

차세대 이동망에서 영상 품질을 보장하기 위한 전송 방법

박상현*

*순천대학교

Video Transmission Method for Constant Video Quality in Next-Generation

Wireless Networks

Sang-Hyun Park*

*Sunchon National University

E-mail : shark@scnu.ac.kr

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 토큰 버킷을 이용하여 가변적인 트래픽을 제어하는 트래픽 조절기에서 영상의 품질 변화를 최소화 한다. 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.

ABSTRACT

According to recently presented QoS architecture by 3GPP, a traffic conditioner may be deployed to provide conformance of the negotiated QoS. A real-time frame-layer rate control method which can be applied to the traffic conditioner is proposed. 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 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, 비트율 제어, 영상 스트리밍, 토큰 버킷 알고리즘

1. 서 론

이동 네트워크 기술의 발달로 차세대 이동망은 다양한 서비스 품질을 제공하는 광대역 멀티미디어 서비스를 제공하게 될 것이다. 3세대 이동통신 시스템인 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 QoS 관리 모듈 중 하나인 트래픽 조절기는 입력되는 트래픽이 설정된 파라미터에 맞게 입력되게 하는 기능을 담당한다. 이를 위해 트래픽 조절기는 트래픽 평활화와 트래픽 감시를 수행한다. 트래픽 조절기는 사용자 단말과 기지국에 모두에 위치하여 트래픽이 설정된 파라미터를 준수하게 제어한다 [1].

트래픽 평활화에 대한 연구는 많이 수행되었지만 현재는 크게 두 가지 알고리즘을 기본으로 하고 있다. 하나는 ATM 포럼에서 정의한 Leaky Bucket 알고리즘이고 다른 하나는 IETF에서 정의한 Token Bucket 알고리즘이다. UMTS의 경우 3GPP에 의해 Token Bucket 알고리즘이 채택되었다. 그러나 아직까지 UMTS와 같은 Code Division Multiple Access (CDMA) 시스템에서 트래픽을 관리하기 위한 방법들에 대한 연구는 미진한 상태이다 [4].

이 논문에서는 UMTS와 같이 토큰 버킷 알고리즘을 사용하여 망에서 가변적인 트래픽 특성을 수용할 때 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 위하여 슬라이딩 윈도우 개념을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 시스템 모델과 토큰 버킷 알고리즘에 대한 개략적인 설명을 2장에서 기술하고 3장에서는 제안하는 영상 전송 방법에 대해서 설명한다. 4장에서 실험 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

이동망에서 트래픽 관리를 수행하는 모듈은 사용자 단말과 기지국에 동시에 존재한다. 기지국에서 트래픽 관리를 수행하는 요소를 Radio Network Subsystem (RNS)라고 한다. RNS는 다시 하나의 Radio Network Controller (RNC)와 여러개의 Node B들로 이루어진다. 사용자 단말들은 각 셀에 분포하고 셀의 중앙에는 기지국이 존재한다. 그림 1은 시스템 모델을 보여준다 [5].

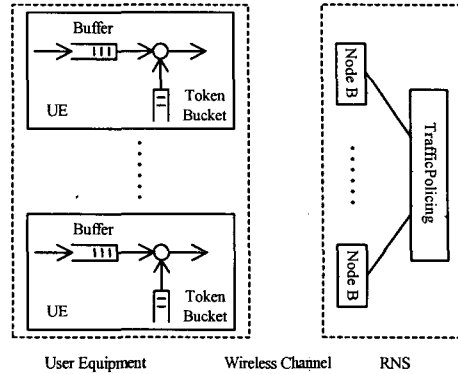


그림 1. 시스템 모델

각 User Equipment (UE)는 여러 트래픽 클래스들 중 하나를 사용하게 된다. 그리고 트래픽 세이퍼는 각 사용자의 uplink 트래픽에 대해서 트래픽 클래스의 파라미터에 맞게 평활화를 수행한다. Node B를 통해 수신된 패킷은 RNC로 보내지고 RNC는 트래픽이 파라미터에 맞게 송신되었는지를 검사한다.

UE와 RNC에서는 트래픽이 설정된 파라미터에 맞게 송수신되는지를 토큰 버킷 알고리즘을 이용해서 판단한다. 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.

III. 영상 전송 방법

제안하는 방법은 토큰 버킷 알고리즘으로 트래픽을 평활화할 때 가능 대역폭에 맞게 프레임의 비트율을 제어하여 영상의 품질을 효과적으로 일정하게 유지하기 위한 방법이다. 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 프레임의 압축할 때 사용할 양자화 파라미터를 결정하게 된다.

3.1 예측 함수

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

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

여기서 $a, b, a',$ 그리고 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

토큰 버킷 파라미터를 효과적으로 고려하기 위하여 제안하는 알고리즘에서는 가상 버퍼 변수를 정의하여 사용한다. 그림 2는 토큰 버킷을 이용한 트래픽 셰이퍼를 보여준다.

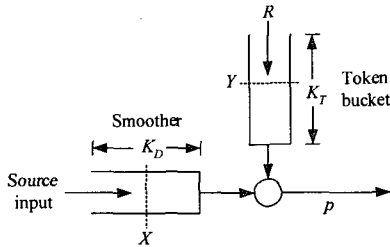


그림 2. 토큰 버킷 트래픽 셰이퍼

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.

$$\bar{W} \equiv X - Y + K_T. \quad (2)$$

\bar{W} 와 변수 X, Y 의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= 0, \bar{W} = K_T - Y, \text{ if } 0 \leq \bar{W} \leq K_T \\ Y &= 0, \bar{W} = X + K_T, \text{ if } K_T < \bar{W} \leq K \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $K = K_D + K_T$.

영상 품질을 일정하게 유지하기 위하여 i 번째 프레임 인코딩 시간에 목표 왜곡 D_i^T 를 다음과 같이 정의한다.

$$D_i^T = \begin{cases} \alpha \cdot D_{i-1}^T, & \text{if } \bar{W} > \alpha' \cdot K \\ \beta \cdot D_{i-1}^T, & \text{if } \bar{W} < \beta \cdot K \\ D_{i-1}^T, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 α' 와 β 은 버퍼 오버플로우와 언더플로우를 방지하기 위한 안전 마진이다. 버퍼 오버플로우가 예상되면 목표 왜곡은 이전 목표 왜곡 값보다 큰 값을 가지게 설정하여 버퍼에 있는 데이터의 양을 줄인다. 반면, 버퍼 언더플로우가 예상되면 목표 왜곡 값은 이전 값보다 작은 값을 가지게 설정한다. 가상 버퍼 값이 안전 마진 범위에 있지 않을 때는 이전 왜곡 값과 동일하게 목표 왜곡 값을 설정한다. 본 논문에서 사용한 $\alpha, \beta, \alpha', \beta'$ 의 값은 각각 1.1, 0.9, 0.9, 0.1이다.

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

$$\sum_{i=1}^L |\hat{D}_i(\bar{q}_i) - D_i^T| \quad (5)$$

$$\text{subject to } \beta \cdot K \leq \bar{W} \leq \alpha' \cdot K.$$

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.

$$q_i^* = \underset{q_i}{\operatorname{argmin}} |\hat{D}_i(\bar{q}_i) - D_i^T| \quad (6)$$

$$\text{subject to } \beta \cdot K \leq \bar{W} \leq \alpha' \cdot K.$$

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

수 있다.

IV. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 MINVAR 알고리즘 [7]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 fps, 토큰 생성률은 64kbps이다.

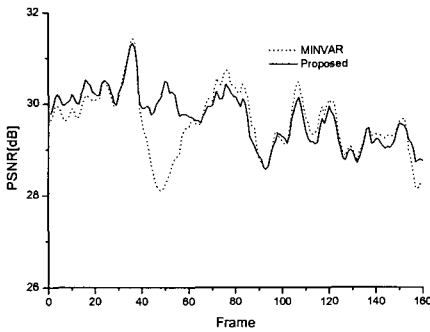


그림 3. PSNR 값 비교. (Foreman)

그림 3은 제안하는 알고리즘과 MINVAR 알고리즘의 PSNR 값을 매 프레임에 대해서 비교하고 있다. 제안하는 알고리즘이 MINVAR 알고리즘보다 영상 품질의 변화를 줄이는 것을 알 수 있다.

표 1. PSNR 비교

Sequence	Method	Average	Variation
Foreman	MINVAR	29.5	0.172
	Proposed	29.6	0.139
Carphone	MINVAR	31.0	0.197
	Proposed	31.0	0.183
Silent	MINVAR	32.7	0.140
	Proposed	32.7	0.110

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.

V. 결 론

본 논문에서는 UMTS와 같이 토큰 버킷을 이용하여 가변적인 트래픽을 관리하는 이동망을 통해 저전송률의 영상을 전송할 때 영상의 품질 변화를 최소화하기 위한 전송 방법을 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 가변적인 트래픽을 수용하는 차세대 네트워크를 이용하여 저전송률의 영상을 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] 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.
- [7] L. J. Lin and A. Ortega, "Bit rate control using piecewise approximated rate-distortion characteristics," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech., pp. 446-459, Aug. 1998.