



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0102882
(43) 공개일자 2008년11월26일

(51) Int. Cl.

H04L 7/08 (2006.01) H04L 7/027 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0049905

(22) 출원일자 2007년05월22일

심사청구일자 2007년05월22일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

최린

서울특별시 마포구 성산동 대우시영아파트 33동 409호

이상훈

서울특별시 동대문구 제기동 167-23번지 2층

(74) 대리인

김정식

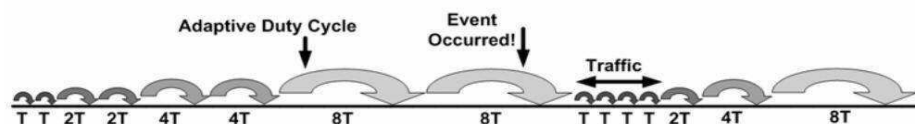
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 가변 듀티 사이클을 이용한 센서 네트워크상의 통신 방법

(57) 요약

본 발명은 센서 네트워크상에서 수행되는 통신 방법을 개시한다. 본 발명은 통신에 참여하는 센서 노드들의 듀티 사이클을 증가시키고, 통신에 참여하지 않는 노드들의 듀티 사이클을 감소시킴으로써 전송 지연과 에너지 소모의 문제를 모두 해결할 수 있는 효과가 있다. 본 발명은 노드가 통신에 참여하지 않는 시간이 길어질수록, 주기적으로 활성 상태에 진입하는 시간 주기인 사이클 시간을 최대 사이클 시간까지 점차적으로 연장시킴으로써 불필요한 활성 구간이 감소되어 에너지 소모를 줄일 수 있을 효과가 있을 뿐만 아니라, 통신에 참여하는 시간 동안에서는 사이클 시간을 대폭 단축시킴으로써 고정된 스케줄로 동작하는 방식보다 전송 지연을 감소시킬 수 있는 효과가 있다. 또한, 본 발명은 싱크(sync) 패킷에 통신 여부를 나타내는 통신 비트를 삽입하고, 싱크 패킷을 수신한 노드는 통신 비트가 설정되지 않은 경우에는 싱크 패킷을 수신하기 위한 시간 구간이 경과되면 즉시 비활성 구간으로 진입하고, 통신 비트가 설정된 경우에만 전송 요청 메시지(RTS)를 수신하기 위한 시간 구간을 활성 구간으로 확장하도록 한다. 따라서 이 방식에 의하면 통신이 수행되지 않는 경우에는 전송요청메시지를 수신하기 위한 시간 구간 동안의 에너지 소모를 감소시킬 수 있어 센서 노드의 전체 수명을 연장시킬 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도5a



특허청구의 범위

청구항 1

센서 네트워크상에서 각 센서 노드들 간에 통신을 수행하는 통신 방법으로서,

- (a) 상기 센서 노드들이 인접한 센서 노드들과의 동기화에 적합한 소정의 사이클 정렬 기준에 따라서 자신의 사이클 시간을 연장하는 단계; 및
- (b) 상기 센서 노드들이 이벤트를 감지하거나 인접한 노드로부터 메시지를 수신한 경우에, 상기 사이클 시간을 단축하여 인접한 노드로 메시지를 전송하고, 다시 상기 (a) 단계를 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

연장된 사이클 시간이, 최소 사이클 시간의 2^n 배가 되도록 상기 사이클 시간을 연장하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

사이클 시간을 연장하기 직전의 사이클 시간의 2배만큼씩 상기 사이클 시간을 연장하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 사이클 정렬 기준은

사이클 시간을 연장하는 시간이, 연장하려는 사이클 시간의 배수가 되는 시간에만 상기 사이클 시간을 연장할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 (b) 단계는

최소 사이클 시간으로 사이클 시간을 변경하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

상기 센서 노드들이 인접한 센서 노드들로부터 수신된 싱크 패킷에 포함되어 상기 인접한 센서 노드가 전송할 메시지의 존재 여부를 나타내는 통신 비트가 설정되었는지 여부에 따라서 사이클 시간을 연장할지 여부를 결정하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

상기 통신 비트가 설정되지 않은 경우에, 상기 싱크 패킷의 수신을 위한 활성 구간이 종료되는 즉시 비활성 구간으로 진입하고, 상기 사이클 정렬 기준에 따라서 상기 사이클 시간을 연장하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 (a) 단계는

상기 통신 비트가 설정된 경우에, 상기 싱크 패킷을 전송한 송신 노드로부터 전송 요청 메시지를 수신하기 위한 시간 구간까지 상기 활성 구간을 연장하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 9

센서 네트워크상에서 각 센서 노드들 간에 통신을 수행하는 통신 방법으로서,

- (a) 송신 노드가 전송할 메시지의 존재 여부에 따라서 싱크 패킷에 포함된 통신 비트를 설정하여 상기 싱크 패킷을 전송하는 단계; 및
- (b) 상기 싱크 패킷을 수신한 수신 노드가 상기 통신 비트를 조사하여 상기 통신 비트의 설정 값에 따라서 활성 구간을 변경하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 송신 노드가 전송할 메시지가 존재하는 경우에 상기 통신 비트를 소정의 제 1 값으로 설정하고, 전송할 메시지가 존재하지 않는 경우에는 상기 통신 비트를 상기 제 1 값에 대응되는 소정의 제 2 값으로 설정하여 상기 싱크 패킷을 전송하고,

상기 (b) 단계는 상기 통신 비트가 상기 제 2 값으로 설정된 경우에, 상기 싱크 패킷의 수신을 위한 활성 구간이 종료되는 즉시 비활성 구간으로 진입하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 (a) 단계는 상기 송신 노드가 전송할 메시지가 존재하는 경우에 상기 통신 비트를 소정의 제 1 값으로 설정하고, 전송할 메시지가 존재하지 않는 경우에는 상기 통신 비트를 상기 제 1 값에 대응되는 소정의 제 2 값으로 설정하여 상기 싱크 패킷을 전송하고,

상기 (b) 단계는 상기 통신 비트가 상기 제 1 값으로 설정된 경우에, 상기 수신 노드는 전송 요청 메시지를 수신하기 위한 시간 구간까지 상기 활성 구간을 연장하는 것을 특징으로 하는 통신 방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항의 통신 방법을 컴퓨터에서 관독할 수 있고 실행 가능한 프로그램 코드로 기록한 기록 매체.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <6> 본 발명은 센서 네트워크상에서 수행되는 통신 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 센서 네트워크상의 각 노드들의 불필요한 전력 소모를 줄이고 보다 효율적으로 통신을 수행할 수 있는 센서 네트워크상의 통신 방법에 관한 것이다.
- <7> 일반적인 이동통신 시스템은 이동통신 단말기와 기지국간의 데이터를 송수신한다. 즉, 이동단말과 기지국은 다른 이동통신 단말기/노드를 경유하지 않고 직접 데이터를 송수신한다. 그러나 이러한 종래의 이동통신 시스템은 기지국이라는 인프라스트럭처에 의존하고 있으므로, 인프라스트럭처가 구비되지 않은 환경 및 응용분야에서는 통신을 수행할 수 없는 문제점이 있다.
- <8> 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 인프라스트럭처의 의존하지 않고 각각의 이동통신 노드들만으로 통신 네트워크를 구성하는 기술로 Ad-hoc 네트워크 방식과 센서 네트워크 방식이 개발되었다.
- <9> 현재 제안되고 있는 센서 네트워크 기술의 응용 사례들은 무인 경비, 일정 지역의 또는 수역의 온도나 오염도 등의 상태를 감시하는 환경 감시, 원격 점검, 설비 감시 등 실로 다양하며, 홈 네트워크 시스템과 인터넷 망과 연동하여 동작되는 응용 사례들도 있다.

- <10> 도 1 은 종래기술에 따른 일반적인 센서 네트워크의 기본 개념을 설명하는 도면이다. 도 1을 참조하면, 센서 노드는 사용자가 설정한 타겟(target)에 관한 정보를 수집한다. 센서 노드가 수집하는 타겟의 정보는 주위의 온도나 물체의 이동, 지진 측정, 해일 측정, 전장의 무인 모니터링 등으로 그 응용 분야가 점점 다양해지는 추세이다.
- <11> 센서 노드는 수집된 정보를 싱크 노드로 전송한다. 싱크 노드는 센서 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들이 전송한 데이터들을 전달받는다. 싱크 노드로부터 일정 거리 이내에 위치하고 있는 센서노드는 전송할 데이터를 직접 싱크 노드로 전달한다. 하지만, 싱크 노드로부터 일정 거리 이내에 위치하고 있지 않은 센서 노드는 수집된 데이터를 싱크 노드로 직접 전달하는 대신 싱크 노드에 인접한 센서 노드들로 전송한다.
- <12> 상술한 바와 같이, 일정 거리 이내에 위치하고 있지 않은 노드가 싱크 노드에 인접한 노드들을 이용하여 데이터를 전송하는 이유는 데이터 전송에 따른 전력 소모를 최소화하기 위해서이다.
- <13> 즉, 센서 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송하는데 소모되는 전력은 일반적으로 싱크 노드와 센서 노드간의 거리의 제곱에 비례한다. 따라서 싱크 노드로부터 일정 거리 이내에 위치하고 있지 않은 센서 노드는 복수 개의 센서 노드들을 이용하여 수집된 데이터를 전송함으로써 데이터 전송에 따른 전력소모를 최소화할 수 있게 된다. 물론, 다른 센서 노드로부터 데이터를 수신하여 싱크로 전달하는 중계 노드 역시 자신이 수집한 데이터를 다른 중계 노드를 이용하여 또는 직접 싱크 노드로 전송한다.
- <14> 상술한 바와 같은, 센서 네트워크에서 가장 중요한 핵심 기술은 센서 노드들 및 싱크 노드의 불필요한 전력 소모를 방지하여 네트워크의 수명을 늘리는 것이다. 각 노드들은 작은 크기 때문에 비교적 소용량의 배터리를 통해 전력을 공급받고, 또한 노드들을 설치해 놓은 지역에 따라 배터리를 교환하기 매우 어려울 수 있으므로, 전체 센서 네트워크의 수명을 연장시키기 위해서는 각 노드를 구성하는 센서들의 전력소모를 최소화시키는 것이 필수적이다.
- <15> 센서 네트워크의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 직접 노드들의 RF(Radio Frequency) 모듈의 동작을 제어하므로 MAC 프로토콜이 얼마나 효율적인지에 따라 노드들의 전력 소모에 큰 영향을 미친다.
- <16> 도 2는 종래의 S-MAC(Sensor-Medium Access Control) 프로토콜에 따른 데이터 통신을 설명하기 위한 도면으로, S-MAC 프로토콜은 센서 네트워크상의 보다 효율적인 통신을 위해 제안된 MAC 프로토콜의 한 형태이다.
- <17> S-MAC 프로토콜의 가장 큰 특징은 도면에 도시된 바와 같이 주기적으로 센서 네트워크상의 노드들이 휴지(Sleep) 시간을 갖는 것이다.
- <18> 센서 네트워크상의 노드들은 통신 상태를 활성(Active) 상태로 전환할 시점을 동기화하고 일정한 통신 시간(Duty Cycle) 동안만 활성 상태로 데이터 통신을 수행한다.
- <19> 그리고 노드들은 활성 상태에서 휴지 상태로 통신 상태를 전환시킨 후, 다시 활성 상태로 통신 상태가 전환될 때까지 RF 통신 모듈의 전원을 차단시켜 무의미하게 소비될 전력 낭비를 막는다.
- <20> 즉, 노드들의 통신 상태가 활성 상태인 경우에는 1홉 거리인 이웃 노드로 데이터를 송신 또는 상기 이웃 노드로부터 데이터를 수신 가능한 상태인 것을 의미하며, 휴지 상태인 경우에는 데이터의 송수신을 중단한 상태인 것을 의미한다.
- <21> 도면에 도시된 바와 같이 S-MAC 프로토콜은 노드들의 통신 상태가 활성 상태로 전환된 경우, 그 활성 상태가 유지되는 시간 동안에 송신측 노드와 수신측 노드 간에 802.11 MAC 프로토콜과 유사하게 전송요청메시지(Request-To-Send: RTS), 전송허락메시지(Clear-To-Send: CTS), 데이터(DATA), ACK(Acknowledgement)메시지 순서로 신호를 교환한다.
- <22> 송신측 노드와 수신측 노드는 통신 상태가 활성 상태로 전환되면 서로 SYNC(Synchronization) 신호를 주고받은 후 충돌을 피하기 위해 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식으로 약간의 연결(Connection) 시간을 기다린 후, 송신측 노드에서 수신측 노드로 RTS 신호를 전송한다.
- <23> 그리고 RTS 신호를 전송받은 수신측 노드는 송신측 노드로 CTS 신호를 전송하고, 송신측 노드로부터 전송되는 데이터를 수신 받는다.
- <24> 수신측 노드는 송신측 노드가 전송한 데이터를 정상적으로 수신 완료할 시에 ACK 메시지를 송신측 노드로 전송하여 정상적으로 데이터 전송이 완료되었음을 알린다.

- <25> 이에 따라, 센서 네트워크상의 노드들은 도면에 도시된 바와 같이 통신 상태가 활성 상태로 전환되면 SYNC 신호를 주고받기 위한 시간과 RTS 신호를 주고받기 위한 시간을 갖는다.
- <26> RTS 신호를 주고받기 위한 기간 동안에 RTS 신호를 수신하거나 송신한 노드들에 경우에는 CTS 신호 및 데이터 전송을 수행하는 시간(점선 박스 구간)을 가지고, 그렇지 못한 노드들에 경우에는 RTS 신호를 주고받기 위한 기간 이후에 바로 통신 상태를 휴지 상태로 전환한다.
- <27> 도 3은 S-MAC(Sensor-Medium Access Control) 프로토콜에 따라 노드들 간에 통신이 수행되는 형태를 나타낸 도면으로, S-MAC 프로토콜에 따라 이벤트를 감지한 A 노드에서 싱크 노드로 데이터를 전송하는 과정을 도시한다.
- <28> 도 3 에 도시된 바와 같이, A 노드로부터 1홉 거리인 B 노드, 2홉 거리인 C 노드, 3홉 거리인 싱크 노드는 동기화되어 동일한 시점에 활성화된 통신 시간을 가지고 서로 통신을 수행하며, A 노드에서 감지된 이벤트 데이터는 A 노드의 상위 노드인 B 노드와 B 노드의 상위 노드인 C 노드를 거쳐서 싱크 노드로 전달된다.
- <29> 구체적으로 설명하면, A 노드로부터 1홉 거리인 B 노드는 한 통신 주기(T)내에서 통신 상태가 활성 상태인 통신 시간동안 A 노드의 메시지를 수신 받고, 다음 통신 주기(T)의 통신 상태가 활성 상태인 때에 자신의 상위 노드인 1홉 거리의 C 노드로 RTS 신호를 전송한다. 그리고 B 노드는 C 노드로부터 CTS 신호를 전송받으면 A 노드로부터 수신된 메시지를 C 노드로 전송한다.
- <30> B 노드와 마찬가지로 C 노드도 B 노드로부터 수신 받은 A 노드의 메시지를 다음 통신 주기의 통신 상태가 활성 상태인 때에 싱크 노드로 전송한다.
- <31> 이와 같이, 센서 네트워크의 각 센서 노드들은 각 통신 주기마다 통신 상태가 활성 상태인 때에 통신을 수행하며 순차적으로 하위 노드의 메시지를 상위 노드로 전송하여 메시지를 싱크 노드로 전송하고, 이와 동일한 방식으로 싱크 노드의 메시지는 싱크 노드로부터 순차적으로 하위 노드로 전송된다.
- <32> 이에 따라, S-MAC 프로토콜에 따른 노드들 간의 통신은 통신 지연이 큰 문제가 된다. 싱크 노드와의 홉 거리가 큰 값을 갖는 노드일수록 상위 노드로부터 싱크 노드의 메시지를 수신 받거나, 싱크 노드로 메시지를 전송하는데 더 많은 통신 주기의 시간이 걸리게 된다.
- <33> 이와 같은 통신 지연 문제를 해결하기 위해 센서 네트워크의 통신 주기를 단축시키는 방법을 고려해 볼 수도 있지만, 통신 주기의 단축은 각 센서 노드들의 더 많은 에너지 소모를 초래하여 배터리로 동작하는 각 노드들의 수명을 단축시키는 문제가 존재한다.
- <34> 또한, 상술한 종래의 방식은 고정된 통신 스케줄에 따라서 동작되는 문제점이 존재하였다. 즉, 기존의 방식은 송신 노드와 수신 노드의 동기화를 위해서 센서 네트워크상의 모든 노드가 동시에 활성 상태에 들어가도록 구성된다. 그러나 실제로는 센서 네트워크상의 일부 노드들만 통신에 참여하므로, 나머지 노드들은 불필요한 활동으로 에너지를 낭비하는 문제점이 존재하였다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <35> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 각 센서 노드들의 에너지 소모를 최소화하면서도, 각 센서 노드들 간의 통신 지연 문제를 초래하지 않는 센서 네트워크상의 통신 방법을 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

- <36> 본 발명의 구성을 설명하기에 앞서, 본 발명에서 사용되는 용어들을 정의하면 다음과 같다.
- <37> 사이클(cycle)은 활성 구간과 비활성 구간(sleep period)으로 구성된 주기적인 시간 간격이다. 활성 구간은 후술하는 도 4 에 도시된 바와 같이, SYNC, RTS 구간으로 나누어지며, 각 구간은 충돌을 줄이기 위한 경쟁 윈도우(contention window)를 포함한다.
- <38> 사이클 시간은 최소 사이클 시간 T의 배수로 표현되며, 최소 사이클 시간 T는 SYNC, RTS, CTS, DATA 및 ACK 패킷 교환으로 이루어지는 단일 데이터 전송을 제공할 수 있는 최소 시간이다. 최소 사이클 시간(T)은 각 패킷의 크기와 경쟁 윈도우 크기, 전송 지연 및 RF 변수들로부터 계산될 수 있다.
- <39> 일반적으로 듀티 사이클은 기기 혹은 시스템이 동작하는 시간적 비율을 의미하고, 본 발명에서 듀티 사이클은 활성 구간과 전체 사이클 시간(통신 주기 시간)의 비율을 의미하며, 퍼센트로 표현이 가능하다. 예를 들어 1초의 사이클 시간을 가지는 센서 노드가 200ms 동안의 활성 구간을 가지고 800ms 동안의 비활성 구간을 가진다

면 듀티 사이클은 20% 혹은 0.2가 된다.

- <40> 상술한 기술적 과제를 이루기 위하여 본 발명은 각 노드들이 자신의 통신 스케줄을 동적으로 제어할 수 있는 통신 방법을 제공한다. 본 발명의 기본 개념은 전송 경로상의 노드들은 높은 듀티 사이클을 가짐으로써 성능을 최대화 하고, 이외의 노드들은 낮은 듀티 사이클을 가짐으로써 에너지 소비를 최소화하는 것이다.
- <41> 이렇게 각 노드들이 통신 상태에 따라서 자신의 듀티 사이클을 적응적으로 조절할 수 있도록 하기 위해서, 본 발명은 다음의 두 가지 방식을 독립적으로 또는 서로 결합하여 이용한다. 첫째는 각 노드가 네트워크의 트래픽에 따라 스케줄의 주기를 조절할 수 있도록 하는 것이다. 즉, 노드가 통신에 참여할 때 자신의 통신 시간 주기를 단축시킴으로써 높은 듀티 사이클을 갖도록 하고, 통신에 참여하지 않는 경우 통신 시간 주기를 연장시킴으로써 낮은 듀티 사이클을 갖도록 한다. 즉 모든 노드들이 항상 동일한 시간에 활성 상태 또는 비활성 상태에 진입하지 않는다.
- <42> 두 번째는 각 노드들은 주기를 조절할 뿐만 아니라 트래픽에 따라 활성 구간의 길이를 조절하는 것이다. 본 발명의 송신 노드는 항상 전송을 알리기 위해 활성 구간의 초기에 통신 토큰을 브로드캐스트 한다. 통신 토큰을 수신한 노드들은 네트워크 컨트롤 패킷을 위해 자신의 활성 구간을 조절한다. 이를 통해 각 노드들은 트래픽이 없는 경우 네트워크 컨트롤 패킷을 위한 불필요한 구간을 제거하여 활성 구간을 최소화 할 수 있다.
- <43> 이와 같은 스케줄 주기 및 활성 구간의 동적인 조절은 각 노드의 듀티 사이클을 네트워크 트래픽에 따라 절절히 제어할 수 있도록 하고, 이를 통해 전송에 참여하지 않는 비활성 노드의 에너지 소모를 최소화함과 동시에 전송에 참여하는 활성 노드의 성능을 최대화 할 수 있다.
- <44> 상술한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 센서 네트워크상에서 각 센서 노드들 간에 통신을 수행하는 통신 방법은, (a) 센서 노드들이 인접한 센서 노드들과의 동기화에 적합한 소정의 사이클 정렬 기준에 따라서 자신의 사이클 시간을 연장하는 단계; 및 (b) 센서 노드들이 이벤트를 감지하거나 인접한 노드로부터 메시지를 수신한 경우에, 사이클 시간을 단축하여 인접한 노드로 메시지를 전송하고, 다시 (a) 단계를 수행하는 단계를 포함한다.
- <45> 또한, 상술한 (a) 단계는, 연장된 사이클 시간이, 최소 사이클 시간의 2^n 배가 되도록 사이클 시간을 연장할 수 있다.
- <46> 또한, 상술한 (a) 단계는, 사이클 시간을 연장하기 직전의 사이클 시간의 2배만큼씩 사이클 시간을 연장할 수 있다.
- <47> 또한, 상술한 사이클 정렬 기준은, 사이클 시간을 연장하는 시간이, 연장하려는 사이클 시간의 배수가 되는 시간에만 사이클 시간을 연장할 수 있도록 할 수 있다.
- <48> 또한, 상술한 (b) 단계는, 최소 사이클 시간으로 사이클 시간을 변경할 수 있다.
- <49> 또한, 상술한 (a) 단계는, 센서 노드들이 인접한 센서 노드들로부터 수신된 싱크 패킷에 포함되어 인접한 센서 노드가 전송할 메시지의 존재 여부를 나타내는 통신 비트가 설정되었는지 여부에 따라서 사이클 시간을 연장할지 여부를 결정할 수 있다.
- <50> 또한, 상술한 (a) 단계는, 통신 비트가 설정되지 않은 경우에, 싱크 패킷의 수신을 위한 활성 구간이 종료되는 즉시 비활성 구간으로 진입하고, 사이클 정렬 기준에 따라서 사이클 시간을 연장할 수 있다.
- <51> 또한, 상술한 (a) 단계는, 통신 비트가 설정된 경우에, 싱크 패킷을 전송한 송신 노드로부터 전송 요청 메시지를 수신하기 위한 시간 구간까지 활성 구간을 연장할 수 있다.
- <52> 한편, 상술한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 다른 센서 네트워크상에서 각 센서 노드들 간에 통신을 수행하는 통신 방법은, (a) 송신 노드가 전송할 메시지의 존재 여부에 따라서 싱크 패킷에 포함된 통신 비트를 설정하여 싱크 패킷을 전송하는 단계; 및 (b) 싱크 패킷을 수신한 수신 노드가 통신 비트를 조사하여 통신 비트의 설정 값에 따라서 활성 구간을 변경하는 단계를 포함한다.
- <53> 또한, 상술한 (a) 단계는 송신 노드가 전송할 메시지가 존재하는 경우에 통신 비트를 소정의 제 1 값으로 설정하고, 전송할 메시지가 존재하지 않는 경우에는 통신 비트를 제 1 값에 대응되는 소정의 제 2 값으로 설정하여 싱크 패킷을 전송하고, 상술한 (b) 단계는 통신 비트가 제 2 값으로 설정된 경우에, 싱크 패킷의 수신을 위한 활성 구간이 종료되는 즉시 비활성 구간으로 진입할 수 있다.

- <54> 또한, 상술한 (a) 단계는 송신 노드가 전송할 메시지가 존재하는 경우에 통신 비트를 소정의 제 1 값으로 설정하고, 전송할 메시지가 존재하지 않는 경우에는 통신 비트를 제 1 값에 대응되는 소정의 제 2 값으로 설정하여 싱크 패킷을 전송하고, (b) 단계는 통신 비트가 제 1 값으로 설정된 경우에, 수신 노드는 전송 요청 메시지를 수신하기 위한 시간 구간까지 활성 구간을 연장할 수 있다.
- <55> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 설명한다.
- <56> 도 4 는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서 활성 구간을 변경하여 듀티 사이클을 변경함으로써 센서 네트워크 상에서 통신을 수행하는 방법을 설명하는 도면이다.
- <57> 도 4를 참조하여 활성 구간을 변경하여 듀티 사이클을 변경하는 과정을 설명하면, 본 발명에서는 특정 사이클에 트래픽이 없는 경우 각 노드는 자신의 활성 구간에서 불필요한 RTS 구간을 제거할 수 있도록 하였다. 이를 위해, 본 발명은 SYNC 패킷의 헤더에는 통신 비트 (communication bit)라 불리는 별도의 추가적인 비트를 삽입하였다. 통신 비트가 1 로 설정되면 SYNC 패킷을 수신한 노드들은 해당 사이클에 RTS를 수신할 수 있도록 자신의 활성 구간을 RTS 수신 구간까지 확장한다.
- <58> 그러므로 송신 노드가 전송할 데이터 패킷이 있으면, 그 노드는 우선 통신 비트를 1로 설정하여 브로드캐스트하며, 이러한 SYNC 패킷을 클럭을 맞추기 위한 정기적인 SYNC인 클럭 SYNC 와 구분하기 위해 통신 SYNC라 부른다. 따라서 수신 노드는 SYNC 패킷을 확인하고 만약 통신 비트가 1로 설정되어 있다면 자신의 활성 구간을 RTS 수신 구간까지 확장한다. 통신 비트가 0이면 수신 노드들은 성능 저하 없이 낮은 듀티 사이클을 가질 수 있도록 SYNC 구간이 끝나는 즉시 비활성 상태(sleep 상태)로 진입한다.
- <59> 이 경우, 두 가지 종류의 SYNC 패킷으로 인해 SYNC 구간에 채널 획득을 위한 경쟁이 발생할 수 있다. 클럭 동기화는 드물게 발생하므로 충돌이 발생할 확률이 낮지만, 높은 트래픽이 발생한 경우에는 최악의 경우 클럭 동기화가 실패할 수도 있다. 그러므로 본 발명은 클럭 SYNC가 통신 SYNC보다 우선순위를 가지도록 하였다.
- <60> 도 4를 참조하면, 도 4의 (a) 에 도시된 통신을 수행할 송신 노드는 통신 비트가 1 로 설정된 Sync 패킷을 인접한 노드들로 전송한다(도 4 의 (a)에서 CS 는 Carrier Sense를 나타냄).
- <61> 도 4 의 (b) 에 도시된 수신 노드는 송신 노드로부터 통신 비트가 1 로 설정된 Sync 패킷을 수신하고, 활성 구간을 RTS 패킷을 수신하기 위한 구간까지 확장한 후, 데이터를 수신하는 과정을 수행하지만, 도 4의 (c) 에 도시된 통신에 참여하지 않는 유휴 수신 노드는 Sync 패킷을 수신하기 위한 시간 구간동안 통신 비트가 1 로 설정된 Sync 패킷이 수신되지 않으면 곧 바로 비활성 상태로 진입한다.
- <62> 도 5a 내지 도 5c 는 사이클 시간을 변경하여 듀티 사이클을 변경함으로써 센서 네트워크 상에서 통신을 수행하는 방법을 설명하는 도면이다. 도 5a 내지 도 5c를 참조하여 사이클 시간을 변경함으로써 듀티 사이클을 변경하는 과정을 설명하면, 본 발명에서 각 노드는 트래픽에 따라 자신의 사이클 시간을 조절할 수 있다. 이 방식은 모든 노드가 쉽게 서로 동기화할 수 있도록 사이클 시간의 조정이 필요하다. 이를 위해서, 본 발명에서 각 노드는 사이클 시간을 최소 사이클 시간 단위인 T 의 2^n 배로 설정해야 하며, 각 노드의 최대 사이클 시간은 시스템 상에 구동되는 응용의 지연 요구조건에 따라 결정된다.
- <63> 예컨대, 도 5a 에 도시된 바와 같이, 본 발명의 각 노드는 자신의 사이클 시간을 T , $2T$, $4T$, $8T$, $16T$,... 와 같이 최소 사이클 시간 단위인 T 의 2^n 배로 증가시키고, 최장 사이클 시간에 도달하게 되면 최장 사이클 시간(도 5a 의 경우에는 $8T$)를 유지하다가, 이벤트가 발생하거나 다른 인접 노드로부터 싱크로 전송할 메시지를 수신하여 통신에 참여하게 되면 사이클 시간을 최소 사이클 시간인 T 로 단축하거나, 점차 최대 사이클 시간을 최소 사이클 시간까지 단축함으로써, 각 노드는 자신의 듀티 사이클을 통신 환경에 따라서 적응적으로 변경하여 에너지 소모를 최소화한다. 다만, 본 발명은 사이클 시간이 서로 어긋나는 것을 방지하기 위해 각 노드는 제한된 조건하에서 사이클 시간을 조절하여야 한다.
- <64> 만약, 모든 노드가 동기화 후 시간 0일 때 동작을 시작하여 매 T 시간이 경과할 때마다 자신의 사이클 시간을 변경할 수 있다고 가정하면, 임의의 A 노드가 시간이 T 의 홀수 배일 때 자신의 사이클 시간을 T 에서 $2T$ 로 변경하고 다른 노드 B는 시간이 T 의 짝수 배일 때 자신의 사이클 시간을 T 에서 $2T$ 로 변경한다면, 두 노드는 동기화되지 못한다.
- <65> 이와 같이 노드들의 사이클 시간이 서로 어긋나 서로 통신 불능상태에 빠지지 않도록 하기 위해서, 각 노드는 자신의 사이클 시간을 적절한 사이클 정렬 기준 (natural cycle alignment boundary)에 맞추어 변경해야 한다.

- <66> 사이클 정렬 기준은 다양하게 적용될 수 있으나, 본 발명은 사이클 정렬 기준의 한 예로서, 각 노드는 최초로 동기화된 시간으로부터 자신이 변경하고자 하는 사이클 시간의 배수가 되는 시간에서만 해당 사이클 시간으로 자신의 사이클 시간을 변경할 수 있도록 하였다.
- <67> 예를 들어, 현재 임의의 한 노드의 사이클 시간이 8T이고 자신의 사이클 시간을 8T 의 두 배인 16T 로 증가하고자 한다면, 노드는 사이클 시간이 최초로 동기화된 시간으로부터 16T의 배수가 되는 시점에서 사이클 시간을 16T로 증가시켜야 한다.
- <68> 이러한 방법을 통해 짧은 사이클 시간을 가지는 노드는 긴 사이클 시간을 가지는 노드와 항상 동기화할 수 있도록 한다. 도 5b 에서 도시된 바와 같이, 2T의 사이클 시간을 가지는 노드는 T, 4T, 8T 등의 사이클 시간을 가지는 노드들과 동기화된다.
- <69> 또한, 도 5c를 참조하면, 도 5c 의 (a) 는 시간 주기가 T 인 노드의 동기화 타이밍을 도시하고, 도 5c 의 (b) 는 해당 사이클 시간이 4회 반복되면 사이클 시간을 상술한 사이클 정렬 기준에 따라서 적응적으로 변경하는 노드의 동기화 타이밍을 도시하고, 도 5c 의 (c) 는 상술한 사이클 정렬 기준에 따라서 사이클 시간의 변경이 가능할 때마다 사이클 시간을 변경하는 노드의 동기화 타이밍을 도시한다.
- <70> 도 5c 에 도시된 바와 같이, 도 5c 의 (c) 노드의 경우에도 자신과 다른 시간에 사이클 시간을 변경한 도 5c 의 (b) 노드와도 동기화될 수 있다.
- <71> 본 발명에서 사이클 시간 조절은 트래픽에 따라 결정된다. 만약 트래픽이 없다면 해당 사이클 시간에 통신 SYNC 패킷이 전송되지 않을 것이고, 모든 노드들은 적절한 사이클 정렬 기준 시간에 자신의 듀티 사이클을 줄이기 위해 사이클 시간을 두 배로 늘린다. 도 5a 에 도시된 바와 같이, 이러한 방법을 자동 배증 (automatic doubling)이라 한다. 그러므로 네트워크가 장기간 유휴 상태에 있다면 모든 노드들이 결국 최대 사이클 시간을 가지게 되고, 이 때 노드들은 최대 에너지 절약 상태에 있게 된다.
- <72> 본 발명의 바람직한 실시예에서 사이클 시간의 감소는 이벤트가 발생했을 때 일어난다. 송신 노드가 전송한 RTS 패킷에 지정된 수신 노드는 자신의 사이클 시간을 최소 사이클 시간 T로 줄인다. 네트워크 성능을 최대화할 수 있는 이러한 방법을 최소 감소 (minimum reduction)라고 한다. 이와 달리 사이클 시간을 서서히 감소시키는 방법을 사용하는 경우 메시지 지연을 증가시키지만 에너지 효율성을 더욱 높일 수 있다.
- <73> 한편, 상술한 S-MAC과 같이 본 발명에서도 각 노드들은 자신의 이웃 노드들과 클럭을 동기화해야 한다. 클럭 동기화는 두 가지 다른 목적으로 사용된다. 첫 번째는 노드들 간의 동기화를 위한 것이다. 본 발명도 S-MAC과 같이 모든 노드가 SYNC 패킷 기원 노드가 되기 위해 경쟁하는 방식을 사용할 수 있으며, 이러한 방법은 네트워크 초기화 단계에 싱크 노드를 사용할 수 없는 경우에 적합하다. 그러나 이러한 방법은 시간이 많이 소요되며, 단일 네트워크 내에 다수의 스케줄 생성으로 인한 가상 클러스터들이 생기는 문제가 있다. 이로 인해 클러스터 경계에 있는 노드들은 두 클러스터의 스케줄에 따라 동작해야 하며 더 많은 유휴 청취와 엿들음 (overhearing)으로 인해 에너지 효율성이 떨어진다.
- <74> 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 발명은 중앙 집중형태의 방식을 취한다. 네트워크 초기화 단계에 싱크 노드가 자신의 이웃 노드들에게 SYNC 패킷을 전송함으로써 네트워크 동기화를 시작한다. 모든 노드들은 자신의 이웃 노드들 중 최소한 하나로부터 SYNC 패킷을 받은 후 주기적인 활성 상태(wakeup)/비활성 상태(sleep)를 시작한다.
- <75> SYNC 패킷을 받은 노드는 자신의 타이머를 SYNC 패킷에 포함된 스케줄에 동기화하며 다음 활성 상태(wakeup) 구간에 그 스케줄과 시간 정보를 포함한 SYNC 패킷을 전송한다. 즉, 네트워크 내의 모든 노드들은 싱크 노드로부터의 SYNC 패킷을 수신하고, 그에 따라 SYNC 패킷을 재구성하여 자신의 이웃 노드들에게 전송하며, 이 때 SYNC 패킷을 브로드캐스트하는 방식은 일반적인 경쟁 과정에 따른다.
- <76> 임의의 캐리어 센스 구간은 SYNC 패킷의 충돌 확률을 감소시키며, 이러한 경쟁 과정은 모든 센서 노드가 SYNC 패킷을 수신할 때까지 반복된다. 무선 통신에서 매체의 특성상 싱크 노드에서 전체 네트워크 노드에 이르기까지 동기화를 하기 위해서는 각 노드는 단 한번의 SYNC 패킷 전송만을 필요로 한다.
- <77> 본 발명에서 SYNC 패킷의 또 다른 기능은 이웃 발견 (neighbor discovery) 서비스를 제공하는 것이다. 노드가 자신의 이웃 노드로부터 SYNC 패킷을 수신한 경우 송신 노드의 주소를 자신의 이웃 노드들 중 하나로 기록한다. 네트워크 내의 모든 노드들은 최소한 한 번씩 SYNC 노드를 전송하므로 클럭 동기화 단계에서 각 노드들은 자신

의 모든 이웃 노드들에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이를 통해 얻어진 이웃 노드에 대한 정보는 각 노드의 스케줄 조정에 사용된다.

- <78> 각 노드의 클럭 편차 (clock drift)로 인해 노드간 동기화 에러가 발생 가능하므로 클럭 동기화는 주기적으로 수행되어야 한다. 그러나 센서 노드에 사용되는 일반적인 클럭 생성기 (clock generator)의 클럭 편차는 매우 작으므로 클럭 동기화는 드물게 수행된다. 클럭 편차비율이 초당 5us 이고, 동기화 구간이 1 분이라고 가정하면 송/수신 노드간의 최대 클럭 편차는 600 us가 되는데, 이는 일반적인 센서 노드의 전송 대역폭인 20Kbps상에서 약 1~1/2 바이트를 전송하는 시간에 불과하다. 이는 TDMA 기반 방식에서 사용되는 정밀한 동기화 기법에 비해 매우 성긴 (coarse-grained) 조절 방식을 필요로 함을 뜻한다.
- <79> 싱크 노드로부터 센서 노드에 SYNC 패킷이 도달할 수 없는 경우 센서 노드는 SYNC 패킷을 무한히 기다릴 수 없다. 노드의 에너지 소모를 막기 위해 센서 노드는 SYNC 패킷이 전달될 수 있을 정도로 충분히 긴 시간 동안만 기다리도록 프로그램 될 수 있고, SYNC 패킷을 받지 못한다면 동기화를 포기하고 낮은 듀티 사이클로 동작한다. 하지만 노드는 자신의 스케줄을 동기화하기 위해 주기적으로 동기화 단계로 돌아가 SYNC 패킷을 기다린다.
- <80> 본 발명의 적응형 사이클 시간과 관련한 주안점 중 하나는 노드가 자신의 이웃들과 활성 상태(wakeup) 구간을 어떻게 동기화할 것인가이다. 이를 위해 본 발명의 SYNC 패킷은 송신 노드의 현재 사이클 시간을 최소 사이클 시간 T의 배수로 표현한 스케줄 정보를 가지고 있다. 초기에는 빠른 클럭 동기화를 위해 최소 사이클 시간 T 값으로 설정되어 있다. 그러므로 SYNC 패킷은 클럭, 통신 및 스케줄 동기화를 제공한다.
- <81> 또한, 모든 노드는 자신의 이웃 노드의 사이클 시간 정보를 기록한 스케줄 표를 유지한다. 각 노드는 네트워크 초기 동기화 단계에서 이웃 노드들의 SYNC 패킷을 엿들음으로써 각 노드에 대한 사이클 시간을 기록한다. 이후 각 노드는 매 사이클 마다 스케줄 표를 독립적으로 갱신한다. 통신 SYNC 패킷이 없다면 모든 이웃 노드들이 유흯상태에 있는 것으로 간주하여 스케줄 표를 갱신한다. 이를 통해 각 노드는 별도의 스케줄 정보 요청 없이 이웃 노드들의 스케줄을 예측하여 관리할 수 있다.
- <82> 만약, 이웃 노드가 유흯 상태이고 이웃 노드의 사이클 시간이 그 노드의 적절한 사이클 정렬 기준에 있다면 노드는 이웃 노드의 사이클 시간을 두 배로 증가시킬 수 있다. 만약, 통신 SYNC 패킷을 수신한다면 모든 수신 노드들은 송신 노드의 스케줄 표의 값을 최소 사이클 시간 T로 변경한다. 또한, 통신 SYNC 패킷 수신 노드들은 RTS 패킷을 엿들게 되므로 RTS 패킷의 목적 노드의 스케줄 정보를 최솟값으로 변경한다.
- <83> 이러한 방법으로 각 노드는 별도의 트래픽을 발생시키지 않고 독립적으로 주위 노드들의 스케줄 정보를 관리할 수 있다. 적응형 사이클 시간 기능의 구현은 SYNC 패킷 헤더 내의 추가적인 통신 비트와 스케줄 정보를 제외한 별도의 오버헤드를 요구하지 않으며, 이와 같은 간단한 조율을 통해 에너지 효율성과 네트워크 성능을 극적으로 개선할 수 있다.
- <84> 한편, 본 발명의 바람직한 실시예는 상술한 적응형 활성 구간 변경 기법과 적응형 사이클 시간 변경 기법을 함께 적용할 수 있다. 이 경우에, 센서 노드의 각 노드들은 상술한 바와 같이, 자신의 사이클 시간을 연장하고, 연장된 각 주기마다 sync 패킷을 인접한 노드들과 서로 주고받으면서 동기화를 수행함에 있어서, sync 패킷을 수신한 노드는 내부에 통신 비트가 1 로 설정되어 있는지 여부를 조사하여, 통신 비트가 설정되지 않은 경우에는 sync 패킷 교환을 위한 시간이 종료되면 비활성 상태로 진입하고 상술한 사이클 정렬 기준에 따라서 사이클 시간을 연장한다.
- <85> 그러나 수신된 sync 패킷의 통신 비트가 1 로 설정된 경우에, 노드는 전송 요청 메시지(RTS)를 수신하기 위한 구간까지 활성 구간을 연장하고, 전송 요청 메시지를 수신하면 종래 방식에 따라서 CTS 패킷, 데이터 패킷, 및 ACK 패킷을 주고받으면서 통신을 수행하며, 사이클 시간을 최소 시간으로 변경한다. 또한, 노드는 통신이 종료될 때까지 최소 사이클 시간으로 통신을 수행하고, 통신이 종료되면 상술한 방식에 따라서 점차 사이클 시간을 연장시킨다.
- <86> 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.
- <87> 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통

상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

발명의 효과

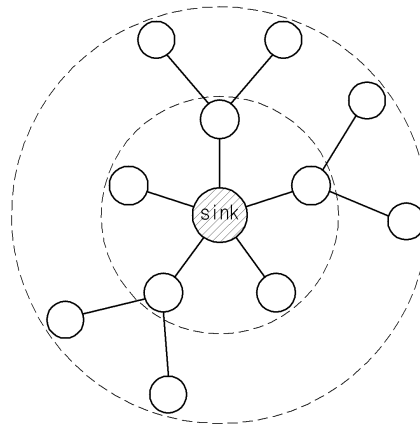
- <88> 상술한 바와 같이, 본 발명은 통신에 참여하는 센서 노드들의 듀티 사이클을 증가시키고, 통신에 참여하지 않는 듀티 사이클을 감소시킴으로써 전송 지연과 에너지 소모의 문제를 모두 해결할 수 있는 효과가 있다.
- <89> 특히, 본 발명은 각 센서 노드들의 듀티 사이클을 통신 환경에 따라서 적응적으로 변화시킬 수 있도록, 2가지 방식을 제공하는데, 첫 번째 방식은 통신에 참여하지 않는 시간이 길어질수록, 주기적으로 활성 상태에 진입하는 시간 주기인 사이클 시간을 최대 사이클 시간까지 점차적으로 연장시키고, 해당 노드가 통신에 참여하게 되면 사이클 시간을 최소 시간 주기로 단축시킴으로써, 통신에 참여하지 않는 시간 동안에서는 고정된 스케줄로 동작하는 방식보다 활성 구간이 감소되어 에너지 소모를 줄일 수 있을 효과가 있을 뿐만 아니라, 통신에 참여하는 시간 동안에서는 사이클 시간을 대폭 단축시킴으로써 고정된 스케줄로 동작하는 방식보다 전송 지연을 감소시킬 수 있는 효과가 있다.
- <90> 또한, 듀티 사이클을 적응적으로 변화시키는 2번째 방식은 싱크(sync) 패킷에 통신 여부를 나타내는 통신 비트를 삽입하고, 통신을 수행하고자 하는 전송 노드로 하여금 통신 비트를 설정하여 싱크 패킷을 전송하도록 하며, 싱크 패킷을 수신한 노드는 통신 비트가 설정되지 않은 경우에는 싱크 패킷을 수신하기 위한 시간 구간이 경과되면 즉시 비활성 구간으로 진입하고, 통신 비트가 설정된 경우에만 전송 요청 메시지(RTS)를 수신하기 위한 시간 구간을 활성 구간으로 확장하도록 한다. 따라서 이 방식에 의하면 통신이 수행되지 않는 경우에는 전송 요청 메시지를 수신하기 위한 시간 구간 동안의 에너지 소모를 감소시킬 수 있어 센서 노드의 전체 수명을 연장시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

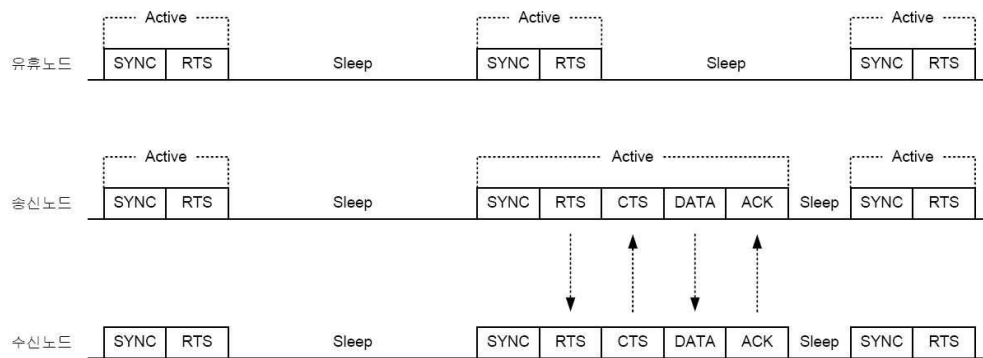
- <1> 도 1 은 종래기술에 따른 일반적인 센서 네트워크의 기본 개념을 설명하는 도면이다.
- <2> 도 2는 종래의 S-MAC(Sensor-Medium Access Control) 프로토콜에 따른 데이터 통신을 설명하기 위한 도면이다.
- <3> 도 3은 S-MAC(Sensor-Medium Access Control) 프로토콜에 따라 노드들 간에 통신이 수행되는 형태를 나타낸 도면이다.
- <4> 도 4 는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서 활성 구간을 변경하여 듀티 사이클을 변경함으로써 센서 네트워크 상에서 통신을 수행하는 방법을 설명하는 도면이다.
- <5> 도 5a 내지 도 5c 는 사이클 시간을 변경하여 듀티 사이클을 변경함으로써 센서 네트워크상에서 통신을 수행하는 방법을 설명하는 도면이다.

도면

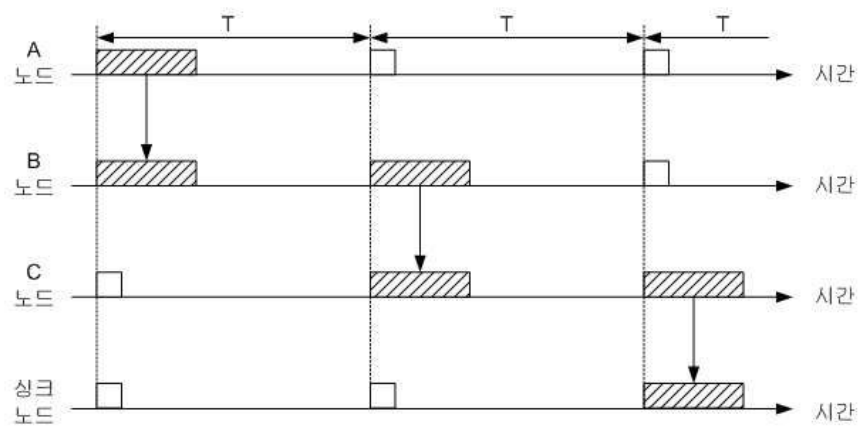
도면1



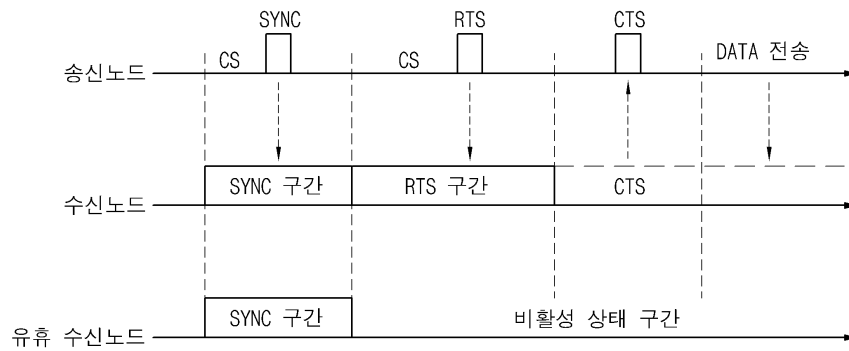
도면2



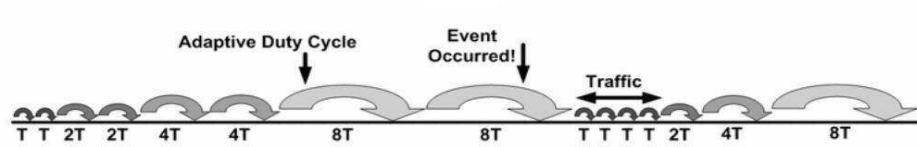
도면3



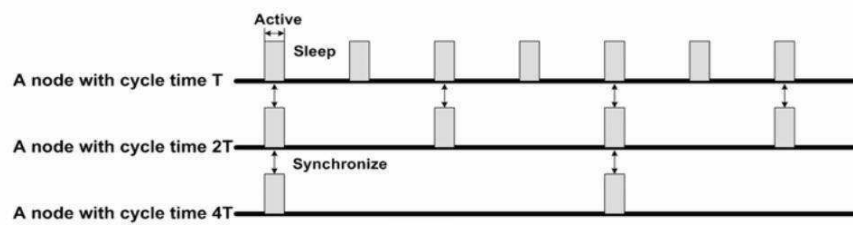
도면4



도면5a



도면5b



도면5c

