
영상 품질 변화를 최소화하는 실시간 저전송률 영상 코딩

박상현*

Video Quality Variation Minimizing for Real-Time Low Bit Rate Video

Sang-Hyun Park*

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(KRF-2006-331-D00550)

요 약

본 논문은 영상 품질의 변화를 최소화하는 압축 알고리즘을 제안한다. 영상 품질의 변화를 일정하게 하기 위해서는 영상 트래픽의 가변적인 특성을 망에서 수용할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 전송망이 토큰 버킷을 이용하여 가변적인 트래픽을 제어한다는 가정 하에서 영상의 품질 변화를 최소화 하였다. 제안하는 알고리즘은 반복적인 최적화 방법을 사용하지 않고 프레임 레이어에서 전송률을 제어하는 방법으로 영상 프레임간의 왜곡의 변화를 최소화한다. 그리고 전처리가 필요하지 않은 슬라이딩 윈도우 기법을 사용하기 때문에 영상을 압축할 때 추가적인 지연을 발생시키지 않는다. 따라서 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 real-time frame-layer rate control algorithm with a token bucket traffic shaper is proposed for minimizing video quality variation. 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 reduce the quality fluctuation, we use a sliding window scheme which does not require the pre-analysis process. Therefore, the proposed algorithm does not produce the delay from encoding, and 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

constant video quality, frame-layer rate control, token bucket traffic shaper

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 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 최근에 많은 네트워크에서 트래픽의 가변성을 어느 정도 수용하는 방법들이 제공되고 있다. IETF에서는 기존 인터넷망의 Best-Effort 특성을 극복하기 위하여 QoS 보장이 필요한 다양한 실시간 서비스를 위한 IntServ (integrated services)와 DiffServ (differentiated services) 모델을 제시하였다. IntServ의 경우 가변적인 트래픽을 관리하기 위하여 토큰 버킷 알고리즘을 이용한다. 즉, IntServ를 이용한 서비스는 출력 트래픽의 양을 토큰 버킷의 파라미터에 맞게 조절하면 망에서 수용한다는 것이다[1]. DiffServ의 경우도 에지 라우터에서 트래픽을 관리할 때 토큰 버킷을 이용하여 트래픽의 양을 관리한다. 즉, 사용자가 서비스 프로파일을 설정하면 에지 라우터에서는 토큰 버킷 방법을 이용하여 해당 서비스 클래스에 맞게 트래픽이 입력되고 있는지를 관리한다[2]. 네트워크에서 가변적인 트래픽의 수용이 가능해짐에 따라 실시간 영상 전송에서 영상을 압축할 때도 네트워크에서 허용하는 범위 안에서 VBR 방식의 압축을 통해 영상의 품질을 일정하게 유지하는 것이 가능해졌다[3].

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 제거함

으로써 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[4,5]. 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 [6]과 MINAVG (minimum average) 방법 [7]이 제안되었다. 그러나 이 방법들은 영상 시퀀스나 GOP의 왜곡 곡선 (Distortion curve)을 먼저 생성해야 하기 때문에 실시간 응용에는 적용할 수 없다. 실시간 응용에 적합한 방식으로는 MINVAR 알고리즘이 제안되었다[8]. 하지만 이 알고리즘의 이전 프레임만을 고려하기 때문에 영상 품질의 변동을 줄이는데 한계가 있다.

이 논문에서는 토큰 버킷과 같은 기법을 사용하여 망에서 가변적인 트래픽 특성을 수용할 때 영상의 품질 변화를 최소화하는 저전송률 영상 코딩에 적용가능한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 모델은 프레임 레이어에서 영상의 품질을 고려하여 비트율을 할당하는 방식으로 정확한 비트율 제어를 위해 프레임 레이어에서의 레이트-왜곡 (R-D : Rate-Distortion) 모델을 사용한다. 제안하는 방식은 저전송률 영상 코딩에 맞게 반복적인 연산이 필요없고 계산량이 많지 않은 특징을 가진다. 그리고 실시간 처리에 적용 가능하면서도 영상 품질의 변화를 최소화하기 위하여 슬라이딩 윈도우 개념을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MINVAR 알고리즘에 대해서 설명한다. 3장에서는 실시간 응용에 적합한 제안된 비트율 제어 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 실험결과를 보이고 실험결과에 대해서 고찰하고 마지막으로 결론을 맺는다.

II. MINVAR 기반 알고리즘

움직임 보상 영상 압축에서 현재 프레임의 압축 후 비트율과 왜곡은 현재 프레임에 적용된 양자화 파라미터 뿐만 아니라 참조 프레임에 사용된 양자화 파라미터에 영향을 받는다. 즉, n 번째 프레임의 양자화 파라미터를 Q_n 이라고 하면 n 번째 영상의 품질은 Q_n 뿐만 아니라 인접한 프레임의 양자화 파라미터 Q_{n-a}, \dots, Q_{n+b} 의 영향을 받게 된다. 따라서 n 번째 프레임의 비트율과 영상의 왜곡은 각각 $R_n(Q_{n-a}, \dots, Q_{n+b})$ 와 $D_n(Q_{n-a}, \dots, Q_{n+b})$ 로 나타낼 수 있다. 또한 왜곡 변동 (Distortion Variation)은 다음과 같이 정의할 수 있다[9].

$$V_n(Q_{n-a-1}, \dots, Q_{n+b}) = |D_n(Q_{n-a}, \dots, Q_{n+b}) - D_{n-1}(Q_{n-a-1}, \dots, Q_{n+b-1})|. \quad (1)$$

따라서 아무런 제약이 없다면 MINVAR 값을 가지는 양자화 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

$$Q^* = (Q_1^*, \dots, Q_N^*) \quad (2)$$

$$= \arg \min_{(Q_1, \dots, Q_N)} \sum_{n=2}^N V_n(Q_{n-a-1}, \dots, Q_{n+b}),$$

여기서 N 은 영상 시퀀스의 프레임 수를 나타낸다. MINVAR 알고리즘은 영상의 전체 시퀀스에 대해 해석식 (2)의 조건을 만족하는 양자화 파라미터를 계산해서 영상을 압축한다. 그러나 이러한 방법을 실시간 응용에는 부적합하다.

실시간 영상 통신에서 영상은 미래의 프레임을 참조할 수 없고 과거의 프레임은 이미 양자화 파라미터 값이 결정되었기 때문에 n 번째 프레임을 압축할 때 고려해야 하는 왜곡 변동은 다음과 같이 간단해진다.

$$V_n(Q_n) = |D_n(Q_n) - D_{n-1}(Q_{n-1})|. \quad (3)$$

실시간 영상 통신에서 인코더의 버퍼 크기는 제한된 값을 가지기 때문에 각 프레임의 양자화 파라미터를 결

정할 때는 버퍼의 오버플로우와 언더플로우가 발생하지 않는 범위 내에서 왜곡 변동을 최소화 시켜야 한다. 따라서 MINVAR 알고리즘은 전체 영상 시퀀스에 대한 최적화가 아니라 지역적인 최적화를 제공하게 된다. MINVAR 알고리즘에서 n 번째 프레임에 대한 양자화 파라미터 값은 다음과 같이 결정된다[8].

$$Q_n^* = \underset{Q_n}{\operatorname{argmin}} V_n(Q_n) \quad (4)$$

$$s.t. R_n^l \leq R_n(Q_n) \leq R_n^u,$$

여기서 R_n^l 은 인코더 버퍼의 최소 경계값이고 R_n^u 은 최대 경계값이다.

III. 제안하는 비트율 제어 알고리즘

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.

3.1 예측 함수

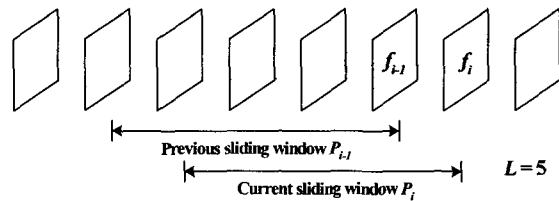


그림 1. 제안된 슬라이딩 윈도우 방법의 개념
Fig. 1. Concept of the proposed sliding window method

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. 이

모델들은 모두 프레임의 평균 양자화 파라미터 (QP : Quantization Parameter)에 대한 함수 형태로 다음과 같다.

$$\hat{R}(\bar{q}_i) = (a \cdot \bar{q}_i^{-1} + b \cdot \bar{q}_i^{-2}) \cdot MAD(\hat{f}_{ref}, f_{cur}) \quad (5)$$

$$\hat{D}(\bar{q}_i) = a' \cdot \bar{q}_i + b', \quad (6)$$

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.

3.2 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.

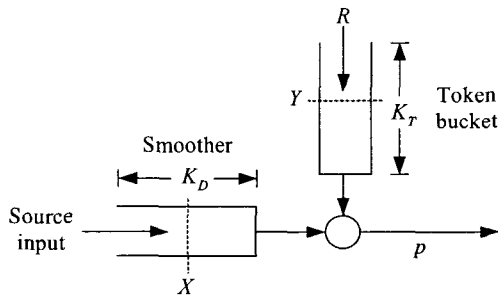


그림 2. 토큰 버킷 트래픽 셰이퍼
Fig. 2. Token bucket traffic shaper

제안하는 알고리즘은 영상의 품질을 일정하게 유지하는 방법이다. 영상의 품질을 일정하게 하면서 압축을 하면 출력 트래픽의 양은 가변적인 특성을 가지게 된다. 전송망은 이러한 가변적인 특성을 지니는 트래픽을 관리하기 위해서 여러 가지 방법들을 사용하는데 가장 일반적인 방법이 토큰 버킷 방법이다[1,2]. 제안하는 알고리즘은 전송망이 토큰 버킷을 이용하여 입력 트래픽을 관리한다고 가정한다. 따라서 영상을 압축할 때는 토큰 버킷 파라미터를 고려하여 허용되는 범위 안에서 영상의 품질을 일정하게 유지되도록 한다.

토큰 버킷 파라미터를 효과적으로 고려하기 위하여 제안하는 알고리즘에서는 가상 버퍼 변수를 정의하여 사용한다. 그림 2는 토큰 버킷을 이용한 트래픽 셰이퍼를 보여준다. 여기서 K_D 는 스무딩 버퍼의 크기를 나타내고 K_T 는 토큰 버킷의 크기를 나타낸다. 그리고 p 와 R 은 각각 피크 비트율과 토큰 생성률을 나타낸다. 변수 X 와 Y 는 각각 스무딩 버퍼에 버퍼링된 데이터의 크기와 토큰 버킷에 남아 있는 토큰의 양을 나타낸다. 토큰 버킷 알고리즘에서 스무딩 버퍼에 있는 데이터는 토큰 버킷에 토큰이 있을 때만 전송된다. 따라서 피크 비트율이 충분히 크다고 가정하면 토큰 버킷에 토큰이 하나도 없을 때에만 스무딩 버퍼에 데이터가 존재할 수 있다. 반대로 토큰 버킷에 토큰이 있다는 것은 스무딩 버퍼에 데이터가 없다는 것을 의미한다. 이러한 특성을 이용하여 가상 버퍼 변수 \bar{W} 를 다음과 같이 정의한다.

$$\bar{W} \equiv X - Y + K_T. \quad (7)$$

\bar{W} 와 변수 X, Y 의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= 0, \bar{W} = K_T - Y, \text{ if } 0 \leq \bar{W} \leq K_T \\ Y &= 0, \bar{W} = X + K_T, \text{ if } K_T < \bar{W} \leq K \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $K = K_D + K_T$ 이다.

영상의 품질을 일정하게 유지하기 위하여 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 현

재 프레임의 목표 왜곡 D_i^T 를 다음과 같이 정의한다.

$$D_i^T = \frac{1}{L-1} \sum_{j=i-L+1}^{i-1} D_j \quad (9)$$

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

$$q_i^* = \underset{q_i}{\operatorname{argmin}} |\hat{D}_i(q_i) - D_i^T| \quad (10)$$

$$\text{s.t. } \alpha \cdot K \leq \bar{W} \leq \beta \cdot K.$$

H.263+ 표준의 경우 프레임 레이어 비트율 제어에서 최종 목표는 현재 프레임의 목표 비트율 $\hat{R}(q_i^*)$ 이다. 이 값은 식 (5)와 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.

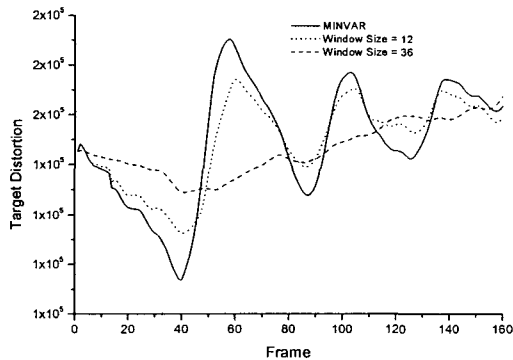


그림 3. 목표 왜곡값 비교
Fig. 3. Comparison of target distortion

IV. 실험 결과

실시간 저전송률 영상 통신에서 허용 지연 보다 늦게 도착한 데이터는 폐기되기 때문에 지연에 대한 관리를 하지 않으면 전송망의 자원을 낭비하는 결과를 초래한다. 영상 트래픽의 지연 관리는 인코더 버퍼의 상태를 이용하여 수행한다. 즉, 버퍼의 데이터량과 망의 전송 속도를 이용하여 지연을 초과하지 않게 트래픽의 크기를 제한하게 된다. 본 실험에서는 스무딩 버퍼의 크기를 $5 \cdot R/F$ 로 설정하였다. 여기서 F 는 초당 프레임 수를 나타낸다. 그리고 트래픽의 가변성을 수용하기 위한 파라미터인 토큰 버킷의 크기도 역시 $5 \cdot R/F$ 로 설정하였다.

제안하는 알고리즘의 성능을 MINVAR 알고리즘 [8]과 비교하기 위하여 H.263+ 표준을 이용하였다. 실험에 사용된 영상 시퀀스는 Foreman, Carphone, Salesman 시퀀스이다. 세 영상 시퀀스 모두 QCIF 영상 포맷 (176×144)이고 프레임레이트 F 는 30 fps이다. 토큰 생성률은 64kbps이고 슬라이딩 윈도우의 크기는 12 프레임, 24 프레임, 36 프레임, 세 가지에 대해서 실험을 수행하였다.

그림 3은 MINVAR 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 목표 왜곡값을 비교하고 있다. MINVAR 알고리즘의 경우 바로 이전 프레임의 왜곡값을 목표치로 하기 때문에 이웃하는 프레임의 왜곡값을 잘 반영하지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 반면 제안하는 알고리즘은 슬라이딩 윈도우에 포함된 프레임의 왜곡값의 평균을 목표치로 하기 때문에 이웃한 프레임과 비슷한 왜곡값을 가지는 것을 알 수 있다.

표 1. 제안된 알고리즘의 성능과 MINVAR 알고리즘의 성능 비교

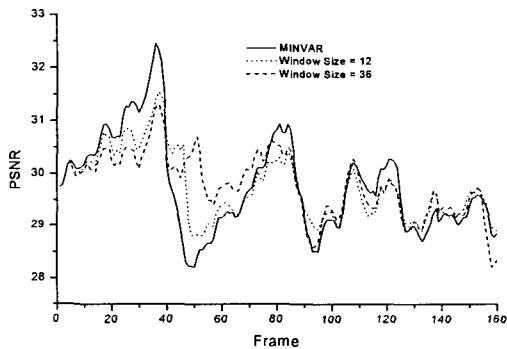
Table 1. Performance comparison of the proposed algorithm with MINVAR

영상 시퀀스	비트율 제어 알고리즘	PSNR 평균	PSNR 표준편차
Foreman	MINVAR	29.51	0.91
	윈도우 크기 = 12	29.75	0.64
	윈도우 크기 = 24	29.79	0.61
	윈도우 크기 = 36	29.81	0.60
Carphone	MINVAR	31.05	2.54
	윈도우 크기 = 12	31.08	2.13
	윈도우 크기 = 24	31.08	2.05
	윈도우 크기 = 36	31.07	1.97
Salesman	MINVAR	34.38	1.02
	윈도우 크기 = 12	34.25	0.91
	윈도우 크기 = 24	34.16	0.85
	윈도우 크기 = 36	34.09	0.82

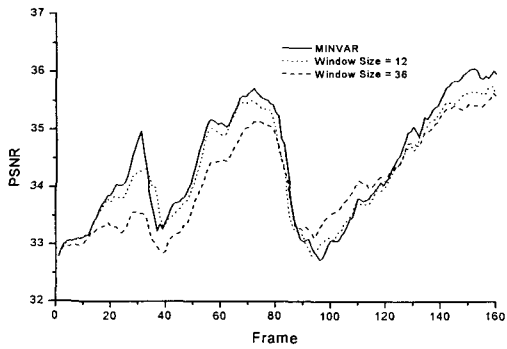
영상 품질에 대한 성능 지표는 주로 PSNR 값을 사용한다. PSNR 값은 원 영상과 압축 후 복원된 영상 간의 화질 차를 객관적으로 나타내는 지표이다. $m \times n$ 크기의 영상에 대해서 하나의 화소가 $[0, 255]$ 범위의 값을 가질 때 PSNR 값은 다음과 같이 구한다.

$$PSNR = \quad (11)$$

$$10 \log_{10} \frac{m \times n \times 255^2}{\sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \{(f(x, y) - g(x, y))\}^2}$$



(a)



(b)

그림 4. PSNR 비교. (a) Foreman, (b) Salesman
Fig. 4. Comparison of PSNR. (a) Foreman, (b) Salesman

표 1은 제안하는 알고리즘과 MINVAR 알고리즘의 PSNR 성능을 보여준다. 제안하는 알고리즘과 MINVAR 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. 제안하는 알고리즘에서도 슬라이딩 윈도우를 크게 하면 표준편차가 조금씩 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 4는 제안하는 알고리즘과 MINVAR 알고리즘의 PSNR 값을 매 프레임에 대해서 비교하고 있다. 제안하는 알고리즘이 MINVAR 알고리즘 보다 영상 품질의 변화를 줄이는 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘에서 슬라이딩 윈도우의 크기가 12와 36으로 했을 때를 비교해보면 슬라이딩 윈도우의 크기가 큰 36으로 했을 때 영상 품질의 변화가 더 적은 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 토큰 버킷을 이용하여 가변적인 트래픽을 관리하는 전송망을 통해 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 왜곡값을 유사하게 유지하도록 하였다. 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 MINVAR 알고리즘과 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과를 통해 기존의 알고리즘에 비해 제안하는 알고리즘이 영상의 품질 변화를 효과적으로 줄이고 있는 것을 보였다. 제안하는 알고리즘은 DiffServ와 IntServ와 같이 가변적인 트래픽을 수용하는 차세대 네트워크를 이용하여 저전송률의 영상을 전송할 때 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. Metz, "IP QoS: Traveling in First Class on the Internet," *IEEE Internet Computing*, vol. 3, pp. 84-88, 1999.
- [2] H. Su and M. Atiquzzaman, "Comprehensive Performance Model of Differentiated Service with Token Bucket Marker," *IEE Proceedings-Communications*, vol. 150, pp. 347-353, 2003.
- [3] 박상현, "다중 MPEG 비디오 전송을 위한 I-픽처 정렬 방안," *한국해양정보통신학회 논문지*, 제9권, 제2호, pp. 277-282, 2005.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] G.M. Schuster and A.K. Katsaggelos, *Rate-Distortion Based Video Compression*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1997.
- [7] Y. Sermadevi and S.S. Hemami, "Efficient bit allocation for dependent video coding," *Proceedings of the data Compression Conference*, Snowbird, UT, pp. 232-241, 2003.
- [8] Z. Chen and K.N. Ngan, "Distortion variation minimization in real-time video coding," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 21, pp. 273-279, 2006.
- [9] L.J. Lin and A. Ortega, "Bit-rate control using piecewise approximated rate-distortion characteristics," *IEEE Trans. Circuits Systems Video Tech.*, vol 8, pp. 446-459, 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