

지향성 브로드캐스트를 위한 무선 LAN MAC 프로토콜

(An Enhanced WLAN MAC Protocol for Directional Broadcast)

차 우 석 [†] 조 기 환 ^{**}
(Woosuk Cha) (Gihwan Cho)

요약 무선 네트워크의 물리계층에서 이용하는 무선 전송매체는 전송 범위내의 모든 이웃 노드들이 동시에 전송 신호를 수신할 수 있는 브로드캐스트 전파 특성을 갖는다. 기존의 비동기 무선 MAC 프로토콜들은 신뢰성 있는 브로드캐스트에 대한 구체적인 해결 방안을 고려하지 않고 있다. 무지향성 브로드캐스트가 과도한 채널 경쟁과 충돌을 발생시켜 네트워크의 성능 저하를 야기하기 때문이다. 본 논문에서는 링크계층에서 지향성 안테나를 이용하여 지향성 브로드캐스트를 지원하는 MDB(MAC protocol for Directional Broadcast) 프로토콜을 제안한다. MDB 프로토콜은 DAST(Directional Antennas Statement Table) 정보와 4-way 핸드셰이크에 의한 D-MACA(Directional Multiple Access Collision Avoidance) 구조를 기반으로 Hidden Terminal 문제와 Deafness 문제를 해결한다. 성능 평가를 위해 MDB 프로토콜과 기존의 IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) 프로토콜[9]와 참고문헌 [3]의 프로토콜 2를 비교대상으로 브로드캐스트로 인한 충돌 발생률과 브로드캐스트 완료율 관점에서 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과는 네트워크 밀도가 높을수록 MDB 프로토콜이 기존의 프로토콜보다 높은 브로드캐스트 완료율과 낮은 충돌 발생률을 보였다.

키워드 : 지향성 안테나, 브로드캐스트, MAC 프로토콜

Abstract The wireless transmission medium inherently broadcasts a signal to all neighbor nodes in the transmission range. Existing asynchronous MAC protocols do not provide a concrete solution for reliable broadcast in link layer. This mainly comes from that an omni-directional broadcasting causes to reduce the network performance due to the explosive collisions and contentions. This paper proposes a reliable broadcast protocol in link layer based on directional antennas, named MDB(MAC protocol for Directional Broadcasting). This protocol makes use of DAST(Directional Antennas Statement Table) information and D-MACA(Directional Multiple Access and Collision Avoidance) scheme through 4-way handshake to resolve the many collision problem with omni-directional antenna. To analyze its performance, MDB protocol is compared with IEEE 802.11 DCF protocol [9] and the protocol 2 of reference [3], in terms of the success rate of broadcast and the collision rate. As a result of performance analysis through simulation, it was confirmed that the collision rate of the MDB protocol is lower than those of IEEE 802.11 and the protocol 2 of reference [3], and that the completion rate of broadcast of MDB protocol is higher than those of IEEE 802.11 and the protocol 2 of reference [3].

Key words : Directional Antennas, Broadcast, MAC protocol

1. 서론

브로드캐스트는 하나의 송신노드에서 이웃하는 모든 노드들에게 데이터를 전달하는 기법으로, 무선 네트워크에서 라우팅에 직접적으로 이용될 수 있는 가장 고전적

인 기법의 하나이다. 일반적으로 요구 기반(On demand) 방식으로 경로를 설정하는 Ad Hoc 네트워크에서 목적지까지의 가능한 경로를 찾기 위한 제어메시지를 전달하는 데 브로드캐스트가 이용된다. 예를 들어, DSR(Dynamic Source Routing), AODV(Ad Hoc On Demand Distance), ZRP(Zone Routing Protocol), and LAR(Location Aided Routing) 프로토콜들은 송신 노드에서 목적 노드까지의 라우팅 경로를 결정하기 위해서 브로드캐스트를 이용한다[1].

[†] 학생회원 : 전북대학교 컴퓨터통계정보학과
wscha@chonbuk.ac.kr

^{**} 종신회원 : 전북대학교 전자정보공학부 교수
ghcho@dcs.chonbuk.ac.kr

논문접수 : 2005년 5월 16일

심사완료 : 2005년 11월 14일

Ad hoc 네트워크나 센서 네트워크의 일반적인 전제 조건은 이동 노드들이 하나의 무선 채널을 공유하고, 브로드캐스트를 스케줄하기 위해 요구되는 네트워크의 위상 정보가 가용하지 않다는 것이다. 이런 구조의 네트워크에서 네트워크 레벨의 브로드캐스트를 지원하기 위해 기본적으로 플러딩(flooding)이 이용된다. 그러나 데이터를 무작위로 플러딩하면 중복 전송과 채널 경쟁 그리고 충돌 문제가 발생한다. 이러한 플러딩과 관련된 문제를 "Broadcast storm problem"이라 한다[2].

무선 네트워크의 물리 계층에서 이용하는 무선전송매체는 전송범위 내의 모든 노드들이 동시에 전송 시그널을 수신할 수 있는 전파 특성을 갖는다. 이러한 무선전송매체의 전파 특성은 유니캐스트나 멀티캐스트보다는 분명히 브로드캐스트에 적합하다. 그러나 기존의 무선 MAC 프로토콜들은 신뢰성 있는 브로드캐스트에 대해서는 거의 고려하지 않고 있다. 링크 계층에서의 브로드캐스트가 많은 경쟁과 충돌을 야기하기 때문에 전체 시스템의 성능 저하와 많은 자원 낭비를 유발할 수 있기 때문이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 지향성 안테나를 이용하는 많은 MAC 프로토콜들이 제안되고 있다. 그러나 현재까지 제안된 대부분의 MAC 프로토콜이 일대일의 유니캐스트만을 고려하고 있으며, 링크계층에서 일대다의 브로드캐스트에 대한 구체적인 연구는 진행되지 않고 있다.

본 논문에서는 링크계층에서 지향성 안테나를 이용하여 신뢰성 있는 지향성 브로드캐스트를 지원하는 MDB(MAC protocol for Directional Broadcast) 프로토콜을 제안한다. MDB 프로토콜은 DAST(Directional Antennas Statement Table) 정보와 RTDB(Request To Directional Broadcast), CTDB(Clear To Directional Broadcast), DDATA(Directional DATA), DACK (Directional ACK)의 4-way 핸드셰이크에 의한 D-MACA(Directional Multiple Access Collision Avoidance) 구조를 기반으로 Hidden Terminal 문제와 Deafness 문제를 해결한다.

논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 논문의 2장에서는 무선 네트워크에서의 MAC 프로토콜과 지향성 안테나를 이용하는 기존 연구들에 대해서 기술한다. 3장에서는 지향성 브로드캐스트를 지원하기 위해 MDB 프로토콜에서 정의하는 안테나 모델과 제어 프레임 구조 및 DAST 구조에 대해서 정리하였다. 4장은 MDB 프로토콜의 4-way 핸드셰이크 과정에 대해서 기술하고, 5장은 MDB 프로토콜에서 발생 가능한 Hidden terminal 및 Deafness 문제와 제어 프레임의 동시 전송으로 인한 충돌 문제에 대해서 정리하고, 해결과정을 기술한다. 6장은 시뮬레이션을 통한 MDB 프로토콜의 성능분석 결

과를 기술하고, 7장에서 결론을 맺고 있다.

2. 관련연구

기존에 제안된 대부분의 MAC 프로토콜은 무지향성 안테나의 이용을 전제로 하고 있다. 무지향성 안테나의 360° 전 방향 전송 특성은 불필요한 간섭과 전력의 360° 전 방향 분산으로 인한 전송 범위의 축소 등과 같은 네트워크 성능의 제약을 유발한다. 이러한 무지향성 안테나의 제약사항을 완화하기 위해 지향성 안테나를 이용한 접근방법이 대안으로 인식되고 있다. 지향성 안테나는 목적지 노드가 위치한 방향으로 안테나 빔을 집중함으로써 공간 재사용과 전송 범위의 확대 등의 이점을 얻는다. 현재 지향성 안테나를 무선 네트워크에 이용하는 연구는 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫째는 링크계층에서의 경쟁과 충돌을 완화하기 위해 지향성 안테나를 이용하는 연구이고[3-6], 둘째는 네트워크 계층에서 라우팅 프로토콜의 성능 향상을 위해 지향성 안테나를 이용하는 연구이다[7,8].

참고문헌 [3]의 MAC 프로토콜은 지향성 안테나와 DS(Direction Search), DI(Direction Information), NACK(Negative ACK) 시그널을 이용하여 데이터 패킷의 재전송을 통한 브로드캐스트를 지원하고 있다. 송신 노드는 이웃 노드와 DS 및 DI 시그널을 상호 교환하여 이웃 노드들의 방향 정보를 획득하고, 해당 이웃 노드들에게 데이터를 브로드캐스트한다. 이웃 노드들은 브로드캐스트 데이터를 수신하지 못하면, 송신 노드에게 NACK 시그널을 전송한다. 송신 노드가 NACK 시그널을 수신하면, 데이터 브로드캐스트가 실패했다는 것을 인지하고, 데이터를 재브로드캐스트한다. 재브로드캐스트는 NACK 시그널을 수신하지 않거나 재전송 한도를 초과할 때까지 수행된다. 그러나 이 MAC 프로토콜은 충돌 회피를 지원하지 않고 있다. 따라서 충돌 때문에 빈번한 재브로드캐스트가 발생할 수 있으며, 이로 인한 많은 불필요한 중복 트래픽이 발생할 수 있다.

참고문헌 [4]에서 송신 노드와 수신 노드는 상대방의 위치를 식별하기 위해 지향성 안테나를 이용하여 RTS와 CTS 메시지를 상호 교환하고, 데이터 패킷은 상대 노드를 지향하는 안테나를 이용하여 전송하는 방법론을 제안하고 있다. 참고문헌 [5]는 지향성 안테나를 이용하는 DVCS(Directional Virtual Carrier Sensing) 메커니즘을 제안하고 있다. DVCS는 경쟁 기반 MAC 프로토콜들이 지향성 안테나를 효율적으로 이용할 수 있는 메커니즘과 무지향성 안테나와 지향성 안테나의 호환성을 제공한다. 참고문헌 [6]은 DMAC(Directional MAC) 프로토콜과 MMAC(Multi-Hop RTS MAC) 프로토콜을 제안하고 있다. DMAC 프로토콜은 IEEE 802.11 프

로토콜과 유사하게 동작하며, 지향성 안테나를 이용하여 높은 공간 재사용 가능성을 제공한다. MMAC 프로토콜은 지향성 안테나의 확장된 전송 범위를 이용하여 멀리 떨어져있는 노드들이 직접 통신할 수 있는 기능을 제공한다. [4-6]의 프로토콜들은 지향성 안테나의 이점을 이용하여 유니캐스트 전송의 효율성을 향상시키는 방안에 대해서 제안하고 있으나, 브로드캐스트에 대한 구체적인 해결책은 제시하지 않고 있다.

참고문헌 [7]은 Ad hoc 네트워크에서 요구 기반 라우팅 프로토콜의 효율성을 향상시키기 위해 지향성 안테나를 이용하는 프로토콜을 제안하고 있다. 제안된 프로토콜은 경로탐색과정 동안 전송되는 라우팅 패킷의 수를 줄이기 위해 지향성 안테나를 이용하여 질의 패킷의 플러딩 영역을 제한하고 있다. 참고문헌 [8]은 지향성 안테나를 통한 채널 예약 기법에 대해서 기술하고, 이를 라우팅 프로토콜에 적용할 경우 라우팅 성능에 대해서 기술하고 있다. 참조문헌 [7,8]은 Ad Hoc 네트워크에서 라우팅 효율성을 지향성 안테나를 이용하여 향상시킬 수 있다는 것을 보여주었다. 그러나 이들 연구는 링크 계층에서 지향성 안테나를 이용한 유니캐스트 기능을 기반으로 하고 있으며, 브로드캐스트에 대한 구체적인 내용은 고려하지 않고 있다.

IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordinate Function) 프로토콜[9]은 무선 네트워크에서 가장 보편화된 MAC 프로토콜로서 RTS(Request-To-Send)와 CTS(Clear-To-Send) 메시지의 상호교환을 이용하여 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 기반의 유니캐스트를 지원한다. 그러나 IEEE 802.11 프로토콜은 일대다의 통신, 즉 브로드캐스트에 대한 구체적인 해결 방안은 제시하지 않고 있다.

IEEE 802.11 프로토콜과 같은 유니캐스트 프로토콜을 이용하여 각각의 데이터 복제본을 모든 이웃 노드들에게 유니캐스트하여 브로드캐스트를 지원하는 것이 가능하다. 그러나 현재 MAC 프로토콜은 이웃 노드 정보와

같은 링크 상태 정보를 유지하지 않는다. 따라서 링크 상태 정보를 획득하고 유지하기 위한 추가적인 프로토콜을 필요로 한다. 결과적으로, 유니캐스트를 기반으로 브로드캐스트를 지원하는 프로토콜은 두개의 개별적인 프로토콜 즉, 링크 상태 정보를 유지하는 프로토콜과 이 정보를 이용하여 데이터를 전송하는 유니캐스트 프로토콜로 구성된다. 이러한 접근 방법은 이웃 노드의 수가 증가할수록 브로드캐스트를 완료하는 데 소요되는 시간이 증가하는 단점을 갖는다[10].

3. MDB 프로토콜의 기본 조건

MDB 프로토콜에 적용되는 안테나 모델과 새로운 제어 프레임의 구조 및 DAST 구조에 대해서 기술한다.

3.1 안테나 모델

본문에서 사용하는 무선 네트워크는 모든 노드들이 하나의 무선 채널을 공유하고, 동일한 전송 범위를 갖으며, 각 노드는 4개의 안테나 요소(antenna element)로 구성된 하나의 지향성 안테나와 하나의 송수신기를 갖는다고 가정한다. 그림 1의 (a)와 같이 지향성 안테나의 각 안테나 요소는 4 방향에 해당하는 식별번호가 부여된다. 각 안테나 요소는 90° 단위의 빔 폭과 원뿔형의 전송 패턴을 갖으며, 빔 폭이 중첩되지 않도록 고정하여 360° 전 방향을 지향한다.

그림 1의 (b)와 (c)처럼 지향성 안테나는 무지향성 수신 모드와 지향성 송수신 모드로 동작한다. 무지향성 수신 모드는 #1, #2, #3, #4 안테나가 지향하는 360° 전 방향으로 전파되는 신호를 수신할 수는 있지만 송신은 할 수 없는 상태 모드이다. 지향성 송수신 모드는 현재 활성화된 안테나가 지향하는 방향으로 신호를 송·수신할 수 있는 상태 모드를 가리킨다. 부가적으로 무지향성 수신 모드와 지향성 송수신 모드의 안테나 전송 범위는 동일하다고 가정한다. 그림 1의 (d)는 노드 A의 1/4 방향과 노드 B의 3/4 방향으로 데이터를 송수신하는 지향성 브로드캐스트의 예를 보이고 있다.

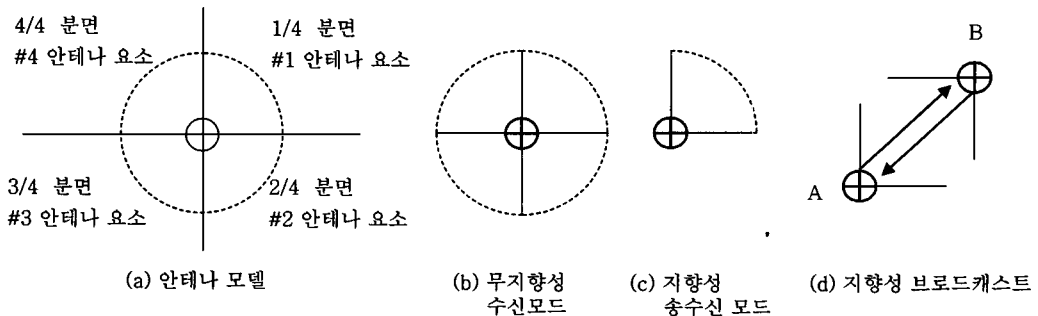


그림 1 안테나 모델

3.2 제어 프레임 구조

그림 2는 IEEE 802.11 프로토콜과 MDB 프로토콜에서 이용하는 제어 프레임의 전체 구조를 도식하고 있다. MDB 프로토콜의 제어 프레임은 IEEE 802.11 프로토콜의 제어 프레임에 *Direction* 필드와 *MaxSlot* 필드를 추가하여 구성하였다. 다른 필드들은 기존의 IEEE 802.11 프로토콜과 동일한 기능을 갖는다.

Direction 필드는 프레임이 전송되는 안테나 요소 번호 즉, 프레임의 전송 방향을 나타낸다. *MaxSlot* 필드는 RTDB 혹은 DDATA를 수신한 노드들이 CTDB 혹은 DACK 프레임을 전송하기 전에 대기하는 최대 슬롯 수를 나타낸다. 송신 노드만이 *MaxSlot* 값을 계산하고, 수정할 수 있으며, RTDB와 DDATA 프레임의 *MaxSlot* 필드에 삽입할 수 있다. RTDB 혹은 DDATA 프레임을 수신한 노드들은 단순히 RTDB와 DDATA에 포함된 *MaxSlot* 필드를 이용하여 *aCTDBDelayTime*과 *aDACKDelayTime*을 계산한다. *aCTDBDelayTime*과 *aDACKDelayTime*은 다수의 CTDB 혹은 DACK 프레임들이 동시에 전송될 때 발생할 수 있는 충돌을 회피하기 위해 RTDB 혹은 DDATA를 수신한 노드들이 CTDB 혹은 DACK 프레임을 전송하기 전에 대기하는 지연시간을 나타낸다. *MaxSlot* 및 *aCTDBDelayTime*과 *aDACKDelayTime*은 다음과 같이 산출한다.

- $MaxSlot = Count^n$
- Count : DAST의 Count 필드
- $n : n \geq 2$, n 의 초기값은 2이고, 송신 노드가 제어 프레임의 충돌을 감지하면 1씩 증가한다. DATA 브로드캐스트가 완료되면, 송신 노드는 n

을 다시 초기값 2로 초기화한다.

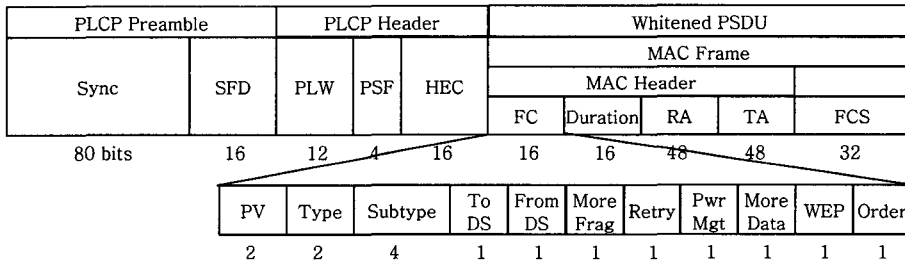
- $aCTDBDelayTime$ & $aDACKDelayTime : aRandomValue \times aSlotTime$
- $aRandomValue : [0 - MaxSlot]$ 사이에서 임의로 선택한 값
- $aSlotTime :$ 프레임을 한번 브로드캐스트하기 위해 소요되는 슬롯 시간

3.3 DAST(Directional Antennas Statement Table) 구조

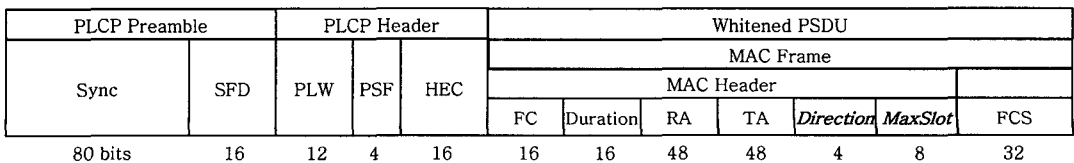
NAV(Network Allocation Vector)는 IEEE 802.11 프로토콜에서 가상 캐리어 센싱(virtual Carrier Sensing)을 위해 이용하는 상태 변수이다. NAV의 값은 RTS, CTS 제어 프레임의 Duration 필드에 포함된 값으로 갱신된다[9]. NAV는 다른 이웃 노드가 DATA를 전송중일 때, 간섭을 회피하기 위해 대기하는 DATA 전송 지연시간을 나타낸다. DAST는 NAV와 유사한 역할을 하지만, 지향성 브로드캐스트를 지원하기 위해 보다 복잡한 구조와 추가적인 기능을 갖는다. 표 1은 그림 3의 예에 따른 노드 A의 DAST 구조를 보이고 있다. DAST는 4개의 엔트리로 구성되며, 각 엔트리는 #1, #2, #3, #4 안테나를 나타낸다. 각 필드의 의미는 다음과 같다.

- D(Direction) : 90° 단위로 각 안테나가 지향하는 방향
- SD(the State of Direction) : 각 안테나의 현재 상태
- Count(the number of neighbor node) : 전송범위 내에 위치해 있는 이웃 노드 수

이 필드는 RTDB와 DDATA의 *MaxSlot* 필드 값을 산출하는데 이용된다. Count 필드는 4-way 핸드셰이크 과정에 따른 제어 프레임의 상호교환에 의해서 동적으로 갱신되기 때문에 한 홉 거리의 현재 네트워크 상태



(a) IEEE 802.11의 제어 프레임 구조



(b) MDB의 제어 프레임 구조

그림 2 제어 프레임 구조

표 1 DAST 구조

D	SD	Count	aReceivedCTDB	SN	aTotalCTDBTimeout	aTotalDACKTimeout
1/4	passive	3	No	무지향성 수신모드	0	0
2/4	passive	2				
3/4	passive	2				
4/4	passive	3				

를 나타내는 최근의 값을 유지한다. 그러나 노드에 전원이 들어오고 처음으로 RTDB를 생성할 때, *MaxSlot*를 산출하기 위한 Count 필드의 초기값이 필요하며, 초기 Count 필드는 현재 네트워크 상태와는 무관한 기본값이 할당된다. 802.11 프로토콜은 무작위 백오프 지연시간(Random Backoff Time)을 산출하기 위해 [7-255] 사이의 CW(Contention Window) 값을 이용하며, CW의 초기값으로 7을 적용하고 있다[9]. 제안하는 MDB 프로토콜은 802.11 프로토콜과 유사하게 기본값으로 7을 적용하고, 4 방향의 초기 Count 필드 값으로 상한값 [7/4]을 적용한다. 즉, 노드가 처음으로 전송하는 RTDB의 *MaxSlot* 필드는 $4(\text{Count}^n = 2^2)$ 의 값을 갖는다. 처음 RTDB의 전송 이후에 Count 필드는 RTDB의 응답으로 수신한 CTDB들의 수로 갱신되며, 현재 네트워크 위상에 따른 이웃 노드들의 수를 나타낸다.

- aReceivedCTDB : 이웃 노드로부터 CTDB의 수신 상태를 표현
 - SN(the State of Node) : 노드의 현재 운용 모드 (무지향성 수신모드 혹은 지향성 송수신 모드)
 - aTotalCTDBTimeout : 송신 노드가 RTDB를 브로드캐스트한 후에 이웃 노드들로부터 CTDB를 수신하기 위해 대기하는 최대 지연시간
 - aTotalDACKTimeout : 송신 노드가 DDATA를 브로드캐스트한 후에 이웃 노드들로부터 DACK를 수신하기 위해 대기하는 최대 지연시간
- aTotalCTDBTimeout과 aTotalDACKTimeout 값은 다음과 같이 산출한다.

- aTotalCTDBTimeout : $\text{MaxSlot} \times \text{aSlotTime}$
- aTotalDACKTimeout : $\text{MaxSlot} \times \text{aSlotTime}$

4. MDB 프로토콜의 4-way 핸드셰이크

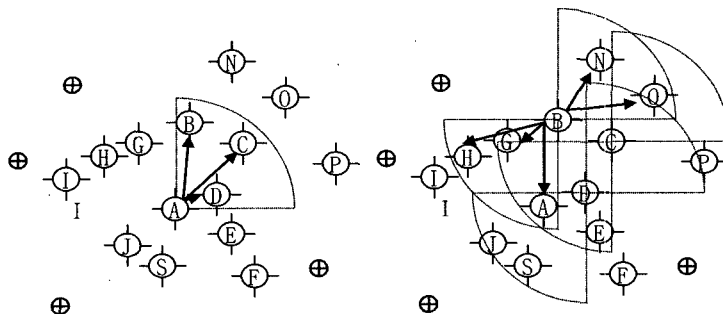
이번 절은 MDB 프로토콜에서 지향성 안테나를 이용하여 RTDB, CTDB, DDATA, DACK를 상호 교환하는 4-way 핸드셰이크 과정을 통하여 D-MACA 구조를 제공한다. MDB 프로토콜은 RTDB와 CTDB의 상호 교환을 통해서 브로드캐스트하는 방향의 채널을 미리 예약하여 충돌을 회피하고, 송신 노드는 수신하는 CTDB의 수와 DACK의 수를 비교하여 DDATA의 브로드캐스트 성공 여부를 판단하기 때문에 데이터의 신뢰성 있는 브로드캐스트를 보장할 수 있다.

4.1 RTDB 브로드캐스트

그림 3의 예에서 노드 A가 데이터를 1/4 방향으로 브로드캐스트한다고 가정하자.

A는 *Direction* 필드에 RTDB를 전송할 활성화된 #1 안테나 번호를 삽입하고, *MaxSlot* 필드에 9 ($\text{Count}^n = 3^2$)를 삽입하여 RTDB를 생성한다. 또한, A는 RTDB의 전송 여부를 결정하기 위해 DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드를 검사한다. aReceivedCTDB 필드가 No이면, A는 #1 안테나를 이용하여 RTDB를 전송하고, Yes이면 aReceivedCTDB 필드가 No가 될 때까지 대기한다.

A는 #1 안테나를 이용하여 RTDB를 브로드캐스트한 후에, DAST 테이블을 표 2와 같이 갱신한다. 이어서



(a) RTDB 브로드캐스트

(b) CTDB 브로드캐스트

그림 3 4-way 핸드셰이크 과정 : RTDB - CTDB 교환

표 2 RTDB 브로드캐스트 후 A의 DAST

D	SD	Count	aReceivedCTDB	SN	aTotalCTDBTimeout	aTotalDACKTimeout
1/4	<i>active</i>	3	No	지향성 송수신모드	$MaxSlot \times aSlotTime$	0
2/4	<i>passive</i>	2				
3/4	<i>passive</i>	2				
4/4	<i>passive</i>	3				

A는 타이머를 aTotalCTDBTimeout 필드의 값으로 설정하고, 타이머가 종료할 때까지 대기하면서 계속해서 CTDB를 수신한다.

4.2 CTDB 브로드캐스트

그림 3의 (b)와 같이 A의 1/4 방향에 위치해 있는 이웃 노드 B, C, D는 무지향성 수신 모드 상태에서 A가 브로드캐스트한 RTDB를 동시에 수신하고, RTDB에 대한 응답으로 CTDB를 생성하여 RTDB를 수신한 방향(3/4 방향)과 반대 방향(1/4 방향)으로 동일한 CTDB를 브로드캐스트한다. 다수의 CTDB가 동시에 전송될 때 발생하는 충돌문제를 완화하기 위해 각각의 B, C, D 노드는 RTDB에 포함된 MaxSlot 필드를 이용하여 aCTDBDelayTime을 산출한다. B, C, D는 타이머를 각 노드가 산출한 aCTDBDelayTime으로 설정한 후에 타이머가 종료할 때까지 대기한다. 타이머가 종료하면 각 노드는 #1과 #3 안테나를 이용하여 CTDB를 1/4 방향과 3/4 방향으로 브로드캐스트한다. 또한 자신의 DAST 테이블에서 SD 필드의 3/4 방향 엔트리는 active로, 나머지 1/4, 2/4, 4/4 방향 엔트리는 passive로 변경하고, SN 필드는 지향성 송수신 모드로 변경한다.

B, C, D의 1/4 방향과 3/4 방향에 위치해 있는 모든 이웃 노드들은 CTDB를 수신한다. 그림 3과 같이 이웃 노드 N, O, H, G는 B의 CTDB를, O와 E는 C의 CTDB를, J와 S는 D의 CTDB를 각각 수신한다. N, O, H, G, E, J, S는 CTDB를 수신하면, Hidden terminal 문제와 Deafness 문제를 회피하기 위해 DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드를 Yes로 갱신하고, DACK를

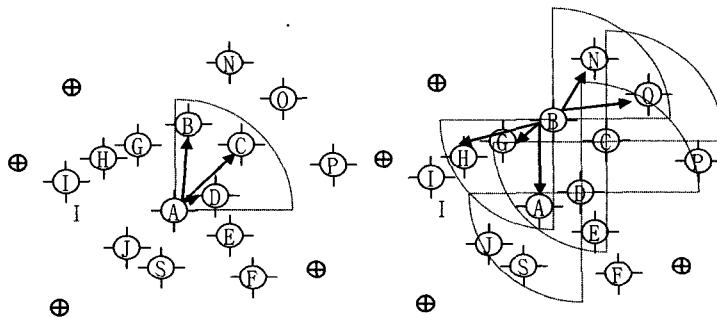
수신할 때까지 대기한다. 이후에 N, O, H, G, E, J, S가 DACK를 수신하면, aReceivedCTDB 필드를 No로 갱신한다.

4.3 DDATA 브로드캐스트

RTDB를 브로드캐스트한 이후에 A는 aTotalCTDBTimeout을 산출하고, 이 기간 동안 B, C, D가 브로드캐스트하는 CTDB를 수신하면서 대기한다. aTotalCTDBTimeout 기간이 종료한 후에 A는 DAST 테이블에서 #1 안테나의 Count 필드를 aTotalCTDBTimeout 기간 동안에 수신한 CTDB의 수로 갱신한다. 결국 DAST 테이블에서 #1의 Count 필드는 1/4 방향에 위치해 있는 이웃 노드들의 수를 나타낸다.

A는 aTotalCTDBTimeout 기간 동안 물리적인 캐리어 센싱을 수행하여, CTDB의 충돌을 감지한다. 만약 충돌이 발생하면, A는 MaxSlot 값을 늘리기 위해 n의 값을 1 증가시키고, 4-way 핸드셰이크 과정을 다시 초기화한다. CTDB의 충돌없이 aTotalCTDBTimeout 기간이 종료하면, A는 DAST 테이블에서 #1의 Count 필드를 이용하여 새로이 MaxSlot(Countⁿ) 필드를 산출하고 DDATA를 생성한다.

그림 4는 A가 #1 안테나를 이용하여 DDATA를 브로드캐스트하고, 수신노드들로부터 DACK를 응답받는 과정을 보이고 있다. 그림 4의 (a)와 같이 A는 DDATA를 1/4 방향으로 브로드캐스트한 후에, DAST 테이블의 aTotalCTDBTimeout 필드를 초기값(0)으로 초기화하고, aTotalDACKTimeout 필드를 MaxSlot × aSlotTime 값으로 갱신한다. 이어서 A는 타이머를 aTotalDACK-



(a) DDATA 브로드캐스트 (b) DACK 브로드캐스트
그림 4 4-way 핸드셰이크 과정 : DDATA - DACK 교환

Timeout 값으로 설정한 후에 타이머가 종료할 때까지 DACK를 수신하면서 대기한다.

4.4 DACK 브로드캐스트

B, C, D는 동시에 A로부터 DDATA를 수신하고, 그림 4의 (b)와 같이 개별적으로 4.2절의 CTDB 브로드캐스트와 동일한 과정에 따라 1/4 방향과 3/4 방향으로 DACK를 브로드캐스트한다. DACK를 전송한 후에 각 노드는 자신의 DAST 테이블에서 #1, #2, #3, #4 엔트리의 SD 필드 값을 *passive*로 변경하고, SN 필드를 무지향성 수신 모드로 변경한다.

A는 aTotalDACKTimeout 기간동안 대기하면서 B, C, D가 브로드캐스트하는 DACK를 수신한다. aTotalDACKTimeout 기간이 종료하면, A는 RTDB의 응답으로 수신된 CTDB의 수와 DDATA의 응답으로 수신된 DACK의 수를 비교한다. 동일하면, A는 DDATA의 브로드캐스트가 성공적으로 완료된 것으로 인지한다. 그렇지 않으면, 4-way 핸드셰이크를 처음부터 다시 수행한다. DDATA 브로드캐스트가 완료되었다면, A는 DAST 테이블에서 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 방향 엔트리의 SD 필드 값을 *passive*로, SN 필드를 무지향성 수신 모드로, aTotalDACKTimeout 필드는 초기값(0)으로 각각 갱신하여 DAST 테이블을 초기화한다. 또한, N, O, H, G, E, J, S는 DACK를 수신하면, DAST 테이블을 확인하여 aReceivedCTDB 필드 값이 Yes이면 No로 갱신한다.

4.5 4-way 핸드셰이크의 시간 다이어그램

그림 5는 그림 3, 4의 예를 가지고 수행한 MDB 프로토콜의 전체 4-way 핸드셰이크 과정의 시간 다이어그램을 도식하고 있다. A는 송신노드이고, #1 안테나를 이용하여 DDATA를 브로드캐스트한다. B, C, D는 A의 1/4 방향에 위치해 있는 수신노드이고, A로부터 동시에 RTDB를 수신한다. aTotalCTDBTimeout 기간이 경과하기 전에 B, C, D는 A에게 CTDB를 전송한다. A를 제외한 B, C, D의 3/4 방향에 위치해 있는 노드들이

CTDB를 수신하면, DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드를 Yes로 갱신하여, 이후에 Deafness 문제를 해결하는 데 이용한다. aTotalCTDBTimeout 기간이 경과한 후에 A는 #1 안테나를 이용하여 DDATA를 브로드캐스트한다. B, C, D는 A로부터 동시에 DDATA를 수신하고, aTotalDACKTimeout 기간이 경과하기 전에 A에게 DACK를 전송한다.

논문에서는 서술을 단순화 하기위해 1/4 방향 브로드캐스트만을 기술하고 있다. 그러나 노드 A가 1/4 방향 브로드캐스트를 완료한 후에 순차적으로 2/4, 3/4, 4/4 방향으로 동일한 4-way 핸드셰이크 과정을 수행하면, 결국 무지향성 안테나를 이용하여 360° 전 방향으로 DATA를 브로드캐스트하는 것과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

5. 지향성 브로드캐스트의 문제 분석 및 해결

MDB 프로토콜에서 Hidden terminal 문제와 Deafness 문제를 DAST 테이블 정보를 이용하여 해결하는 과정과 제어 프레임의 동시 전송으로 인한 충돌 문제를 해결하는 과정을 기술한다.

5.1 Hidden Terminal 문제

제 3의 노드가 송신 노드의 전송 범위에 속해 있지 않지만, 제 3의 노드의 전송 범위에 수신노드가 포함되어 있기 때문에 송신 노드와 제 3의 노드가 동시에 데이터를 전송하면 수신 노드에서 충돌이 발생하는 현상을 Hidden terminal 문제라 한다. 그림 4의 (a)와 같이 A가 #1 안테나를 이용하여 B, C, D에게 DDATA를 브로드캐스트할 때, H, G, E, S, J가 동일한 방향으로 DDATA를 브로드캐스트한다면 이들 노드의 중첩된 전송 범위에 포함된 수신 노드, 즉 B, C, D에서 충돌이 발생한다. MDB 프로토콜은 지향성을 갖는 RTDB와 CTDB의 상호 교환과 DAST 테이블 정보를 이용하여 Hidden terminal 문제를 해결한다. 처리 과정은 다음과

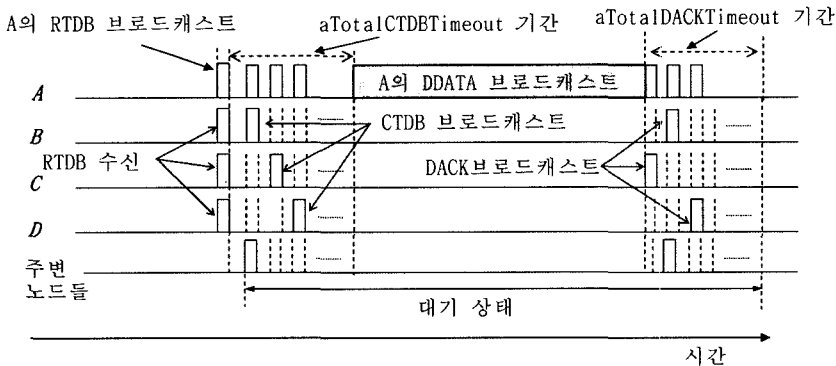


그림 5 4-way 핸드셰이크 시간 다이어그램

같다.

- 1) A의 RTDB를 수신한 B, C, D는 #1과 #3 안테나를 이용하여 1/4 방향과 3/4 방향으로 CTDB를 브로드캐스트한다.
- 2) E, H, G, J, S는 1/4 방향으로 전파되는 CTDB를 수신한다.
- 3) E, H, G, J, S는 자신의 DAST 테이블의 aReceived-CTDB 필드 값을 Yes로 갱신한다. 즉, DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드가 Yes로 설정되었다는 것은 노드가 프레임을 전송하면 충돌이나 Deafness 문제가 발생할 가능성이 있기 때문에 프레임의 전송을 허용해서는 안 된다는 것을 의미한다. 따라서 E, H, G, J, S는 DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드 값이 No로 설정될 때까지 자신의 브로드캐스트를 지연시킨다.
- 4) E, H, G, J, S는 NACK를 수신하면 자신의 DAST 테이블에서 aReceivedCTDB 필드를 확인하여 Yes이면 No로 갱신한다.

5.2 Deafness 문제

그림 6의 (a)는 송신노드와 이웃 노드 사이의 Deafness 예를 보이고 있다. 현재 A는 #1 안테나만을 활성화시킨 지향성 송수신 모드 상태이기 때문에 #1 안테나를 이용하여 B, C, D와 통신이 가능하지만 2/4, 3/4, 4/4 방향으로 전파되는 신호는 수신할 수 없는 상태이다. X는 B, C, D의 전송 범위 밖에 위치해 있기 때문에 B, C, D가 #3 안테나를 이용하여 전송하는 CTDB를 수신하지 못한다. 따라서 X는 이웃 노드 A가 통신 중이라는 사실을 인지하지 못한다. X가 상위 계층으로부터 브로드캐스트 데이터를 받으면, 1/4 방향으로 RTDB를 브로드캐스트할 수 있다. X가 1/4 방향으로 RTDB를 브로드캐스트하면, A의 현재 상태가 3/4 방향으로부터 전파되는 신호는 수신할 수 없기 때문에 X의 RTDB에 대한 응답으로 CTDB를 전송할 수 없다. 즉, Deaf-

ness 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 MDB 프로토콜은 DTDB(Delay To Directional Broadcast) 제어 프레임을 정의하고, A와 X의 이웃 노드들과 협력하여 Deafness 문제를 해결한다. 처리 과정은 다음과 같다.

- 1) 현재 A와 B, C, D가 통신 중이라는 사실을 알지 못한 X는 1/4 방향으로 RTDB를 브로드캐스트한다.
- 2) A는 X의 RTDB를 수신하지 못한다. 하지만, A의 이웃 노드인 H는 X의 RTDB를 수신할 수 있다. H는 DAST 테이블에서 aReceivedCTDB 필드를 확인하고, No로 설정되어 있다면, H는 정상적인 4-way 핸드셰이크 과정에 따라 #3 안테나를 이용하여 CTDB를 브로드캐스트한다. 그러나 현재 H는 이전에 B로부터 CTDB를 수신한 상태이기 때문에 H의 DAST 테이블의 aReceivedCTDB 필드 값이 Yes로 설정되어 있다. 이것은 H가 1/4 방향으로 DACK를 수신하기 전까지, 즉 A의 DDATA 브로드캐스트가 완료될 때까지 H는 다른 이웃 노드와의 통신 링크를 설정해서는 안 된다는 것을 의미한다. 따라서 H는 X의 RTDB에 대한 응답으로 CTDB 대신에 DTDB를 3/4 방향으로 브로드캐스트한다.
- 3) X가 H의 DTDB를 수신하면, 현재 이웃 노드 중에서 통신하고 있는 노드가 있다는 사실을 인지하고 자신의 DDATA 브로드캐스트를 지연시킨다.

그림 6의 (b)는 수신 노드와 이웃노드 사이의 Deafness 예를 보이고 있다. 현재 B, C, D는 #3 안테나를 이용하여 A와 통신하고 있기 때문에 1/4, 2/4, 4/4 방향에서 전파되는 신호는 수신할 수 없는 상태이다. N과 O는 이전에 B와 C로부터 CTDB를 수신했기 때문에 DAST 테이블에서 aReceivedCTDB 필드 값이 Yes로 설정되어 있다. 이것은 자신이 신호를 전송하면, 이웃 노드와 충돌이나 Deafness 문제가 발생한다는 것을 의미한다.

(b)에서 X가 상위 계층으로부터 브로드캐스트할 데이터를 전달받고, 3/4 방향으로 RTDB를 브로드캐스트한

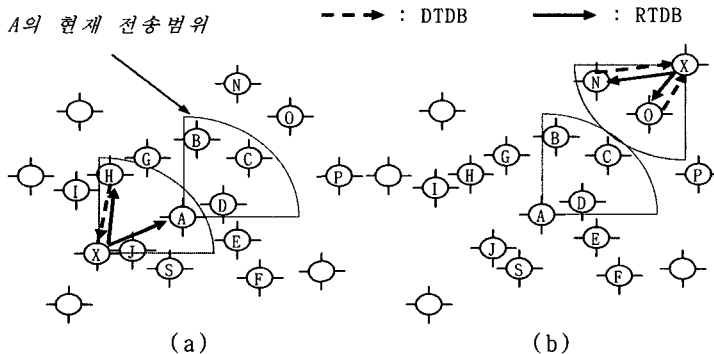


그림 6 Deafness 예제

다고 가정하자. 직관적으로 보면, A와 B, C, D 사이의 브로드캐스트 통신과 X와 N, O 사이의 브로드캐스트 통신은 충돌이나 간섭 문제없이 동시 통신이 가능한 상태인 것처럼 보인다. 그러나 A와 B, C, D 사이의 통신이 완료된 후에, B 혹은 C가 1/4 방향으로 RTDB를 브로드캐스트하면, N과 O가 RTDB를 수신하지 못하는 Deafness 문제가 발생한다. 즉, A와 B, C, D의 통신이 완료될 때까지 N과 O는 다른 노드와의 통신 링크를 설정하면 안된다. 이와 같은 Deafness 문제를 회피하기 위해 N과 O는 X의 RTDB를 수신하면, CTDB 대신에 DTDB를 X에게 전송한다. X는 DTDB를 수신하면, 현재 이웃 노드 중에서 통신하고 있는 노드가 있다는 사실을 인지하고 자신의 DDATA 브로드캐스트를 지연시킨다.

6. 성능평가

제안하는 MDB 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 기존의 IEEE 802.11 프로토콜[9]와 참조 문헌 [3]의 프로토콜 2를 비교대상으로 시뮬레이션을 통한 비교분석을 수행하였다. 서술의 편의를 위해 참조 문헌 [3]의 프로토콜 2에게 DNACK(Directional NACK) 프로토콜이라는 이름을 임시적으로 부여한다.

6.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 CSIM18 시뮬레이터[11]를 이용하였으며, IEEE 802.11 프로토콜에서 실제 이용되고 있는 매개변수들을 적용하였다. 매개변수의 구체적인 내용은 표 3에 기술하였다. 네트워크는 300m*300m 범위를 갖으며, N개의 노드가 무작위로 배치되도록 모델링하였다. 각 노드는 하나의 송수신기를 갖으며, 무선전송매체는

표 3 시스템 매개변수들

매개변수	값
채널 전송율	1 Mb/s
전송 범위	50 m
브로드캐스트 프레임 길이	1024 bytes
브로드캐스트 프레임 생성 간격	exponential (0.2s)
SIFS 간격	10 μs
DIFS 간격	50 μs
IEEE 802.11 제어 프레임 길이	288 bits
MDB 제어 프레임 길이	240 bits
aSlotTime	20 μs

50m의 무선 전송범위와 1Mb/s의 데이터 전송율을 갖는다. 표 4에 N의 증가에 따른 이웃 노드 수의 평균값을 정리하였다.

시뮬레이션 결과, 노드들을 무작위로 분산하였음에도 불구하고, 이웃 노드 수의 평균 증가율은 N의 증가율에 비례한다는 것을 확인할 수 있었다. 링크 계층에서 브로드캐스트는 단대단(point-to-point)의 브로드캐스트를 의미하기 때문에 이웃 노드 수는 링크 계층 브로드캐스트 성능에 많은 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 전체 노드 수 N을 기준으로 브로드캐스트 완료율과 충돌 발생률 관점에서 성능 평가를 수행하였다.

6.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 N을 10부터 200까지 10개 단위로 증가시키면서 20번의 시뮬레이션을 개별적으로 수행하였다. 또한, 무작위로 선택된 노드들이 지수분포에 의해서 DATA 프레임을 생성토록 하였고, 생성 결과 N의 크기에 관계없이 평균 512개의 DATA 프레임이 생성되었다. 시뮬레이션 결과는 다음 두 가지 성능평가 기준에 준하여 분석하였고, 부가적으로 DATA를 중복해서 수신한 노드를 포함하여 전체 DATA 수신 노드의 수와 데이터를 브로드캐스트하는데 소요되는 전송 지연시간을 분석하였다.

- 브로드캐스트 완료율(Broadcast Completion rate) : $NBC/NDG * 100$

전체 브로드캐스트 DATA가 생성된 수(NDG : the total Number of Data frame Generated)와 브로드캐스트가 완료되어 모든 이웃 노드에게 DATA가 성공적으로 전달된 수(the Number of Broadcast Completion : NBC)에 대한 백분율을 나타낸다. 본 논문에서 브로드캐스트는 링크 계층에서의 브로드캐스트를 의미하며, 링크 계층 브로드캐스트의 완료는 한 홉 거리의 모든 이웃 노드에게 DATA가 성공적으로 전달된 것을 의미한다.

- 충돌 발생률(Collision Occurrence rate) : $NC/NB * 100$
 실제로 DATA 브로드캐스트를 수행한 전체 횟수(Number of Broadcast : NB)와 충돌이 발생한 횟수(Number of Collision occurrence : NC)에 대한 백분율을 나타낸다.

그림 7은 브로드캐스트 완료율을 보여주고 있다. 전반적으로 브로드캐스트 완료율은 네트워크 밀도(N의 수)

표 4 평균 이웃 노드 수

전체 노드 수(N)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
평균 이웃노드 수	1.0	1.7	3.1	3.9	4.9	5.9	7.5	8.5	9.2	10.2
전체 노드 수(N)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
평균 이웃노드 수	11.4	12.7	13.9	15.1	16.5	17.9	19.0	20.2	21.5	22.6

에 비례하여 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, IEEE 802.11 프로토콜은 물리적 캐리어 센싱 후에 채널 예약이나 ACK 프레임 없이 맹목적으로 DATA를 브로드캐스트하고, 브로드캐스트 결과에 대한 후속 처리과정이 없다. 따라서 N이 증가함에 따라 DATA를 수신하지 못하는 노드들이 급격하게 증가하였고, 각 노드의 평균 이웃 노드 수가 4개 (N = 40)가 되면서부터 1% 이하의 브로드캐스트 완료율을 보였다. DNACK 프로토콜은 지향성 안테나를 이용하여 DATA를 브로드캐스트하기 때문에 많은 충돌 가능성을 줄일 수 있었다. 또한, DATA를 수신하지 못하면 NACK를 이용하여 DATA를 재브로드캐스트하기 때문에 IEEE 802.11 프로토콜과 비교하여 높은 브로드캐스트 완료율을 얻을 수 있다. MDB 프로토콜은 RTDB와 CTDB 프레임의 상호 교환을 통한 채널 예약을 수행하기 때문에 IEEE 802.11 프로토콜과 DNACK 프로토콜과 비교하여完만한 감소를 보였다.

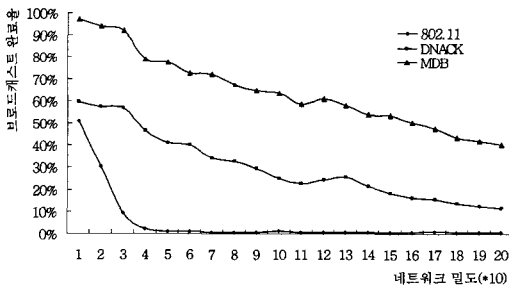


그림 7 브로드캐스트 완료율

각 프로토콜의 브로드캐스트 완료율은 보다 많은 의미를 내포하고 있다. IEEE 802.11 프로토콜의 브로드캐스트는 제어 프레임 전송과 DATA의 재브로드캐스트가 없기 때문에 브로드캐스트 완료율은 낮지만 불필요한 트래픽이 발생하지 않고, 전력과 대역폭, 메모리 등과 같은 시스템 자원을 가장 적게 이용한다. 반면에 DNACK 프로토콜은 NACK를 통한 DATA 재브로드캐스트를 수행하기 때문에 불필요하게 중복된 많은 트래픽이 발생하였다. 이들 중복 트래픽을 송·수신하기 위해 많은 전력과 대역폭 및 메모리가 소모된다. MDB 프로토콜은 예약된 채널을 통해서 DATA를 브로드캐스트하기 때문에 불필요한 DATA 트래픽은 발생하지 않지만, 채널 예약을 위해 부가적인 제어 프레임을 상호 교환해야 하기 때문에 IEEE 802.11 프로토콜과 비교하여 추가적인 트래픽이 발생하였다.

그림 8은 시뮬레이션 기간 동안의 충돌 발생률을 보이고 있다. MDB 프로토콜은 네트워크 밀도에 관계없이 DATA를 브로드캐스트하기 전에 채널을 미리 예약하기

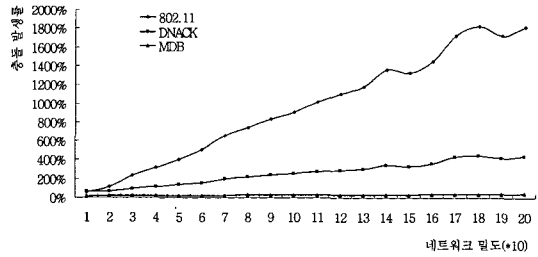


그림 8 충돌 발생률

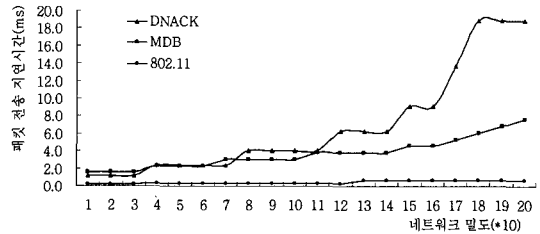


그림 9 평균 패킷 전송 지연시간

때문에 충돌이 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그림 8에서 약간의 충돌이 발생하는 이유는 제어 프레임의 동시 전송에 의해서 충돌이 발생하였다. MDB 프로토콜에서 *MaxSlot*을 산출할 때 적용하는 *n*의 크기를 늘리면, 제어 프레임의 동시 전송으로 인한 충돌 문제를 완화할 수 있다. 그러나 *n*의 크기를 늘리면 제어 프레임의 전송지연시간이 증가하고, 결국 전체 데이터 전송 지연이 증가하는 부작용이 발생할 수 있다.

그림 9는 패킷을 전송하는 데 소요되는 평균 전송 지연시간을 보이고 있다. IEEE 802.11은 N의 증가와 관계없이 일정한 지연을 보였고, MDB와 DNACK는 N의 증가에 따라 패킷 전송 지연시간이 점차적으로 증가하였다. IEEE 802.11은 수신노드가 DATA를 성공적으로 수신하는 것과는 관계없이 DATA 브로드캐스트를 한번만 수행하기 때문에 N의 증가와 관계없이 일정한 전송 지연시간을 보였다. DNACK 프로토콜에서 N의 수가 증가할수록 패킷 전송 지연시간이 증가하는 이유는 잦은 충돌로 인한 DATA의 재브로드캐스트 횟수가 증가하기 때문이다. 그림 7에 도식한 것처럼 DNACK 프로토콜은 N의 수가 증가할수록 브로드캐스트 성공률이 낮아졌고, 이와 비례하여 DATA의 재브로드캐스트 횟수가 증가하였다. 따라서 그림 9에 도식한 것처럼 DNACK 프로토콜은 N의 수가 증가함에 따라 패킷 전송 지연시간이 증가하였다. MDB 프로토콜은 이웃 노드 수 (Count 필드)를 기반으로 *MaxSlot* 필드와 aCTDB-Delay, aDACKDelay를 산출하기 때문에 이웃 노드 수는 MDB 프로토콜의 패킷 전송지연에 가장 많은 영향

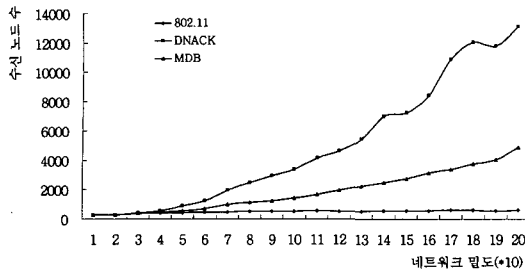


그림 10 DATA 수신 노드 수

을 준다. 표 4에 기술한 것처럼 이웃 노드 수는 N 의 수가 증가함에 따라 점차적으로 증가하기 때문에 MDB 프로토콜의 패킷 전송 지연시간은 증가하는 N 의 수에 비례하여 증가하였다.

그림 10은 DATA를 수신한 전체 노드의 수를 도식하고 있다. DNACK 프로토콜이 MDB 프로토콜보다 브로드캐스트 완료율이 낮지만 DATA를 수신한 노드 수가 많다는 사실은 결과적으로 DNACK 프로토콜에서 각 노드들이 불필요하게 많은 중복 DATA를 송수신하고 있다는 것을 의미한다. IEEE 802.11 프로토콜은 DATA를 수신하는 노드의 수가 네트워크 밀도에 관계 없이 완만하게 일정한 값을 보이고 있다. 이것은 네트워크 밀도의 증가율과 비례하여 충돌 발생률도 증가하기 때문에 DATA를 성공적으로 수신하는 노드 수는 결과적으로 일정하게 유지되는 것으로 분석된다.

7. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서 제안하는 MDB 프로토콜은 링크 계층에서 지향성 안테나를 이용하여 90° 단위의 지향성을 갖는 브로드캐스트를 수행하여 무지향성 브로드캐스트가 갖는 "broadcast storm problem"을 완화하였다. MDB 프로토콜은 RTDB, CTDB, DDATA, DACK를 상호 교환하는 4-way 핸드셰이킹을 통한 D-MACA 구조와 DAST 테이블 정보를 기반으로 Hidden terminal 문제와 Deafness 문제를 해결하였다. 또한, MDB 프로토콜은 이웃 노드수를 고려하여 MaxSlot 필드와 aCTDB-Delay, aDACKDelay를 산출하여 다수의 CTDB 및 DACK 프레임의 동시 전송으로 인한 충돌 문제를 완화하였다. 성능 평가는 브로드캐스트 완료율과 충돌 발생률 관점에서 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석 결과에서 네트워크 밀도가 높을수록 MDB 프로토콜이 기존의 IEEE 802.11 프로토콜과 DNACK 프로토콜보다 뛰어난 성능을 보였다. 따라서 제안하는 MDB 프로토콜은 센서 네트워크처럼 많은 센서 노드들이 상호 밀접하게 연결되어 있는 무선 네트워크 환경에서 보다 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기

대된다.

참고 문헌

- [1] B. Williams, T. Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks," *ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2002*, Jun. 2002, pp. 194-205.
- [2] Y. Tseng, S. Ni, Y. Chen, J. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Networks," *Wireless Networks Vol. 8*, pp. 153-167, Mar. 2002.
- [3] Y. Utsunomiya, M. Takahashi, M. Bandai, I. Sasase, "A Medium Access Control Protocol with Retransmission using NACK and Directional Antennas for Broadcasting in Wireless Ad-Hoc Networks," *European Wireless 2004*, Feb. 2004.
- [4] A. Nasipuri, S. Ye, J. You, R. E. Hiromoto, "A MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Using Directional Antennas," *IEEE Wireless Communications and Networking 2000*, Sep. 2000, pp. 1214-1219.
- [5] M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, A. Ren, "Directional Virtual Carrier Sensing for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks," *ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2002*, Jun. 2002, pp. 183-193.
- [6] R. R. Choudhury, X. Yang, R. R. and N. H. Vaidya, "Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks," *ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing 2002*, Jun. 2002, pp. 59-70.
- [7] A. Nasipuri, J. Mandava, H. Manchala, R. E. Hiromoto, "On Demand Routing Using Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE International Conference on Computer Communication and Networks 2000*, Oct. 2000.
- [8] R. R. Choudhury, N. Vaidya, "On Ad Hoc Routing Using Directional Antennas," *Illinois Computer Systems Symposium(iCSS)*, May. 2002.
- [9] IEEE 802.11 Working Group, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," *ANSI/IEEE Std. 802.11*, Sep. 1999.
- [10] I. Chlamtac, A. Myers, V. Syrotiuk, G. Zaruba, "An Adaptive Medium Access Control (MAC) Protocol for Reliable Broadcast in Wireless Networks," *IEEE International Conference on Communications 2000*, pp. 1692-1696, Jun. 2000.
- [11] Mesquite Software Inc., CSIM18 Simulation Engine.



차 우 석

1999년 목포대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사). 2003년 전북대학교 컴퓨터정보학과 졸업(석사). 2003년~현재 전북대학교 컴퓨터통계정보학과 박사과정. 관심분야는 Mobile IP, 무선 MAC 프로토콜, Ad-hoc 및 센서 네트워크



조 기 환

1985년 전남대학교 계산통계학과 졸업(학사). 1987년 서울대학교 계산통계학과 졸업(석사). 1996년 영국 Newcastle 대학교 전산학과 졸업(박사). 1987년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원. 1997년~1999년 목포대학교 컴퓨터과학과 전임강사. 1999년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수. 관심분야는 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 무선 네트워크 보안, 센서 네트워크, 분산처리시스템