

Wireless Ad-Hoc Network에서 RTS/CTS 내의 우선순위 부여를 통한 충돌 회피 알고리즘

이지혜*, 배경한**, 이병호**
*한양대학교 미디어통신공학
**한양대학교 컴퓨터공학
e-mail:jyestar@gmail.com

A Congestion Control Algorithm through RTS/CTS with Priority in Wireless Ad-Hoc Network

Ji Hye Lee*, Kyoung Han Bae**, Byung Ho Rhee**
*Dept. of Media Communication Engineering, Hanyang University
**Dept. of Computer Engineering, Hanyang University

요 약

데이터에 차별화된 우선순위를 부여하는 IEEE 802.11e EDCA는 데이터 프레임 전송 이전 스테이션 간에 발생할 수 있는 충돌을 방지할 수 없고 네트워크 환경이 혼잡할 경우에는 오히려 충돌 발생 확률을 높이는 한계가 있었다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 무선 다중 애드 혹 네트워크 환경에서 채널 확보를 위한 RTS/CTS 프레임 전송 시 우선순위를 부여하여 채널을 점유할 단말을 결정하고, 또한 채널형성 후 한 노드 내에서 여러 데이터 전송 시 충돌확률을 줄이는 방법을 제안하였다.

1. 서론

IEEE 802.11 MAC의 DCF(Distributed Coordination Function)는 채널 접근 권한을 획득하기 위해 경쟁하는 모든 스테이션에 동등한 확률적 기회를 부여한다. 전송 프레임을 차별화하지 않기 때문에 이더넷 망에 쉽게 접근할 수 있으나 모든 데이터 트래픽이 전송 큐에 도착하는 순서대로 서비스가 제공되는 Best Effort 방식이므로 멀티미디어 트래픽 전송에 있어서 QoS(Quality of Service)를 제공하지 못하는 문제점이 있었다[1][4]. 이에 무선망을 통해 영상이나 음성 신호 등 실시간 처리가 요구되는 멀티미디어 데이터 전송 어플리케이션을 지원하기 위하여 IEEE 802.11e가 개발되었다[1][2].

IEEE 802.11e EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)는 경쟁 기반 매체 접근 방법이며 네 개의 클래스 AC(Access Category)마다 차별화된 고정된 최소 경쟁 윈도우 크기인 CW(Contention Window)min 값과 최대 경쟁 윈도우 크기인 CWmax의 속성을 가지고 있다[2]. 트래픽의 특성별로 나뉜 고정된 파라미터 값은 우선순위를 기반으로 하여 각 AC간의 차별화를 보장하지만, 무선단말의 개수가 늘어날수록 오히려 충돌이 증가하는 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해 채널과 네트워크 상태를 고려하여 CWmin 값을 주기적으로 조절하는 CWminAS(CWmin Adaptation Scheme)기법을 [5]에서 제안하였으나 이는 각 AC별로 차별화된 AIFS[AC], CWmin[AC], CWmax[AC] 파라미터에 따라 매체 접근 확률 및 충돌 확률이 다르다는 것을 고려하지 않았다.

클래스 AC마다 우선순위를 할당하는 기존의 방식은 경

쟁 노드 간 채널 예약에 있어서는 여전히 경쟁적이므로 무선 다중 홉 네트워크에서 QoS를 보장할 수 없다. 이에 본 논문에서는 기존 데이터 프레임의 MAC 헤더에 포함되어 있던 사용자 우선순위 값을 데이터 전송 이전 채널 예약 단계에서 알게 하여 첫째, 경쟁 노드 간의 우선순위 및 동등한 AC 레벨에서의 공정문제를 해결하고 둘째, 전송 큐에서 우선순위 순으로 데이터 프레임 전송 시 충돌 확률을 감소시키는 방법을 제안한다.

2. 멀티미디어 데이터 전송을 위한 802.11e EDCA에서의 우선순위 결정방법

IEEE 802.11 EDCA 모델은 전송할 데이터 트래픽의 종류에 따라 우선순위를 부여하여 차별화된 서비스를 제공하기 위해 설계 되었으며, 기존 802.11 DCF모델과 그 구성이 매우 유사하다. EDCA 모델에서는 멀티미디어 데이터의 QoS지원을 위해 네 개의 AC를 정의하고 있는데 응용 프로그램에서 서로 다른 사용자 우선순위를 가지고 MAC 계층으로 도착한 트래픽은 차별화된 해당 AC에서 전송된다. 각각의 AC는 우선순위에 따라 전송 큐(Transmission Queue) 및 사전에 결정된 경쟁 파라미터(Contention Parameter)를 가지는데 DCF가 사용하는 DIFS(Distributed Interframe Space), CWmin, CWmax 대신 AIFS(Arbitration Interframe Space)[AC], 그리고 AC별로 차별화된 CWmin[AC]과 CWmax[AC]의 속성을 가지고 있다[5][6]. AIFS[AC]와 CWmin[AC]의 값이 작을수록 높은 우선순위를 가지며, 이는 높은 우선순위의 프레임 일수록 IFS(Interframe Space)가 감소하므로 채널접근 지

연이 짧아져 주어진 트래픽 환경에서 보다 많은 대역을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 충돌이 발생하더라도 매체 접속까지의 대기시간을 줄일 수 있게 되어, 전송 큐 상의 데이터가 전송 권한(Transmission Opportunity)을 획득하는데 유리하다[4].

만약 한 스테이션 안에 위치한 둘 이상의 병렬화된 AC가 동시에 백오프(Back off)를 마치고 0에 도달하게 되면, 스테이션 내의 가상 충돌 처리기(Virtual Collision Handler)에 의해서 AC의 충돌이 조정된다[4]. 가장 높은 우선순위를 가진 AC에 있는 프레임이 먼저 전송되며, 다른 AC들은 경쟁 윈도우 값을 증가시켜 백오프 카운터(Backoff Counter)를 갱신한다[3]. 이는 데이터 프레임 전송에 앞서 스테이션 간에 발생할 수 있는 충돌을 감소하지 못하는 한계가 있으므로 채널 형성 이전에 상대적으로 짧은 제어 프레임에 의한 충돌로 대처할 필요가 있다.

3. 새로운 우선순위 결정방법 제안 및 충돌확률 감소법

EDCA 모델에서 트래픽 카테고리별로 결정된 우선순위의 값은 QoS 데이터 프레임의 MAC 헤더에 포함되어 있기 때문에 전송할 데이터의 종류가 다른 여러 개의 노드가 경쟁하는 무선 다중 홉 네트워크에서 전송 데이터의 QoS(Quality of Service)를 보장하는 근본적인 해결책이 될 수 없다. 또한 채널 점유를 위한 경쟁에서 다른 노드가 채널을 이용하는지 여부를 감지하고 충돌 여부를 판단하는 CSMA/CA 충돌 회피 방식은 그 성능에 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 패킷이 MAC 계층에 도달하기 이전에 IP 패킷의 헤더에 있는 ToS(Type of Service) 필드의 값을 이용하여 멀티미디어 트래픽의 우선순위를 구분하는 방법을 [4]에서 제안하였으나 이 또한 채널 확보 단계에서 노드 간의 경쟁을 해결하는 데에는 한계가 있다. RTS/CTS 조작을 통해 전송노드의 우선순위 테이블을 작성하는 방법을 [8]에서 제안하였으나 이는 전송 데이터의 종류를 구분하는 것에만 국한되었기 때문에 같은 레벨의 우선순위를 가지는 데이터들이 동시에 전송을 시도할 경우 효과적인 메커니즘이 아니었다.

따라서 본 논문에서는 기존에 전송 데이터 프레임에 포함되어 있던 우선순위를 RTS/CTS Protocol에 할당하고 동일한 우선순위 데이터의 전송 시 데이터의 전송시간(Duration Time)을 고려하는 메커니즘을 제시하였다. 또한 채널 형성 이후 하나의 스테이션 내에서 차별화된 전송 큐에서 무선 매체접근 시 기존에 비해 충돌 확률을 감소시키는 기법을 기술하였다.

우선 여러 경쟁 노드가 존재하는 무선 네트워크 환경에서 지연에 민감한 실시간 데이터를 가진 노드들은 채널을 확보하기 위한 경쟁에서도 우선순위를 가질 수 있어야 한다. 또한, 만약 우선순위가 동일한 데이터가 두 개 이상 존재하는 경우에 이를 효과적으로 처리할 수 있어야 한다. 다중 애드 혹 네트워크 상태에서 채널을 먼저 잡은 하나

의 스테이션이 채널을 독점해서 사용한다면 채널 기아(Starvation)로 인한 공평성문제(Fairness Problem)가 발생할 수는 있지만 멀티미디어 데이터의 경우 일정 시간 이상 경과하면 그 가치를 상실하므로 데이터에 중요도를 부여하여 서비스의 품질을 향상시키는 것이 중요하다[4]. DCF에는 데이터 프레임을 전송하기 전에 RTS/CTS 제어 프레임을 교환하여 미리 채널을 점유하는 RTS/CTS 액세스 모드에 있는 보다 효과적인 우선순위 결정은 이러한 RTS/CTS 제어 프레임의 변형을 통해 이루어진다.

기존 메커니즘과의 호환성을 고려하여 RTS/CTS 프로토콜의 FC(Frame Control header)에 위치한 예약된 필드(Reserved Field)[3]를 인용하여 우선순위 정보를 <표 1>과 같이 추가하였다.

<표 1> RTS/CTS FC에 위치한 예약된 필드

Type Value	Type Description	Subtype Value	Subtype Description
b3 b2	Reserved	b7 b6 b5 b4	Reserved
1 1		0000 - 1111	

EDCA 모델 연구의 대부분은 AC의 우선순위를 서로 같은 클래스라는 가정 하에 분석하였다[5][6][7]. 그러나 동일한 AC라도 각각의 단말 혹은 클래스 내에서 AC들이 서로 다르게 구성되어 있다면, 같은 AC들 사이에서도 서로 다른 채널 접근 확률을 가지게 되므로 클래스의 구성 또한 중요한 척도가 된다. 예를 들어 실시간 데이터인 AC3의 우선순위에 있어 AC3 AC2의 데이터가 존재하는 단말의 AC3 우선순위와 AC3만이 단독으로 존재하는 노드에서의 우선순위는 다르기 때문에 AC3이 가지는 채널 접근 확률 또한 다르다. 결과적으로 Subtype Value Bit가 포함할 정보는 다음과 같다.

b7 : 연결된 Station의 Class 단일/다중 여부

b6 b5 : 가장 높은 우선순위 AC

<표 2> 제안된 PA(Property Advanced) CTS 프로토콜의 FC(Frame Control Header)

FC		Dur		Rcvr Addr	FCS
b3 b2	b7	b6 b5	Data Type		
1 1	0	0 0	Audio		
		0 1	Video		
		1 0	Best Effort		
		1 1	Background		

같은 레벨의 AC 우선순위 및 동등한 채널 접근 확률을 가지는 여러 개의 데이터가 동시에 전송을 시도하는 경우를 가정해보자. RTS/CTS 프레임의 전송시간 필드에는 채널 점유 시간이 기록되어 있다[1][2].

$$RTS\ Duration = T_{cs} + T_{data} + T_{ack} + 3SIFS \quad (1)$$

$$CTS\ Duration = T_{data} + T_{ack} + 2SIFS \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에 의하여 $RTS/CTS\ Duration \propto T_{data}$ 임을 알 수 있다. 이 때 T_{data} 는 [4]에 의하여 다음과 같은 식으로 간략하게 도출할 수 있다.

$$T_{data}(L) = T_{preamble} + T_{signal} + T_{sys} \times \left[\frac{S_{bit} + L_{mpdu} \times T_{bit}}{R_{data}} \right] \quad (3)$$

식 (3)에서 T_{cls} , T_{data} , T_{ack} , $kSIFS$ (k is constant)은 주어진 시스템의 특성에 따른 상수 값이므로 식 (4)와 같이 나타낼 수 있고

$$CTS/RTS \text{ Duration} = T_{data} + C \quad (4) \quad (C \text{ is constant})$$

이 식을 적용하면 <표 3>과 같이 본 논문에서 제안하는 프로토콜 구조가 된다.

따라서 동일한 우선순위 및 프레임 크기를 가지는 데이터들이 경쟁하는 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min T_{data}(L) = T_{preamble} + T_{signal} +$$

$$T_{sys} \times \left[\frac{S_{bit} + L_{mpdu} \times T_{bit}}{R_{data}} \right]_{\min} \quad (5)$$

(R_{data} ; Mbps 단위의 데이터 전송률)

$$\min \frac{S_{bit} + L_{mpdu} \times T_{bit}}{R_{data}} \propto (\max R_{data}, \min T_{bit}) \quad (6)$$

식 (5), (6)에 의해 동일한 우선순위의 데이터를 가지는 전송 노드 간의 경쟁 없이 전송이 이루어지므로 경쟁에 필요한 대역폭의 낭비를 줄이고 실시간 전송을 요구하는 트래픽의 QoS를 보장할 수 있다.

<표 3> 제안된 PA CTS Protocol Duration

FC	Dur	Rcvr Addr	FCS
b6 b5	Duration time		
0 0	$T_{data1} + C_1$		
	$T_{data2} + C_2$		
	$T_{data3} + C_3$		
	$T_{data4} + C_4$		

RTS/CTS 프레임은 다중 애드 혹 네트워크에서 방송된 다[1][2]. CTS 방송을 통해 현재 채널을 형성한 노드의 데이터의 우선순위를 알 수 있고 이후에는 현재 전송 노드보다 우선순위가 높은 데이터를 가지는 노드들부터 우선적으로 채널을 형성하므로 채널 점유를 위한 경쟁에서 발생하는 충돌이 감소되고 채널의 낭비를 줄일 수 있다.

다음은 채널 형성 이후 데이터 프레임들이 우선순위 카테고리 별로 분류된 전송 큐로 이동하여 전송 시 충돌 확률을 감소시키는 방법이다. 이 때 p_i 는 AC에 따른 충돌 확률을 나타내며 각 AC의 전송 시도 확률 $\tau_{i[AC]}$ 은 [7]에 의해 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_i = \begin{cases} \frac{2(1-2p(c_i))(1-p(c_i))^{R+1}}{CW_i^{\min}(1-(2p(c_i))^{R+1})(1-p(c_i)) + (1-2p(c_i))(1-p(c_i))^{R+1}} & , R \leq m_i \\ \frac{2(1-2p(c_i))(1-p(c_i))^{R+1}}{CW_i^{\min}(1-(2p(c_i))^{m_i+1})(1-p(c_i)) + (1-2p(c_i))(1-p(c_i))^{R+1}} & , R > m_i. \end{cases} \quad (7)$$

$$+ CW_i^{\min} 2^{m_i} p(c_i)^{m_i+1} (1-2p(c_i))(1-p(c_i))^{R-m_i}$$

목적지 노드와 송신 노드 간의 채널이 idle하다고 감지되는 경우 전송 노드에서 채널 점유 및 전송을 시도하므로 전송 확률은 $P_{empty} = (1-\tau_i)(1-P_c)$ (8)으로 나타낼 수 있고 AC가 단일로 존재한다고 가정하면 충돌확률 P_c 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_c = 1 - \frac{\prod_{i=1}^N (1-\tau_i)^{f_i}}{1-\tau_i} \quad (9)$$

N : 시스템 내의 클래스 개수

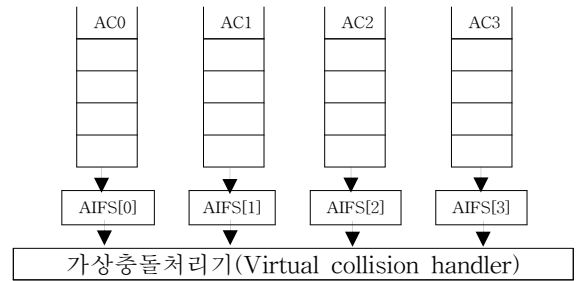
f_i : 클래스 I에 속하는 AC 플로우 개수

또한 AC가 여러 개 존재하는 Multi-AC의 경우 충돌확률은 (10)과 같다.

$$P_c = 1 - \frac{\prod_{i=1}^N (1-\tau_i)^{f_i}}{\prod_{k \in D} 1-\tau_k} \quad (10) \quad (D : AC의 집합)$$

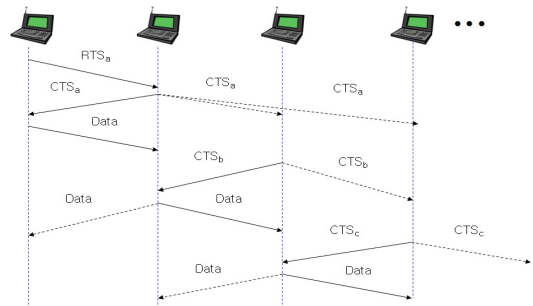
이때 각각의 데이터 프레임은 우선순위에 따라 (그림 1)과 같이 전송 큐를 이미 범주화[4]하였기 때문에 전송 큐로 도착한 이후 전송 시도 확률 τ_c 를 우선순위와 관계 없이 모두 $\max \tau_c$ 로 설정한다면 한 스테이션 내에서 전체적인 충돌 확률 P_c^{total} 을 감소시킬 수 있다.

$$\min P_c^{total} = 1 - \frac{\prod_{i=1}^N (1-\tau_i)^{f_i}}{\prod_{i=1}^n 1-\tau_{\max}} \quad (11)$$



(그림 1) 한 스테이션 내 EDCA AC별 전송 큐

4. 예상 시나리오



(그림 2) PA CTS 전송을 통한 무선 애드 혹 네트워크에서의 충돌 회피 시나리오

제안된 PA(Property Advanced) CTS 프로토콜은 기존의 CTS 프레임 헤더를 수정하여 우선순위를 부여함으로써

써 무선 애드 혹 네트워크에서 데이터 전송 이전에 각 전송 노드의 우선순위를 결정할 수 있는 장점이 있다. 기존 데이터 프레임의 MAC헤더에 우선순위를 부여하던 것과 비교하여 RTS/CTS 헤더에 우선순위를 신게 되면 채널 형성 이전에 비교적 짧은 제어 프레임에 의한 충돌로 대처할 수 있으므로 복잡도가 작아지고, 또한 같은 우선순위의 전송 데이터를 가지는 전송 노드가 여러 개 존재하는 경우에도 전송 시간이 짧은 순서대로 전송하게 되므로 QoS 보장에 효과적이다.

네 개의 전송노드 $Node_1, Node_2, Node_3, Node_4$ 가 있다고 가정하자. 각 AC는 단일 클래스로 구성되며 RTS/CTS 헤더에 포함된 각각의 전송 데이터의 우선순위(Priority) 및 전송시간(Duration)은 다음과 같다.

$$Node_1 : Audio, T_{data} = T_1$$

$$Node_2 : Audio, T_{data} = T_2$$

$$Node_3 : Audio, T_{data} = T_3, (T_1 < T_2 < T_3)$$

$$Node_4 : Best Effort, T_{data} = T_4$$

무선 애드 혹 네트워크에서 CTS 프로토콜은 방송되므로 CTS 전송을 통해 각 전송 노드의 데이터가 가지는 우선순위를 알 수 있다. PA CTS 헤더에 포함된 각 노드가 가지는 데이터의 우선순위는 본 논문에서 제한한 바를 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Node_1 : \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 11000 & 0000 & Rcvr Addr & FCS \\ \hline \end{array}$$

$$Node_2 : \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 11000 & 0001 & Rcvr Addr & FCS \\ \hline \end{array}$$

$$Node_3 : \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 11000 & 0010 & Rcvr Addr & FCS \\ \hline \end{array}$$

$$Node_4 : \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 11010 & 0000 & Rcvr Addr & FCS \\ \hline \end{array}$$

$Node_2$ 에서 전송이 먼저 이루어진 경우 그 다음 전송은 채널 형성을 위한 노드 간의 경쟁 없이 $Node_1$ 에서 먼저 이루어지므로 전송 노드 $Node_1, Node_3, Node_4$ 가 모두 경쟁하는 상황을 방지할 수 있다. $Node_3$ 에서 전송이 먼저 이루어진 경우 그 다음 전송은 오직 $Node_1, Node_2$ 만이 경쟁에 참여하기 때문에 전송 노드 $Node_1, Node_2, Node_4$ 가 동시에 경쟁에 참여하는 경우를 방지할 수 있으므로 충돌 확률을 줄일 수 있다. 또한 채널을 형성한 각 노드에서의 충돌 확률 P_c 은 전송 큐로 이동한 후 가장 우선순위가 높은 데이터의 전송 시도 확률 τ_{max} 로 처리되므로 식 (11)에 의해 식 (12)가 성립하며 이는 무선 애드 혹 네트워크에서 전송 노드의 개수가 증가할수록 더 효과적인 메커니즘임을 알 수 있다.

$$P_c = 1 - \frac{\prod_{i=1}^N (1 - \tau_i)}{\prod_{i=1}^n 1 - \tau_{max}} \quad (12)$$

5. 결론

본 논문에서는 무선 다중 홉 네트워크 환경에서 채널을

확보하기 위한 전송 노드간의 경쟁을 해결하기 위하여 우선순위 기반의 RTS/CTS 제어 프레임을 사용할 것을 제안하였다. 기존 802.11e EDCA 모델에서는 데이터 전송의 QoS를 보장하기 위하여 데이터 프레임별로 차별화된 우선순위를 제공하였으나 데이터 프레임의 MAC 헤더에 위치하고 있기 때문에 데이터 프레임 전송에 앞서 스테이션 간에 발생할 수 있는 충돌을 감소시키는 데에는 한계가 있었다. 따라서 RTS/CTS 제어 프레임에 우선순위 값을 포함시켜서 이를 기반으로 채널을 형성하고 만약 동등한 우선순위를 가지는 전송 노드에 대해서는 전송시간 필드 값을 고려하여 채널 점유 시간이 낮은 순으로 채널을 형성하는 기법을 제안하였다. 또한 채널을 확보한 한 스테이션 내에서 실제 데이터 전송 시 전체 충돌 확률을 감소시키기 위하여 각 AC별로 부여된 전송 시도 확률들 중 최댓값을 활용하여 데이터 전송 시 전체 충돌을 감소하는 방법을 제안하였다. 향후 과제로는 본 논문에서 도출된 식을 이용하여 시뮬레이션을 통해 실제 네트워크에서 적용될 수 있는 효율성을 검증하고자 한다.

참고문헌

- [1] IEEE 802 Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHZ Band, IEEE std., 1999.
- [2] IEEE 802 Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, IEEE std., 2005.
- [3] IEEE Std 802.11e: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements, 2005.
- [4] Yoon-Sik Yoo, Jae-Doo Huh, Sensor Networking Application Research Team, ETRI, Priority based 802.11e EDCA Algorithm and Performance Evaluation for Multimedia Data Transfer.
- [5] Lassaad Gannoune and Stephan Robert, Dynamic Tuning of the Contention Window Minimum(CWmin) for Enhanced Service Differentiation in IEEE 802.11 Wireless Ad-Hoc Networks, IEEE PIMRC 2004.
- [6] Albert Banchs, Luca Vullero, Throughput analysis and optimal configuration of 802.11e EDCA, 2005
- [7] H. Wu, Y. Peng, K. Long, S. Cheng, J. Ma, Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: analysis and enhancement, in: Proceedings of IEEE INFOCOM'02, New York, NY, June 2002.
- [8] JongBin Park, DongSun Park, The priority establishing method on Ad-Hoc Network.