

## 가변 멀티코덱 기반 종단간 QoS 제공방안

김정록<sup>0</sup>, 강태규\*, 김도영\*, 정성호

한국외국어대학교 정보통신공학과

\*한국전자통신연구원

onlycom79@hufs.ac.kr<sup>0</sup>, {tgkang, dyk}@etri.re.kr, shjeong@hufs.ac.kr

### An End-to-End QoS Mechanism based on Multi-Bit Rate Codecs

Jeong-Rok Kim<sup>0</sup>, Tae-Gyu Kang\*, Do Young Kim\*, Seong-Ho Jeong

Dept. of Information and Communications Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

\*Electronics and Telecommunications Research Institute

#### 요 약

차세대 통신망은 IP 기반 핵심망을 중심으로 무선 액세스망을 비롯한 다양한 액세스망들이 접속되는 형태가 될 것으로 전망되고 있다. 이러한 망 환경에서 사용자가 만족할 수 있는 수준까지 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 서비스품질(QoS)이 필수적으로 보장되어야 한다. 특히, 종단간(end-to-end) QoS가 보장되어야 하는데, 이러한 종단간 QoS를 보장하기 위해서는 네트워크 QoS 뿐만 아니라 애플리케이션 계층에서의 QoS도 함께 지원되어야 한다. 본 논문에서는 네트워크에서 혼잡현상이 발생할 경우, 종단간 QoS를 제공하기 위해 송신측에서 가변 멀티코덱(애플리케이션 계층)을 사용하여 트래픽손실 및 지연을 줄일 수 있는 방법을 제안하고, 시뮬레이션을 이용한 성능 분석결과를 제시함으로써 제안된 방식의 타당성을 보인다.

#### 1. 서 론

다양한 이종 액세스망들이 접속되는 차세대 통신망에서 사용자에게 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 종단간(End-to-End) QoS 지원이 필수적이다. 이러한 종단간 QoS를 지원하기 위해서는 네트워크에서의 QoS 지원뿐만 아니라 애플리케이션 계층에서의 QoS 지원도 요구된다. 예를 들면, 네트워크에서 혼잡이 발생하는 경우, 종단시스템(end system)에서 가변 멀티코덱을 사용하여 네트워크의 혼잡도를 줄이고 트래픽의 손실 및 지연을 최소화할 수 있다.

네트워크의 상황에 맞게 적합한 가변 멀티코덱 전송률을 결정하기 위해서는 네트워크상의 혼잡상황을 신속히 전달하는 시그널링 방식과 이를 이용한 가변 멀티코덱 제어 방안이 필요하다.

본 논문에서는 이종망들로 구성된 네트워크 환경에서 가변 멀티코덱을 사용하는 멀티미디어 애플리케이션의 종단간 QoS를 지원하는 방안을 제시한다. 아울러, 제시된 방안의 성능을 입증하기 위해, 여러 이종망들로 구성된 하이브리드(Hybrid) 네트워크 시뮬레이션 모델을 설계하고, 다양한 네트워크 혼잡 시나리오를 토대로 시뮬레이션을 수행하여 종단간 QoS를 측정, 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 네트워크의 혼잡상황에 따른 적응적 QoS 제공 및 인코딩 기술과

관련된 기존 연구 및 기술 동향을 살펴본다. 3절에서는 네트워크의 혼잡상황에 따라 인코딩 기법을 달리하는 가변대역 멀티코덱 기법을 살펴보고, 4절에서는 이종망 환경에서의 다양한 시뮬레이션 결과를 토대로 가변 멀티코덱의 성능을 분석한다. 끝으로, 5절에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

#### 2. 적응적 QoS 관련 연구

##### 2.1 무선채널상의 적응적 음성통신을 위한 프레임워크

다른 트래픽에 비해 지연, 지터 등에 더 민감한 실시간 음성 트래픽을 지원하기 위해서는 네트워크에서의 QoS 보장이 이루어져야 한다. 일반적으로, 음성 트래픽의 손실은 데이터 트래픽에서 사용되는 재전송으로 해결할 수 없는데, 이는 재전송이 이루어지는 경우 지연이 증가하기 때문이다. 또한 음성 트래픽은 등시성(isochronous) 특성을 갖고 있어 지터에 매우 민감하다. 이러한 이유들로 인해 보통 음성 트래픽은 지연이나 지터가 없는 항등 비트율(constant bit rate: CBR)로 전송되는 것이 바람직하다. 그러나, 음성은 평균적으로 42%의 activity를 가지고 있어 내재된 트래픽 패턴의 가변성을 가지고 있다. 따라서, 음성이 회선교환방식을 이용하여 비압축 트래픽으로 전송되는 경우, 이러한 묵음기간을 이용하지 못하게 되어 멀티플렉싱 이득을 얻

지 못하게 된다[1].

한편, 무선 네트워크에서는 무선 신호가 흡수, 산란, 간섭, 다중경로 페이딩으로 인한 채널상태의 가변성과 음성트래픽의 가변성이 고려되어야 한다. 이러한 상황에서 적응적 메커니즘을 사용하면 음성 트래픽 소스가 항상 고정된 속도로 음성 트래픽을 전송하지 않고, 채널 상태가 좋지 않으면 덜 압축된 트래픽을 전송할 수 있다. 이 때 고려하여야 할 주요 파라미터들은 인코딩 속도와 신호 변조 방식이다. 채널이 좋은 상태에 있으면, 소스는 낮은 속도(예를 들면, 16kbps)로 전송하고 조밀한(dense) 변조(예를 들면, QAM) 기법을 사용할 수 있다. 한편, 채널 페이딩이 심각하면, 음성 트래픽을 압축하지 않고(즉, 64 kbps로 전송), BPSK 변조가 사용된다.

변조기법은 동일한 대역폭의 사용으로 더 많은 데이터를 전송할 수 있게 한다. 이것은 심볼당 더 많은 비트들의 인코딩을 통해 가능한데, 일반적으로 변조가 조밀할수록 심볼당 비트 수는 증가하게 된다. 그러나, 그림 1에서 알 수 있듯이 심볼당 비트 수가 증가하면 비트에러 확률(BER)이 증가하게 되는데, 이는 수신기가 신호의 아주 작은 변화를 감지하기 위해 정확성을 가지고 신호를 검출하지 못하기 때문이다[2].

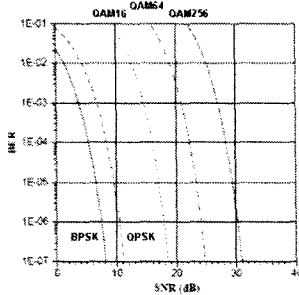


그림 1 변조방식에 따른 SNR과 BER

## 2.2 IP 망에서의 적응적 MPEG4 인코딩

적응적 MPEG4 인코더는 세가지 다른 프레임 타입(I, P, B)을 생성을 통하여 송신측에서의 전송속도를 변경할 수 있고, 또 비디오 패킷을 낮은 우선순위의 패킷과 높은 우선순위 패킷으로 분류할 수 있다. 라우터로부터 송신측으로 전달된 혼잡상황 정보를 토대로 송신측에 있는 흐름 제어기는 적응적 MPEG4 인코더의 전송속도를 다시 계산하고, 비디오 스트림 내의 높은 우선순위 패킷과 낮은 우선순위 패킷의 비율을 설정한다. 이러한 방법을 통해 개선된 대역폭의 활용, 혼잡에 대한 반응 시간의 축소, 그에 따른 비디오 품질 개선, 혼잡시의 적절한 품질 수준 유지, 혼잡상황에서의 최소한의 품질 제공 등이 가능하다[3].

이러한 멀티캐스트 MPEG4를 위한 구조를 지원하는 QoS 제공 네트워크에서는 혼잡 시간에 우선순위를 가

지고 패킷 폐기를 지원하는 기능이 필요하며, 라우터에서 멀티캐스트 송신자에게 혼잡통지를 제공하는 것이 필요하다.

### 2.2.1 다중 RED 버퍼 관리

첫 번째 요구사항에 적합한 서비스 차별화를 수행하기 위해 RED(Random Early Detection) 방식의 큐가 사용될 수 있는데, RED[4]는 IP 네트워크에서의 혼잡을 피하기 위해 사용될 수 있는 버퍼 관리 기술이다. RED 큐를 사용하는 라우터는 큐 사이즈의 평균값을 계산함으로써 곧 다가올 혼잡현상을 미리 예측한다. 그림 2에서와 같은 구조를 갖는 RED 큐는 평균 큐 사이즈가 계속 증가하여 특정 임계값을 초과하면 네트워크 혼잡의 징조로 인식한다. 패킷이 도착하면 라우터는 평균 큐 사이즈와 최소 threshold( $min_{th}$ ) 값, 최대 threshold( $max_{th}$ )를 비교하고 그 결과에 따라 다음 세 가지 중 하나의 반응이 일어난다.

- 평균 큐 사이즈가  $min_{th}$  값보다 작으면 아무런 반응도 일어나지 않는다.
- 평균 큐 사이즈가  $min_{th}$  값보다 크고  $max_{th}$  값보다 작으면 확률적으로 유입되는 패킷이 폐기된다.
- 평균 큐 사이즈가  $max_{th}$  값보다 크면 유입되는 패킷은 모두 폐기된다.

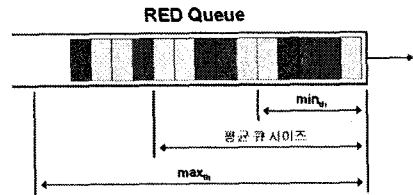


그림 2 RED 큐의 논리적인 구조

서로 다른 우선순위를 갖는 트래픽 클래스들에 대한 차별화를 실현하기 위해서는 각 클래스마다 적합한 RED 파라미터들( $min_{th}, max_{th}$ )의 값을 유지해야 한다. 즉 두 개의 우선순위 클래스가 있으면, 두 개의 파라미터 세트가 유지되어야 한다. 각각의 파라미터 세트는 해당 우선순위 클래스에 속한 패킷에 적용된다. 예를 들면, VoIP(Voice over IP) 등 실시간 서비스 클래스는 다른 클래스와는 다른 파라미터를 사용하여 차별화되도록 할 수 있다.

### 2.2.2 다중 버퍼를 갖는 RED와 BECN

전술한 바와 같이, RED 기법에서, 만일 큐의 크기가  $min_{th}$  값과  $max_{th}$  값 사이에 위치한다면 유입되는 패킷이 일정 확률값을 토대로 폐기된다. 만일 TCP를 사용하는 경우에 ECN(Explicit Congestion Notification)이 사용된다면 패킷에 혼잡상황이 표시되고, 수신자에게 보내진다. 수신자는 ACK 메시지의 TCP 헤더에

ECN 플래그를 표시하고 송신자에게 다시 보낸다. 송신자는 이 ACK의 정보에 따라 혼잡 윈도우(congestion window)를 줄이는 반응을 보일 뿐만 아니라 Slow-Start threshold를 줄인다. 송신자는 자신의 이러한 처리사항을 알려 수신자가 ACK를 더 전송하지 않도록 한다. 이 메커니즘은 TCP 송신자가 패킷패기를 하지 않도록 혼잡상황이 발생하기 전에 반응할 수 있도록 한다. 그러나, 이 방식은 다음과 같은 제약이 있다.

- 이 방식은 TCP와 연결되어 사용된다.
- 송신자가 망의 상황에 반응하기 전에 한 번의 왕복시간(round trip time)이 걸린다.

다른 연구[5]에서는 송신자의 반응이 신속히 이루어지도록 IP 계층에서의 피드백을 송신자에게 보낸다. 즉 큐의 크기가  $min_{th}$  값과  $max_{th}$  값 사이에 있을 때 이 피드백 메시지를 송신자에게 보낸다. 이를 Backward ECN (BECN)이라고 하며, IP 시그널링 메커니즘인 ICMP를 사용하여 동작한다. 라우터에서 ICMP Source Quench (ICMP SQ) 메시지를 송신자에게 전송하면 송신자의 반응시간을 ECN보다 줄일 수 있다. 또한, 이 방식은 IP 레벨에서의 메커니즘이므로 TCP 이외의 전송 프로토콜과 함께 작동할 수 있다.

### 3. 가변 멀티코덱을 이용한 종단간 QoS 지원

2절에서는 다양한 환경에서 다양한 미디어에 대한 적응적 QoS 제공 관련 연구동향을 살펴 보았다. 본 절에서는 VoIP 서비스를 위한 가변 멀티코덱 제어를 통한 종단간 QoS 제공방안을 제시한다.

VoIP 패킷은 인터넷상에서 전송되는 다른 패킷에 비하여 패킷 길이가 상대적으로 짧아 요구되는 대역폭이 매우 작다. 음성패킷은 이와 같이 패킷 길이가 크지 않아 어떠한 네트워크에서도 전달 가능성이 높은 장점이 있으나, 실시간을 요구한다. 이러한 네트워크 대역폭과 네트워크 대역폭에 따른 인코딩(IP 패킷 길이)간의 관계를 분석하는 것은 중요한 이슈이다.

#### 3.1 TTA SMR 코덱 IP 패킷 길이 분석

TTA SMR 코덱은 2004년에 TTA 표준 규격으로 채택된 광대역 코덱이다. TTA SMR은 G.711, G.723.1 5.3, G.723.1 6.3, G.729를 협대역으로 하고 그 위에 광대역을 추가한 코덱이다.

이 코덱의 특징은 네트워크 상태(트래픽 밀집도)가 혼잡하면(대역폭 여분이 없으면), IP 패킷 길이가 짧은 협대역을 보내고, 혼잡하지 않으면(대역폭 여분이 많으면), IP 패킷 길이가 긴 광대역을 보낸다. TTA SMR의 코덱 길이는 다음 그림과 같다.

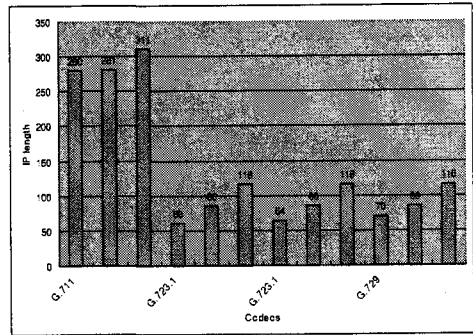


그림 3 TTA SMR 코덱 IP 패킷 길이 분석

#### 3.2 ITU-T Q.729EV 코덱 IP 패킷 길이 분석

Q.729EV 코덱은 G.729 기반의 협대역 코덱으로 8, 12, 14를, 광대역 코덱으로 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32를 코드화한다. 네트워크 대역폭의 상태에 따라 협대역, 광대역 코덱을 선택하여 보낼 수 있다. 네트워크 상태(트래픽 밀집도)가 혼잡하면(대역폭 여분이 없으면), 트래픽 밀집도가 높으면, IP 패킷 길이가 짧은 협대역 트래픽을 보내고, 혼잡하지 않으면(대역폭 여분이 많으면), 트래픽 밀집도가 낮으면, IP 패킷 길이가 긴 광대역 트래픽을 보낸다.

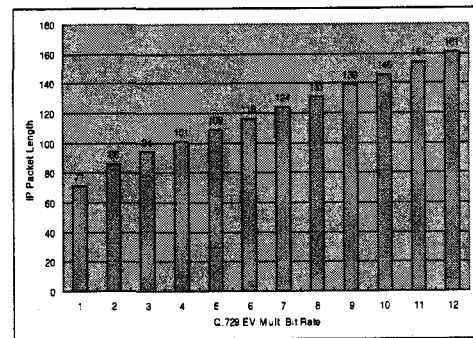


그림 4 Q.729EV 코덱 IP 패킷 길이 분석

#### 3.3 가변 멀티코덱 전송률 선정 알고리즘

전송률 선정 알고리즘은 네트워크 상태 결과를 수신한 후 해당되는 가변대역 멀티 코덱의 적절한 전송률을 선정하기 위해 필요한 기법이다. 즉, 네트워크에서 어떠한 대역폭을 수용할 수 있는 상태인지 여부를 점검하여, 지연 및 손실 등을 최소화하기 위해서 여러 가변 전송률(8, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32) 가운데 최적의 전송률을 선택한다.

일반적으로, 전송률이 높은 것(예를 들면, 32)이 QoS(음질)가 가장 좋다. 그러나, 전송률이 높을수록 패킷 지연과 손실의 위험이 크므로, 네트워크 가용 대역폭 정보에 따라 적절한 값을 결정하여야 한다.

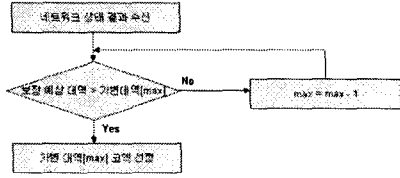


그림 5 전송률 선정 알고리즘

4. 시뮬레이션을 통한 적응적 인코딩 방식의 성능분석

본 절에서는 NS-2 시뮬레이터[6]를 이용한 시뮬레이션을 통하여 IP 네트워크와 WLAN 환경에서 본 논문에서 제시된 적응적 인코딩 방식(가변 멀티코덱을 이용한 중단간 QoS 제공방식)의 성능을 분석한다.

4.1 적응적 인코딩을 위한 시뮬레이션 모델

유선 네트워크 또는 무선 네트워크의 한정된 자원을 효율적으로 사용하고 사용자가 요구하는 QoS를 제공하기 위해서는 망의 자원을 관리하는 기능이 필요하다. 이러한 기능을 수행하는 RM(Resource Manager)는 시그널링을 통해서 자원 요구 처리 및 자원 할당을 수행할 수 있다. 본 논문에서 설계 및 구현한 Agent의 이름은 'Signaling' Agent이며, 이 Agent의 기능은 다음과 같다.

- **Incoming data rate monitoring:** RM이 탑재된 라우터를 통과하는 트래픽의 데이터 전송률을 측정하여 RM이 각 트래픽의 송신자에게 상황에 적합한 피드백 정보를 보낼 수 있도록 한다.
- **Signaling:** 측정된 트래픽의 데이터 전송률을 바탕으로 혼잡 발생여부를 각 트래픽의 송신자에게 알려준다.

네트워크에서 혼잡이 발생할 때 송신자에게 피드백 메시지를 보내어 송신자가 스스로 전송률을 줄이는 처리 과정은 그림 6에서 나타난 것과 같다. 이 그림은 송신자가 수신자에게 트래픽을 전송하는 과정에서, 라우터에서 혼잡이 발생하는 경우 송신자에게 피드백 정보를 보내어 송신자가 데이터 전송률을 조절하는 과정을 보여주고 있다.

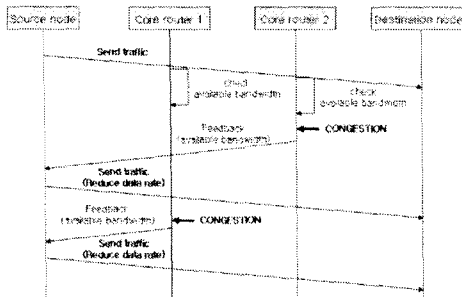


그림 6 Signaling Agent의 처리 과정

4.1.2 Signaling Agent의 구현

트래픽이 Signaling Agent가 동작하는 라우터에 도달하면 Signaling Agent는 해당 트래픽을 항상 monitoring하도록 설계되었다.

Signaling Agent는 RED 큐를 사용하는 네트워크에 적합하도록 설계되었다. RED 큐의 평균 큐 사이즈가  $\min_{th}$  값보다 큰 경우 피드백 메시지를 송신측에게 보내어 트래픽의 데이터 전송률을 줄이도록 한다. 이 과정은 ICMP SQ의 과정과 비슷하다. WLAN과 같은 무선 구간의 경우는 수용할 수 있는 한계치를 정하고, 그 값을 초과할 경우에 피드백 메시지를 보내어 트래픽의 데이터 전송률을 줄이도록 한다.

4.2 시나리오 1 - IP 네트워크에서의 성능분석

4.2.1 시뮬레이션 토폴로지 및 환경 설정

시뮬레이션의 네트워크 구성은 그림 7에서 나타난 것과 같다. 25개의 송신자와 1개의 수신자 및 1개의 라우터로 구성되며, 라우터와 수신자 사이의 링크에서 혼잡이 발생하도록 하였다. 표 1에서 알 수 있듯이 각 송신자는 음성 코덱이 인코딩하는 주기인 30ms 간격으로 161bytes의 패킷 크기로 트래픽을 발생시킨다. 40초까지는 혼잡상황이 발생하는 상황에서 적응적 인코딩을 수행하지 않고, 40초에 Signaling Agent를 동작시켜 적응적 인코딩을 수행하도록 하였다.

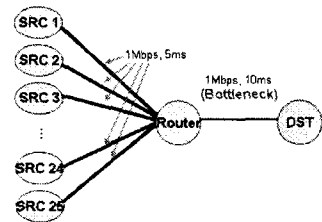


그림 7 시나리오 1의 시뮬레이션 토폴로지

표 1 시나리오 1의 트래픽 구성

	송신자	수신자	트래픽	Rate	Start
Flow 1	SRC 1	DST	UDP CBR	Packet Size: 161bytes Interval: 30ms (≈ 42.9kbps)	0.1 s
Flow 2	SRC 2				0.101 s
...	...				...
Flow 25	SRC 25				0.124 s

4.2.2 시뮬레이션 결과 분석

그림 8에서는 수신자에 도착하는 average throughput을 측정한 결과를 보여주고 있으며, 그림 9에서는 패킷 손실률을 보여주고 있다. 40초까지는 네트워크의 혼잡으로 인해 각 트래픽이 원하는 데이터 전송률을 얻을 수 없고 패킷 손실이 발생되는 것을 볼 수 있다.

하지만 Signaling Agent가 시작하는 40초 이후에는 각 트래픽의 송신자에게 피드백 정보를 전달하여 패킷 크기를 조절함으로써 데이터 전송률이 줄어들고 이에 따라 패킷 손실이 발생하지 않는 것을 볼 수 있다.

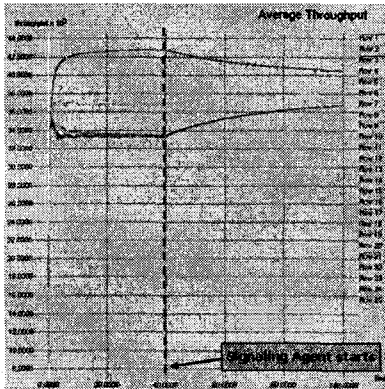


그림 8 시나리오 1의 평균 Throughput 측정

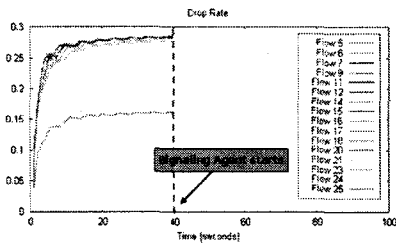


그림 9 시나리오 1의 패킷 손실률 측정

그림 10에서는 송신자에서 수신자까지 전달되는 패킷의 지연을 나타내었고, 그림 11에서는 지연 변이를 나타내었다. Signaling Agent가 동작하는 40초 전과 대비하여 40초 이후에 패킷의 지연이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 패킷 지연 변이도 줄어드는 것을 볼 수 있다.

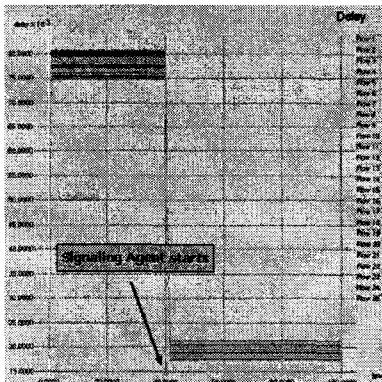


그림 10 시나리오 1의 지연 측정

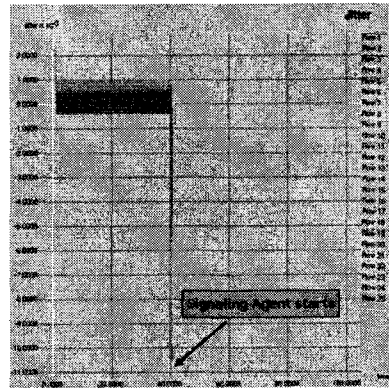


그림 11 시나리오 1의 지연 변이 측정

### 4.3 시나리오 2 - WLAN 환경에서의 성능분석

#### 4.3.1 시뮬레이션 토폴로지 및 환경 설정

시뮬레이션의 네트워크 구성은 그림 12에 나타난 것과 같다. 15개의 송신자와 1개의 수신자 및 1개의 라우터로 구성된다. 송신자들과 AP(AR) 사이의 무선 구간에서 채널 상태가 좋지 않은 상황으로 무선 채널의 용량은 약 300 kbps 정도이다. 표 2에서 나타난 것과 같이 각 송신자는 음성 코덱이 인코딩하는 주기인 30ms 간격으로 161bytes의 패킷 크기로 트래픽을 발생시킨다. 앞의 시나리오에서 같이 40초까지는 적응적 인코딩을 수행하지 않고, 40초에 Signaling Agent를 동작시켜 적응적 인코딩을 수행하도록 하였다.

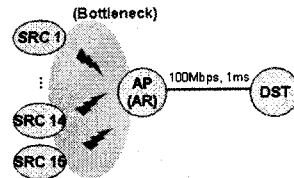


그림 12 시나리오 2의 시뮬레이션 토폴로지

표 2 시나리오 2의 트래픽 구성

	송신자	수신자	트래픽	Rate	Start
Flow 1	SRC 1	DST	UDP CBR	Packet Size: 161bytes Interval: 30ms (≒ 42.9kbps)	0.1 s
Flow 2	SRC 2				0.1021 s
...					...
Flow 15	SRC 15				0.1294 s

#### 4.3.2 시뮬레이션 결과 분석

그림 13에서는 수신자에 도착하는 평균 throughput을 측정한 결과를 보여주고 그림 14에서는 패킷 손실률을 보여준다. 시나리오 1에서와 같이, 40초까지는 네트워크의 혼잡으로 인해 각 트래픽이 원하는 데이터 전송률을 얻을 수 없고 패킷 손실이 발생되는 것을 볼

수 있다. 하지만 Signaling Agent가 시작하는 40초 이후에 각 트래픽의 송신자에게 피드백 정보를 전달하여 패킷 크기를 조절함으로써, 시나리오 1에서의 효과보다는 느리지만 데이터 전송률이 줄어들게 되고, 이에 따라 패킷 손실률이 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.

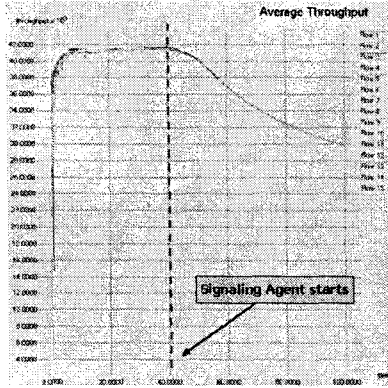


그림 13 시나리오 2의 평균 Throughput 측정

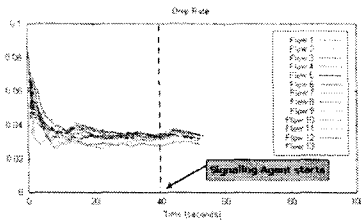


그림 14 시나리오 2의 패킷 손실률 측정

그림 15에서는 송신자에서 수신자까지 전달되는 패킷의 지연을 나타내었고, 그림 16에서는 지연 변이를 나타내었다. 시나리오 1에서의 지연 측정 결과보다는 높지만, Signaling Agent가 동작하는 40초 전과 대비하여 40초 이후에 패킷의 지연이 줄어드는 것을 볼 수 있고, 패킷 지연 변이도 줄어드는 것을 볼 수 있다.

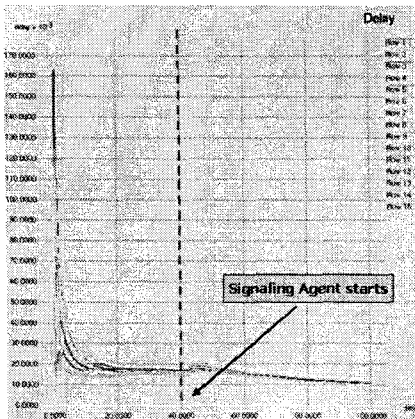


그림 15 시나리오 2의 지연 측정

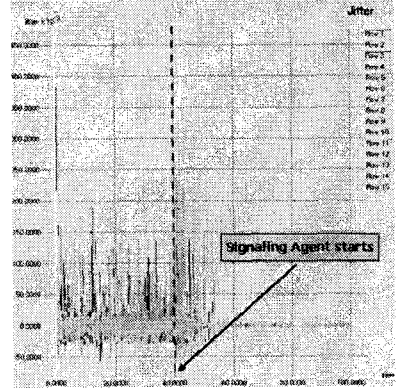


그림 16 시나리오 2의 지연 변이 측정

### 5. 결론

본 논문에서는 네트워크의 혼잡상황에 따른 적응적 QoS 제공 및 인코딩 기술과 네트워크의 혼잡상황에 따라 인코딩 기법을 달리하는 가변대역 멀티코덱을 살펴 보았다. 아울러, IP 네트워크와 WLAN 환경에서의 시뮬레이션을 통해 네트워크의 혼잡 상황에 따라 데이터 전송률을 조절하는 가변 멀티코덱을 사용하여 패킷의 손실이나 지연 변이를 줄임으로써 종단간 QoS를 지원 할 수 있음을 확인하였다.

향후에는 무선 채널을 관리하는 WLAN의 AP(혹은 AR), UMTS의 Node-B(혹은 RNC), 또는 WiBro의 RAS(혹은 ACR)에서 무선 채널 상태를 신속히 파악하기 위한 채널 모니터링 방법과 함께 트래픽 송신자에게 이러한 정보를 더욱 구체적으로 전달하여 송신측에서 적절히 대처하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

### 6. 참고문헌

- [1] Sandeep K. S. Gupta and Suhaib A. Obeidat, "A Framework for Adaptive Voice Communication over Wireless Channels," Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1096 - 1101 vol.2
- [2] G. Holland, N. Vaidya, P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks," ACM/IEEE Int. Conf. On Mobile Computing and Networking, 2001.
- [3] Nicola Cranley and Liam Murphy, "Adaptive Quality of Service for Streamed MPEG-4 over the Internet," Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on Volume 4, 11-14 June 2001.
- [4] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance," IEEE/ACM Trans. on Networking, August 1993.
- [5] S. Floyd, "TCP and Explicit Congestion Notification", ACM Computer Communications Review, pp. 10-23, October 1994.
- [6] The network simulator ns2.  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns>.