

cdma2000 통신망에서 적응적인 멀티미디어 서비스를 위한 패킷 손실 모델링

정희원 서원범*, 박성희**, 서덕영***, 신지태****

Packet loss pattern modeling of cdma2000 mobile Internet channel for network-adaptive multimedia service

Won-Bum Suh*, Sung-Hee Park**, Doug-Young Suh***, Ji-Tae Shin****

요 약

한국에서 서비스 중인 cdma2000 1x 인터넷 데이터 서비스의 패킷 손실 패턴을 두개의 상태를 가진 길버트 모델로 모델링 한다. 본 논문에서는 한국의 주요 서비스 업체의 cdma2000 1x 서비스를 사용하여 측정된 패킷 손실 트레이스(trace)로부터 길버트 모델의 관련변수를 얻는 방법을 제안한다. 건물의 밀도가 크게 높지 않은 지역에서 건물 안에서 고정된 위치와 차로 이동하는 상황에서 관련변수를 얻을 수 있었다. 이 정보는 무선망의 채널 정보를 연구하기 위한 패킷 손실 패턴을 만들기 위해서 사용될 수 있다. 본 논문에서는 cdma2000 1x 망에서 실제 측정을 통하여 실시간 멀티미디어 서비스를 하기 위해 요구되는 QoS에 관하여 논의한다. 이것을 위해서 망의 정보를 주는 패킷 측정 툴을 개발하였고 멀티미디어 서비스를 위한 QoS정보를 제공하며, 측정된 데이터를 사용하여 서비스의 품질 유지에서 요구되는 채널의 상태 판별법을 길버트 모델을 사용하여 제안하였다. 채널모델의 파라미터를 실시간(on-line)으로 구할 수 있다면 네트워크의 상황에 적응적인 손실 보호 제어를 적절히 선택하여 사용될 수 있다.

Key Words : broadband wireless network, Gilbert model, wireless channel modeling

ABSTRACT

Packet loss process of cdma2000 mobile Internet channel deployed in Korea is modeled as a two state Markov process known as Gilbert model. This paper proposes the procedures to derive four parameters of the our modified Gilbert model from packet loss trace taken from two major cdma2000 networks in Korea. These four parameters are derived in various situations, that is, with fixed and moving terminals, in open field and urban areas. They can be used to produce synthetic packet loss patterns for study of the channel. Moreover, if they are calculated on-line during multimedia service, they can be used to make loss protection controls adaptive to network condition.

I. 서 론

최근 다양한 무선 기술과 이동 단말기의 등장으로 휴대 기기에서의 멀티미디어 데이터에 대한 수

요가 증가하고 있다. 현재와 같은 무선 채널의 용량 증가와 기술 발전 불 때, 현재의 네트워크를 기반으로 하는 멀티미디어 서비스들은 영상이나 사진 또는 오디오 정보를 인터넷과 무선 채널을 통해 서비

* 한빛소프트(stephen@hanbitsoft.co.kr) ** 팬텍(sullivan@pantech.com), *** 경희대학교(suh@khu.ac.kr), ****성균관대학교(jtshin@ece.skku.ac.kr),

논문번호 : 030001-0103, 접수일자 : 2003년 1월 3일

스하는 방향으로 바뀔 것이다.

연구의 대상이 된 cdma2000 1x 서비스의 경우 최대 144Kbps의 전송 속도를 지원하고 이 속도는 EV/DO(Evolution Data Only)로 진화하면서 더욱 크게 증가하였으며 앞으로 더욱 향상될 것이다. 그러나 무선용량의 한계로 인하여 한 사람에게 주어지는 채널수가 제한되어 있고, 사용자 수나 주변 환경에 따라 지속적으로 일정한 채널 상태를 유지해 주기 어렵기 때문에 데이터양이 많고 지속성이 큰 실시간 멀티미디어 서비스에는 어려움이 존재한다.

무선 환경에서 멀티미디어 서비스의 품질을 유지하기 위해서는 무선 네트워크의 모든 계층에서 패킷의 손실과 지연에 관한 대책이 필요하다. 지금까지의 연구는 패킷 전송 효율 측면에 있어서 무선 네트워크의 링크 계층과 물리계층을 중심으로 이루어졌다. 예를 들면, 링크계층에서 무선 채널에서 오류 발생시 버려지는 패킷을 최소화 하여 전송 효율을 증대시키기 위한 재전송 전략, 또는 전송 계층에서 전송 효율을 향상시키기 위하여 새로운 프로토콜을 제안하는 방향으로 연구가 수행되었다. 그러나 기존의 물리계층 중심의 radio-layer channel model로서는 패킷단위의 networked-application의 품질을 설명하는데 한계, 따라서 bandwidth, delay, packet loss ratio와 같은 connection-level의 QoS metric를 중심으로 한 채널상태 모델링이 필요하다. 실시간성을 요구하고 데이터의 양이 많은 멀티미디어 서비스의 경우 사용자에게 적당한 화질의 QoS(Quality of Service)를 보장해 주기 어렵다. 무선이동 통신망에서의 시-가변적인 채널특성 변화는 서비스 질의 개선이나 프로토콜 개발의 목적으로 하는 사람들로 하여금 무선 패킷 네트워크(CDMA, 무선 LAN, GSM 등)에 포함되는 다양한 무선 기술을 위한 채널 특성을 모델링 하도록 만들었다. 그 결과 현재까지 다양한 망에 대하여 채널 모델링에 대한 연구가 수행되었다. 그 중에서 모델링의 간편성과 다양한 응용성 때문에 길버트 모델(Gilbert Model)이 주로 사용되었고 최근에는 이를 개선한 모델들이 소개되고 있다. 그러나 cdma2000 망에서 사용자의 환경 변화로 인한 영향이 응용 프로그램의 QoS에 직접적인 영향을 주는 이 시점에서 응용 프로그램의 QoS 측면을 고려한 모델의 필요성이 대두된다.

본 논문에서는 cdma2000 1x 유무선 혼합 망에서 실제 측정을 통한 손실 패턴을 사용하여 무선 채널을 모델링하고, 또한 측정된 데이터를 사용하여 원활한 서비스를 위해 고려되어야 하는 무선 인터넷

환경의 QoS를 분석하였다. 패킷의 연접 손실(burst)되는 특성을 고려하여 채널의 상태를 Good과 Bad 두 상태로 나누었다. 채널의 상태 정보는 서비스를 제공하는 서버에게 사용자의 망 상태를 알려 줌으로서 손실로 인한 영향을 줄이기 위한 대책을 세울 수 있도록 정보를 제공하기 때문에 중요하다. 본 모델을 무선망을 통한 실시간 서비스에 적용하기 위해서는 서비스 초기에 망의 특성을 위한 트레이닝 시간을 필요하다. 트레이닝을 통하여 채널의 대역폭이나 손실 특성을 파악하고 최적의 패킷 전송 간격과 패킷 크기를 제시하며, 길버트 모델의 채널 상태에 따른 적응적(adaptive) FEC(Forward Error Correction), 선택적 재전송 또는 interleaving 정도 조절등을 통해 전송효율을 높여줄 수 있다.

II. 기존의 연구

현재까지 채널의 효율을 향상시키기 위한 목적으로 다양한 채널의 손실을 모델링하기 위한 시도가 있었다. 초기의 논문들은 채널의 물리계층에서 비트 단위의 채널 오류를 모델링 한 것이 주류였다. 이것이 인터넷과 이동통신의 발전으로 인하여 현재는 패킷 레벨에서의 손실에 관한 연구가 수행되고 있다. 본 장에서는 채널의 효율을 향상시키기 위한 기존의 접근 방법과 채널 모델링에 대해 살펴본다.

무선망에서 채널의 전송 효율 향상에 대한 연구의 초점은 전송계층 아래에 있었다. 즉, 응용프로그램에서 사용되는 미디어의 특성은 고려하지 않고 망의 전송 효율만이 강조 되었다. Khan^[1]은 cdma2000 RLP에서 TCP 패킷의 전송효율을 높이기 위하여 에러가 발생했을 때의 재전송 전략((1,1,1,1) NAK scheme)을 제안하여 전송 효율을 높였다. 결과적으로, 이것은 재전송 전략에 따라 패킷 손실률이 달라질 수 있음을 알 수 있다. Haitao 등^[2]은 물리 계층과 링크 계층의 채널 에러 정보를 이용하면 더 많은 데이터를 얻을 수 있다는 것에 착안하여 이를 위하여 UDP 패킷에 프레임 손실 정보를 삽입한 CUDP(Complete UDP)을 제안하여 전송 효율을 향상하였다.

다양한 무선 통신 네트워크가 생겨남에 따라 채널의 프로토콜 또는 서비스 개발을 위한 채널 모델링에 대한 연구가 함께 수행되었다. Jiang^[3]은 패킷 손실 패턴을 손실과 비-손실로 나누고 길버트 모델을 확장하여 손실의 길이를 n-상태를 가진 마코브(Markov) 모델을 사용하여 기존의 모델과 비교하였

다. Nguyen^[4]의 논문의 경우 WaveLAN 손실 패턴을 기반으로 패킷 손실을 모델링 하였다. 이 논문에서는 2상태의 마코브 손실 모델을 설명하면서 이전의 논문들과는 달리 패킷의 연속 손실 분포가 기하 분포라는 가정을 사용하지 않고 그래프에서 패킷의 연속 손실 분포의 모양에 따라 구간을 나누고 그에 맞는 분포 식을 적용하여 기존의 모델을 향상 시켰다. 또한 다양한 조건 아래에서 WaveLAN의 패킷 손실 특성을 보였다. Konrad^[5]는 앞의 논문을 인용하면서 GSM망에서 측정된 패킷 트레이스를 사용하여 모델링 할 때 손실 특성이 시-변하는 (time-varying) 경우 마코비언 모델을 적용하는 것에 대한 문제점을 지적하고 측정된 데이터들이 일정한 기간 내에 안정한(stationary)한 성질을 가지도록 손실이 없는 상태와 손실 경향이 있는 상태로 데이터를 나누어 마코비언 모델을 적용하였다.

앞서 언급한 것과 같이 지금까지 채널 모델링을 실제의 채널과 유사하게 만들기 위해 다양한 시도가 있었다. 정리해보면 마코비언 모델을 적용하기 위해서는 채널의 상태가 시-불변한 성질 즉, 안정해야 한다는 것이고 Almudena과 Nguyen의 논문에서 이러한 사실을 보여주었다. Nguyen의 논문의 경우 길버트 모델을 사용하지 않고 연속 손실의 누적 확률 분포 그래프에서 기울기에 따라 상태를 나누고 그에 맞는 확률 분포를 사용하여 기존의 모델과 비교한 것이 특이하다.

기존의 error나 손실제어에서는 수신단(receiver)에서 수신 이력(history)를 바탕으로 RTCP등을 통해 back 채널로 단순한 평균 PLR를 송신단(sender) 알려주어 제어를 하도록 하는 것이 주종이었다^[6]. 본 논문에서는 패킷단위 상태 Gilbert 모델링에서 한 단계 더 나아가 패킷들을 일정한 주기로 송신단 쪽에 보다 구체적인 채널상태정보(예: 평균 패킷 손실율(PLR) 과 burst 패킷손실 및 수신 길이)를 알려줌으로써 송신단에서 손실제어에 FEC, 재전송, interleaving등의 방법을 채널상태에 맞게끔 효율적으로 사용하도록 함으로 채널사용의 효율성과 application의 안정적 품질확보를 도모하고자 한다. 또한 FEC와 재전송, interleaving과 같은 손실에 대한 대책을 세우기 위한 도구들에게 채널의 좋고 나쁜 상태 정보를 제공하기 위한 상태 결정 방안을 채널 모델링을 통해서 제안하고 cdma2000 1x망의 채널 QoS정보를 제공하는 방법을 연구하였다.

III. 연구 배경

1. 실험 환경 (Test bed)

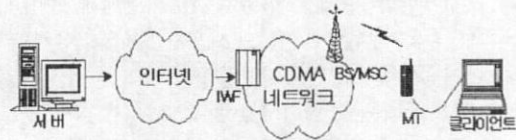


그림 1 실험 환경

본 논문에서 나타나는 측정값은 우리나라에서 현재 서비스 중인 cdma2000 1x 패킷 데이터 서비스를 사용하여 얻어진 결과이다. 그림 1에서 보이는 것과 같이 서버는 윈도우2000 기반의 펜티엄 III 733Mhz 이고 노트북은 윈도우 XP기반의 펜티엄 IV 노트북을 사용하였다. 패킷 손실 패턴을 측정하기 위해서 사용된 프로그램은 VC++ 6.0를 사용하여 구현하였다. 서버는 휴대폰을 통한 UDP 패킷 서비스를 고려하여 클라이언트가 서버에 접속하면 서버는 클라이언트를 구별하게 된다. 클라이언트는 패킷을 수신 받는 즉시 RTP/RTCP^[7] 헤더 정보를 사용하여 패킷 손실 또는 수신 정보와 패킷을 받은 시각(ms)을 로그 파일에 기록한다^[8].

실험은 두 가지 시나리오를 두고 진행되었다. 첫째는 고정된 위치에서 멀티미디어 패킷을 받는 것을 가정하여 패킷 크기와 전송 주기에 따른 손실률의 변화를 살펴보는 것이고, 둘째는 차량으로 이동하면서 서비스 받는 경우를 가정하여 속도 변화에 따른 손실 패턴의 영향을 분석하는 것이다.

첫째로 고정된 위치에서의 실험환경은 무선망을 통하여 멀티미디어 패킷 서비스를 사용하는 환경을 위의 그림과 같이 구성하였다. 우선 패킷을 전송하는 서버의 경우 경희대학교에 서버를 설치한다. 클라이언트는 휴대폰을 노트북에 USB 케이블을 사용하여 연결하고 전화접속 네트워크로 인터넷에 접속한 후 패킷 데이터 서비스를 사용하여 패킷을 수신 받도록 한다.

둘째로 이동 환경에서의 실험 환경은 경희대 인근을 자동차로 이동하면서 첫째와 같은 실험 과정을 수행하였다. 이동 상황에서 속도 변화가 패킷의 손실에 어느 정도 영향을 주는지 알아보는 것이 이 실험의 목적이다. 그러나 무엇보다도 조건을 설정한 후 이에 맞는 이상적인 실험을 하는 것 자체가 상당히 어려운 일이었다. 어려운 환경 속에서 우리는

이동 중인 차 안에서 클라이언트를 설치하고 패킷 트레이스를 얻었다. 이와 같이 특정 망의 손실 특성을 알아보기 위해서 매번 실험을 할 수는 없기 때문에 채널 모델의 필요성이 대두된다.

2. 프로토콜(Protocol) 구조

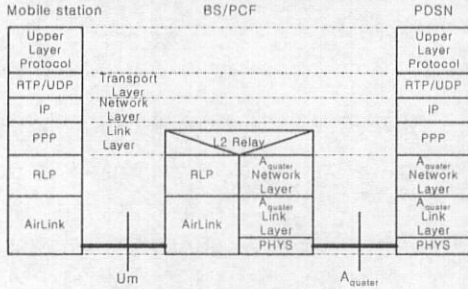


그림 2 프로토콜 스택

그림 2는 cdma2000 1x망을 통한 멀티미디어 스트리밍 시스템의 프로토콜 스택을 개념적으로 나타낸 것이다. 전송 프로토콜은 UDP를 사용함을 가정한다. 기지국(Base Station)에서 무선 링크를 통하여 단말기(Mobile station)로 전송되는 패킷은 데이터 링크계층의 RLP(Radio Link Protocol)에서 여러 개의 프레임 단위로 처리된다. 이때 손실된 프레임은 복원하여 완전한 패킷을 PPP와 IP를 통하여 전송계층과 상위계층에게 전달해 준다. RLP에서 손실이 발생한 경우 해당 프레임에 대하여 재전송을 요구하는 NACK(Negative ACKnowledge)기반 프로토콜을 사용하여 해당하는 프레임 손실을 복구한다. 그러나 UDP 패킷이 전송 될 때, 한 패킷을 구성하는 RLP의 프레임들 중 한 개만 손실이 되더라도 그 패킷은 손실로 간주되거나 버려지게 되므로 복원을 하더라도 여전히 손실률이 증가한다. 프레임 손실은 곧 패킷 손실로 이어지며 이것은 곧 사용자의 서비스 질(QoS)을 떨어뜨리게 된다. 지금까지 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 물리계층과 링크계층에 집중되어 있었다. 우리는 계속 진화하고 있는 물리계층은 고려하지 않고 직접적인 사용자의 UDP 패킷 측정을 통하여 전송 계층(Transport layer)에서 채널의 상태정보를 사용하여 사용자 QoS문제를 다룬다. 이렇게 얻어진 채널의 상태 정보를 상위 계층의 응용 프로그램과 서버에게 알려주면 다양한 손실 복원 대책을 세울 수 있다.

V. 제안한 무선 환경의 모델링

이전의 모델링 기법들은 원래의 길버트 모델보다 좁은 의미를 얘기하고 있다. 채널의 상태를 판별할 때 그림 3과 같이 채널의 BAD 상태 PLR을 1로 보거나 GOOD 상태 PLR을 0으로 보는 것은 실질적으로 패킷을 전송하면서 RTP/RTCP 정보를 이용하는 경우에는 적응적으로 네트워크 환경에 대응하는데 필요한 정보를 주지 못하며, 패킷 손실의 길이 사용하여 n-상태 (n>2)로 모델링 하는 것은 적절하지 못하며 지나치게 복잡하다. 패킷을 전송하는 서버가 망의 상태에 따라서 FEC나 재전송과 같은 대책을 세우기 위해서는 채널의 상태를 나타내기 위해 보다 의미 있는 단위로 채널의 상태가 나뉘어져야 할 것이다. 즉, 하나의 상태가 지속되는 기간이 적어도 왕복 지연시간(RTT)의 몇 배 이상이 되어야 네트워크 적응적인 동작을 할 수 있다.

1. 길버트 모델 (Gilbert model)

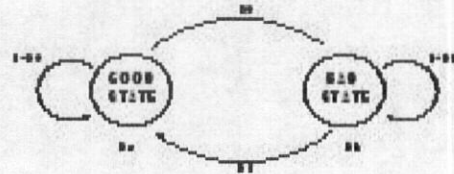
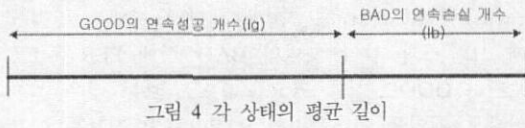


그림 3 길버트 모델

길버트 모델은 채널의 상태를 손실의 발생확률이 높은 BAD 상태와 손실의 발생확률이 낮은 GOOD 상태를 각 상태의 손실률을 p_b , p_g 로 구분하고 각 상태에서 네트워크의 상황에 따라 상태가 바뀌는 것을 의미하는 전이하는 확률(transition probability) p_0 , p_1 로서 표현된다. GOOD 상태에서는 매 패킷마다 0과 1 사이에서 랜덤(random) 숫자를 발생시켜 p_0 이하이면 상태가 전이된다. 마찬가지로 방법으로, BAD 상태의 경우 p_1 이하일 경우 상태가 전이된다. 이렇게 상태가 결정되면, 매 패킷의 손실과 수신은 발생시킨 0과 1사이의 랜덤 숫자의 결과가 해당 상태의 PLR 이하이면 손실, 이상이면 수신으로 결정하고 다음 상태를 결정하는 과정을 반복한다.

전이 확률 p_0 , p_1 은 BAD 상태의 평균 패킷 수 \bar{l}_g 와 GOOD 상태의 평균 패킷 수 \bar{l}_b 로부터 구할 수 있다. l_g 와 l_b 가 기하분포(geometric distribution)로 존재하기 때문에 전이 확률이 p인 경우 그 평균은 $1/p$ 이므로 다음과 같은 관계가 성

립한다¹⁸⁾.



$$p_0 = \frac{1}{l_g}, \quad p_1 = \frac{1}{l_b} \quad (2)$$

$P(n)$ 은 상태가 $n(n=1,2,3...)$ 패킷 계속될 확률을 의미한다. 이때 각 패킷 길이는 상태 전이 확률 p_0 , p_1 에 의해서 결정되므로 다음과 같이 정의한다.

$$P(l_g = n) = p_0 \cdot (1 - p_0)^n \quad (3)$$

$$P(l_b = n) = p_1 \cdot (1 - p_1)^n \quad (4)$$

또한, 평균 PLR p_a 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$p_a = \frac{p_g \bar{l}_g + p_b \bar{l}_b}{\bar{l}_g + \bar{l}_b} \quad (5)$$

\bar{l}_g 와 \bar{l}_b 는 각각 GOOD 상태와 BAD 상태가 지속된 길이의 평균을 패킷 수로 나타낸 것이다. 그러면, $p_g \bar{l}_g$ 는 한번의 GOOD 상태에서 잃어버리는 패킷의 개수이고, $p_b \bar{l}_b$ 는 한번의 BAD 상태에서 잃어버리는 패킷의 개수이다. GOOD 상태와 BAD 상태는 서로 배반적으로(exclusively) 발생하므로 나타난 회수는 같다. p_0 , p_1 , p_a , p_g 가 주어졌을 때, (2)와 (5)식에서 p_b 를 구하는 식을 유도할 수 있다.

$$p_b = \frac{p_a(p_0 + p_1) - p_g p_1}{p_0} \quad (6)$$

2. 길버트 모델의 변수 계산

연속적으로 손실된 패킷의 개수나 연속적으로 성공한 패킷의 개수에 대한 통계를 이용해서 길버트 모델의 변수를 구할 수 있다. 다음의 두 절에서는 측정된 결과를 토대로 GOOD상태와 BAD상태에서의 길버트 모델의 변수를 구하였다.

2.1 BAD 상태의 PLR

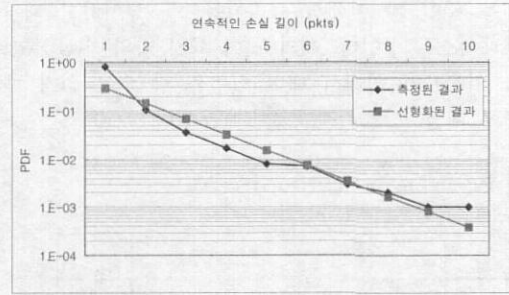


그림 5 연속 손실 길이에 따른 확률분포

연속적으로 손실된 패킷의 개수의 확률을 로그 스케일 그래프로 나타내면 그림 5와 같다. 이때 우리는 연속된 길이가 긴 부분은 BAD 상태에서 일어났음을 가정할 수 있다. 그림에서 전체 통계에서 연속으로 손실된 segment가 M 개 발생하였을 경우, 그중 BAD 상태에서 발생한 segment 횟수가 M_b 라고 하고 GOOD 상태에서 발생한 횟수 M_g 라고 하면, M 은 $M_b + M_g$ 이다. 길이가 $n(n=1,2,3...)$ 인 segment가 발생한 횟수가 m_n 이라고 할 때, 그때의 확률 $p(n)$ 은 다음과 같다. :

$$p(n) = \frac{m_n}{M} \quad (7)$$

여기서 $n \gg 1$ 인 경우는 주로 BAD 상태에서만 일어나며 BAD 상태에서 손실의 발생은 Bernoulli model을 따른다고 가정하면,

$$\frac{m_n}{M_b} = p_b^n (1 - p_b) \quad (8)$$

식 (8)를 식 (7)에 대입하면

$$p(n) = \frac{M_b}{M} p_b^n (1 - p_b) \quad (9)$$

이 식의 양변에 로그를 취하면

$$\log p(n) = n \log p_b + \log \left[\frac{M_b}{M} (1 - p_b) \right] \quad (10)$$

이때 기울기는 최소 자승법 (LSM: least square method)으로 구할 수 있다. 즉, 위 식을 $y = ax + b$ 라는 식으로 표현하면 $x = n$ 일 때 $y = \log p(n)$ 라는 관계가 성립한다. 측정 결과 (x, y) 좌표 값들로부터 LSM 방법을 적용하면 그래프의 기울기 a ,

절편 값 b 를 알 수 있다. 이것은 다음과 같이 표현된다. 따라서 로그 스케일로 표현된 그림 5에서 $n \gg 1$ 일 때 기울기에서 p_b 를 구할 수 있다.

$$y = \log p(n), \quad x = n, \quad (11)$$

$$a = \log p_b, \quad b = \log \left[\frac{M_b}{M} (1 - p_b) \right]$$

위의 두 방정식을 풀어 기울기 a 값과 절편 b 값을 구하면 우리는 (11)식으로부터 p_b 의 값을 알 수 있다. 위 그림에서 결과는 $y = -0.3209x - 1.5224$ 으로 추정되었다. 따라서 $p_b = 0.4776$ 이다.

2.2 GOOD 상태의 PLR

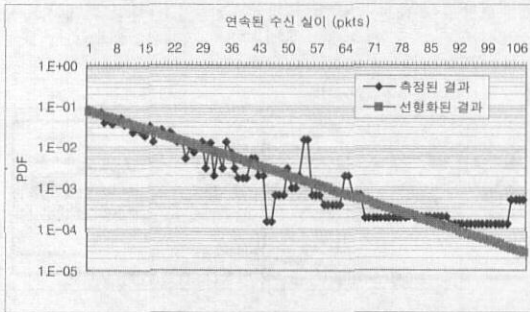


그림 6 연속 수신 길이에 따른 확률분포

같은 방법으로 p_g 를 구할 수 있다. 전체 통계에서 연속으로 수신된 segment가 M 개 발생하였을 경우, 그중 BAD 상태에서 발생한 연속 수신 segment 횟수가 M_b 라고 하고 GOOD 상태에서 발생한 횟수 M_g 라고 하면, M 은 $M_b + M_g$ 이다. 길이가 n 인 수신 segment가 발생한 횟수가 m_n 이라고 할 때, 그 발생 확률 $p(n)$ 은 다음과 같다. :

$$P(n) = \frac{m_n}{M} \quad (12)$$

이다. $n \gg 1$ 인 경우는 주로 GOOD 상태에서만 일어나며 GOOD 상태에서 성공의 발생은 Bernoulli model을 따른다고 가정하면, 성공의 확률이 $1 - p_g$ 이므로,

$$\frac{m_n}{M_g} = p_g (1 - p_g)^n \quad (13)$$

식 (13)를 식 (12)에 대입하면

$$p(n) = \frac{M_g}{M} p_g (1 - p_g)^n \quad (14)$$

이 식을 양변에 로그를 취하면

$$\log p(n) = n \log (1 - p_g) + \log \left[\frac{M_g}{M} p_g \right] \quad (15)$$

$n \gg 1$ 일 때 기울기에서 p_g 를 구할 수 있다. BAD 상태에서 구한 방법과 같이 각각의 최소 자승법을 사용한 근사에서 구한 절편에서 M_b 와 M_g 를 구할 수 있다. 식 (15)에서 기울기 a 는 $\log (1 - p_g)$ 이고 절편 b 는 $\log \left[\frac{M_g}{M} p_g \right]$ 이다. 위 그림에서 선형화된 결과는 $y = -0.0262x - 1.19$ 로 추정되었다.

그러므로 $p_g = 1 - 10^{-0.0262} = 0.0585$ 이다.

3. Good 과 Bad 상태의 결정

네트워크는 어느 정도 좋고 나쁜 상태가 어느 기간 동안 유지되는 경향이 있다. 이러한 특성을 이용하여 네트워크의 상태를 구별해 준다면 적응적인 패킷 손실 대책을 세워 줌으로써 네트워크의 사용 효율을 극대화할 수 있다. 우리는 현재의 네트워크 상황이 Good 상태인지 Bad 상태인지 결정하는 방법을 제안한다.

패킷의 손실률은 수신 버퍼의 주기 단위로 결정된다. 패킷 수신을 고려할 때 N 개의 패킷 단위로 손실률을 구한다면 패킷의 각 상태의 손실 확률은 베르누이 모델 즉, 기하분포(geometric distribution)을 따른다고 가정 할 수 있다. 이때 패킷이 손실될 확률 값으로 4장에서 구한 상태 확률 p_b 와 p_g 를 사용하면, Good 상태에서 손실률이 p_b 일 때 N 개의 패킷 단위마다 k 개의 패킷이 손실될 확률 $P_G[k]$ 는

$$P_G[k] = \binom{N}{k} p_g^k (1 - p_g)^{N-k} \quad (17)$$

이고, 마찬가지로 Bad 상태에서 손실률이 p_b 일 때 N 개의 패킷 단위마다 k 개의 패킷이 손실될 확률 $P_B[k]$ 는

$$P_B[k] = \binom{N}{k} p_b^k (1 - p_b)^{N-k} \quad (18)$$

가 된다. 수신 버퍼의 N개의 패킷 중에서 패킷의 손실은 Bad상태에서 많이 발생하고 Good 상태에서는 적게 발생한다고 가정할 수 있다. 따라서 손실 개수 k에 대한 $P_G[k]$ 와 $P_B[k]$ 의 확률 밀도 함수를 그리면 두 곡선이 만나는 점을 상태가 바뀌는 지점이라고 말할 수 있다. 즉 $P_G[k] = P_B[k]$ 인 지점의 k값을 상태가 변하는 기준으로 정한다.

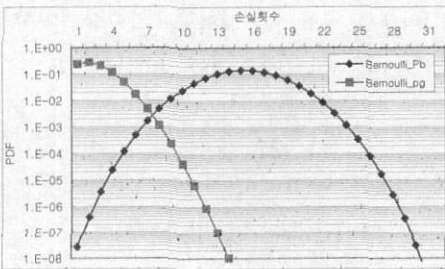


그림 7 $p_g=0.4776$, $p_b=0.0719$ 일 때의 상태 변화의 기준 결정 예

고정된 위치에서 측정된 트레이스를 사용하여 그림 7과 같이 k값(=8)을 구하고 상태를 나눈 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 각 점은 패킷 전송을 의미하고 좌에서 우로 위에서 아래로 스캔한다. 흰 점은 전송 성공을 검은 점은 패킷 손실을 의미한다. 상태를 나눈 후 식 (2)을 사용하여 얻은 p_0 , p_1 은 각각 $6.13e-5$, 0.019 였다. 값으로 알 수 있듯이 Bad 상태가 유지된 시간이 상당히 작고 랜덤한 손실이 많았음을 알 수 있다. 즉 연속해서 손실되는 경향이 비교적 작은 것을 알 수 있다. 이것은 FEC 레벨 결정에 중요한 정보가 된다. 아래에 패킷의 수신 결과를 그림으로 나타내고 상태를 나눈 후의 결과를 비교하였다.

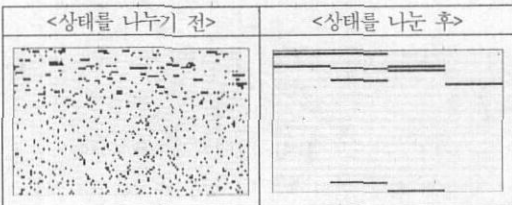


그림 8 상태를 판별의 결과 (고정된 위치의 트레이스 k=7.5)

복원 후의 결과가 일정한 길이를 같은 것은 32개의

패킷단위로 상태를 나누었기 때문이다. 그림 10은 자동차로 40km/h의 속도로 이동하는 상황에서 측정된 데이터를 사용한 상태 결정 결과로 $p_b=0.874$ 와 $p_g=0.0342$ 이다. k는 12.5이고 p_0 , p_1 은 각각 0.000383, 0.00854였다.

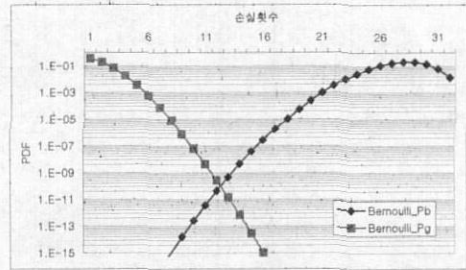


그림 9 상태를 판별의 결과 (이동중인 상황의 트레이스 k=12.5)

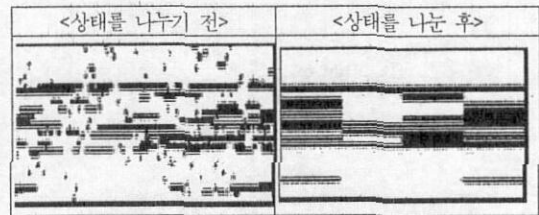


그림 10 상태를 판별의 결과 (이동하는 상황의 트레이스 k=12)

그림 8과는 달리 그림 10은 Bad 상태가 유지된 시간이 상당히 길고 랜덤한 손실이 작음을 알 수 있다. 즉, 한 상태에 머무는 시간이 길어 연속해서 손실되는 경향이 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 그림에서 보듯이 패킷 트레이스에서의 상태 판별이 랜덤한 손실보다는 연접 에러의 성격이 강한 곳에서 상태 판별이 효과적으로 나누어졌음을 알 수 있다. 측정 결과에서 보듯이 이동하는 경우 상태 예측 기반의 복원 기법 적용 시에 효율이 증가함을 알 수 있었다.

4. 무선 채널상태 판별 알고리즘과 그 검증

지금까지 채널 모델링을 하는 이유는 주어진 네트워크에서 측정된 패킷 트레이스를 사용하여 손실의 통계적 특성이 같은 패킷 트레이스 발생기를 만들고 응용하기 위해서이다. 이것은 새로운 프로토콜의 개발이나 패킷 전송효율 개선을 위한 연구에 꼭 필요하다. 구현된 상태 기반의 길버트 모델 패킷 트레이스 발생 알고리즘은 다음과 같다.

4.1. 사용된 알고리즘

패킷 트레이스는 클라이언트의 수신 버퍼의 크기를 고려해서 임의로 (예: N=32개씩) 끊어서 전송하는 것을 가정한다.

- (1) 패킷 트레이스로부터 4장에서 사용된 방법으로 p_b 와 p_g 값을 구한다.
- (2) 패킷 트레이스를 32개 단위로 끊어서 PLR을 구하고 4.3절의 상태 결정 방법으로 GOOD(p_b 에 가까운 것), BAD(p_g 에 가까운 것), MED(중간에 있는 것)으로 나눈다.
- (3) MED(중간에 있는 것)은 다시 16으로 나누어 GOOD(p_g 에 가까운 것), BAD(p_b 에 가까운 것)으로 나눈다.
- (4) GOOD이 붙어 있으면 연결하고, BAD가 붙어있으면 연결한다.
- (5) 붙어있는 것의 평균길이를 구하면 lg와 lb가 된다.
- (6) 평균 패킷손실 또는 수신 패킷 길이의 역수를 취하여 상태 천이확률 p_0, p_1 을 구한다.

4.2. 결과 비교

실험의 정확성을 위해서 측정된 트레이스로부터 구한 Gilbert model의 변수들을 패킷 트레이스 발생기의 입력 값으로 넣고 제안된 상태판별 알고리즘을 적용하여 1000번 반복 실험하고 그 평균 good/bad 상태길이를 원래의 측정 트레이스에서 구한 평균 good/bad 상태길이와 비교하였다. 시뮬레이션으로 트레이스를 만들 때 설정한 lg, lb값과 트레이스로부터 계산한 lg, lb값을 비교해 볼 때 Good과 Bad상태에 머문 시간이 어느 정도 유사함을 볼 수 있다. 측정 트레이스를 개량된 application-based Gilbert model로 근사시킨다고 했을 때 lg, lb는 good/bad 상태의 천이 확률로 작용하므로 이 것의 숫자적 order가 비슷하면 우리가 목적으로 하는 특정 application을 바탕으로 한 전송계층에서 제어해 주는 FEC, 재전송, interleaving등의 손실정책에 반영하여 신뢰성 있는 QoS를 가지는 networked application를 지지할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 결과 비교

	lg	lb
설정값	16513	39
계산값	18011	50

VI. cdma 2000 무선 인터넷 환경의 QoS 분석

인터넷과 무선이 혼합된 망을 통한 패킷 전송에서 무선 채널 구간의 비트 에러는 패킷의 손실로 나타난다. 이 장에서는 현재 상용화된 망을 대상으로 사용 가능한 대역폭과 다양한 조건에서 패킷의 손실 특성을 알아보았다. 이렇게 손실된 패킷을 복원하기 위해서 일반적으로 전송 계층에서는 FEC나 ARQ^[10]를 사용한다. 본 논문에서는 초기 지연을 최소화하고 끊김이 없는 멀티미디어 패킷 스트리밍을 위해서 FEC를 사용하는 것을 가정한다. FEC는 일반적으로 패킷 내에서 오류를 검출하고 정정하기 위해서 사용되지만 패킷 간에 FEC를 적용하여 패리티 패킷을 만들어서 손실된 패킷을 복원할 수 있다^[11].

1. 허용 대역폭

현재 상용화된 cdma2000 1x 망의 최대 대역폭은 하향 144Kbps, 상향 14.4Kbps 또는 9.8Kbps이다. 그러나 실제로 서비스 가능한 대역폭은 상황에 따라 달라질 수 있기 때문에 이러한 정보를 알아보기 위해서 허용 대역폭을 측정해 보았다. 다음의 데이터는 멀티미디어 서비스를 제공하려는 사람에게 중요한 정보가 될 수 있다.

1.1. 하향 링크 (기지국-단말기)

그림 11는 기지국에서 단말기로 패킷을 다운 받는 경우(down link)의 대역폭을 측정한 결과이다. 전송 주기가 100ms이고 패킷의 크기가 1200byte이하일 때의 손실은 미비하기 때문에 미디어의 코덱이나 전송 단에서 FEC를 통해서 복원하면 멀티미디어 서비스를 받는 사용자가 느끼지 못할 정도의 서비스가 가능하다. 그러나 전송율이 94Kbps 이상으로 증가함에 따라 대역폭을 벗어나기 때문에 복원할 수 없을 정도로 그 손실과 지연이 크게 증가함을 알 수 있다.

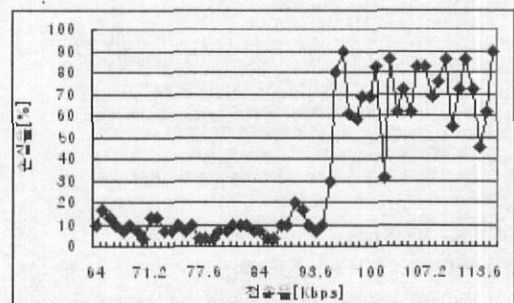


그림 11 하향 링크의 대역폭 측정

1.2. 상향 링크 (단말기->기지국)

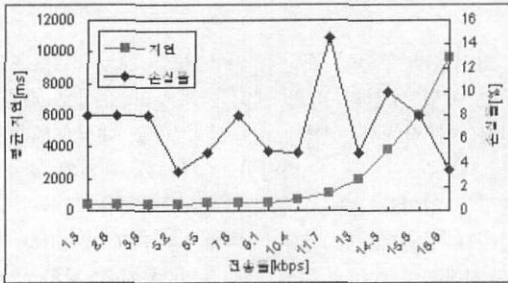


그림 12 상향 링크의 대역폭 측정

그림 12는 단말기에서 기지국으로 패킷을 전송하는 경우(up link)의 대역폭을 측정된 결과이다. 전송 주기는 130ms로 고정 시키고 패킷의 크기를 10byte에서 130byte까지 10byte 씩 증가 시켜 보았다. 그림에서 보는 것과 같이 전송율이 증가함에 따라 보이는 최대 손실율은 15%로 손실의 정도가 크지 않았다. 그러나 하향 링크와는 다르게 지연의 정도가 크게 달라서 지연과 손실율을 함께 표시하였다. 측정 결과 전송율이 10Kbps 근처에서부터 손실과 지연이 급격히 커짐을 알 수 있었다. 멀티미디어 서비스의 경우, 사용자가 역방향(up link)으로 전송하는 데이터는 대부분 컨트롤(control) 신호이기 때문에 작은 대역폭이 문제가 되지 않지만 채널의 정보를 서버에게 시간 안에 전해 주는 것이 중요하다.

2. 전송률의 효과

그림 13는 하향 링크에서 전송률이 패킷의 손실에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해서 실험한 결과이다. 앞장의 실험에서 측정된 하향 링크의 허용 대역폭을 참고하여 전송률을 각각 40Kbps,

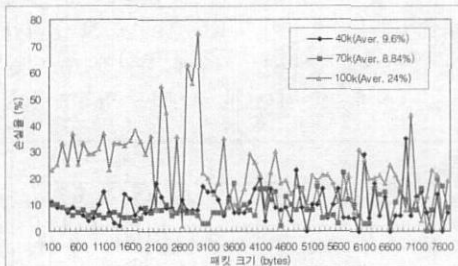


그림 13 전송률에 따른 손실률의 변화

70Kbps, 100Kbps로 고정하여 측정해 보았다. 예상대로 허용 대역폭을 초과하면 손실률이 크게 증가함을 볼 수 있었고, 허용 대역폭 내에서 스트리밍의

경우는 평균 손실률이 10% 이하로 발생하는 것을 볼 수 있었다. 여기서 주의 할 점은 패킷의 크기에 따라서 손실률이 영향을 받는다는 것이다. 전체적으로 허용 대역폭 이하에서는 패킷 크기가 작은 경우 손실률이 작았고, 허용 대역폭 이상에서는 패킷 크기가 큰 경우 손실이 작음을 볼 수 있다.

3. 패킷 크기의 효과

우리는 패킷 크기가 손실에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해서 패킷 크기를 가변 시키면서 패킷 전송이 끝난 후의 결과를 살펴보았다. 전송률이 고정된 상태에서 패킷의 크기를 이전 실험과는 달리 인터넷의 MTU크기를 고려하여 100바이트부터 최대 1500byte까지로 제한하여 그 손실률을 측정해 보았다. 그림 14에서 보는 바와 같이 패킷의 손실률은 다음의 로그 스케일의 그래프에서 점들이 직선을 따르므로 우리는 패킷 손실률이 패킷의 크기에 따라 지수적으로 소폭 증가하지만 10%의 손실률로 수치적으로 비슷함을 알 수 있다.

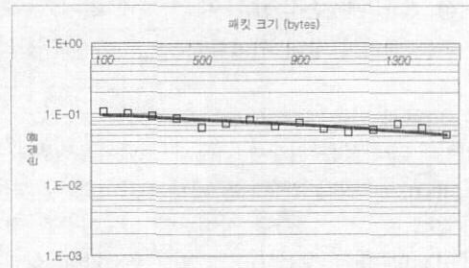


그림 14 패킷 크기에 따른 손실률 변화

4. 패킷 손실의 버스트한 정도

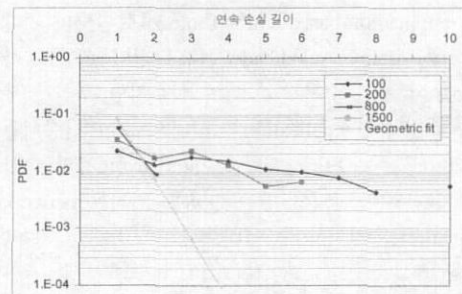


그림 15 패킷 크기에 따른 손실길이 분포

그림 15은 패킷 크기에 따른 손실길이 분포를 보

여준다. 기하분포의 경우 연속된 손실이 기하분포로 발생함을 가정할 때의 수치인데 손실확률 p 가 0.1일 때 $p^{n-1}(1-p)$ 을 사용하여 나타내었다. 위 그림에서 특이한 것은 패킷의 크기에 따라 버스트한 특성의 정도가 다름을 알 수 있다. 즉, 패킷의 크기가 500byte보다 클 경우 기하분포와 같은 특성을 보였고 패킷의 크기가 그 보다 작을 경우 버스트성이 커짐을 알 수 있었다. 이러한 사실을 볼 때, 500byte보다 크고 1500byte보다 작은 패킷의 경우 무선 채널구간에서 500byte 단위로 잘라서 전송할 것이고 패킷의 크기가 1500byte보다 커지면 MTU 크기에 의해서 패킷 분할이 이루어졌기 때문이라고 해석할 수 있다.

5. 이동에 따른 영향

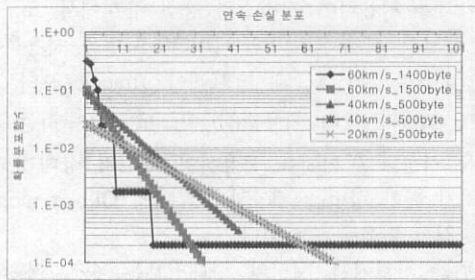


그림 16 이동속도에 따른 연속 손실분포

실험은 건물이 크게 밀집하지 않은 지역에서 기지국의 위치는 고려하지 않고 차량으로 이동하면서 측정된 패킷 트레이스를 사용하여 p_b 와 p_g 를 구하였다. 서버의 패킷 전송률은 대역폭 이내인 70kbps로 고정하였고 패킷 크기는 이전의 실험에서 최적의 크기로 결론 내린 500와 1500byte로 고정하고 차량의 이동 속도를 각각 최대 20~60km/h로 하여 5분 동안 주행한 후 얻어진 결과를 사용하여 측정하였다. 참고로 속도는 주변의 교통량에 따라 변화가 있음을 밝힌다.

측정된 결과에서 알 수 있듯이 패킷의 손실률은 속도에 비례해서 크게 증가하지 않았다. 하지만 패킷의 손실 특성이 전체적으로 고정된 위치 때 보다는 손실길이가 상당히 길었다. 각각의 속도 별로 살펴보면 속도가 빨라질수록 손실 길이가 작아짐을 볼 수 있다. 이것은 속도가 빨라질수록 상태가 좋지 않을 지역을 빠른 속도로 빠져 나가기 때문이라고도 해석할 수 있다. 측정 중 최대 값은 108개의 손실이 연속으로 발생한 것 있었다. 랜덤한 손실이

적은 원인은 그만큼 무선망이 좋아졌다는 것을 의미하지만 중요한 원인은 아직 cdma2000 1x 서비스 사용자가 많지 않아서 거의 혼자 사용하고 있기 때문이라고 생각할 수 있다. p_b 의 값은 모든 결과에서 약 0.7~0.9의 손실률을 보이지만 p_g 의 경우 실험 5의 값에 보듯이 낮은 속도에서는 Good상태에서 손실이 많이 발생하지 않음을 알 수 있다. 다음 표에 측정결과를 정리하였다. T_g , T_b 는 5분간의 측정시간 동안에 Good과 Bad상태에 머문 기간을 의미한다.

표 2 이동 상황에서의 각 상태확률

실험	크기 (bytes)	속도 (km/s)	T_g (s)	T_b (s)	T_g/T_b	P_0	P_1	P_g	P_b
1	1500	60	278.88	20.48	13.61	5.73e-5	7.81e-3	0.023	0.91
2	1500	60	261.63	38.3	6.83	1.3e-3	8.93d-3	0.069	0.802
3	500	40	246.3	54.72	4.5	1.85e-3	8.33e-3	0.034	0.874
4	500	20	281.75	18.24	15.45	8.09e-4	1.25e-2	0.032	0.92

6. 실시간 멀티미디어 서비스

실시간 멀티미디어 서비스가 포함하는 오디오와 비디오는 패킷손실에 대한 영향이 다르게 나타난다. 오디오는 대개 20ms 또는 3, 40ms 단위 프레임으로 나누어져서 압축된다. 각각의 프레임이 서로 독립적으로 압축하게 되면 패킷 손실에 대한 영향이 전파되지 않는다. 프레임간 상관성을 이용하게 되면 손실의 영향이 전파될 수 있다. 그러나 그 상관성을 이용하는 것이 압축효율을 크게 향상시키지 않으므로 상관성을 이용하지 않는 압축을 선택하여야 한다.

MPEG-2, MPEG-4, H.261, H.263 등 비디오 압축 방식들은 기본적으로 DCT와 움직임 보상을 사용한다. DCT는 공간적으로, 즉, 하나의 화면 내에서 상관성을 이용하는 것이고, 움직임 보상은 화면과 화면간의 시간적 상관성을 이용하는 것이다. 하나의 화면이 독립적으로 압축되는 I VOP, 이전 화면을 참고하여 압축되는 P VOP, 이전이후 양쪽의 화면을 참고하여 압축되는 B VOP의 비트율은 대개 8:3:2정도 된다. 이렇게 화면간 강한 상관성이 존재하므로 비디오에서는 항상 시간적인 상관성을 이용한다. 그러므로 하나의 화면에서 발생한 손실의 영향은 다음 화면으로 전파된다. 이러한 손실영향의 전파를 막기 위해 일정한 간격마다 I VOP를 둔다. 무선 채널에서는 대개 1초에 10프레임 정도를 전송하며, 10 프레임 정도마다 한번씩 I VOP을 넣는다.

I VOP로 시작하는 10 프레임짜리 한 묶음을 GOV (Group Of VOPs)라고 한다.

GOOD 상태에서 손실확률은 10%이하이지만 한번의 손실만 있으면 그 영향은 여러 프레임에 걸쳐서 나타나게 된다. GOOD 상태에서 발생한 손실은 FEC를 이용하여 복원하면 매우 효과적이다. 손실 확률이 5, 10%일 때, RS[12,10], RS[14,10]을 이용하였을 때, residual PLR은 표 3과 같다. 표에서 residual PLR은 FEC 디코딩 이후의 PLR을 의미한다. 대역폭을 각각 20%, 40%를 사용함으로써 원래의 PLR에 비해서 매우 크게 PLR이 감소한다. FEC를 사용하지 않았을 때, 한 GOV에서 손실이 발생할 확률은 $1-(1-0.05)^{10}=0.401$ 이지만 RS[12,10]을 사용하면 $1 - \sum_{k=0}^2 \binom{12}{k} (1-0.05)^{12-k} \cdot 0.05^k = 0.012$ 로 떨어진다.

표 3 residual PLR

	RS[12,10]	RS[14,10]
손실 확률 5%	0.7%	0.049%
손실 확률 10%	3%	0.4%

표 2에서 보면 p1이 1e-2정도이고 IDT가 57~171ms정도 이니까, 20km/h, 40km/h 60km/h에서 bad 상태의 평균 지속 시간은 각각 4.56초, 6.84초, 22초이다. 이를 거리로 환산하면 한 번 bad가 시작되면 각각 25m, 76m, 366m 지속된다. 그리고, BAD 상태에서 PLR은 70~90%이므로 FEC를 사용하여도 아무런 효과가 없다. 실시간 멀티미디어 서비스를 비디오 폰과 같은 대화형 서비스와 VOD 같은 스트리밍 서비스로 나눌 수 있다. 비디오 폰에서는 단방향 지연이 150ms이하일 때, 불편을 느끼지 않는다고 한다. 그러나 VOD의 경우에는 5초가 넘어도 크게 문제가 없다. (실제로 Windows Media Player로 VOD 서비스를 하는 경우 거의 10초정도 초기지연이 있다.) 그런데, 무선 인터넷에서 단방향 지연은 1초 정도이므로, VOD인 경우에는 시간 여유가 있다. 따라서 제한된 횟수의 재전송을 생각할 수 있다. TCP와 같이 무한정 재전송을 하게 되면 실시간 서비스에 문제가 생기지만 보통 1회 정도에 한하여 재전송을 허용하면 좋은 효과를 볼 수 있다. BAD 상태의 지속 시간을 감안하면, 대개 재전송 되는 시간에는 BAD 상태를 벗어날 확률이 매우 높다.

그러나 FEC와 재전송 모두를 사용하는 것은 패

킷수를 증가시킨다. 패킷 수의 증가는 전송 비용의 증가를 의미한다. 그러므로 FEC 비율의 결정이나 재전송 여부는 채널의 상태에 맞추어서 적절하게 결정되어야 한다. 본 논문에서 알 수 있듯이 무선 채널은 시간과 장소에 따라 매우 변화가 심하다. 그러므로 채널의 상태를 측정하여 적응적으로 손실에 대한 대책을 세울 수 있는 기능이 매우 중요하다.

VII. 결론

본 논문에서는 cdma2000 1x 망에서 실제 측정을 통하여 실시간 멀티미디어 서비스를 하기 위해 요구되는 QoS에 관하여 논의한다. 이것을 위해서 망의 정보를 주는 패킷 측정틀을 개발하였고 멀티미디어 서비스를 위한 QoS정보를 제공하며, 측정된 데이터를 사용하여 서비스의 품질 유지에서 요구되는 채널의 상태 판별법을 길버트 모델을 사용하여 제안하였다. 측정된 패킷 트레이스(trace)로부터 길버트 모델의 상태 확률값(p_b 와 p_g)를 구하는 방법을 서술하고 이것을 사용하여 채널의 상태를 판별하기 위한 방법을 제안하고 추가로 Gilbert model의 천이 확률을 구하였다.

무선 환경에서 채널의 상태정보는 손실 복원을 위한 FEC나 재전송 또는 코덱에서의 손실 복원을 위한 다양한 틀을 적용하는데 중요한 기준이 된다. RTCP와 같은 백채널(out of band)을 통하여 상태 정보를 서버에 전달하고 변경된 FEC가 수신자에게 도착할 때 채널의 상태의 유지가 복구율을 결정하는데, 이것은 채널의 상태를 좋고 나쁜 상태로 나눔으로써 어느 정도 예측 가능하다. 실험에 따르면 연속 손실 경향이 높은 상태 즉, 이동 상태에서 그 효과가 커짐을 알 수 있었다. 현재 서비스중인 무선 데이터 서비스의 경우 패킷의 전체 손실률은 초기 보다는 상당히 낮아 졌으나 이동시의 경우에는 패킷의 연속 손실발생 확률이 높아서 멀티미디어 서비스에는 어려움이 따른다. 실험결과에서 보듯이 최대 120개의 손실이 연속으로 발생했는데 이러한 경우에는 FEC와 같은 방법은 무효하므로 재전송이나 인터리빙 등의 방법을 적용하는 것이 효과적이다. 패킷의 손실 성향은 패킷의 크기가 500byte보다 작은 경우 손실될 확률이 높았고 그 이상이 되는 경우에는 손실률에서 뚜렷한 차이가 없었다. 이러한 사항을 고려하면 보다 나은 멀티미디어 서비스를 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Farooq Khan, Sarath Kumur, Kamesh Medepall and Sahjiv Nanda, "TCP Performance over cdma2000 RLP", Proc. IEEE 51st VTC'2000-Spring, p41-45, 2000

[2] Zheng. H., Boyce. J, "An Improved UDP Protocol for Video Transmission Over Internet-to-Wireless Network", Multimedia, IEEE Transactions on , Volume: 3 Issue: 3 , Sept. 2001

[3] Wenyu Jiang, Henning Schulzrinne, "Modeling of Packet Loss and Delay and Their Effect on Real-time Multimedia Service Quality", Proc. NOSSDAV., June 2000

[4] Giao T. Nguyen, Brian Noble, Randy H. Katz, Mahadev Satyanarayanan, "A Trace-Based Approach For Modeling Wireless Channel Behavior", Winter Simulation Conference, 1996

[5] Almudena Konrad, Anthony D. Joseph, Reiner Ludwig, Ben Y. Zhao, "A Markov-Based Channel Model Algorithm for Wireless Networks", ACM MSWiM, July 2001

[6] 이상조, "인터넷 기반의 MPEG-4 VOD 서비스를 위한 지능적인 Qos 제어기술을 위한 연구", 경희대학교 석사학위논문, August 2001

[7] RFC 1890 RTP : Profile for Audio and Video Conferencing with Minimal Control, IETF , Jan. 1996, <http://ds.internic.net/rfc/rfc1890.txt>.

[8] RFC 1889 RTP : A Transport Protocol for Real-Time Applications, IETF, Feb, 1996, <http://ds.internic.net/rfc/rfc1889.txt>.

[9] BENDAT, J., AND PIERSOL, A., "Random data: Analysis and Measurement Procedures.", John Wiley and Sons, 1986

[10] R. Jain, "The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling," Wiley-Interscience, New York, NY, April 1991.

[11] H. Radha, Y. Chen, K. Parthasarathy and R. Cohen, "Scalable Internet video using MPEG-4," Signal Processing Image Communication , V.15 N.1-2 , Sep. 1999.

서 원 범(Won-Bum Suh)

정회원



1999년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업
 2001년 2월 경희대학교 공학석사 전자공학전공 (세부전공: 멀티미디어통신)
 2000년 10월 한빛소프트 정보기술연구소 영상솔루션개발팀

박 성 희(Sung-Hee Park)

정회원



2001년 2월 경희대학교 전자공학과(학사)
 2002년 전자부품연구원 위촉 연구원
 2003년 2월 경희대학교 대학원 전자공학과(석사)
 2003년 현재 (주)펜택 중앙연구소 근무

<주관심분야> 멀티미디어 전송, GSM

서 덕 영(Doug-Young Suh)

정회원



1980.2 : 서울대학교 핵공학과 학사
 1986.6 : Georgia Tech. 핵공학과 석사
 1990.6 : Georgia Tech. 전기 및 컴퓨터공학 박사
 1990.9~1992.2 : 생산기술연구원

HDTV 개발단

1992.3~현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수

<주관심분야> networked video, Internet QoS

신 지 태(Ji-Tae Shin)

정회원



1986, 1988 : 서울대학교 학사, KAIST 석사
 1988~1996 : 한국원자력연구소 선임연구원
 1998, 2001 : 미국 Univ. of Southern California 전자공학과 석사, 박사

2002.3~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 조교수

<주관심분야> 멀티미디어 전송, 유무선 네트워크 QoS