

무선 멀티 홉 네트워크에서 VoIP 서비스를 위한 효율적인 패킷 결합 기법

정지영*, 강현식*, 이정륜^o

Energy-Efficient Packet Aggregation Scheme for VoIP Service in Wireless Multi-Hop Network

Ji-Young Jung*, Hyun-Sik Kang*, Jung-Ryun Lee^o

요 약

본 논문에서는 무선 멀티 홉 네트워크에서 VoIP 서비스를 만족하면서, 각 노드들의 에너지 소모를 줄일 수 있는 패킷 결합 개수(C_{PA})를 정하는 비용함수를 도출하였다. 이를 위해 무선 멀티 홉 환경에서 패킷 결합 개수에 따른 중단 간 지연과 패킷 손실률이 R-factor에 미치는 영향과 네트워크상에서 송수신 하는 모든 단말기의 에너지 소비에 미치는 영향을 분석하고, 무선 멀티 홉 환경에서 VoIP 패킷들을 효율적으로 전송하기 위한 방안을 제시하기 위해 앞에서 유도한 R-factor값(R)과 에너지 소모(E)간의 트레이드오프 관계를 비용 함수로 표현하였다.

Key Words : VoIP, Wireless Multi-hop Network, Energy, MOS, QoS

ABSTRACT

This paper proposes packet aggregation scheme for considering energy consumption of mobile devices on guaranteeing quality of voice. To our purpose, we analyze VoIP service on wireless multi-hop channel in terms of delay, packet loss and energy consumption when packet aggregation scheme is applied to VoIP service. Moreover, we induce a cost function with considering of tradeoff relation between quality of voice and energy consumption.

I. 서 론

기존의 무선 LAN(Local Area Networks)에서 사용되는 액세스 포인트(Access Point)에 멀티 홉 라우팅 등의 네트워킹 기능을 탑재하고 이들을 무선 통신 기술을 이용하여 서로 연결함으로써 유선망과의 연결 없이도 광범위한 지역을 커버할 수 있는 무선 멀티 홉 네트워크 기술은 커버리지 확장의 용이성 및 단말간의 높은 연결성으로 인하여 경제적 비용을 절감할 수 있

다는 장점을 갖기 때문에 학계 및 산업계에서 꾸준한 관심을 받고 있다. 기존의 싱글 무선 링크로 연결된 네트워크에서는 기지국과 멀리 떨어져 있는 노드의 경우 통신을 위해 많은 파워소비를 필요로 했지만 멀티 홉 무선 네트워크의 경우 거리가 가까운 노드를 통해 다중 링크로 전송하기 때문에 전송파워 및 에너지 소모가 작다는 장점을 가지고 있지만 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 단말기는 송신노드와 수신노드이면서 동시에 라우터 역할을 하여 단말기는 자신이 필요한 데

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012R1A2A2A01014170)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-4004)

• 주저자 : 중앙대학교 전자전기공학과 통신정보시스템 연구실, ji-young@wm.cau.ac.kr, 준회원

◦ 교신저자 : 중앙대학교 전자전기공학과, jrlee@cau.ac.kr, 종신회원

* 중앙대학교 전자전기공학과 통신정보시스템 연구실, hyunsik@wm.cau.ac.kr, 준회원

논문번호 : KICS2012-02-065, 접수일자 : 2012년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 17일

이더를 송수신할 때 소모되는 에너지뿐만 아니라 릴레이 노드 역할로 인한 의도치 않은 데이터를 송수신하게 된다. 이로 인하여 기존의 싱글 무선 링크로 연결된 셀룰러 네트워크에 비해 더 많은 에너지 소모가 발생된다. 이러한 에너지 소모로 인해 배터리가 방전된 단말기는 더 이상 라우터 역할을 할 수 없게 되어 망의 성능을 저하시키는 중요한 원인이 된다¹¹.

한편, VoIP(Voice over IP) 서비스는 기존의 PSTN(Public Switched Telephone Network) 방식을 대체하여 데이터 망을 활용하여 저렴한 가격으로 음성 통화를 가능하게 하였지만 낮은 통화 품질로 인해 소비자의 요구조건을 만족시키지 못해 왔다. 그러나 VoIP 서비스 품질향상에 대한 연구가 꾸준히 진행되어 높은 음성 품질을 보장받을 수 있게 되면서 최근 급속히 보급되고 있다. 특히 스마트 폰의 대중적인 보급과 스마트 폰에 탑재되는 다양한 VoIP 어플리케이션의 등장으로 mVoIP(mobile VoIP) 서비스가 급속히 확산됨에 따라, 이동 통신망을 기반으로 한 고속 하향 패킷 접속이나 와이브로(Wibro)와 같은 무선 인터넷 망을 활용하여 언제 어디서나 저렴한 음성 통화 서비스가 제공되고 있다. VoIP 서비스는 실시간 서비스로 일정한 크기의 패킷이 일정한 시간 간격으로 발생된다. 예를 들어 G.729와 같은 VoIP 코덱은 매 20ms마다 60bytes 크기의 VoIP 패킷이 생성되며 이 패킷은 40bytes 크기의 헤더(header) (IP-20bytes, UDP-8bytes, RTP-12bytes)와 20bytes 크기의 페이로드(payload)로 구성되어 있다. 즉, VoIP 트래픽은 패킷 크기가 작고 음성정보를 포함한 페이로드 크기에 비해 불필요한 헤더 크기가 크다는 특징이 있다. 따라서 무선 인터넷 망에서 VoIP 패킷 전송이 빈번하게 발생하게 되면, 이는 결국 전송 오버헤드를 증가시켜 대역폭을 효율적으로 이용할 수 없게 된다^{2,4}. 또한, 급속하게 변하는 무선 채널 환경에서 mVoIP 서비스는 기존의 유선 채널 환경에 비해 패킷 손실과 추가 지연에 더 민감하여 네트워크가 불안정하게 되는 단점이 있다.

VoIP 서비스를 모바일 환경에 적용하려는 연구는 지금까지 광범위하게 진행되어 왔다. VoIP 서비스가 모바일 네트워크에 적용되면서 고려해야 할 추가 기술에 대한 요구와 경제적 기회 분석을 통해 mVoIP 서비스의 발전가능성을 확인하였고⁵, 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 실시간 VoIP 서비스 지원 시 음성 품질에 에러율과 종단 간 지연이 얼마나 영향을 미치는지 분석하였다⁶. 또한, 무선 메쉬 네트워크에서 VoIP 서비스 지원 시 가능한 채널 용량을 분석 또는 예측한 연구가

진행되었다^{7,8}. 모바일 단말기 사용의 보편화에 따른 네트워크 트래픽 폭주를 방지하기 위한 보안에 관한 연구도 진행되었으며⁹, 무선 멀티 홉 환경에서 VoIP 서비스 트래픽을 고려하여 효율적으로 패킷 전송을 할 수 있는 라우팅 기법도 소개되었다^{10,11}.

위에서 언급한 무선 네트워크에서 VoIP의 대역폭 활용 및 에너지 소비 문제를 해결하기 위한 한 방안으로 헤더압축 기술(Robust Header Compression)과 패킷 결합 기법(Packet Aggregation Scheme)에 관한 연구가 수행되어 왔다^{13,4,12-14}. 헤더 압축 기법이란 IP, UDP, RTP, TCP 헤더를 압축하는 표준화된 기법으로 모든 패킷이 한 방향으로만 전송되는 단방향 모드(Unidirectional mode)와 오류 복구 요청 메시지, 주요 업데이트 메시지 등을 주고받는 양방향 모드(Bidirectional mode)가 있다. 패킷 결합 기법이란 여러 개의 작은 패킷을 하나의 패킷으로 결합하여 전송하는 기법으로 대표적인 패킷 결합 기법으로는 종단 간(end-to-end) 결합 알고리즘과 홉 간(hop-by-hop) 결합 알고리즘이 있다. 종단 간 결합 알고리즘의 경우 패킷 결합과 분해가 송신노드와 수신노드에서만 이루어지며 중개노드에서는 저장전달(Store-and-forward)만 수행하는 라우터 역할을 한다. 이에 반해 홉 간 결합 알고리즘의 경우 모든 노드에서 패킷 결합과 분해 기능을 수행하게 된다¹⁴. 이러한 패킷 결합 기법은 오버헤드를 줄임으로써 데이터 수율(throughput)을 증가시키며, 단말기의 에너지 소비를 줄이는 장점을 갖는 반면¹⁵, 통합된 패킷의 크기가 커짐에 따라 무선 멀티 홉 상황에서 에러가 발생할 확률이 커지게 되고, 패킷을 결합하는데 걸리는 추가 지연으로 인하여 종단 간 지연이 커지므로 VoIP 서비스 품질을 저하시키는 요소로 작용하게 된다¹⁶.

본 논문에서는 VoIP 서비스의 패킷 결합 기법 적용에 의한 서비스 품질 저하와 에너지 소비 절감간의 트레이드오프(Trade-off) 관계를 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 분석하고 VoIP 서비스 품질과 무선 단말의 에너지 소모량의 비용 함수를 정의하고 이를 활용하여 무선 멀티 홉 네트워크에서 최적의 성능을 가지는 패킷 결합 개수를 도출하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VoIP 서비스의 품질을 결정짓는 R-factor와 관련된 식과 단말의 에너지 소비 모델을 무선 멀티 홉 환경에 맞게 도출하였다. 3장에서는 2장에서 도출된 R-factor 식과 단말의 에너지 소비 간 트레이드오프 관계를 고려하여 비용 함수를 유도하였고, 이 비용함수가 최대가 되는 패킷 결합 개수를 도출하였다. 4장에서는 시뮬레이션

을 통해 결과를 확인하였고, 5장에서는 결론과 향후계획에 대해 기술하였다.

II. 본 론

2.1. 멀티 홉 환경에서의 R-factor 모델과 에너지 소비 모델 정의

앞에서 언급하였듯이 패킷 결합 기법은 오버헤드를 줄여 대역폭을 효율적으로 이용할 수 있으며 에너지 소비를 줄이는 장점이 있지만, VoIP의 QoS(Quality of Service) 요구 조건인 종단 간 지연과 패킷손실에 영향을 미쳐 서비스 품질을 저하시키는 단점을 갖는다. 이 절에서는 무선 멀티 홉 환경에서 패킷 결합 개수에 따른 종단 간 지연과 패킷 손실률이 R-factor에 미치는 영향과 네트워크상에서 송수신 하는 모든 단말기의 에너지 소비에 미치는 영향을 분석하였다.

2.1.1. 무선 멀티 홉 네트워크에서의 R-factor 모델

MOS(Mean Opinion Score)란 통화 품질을 평가하는 표준 척도로 ITU-T에서 제안하였다. MOS값은 1(품질이 가장 나쁠 때)부터 4.5(품질이 가장 좋을 때)까지 값을 가지며 이러한 MOS값은 R-factor값에 의해 결정된다. MOS와 R-factor의 관계는 표 1. 과 같이 정의된다. R-factor값은 표 2. 에 정의된 R_0 , I_s , I_d , I_e 그리고 A 로 이루어져있으며 다음과 같이 표현된다^[17].

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

표 1. 음성 품질에 따른 R-factor와 MOS의 관계
Table 1. The relation between R-factor and MOS according to voice quality evaluation

음성 평가 품질	R-factor	MOS
매우 좋음	$90 < R < 100$	4.34-4.50
좋음	$80 < R < 90$	4.03-4.34
보통	$70 < R < 80$	3.60-4.03
낮음	$60 < R < 70$	3.10-3.60
매우 낮음	$50 < R < 60$	2.58-3.10

패킷 결합으로 인해 발생하는 추가 종단 간 지연과 패킷 손실률이 R-factor에 미치는 영향을 알아보기 위해 참고문헌^[18] 에서 제안한 R-factor값을 사용하였다. R_0 , I_s 그리고 A 값을 고정시킨 R-factor식은 다음과 같이 정의된다.

표 2. R-factor의 파라미터 정의
Table 2. Parameters of R-factor

파라미터	정의
R_0	기본적인 신호 대 잡음 비율(SNR)
I_s	두 사용자가 동시에 음성 전송을 함으로써 발생하는 통화 품질 장애 요소
I_d	지연으로 인한 통화 품질 장애 요소
I_e	패킷 손실로 인한 통화 품질 장애 요소
A	통화 품질을 높이기 위한 특정 어플리케이션 적용을 통해 얻을 수 있는 이점 요소

$$R = 94.2 - I_d - I_e \quad (2)$$

우리는 무선 멀티 홉 환경에서 패킷 결합 개수가 I_d , I_e 값에 미치는 영향을 알아보기 위해 I_d , I_e 값을 패킷 결합 개수로 정의하였다. 패킷 결합 개수는 c_{PA} 로, 종단 간 지연은 T_a 로 그리고 패킷 손실률은 p_l 로 정의한다.

(1) 무선 멀티 홉 네트워크에서의 I_d 수식 모델

종단 간 지연(T_a)은 송신자로부터 발생된 음성 신호가 수신자의 귀에 들리는 데 까지 걸리는 총 지연시간을 말한다. 종단 간 지연을 구성하는 파라미터를 표 3. 에 정의하였다.

표 3. 종단 간 지연 파라미터 정의
Table 3. End-to-End Delay Parameter Definition

파라미터	정의
D_{enc}	인코딩 지연
D_{pack}	패킷타이제이션 지연
D_{PA}	VoIP 패킷 결합 지연
D_{tran}^n	n번째 홉에서의 전송 지연
D_{que}^n	n번째 홉에서의 큐잉 지연
D_{prop}^n	n번째 홉에서의 프로퍼게이션 지연
D_{jit}	디지털링 지연
D_{dec}	디코딩 지연

정의된 파라미터 중에서 패킷 결합 개수에 영향을 받는 파라미터인 D_{PA} 와 D_{tran}^n 을 패킷 결합 개수로 정의하였다. 패킷 발생 간격을 t_i 로 정의하면 D_{PA} 는 결합되는 패킷 중 첫 번째 패킷이 전송될 때까지 대기하는 지연으로 아래와 같이 정의된다^[19].

$$D_{PA} = t_i(c_{PA} - 1) \quad (3)$$

헤더크기를 s_h 로, 페이로드크기를 s_p 로 그리고 전송 속도를 r 로 정의하면 전송 지연(D_{tran}^n)은 아래와 같이 정의된다.

$$D_{tran}^n = \frac{s_h + c_{PA}s_p}{r} \quad (4)$$

무선 채널에서 송신노드부터 수신노드까지 총 홉 수를 h 라고 정의하자. 우리는 위의 두 파라미터를 기존의 종단 간 지연 값^[20]에 대입하여 멀티 홉 네트워크 환경을 고려한 패킷 결합 개수에 따른 종단 간 지연(T_a)을 다음과 같이 유도하였다.

$$T_a(c_{PA}) = D_{enc} + D_{pack} + t_i(c_{PA} - 1) + \sum_{n=1}^h \left(\frac{s_h + c_{PA}s_p}{r} + D_{que}^n + D_{prop}^n \right) + D_{jit} + D_{dec} \quad (5)$$

위의 종단 간 지연 값을 간략하게 표현하기 위해 D_{PA} 와 D_{tran}^n 를 제외한 모든 지연을 ρ 로 표현하고, 메시지 크기 $s_h + c_{PA}s_p$ 를 S 로 표현하면 $c_{PA} = (S - s_h) / s_p$ 이므로 종단 간 지연 값은 아래와 같이 표현된다.

$$T_a = \rho + t_i(c_{PA} - 1) + \frac{Sh}{r} = \rho + S \left(\frac{t_i}{s_p} + \frac{h}{r} \right) - \frac{t_i s_h}{s_p} - t_i \quad (6)$$

I_d 값은 I_{dte} , I_{dle} , I_{dd} 로 구성되는데, I_{dte} 는 송화자의 에코에 의해 발생하는 손실, I_{dle} 는 수화자의 에코에 의해 발생하는 손실 그리고 I_{dd} 는 종단 간 지연에 의해 발생하는 손실을 말한다^[17]. 식은 다음과 같이 정의된다.

$$I_d = I_{dte} + I_{dle} + I_{dd} \quad (7)$$

최근에는 VoIP 서비스 기술 개발로 인해 에코에 의해 발생하는 손실은 고려하지 않아도 되므로 I_{dte} , I_{dle} 를 무시하면 I_d 는 종단 간 지연(T_a)으로 정의된 아래와 같은 수식으로 유도된다^[18].

$$I_d = 0.024 T_a + 0.11 (T_a - 177.3) H(T_a - 177.3) \quad \text{for } H(x) = 1(x \geq 0), H(x) = 0(x < 0) \quad (8)$$

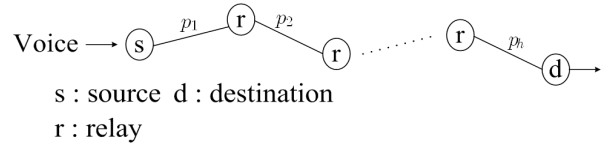


그림 1. 무선 멀티 홉 네트워크의 예
Fig. 1. An example of wireless multi-hop network

(2) 무선 멀티 홉 네트워크에서의 I_e 수식 모델

패킷 손실률(p_l)은 VoIP 서비스의 QoS 요구사항을 분석하기 위한 중요한 측정 요소들 중 하나로서 무선 멀티 홉 채널 환경에서는 패킷의 크기와 BER (Bit Error Rate)에 의해 값이 결정되며 우리는 다음과 같이 식을 유도하였다. 그림 1. 에서와 같이 p_n 을 n 번째 홉에서의 BER이라고 정의하면 송신노드에서 n 홉 거리에 있는 수신노드까지 패킷이 성공적으로 전송될 확률(p_{suc})를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$p_{suc} = (1 - p_n)^S \quad (9)$$

따라서 패킷 손실률(p_l)은 h 홉 무선 채널 환경에서 각 홉에서의 패킷 성공률의 곱을 전체 확률에서 뺀 값으로 표현할 수 있으며 이를 간략하게 표현하기 위해 1차 테일러급수로 전개하여 아래와 같이 식을 정의하였다.

$$p_l(c_{PA}) = 1 - \prod_{n=1}^h (1 - p_n)^S \cong 1 - \prod_{n=1}^h (1 - p_n \cdot S) \quad \text{for } S = s_h + c_{PA} \cdot s_p \quad (10)$$

I_e 을 패킷 손실률(p_l)로 아래와 같이 정의할 수 있다. γ_i '는 VoIP 코덱에 따라 다양한 값을 갖는다. 예를 들어, G.729 코덱의 경우 $\gamma_1 = 11$, $\gamma_2 = 40$, $\gamma_3 = 10$ 으로 정의된다^[18]. G.729이외의 코덱의 경우에는 참고논문^[21]을 통해 γ_i '값을 확인할 수 있다. 식을 간략하게 표현하기 위해 1차 테일러급수로 전개하여 아래와 같이 식을 정의하였다.

$$I_e \cong \gamma_1 + \gamma_2 \ln(1 + \gamma_3 p_l) \cong \gamma_1 + \gamma_2 \gamma_3 p_l \quad (11)$$

(3) 무선 멀티 홉 네트워크에서의 R 수식 모델

앞에서 유도한 I_d 수식(8), I_e 수식(11)값을 기존의 R-factor 값 수식(2)에 대입하여 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서의 R-factor 값을 표현한 식을 아래와 같이 유도하였다.

$$R \cong 94.2 - 0.11(T_a - 177.3)H(T_a - 177.3) - 0.024T_a - \gamma_1 - \gamma_2 \cdot \gamma_3 \cdot p_l$$

for $H(x) = 1(x \geq 0), H(x) = 0(x < 0)$ (12)

위 식을 패킷 결합 개수(c_{PA})로 표현하면 아래와 같다.

$T_a < 177.3$ 일 때,

$$R(c_{PA}) \cong 94.2 - 0.024 \left(\rho + S \left(\frac{t_i}{s_p} + \frac{h}{r} \right) - \frac{t_i s_h}{s_p} - t_i \right) - \gamma_1 - \gamma_2 \gamma_3 \left(1 - \prod_{n=1}^h (1 - p_n S) \right)$$

for $S = s_h + c_{PA} \cdot s_p$ (13)

$T_a \geq 177.3$ 일 때,

$$R(c_{PA}) \cong 94.2 - 0.134 \left(\rho + S \left(\frac{t_i}{s_p} + \frac{h}{r} \right) - \frac{t_i s_h}{s_p} - t_i \right) - \gamma_1 - \gamma_2 \gamma_3 \left(1 - \prod_{n=1}^h (1 - p_n S) \right)$$

for $S = s_h + c_{PA} \cdot s_p$ (14)

2.1.2. 무선 멀티 홉 네트워크에서의 에너지소비 모델

앞에서 언급했듯이 패킷 결합 기법을 하는 경우 각 노드는 전송횟수를 줄일 수 있으므로 각 노드의 에너지 소모가 절약될 수 있다. 에너지 모델은 참고논문 [22],[23]에서 제안한 모델은 사용하였다. 관련 파라미터를 표 4. 와 같이 정의하면 에너지 모델은 아래와 같이 정의된다.

$$E_{Tx} = E_{elec}S + E_{amp}Sd^2 \quad (15)$$

$$E_{Rx} = E_{elec}S \quad (16)$$

우리는 이러한 에너지 모델을 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 패킷 결합 개수에 따른 에너지 모델로 정의하였다. 총 패킷 전송 횟수는 총 패킷 발생 개수(n_p)를 패킷 결합 개수(c_{PA})로 나눈 값으로 정의할 수 있다. 따라서 송신노드에서 소모되는 에너지양은 송신하는데 필요한 에너지양으로 아래와 같이 정의하였다.

$$E_{source} = \frac{E_{Tx} \cdot n_p}{c_{PA}} \quad (17)$$

표 4. 종단 간 지연 파라미터 정의

Table 4. End-to-End Delay Parameter Definition

파라미터	정의
E_{Tx}	송신모드일 때 하나의 결합된 VoIP 패킷을 전송하기 위해 요구되는 에너지
E_{Rx}	수신모드일 때 하나의 결합된 VoIP 패킷을 수신하기 위해 요구되는 에너지
S	하나의 결합된 VoIP 패킷의 크기
E_{elec}	VoIP 패킷을 생성하는데 필요한 전자 회로에서의 에너지 소비량
E_{amp}	VoIP 패킷을 전송하는데 필요한 증폭기에서의 에너지 소비량
d	송신모드인 노드와 수신모드인 노드사이의 거리
n_p	총 발생하는 VoIP 패킷 개수

또한 수신노드에서 소모되는 에너지양은 수신노드 기송신노드로부터 h 홉 떨어진 거리에 있다고 할 때 각 홉에서 모두 성공한 패킷을 수신하는데 필요한 에너지 양으로 아래와 같이 정의하였다.

$$E_{destination} = \frac{E_{Rx} \cdot n_p}{c_{PA}} \prod_{n=1}^h (1 - p_n)^S \quad (18)$$

마지막으로 중개노드에서 소모되는 에너지양은 패킷을 송·수신하는데 필요한 에너지양을 모두 고려하여 아래와 같이 정의하였다.

$$E_{relay} = \frac{(E_{Rx} + E_{Tx})n_p}{c_{PA}} \sum_{m=1}^{h-1} \prod_{n=1}^m (1 - p_n)^S \quad (19)$$

따라서 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 패킷 결합 개수에 따른 총 에너지 소모 모델은 아래와 같이 정의 된다. 이식을 간략하게 표현하기 위해 p_{suc} 식을 1차 테일러급수로 전개하였다.

$$E = E_{source} + E_{relay} + E_{destination} \cong \frac{n_p}{c_{PA}} \left\{ E_{Tx} + (E_{Rx} + E_{Tx}) \sum_{m=1}^{h-1} \prod_{n=1}^m (1 - p_n \cdot S) + E_{Rx} \prod_{n=1}^h (1 - p_n \cdot S) \right\} \quad (20)$$

$c_{PA} = \frac{S - s_h}{s_p}$ 이므로, 위의 식을 패킷 결합 개수(c_{PA})로 표현하면 아래와 같다.

III. 실험

$$E(c_{PA}) \cong \frac{n_p s_p}{S - s_h} \left[(E_{elec} + E_{amp} d^2) S + (2E_{elec} + E_{amp} d^2) S \sum_{m=1}^{h-1} \prod_{n=1}^m (1 - p_n S) + E_{elec} S \prod_{n=1}^h (1 - p_n S) \right] \text{ for } S = s_h + c_{PA} \cdot s_p \quad (21)$$

2.2. 효율적인 패킷 결합 기법 소개

본 논문은 무선 멀티 홉 환경에서 VoIP 패킷들을 효율적으로 전송하기 위한 방안을 제시하기 위해 앞에서 유도한 R-factor 값(R)과 에너지 소모(E)간의 트레이드오프 관계를 비용 함수로 아래와 같이 표현한다.

$$f(R, E) = \alpha R + \beta E \text{ for } R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, E_{\min} \leq E \leq E_{\max} \quad (22)$$

비용함수는 R 값이 최대이고, E 값이 최소일 때 최댓값(1)을 갖으며 R 값이 최소이고, E 값이 최대일 때 최솟값(0)을 갖는다. 즉, $f(R_{\max}, E_{\min}) = 1$ 이고, $f(R_{\min}, E_{\max}) = 0$ 을 만족하는 α, β 값을 구하면 아래와 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{E_{\max}}{E_{\max} R_{\max} - E_{\min} R_{\min}}, \beta = \frac{R_{\min}}{E_{\min} R_{\min} - E_{\max} R_{\max}} \quad (23)$$

이때, 우리는 R_{\max} 값을 종단 간 지연과 패킷 손실로 인한 영향을 전혀 받지 않을 때 즉, $I_d = I_e = 0$ 일 때의 값 94.2로 정의한다. R_{\min} 값은 표 1. 에 정의된 MOS 최솟값 2.58일 때의 R-factor 값 50으로 정의한다. E_{\max} 값은 식(20)에서 패킷 손실률이 전혀 없을 때 ($p_n = 0$), 패킷 결합을 하지 않고 각각의 패킷을 전송했을 때의 에너지 소모량으로 정의하고, E_{\min} 값은 R-factor 값이 $R_{\min} = 50$ 을 만족하는 최대 패킷 결합 개수로 전송했을 때의 에너지 소모량으로 정의하였다. 이때, $R_{\min} = 50$ 을 만족하기 위한 조건은 패킷손실률(p_i)이 4.13%이내를 만족하고, 최대 종단 간 지연(D_max)이 270ms를 넘지 않아야 한다. 효율적인 패킷 결합 개수를 정의하고자 우리는 위에서 구한 비용 함수(22)식을 패킷 결합 개수로 미분하여 비용함수를 최대화하는 패킷 결합개수를 가장 효율적인 패킷 결합 개수로 정의하였다.

시뮬레이션 환경은 801.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 라우팅 경로가 이미 결정되어 있는 선형 토폴로지(linear topology)를 가정하였다. 패킷 결합 기법으로는 종단 간 패킷 결합기법을 적용하였고 송신노드와 수신노드가 일대일로 연결되어 있을 때를 가정하였다. 무선 채널환경은 균일한(uniformly) 랜덤 채널 모델로 가정하며, 데이터 전송속도는 802.16d-2004기반에서의 데이터 전송속도 75Mbps로 가정하였다^[24]. 최대 종단 간 지연은 대부분의 사용자가 VoIP 서비스 품질을 만족해하는 270ms로 정의하였다^[25]. 다른 시뮬레이션 파라미터들은 표 5. 와 같이 정의하였다. 지연 시간은 G.729 코덱에서의 지연시간으로 정의하였다^[26].

표 5. 시뮬레이션 파라미터 값 정의
Table 5. Simulation Parameter Value Setup

파라미터	값	파라미터	값
D_{enc}	17.5ms	s_h	46bytes
D_{dec}	2.5ms	s_p	10bytes
D_{pack}	20ms	E_{elec}	0.1nJ/bit
D_{que}^n	10ms	E_{amp}	50nJ/bit/m ²
D_{prop}^n	0.033μs	d	10m
D_{jit}	60ms	h	2,3
t_i	20ms	n_p	3×10^8
R_{\max}	94.2	E_{\min}	8322,12435j
R_{\min}	50	E_{\max}	31680,47520j
D_{\max}	270ms	r	75Mbps

n번째 홉에서의 BER(p_n)값의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 값을 2홉과 3홉 상황에서 각각 진행하였다. 그림 2,3. 은 패킷 결합 개수(c_{PA})에 따른 R-factor 값을 표현하였다. 패킷 결합 개수가 증가할수록 R-factor 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 무선 채널 환경에서 패킷 결합 개수가 증가할수록 패킷 크기가 커져 패킷 손실률이 증가하고, 패킷 결합으로 인한 추가 지연이 발생하여 종단 간 지연이 증가하기 때문이다. 패킷 결합 개수가 4일 때 전환점이 생기는데 이는 종단 간 지연이 177.3ms를 기점으로 I_d 값이 급격하게 증가하기 때문이다. 사용자가 VoIP 서비스 품질을 만족하기 위한 MOS 값은 3.6을 넘을 때 이므로 2홉일

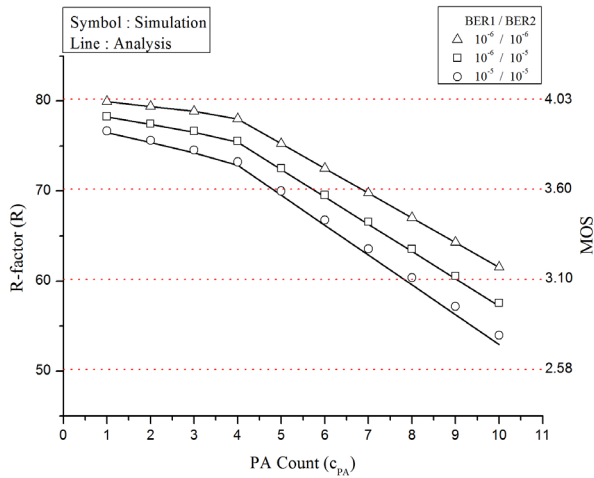


그림. 2. 패킷 결합 개수에 따른 R-factor 변화 (2홉)
Fig. 2. The R-factor as a function of c_{PA} (2hop)

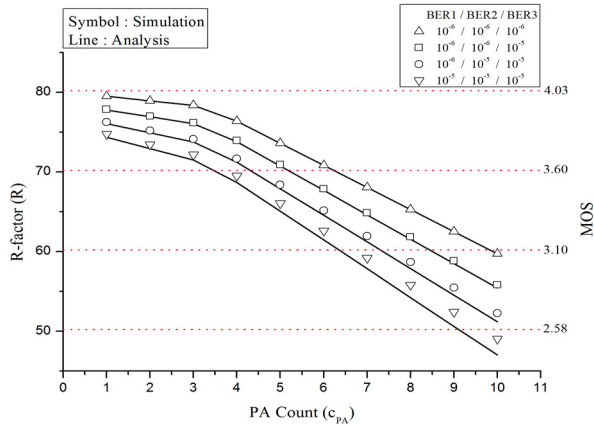


그림. 3. 패킷 결합 개수에 따른 R-factor 변화 (3홉)
Fig. 3. The R-factor as a function of c_{PA} (3hop)

때 최대 패킷 결합 개수는 5개라는 것을 그림 2. 를 통해 확인할 수 있다.

그림 4. 은 패킷 결합 개수(c_{PA})에 따른 에너지 소모 값을 2홉과 3홉으로 표현하였다. 패킷 결합 개수가 증가함에 따라 에너지 소모 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 여러 개의 작은 패킷을 결합하여 크기가 큰 패킷을 한 번에 전송하게 되면 한번 전송할 때의 에너지는 더 많이 소모되지만 작은 패킷을 여러 번 보내는데 소모되는 에너지보다는 적은 양의 에너지가 소모되기 때문이다.

위의 두 시뮬레이션 결과를 통해 R-factor와 Energy 소모 간의 트레이드오프 관계가 성립하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5, 6. 은 R-factor와 에너지 소모 간의 트레이드오프 관계를 표현하였다.

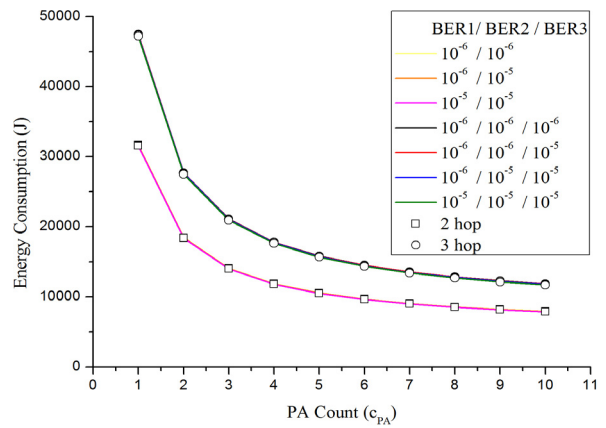


그림. 4. 패킷 결합 개수에 따른 에너지 소모 값 변화
Fig. 4. The Energy Consumption as a function of c_{PA}

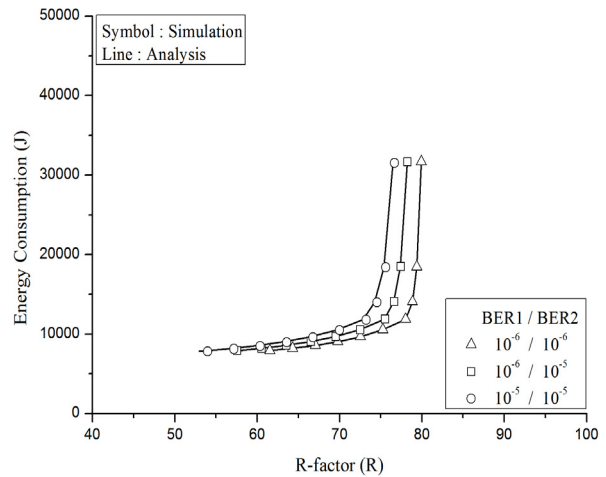


그림. 5. R-factor와 에너지 소모간의 관계 (2홉)
Fig. 5. The relation between R-factor and Energy Consumption (2hop)

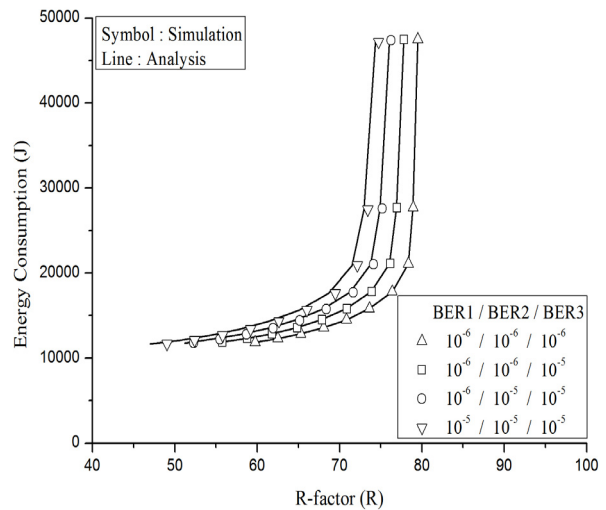


그림. 6. R-factor와 에너지 소모간의 관계 (3홉)
Fig. 6. The relation between R-factor and Energy Consumption (3hop)

그림 7. 에서는 2홉에서의 패킷 결합 개수에 따른 비용함수를 표현하였고, 그림 8. 에서는 3홉에서의 패킷 결합 개수에 따른 비용함수를 표현하였다. 패킷 결합 개수가 증가할수록 비용함수 값이 증가하다가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 패킷 결합 개수가 커지면 에너지 소모 값이 줄어들고, R-factor 값이 감소하는데 이때 에너지 소모로 인한 이득이 더 크기 때문에 비용함수가 증가하다가 R-factor 값의 감소로 인한 손실이 더 커져 비용함수가 감소하게 된다. 이때, 비용함수 값이 최대가 되는 패킷 결합 개수가 VoIP 서비스를 만족하면서, 각 노드들의 에너지 소모를 줄이는 효율적인 패킷 결합 개수(c_{PA})이다.

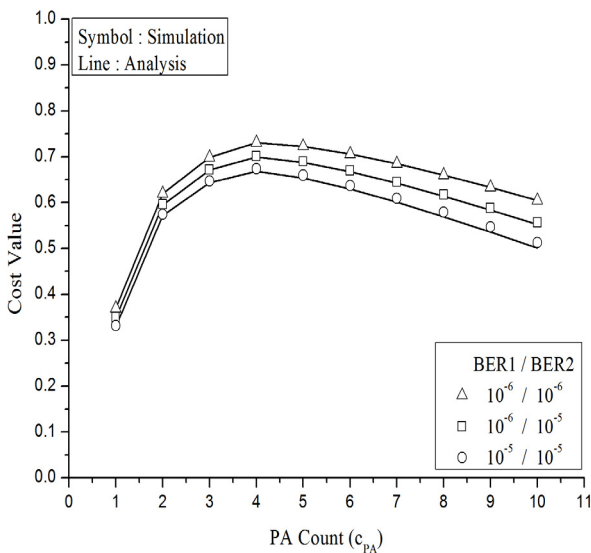


그림 7. 패킷 결합 개수에 따른 비용 함수 변화 (2홉)
Fig. 7. The cost function as a function of c_{PA} (2hop)

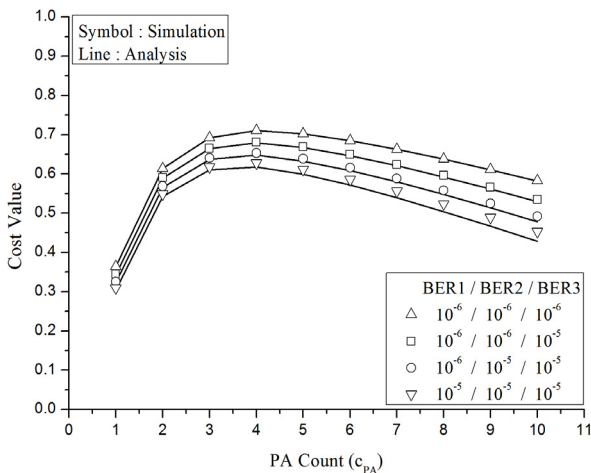


그림 8. 패킷 결합 개수에 따른 비용 함수 변화 (3홉)
Fig. 8. The cost function as a function of c_{PA} (3hop)

IV. 결 론

본 논문에서 우리는 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 종단 간 지연으로 인한 통화품질 장애요소 I_d 값과 패킷 손실로 인한 통화품질 장애요소 I_e 값을 패킷 결합 개수(c_{PA})에 대한 함수로 정의하였고, 이 두 가지 요소를 R-factor 수식에 대입하여 패킷 결합 개수가 VoIP 음성 통화 품질에 미치는 영향을 확인하였다. 또한, 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서 송신노드와 중계노드 그리고 수신노드 각각에서 VoIP 패킷을 전송하는데 필요한 에너지 소모 값을 패킷 결합 개수(c_{PA})에 대한 함수로 정의하였고, 이러한 네트워크상의 모든 노드들의 총 에너지 소모량에 패킷 결합 개수가 미치는 영향을 확인하였다. 이렇게 계산된 수식을 통해 패킷 결합 개수가 증가하게 되면 음성 통화 품질인 R-factor 값이 감소하는 단점이 있지만 네트워크상에 모든 노드는 에너지 소모를 줄일 수 있다는 장점을 갖는 트레이드오프 관계에 있다는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 R-factor와 총 에너지 소모 값을 동시에 고려한 비용함수를 수식적으로 도출하였다. 또한, 시뮬레이션 결과 값과 수식을 통해 계산된 값이 일치하는 것을 확인하였고 최적의 패킷 결합 개수를 유도하였다.

종단 간 패킷 결합 기법은 네트워크상에 트래픽이 적을 때 큐잉으로 인한 지연이 거의 발생하지 않아 적용하기 좋은 기법이지만 트래픽이 많은 경우 큐잉지연으로 인해 종단 간 지연이 증가하여 VoIP 서비스 품질이 급격하게 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 경우 홉 간 패킷 결합 기법을 적용하는 것이 더 효율적일 것으로 판단되며 무선 멀티 홉 네트워크 환경에서의 적용 방안에 관한 연구를 추가적으로 진행할 예정이다.

References

- [1] Shelby, Z, "Energy optimization in multihop wireless embedded and sensor networks," *PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on*, vol.1, pp.221-225, 2004.
- [2] Y. Xiao, "Concatenation and Piggyback Mechanisms for the IEEE 802.11 MAC," *WCNC 2004. IEEE*, vol.3, pp.1642-1647, 2004.
- [3] M. N. D. G Ashish Jain, Marco Gruteser,

- “Benefits of packet aggregation in ad-hoc wireless networks,” *Department of Computer Science, Univ. of Colorado at Boulder, Tech. Rep. CU-CS-960-03*, 2003
- [4] S. K. Kim, H. G. Kim, and H. J. Lee, “Improving VoIP call capacity of multi-hop wireless networks through self-controlled frame aggregation,” *Proc. VTC*, pp. 1-5, 2006.
- [5] Badard, B, Diascorn, V, Boulmier, G., Vicard, A.D, Renard, V, Dimassi, A.H., “Migration to VoIP over Mobile Networks: Technical Challenges and Economic Opportunity Analysis,” *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (NETWORKS) 2010 14th International*, pp.1-7, 2010.
- [6] Van Geyn, D., Hassanein, H., El-Hennawey, M.S., “Voice Call Quality Using 802.11e On A Wireless Mesh Network,” *LCN 2009. IEEE 34th Conference on*, pp.792-799, 2009.
- [7] Weihuang Fu, Yun Wang, Agrawal, D.P., “Delay and Capacity Optimization in Multi-radio Multi-channel Wireless Mesh Networks,” *IPCCC 2008. IEEE International*, pp.152-159, 2009.
- [8] Siddique, M., Kamruzzaman, J., “VoIP Call Capacity over Wireless Mesh Networks,” *GLOBECOM 2008. IEEE*, pp.1-6, 2008.
- [9] Yi Xian, Chin-Tser Huang, “Securing VoIP Services in Multi-hop Wireless Mesh Networks,” *ISWCS 2007. 4th International Symposium on*, pp.513-517, 2007.
- [10] Gohari, A.A, Rodoplu, V, “DMQR : A spatial routing protocol to enable voip over high mobility wireless multihop networks,” *GLOBECOM Workshops 2010 IEEE*, pp.1232-1237, 2010.
- [11] Meddour, Djamal-Eddine, Kortebi, Riadh, Gourhant, Yvon, Agoulmine, Nazim, “SINR-Based Routing in Multi-Hop Wireless Networks to Improve VoIP Applications Support,” *CCNC 2007. 4th IEEE*, pp.491-496, 2007.
- [12] J. Okech, A. Kurien, and M. Odhiambo, “Link-based voip aggregation in mesh networks,” in *Proc. NTMS*, pp.1-5, 2008.
- [13] Azevedo P.H, Caetano M.F, Bordim J.L, “A Packet Aggregation Mechanism for Real Time Applications over Wireless Networks,” *IEEE International Symposium on*, pp.648-655, 2011.
- [14] K. Kim, S. Ganguly, R. Izmailov, and S. Hong, “On Packet Aggregation Mechanism for Improving VoIP Quality in Mesh Networks,” in *Proc. IEEE VTC*, vol. 2, pp. 891-895, 2006.
- [15] J. Xu, K. Li, Y. Shen, G. Min, and W. Qu, “Adaptive Energy-Efficient Packet Transmission for Voice Delivering in Wireless Sensor Networks” in *Proc. NPC*, 2009.
- [16] Khyati Marwah, Dr. Gurpal Singh, “VoIP over WMN: Effect of packet aggregation”, in *IJCSE*, Vol.3, No.6, 2011.
- [17] ITU-T Recommendation G.107, “The E-Model, a computational model for use in transmission planning”, 1998.
- [18] Cole, R.G. and J. Rosenbluth, “Voice Over IP Performance Monitoring,” *Journal of Computer Communications Review*, vol. 4, no. 3, 2001.
- [19] Qi Zhang, Villy B.Iversen, Frank H.P. Fitzek, “Throughput and delay performance Analysis of Packet Aggregation Scheme for PRMA,” in *Proc. WCNC*, pp. 1380-1384, 2008.
- [20] Karam, M. J, Tobagi F.A, “Analysis of the delay and jitter of voice traffic over the Internet,” in *Proc. INFOCOM*, 2001.
- [21] L. Ding, R. A. Goubran, “Speech Quality Prediction in VoIP Using the Extended E-Model,” in *Proc. IEEE GLOBECOM*, vol. 7, pp.3974-8, 2003.
- [22] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks,” in *Proc. Hawaii International Conference on System Sciences*, 2003.

- [23] Alice Wang, Wendi B. Heinzelman, Amit Sinha and Anantha P. Chandrakasan, "Energy-Scalable Protocols for Battery-Operated MicroSensor Networks", *the journal of VLSI signal processing*, vol.29, pp.223-237, 2000.
- [24] M. Kas, B. Yargicoglu, I. Korpeoglu, E. Karasan, "A Survey on Scheduling in IEEE 802.16 Mesh Mode," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol.12, No.2, 2010.
- [25] ITU-T Recommendation G.114, "One-way transmission time," 1998.
- [26] B. Goode, "Voice over Internet protocol (VoIP)," in *Proc. IEEE*, vol. 90, pp. 1495-1517, 2002.

정 지 영 (Ji-Young Jung)



2011년 2월 중앙대학교 전자
전기 공학부 졸업
2011년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학과 석사과정
<관심분야> 이동 통신공학, 에
드혹 네트워크, 저 전력 통
신 프로토콜 등

강 현 식 (Hyun-Sik Kang)



2010년 2월 중앙대학교 전자
전기 공학부 졸업
2010년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학과 석사과정
<관심분야> 이동 통신공학, 메
쉬 네트워크, 자원할당기법,
핸드오버 기법 등

이 정 루 (Jung-Ryun Lee)



1995년 2월 서울대학교 수학과
졸업
1997년 2월 서울대학교 수학과
석사
2006년 8월 KAIST 전기 및
전자 공학과 박사
2008년 3월~현재 중앙대학교
전자전기공학부 부교수
<관심 분야> 저 전력 통신 프로토콜, 메쉬 네트워
크, 네트워크 이동성, 생체모방 통신 등