

IEEE 802.11 무선랜에서 신뢰성 있는 멀티캐스트 전송을 위한 연결정보 기반의 효율적인 MAC 프로토콜

최우용[†]

동아대학교 산업경영공학과

Improved Connectivity-Based Reliable Multicast MAC Protocol for IEEE 802.11 Wireless LANs

Woo-Yong Choi

Department of Industrial and Management Systems Engineering Dong-A University Busan, 604-714, Korea

The reliable multicast MAC (Medium Access Control) protocol is needed to guarantee the recipients' non-erroneous reception of the multicast data frames, which can be transmitted by the AP (Access Point) in infrastructure mode IEEE 802.11 wireless LANs. Enhancing the BMMM (Batch Mode Multicast MAC) protocol, in the literature, the connectivity-based reliable multicast MAC protocol was proposed to reduce the RAK (Request for ACKnowledgement) frame transmissions and enhance the multicast MAC performance. However, the number of necessary RAK frame transmissions increases as the number of multicast recipients increases. To alleviate the problem of the larger number of RAK frame transmissions with the larger number of multicast recipients, we propose the clustering algorithm for partitioning the recipients into a small number of clusters, so that the recipients are connected each other within the same clusters. Numerical examples are presented to show the reliable multicast MAC performance improvement by the clustering algorithm.

Keywords: Wireless LAN, MAC, Reliable Multicast, Connectivity

1. 서론

IEEE 802.11 무선랜은 가정, 회의장 등의 핫스팟 영역에서 광범위하게 설치되어 사용자들에게 무선 인터넷 서비스를 제공하여 왔으며 유선랜과 비교하여 사용자에게 이동성 제공과 설치 및 유지보수 비용 절감의 장점을 가지고 있다. IEEE 802.11 무선랜은 <Figure 1>과 같이 애드혹 (ad hoc) 모드와 인프라스트럭처 (infrastructure) 모드의 두 가지 모드로 동작할 수 있다 (IEEE Std 802.11 (2003)).

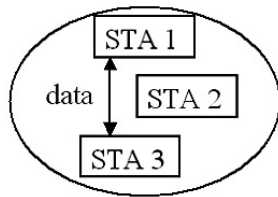
애드혹 모드에서는 각 단말 (STation)은 다른 단말과 서로 직접적으로 통신할 수 있으며 AP (Access Point)와 같은 외부망과의 연결을 위한 장치가 존재하지 않는다. 이에 반해 인프라스트럭처 모드에서는 각 단말은 AP를 거쳐서 동일한 무선랜

내의 다른 단말 혹은 외부망과의 통신을 하여야 한다. AP는 무선랜 내의 단말 간의 데이터 전송을 위한 중계 기능을 수행하며 무선랜 내의 단말과 외부망 간의 데이터 전송을 위한 중계 기능을 distribution system을 통하여 수행한다. 이러한 이유로 인프라스트럭처 모드에서 다수의 수신자를 가지는 멀티캐스트 데이터 전송이 실제로 일어나는 곳을 AP로 한정할 수 있다. 인프라스트럭처 모드에서 무선랜 내의 단말이 멀티캐스트 데이터를 전송하는 절차는 <Figure 2>와 같이 두 단계를 거쳐서 이루어진다. <Figure 2>에서 AP는 멀티캐스트 데이터의 전송자와 수신자 간의 데이터 통신을 위한 중계 기능을 수행한다.

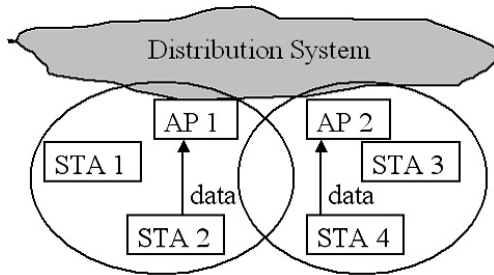
IEEE 802.11 무선랜을 위한 기본적인 MAC(Medium Access Control) 프로토콜인 DCF(Distributed Coordination Function)와 PCF(Point Coordination Function)는 유니캐스트 데이터에 대해

[†] 연락처자 : 최우용 교수, 604-714 부산광역시 사하구 하단2동 840번지 동아대학교 산업경영공학과, Tel : 051-200-7696, Fax : 051-200-7697, E-mail : wychoi77@dau.ac.kr

2010년 2월 12일 접수; 2010년 5월 1일 수정본 접수; 2010년 5월 7일 게재 확정.



(a) Ad Hoc Mode



(b) Infrastructure Mode

Figure 1. Operational Structure in Ad Hoc and Infrastructure Modes

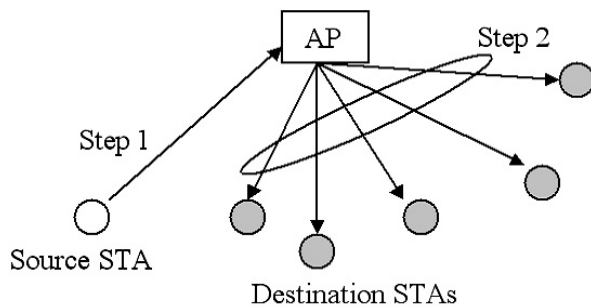


Figure 2. Multicast Transmission Procedure

서는 신뢰성 있는 데이터 전송 서비스를 제공한다. DCF와 PCF에 따르면 단말이 유니캐스트 데이터를 전송한 후 수신자는 데이터를 성공적으로 수신하였을 경우 송신자에게 ACK(ACKnowledgement) 프레임 전송하여야 하는데 만약 송신자가 이러한 ACK 프레임 성공적으로 수신하지 못하였을 경우 해당되는 데이터 전송은 실패로 간주되어 송신자로 하여금 데이터를 재전송하도록 한다. 그러나 IEEE Std 802.11(2003)에 따르면 DCF와 PCF는 멀티캐스트 데이터 전송의 경우 이러한 신뢰성 있는 데이터 전송 서비스를 제공할 수 없는데 이로 인하여 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터 전송을 위한 새로운 MAC 프로토콜이 필요하다.

신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터 전송을 위한 해결책으로써 AP가 멀티캐스트 데이터를 전송한 후 각 수신자는 DCF contention phase를 거쳐서 AP에게 ACK 혹은 NACK(Negative ACKnowledgement) 프레임 전송하도록 하는 방법을 생각할 수 있다 (Tang and Gerla, 2001; Kuri and Kasera, 2001; Choi and Choi, 2006) 하지만 이러한 방법은 각 수신자의 ACK 혹은 NACK 프레임의 전송을 위해 필요한 DCF contention phase로 인하여 AP

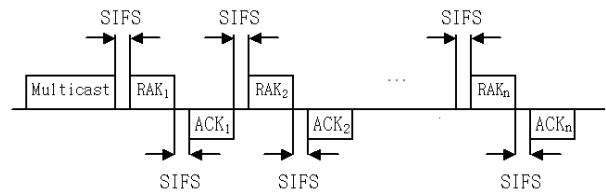


Figure 3. BMM Protocol

가 각 수신자로부터 ACK 혹은 NACK 프레임을 모두 수신하기 까지 상당한 지연이 발생하는 단점을 가진다. 두 번째 방법으로 AP가 멀티캐스트 데이터를 전송한 후 각 수신자에게 RAK (Request for ACK) 혹은 RNAK(Request for NACK) 폴링 프레임을 전송함으로써 각 수신자의 ACK 혹은 NACK 프레임의 전송 시점을 중앙집중식으로 제어하는 방법을 생각할 수 있다. (Choi and Choi, 2006; Sun *et al.*, 2003; Bao and Liao, 2005) 예를 들어 Sun *et al.*(2003)에서 제안한 BMM(Batch Mode Multicast MAC) 프로토콜의 경우 AP는 멀티캐스트 데이터를 전송한 후 <Figure 3>에서와 같이 각 수신자에게 RAK 폴링 프레임을 전송함으로써 각 수신자의 ACK 프레임의 전송 시점을 제어한다. 이러한 중앙집중식의 제어 방법을 통하여 각 수신자로부터 ACK 혹은 NACK 프레임을 수신하기까지 소요되는 지연 시간을 줄일 수 있지만 각 수신자에게 별도의 RAK 혹은 RNAK 폴링 프레임을 전송해야 하는 것은 MAC 전송 효율 향상을 위하여 여전히 개선하여야 하는 문제점이라고 할 수 있다. 그리고 세 번째 방법으로 Gossain *et al.*(2004)에서 제안한 MMP(Multicast Aware MAC Protocol)에서는 AP가 멀티캐스트 데이터를 전송한 후 각 수신자의 ACK 프레임의 전송 시간을 별도로 예약한다. 하지만 이 방법은 AP가 각 수신자의 ACK 프레임 전송 소요 시간을 미리 알 수 있다는 가정을 가지고 있는데 각 수신자가 무선 채널 상태에 따라서 적절한 ACK 프레임 전송률을 선택할 수 있는 것을 고려할 경우 비현실적이라고 할 수 있다. 그 밖에 Kuri and Kasera(2001)와 Bao and Liao(2005)에서 제안한 LBP(Leader-Based Protocol)와 Gupta, Shankar and Lalwani(2003)에서 제안한 NACK 톤에 기초한 방법 그리고 Peng(2008)에서 제안한 ACK 펄스에 기초한 방법을 생각할 수 있지만 모두 무선랜을 위한 기본적인 MAC 프로토콜인 DCF나 PCF와 너무 상이함으로 인하여 구현상 많은 어려움이 예상된다.

일반적으로 AP를 포함하여 많은 단말이 frame exchange sequence에 참여하는 경우 단말 간의 경쟁이 필요한 DCF보다 AP에 의한 중앙집중식 제어 방법이 보다 효과적이라고 할 수 있다. 특히, 신뢰성 있는 멀티캐스트 데이터 전송의 경우 AP와 많은 단말이 멀티캐스트 데이터의 전송과 ACK 프레임의 전송을 위하여 frame exchange sequence에 참가하기 때문에 PCF에 기반한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜의 개발이 필요하다. 그리고 MAC 전송 효율의 향상을 위하여 ACK 프레임에 상향 데이터를 piggyback할 수 있는 방법이 고려되어야 한다. 기존 문헌에서 AP의 폴링에 기초한 두 번째와 세 번째 방법은 PCF 프로토콜을 수정함으로써 구현될 수 있지만 세 번째

방법에서 상향 데이터가 ACK 프레임에 piggyback될 수 있을을 고려할 때 AP가 미리 각 수신자의 ACK 프레임의 전송 소요 시간을 알 수 있다는 가정은 비현실적이라고 할 수 있다. 따라서 두 번째 방법에 기초하여 효율적인 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜을 개발할 필요가 있다. 최근에 Choi(2009)와 Choi(2010)는 BMM 프로토콜을 수정하여 단말 간의 연결정보에 기초하여 RAK 프레임의 전송 횟수를 줄이기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안하였다. 하지만 Choi(2009)에 따르면 멀티캐스트 데이터의 수신자 수가 증가하면 필요한 RAK 프레임의 전송 횟수도 증가하는데 향후 IEEE 802.11 무선랜 시스템의 성능 향상에 따라서 가입자 수가 증가할 경우 많은 수의 RAK 프레임의 전송은 MAC 성능 저하로 이어질 수 있다.

본 논문에서는 Choi(2009)에서 제안한 단말 간의 연결정보에 기초한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜을 개선하여 매우 많은 멀티캐스트 데이터의 수신자의 경우에도 매우 작은 수의 RAK 프레임의 전송만으로 충분하도록 하는 클러스터링 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 클러스터링 알고리즘에 의하여 멀티캐스트 데이터의 수신자는 작은 수의 클러스터로 묶이는데 각 클러스터 내에서 각 단말은 서로 다른 단말의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있는 특징을 가지게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음장에서는 Choi(2009)에서 제안한 단말 간의 연결정보에 기초한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜을 간단하게 설명하고자 한다. 제 3장에서는 연결정보에 기초한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜에서 필요한 RAK 프레임의 전송 횟수를 줄이기 위한 클러스터링 알고리즘을 제안한다. 제 4장에서는 제안한 클러스터링 알고리즘에 의하여 멀티캐스트 MAC 성능이 향상될 수 있음을 계산 결과로써 입증한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜

단말 간의 연결정보에 기초한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜은 IEEE Std 802.11(2003)에 따른 슈퍼프레임(super-frame) 구조에서 CFP(Contention-Free Period)에서 수행된다. CFP에서 PCF를 통하여 서비스되어야 하는 단말의 집합을 S 라 하고 어떤 멀티캐스트 데이터 프레임의 n 개의 수신자의 집합을 S 의 부분집합인 U 라고 한다.

S 에 속하는 단말 간의 연결정보는 Choi(2008)에 설명된 방법을 통하여 PCF 제어 하에서 AP에 의해 효율적으로 수집될 수 있는데 단말 간의 연결정보 수집 방법에 대해 먼저 간단히 요약하여 설명하고자 한다. 각 단말 i 는 자신과 연결된 다른 단말의 집합 즉, 단말 i 가 전송 신호를 제대로 수신할 수 있는 다른 단말의 집합인 S_i 를 관리하는데 단말 i 가 AP와 새롭게 연결된 초기에는 S_i 는 공집합으로 시작한다. PCF 제어 하에서 각 단말은 AP로부터 전송 기회를 부여 받아 자신의 데이터 프

레이를 전송하거나 널(null) 프레임을 전송하게 되는데 이러한 과정에서 각 단말은 다른 단말의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있는지 없는지 판단할 수 있다. 만약 단말 i 가 다른 단말 j 의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있는데 현재 S_i 에 단말 j 가 포함되어 있지 않다면 단말 j 를 S_i 에 추가한다. 그러나 S_i 에 단말 j 가 포함되어 있는 경우 단말 i 가 최근의 세 번의 폴링 주기 동안 단말 j 의 전송 신호를 한 번도 제대로 수신할 수 없다면 단말 j 를 S_i 에서 삭제한다. 각 단말 i 는 전송 기회를 부여 받아 AP로 데이터 프레임 혹은 널 프레임을 전송할 때 S_i 에 추가 혹은 삭제된 다른 단말의 집합을 데이터 프레임 혹은 널 프레임에 piggyback하여 전송함으로써 AP는 단말 간의 연결정보를 효율적으로 수집할 수 있다.

만약 AP가 U 에 속한 멀티캐스트 데이터 프레임의 모든 수신자들이 서로 순차적으로 연결된 어떤 순서 Q 를 찾을 수 있다면 즉, Q 의 첫 번째 수신자를 제외한 다른 모든 수신자는 순서 Q 상에서 바로 앞에 있는 수신자의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있다면 AP는 멀티캐스트 데이터 프레임을 전송한 후 순서 Q 에 해당하는 단말의 MAC 주소의 순서를 포함한 단 한 개의 RAK 폴링 프레임을 전송함으로써 모든 수신자를 동시에 폴링할 수 있다. 이러한 RAK 폴링 프레임을 수신한 순서 Q 상의 첫 번째 수신자는 멀티캐스트 데이터 프레임을 제대로 수신하였을 경우 SIFS(Short Inter-Frame Space) 시간 이후에 ACK 프레임을 AP로 전송한다. 그리고 첫 번째 수신자를 제외한 다른 수신자는 순서 Q 상의 바로 앞의 단말의 ACK 프레임을 제대로 수신한 경우 SIFS 시간 이후에 ACK 프레임을 AP로 전송할 수 있다. 그러나 어떤 수신자가 멀티캐스트 데이터 프레임이나 RAK 폴링 프레임 혹은 순서 Q 상의 바로 앞의 단말의 ACK 프레임을 제대로 수신하지 못한 경우 혹은 그 밖의 이유로 AP가 어떤 단말의 ACK 프레임을 제대로 수신하지 못하는 경우 AP는 에러 복구를 위하여 에러가 발생한 단말 다음의 나머지 순서에 해당하는 MAC 주소를 포함하는 RAK 폴링 프레임을 구성하여 전송함으로써 나머지 단말에 대해 멀티캐스트 데이터 프레임의 수신 여부를 확인할 수 있다. 이러한 RAK 폴링 프레임의 전송을 통하여 각 수신자로부터 멀티캐스트 데이터 프레임의 수신 여부를 확인하는 절차를 순서 Q 에 대한 RAK 폴링 절차라고 한다. RAK 폴링 절차에 대한 예는 <Figure 4>에 설명되어 있는데 <Figure 4>에서 $Q = \{1, 2, 3, 4\}$ 이고 AP는 수신자 1, 2, 4에 대해서는 ACK 프레임을 제대로 수신하였

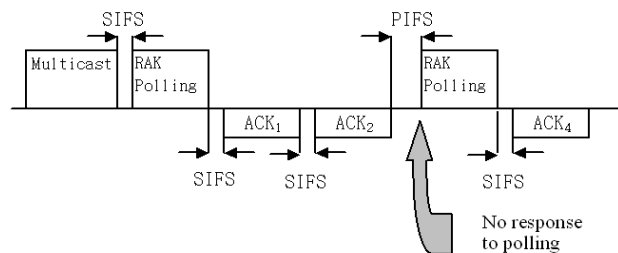


Figure 4. RAK Polling Procedure

으나 수신자 3으로부터는 ACK 프레임이 제대로 수신하지 못하였다.

멀티캐스트 데이터 프레임의 각 수신자가 AP로 전송하는 ACK 프레임에는 상향 데이터가 piggyback될 수 있는데 상향 데이터에 대한 AP의 수신 여부에 대한 확인은 다음에 전송하는 RAK 폴링 프레임에 AP가 제대로 수신한 상향 데이터의 송신자의 MAC 주소를 포함시킴으로써 이루어 질 수 있다. 멀티캐스트 데이터 프레임에 대한 모든 RAK 폴링 절차를 종료한 후 AP가 아직 수신 여부를 확인하지 않은 상향 데이터가 존재하는 경우 그룹 ACK 프레임을 추가적으로 전송할 수 있는데 이 때 전송하는 그룹 ACK 프레임은 RAK 폴링 프레임과 동일한 구조를 가지지만 폴링 기능은 없다고 가정한다.

만약 AP가 U 에 속하는 모든 수신자를 위한 하나의 순차적으로 연결된 순서를 발견하지 못하고 U 를 구성하는 순차적으로 연결된 m 개의 순서 (Q_1, Q_2, \dots, Q_m)를 발견하였다면 AP는 멀티캐스트 데이터 프레임을 전송한 후 Q_1, Q_2, \dots, Q_m 에 대한 RAK 폴링 절차를 순차적으로 수행한다. AP가 m 개의 RAK 폴링 절차를 순차적으로 수행한 후 일부의 수신자로부터 ACK 프레임을 제대로 수신하지 못한 경우 AP는 멀티캐스트 데이터 프레임을 재전송하고 실패한 수신자를 구성하기 위한 순차적으로 연결된 한 개 혹은 여러 개의 순서를 유도하고 유도된 순서에 대한 RAK 폴링 절차를 수행한다. AP는 모든 수신자로부터 ACK 프레임을 제대로 수신할 때까지 이러한 방식으로 RAK 폴링 절차를 반복할 수 있다. 단말 간의 연결정보에 기초한 신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜에 대한 보다 자세한 설명을 위해서는 Choi(2009)를 참고할 수 있다.

신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜의 효율성을 위해서는 수신자를 구성하기 위한 최소 개수의 순차적으로 연결된 순서를 유도하여야 한다. 그러나 Choi(2009)에 있는 휴리스틱을 사용하면 수신자의 개수 n 이 커질수록 n 개의 수신자를 위해 필요한 순차적으로 연결된 순서가 많아진다. 따라서 향후 IEEE 802.11 무선랜 시스템의 성능 향상에 따라서 가입자 수가 증가할 경우 RAK 폴링 프레임의 전송 횟수가 많아짐으로 인하여 MAC 성능 저하로 이어질 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 클러스터링 알고리즘을 다음 절에서 제안한다.

3. 클러스터링 알고리즘

Xu, Gerla and Bae(2002)에 따라서 반경 400m의 원을 무선랜의 서비스 영역이라고 하고 서비스 영역 내에 위치한 단말의 전송 반경을 400m라고 하자. 그러면 무선랜의 서비스 영역은 <Figure 5>와 같이 일부 단말을 제외하고 다음과 같은 특징을 가진 대략적으로 반경이 200m인 몇 개의 클러스터로 나눌 수 있을 것이다.

- 각 클러스터 내에서 각 단말은 다른 모든 단말의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있다.

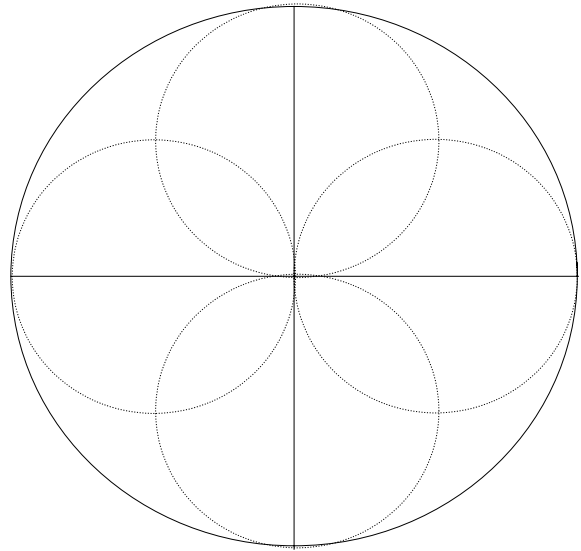


Figure 5. Motivation of Clustering Algorithm

호를 제대로 수신할 수 있다.

<Figure 5>에서 실선의 원은 무선랜의 서비스 반경을 나타내며 점선의 원은 클러스터를 나타낸다. 실선의 원의 중심에는 AP가 존재하여 서비스 반경에 있는 모든 단말은 AP와 전송 신호를 제대로 송수신할 수 있는 연결 상태에 있다. 각 점선의 원의 모든 단말은 최대 400m만큼 서로 떨어져 있으므로 각 점선의 원의 단말은 서로 연결 상태를 가진다고 할 수 있다. 따라서 서비스 반경 내에 아무리 많은 단말이 있더라도 일부 단말을 제외하고 각 클러스터 내에서 모든 단말이 서로 연결되는 특징을 가진 몇 개의 클러스터로 단말을 클러스터링할 수 있을 것이다. 그리고 각 클러스터의 단말을 임의의 순서로 나열하면 각 클러스터 내의 단말을 위한 서로 순차적으로 연결된 RAK 폴링 순서를 유도할 수 있다. 따라서 각 클러스터에 대해서 한 개씩의 RAK 폴링 프레임을 전송하면 서비스 반경 내의 일부 단말을 제외하면 몇 개(정확하게는 클러스터의 개수)의 RAK 폴링 프레임의 전송만으로 모든 단말을 위한 RAK 폴링 절차를 진행할 수 있을 것이다.

본 장에서는 클러스터링 알고리즘을 통하여 각 클러스터 내에서 모든 수신자가 서로 연결되는 특징을 가진 최소 개수의 클러스터로 U 를 나누고자 한다. 이를 위하여 먼저 U 에 속한 n 개의 수신자 간의 연결정보를 다음과 같이 정의된 상수 $C_{i,j}$ 로 정의하고자 한다.

- $C_{i,j}$: 수신자 j 가 다른 수신자 i 의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있으면 $C_{i,j}$ 는 1의 값을 가지며 만약 수신자 j 가 다른 수신자 i 의 전송 신호를 제대로 수신할 수 없으면 $C_{i,j}$ 는 0의 값을 가진다 ($i, j \in U$).

본 논문에서는 클러스터링 알고리즘을 통하여 각 클러스터

내에서 각 단말은 서로 다른 단말의 전송 신호를 제대로 수신할 수 있는 특징을 가진 최소 개수의 클러스터로 U 를 나누고자 한다. 이러한 클러스터링 문제는 GCP(Graph Coloring Problem)로 변환될 수 있는데 이 경우 U 내의 각 수신자가 노드가 되며 수신자 i 와 j 의 노드는 다음과 같은 특징을 가진 경우에만 그래프 상에서 서로 연결된다(14, Falkenauer, 1998).

$$C_{i,j} = 0 \text{ 혹은 } C_{j,i} = 0 \quad (1)$$

일반적으로 GCP는 각 노드의 차수를 기반으로 한 간단한 휴리스틱을 이용하여 근사 해를 구할 수 있는데 본 논문에서는 차수가 작아지는 순서대로 노드를 정렬한 후 차수가 큰 노드를 클러스터링할 때 우선적으로 사용하는 방법을 택하고자 한다(14, Falkenauer (1998)).

U 내의 n 개의 수신자를 위한 서로 순차적으로 연결된 RAK 폴링 순서를 유도하기 위하여 Choi(2009)에서 제안된 휴리스틱과 본 절에서 제안된 휴리스틱의 성능을 실험을 통하여 비교 분석하고자 한다. 이를 위하여 다양한 n 값에 대하여 반경이 400m인 원 내에 각 n 별로 10개씩의 랜덤한 무선랜을 구하고 각 휴리스틱을 통하여 유도된 순차적으로 연결된 폴링 순서의 개수의 평균값과 본 절에서 제안하는 휴리스틱을 사용하여 해를 도출할 때 소요된 시간의 평균값을 <Table 1>과 같이 구하였다. 휴리스틱은 3.0 GHz CPU를 가진 컴퓨터로 구현하였다.

<Table 1>에서 각 n 에 대하여 두 개의 휴리스틱 중에서 어떤 휴리스틱이 더 작은 개수의 RAK 폴링 순서를 도출하는지 나타내기 위하여 더 작은 개수의 RAK 폴링 순서를 도출하는 쪽을 볼드체로 표시하였다. <Table 1>을 살펴보면 n 의 값이 커질수록 본 절에서 제안하는 휴리스틱이 Choi(2009)의 휴리스틱보다 훨씬 더 작은 개수의 RAK 폴링 순서를 도출하는 것을 알 수 있다. Choi(2009)의 휴리스틱에 의하면 n 의 개수가 커지면서 RAK 폴링 순서의 개수가 급격히 커지는 반면 본 절에서 제안하는 휴리스틱에 따르면 RAK 폴링 순서가 그다지 크게 증가하지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 본 절을 시작하면서 <Figure 5>를 통하여 설명하였듯이 아무리 단말의 개수가 커지더라도 필요한 클러스터가 그다지 많지 않으리라고 예측한 것과 일치하는 결과이다.

하지만 본 장의 휴리스틱의 경우 해를 도출하는데 필요한 시간이 Choi(2009)의 휴리스틱보다 훨씬 크다. Choi(2009)의 휴리스틱의 경우 모든 n 값에 대하여 해를 도출하는데 필요한 시간이 4 μ s 이내인 반면 본 절의 휴리스틱의 경우 $n = 90$ 일 때 해를 도출하는 필요한 평균 시간이 159.2ms로 가장 크다. 따라서 IEEE 802.11a 무선랜의 경우 SIFS = 9 μ s인 것을 고려하면 본 절의 휴리스틱은 실시간 무선랜 서비스에 적용하기에 지나치게 소요시간이 크다고 할 수 있을 것이다. 하지만, 이러한 문제는 CFP를 통하여 서비스되는 단말의 집합인 S 내의 모든 단말에 대하여 본 절의 휴리스틱을 통하여 클러스터링 알고리즘을

Table 1. Results of Simulation Experiment

n	Mean Number of Connected RAK Polling Sequences by Choi(2009)	Mean Number of Connected RAK Polling Sequences by Proposed Heuristic	Mean Derivation Time by Proposed Heuristic
3	1.7	1.7	< 1ms
5	1.6	2.1	< 1ms
10	1	3.2	< 1ms
20	1.1	3.9	< 1ms
30	2.1	4.6	< 1ms
40	1	5.9	11ms
50	4	5.8	45.6ms
60	5.1	5.9	72.1ms
70	7.9	6.4	89.1ms
80	5	6.6	122.9ms
90	7.2	6.5	159.2ms
100	12.1	6.7	143.9ms
110	17.1	7.1	139.3ms
120	18.3	7.2	137.8ms
130	17.6	7.3	135.8ms
140	26.5	7.4	134.3ms
150	23.8	7.8	135.4ms
160	24.4	7.5	133.8ms
170	28.3	7.2	140.2ms
180	27.4	7.6	142.2ms
190	41.7	7.8	144.1ms
200	32.5	8	143.9ms
210	40.7	7.6	144.1ms

적용하고 멀티캐스트 데이터 프레임의 수신자의 집합인 U 를 위한 클러스터링은 S 를 위한 클러스터링을 바탕으로 유도함으로써 해결될 수 있다. 예를 들어 $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ 일 때 본 절의 휴리스틱을 적용한 결과 3개의 클러스터 $C_1 = \{2, 3, 5\}$, $C_2 = \{1, 4, 9\}$, $C_3 = \{6, 7, 8, 10\}$ 을 유도하였다고 하자. 그러면 $U = \{1, 2, 5, 6, 7, 8, 9\}$ 을 위한 클러스터 $D_1 = \{2, 5\}$, $D_2 = \{1, 9\}$, $D_3 = \{6, 7, 8\}$ 을 C_1 , C_2 , C_3 에서 U 에 존재하는 단말만을 추출함으로써 쉽게 구할 수 있다. 그리고 U 를 위한 서로 순차적으로 연결된 폴링 순서는 각 클러스터 D_1 , D_2 , D_3 에 대해서 단말을 임의의 순서로 나열함으로써 구할 수 있다. 일반적으로 무선랜은 그다지 큰 이동성을 요구하지 않기 때문에

S 를 위한 클러스터링을 위하여 요구되는 시간은 본 장에서 제안하는 휴리스틱이 요구하는 시간 정도로서 충분하다고 할 수 있다. 따라서 멀티캐스트 데이터 프레임의 수신자의 개수 n 이 클 때 본 절에서 제안하는 알고리즘은 기존의 방법보다 훨씬 더 작은 개수의 RAK 폴링 순서를 필요로 함으로써 성능 개선이 이루어질 것으로 예측할 수 있다. 이러한 성능 개선에 대한 분석은 다음 장에서 설명하고자 한다.

4. 성능 분석 계산 결과

본 장에서는 Choi(2009)의 휴리스틱을 사용할 때와 본 논문의 제 3장의 휴리스틱을 사용할 때의 MAC 프로토콜의 최대 성능을 비교 분석하기 위하여 포화 상태를 가정하고자 한다. 즉, AP는 멀티캐스트 데이터 프레임을 계속적으로 전송하며 n 개의 각 수신자는 ACK 프레임에 상향 데이터를 계속적으로 piggyback한다고 가정한다. 그리고 전송 에러는 발생하지 않는다고 가정한다.

우선 Choi(2009)와 같이 성능 분석을 위한 파라미터를 다음과 같이 정의하자.

- T_M : 멀티캐스트 데이터를 한번 전송하는데 소요되는 평균 전송 시간
- T_{RAK} : 상향 데이터에 대한 수신 확인을 위하여 오직 하나의 MAC 주소만을 포함할 때의 RAK 폴링 프레임의 평균 전송 시간
- T_{ACK} : 상향 데이터를 piggyback하지 않을 때의 ACK 프레임의 평균 전송 시간
- L_D : 멀티캐스트 데이터 프레임 내의 사용자 페이로드의 평균 길이(bits)
- L_U : ACK 프레임에 piggyback되는 상향 데이터의 평균 길이(bits)
- q : ACK 프레임에 상향 데이터가 piggyback될 확률
- R : 데이터 전송률

그러면, Choi(2009), Choi(2010)의 공식을 이용하면 단말 간의 연결정보를 기반으로 한 신뢰성 있는 MAC 프로토콜에서 하나의 멀티캐스트 데이터 프레임을 성공적으로 전송하는데 소요되는 평균 시간의 상한치 T^U 와 하한치 T^L 은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$T^U = (SIFS + T_M) + n \cdot E[X_i] \left(SIFS + T_{ACK} + \frac{q \cdot L_U}{R} \right) + N_{RAK} \left(SIFS + T_{RAK} + \frac{48(2 \cdot n / N_{RAK} - 1)}{R} \right) + \left(SIFS + T_{RAK} + \frac{n}{N_{RAK} \cdot R} \right) \quad (2)$$

$$T^L = (SIFS + T_M) + n \cdot E[X_i] \left(SIFS + T_{ACK} + \frac{q \cdot L_U}{R} \right) + N_{RAK} (SIFS + T_{RAK}) \quad (3)$$

N_{RAK} 은 n 개의 수신자를 모두 폴링 하기 위하여 필요한 RAK 폴링 프레임의 평균 전송 횟수으로써 멀티캐스트 프레임의 재전송시 필요한 RAK 폴링 프레임의 전송 횟수는 포함되지 않는다. N_{RAK} 의 값으로 Choi(2009)의 휴리스틱과 본 논문의 제 3장의 휴리스틱에 대해서 <Table 1>의 값을 선택하여 사용할 수 있다. T^U 는 Choi(2009), Choi(2010)의 식을 그대로 이용하였으며 T^L 은 RAK 폴링 프레임에 상향 데이터에 대한 수신 확인을 위한 MAC 주소가 piggyback되지 않으며 멀티캐스트 데이터 프레임에 대한 모든 RAK 폴링 절차를 종료한 후 AP가 아직 수신 여부를 확인하지 않은 상향 데이터가 존재하지 않는다고 가정하여 구하였다.

하향 링크의 MAC 쓰루풋의 하한치 E_D^L 과 상한치 E_D^U 그리고 상향 링크의 MAC 쓰루풋의 하한치 E_U^L 과 상한치 E_U^U 를 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$E_D^L = \frac{n \cdot L_D}{T^U}, E_D^U = \frac{n \cdot L_D}{T^L} \quad (4)$$

$$E_U^L = \frac{q \cdot n \cdot L_U}{T^U}, E_U^U = \frac{q \cdot n \cdot L_U}{T^L} \quad (5)$$

Choi(2009)의 휴리스틱과 비교하여 본 논문의 제 3장의 휴리스틱에 의한 MAC 성능 개선을 입증하기 Choi(2009)의 휴리스틱에 의한 MAC 쓰루풋은 <Table 1>의 해당되는 값을 이용하여 MAC 쓰루풋의 상한치 E_D^U , E_U^U 를 구하고 본 논문의 제 3장의 휴리스틱에 의한 MAC 쓰루풋은 <Table 1>의 해당되는 값을 이용하여 MAC 쓰루풋의 하한치 E_D^L , E_U^L 을 구하여 비교하고자 한다.

IEEE 802.11a 무선랜을 위한 성능 분석 파라미터 중에서 전송 에러 확률과 n 을 제외한 나머지 파라미터의 값은 Choi(2009), Choi(2010)의 경우와 같도록 한다. $n = 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210$ 으로 변화시키고자 한다. 그러면 Choi(2009)의 휴리스틱에 의한 하향 링크의 MAC 쓰루풋의 상한치 E_D^U 과 본 논문의 제 3장의 휴리스틱에 의한 하향 링크의 MAC 쓰루풋의 하한치 E_D^L 을 파라미터의 값을 이용하여 계산한 결과는 다음의 <Figure 6>, <Figure 7>과 같이 구해질 수 있다. $q = 1$ 로 하였기 때문에 상향 링크의 쓰루풋과 하향 링크의 쓰루풋은 같은 값을 가진다.

<Figure 6>과 <Figure 7>에서 알 수 있듯이 멀티캐스트 수신자의 개수 n 이 작은 경우에는 Choi(2009)의 휴리스틱이 본 논문의 제 3장에서 제안한 휴리스틱보다 더 효율적이며 따라서 더 높은 MAC 쓰루풋을 가지지만 n 이 큰 값을 가질 경우 이러한 현상은 역전되어 본 논문의 제 3장에서 제안한 휴리스틱이

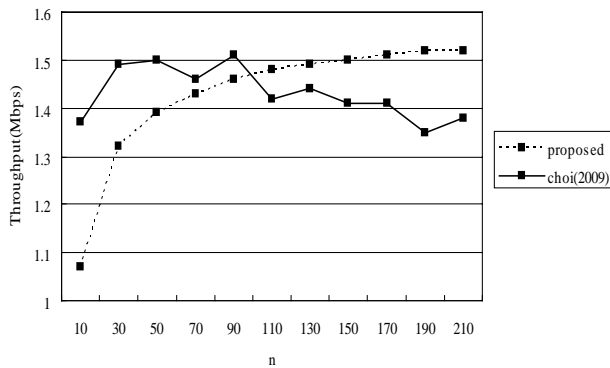


Figure 6. Throughput Results with Multicast and Uplink Data of 88 bits

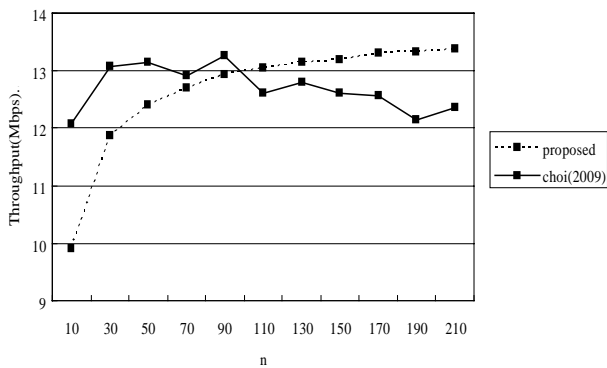


Figure 7. Throughput Results with Multicast and Uplink Data of 1000 bits

Choi(2009)의 휴리스틱보다 보다 더 효율적이며 이러한 현상은 n 의 값이 커질수록 더 심화된다. 멀티캐스트 데이터와 상향 데이터의 길이가 88 bits인 경우 $n = 210$ 일 때 본 논문의 제 3장에서 제안한 휴리스틱은 Choi(2009)의 휴리스틱보다 MAC 쓰루풋을 약 10.1% 향상시키며 멀티캐스트 데이터와 상향 데이터의 길이가 1000 bits인 경우 $n = 210$ 일 때 본 논문의 제 3장에서 제안한 휴리스틱은 Choi (2009)의 휴리스틱보다 MAC 쓰루풋을 약 8.3% 향상시킨다.

5. 결론

신뢰성 있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜의 성능을 향상시키

기 위해서는 멀티캐스트 데이터를 제외한 전송 오버헤드를 줄이기 위한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 이를 위하여 전송 오버헤드 중의 하나인 RAK 폴링 프레임의 전송 횟수를 줄이기 위한 새로운 휴리스틱을 제안하였다. 성능 비교 분석 결과 멀티캐스트 데이터의 수신자가 많을수록 제안한 휴리스틱은 기존의 방법보다 더욱 더 효율적임을 알 수 있었다.

참고문헌

- Bao, C.-W. and Liao, W. (2005), Performance Analysis of Reliable MAC-Layer Multicast for IEEE 802.11 Wireless LANs, *Proc. IEEE ICC*, 1378-1382.
- Choi, S. and Choi, K. (2006), Reliable Multicast for Wireless LAN, in Y. Zhang, H. Hu and M. Fujise(Eds.), *Resource, Mobility, and Security Management in Wireless Networks and Mobile Communications*, CRC Press.
- Choi, W.-Y. (2008), Hybrid Polling method for Direct Link Communication for IEEE 802.11 Wireless LANs, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2008.
- Choi, W.-Y. (2009), Connectivity-Based Reliable Multicast MAC Protocol for IEEE 802.11 Wireless LANs, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009.
- Choi, W.-Y. (2010), Corrections to "Connectivity-Based Reliable Multicast MAC Protocol for IEEE 802.11 Wireless LANs", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2010.
- Falkenauer, E. (1998), *genetic Algorithm and Grouping Problems*, John Wiley and Sons.
- Gossain, H., Nandiraju, N., Anand, K., and Agrawal, D. P. (2004), Supporting MAC Layer Multicast in IEEE 802.11 Based MANETs : Issues and Solutions, *Proc. IEEE LCN*, 172-179.
- Gupta, S. K. S., Shankar, V., and Lalwani, S. (2003), Reliable Multicast MAC Protocol for Wireless LANs, *Proc. IEEE ICC*, 93-97.
- IEEE Std 802.11 (2003), *IEEE Wireless LAN Edition*, IEEE Press.
- Kuri, J. and Kasera, S. K. (2001), Reliable Multicast in Multi-Access Wireless LANs, *Wireless Networks*, 7, 359-369.
- Peng, J. (2008), ARQ Scheme for Reliable Broadcasting in Wireless LANs, *IEEE Communications Letters*, 12, 146-148.
- Sun, M., Huang, L., Wang, S., Arora, A., and Lai, T. (2003), Reliable MAC Layer Multicast in IEEE 802.11 Wireless Networks, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 3, 439-453.
- Tang, K. and Gerla, M. (2001), MAC Reliable Broadcast in Ad Hoc Networks, *Proc. IEEE MILCOM*, 1008-1013.
- Xu, K., Gerla, M., and Bae, Sang (2002), How Effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Ad Hoc Networks, *Proc. IEEE GLOBECOM*, 72-76.