

# 비디오 화질을 고려하는 적응적 혼잡제어

이 연 수, 윤 희 돈, 이 근 영  
성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과

## An Adaptive Congestion-Control considering Video Quality

Yeun-Soo Lee, Hee-Don Yoon, Keun-Young Lee

Department of Electrical and Computer Engineering, SungKyunKwan University

Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : vovoga@ece.skku.ac.kr

### Abstract

본 논문에서는 비트율 제어 (rate-control)와 혼잡 제어(congestion-control) 사이의 관계를 고려하여 비디오 데이터의 전송량 변화에 따른 화질 증감의 관계를 조사하고, 전송 대역폭의 변화에 대한 화질 열화를 최소화하기 위한 비디오 데이터 전송량의 변화 조건을 제안하고자 한다.

비디오 데이터를 전송하는 경우에 혼잡 제어는 현 채널상에서 가용 전송 대역폭(Available Transmission Bandwidth)을 예측하고, 비트율 제어는 예측한 전송 대역폭을 비디오 부호화기의 전송 비트율에 적용시킨다. AIMD 기반의 혼잡 제어 기법은 비디오 데이터의 목표 비트율(target bit rate)을 변화시키게 되고 이러한 결과는 비디오 화질의 잦은 변동으로 인해 나쁜 영향을 준다. 이러한 문제를 해결하기 위해 QP, SNR, 비트량 사이의 관계를 이용한 적응적인 메커니즘을 제안하고자 한다.

### I. 서론

인터넷 상으로 실시간 비디오 데이터의 전송은 인터넷 텔레비전, 비디오 회의, 원격각의, 디지털 도서관 등 비디오를 필요로 하는 많은 인터넷 멀티미디어 응용의 중요한 요소이다. 실시간 데이터의 전송은 대역폭과 지연, 손실 등의 요구사항을 가진다[1]. 그러나 현재의 인

터넷상에서 비디오 전송을 의한 품질(QoS)은 보장되지 않는다. 또한 비디오 멀티캐스트를 하는데 있어서 네트워크와 수신측의 이중성은 효율적인 대역폭과 유동적인 서비스를 하는데 걸림돌이 되고 있다. 그래서 인터넷을 기반으로한 비디오 전송을 위한 프로토콜과 메커니즘들이 고안되고 있다. TCP는 인터넷에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 가장 많이 사용되는 전송 계층 종단간(end-to-end) 프로토콜이다. TCP 데이터 송신자는 수신자가 보내주는 ACK를 바탕으로 네트워크 자원을 공평하게 분배할 수 있도록 윈도우 기반으로 전송률을 조정한다. TCP 혼잡제어 메커니즘의 주목적은 송신 단말의 전송률을 직접 제어하여 혼잡으로 인해 손실된 데이터를 재전송하기 위함이다. 종단간 혼잡 제어는 현 인터넷에서 중요한 요소이다. 그러나 인터넷이 점점 방대해지고 사용자 커뮤니티가 점점 가깝게 연결되고 있는 상황에서 더이상 종단간 혼잡 제어를 위해 종단간 노드에 의존하지 않고, 네트워크도 자원 확보를 위해 스스로 제어를 하고 있다. 인터넷 혼잡이 계속되어 대역폭이 부족하게 되어감에 따라 효율적인 성능을 위한 제어들이 많이 제안되고 있다[2]. 과도한 손실과 연속된 지연 등 네트워크의 혼잡은 비디오 화질에 심각한 영향을 미친다. 그래서 혼잡 제어가 수행되고 패킷 손실과 지연을 줄인다. 혼잡 제어 방법 중에 부호율 제어는 가용 네트워크 대역폭에 비트율을 맞추어 패킷 손실을 줄이고 네트워크 혼잡을 최소로 한다. TCP 혼잡 제어는 전송 측면

을 고려한 비트율 제어뿐만 아니라 압축 측면을 고려한 적응적 비디오 부호화 (rate-adaptive video encoding) 등이 있다. 적응적 비디오 부호화는 H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 와 같이 다양한 표준과 어플리케이션에서 연구되어지고 있다. 적응적 비디오 부호화 알고리즘의 목적은 주어진 부호율 범위에서 시각적 화질을 최대화 하는 것이다. 그러한 적응적 부호화는 부호화기의 양자화 변수 (QP)를 변경하거나 비디오 프레임틀을 변경함으로써 달성된다[1].

TCP 의 혼잡 제어 메커니즘은 패킷 보호, Slow Start, 선형적 증가와 지수적 감소 (AIMD)를 수행하면서 인터넷을 안정화 시켰다. 최근 TCP 제어 부분은 다양한 어플리케이션의 요구에 충족하기 위해 TCP 친화성 비트율 제어(TCP-Friendly Rate Control), equation 기반의 혼잡제어 (equation-based congestion control)의 다른 형태들, 다른 선형 상수를 가지는 AIMD, TCP Emulation at Receivers (TEAR) 등 변형된 혼잡 제어 메커니즘들이 제안되었다 [3]. 인터넷상에서 비디오 데이터의 전송 효율을 높이고자 혼잡 제어를 수행하는 연구들이 진행되는데 보통의 경우 AIMD 방식이 가장 많이 사용되어 진다. AIMD 방식의 경우 전송시의 패킷 손실 여부에 따라 전송량의 조절을 수행한다. 비디오 데이터의 비트 발생률을 가변 대역폭으로 조절하는데 그 초점을 맞추고 있으나, 비디오 데이터의 QP 특성을 고려하여 생각해 볼 필요가 있다고 판단된다. 가변 대역폭에 맞추어 비디오 데이터의 비트 발생률을 조절할 경우 그 변화량에 기인하는 비디오 데이터의 화질의 변화 역시 고려해야 할 대상이다. 그러한 이유로 혼잡 제어를 통한 비트 전송률과 비디오 화질의 상관관계를 조사해 보고자 한다.

## II. AIMD 알고리즘

TCP 가 사용하는 혼잡 제어 기법은 수신자가 받은 데이터 패킷에 대해 보내준 ACK 에 따라 윈도우 크기를 산술적으로 증가 시키고 배수적으로 감소 (Additive Increase Multiplicative Decrease) 시킴으로써 전송률을 조절하는 방법이다. AIMD 알고리즘은 변수 2 개를 갖는다. 증가와 감소변수로 각각 a 와 b 이다[4]. 손실이 발생하면 혼잡 윈도우(congestion window)를 W 에서 (1-b)W 로 감소시킨다. 패킷 손실이 없을 경우에는 혼잡 윈도우는 각 RTT 마다 W 에서 W+a 로 패킷을 증가시킨다. 지연이 없을 경우 TCP 는 a=1, b=0.5 인 AIMD 를 수행한다.

a 와 b 는  $4(2b-b^2)/3$  의 관계를 갖는다. TCP 호환 AIMD 알고리즘(TCP-compatible AIMD algorithm)은 변수 b 에 의해 구분지어 진다.  $b < 0.5$  이면 저속 응답 AIMD 알고리즘을 수행한다. AIMD 알고리즘은 탐색기반으로 송신측은 QoS 를 만족하기 위해 송신률을 조정하여 가용 전송 대역폭을 탐색한다. 전송률을 조절하는 방법으로는 AIMD, MIMD (Multiplicative Increase Multiplicative Decrease)의 두 가지 방법이 있다. AIMD 알고리즘은 현재의 네트워크 상태와 비교하여 전송률을 증가, 감소 시켜 적당한 레벨로 패킷 손실을 유지시켜 혼잡을 피한다. 다음은 AIMD 부호율 제어 알고리즘이다.

$$\begin{aligned} & \text{if}(p \leq P_{th}) \\ & \quad r = \min((r+a), MaxR) \\ & \text{else} \\ & \quad r = \max((r \times b), MinR) \end{aligned}$$

여기서,  $p$  는 패킷 손실률,  $P_{th}$  는 패킷 손실률의 임계값,  $r$  은 송신측의 전송률,  $a$  는 산술적 증가율,  $b$  는 배수적 감소율,  $MaxR$  은 최대 전송률,  $MinR$  은 최소 전송률이다. 패킷 손실률  $p$  는 수신측에 의해 측정되고 RTP(Real-time Transport Protocol)와 RTCP(Real-time Transport Control Protocol)를 사용해서 송신측은 전달된다.

## III. TCP 친화성 비트율 제어

TCP 에 대해서는 여러 혼잡 제어 기법 연구에서 보편적으로 고려되는 요구 사항이다. [2]에서는 TCP 세션과 같은 보장을 갖는 세션의 경우, 수신자의 수신률이 동일한 네트워크 환경과 라우팅 경로의 조건 하에서 TCP 세션이 가질것으로 예상되는 대역폭을 초과하지 않으면 TCP 친화성이 있다고 정의하고 있다. TFRC 는 송신자가 패킷 손실률을 측정해서 송신률을 조정하는 equation-based 혼잡 제어 방식이다. 대부분의 유니캐스트는 가능한 신뢰성있고 빠르게 전송되기 위해 TCP 를 사용한다. TFRC 는 저속으로 변하는 송신률을 유지하는 어플리케이션을 위해 고안되었다.

## IV. 제안 방법

본 논문에서는 H.263 부호화기(TMN5)를 가진 11 개의 비디오 비트 스트림을 시뮬레이션했다. 그림 1 은 QP 와 프레임당 비트 (bits/frame) 사이의 관계를 보여

준다. 그림 2는 QP와 SNR\_Y(회도의 SNR) 사이의 관계를 보여준다. 각각 100 프레임을 평균한 결과이다. 그림 3은 그림 1과 그림 2의 관계를 SNR\_Y와 프레임당 비트량으로 보여준다.

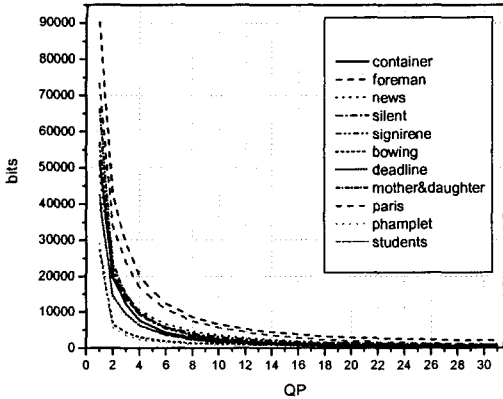


그림 1: QP와 프레임당 비트율

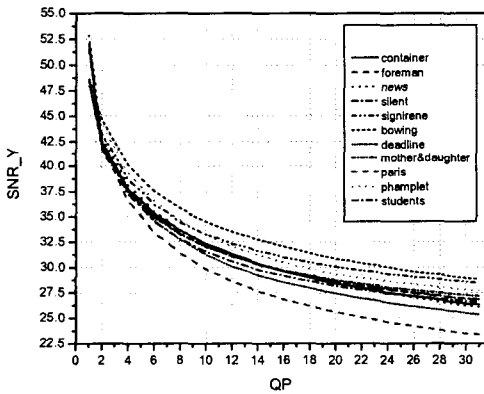


그림 2: SNR\_Y와 QP

그림 3에서 결과들은 3 그룹으로 분류된다. 쉽게 모델링하기 위해 각 그룹의 값들을 평균하여 하나의 대표값으로 사용한다. 그룹 1은 bowing과 phamplet, 그룹 2는 deadline, students, signirene, silent, container, mother&daughter이다. 그룹 3은 paris와 foreman이다. 각 그룹은 그림 3의 결과 데이터로부터 지수 함수 형태,  $a=e^{\alpha x}$ 를 기반으로 하여 오차를 보정하는 방법으로 모델링하였다. 그룹 1,2,3에 대해 구한  $\alpha$  값은 식(1), (2), (3)과 같다.

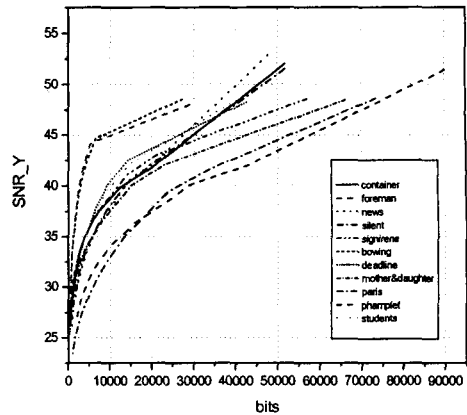


그림 3: 프레임당 비트율과 SNR\_Y(비트 스트림 11개)

$$\alpha = \frac{6.1707}{x} + 0.00771877 + 0.00000282x^3 \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{6.3618}{x} + 0.02588298 + 0.00000337x^3 \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{7.3099}{x} + 0.03291160 + 0.00000279x^3 \quad (3)$$

$$x=1,2,\dots,31$$

그림 4는 그룹과 모델의 대표값을 보여준다. 모델(model) 1,2,3은 그룹(group) 1,2,3을 모델링한 것이다.

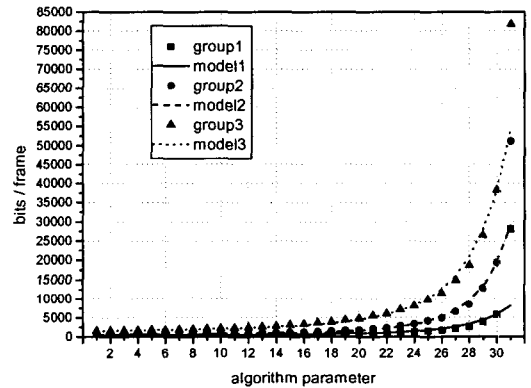


그림 4: 고안된 모델 1,2,3

이 모델은 각각 그룹의 SNR\_Y와 프레임당 비트율 사이의 관계를 포함한다. 모델링 함수의 값은 알고리즘 변수  $x$ 에 의해 계산되고, SNR 값이 변하는 지점을 나타낸다. 즉, 이 점들은 QP들을 나타낸다. 그래서 비디오 스트림의 화질은 모델링 함수값에 의해 조절되어진다.

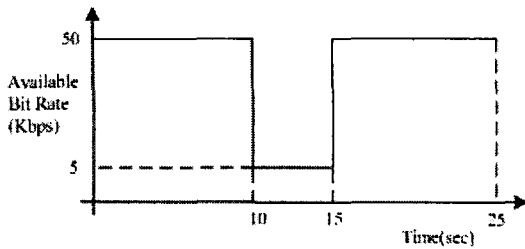


그림 5: 시뮬레이션에 사용된 대역폭

그림 5 는 시뮬레이션 조건이다. 이 시뮬레이션에서 H.263 부호화기는 초당 10 프레임으로 압축한다. 각 0.5 초마다 대역폭 예측은 수행된다. AIMD 에서 증가변수  $a$  의 값은 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 비트이다. 모델 1,2,3 은 인프라 프레임의 비트량에 의해 선택된다.

Table 1,2,3 은 모델 1,2,3 의 결과들이다.

Table1: 그룹 1(Phamplet)

그룹 1		Phamplet			
$a$	Method	AIMD		Model1	
		Bits	SNR_Y	Bits	SNR_Y
500	average	1064.7	32.4288	1014.2	32.0121
	deviation	935.3	2.7813	894.8	2.6162
1000	Average	1511.5	33.8841	1390.7	33.5857
	deviation	1140.7	3.2778	1068.7	3.1444
1500	Average	1970.0	35.0259	1751.2	34.4994
	deviation	1425.5	3.8606	1284.0	3.5632
2000	Average	2417.4	36.0458	2153.0	35.4900
	deviation	1818.5	4.2781	1578.9	3.9995
2500	Average	2848.4	36.7284	2586.9	36.3291
	deviation	2121.2	4.6523	1916.3	4.4179
3000	Average	3158.4	37.1926	2827.7	36.7553
	deviation	2322.8	4.8021	2098.7	4.6797

Table2: 그룹 2(Silent)

그룹 2		Silent			
$a$	Method	AIMD		Model2	
		Bits	SNR_Y	Bits	SNR_Y
500	average	1279.1	27.7835	1573.2	28.6746
	deviation	928.6	0.6118	900.5	0.8302
1000	average	1587.2	28.5696	1734.4	29.0000
	deviation	1005.6	1.2186	945.6	0.9792
1500	average	1970.2	29.1915	2049.0	29.4762
	deviation	1203.6	1.6547	1105.4	1.3135
2000	average	2371.3	29.7164	2393.8	29.9464
	deviation	1464.6	1.9366	1310.8	1.5848
2500	average	2760.7	30.1601	2704.4	30.3052
	deviation	1718.8	2.1613	1503.3	1.7800
3000	average	3041.8	30.4892	2941.2	30.5585
	deviation	1836.5	2.2700	1613.6	1.9299

Table3: 그룹 3(Paris)

그룹 3		Paris			
$a$	Method	AIMD		Model3	
		Bits	SNR_Y	Bits	SNR_Y
500	average	1138.4	24.9873	1613.6	25.8532
	deviation	1755.7	0.6121	1740.1	0.6384
1000	average	1489.0	25.5454	1774.8	26.0352
	deviation	1815.1	0.8518	1763.8	0.6783
1500	average	1870.6	26.0532	2074.8	26.4318
	deviation	1934.3	1.0905	1843.3	0.8341
2000	average	2267.5	26.5262	2402.9	26.8124
	deviation	2101.9	1.3368	1956.1	1.0078
2500	average	2651.2	26.9613	2688.4	27.1477
	deviation	2286.4	1.5340	2075.0	1.1594
3000	average	2923.6	27.2556	2931.5	27.3614
	deviation	2378.3	1.6758	2148.2	1.2641

#### IV. 결론

비트율 제어의 목적은 일정한 시각적 화질을 가진 목표 비트율을 얻는 것이다. 이 목적은 혼잡 제어 메커니즘에 의해 어려워질 수 있다. 혼잡 제어는 전송 비트율을 변동시키고 그 결과로 비디오 화질을 절하시킨다. 평균 채널 활용 관점에서 제안된 모델 1,2,3 방법은 AIMD 방법보다 우수지 못하다. 그러나 Table 1, 2, 3 에서, 모델의 SNR\_Y 와 비트의 표준편차는 AIMD 방법보다 작은 것을 볼 수 있다. SNR 의 표준편차가 작다는 것은 비트 스트림의 화질을 유지시킨다는 것을 말해 준다. 제안한 방법은 비디오 스트림의 화질 변동을 막고, 가용 전송 대역폭을 목표 비트율에 적응시킨다.

#### 참고문헌

- [1] D. Wu, Y. T. Hou, and Y.-Q. Zhang, "Transporting real-time video over the Internet: Challenges and approaches," *Proc. IEEE*, vol. 88, pp. 1855-1875, Dec. 2000.
- [2] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 7, pp. 458-472, Aug. 1999.
- [3] Deepak Bansal, Hari Balakrishnan, Sally Floyd, and Scott Shenker, "Dynamic Behavior of Slowly-Responsive Congestion Control Algorithms", *SIGCOMM'01*, August 27-31, 2001, San Diego, California, USA.
- [4] Floyd, S., Handley, M. and Padhye, J. "A Comparison of Equation-Based and AIMD Congestion Control," May 2000. Available from <http://www.aciri.org/tfrc/>