

---

# WMN에서 TDMA기반 MAC Protocol을 위한 우선순위 채널 경쟁 접근 방법

윤상만\* · 이순식\* · 이상욱\*\* · 전성근\*\* · 이우재\*\*\*

## Prioritized Channel Contention Access Method for TDMA based MAC Protocol in Wireless Mesh Network

Sang-Man Yun\* · Soon-Sik Lee\* · Sang-Wook Lee\*\* · Seong-Geun Jeon\*\* · Woo-Jae Lee\*\*\*

### 요 약

무선 메쉬 네트워크 환경에서는 기존의 MAC Protocol이 완벽한 성능을 발휘하기 힘들다. MP들의 끊임없는 이동성, 완전 분산 환경, 과부하 트래픽 등의 문제로 인해 새로운 MAC Protocol들이 제안되고 있다. 이 논문에서는 무선 메쉬 네트워크를 위한 MAC Protocol인 Mesh DCF를 이용한 우선순위 채널 경쟁 접근 방법을 제안한다. Mesh DCF에서는 TDMA Frame안의 ACH Phase를 이용해서 중요도에 따른 선택 및 그룹화를 이용한 삭제 방법을 사용한다. ACH안의 우선 순위화된 PP(Prioritized Phase)의 slot개수  $m$ 과 FEP(Fair Elimination Phase)의 slot개수  $n$ 은 경쟁 수준을 결정함과 동시에 하나의 MP가 경쟁에서 선택될 확률을 높여주는 역할을 한다. FEP의 경쟁수준을 결정하는 CNG(Contention Number Groups)의  $K$ 값은 경쟁의 공정성과 비례하지만 MP가 하나 선택될 수 있는 확률과는 반비례를 한다. 실험결과 충분한  $n$ 과  $K$ 의 크기는 전체적인 성능을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

### ABSTRACT

Existing MAC protocol can not show good performance in WMN environment. New MAC protocols is proposed because of Mobile Point's mobility, entire distributed environment, heavy traffic problems. This thesis proposes new channel contention method for Mesh DCF. Mesh DCF uses ACH phase in TDMA frame to perform selection and elimination. Prioritized phases's count  $m$  and Fair Elimination phases's count  $n$  is determine contention level and make string probability to only one win the contention. Contention Number group's count  $K$  to determine the contention level in Fair Elimination Phase gives Fairness but make low probability to only one win the contention. It is sure that enough size of  $n$  and  $K$  can improve entire performance as result.

### 키워드

DCF, WMN, Wireless LAN, MAC Protocol

---

\* 경상대학교 대학원 정보통신공학과  
\*\* 경상대학교 정보통신공학과 교수  
\*\*\* 경상대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

접수일자 2009. 07. 06  
심사완료일자 2009. 07. 24

## I. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 MC(Mesh Client), MR(Mesh Router)로 구성되고 MC, MR은 고정 되어 있거나 이동성을 갖고 있으며 Ad-Hoc방식을 이용해서 다중 홉 네트워크를 구성한다. MC는 주변의 MC들과 통신을 하면서 필요에 의해서 주변의 MP(Mobile Point)와도 통신을 진행한다. MR은 다중 홉을 위한 중계기 역할을 한다. 무선 메쉬 네트워크는 자가 구성 (Self Configuration), 자가 치유(Self Healing)와 같은 특징으로 인해 셀룰러 네트워크나 전통적인 Ad-Hoc방식의 네트워크와 차별성을 갖고 있으며 완전한 분산 환경에서 네트워크가 작동해야 하는 전제 조건은 기존 유무선 환경에서 작동하던 기술들이 그대로 적용되기 힘든 조건들이다. 무선 메쉬 네트워크는 다양한 환경에서 적용 가능하고 이동성을 지원하기 위한 MC의 진원관리, 확장성, 연결성, 보안, MAC 등에서 적절한 해결점을 찾지 못하고 있다[1, 2]. 무선 메쉬 네트워크의 특성상 과부하 트래픽 발생, 음영 노드등은 자주 발생하게 되고 네트워크의 성능을 크게 떨어뜨리게 된다. IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function)[3], IEEE 802.11 EDCA(Enhanced Distributed Coordination Access)[4], Hiperlan/II[5]와 같은 분산 환경을 지원하는 MAC Protocol도 무선 메쉬 네트워크의 이러한 특성을 제대로 지원하지 못한다[6,7].

이 논문은 무선 메쉬 네트워크의 Mesh DCF Protocol 중 접속 확률을 조절하는 MACP(Media Access Control Protocol)에서 제공하는 TDMA Frame의 정의와 채널 접속을 통해서 분산 환경에서 채널 경쟁의 공정성 및 효율성을 제공하는 방법을 찾아내고 이론적인 최적의 성능을 달성하는 것을 목적으로 하고 있다.

## II. MAC DCF Protocol

DCF Protocol은 여러 MP가 동일한 무선 채널을 접속하려고 할 때 충돌을 가능한 일으키지 않도록 MP간에 접속 시점을 조절하는 방식이다. DCF에서는 MP간의 접속 시점을 조절하기 위한 중앙 장치가 없이 각 MP가 CCA(Clear Channel Assessment)나 NAV(Network Allocation Vector)를 이용하여 독립적으로 수행하는 방식이다. DCF에서 각 MP는 DIFS(DCF Interframe Space)

를 이용하여 채널 접속을 하며 CCA에 의하여 채널 사용을 거부당할 경우 그림 1과 같이 백오프 알고리즘을 사용한다. 만약 처음 DIFS내에 채널이 Busy상태가 되면 현재 채널의 사용이 끝나기를 기다렸다가 다시 채널 접속을 시도한다. 그러나 채널 접속의 실패로 인해 채널 접속을 다시 시도할 경우 백오프 알고리즘을 사용하여 어떤 임의시간 동안 추가로 더 기다려야 한다.

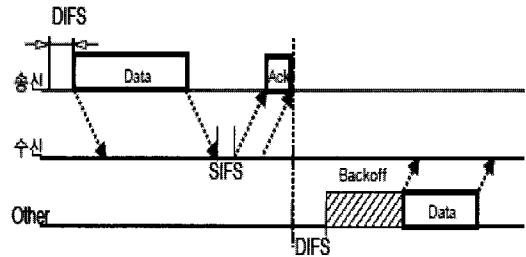


그림 1. 채널 액세스 방식  
Fig. 1 Channel Access Method

이러한 기다리는 시간 동안 CCA에 의해 채널이 Busy라는 것을 알게 되어 채널 접속이 실패하면 DIFS와 일정 시간 다시 기다리는 과정을 반복한다.

## III. MAC Mesh DCF Protocol

Mesh DCF는 본 논문에서 제안하는 MAC Protocol로 무선 메쉬 네트워크와 같은 완전한 분산 환경을 지원하는 TDMA/TDD(Time Division Multiple Access/Time Division Duplex)기반의 Protocol로 기존 MAC Protocol을 대체할 수 있으며 하부 PHY와 완벽한 호환성을 제공한다. Mesh DCF는 그림 2에서 보는 바와 같이 MACP(Media Access Control Protocol), RLCP(Radio Link Control Protocol), Mesh Routing & Security의 3부분으로 구성이 된다.

MACP는 TDMA Frame을 정의하고 채널 접속방법, 링크 연결, 트래픽 채널 예약, 트래픽 채널 해지, 패킷 Multiplexing, 브로드캐스트, 멀티캐스트, 동기화등의 기능을 제공하며 RLCP는 서비스 모드 구분, 에러 제어, 흐름 제어, 전송 관리, 전파 자원 관리와 같은 기능을 제공한다. Mesh Routing & Security는 경로관리 및 보안관련 기능을 제공한다.

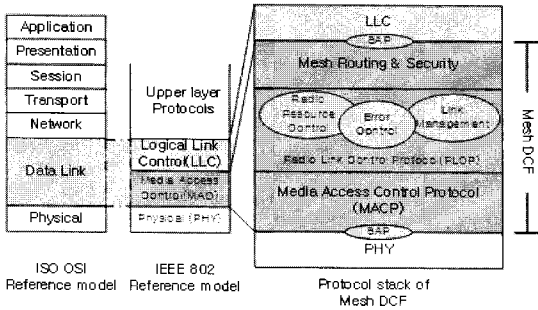


그림 2. Mesh DCF 프로토콜 계층  
Fig. 2 Mesh DCF Protocol Layer

그림 3은 MACP의 PDU(Protocol Data Unit) 구조를 보여주고 있으며 PDU는 PHY로 전달되고 PHY에서 제공하는 Preamble 데이터와 결합되어 Traffic Slot을 통해서 전달이 이뤄진다.

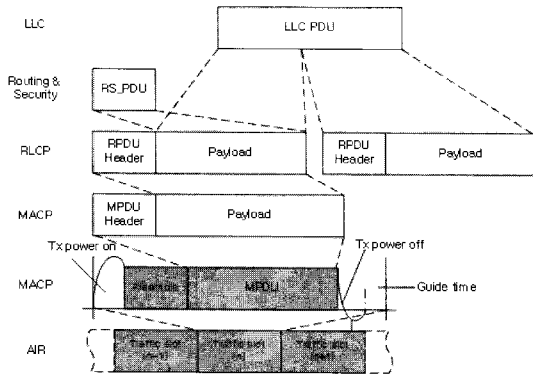


그림 3. 인접 Layer간 PDU 구조  
Fig. 3 PDU Frame Mapping Between Adjacent Layers

MACP에서 사용하는 TDMA Frame의 종류는 다음과 같다.

- ACH(Access Channel): 순서화된 채널 접근과 공정성을 제공하기 위해 Energy Signal과 접속제어 데이터 전송
- TCH(Traffic Channel): MAC Protocol 데이터 전송
- ECH(Echo Channel): TCH와 짝을 이뤄 주변의 MP들에게 TCH존재 알림

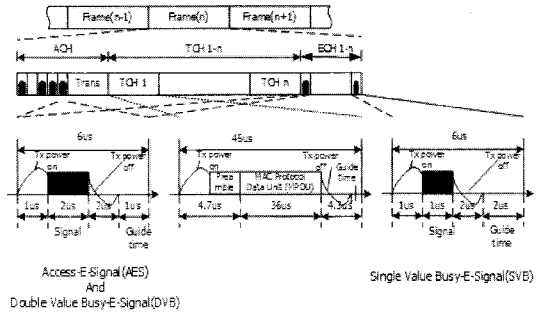


그림 4. TDMA 구조 및 에너지 신호  
Fig. 4 TDMA Frame and Energy Signal

그림 4는 TDMA Frame의 구조를 표시하고 있다. MACP에서는 MPDU(Media Protocol Data Unit)를 여러 MP간에 전달하기 위한 물리적인 링크 구성을 진행한다. 반송파를 확인해서 TCH의 상태를 확인하고 만일 TCH안에 어떤 반송파도 존재하지 않고 ECH안에 어떤 BES(Busy-E-Signal)도 존재하지 않으면 TCH는 비어 있다고 판단하고 TDMA Frame을 통해서 TCH의 사용을 요청하게 되면 RLCP에 의해서 필요한 TCH의 개수를 PHY의 상태를 고려해서 계산하게 되고 이를 통해서 MP는 데이터 전송을 시도하게 된다. 요청받은 MC는 CAC(Call Admission Control) 알고리즘을 RLCP에서 실행하면서 이러한 요청에 대한 처리를 진행하는 절차는 그림 5와 같다.

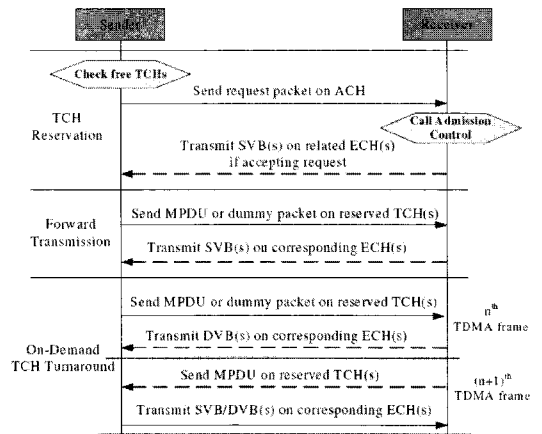


그림 5. TCH Link 구성 및 전송절차  
Fig. 5 TCH Link Structure and Transport Procedures

TCH는 더 이상의 전송이 발생하지 않을 경우 네트워크의 효율성을 위해서 다음과 같은 2가지 조건에서 TCH는 해제된다.

- 1) 시스템이 정한 Hang-on 시간 동안 양쪽 연결에서 어떠한 MPDU가 TCH 전송 버퍼안에 있지 않을 경우이다. Hang-on 시간은 주변 MC 간에 정한 시간이다.
- 2) TDMA Frame을 전부 활용하기 위해 TCH를 예약할 때 강제로 TCH를 해제시킬 수 있다.

ACH를 통해서 전달되는 Energy Signal인 AES(Access-E-Signals)는 On-modulated된 On-off Pulse로  $6\mu s$ 의 짧은 시간을 이용하는 신호이며 수신측에서 간단하게 메시지의 의미를 수신하기 위해 사용되고 기존의 반송파와 의미를 같이 하며 전파범위도 동일하다.

ECH를 통해서 전달되는 Energy Signal인 BES(Busy-E-Signal)는 주기적이며 SVB(Single Value BES)와 DVB(Double Value BES)로 각각 구분되며 AES와 DVB는 동일한 구조를 갖고 있다. SVB는 음영노드를 제거하기 위해서 MP들이 ECH를 통해서 전달하는 용도로 사용하고 MP가 전송방향을 바꾸고 싶을 때는 DVB를 이용한다.

그림 6은 ACH 내부 구조이다. ACH는 PP(Prioritization Phase), FEP(Fair Elimination Phase), TP(Transmission Phase)로 구성되며 PP와 FEP는 m개와 n개의 경쟁 슬롯을 갖고 있으며 PP는 다른 MP들로부터 전달되는 트래픽을 QoS 단계별로 구분한다. FEP는 ACH 경쟁에서 하나의 MP만 선택될 확률을 결정하며 공정한 채널 접속을 유지한다.

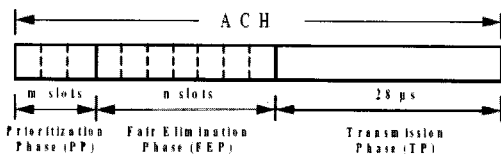


그림 6. ACH 구조  
Fig. 6 ACH Structure

Mesh DCF에서 PP와 FEP의 Slot 개수를 이용해서 경쟁 단계를  $2^{\text{(contention slot의 개수)}}$ 로 결정이 된다. PP와 FEP의 경쟁 단계는 각각 PPCL(PP Contention Level),

FEPCL(FEP Contention Levels)이며 PPCL과 FEPCL의 값은  $2^m, 2^n$ 이다.

MP가 전송을 위한 TCH를 선택하고자 할 때 ACH를 이용한 경쟁 단계는 다음과 같다.

- 1) MP는  $0 \leq PPCL \leq 2^m - 1$ 의 범위 안에서 PPCL을 선택한다.
- 2) MP는 bit 단위로 bit 값을 확인한다. bit 값이 1일 경우 AES를 전송하고 0일 경우 Listen을 수행한다. 가장 큰 값을 가진 MP가 우선적으로 전달이 되는 것이다.
- 3) MP가 Listen 기간 동안 Energy Signal을 수신하게 되면 Energy Signal을 중단하고 경쟁에서 제거가 된다.
- 4) 만일 PP 경쟁에서 남게 될 경우 MP는  $0 \leq FEPCL \leq 2^n - 1$  안에서 경쟁을 다시 시작한다.
- 5) FEP에서도 경쟁을 이기게 되면 TP 안에서 전송을 허용하게 된다.
- 6) 경쟁에서 누락될 경우 MP는 다음 TDMA Frame에서 다시 경쟁에 참여하게 된다.

그림 7은 MP1, MP2, MP3의 경쟁 상태를 나타내고 있으며 MP1, MP2가 PP 경쟁에서 1을 표시하고 MP3은 0을 표시하고 있으므로 MP3은 경쟁에서 누락된다. MP1, MP2는 FEP에서 다시 경쟁을 하게 되고 MP2는 MP1에 의해서 다시 경쟁에서 누락되게 된다. 최종적으로 MP1이 경쟁에서 성공해서 전송을 허락받게 된다.

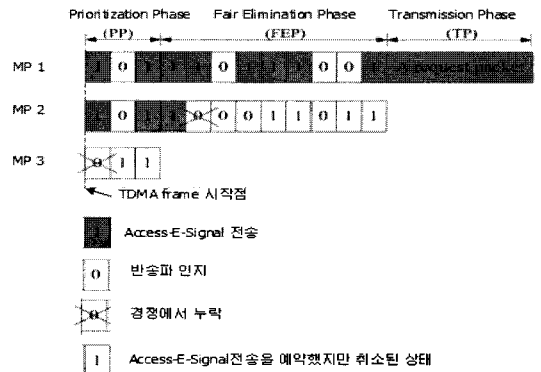


그림 7. 채널 액세스를 위한 경쟁  
Fig. 7 Contention for Channel Access

Mesh DCF에서 제안하는 PP의 트래픽 종류와 PPCL은 표 1에 정의되어 있다. 경쟁에서 지속적으로 누락되는 MP는 지연시간이 기본 이상으로 늘어날 경우 접근 분류를 높여줌으로써 경쟁에서 선택될 확률을 높이게 된다. 만일 AC\_VI Level이 지속적으로 경쟁에서 누락될 경우 AC\_VI\_HIGH로 단계를 상승시켜 다음의 경쟁에서 선택될 확률을 높이게 되는 것이다. PP에서 경쟁을 거치면 FEP를 이용한 사체를 통한 채널 접속 과정을 거치고 공정한 사체를 통한 채널 접속은 경쟁 단계를 다양화하면서 구현할 수 있다. 만일 충분한 경쟁 단계가 FEP에서 지원되면 다양한 PPCL의 MP중 선택 확률은 1에 근접하게 된다. FEP에서도 PP와 마찬가지로 경쟁에서 누락이 발생하는데 이럴 경우 다음 경쟁에서 높은 단계를 얻게 되어 선택 확률을 높인다.

표 1. PP 경쟁 수준  
Table. 1 PP Contention Level

접근분류	트래픽종류	지연시간	PP CL
AC_Beacon	Control	-	7
AC_VO_HIGH	Voice	>30ms	6
AC_VO	Voice	<=30ms	5
AC_VI_SUP	Video	>75ms	5
AC_VI_HIGH	Video	(50ms, 75ms)	4
AC_VI	Video	<=50ms	3
AC_BK_HIGH	Background	>200ms	2
AC_BK	Background	<=200ms	1
AC_BE	Best Effort	-	0

FEPCL은 총  $2^n$ 개의 경쟁 단계인 K개로 겹치지 않는 그룹으로 구성이 된다. CNG(Contention Number Groups)는  $[0, (2^n/K)-1], [2^n/K, (2 \times 2^n/K)-1], \dots [(K-1) \times 2^n/K, 2^n-1]$ 와 같은 방식으로 겹침을 방지한다. MP는  $t^i$ 값을 이용해서 CNG그룹을 선택하는데  $t^i$ 변수는 MP가 경쟁에서 누락된 횟수를 저장하고  $i$ 값은 변수의 Flow를 구분하는 ID이다. 만일 MP가 Flow  $i$ 를 위한 경쟁에서 누락될 경우  $t^i$ 의 값은 1 증가하고 경쟁에서 선택되면  $t^i$ 는 0이 된다. MP는 같은 FEPCL에서 경쟁에서 지속적으로 누락될 경우  $t^i$ 값을 이용해서 상위의 CNG를 선택하게 되고 경쟁에서 선택될 확률을 높이게 된다. CNG

를 이용한 경쟁 단계의 개수는  $2^n/K$ 개로 경쟁에 참여한 MP가 많아도 하나를 선택할 수 있다.

#### IV. 성능평가

채널 접근의 경쟁을 최소화하거나 피하기 위해서 경쟁에 들어온 MP들을 얼마나 효율적으로 제거해서 하나의 MP가 채널 사용에 대한 가능 여부는 전체적인 Mesh DCF의 효율성을 나타내는 지표로 판단될 수 있다. 제거에 의한 성능평가는 N개의 MP들이 같은 시간에 같은 PPCL을 갖고 있다고 가정하면 하나의 MP가 승리할 확률  $p(N, n)$ 이 경쟁슬롯(n)개의 FEP안에서 PP에서 MP가 경쟁을 이기고 FEPCL이  $l \in [0, 2^n - 1]$ 에서 임의로 선택될 때 다른 N-1 MP들의 FEP에서 선택될 확률은 식 (1)과 같다.

$$p(L=l) \times p(L < l)^{N-1} \quad (1)$$

$p(L=l)$ 과  $p(L < l)$ 이 FEPCL이 1과 같거나 1보다 적은 확률인 경우  $p(N, n)$ 은 식 (2)과 같다.

$$p(N, n) = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{l=1}^{2^n} p(L=l) \times p(L < l)^{N-1} \quad (2)$$

단,

$$p(L=l) = \frac{1}{2^n} \quad (3)$$

$$p(L < l) = \frac{l-1}{2^n}$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하여 계산하면 식 (4)과 같은 관계가 있다.

$$p(N, n) = N \sum_{l=1}^{2^n} \frac{1}{2^n} \times \left(\frac{l-1}{2^n}\right)^{N-1} \quad (4)$$

그림 8과 같이 경쟁슬롯(n)의 값이 작으면 MP의 개수가 늘어남에 따라 확률이 눈에 띄게 줄어드는 반면 경쟁슬롯(n)의 개수가 늘어남에 따라 MP의 개수에 따른 확률 변화가 작아짐을 확인할 수 있다. 이는 경쟁슬롯(n)이 클수록 MP를 1개 선택할 확률이 높아진다는 것을 확인

할 수 있다. 만일 N개의 MP들이 같은 CNG에서 FEPCL 들을 N'개 생성한다고 가정하면 확률은 경쟁슬롯(n)개의 FEP안에 있는 경쟁슬롯과 CNG의 개수가 K일 경우 경쟁에서 하나의 MP가 선택될 가능성은 식 (5)과 같은 관계가 있다.

$$p'(N', n, K) = N' \sum_{l=1}^{\lfloor 2^n/K \rfloor} \frac{1}{\lfloor 2^n/K \rfloor} \times \left[ \frac{(l-1)}{\lfloor 2^n/K \rfloor} \right]^{N'-1} \quad (5)$$

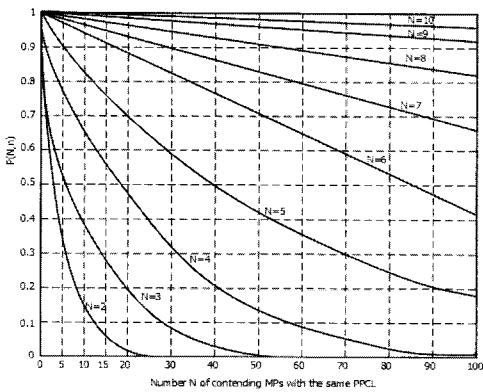
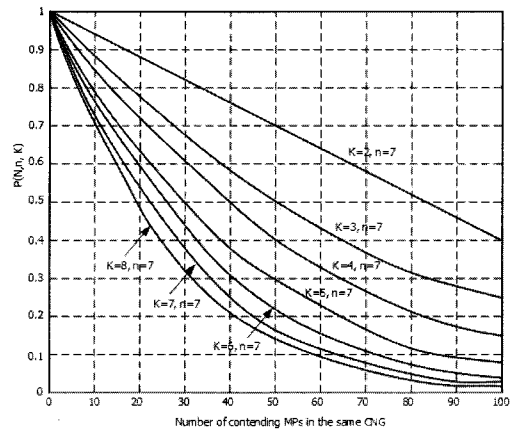


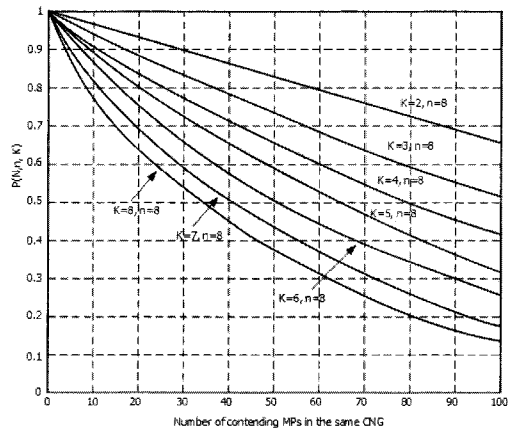
그림 8. 같은 PPCL에서 MP경쟁에서 확률  
Fig. 8 Probability Of Contending MP With Same PPCL

그림 9는 CNG개수(K)값과 FEP 개수 경쟁슬롯(n)의 값에 따른 확률 변화를 보여주고 있다. CNG개수(K)가 증가하면 하나의 MP가 선택될 확률이 줄어드는 것을 모든 조건에서 확인할 수 있다. CNG개수(K)는 경쟁의 공정성을 제공하는 반면 경쟁에서 하나의 MP가 선택될 확률에는 반비례하는 것을 확인할 수 있다. FEP의 개수 경쟁슬롯(n)이 7이하일 경우 CNG개수(K)의 증가로 인한 확률의 감소 정도가 커지고 경쟁슬롯(n)이 9이상 일 때는 CNG개수(K)의 증가로 인한 감소 정도가 작아짐을 확인할 수 있다.

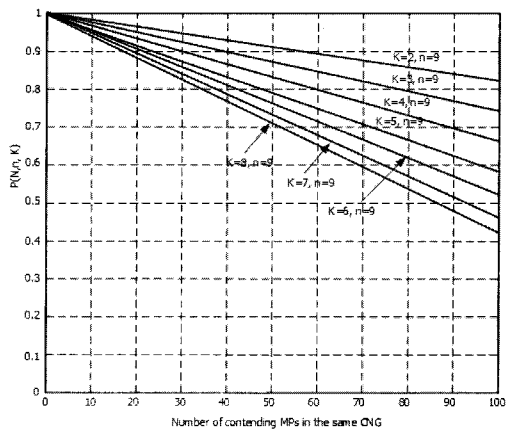
위의 결과를 통해 충분한 경쟁슬롯(n)의 개수는 전체적인 성능을 향상시키는 것을 확인할 수 있다. 4홉 이상을 지향하는 무선 메시 네트워크에서 적은 숫자의 네트워크일 경우 CNG의 개수(K)가 5이하일 경우 경쟁슬롯(n)이 8이면 최적의 효율을 낼 수 있다.



a) n=7



b) n=8



c) n=9

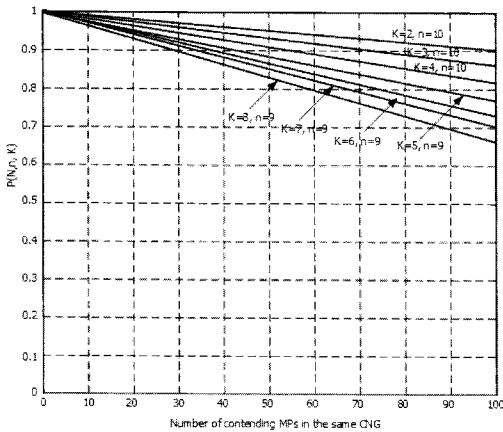
d)  $n=10$ 

그림 9. 같은 CNG에서 MP 선택 가능성  
Fig. 9 Likely to Choose MP With Same CNG

## V. 결론

본 논문은 무선 메쉬 네트워크 환경에 적합한 MAC Protocol을 위한 채널 선택 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 MAC Protocol을 개선하기 위해 Mesh DCF라는 새로운 형태로 적용되는 방법이다. 채널의 효율성을 높이기 위해서는 채널의 사용을 원하는 MP들의 경쟁을 최소화하여 과도한 채널 접속 요청에 대한 문제점을 해결할 수 있다. AES안의 PP의 개수인 경쟁슬롯( $m$ )은 트래픽의 종류를 구분하는 역할을 이용해서 채널 접속을 위한 경쟁 단계를 제공하게 된다. FEP의 개수 경쟁슬롯( $n$ )은 동일한 PPCL의 MP들 중에서 하나를 선택할 수 있게 하는 중요한 역할을 한다. 경쟁 슬롯( $n$ )의 개수가 증가할수록 하나의 MP가 선택될 확률은 1에 가까워지는 것을 식 (4)과 식 (5)을 통해서 확인할 수 있다. CNG개수( $K$ )의 경우 FEPCL을 제공함으로써 경쟁의 공정성을 제공하지만 경쟁슬롯( $n$ )과는 달리 전체적인 효율을 떨어뜨리는 역할을 하게 된다. 만일 CNG개수( $K$ )의 값 효율에 맞게 낮추게 될 경우 경쟁에 따른 공정성이 줄어들게 되는 문제점을 갖게 된다. 따라서 무선 메쉬 네트워크의 규모에 따라 효율성과 공정성을 위한 값의 선택이 중요하다.

저자는 Mesh DCF에서 제공하고자 하는 요구사항들을 충족시킬 수 있는 방법들을 지속적인 제안을 통해서 무선 메쉬 네트워크 환경에 최적화된 MAC Protocol에 대한 연구를 진행할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, "A survey on wireless mesh networks", *IEEE Communications Magazine*. vol. 43, pp.23 - 30, 2005.9
- [2] "802.11 TGs Simple Efficient Extensible Mesh (SEE-Mesh) Proposal", *IEEE 802.11 Task Group "s" on ESS Mesh Networking*.
- [3] "Wireless LAN Media Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification", *IEEE Std. 802.11*, 1999.
- [4] "Medium Access Control (MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements", *IEEE 802.11e/D13.0*, 2005.1
- [5] ETSI. Broadband Radio Access Networks (BRAN), "High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Functional specification", *ETSI Draft Standard*, 1995.1
- [6] S. Xu and T. Saadawi, "Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multi-hop wireless ad hoc networks?", *IEEE Communication Magazine*, pp.130-137, 2001.6
- [7] J. Weinmiller, M. Schlaeger, A. Festag, and A. Wolisz, "Performance study of access control in wireless LANs - IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES10 HIPERLAN", *Mobile Networks and Applications (Special Issue on Channel Access)*, vol. 2, pp. 55-76, 1997.6

저자소개



윤상만(Sang-Man Yun)

1998년 경남대학교 전자공학과  
학사

2005년 경남대학교 전자공학과  
석사

2008년 경상대학교 박사과정수료

※ 관심분야: 유무선 통합 네트워크, 차세대통신



이우재(Woo-Jae Lee)

1973년 항공대학교 전자공학과  
학사

1982년 건국대학교 전자공학과  
공학석사

2001년 경남대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 이동통신



이순식(Soon-Sik Lee)

2006년 경남대학교 전자공학과  
학사

2009년 경상대학교 석박사과정  
수료

※ 관심분야: 네트워크 보안, VoIP



이상욱(Sang-Wook Lee)

1977년 부산대학교 전자공학과  
학사

1988년 부경대학교 전자공학과  
공학석사

2000년 부경대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 신호처리



전성근(Seong-Geun Jeon)

1970년 항공대학교 통신공학과  
학사

1982년 건국대학교 전자공학과  
공학석사

1996년 경상대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수  
해양산업연구소 연구원

※ 관심분야: 전자장 및 마이크로파회로설계