

IEEE 802.11 무선랜에서 음성신호의 딜레이 바운드에 관한 분석

최원석*, 김영용*

*연세대학교 전기전자공학과

e-mail : {onesch, y2k}@yonsei.ac.kr

Modeling and Analysis of Delay Bound for Voice Traffic in the IEEE 802.11 Wireless LAN

Won-Suk Choi*, Young-Yong Kim*

*Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

요 약

IEEE 802.11 무선 랜 환경에서 멀티미디어 트래픽이 효과적으로 전송되기 위해서는 정해진 딜레이 바운드내에서 전송이 완료되어야 한다. 대표적인 멀티미디어 트래픽인 음성신호를 전송할 때의 단방향 딜레이 바운드는 echo canceller 를 쓰지 않았을 경우 25ms~30ms 이다. 딜레이 바운드를 지키지 못하고 전송된다면 시간에 민감한 음성신호의 특성 때문에 음성 품질이 유지되지 않을 뿐만 아니라 채널의 혼잡을 유발하게 된다. 본 논문에서는 음성의 품질이 보장되는 기준을 95% 이상의 패킷이 성공적으로 전달되는 경우로 제한하여 음성의 딜레이 바운드에 관한 분석을 시도하였다. 이를 위해 음성 패킷이 drop 될 확률을 수학적 분석을 통해 유도하고 시뮬레이션을 통한 검증을 시도하였다. 시뮬레이션에서는 IEEE 802.11 의 두 가지 기본적인 MAC (Multiple Access Control) 프로토콜인 DCF 와 PCF 를 사용해서 음성신호를 전송할 때, 딜레이 바운드를 지키지 못하는 음성 패킷을 사전에 drop 시킴으로써 몇 개의 음성 노드가 손실율 5% 이내 (음성의 품질이 유지되는 한계) 를 만족시키는지를 음성신호를 발생시키는 STA 수와 손실율의 관계를 통해 알아보았다.

1. 서론

무선랜의 동작은 슈퍼프레임 (superframe)이라는 기본 단위로 시간을 분할한 TDMA (Time Division Multiple Access) 방식으로 동작한다. 본 논문에서 슈퍼프레임의 길이는 음성의 딜레이 바운드, 즉 30ms 로 제한한다. 이 경우 30ms 는 echo canceller 를 쓰지 않았을 경우의 access delay 에 해당한다.[1] 또한 PCF 로 동작하는 CFP (Contention Free Period) 와 DCF 로 동작하는 CP(Contention Period)는 각각 20ms 와 10ms 인 것으로 가정한다.

본 논문에서는 사용된 polling 방식은 다음과 같다. 모든 음성 노드는 CFP 동안에 경쟁 없이 보내는 것으로 하고, 전송해야 할 여분의 음성 패킷이 있는 경우 CP 에서 시간에 민감하지 않은 트래픽 (예, FTP) 과 경쟁을 통해 전송 시도된다. 이는 일반적인 round robin 방식의 스케줄링에서 한 슈퍼프레임 동안에 polling 되지 않은 음성이 다음 슈퍼프레임의 PCF 모드에서 polling 되는 알고리즘에 변형을 가한 것이다.

TCP 에 기반한 전송을 하는 노드들은 항상 보낼 패킷이 있는 것으로 가정한다. 그러나, 음성을 전송하는 노드들은 음성이 on 과 off 두가지 상태로 구분된다는 특성 때문에 항상 보낼 packet 이 있다고 단정할 수 없다. 음성 패킷이 발생하는 간격은 매 슈퍼프레임마다 한 개의 패킷을 전송한다고 할 때 슈퍼프레임의 길이와 같다.

본 논문에서는 음성 품질의 기준인 drop 확률 5%이하를 충족시키는 노드의 개수를 추적함으로써 딜레이 바운드에 대한 분석을 시도하였다. 이를 위해 drop g 확률을 수학적으로 분석하고 시뮬레이션으로 비교했는데 각각의 방법에 개념은 다음과 같다.

우선 수학적 분석방법에서는 하나의 슈퍼프레임을 분석의 기준으로 삼는다. CFP 에 전송되지 못한 음성 패킷은 CP 에 전송 시도되는데 딜레이 바운드를 넘지 않으면서 CP 에서 전송가능한 횟수를 계산함으로써 drop 확률을 수식화한다. 시뮬레이션에서는 음성노드가 비실시간 데이터를 전송하는 노드와 경쟁하는 실제적인 상황을 다룬다. 음성 패킷이 drop 되는 확률은

전체 시뮬레이션 시간동안에 전송된 전체 음성패킷 수에 대한 drop 된 음성 패킷의 수로 간주한다. 시간적으로 측정의 범주는 다르지만, 이 두 방식은 통계적으로 같은 결과를 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 CFP 에서 풀링되지 못한 여분의 음성이 CP 에서 전송 시도될 때의 drop 확률을 수학적으로 유도한다. 3 장에서는 2 장의 결과에 변수 값을 대입하여 실제적인 값을 구해 본다. 변수 값들은 1Mbps 채널 환경에서 적용한 것이며 상용화된 802.11b 에서의 drop 확률 값을 구하기 위해서 11Mbps 인 경우를 비교한다. 4 장에서 시뮬레이션 구성을 설명하고 5 장에서 이에 대한 결과를 언급한다. 그리고 6 장에서 결론을 이끌어 낸다.

2. Drop 확률의 수학적 분석

r 과 i 를 각각 on 상태의 음성노드 수에 대한 drop 된 음성 노드의 비율과 한 슈퍼프레임에서 on 인 음성 노드의 수라하면 $\bar{r}_D(i)$ 는 on 상태인 음성 노드 수가 i 일때 drop 되는 비율로 간주할 수 있다. N_{CFP_MAX} 는 CFP 에서 전송되는 최대 음성 개수이다.

$\bar{r}_D(i)$ 는 i 와 N_{CFP_MAX} 의 관계에 따라 두 가지로 분류된다.

$$\bar{r}_D(i) = \begin{cases} 0 & i \leq N_{CFP_MAX} \\ \sum_{m=k}^{\infty} P_s(1-P_s)^{m-1} & i > N_{CFP_MAX} \end{cases} \quad (1)$$

본 논문에서는 CP 에서 DCF 로 동작하는 음성 노드의 수가 한 슈퍼프레임 당 $i - N_{CFP_MAX}$ 이다. 이들은 CFP 가 다른 음성 노드들로 이미 포화 되었다는 전제 아래 CP 에서 서비스되는 음성 노드의 수이다. 따라서 802.11 의 DCF 에 대한 분석이 필요하다.

식 (1) 의 합에서 k 는 딜레이 바운드 이내에서 가능한 재전송의 최대 횟수이다. m 은 딜레이 바운드에 대한 고려 없이 성공적으로 전송되는 음성 패킷의 재전송의 횟수이다. (1)를 풀기 위해 k 를 구한다. k 와 P_s 를 구하면 (1)식의 drop 확률을 계산할 수 있다.

P_s 를 구하기 전에, 슬롯 타임을 재정의 할 필요가 있다. 일반적으로 슬롯타임은 백오프시 감소되는 시간 단위를 의미하며 상수이다. 그러나 슬롯타임을 연속되는 백오프 사이의 시간간격으로 생각할 경우 다른 의미를 갖게 된다. 만일, 백오프 도중 다른 노드가 전송을 시작하면 일단 중지되었다가 다시 채널이 비었을 경우에 백오프가 재개된다. 이 경우에 연속된 백오프 사이에 패킷이 전송된 시간이 포함되므로 원래의 슬롯타임보다 길어지고 가변적인 값을 갖게 된다. 앞으로의 논의에서 슬롯타임을 의미가 분명할 경우 이 두 가지 경우 중 하나를 의미하는 것으로 한다.[2] 슬롯타임의 길이는 채널의 전송률이 높을 경우 일정하다고 간주할 수 있다. 그러므로, 4 단계 핸드셰이킹 과정 (RTS-CTS-DATA-ACK)이 한 슬롯에 발생하는 것으로

생각한다.

2.1. 딜레이 바운드내에서 허용되는 재전송의 최대 횟수, k

식(1)을 구하기 위해 고정 딜레이 바운드내에서 몇 번의 성공적인 전송이 발생하는지 알아야 한다. 본 논문에서는 CP 에서 전송되는 음성노드의 딜레이 바운드를 분석하므로 딜레이 바운드는 DCF 의 길이와 같다고 볼 수 있다. 다음 부등식에서 성공적인 재전송 횟수의 상한을 구할 수 있다. 이는 딜레이 바운드내에서의 슬롯의 수와도 일치한다.

$$k*(Slot\ time + Average\ back\ off\ window) \leq Delay\ bound \quad (2)$$

괄호안의 항은 T_{cycle} 에 대한 식 (3)으로 대체된다.

$$T_{cycle}(m) = T_{RTS} + 3T_{SIFS} + T_{CTS} + T_{PHYSIC.U.} + T_{DIFS} + 2^{m-1}CW_{min}T_{slot} \quad (3)$$

식(3)의 양변을 $m=1$ 부터 k 일 때까지 합하면 식 (4)와 같다.

$$kC + (2^k - 1)CW_{min}T_{slot} = Delaybound \quad (4)$$

표준문서에 정의된 값을 대입하면 최대 재전송 횟수의 상한 k 의 값은 (4)로부터 구할 수 있다.

2.2. 성공적인 전송 확률 P_s

분석을 위해 경쟁에 참여하는 노드 수는 고정이고 각각은 항상 보낼 패킷이 있다고 가정한다. 각 노드에 대한 마르코프 모델은 [2]를 참조한다. 이 때 p 는 임의의 슬롯에서 충돌 확률이고 τ 는 임의로 선택된 슬롯타임에서 노드가 전송을 시도할 확률이다. n 개의 노드가 있을 때 마르코프 모델에 의해 다음 식에서와 같이 τ 를 계산할 수 있다.

$$\tau(p) = \frac{2}{1 + CW_{min} + pCW_{min} + \sum_{i=0}^{l-1} (2p)^i} \quad (5)$$

여기서 l 은 최대 백오프 단계를 의미한다. 값을 구하기 위해, p 가 한 타임슬롯에서 나머지 $n-1$ 개의 노드 중 적어도 하나가 전송할 확률임에 주목하면 식 (6)으로 표현된다.

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (6)$$

식 (5), (6)은 두 미지수 τ 와 p 로 표현되는 비선형 시스템을 의미한다[5]. 두 식을 반복적으로 연립하여 값을 구할 수 있다. P_r 을 주어진 슬롯타임에서 적어도 한번의 전송이 일어날 확률이라 하면 n 개의 노드가 채널을 경쟁할 때 각각은 τ 의 확률로 전송을 시도하므로 식 (7)로 표현된다.

$$P_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (7)$$

따라서, 채널에서 전송이 성공할 확률 P_s 는 최소한 번의 전송이 발생할 때 정확히 한 노드만 전송할 확

를 볼 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n} \quad (8)$$

식 (2)와 (11)로부터 k 와 P_s 를 구하여 식 (1)을 계산할 수 있다.

3. 수치 결과

k 를 구하기 위해 딜레이 바운드를 10ms로 하였고 표준문서 [6]에 제시된 값을 이용하여 (4)를 계산한다. 물리계층 특성으로는 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)을 적용한다. 채널 전송률은 1Mbps이다. 식 (4)를 계산하면,

$3072k + 620(2^k - 1) - 10000 = 0$ 이고 k 값을 MATLAB으로 계산하면 $k=2.3953$ 이 된다. 이는 주어진 딜레이 바운드에서 음성 패킷이 최대 2회 재전송될 수 있음을 의미한다.

τ 와 p 의 값으로부터 P_s 를 계산할 수 있다. 식 (5)에서 l 은 백오프 단계이자 재전송 횟수를 나타낸다. 음성 패킷이 주어진 딜레이 바운드 내에서 2회 재전송이 가능하므로 $l=2$ 로 두고 식 (5)를 구할 수 있다.

..... 30

..... (5),(6) .. τ 와 p 의 추세가 예상과 비슷함을 알 수 있다. 그림 1은 노드수의 변화에 따른 τ 와 p 의 변화를 나타낸 것이다.

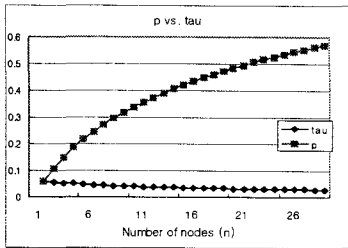


그림 1. 한 슬롯에서 조건부 충돌확률 (p) vs 한 슬롯에서 노드의 전송확률 (τ)

전송 성공 확률 P_s 는 (8)로부터 구할 수 있고 이는 (5),(6)의 결과를 이용한 것이다. 그림 2는 노드수에 따른 P_s 의 변화를 나타낸 것이다.

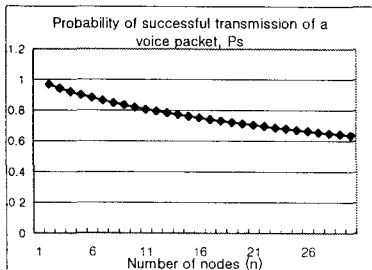


그림 2. 음성 패킷의 성공확률 P_s

한 슈퍼프레임에서 음성 패킷이 drop 확률 $r_D(i)$ 는 k 와 P_s 의 함수임을 증명할 수 있다.

$$\sum_{m>k} P_s(1-P_s)^{m-1} = \sum_{m=1}^{\infty} P_s(1-P_s)^{m-1} - \sum_{m=1}^k P_s(1-P_s)^{m-1} \\ = \frac{P_s}{1-(1-P_s)} - P_s * \frac{1-(1-P_s)^k}{1-(1-P_s)} = (1-P_s)^k \quad (9)$$

$k=2$ 를 대입하고 그림 2의 결과를 적용하면 그림 3과 같은 drop 확률분포를 구할 수 있다.

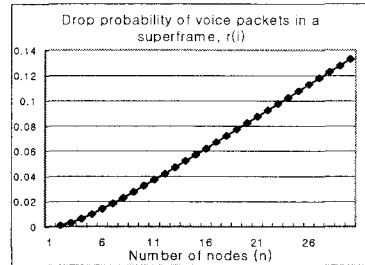


그림 3. 음성 패킷의 drop 확률 (1Mbps)

예상대로 drop 확률은 노드 수 증가에 단조 증가하는 추세를 보인다. 그림 3으로부터 QoS를 위한 딜레이 바운드(5%)를 만족시키는 최대 음성 연결 수는 주어진 조건에서 14임을 알 수 있다

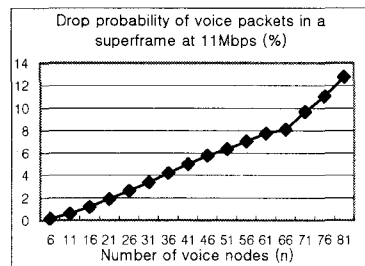


그림 4. 음성 패킷의 drop 확률 (11Mbps)

그림 4는 802.11b의 경우를 알아보기 위해 11Mbps에서 같은 측정을 한 것이다. 약 40개의 음성이 품질을 유지하면서 연결될 수 있음을 알 수 있다. 이는 1Mbps일 때의 14개보다 확실히 개선된 것임을 알 수 있다. 따라서 채널 전송률이 높을수록 딜레이 바운드 내에서 수용 가능한 음성 연결의 수가 증가함을 알 수 있다. 그림 3과 4의 그래프 증가율에 영향을 미치는 요소는 k 값인데 각각 2와 3이므로 그림 4가 3보다 더 천천히 증가하게 된다.

4. 시뮬레이션 구성

여러 개의 wireless STA이 하나의 AP로 upload하는 상황을 고려하였다. 발생하는 트래픽의 종류는 FTP와 음성 패킷의 두 가지로 한정하였고, 한 STA은 한 종류의 트래픽만 발생시킨다. 이 때 음성을 전송하는

STA 과 FTP 트래픽을 전송하는 STA 의 수는 가변적이다. 채널은 에러가 없는 이상적인 상태를 가정하며 전송률은 1Mbps 이다. FTP 는 TCP 위에서 전송되고, 음성이 on-off exponential 형태의 VBR 로 모델링되어 UDP 위에서 전송된다. 음성은 64Kbps 의 발생률로 60%의 duty cycle 을 갖는다. 즉, 음성은 평균적으로 on-state 에 머무르는 시간이 0.6 초이고 off-state 에 머무르는 시간이 0.4 초인 2 state Markov chain 으로 모델링된다. 음성의 프레임 크기 (payload)는 64Kbps*T (superframe)길이를 결정된다.

시뮬레이션은 NS2(network simulator)로 수행하였다.

5. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 음성 패킷의 drop 확률에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하고 앞장에서 수학적 분석에 의거한 값과 비교해 본다. 전송되는데 30ms 이상이 걸리는 패킷은 drop 시키는 방법이 적용되었다. 여기서 30ms는 최대 허용 가능한 access delay이다. 이 방법은 음성 패킷에만 적용되는데 그 이유는 FTP는 시간지연에 민감한 트래픽이 아니기 때문이다. 슈퍼프레임에서 PCF 기간은 20ms이고 나머지 10ms가 DCF를 위해 할당되었다. 이 기간동안의 음성 패킷의 전송에 대한 분석이 이루어진다. 이러한 가정을 바탕으로 슈퍼프레임의 길이는 항상 같다. 슈퍼프레임의 길이가 일정하다고 가정하므로 스트레칭 효과는 무시한다.

시뮬레이션은 30초동안 진행되고 전체 전송된 패킷수에 대한 drop된 음성 패킷의 비율이 측정된다. 여기서 CFP에 대한 또 다른 가정이 적용된다. 서론에서 언급한대로 우리의 분석은 CFP가 포화된 상태에 제한된다. 그러므로, 매 슈퍼프레임에서 각각의 CFP동안에 전송된 음성 패킷의 수를 계산하는 것이 적절한 방법이다. 30초간의 시뮬레이션동안 3000개의 슈퍼프레임이 존재하고 이 결과는 시뮬레이션 시간(=30 s)을 DCF기간 (=10ms)으로 나눈것이다.

전송된 FTP 패킷의 수는 음성 패킷의 drop 확률을 계산할 때 포함되지 않는다. 그러나 패킷들 사이의 경쟁을 높이는 background 로 작용함으로써 drop 확률에 영향을 미친다. 그림 5는 시뮬레이션 결과이다.

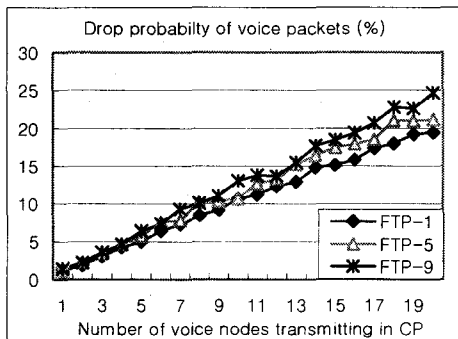


그림 7. FTP 트래픽의 수가 고정되어 있을 때, 음성 패킷의 drop 확률 (Delay bound, 10ms)

drop 확률이 경쟁에 참여하는 노드수가 많아질수록 증가하는 것은 4 절에서 분석한 결과와 일치한다. 그러나 두 결과사이에는 오차가 존재한다.

6. 결론

drop 확률로써 음성의 딜레이 바운드에 대한 분석을 시도하였다. drop 확률이 5% 이내로 유지되느냐의 여부가 음성의 품질을 결정하는 요소이다. 음성의 drop 확률은 두 가지 방법으로 측정되고 계산된다; 수학적 모델링과 시뮬레이션. drop 확률을 사용하면, 채널에서 수용할 수 있는 음성 연결의 수를 추정할 수 있다. 본 논문에서는, 수학적 분석방법이 다음과 같은 가정에 근거한다. 첫째, 한 종류(음성)의 트래픽이 존재한다. 둘째, 노드가 항상 포화 되어 있다. 즉 매 순간마다 노드는 보낼 패킷을 가지고 있다. 셋째, 경쟁 윈도우의 크기는 가장 작은 값, CW_{min} 으로 고정되어 있고 이 값으로부터 충돌시 두 배씩 증가한다. 이러한 가정 때문에 시뮬레이션과 수학적 모델링의 결과에는 오차가 있다.

따라서, future work 으로서 두 방법사이의 오차를 줄일 수 있는 방법이 연구되어야 한다. 우리는 여러가지 트래픽에 적용될 수 있도록 drop probability 에 대한 식을 수정할 것이다. 또한 주어진 조건하에서 음성 전송을 늘릴 수 있는 방법에 대해서도 연구할 것이다.

참고문헌

[1] M. Veeraraghavan, N. Cocker, T. Moors, "Support of voice services in IEEE 802.11 wireless LANs, IEEE INFORCOM 2001
 [2] Giuseppe Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL.18, NO.3. MARCH 2000.
 [3] D. Bertsekas, R. Gallager, *Data Networks*, Engluood Cliff, Prentice Hall International
 [4] F. Tobagi, L. Kleinlock "Packet Switching in Radio Channels: Part IV-Stability Considerations and Dynamic Control in Carrier Sense Multiple Access" IEEE TRANSACTION ON COMMUNICATIONS, VOL.COM-25, NO. 10, OCTOBER 1977
 [5] Hsiao-Kuang Wu, Pei-Hung Chuang "Dynamic QoS Allocation for Multimedia Ad Hoc Wireless Networks" Mobile Networks and Applications 6, 377-384, 2001
 [6] A. Kopsel, A. Wolisz "Voice transmission in an IEEE 802.11 WLAN based access network" proc. Of WoWMoM 2001, pp24-33, Rom, Italy, July 2001
 [7] NS2 Web Site: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>