
영상 품질 변화를 최소화하는 프레임 생략 알고리즘

박상현* · 이성근*

Frame Skipping Algorithm for Minimization of Video Quality Variation

Sang-Hyun Park* · Sung-Keun Lee*

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

요 약

3GPP에서는 이동망에서 QoS를 관리하기 위하여 트래픽 조절기가 포함된 QoS 구조에 대해서 정의하고 있다. 본 논문에서는 3GPP에서 정의하는 트래픽 조절기에 적용 가능한 영상 전송 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 프레임 스킵핑을 이용하여 가변적인 트래픽을 제어하는 트래픽 조절기에서 영상의 품질 변화를 최소화 한다. 제안하는 알고리즘은 가변 대역폭에 맞게 프레임 수를 조절하여 프레임 레이어에서 전송률을 제어하는 방법으로 영상 프레임간의 왜곡의 변화를 최소화한다. 그리고 제안하는 알고리즘은 전처리가 필요하지 않기 때문에 영상을 압축할 때 추가적인 지연을 발생시키지 않는다. 따라서 제안하는 알고리즘은 낮은 계산량을 필요로 하는 실시간 영상 코덱에 적당한 알고리즘이다.

ABSTRACT

According to recently presented QoS architecture by 3GPP, a traffic conditioner may be deployed to provide conformance of the negotiated QoS. In this paper, a real-time frame-layer rate control method which can be applied to the traffic conditioner of 3GPP is proposed. The proposed rate control method uses an efficient frame skipping algorithm method for low computational complexity, and performs bit allocation at the frame level to minimize the average distortion over an entire sequence as well as variations in distortion between frames. The proposed algorithm does not produce time delay from encoding, and is suitable for real-time low-complexity video encoder.

키워드

영상 전송, 프레임 생략, 비트율 제어, 트래픽 제어

I. 서 론

이동 네트워크 기술의 발달로 차세대 이동망은 다양한 서비스 품질을 제공하는 광대역 멀티미디어 서비스를 제공하게 될 것이다. 3세대 이동통신 시스템을

UMTS의 경우도 앞으로 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 작업을 진행 중이다. 이러한 멀티미디어 서비스들은 각 서비스마다 이질적인 특성을 가지며 이동망으로 전송될 때 서로 다른 QoS 파라미터 값을 요구하게 된다. 이를 위해 이동망은 기본적으로 기존의 회선

교환 방식에서 패킷 교환 방식으로 전환되어야 한다. 이동 통신망이 패킷 교환 방식으로 동작하게 되면 기존의 유선 패킷망에서 사용되어온 알고리즘을 이동망에 적용하여 서비스 품질을 제공하게 된다. 이동망에서도 유선망과 같이 사용자에게 서비스를 제공하기 위해 서비스 품질에 따른 파라미터를 교환하고 연결이 설정된 후에는 설정된 파라미터에 맞게 트래픽 제어 및 자원 관리가 이루어지게 된다 [1].

유선망에서 QoS와 트래픽 관리는 Internet Protocol (IP)과 Asynchronous Transfer Mode (ATM) 네트워크를 중심으로 많이 연구되고 있다. ATM 네트워크의 경우 자원 관리, 호 수락 제어, 사용자 파라미터 제어, 트래픽 평활화 등을 포함한다. IP 네트워크의 경우 Integrated Service (IntServ)와 Differentiated Service (DiffServ) 두 개의 방향으로 IETF에 의해 사용자 단대단간의 서비스 품질을 제공하기 위한 방법들이 연구되고 있다. 3세대 이동망에서도 이와 관련된 연구들이 최근 활발히 이루어지고 있으며 이러한 활동들이 다양한 표준화 작업으로 이어지고 있다. UMTS의 경우 QoS Architecture가 확정되었고 몇 개의 단대단 서비스 시나리오가 3rd Generation Partnership Project (3GPP)에 의해 권고되었다 [2][3].

UMTS의 경우 QoS 관리 모듈 중 하나인 트래픽 조절기를 이용하여 CBR뿐만 아니라 VBR 트래픽도 수용한다. 이를 위해 트래픽 조절기는 트래픽 평활화와 트래픽 감시를 수행한다. 트래픽 조절기는 사용자 단말과 기지국에 모두에 위치하여 트래픽이 설정된 파라미터를 준수하게 제어한다 [1][4].

사용자 단말은 트래픽 조절기에 맞게 트래픽을 생성하면 정상적인 전송이 이루어지게 된다. 하지만 이동망의 경우 전송 채널의 상태가 가변적이기 때문에 연결 설정시 협상된 대역폭에 맞게 전송할 수 없는 상황이 발생할 수가 있다. 이 경우 사용자 단말쪽의 트래픽 조절기는 현재의 채널 상태를 감안하여 최적의 전송을 수행하여야 한다.

네트워크를 이용한 영상 전송은 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 유

지할 수 있지만 발생하는 트래픽의 양이 가변적인 특성을 지니게 된다.

이동망에서 VBR 방식의 압축을 수행할 때 고려해야 하는 것 중의 하나는 채널 대역폭이 평균 전송율보다 작을 때의 처리 방법이다. 대역폭이 작을 경우 여기에 맞춰서 압축을 수행하면 이전의 영상 품질보다 낮은 영상을 얻게 된다. 따라서 전체 영상의 품질을 일정하게 유지하기 위해서는 가용 대역폭에 따라 적절하게 프레임을 생략하여 부족한 대역폭을 확보하는 것이 필요하다.

이 논문에서는 UMTS와 같이 채널 상태가 가변적인 이동망을 통해 가변적인 트래픽 특성을 가지는 영상 데이터를 전송할 때 프레임 생략을 통해 영상의 품질 변화를 최소화하는 저전송률 영상 코딩에 적용가능한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방식은 저전송률 영상 코딩에 맞게 반복적인 연산이 필요 없고 계산량이 많지 않은 특징을 가진다. 그리고 실시간 처리에 적용 가능하면서도 영상 품질의 변화를 최소화하기 위한 알고리즘을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이동망에서의 트래픽 제어와 가변 채널에 맞는 프레임 생략 알고리즘에 대한 개략적인 설명을 2장에서 기술하고 3장에서는 제안하는 영상 전송 방법에 대해서 설명한다. 4장에서 실험 결과와 비교하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 프레임 생략 알고리즘

3GPP 이동망인 UMTS의 경우 UE (User Equipment)와 RNS (Radio Network Subsystem)에서는 트래픽이 호 설정시 설정된 파라미터에 맞게 송수신 되는지를 토큰 버킷 알고리즘을 이용해서 판단한다 [5]. 토큰 버킷은 가변적으로 발생하는 트래픽을 조절하는 알고리즘으로 긴 시간 주기를 통해 보면 토큰 생성율이 평균 전송율과 같다. 하지만 짧은 시간 주기에서 보면 트래픽이 갑자기 많이 발생할 때 토큰 버킷의 크기 만큼의 트래픽을 수용할 수 있다.

이동망에서 토큰 버킷 알고리즘을 이용하여 VBR 특성을 만족하는 압축 영상을 만드는 방법은 많이 제안되었다 [6]. 이 방법들은 토큰 버킷 파라미터가 보장된다는 가정하에 버퍼와 토큰 버킷 파라미터가 허용하는 범위 안에서 한 프레임에 해당하는 트래픽 양의 가변성을 허

용하고 있다. 하지만 이동망의 경우 호 설정 시에 토른 버킷 파라미터가 설정되었다 하더라도 가변적인 채널 특성 때문에 전송 대역폭이 평균 전송율보다 낮게 되는 상황이 발생하게 되고 이 경우 토른 버킷은 정상적으로 동작하지 않게 된다.

다라서 이동망을 통해 영상을 전송할 때는 현재의 채널 대역폭에 맞게 영상을 압축하는 알고리즘이 필요하다. 즉, 영상을 압축하기 전에 채널 대역폭을 예측하고 여기에 맞게 알고리즘을 적용한다. 채널 대역폭을 예측하는 방법은 많이 제안되었다 [7]. 가장 많이 사용되는 방법은 마코프 체인 모델이다. 상태의 수는 2개나 3개가 많이 사용된다. 그림 1은 상태가 2개인 마코프 체인 모델을 나타낸다.

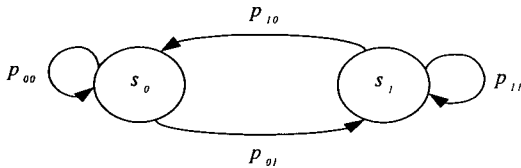


그림 1. 2-상태 마코프 체인 모델
Fig. 1 Two-state Markov Chain Model

여기서 s_0 는 Good 상태이고 s_1 은 Bad 상태이다. 그리고 p_{ij} 는 상태 i 에서 상태 j 로 천이할 확률이다. 상태가 Good인지 Bad인지의 판단을 수신 신호의 파워 레벨을 측정하여 이루어진다. 이때 측정되는 값은 주로 RSSI (Receive Signal Strength Indicator)와 Rx-power 값이다.

이렇게 어느 정도의 QoS를 관리하는 이동망을 통해 영상을 전송할 때 가변적인 무선 채널을 고려하여 영상을 압축하는 방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 방법은 동일한 영상 소스에 대해서 다양한 통계적 특성을 가지는 여러 개의 압축 영상을 만드는 것이다. 전송할 때는 현재의 채널 대역폭과 트래픽 조절기의 상태를 고려하여 최적의 압축 소스를 결정하여 전송하게 된다. 하지만 이 방법은 시스템의 부하를 증가시키고 많은 저장 공간을 필요로 하는 단점이 있다. 두 번째 방법은 스케일러블 코딩이다. 하나의 Base 레이어 코딩을 하고 이것을 바탕으로 여러개의 Enhancement 레이어로 코딩하여 네트워크 대역폭에 맞게 전송하여 조합하는 방식이다. 이 방법도 송·수신단에 레이어 압축 및 복원 기능이 필요하기 때문에 이동 단말에는 적용하지 못하다. 마지

막 방법은 전송율을 조절하는 방법이다. 전송율을 조절하는 방법도 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 각 프레임에 할당되는 비트율을 줄이는 방법이다. 다른 하나는 프레임에 할당하는 비트율을 일정하게 유지하면서 프레임을 적절하게 생략하는 방법이다. 본 논문에서는 가변 채널에 대해 비트율을 조절하는 방법으로 프레임에 적절히 생략하여 영상의 품질을 일정하게 유지하는 방법을 제안한다.

III. 제안하는 알고리즘

제안하는 방법은 예측된 채널 대역폭 (R_C)이 연결 설정시 협상된 전송 대역폭 (R) 보다 작을 때 적절하게 프레임을 생략해서 영상의 품질을 일정하게 유지하는 것이다.

3.1 생략할 프레임의 비율 결정

채널 대역폭이 전송 대역폭보다 작게 되면 간단하게 다음과 같이 생략할 프레임의 비율 (R_S)을 결정한다.

$$R_S = \frac{R - R_C}{R}. \tag{1}$$

R_S 는 실수값을 가지기 때문에 이 값을 효과적으로 프레임 생략에 사용하기 위해 Skip Counter (SC) 변수를 사용한다. SC 변수는 생략에 의해 확보된 대역폭을 여러 프레임에 골고루 분산시키는 역할을 담당한다. SC 변수의 동작은 다음과 같다. i 번째 프레임에 대한 SC 변수의 값을 SC_i 라고 할 때 i 번째 프레임이 생략되면 SC_i 는 $SC_{i-1} - (1 - R_S)$ 값을 가지고 생략되지 않으면 $SC_{i-1} + R_S$ 의 값을 가진다.

3.2 비트율 제어

프레임을 생략하는 것은 영상의 품질을 일정하게 유지하기 위한 대역폭을 확보하기 위한 것이다. 이렇게 확보된 대역폭을 이용하여 나머지 프레임의 품질을 일정하게 유지하기 위하여 목표 왜곡 개념을 도입하였다. 각 프레임의 왜곡 값을 일정하게 유지함으로써 전체 영상

의 품질을 일정하게 유지한다. i 번째 프레임을 압축하기 위한 목표 왜곡을 D_i^T 라고 하면 D_i^T 는 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} & \text{if}(SC_{i-1} > TH_h) \\ & \quad D_i^T = \alpha' \cdot D_{i-1}^T \\ & \text{else if}(SC_{i-1} < TH_l) \\ & \quad D_i^T = \beta \cdot D_{i-1}^T \\ & \text{else} \\ & \quad D_i^T = D_{i-1}^T \end{aligned}$$

SC 값이 커지면 생략되는 프레임의 비율이 R_S 보다 작다는 것을 의미하고 이것은 각 프레임에 할당되는 비트 양이 대역폭에 비해 적다는 것을 의미한다. SC 값이 상한값 (TH_h) 보다 커지면 목표 왜곡 값을 감소시켜 각 프레임에 할당되는 비트 양을 증가시킨다. 반대로 SC 값이 감소하는 것은 생략되는 프레임의 비율이 R_S 보다 크다는 것을 의미하고 하한값 (TH_l) 보다 작으면 목표 왜곡 값을 증가시켜 생략되는 프레임 수를 감소시킨다. 따라서 α' 값은 1보다 작은 값이고 β 값은 1보다 큰 값이다.

목표 왜곡값이 결정되면 이 값을 이용하여 목표 비트 양을 결정한다. 목표 비트 양을 결정하기 위해서는 양자화 값에 따른 비트 양과 왜곡 치를 예측해야 한다.

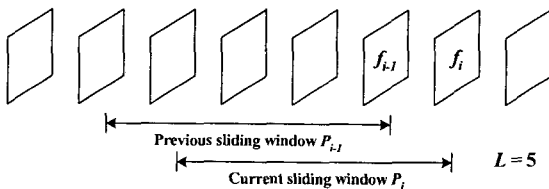


그림 2. 제안된 슬라이딩 윈도우 방법의 개념
Fig. 2 Concept of the proposed sliding window method

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 [8].

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

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

여기서 a, b, a', b' 는 모델 계수이고, 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.

R-D 모델에 기반한 프레임 레이어 비트율 제어에 관한 공식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^L |\hat{D}_i(\bar{q}_i) - D_i^T| \\ & \text{subject to } \beta \cdot K \leq W \leq \alpha \cdot K. \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 W 는 버퍼에 있는 데이터 양을 나타내고 K 는 버퍼의 크기를 나타낸다. 그리고 α 와 β 는 버퍼 언더플로우와 오버플로우를 방지하기 위한 파라미터 값이다. 인코더 버퍼의 크기가 크지 않을 경우 출력 비트율의 크기 변화는 제한적이다. 따라서 버퍼 오버플로우와 언더플로우를 방지하면서 목표 왜곡 D_i^T 와의 차이를 최소화하기 위한 양자화 파라미터 (q_i^*)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & q_i^* = \arg \min_{q_i} |\hat{D}_i(\bar{q}_i) - D_i^T| \\ & \text{subject to } \beta \cdot K \leq W \leq \alpha \cdot K. \end{aligned} \quad (4)$$

제안하는 비트율 제어 알고리즘은 인코딩 지연을 발생시키지 않지만 근본적으로 근사적 최적화를 수행하기 때문에 약간의 성능 저하가 발생할 수 있다.

3.3 프레임 생략 방법

각 프레임이 압축이 완료되면 압축된 프레임을 생략할 것인지 전송할 것인지를 결정한다. 프레임을 생략할지의 판단은 버퍼에 있는 데이터 양과 현재 프레임의 크기 등을 고려하여 다음과 같이 결정한다.

if ($W + R_i - R_C > K$)
 Skip Frame;
 $SC_i = SC_{i-1} - (1 - R_S)$;
 else
 Transmit Frame;
 $SC_i = SC_{i-1} + R_S$;

여기서 R_i 는 i 번째 프레임을 압축한 데이터의 양을 나타낸다. 프레임을 생략할 것인지 전송할 것인지를 판단에 따라 SC 값도 업데이트한다.

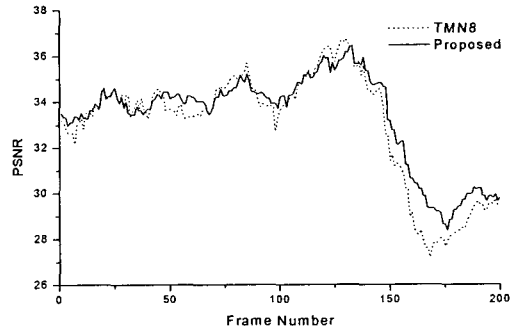
IV. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 TMN8 알고리즘과 비교하였다. 영상을 압축하기 위한 코덱으로는 H.263+ 표준을 이용하였다. 실험에 사용된 영상 시퀀스는 Foreman, Carphone, Salesman, Silent 시퀀스이다. 네 영상 시퀀스 모두 QCIF 영상 포맷 (176×144) 이고 원본의 프레임 레이트는 30 fps이다. 호 설정시에 설정된 전송율은 100Kbps이고 예측된 채널 대역폭이 80Kbps인 상황에 대해서 실험을 수행하였다. 따라서 프레임을 생략할 비율인 R_s 는 0.2의 값을 가진다.

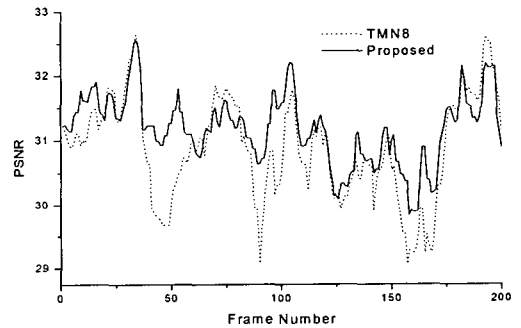
영상 품질에 대한 성능 지표는 주로 PSNR 값을 사용한다. PSNR 값은 원 영상과 압축 후 복원된 영상 간의 화질 차를 객관적으로 나타내는 지표이다. $m \times n$ 크기의 영상에 대해서 하나의 화소가 $[0, 255]$ 범위의 값을 가질 때 PSNR 값은 다음과 같이 구한다.

$$PSNR = \tag{5}$$

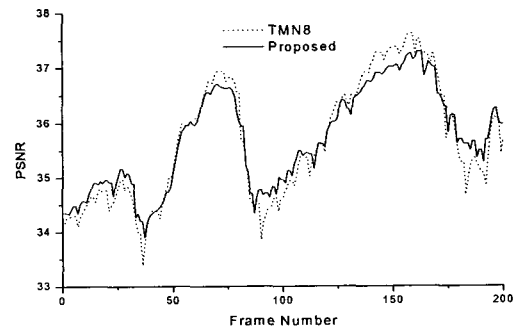
$$10 \log_{10} \frac{m \times n \times 255^2}{\sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \{(f(x,y) - g(x,y))\}^2}$$



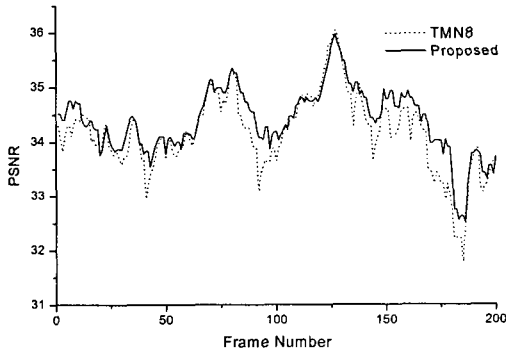
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. PSNR 비교. (a) Carphone, (b) Foreman, (c) Salseman, (d) Silent

Fig. 3. Comparison of PSNR. (a) Carphone, (b) Foreman, (c) Salseman, (d) Silent

그림 3은 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘의 PSNR 값을 매 프레임에 대해서 비교하고 있다. 제안하는 알고리즘이 TMN8 알고리즘 보다 영상 품질의 변화를 줄이는 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 적절하게 프레임 생략하기 때문에 TMN8 알고리즘에 비해 남은 대역폭을 이용해 품질이 높은 프레임을 만드는 것을 알 수 있다.

표 1은 280 프레임의 영상 시퀀스에 대해서 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘의 PSNR 성능을 보여준다. 제안하는 알고리즘은 TMN8 알고리즘에 비해 생략되는 프레임의 수가 많지만 R_b 의 비율에 맞게 생략되는 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘과 TMN8 알고리즘은 PSNR 값을 비교하면 평균 값에서 제안하는 알고리즘이 약간 우수한 것을 알 수 있다. 또한 영상 품질의 변화량에 해당하는 표준편차 값을 비교해보면 제안하는 알고리즘이 더 우수한 것을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘은 목표 왜곡값을 이용하여 영상 품질의 변동을 줄이기 때문에 TMN8보다 표준편차 값이 작게 된다.

표 1. 제안된 알고리즘의 성능과 TMN8 알고리즘의 성능 비교

Table 1. Performance comparison of the proposed algorithm with TMN8 algorithm

영상 시퀀스	알고리즘	PSNR 평균	PSNR 표준편차	생략된 프레임수
Carphone	TMN8	32.46	2.48	32
	Proposed	32.87	2.15	55
Foreman	TMN8	30.59	1.05	35
	Proposed	31.04	0.78	60
Salesman	TMN8	35.87	1.09	38
	Proposed	35.93	0.91	44
Silent	TMN8	34.13	0.71	32
	Proposed	34.34	0.61	51

V. 결론

본 논문에서는 UMTS와 같이 QoS를 관리하는 이동망에서 가변적인 채널 대역폭에 따른 영상의 품질 변화를 최소화하기 위한 전송 방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘에서는 영상 품질의 변화를 줄이기 위하여 채널 대역폭에 따라 적절하게 프레임을 생략하여 대역폭을 확보하고 확보된 대역폭을 이웃하는 프레임들에 할당하여 대역폭 감소로 인한 영상의 왜곡을 최소화하였다. 또한 제안하는 알고리즘은 영상 압축을 위한 선처리가 필요하지 않고 연산이 간단하기 때문에 실시간 응용에 효과적으로 적용될 수 있다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 네 가지 영상 시퀀스를 이용하여 기존의 TMN8 알고리즘과 성능을 비교 분석하였다. 실험 결과를 통해 기존의 알고리즘에 비해 제안하는 알고리즘이 영상의 품질 열화를 효과적으로 줄이고 있는 것을 보였다. 제안하는 알고리즘은 가변적인 영상 트래픽을 이동망을 이용하여 전송할 때 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] F. Y. Li and N. Stol, "QoS Provisioning using Traffic Shaping and Policing in 3rd-Generation Wireless Networks," in Proc. WCNC, pp. 17-21, 2002.
- [2] R. Koodli and M. Puuskari, "Supporting Packet-Data QoS in Next-Generation Cellular Networks," IEEE Comm. Mag. pp. 180-188, Feb. 2001.
- [3] S. Dixit, Y. Guo, and Z. Antoniou, "Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks," IEEE Comm. Mag. pp. 125-133, Feb. 2001.
- [4] L. A. Ronningen, "Analysis of a Traffic Shaping Scheme," in Proc. ITC, 1983.
- [5] 3GPP TS23.107v4.0.0, "QoS Concept and Architecture," Dec. 2002.
- [6] 박상현, "토큰 버킷을 이용한 낮은 비트율 비디오의 실시간 비트율 제어," 한국해양정보통신학회 논문지, 제10권, 12호, pp. 2315-2320, 2006.
- [7] H.-S. Kim, D. Duong, J.-Y. Jeong, B.-K. Dan, and S.-J. Ko, "Power-Aware Rate Control for Mobile Multimedia Communications," LNCS 4104, pp. 458-471, Aug. 2006.
- [8] 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.

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

이 성 근 (Sung-Keun Lee)

한국해양정보통신학회 논문지 제6권 제4호 참조