

# 고속 모바일 네트워크 환경에서 평균 등록 시간 측정을 이용한 성능 평가

오경식<sup>0</sup> 안종석  
동국대학교 컴퓨터공학과  
(eoris81<sup>0</sup>, jahn)<sup>0</sup>@dgu.edu

## An Evaluation of Average Registration Time in Highly Mobile Networks with Frequent Collision

Kyung-Sik Oh<sup>0</sup> Jong-Suk Ahn  
Department of Computer Engineering, Dongguk University

### 요 약

셀 내의 모바일 노드들의 수가 많고 셀 간의 이동이 빈번한 고속 모바일 네트워크에서는 기존 802.11 프로토콜로는 좋은 성능을 보장할 수 없다. 셀 내에 새로 진입한 노드들은 네트워크에 참여하기 위해 자신의 존재 여부를 알려야 한다. 802.11 표준에서는 이러한 선행되어야 할 작업을 스캐닝, 인증, 결합의 3가지 단계로 규정한다. 이 등록 작업은 셀 내의 다른 데이터 패킷을 보내려는 노드들과의 경쟁을 통해 이루어진다. 그러므로 셀 내의 노드 수가 많을 경우 기본적인 통신을 위해 선행되어야 할 등록 작업이 지연될 수 있다. 802.11 표준에서는 DCF 방식을 기본 매체 접근 프로토콜로 한다. DCF는 BEB(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 기반으로 한다. BEB 알고리즘의 여러 문제점[5]으로 이를 대체할 알고리즘이 연구되어왔으며, 그룹화를 통해 경쟁하는 노드의 수를 줄이는 방법도 고려되었다. 본 논문에서는 802.11의 성능 평가를 위한 모델링에 Markov chain을 이용한 논문[1]을 기반으로 하나의 노드가 등록 작업에 소요하는 평균 시간을 해석적으로 계산하였다. 셀 내의 전체 노드 수에 증가함에 따라 등록 시간을 계산하고, 직접 시뮬레이션을 통해 수식으로 얻어진 결과와 비교하였다. 또한 그룹화를 시뮬레이션 하여 전체 노드 수에 따라서 적절한 그룹 수의 조정이 그룹화하지 않았을 경우보다 더 나은 성능을 보여줄 수 있다는 것을 보였다.

### 1. 서 론

무선 통신 기술과 인터넷의 발전은 모바일 컴퓨터나 포터블 기기에 대한 수요의 증가를 가져왔다. 무선 네트워크는 모바일 기기 사이의 통신을 보장하며, 또한 고속의 유선 네트워크로의 접근을 제공한다. IEEE Project 802은 무선 랜에 대한 802.11 표준을 제안했다[2]. 표준은 MAC(Medium Access Control) 계층과 PHY(Physical) 계층에 대한 상세한 명세를 포함한다.

무선 네트워크는 유선 네트워크와는 다르게 하나의 매체를 공유하며 제한된 연결 범위를 특징으로 한다. 셀 내의 노드들이 매체에 대한 권리를 얻기 위한 방식에는 크게 중앙 장치에 의해 통제되는 방식과 랜덤 액세스 방식이 있다. 802.11 표준에서 매체 접근 프로토콜로 DCF(Distributed Coordination Function) 방식과 PCF(Point Coordination Function) 방식을 포함한다. 802.11의 기본 접근 프로토콜은 DCF 방식으로 이는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 기반으로 한다.

802.11에서 CS(Carrier Sensing)은 PHY 계층과 MAC 계층에서 수행한다. PCF 방식은 polling 기반의 프로토콜로 충돌로부터 자유로우며 실시간 서비스 제공을 목표로 하는 네트워크에서 사용될 수 있다. 본 논문에서는 기본적인 매체 접근 프로토콜인 DCF 방식으로 동작할 경우 성능 분석에 초점을 맞춘다.

802.11의 모델링은 표준이 제안된 이후 많은 연구 대상이

되어 왔다. 논문 [3]는 capture and hidden terminal 문제의 효과를 고려하였고 논문 [4]는 p-persistent variant에 기반을 두고 성능을 분석하였다. 802.11 DCF 방식에서 사용되는 BEB(Binary Exponential Backoff) 알고리즘을 모델링한 논문으로는 [1]이 있다. 이 논문은 802.11에서의 백 오프 동작을 2차원 Markov Chain으로 표현하였으며 실험 결과를 통해 이 Markov Chain이 802.11 표준을 잘 모델링한다는 것을 증명하였다. 본 논문에서도 이 Markov Chain 모델을 기반으로 하나의 노드가 등록 작업에 소요되는 평균 시간을 계산한다.

현재 무선 네트워크는 무선 센서 네트워크나 지능형 교통 시스템 등에 널리 활용되고 있으며, 특히 교통 시스템에 쓰이는 네트워크는 한 셀 내에 많은 노드들이 존재하며 셀 간의 이동이 빈번한 특성을 갖는다. 이러한 네트워크 환경에서는 기존 WLANs 표준으로 제안된 802.11로는 좋은 성능을 보장할 수 없다. 802.11 DCF에서 쓰이는 BEB 알고리즘으로는 각 노드들 사이에 공평한 매체 접근성을 보장할 수 없기에 극단적인 경우 셀 내에 들어온 노드가 등록하지 못하고 지나쳐 가는 경우도 있을 수 있다. 그러므로 BEB 알고리즘을 수정하거나, 또는 그룹화를 통해 경쟁하는 노드의 수를 줄여 성능 향상을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 802.11 BEB 알고리즘을 모델링한 Markov Chain을 이용하여 평균 등록 시간을 분석하고 시뮬레이션을 통해 검증한다. 또한 그룹화 했을 경우를 실험하여 적절한 그룹 수로 나눌 경우 성능 향상을 가져올 수 있음을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 802.11

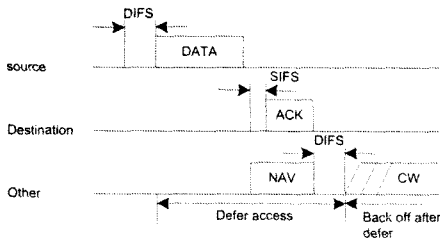
DCF 동작 원리와 등록 절차를 간단히 설명하고, 3장에서는 평균 등록 시간 계산을 위한 Markov chain을 설명하고 분석한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 결과와 3장에서 계산한 해석적 결과를 비교하여 타당성을 증명한다. 5장에서는 그룹화를 시뮬레이션 하여 적절한 그룹화가 성능 향상을 가져올 수 있음을 보인다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대하여 기술한다.

2. 802.11 DCF 동작 원리와 등록 절차

BSS(Basic Service Set)는 IEEE 802.11에서 기본적인 네트워크 망의 단위이다. 하나의 노드가 BSS, 즉 셀 내로 진입하면 AP(Access Point)가 주기적으로 전송하는 비콘 프레임에 의해 네트워크를 인식하게 되고 이 네트워크에 참여하기 위해 여러 개의 관리 프레임을 송수신한다. 이러한 일련의 동작은 스캐닝, 인증, 결합 작업으로 구성되어 있다.

등록 작업은 다른 데이터 패킷의 송수신 전에 선행되어야 한다. 일반적인 소규모의 WLAN(Wireless Local Area Network) 경우에는 문제가 없지만 본 논문에서 고려하는 고속 모바일 네트워크의 경우 셀 내에 다수의 노드가 존재하기에 데이터 패킷을 송신하려는 다른 노드들과 경쟁 때문에 등록 작업이 지연될 수 있다.

등록 작업을 세부적으로 살펴보면 스캐닝은 각 노드들이 범위 안의 AP(Access Point)를 찾기 위한 작업이며 인증은 네트워크 보안을 위해 노드가 네트워크에 결합할 수 있도록 허용하는 것을 확인하는 작업이다. 결합은 인증을 마친 노드가 네트워크로의 접근을 획득할 수 있도록 AP에 등록하는 것을 의미한다. 또한 외부 네트워크에서 노드로 향하는 프레임을 적절한 AP로 전달하는 것을 가능하게 한다. 따라서 인프라스트럭처 네트워크에서는 노드가 데이터를 전송하기 전에 필히 결합 과정까지 마쳐야만 한다.



[그림 1] 802.11 DCF 동작 방식

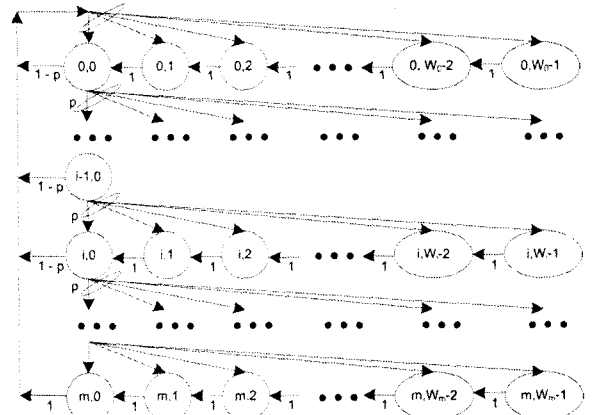
802.11 DCF에서 패킷의 송신은 다음과 같은 단계로 진행되며 이는 [그림 1]에 나타나있다. 전송할 패킷이 있는 노드들은 먼저 매체가 DIFS(Distributed Inter Frame Space) 기간보다 더 오래 유휴 상태인지 감지한다. 그렇다면 바로 패킷을 전송한다. 만약 매체가 사용 중이라고 감지하면 매체가 다시 DIFS 기간 동안 유휴 상태일 때까지 전송을 지연한다. 또한 동시에 지연하는 다른 노드들과 재 충돌하는 확률을 줄이기 위해 임의의 백 오프 시간을 생성한다. 백 오프 시간은 (0, CW-1) 사이의 값 중에 임의로 선택하며 CW는 Contention Window를 의미한다. CW는 CW<sub>min</sub>에서 시작하여 패킷 전송에 실패 할 때마다 지수적으로 증가한다. 최

대 CW<sub>max</sub>까지 증가하며 이후의 충돌로 인해서는 CW<sub>max</sub>를 유지한다. 802.11에는 패킷의 최대 재전송 횟수가 정의되어 있으며 이 횟수를 넘어서 충돌이 날 경우는 패킷을 버린다고 기술되어 있다[2].

3. Markov chain을 이용한 해석적 성능 분석

성능 평가를 위해 한 셀 내에는 n개의 모바일 노드가 존재한다고 가정한다. 어느 한 시점에서 들어오고 나가는 노드들의 수가 일정한 균형을 이룬 상태(steady state)라고 가정할 경우에 셀 내의 전체 노드의 수를 고정된 수 n개로 볼 수 있다. 또한 각 노드들은 항상 전송할 패킷이 있다고 가정한다.

기존 논문 [1]은 랜덤 백 오프 알고리즘과 최대 재전송 횟수를 고려한 Markov Chain을 이용하여 802.11을 모델링 하였다. 등록을 위한 관리 프레임의 송수신도 일반 데이터 프레임의 전송과 같은 방식을 따르기 때문에 위의 논문에서 고려한 Markov Chain Model을 본 논문에서도 그대로 이용할 수 있다. 다음 그림은 [1]에서 사용한 Markov Chain의 모델링이다.



[그림 2] Markov chain

위의 Markov Chain은 2차원 Discrete Markov Process로 이는 각 노드의 백 오프 단계와 경쟁 윈도우의 크기는 전송한 패킷이 충돌할 확률 p에 독립적이라는 가정을 기반으로 한다. 위 Markov Chain Model에서 상태 내의 숫자는 순서대로 백 오프 단계와 경쟁 윈도우의 크기를 의미한다. 패킷을 송신하려는 각 노드들은 처음 0 단계에서 시작하여 충돌이 일어나면 다음 단계로 경쟁 윈도우를 확장시켜 나간다. 경쟁 윈도우의 최소 값과 최대 값은 물리 계층의 특성에 따르며 802.11의 PHY 중 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)에서는 CW<sub>min</sub>=32, CW<sub>max</sub>=1024로 정의하고 있다. 충돌이 발생할 때마다 경쟁 윈도우가 지수 적으로 확장되어 가는데 최대 값인 1024까지 확장 후에는 더 이상 커지지 않고 최대 크기를 유지한다. 결과적으로 W<sub>0</sub>=32이며 W<sub>5</sub> 이후의 CW 값은 1024이다. 또한 최대 재전송 횟수를 m이라고 가정할 경우 m번의 재전송 후에는 전송 결과에 상관없이 다시 처음 단계로 돌아간다. 이는 최대 재전송 횟수를 넘기

면 패킷을 다시 전송하지 않고 버리는 동작 원리와 관련이 있다.

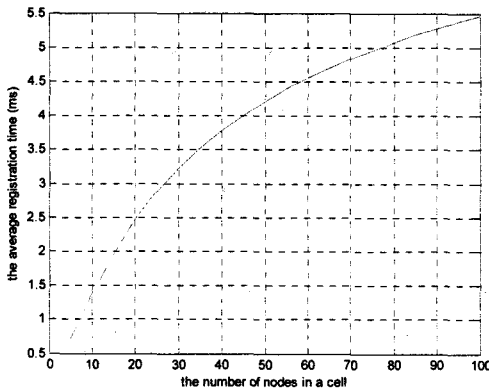
그럼 [2]에서 어느 한 상태에 있을 확률을  $b_{i,k}$ 라고 하면 어느 임의의 한 시점에서 한 노드가 존재할 수 있는 상태는 위의 상태 중에 하나이다.

하나의 노드가 등록에 걸리는 평균 시간은  $b_{i,k}$ 을 이용하여 계산할 수 있다. 한 노드가  $b_{i,k}$ 에 있다면 노드가 등록을 마치기 위해서는 k번의 상태 전이를 해야 하므로 경쟁 윈도우의 크기가 k에서 0으로 감소하는 시간, 즉  $k \cdot \phi$  (슬롯 시간)으로 계산할 수 있다. 슬롯 시간은 하나의 경쟁 윈도우의 슬롯의 시간을 의미하며 이 시간은 노드가 매체의 상태를 감지하기 위해 안테나를 켜고 처리하는 시간과 관련이 있다 [2]. DSSS에서는 하나의 슬롯 타임을 20us로 정의하고 있으며 각각의 PHY 계층마다 다른 값을 가지고 있다. 또한 하나의 노드가  $b_{i,k}$ 까지 왔다는 것은 이미 전에 i번의 충돌을 경험하고 온 것이므로 충돌을 경험한 시간을 고려해야만 한다. 이는 이전 단계까지의 슬롯 시간의 평균값을 이용하여 계산할 수 있다.

따라서 상태  $b_{i,k}$ 에서 등록에 걸리는 평균 시간은 상태 전이를 위한 k와 충돌을 경험한 이전 단계들을 고려하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$avr = (1-p) \sum_{i,k} (k + \sum_{j=0}^{i-1} \frac{W_j}{2}) b_{i,k} \quad (2)$$

위의 식을 이용하여 셀 내의 노드 수에 따른 결과 그래프는 다음과 같다.



[그림 3] 셀 안의 노드 수와 평균 등록 시간

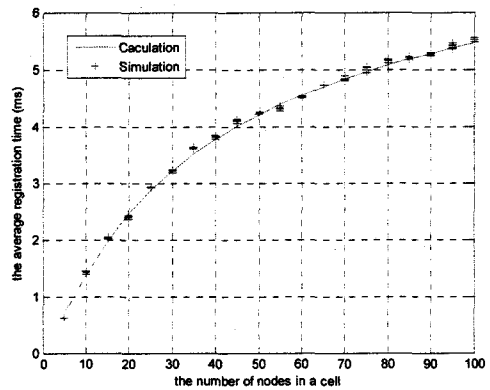
[그림 3]에서 한 셀 내에 존재하는 노드의 수가 증가함에 따라 하나의 노드가 등록 작업에 소요되는 평균 시간이 증가하는 모습을 확인할 수 있다. 셀 내의 노드 수가 증가함에 따라 데이터 패킷을 송신하려는 노드들과의 경쟁을 통해 등록 시간이 지연되는 것을 의미한다. 이 시간이 극단적으로 커질 경우 한 셀에 진입하여 등록 작업을 완료하지 못하고 지나쳐 가는 노드가 존재할 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

시뮬레이션은 해석적 성능 평가와 마찬가지로 셀 내의 노드 수를 증가시켜가며 하나의 노드가 등록에 성공하는 평균 소요 시간을 측정하였다. 분석적 평가 시에 가정한 steady state를 유지하기 위해 한 노드가 등록에 성공하면 바로 한 노드를 진입시켜 전체 노드의 수를 일정하게 유지하였다. 하나의 슬롯 타임은 20us로 정의 하였고 실험 환경은 [표 1]에 정리하였다. 시뮬레이션은 매 슬롯 타임마다 각 노드들의 백 오프 값을 검사하여 작동한다. 한 슬롯 타임 시점에서 3가지 경우가 있을 수 있다. 현재 백 오프의 값이 0인 노드의 개수가 1개라면 등록이 성공하고 2개 이상이면 충돌, 하나도 없다면 아무 일 없이 백 오프를 감소한다. 802.11에서의 BEB 알고리즘과 동일하게 충돌 시에는 CW의 값을 지속적으로 증가시키고 새로운 임의의 백 오프 값을 생성한다. 다음 [그림 4]는 시뮬레이션을 통한 결과를 그래프로 보여준다. 셀 내의 노드 수가  $N_{min}$ 에서  $N_{max}$ 까지 변할 때 각각 5회씩 실험하였다.

Parameter	value
Simulation Time( $T_{simulation}$ )	100,000
Slot Time( $\phi$ )	20 us
Min Total Node( $N_{min}$ )	5
Max Total Node( $N_{max}$ )	100

[표 1] 시뮬레이션 환경



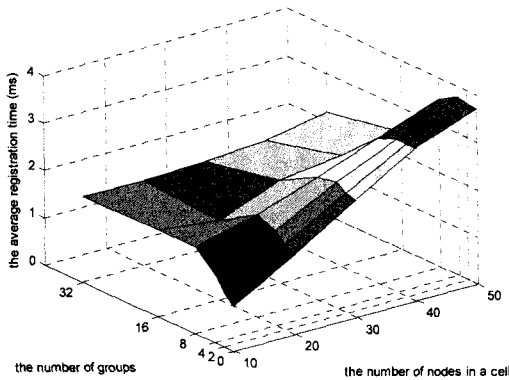
[그림 4] 셀 안의 노드 수와 평균 등록 시간

#### 5. 그룹화 경우의 시뮬레이션

그룹화 하지 않았을 경우와의 비교를 위해 이전 실험과 동일한 실험 시간을 주었다. 그룹화의 성능 평가는 하나의 그룹에 할당된 슬롯 타임  $T_{group}$ 에 영향을 크게 받는다. 그룹의 개수는  $G_n$ 으로 전체 노드 개수  $N$  등록에 소요되는 시간,  $G_n$ 의 3차원으로 성능을 분석한다.

Parameter	value
Simulation Time( $T_{simulation}$ )	100,000
Slot Time( $\sigma$ )	20 us
Group Time( $T_{group}$ )	1000
Group Number( $G_n$ )	2/4/6/8/16/32
Min Total Node( $N_{min}$ )	10
Max Total Node( $N_{max}$ )	50

[표 2] 그룹화 시뮬레이션 환경



[그림 5] 셀 내의 노드 수에 대한 평균 등록 시간

전체 노드 수가 적을 경우에는 그룹화를 할 경우 오히려 성능 면에서 더 좋지 않지만 셀 내의 노드 수가 많아질수록 적절한 그룹의 개수는 좋은 성능을 보장한다. 셀 내의 노드 수가 많을 경우에 더 많이 그룹화 할수록 나은 성능을 보인다. 이러한 사실은 셀 내에 존재하는 노드의 수를 반영하여 동적으로 그룹 수를 조정할 경우 더 나은 성능을 보장한다.

## 6. 결론 및 향후 연구 과제

고속 모바일 네트워크는 셀 내에 많은 수의 노드를 가지며, 셀 간의 이동이 잦은 특징을 갖는다. 이러한 특성 상 기존 802.11 프로토콜로는 잘 동작할 수 없다. 802.11에서 제안한 BEB 알고리즘은 노드들에게 공평한 매체의 접근을 보장하지 못한다. 극단적인 경우 셀 내에 네트워크에 접속하지 못하고 지나쳐 가는 노드들도 생긴다. BEB 알고리즘의 이러한 문제점을 수정, 보완하기 위한 연구가 많이 되어왔다. 본 논문에서는 802.11 BEB 알고리즘을 Markov Chain Model로 모델링하여 하나의 노드가 네트워크에 등록하기 위한 평균 소요 시간을 해석적으로 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 이러한 해석적 결과를 뒷받침한다. 또한, 그룹화를 통한 시뮬레이션을 통해 셀 내의 모바일 노드 수가 많은 경우 적절한 그룹화가 더 좋은 성능을 보장할 수 있다고 증명한다. 하지만 셀 내에 노드 수가 적을 경우에는 오히려 나은 결과를 나타낸다.

향후 연구 과제로는 네트워크에 존재하는 노드의 수에 따

라 동적으로 그룹화의 정도를 조정하는 알고리즘을 연구할 계획이다.

## 참고문헌

- [1] Haitao Wu, Yong Peng, Keping Long, Shiduan Cheng, Jian Ma, Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN: Analysis and Enhancement
- [2] IEEE standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, ISO/IEC 8802-11:1999(E), Aug. 1999
- [3] H.S. Chhaya, S. Gupta, Performance modeling of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol. Wireless Network 3 (1997), pp.217-234, 1997
- [4] 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
- [5] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: a media access protocol for wireless LAN's," in Proc. of the conference on Communications architectures, protocols and applications. 1994, pp 212-225, ACM Press