전파 오류와 종단 지연을 고려한 802.11 무선 랜에서의 VoIP 용량 분석

정낙천, 안종석°
동국대학교 컴퓨터공학과*
op1000@dgu.edu, jahn@dgu.edu

The Extended VoIP Capacity Analysis of 802.11 WLANs with the Effect of Propagation Errors and End-to-End Delays

Nakcheon Jung, Jongsuk Ahn°
Dept. of Computer Engineering, Dongguk University

802.11 무선 랜에서 VoIP(Voice over IP) 서비스가 상용화되면서 무선 랜에서 임의의 음성 압축방식을 사용할 때 최대 지원할 수 있는 VoIP 응용 프로그램 개수를 예측하는 연구가 중요하게 되었다. 이러한 VoIP 용량을 해석적으로 계산하는 모델은 새로운 VoIP 요구의 지원 여부를 결정하는 Admission Control 알고리즘 구현에 필요하다. 즉 무선 랜에서 VoIP QoS(Quality of Service) 요구를 만족하기 위해서는 수용할 수 있는 최대 VoIP 응용 프로그램 개수를 실시간으로 계산할 수 있어야 한다. 참고로 VoIP 용량이란 최소의 음성 품질 요구를 만족하는 양방향 통신이 동시에 서비스 될 수 있는 최대 세션(session) 개수로 정의된다.

본 논문은 전파 오류와 패킷의 종단 지연을 고려한 최대 VoIP 용량을 계산하는 수학적 모델을 제안한다. 또한, 패킷의 종단 지연을 계산하는 수학적 모델도 제안한다. 기존의 모델 [1]은 이러한 두 가지 요인을 고려하지 않은 간단한 수학 모델을 제시하였다. 그리고 두 가지 요인의 영향은 시뮬레이션을 통해서 예측하였다.

먼저 VoIP 용량에 전파 오류와 패킷의 종단 지연의 영향을 고려하기 위해 기존의 모델 [1]에 다음의 세 가지 측면에서 확장하였다. 첫 번째로 전파 오류의 영향을 예측하기 위해 기존에 제안된 802.11의 성능을 분석한 마코프 체인(Markov chain) 모델을 채널 오류를 고려한 모델로 확장하여, 단위 시간당 성공적으로 전송된 패킷을 계산하여 VoIP 용량 평가에 적용하였다. 또한, 채널 오류로 인하여 패킷이 버려질 확률을 계산하여 VoIP 용량을 평가하였다. 여기서 채널 오류 모델은 균일(Uniform) 분포와 길버트(Gilbert) 모델 두 가지를 사용하였다.

두 번째로 전파 오류가 빈번할 때, 패킷의 종단 지연을 정확하게 모델링하기 위하여 기존의 모델 [2]를 전파 오류를 고려한 모델로 확장하여, play-back 시간 안에 도착하지 못한 패킷을 VoIP 용량 평가 계산에서 제거하였다.

마지막으로 VoIP의 QoS 제어를 위하여 VoIP 품질 척도의 표준 모델인 MOS(Mean Opinion Score)를 적용하였다. MOS는 패킷 손실률, 음성 코덱의 특징 등 다양한 변수로 MOS 값을 구한다. MOS의 이러한 특징은 특정 MOS 값으로 VoIP 통신이 이루어지도록 하는 패킷 손실률(loss rate)을 계산을 할 수 있게 한다. 계산된 패킷 손실률을 VoIP 평가 모델에 적용하여 QoS 제어가 가능한 무선 네트워크에서 VoIP 용량을 정확히 평가할 수 있도록 하였다.

식 (1)은 [1]에서 제안된 VoIP 용량 평가 모델이며, 식 (2)는 전파 오류와 패킷의 종단 지연을 고려하여 확장된 VoIP 용량 평가 모델이다. 식 (1)의 분모에서 R은 하나의 VoIP 통신이 1 초에 전송해야하는 패킷의 수이며, ① 항은 하나의 패킷을 성공적으로 전송하는데 소요되는 평균시간이다. 그러므로 이 두 항의 곱은 하나의 VoIP 통신이 1 초간 사용하는 시간이 되고, 이것을 단위 시간 1 초로 나누면 VoIP 용량이 계산된다.

$$N_{ideal} = \left\lfloor \underbrace{\frac{1}{R[2(T_{VOICE}+T_{SIFS}+T_{ACK}+T_{DIFS})+(T_{SLOT}\times CW_{MIN}/2)]}}_{①} \right\rfloor \tag{1}$$

$$N = \left\lfloor \underbrace{\frac{P_S(1-P_e)(1-P_D)}{R(1-P_M/100)}}_{①} \underbrace{\frac{1}{(2T_SP_S+T_IP_I+T_EP_E)}}_{②} \right\rfloor \quad \text{where, } \underbrace{P_D=\sum_{j=k}^{m} q_j, \text{ and } k=\left\{ j \mid \left(E[D]=\sum_{j=0}^{k}[E[B_j]\cdot q_j] \right) \geq T_V \right\}}_{③} \tag{2}$$

식 (2)의 ① 항은 식 (1)을 QoS 제어를 받는 VoIP 통신 네트워크에서의 VoIP 용량을 평가할 수 있도록 확장한 부분이다. 특히 P_M은 특정 값의 MOS를 만족하기 위한 패킷 손실률로, 모든 VoIP 통신이 특정 MOS 값으로 통신하도록 제어하는 변수이다. ② 항은 식 (1)의 ① 항을 대체하여 확장한 것으로 채널 오류를 고려한 마코프 체인 모델을 이용하여 구하였다. ② 항에서 P는 확률을, T는 해당 확률에서의 소요 시간이며, 아래 첨자 S, I, E는 각각 패킷을 성공적으로 전송한 상태, 무선 채널이 Idle한 상태, 패킷 전송 시 전파 오류가 발생한 상태를 의미한다. ③ 항은 분자의 [2]의 패킷의 종단 지연 모델을 확장하여 play-back 시간 안에 패킷이 도착하지 못할 확률 P_D를 구한 것이다.

식 (2)의 분모는 단위 시간 1 초 중 성공적으로 패킷을 전송할 경우에 사용한 시간을 의미하는 것으로 식 (1)의 분자에 패킷 전송에 성공할 확률 P_S, 패킷에 전파 오류가 발생하지 않을 확률 $(1-P_e)$, play-back 시간 안에 패킷이 도착할 확률 $(1-P_D)$를 곱

* 본 연구는 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

하여 확장한 것이다.

식 (3)은 식 (2)의 P_e에 대입할 수 있는 오류 모델을 나열한 것이다. $P_{e_gilbert}$는 길버트 모델을 사용할 경우, $P_{e_uniform}$는 균일 분포 모델을 사용할 경우에 대입하는 모델이다. 두 모델에서 B_V는 VoIP 패킷의 비트 수 이며, P_{bad}는 비트의 연속적인 전파 오류(Burst Error)를 표현하기 위해 많이 사용되는 2-상태(state) 마코프 체인에서 정상의 비트를 수신한 상태에서 전파 오류가 발생한 비트를 수신한 상태로 전이할 확률을 의미한다.

$$P_{e_gilbert} = 1-(1-BER)(1-P_{bad})^{B_V-1} \text{ ,and } P_{e_uniform} = 1-(1-BER)^{B_V} \quad (3)$$

식 (4)는 [2]의 모델을 전파오류를 고려하여 확장한 종단 지연 $E[D]$를 계산하는 수학 모델을 보여준다. 식 (4)의 ① 항과 ② 항은 각각 식 (2)의 ③ 항에 있는 $E[B_j]$와 q_j이며, 각각 802.11의 BEB(Binary Exponential Back-off)에서 j번째 back-off에 도달하기까지 소요된 평균 시간, j 번째 back-off에서 패킷이 전송될 확률을 의미한다. ① 항에서 $E[slot]$은 BEB에서 평균 slot time으로 식 (4)는 $E[slot]$과 q_j에 전파 오류 확률 P_e를 추가하여 확장하였다.

$$E[D] = \sum_{j=0}^{m}\left(\underbrace{\left(T_S + jT_C + E[slot]\sum_{i=0}^{j}\frac{W_i-1}{2}\right)}_{①} \times \underbrace{\frac{(1-(1-p)P_e)^j \cdot (1-p)(1-P_e)}{1-(1-(1-p)P_e)^{m+1}}}_{②}\right)$$

where, $E[slot] = (1-P_{tr})T_I + P_{tr}P_s(1-P_e)T_S + P_{tr}(1-P_s)(1-P_e)T_C + P_{tr}P_sP_eT_E$,

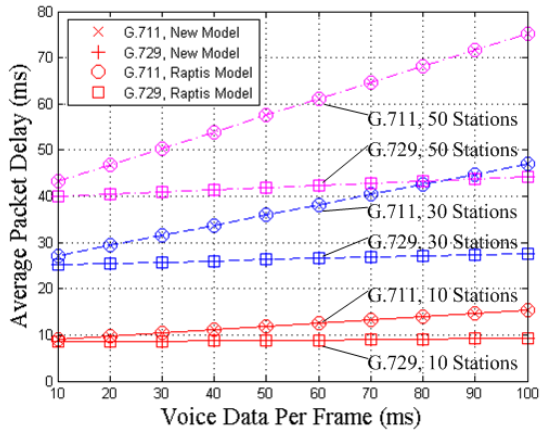
$P_{tr} = 1-(1-\tau)^{n-1}$,and $P_s = [(n-1)\cdot\tau\cdot(1-\tau)^{n-2}]/[1-(1-\tau)^{n-1}]$ (4)

확장된 VoIP 용량 평가 모델의 검증을 위해서 기존 연구 [1]의 시뮬레이션 실험 결과와 비교하였다. 기존 연구는 음성 코덱 G.711과 G.729을 사용하여 VoIP 용량을 평가하였다. VoIP 용량 평가 모델은 균일 분포 채널 오류 모델로 모델링할 경우 기존 연구의 시뮬레이션의 결과와는 1.75%의 오차율로 매우 유사한 결과를 예측한다.

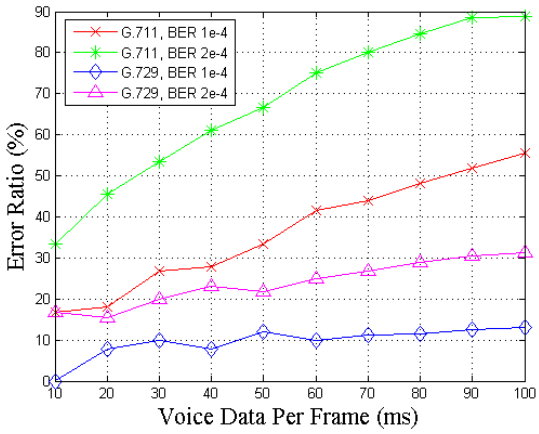
그리고 패킷의 종단 지연 모델의 타당성을 보이기 위하여, 기존의 Rapits의 모델 [2]와 제안하는 모델을 [그림 1]에 비교하였다. [그림 1]에서 X 축은 프레임 당 음성 데이터 크기를 의미하며, Y 축은 ms 단위의 평균 종단 지연을 의미한다. 그리고 10개, 30개, 50개로 스테이션의 수를 달리하여 계산하였다. 그 결과 Rapits의 모델과 일치하는 것을 확인 할 수 있었다.

새롭게 확장된 VoIP 용량 평가 모델과 종단 지연 모델로 두 가지의 새로운 특징을 관찰하였다. 첫 번째로 실제 무선 채널에서의 VoIP 용량을 평가하기 위하여 채널 오류 특성을 길버트 모델로 평가할 경우와 균일 분포로 평가할 경우의 오차율을 계산하여 [그림 2]에 도식하였다. [그림 2]에서 X 축은 프레임 당 음성 데이터 크기를 의미하며, Y 축은 % 단위의 두 모델의 VoIP 용량 오차율을 의미한다. 이 실험에서 길버트 모델을 사용한 경우에는 균일 분포와는 34.39%의 오차율로 전체적인 VoIP 용량이 증가함을 확인 할 수 있었다.

두 번째로, 50개의 노드가 BER이 10^{-4}인 무선 채널에서 통신할 때의 평균 지연은 10개의 노드가 통신할 때의 평균 지연보다 약 200%의 증가를 보이며, 평균 4.69%의 용량 감소를 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 위의 몇 가지 실험을 통하여 제안하는 두 모델은 전파 오류가 빈번한 실제 환경에서도 VoIP 용량과 패킷의 종단 지연을 정확하게 측정이 가능하다는 결론을 낼 수 있다.



[그림 1] G.711과 G.729의 패킷의 종단 지연



[그림 2] 전파 오류 모델에 따른 VoIP 용량 오차율

참 고 문 헌

[1] D.P. Hole, and F.A. Tobagi, "Capacity of an IEEE 802.11b Wireless LAN supporting VoIP", Proc. of IEEE ICC, Vol. 1, pp.196-201, Jun. 2004.

[2] P. Raptis, V. Vitsas, K. Paparrizos, P. Chatzimisios, A. C. Boucouvalas, and P. Adamidis, "Packet Delay Modeling of IEEE 802.11 Wireless LANs", Proc. of CITSA 2005, Jul. 2005.