

# IEEE 802.11에서 다중 릴레이를 이용한 멀티홉 방식 협력 무선통신

## (Multi-Hop Cooperative Communications using Multi-Relays in IEEE 802.11)

이 숙 현 <sup>†</sup>      이 태 진 <sup>\*\*</sup>  
(Sook-Hyoun Lee)      (Tae-Jin Lee)

**요약** 본 논문에서는 IEEE 802.11 환경에서 무선 협력 통신을 이용하여 성능을 향상 시키는 방법에 대해 제안한다. 기존 협력 통신 알고리즘은 소스(source)와 AP(Access Point) 사이에 1개의 릴레이(relay)를 두어 수행한 2 홉 릴레이(hop relay) 방식으로, 이는 알맞은 릴레이를 찾을 수 없는 경우가 발생하므로 보완이 필요하다. 본 논문에서는 AP에서 네트워크 정보(노드 사이 전송률, 노드와 AP 사이 전송률)를 관리하여 릴레이 선정에 이 네트워크 정보를 이용한다. 이 정보를 이용하여 AP는 1개 이상의 릴레이를 선정하여 소스와 주위 노드에게 선정된 릴레이를 알리고 소스에서 데이터를 전송할 때 이 릴레이를 통해 협력 통신을 하도록 한다. 이러한 협력 통신 방법은 데이터 전송의 효율성을 높인다. 또한 본 논문에서는 소스의 데이터를 전송한 릴레이는 소스의 데이터를 전송한 후에 자신의 데이터 또한 전송할 수 있는 기회를 가지도록 하여 소스 데이터를 대신 전송하여 소비된 노드의 자원을 만회할 수 있는 기회를 가지게 한다. 이로써 제안된 방법을 이용하면 노드의 자원 소비를 보완함은 물론 전체 네트워크의 성능(throughput)을 향상시킬 수 있다.

**키워드** : 성능, 협력 통신, IEEE 802.11, MAC

**Abstract** This paper proposes a mechanism to increase performance using cooperative communications in IEEE 802.11 environment. Existing algorithms use one relay between a source and a destination, which is a 2 hop relay. The proposed algorithm utilizes more than one relay to complement inefficiency of using one relay. In the proposed mechanism, an AP manages network information (rate), which is used to select relays of a source by the AP. The AP notifies the selected relays to the source and neighbor nodes, and the source transmits data to the relays for cooperative communications. Moreover, relays are given to have an opportunity to send its own data right after relaying the source's data. So relays are compensated for the power to send the source's data and overall throughput is improved.

**Key words** : Cooperative communications, IEEE 802.11, MAC, Throughput

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-(C1090-0902-0005))

<sup>†</sup> 학생회원 : 성균관대학교 이동통신학과  
sookhyun@ece.skku.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수  
tjlee@ece.skku.ac.kr

논문접수 : 2009년 7월 7일

심사완료 : 2009년 10월 6일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제36권 제6호(2009.12)

## 1. 서론

데이터를 송/수신하는데 있어 MIMO(multiple-input multiple-output) 방식은 여러 개의 안테나(antenna)를 이용하여 공간 다이버시티(spatial diversity)를 확보하는데, 이는 무선 전송 성능을 개선하는 이점이 있다. 하지만 무선 환경에서 단말기는 크기, 비용, 복잡도 제한 등으로 인해 MIMO를 지원하는데 제약이 있다. 이를 개선하기 위해 하나의 안테나가 있는 단말기 여러 개로 MIMO의 다중 안테나를 대신할 수 있도록 하여 MIMO와 같은 성능을 보일 수 있도록 한 협력 통신이 등장하였다[1].

협력 통신은 무선 통신에서 데이터를 전송할 때 데이터가 브로드캐스팅(broadcasting) 되는 성질을 이용한다. 이는 목적지 노드 외에 타 노드들이 신호를 수신할 수 있다는 것으로, 일반적으로 이 신호는 노드들의 간섭(interference)으로 작용한다. 그러나 협력 통신에서는 이 신호를 수신할 수 있는 노드 중 목적지 노드에 데이터를 대신 전송할 릴레이 노드를 선정한다. 이 릴레이 노드가 소스를 대신하여 데이터를 목적지 노드에 전송하므로써 소스와 목적지 노드 사이의 낮은 직접 전송 성능 대신, 높은 성능을 가지는 소스와 릴레이, 릴레이와 목적지 노드와의 전송률을 이용할 수 있도록 하여 전체 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다[2].

현재 릴레이를 선정하는데 있어 여러 방법이 제시되고 있으며 이 중 멀티 릴레이(multi-relay)를 이용하는 방식은 소스를 수신한 노드 중 디코딩(decoding)이 가능한 노드를 릴레이로 선정한다[3]. 그러나 현재까지 제시된 멀티 릴레이를 이용하는 방법은 릴레이 하나를 이용하는 방법[4-6] 보다 복잡도가 높은 반면 유사한 성능을 보인다. 또한 한 개의 릴레이를 이용한 방법은 소스 노드 외의 다수의 노드들이 릴레이로 선택되기 위한 프레임(frame)을 전송한다. 이는 노드가 많아짐에 따라 프레임 충돌이 증가하여 노드들의 불필요한 자원 낭비를 초래 한다[4,5].

이러한 프레임 충돌의 단점을 개선한 방법으로, [6]에서는 소스 노드에서 릴레이 선정 부분을 담당하여 프레임 충돌로 인한 자원 낭비를 개선하였다. 그러나 소스에서 릴레이 선정을 모두 관장하므로 인해 모든 노드들은 주위 노드와의 전송률 정보를 보유해야 하므로 일정량의 메모리를 가져야하며 릴레이 선정에 필요한 루틴을 실행하기 위해 자원을 소비한다. 그리고 노드가 릴레이를 선정할 때 릴레이로써의 수행 횟수를 참조할 수 있는 정보가 없어 자원 소진 정도를 알 수 없다. 그리하여 성능이 좋으면 좋을수록 릴레이로 선정되는 횟수가 증가하여 자원이 빨리 소진되는 문제가 발생하며 일부 노드들의 상태가 저전력 상태로 변화하는 등의 노드 상태가 변할 경우 반영할 수 없으므로 릴레이 선정이 비효율적일 수 있다. 이상의 논문들은 릴레이 선정 방식만을 고려한 아이디어를 제시하고 있으나 선정된 릴레이가 중계를 위해 소비한 자원에 대한 보완 방법은 제시하지 않았다.

본 논문에서는 이와 같이 기존 방법의 단점을 보완하고 전체 성능을 높일 수 있는 방법으로 DR-CMAC (Dual Relay-Cooperative Medium Access Control)을 제시한다.

제안하는 방법은 1Mbps, 2Mbps, 5Mbps 그리고 11Mbps의 전송률로 데이터를 전송하는 IEEE 802.11b

환경에서 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 기반으로 한 새로운 협력 통신 방식이다. 그리고 채널 상태에 따라 2개 이상의 릴레이를 사용하여, 한 개 릴레이로는 중계할 수 없는 소스 위치에 대하여 보완할 수 있도록 하였다. 또한 노드의 전송률 정보를 노드들이 각각 유지 하는 것이 아니라 AP로 통합하였다. 이로 인해 AP에서 유지해야 하는 테이블 크기는 커질 수 있으나 AP에는 노드의 상태 정보(저전력 상태, 노드의 연결 중단)를 알 수 있으므로 불필요한 정보를 삭제할 수 있으며 각 노드에서 전송률 정보를 관리하는 것에 비해 중복되는 정보를 줄일 수 있다. 그리고 노드에서 릴레이 선정을 위해 경로를 검색하는 루틴이 필요 없어짐으로써 노드의 전력 소모를 줄일 수 있으며 릴레이로써의 사용 정도 및 상태를 알 수 있어 릴레이 선정에 효율적이다. 본 논문에서는 전송에 참여한 릴레이는 소스 데이터를 전송한 후 추가적인 절차(control frame, backoff 수행 절차) 없이 자신의 데이터를 전송함으로써 소스 데이터를 대신 전송하기 위해 사용되었던 자원을 만회할 수 있는 방법 또한 제시하였다. 이러한 릴레이의 데이터 전송은 전송률이 낮은 노드의 통신 링크 점유에 많이 할당되는 기존 방법에 비해 릴레이를 통해 전송률이 높은 노드에게 통신 링크를 점유할 수 있는 기회를 많이 줌으로써 전체적인 네트워크의 성능 또한 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘이 기존 방법과 비교하여 성능 향상을 보임을 제시하고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. DR-CMAC 알고리즘

제안하는 DR-CMAC은 기본적으로 IEEE 802.11b MAC에서 RTS/CTS 프레임 전송을 통해 충돌(collision)을 최소화하는 CSMA/CA 방식을 따른다. 그리고 전송과 수신 채널이 대칭(symmetrical)이며 노드에서 수신된 신호 전력(signal power)으로 경로손실(path loss)을 계산한다[7]. 이 값을 참조하여 BER(Bit Error Rate)을 보장하는 임계값(threshold value)에 알맞은 전송률을 찾는다[6]. 이러한 전송률은 AP내의 테이블에 저장하며 테이블은 노드끼리의 전송률 정보( $nC_2$ 개), 노드와 AP 사이의 전송률 정보( $n$ 개)를 유지, 관리한다. 그러므로 AP에서 유지해야 되는 테이블의 크기는 네트워크에  $n$ 개의 노드가 있을 경우 최대  $nC_2 + n$ 이 요구된다. 그리고 AP는 이후 데이터 수신 요청이 올 때 전송 시간을 계산하여 직접 경로(direct path) 전송 시간 보다 더 효율적으로 싱글 릴레이(single relay: 단일 릴레이)

이 사용) 또는 듀얼 릴레이(dual relay: 두 개의 릴레이 사용)를 이용한 중계 경로가 있을 경우에 협력 통신을 하는데 이 테이블을 이용하도록 한다.

**2.1 제안 DR-CMAC 알고리즘**

그림 1은 소스에서 데이터 전송을 위해 제어(control) 프레임을 전송하는 단계를 도식화하였다. 소스에서 CRTS 프레임을 전송하고 CRTS 프레임을 수신한 AP는 AP에 있는 테이블을 검색하여 알맞은 중계경로를 CCTS 프레임에 포함시켜 전송한다. 소스는 CCTS 프레임을 수신하여 릴레이 정보가 있으면 이 릴레이에서 전송하는 ETS 프레임을 기다리고 그렇지 않으면 AP에게 데이터를 전송한다. 소스 외의 노드들은 CCTS 프레임을 수신하면 자신의 AID와 CCTS 프레임 필드의 relay id를 비교하여 자신의 것과 동일하면 ETS 프레임을 전송한다.

그림 2는 데이터를 전송할 때를 도식화한 그림이다. 그림 2(a)는 소스만 AP에 전송할 데이터를 가지고 있을

경우이고 그림 2(b)는 소스와 relay 1, relay 2 모두 AP에 전송할 자신의 데이터를 가지고 있을 경우이다. 소스만 AP에 전송할 데이터를 가지고 있을 경우에는 소스는 relay 1에게 데이터를 전송하고 relay 1은 relay 2에게 소스에게서 받은 데이터를 릴레이 해준다. 그리고 relay 2는 relay 1에게서 받은 데이터를 AP에게 릴레이 한다. AP에서는 소스 데이터만 수신한 것이므로 ACK 프레임은 소스에게 한번 전송하여 전송을 완료한다. 반면에 소스와 relay 1, relay 2 모두 AP에 전송할 데이터를 가지고 있는 그림 2(b)에서는 전 단계의 노드에게서 받은 데이터를 릴레이한 후에 자신의 데이터도 전송한다. 즉, 소스가 relay 1에게 데이터를 전송하면 relay 1은 relay 2에게 소스에게서 받은 데이터를 전송하고 바로 다음에 relay 1 자신의 데이터를 relay 2에게 전송한다. 그리고 relay 2는 relay 1에게서 받은 데이터(소스 데이터, relay 1 데이터)를 AP에게 릴레이한 후에 자신의 데이터를 AP에게 전송한다. 마지막으로 AP는

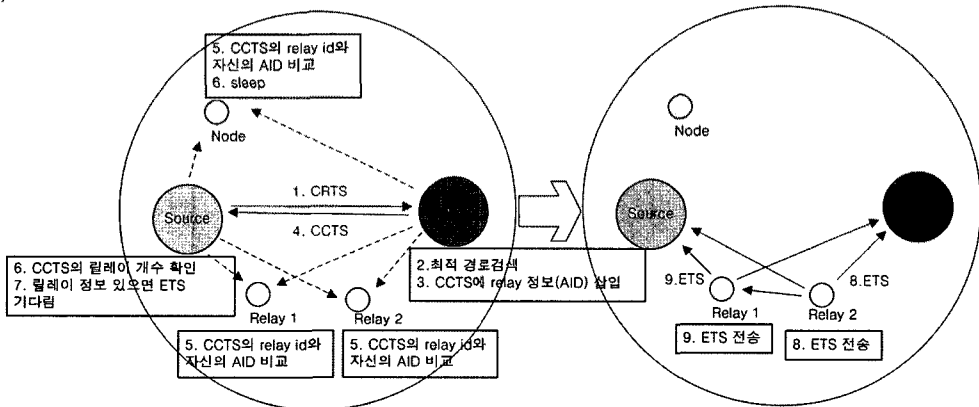
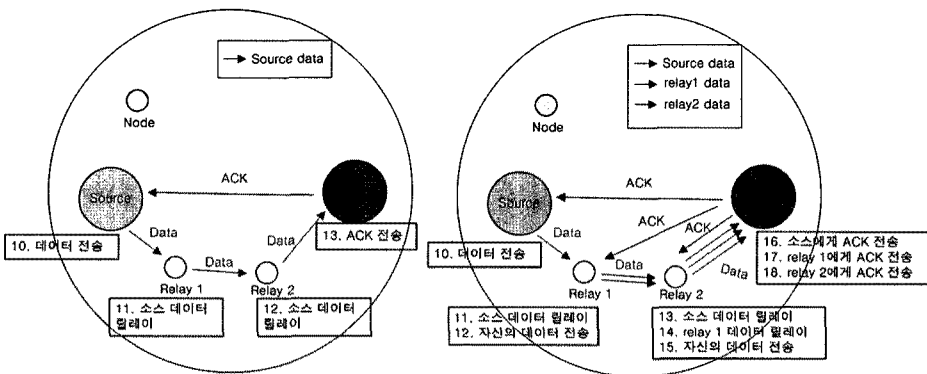


그림 1 제안 DR-CMAC의 제어(control) 프레임 전송 과정



(a) 소스만 데이터 전송

(b) 소스, relay 1, relay 2 데이터 전송

그림 2 제안 DR-CMAC의 데이터 전송 과정

데이터를 전송한 세 개의 노드(소스, relay 1, relay2) 모두에게 ACK 프레임을 보냄으로써 전송이 완료된다.

**2.2 DR-CMAC의 동작 예**

그림 3, 그림 4는 실제로 데이터를 전송하는 과정을 그림으로 보여 주고 있다. 이 그림은 위의 그림 1, 2의 내용을 시간 순서대로 표현한 것으로 그림 3은 릴레이가 AP에 전송할 데이터가 없을 때를 표현한 것이고, 그림 4는 릴레이가 AP에 전송할 데이터가 있을 때를 나타낸 것이다. 두 그림은 제어 프레임 전송은 동일하고 데이터 프레임 전송할 때 전 단계 노드의 데이터를 릴레이한 후에 자신의 데이터도 전송하는지에 대해 차이점이 있다.

**2.3 DR-CMAC의 프레임 구조 및 중계경로 선택**

**2.3.1 프레임 구조**

그림 5는 DR-CMAC을 수행하기 위해 새로 정의된 프레임 포맷으로 CRTS 프레임은 소스에서 RTS 프레임 대신 RTS 프레임의 역할과 더불어 자신 주위의 노드와의 관계(전송률 정보)를 AP에 전달하기 위해 주위 노드의 아이디와 전송률 정보를 포함하고 있다. ETS 프레임은 소스의 데이터를 받아 전송하도록 선정된 릴레이(CCTS 프레임에서 릴레이를 지정)들이 릴레이로 역할을 수행할 수 있음을 나타내기 위해 릴레이에서 전송하는 프레임이다. 마지막으로 CCTS 프레임은 AP에

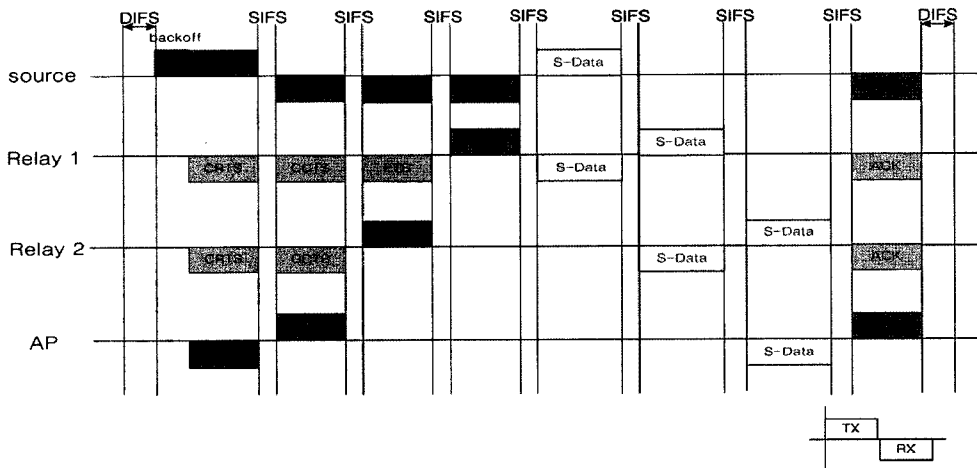


그림 3 릴레이 자신이 데이터가 없는 경우의 전송 과정(두 개의 릴레이 사용)

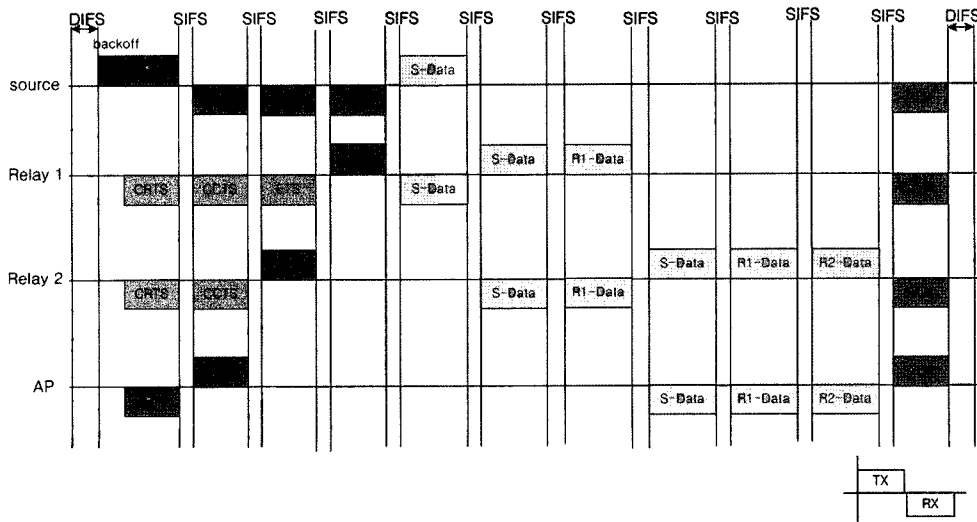


그림 4 릴레이 자신의 데이터가 있는 경우의 전송 과정(두 개의 릴레이 사용)

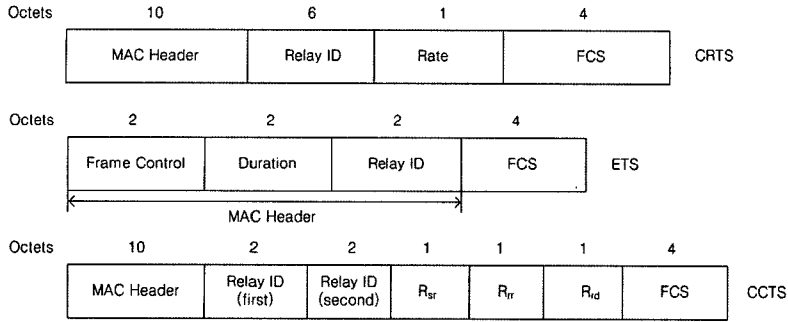


그림 5 프레임 구조

서 CTS 프레임 대신 소스에게 CTS 프레임 역할과 더불어 소스 데이터를 중계해 전송할 릴레이 정보를 넣어 AP가 소스에게 보내는 프레임이다. 그림 5에서 릴레이 아이디(ID)를 CRTS 프레임에서는 6 Octets을 사용하고 ETS 프레임, CCTS 프레임은 2 Octets을 사용하는데 이는 CRTS 프레임에서는 릴레이의 MAC 주소를 사용하고 ETS 프레임, CCTS 프레임은 초기 노드가 AP에 접속 요청할 때 사용하는 관리(management) 프레임인 association request message 전송 후 AP에게서 부여 받는 AID를 사용하기 때문이다. 그리고 본 논문에서는 MAC Header에서 1bit로 정의되어 있는 More Data Field를 이용하여 CCTS 프레임의 정보가 싱글 릴레이인지 듀얼 릴레이인지를 구분한다.

2.3.2 중계경로 선정 방식

릴레이 선정 방식은 직접경로 전송 시간, 싱글 릴레이 이용 전송 시간, 듀얼 릴레이 이용 전송 시간을 비교하여 가장 짧은 전송시간을 보이는 경로를 이용하도록 한다.

$$T_{direct} = \frac{8L}{R_{sd}} + T_{PLCP} \quad (1)$$

$T_{direct}$ 는 소스에서 AP까지  $8L$  (bits) 크기의 데이터 사이즈를  $R_{sd}$  전송률로 데이터를 전송할 때 소요되는 시간을 나타내며  $T_{PLCP}$ 은 Physical header의 전송 시간이다.

$$T_{single} = \frac{8L}{R_{sr}} + \frac{8L}{R_{rd}} + 2 * T_{PLCP} + T_{ETS} + 2 * T_{SIFS} \quad (2)$$

$T_{single}$ 은 소스와 AP사이에 한 개의 릴레이를 두고 전송할 때 소요되는 시간이다. 한 개의 릴레이를 이용하면 소스에서 릴레이까지  $R_{sr}$  전송률로 데이터를 전송하고 릴레이에서 AP까지  $R_{rd}$  전송률로 데이터를 전송하게 된다. 그러므로 두 번의  $T_{PLCP}$  시간이 소요되며 소스가 릴레이에게 데이터를 전송하기 전에 릴레이가 릴레이로 지정되기 위해 ETS 프레임을 전송하기 때문에 이 ETS 프레임을 전송하는 시간( $T_{ETS}$ )이 추가 된다.

$$T_{dual} = \frac{8L}{R_{sr}} + \frac{8L}{R_{rr}} + \frac{8L}{R_{rd}} + 3 * T_{PLCP} + 2 * T_{ETS} + 3 * T_{SIFS} \quad (3)$$

$T_{dual}$ 은 소스가 AP로 데이터를 전송할 때 두 개의 릴레이를 이용하는 경우에 대한 전송 소요 시간이다. 측정 시간 중  $R_{rr}$ 은 첫 번째 릴레이에서 두 번째 릴레이로 전송하는 전송률이다. 이때는 소스에서 첫 번째 릴레이, 첫 번째 릴레이에서 두 번째 릴레이, 마지막으로 두 번째 릴레이에서 AP까지 총 3단계의 전송이 수행되므로,  $T_{PLCP}$ ,  $T_{SIFS}$  시간이 세 번 더해지고 릴레이가 두 개이므로  $T_{ETS}$ 가 두 번 추가 된다. 위의 세 식은 직접 경로 전송 시간과 싱글 릴레이 이용 전송 시간, 듀얼 릴레이 이용 전송 시간을 계산 하는 수식으로 시간이 최소가 되는 전송 경로를 최종 전송 경로로 정한다.

3. 성능 평가

3.1 시뮬레이션 환경

제안 DR-CMAC의 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 환경은 IEEE 802.11b 무선 랜으로 다중 전송률을 지원한다. 노드는 AP를 중심으로 균일하게(uniform) 분포하며 거리에 따라 다른 전송률을 가정한다. DR-CMAC에서 이용하는 CRTS, CCTS, ETS 프레임을 제외한 모든 파라미터(parameter) 값은 IEEE 802.11b에서 정의된 값을 따르며 표 1에서 나타내었다. CRTS 프레임은 RTS 프레임에 릴레이 아이디, 전송률이 추가된 형태로 총 56bits가 추가 된다. ETS 프레임은 CTS 프레임의 구성과 유사하나 CTS 프레임의 RA에 MAC Address 대신 AID를 사용하여 CTS 프레임 사이즈보다 32bits 축소된 형태이다. 마지막으로 CCTS 프레임은 소스가 이용할 릴레이의 정보를 삽입하는데 릴레이 개수에 따라 한 개의 릴레이를 이용할 때는 32bits가 추가되며 두 개의 릴레이를 이용할 때는 64bits가 추가된다.

그림 6은 거리와 전송률의 관계를 나타낸 그림으로 직접 경로와 싱글 릴레이를 이용하는 경로 그리고 듀얼

표 1 성능 평가에 사용된 파라미터

파라미터	값
MAC header	272 bits
PHY header	192 bits
RTS	352 bits,
CRTS	352 + 56 bits
CTS	304 bits
CCTS (싱글 릴레이, 듀얼 릴레이)	304 + 32bits, 304 + 64bits
ETS	272 bits
ACK	304 bits
Rate for MAC/PHY header	1Mbps
Slot time	20 $\mu$ s
SIFS	10 $\mu$ s
DIFS	50 $\mu$ s
aCWMIn	31 slots
aCWMax	1023 slots

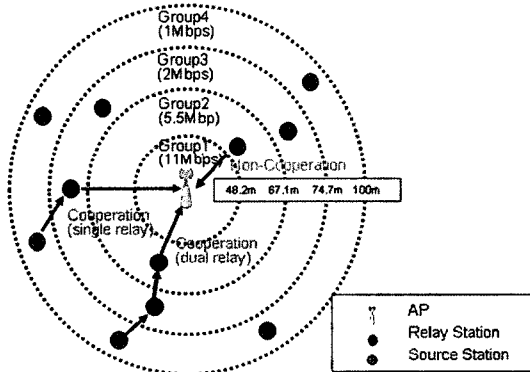


그림 6 반경 별 그룹 전송률

릴레이를 이용하는 경로를 각각 보여 주고 있다. 그리고 각 전송률로 그룹 1~4로 나누었는데 이는 AP로부터의 거리를 기준으로 하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

그림 7에서는 1024bytes의 데이터 사이즈로 IEEE 802.11b[8], CoopMAC과 DR-CMAC에서의 성능을 비교한다. DR-CMAC에서의 upper bound는 모든 릴레이가 AP에 전송할 자신의 데이터를 가지고 있을 경우를 나타낸 것이며 lower bound는 모든 릴레이가 AP에 전송할 데이터를 가지고 있지 않을 경우를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 upper bound는 lower bound에 비해 약 66.6%정도의 성능 향상을 보여주고 있다. 이러한 성능 향상 수치는 릴레이가 AP에 전송할 데이터의 보유 비율에 따라 upper bound와 lower bound의 사이 값이 된다.

기존 IEEE 802.11b에서는 노드 수가 증가함에 따라 성능이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 노드 수가 증가하면 1Mbps로 전송하는 노드 수가 증가하기 때문이다. 반면에 CoopMAC과 제안하는 DR-CMAC에서는

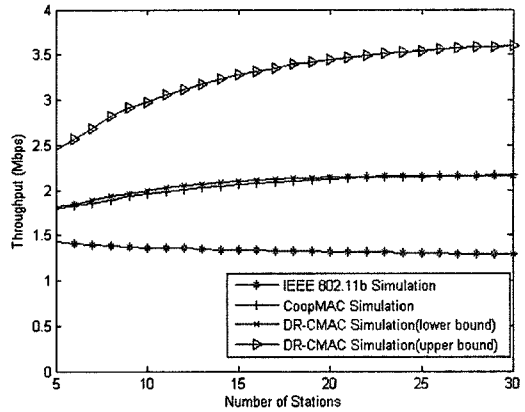


그림 7 Mobile Station 개수 별 성능

릴레이를 선택하여 협력 통신을 하는 비율이 노드가 증가함에 따라 높아지게 된다. 그러므로 노드 수가 증가해도 성능이 향상되고 있는 것을 볼 수 있다. 그림에서 CoopMAC과 DR-CMAC의 lower bound의 성능이 유사한 것을 볼 수 있는데 그 이유는 DR-CMAC에서는 듀얼 릴레이의 사용으로 인한 오버헤드의 증가량과 성능 향상량이 유사하기 때문이다. 그러나 그림 8에서와 같이 데이터의 사이즈를 증가시키면 성능 향상량이 오버헤드 증가량보다 커지므로 DR-CMAC이 CoopMAC보다 개선됨을 알 수 있다.

그림 8은 전송 데이터의 크기를 512 bytes, 1024 bytes, 2048 bytes로 전송하였을 때 DR-CMAC과 CoopMAC의 성능을 비교하였다. 위에서 설명한 대로 데이터 사이즈가 증가함에 따라 DR-CMAC의 lower bound 성능이 CoopMAC의 성능 보다 점차 증가함을 볼 수 있다. 또한 데이터 크기가 작은 DR-CMAC의 upper bound가 데이터 크기가 큰 DR-CMAC의 lower bound 보다 우수한 성능을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 볼 때 노드가 빈번히 데이터를 전송하는 환경에서는 전송 데이터의 크기를 줄이고 릴레이 자신의 데이터를 백오프 경쟁 없이 전송하는 것이 효율적인 것을 알 수 있다. 그림에서 성능 향상은 512 bytes, 1024 bytes, 2048 bytes로 전송하였을 때 lower bound에서 upper bound까지 각각 72%, 66.6%, 63.3%의 향상을 보인다.

그림 7, 8로부터 소스에서 데이터를 전송할 때 데이터 전송률이 낮은 소스와 AP 사이 직접 경로를 사용하는 것보다 데이터 전송률이 높은 소스와 릴레이, 릴레이와 AP 경로를 이용해 전송하는 것이 효과적임을 볼 수 있다. 그리고 소스가 데이터를 전송할 때 릴레이의 데이터 또한 AP에 전송하도록 하여 성능이 상당히 향상됨을 알 수 있다.

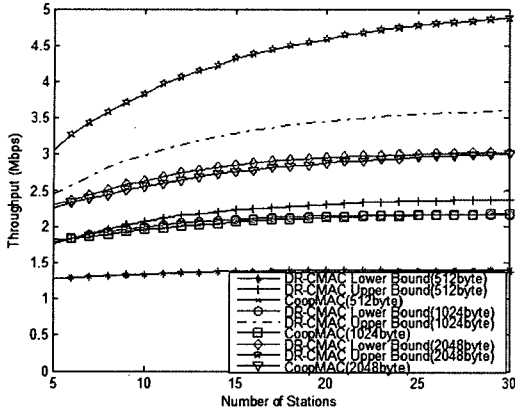


그림 8 데이터 크기에 따른 성능

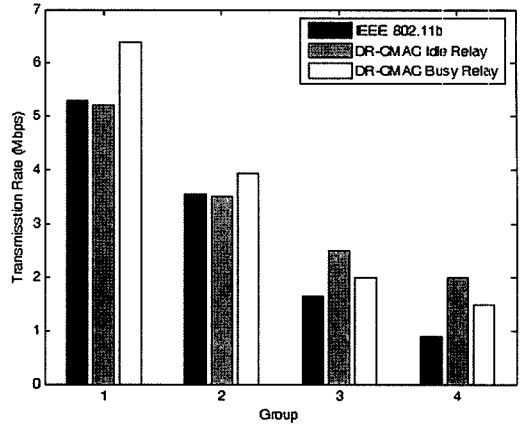


그림 10 Group 별 성능

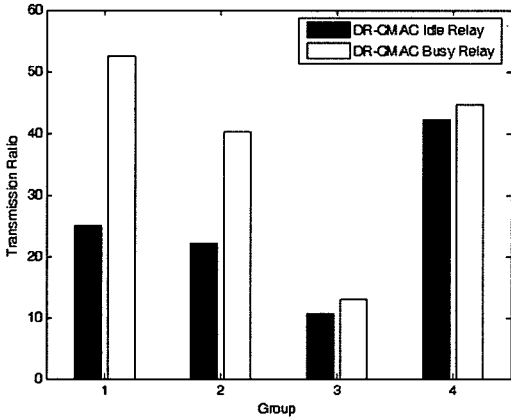


그림 9 Group 별 전송 비율

그림 9에서 Idle Relay는 소스 데이터만을 AP에 전송하는 릴레이를 의미하고 Busy Relay는 릴레이도 AP에 전송할 자신의 데이터를 보유하고 있어 소스 데이터 전송 후 릴레이 자신의 데이터도 AP에 전송하는 릴레이를 말한다. 그림에서는 소스의 데이터 총 전송 비율을 100%로 두었을 때 그룹 별로 차지하는 전송 비율을 나타내었다. 노드를 균일하게(uniform) 배치하게 되면 그룹별 노드 수는 그룹의 넓이에 비례해 배치된다. 그룹 4는 총 넓이의 약 45%를 차지하고 그룹 1은 23%, 그룹 2는 22%, 그룹 3은 10%를 차지하여 노드 수는 그룹 4가 가장 많고 이후로는 그룹 1, 그룹 2, 그룹 3의 순서대로 작아지게 된다. 그러므로 Idle Relay 일 경우 넓이가 가장 넓은 그룹 4에 노드 수가 가장 많으므로 링크 선점에서 타 그룹에 비해 많은 비율을 차지하게 된다. 그러나 Busy Relay에서는 소스 노드들이 링크 선점을 위한 경쟁을 하고 이후 릴레이로 선택된 노드들이 자신의 데이터를 중계 데이터와 함께 AP에게 전송할 수 있

는 기회를 가지므로 그룹의 전송 비율이 Idle Relay에서 오는 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 그룹 1, 2는 그룹 3, 4의 릴레이로써 역할을 수행하므로 링크 경쟁 없이 데이터를 전송하기 때문에 전송 비율이 높아진 것이고 그룹 3, 4의 경우에는 그룹 1, 2가 릴레이로 데이터를 전송한 후 백오프 값이 초기화가 되므로 그룹 3, 4가 링크 점유를 할 기회를 추가적으로 얻게 되므로 전송 비율이 같이 높아지는 것이다.

그림 10은 기존 IEEE 802.11b의 성능과 DR-CMAC에서의 성능을 그룹 별로 비교한 그래프이다. Idle Relay 그래프에서 그룹별 성능을 보면 그룹 1,2에서는 제안 방법의 전송률이 IEEE 802.11b의 전송율과 유사하거나 약간 낮게 나온다. 이것은 릴레이 사용을 위한 데이터 추가로 오버헤드(overhead)가 증가하기 때문이다. 반면 그룹 3,4에서는 IEEE 802.11b 보다 높은 성능을 보이는데 이것을 볼 때 그룹 3,4에서 릴레이를 사용한다는 것을 알 수 있으며 그림 10의 결과로 그룹 3,4의 성능을 높이는 것만으로도 성능을 상당히 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. Busy Relay 그래프에서는 그룹 1,2에서도 IEEE 802.11b 보다 높은 성능을 보이고 있다. 이것은 그림 9에서 볼 수 있듯이 그룹 1, 2가 릴레이로 선택되어 제어(control) 프레임(RTS, CTS)의 교환 없이 전송하는 경우로 인해 성능을 높이기 때문이다. 이 그래프에서 그룹 3,4는 IEEE 802.11b의 성능 보다는 높고 Idle Relay를 사용한 성능 보다는 다소 낮게 나오는데 이것은 그룹 3,4의 전송 기회에 그룹 1,2의 노드가 릴레이가 되며 릴레이로 선택된 노드도 데이터를 또한 전송하므로 그룹 3,4의 총 전송 시간이 길어져 그룹 3,4의 성능은 낮아지는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 노드 수를 균일하게(uniform) 증가시켰을 경우 릴레이 개수의 선택 비율이다. 직접 경로를 선택하

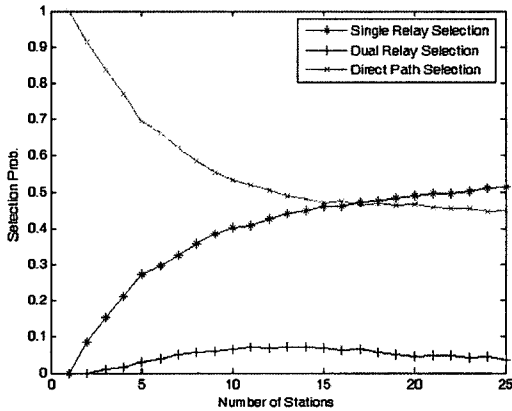


그림 11 직접 경로, 단일 릴레이 경로, 두 개의 릴레이 경로 선택 확률

는 비율은 단말 수가 적을 경우에 많이 나타나고 이후 감소하는 것을 볼 수 있고 감소하는 비율만큼 싱글 릴레이 선택 비율과 듀얼 릴레이의 선택 비율이 같이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이처럼 단말 수가 증가 하면 중계 경로를 선택하여 직접 경로의 단점을 보완할 수 있으며 싱글 릴레이의 선택이 적절하지 않을 경우 듀얼 릴레이를 선택하여 성능 향상을 도모할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11b 환경에서 협력 통신 방법을 이용한 DR-CMAC을 제안하였다. DR-CMAC은 기존의 싱글 릴레이를 사용하는 대신 듀얼 릴레이를 추가로 사용하여 가상 안테나 수를 증가시킴으로써 공간 다이버시티 능력 제한을 완화시켰으며 성능도 증가시켰다. 또한 릴레이가 AP로 전송하는 데이터가 있을 경우 소스 데이터를 전송한 후 릴레이 자신의 데이터를 전송하는 방법을 사용하여 성능을 향상시켰으며 소스 데이터를 대신해서 전송하는 릴레이의 전력을 보상할 수 있어 무선 환경 전체에 이득이 된다고 할 수 있다. 그리고 성능 평가 결과 제안 방법이 거리에 따라 단말의 채널 환경이 다양한 경우에 협력을 통해 네트워크 전체의 성능을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] P. Liv, Z. Tao, Z. Lin, E. Eri, and S. Panwar, "Cooperative Wireless Communication: a Cross-Layer Approach," *IEEE Comm. Mag.*, vol.13, no.4, pp.84-92, Aug. 2006.
- [2] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol.42, no.10, pp.74-80, Oct.

2004.

- [3] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Distributed Space-Time-Coded Protocols for Exploiting Cooperative Diversity in Wireless Network," *IEEE Trans. Comm.*, vol.49, no.10, pp.2415-2425, Oct. 2003.
- [4] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Simple Cooperative Diversity Method Based on Network," *IEEE JSAC*, vol.24, no.3, pp.659-672, Mar. 2006.
- [5] A. Bletsas, H. Shin and M. Z. Win, "Cooperative Communications with Outage-Optimal Opportunistic Relaying," *IEEE Trans. Comm.*, vol.6, no.9, pp.3450-3460, Sep. 2007.
- [6] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. S. Panwar "CoopMAC: A Cooperative MAC for Wireless LANs," *IEEE JSAC*, vol.25, no.2, pp.340-353, Feb. 2007.
- [7] IEEE 802.11k, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs, Jun. 2008.
- [8] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," *IEEE JSAC*, vol.18, no.3, pp.535-547, Mar. 2000.



이 숙 현

1999년 창원대학교 컴퓨터공학과(학사) 2008년 2월~성균관대학교 정보통신공학부(석사과정). 2003년~2008년 메타비즈 연구원. 관심분야는 협력통신, 무선 LAN, 이동 통신 네트워크 등



이 태 진

1989년 연세대학교 전자공학과(학사). 1991년 연세대학교 전자공학과(공학석사) 1995년 Univ. of Michigan, Ann Arbor, EECS(공학석사). 1999년 Univ. of Texas at Austin, ECE(공학박사). 1999년~2001년 삼성전자 중앙 연구소 책임 연구원. 2001년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수. 관심분야는 통신 네트워크/시스템의 성능분석 및 설계, 협력통신, 무선 PAN/LAN/MAN, Ad-hoc/RFID/센서 네트워크, 광 네트워크 등