



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0012427
(43) 공개일자 2009년02월04일

(51) Int. Cl.⁹

H04L 1/12 (2006.01) H04L 12/56 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0076234

(22) 출원일자 2007년07월30일

심사청구일자 2007년07월30일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내

(72) 발명자

최봉대

서울 성북구 안암동5가 고려대학교 아산이학관 통
신수학연구센터

김태욱

서울 성북구 안암동5가 고려대학교 아산이학관 통
신수학연구센터

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

권혁성

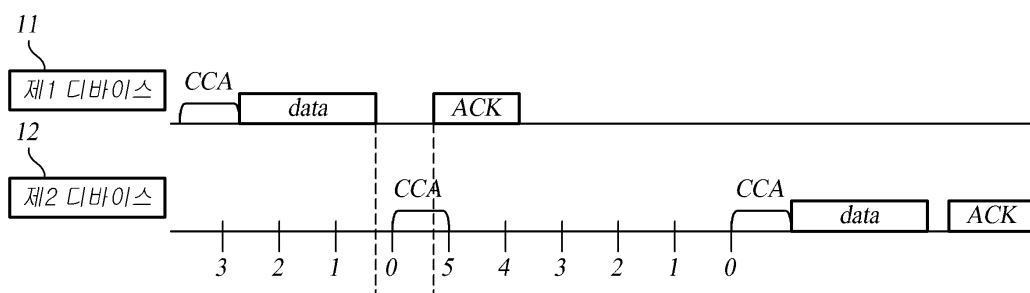
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 비슬롯 기반 CSMA/CA 네트워크 구성에서의 ACK보호 방법 및 성능척도 예측방법

(57) 요약

본 발명은 IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 ACK 보호 방법 및 성능척도를 예측하는 방법에 관한 것으로서, 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계하여 ACK를 보호하고, 이러한 네트워크 환경에서 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명을 예측하는 특징을 가진다. IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 ACK를 보호하는 방법에 있어서, 상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계하여 각 디바이스간 패킷 충돌을 방지함을 특징으로 한다. 또한, 본 발명의 성능척도 예측방법은, 상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계한 네트워크에서 구조에서 이용되는 패킷이 λ 레이트(rate)를 가지는 포아송(possion) 과정을 통해 생성되는 제1과정과, 상기 디바이스가 CCA 수행후 패킷전송성공 확률 α , 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출하는 제2과정과, 상기 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 고려하여 최적의 네트워크 구성을 이루는 디바이스의 개수를 산출하는 제3과정을 포함한다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

김경재

서울 성북구 안암동5가 고려대학교 아산이학관 통
신수학연구센터

박진수

서울 서초구 우면동 17번지, KT 미래기술연구소

정학진

서울 서초구 우면동 17번지, KT 미래기술연구소

특허청구의 범위

청구항 1

IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 ACK를 보호하는 방법에 있어서,

상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계하여 각 디바이스간 패킷 충돌을 방지함을 특징으로 하는 ACK 보호 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 디바이스는, 채널 비지(busy)로 인해 실패(fail)로 되는 CCA 수행 횟수가 'CCA 수행 최대값+1'의 횟수로 될 때 생성된 패킷을 폐기하는 ACK 보호 방법.

청구항 3

IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 성능척도를 예측하는 방법에 있어서,

상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계한 구조 하에서 이용되는 패킷이 λ 레이트(rate)를 가지는 포아송(poisson) 과정을 통해 생성되는 제1과정과,

상기 디바이스가 CCA 수행후 패킷전송성공 확률 α , 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출하는 제2과정과,

상기 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 고려하여 최적의 네트워크 구성을 이루는 디바이스의 개수를 산출하는 제3과정

을 포함하는 성능척도 예측 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, T_{CCA} 는 CCA 수행시간, T_{TX} 는 패킷 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 전송시간, P_{loss} 는 패킷손실확률, $E[D]$ 는 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이(delay)라 할 때, 상기 패킷전송성공 확률 α 는,

$$\alpha = \frac{(n-1) \cdot (1 - P_{loss}) \cdot (T_{CCA} + T_{TX} + T_{ACK})}{\frac{1}{\lambda} + E[D]}$$

에 의해 산출되는 성능척도 예측방법.

청구항 5

제3항에 있어서, M 은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4), T_{CCA} 는 CCA 수행시간, σ 는 백오프 슬롯의 길이를 나타내고, W_j 는 $\min\{2^j W_{min}, W_{max}\}$ 를 나타내고 이때 $W_{min}=2^{BE_{min}}$, $W_{max}=2^{BE_{max}}$ 를 나타내며 상기 BE_{min} , BE_{max} 는 최소 백오프 지수(macMinBE)와 최대 백오프 지수(macMaxBE)를 각각 나타낼 때, 상기 예상 딜레이 $E[D]$ 는,

$$E[D] = \sum_{v=0}^M \alpha^v (1 - \alpha) \left\{ \sum_{i=0}^v \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (v + 1) \cdot T_{CCA} \right\} +$$

$$\alpha^{M+1} \left\{ \sum_{i=0}^M \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (M + 1) \cdot T_{CCA} \right\}$$

에 의해 산출되는 성능척도 예측방법.

청구항 6

제3항에 있어서, M은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4)이라 할 때 M+1 지점에서 CCA 시도 실패가 이루어진다고 할 때, 상기 패킷손실확률 P_{loss} 는,

$$P_{loss} = \alpha^{M+1}$$

에 의해 산출되는 성능척도 예측방법.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 제3과정은, λ 레이트(rate)를 갖는 포아송(poisson) 과정을 통해 패킷을 생성할 시에 상기 λ 레이트(rate)별로 디바이스 개수에 따른 각각의 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출한 후, 네트워크 구성 환경에 부합하는 디바이스 개수를 선택하는 성능척도 예측방법.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 성능척도 예측 방법은,

전송할 시에 단위시간당 에너지 소비량(E_{TX}), 수신할 시에 단위시간당 에너지 소비량(E_{RX}), CCA 수행할 시에 단위시간당 에너지 소비량(E_{CCA}), 아이들(idle) 상태에서의 단위시간당 에너지 소비량(E_{idle})과 각각의 동작 시간을 고려하여 하나의 디바이스에서의 단위시간당 에너지 소비량을 산출하는 제4과정과,

상기 디바이스의 배터리의 에너지량을 상기 단위시간당 에너지 소비량으로 나눔으로써 배터리 수명 시간을 산출하는 제5과정

을 더 포함하는 성능척도 예측 방법.

청구항 9

제8항에 있어서, E_{TX} , E_{RX} , E_{CCA} , E_{idle} 은 전송(TX), 수신(RX), CCA, idle이 이루어질 때 필요로 하는 단위시간당(밀리초당) 에너지 소비량이고, T_{CCA} 는 CCA 수행시간, T_{TX} 는 패킷 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 전송시간, $E[D]$ 는 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이(delay), N^{CCA} 는 성공적인 전송이나 손실이 있을 때까지의 CCA의 평균 개수를 나타낼 때, 상기 단위시간당 에너지 소비량은,

$$E = \frac{T_{TX} \cdot E_{TX} + T_{ACK} \cdot E_{RX} + N^{CCA} \cdot T_{CCA} \cdot E_{CCA} + \left(\frac{1}{\lambda} + E[D] - N^{CCA} \cdot T_{CCA}\right) E_{idle}}{\frac{1}{\lambda} + E[D] + T_{TX} + T_{ACK}}$$

에 의해 산출되는 성능척도 예측 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, M은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4)이라 할 때 M+1 지점에서 CCA 시도 실패가 이루어진다고 할 때, 상기 N^{CCA} 는,

$$N^{CCA} = \sum_{i=0}^M \alpha^M (1 - \alpha) \cdot (i + 1) + \alpha^{M+1} \cdot (M + 1)$$

에 의해 산출되는 성능척도 예측 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <7> 본 발명은 IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 ACK 보호 방법 및 성능척도를 예측하는 방법에 관한 것이다.
- <8> IEEE 802.15.4 기술표준은 시장에서 입지를 다두고 있는 Bluetooth, Wi-Fi 등의 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 기술개발과 시장형성 과정에서의 빠른 성장을 보이고 있다. 지그비(Zigbee) 등과 같은 저속 무선 단거리 네트워크(LR-WPAN; Low Rate - Wireless Personal Area Networks)에서의 ISO 레이어는, 물리PHY 계층, 매체접근제어MAC계층, 그 상위 계층으로 네트워크(NWK)계층, 응용지원(APS)계층, 보안(Security) 및 응용(APL) 계층으로 이루어지는데, 이 중에서, IEEE 802.15.4 기술표준은 PHY계층과 MAC계층을 다룬다.
- <9> 결국, IEEE 802.15.4 기술표준은 물리 계층인 PHY계층과 데이터의 충돌방지 기술이 적용된 MAC계층을 처리하는데 있어서, 저복잡성, 저전력, 저속 무선 데이터 연결을 지향한 저속 무선 단거리 네트워크(LR-WPAN)의 표준기술이 된다.
- <10> 상기와 같이 LR-WPAN의 기본 규약은 IEEE 802.15.4에서 정의된 표준을 따르며 IEEE 802.11 및 IEEE 802.15.3 기반 무선 네트워크와 마찬가지로 채널 할당에 CSMA/CA 방식을 사용한다. 상기 CSMA/CA 알고리즘의 동작 개념은 프레임 사이의 시간을 정의한 IFS(Inter-Frame-Space)라는 것을 두는 것이다. 즉, MAC은 PHY로 부터 받은 데이터를 처리하기 위해 IFS라는 시간을 둔다. 이 IFS는 데이터의 길이에 따라 SIFS(Short IFS)와 LIFS(Long IFS)로 나눈다
- <11> 상기 CSMA/CA 방식은, 슬롯의 사용 여부에 따라 두 가지로 나눈다. 슬롯기반(slotted) CSMA/CA를 사용하는 '비컨(beacon) 모드와, 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA를 사용하는 비컨불능(non-beacon) 모드로 구분된다.
- <12> 슬롯기반(slotted) CSMA/CA는 백오프 슬롯(backoff slot)을 비컨 프레임 전송과 동시에 할당받는 방식으로 비컨 가능 네트워크에서 사용한다. 데이터를 전송하기 전에 디바이스는 동기화된 백오프 슬롯(backoff slot)을 기반으로 하는 임의의 횡수(Random number)를 대기하며, 채널이 비지(busy) 상태일 때 디바이스는 임의 횡수의 백오프 슬롯(backoff slot)을 기다리는 방식이다. 여기서 CCA(Clear Channel Assessment)의 실행은 ACK 패킷을 보호하기 위해 필요로 한다.
- <13> 이에 반하여, 상기 슬롯기반 CSMA/CA의 비컨(beacon) 모드와 다르게, 비슬롯 기반 CSMA/CA의 비컨불능(non-beacon) 모드의 경우 백오프(backoff) 슬롯의 단위 시간(unit time)이 동기화되지 않아 다음과 같은 문제가 발생한다.
- <14> 즉, 도 1에 도시한 바와 같이, CCA(Clear Channel Assessment) 수행시간(implementation time; T_{cca})이 데이터의 수신 상태에서 ACK(엑크) 전송(transmission)상태로의 전환시간(turnaround time)보다 짧다. 따라서 제1디바이스(11)가 데이터 전송을 끝내고 PAN 코디네이터(coordinator)로부터의 ACK를 기다리는 동안, 다른 디바이스(12; 제2디바이스)가 CCA를 하게 되면 제1디바이스가 통신 중임을 감지하지 못하게 되므로 CCA를 끝낸 후 바로 데이터를 전송하게 되고 이는 곧 제1디바이스(11)를 위한 ACK와의 충돌(collision)로 이어지며 결국 제1디바이스(11), 제2디바이스(12) 모두 데이터 전송에 실패하게 되는 문제가 발생한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <15> 상기의 문제점을 해결하고자 본 발명은 안출된 것으로서, IEEE802.15.4의 비슬롯 기반(비컨불능 모드) CSMA/CA에

서의 ACK 보호 방안을 제안한다. 또한, 최적의 네트워크를 구성하기 위한 디바이스의 개수를 산출하는 방안 및 상기 디바이스의 배터리 수명을 예측하는 방안을 제시한다.

발명의 구성 및 작용

<16> 본 발명의 ACK 보호 방법은, IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 성능척도를 예측하는 방법에 있어서, 상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계하여 각 디바이스간 패킷 충돌을 방지함을 특징으로 한다. 또한, 상기 디바이스는, 채널 비지(busy)로 인해 실패(fail)로 되는 CCA 수행 횟수가 'CCA 수행 최대값+1'의 횟수로 될 때 생성된 패킷을 폐기한다.

<17> 또한, IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 성능척도를 예측하는 방법에 있어서, 본 발명의 성능척도 예측방법은, 상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계한 네트워크에서 구조에서 이용되는 패킷이 λ 레이트(rate)를 가지는 포아송(poisson) 과정을 통해 생성되는 제1과정과, 상기 디바이스가 CCA 수행후 패킷전송성공 확률 α , 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출하는 제2과정과, 상기 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 고려하여 최적의 네트워크 구성을 이루는 디바이스의 개수를 산출하는 제3과정을 포함한다.

<18> 상기 패킷전송성공 확률 α 는, 제1항에 있어서, T_{CCA} 는 CCA 수행시간, T_{TX} 는 패킷 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 전송시간, P_{loss} 는 패킷손실확률, $E[D]$ 는 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이(delay)라 할 때,

$$\alpha = \frac{(n-1) \cdot (1 - P_{loss}) \cdot (T_{CCA} + T_{TX} + T_{ACK})}{\frac{1}{\lambda} + E[D]}$$

에 의해 산출된

다.

<19> 상기 예상 딜레이 $E[D]$ 는, M 은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4), T_{CCA} 는 CCA 수행시간, σ 는 백오프 슬롯의 길이를 나타내고, W_j 는 $\min\{2^j W_{min}, W_{max}\}$ 를 나타내고 이때 $W_{min}=2^{BE_{min}}$, $W_{max}=2^{BE_{max}}$ 를 나타내며 상기 BE_{min} , BE_{max} 는 최소 백오프 지수(macMinBE)와 최대 백오프 지수(macMaxBE)를 각각 나타낼 때,

$$E[D] = \sum_{v=0}^M \alpha^v (1 - \alpha) \left\{ \sum_{i=0}^v \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (v + 1) \cdot T_{CCA} \right\} + \alpha^{M+1} \left\{ \sum_{i=0}^M \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (M + 1) \cdot T_{CCA} \right\}$$

<20>

<21> 에 의해 산출된다.

<22> 상기 패킷손실확률 P_{loss} 는, M 은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4)이라 할 때 $M+1$ 지점에서 CCA 시도 실패가 이

루어진다 할 때, $P_{loss} = \alpha^{M+1}$ 에 의해 산출된다.

<23> 또한, 상기 제3과정은, λ 레이트(rate)를 갖는 포아송(poisson) 과정을 통해 패킷을 생성할 시에 상기 λ 레이트(rate)별로 디바이스 개수에 따른 각각의 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출한 후, 네트워크 구성 환경에 부합하는 디바이스 개수를 선택함을 특징으로 한다.

<24> 또한, 본 발명의 상기 성능척도 예측 방법은, 전송할 시에 단위시간당 에너지 소비량(E_{TX}), 수신할 시에 단위시

간당 에너지 소비량(E_{RX}), CCA 수행할 시에 단위시간당 에너지 소비량(E_{CCA}), 아이들(idle) 상태에서의 단위시간당 에너지 소비량(E_{idle})과 각각의 동작 시간을 고려하여 하나의 디바이스에서의 단위시간당 에너지 소비량을 산출하는 제4과정과, 상기 디바이스의 배터리의 에너지량을 상기 단위시간당 에너지 소비량으로 나눔으로써 배터리 수명 시간을 산출하는 제5과정을 더 포함한다.

<25> 상기 단위시간당 에너지 소비량은, E_{TX} , E_{RX} , E_{CCA} , E_{idle} 은 전송(TX), 수신(RX), CCA, idle이 이루어질 때 필요로 하는 단위시간당(밀리초당) 에너지 소비량이고, T_{CCA} 는 CCA 수행시간, T_{TX} 는 패킷 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 전송 시간, $E[D]$ 는 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이(delay), N^{CCA} 는 성공적인 전송이나 손실이 있을 때까지의 CCA의 평균 개수를 나타낸다 할 때,

<26>
$$E = \frac{T_{TX} \cdot E_{TX} + T_{ACK} \cdot E_{RX} + N^{CCA} \cdot T_{CCA} \cdot E_{CCA} + \left(\frac{1}{\lambda} + E[D] - N^{CCA} \cdot T_{CCA}\right) E_{idle}}{\frac{1}{\lambda} + E[D] + T_{TX} + T_{ACK}}$$

<27>에 의해 산출된다.

<28> 상기 N^{CCA} 는, M은 백오프 수행 최대값(디폴트로서 4)이라 할 때 M+1 지점에서 CCA 시도 실패가 이루어진다 할 때,

$$N^{CCA} = \sum_{i=0}^M \alpha^i (1 - \alpha) \cdot (i + 1) + \alpha^{M+1} \cdot (M + 1)$$

때, 에 의해 산출된다.

<30> 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예들의 상세한 설명이 첨부된 도면들을 참조하여 설명될 것이다. 하기에서 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다.

<31> 도 2는 본 발명의 실시 예에 따라 IEEE 802.15.4에서 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 ACK를 보호하기 위한 CCA의 설계 모습을 도시한 타이밍도이다.

<32> 일반적으로 데이터 수신 상태에서 ACK 전송 상태로의 간격인 전환시간(turnaround time)은 220[usec]이고, CCA 수행시간(T_{cca})은 128[usec]로 알려져 있다. 상기와 같이 CCA 수행시간(T_{cca})이 전환시간보다 짧기 때문에 디바이스 간에 데이터 충돌이 발생되어 데이터 전송 실패가 발생할 수 있다. 예를 들어, 도 1에 도시한 바와 같이 제1 디바이스의 전환시간 동안 제2디바이스가 CCA를 수행한다면, 제2디바이스는 제1디바이스가 통신 중임을 감지하지 못하여 채널 아이들(idle) 상태로 감지하게 되고 이로 인해 CCA를 끝낸 후 바로 자신의 데이터 패킷을 전송한다. 이는 곧 제1디바이스의 ACK와의 충돌로 이어지며 결국 제1디바이스, 제2디바이스 모두 데이터 전송에 실패하게 된다.

<33> 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 발명은, CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계한다. 따라서 특정 디바이스의 전환시간 동안 CCA를 수행하는 다른 디바이스가 채널 비지(busy)를 감지할 수 있게 되어 다른 디바이스의 데이터 전송을 늦춤으로써, 결과적으로 디바이스 간에 데이터 충돌이 일어나지 않도록 한다. 본 발명의 실시 예인 도 2를 참조하면, 제1디바이스(11)의 전환시간 동안에 제2디바이스(12)가 CCA를 수행한다 하더라도, 제2디바이스(12)의 CCA 수행 시간이 제1디바이스(11)의 전환시간보다 길기 때문에 제2디바이스(12)는 제1디바이스(11)의 ACK로 인한 채널 비지(busy)를 감지하게 되어, 자신의 데이터 패킷 전송을 늦추게 되어 제1디바이스(11)와 제2디바이스(12) 간의 데이터 충돌을 예방할 수 있게 된다.

<34> 상기와 같이 CA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계한 구조에서, 제1디바이스(11)는 CCA 수행시간 T_{cca} 동안 아이들 채널을 감지하면 패킷을 성공적으로 전송한다. 다른 제2디바이스(12)는 생성된 패킷을 전송하기 위하여 CCA 수행할 때, 제1디바이스(11)의 패킷 전송으로 인한 비지 채널을 감

지하게 되고 이때 백오프 지수를 증가시키고 랜덤 백오프를 반복한다. 제2디바이스는(12)는 상기 CCA 시도가 M+1 실패(fail)로 이루어진다면 상기 생성된 패킷을 폐기하여 손실시킨다. 상기에서 M은 CCA 수행 최대값(macMaxCSMABackoffs)으로서 디폴트(default)로서 4의 값을 가진다.

- <35> 도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 IEEE 802.15.4에서 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식으로 동작할 때의 각 디바이스의 타이밍도이다.
- <36> CCA 수행 동안 채널이 아이들(idle)이 될 때, 제1디바이스(11)는 자신이 생성한 패킷을 즉각 전송한다. 그런데, 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA에서는 백오프 슬롯 단위 시간이 동기화되어 있지 않기 때문에, 도 3과 같이 다른 제2디바이스(12) 또는 제3디바이스(13)가 제1디바이스(11)의 패킷 전송 중에 CCA를 시도하는 경우가 발생할 수 있다.
- <37> 즉, 도 3과 같이 3개의 디바이스(11,12,13)가 있다고 가정할 경우, 제1디바이스(11)는 패킷을 전송하기 전에 CCA를 수행하고 CCA 수행 시간 동안 아이들 채널을 감지하면 패킷을 전송한다. 이때 제2디바이스(12)가 CCA를 수행할 때 비지 채널을 감지하고 백오프 지수를 증가시켜 랜덤 백오프를 반복한다. 또한, 제3디바이스(13)가 CCA를 수행하게 되면, 제1디바이스의 ACK 전송으로 인해 비지(busy) 상태의 채널을 감지한다. 결국, CCA 수행 시간 동안 채널이 아이들(idle) 상태라면 패킷 전송은 항상 성공하게 된다.
- <38> 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA는 모든 디바이스의 백오프 슬롯 단위 시간은 비동기화되기 때문에, 하나의 디바이스를 위한 백오프 슬롯 단위 시간은 네트워크 상에서의 다른 디바이스의 백오프 슬롯 단위 시간과 동기화되지 못한다. 비슬롯 기반 CSMA/CA 알고리즘은 다음과 같다. 디바이스는 매번마다 전송할 패킷을 생성하는데, 0에서 $2^{BE} - 1$ (BE는 백오프 지수를 나타냄)의 범위에서 백오프 카운터로 불리는 백오프 슬롯의 랜덤 번호를 기다린다. 상기 BE는 백오프 지수를 나타내는 것으로서, macMinBE(디폴트 값 '3')으로 초기화된다.
- <39> 상기 백오프 카운터는 채널 상태와 상관없이 감소되며, 백오프 카운터가 0(zero)에 도달할 때, 제1디바이스는 채널이 비지(busy)인지 아닌지를 체크하기 위하여 도 3과 같이 하나의 CCA를 수행한다.
- <40> 각 디바이스는 한 개의 패킷만 생성하여 저장 후 전송 시도가 이루어지는데, 가지고 있는 패킷이 전송되지 않으면 생성한 패킷은 손실된다. 즉, 각 디바이스는 CCA 수행에 있어 M+1번 실패가 있을 시에는 생성되는 패킷을 손실한다. 상기 M은 CCA 수행 최대 값(macMaxCSMABackoffs)으로서 디폴트로서 '4'의 값을 가진다. 각 패킷은 M+1번의 백오프 과정(=M+1번의 CCA 시도)에서 실패하면 손실되므로 패킷 손실 확률(P_{loss})이 구해질 수 있다.
- <41> 한편, 상기과 같이, IEEE 802.15.4에서 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 전환시간보다 길게 설계하여 동작시킬 때, 상기 패킷 손실 확률(P_{loss})과 전송 지연 시간을 고려하여 WPAN 네트워크 구성 시에 최적의 디바이스 개수를 결정하고 배터리 수명 등의 성능척도를 예측하는 것이 중요하다. 즉, CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 전환시간보다 길게 설계할 때, 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명을 예측함으로써 최적의 WPAN 네트워크 구성할 수 있다. 이러한 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 알고리즘을 도 4의 플로차트와 함께 설명한다.
- <42> 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 전환시간보다 길게 설계할 때, 네트워크 상의 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 등의 성능척도를 산출하는 과정을 도시한 플로차트이다.
- <43> 상기 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 등의 성능척도를 산출하는 과정의 설명에 앞서, 다음과 같은 사항을 가정한다. i) n 센서 디바이스가 PAN 코디네이터와 관련되고, ii) 동일한 정보를 갖는 패킷의 비정기적인 도달 또는 연속적인 도달 시에, 각 디바이스는 λ 레이트(rate)를 따르는 포아송(poisson) 프로세스를 가진 패킷을 생성하고 단지 하나의 패킷에 부합하고, iii) 데이터 패킷의 전송 시간이 T_{tx} 로 고정되도록 하기 위하여 데이터 패킷 사이즈는 불변의 값이고, iv) 수신 데이터로부터 전송 데이터까지 PAN 코디네이터의 스위칭 타임은 무시된다.
- <44> 상기과 같은 가정하에서, 각 디바이스의 패킷 생성 과정(S41)은 λ 레이트(rate)를 가지는 포아송 (poisson) 과정을 통해 생성된다. 즉, 하기 식1과 같이 한 개 디바이스의 상황을 확률 프로세스 $\{X(t); t \geq 0\}$ 로 나타내고, 상기 디바이스의 패킷 이탈(전송 완료 또는 최대 백오프 횟수를 넘어서서 패킷 손실) 시점을 바라보면 $X(t)$ 는 재생성 프로세스가 되고 내부 이탈 시간대(inter-departure time)의 재생성 사이클(regenerative cycle)을 가지게 된다. 즉, $\{X(t); t \geq t_{k+1}\}$ 프로세스가 $\{X(t); t \geq t_k\}$ 의 확률 개연성 있는 복제라 볼 수 있고, $\{t(k);$

$n=1,2,3,\dots$ 은 재생성 지점이다. 따라서 $\{X(t); t \geq 0\}$ 은 패킷 내부 이탈(inter-departure) 시간에 대응하는 재생성 사이클을 가진 재생성 프로세스이다.

<45> [식 1]

<46> $X(t) = \{ \text{Idle: 디바이스가 시간 } t \text{ 시점에 전송하는 패킷이 없을 때,}$

<47> $\text{Backoff: 디바이스가 시간 } t \text{ 시점에 백오프 프로세스를 할 때,}$

<48> $\text{CCA: 디바이스가 시간 } t \text{ 시점에 CCA 상태일 때,}$

<49> $\text{Transmission: 디바이스가 시간 } t \text{ 시점에 패킷 전송하고 있을 때} \}$

<50> 상기 λ 레이트(rate)를 가지는 포아송 (poisson) 과정을 통해 생성된 패킷은 상기 디바이스의 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계된 네트워크 구조에서, CCA 수행 시에 비지 (busy)가 아닌 아이들(idle) 상태가 감지될 시에 패킷 전송이 이루어진다.

<51> 패킷 생성(S41)이 이루어진 후에는, 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 등을 포함하는 성능척도를 산출하는데 이용되는 CCA 수행후 패킷전송성공 확률 α , 백오프 시간 주기(backoff time period)인 예상 딜레이 $E[D]$, 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출하는 과정(S42)을 가진다. 특히, 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 등을 포함하는 성능척도를 산출하는데 있어서, CCA 시행 시에 채널을 점유(busy)할 확률인 패킷전송성공 확률 α 가 가장 중요한 요소이다. 모든 디바이스들은 확률적으로 동일한 전송 기회를 가지고 있으므로 CCA 시행 시에 성공할 확률 α 는 하기 [식 2]와 같이 나타난다.

<52> [식 2]

$$\alpha = \frac{(n-1) \cdot (1 - P_{\text{loss}}) \cdot (T_{\text{CCA}} + T_{\text{Tx}} + T_{\text{ACK}})}{\frac{1}{\lambda} + E[D]}$$

<53>

<54> 상기에서, λ 는 패킷 생성 시의 포아송 프로세스에서 사용되는 레이트이고, T_{CCA} 는 CCA 수행시간, T_{Tx} 는 패킷 전송시간, T_{ACK} 는 ACK 전송시간, P_{loss} 는 패킷손실확률, $E[D]$ 는 백오프 시간 주기(backoff time period)로서 디바이스에 도달점으로부터 패킷의 전송 또는 손실되기 직전까지 예상되는 딜레이(delay)를 나타낸다.

<55> 도 5에 도시한 바와 같이 CCA를 수행, 데이터 전송, ACK 전송을 하는 제1디바이스(11)가 있는 경우, 다른 디바이스(12,13)는 CCA를 수행시간(T_{CCA}), 데이터 전송시간(T_{Tx}), ACK 전송시간(T_{ACK}) 동안 채널 비지를 감지한다. 모든 디바이스는 태그된 디바이스의 재생성 사이클(cycle of our regenerative process) 동안 전송하기 위한 동등한 기회를 가지기 때문에 모든 다른 $n-1$ 디바이스는 하나의 재생성 지점(패킷 손실 확률인 P_{loss} 로 손실될 것이며, $1 - P_{\text{loss}}$ 확률로 성공적으로 전송될 것임)을 통계적으로 가질 것이다. 따라서 성공적인 평균 개수는 $(n-1)(1-P_{\text{loss}})$ 가 될 것이고, 그러므로 $n-1$ 디바이스에 의한 채널 점유 시간은 $(n-1)(1-P_{\text{loss}})(T_{\text{CCA}}+T_{\text{Tx}}+T_{\text{ACK}})$ 가 되어 상기 [식 2]와 같은 수식을 구할 수 있다.

<56> 상기 예상 딜레이인 $E[D]$ 를 산출하는 수식은 하기 [식 3]과 같다.

<57> [식 3]

$$E[D] = \sum_{v=0}^M \alpha^v (1 - \alpha) \left\{ \sum_{i=0}^v \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (v + 1) \cdot T_{\text{CCA}} \right\} +$$

<58>

$$\alpha^{M+1} \left\{ \sum_{i=0}^M \frac{W_i - 1}{2} \cdot \sigma + (M + 1) \cdot T_{CCA} \right\}$$

<59>

<60> 상기에서, $W_j = \min\{2^{j_{\min}}, W_{\max}\}$ 를 나타내고 $W_{\min}=2^{BE_{\min}}$, $W_{\max}=2^{BE_{\max}}$ 를 나타낸다. 상기 $BE_{\min}$, $BE_{\max}$ 는 최소 백오프 지수(macMinBE)와 최대 백오프 지수(macMaxBE)를 각각 의미한다. 이들의 디폴트 값(default values)은 각각 3, 5를 가진다.

<61> 또한, σ 는 백오프 슬롯(backoff slot)의 길이를 나타낸다. 상기 [식 3]의 첫번째 합산항목은 패킷이 성공적으로 전송(transmit)되는 상황에 부합되고, 상기 [식 3]의 두번째 합산항목은 CCA 실패를 M+1번 시도한 후 패킷이 손실(discard)되는 상황에 부합된다.

<62> 상기와 같이 각 패킷이 M+1번의 백오프 과정(=M+1번의 CCA 시도)에서 실패하면 손실되므로 패킷 손실 확률(P_{loss})은 하기 [식 4]와 같이 구해진다.

<63> [식 4]

$$P_{\text{loss}} = \alpha^{M+1}$$

<64>

<65> 상기 [식 2], [식 3], [식 4]를 보면, [식 2]의 α 는 E[D]와 P_{loss} 의 인자 항목으로서 표현된다. 또한, [식 3]의 E[D]와 [식 4]의 P_{loss} 는 α 의 인자 항목으로서 표현된다. 그러므로, 비선형 수식인 [식 2], [식 3], [식 4]를 연산(iteration)함으로써, 우리는 모든 필요한 값 α 를 산출할 수 있다. 나아가 예상 딜레이(expected delay) E[D]와 패킷 손실 확률 P_{loss} 를 구할 수 있게 된다.

<66> 결국, 비선형 수식인 [식 2], [식 3], [식 4]를 연산(iteration)하면, 도 5(b), 도 5(c)와 같은 연산(numerical) 결과를 얻게 된다. 이러한 결과로부터 이들 모두를 고려하여, 특정 환경의 제한성을 만족하는 최적의 디바이스 개수를 산출(S43)한다. 즉, λ 레이트(rate)를 갖는 포아송(poisson) 과정을 통해 패킷을 생성할 시에 상기 λ 레이트(rate)별로 디바이스 개수에 따른 각각의 패킷전송성공 확률 α , 예상 딜레이 E[D], 패킷손실확률 P_{loss} 를 산출하여 도 5와 같은 관계를 알 수 있게 되고, 해당 네트워크 구성 환경에 부합되는 디바이스 개수를 선택(S43)하는 것이다. 상기 산출(S43)된 디바이스 개수를 이용하여 최적의 네트워크를 구성할 수 있는 것이다.

<67> 한편, 상기 디바이스 개수 산출 이외에도 본 발명은 상기 산출된 개수의 디바이스 각각의 배터리 수명을 상기 파라미터 값들을 이용하여 예측할 수 있다. 이를 위하여 디바이스에서 단위시간당 소비되는 에너지량을 산출(S44)한 후 이를 이용하여 디바이스의 배터리 수명을 예측(S45)한다.

<68> 상기 단위시간당 소비되는 에너지량을 산출(S44)은 전송할 시에 단위시간당 에너지 소비량(ETX), 수신할 시에 단위시간당 에너지 소비량(ERX), CCA 수행할 시에 단위시간당 에너지 소비량(ECC), 아이들(idle) 상태에서의 단위시간당 에너지 소비량(Eidle)과 각각의 동작 시간을 고려하여 하나의 디바이스에서의 단위시간당 에너지 소비량을 산출한다.

<69> 즉, 디바이스 개수가 결정되면, 단위시간당 소모되는 에너지량을 산출한다. 에너지 소비는 가장 중요한 성능척도이기 때문에, 밀리세컨드 당(per millisecond) 평균 에너지 소비량을 산출하는 것이다. 여기에서 단위시간은 밀리세컨드 단위로 하였다.

<70> E_{TX} , E_{RX} , E_{CCA} , E_{idle} 은 전송(TX), 수신(RX), CCA, idle을 하기 위해 필요로 하는 밀리세컨드당 에너지 소비량이다. 상기 E_{idle} 은 밀리세컨드당 백오프 프로세스(backoff process per millisecond) 동안 소비된다.

<71> 따라서 단위시간당 소모되는 에너지량(E)을 산출(S44)은 하기 [식 5]와 같다.

<72> [식 5]

<73> $E =$

$$\frac{T_{TX} \cdot E_{TX} + T_{ACK} \cdot E_{RX} + N^{CCA} \cdot T_{CCA} \cdot E_{CCA} + \left(\frac{1}{\lambda} + E[D] - N^{CCA} \cdot T_{CCA}\right) E_{idle}}{\frac{1}{\lambda} + E[D] + T_{TX} + T_{ACK}}$$

<75> 상기 N^{CCA} 는 하기 [식 6]에 나타낸 바와 같이, 성공적인 전송이나 손실이 있을 때까지의 CCA의 평균 개수이다.

<76> [식 6]

$$N^{CCA} = \sum_{i=0}^M \alpha^M (1 - \alpha) \cdot (i + 1) + \alpha^{M+1} \cdot (M + 1)$$

<78> 상기 [식 5]에 의하여 산출된 단위시간당 소모되는 에너지량(E)을 이용하여 배터리의 예측수명 시간인 $L^{battery}$ 을 하기 [식 7]에 의하여 구할 수 있다(S45).

<79> [식 7]

$$L^{battery} = \frac{E^{battery}}{E}$$

<80> 이때, $E^{battery}$ 는 배터리 에너지량이다.

<82> 결국, IEEE 802.15.4에서 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 ACK를 보호하기 위해 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 전환시간보다 길게 설계할 시에, 네트워크 구성 시에 각 디바이스의 배터리 수명은, 상기 [식 7]에 의해 구할 수 있는 것이다.

<83> 한편, 상기에서 설명한 내용의 입증을 위하여, 연산결과와 시뮬레이션 결과를 비교하며 설명하기로 한다. 도 5는 본 발명의 실시 예에 따라 연산할 시의 연산 결과와, 이를 직접 시뮬레이션한 결과를 도시한 그래프이다.

<84> 도 5의 그래프를 참조하면, 2.4GHz 주파수 채널에서 디폴트 파라미터 값으로 우리는 macMinBE, macMaxBE, macaxCSMABackoff, α 를 3,5,4, 0.32(ms)로 각각 이용한다. 파라미터 T_{CCA} , T_{TX} , T_{ACK} 는 0.25ms, 1.12ms, 0.352ms를 각각 이용한다. 도 5는 밀리세컨드 당 $\lambda=0.01$, $\lambda=0.02$, $\lambda=0.03$ 일 때 결과를 도시한 것이다.

<85> 채널이 데이터 부하를 전송하는 시간 분수로서 정상 시스템 처리량 S로 정의한다. 하나의 재생성 사이클 동안 $n(1-P_{loss})$ 패킷이 평균적으로 전송된다. 따라서 상기 정상 시스템 처리량인 S는 하기 [식 8]에 의하여 구해질 수 있다.

<86> [식 8]

$$S = \frac{n \cdot (1 - P_{loss}) \cdot T_{TX}}{\frac{1}{\lambda} + E[D] + T_{TX} + T_{ACK}}$$

<88> 모든 성능척도의 경우, 연산결과는 시뮬레이션 결과와 근접하게 매칭됨을 알 수 있다. 노드의 수와 패킷 수신 비율이 증가할 때, 우리의 예상과 같이, 정상 시스템 처리량 S, 예상 딜레이 E[D], 패킷손실확률 P_{loss} 는 증가한다.

- <89> 패킷 도착이 많지않기 때문에, $\lambda=0.01$, $\lambda=0.02$ 일 때 에너지 소비가 디바이스의 개수에 의존하지 않음을 알 수 있다. 디바이스의 개수가 증가하여 $\lambda=0.03$ 이 될 때, 더 많은 디바이스는 채널 비지(busy)를 발견하고 에너지 소비를 줄이도록 더 많은 랜덤 백오프를 수행한다. 도 5(e)는 $\lambda=0.01$, $\lambda=0.02$, $\lambda=0.03$ 이고 배터리 용량이 3.0V에서 560mAh일 때, 디바이스의 개수가 증가하는 만큼 수명시간 $L^{battery}$ 를 도시하였다.
- <90> E_{TX} , E_{RX} , E_{CCC} , E_{idle} 가 0.0100224mJ, 0.0113472mJ, 0.0113472mJ, 0.000057637mJ로 에너지 소비 비율을 가짐을 알 수 있다. 따라서 배터리 수명이 디바이스 개수에 의존되지 않고 패킷 도착 비율에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 이것은 최소한 에너지 소비가 백오프 프로세스 동안 필요로 하는 이유가 되고, 따라서 에너지 소비가 딜레이 증가에 의해 덜 영향받는다. 결론적으로, 예상 딜레이($E[D]$)와 패킷손실확률(P_{loss})에서 요구되는 QoS를 지원하는 시스템에 의해 부합될 수 있는 디바이스의 최적의 개수를 결정하는데 유용하다. 예를 들면, 밀리 세컨드당 $\lambda=0.02$ 일 때 $P_{loss} \leq 2\%$, $E[D] \leq 10ms$ 가 요구된다고 하면, 네트워크 상에서 디바이스의 최적의 개수는 도 5(b)와 도 5(c)로부터 16으로 결정된다. 이러한 케이스를 통하여, 하나의 백오프 슬롯당 평균 에너지 소비 E^{slot} 은 5(d)로부터 1.18×10^{-4} mJ/slot이 되고 배터리 수명은 도 5(e)로부터 60일이 됨을 알 수 있다.
- <91> 상술한 본 발명의 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 여러 가지 변형이 본 발명의 범위에서 벗어나지 않고 실시될 수 있다. 따라서 본 발명의 특허 범위는 상기 설명된 실시 예에 의하여 정할 것이 아니고 특허청구범위뿐 아니라 균등 범위에도 미침은 자명할 것이다.

발명의 효과

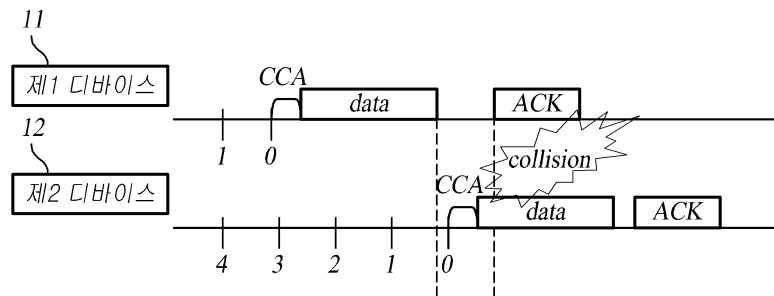
- <92> 상기에서 기술한 바와 같이 본 발명은, IEEE 802.15.4의 비슬롯 기반(비콘불능 모드) CSMA/CA에서 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 시간인 전환시간보다 길게 설계함으로써 ACK 보호를 통해 각 디바이스간의 충돌을 방지할 수 있는 효과가 있다. 또한, 특정 네트워크 환경하에서 디바이스의 최적의 개수를 산출할 수 있으며, 이러한 디바이스의 배터리 수명을 예측함으로써, 최적의 네트워크 환경을 구축할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

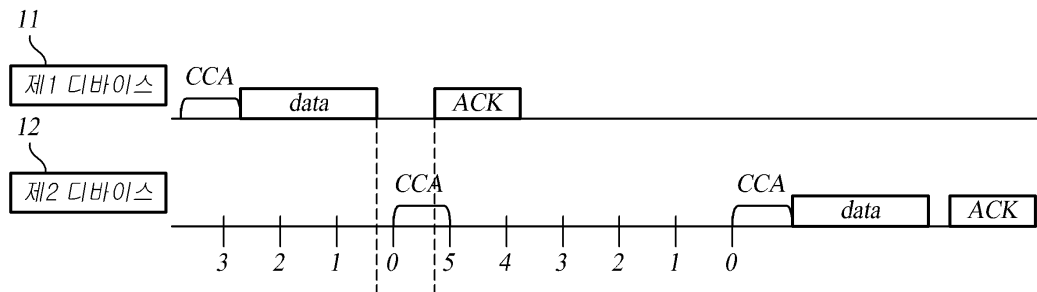
- <1> 도 1은 종래의 동작 타이밍도로서 각 디바이스간의 충돌 모습을 도시한 그림이다.
- <2> 도 2는 본 발명의 실시 예에 따라 IEEE 802.15.4에서 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 ACK를 보호하기 위한 CCA의 설계 모습을 도시한 타이밍도이다.
- <3> 도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 각 디바이스의 CCA 수행 모습과 채널 점유 모습을 도시한 그림이다.
- <4> 도 4는 본 발명의 실시 예에 따라 비슬롯 기반(unslotted) CSMA/CA 방식에서 CCA 수행시간을 데이터 수신부터 ACK 전송까지의 전환시간보다 길게 설계할 때, 네트워크 상의 최적의 디바이스 개수 및 배터리 수명 예측 등의 성능척도를 산출하는 과정을 도시한 플로차트이다.
- <5> 도 5는 본 발명의 실시 예에 따라 백오프 카운트 수행 후 사이클 주기로 전송이 이루어지는 모습을 도시한 그림이다.
- <6> 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 연산결과 및 시뮬레이션 결과를 도시한 그래프이다.

도면

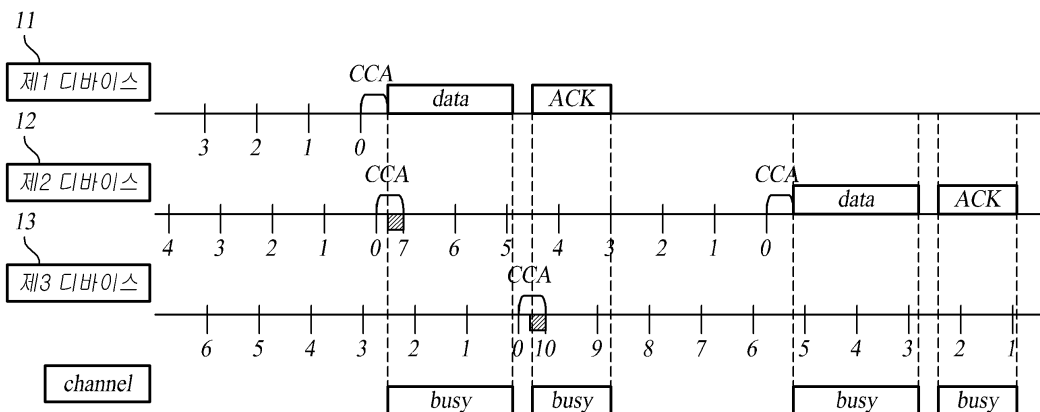
도면1



도면2

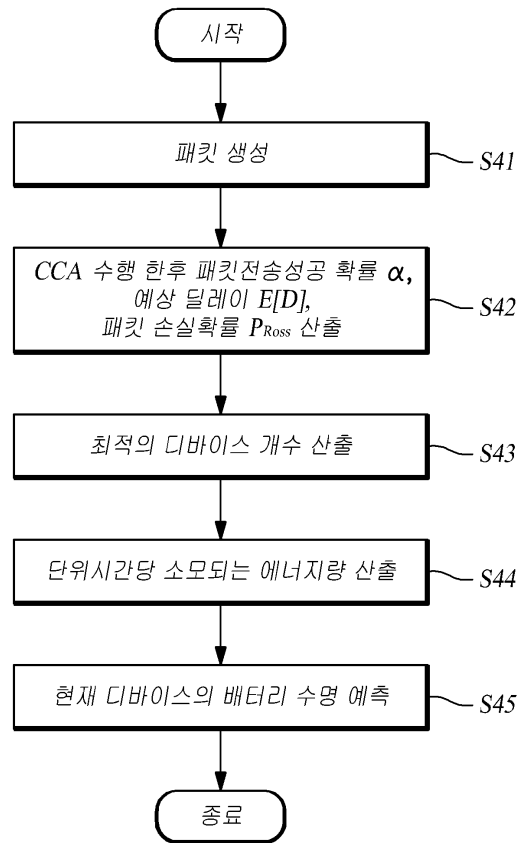


도면3

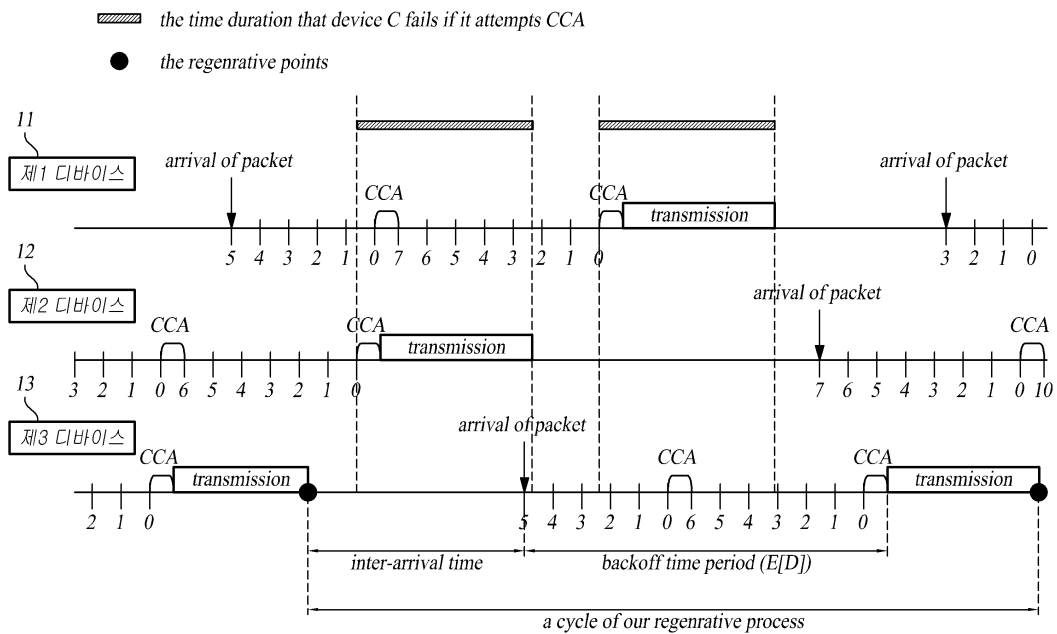


▨ the duration that channel is sensed as busy at CCA

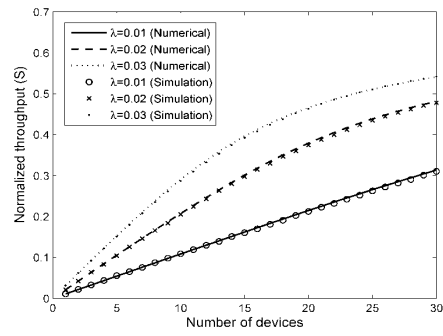
도면4



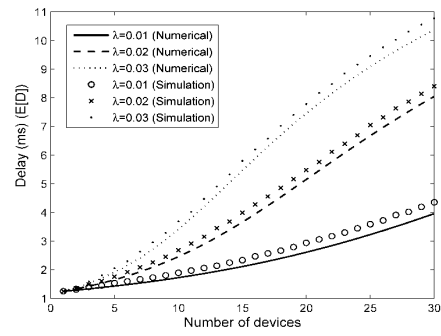
도면5



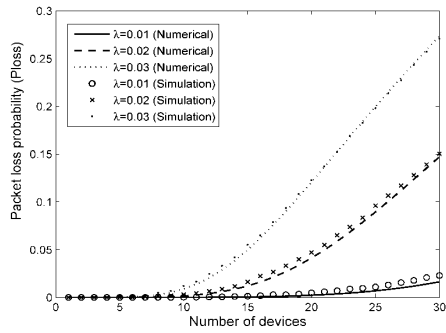
도면6



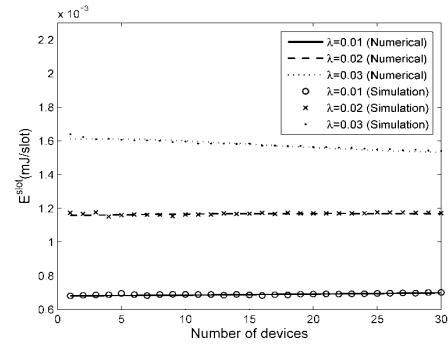
(a) Normalized throughput



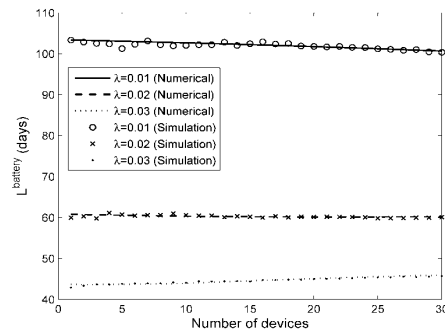
(b) Expected delay



(c) Packet loss probability



(d) Energy consumption per one slot



(e) Lifetime of a battery