(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0065288
(43) 공개일자 2014년05월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 28/10 (2009.01) *H04W 52/02* (2009.01)
H04W 84/18 (2009.01)
(21) 출원번호 10-2012-0132630
(22) 출원일자 2012년11월21일
심사청구일자 2012년11월21일

(71) 출원인
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
주식회사 센서웨이
서울특별시 성북구 안암로 145, 602-4호 (안암동5가, 고려대학교자연계캠퍼스산학관)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김동화
서울특별시 송파구 양산로8길 4, 106동 512호 (거여동, 거여1단지아파트)
안미림
서울특별시 강남구 선릉로 206, 104동 2602호 (대치동, 동부센트레빌)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박장원

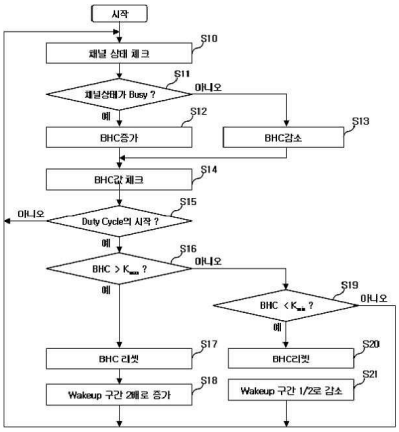
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **듀티 싸이클 기반의 맥(MAC) 프로토콜에서 채널 환경에 따라 웨이크업 구간을 동적으로 가변화시키는 방법**

(57) 요 약

본 발명은 DutyCycle기반의 MAC 프로토콜에서 채널 환경에 따라 Wakeup period(구간 또는 기간)를 동적으로 가변화시키는 방법에 관한 것으로, DutyCycle의 Wakeup 구간에서 체크한 채널 상태를 근거로 이웃 노드의 트래픽을 카운트하여, 상기 카운트된 이웃노드의 트래픽에 따라 동일 Duty Cycle내에서의 Wakeup 구간을 동적으로 가변시킴으로써 수신 성공률 및 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

이재호

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

강지헌

서울특별시 강남구 광평로47길 17, 702동 407호 (수서동, 신동아아파트)

공준익

서울특별시 동대문구 고산자로29길 18, 107동 1802호 (용두동, 래미안 허브리츠)

엄두섭

서울특별시 은평구 불광로 122-10, 3202동 502호 (불광동, 북한산힐스테이트3차아파트)

최갑주

서울특별시 구로구 구로중앙로 68, 1302호 (구로동, 신안타워)

특허청구의 범위

청구항 1

Duty Cycle의 Wakeup 구간에서 채널 상태를 체크하는 단계;

상기 체크된 채널 상태를 근거로 이웃 노드의 트래픽을 카운트하는 단계; 및

상기 카운트된 이웃노드의 트래픽에 따라 동일 Duty Cycle내에서의 Wakeup 구간을 동적으로 가변시키는 단계;를 포함하는 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 채널 상태는

비동기식 MAC 프로토콜의 경우 CSMA/CA 수행을 통해 체크하고, 동기식 MAC 프로토콜의 경우 주기적인 CCA 검사를 통해 체크하는 것을 특징으로 하는 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 이웃 노드의 트래픽은

채널 상태가 busy일 경우 1씩 증가되고, idle일 경우는 1씩 감소되도록 카운트되는 것을 특징으로 하는 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 Wakeup 구간을 동적으로 가변시키는 단계는

카운트된 이웃 노드의 트래픽을 제한 범위와 비교하는 단계; 및

비교결과 상기 이웃 노드의 트래픽이 제한 범위를 벗어나면 Wakeup 구간을 2배 증가시키고, 이웃노드의 트래픽이 제한 범위내에 있으면 Wakeup 구간을 1/2로 감소시키는 단계;를 포함하는 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 침입 탐지나 재해 감지의 환경인 경우에는, 첫 감지 이벤트 발생시에 Wakeup 구간을 2배로 증가시킨 후 이웃 노드의 트래픽에 따라 Wakeup 구간을 동적으로 가변시키는 것을 특징으로 하는 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 듀티(Duty Cycle)기반의 MAC 프로토콜에서 채널 환경에 따라 Wakeup 구간을 동적으로 할당하여 에너지 성능과 수신 성공률을 향상시키는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 원격 센서를 통하여 무선으로 환경 데이터를 수집하는 WSN(Wireless Sensor Networks)분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 상기 WSN에서는 고성능, 광대역, 원거리 통신등을 지향하는 기존 네트워크 기술과 달리 에너지 효율이 가장 중요시 된다.

[0003] 상기 WSN 분야에서 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 에너지 소모를 줄이기 위해 널리 사용되는 방식으로 듀티 싸이클(Duty Cycle) 방식을 사용한다. 상기 Duty Cycle방식은 RF 트랜시버를 Sleep 상태(휴면상태)와 Wakeup 상태(활동상태)로 구분하고 두 상태를 반복 운영하여 데이터를 송수신하는 방식이다.

[0004] 상기 Duty Cycle방식의 목표는 Wakeup period(구간 또는 기간)를 줄이고 Sleep period를 증가시켜 에너지 소모를 최소화하는 데 있다. 하지만 이렇게 최소화된 Wakeup 구간은 수신 성공률을 줄이고 지연시간을 증가시킬 수

있으며, 1-hop 내의 이웃 노드가 많을 경우 한정된 Wakeup 구간 내에 채널점유 경쟁이 높아지게 되어 재전송 발생률이 증가하는 단점이 있다.

[0005] 대부분의 WSN MAC 프로토콜은 고정된 Duty Cycle방식을 사용하고 있다.

[0006] 고정된 Duty Cycle에서는 Wakeup 구간이 길게 설정된 경우 채널 경쟁이 낮아져 재 전송수와 지연시간이 낮아지고 수신 성공률이 높아지지만 에너지 효율이 낮다. 반대로 Wakeup 구간이 짧게 설정된 경우 에너지 효율은 높아지지만 앞서 언급된 네트워크 성능들이 낮아지게 된다. 즉, 1-hop 내의 이웃 노드의 수가 많고 이에 따른 트래픽(traffic)이 높을 경우 Wakeup 기간은 길게 설정되어야 하며, 그 반대의 경우는 에너지 효율을 위하여 Wakeup 기간이 짧게 설정되어야 한다.

[0007] 이와같이 종래의 고정된 Duty Cycle기반의 MAC 프로토콜에서는 Duty Cycle내의 Wakeup 구간의 길이에 의해 수신 성공률과 에너지 효율에 trade-off가 발생되어 MAC 프로토콜 성능을 유지하기가 어려운 단점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 채널 환경에 따라 Wakeup 구간의 길이를 동적으로 할당함으로써 수신 성공률과 에너지 효율을 동시에 보장할 수 있는 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법은, Duty Cycle의 Wakeup 구간에서 채널 상태를 체크하는 단계; 상기 체크된 채널 상태를 근거로 이웃 노드의 트래픽을 카운트하는 단계; 및 상기 카운트된 이웃 노드의 트래픽에 따라 동일 Duty Cycle내에서의 Wakeup 구간을 동적으로 가변시키는 단계;를 포함한다.

[0010] 상기 채널 상태는 비동기식 MAC 프로토콜의 경우 CSMA/CA 수행을 통해 체크하고, 동기식 MAC 프로토콜의 경우 주기적인 CCA 검사를 통해 체크한다.

[0011] 상기 이웃 노드의 트래픽은 채널 상태가 busy일 경우 1씩 증가되고, idle일 경우는 1씩 감소되도록 카운트된다.

[0012] 상기 Wakeup 구간을 동적으로 가변시키는 단계는 카운트된 이웃 노드의 트래픽을 제한 범위와 비교하는 단계; 및 비교결과 상기 이웃 노드의 트래픽이 제한 범위를 벗어나면 Wakeup 구간을 2배 증가시키고, 이웃노드의 트래픽이 제한 범위내에 있으면 Wakeup 구간을 1/2로 감소시키는 단계;를 포함한다.

[0013] 상기 채널의 환경이 침입 탐지나 재해 감지인 경우에는, 첫 감지 이벤트 발생시에 Wakeup 구간을 2배로 증가시킨 후 이웃 노드의 트래픽에 따라 Wakeup 구간을 동적으로 가변시킨다.

발명의 효과

[0014] 본 발명은 Duty Cycle방식을 적용하는 WSN MAC 프로토콜에서 채널 환경을 고려하여 적절한 Wakeup 구간을 찾는다. 이로 인하여 이웃 노드의 트래픽이 높은 환경에서는 수신 성공률을 높이기 위하여 Wakeup 구간(활동 기간)를 증가시키고, 트래픽이 낮은 환경에서는 불필요한 Wakeup 구간의 길이를 줄여 에너지 효율을 증가시킨다.

[0015] 본 발명은 Duty Cycle방식을 적용하는 WSN MAC 프로토콜이라면 동기식과 비동기식에 관계없이 어떠한 프로토콜에서라도 적용 가능하도록 설계되었으며, 이로 인하여 기존에 연구되었던 많은 MAC 프로토콜의 동작형태를 그대로 유지하면서 에너지 효율성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 Duty Cycle기반의 MAC 프로토콜에서 채널 환경을 이용한 Wakeup 구간 가변화 방법을 나타낸 순서도.

도 2는 이웃 노드의 트래픽이 제한 범위를 벗어났을 때 각 Wakeup 구간의 변화를 나타낸 도면.

도 3은 이벤트가 다발적으로 발생되는 상황에서 Wakeup 구간의 가변화 방법을 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 본 발명에서는 종래의 비동기식 WSN MAC 프로토콜에서 발생되는 문제를 해결하기 위하여, 1-hop 내의 채널 상태를 파악하여 Wakeup period(구간 또는 기간)을 동적으로 할당하는 기법을 제안한다.

[0018] WSN분야에서 Duty Cycle방식을 사용하는 MAC 프로토콜은 일반적으로 동기식 방식과 비동기식 방식으로 구분된다. 동기식 방식에서는 모든 노드가 Duty Cycle을 동기화하여 idle listening시간(데이터 통신에 참석하지 않음에도 불구하고 계속해서 자신의 통신 전원을 소모해야 하는 시간)을 줄임으로써 에너지 효율을 증가시킨다. 반면에 비동기식 방식에서는 모든 노드가 주기적인 동기신호 교환을 제거하여 에너지 효율을 증가시키고 있다. 상기 두 방식은 센싱 이벤트 발생 특성에 따라 각각 장단점이 존재하며, 각 방식의 장점을 그대로 유지하기 위하여 본 발명은 기존 방식에 Add-on 형태로 적용되도록 설계하여 호환성을 유지하였다.

[0019] 일반적으로 Duty Cycle기반의 MAC 프로토콜에서는 Duty Cycle내의 Wakeup 구간의 길이가 에너지 효율에 큰 영향을 미친다. 동일한 Duty Cycle내에서 Wakeup 구간이 상대적으로 길 경우 각 노드의 수신 성공률은 높아지지만 에너지 효율은 낮아지며, Wakeup 구간이 짧을 경우에는 에너지 효율이 높아지지만 수신 성공률이 낮아진다. 즉, Wakeup 구간의 길이는 Duty Cycle기반의 MAC 프로토콜 성능을 결정할 때 수신 성공률과 에너지 효율에 큰 영향을 미치는 trade-off 요인이 된다.

[0020] 본 발명은 이러한 환경적 특성을 고려하여 Duty Cycle방식의 MAC 프로토콜의 성능을 향상시키기 위해, 채널 환경에 따라 유동적으로 Wakeup 구간을 가변화시키는 방식을 제안한다. 즉, 본 발명은 물리계층에서 관측할 수 있는 CCA(Clear Channel Assessment)를 주기적으로 모니터링하여 Wakeup 구간을 가변화시키는 방식을 제안하며, 동기식과 비동기식에 각각 적용할 수 있도록 설계하였다.

[0021] 일반적으로 비동기식 MAC 프로토콜에서의 각 노드는 이웃 노드들의 Wakeup 상태를 알지 못하며, 자신의 송신 구간과 수신 구간에 대한 협상과정이 없기 때문에 일반적으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 방식을 사용하여 데이타를 송신한다.

[0022] 즉, 송신 노드는 Duty Cycle내의 Wakeup 구간에서 데이터를 전송하기 전에 전송파 감지(Carrier Sensing)를 수행하기 위하여 소정 시간(random back-off delay)을 기다린 후, 채널 상태를 파악하기 위하여 CCA를 검사한다. 이때, 채널 상태가 idle일 경우 송신노드는 데이터를 전송하고, busy일 경우 송신노드는 상기 전송파 감지 단계를 다시 수행한다. 비동기식 MAC 프로토콜은 데이터 전송이 요구되는 모든 상황에서 항상 전송파 감지를 수행하기 때문에 CCA파악을 위한 별도의 절차가 불필요하다.

[0023] 한편 동기식 MAC 프로토콜에서는 모든 노드가 동기화된 Wakeup 시각과 구간을 공유하기 때문에 CSMA/CA 방식을 사용하지 않는다. 따라서, 동기식 MAC 프로토콜에서 모든 노드는 이웃 노드의 트래픽 환경을 실시간으로 파악하지 못한다. 또한, 비동기식 MAC 프로토콜에서도 상대적으로 송신 요구가 발생되지 않는 노드는 오랜 시간동안 전송파 감지를 수행하지 않기 때문에 이웃 노드의 트래픽 환경을 파악하지 못한다.

[0024] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 상황에서 채널 상태와 이웃 노드의 트래픽 량을 파악하기 위하여 주기적으로 CCA를 모니터링하는 하는 방식을 제안하며, 이를 CCA 샘플링(Sampling)이라 명명한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 Duty Cycle기반의 MAC 프로토콜에서 채널 환경을 이용한 Wakeup 구간 가변화 방법을 나타낸 순서도이다.

[0026] 도 1에 도시된 바와같이, 각 노드는 채널 상태를 파악하여 이웃 노드의 트래픽량을 모델링한다. 본 발명은 이웃 노드의 트래픽량을 모델링하기 위하여 식(1)과 같은 BHC(Busy-state Hit Count) 변수를 정의한다.

[0027]
$$BHC_{k+1} = \begin{cases} BHC_k + 1 & (CCA_k \quad state\ is\ busy) \\ BHC_k - 1 & (CCA_k \quad state\ is\ idle) \\ 0 & (BHC_k > K_{max} \quad or \quad BHC_k < K_{\min}) \end{cases} \quad \text{.....식(1)}$$

[0028] 상기 BHC변수는 각 노드의 채널 환경에서 이웃 노드의 트래픽 량을 나타내는 변수로서 양수와 음수의 정수형태의 값을 가지며 초기값은 0으로 설정된다.

[0029] 비동기식 MAC 프로토콜의 CSMA/CA 수행 또는 동기식 MAC 프로토콜의 CCA Sampling의 수행 후에 결정되는 CCA값은 busy 또는 idle의 형태로 나타난다. 따라서, 각 노드는 CCA값을 체크하여 CCA값이 busy일 경우 BHC값을 증가시키고(S10_S12), 반대로 CCA 값이 “idle”일 경우 BHC를 감소시킨다(S13). 모든 노드는 이러한 BHC를 관리한다. 상기 BHC의 범위는 최대 임계값을 타나내는 K_{max}와 최소 임계값을 나타내는 K_{min}으로 제한된다.

[0030] 본 발명에서 제안하는 가변 Wakeup Period 방식은 이웃 노드의 트래픽량을 나타내는 BHC값에 따라 동일 Duty Cycle내에서의 Wakeup 구간을 동적으로 가변화시키는 방식이다.

[0031] 각 노드가 BHC를 운영할 때 BHC값은 CCA값 즉, 채널 상태에 따라 증가 또는 감소한다. 각 노드는 BHC값과 두 임계값(K_{max}, K_{min})의 범위를 비교하여 Duty Cycle이 시작될 때 Wakeup 구간을 조정한다(S14~S21). 즉, 비교결과 BHC값이 최대 임계값(K_{max})보다 크면(제한범위를 벗어나면), 노드는 Wakeup 구간을 2배 증가시킨 후 BHC를 0으로 초기화시키고(S16~S18), BHC값이 최소 임계값(K_{min})보다 작으면 Wakeup 구간을 1/2로 감소시킨 후 초기화한다(S19~S21).

[0032] 도 2는 이웃 노드의 트래픽이 제한 범위를 벗어났을 때 각 Wakeup 구간의 변화를 나타낸다.

[0033] 본 발명에서 제안하는 가변 Wakeup Period 방식에서 BHC 운영에 사용되는 K_{max}와 K_{min}값은, 네트워크 성능에 매우 큰 영향을 미치는 상수이기 때문에 신중하게 결정해야 하며, 운영상 발생되는 평균 트래픽량과 같은 네트워크의 특성을 고려해야 한다.

[0034] 가변 Wakeup Period 방식은 앞서 언급한 바와 같이 BHC값이 제한 범위를 벗어난 경우 현재 상태의 Wakeup구간을 2배 또는 절반으로 설정하는 방식으로서 다음과 같이 정의될 수 있다. 먼저, 식(2)와 같이 I{A}를 정의한다.

[0035]
$$I\{A\} = \begin{cases} 1 & (A \ \ is \ true) \\ 0 & (A \ \ is \ not \ true) \end{cases} \quad \text{.....식(2)}$$

[0036] 또한, 상기 K_{max}와 K_{min}값을 식 (3)와 같이 범위를 제한한 다음 최종적으로 가변 Wakeup Period 구간의 변경 정책을 식(4)과 같이 일반화할 수 있다.

[0037]
$$K_{\max} > K_{\min} \qquad (K_{\max} > 0, \ \ K_{\min} < 0) \quad \text{.....식(3)}$$

[0038]
$$\tau_{w,n+1} = \tau_{w,n} \cdot 2^{I\{BHC_n > K_{\max}\} - I\{BHC_n < K_{\min}\}} \quad \text{.....식(4)}$$

[0039] 여기서, $\tau_{w,n}$은 n번째 Duty Cycle에서의 Wakeup 구간을 나타낸다. n번째 BHC를 나타내는 BHC_n의 상태에 따라 n+1번째의 Wakeup 구간($\tau_{w,n+1}$)은 식(2)에서 정의한 I에 의하여 최종적으로 식(4)와 같이 정의될 수 있다.

[0040] 상기 식(4)에서 n은 Duty Cycle의 회수를 나타내고, 앞서 언급한 CCA 샘플링은 Duty Cycle interval에 비하여 매우 짧은 간격으로 수행된다. 따라서 BHC의 변경은 동일 Duty Cycle내에서 수회에서 수 십회까지 나타날 수 있으며, Duty Cycle회수와 CCA 샘플링 회수가 다르기 때문에 식(1)의 k와 달리 식(4)에서는 n변수를 사용하였다.

[0041] 이와같이 본 발명은 기존 Duty Cycle기반 WSN MAC 프로토콜에서의 trade-off 파라미터인 에너지 효율과 수신 성공률을, 채널 환경에 따른 이웃 노드의 트래픽량을 고려하여 효율적이고 선택적으로 운영하도록 하였다. 또한, 요구되는 최적의 Wakeup 구간을 동적으로 산출하고 네트워크 상황에 적합한 에너지 효율과 수신 성공률의 요구를 만족시켰다.

[0042] 한편 여러 응용분야에 따라 트래픽의 속성이 다를 수 있으며 이에 따라 Duty Cycle할당 방법을 변화시키면 에너지 효율을 높일 수 있다. 침입탐지나 재해감지 등의 환경에서는 특정 시간동안 침입자가 이동하거나 발생된 자연재해가 지속적으로 발생할 확률이 높기 때문에 이에 대한 센싱 이벤트 역시 다발적으로 발생된다. 이러한 이벤트는 일반적으로 나타날 확률이 매우 적지만 발생 후에는 다발적으로 이벤트가 생성되는 특성이 있다.

[0043] 따라서, 본 발명은 사용되는 MAC프로토콜이 이벤트가 다발적으로 발생되는 상황(또는 환경)에서 운영될 경우를 고려하여 가변 Wakeup Period 방식의 응용 방안을 추가적으로 제안한다.

[0044] 본 발명은 이벤트가 다발적으로 발생되는 상황(침입탐지나 재해감지)에서는 각 노드의 수신 성공률을 향상시키기 위해서는 일시적으로 Wakeup 상태를 지속시키는 방법을 제안한다.

[0045] 도 3은 이벤트가 다발적으로 발생되는 상황에서 Wakeup 구간의 가변화 방법을 나타낸 그래프이다.

[0046] 도 3에서 X축은 Duty Cycle이고, Y축은 주어진 Duty Cycle내의 Wakeup Period 비율을 백분위 단위로 나타낸 값이다.

[0047] 도 1에서 채널이 busy할 경우 각 노드는 Wakeup 구간을 점진적으로 증가시킨다. 하지만 이벤트가 다발적으로 발생되는 환경에서는, 이벤트 발생에 대한 수신 성공률을 높이기 위하여 첫 이벤트 발생시 Wakeup 구간을 일시적으로 2배(100%)까지 증가시킨다. 그리고, 모든 이벤트를 성공적으로 수신하는 것을 각 노드가 확인한 후에는 적정 Wakeup 구간을 찾기 위하여 앞에서 설명한 바와같이 BHC를 이용하여 Wakeup 구간을 감소시킨다.

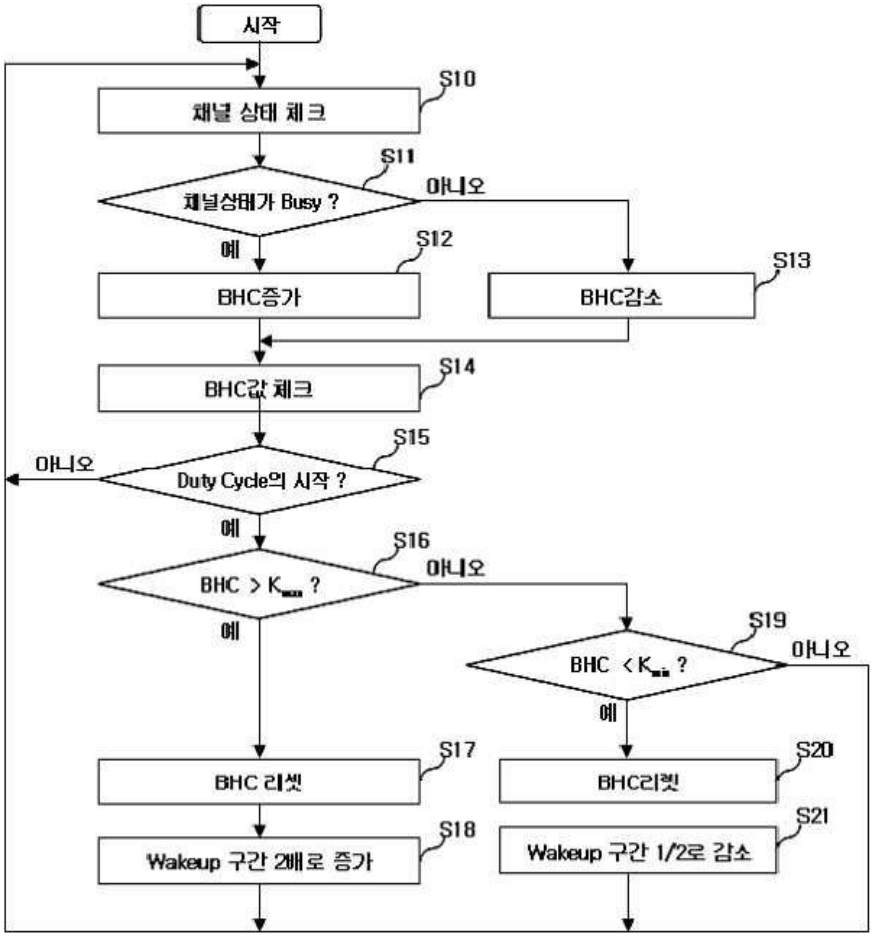
[0048] 상술한 바와같이 본 발명은 Duty Cycle방식을 적용하는 WSN MAC 프로토콜에서 채널 환경을 고려하여 적절한 Wakeup 구간을 할당한다. 즉 본 발명은 이웃 노드의 트래픽이 높은 환경에서는 Wakeup 구간을 증가시켜 수신 성공률을 높이고, 트래픽이 낮은 환경에서는 불필요한 Wakeup 구간을 감소시켜 에너지 효율을 증가시킨다.

[0049] 따라서, 본 발명은 Duty Cycle방식을 적용하는 WSN MAC 프로토콜이라면 동기식과 비동기식에 관계없이 어떠한 프로토콜에서라도 적용 가능하며, 특히 기존에 연구되었던 많은 MAC 프로토콜의 동작형태를 그대로 유지하면서 수신 성공률 및 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

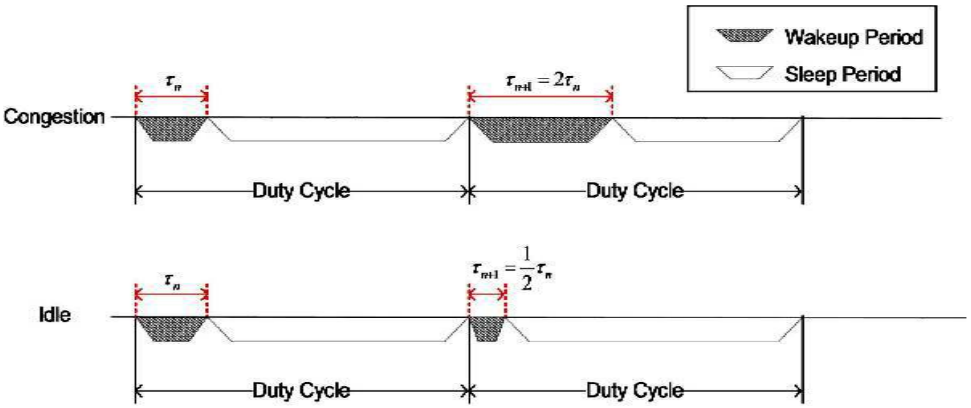
[0050] 상기와 같이 설명된 Wakeup 구간의 동적 가변화 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

도면

도면1



도면2


Wakeup Period
Sleep Period
Congestion
τ_n
$\tau_{n+1} = 2\tau_n$
Duty Cycle
Duty Cycle
Idle
τ_n
$\tau_{n+1} = \frac{1}{2}\tau_n$
Duty Cycle
Duty Cycle

도면3


100
80
60
40
20
0
전송률 향상을 위한 일시 확장
채널 상태에 따른 Wakeup 구간 추정
1
11
21
31
41
51
61
71
81
91
101
111 (초)