(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년10월11일
(11) 등록번호 10-1664280
(24) 등록일자 2016년10월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 74/08 (2009.01) *H04W 72/04* (2009.01)
H04W 84/10 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 74/0808 (2013.01)
H04W 72/0446 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0111841
(22) 출원일자 2015년08월07일
심사청구일자 2015년08월07일
(30) 우선권주장
1020150079155 2015년06월04일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR100912542 B1
KR1020120071837 A

(73) 특허권자
한림대학교 산학협력단
강원도 춘천시 한림대학길 1, 한림대학교(옥천동)
(72) 발명자
김의직
강원도 춘천시 지석로 29, 514동 1103호 (석사동, 휴먼타운아파트)
박현희
서울시 서초구 논현로11길 16-13 502호
(74) 대리인
유민규

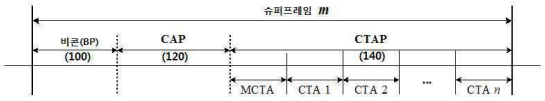
전체 청구항 수 : 총 10 항 심사관 : 백형열

(54) 발명의 명칭 **mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법**

(57) 요 약

mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법이 개시된다. mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법은 송신 노드가 CAP(contention access period)에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 수신 노드와의 통신을 위해 PNC(piconet coordinator)와 결합 절차를 수행하는 단계, 송신 노드가 CAP 에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 통신을 위해 빔포밍 CTA의 할당을 PNC로 요청하는 단계, 송신 노드가 CAP 에서 PNC로부터 빔포밍 CTA(channel time allocation)를 할당받는 단계와 송신 노드가 빔포밍 CTA에서 수신 노드와 빔포밍 기반의 통신을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04W 84/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2014R1A1A2057641
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 일반연구자지원사업(기본연구)
연구과제명 IT융합 서비스 수용을 위한 모바일 Capillary M2M 시스템 연구
기 여 율 1/1
주관기관 한림대학교 산학협력단
연구기간 2014.11.01 ~ 2017.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법은,

송신 노드가 CAP(contention access period)에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 수신 노드와의 통신을 위해 PNC(piconet coordinator)와 결합 절차를 수행하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 CAP 에서 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 상기 통신을 위해 빔포밍 CTA의 할당을 상기 PNC로 요청하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 CAP 에서 상기 PNC로부터 빔포밍 CTA(channel time allocation)를 할당받는 단계; 및

상기 송신 노드가 상기 빔포밍 CTA에서 상기 수신 노드와 빔포밍 기반의 통신을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 송신 노드의 계층을 기반으로 결정된 채널 액세스 파라메터를 기반으로 수행되고,

상기 계층은 상기 송신 노드에 펜딩된 페이로드의 사이즈를 기반으로 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 채널 액세스 파라메터는 백오프 구간의 사이즈인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는,

상기 송신 노드가 백오프 수(backoff number), 컨텐션 윈도우의 크기, 백오프 지수를 설정하는 단계;

상기 송신 노드가 랜덤 대기 시간 동안 대기하는 단계;

상기 송신 노드가 채널의 아이들 여부를 결정하기 위해 CCA(clear channel assessment)를 수행하는 단계;

상기 채널이 아이들한 경우, 상기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고, 컨텐션 윈도우의 크기가 0인지 여부를 판단하는 단계; 및

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 0인 경우, 상기 송신 노드가 채널 액세스를 성공으로 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는,

상기 채널이 아이들하지 않은 경우, 상기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 설정된 값인지 여부를 판단하는 단계;

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값이 아닌 경우, 상기 송신 노드가 상기 백오프 수, 상기 컨텐션 윈도우의 크기, 상기 백오프 지수를 재설정하는 단계; 및

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값인 경우, 상기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고 상기 백오프 구간 동안 대기하고, 다시 상기 CCA를 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 송신 노드에 있어서, 상기 송신 노드는,

무선 신호를 송신 또는 수신하도록 구현되는 RF 부; 및

상기 RF부와 동작 가능하게 연결된 프로세서를 포함하되,

상기 프로세서는 CAP(contention access period)에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 수신 노드와의 통신을 위해 PNC(piconet coordinator)와 결합 절차를 수행하고,

상기 CAP 에서 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 상기 통신을 위해 빔포밍 CTA의 할당을 상기 PNC로 요청하고,

상기 CAP 에서 상기 PNC로부터 빔포밍 CTA(channel time allocation)를 할당받고,

상기 빔포밍 CTA에서 상기 수신 노드와 빔포밍 기반의 통신을 수행하도록 구현되는 것을 특징으로 하는 송신 노드.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 송신 노드의 계층을 기반으로 결정된 채널 액세스 파라메터를 기반으로 수행되고,

상기 계층은 상기 송신 노드에 펜딩된 페이로드의 사이즈를 기반으로 결정되는 것을 특징으로 하는 송신 노드.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 채널 액세스 파라메터는 백오프 구간의 사이즈인 것을 특징으로 하는 송신 노드.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 프로세서는 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 위해,

백오프 수(backoff number), 컨텐션 윈도우의 크기, 백오프 지수를 설정하고,

랜덤 대기 시간 동안 대기하고,

채널의 아이들 여부를 결정하기 위해 CCA(clear channel assessment)를 수행하고,

상기 채널이 아이들한 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고, 컨텐션 윈도우의 크기가 0인지 여부를 판단하고,

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 0인 경우, 채널 액세스를 성공으로 결정하도록 구현되는 것을 특징으로 하는 송신 노드.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 프로세서는 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 위해,

상기 채널이 아이들하지 않은 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 설정된 값인지 여부를 판단하고,

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값이 아닌 경우, 상기 백오프 수, 상기 컨텐션 윈도우의 크기, 상기 백오프 지수를 재설정하고,

상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값인 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고 상기 백오프 구간 동안 대기하고, 다시 상기 CCA를 수행하도록 구현되는 것을 특징으로 하는 송신 노드.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 통신 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, mmWane 무선 네트워크 에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] mmWave(millimeter wave) 기술은 IEEE(institute of electrical and electronic engineers) 802.15.3c, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ad, ECMA(European Computer Manufacturers Association)-387에서 Gbps(giga bit per second) 단위의 최대 처리량을 지원하기 위해 사용될 수 있다. HDTV(high definition television)와 같은 높은 속도의 무선 서비스, IPTV(internet protocol television)/VoD(video on demand) 서비스 등은 1Gbps를 넘는 높은 데이터 처리량을 지원할 필요가 있다. 특히, IEEE 802.15.3c 스펙은 압축되지 않은 비디오 스트림을 위한 필수 데이터 레이트를 1.78Gbps, 파일 다운로드 서비스를 위한 필수 데이터 레이트를 2.25Gbps로 정의하였다. IEEE 802.15.3c 에서 이러한 데이터 처리량을 지원하기 위해 7GHz까지의 비면허 대역(unlicensed band)이 사용될 수 있다. 또한, IEEE 802.15.3c 에서 사용되는 mmWave 주파수 대역에서는 더욱 높은 EIRP(effective isotropic radiated power)가 가능할 수 있다.

[0003] mmWave 주파수 대역은 산소 흡착(oxygen absorption), 높은 경로 손실(high path loss), 짧은 파장(short wave length), 높은 안테나 방향성(high antenna directivity) 등의 특징을 가진다. mmWave 주파수 대역은 전송 커버리지 및 간섭에 있어 단점을 가질 수 있다. 그러나 mmWave 주파수 대역에서 dCSMA/CA(directional carrier sense multiple access/collision avoidance) 알고리즘이 사용되는 경우, 페이로드는 간섭을 줄이기 위해 방향성을 가지고 송신 및 수신될 수 있다. 그럼에도 불구하고 dCSMC/CA 알고리즘을 사용하는 경우에도 히든 노드의 문제(또는 들리지 않는 문제(deafness problem))는 여전히 mmWave 주파수 대역을 사용함에 있어 문제점으로 남을 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) KR 10-2012-7014930

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 측면은 mmWave 무선 네트워크 에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법을 제공한다.

[0006] 본 발명의 또 다른 측면은 mmWave 무선 네트워크 에서 데이터를 송신 및 수신하는 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 따른 mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 방법은 송신 노드가 CAP(contention access period)에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 수신 노드와의 통신을 위해 PNC(piconet coordinator)와 결합 절차를 수행하는 단계, 상기 송신 노드가 상기 CAP 에서 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 상기 통신을 위해 빔포밍 CTA의 할당을 상기 PNC로 요청하는 단계, 상기 송신 노드가 상기 CAP 에서 상기 PNC로부터 빔포밍 CTA(channel time allocation)를 할당받는 단계와 상기 송신 노드가 상기 빔포밍 CTA에서 상기 수신 노드와 빔포밍 기반의 통신을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 한편, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 송신 노드의 계층을 기반으로 결정된 채널 액세스 파라메터를 기반으로 수행되고, 상기 계층은 상기 송신 노드에 펜딩된 페이로드의 사이즈를 기반으로 결정될 수 있다.

[0009] 또한, 상기 채널 액세스 파라메터는 백오프 구간의 사이즈일 수 있다.

[0010] 또한, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 송신 노드가 백오프 수(backoff number), 컨텐션 윈도우의 크기, 백오프 지수를 설정하는 단계, 상기 송신 노드가 랜덤 백오프 구간 동안 대기하는 단계, 상기 송신 노드가 채널의 아이들 여부를 결정하기 위해 CCA(clear channel assessment)를 수행하는 단계, 상기 채널이 아이들한 경우, 상

기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고, 컨텐션 윈도우의 크기가 0인지 여부를 판단하는 단계와 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 0인 경우, 상기 송신 노드가 채널 액세스를 성공으로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 채널이 아이들하지 않은 경우, 상기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 설정된 값인지 여부를 판단하는 단계, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값이 아닌 경우, 상기 송신 노드가 상기 백오프 수, 상기 컨텐션 윈도우의 크기, 상기 백오프 지수를 재설정하는 단계와 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값인 경우, 상기 송신 노드가 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고 상기 백오프 구간 동안 대기하고, 다시 상기 CCA를 수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 측면에 따른 mmWave 무선 네트워크에서 데이터를 송신 및 수신하는 송신 노드에 있어서, 상기 송신 노드는 무선 신호를 송신 또는 수신하도록 구현되는 RF 부와 상기 RF부와 동작 가능하게 연결된 프로세서를 포함하되, 상기 프로세서는 CAP(contention access period)에서 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 수신 노드와의 통신을 위해 PNC(piconet coordinator)와 결합 절차를 수행하고, 상기 CAP 에서 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 통해 상기 통신을 위해 빔포밍 CTA의 할당을 상기 PNC로 요청하고, 상기 CAP 에서 상기 PNC로부터 빔포밍 CTA(channel time allocation)를 할당받고, 상기 빔포밍 CTA에서 상기 수신 노드와 빔포밍 기반의 통신을 수행하도록 구현될 수 있다.

[0013] 한편, 상기 경쟁 기반 채널 액세스는 상기 송신 노드의 계층을 기반으로 결정된 채널 액세스 파라메터를 기반으로 수행되고, 상기 계층은 상기 송신 노드에 펜딩된 페이로드의 사이즈를 기반으로 결정될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 채널 액세스 파라메터는 백오프 구간의 사이즈일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 프로세서는 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 위해,백오프 수(backoff number), 컨텐션 윈도우의 크기, 백오프 지수를 설정하고, 랜덤 백오프 구간 동안 대기하고, 채널의 아이들 여부를 결정하기 위해 CCA(clear channel assessment)를 수행하고, 상기 채널이 아이들한 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고, 컨텐션 윈도우의 크기가 0인지 여부를 판단하고, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 0인 경우, 채널 액세스를 성공으로 결정하도록 구현될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 프로세서는 상기 경쟁 기반 채널 액세스를 위해 상기 채널이 아이들하지 않은 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 설정된 값인지 여부를 판단하고, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값이 아닌 경우, 상기 백오프 수, 상기 컨텐션 윈도우의 크기, 상기 백오프 지수를 재설정하고, 상기 컨텐션 윈도우의 크기가 상기 설정된 값인 경우, 상기 컨텐션 윈도우의 크기를 감소시키고 상기 백오프 구간 동안 대기하고, 다시 상기 CCA를 수행하도록 구현될 수 있다.

발명의 효과

[0017] 펜딩된 페이로드 사이즈에 따라 노드를 복수의 계층으로 분류하여 전송 자원이 할당됨으로써 전체적인 WPAN(wireless personal area network)에서의 전송 효율이 증가될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 IEEE 802.15.3c WPAN의 기본 동작을 설명하는 개념도이다.

도 2는 IEEE 802.15.3c MAC의 기본 동작을 나타낸 개념도이다.

도 3은 DCSMA/CA 알고리즘의 히든 노드 문제를 나타낸 개념도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘의 분석을 위한 스테디 상태 모델(steady state model)을 나타낸 개념도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 차별화된 서비스를 제공하기 위한 마르코프 체인 모델을 나타낸 개념도이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이

다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예와 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조 부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.

[0020] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.

[0021] 도 1은 IEEE 802.15.3c WPAN의 기본 동작을 설명하는 개념도이다.

[0022] IEEE(institute of electrical and electronic engineers) 802.15.3c의 MAC(medium access control)은 WPAN(wireless personal area networks)에서 Gbps를 지원하기 위해 디자인될 수 있다.

[0023] 도 1을 참조하면, IEEE 802.15.3c의 MAC(medium access control) 계층의 슈퍼 프레임 구조(superframe structure)는 3개의 서로 다른 시간 구간을 포함할 수 있다. 3개의 서로 다른 시간 구간 각각은 BP(beacon period)(100), CAP(contention access period)(120) 및 CTAP(channel time allocation period)(140)일 수 있다.

[0024] PNC(piconet coordinator)에 의한 비콘의 브로드캐스트는 슈퍼프레임의 타이밍을 설정하고 피코넷(piconet)을 위한 관리 정보를 전송하기 위해 사용될 수 있다. 또한, CAP(120)은 PNC와의 결합 절차를 위해 사용되는 결합(association) CAP 및 모든 다른 명령과 비동기 데이터 교환(asynchronous data exchange)을 위해 사용되는 주기적(regular) CAP으로 구분될 수 있다.

[0025] CAP(120) 동안, 노드는 전송 전에 매체를 탐지하는 방식으로 동작할 수 있다. 예를 들어, CAP(120) 동안 채널 액세스를 위해 노드는 경쟁 기반의 CSMA/CA(carrier sense multiple access/collision avoidance) 알고리즘을 수행할 수 있다.

[0026] 반면, CTAP(140) 구간 동안, 노드는 TDMA(time division multiple access)를 기반으로 CTA(channel time allocation)로 불리는 노드를 위한 별도의 시간 자원을 할당받아 통신할 수 있다. 그래서, CTAP(140)는 신뢰도가 높은 연결을 보장하고 주로 노드 사이의 데이터 통신을 위한 시간 자원으로 사용될 수 있다. 그래서 CAP(120)가 60GHz 대역에서 높은 방향성을 가지고 데이터 통신을 위해 사용되는 경우, 히든 노드로 인한 데이터(또는 프레임) 간의 충돌이 발생할 수 있다. 히든 노드는 다른 노드 간의 데이터 통신을 탐지하지 못하여 매체를 아이들하다고 잘못 판단하는 노드일 수 있다. 히든 노드는 다른 노드 간의 통신이 수행되는 경우에도 프레임을 매체 상으로 전송하므로 다른 노드들에 의해 전송된 프레임과의 충돌을 야기할 수 있다. 히든 노드로 인한 문제는 다른 용어로 들리지 않는 문제 또는 데프니스 문제(deafness problem)라는 용어로 표현될 수도 있다.

[0027] 도 2는 IEEE 802.15.3c MAC의 기본 동작을 나타낸 개념도이다.

[0028] 도 2를 참조하면, 노드는 스캐닝 절차를 수행한다(단계 S200).

[0029] 스캐닝 절차에서 노드는 특정 시간 구간 동안 모든 가용한 채널을 통해 PNC로부터 전송되는 비콘을 탐색할 수 있다. 노드는 스캐닝 절차를 기반으로 선택한 채널이 아이들(idle) 상태(또는 클리어(clear))인 경우, 노드는

해당 채널에 이미 설정된 피코넷이 존재하지 않는다고 판단할 수 있다. 따라서, 노드는 선택한 채널 상에서 피코넷을 설정하고, 슈퍼프레임을 설정할 수 있다.

[0030] PNC로 동작하는 노드는 슈퍼프레임의 매 시작 타이밍에 비콘을 브로드캐스트할 수 있다. 노드가 브로드캐스트된 비콘을 탐지한 경우, CAP 구간 동안 비콘을 기반으로 탐지된 PNC와 결합할 수 있다.

[0031] 노드는 결합 및 채널 시간 할당 절차를 수행한다(단계 S210).

[0032] 특정 피코넷에 참여하고자 하는 노드는 PNC에 의해 전송되는 비콘을 수신하고, 수신된 비콘에 의해 지시된 결합 CAP 동안 PNC로 결합 요청 명령 프레임(association request command frame)을 전송할 수 있다. 결합 요청 명령 프레임에 대한 응답으로, PNC는 피코넷으로의 참여를 허락하는 결합 응답 명령 프레임을 전송할 수 있다. PNC는 비콘 프레임 또는 어나운스먼트 프레임(announcement frame)을 전송함으로써 피코넷에서 통신 가능한 노드에 대한 정보를 노드로 전송할 수 있다. 비콘 프레임 또는 어나운스먼트 프레임은 노드 결합 정보 요소(node association information element)를 포함할 수 있고, 노드 결합 정보 요소는 현재 피코넷에 포함되는 멤버(또는 노드)에 대한 정보를 포함할 수 있다. 비동기 스트림 요청(asynchronous)에 대한 응답 프레임은 PNC가 요청을 만족하지 못하는 경우에만 전송될 수 있다.

[0033] 노드가 빔포밍 설정 절차를 수행한다(단계 S220).

[0034] 노드가 빔포밍이 가능한 경우, 노드가 빔포밍 CTA의 할당을 PNC로 요청할 수 있다. 구체적으로 데이터 통신을 위한 CTA의 할당 이전에 만약, 통신하는 두 개의 노드가 빔포밍을 지원하는 경우, 소스 노드(source node)(또는 송신 노드)는 PNC로 빔포밍 CTA의 할당을 요청할 수 있고, 할당된 빔포밍 CTA 동안 빔포밍을 기반으로 목적 노드(destination node)(또는 수신 노드)로 데이터를 전송할 수 있다.

[0035] 노드 간의 데이터 교환 절차가 수행된다(단계 S230).

[0036] 데이터 교환 절차를 위해 CTA에서 데이터 전송의 시작 전에(또는 CAP 구간에서) 소스 노드는 CTA 요청 명령(또는 채널 시간 할당 요청 프레임)을 CAP 동안 전송할 수 있다. 구체적으로 CAP 동안 CTA 요청 명령의 전송은 CSMA/CA 알고리즘의 백오프 절차를 기반으로 수행될 수 있다. PNC는 소스 노드의 목적 노드와의 통신을 위한 CTA를 소스 노드 및 목적 노드에 할당할 수 있다. PNC는 복수의 CTA 를 특정 스트림으로 할당할 수 있다. 구체적으로 PNC는 채널 시간 할당 정보 요소를 기반으로 특정 스트림을 위한 복수의 CTA 블록을 지시함으로써 복수의 CTA 를 특정 스트림으로 할당할 수 있다. 소스 노드와 목적 노드는 할당된CTA를 기반으로 데이터를 송신 및 수신할 수 있다.

[0037] 노드 간의 통신 네트워크를 끊기 위한 절차가 수행된다(단계 S240).

[0038] 소스 노드는 목적 노드와의 통신을 종료하기 위해 CTA에 대한 할당의 종료를 요청할 수 있다. PNC는 소스 노드 및 목적 노드로 새로운 CTA 정보(new CTA information)를 비콘 프레임을 통해 전송할 수 있다. 새로운 CTA 정보를 수신한 소스 노드 및 목적 노드는 새로운 CTA 상에서 PNC로 연결 종료 명령을 전송할 수 있다. 이러한 절차를 통해 소스 노드와 목적 노드 간의 통신 네트워크의 연결이 종료될 수 있다.

[0039] 이하에서는 mmWave WPAN 에서의 경로 손실 모델(path loss model)이 개시된다.

[0040] 두 개의 안테나 모델이 mmWave WPAN에서 사용되는 방향성 안테나(directional antenna)로 사용될 수 있다. 두 개의 안테나 모델 중 하나는 플랫-탑(flat-top) 모델이고 다른 하나는 콘-플러스 원/구(cone plus circle/sphere) 모델이다. 플랫-탑 모델은 복사(radiation)의 사이드로브(sidelobe)를 무시하고, 콘-플러스 원/구 모델은 복사의 사이드로브를 고려한다. 모든 노드가 2차원 공간에 위치하고 콘-플러스 원/구 모델이 사용된다고 가정하면, 메인로브(mainlobe)에 대한 안테나 게인(antenna gain)(또는 안테나 이득)은 아래의 수학식 1과 같이 획득될 수 있다.

[0041] <수학식 1>

[0042]
$$G_{\mathrm{ML}} = \eta \frac{2\pi}{\theta},$$
$$G_{\mathrm{SL}} = (1-\eta)\frac{2\pi}{2\pi-\theta}$$

[0043] 여기서, G_{ML}, G_{SL}, η 및 θ 각각은 메인로브에 대한 안테나 게인, 사이드로브에 대한 안테나 게인, 복사 효율, 대역폭 각각일 수 있다.

[0044] Friis의 자유 공간 전파 모델(free-space propagation model)에 따르면, 자유 공간 경로 손실 PL_0는 아래의 수학식 2를 기반으로 획득될 수 있다.

[0045] <수학식 2>

[0046] $$PL_0 = 20\log_{10}(4\pi f_c/c)$$

[0047] 여기서, f_c는 신호의 캐리어 주파수이고, $3\times10^8 m/sec$는 빛의 속도일 수 있다. 60GHz에서 1m의 자유 공간 경로 손실은 68dB일 수 있다. 따라서, 최대 전송 범위는 다른 낮은 주파수 대역에서의 거리와 비교하여 감소될 수 있다. 비트당 평균 노이즈 파워 P_N는 아래의 수학식 3을 기반으로 획득될 수 있다.

[0048] <수학식 3>

[0049] $$P_N = -174 + 10\log_{10} R_b + N_F$$

[0050] 여기서, R_b는 PHY-SAP 페이로드 비트 레이트(payload bit rate)이고, N_F는 안테나 터미널에 참조되는 수신 노이즈 수치이다. P_N는 백색 가우시안 노이즈(white Gaussian noise)에 대응되는 요소이다.

[0051] 수신 감도(receiver sensitivity)는 에러 레이트 기준(error rate criterion)을 만족하는 dBm 단위의 입력 신호의 최소 파워 레벨이다. 에러 레이트 기준은 2048 옥텟(octet) 길이의 프레임 페이로드에서 8%보다 작은 FER(frame error rate)일 수 있다. 측정은 AWGN(additive white Gaussian noise) 채널에서 수행될 수 있다. 허용 가능한 경로 손실(tolerable path loss), PL_t는 아래의 수학식 4를 기반으로 획득될 수 있다.

[0052] <수학식 4>

[0053] $$PL_t = P_T + G_T + G_R - S_{\min} - M_{\text{shadowing}} - PL_o$$

[0054] 여기서, P_T, G_T, G_R, $S_{\min}$ 및 $M_{\text{shadowing}}$ 각각은 평균 전송 파워(average transmit power), 전송 안테나 게인(transmit antenna gain), 수신 안테나 게인(receiver antenna gain), 최소 수신 감도 레벨(minimum receiver sensitivity level), 쉐도잉 링크 마진(shadowing link margin)일 수 있다. 이러한 단계들을 통해, 잔여 MCS(modulation and coding scheme)에 대한 수신 감도 레벨이 획득될 수 있다.

[0055] 이하, 본 발명의 실시예에서는 CAP 상에서 DCSMA/CA(directional carrier sense multiple access/collision avoidance) 알고리즘의 동적 적응(dynamic adaptation) 방법이 개시된다.

[0056] PNC와의 결합 이전에, 우선 노드는 송신 및 수신 각각에 대하여 빔포밍 트레이닝(beamforming training)을 수행하여 수신 안테나 및 송신 안테나 각각은 빔포밍 게인을 가질 수 있다. 노드가 빔포밍 트레이닝을 완료한 이후, 아이들 상태(idle state)에서 PNC로의 데이터 전송시 빔포빙이 수행될 수 있어 높은 안테나 게인이 획득될 수 있다. 반면, 아이들 상태에서 PNC는 옴니-안테나 모드(omni-antenna mode)로 수신할 수 있고, 이는 큰 안테나 이득이 없다는 것을 의미할 수 있다.

[0057] 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA(dynamic adaptation-directional carrier sense multiple access/collision avoidance) 알고리즘에서는 노드가 다른 노드에 의한 데이터의 전송 및 수신 이전에 항상 빔포밍을 기반으로 PNC로 전송하고, PNC가 WPAN내에서의 전송을 조정하기 때문에 히든 노드로 인한 문제는 감소될 수 있다.

[0058] 이하에서는 송신 노드와 수신 노드 간의 기존의 DCSMA/CA 알고리즘 기반의 동작이 개시된다. M개의 노드(n=1, …, M)를 포함하는 독립 피코넷이 가정될 수 있다. 피코넷 내의 모든 노드는 공유된 무선 채널의 상태를 센싱할 수 있다. 또한, 피코넷 내의 모든 노드는 슈퍼프레임의 슬롯 타임에서 PNC와 함께 동작되도록 동기화될 수 있다. CAP 동안 데이터 전송을 위한 이상적인 무선 채널에서는 충돌이 없다면 모든 프레임의 에러없는 송신 또는 수신이 가정될 수 있다. 초기에 송신 노드(또는 소스 노드)는 CAP 구간 동안에 PNC로 채널 시간 요청

(channel time request)(예를 들어, 또는 결합 요청 명령 프레임 기반의 결합 요청(association request))을 수행할 수 있다. 이러한 송신 노드에 의한 채널 시간 요청이 성공적으로 수행된 경우, PNC는 송신 노드와 수신 노드(또는 목적 노드) 간의 통신을 위해 적어도 하나의 CTA를 할당할 수 있다. 그러나, 채널 시간 요청의 전송이 충돌로 인해 실패한 경우, 송신 노드는 채널 시간 요청을 위한 프레임을 재전송하기 전에 랜덤 백오프 시간(random backoff time) 동안 대기할 수 있다.

[0059] 송신 노드에 의한 캐리어 센싱은 송신 노드가 데이터를 전송하고자 하는 수신 노드가 현재 통신 중(또는 비지 상태)이라는 것을 탐지하지 못할 수도 있다. 송신 노드가 현재 수신 노드의 통신 상태를 정확하게 판단하지 못한 경우, 네트워크의 가용성을 감소시키는 불필요한 재전송이 발생할 수 있다. 더욱이, 송신 노드는 성공적이지 않은 전송 시도 이후에 컨텐션 윈도우의 크기를 두 배로 증가시킬 수 있고 이러한 컨텐션 윈도우의 크기의 증가는 전송 대기 시간을 증가시킬 수 있다. 결합 절차 이후, 송신 노드는 PNC와 빔포밍 요청 프레임/빔포밍 응답 프레임을 교환함으로써 빔포밍 절차를 수행할 수 있다.

[0060] 도 3은 DCSMA/CA 알고리즘의 히든 노드 문제를 나타낸 개념도이다.

[0061] 도 3을 참조하면, 노드B(320)와 노드C(330)는 방향성을 가지고 통신을 수행하고, 노드A(310)는 백오프 절차를 수행할 수 있다. 노드 B(320) 및 노드C(330)가 노드 A(310)와 대한 히든 노드 관계인 경우, 노드A(310)는 노드B(320)와 노드C(330) 간의 통신이 수행되는지 여부에 대해 탐지하지 못할 수 있다. 이러한 경우, 노드 A(310)는 노드B(320)와 노드C(330) 간의 통신 여부에 대해 알지 못하고 노드 B(320)와의 통신을 시도할 수 있다. 노드 B(320)는 노드 C(330)와의 통신을 수행하기 때문에 노드 A(310)에 의해 전송되는 데이터에 대한 응답을 할 수 없다.

[0062] 히든 노드로 인한 위와 같은 문제를 해결하기 위해 소스 노드는 소드 노드와 목적 노드 사이의 통신을 위해 미리 PNC와 빔포밍 절차를 완료해야 하고, PNC는 빔포밍 절차로 인해 발생되는 다른 스트림과의 충돌을 피하기 위해 소스 노드로 별도의 빔포밍 CTA를 할당해야 한다. 이후, CTA에서의 데이터 통신의 시작 전에, 소스 노드는 채널 시간 할당 요청 프레임을 PNC로 전송할 수 있다. 채널 시간 할당 요청 프레임은 CSMA/CA를 기반으로 전송될 수 있다. PNC는 소스 노드와 목적 노드 사이의 통신을 위한 CTA를 비콘 프레임을 통해 할당할 수 있다. 비콘 프레임은 새로운 CTA 정보 명령(CTA information command)을 포함할 수 있다. 새로운 CTA 정보 명령은 모든 노드에게 할당되는 CTA에 대한 정보를 포함할 수 있다. 그러므로, 소스 노드와 목적 노드는 할당된 시간 자원(CTA)에 대한 정보를 수신할 수 있고, 할당된CTA에서 통신을 수행할 수 있다.

[0063] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

[0064] 무선 네트워크의 모든 노드 각각은 서로 다른 크기의 페이로드를 생성할 수 있다. 따라서, 페이로드의 사이즈와 다른 서비스에 따라 모든 노드 각각은 멀티-레벨 계층(multi-level class) 각각으로 구분될 수 있다. 이하, 본 발명의 실시예에 따른 CAP 동안 DA-DCSMA/CA 알고리즘을 기반으로 슬롯 기반의 mmWave 환경에서 방향성 안테나(directional antenna)를 사용하여 데이터를 전송하는 방법이 개시된다.

[0065] 노드에 의해 전송된 페이로드(또는 패킷, 프레임)가 다른 페이로드와 충돌한 경우, 페이로드는 드롭(drop)되고, 노드는 새로운 페이로드의 전송을 시도할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘에서는 각 확률에 따라 노드에 서로 다른 무선 자원을 할당함으로써 서비스를 차별화하는 방법이 정의된다.

[0066] 모든 노드는 생성되는 페이로드 사이즈에 따라 멀티-레벨 계층 각각으로 구분될 수 있다. 예를 들어, 유사한 페이로드 사이즈를 생성하는 노드는 동일한 계층으로 분류될 수 있다. 각 계층은 평균 페이로드 사이즈에 따라 다른 서비스(예를 들어, 백오프 구간(backoff period)(또는 백오프 시간(backoff time)))에 할당될 수 있다. 예를 들어, 평균 페이로드 사이즈가 긴 계층일수록 낮은 우선권(예를 들어, 상대적으로 긴 백오프 구간)을 가지도록 설정될 수 있다.

[0067] J(j=1, …, J)가 계층의 인덱스를 지시하고, k(k=1, 2, …, K)가 할당된 백오프 카운터(또는 백오프 구간, 백오프 시간)를 각각 지시한다고 하자. 이러한 경우, ^{jk} 는 계층 j가 백오프 단계에서 k개의 백오프 카운터(또는 백오프 구간 k, 백오프 시간 k)를 가지는 것을 의미할 수 있다. ^{jk} 는 계층 (j)에서 패킷을 전송하기 위해 할당된 평균 슬롯의 개수로부터 획득될 수 있다. 결국, ^{jk} 의 사이즈는 계층 j에서 평균 페이로드 사이즈에 비례할 수 있다. 우선, 계층 j의 노드는 CCA(clear channel assessment) 절차를 수행할 수 있다. 만약 채널이 비지 상태인 경우, 노드의 백오프 카운터는 초기 랜덤 구간에 부가적으로 k를 더한 값으로 설정될 수 있다. 반대로 채널

이 아이들 상태인 경우, 노드는 채널 충돌을 피하기 위해 CCA를 수행할 수 있다. 그러나, 만약, 채널이 CCA를 기반으로 비지 상태로 센싱된 경우, 노드는 추가적인 백오프 구간 동안 대기할 수 있다. 추가적인 백오프 구간이 경과한 경우, 노드는 다시 CCA 절차를 수행할 수 있다.

[0068] 그러므로, 계층 j의 모든 노드는 계층 j의 평균 페이로드 사이즈에 기반하여 차별화된 서비스(예를 들어, 백오프 구간)를 제공받을 수 있다. 구체적으로 모든 계층은 무선 채널 상에서 전체 충돌 비율을 감소시키기 위해 다른 백오프 구간에 할당될 수 있다. 이러한 방법을 사용하는 경우, 노드들은 기존의 CSMA/CA 알고리즘을 기반으로 한 채널 액세스를 사용할 때 보다 적은 노드와 경쟁을 하기 때문에 충돌의 확률이 감소할 수 있다.

[0069] 도 4를 참조하면, WPAN에서 복수 계층에 따라 차별화된 서비스를 제공하는 방법이 개시된다.

[0070] 펜딩된 패킷이 존재하는 경우, 노드는 우선 백오프 수(backoff number, NB), 컨텐션 윈도우(contention window, CW), 백오프 지수(backoff exponent, BE)를 결정한다(단계 S400).

[0071] 백오프 수는 채널 액세스를 시도하는 횟수, 컨텐션 윈도우는 백오프 구간(또는 백오프 시간)의 크기를 지시할 수 있다. 백오프 지수는 백오프 구간의 한계를 결정하기 위한 변수일 수 있다. 예를 들어, NB=0, CW=2, BE=2로 설정될 수 있다.

[0072] 노드는 백오프 지수를 기반으로 백오프 구간의 경계를 설정한다(단계 S410).

[0073] 백오프 구간의 경계는 백오프 지수를 기반으로 설정되고, 노드는 백오프 구간의 경계 내에서 백오프 절차를 수행할 수 있다.

[0074] 노드는 랜덤 대기 시간(또는 랜덤 백오프 구간) 동안 대기한다(단계 S420).

[0075] 우선 프레임의 전송시 다른 프레임과의 충돌을 피하기 위해 $[0, 2^{\mathrm{BE}} - 1]$ 사이의 값으로 랜덤 대기 시간(random waiting time)(또는 랜덤 백오프 구간)이 설정될 수 있다.

[0076] 랜덤 대기 시간이 경과한 이후, CCA 절차가 수행되고(단계 S430), 채널이 아이들인지 여부가 판단된다(단계 S440).

[0077] CCA 절차가 채널 상태를 체크하기 위해 수행될 수 있다. 단계 S440의 판단 결과, 채널이 아이들 상태인 경우, CW의 값을 1만큼 감소시키고(단계 S450), CW가 0인지 여부를 판단한다(단계 S460).

[0078] 만약, CW가 0이 아닌 경우, 다시 단계 S430으로 돌아가 전술한 절차를 다시 수행할 수 있다. 반대로 CW가 0인 경우, 노드는 펜딩된 패킷(또는 프레임)을 전송할 수 있다.

[0079] 단계 S440의 판단 결과 채널이 비지 상태인 경우, CW의 값이 2인지 여부를 판단한다(단계 S470).

[0080] CW의 값이 2인 경우, 노드는 CW의 값을 1만큼 감소시키고(단계S475), 추가적인 백오프 구간 동안 대기한다(단계 S480).

[0081] 추가적인 백오프 구간은 계층 j에 따라 jk 로 설정된다. 추가적인 백오프 구간이 만료된 경우, 다시 단계 S430으로 돌아갈 수 있다. 단계 S430을 통해 첫번째 CCA 절차를 다시 수행한 결과, 채널이 아이들한 경우(단계 S440), CW를 1 감소시킬 수 있다(단계 S450). CW가 단계 S475 및 단계 S450을 통해 감소된 경우, CW는 0일 수 있다. 따라서, 노드는 단계 S460의 판단을 통해 CW가 0이므로 패킷(또는 프레임)을 전송할 수 있다.

[0082] 반대로 다시 돌아간 단계 S430을 통해 CCA 절차를 다시 수행한 결과, 채널이 비지한 경우(단계 S440), CW가 2가 아닌 1이므로, 단계 S470의 판단을 통해 CW=2, NB=NB+1, BE=min(BE+1, aMaxBE)로 설정될 수 있다(단계 S485).

[0083] 이러한 절차는 전송 횟수가 미리 설정된 maxCSMAbackoffdml 값보다 커질 때까지 수행될 수 있다(단계 S490).

[0084] 전송 횟수가 미리 설정된 maxCSMAbackoff의 값보다 커지는 경우, 노드는 채널 액세스를 실패로 판단할 수 있다.

[0085] 위와 같은 DA-DCSMA/CA 알고리즘이 CAP에서 사용되는 경우, 프레임 간의 충돌 확률이 감소되고, 노드에 펜딩된 페이로드 사이즈에 따라 노드의 전송 우선 순위가 다르게 설정되어 WPAN의 무선 자원 효율이 증가할 수 있다.

[0086] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘의 분석을 위한 스테디 상태 모델(steady state model)을 나타낸 개념도이다.

[0087] 노드의 공간적 분산이 밀도 λ를 가지는 2차원 poisson 분산을 따르는 것으로 가정한다. 하나의 영역에서 노드를 찾을 확률은 아래의 수학식 5를 기반으로 결정될 수 있다.

[0088] <수학식 5>

[0089] $$P(n,X)=\frac{(\lambda X)^n}{n!}e^{-\lambda X}$$

[0090] 여기서 n는 노드의 인덱스이고, X는 자유 공간 영역의 크기이다. 노드 각각이 항상 전송할 패킷(또는 프레임)을 가지고, 각 전송 시도에서 일정하고 독립된 확률 P_A를 가지고 패킷의 전송을 성공하는 경우가 가정된다. 추가로, 노드가 타임-슬롯 모드로 동작하고, 각 타임 슬롯의 길이는 t_s이고 타임 슬롯의 길이는 페이로드의 길이보다 작은 경우가 가정된다. 노드가 하나의 슬롯에서 전송할 확률은 P_T로 표현될 수 있다. P_T는 프로토콜에 종속적이고, 슬롯에 독립적일 수 있다. 명백하게, P_T는 충돌 방지(백오프 구간 및 연기(deferring)) 때문에 1일 수 없다. 노드는 각 타임 슬롯에서 확률 P_I로 독립적으로 준비 상태일 수 있다. 방향성 안테나를 사용하여 DCSMA/CA의 성능을 분석하기 위해 2차원 마르코프 체인(markov chain)이 사용될 수 있다. 노드 모델은 전송 활동을 위한 4가지의 스테디 상태로 정의될 수 있다.

[0091] 도 5를 참조하면, 복수의 비트로 노드의 스테디 상태가 정의될 수 있다. (v, w)는 스테디 상태의 인덱스일 수 있다. 스테디 상태의 인덱스 0은 대기 상태(wait), 스테디 상태의 인덱스 1은 성공 상태(success), 스테디 상태의 인덱스 2은 충돌 상태(collision), 스테디 상태의 인덱스 3은 들리지 않는 상태(deafness)일 수 있다. 구체적으로 대기 상태(0)는 백오프 구간 또는 대기 구간 동안 전송을 수행하지 않는 노드의 상태일 수 있다. 성공 상태(1)는 이웃 노드와 4 방향 핸드쉐이크(4-way handshake)를 성공한 노드의 상태일 수 있다. 충돌 상태(2)는 충돌로 인해 이웃 노드와 4 방향 핸드쉐이크(4-way handshake)를 실패한 노드의 상태일 수 있다. 들리지 않는 상태(3)는 수신 노드의 다른 방향으로의 빔포밍으로 인해 성공하지 못한 일련의 전송을 수행하는 노드의 상태일 수 있다.

[0092] n개의 노드가 주어진 CTA에서 패킷을 전송할 때, 각 노드는 전송 확률 P_T를 가질 수 있다. 이때, P_{00}, P_{01} 및 P_{02}는 Bernoulli 프로세스에 의해 아래의 수학식 6과 같이 유도될 수 있다.

[0093] <수학식 6>

[0094] $$P_{00}=(1-P_T)^n,$$
$$P_{01}=P_T\cdot n\cdot(1-P_T)^{n-1},$$
$$P_{02}=1-P_T\cdot n\cdot(1-P_T)^{n-1}-(1-P_T)^n.$$

[0095] 충돌 회피를 기반으로 노드는 연속적으로 패킷을 전송하지 못한다. 따라서, 시간-독립 매트릭스 (P_{vw})는 아래의 조건을 만족할 수 있다.

[0096] <수학식 7>

[0097] $$P_{10}=P_{20}=P_{30}=1$$

[0098] 이후, 스테디 상태 확률은 벡터 ψ로 연산될 수 있고, 벡터 ψ는 정상 분산(stationary distribution)으로 불릴 수 있다. 만약 $\forall v\in X$가 만족되는 경우, 벡터 ψ는 아래의 수학식 8을 기반으로 산출될 수 있다.

[0099] <수학식 8>

$$0 \le \psi_v \le 1,$$
$$\sum_{v \in X} \psi_v = 1,$$
$$\psi_v = \sum_{w \in X} \psi_w P_{vw}.$$

[0100] *

[0101] 특히, 대기 상태에서 스테디 상태 확률은 아래의 수학식 9와 같이 산출될 수 있다.

[0102] <수학식 9>

$$\psi_0 = P_{00}\psi_0 + P_{10}\psi_1 + P_{20}\psi_2 + P_{30}\psi_3$$
$$= P_{00}\psi_0 + \psi_1 + \psi_2 + \psi_3,$$

[0103]

[0104] $\psi_0 + \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 = 1$ 이기 때문에, $\psi_0 = 1/(2 - P_{00})$ 가 유도될 수 있다. 유사하게 성공 상태, 충돌 상태, 들리지 않는 상태 각각의 스테디 상태 확률은 아래의 수학식 10과 같이 산출될 수 있다.

[0105] <수학식 10>

$$\psi_1 = P_{01}\psi_0 = P_{01}/(2 - P_{00}),$$
$$\psi_2 = P_{02}\psi_0 = P_{02}/(2 - P_{00}),$$
$$\psi_3 = P_{03}\psi_0 = P_{03}/(2 - P_{00}).$$

[0106] *

[0107] 이하, 본 발명의 실시예에서는 DCSMA-CA 알고리즘에서 전환 확률(transition probability) 및 상태 평균 시간이 개시된다. P_T 는 노드가 하나의 슬롯에서 전송할 확률이기 때문에 대기 상태에 남아있는 노드의 확률은 아래의 수학식 11과 같이 산출될 수 있다.

[0108] <수학식 11>

[0109] $$P_{00} = 1 - P_T$$

[0110] 추가로, 전환 확률 P_{01} 을 구하기 위해 수신 노드로 전송할 페이로드를 가지는 노드가 고려될 수 있다. 전환 확률은 아래의 수학식 12를 기반으로 산출될 수 있다.

[0111] <수학식 12>

$$P_{01} = P_\delta \cdot P_\zeta \cdot P_\gamma,$$
$$P_\delta = \Pr\{\textit{the node n transmit in one time slot}\},$$
$$P_\zeta = \Pr\{\textit{the node n could not transmit in one time slot and can hear the other device}\}$$
$$P_\gamma = \Pr\{\textit{none of the nodes within a radius R of n tranmits in the same time slot}\}.$$

[0112]

[0113] RTS(request to send)의 전송을 요청하기 위한 취약 기간(vulnerable period) P_γ 은 $2 \cdot l_{\mathrm{RTS}} + 1$ 이고, RTS는 수신 노드에 의해 성공적으로 수신된 경우, 추가 충돌의 확률은 무시할 만큼 작아질 수 있다.

[0114] θ 가 방향성 빔폭(directional beamwidth)이면 $P_\delta = P_T$ 및 $P_\zeta = (1 - P_T)\theta/2\pi$ 가 정의될 수 있다. 기본적인 방향성 MAC은 노드의 방향성 있는 백오프 절차 및 캐리어 센싱 절차를 요청할 수 있다. 포화된 노드(saturated

node)는 아이들 상태에서 옴니-방향성 모드(omni-directional mode)로 들을 수 없다. 자유 공간 영역X의 모든 노드가 하나의 슬롯에서 전송하지 않는 확률 P_I 이 연산될 필요가 있다. 수학식 6에서 전술한 영역 X에서 노드를 찾을 확률을 사용하여 P_0 가 아래의 수학식 13을 기반으로 산출될 수 있다.

[0115] <수학식 13>

$$
\begin{aligned}
P_I &= \sum_{n=0}^{\infty}(1-P_T)^n \frac{(\lambda X)^n}{n!} e^{-\lambda X} \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\{(1-P_T)\lambda X\}^n}{n!} e^{-(1-P_T)\lambda X} \cdot e^{-P_T \lambda X} \\
&= e^{-P_T \lambda X} \\
&= e^{-P_T X \lambda \pi R^2/(\pi R^2)},
\end{aligned}
$$

[0116]

[0117] 여기서, 각 노드는 동일한 전송 및 수신 범위 R을 가지고, $E(N)$ 은 반지름 R 내의 원 영역 내의 노드의 평균 개수로서 $E(N) = \lambda \pi R^2$ 일 수 있다. 따라서, P_γ 은 아래의 수학식 14를 기반으로 산출될 수 있다.

[0118] <수학식 14>

$$
\begin{aligned}
P_\gamma &= \sum_{n=0}^{\infty}(1-P_I)^n \frac{E(N)^n}{n!} e^{-E(N)} \\
&= e^{-P_T E(N)}.
\end{aligned}
$$

[0119]

[0120] 전환 확률의 유도 이후, 각 스테디 상태에서의 시간 인터벌이 연산될 수 있다. 성공 상태 T_S에서의 평균 시간은 아래의 수학식 15를 기반으로 산출될 수 있다.

[0121] <수학식 15>

$$T_S = l_{\mathrm{RTS}} + l_{\mathrm{CTS}} + l_{\mathrm{MH}} + l_{\mathrm{PL}} + T_{\mathrm{ACK}} + 3 \cdot l_{\mathrm{SIFS}} + l_{\mathrm{DIFS}}$$

[0122]

[0123] 여기서 $l_{\mathrm{CTS}}, l_{\mathrm{H}}, T_{\mathrm{ACK}}, l_{\mathrm{SIFS}}$ 및 l_{DIFS} 각각은 CTS의 길이, MAC 헤더의 길이, ACK 응답 관련 시간, SIFS(short interframe space)의 시간, DIFS(distributed interframe space)의 시간을 지시할 수 있다. 추가로 충돌 상태에서의 평균 시간은 아래의 수학식 16을 기반으로 산출될 수 있다.

[0124] <수학식 16>

$$T_C = l_{\mathrm{RTS}} + l_{\mathrm{CTS}} + l_{\mathrm{SIFS}} + l_{\mathrm{DIFS}}$$

[0125]

[0126] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 DA-CSMA/CA알고리즘에서 멀티-레벨 계층을 기반으로 한 마르코프 체인이 개시된다.

[0127] 송신 노드(또는 소스 노드)와 수신 노드(또는 목적 노드)가 하나의 CTA를 할당받는다. 따라서, f가 CTA의 개수인 경우, f개의 CTA에는 2f개의 노드가 할당될 수 있다.

[0128] f개의 CTA에서 2f개의 노드가 액티브 상태인 경우, M-2f 개의 노드가 피코넷에서 아이들 상태일 수 있다. f개의 CTA에 대응되는 시간에서 노드는 채널 시간 요청을 슈퍼프레임 당 P_q 의 확률을 가지고 PNC로 전송할 수 있다. P_C 는 n개의 경쟁 노드가 $f\ (0 \le n \le E(N_n))$ 개의 CTA에 대응되는 시간에 존재하는 경우의 조건부 충돌 확률일 수 있다. 여기서 $E(N_n) = (M-n) \cdot P_q$ 이다. 수학식 6에서 개시된 채널 상태 전환 확률을 사용하여 조건부 충돌 확률은 아래의 수학식 17을 기반으로 산출될 수 있다.

[0129] <수학식 17>

[0130] $$P_C = 1 - P_T \cdot n \cdot (1 - P_T)^{n-1} - (1 - P_T)^n$$

[0131] DCSMA/CA 알고리즘에서의 랜덤 백오프 절차에 따라서 노드의 전송 확률()은 노드의 패킷의 성공적 전송을 위한 평균 백오프 시간 동안 전송의 평균 횟수로부터 유도될 수 있다. 따라서, 전송 확률 P_T는 아래의 수학식 18을 기반으로 유도될 수 있다.

[0132] <수학식 18>

[0133] $$P_T = \frac{E(T_A)}{E(T_S)}$$

[0134] 여기서, $E(T_S)$는 n개의 경쟁 노드가 존재시, 노드가 성공적으로 페이로드를 전송하기 위한 평균 백오프 시간일 수 있다. $E(T_A)$는 $E(T_S)$ 동안 전송 시도의 평균 횟수일 수 있다.

[0135] * $E(T_S)$ 및 $E(T_A)$를 유도하기 위해 DCSMA/CA 알고리즘에서 지수적인 백오프 절차가 고려될 수 있다. 일반적으로 각 노드는 $[0, \mathrm{CW}-1]$로부터 균일하게 선택된 시간 구간 동안 대기할 수 있다. 여기서 CW는 백오프 구간을 나타낼 수 있다. CW동안 채널이 아이들로 센싱되는 경우, 채널 액세스가 수행될 수 있다. 백오프 카운터는 채널 상태가 아이들한 경우, 백오프 구간을 감소시키고, 채널 상태가 비지한 경우, 백오프 구간의 감소를 중단시킬 수 있다. 백오프 카운터에 의한 감소로 백오프 구간이 0으로 감소된 경우, 노드는 다음 타임 슬롯에서 펜딩된 패킷을 전송할 수 있다. 성공적인 전송 이후, CW의 값은 최소 백오프 윈도우 $W = \mathrm{CW}_{\mathrm{min}}$로 리셋될 수 있다. 반대로, 전송이 실패한 경우, 새로운 백오프 절차에서는 컨텐션 윈도우의 사이즈가 두 배로 증가될 수 있다. 최대 $\mathrm{CW}_{\max} = 2^K W$까지 컨텐션 윈도우의 사이즈가 증가될 수 있다.

[0136] 본 발명의 실시예에서는 mmWave IEEE802.15.3c WPAN에서 평균 패킷 사이즈에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 차별화된 서비스를 제공하는 방법이 개시된다.

[0137] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 차별화된 서비스를 제공하기 위한 마르코프 체인 모델을 나타낸 개념도이다.

[0138] 도 6을 참조하면, 노테이션(notation) (k, j, W_k)는 k번째 백오프 스테이지에서 백오프 윈도우 사이즈 및 [0, J] 사이의 정수 값을 가지는 다른 계층을 지시할 수 있다. J+1은 멀티-레벨 계층의 개수일 수 있다. 멀티-레벨 구분을 위해 3개의 랜덤 변수를 정의할 수 있다. $n(t)$, $c(t)$ 및 $b(t)$ 각각은 확률적인 프로세스로서 백오프를 위해 필요한 DCSMA/CA 알고리즘의 수행 횟수, CCA를 수행하기 전 백오프 딜레이를 연산하기 위한 컨텐션 윈도우(CW) 및 백오프 지수(BE)일 수 있다.

[0139] 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘에서는 백오프 절차에 대한 동적 적용(dynamic adaptation)이 수행될 수 있다. 전술한 3개의 랜덤 변수 $n(t)$, $c(t)$ 및 $b(t)$ 대신에 멀티-레벨 계층 각각에 대한 $n(j,t)$, $c(j,t)$ 및 $b(j,t)$가 사용될 수 있다. 이러한 경우, 프로세스 $\{n(j,t), c(j,t), b(j,t)\}$는 멀티-차원 이산 시간 마르코프 체인(multi-dimensional discrete time Markov chain)일 수 있다. 멀티-차원 이산 시간 마르코프 체인은 관찰된 지점(observed point)에서 노드의 큐(queue) 내의 페이로드 헤더의 상태를 구체화하고, 페이로드 헤더의 상태는 아래의 수학식 19와 같이 정의될 수 있다.

[0140] <수학식 19>

[0141] $$\Phi = \{n(j,t), c(j,t), b(j,t) | 0 \le n(j,t) \le k, 0 \le c(j,t) \le j, 0 \le b(j,t) \le W_k, k = 0, \cdots, K\}$$

[0142] 여기서, $n(j,t)$는 범위 $[0,K+1]$에 속하고, $c(j,t)$는 0, 1 또는 2 중 이산 인덱스 값을 가질 수 있다. $b(j,t)$는 아래의 수학식 20과 같이 $c(j,t)$의 값에 따라 달라진다.

[0143] <수학식 20>

[0144]
$$b(j,t)=\begin{cases}0\sim W_k-1, k\in[o,K] & \text{if } c(j,t)=1\\ T_j, j\in[0,J] & \text{if } c(j,t)=2\end{cases}$$

[0145] 여기서, $W_0=2^{\mathrm{BE}}$, $W_k=2^kW_0$이다. 추가로, T_j는 멀티-계층 j의 추가 백오프 구간의 평균 사이즈로서 아래의 수학식 21과 같이 표현될 수 있다.

[0146] <수학식 21>

[0147]
$$T_j=T_{\mathrm{PH}}+T_{\mathrm{MH}}+E(T_{\mathrm{T}})+T_{\mathrm{ACK}}+\delta\cdot(t_{bo}/1\mathrm{sec})$$

[0148] T_{PH}, T_{MH}, $E(T_{\mathrm{T}})$, T_{ACK}, δ 및 t_{bo} 각각은 PHY 헤더의 전송을 위한 시간, MAC 헤더의 전송을 위한 시간, j 계층의 노드의 페이로드를 전송하기 위한 평균 시간, 프로파게이션 딜레이, ACK 프레임의 전송을 위한 시간, 백오프 구간의 단위를 의미할 수 있다.

[0149] Mj($j\in[0,J]$)은 j번째 우선순위(또는 우선권)를 가지는 계층 j에서 노드 M의 전체 개수일 수 있다. 노테이션의 단순화를 위해 $P(n(j,t+1)=k,\ c(j,t+1)=j,\ b(j,t+1)=h-1|n(j,t)=k,c(j,t)=j,b(j,t)=h)$ 대신 전환 확률($P(k,j,h-1|k,j,h)$)이 사용될 수 있다.

[0150] 도 6을 참조하면, 노드에 대한 마르코프 체인 모델은 수학식 22와 같은 1스텝 전환 확률(one-step transition probability)을 포함할 수 있다.

[0151] <수학식 22>

[0152]
$$\begin{aligned}
&P(0,2,h|k,0,0)=1/W_0, k\in[0,K], h\in[0,W_0-1],\\
&P(0,2,h|K+1,0,0)=1/W_0, h\in[0,W_0-1],\\
&P(k,2,h-1|k,2,h)=1, k\in[0,K], h\in[0,W_0-1],\\
&P(k,1,h-1|k,1,h)=1, k\in[0,K], h\in[1,T_j],\\
&P(k,1,0|k,2,0)=P_\alpha, k\in[0,K],\\
&P(k,0,0|k,1,0)=P_\beta, k\in[0,K],\\
&P(k,1,T_j|k,2,0)=1-P_\alpha, k\in[0,K],\\
&P(k+1,2,h|k,1,0)=(1-P_\beta)/W_{k+1}, k\in[0,K-1], h\in[0,W_{k+1}-1],\\
&P(K+1,0,0|K,0,0)=1-P_\beta.
\end{aligned}$$

[0153] 페이로드를 성공적으로 전송하기 위한 노드의 평균 백오프 타임 $E(T_S)$은 페이로드가 성공적으로 전송되기까지 각 백오프 절차에서 노드가 경험하는 평균 백오프 시간을 기반으로 유도될 수 있다. 페이로드가 백오프 시간 이후에 성공적으로 전송되는 경우, 노드의 평균 백오프 시간은 $E(T_S|k=0)$로 표현될 수 있다. $E(T_S|k=0)$는 아래의 수학식 23을 기반으로 결정될 수 있다.

[0154] <수학식 23>

[0155]
$$E(T_S|k=0)=(1-P_C)\frac{W}{2}$$

[0156] 그러나, 만약, 페이로드가 d번의 충돌 이후에 성공적으로 재전송되는 경우, 노드를 위한 평균 백오프 시간을 $E(T_S|k=d)$로 표현될 수 있다. $E(T_S|k=d)$는 아래의 수학식 24를 기반으로 결정될 수 있다.

[0157] <수학식 24>

$$E(T_S|k=d) = P_C^d(1-P_C)\left\{\frac{\sum_{k=0}^{d} 2^k W}{2}\right\}$$

[0158]

[0159] 여기서, $1 \le d \le K$.일 수 있다. 충돌이 최대 K번의 백오프 단계 이후에 발생한 경우, 노드의 백오프 단계는 다시 최대 백오프 단계 k=K로 되돌아올 수 있다. i번의 재전송 한계(retransmission limit)에 의해 페이로드가 성공적으로 전송되지 않은 노드의 평균 백오프 시간은 아래의 수학식 25를 기반으로 결정될 수 있다.

[0160] <수학식 25>

$$\begin{aligned} E(T_S^i) &= E(T_S|k=K+1) + \cdots + E(T_S|k=i) \\ &= P_C^{K+1}\left\{\frac{\sum_{k=0}^{K} 2^k W + 2^K W}{2}\right\} \\ &= \cdots \\ &= P_C^{i}\left\{\frac{\sum_{k=0}^{K} 2^k W + (i-K)2^K W}{2}\right\}. \end{aligned}$$

[0161]

[0162] 결국, 패킷을 성공적으로 전송하기 위한 노드의 평균 백오프 시간은 아래의 수학식 26을 기반으로 결정될 수 있다.

[0163] <수학식 26>

$$\begin{aligned} E(T_S) &= E(T_S|k=0) + E(T_S|k=1) + \cdots + E(T_S|k=K) + E\left(T_S|T_S^i\right) \\ &= (1-P_C)\cdot\frac{W}{2} + P_C(1-P_C)\cdot\left\{\frac{W+2W}{2}\right\} \\ &+ \cdots \\ &+ P_C^K(1-P_C)\cdot\left\{\frac{\sum_{k=0}^{K} 2^k W}{2}\right\} \\ &+ P_C^{K+1}\cdot\left\{\frac{\sum_{k=0}^{K} 2^k W + 2^K W}{2}\right\} \\ &+ \cdots \\ &+ P_C^{i}\cdot\left\{\frac{\sum_{k=0}^{K} 2^k W + (i-K)2^K W}{2}\right\}. \end{aligned}$$

[0164]

[0165] 모든 상태가 포지티브 반복(positive recurrence)이고, 시스템이 안정적이기 때문에 이산 시간 마르코프 체인의 정상 확률(stationary probability) $b_{k,j,h}$은 아래의 수학식 27을 기반으로 결정될 수 있다.

[0166] <수학식 27>

$$b_{k,j,h} = \lim_{t\to\infty} P\{n(j,t)=k, c(j,t)=j, b(j,t)=h\}$$

[0167]

$$k \in [0, K+1],$$
$$j \in [0, 2],$$
$$h = \begin{cases} 0 \sim W_k - 1, k \in [o, K] & \text{if } j = 1 \\ T_j, j \in [0, J] & \text{if } j = 2. \end{cases}$$

[0168]

[0169] 추가로, 마르코프 체인의 규칙성으로 인해 정상 확률 사이 관계가 아래의 수학식 28과 같이 획득될 수 있다.

[0170] <수학식 28>

$$b_{k,o,o} = b_{0,0,0} \cdot (1 - P_\beta), k \in [0, K],$$

$$b_{k,2,h} = b_{0,0,0} \cdot \frac{W_k - k}{W_k} \frac{(1-P_\beta)^k}{P_\beta}, k \in [0, K], h \in [0, W_k - 1],$$

$$b_{k,1,h} = b_{0,0,0} \cdot \frac{(1-P_\alpha)(1-P_\beta)^k}{P_\beta}, k \in [0, K], h \in [1, T_j],$$

$$b_{k,1,o} = b_{0,0,0} \cdot \frac{(1-P_\beta)^k}{P_\beta}, k \in [0, K],$$

$$b_{K+1,o,o} = b_{0,0,0} \cdot \frac{(1-P_\beta)^{K+1}}{P_\beta}.$$

[0171]

[0172] 마르코프 체인에서 정상 확률의 정규화 조건을 통해, 모든 정상 확률의 합은 아래의 수학식 29와 같이 1일 수 있다.

[0173] <수학식 29>

[0174] $$\sum_{k=0}^{K} b_{k,0,0} + \sum_{k=0}^{K} \sum_{h=0}^{W_k - 1} b_{k,2,h} + \sum_{k=0}^{K} \sum_{h=1}^{T_j} b_{k,1,h} + \sum_{k=0}^{K} b_{k,1,0} + b_{K+1,0,0} = 1$$

[0175] 따라서, $b_{0,0,0}$는 아래의 수학식 30을 기반으로 결정될 수 있다.

[0176] <수학식 30>

$$b_{0,0,0} = \frac{2P_\beta}{\sum_{k=1}^{K}(W_0 2^k + 1)(1-P_\beta)^k + 2\{T_j(1-P_\alpha) + 1 + P_\beta\}\sum_{k=0}^{K}(1-P_\beta)^k + 2(1-P_\beta)^{K+1}}.$$

[0177]

[0178] 정상 확률과 함께, 노드가 백오프 구간의 경계에서 패킷을 전송하는 확률이 유도될 수 있다. $P_{St,j}$는 계층 j의 노드가 시간 슬롯에서 전송을 시작하는 확률이라고 하자. $P_{St,j}$ 는 아래의 수학식 31을 기반으로 결정될 수 있다.

[0179] <수학식 31>

$$P_{St,j} = \sum_{k=0}^{K} b_{k,0,0}$$

[0180]

[0181] 노드가 다른 계층에 속해있기 때문에, 계층j에 종속하여 다른 $\mathrm{CW}[j]$ 값, $\mathrm{BE}[j]$값, P_α 및 P_β가 유도된다. N_j 과 N_k 각각이 계층j에 포함되는 노드의 개수이고, k번째 단계의 노드의 개수라고 하자. 노드가 페이로드를 전송하기 위해 사용하는 평균 슬롯 시간이 $E(T_T)$라고 하면, P_α 는 아래의 수학식 32를 기반으로 결정될 수 있다.

[0182] <수학식 32>

$$P_{\alpha} = 1 - \left\{ 1 - (1 - P_{St,j})^{N_j - 1} \prod_{k=0, k \neq j}^{J} (1 - P_{St,k})^{N_k} \right\} \cdot E(T_T)$$

[0183]

[0184] 수학식 32로부터 P_{β} 는 아래의 수학식 33을 기반으로 결정될 수 있다.

[0185] <수학식 33>

$$P_{\beta} = (1 - P_{St,j})^{N_j - 1} \prod_{k=0, k \neq j}^{J} (1 - P_{St,k})^{N_k} + 1 - \left\{ 1 - (1 - P_{St,j})^{N_j - 1} \prod_{k=0, k \neq j}^{J} (1 - P_{St,k})^{N_k} \right\} \cdot E(T_T)$$

[0186]

[0187] 전송 시도의 평균 횟수는 절삭된 지오메트릭 랜덤 변수(truncated geometric random variable)로서 아래의 수학식 34를 기반으로 결정될 수 있다.

[0188] <수학식 34>

$$E(T_A) = (1 - P_C) + 2P_C(1 - P_C) + \cdots + P_C^i(i+1) = \frac{1 - P_C^{i+1}}{1 - P_C}.$$

[0189]

[0190] 따라서, P_T 과 P_C 는 $E(T_A)$ 및 $E(T_S)$ 로부터 유도될 수 있다. IEEE 802.15.3c의 specification에 따르면 최소 백오프 윈도우(또는 최소 컨텐션 윈도우)의 크기(W)는 8이고 최대 백오프 스테이지(K)는 3이고, 재전송 한계(i)는 4이다. 결국, P_T 는 아래의 수학식 35와 같이 단순화될 수 있다.

[0191] <수학식 35>

$$P_T = \frac{1 - P_C^{i+1} \cdot \sum_{d=0}^{K} 2P_C^d (1 - P_C) \sum_{k=0}^{d} 2^k \cdot W + P_C^i \cdot \sum_{k=0}^{K} (2^k + 2^K) W}{2(1 - P_C)}$$

[0192]

[0193] 추가로 P_C 는 수학식 36과 같이 수학식 35를 수학식 17에 대입하여 결정될 수 있다.

[0194] <수학식 36>

$$P_C = 1 - nP_T(1 - P_T)^{n-1} - (1 - P_T)^n$$

[0195]

[0196] CAP 동안, 채널 시간 요청의 성공적인 전송 획수를 획득하기 위해, 아이들 및 비지 상태와 같은 채널 상태에 대한 체크가 필요하다. 비지 슬롯의 평균 개수는 아래의 수학식 37을 기반으로 결정될 수 있다.

[0197] <수학식 37>

$$E(B) = \frac{l_{\mathrm{CAP}} - (l_{\mathrm{SIFS}} + T_{\mathrm{CCA}}) \cdot E(I)}{T_q + l_{\mathrm{SIFS}} + T_{\mathrm{ACK}} + l_{\mathrm{BIFS}}},$$

[0198]

[0199] 여기서, l_{CAP} 는 CAP의 길이, T_{CCA} 는 CCA 탐지 시간, $E(I)$ 는 아이들 슬롯의 듀레이션이다. 또한, T_q 는 채

널 시간 요청의 시간이고, l_{BIFS}는 백오프 IFS(interframe space)이다.

[0200] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA의 성능 분석이 개시된다. 구체적으로 전술한 멀티-레벨 계층을 기반으로 한 DCSMA/CA를 사용하는 IEEE 802.15.3c WPAN에 대한 성능 분석이 개시된다. 성능 분석을 위한 시스템 파라메터는 아래의 표 1에서 개시된 값으로 가정된다.

[0201] <표 1>

파라메터(Parameters)	Value
피코넷에서 장치의 개수 (Number of devices in a pico-net)	1–50
CTA 당 프레임의 개수 (Number of frames per CTA)	10, 30, 50
계층에서 짧은 프레임 페이로드 크기 Short frame payload size in class	26 Kbytes
계층에서 중간 프레임 페이로드 크기 Middle frame payload size in class	52 Kbytes
계층에서 긴 프레임 페이로드 크기 Long frame payload size in class	104 Kbytes
비콘의 길이 Length of beacon	85 μs
SIFS	2.25 μs
MIFS	17.8 μs
BIFS	7.5 μs
CCA 탐지 시간 CCA detect time	5 μs
요청 프레임의 길이 Length of request frame	22.2 μs
ACK 의 길이 Length of ACK	17.8 μs

[0202]

[0203] 계층 j에 대한 정규화된 포화 처리량(normalized saturation throughput)은 아래의 수학식 38을 기반으로 결정될 수 있다.

[0204] <수학식 38>

[0205]
$$S_j = \frac{P_{T,j}E(P_j)}{P_I l_e + P_T E(T_T) + (P_B - P_T)E(T_C)}$$

[0206] 여기서, l_e는 빈 슬롯 시간이고, $P_{T,j}$는 타임 슬롯에서 계층 j에서 성공적인 전송이 발생할 확률이다. $P_{T,j}$는 아래의 수학식 39를 기반으로 결정될 수 있다.

[0207] <수학식 39>

[0208]
$$P_{T,j} = N_j P_{St,j}(1 - P_{St,j})^{N_j - 1} \prod_{k=0, k \neq j}^{J} (1 - P_{St,k})^{N_k}$$

[0209] 추가로, P_B는 고려된 타임 슬롯에서 전송이 수행될 확률이다. P_B는 아래의 수학식 40을 기반으로 결정될 수 있다.

[0210] <수학식 40>

[0211]
$$P_B = 1 - P_I = 1 - \left\{ \prod_{k=0}^{J} (1 - P_{St,k})^{N_k} \right\}, N = \sum_{k=0}^{J} N_k$$

[0212] $E(P_j)$는 계층 j에서 노드의 평균 페이로드 사이즈를 의미하고, δ는 프로파게이션 딜레이일 수 있다. $E(T_C)$는 평균 타임 슬롯으로 아래의 수학식 41을 기반으로 결정될 수 있다.

[0213] <수학식 41>

[0214] $$E(T_C) = T_{\mathrm{PH}} + T_{\mathrm{MH}} + E(P_j) + \delta.$$

[0215] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0216] 도 7에서는 페이로드 사이즈에 따른 멀티-레벨 계층의 전송 시도의 확률이 개시된다. 페이로드가 짧은 경우, S(short), 페이로드가 중간인 경우, M(middle), 페이로드가 긴 경우, L(long)일 수 있다.

[0217] 도 7을 참조하면, 노드의 개수가 증가할수록, 전송 시도의 횟수의 확률은 감소될 수 있다. 또한, 제안된 DA-DCSMA/CA 알고리즘은 기존의 DCSMA/CA 알고리즘과 비교하여 높은 성능을 가질 수 있다. DA-DCSMA/CA 알고리즘에서는 계층에 따라 서로 다른 전송 기회를 가지기 때문에 전체적인 네트워크의 성능이 증가될 수 있다.

[0218] 본 발명의 실시예에 따른 DA-DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우, 기존의 레가시 DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우와 비교하여 채널 액세스를 함에 있어 낮은 경쟁을 가질 수 있다.

[0219] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0220] 도 8에서는 페이로드 사이즈에 따른 멀티-레벨 계층의 채널 액세스 시도의 확률이 개시된다. DA-DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우, 채널 액세스 시도도 역시 경감될 수 있다.

[0221] 도 8을 참조하면, 각 계층에서 페이로드 사이즈에 따른 충돌 확률이 개시된다. 결과를 참조하면, 긴 페이로드 사이즈에 대응되는 계층의 낮은 채널 액세스 시도는 긴 페이로드 사이즈의 전송 시 낮은 충돌 확률을 야기할 수 있다. 따라서, DA-DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우, 결과적으로 평균 충돌 확률이 감소될 수 있고 피코넷의 노드들은 더욱 효과적으로 무선 자원을 활용할 수 있다.

[0222] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0223] 도 9에서는 DA-DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우, 포화 처리량 값이 개시된다.

[0224] 도 9를 참조하면, DA-DCSMA/CA 알고리즘의 포화 처리량 값은 페이로드의 크기가 작을수록 증가할 수 있다. DA-DCSMA/CA 알고리즘에서는 페이로드의 크기가 작을수록 전체 충돌 확률은 감소되고, 전송 확률은 증가될 수 있다.

[0225] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0226] 도 10에서는 전송 확률과 포화된 처리량 사이의 관계가 개시된다.

[0227] 도 10을 참조하면, 빔폭(beamwidth)은 90도로 가정될 수 있다. 노드의 개수가 작은 경우(예를 들어, N=5), 포화된 처리량은 전송 확률의 증가에 따라 증가하다가 감소된다. 그러나 노드의 개수가 커질 경우(N=25), 포화된 처리량은 전송 확률의 증가에 따라 감소될 수 있다. 이는 노드의 개수가 커질 경우, 낮은 전송 확을 가질 수 있고, 충돌 확률은 증가되기 때문이다.

[0228] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 멀티-레벨 계층을 기반으로 DA-CSMA/CA의 성능 분석 결과를 나타내는 그래프이다.

[0229] 도 11에서는 빔폭과 포화된 처리량 사이의 관계가 개시된다.

[0230] 도 11을 참조하면, 일정 빔폭의 크기 이전까지는 포화 처리량이 증가될 수 있고, 일정 빔폭의 크기 이후부터는 포화 처리량이 감소될 수 있다. 구체적으로 포화 처리량은 90도의 빔폭 이전까지는 증가되고, 90도 이후의 빔폭부터는 감소될 수 있다.

[0231] 본 발명에서 개시된 DA-CSMA/CA 알고리즘은 IEEE 802.15.3c mmWave 방향성 네트워크에서 포화 처리량을 개선시

킬 수 있다. DA-DCSMA/CA 알고리즘은 2차원 마르코프 체인으로 모델링되고, 각 상태(state)의 스테디 상태 확률은 DCSMA/CA 알고리즘을 기반으로 유도될 수 있다. 특히, 노드를 멀티 레벨 계층으로 분류하고, 계층 각각에 차별화된 서비스를 제공함으로써 패킷(또는 프레임) 간 충돌 확률이 감소될 수 있다. 도 7 내지 도 11에서의 결과에서 보듯이 DA-DCSMA/CA 알고리즘이 사용되는 경우 레가시 DCSMA/CA와 비교하여 시스템 성능이 증가할 수 있다.

[0232] 이와 같은 동축 케이블을 이용한 통신 방법은 애플리케이션으로 구현되거나 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령어의 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.

[0233] 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록되는 프로그램 명령어는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나와 컴퓨터 소프트웨어 분야의 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

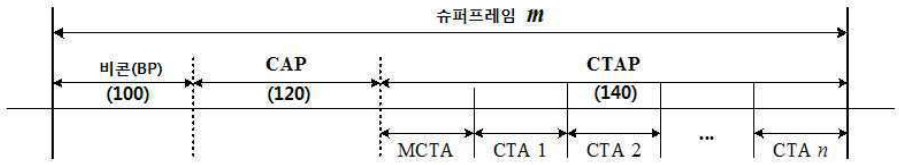
[0234] 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD 와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령어를 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다.

[0235] 프로그램 명령어의 예에는, 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드도 포함된다. 상기 하드웨어 장치는 본 발명에 따른 처리를 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

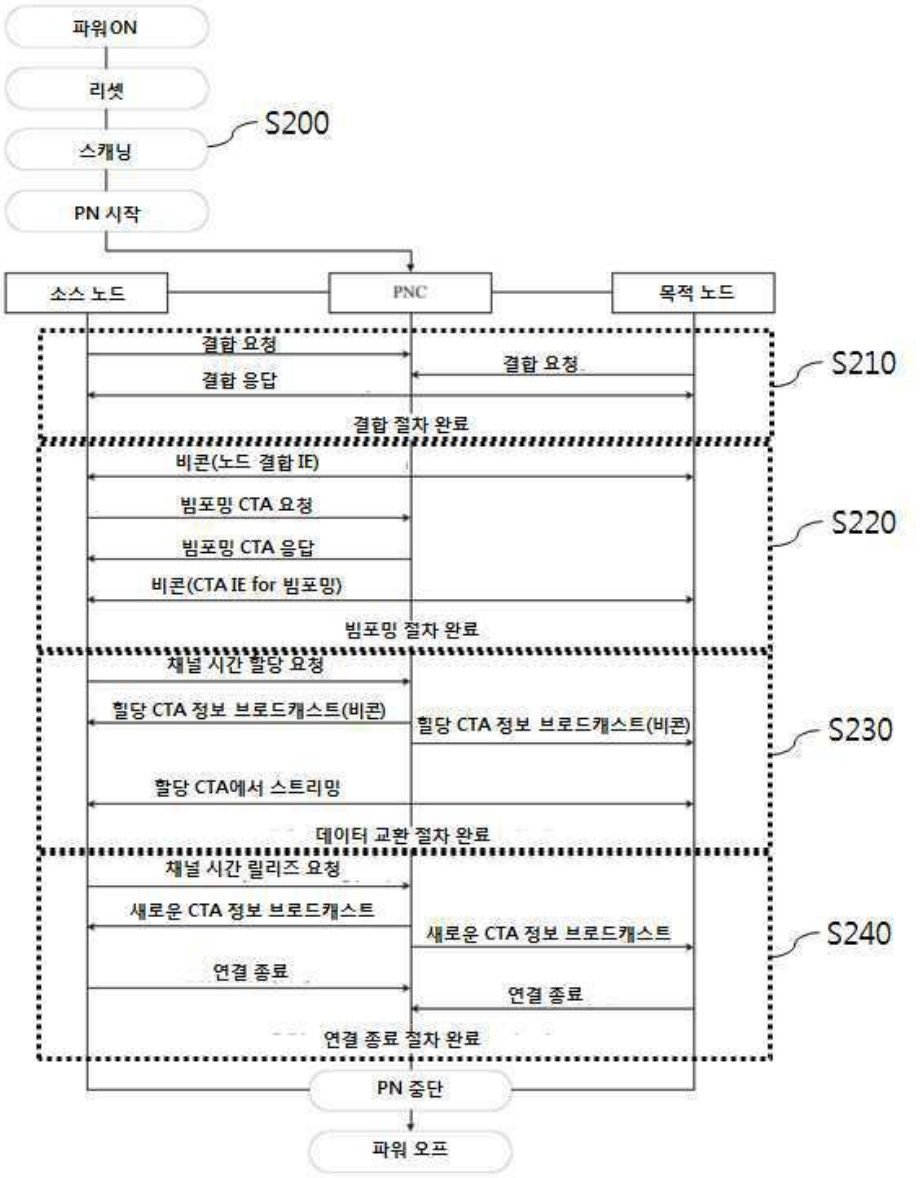
[0236] 이상에서는 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

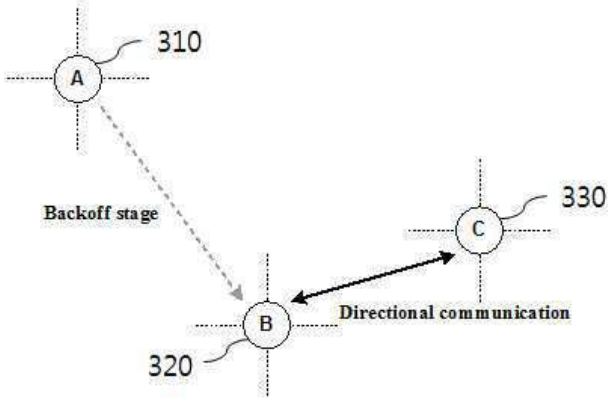
도면1



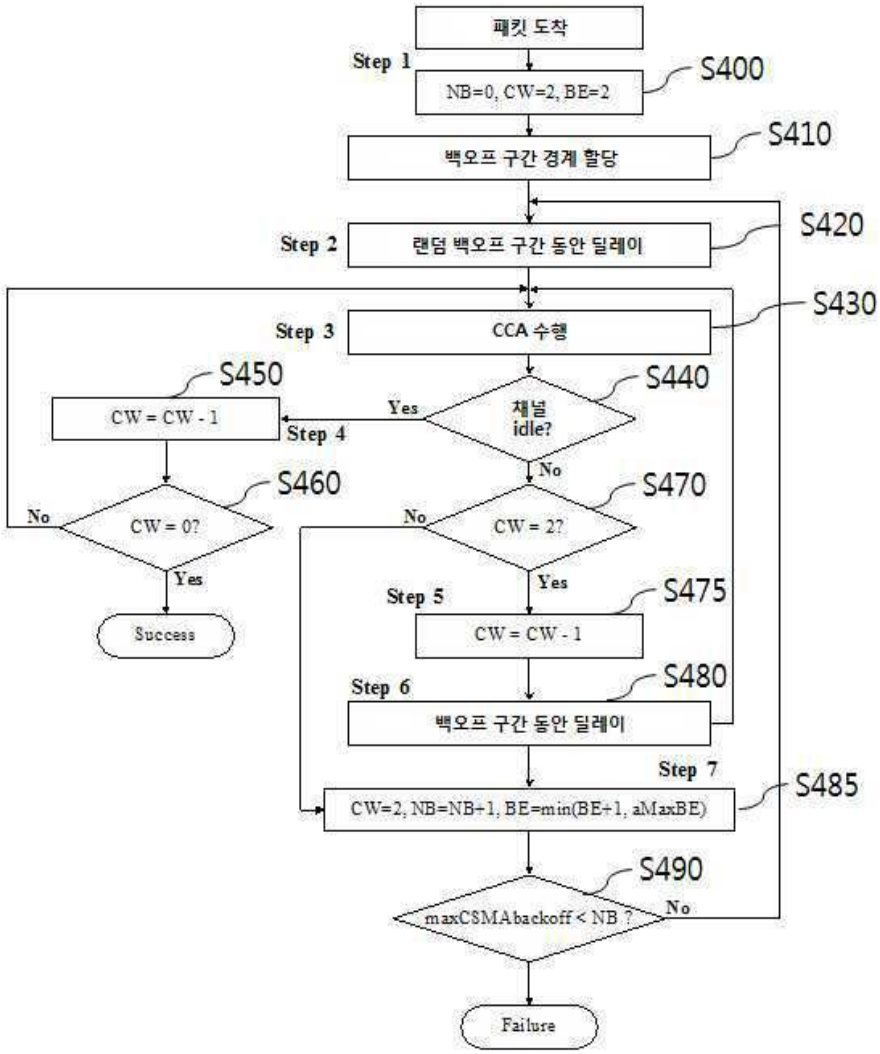
도면2


파워ON
리셋
스캐닝
S200
PN 시작
소스 노드
PNC
목적 노드
결합 요청
결합 요청
결합 응답
S210
결합 절차 완료
비콘(노드 결합 IE)
빔포밍 CTA 요청
빔포밍 CTA 응답
비콘(CTA IE for 빔포밍)
S220
빔포밍 절차 완료
채널 시간 할당 요청
할당 CTA 정보 브로드캐스트(비콘)
할당 CTA 정보 브로드캐스트(비콘)
S230
할당 CTA에서 스트리밍
데이터 교환 절차 완료
채널 시간 릴리즈 요청
새로운 CTA 정보 브로드캐스트
새로운 CTA 정보 브로드캐스트
S240
연결 종료
연결 종료
연결 종료 절차 완료
PN 중단
파워 오프

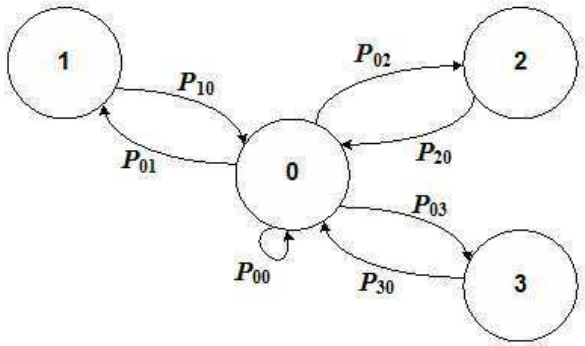
도면3


310
A
Backoff stage
330
C
Directional communication
B
320

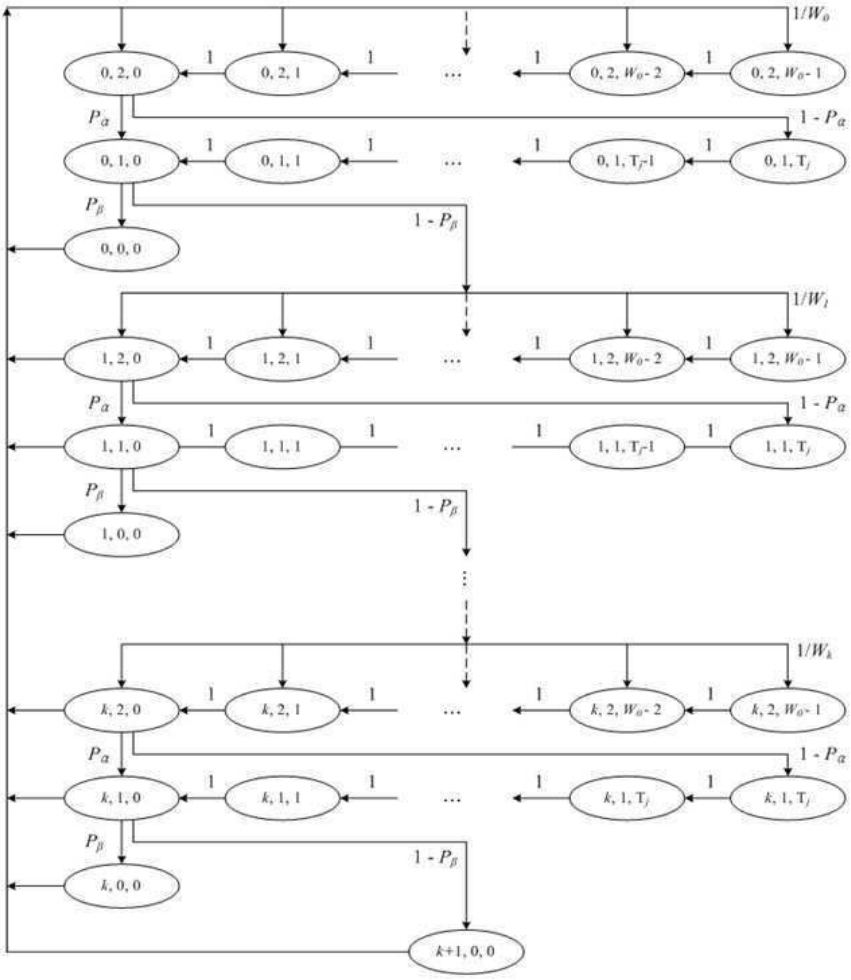
도면4


패킷 도착
Step 1
NB=0, CW=2, BE=2
S400
백오프 구간 경계 할당
S410
Step 2
랜덤 백오프 구간 동안 딜레이
S420
Step 3
CCA 수행
S430
S450
CW = CW - 1
Step 4
Yes
채널 idle?
S440
No
S460
No
CW = 0?
Yes
Success
S470
No
CW = 2?
Yes
Step 5
S475
CW = CW - 1
Step 6
S480
백오프 구간 동안 딜레이
Step 7
S485
CW=2, NB=NB+1, BE=min(BE+1, aMaxBE)
S490
maxCSMAbackoff < NB ?
No
Failure

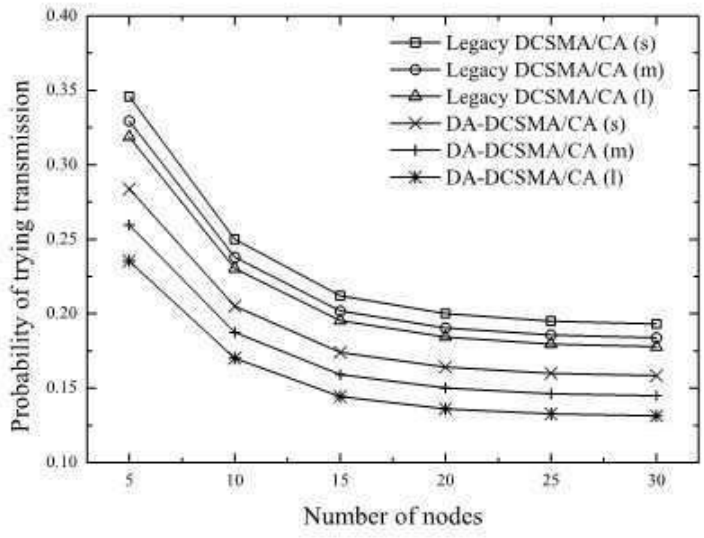
도면5


1
2
0
3
P_{10}
P_{01}
P_{02}
P_{20}
P_{03}
P_{30}
P_{00}

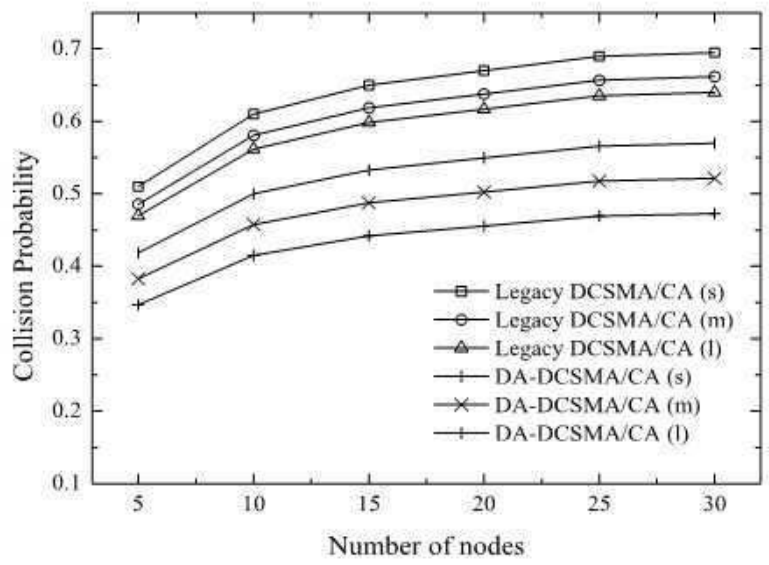
도면6


0, 2, 0
0, 2, 1
0, 2, W0 - 2
0, 2, W0 - 1
0, 1, 0
0, 1, 1
0, 1, Tj-1
0, 1, Tj
0, 0, 0
1, 2, 0
1, 2, 1
1, 2, W0 - 2
1, 2, W0 - 1
1, 1, 0
1, 1, 1
1, 1, Tj-1
1, 1, Tj
1, 0, 0
k, 2, 0
k, 2, 1
k, 2, W0 - 2
k, 2, W0 - 1
k, 1, 0
k, 1, 1
k, 1, Tj
k, 1, Tj
k, 0, 0
k+1, 0, 0
1/W0
1/Wj
1/Wk
Pα
1 - Pα
Pβ
1 - Pβ

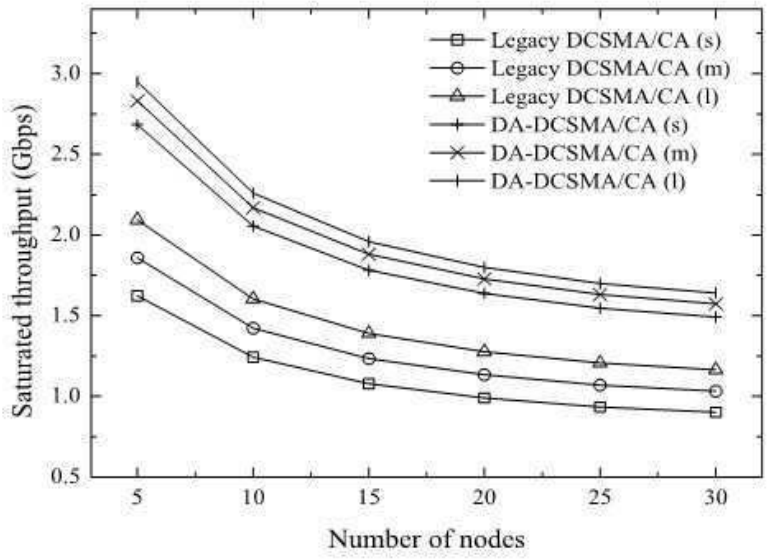
도면7


Legacy DCSMA/CA (s)
Legacy DCSMA/CA (m)
Legacy DCSMA/CA (l)
DA-DCSMA/CA (s)
DA-DCSMA/CA (m)
DA-DCSMA/CA (l)
Probability of trying transmission
Number of nodes
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
5
10
15
20
25
30

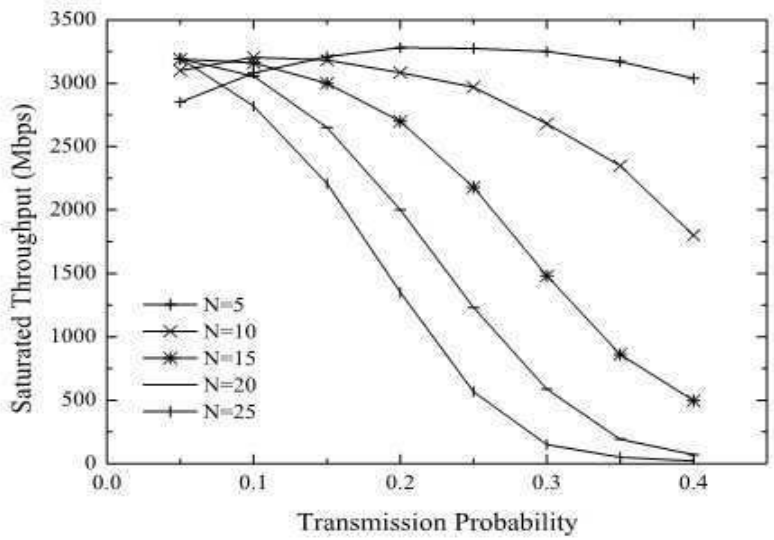
도면8


Collision Probability
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
5
10
15
20
25
30
Number of nodes
Legacy DCSMA/CA (s)
Legacy DCSMA/CA (m)
Legacy DCSMA/CA (l)
DA-DCSMA/CA (s)
DA-DCSMA/CA (m)
DA-DCSMA/CA (l)

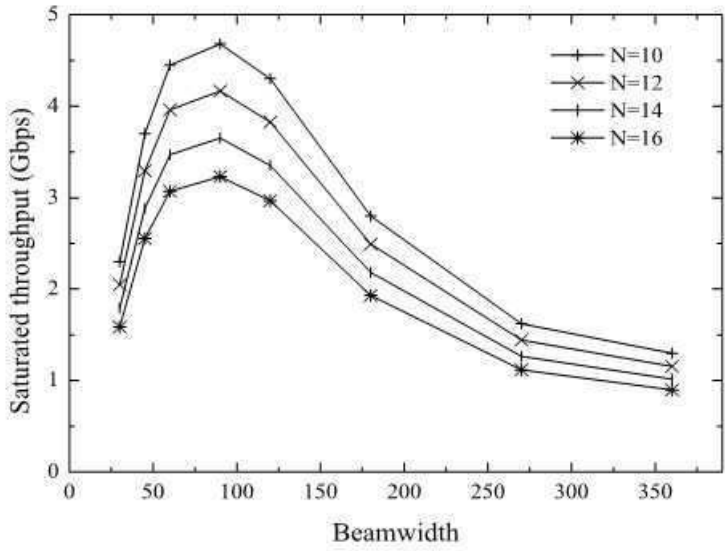
도면9


Saturated throughput (Gbps)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
5
10
15
20
25
30
Number of nodes
Legacy DCSMA/CA (s)
Legacy DCSMA/CA (m)
Legacy DCSMA/CA (l)
DA-DCSMA/CA (s)
DA-DCSMA/CA (m)
DA-DCSMA/CA (l)

도면10


Saturated Throughput (Mbps)
Transmission Probability
N=5
N=10
N=15
N=20
N=25
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4

도면11


Saturated throughput (Gbps)
Beamwidth
N=10
N=12
N=14
N=16
0
1
2
3
4
5
0
50
100
150
200
250
300
350