

유무선 복합환경에서 계층화된 MPEG-1 비디오를 위한 전송률 조정 기법

고 영 후, 정 승 훈, 이 욱, 최 양 희
서울대학교 컴퓨터공학과

Rate Control of Layered MPEG-1 Video Stream in Wired/Wireless Environment

Young-Hoo Koh, Seunghoon Jeong, Yi Yung, Yanghee Choi
Dept. of Computer Engineering, Seoul National Univ.

요 약

유무선 복합환경에서 비디오 데이터의 전송은 무선 링크에서의 적은 대역폭과 높은 손실율에 의해 좋은 화질로 서비스 받기 힘들다. 특히 MPEG 등의 비디오 압축 표준은 많은 대역폭을 차지하며 패킷의 손실은 비디오의 다음 프레임의 화질에까지 영향을 미친다. 따라서 무선 환경에서 사용 가능한 대역폭과 에러율을 고려하여 가능한 최선의 화질을 제공하기 위해서 계층화된 비디오 데이터 스트림 포맷을 제안하고, 이를 이동 호스트에 전송하는 게이트웨이에서 무선 링크의 상황에 따라 전송률을 조정하는 알고리즘을 제안하고 실험하였다. 실험 환경으로 비디오 서버에서 게이트웨이 간의 유선 환경은 10Mbps 이더넷 링크, 게이트웨이에서 무선 이동 호스트 간의 무선 환경은 2Mbps WaveLAN을 사용하였다. 비디오 응용은 MPEG-1 비디오를 가정하였고 동적으로 FEC를 적용하는 방법을 무선 링크의 에러와 전송률 조절에 사용한다.

1. 서 론

연속적인 멀티미디어 데이터 전송, 특히 비디오 응용은 필요한 네트워크 자원을 정확하게 미리 할당받아 확보할 수 없는 현재의 best-effort IP 망에서 다음과 같은 문제점들을 가지고 있다. 첫째, 비디오 응용은 MPEG등의 압축기법을 사용하더라도 여전히 큰 대역폭을 차지한다. 비디오 응용을 사용할 경우 네트워크의 체증이 자주 일어나고, 이는 화질을 크게 저하시킬 것이다. 둘째, 비디오 응용에서 대부분 사용하는 MPEG등의 압축기법들은 패킷 손실이 생기면 그 다음의 화면 프레임들의 화질까지 크게 저하시킨다. MPEG의 경우 I 프레임의 손실은 그 프레임을 참조하는 다음에 오는 많은 P, B 프레임들까지 쓸모없게 만든다.

무선환경에서의 비디오 응용은 더욱 큰 문제가 된다. 무선 환경은 대체로 대역폭이 더 작고, 유선환경에 비해 에러도 더 잦다. 본 논문의 주제는 무선환경에서의 비디오 응용을 위한 전송률 조절 기법이다.

비디오 응용의 전송률 조절은 TCP를 이용한 파일 전송 응용과 같이 단지 네트워크 상황에 따라 전송률을 조절하는 것만으로는 부족하다. 우선, 비디오 응용은 데이터가 적절한 시간 내에 클라이언트측에 도착해야만 하고 재생시간을 놓쳐서 도착한 데이터는 무용하다. 또한 전송률을 줄이기 위해 임의의 데이터를 버려서도 안된다. MPEG 비디오에서 I 프레임은

버리게 되면 뒤의 P, B 프레임들을 보내는 것은 쓸모없는 네트워크 자원 낭비일 뿐이다.

따라서 비디오 응용에서의 전송률 조절 기법은 특정한 응용이나 미디어에 의존적인 방법을 사용하는 것이 훨씬 효과적이다. 본 논문에서는 현재 구현중인 프로젝트인 인터넷 비디오 서버/클라이언트 시스템인 SmartNET에서 정의하게 될 MPEG-1의 SmartNET의 스트림 포맷을 제안하고자 한다. SmartNET에서는 계층화된 스트림 포맷을 정의한다. 이 계층화된 데이터의 계층 정보를 게이트웨이에서의 전송률 조절에 이용한다.

2. 관련 연구

네트워크를 통한 비디오 스트림을 전송하는 서버/클라이언트 시스템은 여러 연구가 진행되었고 또 구현된 것들도 많이 있다. MPEG 등의 특정한 포맷의 비디오 데이터를 현재의 IP 네트워크에서 전송할 때, 서버에서 미리 여러 적응 단계로 구분된 포맷으로 변환해두고 네트워크 상황에 따라 적응 단계를 바꾸어주면, 비디오 데이터가 차지하는 전송 대역폭을 임의로 줄이는 것에 비해 화질은 크게 떨어지지 않도록 하는 것이 가능하다[1][10].

Univ. of South Carolina의 LPTSL은 멀티미디어 데이터의 전송에서 무선환경의 적은 대역폭에 적합하도록 게이트웨이에서 체계적으로 전송률을 떨어뜨리는 연구이다[7].

일반적인 멀티미디어 데이터 전송에 있어서의 전송률 조절 기법에 관한 연구들과[5][6] FEC와 재전송 기법을 이용한 에러 제어에 관한 연구도 있다[3].

본 논문이 대상으로 한 비디오는 MPEG-1 비디오이고 실험환경으로 사용한 무선 링크는 WaveLAN이다. MPEG 비디오의 패킷 전송에서 에러의 영향에 관한 연구와[2] WaveLAN의 전송 특성에 관한 연구도 있다[4].

3. 계층화된 MPEG 비디오와 전송률 제어 기법

3.1 계층화된 MPEG 비디오 스트림 포맷

네트워크 상황에 따라 1Mbps MPEG-1 비디오의 전송 대역폭을 모두 사용하는 적용 단계부터 프레임률, 색상 정보 등을 줄인 가장 낮은 적용 단계까지 몇 단계로 불연속적 전송 대역폭을 가진 적용 단계가 정의된다. 서버가 동적으로 비디오 데이터를 처리하는 것은 어렵기 때문에 미리 트랜스코더를 사용하여 처리에 적합하도록 포맷을 바꾸어 파일에 저장해둔다. 전송할 패킷의 포맷도 새로 정의하게 된다.

네트워크 상황에 비디오 데이터 전송 대역폭을 줄이기 위해서는 크게 다음의 두 가지 기법의 조합을 사용한다.

첫째, 프레임률을 중요도에 따라 줄임으로써 전송 대역폭을 줄일 수 있다. 실험 대상 MPEG 비디오는 초당 30프레임으로 매 15 프레임마다 하나씩의 I 프레임은 사용한다. 즉 재생되는 프레임의 순서는 IBBPBBPBBPBBPBB의 반복이다. 이때 I 프레임 정보를 담은 패킷의 손실은 15개의 프레임 동안 영향을 미치게 된다. 따라서 프레임률을 줄일 때는 B 프레임 정보를 담은 패킷들을 가장 먼저 버려서 전송 대역폭을 줄이고 더 줄여야 할 때에는 P 프레임 정보를 담은 패킷들을 버리게 된다. [2]의 연구의 실험 결과를 인용하면 각 프레임 종류별로 전체 비디오 데이터에서 차지하는 바이트 비율은 대략 I:P:B = 26:42:32 정도이다.

두 번째, 매크로 블록 당 4개의 휘도 정보를 나타내는 블록과 각 1개씩의 Cb, Cr 정보를 담고 있는 블록을 줄임으로써 I 프레임의 전송 대역폭을 크게 줄일 수 있다. 인간의 눈이 가장 민감하기 때문에 중요한 휘도 정보 4개는 각각이 한 화면의 서로 다른 부분의 정보를 나타내기 때문에 1개가 빠지면 규칙적으로 구멍이 난 것처럼 보인다. 그러나 화면 내 화소 정보들의 인접성을 이용하여 상하좌우 휘도 정보를 이용하여 에러 은폐 기법을 사용하면 어느 정도 복구가 가능하다. Cb, Cr 정보가 없어질 경우 색상에 문제가 생기지만 네트워크의 대역폭이 극히 제한된 상태에서라면 인의로 패킷을 버리는 것보다 나은 화질을 보여준다. 블록 단위로 버림으로써 전송 대역폭을 줄이는 방법은 DCT와 양자화 과정이 블록 단위로 이루어지기 때문에 LSB를 버리거나 DCT를 거친 블록 내의 계수를 버리는 방법에 비해 대역폭을 더 많이 줄일 수 있고, 클라이언트 측에서의 계산 부하가 더 적다.

이 두 가지 방법을 조합하여 6 단계의 적용 단계를 만들 수 있다. 각 적용 단계에 따라 필요한 비디오 데이터의 대역폭은 평균적으로 [표 1]과 같다.

적용 단계	사용 프레임	사용 블록	대역폭
1	I	Y x 3	126.2 Kbps
2	I	Y x 4	168.3 Kbps
3	I	Yx4 + Cb	210.3 Kbps
4	I	모두	252.4 Kbps
5	I, P	모두	682 Kbps
6	I, P, B	모두	1 Mbps

[표 1] 적용 단계와 그에 해당하는 전송 대역폭

각 프레임은 프레임 종류별로 일정 개수의 패킷으로 나뉜다. I 프레임은 블록별로 12개의 패킷, P 프레임은 6개의 패킷, B 프레임은 2개의 패킷으로 나뉜다. 무선 실험 환경인 WaveLAN의 최대 패킷 크기를 넘기지 않도록 한다. 각 패킷에는 시퀀스 번호와 계층 정보가 헤더에 포함된다.

3.2 게이트웨이 기반 전송률 제어 기법

전송률 제어 기법은 서버와 클라이언트간에 이루어지는 종단간 방법이 있고, 유/무선 복합 환경에서 유무선의 점접인 BS(Base Station)의 비디오 게이트웨이와 MH(Mobile Host)간에 이루어지는 게이트웨이 기반 방법이 있다. 유무선 복합 환경에서 멀티캐스트가 이용된다면 게이트웨이 기반의 전송률 제어 기법이 효과적이다. 유니캐스트의 경우라면 종단간 방법이 사용되어도 무방할 것이다. 게이트웨이 기반 방법은 그 외에도 무선 링크의 특성을 가장 잘 파악하고 MH까지 한 단계밖에 거치지 않으므로 더 빠르고 정확한 적응을 할 수 있다. 그러나 두 경우 모두에 적용되는 전송률 제어 기법은 같아도 된다. 기본적으로 전송률 제어에는 데이터 패킷과는 별도의 제어 패킷이 사용된다. 네트워크 상태를 알리기 위한 평균 IPG(Inter-Packet Gap) 정보가 주기적으로 MH에 보내지고, 이 정보와 패킷의 시퀀스 번호로 알 수 있는 패킷 손실률을 바탕으로 네트워크 상태를 파악하여 MH가 어떤 적응 단계로 보내라는 요청을 하게 된다. 게이트웨이 기반 방법에서는 게이트웨이가 이 요청에 따라 서버로부터 오는 패킷들의 계층 정보를 보고 적절하게 걸러냄으로써 전송률을 조정할 수 있다. 종단간 방법이 적용될 때에는 게이트웨이가 아닌 서버에서 보낼 패킷과 보내지 않을 패킷을 판단하게 된다.

적용 단계에 따른 비디오 데이터의 양은 불연속적이기 때문에, 네트워크에 가용한 대역폭이 있다고 판단되면서도 다음 단계의 적용 단계로 올릴 만큼 대역폭이 충분하지 않을 수 있다. 또 대역폭을 올린 적용 단계로의 비디오 데이터 전송을 요청할 때에는 특히 대역폭이 협소한 경우에 오히려 네트워크에 체증을 일으키고 에러를 늘려 화질의 저하를 가져올 수 있다. 따라서 이러한 상황에 대비하고자 동적으로 FEC를 적용하는 방법을 전송률 제어 기법에 사용한다. FEC는 SmartNET 스트림 포맷의 계층 정보에 따라 게이트웨이가 더 중요한 기본 계층 패킷의 FEC 정보를 보내는 방법을 이

용한다. 패킷 손실율, 게이트웨이에서 보낸 IPG와 이동 호스트가 받은 IPG값을 비교해 판단하여 네트워크 체증 상황이라고 판단되는 경우 한 단계씩 적용 단계를 내려서 전송률을 낮춘다. 기존의 IPG를 이용한 방법과의 차이점은 게이트웨이에서 단순히 보낸 패킷들을 일정 주기로 나눈 IPG값을 사용함으로써 알고리즘과 계산을 간략히 한 것이다. 반대로 전송률을 올릴 수 있다고 판단되는 경우, 바로 다음의 적용 단계로 올리기 전에 현재 적용 단계의 대역폭보다 더 필요한 만큼의 정보를 FEC로 보내어 전송률 증가에 따른 에러에 대비한다. FEC 정보를 일정 시간동안 보내도 무리가 없다고 판단되면 FEC 대신 적용 단계를 한 단계 올린 비디오 데이터들을 보낸다. 만일 FEC 정보의 증가로 패킷 손실율과 이동 호스트가 받은 IPG가 일정 정도 이상 증가할 경우에는 다시 본래의 적용 단계로 보내도록 한다. 따라서 비디오 수신자의 입장에서 비교적 네트워크 상황에 급변하지 않는 화질로 서비스를 받을 수 있다.

에러가 연달아 일어날 수 있는 특성을 고려하여 FEC 정보는 바로 연달아서 보내지 않고 조금 떨어뜨려 보내기로 한다. 따라서 수신측에서는 별도의 큐 관리 기법이 필요하다. 중간에 손실된 패킷이라 하더라도 뒤에 도착한 FEC 정보에 의해 복구할 수 있도록 구성한다. FEC를 어느 계층의 비디오 정보에까지 적용할 것인지, 또 데이터와 FEC의 비율을 어떻게 할 것인지도 역시 적용 단계 사이사이마다 다르게 적용된다.

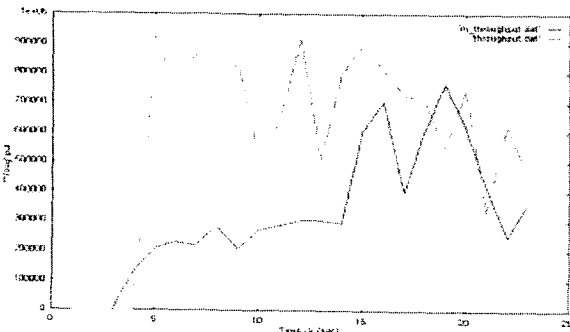
대략적인 게이트웨이에서의 전송률 제어 기법 알고리즘을 간략히 제시하면 [그림 1]과 같다.

```

If Receiving IPG > Sending IPG * CONGESTION_THRESHOLD
    Lower adaptation layer
    Decrease rate
Else if Receiving IPG > Sending IPG * LOADED_THRESHOLD
    Lower adaptation layer with FEC
    Maintain current rate
Else
    Increase rate with higher FEC
    If possible Increase adaptation layer
    Else just remove FEC
    
```

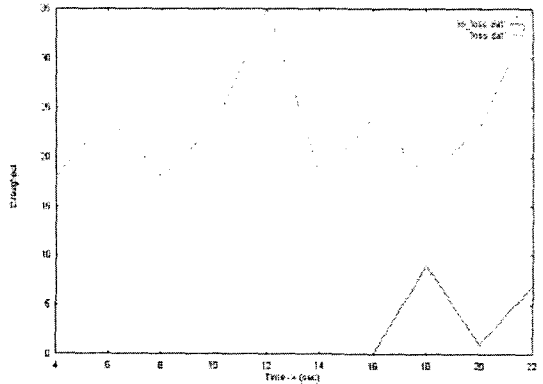
[그림 1] FEC 기반한 게이트웨이에서의 전송률 제어 기법

4. 실험 환경 및 실험 결과



[그림 2] Throughput 비교

무선 환경 실험에 이용될 무선망은 WaveLAN이다. 실험을 위해 유무선 복합환경이 구성된다.



[그림 3] 손실율 비교

[그림 2]와 [그림 3]은 제안한 알고리즘을 사용한 경우와 그냥 보낸 경우의 비교이다. 제안한 알고리즘의 경우에서 더 적은 대역폭 사용으로도 더 좋은 화질을 제공할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 비디오 서버/클라이언트 시스템으로 구현중인 SmartNET에서 사용될 계층화된 비디오 포맷을 제안하고 적용 기법에 사용될 전송률 조정 기법을 제안, 실험하였다.

[참고문헌]

- [1] R. S. Ramanujan, "Adaptive Streaming of MPEG Video over IP Networks," Proc. Local Computer Networks, 1997. Page(s): 398-409
- [2] J. M. Boyce, R. D. Gaglianella, "Packet Loss Effects on MPEG Video Send over the Public Internet," ACM Multimedia 98
- [3] Injong Rhee and Srinath Joshi, "Error Recovery using FEC and Retransmission for Interactive Video Transmission," July 1998, Technical Report TR-98-12
- [4] G. T. Nguyen, R. H. Katz, B. Noble and M. Satyanarayanan, "A Trace-Based Approach for Modeling Wireless Channel Behavior," Proceedings of the Winter Simulation Conference, Dec. 96
- [5] R. Rejaie, M. Handley, "RAP: An End-to-end Rate-based Congestion Control Mechanism for Realtime Streams in the Internet," IEEE Infocom '99
- [6] J. Bolot, "Experience with Control Mechanisms for Packet Video in the Internet," Computer Communications Review '98
- [7] K. Seal and S. Singh, "Loss Profiles : A Quality of Service Measure in Mobile Computing," J. Wireless Computing Vol. 2, '96, pp. 45-61
- [8] K. Brown, S. Singh, "A Network Architecture for Mobile Computing," Infocom '96
- [9] D. Sisalem and F. Emanuel, "QoS Control using Adaptive Layered Data Transmission," IEEE ICMS'98, 1998
- [10] W. Zang, "Rate Shaping by Block Dropping for Transmission of MPEG-precoded Video over Channels of Dynamic Bandwidth," ACM Multimedia '96
- [11] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, "An RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction," IETF Internet Draft