

밀집 무선랜 시스템에서의 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법

김나명*, 김원중*, 백상헌^o

Multicast Scheduling Scheme in Dense WLAN Systems

Namyong Kim*, Wonjung Kim*, Sangheon Pack^o

요약

최근 무선 디바이스의 증가와 무선랜 사용자가 급증하면서 다수의 AP와 여러 노드가 존재하는 밀집 네트워크 환경이 발생한다. 다수의 AP가 존재하는 환경에서 중첩영역에 대한 고려 없이 멀티캐스트 데이터를 전송할 경우 노드의 위치에 따라서 메시지 중복 수신과 빈번한 데이터 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 밀집 무선랜 시스템에 적합한 새로운 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 멀티캐스트 전송 기법은 단일 전송 환경과 다중 전송 환경을 모두 고려하며 각 AP의 최적의 전송 순서를 스케줄링 함으로써 불필요한 중복전송을 제거하고 데이터 충돌을 방지한다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안하는 기법이 비교 기법들에 비해서 전송시간이 감소하고, 밀집 네트워크 환경에서 효율적인 멀티캐스트 전송을 하는 것을 확인할 수 있다.

Key Words : dense networks, virtual WLAN system, directional antenna, multicast

ABSTRACT

Nowadays, many WLAN access points (APs) are deployed in hotspot areas such as shopping malls and stations. As the number of WLAN APs deployed increases, how to manage densely deployed APs in an efficient manner becomes one of the most important issues in WLANs. In this environment, uncoordinated multicast services can lead to frequent collisions due to simultaneous transmissions among APs. In this paper, we propose a multicast scheduling algorithm that can exploit simultaneous transmissions in multiple sectors and avoid redundant transmissions in dense networks. Simulation results demonstrate that the proposed scheme can reduce the multicast transmission latency compared to comparison scheduling schemes

1. 서론

최근 무선 디바이스 및 어플리케이션의 발달로 무선랜 사용자가 급격하게 증가하였다. 특히 지하철역과 대형 쇼핑몰과 같이 많은 사람들이 밀집된 환경에서 사용자의 QoE (Quality of Experience)를 만족시키기

위해서 수많은 AP (Access Point)가 설치된다. 이와 같이 제한된 네트워크 영역에 수많은 AP와 노드들이 존재하는 밀집 네트워크 환경은 여러 개의 AP가 인접하게 설치되기 때문에 전송범위가 중첩되는 중첩영역이 발생한다. 이 때, 중첩영역에 대한 고려 없이 멀티캐스트 전송을 할 경우 노드의 위치에 따라서 데이터

※ 본 연구는 미래창조과학부 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신 및 방송연구개발사업 [2014-044-006-004, 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발] 및 미래창조과학부 정보통신산업진흥원의 대학 ICT연구센터 지원사업 [NIPA-2014-H0301-14-1015]의 일환으로 수행되었음

♦ First Author : Korea University School of Electrical Engineering, lime3624@korea.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Korea University School of Electrical Engineering, shpack@korea.ac.kr, 종신회원

* Korea University School of Electrical Engineering, abcxxxx@korea.ac.kr

논문번호 : KICS2015-02-030, Received February 11, 2015; Revised February 24, 2015; Accepted March 16, 2015

충돌과 메시지 중복수신이 발생할 수 있다. 그러므로 여러 대의 AP가 존재하는 밀집 네트워크 환경에서는 AP의 전송 순서를 정하는 스케줄링이 필요하다.

여러 대의 AP를 효율적으로 관리하기 위해서 가상화 WLAN (Wireless Local Area Network) 시스템을 적용할 수 있다¹⁾. 가상화 WLAN 시스템은 하나의 중앙 컨트롤러를 기반으로 여러 대의 AP를 통합적으로 관리하는 가상화 기술로 여러 대의 AP를 하나의 AP 처럼 동작시킨다. 가상화 WLAN 시스템을 사용하면 중앙 컨트롤러가 네트워크 내의 모든 AP로부터 정보를 수집하고 계산할 수 있기 때문에 효율적인 스케줄링이 가능하다²⁾.

현재 고화질의 영상을 초고속으로 전송 가능한 60GHz 대역의 mmWave 네트워크 표준 기술인 IEEE 802.11ad의 표준화가 완료되었다³⁾. 60GHz 대역은 빠른 전송속도로 사용이 가능하지만^{4,5)} 거리에 따른 신호감쇄가 매우 크기 때문에 데이터 전송 시 지향성 안테나를 사용한다. 지향성 안테나는 공간 재활용이 가능하여 밀집 환경에서 효율적으로 사용이 가능하다. 이와 같이 밀집 네트워크 환경에서 지향성 안테나를 효율적으로 사용하면 주변 AP와의 간섭을 최소화 할 수 있다⁶⁾. 하지만 현재 대부분의 연구는 무선랜에서 멀티캐스트 전송은 등방성 안테나만을 고려하고 있어 지향성 안테나를 이용한 멀티캐스트 전송 연구가 필요하다.

본 논문에서는 지향성 안테나를 사용하는 밀집 무선랜 시스템에서 효율적으로 사용할 수 있는 멀티캐스트 스케줄링 기법을 제안한다. 가상화 WLAN 시스템을 기반으로 여러 대의 AP를 효율적으로 관리하고, 지향성 안테나의 특성을 고려하여 스케줄링함으로써 불필요한 메시지 중복전송을 제거하고 데이터 충돌을 방지함으로써 총 전송시간을 감소시킨다.

서론에 이어서 2장에서는 시스템 모델을 소개하고, 3장에서는 밀집 네트워크 환경에서 멀티캐스트 전송 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 이를 기반으로 효율적으로 전송순서 스케줄링이 가능한 멀티캐스트 전송 기법을 제안한다. 4장에서는 실제적인 파라미터를 사용하여 시뮬레이션을 통해 이를 검증한다. 그리고 마지막 5장에서 최종적으로 결론을 도출한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 가상화 WLAN 시스템에서의 멀티캐스트 전송 기법을 제안한다. 밀집 네트워크 환경에서 가상화 된 여러 대의 AP는 모두 같은 채널을 사용

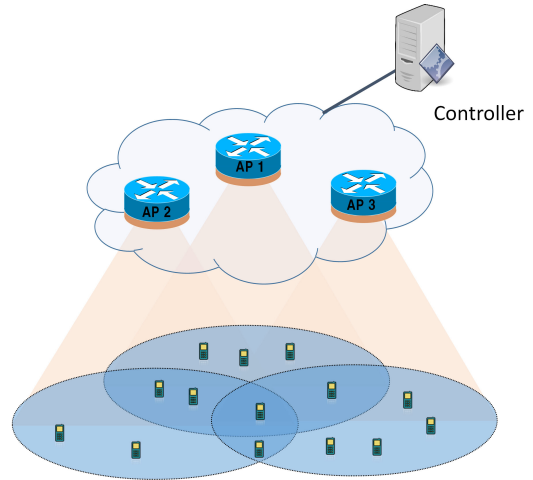


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model

하고, 각 AP는 그림 1과 같이 중앙 컨트롤러 (Controller)에 의해서 통합적으로 관리된다. 여러 대의 AP와 연결되어 있는 중앙 컨트롤러는 통신에 참여하는 모든 노드들의 수와 위치정보를 알고 있다고 가정한다. 모든 AP는 지향성 안테나를 사용하며 동일한 수의 섹터를 가진다. 하나의 섹터가 멀티캐스트 전송 시 하나의 시간슬롯이 소요되며, 네트워크 내의 모든 노드가 메시지를 수신한 경우 멀티캐스트 전송을 종료한다.

III. 밀집 무선랜 시스템에서의 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법

본 논문에서는 다양한 네트워크 환경을 분석하기 위해서 단일 전송속도 멀티캐스트 전송과 다중 전송속도 멀티캐스트 전송을 모두 고려하였다⁷⁾. 지향성 안테나는 전송 범위를 여러 개의 섹터로 분할하여 전송하기 때문에 중첩영역이 발생하는 밀집 네트워크 환경에서는 각 AP 마다 전송순서에 대한 스케줄링이 필요하다. 본 장에서는 밀집 네트워크 환경에서 멀티캐스트 전송 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하고, 이를 기반으로 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법을 제안한다.

3.1 단일 전송속도를 사용하는 멀티캐스트 전송 환경

밀집 네트워크 환경에서 단일 전송속도를 사용하여 멀티캐스트 전송을 할 경우 모든 AP가 같은 전송거리를 가진다. 이 때, 동시에 멀티캐스트 전송을 시작 할

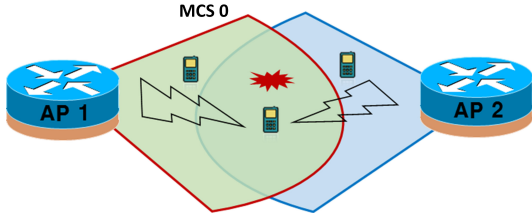


그림 2. 네트워크 내 AP가 단일 속도로 전송하는 경우
Fig. 2. Case of single-rate multicast

경우 그림 2와 같이 중첩영역에 위치한 노드에서 데이터 충돌이 발생한다. 즉, 각 AP의 섹터 별 전송 순서 결정 시 중첩섹터의 경우 동일한 시간슬롯에 대하여 스케줄링이 불가능하다. 본 장에서는 단일 전송속도를 사용하는 밑집 네트워크 환경에 적합한 멀티캐스트 전송 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

3.1.1 동작 과정

본 논문에서 고려하는 밑집 네트워크 환경은 다수의 AP 집합, $AP = \{ap_1, ap_2, \dots, ap_i, \dots, ap_N\}$ 가 중앙 컨트롤러와 연결되어 있고, 이 컨트롤러가 N 개의 ap_i 를 관리하는 구조를 가정한다. ap_i 는 i 번째 AP를 의미하며, 중앙 컨트롤러에 의한 스케줄링을 통하여 다수의 ap_i 는 모두 같은 채널을 사용하는 하나의 가상 무선랜 (virtualized WLAN)으로 인식된다. 그리고 각 ap_i 는 M 개의 섹터들로 구성되어 있으며, 이는 섹터의 집합 $S = \{S_{(1,1)}, S_{(1,2)}, \dots, S_{(i,j)}, \dots, S_{(N,M)}\}$ 로 표현한다. 이 때, $S_{(i,j)}$ 는 ap_i 의 j 번째 섹터를 의미한다. 본 논문에서는 모든 AP가 지향성 안테나를 사용하여 멀티캐스트 전송하기 때문에 하나의 단위 시간슬롯동안 다수의 섹터가 데이터를 동시에 전송한다고 가정한다. 이 때, 시간슬롯의 집합은 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, \infty\}$ 으로 T_i 는 i 번째 시간슬롯을 의미한다. 중앙 컨트롤러는 시간슬롯별 최적의 전송순서를 결정하고, 네트워크 내에 포함된 모든 노드 $N = \{n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_L\}$ 에 대해 멀티캐스트 전송을 시작한다. n_k 는 k 번째 노드를 의미한다.

제안하는 알고리즘은 밑집 네트워크 환경에서 AP와 노드의 위치를 고려하여 시간슬롯별 최적의 멀티캐스트 전송순서를 결정한다. 동일한 i 번째 시간슬롯 T_i 에서 m 번째 선택한 섹터를 $S_{pick(m)}$ 이라고 나타내고, 멀티캐스트 전송 표의 시간슬롯과 전송순서는 $O_{(T_i,m)}$ 로 표시한다. 그리고 $S_{candidate}$ 는 현재 선택 가능한 섹터들의 집합을 나타낸다.

우선 가상화 WLAN 시스템에서 중앙 컨트롤러가 네트워크 내 노드 위치를 모두 수집하여 그림 3과 같이 노드 위치 정보 표를 작성한다. 중앙 컨트롤러가

	ap_1	ap_2
n_1	$S_{(1,1)}$	-
n_2	$S_{(1,1)}$	$S_{(2,2)}$
n_3	-	$S_{(2,2)}$
n_4	$S_{(1,2)}$	-
n_5	$S_{(1,2)}$	-
n_6	$S_{(1,3)}$	-
n_7	$S_{(1,4)}$	$S_{(2,3)}$
n_8	-	$S_{(2,3)}$
n_9	-	$S_{(2,3)}$
n_{10}	-	$S_{(2,4)}$

그림 3. 노드 위치 정보 표
Fig 3. Node information table

네트워크 안의 노드 위치를 IEEE 802.11ad 표준³⁾의 빔포밍 (Beamforming) 과정을 통하여 수집한다. IEEE 802.11ad 표준의 빔포밍 과정 중 AP가 지향성 안테나를 이용하여 섹터를 돌려가며 노드의 위치를 파악하는 SLS (Sector Level Sweep) 과정이다. 이 과정을 통하여 각 노드들이 어느 섹터에 존재하는지 위치를 확인한다. 노드 위치를 확인한 후, 노드 위치 정보 표를 작성하여 섹터별 포함하는 노드의 위치와 중첩섹터 여부를 확인할 수 있다. 예를 들어, n_2 의 경우 ap_1 의 $S_{(1,1)}$ 과 $S_{(2,2)}$ 에 중첩되어 위치함을 의미한다.

중앙 컨트롤러는 노드 위치 정보 표를 기반으로 각 AP의 섹터별 멀티캐스트 전송 순서를 결정한다. 우선 첫 번째 시간슬롯 T_1 에서 보다 빠른 멀티캐스트 전송을 위해 네트워크 내 모든 AP의 섹터 중에서 가장 많은 노드를 포함한 섹터를 $S_{pick(1)}$ 로 결정하여 멀티캐스트 전송 표 $O_{(1,1)}$ 에 넣는다. 이 때, $S_{pick(1)}$ 과 같은 AP의 섹터들, $S_{pick(1)}$ 과 중첩되어 충돌 가능성이 있는 섹터들 그리고 상대 섹터에 의해 더 이상 메시지를 수신할 노드가 없는 섹터들은 $S_{candidate}$ 에서 제거된다. 이후 재정의 된 $S_{candidate}$ 에서 가장 많은 노드를 포함하는 섹터를 $S_{pick(2)}$ 로 선택한다. 이 과정을 동일한 시간슬롯에서 동시에 전송가능한 모든 섹터들이 선택될 때 까지 반복한다. T_1 에서 멀티캐스트 전송이 가능한 $S_{candidate}$ 가 더 이상 없을 경우 시간슬롯을 T_2 로 하나 증가시키고 네트워크 내 모든 노드들이 메시지를 수신할 때 까지 위 과정을 반복한다. 최종 멀티캐스트 전송 표가 완성되면 알고리즘을 종료하고, 작성된 표를 바탕으로 멀티캐스터 전송을 시작한다. 제안하는 기법은 노드의 위치에 따른 섹터별 중첩여부를 고려하여 전송 순서를

스케줄링함으로써 멀티캐스트 전송 시 데이터 충돌을 방지하고, 노드 위치 정보 표를 기반으로 매 시간슬롯마다 $S_{candidate}$ 를 재정의 함으로써 메시지 중복수신을 최소화한다.

제안하는 멀티캐스트 전송 스케줄링 알고리즘의 순서도는 그림 4와 같다.

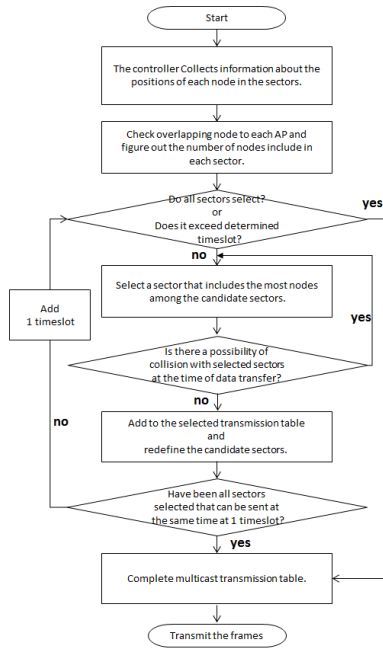


그림 4. 단일 전송속도를 사용하는 환경에서의 멀티캐스트 전송 알고리즘 순서도
Fig 4. Flow chart of multicast algorithm on single-rate transmission

3.1.2 동작 예시

멀티캐스트 전송 시 단일 전송속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경에 대한 시나리오는 그림 5와 같다. 간단한 예시동작을 설명하기 위하여 6개의 섹터를 가

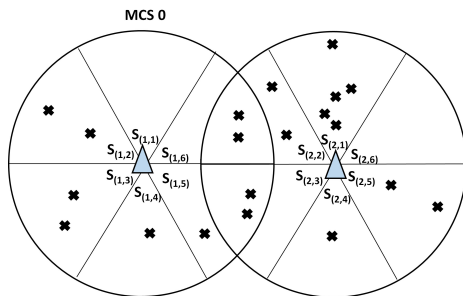


그림 5. 단일 전송속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경 시나리오
Fig. 5. Single-rate multicast scenario in dense network

지는 AP가 2개 배치되어있고 총 20개의 노드가 존재하는 네트워크 환경을 가정하였다. 이 때, AP는 단일 전송속도를 사용하기 때문에 모든 AP가 MCS 0 값으로 멀티캐스트 전송한다.

우선 중앙 컨트롤러를 사용하여 수집한 정보를 기반으로 그림 6과 같이 노드 위치 정보 표를 작성한다. 이 때, 노드 위치 정보 표를 통하여 각 노드의 위치 및 섹터별 중첩 여부를 확인할 수 있다.

노드 위치 정보 표를 기반으로 중앙 컨트롤러는 섹터 간 중첩여부를 고려하여 최적의 멀티캐스트 전송 순서를 결정한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 동작과정을 시간슬롯별로 구별하여 그림 7~10으로 순차적으로 표현하였다.

첫 번째 시간슬롯에서의 멀티캐스트 전송 섹터 선택은 그림 7과 같다. 우선 가장 많은 노드를 포함하는 섹터 $S_{(2,1)}$ 을 첫 번째 시간슬롯에 대한 $S_{pick(1)}$ 으로 결정하고 멀티캐스트 전송 표 $O_{(1,1)}$ 에 넣는다. 동시에 ap_2 가 아니면서 $S_{(2,1)}$ 과 중첩되지 않는 섹터 중에서 가장 많은 노드를 포함하는 $S_{(1,5)}$ 를 $S_{pick(2)}$ 로 결정한다. 이 때, 첫 번째 시간슬롯에서 동시에 전송가능한 모든 섹터가 선택되었기 때문에 T_1 에 대한 스케줄링을 종료하고 $S_{candidate}$ 을 재정의한다.

이후 T_2 에 대해 이전에 스케줄링 된 섹터들을 제외한 섹터들 중에서 가장 많은 노드를 포함하는 $S_{(2,2)}$ 를 $S_{pick(1)}$ 으로 선택한다. 동시에 ap_1 에 대하여 $S_{(1,3)}$ 이 $S_{pick(2)}$ 으로 선택된다. 이는 그림 8과 같이 멀티캐스트

	ap_1	ap_2		ap_1	ap_2
n_1	$S_{(1,2)}$	-	n_{11}	-	$S_{(2,2)}$
n_2	$S_{(1,2)}$	-	n_{12}	-	$S_{(2,2)}$
n_3	$S_{(1,3)}$	-	n_{13}	-	$S_{(2,4)}$
n_4	$S_{(1,3)}$	-	n_{14}	-	$S_{(2,5)}$
n_5	$S_{(1,4)}$	-	n_{15}	-	$S_{(2,5)}$
n_6	$S_{(1,5)}$	-	n_{16}	-	$S_{(2,1)}$
n_7	$S_{(1,5)}$	$S_{(2,3)}$	n_{17}	-	$S_{(2,1)}$
n_8	$S_{(1,5)}$	$S_{(2,3)}$	n_{18}	-	$S_{(2,1)}$
n_9	$S_{(1,6)}$	$S_{(2,2)}$	n_{19}	-	$S_{(2,1)}$
n_{10}	$S_{(1,6)}$	$S_{(2,2)}$	n_{20}	-	$S_{(2,1)}$

그림 6. 단일 전송속도 환경에서의 노드 위치 정보 표 예시
Fig. 6. Example of single-rate multicast node information table

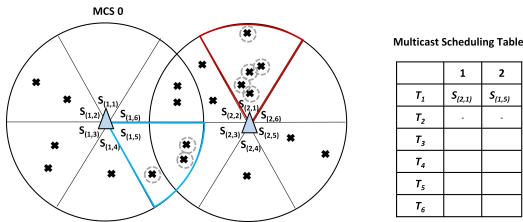


그림 7. 단일 전송속도 환경 동작과정 예시 (1)
Fig. 7. Example of single-rate multicast (1)

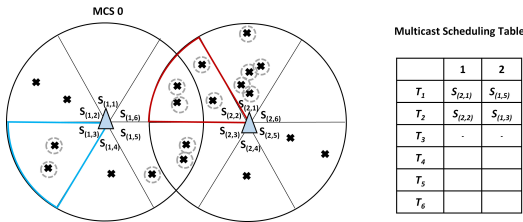


그림 8. 단일 전송속도 환경 동작과정 예시 (2)
Fig. 8. Example of single-rate multicast (2)

전송 표의 두 번째 시간슬롯에 저장된다.

하나의 시간 슬롯에 대하여 스케줄링 섹터를 선택할 때 마다 선택 가능한 $S_{candidate}$ 와 $S_{pick(m)}$ 이 수정되고, 메시지를 수신한 노드에 대해서는 노드 위치 정보 표에 표시해 줌으로써 불필요한 메시지 재전송을 방지한다. 그림 9는 세 번째 시간슬롯에 전송될 멀티캐스트 전송 섹터 선택을 나타낸다.

네트워크 내의 모든 노드들이 메시지를 전송 받을 때 까지 위의 과정을 반복하여 그림 10과 같이 최종 멀

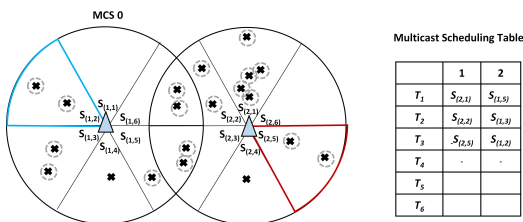


그림 9. 단일 전송속도 환경 동작과정 예시 (3)
Fig. 9. Example of single-rate multicast (3)

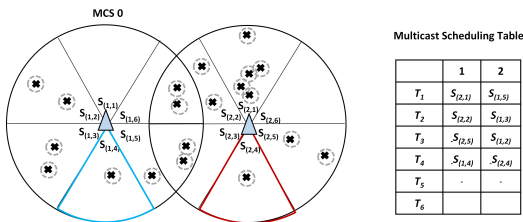


그림 10. 단일 전송속도 환경 동작과정 예시 (4)
Fig. 10. Example of single-rate multicast (4)

티캐스트 전송 표를 완성한다. 최종 멀티캐스트 전송 표를 바탕으로 각 AP는 멀티캐스트 전송을 시작한다.

3.2 단일 전송속도를 사용하는 멀티캐스트 전송 환경

다중 전송 속도가 지원되는 환경에서는 전송속도 (MCS 값)에 따라 올바르게 프레임이 수신할 수 있는 거리, 즉 전송거리가 바뀌게 된다^[8]. AP에서의 전송 파워, 안테나 이득값, 지향성 안테나의 빔폭, 그리고 수신 노드의 민감도 레벨이 주어진다면 Friis transmission 식^[9]을 이용하여 MCS 값에 따른 전송 거리를 구할 수 있다^[12]. 그리고 각 노드의 AP로부터의 거리는 IEEE 802.11ad의 빔포밍 과정을 통해 파악 가능하다고 가정한다. 따라서, 노드의 거리에 따라 적합한 MCS 값을 선택하는 것이 가능하다.

일반적으로 멀티캐스트 전송은 최대한 많은 노드에 게 메시지를 전달해야하기 때문에 가장 멀리 전송할 수 있도록 가장 낮은 전송속도(MCS 0)로 전송한다. 하지만 밀집 네트워크 환경에서는 AP 간 간섭이 심하기 때문에 다중 전송속도를 사용하면 더 효율적인 멀티캐스트 전송이 가능하다. 단일 전송속도를 사용하는 경우 노드가 중첩영역에 위치한 경우 데이터 충돌을 방지하기 위해서 동일한 시간슬롯에 중첩섹터를 스케줄링하지 않았다. 하지만 그림 11과 같이 중첩섹터의 경우에도 전송속도(MCS 값)를 조절하여 동일한 시간 슬롯에 스케줄링이 가능하다. 본 장에서는 다중 전송 속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경에 적합한 멀티캐스트 전송 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘에서는 최적의 섹터뿐만 아니라 노드의 영역별 위치에 따라 추가적으로 최적의 MCS 값을 결정한다.

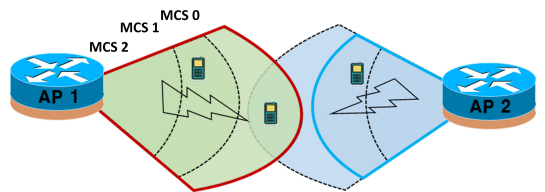


그림 11. 네트워크 내 AP가 다중 속도로 전송하는 경우
Fig. 11. Case of multi-rate multicast

3.2.1 동작 과정

본 알고리즘에서는 단일 전송속도를 이용한 멀티캐스트 전송 알고리즘에서 MCS 값을 변화시켜 가장 효율적인 MCS 값을 결정하는 단계가 추가된다. 중앙 컨트롤러를 사용하여 노드 위치 정보 표를 작성하는 단계는 단일 전송속도를 사용하는 환경과 동일하다.

또한 노드 위치 정보 표에는 노드의 섹터별 위치 뿐만 아니라 MCS 값을 기준으로 나뉜 영역별 신호도달 거리가 추가된다. 이 때, MCS 값에 따라 신호도달 거리가 명확히 구별되는 것은 아니지만 전송 파워가 고정되어있을 때 MAC 계층에서 프레임을 정해진 FER (Frame Error rate) 이하로 수신할 수 있는 범위는 계산가능하기 때문에 노드 위치 정보 표에 신호도달 거리에 따른 MCS 값으로 표시하였다^{9,10}.

노드 위치 정보 표에 표시되는 MCS 값에 대한 집합은 $MCS = \{m_1, m_2, \dots, m_A\}$ 로 노드 위치 분포와 섹터 별 중첩 여부에 따라서 노드별 메시지를 수신하기 위해 필요한 최소 MCS 값 즉, 최소 신호도달 거리 m_{max} 가 결정된다.

우선 네트워크 내에서 멀티캐스트 전송 시 가장 많은 노드에게 메시지를 전달할 수 있는 섹터를 $S_{pick(1)}$ 으로 선택한다. $S_{pick(1)}$ 을 우선적으로 멀티캐스트 전송 표 $O_{(1,1)}$ 에 넣고, 선택된 섹터에 따라 $S_{candidate}$ 가 재정의

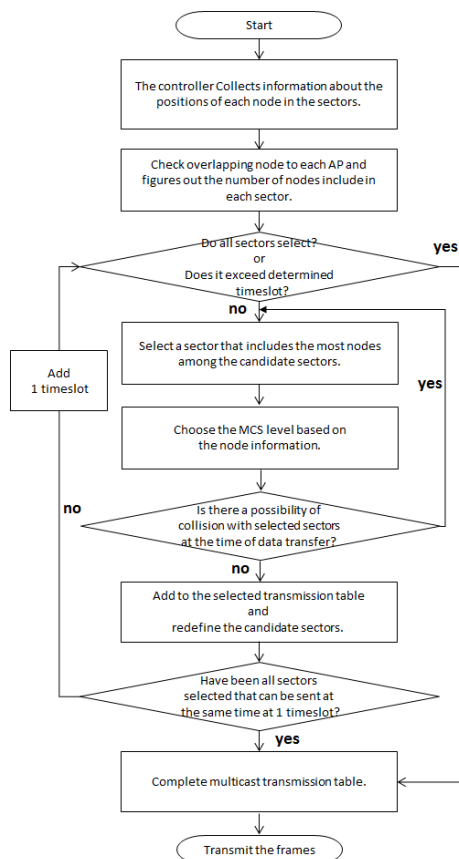


그림 12. 다중 전송속도를 사용하는 환경에서의 멀티캐스트 전송 알고리즘 순서도
Fig. 12. Flow chart of multicast algorithm on multi-rate transmission

의 된다. 이 때, 결정된 $S_{pick(1)}$ 에 따라 메시지를 수신한 노드가 달라지고 이에 따라 섹터별 최소 MCS 값 m_{max} 또한 변경된다. 재정의 된 $S_{candidate}$ 에서 기존에 선택된 $S_{pick(1)}$ 과 재정의 된 m_{max} 를 고려하여 동일한 시간슬롯에 대해 $S_{pick(2)}$ 를 결정한다. 동일한 시간슬롯에 대해 멀티캐스트 전송이 가능한 $S_{candidate}$ 가 더 이상 없을 경우 시간슬롯을 하나 증가시키고 위 과정을 반복한다. 모든 노드들이 메시지 수신이 가능한 최종 멀티캐스트 전송 표가 완성되면 알고리즘을 종료하고, 표를 바탕으로 데이터 전송을 시작한다.

제안하는 멀티캐스트 전송 스케줄링 알고리즘의 순서도는 그림 12와 같다.

3.2.2 동작 예시

네트워크 내의 AP가 다중 전송속도를 사용할 경우 여러 개의 MCS 값을 가진다. 이에 대한 시나리오는 아래 그림 13과 같다. 알고리즘 동작을 설명하기 위하여 3개의 MCS 값과 6개의 섹터를 가지는 2개의 AP가 존재하는 네트워크 환경을 가정하였다. 또한 다중 전송속도를 사용하는 네트워크 환경을 가장 잘 설명하기 위하여 6개의 노드가 존재하는 단일 네트워크 환경을 가정하였다. 총 3개의 전송속도를 선택 할 수 있으며 이는 MCS 값 0, 1, 2로 나타난다. 빠른 전송속도일수록 전송거리가 짧다. 즉, 가장 빠른 전송속도를 가지는 MCS 2 값이 섹터 내 가장 짧은 신호도달 거리를 가진다.

우선 중앙 컨트롤러로부터 노드의 위치 정보를 수집하여 그림 14와 같이 노드 위치 정보 표를 작성한다.

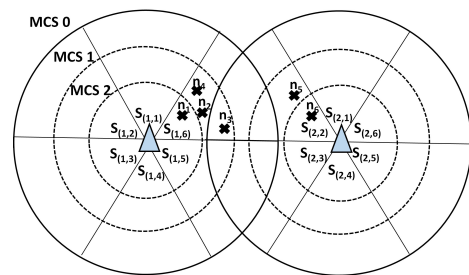


그림 13. 다중 전송속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경 시나리오
Fig. 13. Multi-rate multicast scenario in dense network

	ap_1		ap_2		ap_1		ap_2	
n_1	$S_{(1,1)}$	m_2	-	-	$S_{(2,1)}$	m_1	-	-
n_2	$S_{(1,2)}$	m_1	-	-	$S_{(2,2)}$	-	$S_{(2,2)}$	m_1
n_3	$S_{(1,3)}$	m_1	$S_{(2,2)}$	m_0	n_6	-	$S_{(2,2)}$	m_2

그림 14. 다중 전송속도 환경에서의 노드 위치 정보 표 예시
Fig. 14. Example of multi-rate multicast node information table

그 다음, 첫번째 시간슬롯에 대해서 단일 전송속도를 사용하는 경우와 마찬가지로 가장 많은 노드를 포함하는 섹터를 우선적으로 $S_{pick(1)}$ 으로 선택한다. 이는 그림 15와 같다.

그 다음, 동일한 시간슬롯에 대해서 동시에 전송 가능한 섹터와 MCS 값을 찾는다. 우선 전송 가능한 섹터들 중에서 메시지를 수신할 노드가 가장 많이 분포한 섹터 $S_{(2,2)}$ 를 $S_{pick(2)}$ 로 선택한다. 그런데 MCS 값을 그림 16처럼 MCS 0으로 선택할 경우 노드 n3의 전송 범위가 중첩되어 데이터 충돌이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위하여 MCS 값을 하나씩 증가시키면서 가장 효율적인 MCS 값을 계산 한다.

이 경우 노드 n_3 를 제외하고, n_5 와 n_6 모두 메시지를 수신하기 위해서는 섹터 $S_{(2,2)}$ 의 MCS 1 값이 선택되어야 한다. 선택된 MCS 값은 그림 17과 같이 첫 번째 시간슬롯의 두 번째 칸에 들어가게 된다. 이 때, $S_{(2,2)}$ 와 $S_{(1,6)}$ 의 전송 신호는 MCS값이 작을 경우 간섭이 발생하지만 $S_{(2,2)}$ 의 MCS 값이 1로 선택되면 $S_{(1,6)}$ 전송에 영향을 미칠 수 있으나 간섭의 정도가 충분히 낮기 때문에 프레임을 올바르게 수신할 수 있는 것을 가

정하고 있다. 더 이상 네트워크 내에 메시지를 수신할 노드가 없으므로 멀티캐스트 전송 표를 확정하고 순차적으로 데이터 전송을 시작한다.

IV. 시뮬레이션

본 장에서는 밀집 네트워크 환경에 적합한 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션은 멀티캐스트 전송 시 단일 전송속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경과 다중 전송속도를 사용하는 밀집 네트워크 환경을 고려하고 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 밀집 네트워크 환경에서 제안하는 기법과 기존 기법의 성능을 비교하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 분석하기 위해 C++을 이용하였다. 먼저 최적 값과의 비교를 위해 최적화 문제 Tool CPLEX^[11]를 사용하여 최적 값 (Optimal value)을 도출하였다^[13]. 또한 성능 비교를 위하여 충돌방지 기법 (No collision scheme)과 랜덤 기법 (Random scheme)에 대해서도 시뮬레이션을 진행하였다. 충돌방지 기법은 멀티캐스트 전송 시 노드 위치에 따른 AP간 데이터 충돌여부를 고려하여 충돌을 방지하지만 랜덤으로 섹터와 MCS 값을 결정하는 멀티캐스트 전송 기법이고, 랜덤 기법은 동일한 시간 슬롯에 대해 데이터 충돌에 대한 고려 없이 랜덤으로 섹터와 MCS 값을 결정하는 멀티캐스트 전송 기법이다. 랜덤 기법은 네트워크 내 모든 노드가 메시지를 수신할 때 까지 스케줄링한다.

시뮬레이션은 지향성 안테나를 사용하는 IEEE 802.11 ad 표준을 이용하여 진행하였으며 사용된 파라미터는 아래 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter

Parameter	Value
Number of sectors	6
Number of MCSs	3
Number of nodes	200
Network size	10x10 m ²

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 확인하기 위해 AP의 밀집도에 따른 총 전송시간을 비교하였다. AP 밀집도는 일정한 네트워크 내에 설치된 AP의 개수를 의미한다. 밀집 네트워크 환경에서는 더 많은

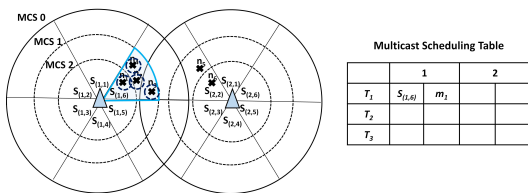


그림 15. 다중 전송속도 환경 동작과정 예시 (1)
Fig. 15. Example of multi-rate multicast (1)

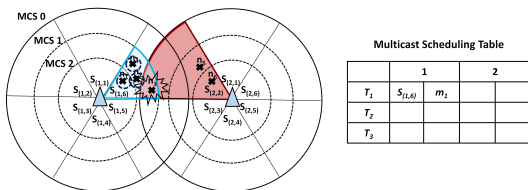


그림 16. 다중 전송속도 환경 동작과정 예시 (2)
Fig. 16. Example of multi-rate multicast (2)

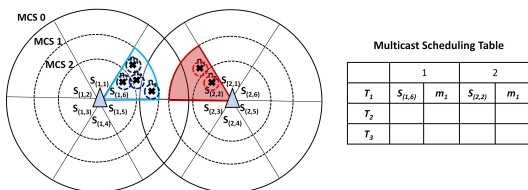


그림 17. 단일 전송속도 환경 동작과정 예시 (3)
Fig. 17. Example of single-rate multicast (3)

AP가 설치될수록 더 많이 전송범위가 중첩된다. 이 때, 효율적으로 전송순서를 스케줄링하면 경우 총 전송시간을 줄일 수 있다. 그림 18은 100개의 노드가 존재하는 밀집 네트워크에서 단일 전송속도로 멀티캐스트 전송을 할 경우 AP 밀집도에 따른 총 전송시간 그래프이다. 제한하는 기법의 경우 섹터별 포함 노드개수와 중첩영역을 고려하여 최소의 시간슬롯으로 전송순서를 결정하기 때문에 최적 값과 매우 근접하게 나타난다. 반면 충돌기법의 경우 중첩영역만을 고려하였기 때문에 총 전송시간이 증가하였고, 랜덤 기법의 경우 중첩영역에 대한 고려 없이 랜덤으로 섹터를 결정하기 때문에 데이터 충돌이 빈번하게 발생하여 총 전송시간이 매우 높게 나타났다.

그림 19는 위와 같은 네트워크 환경에서 노드가 200개 존재하는 경우의 결과 그래프이다. 노드가 200개 존재하는 경우와 마찬가지로 AP 밀집도가 높아질수록 평균 전송 시간슬롯은 감소하는 분포를 보인다. 하지만 네트워크 내 노드의 개수가 증가하면 노드가 다수의 섹터에 다양하게 분포하기 때문에 섹터별 전

송순서 결정 시 복잡도가 높아진다. 따라서 노드가 200개 존재하는 네트워크의 경우 노드가 100개 존재하는 네트워크 환경에 비해서 총 전송시간이 조금 증가한 것을 확인 할 수 있다.

그림 20은 100개의 노드가 존재하는 밀집 네트워크에서 다중 전송속도로 멀티캐스트 전송을 할 경우 AP 밀집도에 따른 총 전송시간 그래프이다. 다중 전송속도를 사용할 경우 멀티캐스트 전송 순서 결정시 최적의 섹터를 결정하는 것과 동시에 최적의 MCS 값을 적응적으로 선택하기 때문에 중첩섹터의 경우에도 동일한 시간슬롯에 스케줄링이 가능하다. 즉, 동일한 시간슬롯에서 동시에 전송 가능한 AP의 수가 증가하기 때문에 총 전송 시간슬롯이 감소한다. 그림 18에서 단일 전송속도로 전송하는 경우 보다 총 전송시간이 전체적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 그러나 랜덤 기법의 경우에는 충돌방지에 대한 고려 없이 섹터와 MCS 값을 랜덤하게 선택하기 때문에 데이터 전송 충돌횟수가 증가하여 단일 전송속도로 전송하는 경우보다 평균 전송 시간슬롯이 급격히 증가하였다.

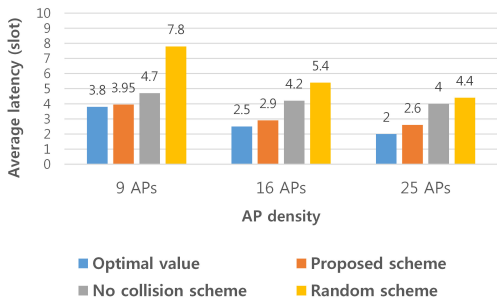


그림 18. 단일 전송속도 환경에서 네트워크 내에 노드가 100개 존재하는 경우 결과 그래프
Fig. 18. Simulation result of single-rate multicast in 100 nodes network

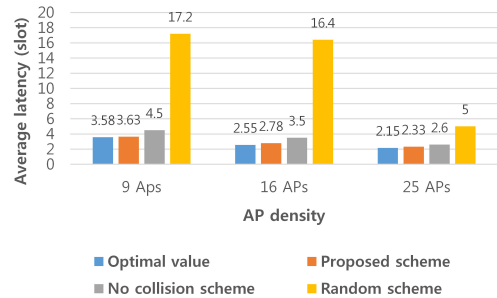


그림 20. 다중 전송속도 환경에서 네트워크 내에 노드가 100개 존재하는 경우 결과 그래프
Fig. 20. Simulation result of multi-rate multicast in 100 nodes network

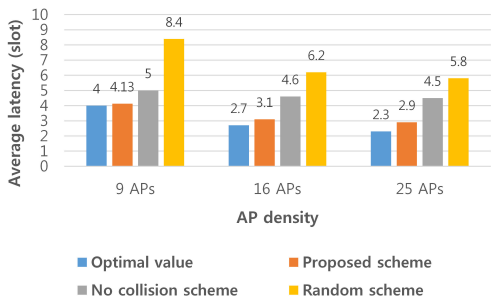


그림 19. 단일 전송속도 환경에서 네트워크 내에 노드가 200개 존재하는 경우 결과 그래프
Fig. 19. Simulation result of single-rate multicast in 200 nodes network

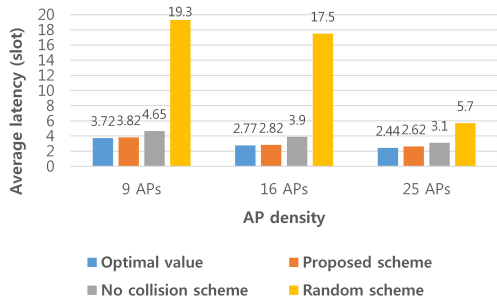


그림 21. 다중 전송속도 환경에서 네트워크 내에 노드가 200개 존재하는 경우 결과 그래프
Fig. 21. Simulation result of multi-rate multicast in 200 nodes network

추가적으로 다중 전송속도를 사용하는 네트워크 환경에서 노드 200개가 존재할 때 멀티캐스트 전송 기법의 성능은 그림 21에 나타나있다. 단일 전송속도를 사용하는 환경과 같이 AP 밀집도가 높을수록 총 전송 시간슬롯이 감소하는 분포를 보이고, 적응적으로 MCS 값을 조절하여 스케줄링함으로써 노드 100개가 존재하는 환경 그림 19에 비해 전체적으로 총 전송시간이 감소하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 지향성 안테나를 사용하는 다수의 AP가 밀집된 네트워크 환경에 적합한 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법을 제안하였다. 멀티캐스트 전송 시 AP간 전송 순서를 스케줄링하지 않을 경우 네트워크 전체의 효율이 낮아진다. 특히 밑집 네트워크 환경에서는 다수의 AP 간 전송범위가 중첩되어 동시에 멀티캐스트 전송을 시작할 경우 불필요한 중복 전송과 데이터 충돌이 발생 할 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 중앙 컨트롤러 기반의 가상화된 무선랜 시스템에서의 멀티캐스트 전송 스케줄링 기법을 제안하였다. 다양한 네트워크 환경을 고려하기 위하여 멀티캐스트 전송 시 단일 전송속도를 사용하는 네트워크 환경뿐만 아니라 다중 전송속도를 사용하는 네트워크 환경도 가정하여 좀 더 실제적인 네트워크 환경까지 고려하였다. 시뮬레이션 분석을 통해 제안하는 기법이 최적 값에 근접하게 나타남을 확인함으로써 제안한 멀티캐스트 전송 기법의 효율성을 증명하였다.

References

[1] J. Vestrin, P. Dely, A. Kassler, N. Bayer, H. Einsiedler, and C. Peylo, "Cloudmac: Towards software defined WLANs," *ACM SIGMOBILE Mobicom Comput. and Commun. Rev.*, vol. 16, no. 4, pp. 42-45, Feb. 2013.

[2] H. Kim and H. Kim, "Control algorithm for virtual machine-level fairness in virtualized cloud data center," *J. KICS*, vol. 38C, no. 6, pp. 512-520, Jun. 2013.

[3] IEEE Standard for Information Technology-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for

Very High Throughput in the 60 GHz Band, IEEE Std 802.11ad, Dec. 2012.

[4] M. Kim and W. Lee, "Performance enhancement directional CSMA/CA algorithm in mmWave Bands," *J. KICS*, vol. 37B, no. 1, pp. 15-20, Jan. 2012.

[5] J. Bok and H. Ryu, "Design and performance analysis of 60GHz wireless communication system for low power consumption and high link quality," *J. KICS*, vol. 38A, no. 2, pp. 209-216, Feb. 2013.

[6] C. Park and T. S. Rappaport, "Short-range wireless communications for next-generation networks: UWB, 60 GHz Millimeter-Wave WPAN, and ZigBee," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 4, pp. 70-78, Aug. 2007.

[7] T. Ikeda, S. Sampei, and N. Morinaga, "TDMA-based adaptive modulation with dynamic channel assignment for high capacity multi-media microcellular systems," in *Proc. IEEE VTC*, vol. 3, pp. 1479-1483, Phoenix, USA, May 1997.

[8] B. Kim, Y. Fang, and T. Wong, "Rate-adaptive MAC protocol in high-rate personal area networks," in *Proc. IEEE WCNC*, Atlanta, Georgia, USA, Mar. 2004.

[9] T. Xhu, "An approximate generalization of the Friis transmission formula," in *Proc. IEEE*, vol. 53, no. 3, pp. 296-297, Mar. 1965.

[10] W. Lee, I. Han, J. Kim, and J. Heo, "Efficient cooperative transmission for high speed WPAN system in 60GHz channels," in *Proc. IEEE ICCE*, Las Vegas, USA, Jan. 2010.

[11] Website: <http://www-01.ibm.com/software/integration/optimization/cplex-optimizationstudio>

[12] H. Park, S. Park, T. Song, and S. Pack, "An incremental multicast grouping scheme for mmWave networks with directional antennas," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 3, pp. 616-619, Mar. 2013.

[13] N. Kim, "A multicasting scheduling scheme in virtualized WLAN systems," Master Thesis, Korea University, Seoul, Korea, Dec. 2014.

김 나 명 (Namyong Kim)



2013년 2월 : 이화여자대학교
전자공학과 졸업
2015년 2월 : 고려대학교 전기
전자공학과 석사졸업
<관심분야> 미래인터넷, 무선
이동 네트워크

백 상 현 (Sangheon Pack)



2000년 2월 : 서울대학교 컴퓨
터 공학부 졸업
2005년 2월 : 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 박사졸업
2007년 3월~현재 : 고려대학교
전기전자공학부 부교수
<관심분야> 미래인터넷, 무선
이동 네트워크

김 원 중 (Wonjung Kim)



2010년 2월 : 고려대학교 전기
전자전파공학부 졸업
2012년 2월 : 고려대학교 전기
전자전파공학과 석사졸업
2012년 3월~현재 : 고려대학교
전기전자전파공학부 박사과정
<관심분야> 무선 이동 네트워
크, 지향성 MAC, 가상화 무선랜