

802.11 프로토콜에서 폴링 기반의 그룹화 메커니즘

오경식^o 안종석
 동국대학교 컴퓨터 공학
 {eoris81^o, jahn}@dgu.edu

A Polling-Based Grouping Mechanism in 802.11 Protocol

Kyung Sik Oh^o, Jong Suk Ahn
 Computer Engineering of Dongguk University

요 약

IEEE 802.11 프로토콜은 근거리 네트워크인 LAN(Local Area Network)을 대상으로 한다. 네트워크를 구성하는 하나의 BSS(Basic Service Set)는 보통 제한된 규모의 크기를 가지며 그 안에 속한 스테이션(station)의 수는 수십 개 내외로 가정한다. 하지만 지능형 교통 시스템과 같은 대규모의 네트워크에서 하나의 AP(Access Point)가 담당하는 BSS의 크기는 수 Km에 달하며 그 안에 속한 스테이션의 수도 수백 개에 달한다. 이러한 고속 이동성과 대규모의 스테이션 수를 특징으로 하는 네트워크를 지원하기 위해 기존의 802.11 프로토콜은 적합하지 않다. 본 논문에서는 대규모 고속 이동 스테이션들이 존재하는 네트워크를 지원할 수 있는 802.11 기반의 그룹화 메커니즘을 제안한다. 하나의 BSS 내에서 경쟁하는 스테이션의 수를 그룹화 하여 경쟁의 정도를 완화함으로써 성능을 개선한다. 기존의 802.11 프로토콜 성능을 수학적 모델로 평가하였던 [1]과 제안한 그룹화 메커니즘을 도입하였을 경우의 성능을 수학적으로 비교 분석한 결과 그룹화를 통해 최대 187%의 성능 향상을 가져올 수 있음을 보였다.

1. 서 론

무선 LAN의 표준 프로토콜은 802.11이다. 802.11은 물리 계층 및 MAC(Medium Access Control) 계층에 대한 명세를 포함한다. 802.11은 세부적으로 물리 계층에 따라 802.11a, 802.11b, 802.11g로 구분하며 MAC 계층은 각각의 프로토콜이 서로 공유한다. 하나의 매체를 공유하는 무선 네트워크의 특성 상 MAC 계층은 중요한 역할을 담당한다.

802.11 프로토콜의 MAC은 크게 두 가지 조정 기능으로 구성되며 DCF(Distributed Coordination Function)와 부가적인 PCF(Point Coordination Function)로 구성된다. 802.11을 따르는 모든 스테이션은 기본적으로 DCF를 구현하고 필요시에만 PCF를 그 위에 구현한다. DCF는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 방식을 기반으로 한다. 데이터를 전송하려는 스테이션은 먼저 매체가 사용 중인지 감지하여 만약 사용되지 않는 상태라면 전송을 시도한다. 무선 네트워크는 자신이 보낸 데이터가 수신측에 제대로 도착하였는지 알 수 없기 때문에 positive ACK 방식을 사용한다. 만약 미리 정해진 시간 동안 ACK가 오지 않는다면 패킷 손실이나 네트워크 혼잡 등의 이유로 패킷이 도착하지 않았다고 판단하고 BEB(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 이용하여 재전송을 시도한다.

802.11이 표준화가 된 이후에 802.11 프로토콜의 성능 평가를 위한 모델링 방식이 많이 제안되어왔다. [1]에서는 multi-state Markov chain을 이용하여 802.11 DCF의 성능을 평가하였다. [2-4]에서는 [1]을 기반으로 802.11의 세부적인 특성을 반영하여 모델링을 확장하였다. 모델링을 통한 분석 결과 하나의 BSS 내의 스테이션 수가 128 개 이상이 되면 충돌이 많이 발생하여 네트워크의 성능은 용인할 수 없을 정도로 감소함을 보인다. 지능형 교통 시스템과 같은 네트워크에서 하나의 BSS 내의 스테이션 수는 보통 수백 개로 구성되므로 802.11을 그대로 사용할 수 없다. 이를 위해 [5-6]에서는 하나의 BSS 내의 스테이션을 그룹화 하여 성능을 개선하는 메커니즘을 제안하였다. [5]에서는 기존 802.11과 혼용될 수 있는 802.11 DCF 기반의 메커니즘을 제안한다. 각각의 스테이션들은 비콘 메시지를 통해서 서로 동기화하여 그룹화에 대한 정보를 공유한다. 하지만 이러한 분산된 그룹의 관리하는 만약 동적으로 그룹 크기를 조정해야 할 필요가 있을 경우 적합하지 않다. 또한 [6]에서의 그룹화는 위치 정보에 기반을 두고 있어서 고속 이동하는 스테이션을 가정하는 네트워크에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 스테이션의 그룹화를 통하여 경쟁의 정도를 줄이며 또한 향후의 동적인 그룹 크기 조정을 위한 AP 기반의 그룹화 메커니즘을 제안한다. 또한 Markov chain 모델링을 이용하여 802.11 DCF와 제안하는 그룹화 메커니즘을 비교, 분석한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 이루어져 있다. 2장에서는 기본적인 802.11 DCF를 소개하며 성능을 평가한다.

* 본 연구는 서울시 산학연 협력 사업으로 구축된 서울 미래형 컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

3장에서는 그룹화 메커니즘을 소개하며 성능을 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구 과제를 나열한다.

2. 802.11 DCF

본 절은 802.11 프로토콜의 DCF에 대하여 간단히 요약하고 성능을 평가한다. 802.11 표준에 대한 더 세부적인 내용은 [10]에서 확인할 수 있다. 패킷을 전송하려는 스테이션은 DIFS(Distributed InterFrame Space)라고 표준에 명시된 기간 동안 채널이 비사용(idle) 상태인지 판단한 후 그렇다면 전송을 한다. 그렇지 않다면, 다시 DIFS 동안 채널이 비사용 상태라고 판단될 때까지 계속 채널을 검사한다. 이 시점에서 스테이션은 임의의 슬롯 값을 선택하며, 이는 802.11 프로토콜이 기반으로 하고 있는 충돌 회피(CA : Collision Avoidance) 특징을 나타낸다. 게다가 채널이 독점적으로 사용되는 것을 막기 위해 2개의 연속적인 패킷 사이에도 임의의 슬롯 시간을 선택한다. 하지만 예외적으로 최근 802.11e 프로토콜에는 패킷들을 SIFS(Short InterFrame Space) 간격으로 계속 보내는 Burst Transmission이 가능하다.

또한 802.11 DCF는 BEB 방식을 채용한다. 각 패킷 전송 시에 임의의 슬롯 시간이 $[0, \omega - 1]$ 사이에서 임의로 선택된다. 여기서 ω 는 경쟁 윈도우라고 하며, 이 값은 그 패킷에 대해 실패한 전송의 횟수에 의존한다. 초기 전송 시에 ω 는 CW_{min} 이라는 최소 경쟁 윈도우 값을 갖고 패킷 전송에 실패할 때 마다 지수 적으로 증가하여 최대 경쟁 윈도우인 CW_{max} 값까지 증가한다. CW_{min} 과 CW_{max} 의 값은 표준 문서에 물리 계층에 따라서 정의되어 있으며 [표 1]은 최근 표준에 명시된 경쟁 윈도우의 크기와 빈 슬롯 시간을 나타낸다.

표 1. 802.11에 명시된 Slot Time, CW_{min} , CW_{max} 의 값에 대한 요약

| PHY | Slot Time(σ) | CW_{min} | CW_{max} |
|------|-----------------------|------------|------------|
| FHSS | 50 | 16 | 1024 |
| DSSS | 20 | 32 | 1024 |
| IR | 8 | 64 | 1024 |

802.11 DCF에서 패킷 전송 방법은 2가지가 있다. 하나는 기본 접근 메커니즘, 다른 하나는 RTS/CTS 접근 메커니즘이다. 다음 [그림 1]은 Basic 메커니즘을, [그림 2]는 RTS/CTS 메커니즘을 도식화한 것이다.

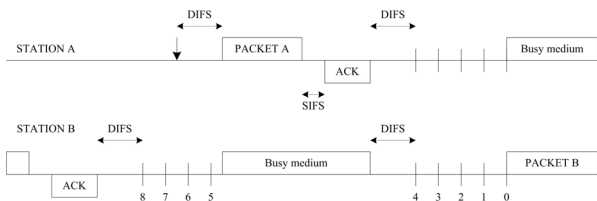


그림 1. Basic 접근 메커니즘의 예

[그림 1]에서 스테이션 B는 DIFS 동안 매체를 감지하

고 자신이 임의로 선택한 경쟁 윈도우의 슬롯을 계속 감소해간다. 하지만 스테이션 A가 DIFS 후에 바로 전송을 시도함에 따라 감소하던 슬롯 시간을 멈춘 후에 전송을 지연한다. 스테이션 A의 전송이 끝난 후에 다시 DIFS 동안 매체가 비사용 상태라면 다시 슬롯 시간 감소를 계속한다.

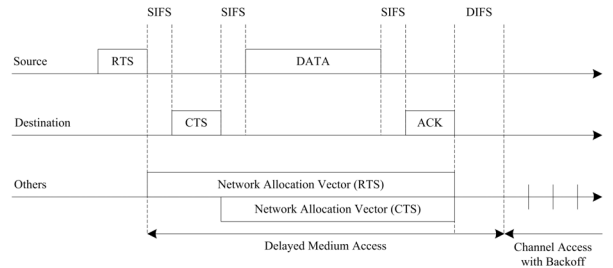


그림 2. RTS/CTS 접근 메커니즘의 예

RTS/CTS 메커니즘은 [그림 2]에서와 같이 충돌 비용을 최소화하기 위해 실제적인 데이터 패킷 전송 전에 작은 크기의 제어 패킷을 통해 매체를 선점한다. 일반적으로 미리 정의된 $RTSThreshold$ 값에 따라서 이 경계 값보다 적은 크기의 패킷은 기본 접근 메커니즘을 통해 전송하며, 반대의 경우는 RTS/CTS 접근 메커니즘을 통해 전송한다.

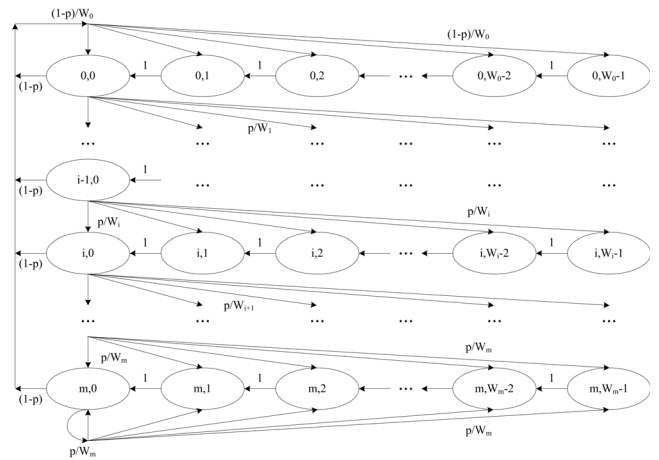


그림 3. 802.11 BEB의 Markov chain 모델링

[그림 3]은 [1]에서 사용한 multi-state Markov chain이다. 802.11의 BEB 알고리즘을 모델링하였으며 각 상태 $b_{i,k}$ 는 전송까지 k 개의 슬롯 시간이 남아있으며 i 번의 충돌을 경험한 상태를 의미한다. 주어진 한 슬롯에서 패킷을 전송할 확률 τ 는 수식 (1)과 같다. p 는 충돌할 확률을 의미하며 W 는 최소 경쟁 윈도우의 크기, m 은 최대 확장 가능한 단계의 수이다. 자세한 수식의 전개는 [1]을 참고한다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)}$$

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} \tag{1}$$

Saturation Throughput 계산은 한 슬롯 안에서 일어날 수 있는 모든 경우를 고려한다. P_{tr} 은 임의의 슬롯 시간에서 전송이 일어날 확률을, P_s 는 전송된 패킷이 성공할 확률을 의미한다. T_s 와 T_c 는 각각 패킷 전송에 성공했을 경우와 충돌 발생 경우의 기대 시간을 의미하며 수식 (2)에서 정리한다. H 는 물리 계층과 MAC 계층의 헤더를 의미하며 $E[P]$ 는 평균 패킷의 크기, δ 는 전파 지연 시간, σ 는 빈 슬롯 시간을 의미하며 이 값들은 [표 2]에서 정리한다.

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n$$

$$P_s = \frac{n\tau(1 - \tau)^{n-1}}{P_{tr}}$$

$$T_s = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta$$

$$T_c = H + E[P] + DIFS + \delta \quad (2)$$

$$S = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \quad (3)$$

수식 (1)에서 도출한 τ 의 값을 이용하여 BSS 내의 스테이션의 수가 증가함에 따른 Saturation Throughput S는 수식 (3)에 의해 계산할 수 있으며 결과는 [그림 4]와 같다. 한 BSS 내의 스테이션의 수가 128개를 넘어감에 따라 이 네트워크의 Saturation Throughput은 급격히 감소함을 알 수 있다. 본 논문에서 고려하는 한 BSS 내에 수백 개의 스테이션이 존재하는 네트워크의 경우 802.11 DCF로는 성능을 보장할 수 없음을 확인할 수 있다.

표 2. 802.11 FHSS 시스템 파라미터

| Parameter | Value |
|--------------------------------|-------------|
| SIFS | 28 μ s |
| DIFS | 128 μ s |
| Backoff Slot time (σ) | 50 μ s |
| Bit rate | 2 Mbps |
| Packet size | 8184 bits |
| MAC/PHY header | 400 bits |
| ACK | 240 bits |
| Propagation delay (δ) | 1 μ s |

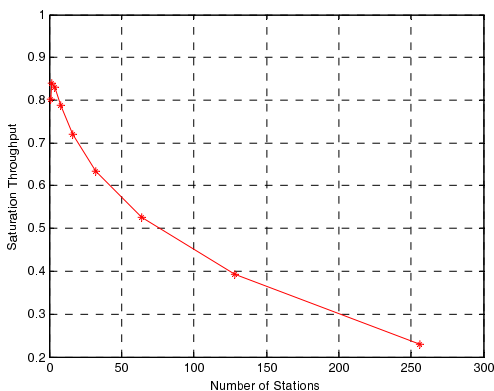


그림 4. 802.11 DCF Saturation Throughput

3. 폴링 기반의 그룹화 메커니즘

본 절은 하나의 BSS 내에 대규모의 스테이션이 존재하는 네트워크를 지원하기에 적합하지 않은 802.11을 확장하여 폴링 기반의 그룹화 메커니즘을 제안한다. [그림 4]에서 볼 수 있듯이 한 BSS 내에 스테이션의 수가 128개 이상으로 넘어가면 802.11 DCF의 성능은 용인할 수 없을 정도로 감소한다. 이는 BSS 내의 스테이션의 수에 따라 충돌 확률이 비약적으로 증가하기 때문이며 본 논문은 BSS 내의 스테이션들을 자신들의 MAC 주소를 이용하여 그룹화 시키는 메커니즘을 제안하고 성능을 분석한다.

그룹화 메커니즘에서 AP는 전체적인 네트워크의 동작을 관장하는 역할을 한다. BSS 내의 모든 스테이션의 데이터 전송은 AP가 관리하며 AP는 주기적으로 폴링 패킷을 브로드캐스팅 하여 그룹 별 경쟁을 관리한다. 폴링 패킷은 그룹의 크기인 N_g 와 현재 경쟁할 그룹을 나타내는 A_g 를 나타내는 필드를 포함한다. 폴링 패킷을 수신한 스테이션은 자신이 속한 그룹의 차례라고 판단하면 전송을 위한 경쟁을 하며, 그렇지 않으면 전송을 지연한다. 자신의 그룹은 폴링 패킷에 실려 있는 그룹 크기 N_g 와 자신의 MAC 주소의 하위 비트를 이용하여 계산한다. 32비트 MAC 주소를 갖는다고 가정할 경우 하위 8비트를 이용하여 수신된 폴링 패킷의 N_g 값으로 modulo하여 자신의 그룹을 결정한다. 그룹의 범위는 $[0, N_g - 1]$ 이 된다. 폴링 패킷 내의 A_g 의 값이 자신이 속한 그룹이라면 자신이 갖고 있는 카운터 값을 하나 감소시킨다. 이 카운터 값의 유지 및 동작 원리는 802.11의 BEB와 유사하며 자신의 그룹 차례 시에만 하나씩 감소한다. 만약 이 값이 0이 된다면 전송을 시도한다. [5]에서와는 다르게 BEB가 아닌 카운터 방식의 채용은 빈 그룹을 더 빨리 감지할 수 있기 위함이다. [5]에서 빈 그룹을 감지하는 시간은 $DIFS + CW_{min} \times \sigma$ 로 정의되는 반면 본 논문의 카운터 방식은 $poll + time\ out + \delta$ 으로 빈 그룹의 감지가 빠르다는 장점이 있다. 하지만 매 그룹마다 AP가 폴링 패킷을 보내주어서 동작을 관리해야 하는 오버헤드가 존재하기에 이 둘 사이에는 trade-off가 존재한다. [그림 5]는 이러한 그룹화의 개념을 도식화 한다.

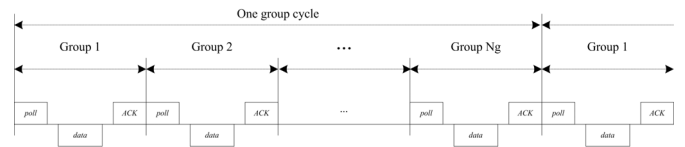


그림 5. 그룹화 메커니즘

만약 한 그룹에 어떠한 스테이션도 속하지 않는 빈 그룹이 발생한다면 미리 정의한 기간 동안 대기한 후에 바로 다음 그룹에 대한 폴링 메시지를 broadcasting 한다. 한 BSS 내에 존재하는 M 개의 스테이션을 N_g 개로 그룹화를 할 경우 균일한 분포(Uniform Distribution)를 가정한다면 한 그룹에 속하는 스테이션의 수는 M/N_g 개로

추정할 수 있다. 빈 그룹이 발생하지 않는다면 이러한 그룹화를 통해 얻을 수 있는 Saturation Throughput인 C_{M/N_g} 은 [그림 4]에서 얻을 수 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 그룹화는 폴링 패킷에 따른 오버헤드가 발생하기 때문에 802.11 DCF의 성능 계산 시 사용했던 수식 (2)의 빈 슬롯 시간 σ 와 T_s , T_c 는 수식 (4)로 수정한다. poll은 폴링 패킷의 크기를 의미하며 time out은 미리 정의한 시간으로 이 시간 동안 응답이 없으면 빈 그룹이라고 판단한다. 이 값은 폴링 패킷의 응답으로 데이터 패킷이 오는 시간으로 생각할 수 있다. 나머지 파라미터는 [표 2]와 동일하다. [그림 6]에서 Saturation Throughput의 계산 결과 폴링 패킷에 따른 추가적인 오버헤드의 영향으로 기본 802.11 DCF보다 약간 더 낮은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma &= poll + time\ out + \delta \\ T_s &= poll + SIFS + H + E[P] + SIFS + ACK + DIFS + 3\delta \\ T_c &= poll + SIFS + H + E[P] + SIFS + 2\delta \end{aligned} \quad (4)$$

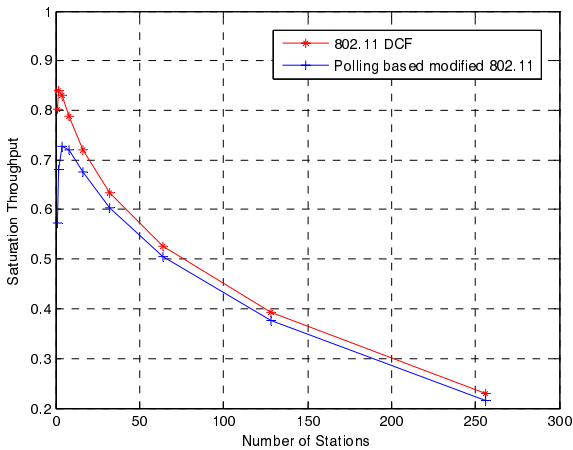


그림 6. 802.11 DCF와 폴링 기반 메커니즘의 Saturation Throughput

또한 그룹화 메커니즘의 경우 빈 그룹이 발생할 경우 빈 그룹 수에 따른 채널의 낭비가 발생하게 된다. 빈 그룹이 발생할 확률은 [5]에서와 같이 계산할 수 있다. $C_k^*(M, N_g)$ 는 BSS 내의 스테이션의 수가 M 개 일 경우 N_g 개의 그룹으로 나누었을 때 k 개의 빈 그룹이 나왔을 경우의 Saturation Throughput을 의미한다. 빈 그룹일 경우의 오버헤드는 데이터 패킷이 오지 않는다고 판단하기까지의 시간인 $poll + time\ out + \delta$ 이다. 자세한 수식의 전개는 [5]를 참고한다.

$$C_k^*(M, N_g) = \frac{(N_g - k) \times E[P]}{(N_g - k) \times (E[P] / C_{M/N_g}) + k \times (poll + time\ out + \delta)} \quad (5)$$

다음 [그림 7]은 논문에서 제안하는 그룹화 메커니즘을 적용했을 경우 그룹 개수와 BSS 내의 스테이션의 수 M

에 따른 Saturation Throughput을 보여준다. 가장 왼쪽의 값이 그룹 개수 N_g 가 1, 즉 그룹화를 하지 않았을 경우의 Saturation Throughput을 의미하며 이 값은 그룹 개수에 따라 변화한다. 하나의 BSS 내의 스테이션의 수가 128개이면서 그룹 크기가 16일 때 가장 높은 성능 향상을 나타낸다. BSS 내의 스테이션 수 M 의 값이 다른 경우도 마찬가지로 그룹 크기가 커짐에 따라 그룹화를 하지 않았을 경우보다 성능이 좋아지다가 너무 큰 그룹 크기는 오히려 성능이 감소함을 확인할 수 있다. 이는 그룹 크기 N_g 가 커지면서 빈 그룹의 발생 가능성이 높아지기 때문이며 또한 그룹이 많아질수록 자신의 그룹 차례까지 기다려야하는 지연 시간이 커지기 때문이다. BSS 내의 스테이션 수에 따라 가장 높은 성능을 보이는 그룹 크기가 존재함을 알 수 있다. 스테이션의 수가 빈번히 변하는 특성을 가진 네트워크에서는 그룹 크기를 동적으로 조정해야할 필요성이 있다.

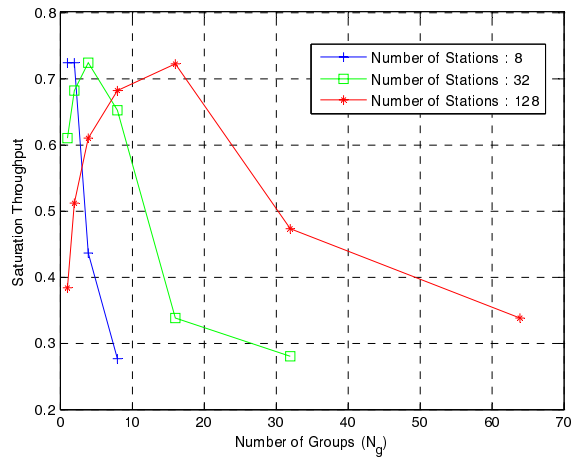


그림 7. 그룹화 메커니즘의 Saturation Throughput

[5]에서 본 논문과 같은 802.11 DCF의 그룹화를 제안하지만 AP는 특별한 역할을 하지 않고 각 스테이션에게 그룹화에 대한 책임을 분산시킨다. [5]에서의 그룹화는 그룹의 선택 및 현재 경쟁 그룹 등을 비콘 프레임을 통하여 동기화 한다. 이러한 그룹화의 분산된 관리는 802.11 legacy DCF에 커다란 수정 없이 바로 적용 가능하다는 장점이 있다. 하지만 본 논문은 AP에게 그룹화에 대한 책임을 일임하여 빈 그룹에 대한 관리와 그룹화 동작에 대한 부담을 지운다는 차이점이 있다. 이는 향후에 동적으로 그룹 크기를 조정할 경우를 대비하기 위해서이며 또한 빈 그룹의 여부를 AP가 바로 알아채어 바로 다음 그룹으로 폴링 패킷을 보내기 위해서이다. 또한 지능형 교통 시스템에서 보통 AP는 도로변에 위치한 노변 장치(RSE: Road Side Equipment)이며 일정한 전력이 지속적으로 제공되며 또한 높은 처리 능력을 가진 장비로 가정되기에 AP에 이러한 부담을 지우는 것은 문제가 없다. 향후 연구를 통해 지속적으로 BSS 내의 스테이션의 수를 추정하여 그룹 크기 N_g 를 동적으로 변화시키는 역할을 담당할 것이기에 본 논문에서는 AP가 주도적으로 그룹 경쟁을 관리하는 메커니즘을 제안하였다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

무선 LAN의 표준 프로토콜인 802.11은 근거리 네트워크를 대상으로 한다. 지능형 교통 시스템과 같은 하나의 AP가 관장하는 BSS의 크기가 크고 그 안에 속한 스테이션의 수가 대규모일 경우에 802.11은 적합하지 않다. 이는 Markov chain 모델링을 통한 성능 분석 결과 확인할 수 있다. 본 논문은 802.11 프로토콜을 확장하여 폴링 기반의 그룹화 메커니즘을 제안한다. 하나의 BSS 내에 존재하는 스테이션을 N_g 개로 나누어 경쟁을 제한시키며 분산시킨다. 수학적 분석 결과 기존 802.11 DCF와 비교하여 최대 187% 정도의 성능 향상을 보인다. 하지만 지능형 교통 시스템을 지원하기 위한 네트워크는 그 특성 상 스테이션이 고속으로 이동하며 BSS 내의 스테이션의 수가 지속적으로 변화한다. 향후에는 AP가 BSS 내에 존재하는 스테이션의 수를 추정하여 동적으로 그룹 크기 N_g 를 지속적으로 조정하는 알고리즘을 연구할 계획이다.

5. 참고 문헌

[1] G. Bianchi. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. IEEE Journal on Selected Area in Comm. V18, N3, March 2000

[2] H. Wu, Y. Peng, K. Long, S. Cheng, and J. Ma, "Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: Analysis and enhancement", in Proc. INFOCOM, New York, USA, June 2002

[3] E. Zouva and T. Antonakopoulos, "CSMA/CA performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis", Computer Communications, vol. 25, no. 3, pp. 313-321, 2002

[4] N. Gupta and P. R. Kumar, "A performance analysis of the IEEE 802.11 wireless LAN medium access control", Communications in Information and Systems, vol. 3, no. 4, pp. 279-304. Sep. 2004

[5] K. C. Ting, M. y. Jan, S. H. Hsieh, H. H. Lee, and F. Lai, "Design and Analysis of Grouping-Based DCF(GB-DCF) Scheme the MAC layer Enhancement of 802.11 and 802.11n", ACM SIGSIM, pp. 255-264, 2006

[6] Abichar. Z, Chang, and J.M, Qiao. D,

"Group-based Medium Access for Next-Generation Wireless LANs", IEEE International Symposium WoWMoM 2006, June 2006

[7] S.M. Kim and Y.J. Cho, "A Virtual Grouping Scheme for Improving the Performance of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", Proceeding (424) Wireless Networks and Emerging Technologies 2004

[8] F. Cali, M.Conti, E. Gregori. Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit, IEEE/ACM Trans. On Networking, V8, N6, Dec. 2000

[9] Bononi. L, Conti. M, Donatiello, L, "A distributed contention control mechanism for power saving in random-access ad-hoc wireless local are networks", Mobile Multimedia Communications, pp: 114-123, November 1999

[10] IEEE standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, ISO/IEC 8802-11:1999(E), Aug. 1999

[11] Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) in Standard 802.11 Information Technology Telecommunications and Information Exchange Between Systems, Local and Metropolitan Area Networks, Specific Requirements, Wireless LAN MAC and PHY Specifications, IEEE 802.11p/D1.0, Feb 2006

[12] Chaewon Lim and Chong-Ho Choi, "TDM-based Coordination Function (TCF) in WLAN for High Throuthput", pp: 3229-3235, IEEE Communicatinos Society Globecom 2004

[13] C. Li and T. Lin, "Fixed Collision Rate Back-off Algorithm for Wireless Access Networks", In VTC Fall, September 2002