

불완전매체공유 환경을 위한 CSMA/CA기반 분산방식 매체접근제어기법

준회원 이 병 석*, 전 병 옥*, 정회원 최 진 우*

Distributed CSMA/CA Medium Access Control for Incomplete Medium Sharing Systems with General Channel Access Constraints

Byoungseok Lee*, Byoungwook Jeon* *Associate Members*,
Jinwoo Choe* *Regular Members*

요 약

매체공유기반 통신시스템은 매체접근제어 과정에서 단말기의 채널 점유 제약 조건에 따라 크게 완전매체공유 시스템과 불완전매체 공유 시스템으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 불완전매체공유 시스템의 채널활용효율을 향상시키기 위한 분산식 매체접근제어기법을 제안한다. 제안하는 매체접근제어기법은 IEEE 802.11 무선랜의 CSMA/CA 기법을 확장한 방법으로써 임의의 지연 시간을(random backoff time) 채널에 대해 개별적, 집합적, 큐(queue)에 대해 개별적으로 적용함으로써 크게 3가지 형태로 제시되었다. 모의실험 결과 성능측면에서는 큐에 대해 개별적으로 임의의 지연시간을 적용하였을 때 상대적으로 우월한 성능을 보였다. 또한 복잡도 측면에서는 채널에 대하여 집합적으로 임의의 지연시간을 적용했을 때 상대적으로 낮은 복잡도를 보였다. 임의의 지연시간을 분할된 채널에 대해 개별적으로 적용하는 방식은 성능과 연산복잡도의 trade-off관계에 있어서 앞서 제시된 방식들보다 우위에 있음을 보이고 있다.

Key Words : MAC, CSMA/CA, WLAN, DCF, Random Backoff Time

ABSTRACT

We define the incomplete medium sharing system as a multi-channel shared medium communication system where any types of constraints are imposed to the set of channels that may be allocated to any transmitter-receiver node pair. A set of distributed MAC schemes are proposed, all of which are based on the CSMA/CA scheme employed in IEEE 802.11 WLAN standards. Distributed MAC schemes are proposed in three different forms, which can be differentiated by the number and the location of back-off timers; that is, (1) one timer for all queues destined for different receiver nodes, (2) multiple timers at individual transmission queues, (3) multiple timers for individual channels. Through an extensive set of computer simulations, the performances of the proposed MAC schemes show that the MAC scheme with timers at individual transmission queues outperform the others in terms of throughput and delay for most cases considered. The complexity of the proposed schemes is also compared, and the first scheme obviously turned out to be the simplest, and the complexity of the second and third schemes depends on the number of receiver nodes and the number of channels, respectively.

※ 이 연구는 2005년도 서강대학교 교내 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

* 서강대학교 전자공학과 고속통신망 연구실 ({poseidon, endbegin, xinu}@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-12-513, 접수일자 : 2005년 12월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 4월 26일

I. 서론

현재 운영 중인 많은 유무선 통신시스템은 공유 매체상의 동일한 채널 또는 채널 군을 다수의 단말기가 공유하는 방식으로 동작한다. 즉, 동종 통신시스템의 개별 단말기들이 교신을 위해 사용되는 채널 군들은 동일한 경우가 대부분이며 현재 상용화된 시스템으로써 셀룰러 시스템(Cellular System), IEEE 802.11 계열 무선랜(WLAN) 시스템, CSMA/CD를 도입한 IEEE 802.3 계열 Ethernet 등을 있다. 이와 같이 단말기가 채널을 점유하는데 있어서 제약이 없는 통신시스템을 완전매체공유 시스템으로 정의할 수 있다. 그러나 완전매체공유 시스템과는 달리 송신단말기, 수신단말기 또는 이들의 조합에 따라 정보의 송수신을 위해 사용할 수 있는 공유매체 상의 제약이 존재하며 이러한 제약 조건을 매체접근기법에 추가적으로 고려되어야 하는 통신시스템이 가까운 미래에 출현될 수 있다. 이와 같은 속성의 통신시스템을 완전매체공유 시스템과 대별하여 불완전매체공유 시스템으로 정의할 수 있다.

불완전매체공유 시스템은 다양한 요인에 의해 파생할 수 있고 특히 단말기의 소형화, 저 전력화, 저 가격화가 요구되는 통신시스템에서 그 원인을 찾을 수 있다. 이러한 속성의 통신시스템은 단말기 구조의 단순화가 필수적이며 그 결과로 단말기에서 송수신 가능한 통신채널군의 크기는 불가피하게 축소될 가능성이 크다. 그 대표적인 예로, 광부호분할다중접속(Optical CDMA) 근거리망¹⁻⁵⁾이 있다. 광부호분할다중접속 시스템의 경우 송수신기의 상관기는 광학적으로 구현되어야 하며 광소자로 구현된 송수신기의 복잡도는 송수신 가능한 부호의 수와 함께 빠르게 증가하게 된다. 또한 현재 광소자를 이용한 신호처리 기술은 전기소자 수준에 미치지 못하며 물리적인 크기를 줄이는 기술도 매우 복잡하거나 현실적으로 상용화가 어려운 실정이다. 따라서 광부호분할다중접속 시스템은 광학적 구현의 제약과 기존의 근거리망과의 가격 경쟁력 확보를 위해 각 단말기의 송수신 가능한 채널 즉, 부호의 수를 제한하여 그 구조를 극히 단순화할 필요가 있다.⁶⁾ 이 경우에 해당하는 광부호분할다중접속 시스템은 유선 공유매체를 이용한 불완전매체공유 시스템으로 분류할 수 있다.

매체공유를 기반으로 하는 통신시스템은 각자의 매체특성, 통신방식, 응용목적에 적합한 매체접근제어기법을 적용함으로써 다수의 단말이 동시에 정보

를 전송할 때 발생할 수 있는 프레임들간 충돌/간섭을 방지한다. 즉, 매체접근제어기법은 논리적 채널을 필요에 따라 적절히 단말기들에 명시적 혹은 묵시적으로 할당하여 동일한 논리적 채널에 둘 이상의 단말이 동시에 정보를 전송하는 상황을 회피하는 방식으로써 매체공유 통신시스템의 전송효율을 결정하는 중요한 요인이 된다. 현재까지 상용화된 많은 통신시스템은 채널 점유 제약 조건이 반영되지 않은 완전매체공유 통신시스템으로 볼 수 있으며, 따라서 기존에 연구된 많은 매체접근제어기법들은 모든 단말이 공유매체 상에서 사용되지 않는 임의 채널을 필요에 따라 점유할 수 있는 상황을 전제로 개발되었다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 전제는 불완전매체공유시스템에서는 더 이상 유효한 매체접근기법이 될 수 없다. 따라서 기존의 매체접근제어기법은 불완전매체공유 시스템에 적용하기 어려우며 약간의 수정을 통해 적용할 수 있는 경우에도 불완전매체공유 시스템의 속성을 효율적으로 반영되지 않아 필요 이상의 성능 저하가 예상된다. 즉, 불완전매체공유 통신시스템에서 채널의 활용률을 향상시키기 위해서는 정보를 송수신하고자 하는 단말기에 따라 발생하는 가용채널에 대한 제약조건을 매체접근제어 과정에 반영하는 것이 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 매체공유 시스템의 수학적 정의와 제안된 매체접근제어기법이 가지는 기본적인 속성을 언급하고 III장에서 현재 널리 상용화된 IEEE 802.11 CSMA/CA를 소개한다. IV장에서는 제안된 매체접근제어기법들의 세부 동작 과정에 대하여 논한다. 마지막 V장에서는 제안된 매체접근제어기법을 적용한 성능분석을 모의실험을 통해 비교/분석한다.

II. 매체공유 시스템의 정의와 매체접근제어

서론에서 불완전매체공유시스템은 소형화, 저전력화, 저가격화 등과 같은 다양한 요인에 의해 파생되며 송신 노드와 수신 노드에 따라 정보를 전송하기 위해 사용될 수 있는 채널에 제한이 있을 수 있다고 가정하였다. 본 장에서는 다양한 형태의 불완전매체공유 시스템에 부과될 수 있는 채널공유 제약 조건에 대한 수학적 정의를 한다. 또한 본 논문에서 제안하는 매체접근제어기법이 적용되는 불완전매체공유 환경의 특징에 대하여 언급한다.

2.1 완전/불완전매체공유 시스템의 정의
매체공유 시스템의 정의를 위해 다음 변수를 정의한다.

- N : 네트워크를 구성하는 단말기의 집합
- N_T : 송신 단말기의 집합
- N_R : 수신 단말기의 집합
- C : 공유매체 상에 존재하는 모든 통신채널의 집합
- $C_{i,j}$: 송신단 $i \in N_T$ 에서 수신단 $j \in N_R$ 로 정보전송을 위해 사용 가능한 통신채널군의 집합

일반성을 잃지 않고 공유매체상의 모든 채널은 최소 하나의 송수신 단말기 쌍에 의해 사용될 수 있다고 가정한다, 즉,

$$C = \bigcup_{i \in N_T, j \in N_R} C_{i,j}$$

2.1.1 완전매체공유 시스템의 정의

완전 매체공유 시스템에서 송신단말기 $i \in N_T$ 와 수신단말기 $j \in N_R$ 에 따라 정보전송을 위해 사용할 수 있는 채널에 제약이 따르지 않는 시스템이다. 식(1)은 임의의 매체공유 시스템이 완전매체공유 시스템으로 분류되기 위한 조건식이다.

$$\text{모든 } i \in N_T, j \in N_R \text{에 대해 } C_{i,j} = C \quad (1)$$

2.1.2 불완전매체공유 시스템의 정의

반면 불완전매체공유 시스템은 최소 한 쌍의 송수신 단말기 쌍에 대하여 정보 전송을 위해 사용 가능한 채널에 제약이 존재하는 시스템으로 정의할 수 있다. 식(1)이 성립하지 않을 때 즉,

$$\text{어떤 } i \in N_T, j \in N_R \text{에 대해 } C_{i,j} \neq C \quad (2)$$

이런 해당 매체공유 시스템은 불완전매체공유가 이루어진다. 단말기 i, j 사에서 정보 전송을 위한 채널의 제약 조건은 $C_{i,j}$ 이며 모든 송수신 단말기 쌍에 대해 같은 방식으로 두 단말기 사이에서 점유할 수 있는 채널의 제약조건을 표현할 수 있다. 만일, 어떤 단말기 쌍 $i \in N_T, j \in N_R$ 에서의 가용채널의 집합 $C_{i,j}$ 가 공집합이면 해당 단말기 사이에서의 정보 전송은 이루어지지 않는다.

2.2 매체접근제어기법의 분류

매체접근제어기법은 다양한 방식으로 구분되지만

일반적으로 경쟁 방식/예약 방식 또는 집중 방식/분산 방식으로 구분된다.^[7] 본 절에서는 개별 방식의 기본적인 동작 원리와 불완전매체공유 환경에서 동작되는 방식에 대해 논한다.

2.2.1 집중/분산 방식 매체접근제어

집중방식 매체접근제어는 각 단말기에서 사용되는 채널을 관리하는 단말기가 존재하여 통신이 이루어질 때마다 각 단말기들에게 채널 사용권을 부여하는 방식이다. 즉, 관리 단말기는 송/수신기 i, j 사에서 교신이 시도될 때 두 단말기에 채널 $C_{i,j}$ 를 할당한다. 이 방식은 둘 이상의 단말기가 동시에 같은 채널을 사용함으로써 발생하는 매체 상의 충돌을 방지할 수 있으며 각 단말기들에게 차등적으로 채널 사용권을 부여함으로써 QoS보장 용이하다. 하지만 관리 단말기는 항상 개별 단말기로부터 상태 정보를 수집/관리해야하므로 별도의 제어채널을 할당해야하며 관리 단말기에 장애가 발생할 때 통신망 전체의 장애를 초래하는 단점이 존재한다. IEEE 802.11에서 PCF가 널리 사용되는 집중 방식의 대표적인 예가 된다.

분산방식 매체접근제어는 채널 사용권을 관장하는 단말기가 존재하지 않고 각 단말기들 간 협력에 의해 매체에 대한 사용권을 획득하는 방식이다. 즉, 송/수신기 i, j 에서는 채널 $C_{i,j}$ 을 점유하는 단말기들과 예약 정보나 제어 프레임의 교환을 통해 전송시점을 판단하여 데이터 전송이 시도 된다. 경쟁 방식을 기반으로 동작되는 분산 방식 매체접근제어의 경우 둘 이상의 단말기가 동일한 채널을 사용함으로써 발생하는 매체 상의 충돌이 존재한다. 하지만 소수의 단말기에 이상이 생겼을 때 전체 통신망이 붕괴되지 않는다. 또한 각 단말기가 관리 단말기처럼 항상 모든 채널을 감시할 필요가 없으므로 통신망을 배터리로 동작되는 단말기들로 구성할 수 있는 이점이 있다. Aloha, CSMA 등이 분산 방식 매체접근제어의 대표적인 예이다.

2.1.2 예약/경쟁 방식 매체접근제어

예약 방식(scheduling based) 매체접근제어 방식은 TDM과 같은 시분할 슬롯을 이용하여 단말기들 사이에서 전송 순서를 정하는 방식이다. 송신기 i 는 채널 $C_{i,j}$ 에 대한 사용권을 시분할 슬롯에 예약하거나 채널 사용권을 중재하는 단말기로부터 채널 사용권이 승인되면 수신기 j 로 데이터 전송이 이루어진다. 통신망 내에서 충돌이 발생하지 않으며 높은

채널 활용률을 나타낸다. 반면 채널 사용권의 예약이 이루어지는 과정이 복잡해질 수 있으며 경우에 따라서는 매체접근제어를 위한 많은 계산량이 요구되는 단점이 있다. 폴링(polling)과 예약(reservation)의 두 범주를 기반으로 통신망에 널리 사용되고 있다. 실제 상용화된 표준으로 IEEE 802.11 PCF(point coordination function), IEEE 802.5 Token Ring 등이 있다.

경쟁 방식 매체접근제어 방식은 각 단말기가 주어진 매체를 동적으로 점유하는 방식이다. 즉, 송신기 i 는 채널 $C_{i,j}$ 를 사용하는 단말기들과 정해진 순서 없이 경쟁적으로 채널을 점유한다. 송신기 i 와 다른 단말들이 동시에 $C_{i,j}$ 를 점유하게 되면 매체 충돌이 필연적으로 발생하여 채널 활용률이 떨어진다. 하지만 산발적인 트래픽이 자주 발생하는 근거리 통신망에서 효율적으로 사용될 수 있고 분산방식 매체접근제어를 지원한다. IEEE 802.3 Ethernet이 경쟁 방식 매체접근제어의 대표적인 예이다.

한편 IEEE 802.11의 매체접속 방식인 CSMA/CA는 예약 방식과 경쟁 방식이 혼용된 형태로 동작된다. 송신기 i 는 제어 프레임을 이용하여 $C_{i,j}$ 를 사용하는 다른 단말기들과 채널 사용권 획득에 대한 경쟁이 이루어지고 채널 사용권을 획득하면 채널 $C_{i,j}$ 에 대한 예약이 이루어진다. CSMA/CA는 개별 단말기들 간의 협력에 의해 채널 사용권이 획득되므로 분산 방식 매체접근제어가 이루어진다. 또한 CSMA/CD의 장점을 가지면서 무선 채널 환경에서 널리 쓰이고 있다. 본 논문에서는 이러한 분산 방식 매체접근제어가 지원되는 CSMA/CA를 기반으로 불완전매체공유 시스템의 매체접근제어기법을 제안한다.

2.3 불완전매체공유 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 매체접근제어기법은 다음과 같은 불완전매체공유 시스템 모델을 가정하였다.

• 전송 프레임 모델

통신망에 유입되는 프레임의 길이는 모두 같고 프레임의 분포는 poisson process 확률 분포를 가지며 고정된 속도, λ 로 유입된다. 또한 프레임이 수신되는 목적지 노드의 분포는 균일한 분포를 가진다.

• 채널환경

임의의 송신기에서 전송되는 프레임은 모든 수신기로 브로드캐스트(broad cast)된다. 즉, 무선 채널 환경인 경우 동일 셀(cell)내에 모든 단말기가 존재

하며 은닉 단말 문제(hidden terminal problem)과 같은 현상은 발생하지 않는다고 가정하였다.

• 반송파감지(carrier sense)

반송파감지는 크게 물리적 반송파감지와 가상 반송파감지(virtual carrier sense)로 구분할 수 있으며 본 논문에서는 후자의 방식의 사용한다. 즉, 매체 상태에 대한 정보를 RTS/CTS와 같은 짧은 프레임의 교환을 통해 얻는 방식을 사용한다.

• VOQ와 채널할당

임의 단말기는 VOQ(virtual output queue)를 가진다. 그림 1처럼 개별 큐는 목적지 노드에 대응하여 존재한다. 단말기 내부에 VOQ가 존재함으로써 고속 패킷 스위치에서 입력단 버퍼 내에서 HOL blocking^[7-9]의 현상을 방지한다. 송/수신기 i, j 사이에서 교신이 이루어지기 위해서 사용되는 채널 $C_{i,j}$ 에 대한 정보는 개별 큐에 미리 정해져 있다고 가정한다. 즉, 불완전매체공유 시스템에서는 임의의 송수신기 쌍 별로 사용되는 채널이 다르므로 개별 송신에는 수신기 별로 사용되는 채널 정보가 단말기 내부에 테이블로 정해져 있다고 전제한다.

III. CSMA/CA기반 매체접근제어기법

CSMA/CA는 무선 채널 환경에 널리 응용되어 사용되고 있으며 특히 IEEE 802.11 표준을 지원하는 무선랜의 기본 매체접근제어 방식이다. IEEE 802.11 무선랜의 MAC^[10-13]은 기본적으로 경쟁구간에서 CSMA/CA기반 DCF(distributed coordination function)와 선택적으로 비경쟁 구간에서 폴링(polling)기반 PCF(point coordination function)가 사용되는데 혼용되어 사용되고 있다. 본 장에서는 IEEE 802.11 DCF의 동작원리를 소개하고 반송파감지(carrier sense)와 임의 지연시간(random backoff time)이 불완전 매체공유 환경에서 어떻게 적용되는지 살펴본다.

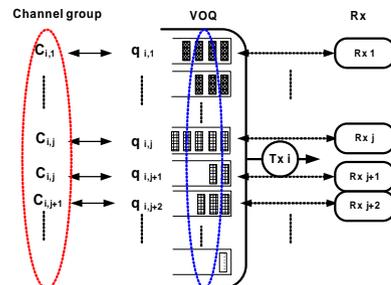


그림 1. 채널할당 정보와 VOQ

3.1 DCF 개요

DCF는 분산/비동기 방식 매체접근제어가 지원되는 CSMA 프로토콜을 사용하면서 임의 지연시간(random backoff)을 사용하여 단말기들이 매체 상에서 발생하는 충돌 확률을 줄이는 방식을 사용한다. 또한 매체접근에 대한 우선 순위를 정하기 위해서 서로 다른 IFS가 사용된다.

3.1.1 IFS

프레임들의 시간 간격, IFS(Inter Frame Space)가 존재하며 서로 다른 크기를 가진 SIFS(Short Inter-Frame Space), DIFS(DCF Inter-Frame Space), PIFS(PCF Inter-Frame Space) 등 시간 구간이 다른 IFS를 정의하였다. 또한 임의 지연시간(random backoff time)을 선택하기 위하여 경쟁윈도우(Contention Window ; CW)와 지연윈도우(backoff window ; BW)가 정의 되었다. 정의된 시간 구간들 사이의 관계는 그림 2에 나타내었으며 DIFS, PIFS, SIFS에 대한 정의는 다음과 같다.

- SIFS

가장 높은 우선순위를 가진 시간 구간으로서 단말기에서 매체상태를 감지하고 데이터 전송이 성공적으로 끝났음을 알리는 ACK 패킷을 주변 단말기들에게 보내는데 필요한 시간이다.

- PIFS

매체접근제어가 비경쟁 구간에서 PCF 모드로 동작되기 전에 단말기에서 전송매체를 감지하는 시간이다.

- DIFS

가장 낮은 우선순위를 가진 시간 구간으로서 비동기 전송방식인 DCF모드로 동작되기 전에 전송매체 상태를 감지하는 시간이다.

이들 시간구간의 실제 값은 IEEE 802.11 물리계층의 표준에 따라 다른 값을 가진다.

3.1.2 임의 지연시간(random back-off time)

IEEE 802.11에 사용되는 임의 지연시간은 효과적인 전송을 위해 일정 시간구간 즉, 시분할 슬롯(slot time) 단위로 설정된 이산 시간 지연(discrete-time backoff)을 사용한다. 임의 지연시간의 크기 즉, 지연윈도우는 식(3)과 같이 계산된다.

$$backoff\ window = random() * Slot\ time \quad (3)$$

Slot time은 지연윈도우를 구성하는 시분할 슬롯이고 random() 함수는 [0, CW-1]구간에서 균일한 분포를 가지는 수도램덤(Pseudo random)정수이다. 지연윈도우가 0이 될 때 데이터 전송이 시도되며 전송이 실패하면 현재 경쟁윈도우의 크기를 2배로 증가시켜 새로운 임의 지연시간을 생성한다. 경쟁윈도우의 크기는 데이터 전송이 실패할 때마다 식(4)처럼 이진 지수 형태를 취하며 증가하게 되며 최대값(CW_{max})과 최소값(CW_{min}) 사이의 값을 갖는다. 시분할 슬롯, CW_{max}, CW_{min}의 실제 값도 정해진 물리계층의 표준에 따라 다른 값을 가진다.

$$CW = CW_{min} * 2^{i-1}, \quad CW_{min} \leq CW \leq CW_{max} \quad (4)$$

이러한 임의 지연시간이 경과된 후에 데이터 전송이 시도되는 방식을 사용하는 이유는 둘 이상의 단말기에서 유희 상태의 전송매체를 감지한 후 즉시 데이터 전송이 시도되면 반드시 매체 상에서 충돌이 발생하기 때문에 이러한 충돌 현상을 줄이기 위해 사용한다.

3.1.3 DCF 동작 과정

경쟁구간이 시작되면서 매체접근제어는 DCF모드로 동작된다. 각 단말기는 전송매체 상태를 수시로 감지하면서 DIFS 이상의 시간 동안 전송매체가 휴지 상태인지 판단한다. 만일 전송매체가 DIFS 시간 동안 유희 상태였다면 각 단말기는 임의 지연시간 후에 전송을 시도하게 된다. 이때 개별 단말기의 임의 지연시간은 서로 다른 값을 가지며 전송매체가 다른 단말기에 의해 점유되지 않으면 생성된 지연윈도우를 시분할 슬롯 단위로 감소시킨다. 지연윈도우가 0이 되는 단말기로부터 데이터 전송이 시도된다. 지연윈도우가 0이 아닌 단말기들은 지연시간의 감소를 멈춘다. 데이터 전송이 성공/실패되었음을 알리는 ACK나 NACK 신호가 감지되면 지연과정을 겪고 있는 단말기들은 다시 DIFS 시간 동안 전송

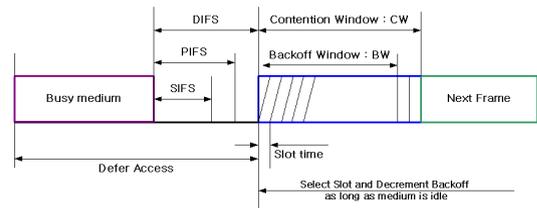


그림 2. DCF를 구성하는 서로 다른 IFS

매체에 대한 감지를 한다. DIFS 시간이 만료되면 각 단말기들은 지연윈도우를 시분할 슬롯 단위로 감소시킨다. 데이터 전송이 실패한 단말기들은 식 (3), (4)를 이용하여 새로운 임의 지연시간을 생성한다. 성공적으로 데이터 전송이 이루어진 단말기의 경쟁윈도우는 초기값, CW_{min} 으로 초기화 된다.

3.2 불완전매체공유 환경에서의 임의 지연시간

임의 지연시간은 본 논문에서 제안하는 매체접제어의 핵심 요소이며 기본적으로 시분할 슬롯 단위로 구성된 이산시간지연을 사용한다. 또한 전송이 실패할 때마다 경쟁윈도우는 이진지수형태(binary backoff time)를 취하며 증가하는 IEEE 802.11의 DCF의 기본 매커니즘을 사용한다. 하지만 임의 지연시간의 동작 즉, backoff 계수기의 동작과정에서 단말기의 채널점유 제약조건이 추가되며 이들 동작 형태를 다음과 같이 3가지 방식으로 구분할 수 있다.

첫째는 하나의 backoff 계수기가 존재하여 송신기 내부와 VOQ와 채널군들의 휴지 상태 여부에 따라 동작하는 방식이다. 각 송신기 i 는 해당 단말기에서 사용 가능한 모든 채널군 $\bigcup_{j \in N_R} C_{i,j}$ 에 대해

집합적으로 이루어지며 backoff 계수기는 적어도 하나의 휴지 채널군이 존재할 때 동작된다. 두 번째는 송신기에서 사용 가능한 모든 채널군, $\bigcup_{j \in N_R} C_{i,j}$ 를 일

정 수의 채널 그룹으로 분할하고 이들 채널 그룹에 대해 backoff 계수기가 동작되는 방식이다. 개별 backoff 계수기는 해당 채널 그룹에 포함되는 채널 중 적어도 하나의 채널이 휴지 상태일 때 동작된다. 세 번째는 송신기 내부에 수신기에 대응하여 존재하는 개별 큐(queue)에 대해 개별적으로 backoff 계수기가 동작되는 방식이다. 반송과감지는 개별 큐에서 사용되는 채널에 대해 개별적으로 이루어지며 각 backoff 계수기는 큐에 전송할 프레임이 존재하고 사용되는 채널이 휴지 상태일 때 동작한다.

만일 송신기에서 개별 큐에 의해 분할된 채널의 수가 앞서 언급된 방식에 의해 분할된 채널의 수가

같게 되면 두 방식은 동일한 방식으로 backoff 계수기가 동작된다. 즉, 송신기 i 에서 n 개의 개별 큐가 존재하고 해당 큐에서는 서로 다른 채널이 사용되는 방식은 송신기 i 에서 사용 가능한 모든 채널을 n 개로 나누고 각 채널은 개별 큐에서 사용되는 채널일 때 두 방식은 동일한 방식이 된다. 한편 큐에 대해 집합적으로 반송과감지가 이루어지고 하나의 backoff 계수기가 동작되는 방식이 있을 수 있다. 하지만 이 방식은 개별 큐에서 사용되는 모든 채널군은 송신기에서 사용되는 모든 채널이기 때문에 첫 번째 방식과 동일한 방식이 된다. 따라서 가능한 backoff 계수기의 동작은 앞서 언급된 바와 같이 3가지 형태로 구분되고 이로부터 표 1에 정의된 매체접근제어기법을 제안한다. 단일 DCF는 기존에 적용되었던 IEEE 802.11의 DCF의 동작 과정에 송/수신기 쌍의 채널 공유 제약조건을 추가시킨 방식이다. 채널기반 DCF와 큐기반 DCF는 개별 채널 또는 큐에 대해 단일 DCF를 적용시키는 방식으로써 한 개 이상의 backoff 계수기가 동작된다.

IV. 제안된 매체접근제어기법의 동작

본 장에서는 앞장에서 제시된 매체접근제어기법들의 세부 매체접근 과정에 대해 논한다.

4.1 단일 DCF

단일 DCF는 그림 3과 같이 데이터 전송 시도 시점을 결정하는 하나의 backoff 계수기가 동작되는 형태이다. 송신기 내부에 전송 프레임이 발생하면 반송과감지를 시작한다. 송신기 VOQ 내의 프레임이 사용되는 채널 중 DIFS 시간동안 적어도 하나의 채널이 휴지상태로 유지되면 첫 번째 전송이 시도 된다. 전송될 프레임이 존재하는 큐가 여러 개이면 채널, 큐가 겪는 지연시간을 고려하여 전송될 큐를 선택한다. 즉, 그림 4처럼 전송될 프레임이 존재하는 큐, 유휴 채널을 사용하여 전송될 수 있는 프레임이 존재하는 큐의 조건을 만족하는 큐 중에서 가장 큰 지연시간을 겪는 프레임이 존재하는 큐로부터 전송이 시도 된다. 만일 DIFS시간 동안 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 존재하지 않으면 송신기는 대기 상태로 전이되고 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 발생할 때까지 기다린다. 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 발생되면 다시 송신기에서는 DIFS시간 동안 반송과감지가 이루어진다. DIFS시간이 만료되면 송신기에서는 경쟁윈도우를 이용하여

표 1. 불완전매체공유시스템의 매체접근제어기법

backoff 계수기의 동작 방식	하나의 backoff 계수기	개별 채널군에 대한 backoff 계수기	개별 큐에 대한 backoff 계수기
매체접근 제어기법	단일 DCF	채널기반 다중 DCF	큐기반 다중 DCF

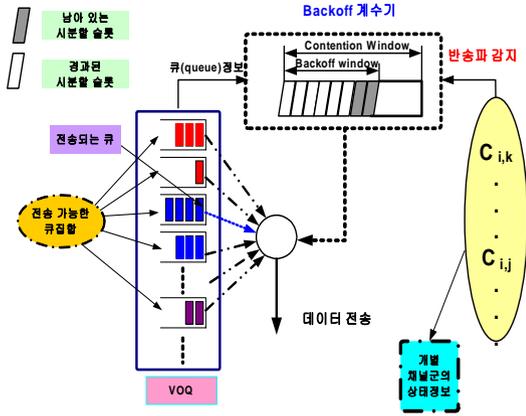


그림 3. 단일 DCF의 동작

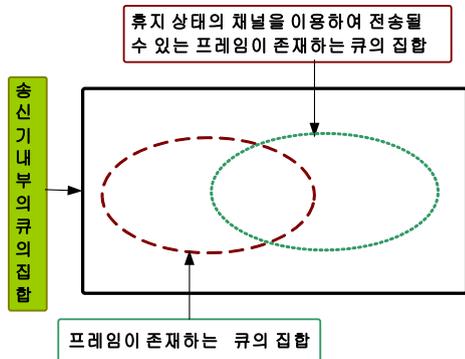


그림 4. 단일 DCF에서 프레임이 전송되는 큐

임의 지연시간이 계산된다. 지연시간이 감소되기 위한 조건은 그림 4에서의 2가지 조건을 만족하는 큐가 존재할 때이며 주어진 조건을 만족하지 않으면 지연시간은 감소하지 않고 멈춘다. 지연시간의 감소가 정지된 후 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 존재하게 되면 *DIFS* 시간 동안 반송과 감지를 하고 *DIFS* 시간이 만료되면 지연시간은 시분할 슬롯단위로 감소한다.

프레임 전송 시도 시점은 지연시간이 0이 되는 순간이며 그림 4의 조건들을 만족하는 큐 중 가장 큰 지연시간을 겪고 있는 프레임이 존재하는 큐로부터 전송 시도가 이루어진다. 만일 충돌이 발생하였다면 송신기는 대기 상태로 전이되고 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 존재하면 *DIFS*의 시간동안 반송과 감지가 이루어진다. 이 시간이 끝나면 경쟁 윈도우는 2배 만큼 증가되어 새로운 임의 지연시간이 생성되고 시분할 단위로 지연시간이 감소된다. 성공적으로 전송이 이루어졌다면 경쟁윈도우의 크기는 CW_{min} 값으로 초기화 된다.

4.2 채널기반 다중 DCF

송신기 i 가 공유매체 상에서 점유될 수 있는 채널, $\bigcup_{j \in N_R} C_{i,j}$ 는 일정 수의 개별 채널군으로 분리되며 이로부터 그림 5와 같이 분할된 채널에 대해 개별적으로 반송과 감지와 backoff 계수기의 동작이 이루어진다. 처음 *DIFS* 시간 동안의 반송과 감지와 최초의 전송시도는 단일 DCF 모드와 동일하게 이루어진다. *DIFS* 시간 동안 그림 4의 조건을 만족하지 않은 큐가 존재하지 않으면 송신기는 대기 상태로 전이되고 그림 4의 조건을 만족하면 다시 *DIFS* 시간 동안 반송과 감지가 이루어진다. *DIFS* 시간이 만료되면 송신기에서 분할된 채널에 대해 개별적으로 backoff 계수기가 생성된다. 생성된 backoff 계수기들은 채널, 큐의 상태 조건을 고려하여 시분할 슬롯 단위로 감소된다. 즉, backoff 계수기에 대응하는 채널이 휴지상태이고 이 채널을 이용하여 전송될 수 있는 프레임이 존재할 때 지연시간은 감소한다. 만일 개별 backoff 계수기의 지연시간이 감소되는 과정에서 해당 채널이 다른 단말기에 의해 점유되면 해당 backoff 계수기의 지연시간의 감소는 멈추고 다른 backoff 계수기들의 지연시간들은 계속 감소한다. 송신기에서 동작되는 모든 backoff 계수기들의 동작이 멈추게 되면 송신기는 대기 상태로 전이하게 되고 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 발생할 때까지 대기한다. 그림 4의 조건을 만족하면 송신기에서 다시 *DIFS* 시간 동안 반송과 감지를 실시한다. *DIFS* 시간이 만료되면 개별 backoff 계수기는 지연시간 감소 과정을 갖는다.

프레임의 전송 시도 시점은 지연시간이 0이 되는 backoff 계수기가 하나 이상 존재할 때이다. 송신기 내부의 큐에서 전송되는 규칙은 그림 6의 조건이 고려된다. 즉, 지연시간이 0인 backoff 계수기에 대응하는 채널을 이용하여 전송될 수 있는 프레임이

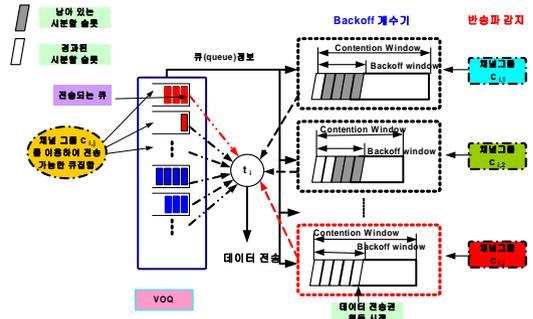


그림 5. 채널기반 다중 DCF의 동작

존재하는 큐의 조건을 만족하는 큐의 집합 중에서 가장 큰 지연시간을 겪는 프레임이 존재하는 큐로부터 전송이 시도된다. 충돌이 발생하면 송신기는 대기 상태로 전이되고 모든 backoff 계수기의 동작은 멈춘다. 그림 4의 조건을 만족하는 큐가 발생이 되면 단말기에서는 DIFS시간동안 반송파감지가 이루어진다. 이시간이 만료되면 충돌이 발생한 채널에 대응하는 backoff 계수기의 경쟁원도우의 크기는 2배로 증가되고 새로운 임의의 지연시간이 생성된다. 충돌이 발생하지 않은 채널에 대응하는 backoff 계수기는 멈추었던 지연시간부터 시분할 슬롯 단위로 감소된다. 성공적으로 전송이 이루어졌다면 송신기에서 동작되는 모든 backoff 계수기의 경쟁원도우는 초기가 값, CW_{min} 으로 초기화 된다.

4.3 큐(queue)기반 다중 DCF

최초 반송파감지와 전송 시도는 단일 DCF와 동일하게 적용된다. DIFS시간동안 그림4의 조건을 만족하는 큐가 존재하지 않으면 단말기는 대기상태로 전이된다. 그림 4의 조건을 만족하게 되면 DIFS시간 동안 반송파감지가 이루어지고 이 시간이 만료되면 그림 7처럼 개별 큐에 대응하여 backoff 계수기들이 생성되고 해당 큐에서의 프레임 전송에 사용되는 채널에 대해 반송파감지가 이루어진다. 개별 backoff 계수기의 임의의 지연시간은 주어진 경쟁원도우를 이용하여 독립적으로 생성된다. 개별 backoff 계수기가 시분할 슬롯단위로 감소하기 위한 조건은 backoff 계수기에 대응되는 큐가 비어 있지 않고 해당 큐에서 사용되는 채널이 휴지 상태일 때이다.

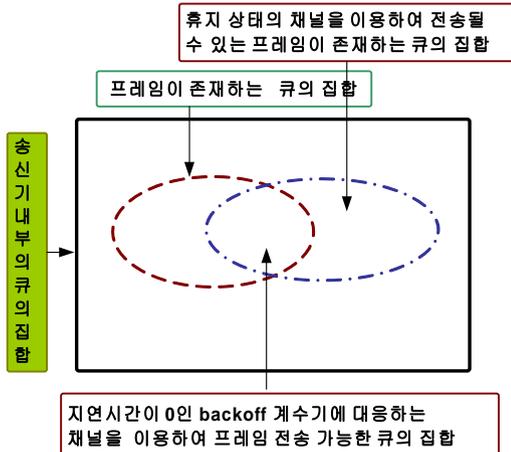


그림 6. 채널기반 다중 DCF에서 전송되는 프레임이 존재하는 큐 집합

채널 기반 다중 DCF방식과 마찬가지로 개별 backoff 계수기는 큐에서 사용되는 채널이 휴지 상태일 때 지연시간을 감소하고 사용 중 일 때 지연시간의 감소를 멈춘다. 만일, 모든 backoff 계수기의 동작이 멈추면 송신기는 대기 상태로 전이된다. 다시 그림 4의 조건을 만족하게 되면 DIFS시간 동안 반송파감지가 이루어지고 DIFS시간이 만료되면 개별 backoff 계수기는 지연시간 감소 조건에 따라 개별적으로 지연시간을 감소시킨다.

전송이 시도되는 시점은 지연시간이 0되는 backoff 계수기가 하나 이상 존재할 때 이다. 전송이 이루어지는 프레임이 존재하는 큐는 그림 8과 같은 관계를 만족한다. 즉, 휴지 채널을 이용하여 전송 가능한 프레임이 존재하는 큐, backoff 계수기의 지연시간이 0에 대응하는 큐 프레임이 존재하는 큐의 조건을 만족하는 큐 중에서 가장 큰 지연시간을 겪고 있는 프레임이 존재하는 큐로부터 전송이 시도 된다. 충돌이 발생하면 송신기에서 동작되는 모든 backoff 계수기는 동작을 멈추고 대기 상태로 전이되며 그림 4의 조건을 만족하게 되면 반송파감지가

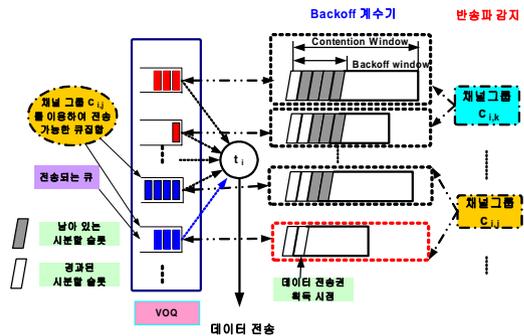


그림 7. 큐기반 다중 DCF의 동작

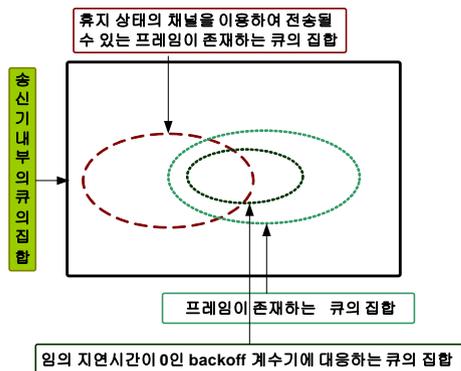


그림 8. 큐기반 다중 DCF에서 전송 프레임이 존재하는 큐 집합

이루어진다. DIFS시간이 만료되면 충돌이 발생한 큐에 대응하는 backoff 계수기의 임의 지연시간은 2배로 증가된 경쟁윈도우로부터 다시 생성된다. 나머지 backoff 계수기는 멈추었던 지연시간부터 시분할 슬롯단위로 감소한다.

V. 모의실험과 성능 분석

5.1 모의실험 시나리오

제안된 매체접근제어기법의 성능 분석 대상은 평균 대기지연시간과 최대 전송률이다. 모의실험의 대상이 되는 불완전매체공유 시스템은 Optical CDMA 네트워크이고 다음과 같은 특징을 갖는다. 또한 실험에 사용된 시뮬레이션 도구는 Matlab 7.0을 사용하였다.

5.1.1 단말기와 분할된 채널의 수

통신망 내의 모든 단말기는 송/수신이 가능 ($N = N_T = N_R$)하고 그 개수는 $|N| = 50$ 이다. 또한 시스템 전체 채널은 그림 9처럼 셀 수 있는 채널로 분할되어 있고 두 단말기 집합 사이에서 교신이 이루어질 때 한 개의 분할된 채널이 사용되며 그 개수는 $|C| = 25$ 개다. 여기서 임의의 송/수신기 집합, T_i, R_j 을 구성하는 단말기의 개수는 5이다. 광부호 분할다중접속 시스템의 경우 통신망 내에 단말기 수와 광부호(optical code)의 수는 각각 50,25가 된다. 교신이 이루어지는 두 송/수신기 쌍에서 사용될 수 있는 채널의 제약은 3가지 형태로 구분된다. 첫 번째는 모든 송신기는 전체 채널을 각각 같은 비율로 일부의 채널을 점유하고 수신기에서는 모든 채널이 점유되는 송신기 제약 불완전매체공유 시스템이다. 즉, 송수신기 집합 T_i, R_j 사이에서 교신하기 위해 사용되는 채널의 집합은 $\{C_{i,1}, C_{i,2}, C_{i,3}, C_{i,4}, C_{i,5}\}$ 이며 그림 10에서 송신기 집합 T_i 에 대응되는 가로 방향의 채널의 집합에 해당된다. 임의 송/수신기에서 공유되는 채널은 송신기에 의해 결정된다. 두 번째는 송신기에서 모든 채널을 점유할 수 있고 수신기에서는 같은 비율로 일부의 채널을 점유하는 수신기 제약 불완전매체공유 시스템이다. 송/수신기 집합 T_i, R_j 에서 데이터 전송을 위해 점유되는 채널은 $\{C_{1,j}, C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}, C_{5,j}\}$ 이며 수신기 집합 R_j 에 의해 공유되는 채널이 결정된다. 그림 9에서 수신기 집합 R_j 에 대응하는 세로방향의 채널의 집합이다. 세 번째는 송/수신기 집합 T_i, R_j 모두가 같은 비율로 일부의 채널을 점유하는 송/수신기 제약 불완전매체 공유 시스템이다. 송/수신기 집합 T_i, R_j 사이에서 데이터 전송을 위해 사용되는 채널은 $C_{i,j}$ 이고 각 송/수신기 T_i, R_j 에서 점유될 수 있는 채널 집합의 교집합이다. 각 모델별 분할된 채널과 이를 점유하는 송/수신기 사이의 관계는 표 2에 나타나 있다.

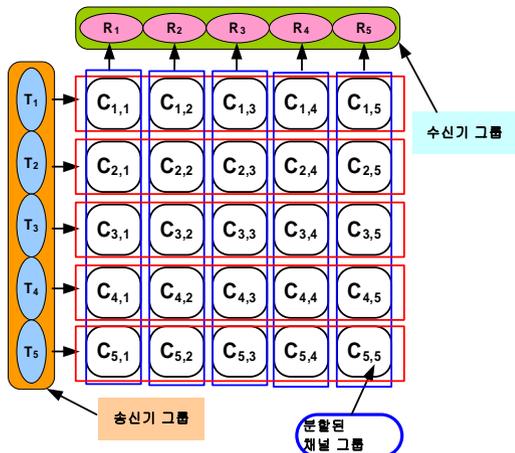


그림 9. 개별 송/수신기 쌍에 대한 채널할당표

표 2. 불완전매체공유시스템 모델 유형

불완전매체공유 시스템	분할된 채널군의 크기	분할된 채널을 점유하는 송신기 수	분할된 채널을 점유하는 수신기 수
송신기 제약	5	10	50
수신기 제약	5	50	10
송/수신기 제약	25	10	10

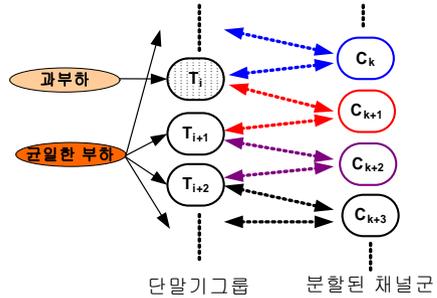


그림 10. 불균일한 부하가 발생하는 시스템 모델

네트워크에서 송신기 제약 불완전매체공유 시스템이다. 즉, 송수신기 집합 T_i, R_j 사이에서 교신하기 위해 사용되는 채널의 집합은 $\{C_{i,1}, C_{i,2}, C_{i,3}, C_{i,4}, C_{i,5}\}$ 이며 그림 10에서 송신기 집합 T_i 에 대응되는 가로 방향의 채널의 집합에 해당된다. 임의 송/수신기에서 공유되는 채널은 송신기에 의해 결정된다. 두 번째는 송신기에서 모든 채널을 점유할 수 있고 수신기에서는 같은 비율로 일부의 채널을 점유하는 수신기 제약 불완전매체공유 시스템이다. 송/수신기 집합 T_i, R_j 에서 데이터 전송을 위해 점유되는 채널은 $\{C_{1,j}, C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}, C_{5,j}\}$ 이며 수신기 집합 R_j 에 의해 공유되는 채널이 결정된다. 그림 9에서 수신기 집합 R_j 에 대응하는 세로방향의 채널의 집합이다. 세 번째는 송/수신기 집합 T_i, R_j 모두가 같은 비율로 일부의 채널을 점유하는 송/수신기 제약 불완전매체 공유 시스템이다. 송/수신기 집합 T_i, R_j 사이에서 데이터 전송을 위해 사용되는 채널은 $C_{i,j}$ 이고 각 송/수신기 T_i, R_j 에서 점유될 수 있는 채널 집합의 교집합이다. 각 모델별 분할된 채널과 이를 점유하는 송/수신기 사이의 관계는 표 2에 나타나 있다.

5.1.2 유입되는 부하(traffic)

각 단말기에서 발생하는 부하의 형태는 2가지로 구분하였다. 첫 번째는 각 단말기에서 균일한 부하가 발생하는 모델을 가정하였다. 이 때 송/수신기에서 채널에 대한 제약은 앞서 제시된 3가지 형태로

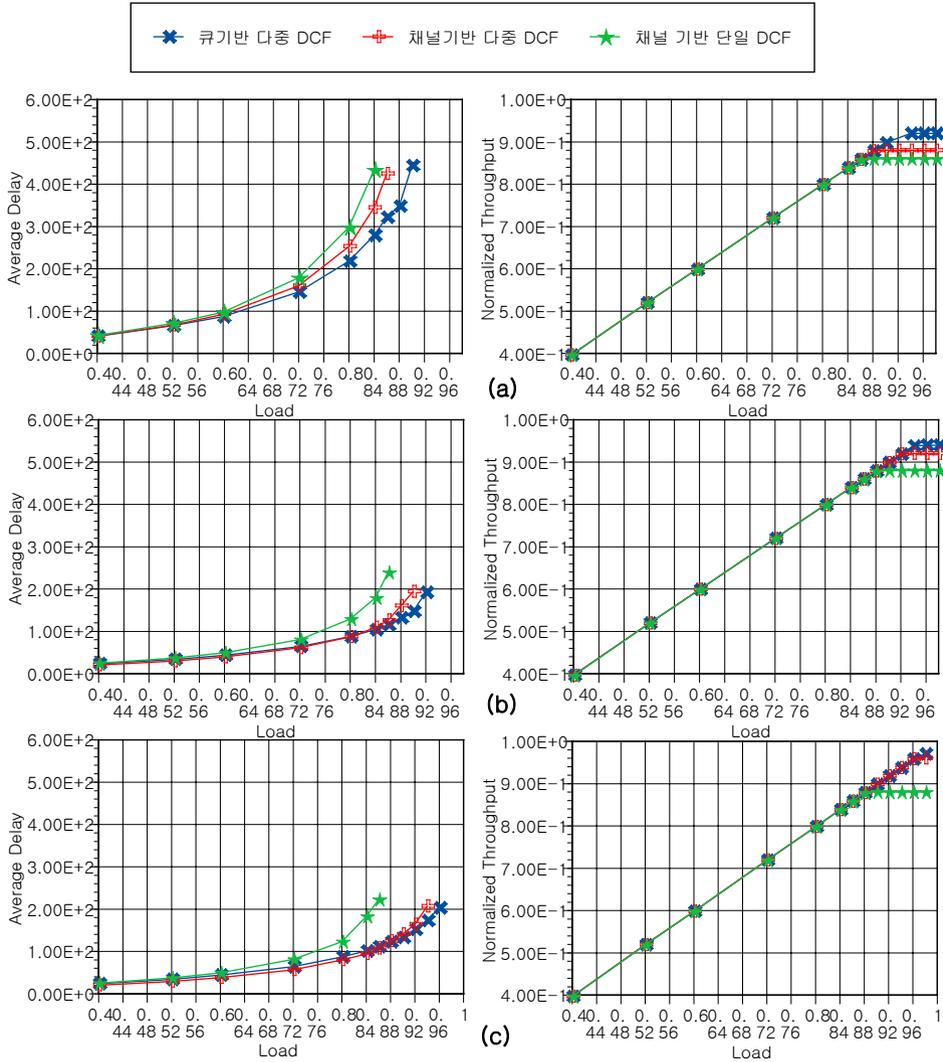


그림 11. (a) 송수신 제약 (b) 송신기 제약 (c) 수신기 제약 불완전매체공유 시스템 모델에 대한 평균 대기 지연시간과 최대전송률

표 3. 물리계층의 주요 변수

항목	값
Band Width	1Mbps
DIFS time	50usec
SIFS time	10usec
Slot time	10usec
CW _{min}	15
CW _{max}	1023

구분되어 모의실험이 수행되었다. 두 번째는 특정 단말기 집합에서 과부하가 발생하고 나머지 단말기들은 모두 균일한 부하가 발생하는 상황을 가정하였다. 공평성 정도를 측정하기 위한 실험이며 앞서

실험 모델 중 송/수신기 대해 제약이 존재하는 모델을 기반으로 모의실험이 수행 되었다. 하지만 송/수신기에서 공유되는 채널의 수는 앞 절에서 제시된 모델과는 차이점을 가진다. 그림 11처럼 각 송/수신기는 2개의 독립된 채널 집합을 사용하고 이웃하는 단말기 집합 사이에는 공통으로 공유하는 채널이 존재하는 상황을 가정하였다.

5.1.3 송수신 방식과 물리계층 매개 변수

통신망 내의 각 단말기들은 동시에 한 개의 이상의 프레임을 전송할 수 없고 한 개 이상의 프레임을 수신할 수 있다. 따라서 매체상의 충돌은 둘 이상의 송신기에서 동일한 채널을 사용할 때 발생

다. 매체접근제어에 사용된 물리계층의 주요 매개 변수들은 IEEE 802.11b의 표준에 근거하여 전송 속도, DIFS, IFS, 경쟁윈도우의 최대 값과 최소 값은 표 3에 나타내었다.

5.2 성능분석

5.2.1 제안된 매체접근제어기법의 복잡도

송/수신기 쌍에 대해 사용되는 채널이 제한된 경우 송신기 그룹 T_i 에 속하는 임의의 송신기에서 점유될 수 있는 채널 집합은 $\{C_{i,1}, C_{i,2}, C_{i,3}, C_{i,4}, C_{i,5}\}$ 이며, 해당 송신기에서 전송될 프레임으로 모두 점유될 수 있는 큐의 집합은 $\{q_{k,1}, q_{k,2}, \dots, q_{k,50}\}$ 이다. 여기서 $q_{k,j}$ (여기서 k, j 는 서로 같지 않으며 통신 망 내의 단말기들을 가리킨다)는 송신기 k 에서 수신기 j 로 전송이 이루어지는 프레임이 존재하는 큐를 나타낸다. 이때 채널기반 단일 DCF가 적용되는 매체 접근제어 기법에서는 항상 한 개의 backoff 계수기가 동작된다. 또한 채널기반 다중 DCF와 큐기반 다중 DCF모드로 동작되는 매체접근제어에 사용되는 backoff 계수기의 수는 각각 5, 49이다. 임의 송신기에서 자신을 제외한 모든 수신기로 정보전송이 이루어질 때 단말기 내부에 존재하는 큐의 개수가 49가 되므로 큐기반 다중 DCF모드로 동작될 때 backoff 계수기의 수는 최대 49가 된다. 송/수신기에서 사용되는 채널이 제한되는 상황에 따라 분류되는 불완전매체공유 시스템에서 제안된 매체접근제어 별로 동작되는 backoff 계수기의 최대 수는 표 4에 정리되었다. 따라서 backoff 계수기의 수로 연산 복잡도를 평가할 때 큐기반 다중 DCF가 가장 높은 복잡도를 갖는다. 하지만 부하가 낮은 경우 단말기 내에 전송 프레임으로 점유되지 않은 VOQ들이 존재할 가능성이 크다. 이때 동작되는 backoff 계수기의 수는 채널기반 다중 DCF와 같거나 큰 차이를 갖지 않는다. 특히 매체 상의 제약이 수신기에만 제약이 존재하는 경우 부하가 낮을 때 채널기반 다중 DCF로 동작되는 매체접근제어가 상대적으로 많은 backoff 계수기가 동작된다.

표 4. 동작되는 backoff 계수기의 수

	송신기 제약	수신기 제약	송/수신기 제약
단일 DCF	1	1	1
채널기반 다중 DCF	5	25	5
큐기반 다중 DCF	49	49	49

5.2.2 평균 대기지연시간과 최대 전송률

평균 대기지연시간은 단말기 내부의 VOQ에 전송 프레임이 생성되어서 성공적으로 전송이 이루어질 때까지 지연 시간들의 평균이다. 정규화된 통과율은 유입되는 프레임 속도를 시스템의 용량으로 나눈 비율로 나타내었다. 모의실험 결과는 그림 11과 같이 유입되는 부하와 평균 대기지연 시간과 정규화된 통과율에 대한 그래프로 표현하였다. 각 단말기에서는 균일한 부하가 발생하며 매체 점유 제약 조건이 송신기, 수신기, 송/수신기에 존재하는 불완전매체공유 시스템에 대해 모의실험이 수행되었다. 실험결과 채널기반 다중 DCF와 큐기반 다중 DCF로 동작되는 매체접근제어는 단일 DCF 방식이 적용될 때 보다 4% 이상의 전송 효율의 증가가 이루어졌다. 이러한 이유는 하나 이상의 backoff 계수기가 동작되는 경우 충돌이 발생하지 않은 다른 backoff 계수기가 존재하기 때문이다. 이들 backoff 계수기는 충돌에 의한 경쟁윈도우가 증가되지 않고 멈추었던 지연시간부터 감소가 이루어지기 때문에 추가적인 지연시간을 줄일 수 있게 된다.

표 4에서처럼 채널기반 다중 DCF방식과 큐기반 다중 DCF방식에서의 동작되는 backoff 계수기의 수는 다르다. 채널기반 다중 DCF에서는 가용 채널의 수에 따라 backoff 계수기의 수가 결정이 되며 큐기반 다중 DCF는 전송 프레임이 존재하는 VOQ의 수에 따라서 결정된다. 큐기반 다중 DCF에서 낮은 부하가 발생할 때는 동작되는 backoff 계수기의 수가 크지 않지만 부하가 증가할수록 그 개수는 증가한다. 개별 큐에 모두 전송될 프레임이 존재하면 그림 12처럼 채널기반 다중 DCF방식보다 큐기반 다중 DCF방식이 적용될 때 backoff 계수기의 수가 많다. 동작되는 backoff 계수기가 많으면 전송을 위한 지연시간이 줄어들게 된다. 즉, 같은 경쟁윈도우의 크기를 가질 때 생성된 backoff 계수기에

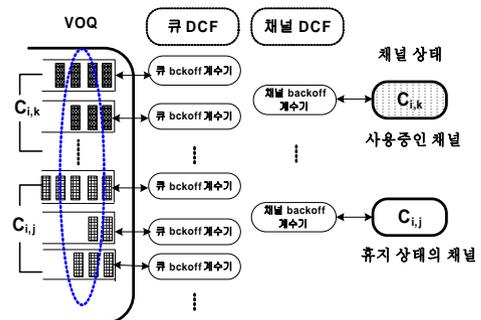


그림 12. 큐와 채널에 대한 backoff 계수기

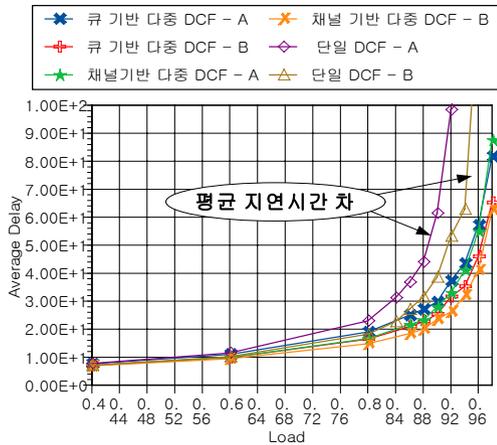


그림 13. 불균한 부하가 발생한 상황에서의 평균 지연시간

서 사용되는 임의의 지연시간들은 주어진 구간 $[0, CW-1]$ 에서 균일한 분포를 가지는 수도랜덤 정수들이므로 많은 수의 backoff 계수기가 동작되면 짧은 지연시간이 선택될 확률이 증가한다. 또한, 전송이 실패할 때마다 상대적으로 많은 수의 backoff 계수기가 동작되는 큐기반 다중 DCF방식이 적용될 때 상대적으로 경쟁원도수가 증가하지 않는 backoff 계수기들이 많이 존재한다. 따라서 송신기에서는 상대적으로 작은 지연시간을 겪는 backoff 계수기가 선택될 확률이 크므로 전송을 위한 지연시간이 줄어들어 평균 대기지연시간과 통과율 측면에서 이득이 발생한다.

한편 표 4에서 수신기에서 사용되는 채널에만 제약이 존재하는 불완전매체공유 시스템의 경우 채널기반 다중 DCF와 큐기반 다중 DCF 방식은 동작되는 backoff 계수기의 수의 차이는 있다. 하지만 그림 11의 (c)에서 수신기 제약 불완전매체공유 시스템에 대해 지연시간과 전송효율은 비슷한 성능을 보인다. 이러한 사실은 채널기반 다중 DCF방식에서도 일정 수 이상의 backoff 계수기의 수가 동작되면 큐기반 다중 DCF방식과 비슷한 성능을 보임을 실험 결과로부터 알 수 있다.

5.2.3 공평성(fairness)

공평성 분석을 위해 그림 10과 같이 특정 송신기 그룹 T_i 에서 0.98의 부하를 발생시키고 나머지 단말기는 부하를 0.4에서부터 0.98까지 증가시키면서 단말기 그룹 T_{i+1}, T_{i+2} 에서 겪는 평균 지연시간을 도출하였다. 그림 13에서 A, B는 각각 T_{i+1}, T_{i+2} 의 평균 지연시간을 나타낸다. T_{i+1} 에서는 T_i 의 부하 때문에 다른 단말기에서 보다 상대적으로 많은

충돌이 발생한다. 단일 채널기반 매체접근제어의 경우 이러한 충돌 때문에 두 단말기 그룹 T_{i+1}, T_{i+2} 에서 평균 지연시간의 차이가 그림13에서 나타나지만 다중 DCF가 동작되는 매체접근제어 방식에서는 평균 지연시간이 큰 차이가 발생하지 않는다. 이는 앞 장에서 단일 DCF와 다중 DCF모드로 동작될 때 성능차이를 보이는 것과 같은 원리이다. 즉, 다중 DCF모드로 동작하는 경우 충돌이 발생할 때 경쟁 원도수가 증가하지 않는 backoff 계수기가 존재할 확률이 크기 때문에 상대적으로 두 단말기 그룹에서의 지연시간의 차이가 크게 나타나지 않는다. 따라서 불균일한 부하가 발생했을 때, 상대적으로 다른 단말기보다 많은 지연시간을 겪는 단말기가 존재하는 현상을 억제하기 위해서는 다중 DCF모드로 동작되는 매체접근제어기법을 사용해야한다.

VI. 결론

현재까지 개발되거나 운용 중인 많은 매체공유시스템의 매체접근제어기법에서는 동일 채널군을 다수의 단말기가 공유하는 시스템을 대상으로 연구되었다. 하지만 광부호분할다중접속 네트워크와 같이 단말기의 소형화, 저 전력화, 저가격화와 같은 다양한 원인으로 인해 불완전매체공유 시스템으로 파생될 가능성이 크며 이를 위한 매체접근제어기법은 채널군 점유의 제약조건을 추가적으로 고려되어야한다.

본 논문에서는 불완전매체공유 시스템을 수학적 모델로 표현하고 채널 점유 제약 조건을 반영한 CSMA/CA기반 매체접근제어기법을 제안하였다. 제안된 매체접근제어기법은 backoff 계수기를 채널 또는 큐에 대하여 개별적/집합적으로 적용하는 방식이며 큐에 대해 개별적으로 backoff 계수기가 동작할 때 대기 지연시간과 전송률 측면에서 상대적으로 우월한 성능을 나타내었다. 또한 다중 DCF모드로 동작하는 매체접근제어기법은 불균일한 트래픽이 발생했을 때 상대적으로 충돌로 인해 증가된 지연시간을 겪는 단말기가 발생하는 현상이 억제된다는 사실이 모의실험을 통해 도출되었다. 동작되는 backoff 계수기의 수를 기준으로 복잡도를 평가할 때 큐기반 다중 DCF, 채널기반 다중 DCF, 채널기반 단일 DCF의 순서로 높은 연산 복잡도를 나타내었다. 따라서 제안된 매체접근제어기법들에는 성능과 복잡도의 trade-off관계가 존재하고 채널기반 다중 DCF방식이 trade-off관계에 있어서 우위에 있음을 모의실험결과로 도출 되었다.

참 고 문 헌

[1] J. A. Salehi, "Emerging optical code-division multiple access communication systems," *IEEE Network*, Vol. 3, pp. 31-39, March 1989.

[2] J. Sha, "Optical CDMA," *Optics & Photonics News*, vol. 14, no. 4, pp. 42-47, April 2003.

[3] K. Kitayama, "Code Division Multiplexing Lightwave Networks Based upon Optical Code Conversion," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 7, pp. 1309-1319, Sept. 1998.

[4] J. A. Salehi and C. A. Brackett, "Code Division Multiple-Access Techniques in Optical Fiber Networks - Part II: Systems Performance Analysis," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 37, no. 8, pp. 834-842, Aug. 1989.

[5] J. A. Salehi, "Code division multiple access technique in optical fiber networks-Part I: Fundamental principles," *IEEE Transaction on Communications*, Vol. 3, pp. 824-833, Aug. 1989.

[6] 이우성, 최진우, 신동준, "광부호분할다중접속 네트워크에서의 매체접근제어와 부호관리체계에 대한 연구", *한국통신학회 하계 종합학술 발표대회논문 모음집*, 2004년, 7월.

[7] Leon-Garcia, A, "Communication networks", *Mac Graw Hill*.

[8] N. McKeown, "The iSLIP scheduling algorithm for input-queued switches," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 7, No.2, pp. 188-201.

[9] Adisak Mekkitikul and Nick McKeown, "A Practical Scheduling Algorithm to Achieve 100% Throughput in Input-Queued Switches," *IEEE INFOCOM 98*, San Francisco, April 1998. McKeown.

[10] 김건수, 김범준, 박중신, 이재용 "IEEE 802.11e MAC의 성능향상을 위한 적응형 EDCF", *한국통신학회 논문지*, 2005년 1월, Vol. 30, No. 1A.

[11] 임희선, 박승권, "Wireless Ad-hoc 망의 DCF 환경에서 Fairness 구현을 위한 효과적인 MAC 프로토콜", *한국통신학회 논문지*, 2004년 8월, Vol. 29, No. 8A.

[12] Younggoo Kwon, Yuguang Fang, and Haniph Latchman, "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs," in *Proc. IEEE INFOCOM'03*, San Francisco, U.S.A., April.

[13] Haitao Wu, Yong Peng, Keping Long, Shiduan Cheng, Jian Ma, "Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN: Analysis and Enhancement" in *Proc. IEEE INFOCOM'02*, New York, U.S.A., June 2002.

이 병 석 (Byoungseok Lee)

준회원



2002년 8월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업
2006년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
<관심분야> MAC protocol, Optical cdma, Cellular systems

전 병 옥 (Byoungwook Jeon)

준회원



2005년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업
2005년 3월~현재 서강대학교 전자 공학과 석사과정
<관심분야> OFDMA systems, RRM, Scheduling

최 진 우 (Jinwoo Choe)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계측 공학과 학사
1992년 2월 서울대학교 제어계측 공학과 석사
1998년 12월 Purdue University 전기컴퓨터 공학과 박사
2001년 1월 University of Toronto

전기컴퓨터공학과 조교수
2001년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 부교수
<관심분야> 통신망 설계 및 성능해석, 광통신망, Scheduling, 4G networks