



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0006794
(43) 공개일자 2012년01월19일

(51) Int. Cl.

H04L 12/28 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0067451

(22) 출원일자 2010년07월13일

심사청구일자 2010년07월13일

(71) 출원인

강릉원주대학교산학협력단

강원도 강릉시 죽헌길 7(지변동)

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

엄두섭

대전광역시 서구 청사로 65, 109동 1001호 (월평동, 황실타운)

이재호

서울특별시 동대문구 한천로58길 107, 102동 2505호 (이문동, 현대아파트)

(74) 대리인

특허법인세림

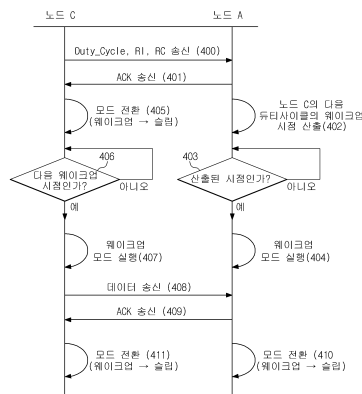
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법

(57) 요약

수신측 노드가 송신측 노드로부터 제공된 듀티 사이클, 데이터 재전송 간격 및 데이터 재전송 횟수를 근거로 하여 산출되는 시점을 기준으로 송신측 노드의 주기와 동기화함으로써 노드 간의 불필요한 재전송 횟수를 크게 감소시킬 수 있어 전송 지연을 감소시키면서 에너지 소비를 줄일 수 있는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상 방법을 개시한다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

전송할 데이터를 가진 제1 노드가 상기 데이터를 수신하는 제2 노드에 상기 데이터를 연속해서 송신하고, 상기 수신노드로부터 ACK를 수신하면 상기 데이터의 송신을 중지하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법에 있어서,

상기 데이터 송신시 상기 제1 노드가 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 상기 제2 노드에 송신하고,

상기 제2 노드가 제1 노드로부터 수신한 상기 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 근거로 하여 상기 제1 노드의 다음 듀티 사이클의 웨이크 업 구간 시점을 산출하고,

상기 제2 노드가 상기 산출된 시점에 웨이크 업 모드를 실행하는 것을 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 송신 단계에서 상기 제1 노드가 상기 데이터에 상기 듀티 사이클, 데이터 재전송 간격 및 데이터 재전송 횟수를 포함시켜 상기 제2 노드에 송신하는 것을 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 노드와 제2 노드는 상기 산출된 시점부터 동일한 듀티 사이클을 가지는 것을 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

청구항 4

전송할 데이터를 가진 제1 노드가 상기 데이터를 수신하는 제2 노드에 상기 데이터를 연속해서 송신하고 상기 다른 노드로부터 ACK를 수신하면 상기 데이터의 송신을 중지하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법에 있어서,

상기 제1 노드가 상기 제2 노드에 상기 데이터를 연속해서 송신할 때 상기 데이터에 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 포함시켜 송신하고,

상기 제2 노드가 상기 제1 노드로부터 수신한 상기 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 근거로 하여 상기 제1 노드의 다음 듀티 사이클의 웨이크 업 시점을 산출하고,

상기 제2 노드가, 상기 제2 노드로부터 상기 데이터를 수신하는 제3 노드에 상기 데이터를 연속해서 송신할 때 상기 데이터에 상기 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격, 그리고, 상기 제1 노드가 상기 데이터를 재전송한 횟수를 고려한 총 재전송 횟수를 포함시켜 송신하고,

상기 제3 노드가 상기 제2 노드로부터 수신한 상기 듀티 사이클, 상기 데이터의 재전송 간격 및 총 재전송 횟수에 기초하여 상기 제1 노드의 다음 듀티사이클의 웨이크 업 시점을 산출하고,

상기 제2 노드 및 제3 노드가 상기 산출된 시점에 웨이크 업 모드를 실행하는 것을 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1 노드 내지 제3 노드는 상기 산출된 시점부터 동일한 듀티 사이클을 가지는 것을 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제1 노드 내지 제3 노드는 상기 데이터를 전송하는 경로를 나타내는 가상 터널을 형성하고, 상기 가상 터널 주변의 노드는 상기 산출된 시점에 강제로 슬립 모드를 유지하는 것을 더 포함하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 센서 네트워크에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 비동기식 MAC 프로토콜 기반의 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSN)는 센서 노드들이 센서를 통해 주변 환경을 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 의료 서비스, 재난 관리, 목표 추적 등의 다양한 응용 분야에서 널리 사용되고 있다.

[0003] 무선 센서 네트워크의 센서 노드의 수명은 일반적으로 전지 수명과 동일하다. 따라서 센서 노드의 수명을 최대한 늘리기 위해서는 감지 및 송신 기능을 수행함에 있어서 최소한의 에너지를 소모하는 것이 바람직하다. 이러한 과정에서 많은 연구가 진행되고 있다.

[0004] 무선 센서 네트워크 환경에서 이벤트 감지나 침입탐지 등의 응용 분야에 사용되는 비동기식 매체 접근 제어(Medium Access Control ; MAC)는 제어 프레임을 주기적으로 발생하지 않기 때문에 에너지 효율이 높지만, 동기화 수행의 부재로 인한 전송 지연시간 문제가 발생하며, 전송 데이터량이 증가할 경우 에너지 효율도 감소할 수 있다.

[0005] 비동기식 MAC은 동기식 MAC에 비하여 주기적 전송을 수행하지 않기 때문에 전력소모 측면에서는 유리하다.

[0006] 또한, 비동기식 MAC에서 모든 노드는 자신만의 듀티 사이클(Duty Cycle)을 가지며 이를 토대로 주기적으로 슬립(sleep) / 웨이크 업(wakeup)을 반복함으로써 에너지 소모를 줄인다. 일반적으로, 슬립 구간에서 데이터 통신은 불가능하고, 웨이크 업 구간에서만 데이터 통신이 가능하다. 에너지 소모는 노드의 슬립 구간과 웨이크 업 구간 모두 발생되지만 슬립 구간은 구동에 필요한 최소의 에너지만 소모되며 웨이크 업 구간에서 데이터 통신에 필요한 실질적인 에너지 소모가 발생된다.

[0007] 하지만, 비동기식 MAC에서도 노드 간 웨이크 업 시간을 서로 알지 못하기 때문에 링크 당 최대 듀티 사이클 주기만큼의 전송 지연이 발생하기 때문에 에너지 효율성이 떨어진다.

발명의 내용

[0008] 본 발명의 일 측면은 전송 지연을 줄이면서 에너지 효율성을 높일 수 있는 비동기식 MAC 프로토콜 기반의 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법을 제공한다.

[0009] 이를 위해 본 발명의 일 측면에 따른 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법은 전송할 데이터를 가진 제1 노드가 데이터를 수신하는 제2 노드에 데이터를 연속해서 송신하고, 수신노드로부터 ACK를 수신하면 데이터의 송신을 중지하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법에 있어서, 데이터 송신시 제1 노드가 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 제2 노드에 송신하고, 제2 노드가 제1 노드로부터 수신한 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 근거로 하여 제1 노드의 다음 듀티 사이클의 웨이크 업 구간 시점을 산출하고, 제2 노드가 산출된 시점에 웨이크 업 모드를 실행하는 것을 포함한다.

[0010] 또한, 송신 단계에서 제1 노드가 데이터에 듀티 사이클, 데이터 재전송 간격 및 데이터 재전송 횟수를 포함시켜 제2 노드에 송신하는 것을 포함한다.

[0011] 또한, 제1 노드와 제2 노드는 산출된 시점부터 동일한 듀티 사이클을 가지는 것을 포함한다.

[0012] 본 발명의 다른 측면에 따른 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법은 전송할 데이터를 가진 제1 노드가 데이터를 수신하는 제2 노드에 데이터를 연속해서 송신하고 다른 노드로부터 ACK를 수신하면 데이터의 송신을

중지하는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 향상방법에 있어서, 제1 노드가 제2 노드에 데이터를 연속해서 송신할 때 데이터에 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 포함시켜 송신하고, 제2 노드가 제1 노드로부터 수신한 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격 및 재전송 횟수를 근거로 하여 제1 노드의 다음 듀티 사이클의 웨이크 업 시점을 산출하고, 제2 노드가, 제2 노드로부터 데이터를 수신하는 제3 노드에 데이터를 연속해서 송신할 때 데이터에 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격, 그리고, 제1 노드가 데이터를 재전송한 횟수를 고려한 총 재전송 횟수를 포함시켜 송신하고, 제3 노드가 제2 노드로부터 수신한 듀티 사이클, 데이터의 재전송 간격 및 총 재전송 횟수에 기초하여 제1 노드의 다음 듀티사이클의 웨이크 업 시점을 산출하고, 제2 노드 및 제3 노드가 산출된 시점에 웨이크 업 모드를 실행하는 것을 포함한다.

[0013] 또한, 제1 노드 내지 제3 노드는 산출된 시점부터 동일한 듀티 사이클을 가지는 것을 포함한다.

[0014] 또한, 제1 노드 내지 제3 노드는 데이터를 전송하는 경로를 나타내는 가상 터널을 형성하고, 가상 터널 주변의 노드는 산출된 시점에 강제로 슬립 모드를 유지하는 것을 더 포함한다.

[0015] 이상에서 설명한 본 발명의 일 측면에 따르면, 수신 노드가 송신 노드로부터 제공된 듀티 사이클, 데이터 재전송 간격 및 데이터 재전송 횟수를 근거로 하여 산출되는 시점을 기준으로 송신 노드의 주기와 동기화함으로써 노드 간의 불필요한 재전송 횟수를 크게 감소시킬 수 있어 전송 지연을 감소시키면서 에너지 소비를 줄일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예가 적용되는 무선 센서 네트워크의 개념도이다.

도 2는 도 2에 도시된 센서 노드의 내부 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 전송 지연 감소를 위한 두 개의 센서 노드간의 데이터 송수신 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 센서 노드간의 데이터 송수신 방법에 대한 제어흐름도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드 간의 동기화를 설명하기 위한 제어흐름도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 세 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 가상 터널을 형성하는 노드들 주변 노드의 작동을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명한다.

[0018] 도 1은 본 발명의 실시예가 적용되는 무선 센서 네트워크의 개념을 나타낸 것이다.

[0019] 본 발명의 실시예에 따른 무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 센서를 통해 주변 환경을 감지하고 데이터를 수집하는 용도로 다양한 응용이 가능한 기술로써, 군사지역에서 침입을 감지하는 보안용도, 자연 환경에서 동물들을 감지하기 위한 용도, 특정 지역에서 습도나 온도 등의 환경 정보를 모니터링 하기 위한 용도 등으로 사용될 수 있다.

[0020] 도 1에 도시된 바와 같이, 센서 노드(100)는 다수의 소스 노드(Source Node)(110)를 포함한다.

[0021] 소스 노드들(110)은 감지 영역에서 센서를 통해 정보를 수집하고 수집된 정보를 일정시간마다 싱크 노드(Sink Node)(200)에게 전송한다. 싱크 노드(200)는 수신한 정보를 인터넷 등의 네트워크에 연결된 사용자의 컴퓨터(210)에 전달한다.

[0022] 싱크 노드(200)로부터 일정 거리 이내에 위치한 센서 노드(100)는 전송할 데이터를 직접 싱크 노드(200)로 전달

한다. 하지만, 싱크 노드(200)로부터 일정 거리 이내에 위치하고 있지 않는 센서 노드(100)는 수집된 데이터를 싱크 노드(100)에 인접한 센서 노드들로 전송한다. 싱크 노드(200)는 소스 노드들(110)로부터 데이터를 수집하여 수집된 데이터를 사용자의 컴퓨터(210)에 전송한다.

[0023] 도 2는 도 2에 도시된 센서 노드의 내부 구성을 나타낸 것이다.

[0024] 도 2에 도시된 바와 같이, 센서 노드(100)는 센서 및 ADC(Analog to Digital Converter)를 가진 센싱 장치(101)와, 프로세서 및 저장장치를 가진 처리 장치(102)와, 데이터를 송수신하기 위한 송수신 장치(103)와, 그리고 전력 공급을 위한 전원 장치(104)를 포함한다.

[0025] 또한, 센서 노드는 센서의 용도에 따라 위치 인식 장치(105)와, 이동 장치(106), 전원 발생 장치(107) 등을 더 포함할 수 있다.

[0026] 이러한 센서 노드(100)는 배터리와 같은 제한된 에너지를 사용하고 있다. 센서 노드들(100)은 기본적으로 수 개월에서 수년 이상의 동작을 보장하여야 함으로 에너지를 효율적으로 관리하는 것이 중요하다. 저 전력 설계에 대한 요구가 증가되면서 여러 분야에서 연구가 진행되고 있다. 특히 MAC 프로토콜 분야에서 연구가 활발히 되고 있는데 MAC 프로토콜에서 저 전력을 설계하기 위하여 웨이크 업과 슬립 상태를 반복하는 듀티 사이클을 많이 이용하고 있다.

[0027] MAC 프로토콜은 크게 각 센서노드들(100)을 동기화시키는 동기식 MAC 프로토콜과 노드들의 동기화 없이 비동기식으로 동작되는 비동기식 MAC 프로토콜로 분류할 수 있다.

[0028] 대표적인 비동기식 MAC 프로토콜로는 B-MAC, Wise-MAC, X-MAC 등이 있다. B-MAC은 기존 비동기식 MAC의 문제점을 보완하기 위하여, 실제 데이터를 전송하기 전에 프리앰블(preamble)을 우선 전송함으로써, 상대 노드의 웨이크 업 시간을 파악하기 때문에 실제 데이터의 재전송 횟수를 줄일 수 있다.

[0029] B-MAC에서 발생하는 프리앰블의 에너지 소모량을 감소시키기 위해 제안된 Wise-MAC은 이웃 노드의 웨이크 업 스케줄을 학습하고, 이를 토대로 프리앰블 전송 시작 시간을 예측하기 때문에, 프리앰블 전송시 발생하는 에너지 소모량을 줄이고 주기오차를 확률적으로 낮출 수 있다.

[0030] X-MAC은 B-MAC과 Wise-MAC을 근간으로 하는 MAC으로서, 쇼트 프리앰블(Short-Preamble)과 주소 필터링(Address Filtering), 어얼리 액크(Early ACK)를 사용하여 에너지 효율을 향상시켰다.

[0031] 쇼트 프리앰블 방식은 B-MAC의 프리앰블 전송 방식을 짧게 나누어 여러 번 전송하는 방법으로, 프리앰블 간의 송신 간격만큼 에너지 효율을 증가시켰으며, 주소 필터링(Address Filtering)은 각 노드가 짧은 프리앰블(Short-Preamble)을 수신하기 위한 웨이크 업 시간을 줄이는 방법으로, 쇼트 프리앰블에 도착지 주소(Destination Address)를 포함시켜 수신중인 노드로 하여금 자신의 주소와 일치하지 않을 경우, 전체 프리앰블을 수신하지 않고 빠른 슬립 상태로 진입하게 하여 전력 소모량을 최소화한다.

[0032] 마지막으로 어얼리 액크(Early ACK)는 송신 노드가 해당 수신 노드의 웨이크 업 상태를 미리 알고 프리앰블에 대한 ACK 전송 후 데이터 전송을 실시하는 방법으로써, 기존의 ACK 메커니즘과는 다른 방법을 사용하였다. 기존 Wise-MAC에서는 상대 노드의 웨이크 업 상태를 파악하지 못하기 때문에 불필요한 데이터 재전송이 발생하였으나, X-MAC에서는 프리앰블 전용의 Early ACK를 이용하여 데이터 프레임의 ACK 대기 시간을 줄여 전송 효율을 높이고 에너지 소모량을 감소시킨다.

[0033] 그러나 이러한 X-MAC에서도 비동기식 MAC의 고질적인 문제인 전송 지연시간 문제를 해결하지 못한다. X-MAC을 포함한 대부분의 비동기식 MAC에서는 상대 수신 노드의 웨이크 업 상태를 알지 못하기 때문에 전송해야 할 데이터가 링크 당 최대 듀티 사이클 크기만큼 전송 지연시간이 발생하며, 이는 침입 탐지나 감시경계 등의 센서 네트워크 응용 서비스에서는 커다란 단점으로 남을 수 있다.

[0034] 이에 본 발명의 실시예에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 비동기식 X-MAC을 활용하면서도 비동기식 MAC의 가장 큰 단점인 전송 지연을 감소함과 함께 에너지 소비를 줄이는 방안을 제시한다.

[0035] 듀티 사이클 기반의 비동기식 MAC 방식은 모든 노드가 주기적으로 슬립/ 웨이크 업 모드를 반복하여 수행하며, 이벤트가 발생하지 않을 경우 각 노드들은 비동기식 MAC의 동작 동기를 위한 제어 프레임을 송신하지 않는다. 이는 모든 노드가 이웃 노드의 주기를 알지 못하는 비동기식 MAC을 의미하며, 위에서 설명한 바와 같이 감시경계 등의 이벤트 발생빈도가 매우 낮은 환경에서는 동기식 MAC에 비하여 현저한 에너지 절감효과를 얻을 수 있다.

- [0036] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드 간의 데이터 송수신 과정을 나타낸다. 도 3에서는 이벤트가 발생하여 전송할 데이터 패킷이 생긴 임의의 송신 노드가 데이터 패킷을 수신 노드에 전송하는 데이터 흐름을 나타내고 있다.
- [0037] 도 3에 도시된 바와 같이, 송신 노드와 그 주변에 있는 수신 노드는 비동기식 MAC를 사용하므로 노드 각각의 웨이크 업 시각은 다르다.
- [0038] 먼저 송신 노드는 수신 노드의 웨이크 업 시간(Wake up time)을 알지 못하기 때문에 ACK를 수신할 때까지 동일한 데이터가 연속적으로 송신되도록 데이터를 재전송 간격 지연(Retransmission Interval Delay) 간격으로 지속적으로 송신한다. 이에 따라, 기존 X-MAC의 에너지 효율을 최대한 유지하면서 링크 당 전송 지연시간을 크게 개선할 수 있다.
- [0039] 이때 수신 노드는 모든 데이터를 전송할 때 CSMA/CA방식과 랜덤 백 오프 지연(Random Back-off Delay)을 사용한다. CSMA/CA 방식은 OSI 모델의 MAC 계층에서 작동하는 미디어 액세스 방식의 하나로써 현재 무선 네트워크에서 사용되고 있는 MAC 알고리즘이다. CSMA/CA의 각각 의미는 다음과 같다. CS(Carrier Sense)는 무선 채널이 현재 사용 중인지를 확인하는 것을 의미한다. MA(Multiple Access)는 현재 무선 채널이 비워있으면 어떤 노드들이든 사용 가능하다는 것을 의미한다. CA(Collision Avoidance)는 충돌이 발생하면 상위 계층으로 처리를 전달하는 것을 의미한다.
- [0040] CSMA/CA는 데이터를 전송하기 전에 현재 채널에 다른 노드들이 데이터를 전송하고 있는지를 먼저 살펴본다. 만약 다른 노드들이 이미 채널을 선점하여 데이터를 전송 중에 있으면 백 오프 타이머에 의해 랜덤 시간 뒤에 다시 시도하게 된다.
- [0041] 수신 노드는 송신 노드와 독립적으로, 듀티 사이클 간격으로 슬립 / 웨이크 업 모드를 반복 수행한다. 수신 노드는 웨이크 업 모드에서 데이터를 수신하면 곧바로 ACK를 전송한다.
- [0042] 일반적인 비동기식 MAC에서는, 모든 노드는 웨이크 업 모드와 슬립 모드를 반복하며 웨이크 업 모드에서 데이터를 수신할 경우에는, 수신이 완료 될 때까지 웨이크 업 모드를 유지한다.
- [0043] 하지만 전송 중인 데이터의 목적지 주소와 관계없는 노드들은 패킷 수신으로 인한 에너지 소모가 발생하기 때문에, 제안하는 MAC 방식에서는 X-MAC에서의 주소 필터링(Address Filtering)을 기반으로, 수신된 MAC 헤더 내부의 목적지 주소가 자신이 아닌 경우 전체 패킷을 수신하지 않고 어얼리 슬립(Early-Sleep)을 실시하여 전력소모를 줄인다.
- [0044] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 센서 노드간의 데이터 송수신 방법에 대한 제어흐름을 나타낸 것이다.
- [0045] 도 4에 도시된 바와 같이, 먼저, 송신 노드는 듀티 사이클을 확인하여 웨이크업 시점인지를 판단한다(300).
- [0046] 웨이크 업 시점인 경우, 송신 노드는 슬립 모드에서 웨이크 업 모드로 전환하기 위해 웨이크 업 모드를 실행한다(310).
- [0047] 웨이크 업 모드를 실행 후 송신 노드는 전송할 데이터가 있는지를 판단한다(420).
- [0048] 슬립 구간동안 이벤트가 발생하여 전송할 데이터가 있는 것으로 판단되면, 송신 노드는 수신 노드에 동일 데이터를 미리 설정된 시간 간격으로 연속적으로 전송한다(330) 이때, 송신 노드는 데이터를 수신한 수신 노드로부터 ACK를 수신할 때까지 웨이크 업 모드를 유지한다.
- [0049] 그런 후 송신 노드는 상기한 수신 노드로부터 ACK가 수신되면(340), 데이터 전송을 중지하도록 제어모드를 웨이크 업 모드에서 슬립 모드로 전환한다(350).
- [0050] 상술한 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서는 상대 노드의 응답을 수신할 때까지 데이터 패킷을 계속적으로 전송하여 상호간 웨이크 업 구간을 맞춘다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 전송 지연과 에너지 효율을 증가시키는 장점이 있다.
- [0051] 하지만, 침입 감지나 이벤트 감지를 목적으로 하는 무선 센서 네트워크의 전송 패턴은 매우 간헐적이면서도 한 번의 이벤트 발생시 연속적으로 일어나는 것이 대부분이다. 따라서 전송할 데이터가 많을 경우 여전히 불필요한 재전송이 많아 에너지 효율을 향상시키는 데 한계가 있다.
- [0052] 따라서 본 발명의 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서는 이웃 노드의 주기를 동기

화하는 기법(Synchronize on each Neighbor's Cycle ; SNC)을 사용함으로써 불필요한 재전송을 최소화할 수 있어 전송 지연을 감소시키면서도 에너지 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

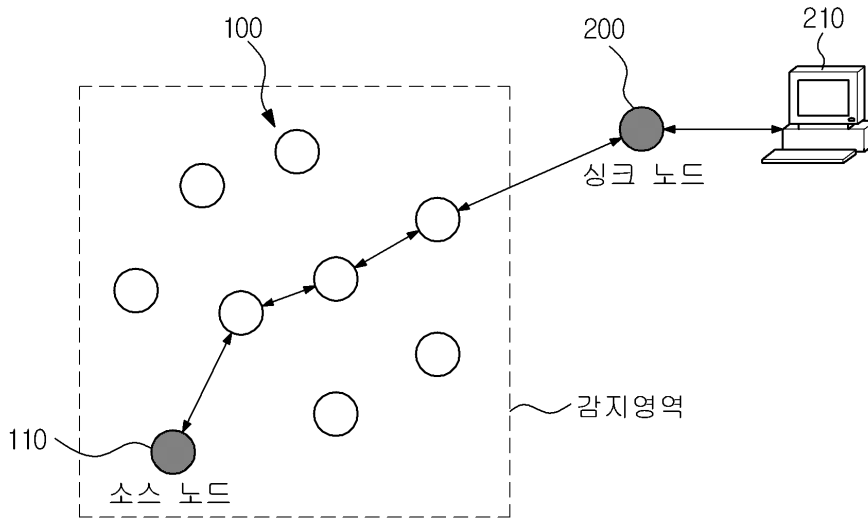
- [0053] 이하에서는 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 설명한다.
- [0054] 일반적으로 무선 센서 네트워크 환경에서는 네트워크 계층상에서 형성되는 토폴로지가 존재한다. 이 토폴로지는 트리 형태나 메쉬 형태로 존재하게 되는데, 이들은 멀티 홉 환경에서 데이터 전송을 위한 라우팅 테이블이 존재하고, 이는 노드 당 통신가능 거리 내에 위치하는 이웃 노드 리스트(Neighbor Node List)를 기반으로 생성된다.
- [0055] 이웃 노드 리스트 정보 내에는 웨이크 업 시점과 듀티 사이클 정보가 포함된다. 따라서 MAC 계층에서는 이 두 가지 정보를 이용하여 이웃 노드 간의 웨이크 업 시점의 상대 시각 오차를 줄이고 근사치 기반의 동기화를 수행할 수 있다.
- [0056] 이러한 동기화는 시각 동기화 알고리즘 기반의 동기식 MAC과 같은 정확한 동기화를 수행할 수는 없다. 하지만 주기적 동기신호 없이 재전송 횟수를 줄여서 비동기식과 동기식 MAC의 장점을 모두 보유하는 것이 가능하다.
- [0057] 일반적으로 등록(Registration) 과정을 완료한 노드는 이웃 노드 리스트와 함께 라우팅 정보를 보유하게 되지만, 비동기식 MAC 특성상 이웃노드의 듀티 사이클 정보는 알지 못한다.
- [0058] 송신 노드가 정보를 전송할 때 대상 노드로부터 ACK를 수신하기 전까지는 데이터를 계속해서 재전송하는 동작을 수행한다. 이때 MAC 헤더 내에 데이터 재전송 간격(Retransmission Interval)(RI), 데이터 재전송 횟수(Retransmission Count)(RC), 듀티 사이클 등의 정보를 포함시킨다. 상기한 정보들을 포함한 데이터는 수신 노드가 웨이크 업 상태가 될 때까지 재전송된다.
- [0059] 수신 노드는 이 세 가지 정보를 이용하여 해당 데이터가 자신이 웨이크 업 되기까지 얼마나 오랫동안 재전송되었는지를 파악한 후, 이웃 노드 리스트 내에 정보를 저장한다.
- [0060] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드 간의 동기화를 설명하기 위한 제어흐름을 나타낸 것이다.
- [0061] 도 5를 살펴보면, 먼저, 노드 A에 데이터를 송신하는 노드 C는 노드 A에 데이터 전송시 데이터에 재전송 간격(RI), 데이터 재전송 횟수(RC), 듀티 사이클(Duty_cycle) 등의 정보를 포함시켜 송신한다(400).
- [0062] 노드 A는 노드 C로부터 데이터가 수신되면, 노드 C에 ACK를 송신한다(401).
- [0063] 노드 C로부터 데이터를 수신한 노드 A는 데이터에 포함된 데이터 재전송 간격(RI), 데이터 재전송 횟수(RC), 듀티 사이클(Duty_cycle) 등의 정보를 인식하고, 인식된 정보에 따라 노드 C의 다음 듀티사이클의 웨이크 업 시점을 산출한다(402).
- [0064] 노드 C의 다음 듀티사이클의 웨이크 업 시점을 산출 후 노드 C는 현재시점이 작동모드 402에서 산출된 시점인지를 판단한다(403).
- [0065] 만약, 작동모드 403의 판단결과 현재시점이 작동모드 402에서 산출된 시점이 아니면, 노드 A는 작동모드 403을 다시 수행한다.
- [0066] 한편, 작동모드 403의 판단결과 현재시점이 작동모드 402에서 산출된 시점이면, 노드 A는 웨이크 업 모드를 실행한다(404).
- [0067] 한편, 작동모드 401에서 노드 A가 노드 C에 송신한 ACK를 수신한 노드 C는 제어모드를 웨이크 업 모드에서 슬립 모드로 전환한다(405).
- [0068] 모드 전환 후 노드 C는 현재시점이 웨이크 업 시점인지를 판단한다(406).
- [0069] 만약, 작동모드 406의 판단결과 현재시점이 웨이크 업 시점이 아니면, 노드 C는 작동모드 406을 다시 수행한다.
- [0070] 한편, 작동모드 406의 판단결과 현재시점이 웨이크 업 시점이면, 노드 C는 웨이크 업 모드를 실행한다(407).
- [0071] 노드 C는 웨이크 업 모드 실행 후 데이터를 노드 A에 전송한다(408). 이때, 노드 A는 동기화로 인해 노드 C와 동일한 시점에 웨이크 업 되어 있기 때문에 전송 지연 없이 데이터 수신이 이루어진다.
- [0072] 노드 A로부터 데이터를 수신한 노드 C는 ACK를 노드 A에 송신한다(409).
- [0073] 그리고, 노드 A는 제어모드를 웨이크 업 모드에서 슬립 모드로 전환한다(410).

- [0074] 한편, 노드 A로부터 ACK를 수신한 노드 C는 제어모드를 웨이크 업 모드에서 슬립 모드로 전환한다(411). 이때, 노드 A와 노드 C는 동일한 웨이크 업 구간과 슬립 구간을 가지는 미리 설정된 동일한 듀티 사이클로 작동할 수 있다.
- [0075] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 두 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 나타낸 것이다.
- [0076] 도 6에 도시된 바와 같이, 송신 노드인 노드 C는 자신의 웨이크 업 시점에서 데이터 전송요구가 발생하여 수신 노드인 노드 A로 전송을 하기 시작한다. 이때 노드 A는 슬립 구간 상태이므로 수신이 불가능하다. 따라서 ACK를 전송하지 못하기 때문에, 노드 C는 노드 A의 웨이크 업 시점까지 데이터를 재전송한다. 상대 노드의 웨이크 업 스케줄을 알지 못하기 때문에 반복 재전송이 불가피한 상태이다.
- [0077] 하지만 본 발명의 실시예에서는 노드 C가 노드 A로 데이터 전송 시 MAC 계층의 헤더에 듀티 사이클 정보와 RI, RC값을 추가하여 전송함으로써 노드 A가 노드 C의 웨이크 업 시점을 계산할 수 있게 해준다. 이때, 듀티 사이클은 노드 C의 주기인 t_{duty_cycle} 값이고, RI는 데이터를 재전송하는 주기인 t_{Ri} 값이고, RC는 재전송 횟수에 대한 카운트값이다. RC값은 첫 전송인 1부터 순차적으로 증가된다.
- [0078] 수신측 노드 A가 웨이크 업 구간에 진입하여 5번째 재전송 데이터를 수신하게 되면, 자신의 이웃 리스트 테이블 내에 상대 노드 스케줄 정보를 기록하게 되는데, 이 정보는 대상 노드의 웨이크 업 / 슬립 주기인 듀티 사이클과 언제 깨어나는지를 의미하는 웨이크 업 시점으로 구성된다.
- [0079] 이때, 듀티 사이클은 t_{duty_cycle} 로부터 구할 수 있고, 웨이크 업 시점은 $t_{recv} - (RC - 1)t_{Ri}$ 로부터 구할 수 있다. t_{duty_cycle} 는 상대 노드의 재전송 데이터 헤더에 포함된 값이며, t_{recv} 는 제일 처음 데이터를 수신한 시각이다.
- [0080] 따라서 노드 A가 노드 C와 동기화를 진행할 경우, 노드A의 $n+1$ 번째 웨이크 업 시점은 다음의 식 [1]과 같이 나타낼 수 있다.
- [0081]
$$t_{wakeup,n+1} = t_{wakeup,n} + t_{duty_cycle} - (RC - 1)t_{Ri}$$
 식 [1]
- [0082] 노드 A는 위의 식 [1]을 이용하여 노드 C의 예상 웨이크 업 시점을 알 수 있기 때문에 자신이 노드 C의 주기에 맞출 수 있다. 물론 노드 A의 이웃 노드 리스트 내에는 노드 C 외에도 다른 노드가 존재하지만, 모두 자신의 1홉 내에 있기 때문에 직접 통신이 가능하므로, 이웃하는 모든 노드의 주기에 직접 맞출 수 있다. 즉, 노드 A는 이웃 노드 리스트 내의 모든 노드들을 위와 같은 방법을 통하여 기록하고, 필요시 이 리스트를 참조하여 동기화를 수행할 수 있다.
- [0083] 이 방법은 수신 노드가 송신 노드의 주기에 맞추는 방법으로써, 단일링크 상에서 에너지 효율을 증가시키는 데 큰 효과가 있다.
- [0084] 하지만 애드 혹(Ad-hoc) 라우팅 구조상 이웃 노드가 많아질 수도 있기 때문에, 수신 노드 자신의 스케줄 자체를 변경하게 되면, 모든 이웃 노드의 스케줄에 맞춰야 하는 모순이 발생한다. 이렇게 되면 모든 수신 노드는 자신만의 스케줄이 없이 복합적인 듀티 사이클을 수행함으로써 에너지 효율이 일부 감소할 가능성이 있다. 이러한 이유로 인하여 이웃 노드간의 동기화는 MAC 자체에서 항상 사용하는 것이 아니라, 애플리케이션(application) 등의 상위 계층상에서 QoS(Quality of Service)측면이 요구되는 경우에 국한하여 사용할 수 있다. Qos는 다른 응용 프로그램, 사용자, 데이터 흐름의 우선순위를 정하거나 데이터 전송에 특정 수준의 성능을 보장하기 위한 능력을 말한다.
- [0085] 일반적으로 비동기식 MAC은 비주기적 이벤트 감지를 위한 무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율이 높다. 이러한 비주기적 이벤트 감지는 평상시에 주기적으로 관찰할 필요가 없고, 특정 이벤트가 발생했을 경우에만 데이터를 전송하는 형태로 구축되는 경우가 일반적이데 이 경우 이벤트 데이터는 보통 여러 개의 데이터가 짧은 시간 동안 연속적으로 생성되는 경우가 많다. 따라서, 일반적인 비동기식 MAC은 홉 당 웨이크 업 시점이 동기화되지 않기 때문에 동기식에 비하여 홉 당 전송 지연시간이 길어지고 에너지 효율이 낮아질 수 있다.
- [0086] 이처럼 짧은 시간 내에 연속적으로 데이터가 발생하는 경우, 멀티 홉 환경에서 라우팅 경로를 일시적으로 고정시키고 MAC에서 듀티 사이클의 일시적인 동기화를 수행할 필요가 있다.

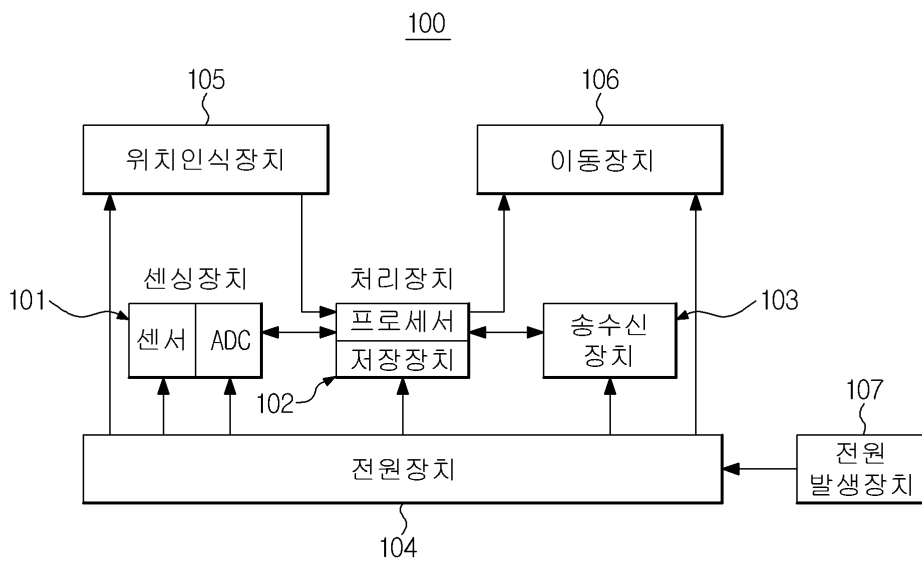
- [0087] 따라서 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서는 이벤트 전송경로상의 노드들을 대상으로 가상 터널(Virtual Tunnel)을 형성하고, 가상 터널을 형성하는 노드들의 주기를 동기화하는 기법(Synchronize on Tunneling Cycle ; STC)을 사용함으로써 지연을 감소시키면서도 에너지 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.
- [0088] 이하에서는 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 세 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 설명한다.
- [0089] STC는 SNC와 알고리즘 상으로 동일하다. 단, SNC는 이웃 노드에 대하여 웨이크 업 시점 정보를 주기적으로 갱신하고 필요시 동기화를 수행하는 기법인 반면, STC는 멀티홉 환경에서 적용한 기법이다.
- [0090] 위에서 설명한 바와 같은 일시적이고 연속적인 이벤트 데이터가 발생하는 경우, 토폴로지 상에서 업 링크(Up-link) 경로에 해당되는 모든 노드들의 일시적 단일 경로에 대한 QoS를 보장하기 위하여, 가상 터널링(Virtual Tunneling) 기법을 제안한다.
- [0091] 어떠한 데이터가 최종 목적지인 싱크 노드까지 전달되려면, 토폴로지 형태에 관계없이, 포워딩되는 중간 노드들의 관점에서는 항상 리니어(Linear)한 형태로 구성될 수 있다. 이러한 포워딩 노드들의 집합을 대상으로 가상 터널을 형성하여, 이들 간의 동기화를 구성한다면 에너지 효율과 전송 지연시간의 성능 측면에서 큰 이득을 얻을 수 있다.
- [0092] 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 세 개의 센서 노드가 동기화하는 과정을 나타낸 것이다.
- [0093] 도 7에 도시된 바와 같이, 트리 토폴로지(Tree-Topology) 상에서 A-B-C의 순차적 형태인 2-홉 링크가 형성되어 있다고 가정할 때, 즉 노드 C가 노드 B의 자식노드이고, 노드 A가 노드 B의 부모노드이며, 노드 A와 노드 C는 이웃노드가 아닐 경우에 대하여 STC 기법을 이용하여 동기화를 수행하는 모습이다.
- [0094] 먼저 동기화 되지 않은 A, B, C 노드들은 자신들만의 듀티 사이클에 의해 웨이크 업 / 슬립을 반복한다. 최하위 노드인 노드 C에서 다량의 이벤트 데이터가 발생되면, 노드 B는 SNC와 동일한 방법으로 $t_{wakeup,n+1}$ 을 구하고, 자신의 듀티 사이클 스케줄을 노드 C에 동기화시킨다.
- [0095] 그리고 노드 C로부터 수신한 데이터를 노드 A로 전달할 때, 수신된 RC 값을 추가적으로 증가시켜 전달하게 된다. 또한 최종적으로 노드 A가 수신한 RC값은 노드C로부터 시작된 값이기 때문에 SNC와 동일한 형태로 $t_{wakeup,n+1}$ 을 계산하여도 노드 A는 2-홉 거리의 노드 C와 동기화를 진행할 수 있다.
- [0096] STC는 초기 이벤트 데이터에 대한 효율은 기대할 수 없지만 이와 같은 방법으로 두 번째 데이터 전송부터는 큰 이득을 얻을 수 있으며, 비주기성 이벤트 특성상 발생하는 데이터는 연속성일 확률이 높기 때문에, 비동기식 MAC에서의 STC 효과는 크다.
- [0097] 이하에서는 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 가상 터널을 형성하는 노드들 주변 노드의 작동을 설명한다.
- [0098] 가상 터널링이 형성된 후에는 토폴로지상의 다른 노드들은 가상 터널의 동기화된 스케줄을 침범하지 않아야 한다.
- [0099] 또한 이미 형성된 가상 터널 외의 또 다른 일시적 연속성 데이터 전송이 발생할 경우, 새로운 가상 터널링이 생길 수도 있으며, 이러한 경우도 기존에 존재하는 가상 터널의 스케줄을 침범하지 않아야 한다.
- [0100] 이를 위하여 제안하는 MAC 에서는 STC 과정에서 발생하는 데이터 패킷과 ACK를 터널에 속해있지 않는 다른 이웃 노드가 오버히어링(overhearing)하여 가상 터널의 스케줄을 방해하지 않도록 하기 위한 네트워크 할당 벡터(Network Allocation Vector)(NAV)를 설정하는 방법을 제안한다.
- [0101] 도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 비동기식 MAC 기반의 무선 센서 네트워크에서 가상 터널을 형성하는 노드들 주변 노드의 작동을 나타낸 것이다.
- [0102] 도 8에 도시된 바와 같이, 노드 A, 노드 B, 노드 C는 가상 터널을 형성하고 있다. 예를 들면, 노드 C에서 발생한 이벤트는 노드 B와 노드 A를 거쳐 싱크 노드로 전달된다.
- [0103] 이 가상 터널을 형성하는 노드들 주변에는 노드 D 내지 노드 H가 위치한다. 노드 D, 노드 G, 노드 E는 노드 B에서 송신된 데이터는 수신 가능하지만, 노드 C나 노드 A로부터 송신된 데이터는 수신할 수 없는 위치에 있다. 또

도면

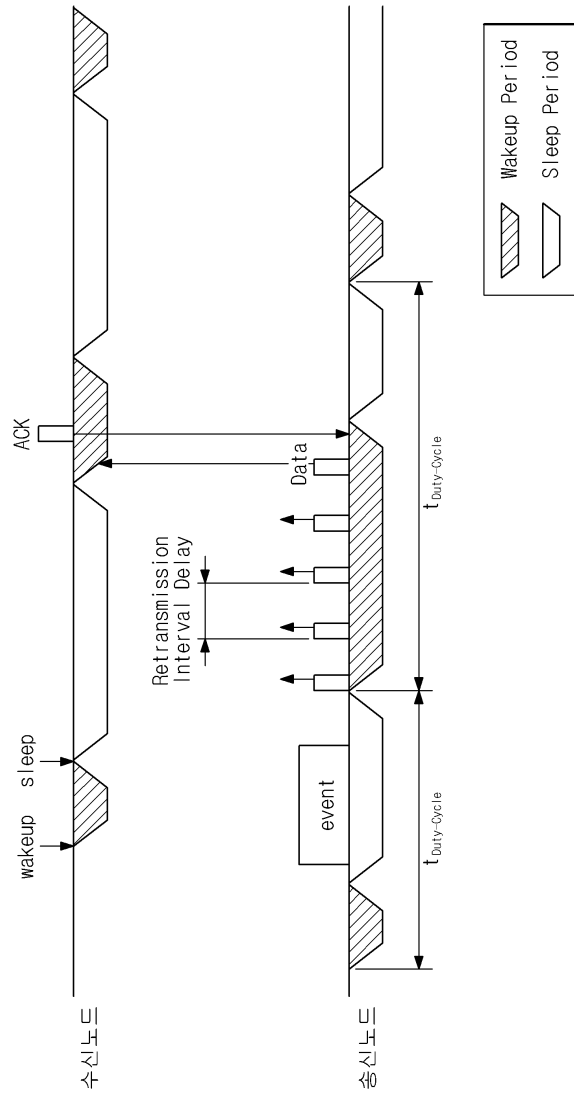
도면1



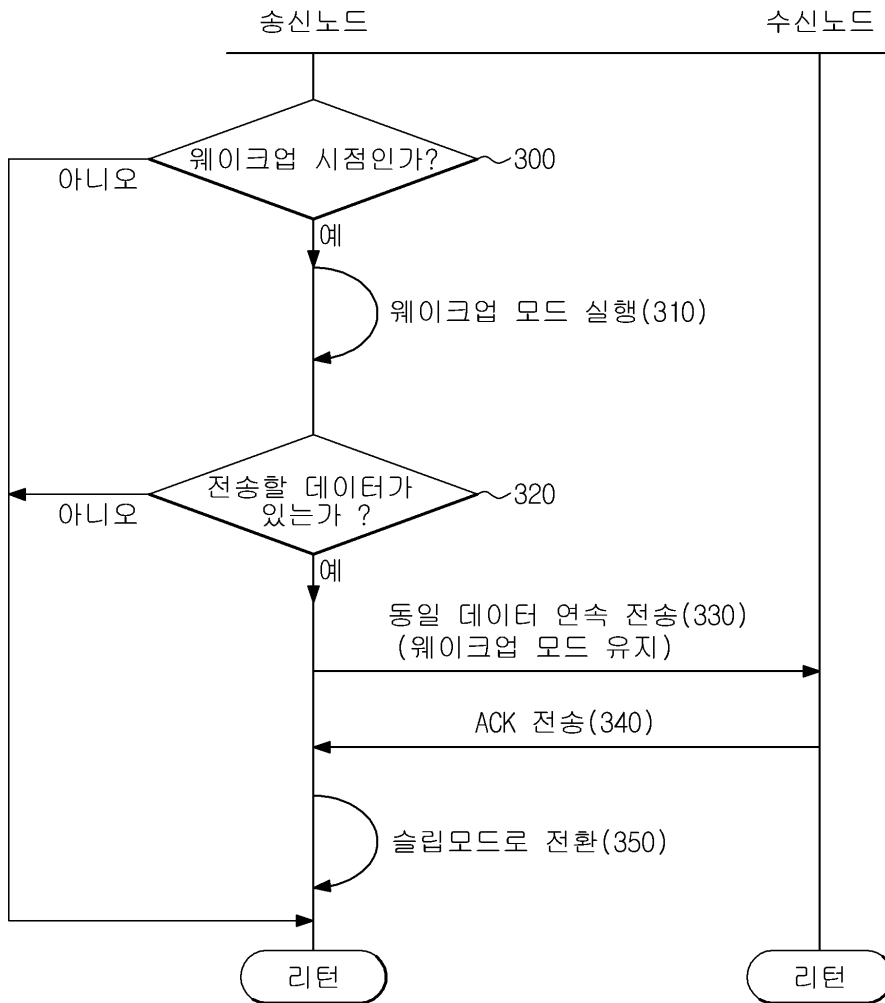
도면2



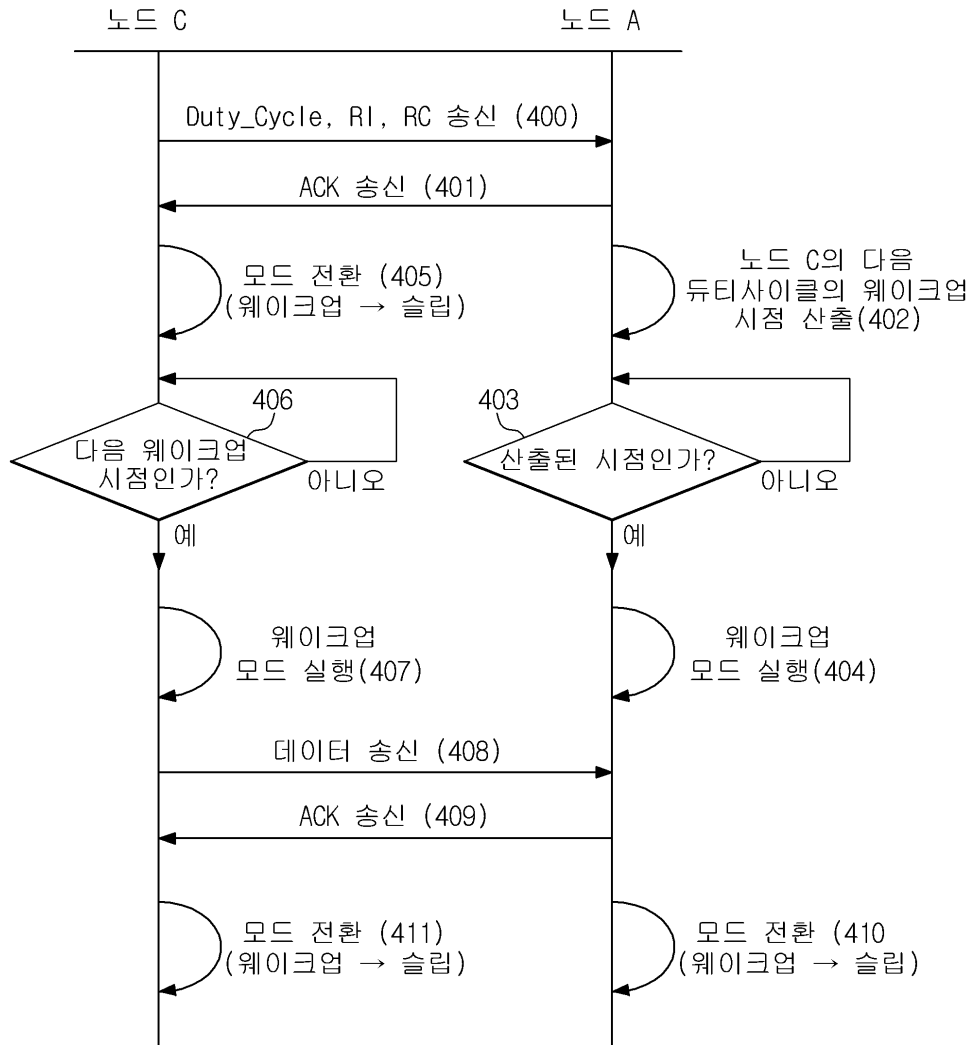
도면3



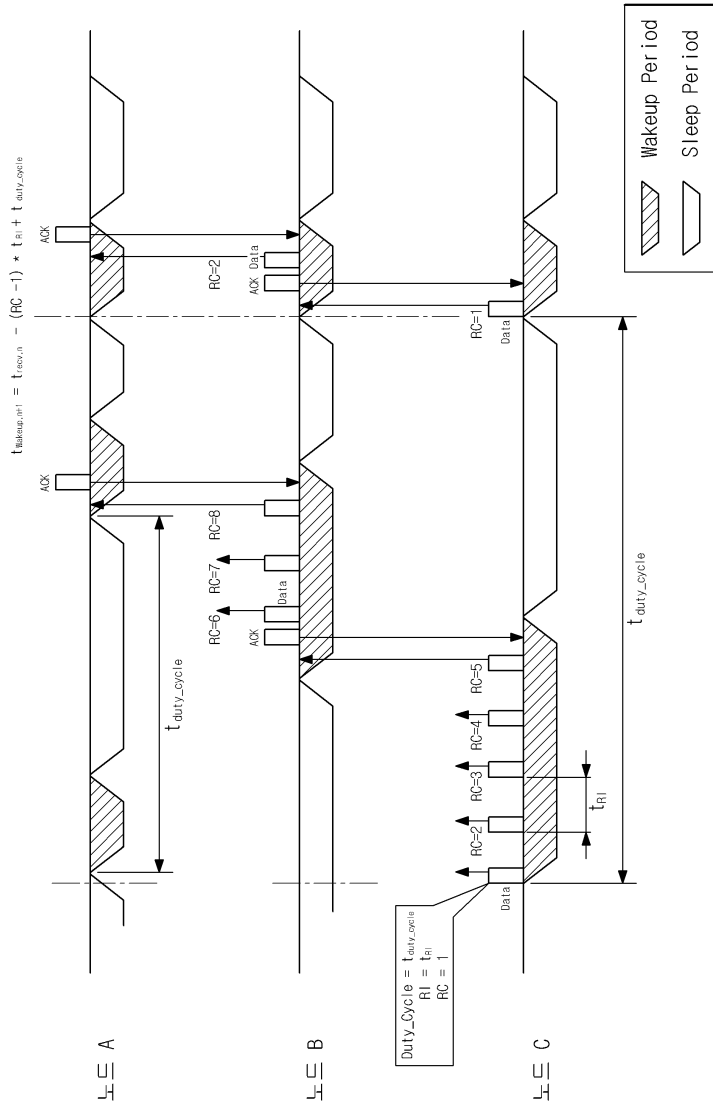
도면4



도면5



도면7



도면8

