
PID 제어를 이용한 영상 품질 변화 최소화 방법

박상현* · 강의성**

Video Quality Variation Minimizing Method using PID Controller

Sang-Hyun Park* · Euisung Kang**

본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임
(06-기반-12, 정보통신연구기반조성사업)

요 약

본 논문에서는 버퍼를 이용한 가변적인 트래픽을 제어에서 영상의 품질 변화를 최소화 하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 반복적인 최적화 방법을 사용하지 않고 프레임 레이어에서 전송률을 제어하는 방법으로 영상 프레임간의 왜곡의 변화를 최소화한다. 그리고 버퍼의 정보를 비트율에 효과적으로 반영하기 위하여 제어 시스템에서 많이 사용되는 PID 제어를 하였다. PID 제어는 많은 계산량을 필요로 하지 않기 때문에 제안하는 알고리즘은 낮은 계산량을 필요로 하는 실시간 영상 코덱에 적당한 알고리즘이다. 제안하는 알고리즘과 기존의 알고리즘간의 비교 실험은 제안하는 알고리즘이 PSNR 성능에서 기존의 알고리즘 보다 우수함을 보여준다.

ABSTRACT

A novel method of minimizing video quality variation is proposed for a real-time frame-layer rate control algorithm with a transmission buffer. The proposed rate control method uses a non-iterative optimization method for low computational complexity, and performs bit allocation at the frame level to minimize variation in distortion between frames. In order to reflect the buffer status, we use well-known PID control method. Computational complexity of PID control is very low, so the proposed algorithm is suitable for real-time low-complexity video encoder. Experimental results indicate that the proposed control method provides better PSNR performance than the existing rate control method.

키워드

영상 전송, 비트율 제어, 트래픽 제어, PID 제어기

I. 서 론

인터넷이나 이동 통신망을 이용한 영상 통신은 네트워크 기술과 영상 압축 기술의 발전으로 최근에 많은 관련 서비스들이 개발되고 있다. 네트워크를 이용하여 영상을

전송할 때 크게 고정비트율 (CBR)과 가변비트율 (VBR) 압축 방식이 있다. CBR 방식은 압축한 영상의 출력이 일정한 비트율 특성을 가지도록 압축하는 방식이고 VBR 방식은 압축된 영상의 품질이 일정하게 유지되도록 하는 방식이다. CBR 방식은 일정한 비트율의 출력을 얻을

* 순천대학교 정보통신공학부

** 순천대학교 컴퓨터교육과

수 있지만 영상의 품질은 가변적인 특성을 가지고 VBR 방식은 일정한 품질을 유지할 수 있지만 발생하는 트래픽의 양이 가변적인 특성을 지니게 된다.

기존의 통신망은 CBR 특성을 지니고 있기 때문에 네트워크를 이용한 실시간 영상 전송에 적용되는 영상 압축 알고리즘들은 CBR 방식으로 영상을 압축하였다. 그러나 CBR 전송 특성을 가지는 망에서도 송·수신단의 버퍼를 활용하면 영상의 가변적인 트래픽 특성을 수용할 수 있다.

영상 압축 기술은 다양한 형태로 발전하여왔다. VCD와 DVD 같은 저장 매체를 위한 MPEG-1 표준과 MPEG-2 표준이 있고 영상 통신을 위한 H.261 표준과 H.263 표준도 있다. 최근에 개발된 MPEG-4의 경우 객체 중심의 코딩과 같은 유연한 기능들은 제공하고, H.264/AVC의 경우 아주 높은 압축률을 제공한다. 이러한 표준들은 영상의 시·공간에서의 중복성을 제거함으로써 효과적으로 영상을 압축한다. 그리고 대부분의 경우 손실 압축을 통해 압축 효율을 높인다. 이렇게 손실 압축을 하게 되면 필연적으로 출력 비트율과 영상 품질 사이에는 트레이드오프 관계가 나타나게 된다. 실시간 영상 전송에서는 네트워크의 요구사항에 맞게 출력 데이터를 생성하기 위해 출력 비트율과 영상 품질을 적절히 조절하는 비트율 조절 기법을 사용한다.

네트워크의 요구사항에 맞게 출력 비트를 생성하기 위한 비트율 조절 기법들이 많이 제안되었다[1,2]. 그러나 이 방법들은 영상의 품질을 고려하지 않고 출력 비트율에 맞게 트래픽을 생성하는 것에 중점을 두고 있다. 트래픽의 양이 일정하기 때문에 이 방법들에서는 영상의 품질이 가변적인 문제점이 있다. 영상의 품질을 일정하게 유지하기 방법으로는 MINMAX (minimum maximum) 방법 [3]과 MINAVG (minimum average) 방법 [4]이 제안되었다. 그러나 이 방법들은 영상 시퀀스나 GOP의 왜곡 곡선 (Distortion curve)을 먼저 생성해야 하기 때문에 실시간 응용에는 적용할 수 없다.

이 논문에서는 송신단에서 버퍼를 이용하여 가변적인 트래픽 특성을 수용할 때 영상의 품질 변화를 최소화 하는 저전송률 영상 코딩에 적용가능한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 저전송률 영상 코딩에 맞게 반복적인 연산이 필요없고 계산량이 많지 않은 특징을 가진다. 그리고 실시간 처리에 적용 가능하면서도 영상 품질의 변화를 최소화하기 위하여 슬라이딩 윈도우 개념

을 사용한다. 영상을 압축할 때 버퍼의 상태를 반영하기 위하여 제어 시스템에 많이 사용되는 PID 제어를 사용한다. PID 제어기는 구조가 간단하고 제어 성능이 우수하며 제어 이득 조정이 비교적 쉽기 때문에 다양한 제어에 널리 사용되는 기법이다[5,6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실시간 응용에 적합한 제안된 비트율 제어 알고리즘을 설명한다. 3장에서는 실험결과를 보이고 실험결과에 대해서 고찰하고 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 제안하는 비트율 제어 방법

프레임 레이어에서 비트율 제어를 하기 위해서는 기본적으로 현재 프레임에 대한 비트율과 왜곡을 예측하여야 한다. 예측 함수는 프레임에 사용된 양자화 파라미터의 평균값에 대한 함수 형태가 된다. 예측 함수가 결정되면 이 함수를 이용하여 목표 왜곡치를 결정하고 최종적으로 최적화 알고리즘을 적용하여 현재 프레임을 압축할 때 사용할 양자화 파라미터를 결정하게 된다.

2.1 예측 함수

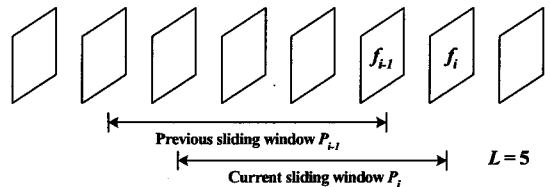


그림 1. 제안된 슬라이딩 윈도우 방법의 개념
Fig. 1. Concept of the sliding window method

현재 프레임의 비트율과 왜곡을 예측하기 위해 경험적인 데이터 기반 R-D 모델을 사용한다. R-D 모델은 다양하게 제안되었으나 현재 가장 많이 사용되고 있는 모델은 Quadratic 비트율 모델과 Affine 왜곡 모델이다[7]. 이 모델들은 모두 프레임의 평균 양자화 파라미터 (QP : Quantization Parameter)에 대한 함수 형태로 다음과 같다.

$$\hat{R}(\bar{q}_i) = (a \cdot \bar{q}_i^{-1} + b \cdot \bar{q}_i^{-2})MAD(\hat{f}_{ref}, f_{cur}) \quad (1)$$

$$\hat{D}(\bar{q}_i) = a' \cdot \bar{q}_i + b', \quad (2)$$

여기서 a, b, a', b' 는 모델 계수이고, \bar{q}_i 는 i 번째 프레임의 모든 매크로 블록에 대한 평균 QP이며, $\hat{R}(\bar{q}_i)$ 과 $\hat{D}(\bar{q}_i)$ 는 각각 비트율과 왜곡에 대한 예측치이다. 여기서 \hat{f}_{ref} 는 이전 프레임을 재구성한 참조 프레임이고 f_{cur} 는 현재 프레임을 나타낸다. 그리고 $MAD(\cdot)$ 연산은 두 프레임간의 차이에 대한 절대값의 평균을 계산한다.

2.2 목표 비트율 계산

제안하는 알고리즘은 실시간 응용에 적합한 슬라이딩 윈도우를 사용한다. 슬라이딩 윈도우는 압축을 하기 전에 프레임에 대해서 미리 분석할 필요가 없기 때문에 압축할 때 추가적인 지연을 발생시키지 않는다. 그림 1은 슬라이딩 윈도우 방법을 보여준다. 슬라이딩 윈도우는 한 프레임의 압축이 끝나면 한 프레임씩 이동한다. 그림에서 P_i 는 현재 슬라이딩 윈도우에 포함된 프레임의 집합 $\{f_{i-L+1}, f_{i-L+2}, \dots, f_{i-1}, f_i\}$ 을 나타내고 여기서 L 은 슬라이딩 윈도우의 크기를 나타낸다. i 번째 프레임을 압축할 때, 목표 양자화 파라미터는 슬라이딩 윈도우 P_i 에 있는 프레임의 정보들을 이용하여 결정한다.

제안하는 알고리즘은 영상의 품질을 일정하게 유지하는 방법이다. 영상의 품질을 일정하게 하면서 압축을 하면 출력 트래픽의 양은 가변적인 특성을 가지게 된다. 전송망은 CBR일 때 이러한 가변적인 특성을 지니는 트래픽을 관리하기 위해서 사용되는 가장 일반적인 방법이 버퍼를 이용하는 것이다. 제안하는 알고리즘은 버퍼를 이용하여 입력 트래픽을 관리하고 허용되는 범위 안에서 영상의 품질을 일정하게 유지되도록 한다.

일정한 영상 품질을 위해 영상을 압축하기 전에 목표 품질을 설정한다. 이때 목표 품질은 전체 영상의 품질 변화를 최소화할 수 있도록 설정된다. 제안하는 알고리즘에서는 슬라이딩 윈도우에 포함된 프레임들간의 왜곡의 차를 최소화시키는 방법을 사용한다. 슬라이딩 윈도우에 포함된 프레임 중 현재 프레임을 제외한 프레임들은 이미 압축이 완료된 프레임들이다. 따라서 현재 프레임의 목표 왜곡 D_i^T 를 다음과 같이 정의한다.

$$D_i^T = \frac{1}{L-1} \sum_{j=i-L+1}^{i-1} D_j \quad (3)$$

목표 왜곡 D_i^T 와의 차이를 최소화하기 위한 양자화 파라미터 (q_i^*)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q_i^* = \underset{q_i}{\operatorname{argmin}} |\hat{D}_i(\bar{q}_i) - D_i^T| \quad (4)$$

H.263+ 표준의 경우 프레임 레이어 비트율 제어에서 최종 목표는 현재 프레임의 목표 비트율 $\hat{R}(q_i^*)$ 이다. 이 값은 식 (1)과 q_i^* 를 이용하여 쉽게 결정할 수 있다. 목표 비트율이 결정되면 매크로 블록의 비트율 제어는 TMN8의 알고리즘을 사용한다. TMN8의 매크로블록 레이어 비트율 제어 알고리즘은 목표 비트율에 맞게 출력 트래픽의 양이 결정되도록 각각의 매크로블록 압축을 조절한다.

2.3 버퍼 피드백

제안하는 알고리즘에서는 버퍼의 상태를 영상 압축에 반영하기 위하여 PID 제어를 사용한다. PID 제어기는 오차에 대한 비례, 적분, 미분항으로 이루어져 간단하면서도 응답특성이 좋은 제어기로 알려져 있다. PID 제어기는 적용대상에 따라 비례, 적분, 미분항의 파라미터를 최적화하여 사용한다. PID 제어기의 파라미터를 선정할 때는 지글러-니콜스 (Ziegler-Nichols) 방법 등이 사용될 수 있다.

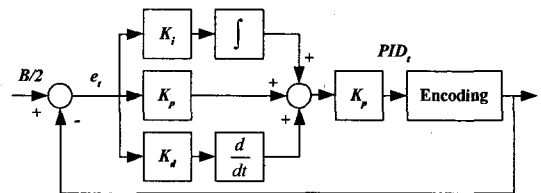


그림 2. PID 제어기의 구조
Fig. 2. Structure of PID controller

일정한 영상 품질을 위해 영상을 압축하기 전에 버퍼의 크기를 B 라고 할 때 버퍼 상태에 대한 목표치는 $B/2$

로 설정한다. 매 프레임의 인코딩이 끝나고 전송이 완료된 후의 버퍼 상태를 B_t 라고 하면 오차는 다음과 같이 정의된다.

$$e_t = \frac{B_t - B/2}{B/2}. \quad (5)$$

이 오차 신호가 PID 제어기로 입력되면 PID 제어기는 PID 값을 다음과 같이 계산한다.

$$PID_t = K_p \cdot e_t + K_i \cdot \int_0^t e_r d\tau + K_d \cdot \frac{d}{dt} e_t. \quad (6)$$

이산 시간 환경에서 PID 제어기가 n 번째 프레임에 대해서 오차 e_n 을 입력으로 받을 때 출력은 다음과 같다.

$$PID_n = K_p \cdot e_n + K_i \cdot \sum_{m=0}^n e_m + K_d \cdot (e_n - e_{n-1}) \quad (7)$$

PID 제어기의 파라미터 중 적분항은 정상 상태 오차를 없애기 위한 오차의 누적항으로 정상 상태에서의 미세한 오차를 보장해 준다. 하지만 과도 응답시 오차가 누적되어 오버슈트를 크게 하는 구조적 단점이 있다. 이러한 이유는 오차가 큰 경우나 진동을 하고 있을 경우에 이 큰 오차의 값이 더욱 누적됨으로써 오차가 0이 되어도 과거의 오차가 적분기에 축적되어 어떠한 값으로 남게 되기 때문이다.

제안하는 알고리즘에서는 영상의 품질을 일정하게 하는 것이 버퍼를 정상상태로 유지하는 것보다 우선이기 때문에 오차가 큰 값을 가지는 경우가 자주 발생한다. 따라서 오버슈트를 방지하기 위하여 PID 제어기의 적분항에서 합하는 오차의 수를 M 으로 제한하였다. 수정된 PID 값 계산식은 다음과 같다.

$$PID_n = K_p \cdot e_n + K_i \cdot \sum_{m=n-M+1}^n e_m + K_d \cdot (e_n - e_{n-1}) \quad (8)$$

PID 값이 계산되면 목표 비트율 $\hat{R}(q_i^*)$ 를 다음과 같이 수정한다.

$$\hat{R}(q_i^*) = (1 - PID_t) \cdot \hat{R}(q_i^*) \quad (9)$$

수정된 목표 비트율을 이용하여 현재의 프레임을 압축한다.

III. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 H.263+ 표준 [8]을 이용하였다. H.263+ 표준에 적용되는 비트율 제어 알고리즘은 TMN8이다. 실험에 사용된 영상 시퀀스는 Foreman, Carphone, Salesman 시퀀스이다. 세 영상 시퀀스 모두 QCIF 영상 포맷 (176×144)이고 프레임레이트 F 는 30 fps이다. 망의 전송속도는 64kbps이고 슬라이딩 윈도우의 크기는 24로 설정하였다.

그림 3은 제안하는 알고리즘의 목표 왜곡값을 보여준다. 제안하는 알고리즘은 슬라이딩 윈도우에 포함된 프레임의 왜곡값의 평균을 목표치로 하기 때문에 이웃한 프레임과 비슷한 왜곡값을 가지면서 전체 영상의 품질 변화를 줄이는 것을 알 수 있다.

영상 품질에 대한 성능 지표는 주로 PSNR 값을 사용한다. PSNR 값은 원 영상과 압축 후 복원된 영상 간의 화질 차를 객관적으로 나타내는 지표이다. 그림 4와 5는 각각 Foreman과 Salesman 영상에 대해서 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘의 PSNR 값을 매 프레임에 대해서 비교하고 있다. 제안하는 알고리즘이 TMN8 알고리즘보다 영상 품질의 변화를 줄이는 것을 알 수 있다.

표 1은 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘의 PSNR 성능을 보여준다. 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘은 PSNR 값의 평균 값은 비슷한 것을 알 수 있다. 하지만 영상 품질의 변화량에 해당하는 표준편차 값을 비교해보면 제안하는 알고리즘이 더 우수한 것을 알 수 있다.

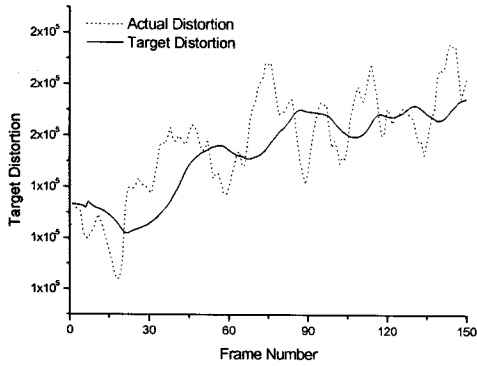


그림 3. 목표 왜곡값. (Foreman)
Fig. 3. Target distortion. (Foreman)

표 1. PSNR 비교
Table 1. Comparison of PSNR

영상	알고리즘	평균	표준편차
Foreman	TMN8	29.38	0.738
	Proposed	29.44	0.523
Carphone	TMN8	33.06	0.952
	Proposed	33.16	0.714
Silent	TMN8	32.98	0.526
	Proposed	33.06	0.418
Salesman	TMN8	33.91	0.915
	Proposed	34.06	0.754

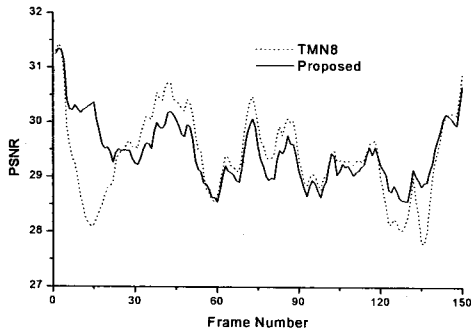


그림 4. PSNR 값 비교. (Foreman)
Fig. 4. Comparison of PSNR. (Foreman)

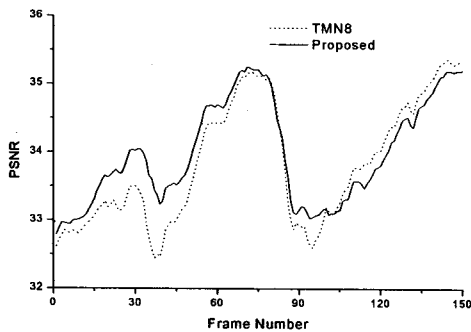


그림 5. PSNR 값 비교. (Salesman)
Fig. 5. Comparison of PSNR. (Salesman)

IV. 결론

논문에서는 송신단에서 버퍼를 이용하여 가변적인 트래픽을 관리하는 스트리밍 서버에서 저전송률의 영상을 전송할 때 영상의 품질 변화를 최소화하기 위한 비트율 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘에서는 영상 품질의 변화를 줄이기 위하여 슬라이딩 윈도우 개념을 적용하여 이웃하는 프레임들의 왜곡 값을 유사하게 유지하도록 하였다. 버퍼에 대한 피드백에 대한 처리는 제어 시스템에서 사용되는 PID 제어를 적용하였다. 또한 제안하는 알고리즘은 영상 압축을 위한 선처리가 필요하지 않고 연산이 간단하기 때문에 실시간 응용에 효과적으로 적용될 수 있다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 세 가지 영상 시퀀스를 이용하여 기존의 TMN8 알고리즘과 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과를 통해 기존의 알고리즘에 비해 제안하는 알고리즘이 영상의 품질 변화를 효과적으로 줄이고 있는 것을 보였다. 제안하는 알고리즘은 기존의 CBR 특성의 망뿐만 아니라 DiffServ와 IntServ와 같이 가변적인 트래픽을 수용하는 차세대 네트워크에서 저전송률의 영상을 전송할 때 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Z. Chen and K.N. Ngan, "Rate-Constrained arbitrarily shaped video object coding with object-based rate control," *IEE-Vision Image and Signal Processing*, vol 151, pp. 250-256, 2004.
- [2] Z. He, Y.K. Kim, and S.K. Mitra, "Low-delay rate control for DCT video coding via ρ domain source modeling," *IEEE Trans. Circuits Systems Video Tech.*, vol. 15, pp. 928-940, 2001.
- [3] G.M. Schuster and A.K. Katsaggelos, *Rate-Distortion Based Video Compression*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1997.
- [4] Y. Sermadevi and S.S. Hemami, "Efficient bit allocation for dependent video coding," *Proceedings of the data Compression Conference*, Snowbird, UT, pp. 232-241, 2004.
- [5] 박진현, 김현덕, 최영규, "경사 감소 학습에 기초한 적응 PID 제어기 설계," 한국해양정보통신학회논문지, 제10권, 제2호, pp. 276-282, 2006.
- [6] 엄기환, 강성호, 이정훈, "변형된 적분 파라미터를 가진 PID 제어방식," 대한전자공학회논문지, 제41권, 제6호, pp. 11-16, 2004.
- [7] T. Chiang and Y. Zhang, "A new rate control scheme using quadratic rate distortion model," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech.*, pp. 246-250, Feb. 1997.
- [8] ITU-T, Video coding for low bit rate communication, ITU-T Recommendation H.263 version 2, Jan. 1998.

저자소개



박 상 현(Sang-Hyun Park)

1995년 2월 고려대학교 전자공학과
학사

1997년 2월 고려대학교 전자공학과
석사

2002년 2월 고려대학교 전자공학과 박사

2004년 2월 ~ 현재 순천대학교 정보통신공학부 조교수

※관심분야: 영상처리, 영상압축, 멀티미디어통신



강 의 성(Euisung Kang)

1991년 고려대학교 전자전산공학과
학사

1995년 고려대학교 전자공학과 석사

1999년 고려대학교 전자공학과 박사

2001년 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터교육과 부교수

※관심분야: 신호 및 영상처리, 컴퓨터교육, 바이오정
보처리