RF 모듈과 같은 부분은 Inactive 상태를 유지하여 저전력 상태를 유지한다. 그림 5는 Non-Beacon Enabled PAN에서 Router의 저전력 알고리즘의 순서도이다.

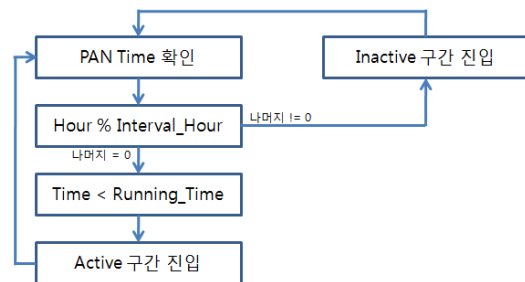


그림 5 저전력 모드 진입 알고리즘 순서도

PAN Time에는 시간, 분, 초의 정보가 기록 되어 있다. Hour는 Router가 가지고 있는 PAN Time의 시간 값을 나타내며, Interval_Hour는 동작 주기를 나타낸다. 1)번 규칙에 의해 Hour값을 Interval_Hour로 나눈 나머지가 0인 경우는 Interval_Hour로 정의한 시간마다 1번씩 나온다. 이를 활용하여 Device는 나머지 값이 0이 아닌 구간에서는 Inactive 상태로 진입한다. 이로써 Router는 Interval_Hour 간격으로 Active 구간에 진입할 수 있게 된다. 1)번 규칙에 의해 Active 상태로 진입한 Router는 계속 PAN Time의 분과 초 값을 읽어 미리 정의된 동작 시간 값과 비교하여 지금 시간이 동작 시간을 지났는지를 판단한다. 1)번 규칙에 의해 정의된 동작 시간 값보다 작으면 Active 상태를 유지하고 그렇지 않으면 동작 시간이 이미 지난 것이므로 Inactive 상태로 진입한다.

4. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 저전력 알고리즘의 성능 평가를 위해 테스트 보드를 제작하였다. 테스트 보드의 기본 구조는 ZigBee 센서 모듈 보드 중에서 가장 많이 사용되는 ATmega128L과 CC2420조합을 사용하였다. 제안한 저전력 알고리즘에서 사용되는 PAN Time의 유지를 위해서 테스트 보드는 별도의 RTC를 사용하였다. 그림 6은 성능 평가를 위해 제작한 테스트 보드이다.



그림 6 테스트 보드

4.1 성능 평가 시나리오

성능 평가 시나리오는 그림 7과 같이 구성된다.

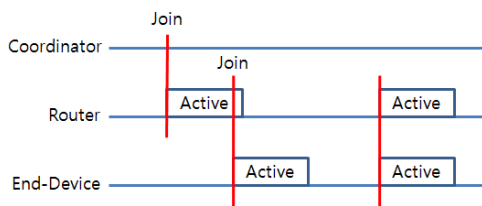


그림 7 성능 평가 시나리오

첫째, 저전력 알고리즘의 정상적인 동작을 위한 PAN Time 동기화 절차가 잘 이루어지는지를 Packet Sniffer를 사용하여 PAN 동기화가 잘 이루어지는 지를 판단한다. 또한 저전력 알고리즘 적용으로 인해 PAN의 정상적인 동작에 문제가 발생하는지를 점검하기 위해서, Router와 End-Device가 저전력 알고리즘에 의해 정확히 예약된 시간에 Active 구간으로 진입하여 저전력 모드에 있던 망이 정상적으로 동작하는 지를 판단한다. 이를 위해 Coordinator에 조인된 Router에 End-Device를 조인 시켜 Router의 다음 동작 시간에 Router와 End-Device가 Active 상태에 진입한다. Active 상태에 진입한 End-Device는 Router에 데이터를 전송하여 Router가 정상적으로 데이터를 수신하는지를 확인한다.

둘째, Router가 Active 상태일 때와 Inactive 상태일 때의 소비전력을 측정하여 Router의 최대 동작 시간을 계산한다. 이를 기존 Non Beacon Enabled PAN에서 Router의 최대 동작 시간과 비교하여 제안한 저전력 알고리즘을 통해

얻을 수 있는 이득을 살펴본다.

4.2 성능 평가 결과

저전력 알고리즘에 사용되는 PAN Time의 동기화가 잘 수행되었는지를 판단하기 위해 Packet Sniffer를 사용하여 동기화 절차가 수행되는 과정을 캡처하였다. 그림 8은 PAN Time 동기화 절차를 Packet Sniffer를 통해 캡처한 것이다. 그림 8에서 Packet Sniffer가 Unknown command로 나타난 부분은 IEEE 802.15.4 표준의 명령이 아닌 논문에서 제시한 PAN Time Request Command와 PAN Time Response Command로서 Packet Sniffer가 이를 인식하지 못해서 나타나는 부분이다. 실제 전송 데이터는 그림에서 나타난 바와 같이 구성되어 있다.

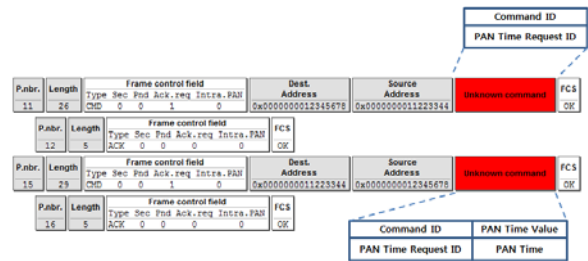


그림 8 PAN Time 동기화 절차

그림 9 조인 절차를 완료한 뒤 End-Device가 Router에게 데이터를 전송하는 부분이다. Router에게 보내는 데이터를 End-Device에서 사용하는 PAN Time 값을 읽어 NWK Payload에 시, 분, 초순으로 배열하여 전송하였다. 이를 이용하여 저전력 알고리즘의 동작 여부를 판단하였다. 이를 위해 2시간 간격으로 15초씩 동작하는 PAN을 구성하여 저전력 알고리즘의 정상적인 동작을 살펴보았다.

그림에서 End-Device가 데이터를 보내는 순간의 NWK Payload에 기록된 시간이 0시 0분 0초로 나타났으며, 그 다음 전송된 NWK Payload에 2시 0분 0초로 End-Device와 Router의 저전력 알고리즘에 의해서 Router와 End-Device가 정상적으로 저전력 알고리즘을 수행함을 판단 할 수 있었다. 이를 통해 저전력 알고리즘이 Router의 정상적인 동작 수행에 문제가 되지 않음을 알 수 있다.

P.nbr.	Length	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req Intra.PAN	Dest. Address 0x0000000012345678	Source Address 0x0000000011223344	MAC payload 44 00 00 00 01 00 04 0F 00 00 00	NWK Frame control field Type Version DR GA Sec	NWK Dest. Address 0x0000	NWK Src. Address 0x0001	NWK payload 00 00	FCS OK
17	36	DATA 0 0 1 0								
P.nbr.	Length	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req Intra.PAN	FCS OK							
18	5	ACK 0 0 0 0								
P.nbr.	Length	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req Intra.PAN	Dest. Address 0x0000000012345678	Source Address 0x0000000011223344	MAC payload 44 00 00 00 01 00 04 10 02 00 00	NWK Frame control field Type Version DR GA Sec	NWK Dest. Address 0x0000	NWK Src. Address 0x0001	NWK payload 02 00	FCS OK
19	36	DATA 0 0 1 0								
P.nbr.	Length	Frame control field Type Sec Pnd Ack.req Intra.PAN	FCS OK							
20	5	ACK 0 0 0 0								

그림 9 End-Device 데이터 전송

4.2 저전력 알고리즘 적용시 Router 동작 시간

Active 구간과 Inactive 구간에서의 소비전력을 측정할 결과 Active 구간에서는 47mA를 소비하였다. 그리고 Inactive 구간에서는 Device의 저전력 모드 진입으로 30uA로 낮은 소비전력이 측정되었다. 저전력 알고리즘이 적용이 안 된 기존 Non Beacon Enabled PAN에서 ZigBee Router의 경우 2500mAh의 건전지를 사용했을때 53.2시간 밖에 사용하지 못한다. 그러나 저전력 알고리즘을 적용하면 Inactive 구간진입이 가능하므로 보다 오랜 시간을 동작할 수 있다. 이를 계산하기 위해 측정 결과를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 Router의 동작 시간을 측정하였다.

시뮬레이션을 위해 사용되는 건전지는 2500mA를 사용하는 상황을 설정하였다. 또한 저전력 알고리즘 적용에 따른 Inactive 구간에 따른 효율을 비교를 위해 1일 동안 각기 다른 동작 주기에 따른 동작 시간을 다르게 설정했다. 그러나 정확한 비교를 위해 1일 총 동작 시간을 24초로 설정하여 주기에 따른 동작 시간을 다르게 설정하였다. <표 1>은 1일 기준 동작 주기에 따른 동작 시간과 그에 따른 Device의 최대 동작 시간에 대한 결과이다.

<표 1> 동작 주기에 따른 동작 시간 설정 값

동작 주기	3시간	4시간	6시간	8시간
동작 시간	3초	4초	6초	8초
최대 동작 시간	674 일	701 일	733 일	751 일

5. 결론

앞에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서 제시한 저전력 알고리즘을 적용한 경우 기존 Non-Beacon Enabled PAN 환경에서 Router의 최대 동작 시간이 최대 3년 가까이 늘어남을 살펴 볼 수 있었다. 또한 Packet sniffer를 통한 동기화 관련 실험에서 저전력 알고리즘으로 인해 Router와 End-Device 사이의 데이터 송수신에 문제가 없음을 확인하였다. 이를 통해 기존의 Non Beacon Enabled PAN보다

Router를 오래 사용할 수 있었다. Router의 최대 동작 시간이 늘어나면서 기존 Non Beacon Enabled PAN에서 Router에게 별도의 안정적인 공급이 아닌 일반적인 건전지를 사용해도 PAN의 동작에 문제가 없음을 확인 하였다.

향후 연구 과제로는 Router의 저전력 모드 진입 구간에서 새로운 End-Device가 조인을 요청하는 경우 End-Device가 보다 효율적인 전력 사용으로 PAN에 조인하는 알고리즘에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 이를 통해 현재 동작 주기를 통해서만 End-Device의 최대 동작 시간 보장에 대한 문제점을 해결해야 할 것이다.

또한 PAN Time에 대한 동기화를 위해 조인 절차 수행 중 PAN Time 동기화 과정을 추가돼 기존 조인과정보다 트래픽이 늘어나는 문제점이 존재하였다. 이를 해결하기 위해 조인 과정에서의 트래픽을 분산하는 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.



참고문헌

- [1] 이원준, 이춘화, "저속 WPAN IEEE 802.15.4 센서 네트워크" 홍릉과학출판사, pp. 1~194, 2005.
- [2] IEEE Standard, 'IEEE 802.15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)', IEEE 802.15.4, pp.1-186, 2003 October.
- [3] Zigbee Alliance, 'Zigbee Specification', Zigbee, pp.1-378, 2004 December.
- [4] Bernhard H. Walke, Stefan Mangold, Lars Berlemann, 'IEEE 802 Wireless System', pp.119-121, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [5] FreeRTOS, <http://www.freertos.org>
- [6] Jose A. Gutierrez, Marco Naeve, Ed Callaway, Monique Bourgeois, Vinay Milter, Bob Heile, "IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Power Low-Cost Wireless Personal Area Networks", IEEE Network Magazine, vol.15, September/October 2001, pp. 12-19,2001