



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0085298  
(43) 공개일자 2021년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H04W 40/10 (2009.01) H04W 40/16 (2009.01) H04W 52/02 (2009.01) H04W 74/08 (2019.01) H04W 84/18 (2009.01)	(71) 출원인 광운대학교 산학협력단 서울특별시 노원구 광운로 20, 광운대학교 내 (월계동)
(52) CPC특허분류 H04W 40/10 (2013.01) H04W 40/16 (2013.01)	(72) 발명자 이형근 서울특별시 서초구 신반포로16길 15-20
(21) 출원번호 10-2019-0178195	(74) 대리인 김익수
(22) 출원일자 2019년12월30일 심사청구일자 없음	

전체 청구항 수 : 총 10 항

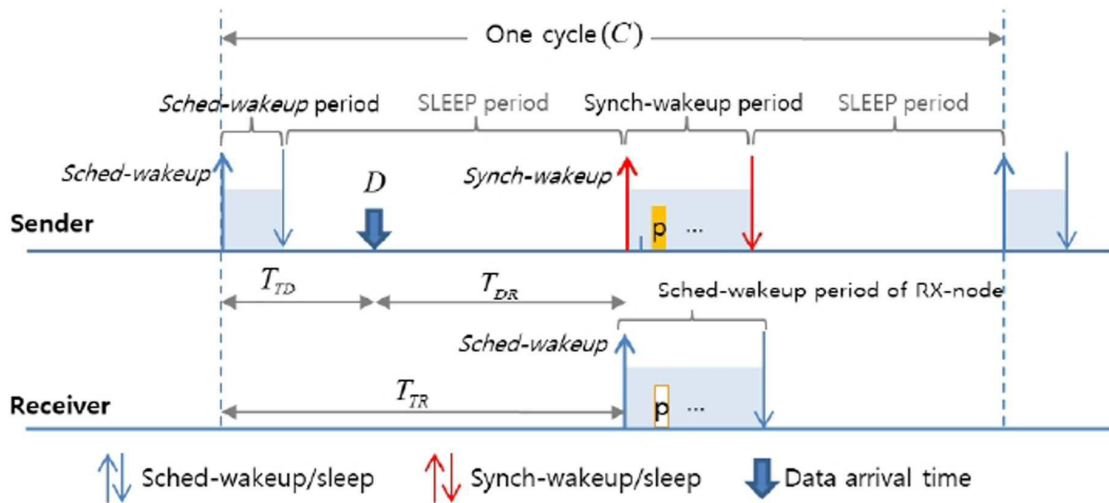
(54) 발명의 명칭 듀티 사이클 무선 센서 네트워크에서 저전력/저지연 경로 설정을 위한 라우팅 메트릭을 이용하는 무선 통신 방법

(57) 요약

본 발명은 듀티 사이클 무선 센서 네트워크에서 저전력/저지연 경로 설정을 위한 라우팅 메트릭을 이용하는 무선 통신 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 무선 통신 방법은, 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서, 전송 노드가 웨이크 업 되어 주소 정보를 삽입한 프리앰블을 생성하여, 얼리 애크(Early-ACK)를 수신할 수 있는 간격

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



을 두면서 프리앰블을 반복적으로 전송하는 과정, 프리앰블을 수신한 적어도 하나의 이웃 노드에서, 자신의 웨이크 업 스케줄을 예측할 수 있는 시간 정보가 삽입된 얼리 액세스를 전송 노드로 전송하는 과정, 전송 노드에서 시간 정보에 기초하여, 적어도 하나의 이웃 노드 중에서 데이터를 전송할 수신 노드를 선택하는 과정, 및 전송 노드에서 선택한 수신 노드로 데이터 전송이 이루어지는 과정을 포함한다. 본 발명에 따르면, 긴 지연 시간과 함께 많은 에너지를 낭비하는 경로 설정을 방지함으로써 에너지 효율적이고 저지연의 무선 센서 네트워크를 구성할 수 있다.

(52) CPC특허분류

*H04W 52/0225* (2013.01)

*H04W 74/085* (2013.01)

*H04W 84/18* (2013.01)

*Y02D 30/70* (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017-0-00096
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신연구진흥센터
연구사업명	SW중심대학지원사업
연구과제명	SW중심대학지원사업(광운대)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	광운대
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서, 전송 노드가 웨이크 업 되어 주소 정보를 삽입한 프리앰블 (preamble)을 생성하여, 얼리 애크(Early-ACK)를 수신할 수 있는 간격을 두면서 상기 프리앰블을 반복적으로 전송하는 단계;

상기 프리앰블을 수신한 적어도 하나의 이웃 노드에서, 자신의 웨이크 업 스케줄을 예측할 수 있는 시간 정보가 삽입된 얼리 애크를 상기 전송 노드로 전송하는 단계;

상기 전송 노드에서 상기 시간 정보에 기초하여, 상기 적어도 하나의 이웃 노드 중에서 데이터를 전송할 수신 노드를 선택하는 단계; 및

상기 전송 노드에서 상기 선택한 수신 노드로 데이터 전송이 이루어지는 단계를 포함하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전송 노드가 상기 선택한 수신 노드로 데이터 전송을 완료한 후, 수면 상태로 전환하는 단계를 더 포함하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 전송 노드는 상기 시간 정보를 참조하여, 상기 선택한 수신 노드의 웨이크 업 시간에 맞추어 상기 수면 상태에서 웨이크 업 되는 것을 특징으로 하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 시간 정보는, 상기 듀티 사이클 주기 안에서 웨이크 업 상태로 되는 시간에 대한 정보인 것을 특징으로 하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전송 노드가 다른 노드와의 프리앰블 충돌을 방지하기 위하여, 랜덤 백 오프 과정을 수행하는 단계를 더 포함하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전송 노드가 상기 이웃 노드로부터 소정 시간 내에 상기 시간 정보가 삽입된 얼리 애크를 수신하지 못하며, 수면 상태로 전환하는 단계를 더 포함하는 무선 통신 방법.

#### 청구항 7

듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서, 웨이크 업 되어 주소 정보를 삽입한 프리앰블을 생성하여, 얼리 애크(Early-ACK)를 수신할 수 있는 간격을 두면서 상기 프리앰블을 반복적으로 전송하는 전송 노드; 및

상기 프리앰블을 수신하여, 자신의 웨이크 업 스케줄을 예측할 수 있는 시간 정보가 삽입된 얼리 애크를 상기 전송 노드로 전송하는 적어도 하나의 이웃 노드;를 포함하며,

상기 전송 노드는 상기 시간 정보에 기초하여, 상기 적어도 하나의 이웃 노드 중에서 데이터를 전송할 수신 노드를 선택하여, 상기 선택한 수신 노드로 데이터를 전송하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 시스템.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 전송 노드는, 상기 수신 노드로 전송할 데이터가 존재하는 경우, 상기 시간 정보를 참조하여, 다음번 웨이크 업을 상기 선택한 수신 노드의 웨이크 업 스케줄에 맞추어 동작하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 시스템.

**청구항 9**

제7항에 있어서,

상기 전송 노드가 상기 선택한 수신 노드로 데이터 전송을 완료한 후, 수면 상태로 전환하는 것을 특징으로 하는 무선 통신 시스템.

**청구항 10**

제7항에 있어서,

상기 시간 정보는, 상기 전송 노드의 웨이크 업 시간 테이블에 저장되는 것을 특징으로 하는 무선 통신 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

- [0001] 본 발명은 무선 통신 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서 저전력 및 저지연 경로 설정을 지원하는 라우팅 메트릭을 이용하는 무선 통신 방법에 관한 것이다.
- [0002] 본 발명은 IITP 감독하는 SW 중심대학사업(National Program for Excellence in SW)에 따라 한국 MIST가 지원 하는 연구 결과로부터 도출된 것이다(과제 고유번호: 2017-0-00096)

**배경 기술**

- [0003] 무선 센서 네트워크(WSN; Wireless Sensor Network)는 센서 노드(sensor node)들이 센서를 통해 주변 환경을 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 다양한 응용이 가능한 기술로써, 군사지역에서 침입을 감지하는 보안용도, 자연 환경에서 동물들을 감지하기 위한 용도, 특정 지역에서 습도나 온도 등의 환경 정보를 모니터링하기 위한 용도 등으로 사용될 수 있다.
- [0004] 무선 센서 네트워크는 WLAN 및 Bluetooth와 같은 다른 네트워크와 달리 자체 배터리를 변경하거나 충전할 수 없으며, 보통 배터리와 같은 용량이 제한된 에너지를 사용하고 있다. 이에 따라, 에너지 효율은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드를 위한 프로토콜을 설계할 때 근본적이고 중요한 고려 사항이다. 많은 수의 노드를 배치 하는 것과 함께 에너지 제약은 센서 노드, MAC 및 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜을 설계하는데 어려움을 낳으며, 에너지를 효율적으로 관리하고 사용하는 것이 매우 중요하다.
- [0005] 이와 같이 무선 센서 네트워크에 대한 저전력 설계 요구가 증가하면서, 수면(sleep) 상태와 동작(active) 상태를 반복하는 듀티 사이클(duty cycle)을 많이 이용하고 있다. 듀티 사이클의 이용에 의해, 수면 상태 동안에는 전파의 송수신을 모두 꺼서 에너지를 절약할 수 있지만 동시에 전송지연이 발생하게 된다.
- [0006] 듀티 사이클의 동작 방식에는 동기 방식의 듀티 사이클과 비동기 방식의 듀티 사이클과 같은 두가지 방식이 있다. 동기 방식의 경우 SYNC와 같은 주기적 제어 프레임에 교환하여 각 노드의 듀티 사이클에서의 활성 구간을 동기화시킨다. 이러한 추가 제어 프레임은 낭비되는 에너지 사용을 유발하며, 매체를 액세스하기 위한 공통 기간이 겹치면 프레임 간의 충돌이 발생한다. 이와 같이 동기 방식의 듀티 사이클에는 프로토콜 오버헤드라는 해결하기 어려운 문제가 있어 현실적으로는 비동기 방식 듀티 사이클이 널리 사용된다.
- [0007] 그런데, 비동기 방식의 듀티 사이클은 프로토콜 오버헤드의 문제는 해결할 수 있지만 센서 노드간에 동작 구간

이 달라 지연시간이 동기 방식에 비해 증가하는 현상이 일어난다. 특히 수신노드의 듀티 사이클을 기다리면서 프리앰블을 지속적으로 전송하기 때문에 노드의 에너지원이 낭비되는 부분이다.

[0008] 따라서, 라우팅 프로토콜에서 듀티 사이클에 의한 대기시간을 최소화하는 경로를 선정한다면 이는 전체 전송 시간을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 사용되는 에너지도 최적화할 수 있다.

[0009] 그러므로, 이와 같은 대기 시간을 최소화할 있는 경로 설정을 통해 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성과 시간 지연을 최소화할 수 있는 무선 통신 방법을 고려해 볼 필요가 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0010] 따라서, 본 발명의 목적은, 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서 저전력 및 저지연 경로 설정을 지원하는 라우팅 메트릭을 이용하는 무선 통신 방법을 제공함에 있다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 무선 통신 방법은, 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서, 전송 노드가 웨이크 업 되어 주소 정보를 삽입한 프리앰블(preamble)을 생성하여, 얼리 애크(Early-ACK)를 수신할 수 있는 간격을 두면서 상기 프리앰블을 반복적으로 전송하는 단계, 상기 프리앰블을 수신한 적어도 하나의 이웃 노드에서, 자신의 웨이크 업 스케줄을 예측할 수 있는 시간 정보가 삽입된 얼리 애크를 상기 전송 노드로 전송하는 단계, 상기 전송 노드에서 상기 시간 정보에 기초하여, 상기 적어도 하나의 이웃 노드 중에서 데이터를 전송할 수신 노드를 선택하는 단계, 및 상기 전송 노드에서 상기 선택한 수신 노드로 데이터 전송이 이루어지는 단계를 포함한다.

[0012] 상기 전송 노드가 상기 선택한 수신 노드로 데이터 전송을 완료한 후, 수면 상태로 전환하는 단계를 더 포함하며, 상기 전송 노드는 상기 시간 정보를 참조하여, 상기 선택한 수신 노드의 웨이크 업 시간에 맞추어 상기 수면 상태에서 웨이크 업 될 수 있다.

[0013] 상기 시간 정보는, 상기 듀티 사이클 주기 안에서 웨이크 업 상태로 되는 시간에 대한 정보이며, 상기 전송 노드가 다른 노드와의 프리앰블 충돌을 방지하기 위하여, 랜덤 백 오프 과정을 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 무선 통신 시스템은, 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서, 웨이크 업 되어 주소 정보를 삽입한 프리앰블을 생성하여, 얼리 애크(Early-ACK)를 수신할 수 있는 간격을 두면서 상기 프리앰블을 반복적으로 전송하는 전송 노드, 및 상기 프리앰블을 수신하여, 자신의 웨이크 업 스케줄을 예측할 수 있는 시간 정보가 삽입된 얼리 애크를 상기 전송 노드로 전송하는 적어도 하나의 이웃 노드를 포함하며, 상기 전송 노드는 상기 시간 정보에 기초하여, 상기 적어도 하나의 이웃 노드 중에서 데이터를 전송할 수신 노드를 선택하여, 상기 선택한 수신 노드로 데이터를 전송할 수 있다.

**발명의 효과**

[0015] 본 발명에 따르면, 듀티 사이클로 인해 발생하는 총 대기시간을 최소화하는 EDW 라우팅 메트릭을 사용함으로써 어떤 노드가 대기하는 동안 동작상태를 유지하고, 불필요한 짧은 프리앰블을 연속적으로 전송하여 노드들 간의 간섭을 발생하는 등의 문제점을 줄일 수가 있다. 이로 인해 긴 지연 시간과 함께 많은 에너지를 낭비하는 경로 설정을 방지함으로써 에너지 효율적이고 저지연의 무선 센서 네트워크를 구성할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명에서는 충돌을 피하고 오버 헤드를 줄임으로써 지연, 처리량 및 에너지 소비 측면에서 기존 MAC 프로토콜보다 우수한 TRIX-MAC 프로토콜을 제공할 수 있다. 그리고, 이와 같은 TRIX-MAC 프로토콜을 이용하여 송신 및 수신 노드 모두에서 에너지 절약을 희생시키지 않고 무선 센서 네트워크에서 신속한 통신을 수행할 수 있으며, 충돌 및 불필요한 웨이크 업을 줄여 센서 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0017] 도 1은 무선 센서 네트워크의 일 예를 나타낸 도면,  
 도 2는 듀티 사이클에 대한 설명에 참조되는 도면,

도 3은 X-MAC에 대한 동작 설명에 참조되는 도면,

도 4는 본 발명에서 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜에 대한 동작 설명에 참조되는 도면,

도 5는 본 발명에서 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜에서 랜덤 백 오프에 대한 설명에 참조되는 도면,

도 6은 본 발명에서 사용하는 라우팅 메트릭인 EDW에 대한 설명에 참조되는 도면, 그리고

도 7 내지 도 12는 다양한 조건 하에서 본 발명에 따른 방법과 다른 프로토콜을 이용한 방법을 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0018] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있거나 "접속되어" 있다고 언급된 경우, 어떤 구성요소에 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 또한, 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에" 또는 "~에 이웃하는" 등과, 어떤 구성요소가 다른 구성요소로 신호를 "전송한다" 와 같은 표현도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0019] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0020] 도 1은 무선 센서 네트워크의 일 예를 나타낸 것이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, 무선 센서 네트워크는 기본적으로 많은 수의 센서 노드들로 구성되며, 센서 노드들은 센서를 통해 정보를 수집하고 수집된 정보를 일정시간마다 최종 목적지인 싱크 노드에게 전송하게 된다. 싱크 노드는 센서 노드들로부터 데이터를 수집하여 수집된 데이터를 사용자에게 전송하게 된다.
- [0022] 이와 같은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들은 보통 배터리와 같이 용량이 제한된 에너지를 사용하고 있으므로, 에너지를 효율적으로 관리하고 사용하는 것이 매우 중요하다.
- [0023] 도 2는 듀티 사이클에 대한 설명에 참조되는 도면이다.
- [0024] 도 2에 도시한 바와 같이, 무선 센서 네트워크에 대한 저전력 설계가 요구되면서, 수면(sleep) 상태와 동작(active) 상태를 반복하는 듀티 사이클(duty cycle)을 많이 이용하고 있다. 이와 같은 듀티 사이클을 사용함으로써, 수면 상태 동안에는 전파의 송수신을 모두 꺼서 에너지를 절약할 수 있지만, 동시에 전송 지연이 발생하게 된다.
- [0025] 이러한, 듀티 사이클의 동작 방식에는 동기 방식의 듀티 사이클과 비동기 방식의 듀티 사이클과 같은 두가지 방식이 있다. 그러나, 동기 방식의 듀티 사이클에는 프로토콜 오버헤드라는 해결하기 어려운 문제가 있어 현실적으로는 비동기 방식 듀티 사이클이 널리 사용된다.
- [0026] 도 3은 X-MAC에 대한 동작 설명에 참조되는 도면이다.
- [0027] Michael Buettner 등이 제안한 X-MAC(Michael Buettner, Gray V. Yee, Eric Anderson and Richard Han, "X-MAC: a short preamble mac protocol for duty-cycled wireless sensor networks," Proc. of the 4th ACM Conference on Embedded Networked Sensor System, pp. 307-320, Nov 2006)은 Joseph Polastre 등이 제안한 B-MAC(Joseph Polastre, Jason Hill, and David Culler, "Versatile low power media access for wireless sensor networks," Proc. of the second ACM Conference on Embedded Networked Sensor System, pp. 95-107, 2004) 기반의 무선 센서 네트워크를 위한 비동기 듀티 사이클 MAC 프로토콜로 일련의 짧은 프리앰블(preamble)을 사용하여 동기화 없이 저전력 통신을 구현한다.
- [0028] X-MAC에서, 짧은 프리앰블은 수신 노드의 주소를 전달하기 때문에 수신 노드가 아닌 다른 노드는 첫 번째 짧은 프리앰블을 듣는 동안 슬립할 수 있다. 수신 노드는 얼리 애크(early-ACK)로 응답하여 프리앰블을 중지하고 데이터 전송을 시작할 수 있다.
- [0029] X-MAC의 주요 특징은 짧은 프리앰블 샘플링과 얼리 애크 메커니즘이다. X-MAC은 B-MAC에서 사용되는 긴 프리앰블 대신에 수신 노드가 통지하도록 다중의 짧은 프리앰블을 전송한다. 수신 노드가 어웨이크(awake) 주기 동안 짧은 프리앰블을 검출하면, 실제 데이터 프레임을 수신하기 전에 얼리 애크를 전송 노드로 전송하고, 전송 노드는 수신 노드가 어웨이크(awake) 기간에 머물러 있다는 것을 알고, 즉시 데이터 프레임을 송신한다.
- [0030] 결과적으로, X-MAC은 짧은 프리앰블 샘플링 및 얼리 애크 메커니즘으로 인해 B-MAC보다 많은 에너지를 절약할

수 있다.

- [0031] 도 3에 도시한 바와 같이, 네트워크의 모든 노드는, 주기가 T 인 프레임을 송수신하기 위해 자체 웨이크업 일정을 가진다. TX 노드는 RX 노드가 깨어날 때 까지 짧은 프리앰블을 계속 보낸다. 다른 노드는 TX 노드와 RX 노드 사이의 통신을 간섭하지 않는다. TX 노드가 수신 확인을 수신하면 RX 노드로 데이터 프레임을 전송하기 시작한다.
- [0032] X-MAC은 비동기식이기 때문에 TX 노드의 평균 통신 시간은  $T/2 +$  데이터 프레임 길이이다. 둘 이상의 TX 노드가 웨이크 업되어 동시에 프리앰블을 보내기 시작할 때 RX 노드를 포함한 다른 모든 노드는 프리앰블의 주소 정보를 확인할 수 없으므로, TX 노드는 다음 웨이크업 일정까지 프리앰블 전송을 중단하지 않는다. 따라서, 각 충돌 데이터 프레임에 대해, 송신자에 대한 평균 통신 시간은 T이다.
- [0033] 도 4는 본 발명에서 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜에 대한 동작 설명에 참조되는 도면이다.
- [0034] 본 발명에서 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜은 X-MAC을 기반으로 한다. 네트워크의 모든 노드는 웨이크 업과 수면(sleep) 상태의 두 가지 상태로 나누어진 C 사이클과 동일한 사이클을 가진다. 웨이크 업 상태는 노드가 무선 통신을 켜고 데이터를 수신 또는 전송하는 활성 상태이고, 수면 상태는 노드가 무선 통신을 꺼서 전원을 절약하는 상태이다.
- [0035] 웨이크 업 상태는 노드가 데이터 프레임을 전송하려고 할 때 동기화-웨이크 업주기가 선택 사항인 스케줄된 웨이크 업(Sched-wakeup) 및 동기화 웨이크 업(Synch-wakeup) 기간의 두 가지 기간으로 구성되며, 노드에서 데이터 프레임을 전송하려는 경우 동기화된 웨이크업은 선택 사항이다.
- [0036] 도 4에서는 TRIX-MAC 프로토콜의 기본 동작을 보여 주며 TX 노드는 짧은 프리앰블을 전송하고 두 번 웨이크 업된다. 각 노드는 자신의 일정에 따라 주기적으로 웨이크 업되어 들어오는 짧은 프리앰블이 있는지 확인한다. 스케줄 발생 후 짧은 프리앰블이 들어오지 않으면 TX 노드는 절전 상태가 된다. 전송할 데이터 프레임이 있을 때 TX 노드는 RX 노드에 동기화된 동기화 웨이크 업(Synch-wakeup)에서 다시 깨어난다. 채널이 유휴 상태로 있을 때, TX- 노드는 데이터 프레임을 전송하기 전에 쇼트 프리앰블의 전송을 시작한다.
- [0037] TRIX-MAC 프로토콜에서 모든 노드는 독립적으로 자신의 웨이크 업 스케줄을 가지며 RX 노드의 웨이크 업에 동기화된 임시 웨이크 업 스케줄을 가지며, RX 노드의 웨이크 업 스케줄은 얼리 애크 프레임의 필드 안에서 웨이크 업 시간으로 얻을 수 있다. 따라서, TRIX-MAC을 사용하는 TX 노드는 TX 노드에서 RX 노드로 전달할 데이터가 있을 때 주기적으로 두 번 웨이크 업 된다. TX 노드에서 첫 번째 웨이크 업은 자체 스케줄에 따라 데이터 프레임 수신(Sched-wakeup)하고, 두 번째 웨이크 업은, 도 4에 도시한 바와 같이, RX 노드(Synch-wakeup)로 데이터를 전송한다.
- [0038] TX 노드는 처음에 RX 노드의 웨이크 업 일정에 대한 정보가 없기 때문에 TRIX-MAC은 전송의 첫 번째 사이클 동안 X-MAC처럼 작동한다. TX 노드가 RX 노드로 전송할 데이터를 가지고 있을 때, TX 노드는 테이블에서 지정된 RX 노드의 웨이크 업 스케줄을 검색한다. RX 노드의 적절한 웨이크 업 일정을 찾지 못하면 TX 노드는 X-MAC에서와 같이 자체 일정에서 짧은 프리 앰블을 계속 전송한다. RX 노드로부터 조기 확인 응답을 수신하면 TX 노드는 데이터 프레임을 즉시 전송하기 시작하고, 얼리 애크 프레임의 웨이크 업 시간 필드에서 RX 노드의 웨이크 업 정보를 추출하고 웨이크 업 정보를 up-wakeup과 Synch-wakeup 사이의 시간차로서의 웨이크 업 시간 테이블에 저장한다.
- [0039] 도 5는 본 발명에 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜에서 랜덤 백 오프에 대한 설명에 참조되는 도면이다.
- [0040] 도 5에서, TX1 및 TX2가 수신기에 데이터를 전송하려고하는 송신기 R 및 TX1이 매체를 점유하는데 TX2에 선행한다는 것을 도시한다. TX1은 얼리 애크로 프리앰블로 짧은 프리앰블과 RX 응답을 전송하기 위해 매체를 포착한다. TX2는 RX로부터 얼리 애크를 수신하고 NAV를 데이터 전송의 끝으로 설정한다. 얼리 애크 프레임의 지속 기간은 TX2가 데이터 전송 중에 대기해야하는 시간 슬롯의 수를 지정한다. 데이터 전송이 완료되면, TX2는 잔여 슬롯 카운트를 다시 카운트하고 다음 시간 슬롯에서 프리앰블을 전송한다.
- [0041] 도 5에서 슬롯 수는 TX1의 경우 1로 설정되고 TX2의 경우 3으로 설정된다. TX1은 매체를 잡고 첫 번째 타임 슬롯에서 짧은 프리앰블을 전송하고 RX는 얼리 애크로 프리앰블에 응답한다. TX2는 RX로부터 얼리 애크를 수신하고 NAV(Network Allocation Vector)를 데이터 전송 종료로 설정한다. 얼리 애크 프레임의 지속 시간은 TX2가 데이터 전송 중에 대기해야하는 시간 슬롯 수를 지정한다. 데이터 전송이 완료되면 TX2는 잔여 슬롯 카운트를 다시 카운트 다운하고 다음 타임 슬롯에서 프리앰블을 전송할 수 있다.

[0042] 한편, 일반적인 무선네트워크에서 최적의 경로 선택을 위한 기준값으로 가장 널리 쓰이는 라우팅 메트릭 (routing metric)은 ETX(expected number of transmission)로서, 이는 전체 경로에서 일어나는 총 전송 횟수를 의미한다. 모든 노드가 항상 전송 준비가 완료된 상황에서는 ETX가 최소가 되는 경로가 가장 빠르고 에너지 소모가 적은 경로를 의미하며, 결국에는 가장 좋은 성능을 나타내게 된다. 그러나, 비동기식 듀티 사이클을 가지고 있는 무선 센서 네트워크에서는 최소의 전송 횟수, 즉 가장 작은 ETX의 값을 갖는 경로의 선택에도 불구하고 최소의 지연시간이나 최적의 에너지 효율성을 보장하지 못한다. 왜냐하면 비동기식 듀티 사이클로 인한 대기 시간이 랜덤하게 발생할 수 있기 때문이다.

[0043] 본 발명에서는 라우팅시 최적의 경로 선택을 위해 새로운 라우팅 메트릭으로 EDW(Estimated Duty-cycled Wait)를 사용한다. EDW는 전체 경로에서 중계를 맡은 노드들이 수신할 다음 노드가 동작 상태로 깨어날 때까지 기다려야하는 총 대기 시간을 추정된 값이다. EDW를 최소화하는 경로는 전체 전송 지연을 줄일 뿐만 아니라 에너지의 소비도 함께 줄여주기 때문에 결국에는 무선 센서 네트워크의 생존 수명을 길게 해주는 효과를 얻을 수 있다.

[0044] 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크에서 모든 센서 노드들은 자신의 수면/동작 시점을 다른 센서 노드들과 관계없이 결정할 수 있고, 이러한 정보를 주변 이웃 노드들과 공유한다. 단, 무선 센서 네트워크에 있는 모든 센서 노드들의 특성은 동일하며 같은 듀티 사이클의 주기를 갖는다. 어떤 센서 노드가 메시지를 전송하고자 할 때 그 노드는 수신할 노드가 동작 모드로 깨어날 때까지 기다렸다가 깨어난 후에 전송을 완료한다.

[0045] 임의의 시간  $t$ 에서 전송 노드  $i$ 이고 수신 노드가  $j$ 일때, 한 홉에서 발생하는 대기 시간을  $W_{ij}(t)$ 라고 정의할 수 있고, 전체 경로에 걸친 총 대기 시간  $W_p$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

**수학식 1**

$$W_p = \sum_{all\ hops} W_{ij}(t)$$

[0046]

[0047] 일반적으로 듀티 사이클 기반의 무선 센서 네트워크는 대기 지연 시간이 상대적으로 매우 크기 때문에 이 EDW는 중요한 라우팅 메트릭이 될 수 있다.

[0048] 도 6은 본 발명에서 사용하는 라우팅 메트릭인 EDW(Estimated Duty-cycled Wait)에 대한 설명에 참조되는 도면이다.

[0049] 도 6을 참조하면, S 노드가 메시지를 노드 D로 전송한다고 할때, 노드 A를 통하여 전달되거나 노드 B와 노드 C를 통하여 전달되는 두 가지의 경로가 존재한다. 여기서 각 노드에 표기된 값은 듀티 사이클의 주기 안에서 각 노드가 동작 상태로 깨어나는 시간을 표기하고 있다.

[0050] 이와 같은 경우, 노드 A를 통해 전달되는 경로에서는 노드 S로부터 노드 A에게 메시지를 전달하기 위해서, 노드 S가 동작 상태로 깨어나는 시간이 노드 A 보다 크기 때문에, 하나의 주기를 넘어서 다음 주기에 전송이 완료된다.

[0051] 반면에 노드 B와 노드 C를 통하는 경로에서는 최종적으로 노드 D까지 하나의 주기 안에서 전송이 완료된다. 기존의 라우팅 메트릭인 ETX를 통하여 선정될 노드 A를 통해 전달되는 경로보다 새로운 메트릭인 EDX는 노드 B와 노드 C를 통하는 경로를 선정하고 더 작은 지연 시간을 갖게 된다.

[0052] 따라서, 이와 같은 EDW를 라우팅 메트릭으로 이용하여 최적의 경로를 탐색할 수 있다.

[0053] 도 7 내지 도 12는 다양한 조건 하에서 본 발명에 따른 방법과 다른 프로토콜을 이용한 방법을 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

[0054] 먼저 시뮬레이션을 위한 센서노드와 네트워크 환경에 대한 파라미터 값들은 다음의 [표 1]과 같다.



표 1

[0055]

Parameters	Value
Duty cycle rate	0.65%
Default sleep sustain time	2.79 second
Default wakeup time	0.0182 second
Agent(Traffic model)	CBR/Poisson
Message interval in sources	20s
Message size	60 bytes
Number of simulation flows	8 flows
Link bandwidth	250 Kbps
Rx power in mode	15.2 mA
Tx power in mode	28.9 mA
Sleep power in state	0.0004 mA
Idle(wake-up) power in state	12.8 mA
RX(TX) / CS range	250 / 300 meters

[0056]

또한 시뮬레이션을 위해서 세 가지의 트래픽을 이용하였다. 즉, 항상 일정한 전송량을 생성하는 정적인 트래픽 (static), 포아송의 분포를 갖는 랜덤한 양의 트래픽(poisson), 및 실제 센서 네트워크의 시간과 공간의 상호 연관된 트래픽을 닮은 형태의 트래픽(RCE)을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 ns-2 (버전 2.32)를 네트워크 시뮬레이터로 사용하였다.

[0057]

도 7 내지 도 9는 평균 중단간 지연을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다.

[0058]

여기서, EDW+RIX-MAC 본 발명에 따른 TRIX 프로토콜과 라우팅 메트릭으로 EDW를 사용한 경우, EDW+X-MAC은 X-MAC과 라우팅 메트릭으로 EDW를 사용한 경우, ETX+RIX-MAC은 TRIX-MAC와 라우팅 메트릭으로 ETX를 사용한 경우, ETX+X-MAC은 X-MAC과 라우팅 메트릭으로 ETX를 사용한 경우를 나타낸다.

[0059]

그리고, 도 7은 CBR 정적 트래픽이고, 도 8은 Poisson 임의 트래픽이고, 도 9는 RCE 트래픽의 경우이다.

[0060]

도 7 내지 도 9에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 TRIX 프로토콜과 라우팅 메트릭으로 EDW를 사용한 경우 트래픽에 관계없이 성능을 약 30% 정도 향상시킴을 알 수 있다.

[0061]

도 9 내지 도 12는 총 에너지 소비 결과가 나타낸다.

[0062]

수신기가 깨어날 때까지 짧은 프리앰블을 전송하기 위해 높은 수준의 에너지가 소비되므로, X-MAC는 프리앰블 전송에 많은 양의 에너지를 소비한다. 특히, X-MAC에서 수신기의 웨이크 업 대기 시간이 큰 경우 많은 짧은 프리앰블로 인해 많은 양의 에너지가 낭비된다.

[0063]

도 9 내지 도 12에 나타낸 바와 같이, 라우팅 메트릭으로 ETX 대신 EDW를 사용하여 약 25%의 에너지를 절약할 수 있다. 결과적으로 본 발명에 따른 방법이 다양한 트래픽에서 에너지 소비 측면에서 효과적임을 알 수 있다. 노드의 에너지 소비는 네트워크의 수명과 밀접한 관련이 있기 때문에 본 발명에 따른 방법을 사용하는 경우, 다

른 방법을 사용하는 경우보다 노드의 수명이 현저히 길 것으로 예상할 수 있다.

[0064] 이와 같이 본 발명에 따른 무선 통신 방법은, 듀티 사이클로 인해 발생하는 총 대기시간을 최소화하는 EDW 라우팅 메트릭을 사용함으로써, 긴 지연 시간과 함께 많은 에너지를 낭비하는 경로 설정을 방지함으로써 에너지 효율적이고 저지연의 무선 센서 네트워크를 설계할 수 있다.

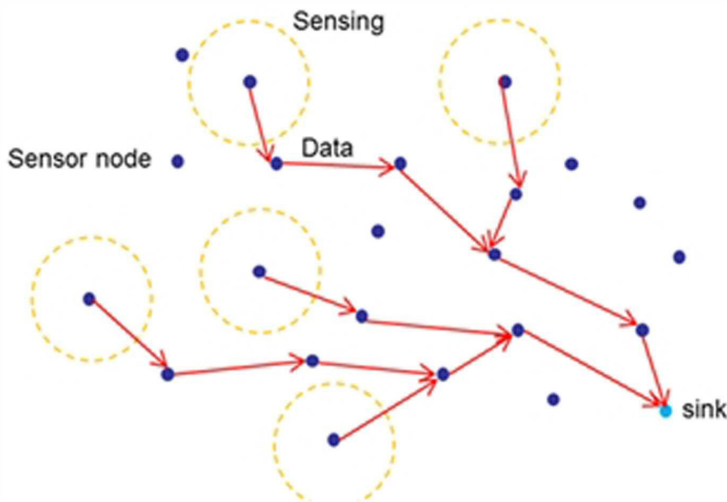
[0065] 또한, 본 발명에서 사용하는 TRIX-MAC 프로토콜은 충돌을 피하고 오버 헤드를 줄임으로써 지연, 처리량 및 에너지 소비 측면에서 기존 프로토콜보다 우수하다. 결과적으로, TRIX-MAC은 송신 및 수신 노드 모두에서 에너지 절약을 희생시키지 않고 무선 센서 네트워크에서 신속한 통신을 수행할 수 있으며, 충돌 및 불필요한 웨이크 업을 줄여 센서 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다.

[0066] 한편, 본 발명에 따른 무선 통신 방법은 상기한 바와 같이 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

[0067] 또한, 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안될 것이다.

**도면**

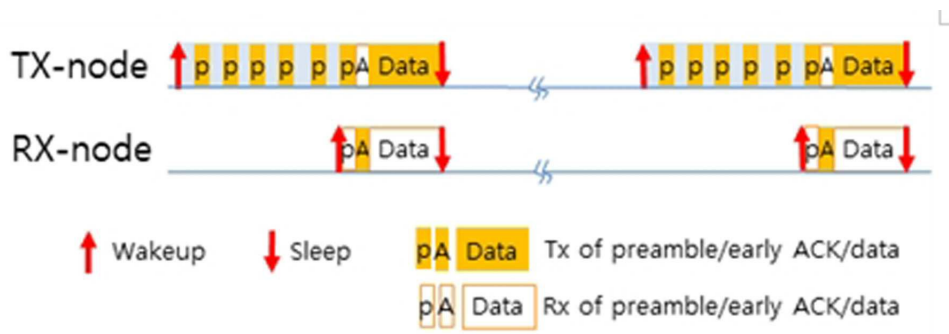
**도면1**



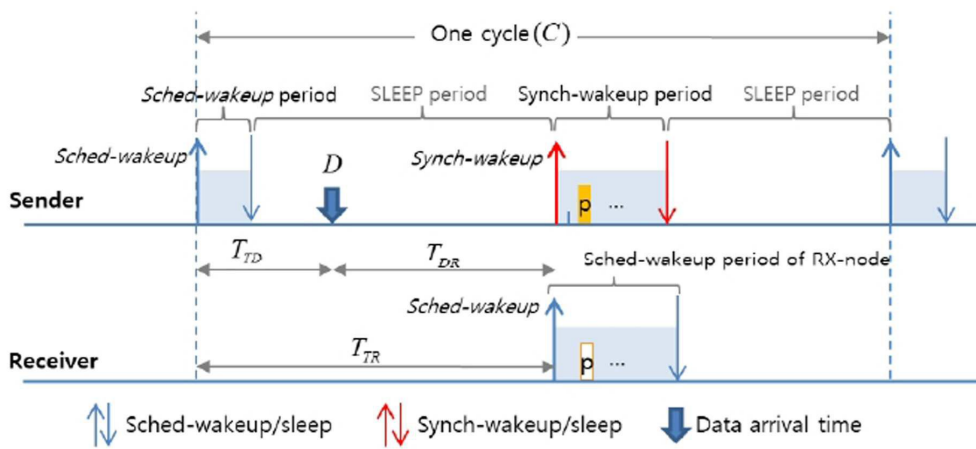
**도면2**



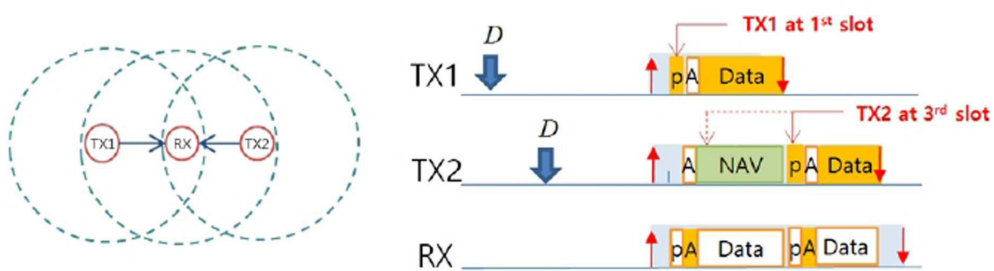
도면3



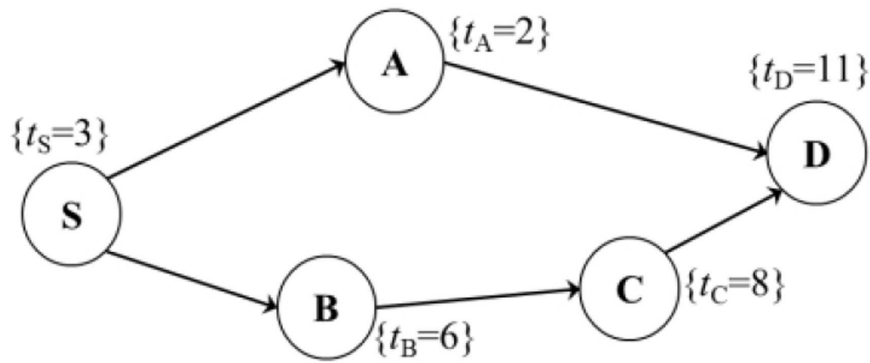
도면4



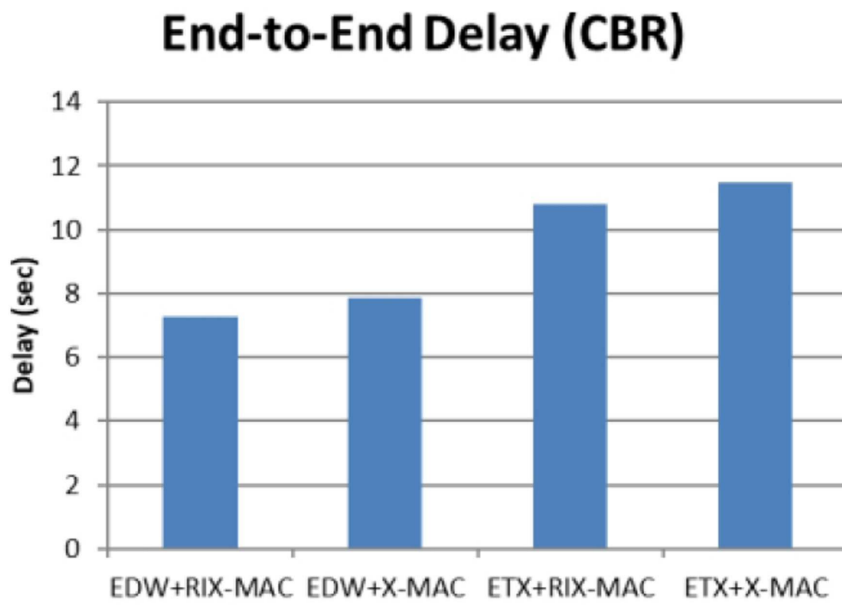
도면5



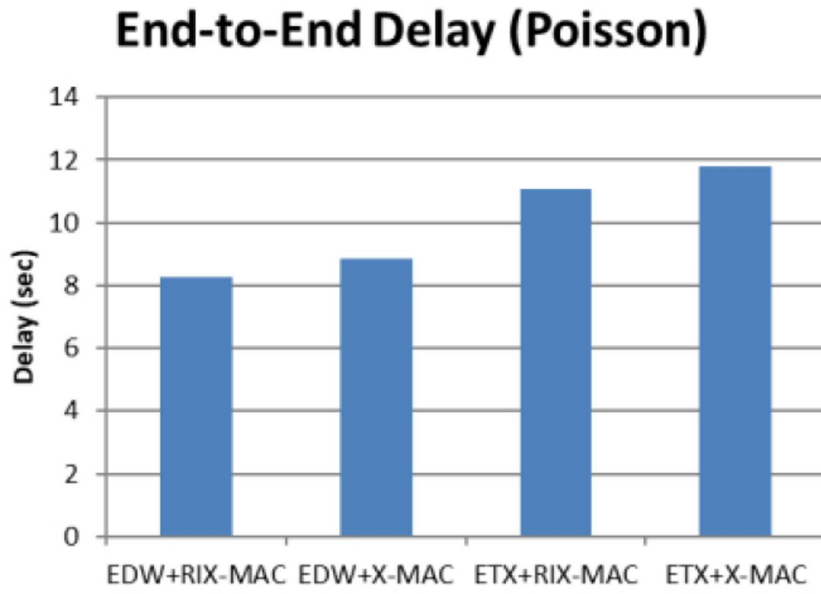
도면6



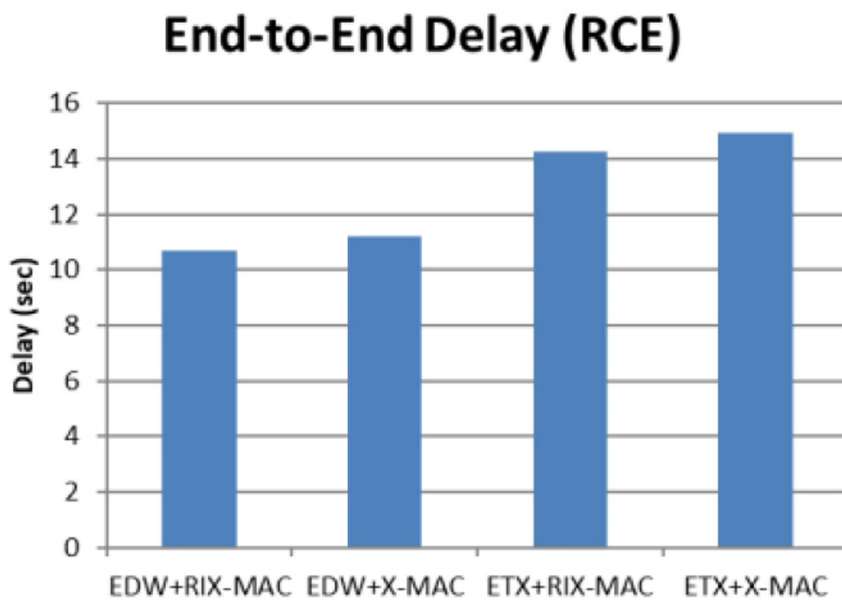
도면7



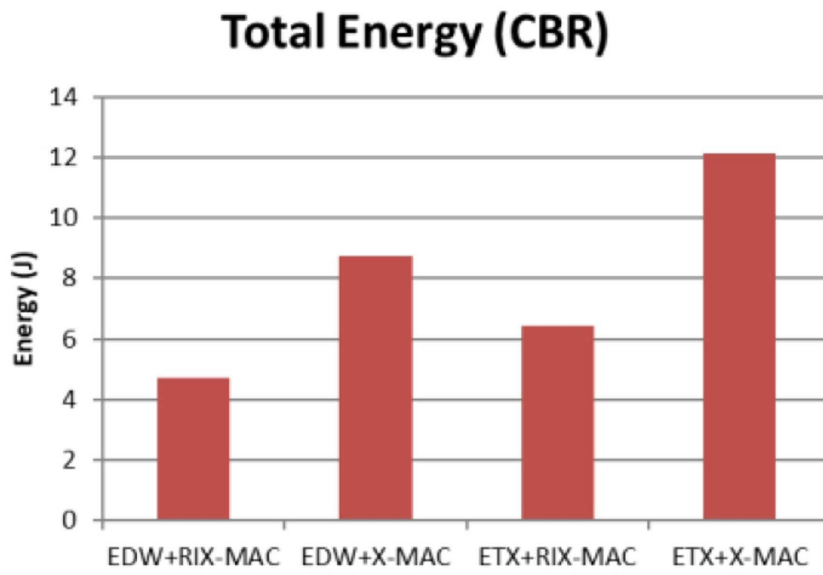
도면8



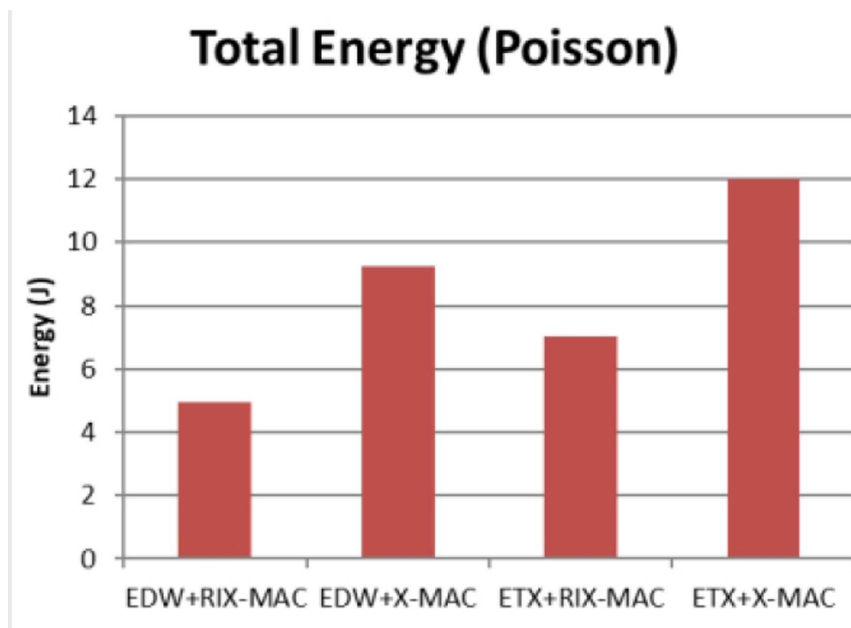
도면9



도면10



도면11



도면12

