

# 전파 오류가 빈번한 802.11 무선 랜에서의 VoIP 용량 분석

(The VoIP Capacity Analysis of  
802.11 WLANs with Propagation  
Errors)

정낙천<sup>†</sup>      안종석<sup>\*\*</sup>  
(Nak-Cheon Jung)      (Jong-Suk Ahn)

**요약** 본 논문은 전파 오류가 빈번한 802.11 무선 랜에서 VoIP(Voice over IP) 용량(capacity)을 해석적으로 계산할 수 있는 수학적 모델을 제안한다. 기존 모델은 오류가 발생하는 무선 채널에서의 VoIP의 용량을 시뮬레이션으로만 예측하였다. 본 논문은 전파 오류 환경에서 VoIP 용량을 해석적으로 평가하기 위해 기존 모델을 확장하여, 전파 오류, 전송 지연, 음성 품질, AP(Access Point)에서의 대기 시간 등의 영향을 포함하도록 하였다. 제안한 VoIP 용량 모델은 3%에서 9%까지의 오차 범위에서 시뮬레이션의 결과와 같다.

**키워드** : 802.11 무선 랜, VoIP 용량, 무선 채널 오류

**Abstract** This paper proposes an analytical model to calculate VoIP (Voice of IP) capacity over wireless LANs with frequent bit errors. Since the traditional analytical models for VoIP capacity have not included the effect of bit errors, simulations could only evaluate VoIP capacity over erroneous channels. For analytically accurate estimation of VoIP capacity over noisy channels, we extend the conventional model to include the effect of propagation errors, end-to-end delay, voice quality, the waiting time in AP(Access Point). The experiments show

· 이 논문은 2007 한국컴퓨터종합학술대회에서 '전파 오류가 빈번한 802.11 무선 랜에서의 VoIP 용량 분석'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 동국대학교 컴퓨터공학과

op1000@dgu.edu

<sup>\*\*</sup> 정회원 : 동국대학교 컴퓨터공학과 교수

jahn@dgu.edu

논문접수 : 2007년 10월 2일

심사완료 : 2007년 12월 28일

Copyright © 2008 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 받고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨터의 실제 및 레터 제14권 제1호(2008.2)

that our model predicts the VoIP capacity of a given network within the range from 3% to 9% difference comparing with the simulation results.

**Key words** : 802.11 Wireless LANs, VoIP Capacity, Wireless propagation Errors

## 1. 서론

무선 랜에서 VoIP 서비스가 상용화되면서 무선 랜에서 임의의 음성 압축방식을 사용할 때 VoIP 용량, 즉 최대 지원할 수 있는 VoIP 응용 프로그램 개수를 예측하는 연구가 중요하게 되었다. 참고로, VoIP 용량은 최소의 음성 품질 요구를 만족하면서, 양방향 통신을 할 수 있는 통신 채널의 최대 개수이다. VoIP 용량을 해석적으로 계산하는 모델은 무선 랜 상에서 새로운 VoIP 요구의 지원 여부를 결정하는 호 수락(Admission Control) 알고리즘의 구현에 필요하다.

기존의 VoIP 용량 평가 모델[1]은 다음과 같은 문제가 있다. 첫째, 하나의 스트림(stream)이 음성데이터 전송 시간을 계산하기 위해 충돌율을 계산할 때 AP를 포함하지 않았다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 [2]의 중단 지연 모델을 도입한다.

둘째, 전파 오류를 고려하지 않았다. 방해물이 많고 전송 출력이 작은 무선 랜에서는 전파 오류의 영향을 무시할 수 없다. 본 연구에서는 전파 오류 모델[3]을 도입하여 균일 오류와 균집 오류 채널에서도 VoIP 용량을 계산한다.

셋째, 음성 품질의 영향을 고려하지 않았다. 즉 음성 품질에 따라 VoIP의 용량이 변하기 때문에 음성 품질 관련 변수를 포함해야 한다. 본 논문은 VoIP 용량과 음성 품질과의 관계를 도출하기 위해서 음성 품질의 표준 모델인 MOS(Mean Opinion Score)와 E-Model[4]을 이용하였다.

넷째, playback 시간 이후에 도착하는 패킷은 버린다는 사실을 고려하지 않았다. 본 논문은 이를 해결하기 위해 playback 시간 뒤에 패킷이 도착할 확률을 모델에 포함하였다.

다섯째, 패킷이 AP의 큐에서 대기 지연을 고려하지 않았다. 본 연구에서는 M/M/1과 G/G/1 모델을 이용하여 대기 지연 시간을 계산하였다.

마지막으로 [2,4]의 모델은 전송할 데이터가 항상 존재하는 환경만을 고려하였다. 그러나 음성 데이터만을 전송하는 네트워크에서는 전송되는 패킷의 수가 적기 때문에 트래픽이 발생할 확률을 고려해야 한다. 본 논문에서는 VoIP 용량 모델에 [5]의 전송할 데이터 발생 확률을 고려하였다.

본 논문은 위의 문제들을 모두 해결한 VoIP 용량 계

산 모델을 제안한다. 수치 계산 결과 본 모델에서 계산된 VoIP 용량은 균일 전파 오류 모델을 이용하고 M/M/1 적용 시 8%, G/G/1 적용 시 5% 오차한도에서 시뮬레이션의 결과와 같다. 길버트 전파 오류 모델을 이용하고 M/M/1 적용 시 9%, G/G/1 적용 시 3% 오차한도에서 시뮬레이션의 결과와 같다.

논문 구성은 다음과 같다. 2장은 이상채널에서 VoIP 용량 모델을, 3장은 제안하는 모델을, 4장은 제안하는 모델의 타당성을 평가하며, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 이상채널에서의 VoIP 용량 평가

(1)은 [1]의 이상 무선채널에서 VoIP 용량 평가 식이다. (1)은 다음의 세 가지를 가정한다. 첫째, 모든 스테이션이 하나의 BSS(Basic Service Set) 내에서 경쟁한다. 둘째, VoIP 통신은 AP를 거쳐서 이루어진다. 세 번째, RTS/CTS 패킷을 전송하지 않는다.

(1)의 분모  $E[T_{A\_VoIP\_stream}]$ 은 1초 동안 하나의 스트림이 소비하는 평균 시간이다. 즉 (1)은 1초 동안에 최상의 음성 품질을 유지하면서 보낼 수 있는 최대 스트림 수를 계산하는 식이다. 두 번째 식의  $R$ 은 1초 동안에 VoIP 스트림이 전송하는 패킷 수,  $E[D]$ 는 AP를 경유한 평균 패킷 종단 지연 시간이다.

$$N = \left\lfloor \frac{1}{E[T_{A\_VoIP\_stream}]} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1}{R \times E[D]} \right\rfloor$$

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

$2(T_{VOICE} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS}) + (T_{SLOT} \times CW_{MIN}/2)$ 항은 패킷을 전송하기 위해 소비하는 시간이다. 2를 곱한 것은 모든 패킷은 AP를 경유하기 때문이다.  $(T_{SLOT} \times CW_{MIN}/2)$ 항은 AP에서 경험한 평균 백오프 시간이다. 여기서  $CW_{MIN}$ 은 경쟁 윈도우(CW: Contention Window)의 최소값,  $T_{VOICE}$ 와  $T_{ACK}$ 는 패킷과 ACK의 전송 시간,  $T_{SIFS}$ 와  $T_{DIFS}$ 는 SIFS(Short InterFrame Space)와 DIFS(istributed IFS) 시간,  $T_{SLOT}$ 은 하나의 타임 슬롯(Time Slot)이다.

## 3. 전파 오류를 고려한 VoIP 용량 평가 모델

### 3.1 VoIP 용량 평가 모델

(2)는 오류가 빈번한 무선 채널에서의 VoIP 용량 평가 식이다.  $R$ 을  $(1-P_D)$ 로 나누는 이유는 다음과 같다. 수신 스테이션은 종단 지연으로 playback 시간 뒤에 도착하는 패킷을 버린다. 그러므로 음성 품질의 저하를 막기 위해서 송신 스테이션이 추가의 패킷을 버려진 패킷만큼 더 전송해야 함을 의미한다. 또한  $R$ 에  $(1-ppl/100)$

을 곱하는 것은 VoIP 스트림이 특정 MOS 값을 가지도록 패킷 전송 속도를 조절하는 것을 모델링한 것이다.

$$N_n = \left\lfloor \frac{1}{\left[ \frac{1-ppl/100}{1-P_D} R \right] \times 2E[D] + E[W]} \right\rfloor \quad (2)$$

$P_D$ 는 종단 지연으로 수신 스테이션에서 패킷을 버릴 확률,  $ppl$ 은 특정 MOS 값으로 음성 품질을 조절할 때 손실 되어야 하는 패킷의 백분율이다.  $E[D]$ 는 스테이션과 AP 사이의 종단 지연이다.  $E[W]$ 는 스테이션에서 AP로 패킷이 전송될 때, AP의 큐에서 패킷이 대기하는 시간이다.

### 3.2 종단 지연으로 인한 패킷 손실( $P_D$ ) 계산 모델

$P_D$ 는 (3)과 같이 계산 한다.  $q_j$ 는  $j$ 번째 백오프 스테이지에서 패킷을 성공적으로 전송할 확률이며,  $m$ 은 최대 백오프 스테이지의 수이다. 그리고  $k$ 에 대한 식에서  $E[D_i]$ 는  $i$ 번째 백오프 스테이지에 도달했을 때의 종단 지연,  $T_{playback}$ 은 playback 시간이다.

전송 스테이션이 충돌과 전파 오류를 연속적으로 경험하면 종단 지연이 playback 시간을 초과하는 백오프 스테이지가 발생하게 되는데, 이후의 백오프에서 패킷이 전송될 확률을 모두 더한 것이  $P_D$ 이다.

$$P_D = \sum_{j=k}^m q_j$$

$$\text{where } k = \{i | (2E[D_i] + E[W_i]) \geq T_{playback}\} \quad (3)$$

### 3.3 패킷 평균 전송 시간( $E(D)$ ) 계산 모델

$E[D]$ 의 유도는 (4)로부터 시작한다. 3.2절의  $E[D_i]$ 는 (4)의  $E[D]$  계산 모델에서 합기호  $\Sigma$  위의 첨자  $m$ 을  $i$ 로 치환하여 계산한다.  $E[B_j]$ 는  $j$ 번째 백오프 스테이지에서 소비한 시간의 평균이다.

$$E[D] = \sum_{j=0}^m (E[B_j] \cdot q_j) \quad (4)$$

$E[B_j]$ 의 계산은 (5)와 같다. 첫째 항은 최초로 성공인 전송이 일어난 시간이다. 둘째 항은 충돌이  $\alpha$ 번, 셋째 항은 전파 오류가  $(j-\alpha)$ 번 발생했음을 의미한다. 마지막 항은 현재까지 경험한 총 백오프 시간이다.

$$E[B_j] = T_S + \alpha T_C + (j-\alpha) T_E$$

$$+ E[\text{slot}] \sum_{i=0}^j \frac{W_i - 1}{2}, \quad (5)$$

$$\text{where } j, \alpha \in [0, m], j \geq \alpha$$

$T_S$ ,  $T_C$ 와  $T_E$ 는 각각 성공적으로 패킷을 전송할 때 소요되는 시간, 패킷에 전파 오류가 발생할 때 소요되는 시간, 패킷에 충돌이 발생할 때 소요되는 시간이며, (6)과 같다.  $T_{packet}$ ,  $T_{EIFS}$ ,  $\delta$ 는 각각 음성 데이터를 담은 패킷의 전송 시간, EIFS(Extended IFS), 전파 지연(Propagation Delay)이다.

$$\begin{aligned} T_S &= T_{packet} + T_{SIFS} + T_{ACK} + 2 \times \delta + T_{DIFS} \\ T_E &= T_{packet} + \delta + T_{EIFS} \\ T_C &= T_{packet} + \delta + T_{EIFS} \end{aligned} \quad (6)$$

(6)에서 보듯이  $T_C$ 와  $T_E$ 는 서로 같다. 그러므로 (5)를 (7)과 같이 정리할 수 있다.

$$E[B_j] = T_S + jT_C + E[slot] \sum_{i=0}^j \left[ \frac{W_i - 1}{2} \right] \quad (7)$$

(7)의  $E[slot]$ 은 한 타임 슬롯의 평균 시간으로 (8)과 같이 계산한다. 첫째 항은 백오프로 대기한 시간, 둘째 항은 패킷을 성공적으로 전송한 시간, 셋째 항은 충돌 시간, 마지막 항은 전파 오류 발생 시간이다.  $o$ 는 하나의 슬롯 타임이며,  $P_{tr}$ 과  $P_s$ 는 하나의 스테이션만 전송할 확률, 패킷 전송에 성공할 확률로 두 변수의 계산은 3.4절에서 설명한다.

$$E[slot] = (1 - P_{tr})\sigma + P_{tr}P_s(1 - P_e)T_S + P_{tr}(1 - P_s)T_C + P_{tr}P_sP_eT_E \quad (8)$$

(4)의 변수  $q_j$ 의 계산은 (9)와 같다. (9)는 그림 1을 참고하여 [2]에서 제안한  $q_j$ 의 식을 확장한 것이다. 그림 1은 [3]에서 제안한 모델을 도식한 것이다.

그림 1에서 원은 하나의 상태를 의미한다. 각 상태는  $b_{i,j}$ 로 표현하며,  $i$ 번 충돌이 발생하였고  $j$ 개의 경쟁 윈도우가 남아있음을 의미한다.  $W_i$ 는  $i$ 번째 백오프에서 선택 가능한 경쟁 윈도우의 최대 크기이다.  $P$ 와  $P_e$ 는 각각 패킷 충돌 발생 확률, 패킷 오류 확률이다.

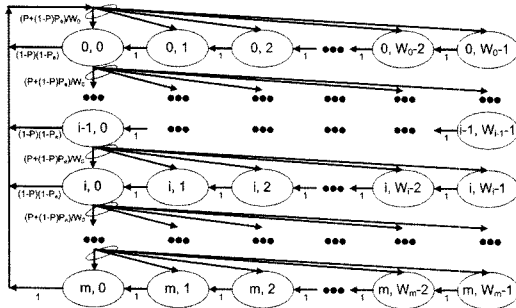


그림 1 전파 오류를 고려한 802.11 마코프 체인 모델

(9)의 분모는 재전송 횟수를 초과하여 전송을 포기하는 경우를 제외한 전체 확률이다. 분자는  $j$ 번의 충돌 또는 전파 오류를 경험한 후에  $(j+1)$ 번째 백오프에서 충돌과 전파 오류가 발생하지 않을 확률이다.

$(P+(1-P)P_e)$ 는 그림 1에서 상태  $b_{i,0}$ 에서  $b_{i+1,0}$ 로 상태 전이할 확률이다. 그러므로 전송 스테이션에서 패킷 전송을 포기할 확률은  $(P+(1-P)P_e)^{m+1}$ 이 된다. 즉  $q_j$ 의 분모는 전체 확률 1에서  $(P+(1-P)P_e)^{m+1}$ 을 뺀 것이다.  $j$ 번의 충돌 또는 전파 오류를 경험한 확률은  $(P+(1-P)P_e)^j$ 이고, 충돌과 전파 오류가 발생하지 않을 확률은

$(1-P)(1-P_e)$ 이다. 이 두 변수를 곱하여  $q_j$ 의 분자를 계산한다.

$$q_j = \frac{(P+(1-P)P_e)^j}{1-(P+(1-P)P_e)^{m+1}}(1-P)(1-P_e) \quad (9)$$

마지막으로 (10)은 전파지연을 고려한 종단 지연 모델을 보여주는 데 (7)에 (8)을, (4)에 (7)과 (9)를 대입한 결과이다.

$$E[D] = \sum_{j=0}^m \left( \left( T_S + jT_C + E[slot] \sum_{i=0}^j \frac{W_i - 1}{2} \right) \times \left( \frac{(P+(1-P)P_e)^j(1-P)(1-P_e)}{1-(P+(1-P)P_e)^{m+1}} \right) \right) \quad (10)$$

### 3.4 음성 트래픽의 특성을 반영하는 파라미터( $P$ , $P_{tr}$ , $P_s$ ) 모델링

종단 지연을 계산하는 (10)은 전송되는 패킷이 항상 존재하는 환경만을 가정하였다. 그러나 음성 데이터만을 전송하는 네트워크에서는 전송되는 패킷의 수가 적기 때문에 트래픽이 발생할 확률을 고려해야 한다. 트래픽이 발생할 확률을 고려하기 위해서 그림 1의 충돌률  $P$ 를 (11)과 같이 모델링하였다.  $p_0$ 는 MAC(Medium Access Control) 계층에서 전송할 패킷이 없을 확률이며,  $n$ 은 스테이션 수이다.

$$P = 1 - (1 - (1 - p_0)\tau)^{n-1} \quad (11)$$

$p_0$ 는 [5]에서 제안한 바와 같이 (12)와 같다.  $\lambda$ 는 평균 패킷 도달 속도로 (2)의  $R$ 로 치환 가능하다.  $1/\mu$ 는 평균 종단 지연으로 시스템 내에서 대기한 시간을 제외한 것이다.  $E[D]$ 는 MAC 서비스를 받는 패킷의 종단 지연 시간으로, 다른 스테이션이 채널을 사용하는 동안 대기한 시간을 포함한다. 그래서  $E[D]$ 를 스테이션의 수  $n$ 으로 나누어  $1/\mu$ 를 치환할 수 있다.

$$p_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - R \times E[D] / n \quad (12)$$

(8)의  $E[slot]$ 에 사용되는  $P_{tr}$ 과  $P_s$ 에도  $p_0$ 를 확장하여 (13)과 같이 계산한다. (13)은 [6]에서 계산한 식의  $\tau$ 에  $(1-p_0)$ 을 곱한 것이다.  $\tau$ 는 임의의 타임 슬롯을 선택할 경우 그 타임 슬롯에서 패킷을 성공적으로 전송할 확률이며, 이 변수의 유도는 [3]를 참고하면 된다.

$$\begin{aligned} P_{tr} &= 1 - (1 - (1 - p_0)\tau)^n \\ P_s &= \frac{n(1-p_0)\tau(1 - (1 - p_0)\tau)^{n-1}}{1 - (1 - (1 - p_0)\tau)^n} \end{aligned} \quad (13)$$

### 3.5 AP의 큐잉 지연( $E[W]$ ) 모델링

패킷이 AP의 큐에 도착할 때 큐가 비어있지 않으면 지연 시간이 발생한다. 이 AP에서의 지연을 큐잉 지연의 분포는 M/M/1이나 G/G/1으로 모델링 한다.

M/M/1으로 모델링할 경우에는 (14)의 첫 번째 수식으로 구하며, G/G/1으로 모델링할 경우에는 두 번째 수

식으로 구한다.

$$E[W] = \begin{cases} \frac{1}{1-\rho} E[D] \\ \frac{\lambda \sigma^2 (\rho^2 + 1)}{2(1-\rho)} \end{cases}, \left( \text{where } \rho = \frac{(n-1)R}{E[D]/n} \right) \quad (14)$$

$$P_e = \begin{cases} 1 - \left( \frac{P_{good}}{P_{bad} + P_{good}} \right) (1 - P_{bad})^{B_{packet}-1} \\ = 1 - (1 - BER)(1 - P_{bad})^{B_{packet}-1} \\ 1 - (1 - BER)^{B_{packet}} \end{cases} \quad (16)$$

$\rho$ 는 데이터 처리량에 비례한 트래픽 도달 속도로  $\lambda/\mu$ 이다. AP에서의  $\lambda$ 는  $(n-1)$ 개의 스테이션이 AP로 트래픽을 보내는 것이므로  $(n-1)R$ 이 된다.  $1/\mu$ 은 3.4절에서 설명한 바와 같이  $E[D]$ 를 스테이션의 수  $n$ 으로 나누어  $1/\mu$ 을 치환한다.  $\sigma$ 는  $E[D]$ 의 분산으로 실험을 통하여 약 2ms 정도의 값을 알아내었다.  $E[D]$ 의 분산을 구하는 과정은 아직 추후의 연구과제로 남겨두었다.

**3.6 특정 음성 품질을 가지는 패킷 손실률(ppl) 모델링**

음성 품질 척도 MOS는 1에서 4.5까지 범위를 가지며, 점수가 높을수록 좋은 품질이다. MOS는 E-Model을 이용하여 계산할 수 있다. E-Model은 R-factor를 사용하며 (15)와 같은 관계식을 가지고 있다. 특정 MOS 값으로 음성 품질을 조절할 때 사용되는 ppl은 패킷 손실률로, (15)에서  $I_e$ 항을 계산하기 위한 변수이다. 참고로 R-factor를  $R_f$ 로 표현하였다.

R-factor의 계산은 (15)의 좌변에 변경된 MOS 값을 대입하고, 우변에는 ppl을 제외한 변수들의 기본값을 대입한다. 그 후에 ppl을 좌변으로 이동시키면 백분을 단위의 ppl을 얻을 수 있다. R-factor에서 사용하는 변수들의 기본값과 계산식은 [4]에서 확인 할 수 있다.

$$MOS = 1 + 0.0035R_f + 7(R_f - 60)(100 - R_f)R_f 10^{-6} \quad (15)$$

where  $R_f = R_o - I_s - I_d - I_e + A$

**3.7 무선 채널의 오류 특성( $F_o$ ) 계산 모델**

무선채널의 균집오류 특성은 길버트 모델을 사용하여 모델링 할 수 있다. 길버트 모델은 그림 2와 같은 상태전이 다이어그램을 가지며  $S_{good}$ 와  $S_{bad}$ 는 각각 현재 비트에 오류가 없는 상태와 그렇지 않은 상태를 의미한다.  $P_{bad}$ 는  $S_{good}$ 에서  $S_{bad}$ 로 전이할 확률이며,  $P_{good}$ 는 그의 반대를 의미한다.

그림 2의 길버트 모델을 이용하여 (16)의 첫 번째 식을 유도할 수 있다.  $P_{good}/(P_{bad} + P_{good})$ 는  $S_{good}$ 에 있을 확률이며, 이 항은  $(1 - BER)$ 과 같다.  $B_{packet}$ 는 패킷의 비트 수 이다. 만약  $P_{bad}$ 와  $BER$ 이 같으면, 채널 오류 모델은 균일 분포를 따르며 (16)의 두 번째 식이다.

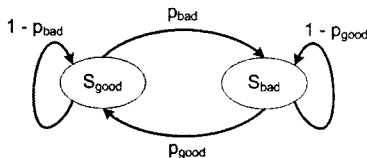


그림 2 길버트 모델

**4. 실험 및 결과**

시뮬레이션은 ns2-2.31으로 수행하였으며, 코덱으로 G.711을 가정하였으며 실험 환경은 [1]과 같다.

**4.1 VoIP 용량 평가 모델의 타당성**

표 1은 오류가 균일 분포와 균집 분포일 때 시뮬레이션 결과를 보여준다. 스테이션 수를 늘려가면서 실험을 수행하면 playback 시간보다 늦게 도착하여 버려지는 패킷의 비율이 1% 이하에서 갑자기 높아지는 시점이 발생하는데, 그 시점을 최대 VoIP 용량으로 결정하였다.

표 1에서 ‘-’은 playback 시간보다 늦게 도착하는 패킷의 비율이 5% 이상을 의미한다. 참고로 G.711에서 패킷 손실이 5%이상이면 음질이 좋지 않다.

표 2는 M/M/1을 사용 할 때의 수학 모델 계산 결과이다. 균일 오류에서는 7.6%, 길버트 모델에서는 8.2%의 오차를 보인다. 표 3은 G/G/1을 사용할 때의 수학 모델 계산 결과이다. 균일 오류에서는 4.2%, 길버트 모델에서는 2.8%의 오차를 보인다.

표 1 VoIP 용량의 시뮬레이션 결과

오류 모델	균일 분포					길버트 모델				
	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms
0	5	10	15	17	20	5	10	15	17	20
10 <sup>-6</sup>	5	10	15	17	20	5	10	15	17	20
10 <sup>-5</sup>	5	10	14	16	19	5	10	15	17	20
10 <sup>-4</sup>	5	8	11	12	13	5	9	13	15	17
2*10 <sup>-4</sup>	4	6	7	-	-	5	9	13	15	17

표 2 VoIP 용량의 해석 모델 계산 결과(M/M/1)

오류 모델	균일 분포					길버트 모델				
	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms
0	6	11	15	18	21	6	11	15	18	21
10 <sup>-6</sup>	6	11	15	18	20	6	11	15	18	21
10 <sup>-5</sup>	6	11	15	17	19	6	11	15	18	20
10 <sup>-4</sup>	5	8	10	10	11	6	10	13	15	17
2*10 <sup>-4</sup>	4	6	6	-	-	6	10	12	14	15

표 3 VoIP 용량의 해석 모델 계산 결과(G/G/1)

오류 모델	균일 분포					길버트 모델				
	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms	10ms	20ms	30ms	40ms	50ms
0	5	10	15	17	20	5	10	15	17	20
10 <sup>-6</sup>	5	10	15	17	20	5	10	15	17	20
10 <sup>-5</sup>	4	10	14	17	19	5	10	15	17	20
10 <sup>-4</sup>	4	9	12	12	13	4	10	14	15	18
2*10 <sup>-4</sup>	4	7	8	-	-	4	9	13	15	17

**4.2 음성 품질 제어와 오류 모델에 의한 영향 분석**

그림 3은 G.711의 30ms의 음성 데이터 환경에서 VoIP 용량과 MOS와 BER의 영향을 보여준다. 그림 3은 두 개 그래프를 포함하고 있는데, 실선은 균일 오류일 때, 점선은 길버트 오류 모델일 때의 VoIP 용량이다. 그림 3에서 보듯이 MOS는 VoIP 용량에 영향이 없다.

MOS와 달리 BER에 VoIP 용량은 영향을 크게 받는다. 길버트 모델이 균일 분포보다 최대 14%에서 123%의 오차율을 보인다. 이는 같은 BER에서 연속 비트 오류가 길버트 모델에서 더 많이 발생하여 패킷 오류율은 감소하기 때문이다.

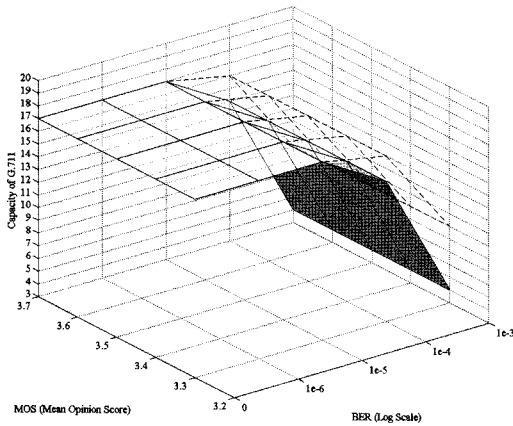


그림 3 MOS와 BER에 따른 VoIP 용량 (30ms)

**4.3 중단 지연에 의한 영향 분석**

그림 4는 스테이션 수를 10부터 100까지 늘려 중단 지연으로 인하여 VoIP 용량에 주는 영향을 보여준다. 패킷은 G.711의 30ms의 음성 데이터를 담고 있고 오류 모델은 길버트 모델을 사용하였다. 그림의 점선은 중단 지연을 고려한 것이며 실선은 그렇지 않은 것이다.

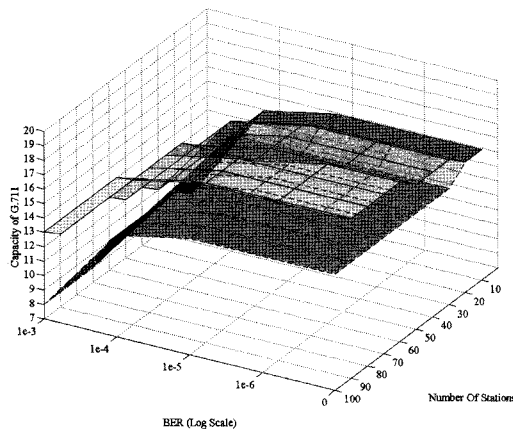


그림 4 스테이션 수와 BER에 따른 VoIP 용량 (30ms)

그림 4에서 스테이션 수가 20 이상부터 패킷 지연으로 인해 VoIP 용량 감소를 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 VoIP 용량은 BER이 커질수록 많은 차이로 떨어짐을 보인다. 점선과 실선의 오차는 최대 8에서 13까지 20% 이상 패킷 손실률을 보여준다. 이 결과로 중단 지연으로 인한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

**5. 결론**

본 논문은 오류가 빈번한 무선 랜에서의 VoIP 용량을 정확히 평가하기 위한 모델을 제시한다. 본 모델에서는 전파오류, 중단 지연, 음성품질, AP를 포함한 충돌율, 그리고 AP에서 데이터의 지연 시간들을 모두 포함할 모델을 제시한다. 향후 연구로는 제한한 모델의 신뢰도를 높이기 위해서 큐잉 지연 모델을 개발할 것이다.

**참고 문헌**

- [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.
- [3] J. S. Ahn, J. H. Yoon, and K. W. Lee, "Performance and Power Consumption Analysis of 802.11 with Reed-Solomon Code over Wireless Sensor Networks by Varying the FEC Symbol Size," Proc. of JCN, Sep. 2007.
- [4] ITU-T Recommendation G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning," ITU-T, May 2005.
- [5] X. Chen, H. Zhai, X. Tian, and Y. Fang, "Supporting QoS in IEEE 802.11e Wireless LANs," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.5, No.8, Aug. 2006.
- [6] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.18, No.3, pp. 535-547, Mar. 2000.