

논문 2006-43TC-11-12

지향성 브로드캐스트를 위한 MNDB 프로토콜

(A MNDB Protocol for Reliable Directional Broadcast)

차우석*, 김은미**, 배호영**, 이배호***, 조기환****

(Woosuk Cha, Eun-Mi Kim, Ho-Young Bae, Bae-Ho Lee, and 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 안테나와 이웃노드 정보를 이용하여 지향성 브로드캐스트를 지원하는 MNDB(MAC protocol with Neighborhood for reliable Directional Broadcast) 프로토콜을 제안한다. MNDB 프로토콜은 이웃노드 정보와 RTDB, CTDB, DDATA, DACK의 4-way 핸드셰이크에 의한 DMACA(Directional Multiple Access Collision Avoidance) 구조를 기반으로 신뢰성 있는 지향성 브로드캐스트를 지원한다. 성능 평가를 위해 MNDB 프로토콜과 기존의 RMDB^[2], 참고문헌 [3]의 프로토콜 2, IEEE 802.11 프로토콜^[9]를 비교대상으로 브로드캐스트로 인한 충돌과 패킷 분실, 패킷 중복수신, 브로드캐스트 전송 지연 관점에서 성능을 분석하였다.

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 omnidirectional broadcasting causes to reduce the network performance due to the explosive collisions and contentions. This paper proposes a directional broadcast protocol by using neighborhood information in the link layer based on directional antennas, named MNDB (MAC protocol with Neighborhood for reliable Directional Broadcast). This protocol makes use of neighborhood information and DMACA (Directional Multiple Access and Collision Avoidance) scheme through 4-way handshake to support a reliable directional broadcast. To analyze its performance, MNDB protocol is compared with RMDB^[1], the protocol 2 of reference [3], and IEEE 802.11 protocol^[9], in terms of the number of collisions, the number of dropped packets, the number of redundant packets, and broadcast delay.

Keywords : Directional Antennas, Directional Broadcast, MAC protocol

I. 서론

브로드캐스트는 하나의 송신노드에서 이웃하는 모든 노드들에게 데이터를 전달하는 기법으로, 무선 네트워크에서 라우팅에 직접적으로 이용될 수 있는 가장 고전적인 기법의 하나이다. 일반적으로 요구기반 방식으로 경로를 설정하는 Ad Hoc 네트워크에서 목적지까지의 가능한 경로를 찾기 위해 제어 메시지를 전달하는데 브로드캐스트를 이용한다^[1].

무선 네트워크의 물리 계층에서 이용하는 무선 전송 매체는 전송범위 내의 모든 노드들이 동시에 전송 신호를 수신할 수 있는 전파 특성을 갖는다. 이러한 무선 전송매체의 전파 특성은 유니캐스트나 멀티캐스트보다는 분명히 브로드캐스트에 적합하다. 그러나 기존의 무

* 정회원, 전남대학교 유비쿼터스 정보가전 연구센터
(Research Center for Ubiquitous Information
Appliances Chonnam National University)

** 정회원, 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과
(Department of Computer Engineering Chonnam
National University)

*** 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부
(Department of Electronics and Computer
Engineering Chonnam National University)

**** 정회원, 전북대학교 전자정보공학부
(Division of Electronic & Information Engineering,
Chonbuk University)

접수일자: 2006년10월10일, 수정완료일: 2006년11월18일

선 MAC 프로토콜들은 신뢰성 있는 브로드캐스트에 대해서 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, 링크 계층에서 일대다의 브로드캐스트에 대한 구체적인 연구는 진행되지 않고 있다.

본 논문에서는 링크계층에서 지향성 안테나를 이용하여 신뢰성 있는 지향성 브로드캐스트를 지원하는 MNDB(MAC protocol with Neighborhood for reliable Directional Broadcast) 프로토콜을 제안한다. MNDB 프로토콜은 이웃노드 정보와 RTDB(Request To Directional Broadcast), CTDB(Clear To Directional Broadcast), DDATA(Directional DATA), DACK(Directional ACK)의 4-way 핸드셰이크에 의한 DMACA (Directional Multiple Access Collision Avoidance) 구조를 기반으로 지향성 브로드캐스트를 지원한다.

논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 논문의 II장에서는 무선 네트워크에서의 MAC 프로토콜과 지향성 안테나를 이용하는 기존 연구들에 대해서 기술한다. III장에서는 지향성 브로드캐스트를 지원하기 위해 MNDB 프로토콜에서 정의하는 안테나 모델과 제어 프레임 구조, MNDB 프로토콜의 4-way 핸드셰이크 과정, DNI(Directional Neighborhood Information) 테이블 갱신 절차에 대해서 기술한다. IV장은 시뮬레이션을 통한 MNDB 프로토콜의 성능분석 결과를 기술하고, V장에서 결론을 맺고 있다.

II. 관련연구

기준에 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 이점

을 얻는다. 현재 지향성 안테나를 무선 네트워크에 이용하는 연구는 크게 2가지로 분류할 수 있다. 첫째는 링크 계층에서의 경쟁과 충돌을 완화하기 위해 지향성 안테나를 이용하는 연구이고^[2-6], 둘째는 네트워크 계층에서 라우팅 프로토콜의 성능 향상을 위해 지향성 안테나를 이용하는 연구이다^[7-8].

RMDB 프로토콜^[2]는 DAC(Directional Antenna Control) 테이블과 RTDB, CTDB, DDATA, DACK 제어 프레임의 4-way 핸드셰이크 기반으로 Hidden Terminal 문제와 Deafness 문제를 해결한다. RMDB 프로토콜은 수신 노드들이 송신 노드에게 응답하는 다수의 CTDB 혹은 DACK가 동시에 전송될 때 발생하는 충돌을 회피하기 위해서 MaxSlot 변수를 이용하며, MaxSlot 변수는 (이웃노드의 수)n으로 산출된다. RMDB 프로토콜에서 MaxSlot 변수는 패킷의 전송 지연에 많은 영향을 미친다. MNDB는 이웃노드 정보를 이용하여 RMDB 프로토콜에서 MaxSlot 변수로 인하여 발생하는 패킷 전송지연 문제를 완화한다.

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 메커니즘

과 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 프로토콜과 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]는 무선 네트워크에서 가장 보편화된 MAC 프로토콜로써 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 부가적인 프로토콜을 필요로 한다. 결과적으로, 유니캐스트를 기반으로 브로드캐스트를 지원하는 프로토콜은 두개의 개별적

인 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]. MNDB 프로토콜은 4-way 핸드셰이크 과정에서 상호 교환하는 제어 프레임 이용을 이용하여 이웃노드 정보를 유지한다.

III. 관련연구

1. 안테나 모델

논문에서 고려하는 무선 네트워크 환경은 모든 노드들이 하나의 무선 채널을 공유하고, 동일한 전송 범위를 갖으며, 각 노드는 4개의 안테나 요소로 구성된 하나의 지향성 안테나와 하나의 송수신기를 갖는다. 그림 1 (a)과 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 1 (b)은 노드 A의 #0 방향과 노드 B의 #2 방향으로 데이터를 전송하는 지향성 브로드캐스트의 예를 보이고 있다.

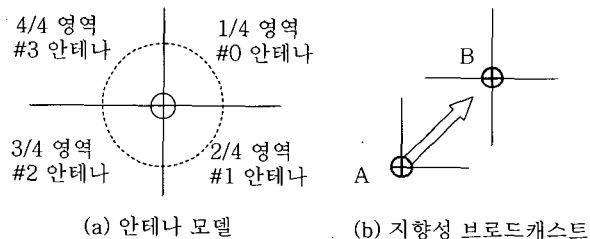


그림 1. 안테나 모델

Fig. 1. Antenna model.

2. 제어프레임의 구조

그림 2는 MNDB에서 정의하는 제어 프레임의 구조를 도식하고 있다. 그림 2 (a)의 RTDB와 DDATA 프레임은 기존의 IEEE 802.11 프레임에 *Direction*과 *Ack Order* 필드를 추가하였고, 다른 필드들은 기존의 IEEE 802.11 프로토콜과 동일한 기능을 갖는다.

Direction 필드는 프레임이 전파되는 안테나 번호를 나타낸다. *Ack Order* 필드는 데이터가 전파되는 방향에 위치하는 이웃노드들의 수와 이웃노드들의 MAC 주소들을 순차적으로 포함한다. 이웃노드들에 대한 정보는 DNI 테이블에 유지된다.

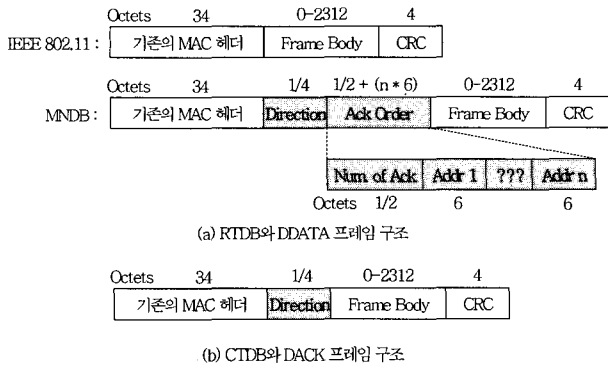


그림 2. 제어 프레임 구조
Fig. 2. The format of control frames.

3. DNI 테이블 구조

무선 전송 매체는 특정 노드가 시그널을 전파하면, 전송범위 내에 위치해 있는 모든 노드들이 시그널을 동시에 수신하는 브로드캐스트 특성을 갖는다. MNDB는 무선 매체의 브로드캐스트 특성을 이용하여 DNI 테이블을 항상 최근의 상태로 유지한다.

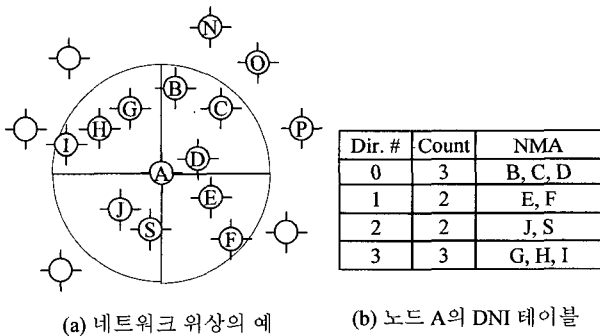


그림 3. DNI 테이블의 예
Fig. 3. The example of DNI table.

그림 3 (b)은 그림 3 (a)의 네트워크 위상을 고려할 때 노드 A가 유지하는 DNI 테이블의 예를 보이고 있다. Dir. # 필드는 각각의 안테나가 지향하는 방향을 의미한다. Count 필드는 안테나가 지향하는 방향의 전송 범위 내에 위치해 있는 이웃노드들의 수를 나타내고, NMA (Neighborhood MAC Address) 필드는 이웃노드들의 MAC 주소를 나타낸다.

4. MNDB 프로토콜의 4-way 핸드셰이크

MNDB에서 각 제어 프레임들은 RMDB 프로토콜^[2]의 4-way 핸드셰이크 과정과 DAC 테이블, aTotalCTDBTimeout, aTotalDACKTimeout 상태 변수들이 그대로 적용된다. RMDB와 MNDB의 주요 차이점은 RMDB는 송신 노드에게 CTDB와 DACK를 응답하

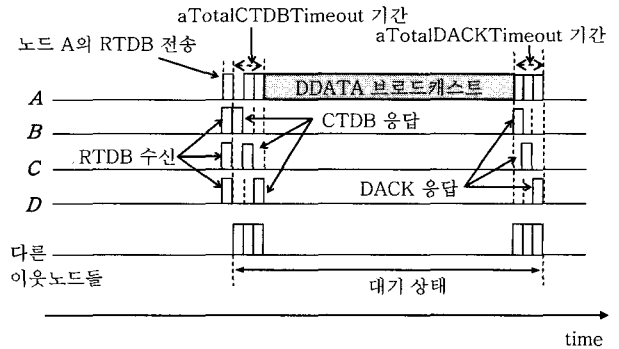


그림 4. MNDB 프로토콜의 시간 다이어그램
Fig. 4. Time diagram of MNDB protocol.

는 노드들의 순서가 MaxSlot 변수를 이용하여 무작위로 결정되지만, MNDB는 CTDB와 DACK를 응답하는 노드들의 순서가 송신 노드에 의해서 미리 정의된다는 것이다.

그림 4는 그림 3의 네트워크 위상의 예를 고려한 MNDB 프로토콜의 기본 동작에 대한 시간 다이어그램을 도식하고 있다. 노드 A가 송신 노드이고, #0 방향으로 데이터를 브로드캐스트한다고 가정한다.

- 1) 노드 A는 RTDB를 전송하고, aTotalCTDBTimeout 값으로 타이머를 설정한 후에 타이머가 종료할 때까지 대기한다.
- 2) 노드 A로부터 RTDB를 수신한 노드 B, C, D는 순차적으로 CTDB를 응답한다.
- 3) 노드 A는 타이머가 종료되면, DDATA를 전송하고, 타이머를 aTotalDACKTimeout 값으로 설정한 후에 타이머가 종료할 때까지 대기한다.
- 4) 노드 A로부터 DDATA를 수신한 노드 B, C, D는 순차적으로 DACK를 응답한다.
- 5) 타이머가 종료되면, 노드 A는 패킷 브로드캐스트를 완료한다.

그림 5는 MNDB의 4-way 핸드셰이크 과정을 도식하고 있다. 노드 A가 #0으로 데이터를 브로드캐스트한다고 가정할 때, MNDB의 4-way 핸드셰이크 처리 절차는 다음과 같다.

- 1) 노드 A는 DNI 테이블을 확인하여 노드 B, C, D 순서대로 RTDB의 Ack Order 필드를 생성하고, #0 방향으로 RTDB를 전송한다. 또한 노드 A는 타이머를 aTotalCTDBTimeout 값으로 설정하고, 타이머가 종료할 때까지 대기한다. aTotalCTDBTimeout 변수는 송신노드가 RTDB를 전송한 후에 이웃의 수신노드들로부터의 CTDB들을 수신하기 위해 대기하는 최

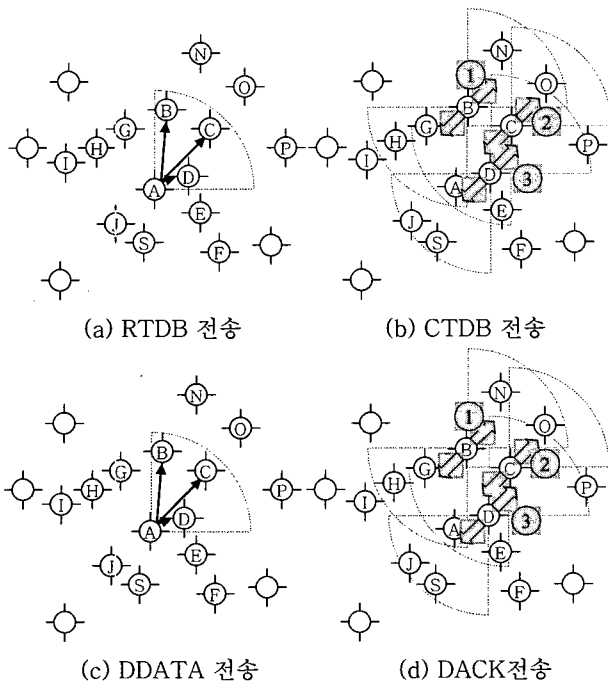


그림 5. MNDB 프로토콜의 4-way 핸드셰이크 절차
Fig. 5. 4-way handshake procedure in MNDB protocol.

대 지연시간을 의미하며, 다음과 같이 계산된다.

$$- aTotalCTDBTimeout =$$

$$Num. of Ack \times aSlotTime$$

- aSlotTime : 하나의 프레임을 전송하기 위해 소요되는 전송시간

- 2) 노드 A의 #0 방향에 위치해 있는 노드 B, C, D는 동시에 RTDB를 수신하고, 그림 6의 DNI 테이블 갱신 알고리즘을 이용하여 자신의 DNI 테이블을 갱신한다. 각 노드는 RTDB의 Ack Order 필드를 확인하고, CTDB를 전송하기 위한 aCTDBDelayTime 변수를 다음과 같이 계산한다. 각 노드는 타이머를 aCTDBDelayTime 값으로 설정하고, 타이머가 종료할 때까지 대기한다. 현재 RTDB의 Ack Order 필드는 노드 B, C, D의 순서로 구성되어 있기 때문에, 노드 B, C, D의 순서로 타이머가 종료된다.

$$- aCTDBDelayTime = (Ack Order 필드에서 자신의 순서 - 1) \times aSlotTime$$

- 3) 노드 B, C, D는 자신의 타이머가 종료되면, CTDB를 각각 #0과 #2 방향으로 전송한다.
- 4) 노드 A는 이웃 노드들(노드 B, C, D)로부터 CTDB를 수신하면, 그림 6의 DNI 테이블 갱신 알고리즘을 이용하여 자신의 DNI 테이블을 갱신하고, 이후 DDATA를 생성할 때 이용한다. 또한, 노드 B, C, D의 이웃노드들 H, G, N, O, J, S는 CTDB를 수신하

```
# 송신노드의 경우 :
Procedure DNI_Update()
input : F(I)
BEGIN
  WHILE TIMER() > 0 THEN
    FOR i:=0; i<Count; i=i+1 THEN
      WHILE SUB_TIMER(i) > 0 THEN
        IF L(i) = I THEN
          IF (F(I) = CTDB) THEN
            프레임을 해제
            receivedCTDB:=TRUE
          ENDIF
          IF (F(I) = DACK) THEN
            프레임을 해제
            receivedDACK := TRUE
          ENDIF
        ENDIF
      ENDWHILE
    ENDFOR
  ENDWHILE
END

# 기타 노드의 경우 :
Procedure DNI_Update()
input : F(I)
BEGIN
  FOR i:=0; i<Count; i=i+1 THEN
    IF L(i) = I THEN
      프레임을 해제하고 프로시저 종료
    ENDIF
  ENDFOR
  노드 I를 NMA에 삽입
END
```

그림 6. DNI 테이블 갱신 알고리즘
Fig. 6. DNI table update algorithm.

고, 그림 6의 DNI 테이블 갱신 알고리즘을 이용하여 자신의 DNI 테이블을 갱신한다.

- 5) 노드 A는 aTotalCTDBTimeout 값으로 설정된 타이머가 종료되면, RTDB 전송과 동일한 과정에 준하여 DDATA를 생성하고, 전송한다.
- 6) 노드 B, C, D는 DDATA를 수신하면, CTDB를 응답하는 과정과 동일하게 DACK를 생성하여 전송한다.

5. DNI 테이블 갱신 절차

MNDB는 기본적으로 모든 제어 프레임을 수신할 때마다 각 노드는 그림 6의 DNI 테이블 갱신 알고리즘을 이용하여 DNI 테이블을 갱신한다. DNI 테이블 갱신 알

고리침은 다음 변수들을 이용한다.

- F(I) : 임의 노드 I가 전송한 제어 프레임
- L(i) : DNI 테이블의 NMA 필드에 포함된 노드들의 리스트
- Count : 전송 방향에 위치해 있는 이웃 노드의 수
- TIMER() : RTDB(혹은 DDATA)를 전송한 송신 노드가 이웃 수신 노드들로부터 CTDB(혹은 DACK)를 기다리는 대기시간 ($aTotalCTDB-Timeout$, 혹은 $aTotalDACKTimeout$ 값으로 설정)
- SUB_TIMER(I) : RTDB(혹은 DDATA)를 전송한 송신 노드가 RTDB를 이웃노드 I로부터 CTDB(혹은 DACK)를 기다리면서 대기하는 슬롯시간으로 설정

IV. 성능 분석

1. 시뮬레이션 환경

제안하는 MNDB 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 기존의 RMDB 프로토콜^[2]와 참조 문헌 [3]의 프로토콜 2, IEEE 802.11 프로토콜^[9]를 비교대상으로 시뮬레이션을 통한 비교분석을 수행하였다. 서술의 편의를 위해 본 논문은 참조 문헌 [3]의 프로토콜 2를 DNACK (Directional NACK) 프로토콜이라고 한다.

시뮬레이션은 NS-2^[11]을 이용하였으며, IEEE 802.11에서 실제 이용되는 매개변수들을 적용하였으며, 구체적인 내용은 표 1에 기술하였다. 시뮬레이션 영역은 1000m*1000m 범위를 갖는다. 각 노드는 하나의 송수신기를 갖으며, 무선 전송매체의 전송범위는 150m이다. 40개 이하의 노드들이 네트워크 영역에 분포되면,

표 1. 시뮬레이션 매개변수들
Table 1. Simulation parameters.

매개변수	값
시뮬레이션 영역	1000 × 1000m
시뮬레이션 시간	50초
전송 범위	150m
노드의 수	50 - 140개
안테나 모델	4개의 지향성 안테나
데이터 패킷의 크기	512byte
대역폭	1Mbps
SIFS	10 μ s
DIFS	50 μ s
CW _{min}	31
CW _{max}	1023

다른 노드들과 통신할 수 없는 고립된 노드가 발생할 수 있다. 따라서 본 시뮬레이션은 50개에서 140개까지의 노드들을 시뮬레이션 영역에 무작위로 배치되도록 하였다.

2. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 네트워크를 구성하는 노드 수를 50에서 140까지 10개 단위로 증가시키면서 개별적인 시뮬레이션을 수행하였다. 임의 노드를 브로드캐스트 시작 노드로 선정하고, 시작 노드가 브로드캐스트 패킷을 초기화하고, 전체 네트워크로 브로드캐스트하도록 시뮬레이션 시나리오를 구성하였다. 시나리오에 따라 수행된 시뮬레이션의 결과는 다음과 같은 성능 평가 기준에 준하여 분석하였다.

- 충돌 발생 빈도 : 링크 계층에서 충돌이 발생한 패킷의 수
- 패킷 분실 빈도 : 링크 계층에서 충돌 및 Deafness 문제 때문에 분실된 패킷의 수
- 패킷 중복수신 빈도 : 각각의 노드에서 동일한 패킷을 중복해서 수신한 패킷의 수
- 브로드캐스트 전송 지연 : 브로드캐스트 초기 노드가 패킷을 브로드캐스트한 후에, 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 패킷을 성공적으로 수신할 때까지 소요되는 시간

그림 7과 그림 8은 시뮬레이션 동안에 각 노드에서 발생하는 평균 충돌 발생수와 평균 충돌률을 보이고 있다. 충돌률은 링크 계층에서 발생한 충돌의 수를 전송된 전체 패킷의 수로 나누어 산출하였다. RMDB와 MNDB는 데이터 패킷을 전송하기 전에 채널을 미리 예약하기 때문에 충돌이 거의 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. IEEE 802.11은 네트워크에 분포하는 노드의 수에 비례하여 충돌횟수가 증가하였다. IEEE 802.11이 전 방향으로 데이터 패킷을 브로드캐스트하는 것과는 달리 DNACK는 방향성을 가지고 데이터 패킷을 브로드캐스트하기 때문에 많은 양의 충돌횟수를 줄일 수 있었다. 그러나 DNACK는 근본적으로 채널 예약 과정이 없기 때문에 RMDB와 MNDB와 비교하여 높은 충돌률을 보였다.

그림 9는 지향성 안테나를 이용할 때 발생하는 Deafness 문제^[12]때문에 각 노드에서 분실되는 패킷의 평균 빈도를 보이고 있다. Deafness는 수신 노드의 송신 노드를 지향하는 안테나가 현재 비활성 상태이고, 송신 노드가 수신 노드를 지향하는 안테나를 이용하여

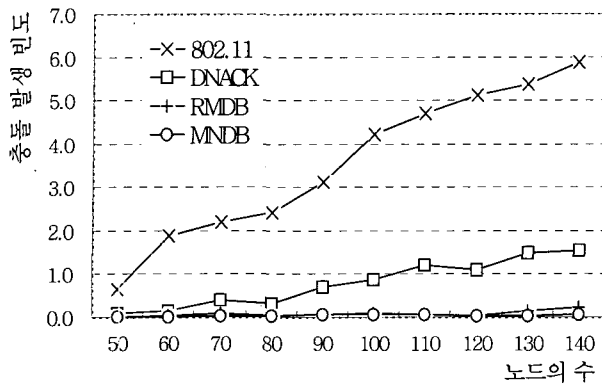


그림 7. 평균 충돌 발생빈도
Fig. 7. The average frequency of collision.

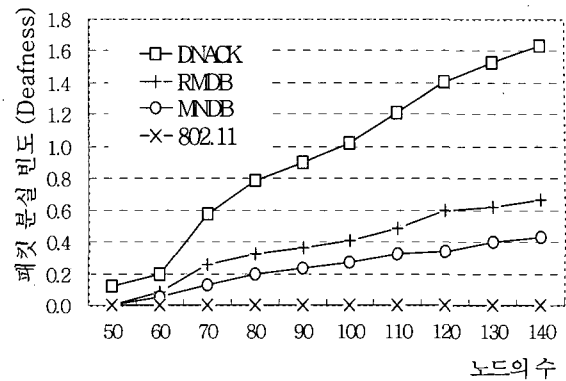


그림 9. Deafness 문제로 인한 평균 패킷 분실 빈도
Fig. 9. The average drop frequency of packet due to deafness problem.

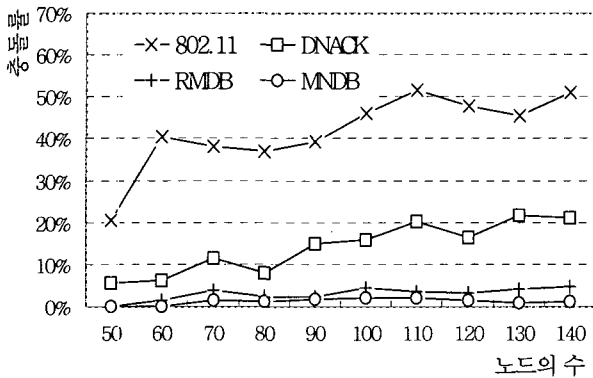


그림 8. 평균 충돌률
Fig. 8. Collision rate.

패킷을 전송하면 패킷이 분실되는 문제이다. 따라서 무지향성 안테나를 이용하는 802.11은 Deafness 문제가 발생하지 않기 때문에 Deafness로 인한 패킷 분실은 발생하지 않는다.

그림 9에서 DNACK는 노드 수의 증가에 비례하여 Deafness 문제로 인한 패킷 분실 빈도가 증가하고 있다. DNACK는 송신 노드가 패킷을 전송할 때, 현재 이웃노드들의 통신 상태, 즉 안테나의 활성화 여부를 확인하지 않는다. 따라서 이웃 노드들 중에서 송신 노드를 지향하는 안테나를 활성화시킨 이웃 노드는 패킷을 수신하지만, 그렇지 못한 이웃 노드는 패킷을 수신하지 못한다.

RMDB와 MNDB는 DAC 테이블을 이용하여 Deafness 문제를 해결하고 있기 때문에 Deafness 문제로 인한 패킷 분실이 발생하지 않을 것으로 예상된다. 그러나 그림 9에서 RMDB와 MNDB은 Deafness로 인한 약간의 패킷 분실이 발생하고 있다. 이유는 이동 환경에서 송신 노드가 현재 통신중이고, 새로운 노드가

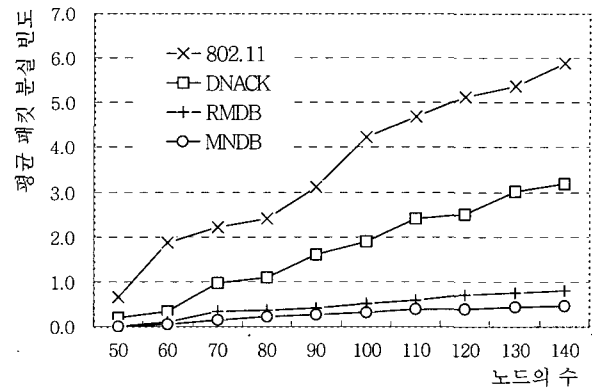


그림 10. 평균 패킷 분실 빈도
Fig. 10. The average drop frequency of packet.

송신 노드의 전송 범위 내로 이동할 때, 새로이 유입된 노드가 패킷을 수신하지 못하는 경우가 발생하기 때문이다.

그림 10은 각각의 노드에서 발생한 전체 패킷 분실 빈도를 보이고 있다. 전체 패킷 분실 빈도는 그림 7의 충돌 빈도와 그림 9의 Deafness 문제로 인하여 분실된 패킷 빈도의 합을 의미한다.

그림 11은 시뮬레이션 동안에 하나의 브로드캐스트 패킷이 전체 네트워크로 전파될 때, 각 노드들이 동일한 패킷을 중복해서 수신하는 평균 빈도를 보이고 있다. 지향성 안테나를 이용하는 RMDB와 MNDB는 무지향성 안테나를 이용하는 IEEE 802.11과 비교하여 적은 패킷 중복수신 빈도를 보였다.

그림 11에서 DNACK와 IEEE 802.11은 비슷한 수의 패킷 중복수신 빈도를 보이고 있다. DNACK가 지향성 안테나를 이용하기는 하지만, 패킷의 중복 수신이 많은 이유는 여러 개의 수신 노드들 중에서 패킷을 수신하지

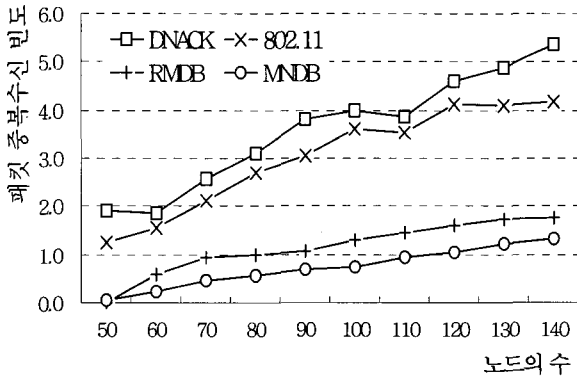


그림 11. 평균 패킷 중복수신 빈도
Fig. 11. The average frequency of redundant packet.

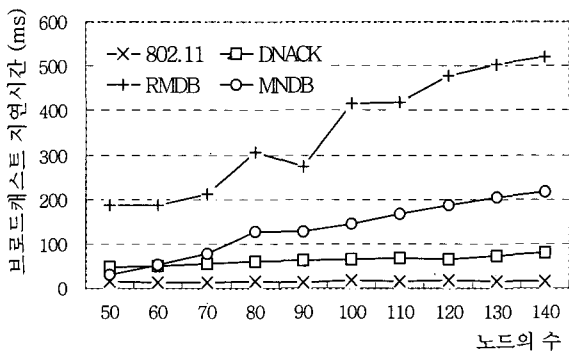


그림 12. 브로드캐스트 전송 지연
Fig. 12. The broadcast delay of packet.

못한 노드가 있다면, 송신 노드는 패킷을 재브로드캐스트하기 때문이다. 즉, 이전에 성공적으로 패킷을 수신한 노드들도 동일한 패킷을 불필요하게 반복해서 수신하기 때문이다.

그림 12에서 브로드캐스트 지연시간은 브로드캐스트 초기 노드가 패킷을 브로드캐스트한 후에, 네트워크를 구성하는 모든 노드들이 브로드캐스트 패킷을 성공적으로 수신할 때까지 소요되는 시간을 의미한다. 그림 11은 IEEE 802.11의 브로드캐스트 평균 지연시간이 15.1ms로써 노드 수에 관계없이 일정하다는 것을 보이고 있다. 이것은 패킷이 전체 네트워크로 브로드캐스트되기 위해 경유하는 노드들의 최소 홉 수는 네트워크를 구성하는 노드들의 수에 관계없이 일정하기 때문이다. 즉, 네트워크를 구성하는 노드의 수가 증가하면, 각 노드들의 이웃노드의 수는 증가하지만, 패킷이 전체 네트워크로 브로드캐스트될 때 경유하는 노드의 최소 홉 수는 일정하다.

RMDB는 수신노드들이 송신노드에게 응답하는 CTDB 혹은 DACK의 동시 전송으로 인한 충돌을 회피

하기 위해서 MaxSlot 변수를 이용하며, MaxSlot 변수는 (이웃노드의 수)n으로 산출된다. 그림 11에서 RMDB의 브로드캐스트 지연은 네트워크에 분포하는 노드의 수에 비례하여 증가하고 있다. 이것은 노드의 수가 증가하면, 서로 이웃하는 노드의 수가 증가하고, 이로 인하여 MaxSlot 값이 증가하기 때문이다. 그림 11에서 보여주는 것처럼 MNDB는 RMDB보다 브로드캐스트 지연을 많이 단축하고 있다. 이유는 MNDB가 이웃노드 정보를 이용하여 RMDB의 MaxSlot 변수로 인한 패킷 전송지연을 줄이고 있기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서 제안하는 MNDB 프로토콜은 링크 계층에서 지향성 안테나를 기반으로 이웃 노드 정보와 RTDB, CTDB, DDATA, DACK를 상호 교환하는 4-way 핸드셰이크를 통한 DMACA 구조를 이용하여 90° 단위의 지향성 브로드캐스트를 지원한다. 성능 평가는 충돌과 패킷 분실, 패킷 중복수신, 브로드캐스트 지연 관점에서 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석 결과, 충돌과 패킷 분실, 패킷 중복수신 관점에서 제안하는 MNDB는 다른 비교 프로토콜들보다 좋은 성능을 보였다. 브로드캐스트 전송 지연 관점에서 MNDB는 이웃노드 정보를 이용함으로써, RMDB에서 제어 프레임의 4-way 핸드셰이크 특성 때문에 발생하는 많은 브로드캐스트 전송지연을 줄일 수 있었다.

제안하는 MNDB 프로토콜은 신뢰성 있는 지향성 브로드캐스트를 지원하기 때문에 군부대와 같은 특정 상황이나 많은 센서 노드들이 상호 밀접하게 연결되어 있는 센서 네트워크 환경에서 보다 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Williams, T. Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc. of MobiHoc 2002*, pp. 194-205, Lausanne, Switzerland, Jun 2002.
- [2] Woosuk Cha, Moonkun Lee, and Gihwan Cho, "Design of Reliable MAC Protocol for Directional Broadcasting," in *Proc. of MILCOM 2005*, pp. 480-486, Atlantic, USA, Oct 2005.
- [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," in *Proc. of European Wireless 2004*, pp. 144-158, Barcelona, Spain, Feb 2004.
- [4] A. Nasipuri, S. Ye, J. You, R. E. Hiromoto, "A MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Using Directional Antennas," in *Proc. of IEEE WCNC 2000*, pp. 1214-1219, Chicago, USA, Sep 2000.
- [5] M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, A. Ren, "Directional Virtual Carrier Sensing for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc. of MobiHoc 2002*, pp. 183-193, Lausanne, Switzerland, Jun 2002.
- [6] R. R. Choudhury, X. Yang, R. R. and N. H. Vaidya, "Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks," in *Proc. of MobiCom 2002*, pp. 59-70, Atlanta, USA, Jun 2002.
- [7] A. Nasipuri, J. Mandava, H. Manchala, R. E. Hiromoto, "On Demand Routing Using Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc. of ICCCN 2000*, pp. 535-541, Las Vegas, USA, Oct 2000.
- [8] R. R. Choudhury, N. Vaidya, "On Ad Hoc Routing Using Directional Antennas," in *Proc. of iCSS*, Illinois, USA, 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," in *Proc. of ICC 2000*, pp. 1692-1696, New Orleans, USA, Jun 2000.
- [11] Network Simulator Version 2.29, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [12] Choudhury, R.R, Vaidya, N.H, "Deafness: A MAC Problem in Ad Hoc Networks when using Directional Antennas," in *Proc. of ICNP 2004*, pp. 283-292, Illinois, USA, Oct 2004.

저 자 소 개



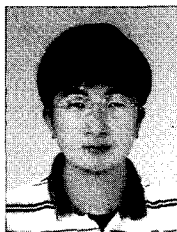
차 우 석(정회원)
 1999년 목포대학교 컴퓨터과학과 학사 졸업.
 2003년 전북대학교 컴퓨터통계 정보학과 석사 졸업.
 2006년 전북대학교 컴퓨터통계 정보학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 무선 MAC 및 라우팅 프로토콜, Ad-hoc 및 센서 네트워크, Mobile IP, 무선 QoS, 무선 네트워크 보안>



김 은 미(정회원)
 2001년 여수대학교 영어영문학과 학사 졸업. (복수:컴퓨터공학과)
 2003년 전남대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
 2003년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : 패턴인식, 뉴럴 네트워크, 바이오 인포메틱스>



배 호 영(정회원)
 2004년 전남대학교 정보통신 공학부 학사 졸업.
 2004년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 인공지능, 의료영상, 무선 네트워크>



이 배 호(정회원)
 1978년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1980년 한국과학기술원 전기 및 전자과 석사 졸업.
 1993년 Missouri Columbia 대학교 전기컴퓨터공학과 박사 졸업.

1995년~1999년 전남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 조교수
 1999년~현재 전남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 부교수

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 인공지능, 의료영상, 무선 네트워크>



조 기 환(정회원)
 1985년 전남대학교 계산통계학과 학사 졸업.
 1987년 서울대학교 계산통계학과 석사 졸업.
 1996년 영국 Newcastle 대학교 전산학과 박사 졸업.

1987년~1997년 한국전자통신연구원 선임연구원
 1997년~1999년 목포대학교 컴퓨터과학과 전임 강사

1999년~현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수
 <주관심분야 : 이동컴퓨팅, 컴퓨터통신, 무선네트워크 보안, 센서네트워크, 분산처리시스템>