

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제2호, 2013년 3월 (JBE Vol. 18, No. 2, March 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.2.283>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

비트스트림 정보를 이용한 멀티미디어 동영상의 무기준법 화질평가방법

서귀원^{a)}, 옥지현^{a)}, 이권^{a)}, 이재호^{a)}, 이철희^{a)†}

Multimedia No-reference Video Quality Assessment Methods Using Bit Stream Information

Guiwon Seo^{a)}, Jiheon Ok^{a)}, Kwon Lee^{a)}, Jae Ho Lee^{a)}, and Chulhee Lee^{a)†}

요 약

스마트기기 및 IPTV의 보급으로 인터넷망을 이용한 영상서비스가 증가하고 있다. 인터넷 망을 이용한 영상서비스에서는 과도한 트래픽으로 인한 화질 열화가 발생할 가능성이 존재한다. 사용자에게 일정한 화질의 영상서비스를 제공하기 위해 신뢰도 높은 화질 모니터링 시스템의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 영상서비스에 사용되는 비트스트림 정보를 이용하여 체감화질을 측정하는 알고리즘을 제안한다. 통신망으로 전송되는 비트스트림에서 프로토콜 헤더정보와 ES(elementary stream) 정보를 사용하여 사용자에게 영상이 전달 되었을 때의 화질지수를 측정한다. 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 VGA 해상도로 주관적 화질 평가 실험을 진행하였으며, 제안하는 방법은 주관적 점수와 높은 상관도를 보였다.

Abstract

Various video services with networks are increasingly available as smart phones, computers and IPTV are widely used. However, transmission over networks may experience transmission errors due to traffic increases and noise. As a result, video quality may suffer. Therefore, quality monitoring emerges as an important issue. In this paper, we propose a video quality assessment method using bit stream information. The video quality metric is calculated using header information and ES (elementary stream) information. To assess performance of the proposed algorithm, subjective quality assessment tests are conducted (VGA resolution). It is shown high correlation between subjective result and the proposed method.

Keyword : quality assessment, IPTV, perceptual quality, bitstream information

a) 연세대학교 전기전자공학부 (Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

† Corresponding Author : 이철희(Chulhee Lee)

E-mail: chulhee@yonsei.ac.kr

Tel: +82-2-2123-2779

* 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신미디어원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음(KCA-2012-10912-02003))

Manuscript received January 8, 2013 Revised March 19, 2013

Accepted March 19, 2013

1. 서론

IPTV 및 다양한 스마트기기들의 확산으로 영상서비스의 접근성이 급격하게 향상되었다. 다양한 형태의 단말기에서 영상서비스를 제공받을 수 있게 되면서 기존의 영상 제공 방식인 공중파 방송 및 저장매체를 통한 방식에서 벗어나 인터넷 및 무선망을 이용한 영상서비스 제공이 확산되었고

영상의 수요는 점점 증가하는 추세이다. Cisco에서 전 세계 비디오 트래픽에 관련해 예측한 바에 따르면 2011년에 영상정보로 인한 트래픽이 전체 트래픽의 50% 이상을 차지하였고, 영상정보 트래픽은 매년 두 배 가까이 증가할 것으로 예상된다^[1].

인터넷망을 이용한 영상서비스를 제공할 때 영상 화질을 일정하게 유지하는 것은 중요한 문제이다. 그러나 영상이 서비스되는 인터넷 망에 일시에 과도한 트래픽이 발생할 때 영상서비스 패킷의 전송 오류 및 전송 지연 현상이 발생하게 되며, 사용자가 체감하는 영상 화질은 현저하게 떨어진다. 사용자에게 일정한 수준 이상의 영상 품질을 보장하기 위해서, 또 영상 서비스화질에 따른 과금체계를 구축하기 위해서는 사용자가 느끼는 화질을 정확하게 반영할 수 있는 신뢰도 높은 객관적 화질측정 방법 개발이 필요하다.

영상 품질을 측정하기 위해 가장 널리 쓰이는 방법은 원영상과 열화영상의 MSE (Mean square error)를 측정하는 방법이다. 그러나 MSE 및 MSE기반의 PSNR은 인간의 시각을 정확하게 반영하지 못한다는 문제가 오래전부터 제기되었고,^{[2]-[4]} 이와 같은 이유로 인간시각체계(Human visual system)을 정확하게 반영하는 객관적 화질 측정방법 연구가 지난 수년 동안 꾸준히 진행 중이다^[5]. 일반적으로 객관적 화질 측정 방법은 전기준법(Full reference), 감소기준법(Reduced reference) 그리고 무기준법(No reference)의 세 가지 방법으로 구분한다. 전기준법 품질평가 방법은 부호화 및 최적화에 유용하게 이용될 수 있으며 원본영상으로부터의 열화정도를 수치화하는 방법이다^{[6][7]}. 감소기준법 품질평가 방법은 원본영상의 특징을 계산 전송하여 품질 평가하는 방법으로 영상서비스에 적용가능한 방법이다^{[8]-[10]}. 무기준법 방법은 원본영상의 정보 없이 열화영상만으로 품질 평가하는 방법으로 적용범위가 넓을 것으로 기대되지만 일반적으로 전기준법이나 감소기준법에 비해 성능이 떨어지는 것으로 알려져 있다^{[11]-[14]}. 영상 품질 측정 방법을 표준화하기 위한 노력도 VQEG (Video Quality Expert Group) 및 ITU를 통해 계속되었다. ITU에서는 다양한 해상도의 대한 전기준법 및 감소기준법 품질평가 방법 표준을 완료하

였다^{[15]-[20]}.

화질평가 기술을 보다 다양한 지점에 적용할 수 있도록 원영상 정보를 이용하지 않고, 영상서비스를 위해 전송되는 비트스트림 정보를 참조하여 주관적 화질지수를 예측하는 방법이 연구되어왔다^{[21]-[23]}. 비트스트림 정보만을 이용하여 품질 측정을 진행하게 되면 서비스 제공자로부터 사용자에 이르기까지 인터넷 망의 어느 지점에서든 품질을 측정할 수 있고, 수행속도도 기존의 영상기반 화질평가 방법에 비해 크게 향상시킬 수 있다.

비트스트림 정보를 참조하여 주관적 화질지수를 예측하는 방법으로 H.264/AVC등의 압축 비트스트림으로부터 품질에 관련한 정보를 분석하여 품질을 예측하는 방법에 대한 연구가 진행되었고^{[24]-[26]}, 비트스트림 정보와 더불어 열화영상의 영상정보를 함께 고려하여 품질을 예측하는 하이브리드 방식의 영상품질 측정방법에 대한 연구도 활발하게 진행 중이다^[27].

본 논문에서는 영상정보를 이용하지 않고 인터넷 네트워크를 통해 전송되는 영상 비트스트림의 헤더정보와 압축 비트스트림 정보를 함께 이용하여 주관적 화질을 신뢰도 높게 예측하는 비트스트림 기반 화질평가 방법을 제안한다.

본 논문의 2절에서는 비트스트림 기반 화질 평가 방법에 대해 설명하고, 3절에서는 비트스트림 기반 화질측정 알고리즘을 설명하며, 4절에서는 실험결과를 통해 알고리즘을 검증하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. 비트스트림 기반 화질평가 알고리즘

그림 1은 객관적 동영상 화질 평가방법이 사용할 수 있는 비트스트림 데이터 및 PVS (processed video sequences)를 보여 준다. 헤더 정보만 사용하는 화질 평가 방법은 가장 넓은 활용범위를 가질 것으로 전망된다. 헤더정보와 함께 ES (Elementary stream)을 함께 참조하여, 부호화된 영상의 파라미터들을 함께 고려하여 화질 평가를 수행할 수 있다. ES에서는 부호화 정보, 전송오류의 영향을 정량화 할 수 있다. 디스플레이에 전달되는 PVS는 디코더에서 발생하는 추가의 오류에 관한 정보를 추출할 수 있다. 본 논문에서는

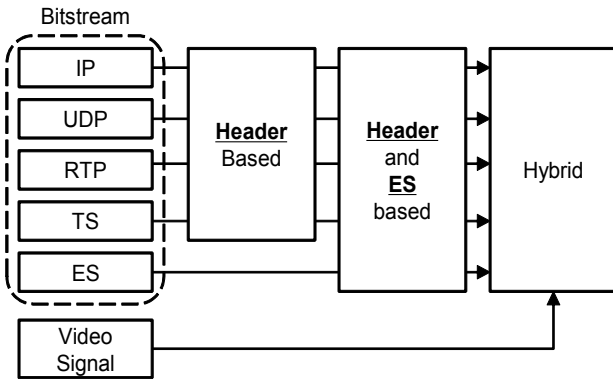


그림 1. 비트스트림 모델의 사용정보 범위
 Fig. 1. Information usage of bit stream models

헤더 정보 및 ES 정보를 사용하는 비트스트림 기반 화질평가 방법을 제안한다.

1. 전송 헤더 정보기반 화질평가 방법

영상서비스를 인터넷망을 통해서 전송할 때, 영상정보를 특정 프로토콜을 사용하여 전송한다. 영상서비스의 프로토콜로는 IP/UDP/RTP/TS 등을 사용하며, IPTV가 아닌 모바일 기기용 프로토콜로는 TS를 생략한 IP/UDP/RTP 프로토

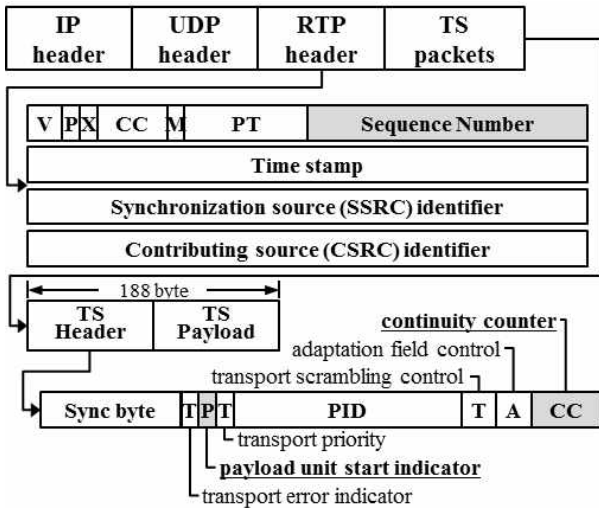


그림 2. 영상전송을 위한 프로토콜 구조
 Fig. 2. Protocol structure for video transmission

콜을 주로 사용한다. 프로토콜에 포함되어 있는 헤더정보를 이용하여 기초적인 화질을 예측할 수 있다. 그림 2는 네트워크를 이용해 영상을 전송하기 위한 프로토콜 구조를 나타낸다. RTP 및 TS 헤더 정보를 이용하여, 영상의 화질을 예측한다.

1.1. 비트율 추정 방법

영상을 인터넷망을 통해 서비스하기 위해서는 영상정보를 포함하고 있는 비트스트림을 여러 개의 패킷으로 나누어 전송하며, 비트스트림은 IP 프로토콜을 통해 전송한다. 각 패킷의 크기는 일정한 크기를 유지하기 때문에 수신되는 패킷의 수를 산출하여 비트율을 추정할 수 있다. 그러나 RTP 패킷의 경우는 패킷의 크기가 유동적으로 달라질 수 있기 때문에 다른 패킷 크기를 가질 때는 IP헤더의 총길이 정보를 함께 고려한다.

TS 프로토콜의 경우 하나의 패킷은 188바이트의 크기로 고정되어 있다. 수신된 TS의 개수를 정규화 하여 비트스트림의 비트율을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$Bitrate_{esti} = N_{ts} \times 188 \times 8 \times \frac{1}{t_{receive}} \quad (1)$$

$$t_{receive} = \frac{N_{frame}}{fps} \quad (2)$$

여기서 N_{ts} 는 전체 TS 패킷의 수를 나타내며, $t_{receive}$ 는 전체 수신 길이, N_{frame} 은 전체 수신 프레임 수 그리고 fps 는 프레임 율을 의미한다. N_{frame} 은 TS 패킷 내에 존재하는 payload unit start indicator (PUSI) 비트 및 RTP의 Time stamp를 사용하여 알 수 있다. PUSI는 TS에 PES 헤더가 포함되어있는지를 표시하는 비트로 하나의 프레임에 여러 개의 PES 헤더를 포함할 경우 부정확할 수 있다. 본 논문에서는 TS 헤더만을 이용하여 프레임수를 추정하기 위해 프레임시작에만 PUSI가 표시되도록 전송하였으며, RTP time stamp를 이용한 정보와 비교하여 다른 방법으로 전송한 영상의 프레임 수 예측에 대한 신뢰도를 높일 수 있다.

TS를 사용하지 않는 RTP 프로토콜의 경우 TS와 유사한

방법으로 계산할 수 있다. 하나의 IP 패킷에는 7개의 TS가 포함되어 있으므로 하나의 RTP 패킷을 포함하는 IP 패킷에는 TS 7개 비트스트림 데이터가 존재한다고 가정한다. 즉 RTP 프로토콜의 비트율 추정은 다음과 같은 방법으로 한다.

$$Bitrate_{esti} = N_{rtp} \times 7 \times 188 \times 8 \times \frac{1}{t_{receive}} \quad (3)$$

여기서 N_{rtp} 는 전체 RTP 패킷의 수를 의미한다. 수신 패킷 수 기반 비트율 추정방법으로 비트율을 추정할 수 있고, 이를 주관적 화질평가 지표에 사용할 수 있다.

1.2. 손실을 측정 방법

네트워크를 통한 비디오 서비스를 수신하는 경우, 네트워크 상황의 악화로 패킷 손실 혹은 패킷 지연현상이 발생할 수 있다. 패킷 수신 오류가 일어나면 수신과 짧은 시간차를 가지고 복호화를 해야 하는 수신 단에서는 수신하지 못한 패킷 정보 없이 영상정보를 복호화 해야 하고, 이 과정에서 심각한 화질 열화가 발생할 수 있다. 따라서 수신 비트스트림 패킷의 손실률을 측정은 네트워크 기반 영상 서비스 화질을 측정하는데 매우 중요하다.

TS 프로토콜에는 헤더에 4비트의 CC (continuity counter)를 제공한다. 매 TS 프레임이 전송될 때마다 하나의 값을 더해 전송하고, 이에 따라 인접한 TS 패킷의 연속적인 CC 값을 가져야 한다. 인접한 TS 패킷의 CC 값이 연속적인 값을 가지지 않는다면 전송 오류가 발생한 것을 알 수 있다. RTP 프로토콜은 헤더에 16비트의 연속번호 (Sequence number)를 포함하고 있다. RTP 패킷이 전송될 때마다 번호가 1씩 증가하기 때문에 TS 패킷과 마찬가지로 이 연속번호를 확인하여 RTP 패킷의 전송오류 여부를 확인할 수 있다. 전체 패킷의 수와 전송오류 패킷의 수를 확인하여 다음과 같이 패킷 손실률을 계산할 수 있다.

$$LossRatio = \begin{cases} \frac{N_{rtp-pl}}{N_{rtp} + N_{rtp-pl}} & RTP\ protocol \\ \frac{N_{ts-pl}}{N_{ts} + N_{ts-pl}} & TS\ protocol \end{cases} \quad (4)$$

여기서 N_{rtp-pl} 은 전체 RTP 손실 패킷수를 의미하고, N_{ts-pl} 은 전체 TS 손실 패킷수를 의미한다.

1.3 오류패턴에 따른 오류프레임 계산

패킷손실이 발생했을 때, 패킷의 중요도에 따라 사용자가 체감하는 영상 화질은 크게 달라진다. 많은 프레임에 참조가 되는 I 프레임에서 오류가 발생하였을 경우 하나의 패킷 오류로도 많은 프레임에 오류가 발생하며, B 프레임에서 오류가 발생하였을 경우 하나의 프레임에서만 오류가 발생한다. I 프레임여부를 판별하기 위해 프레임당 패킷수를 이용한다. 그림 3와 같이 I 프레임 내의 패킷수는 다른 프레임 보다 상대적으로 매우 많은 값을 가진다. I 프레임 결정을 위해 단위 시간 내 프레임 당 패킷수의 최댓값과 국소 프레임 내 프레임 당 패킷수의 최댓값 정보를 이용하여 해당 프레임이 I 프레임인지 I 프레임이 아닌지를 판별한다. 국소 프레임 내에서 최댓값을 가질 때, 해당 패킷수가 전체 최댓값의 절반 이상일 때, 그리고 전체 패킷수에 일정 비율 이상을 가질 때, 해당프레임을 I 프레임으로 추정하고 그렇지 않을 경우 I 프레임이 아니라고 추정한다.

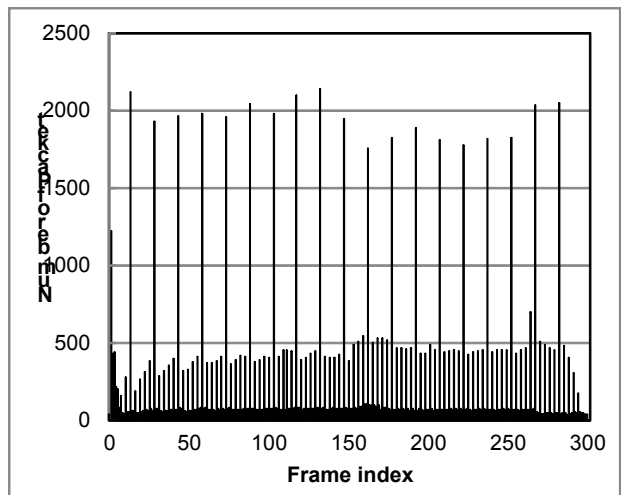


그림 3. 프레임 당 패킷수 분포
Fig. 3. Distribution of packet numbers per frame

패킷 오류가 발생할 경우, 오류가 발생한 프레임이 I 프레임이라면 다음 I 프레임이 나오기 까지 모든 프레임은 오

류프레임이라 추정하고, I 프레임이 아니라면 해당 프레임만 오류프레임이라고 추정한다. 이와 같은 방법으로 오류가 포함된 프레임이 몇 개 존재하는지 확인할 수 있다. 오류프레임은 복호화기의 오류은폐기술을 참조하여 슬라이스 프레임 수나 프리즈 프레임 수로 고려한다. 오류은폐기술에 대한 자세한 기술은 추후 2.3 절에 구체적으로 언급한다.

1.4 비트율을 이용한 체감화질 근사화

비트율이 증가할수록 체감화질은 증가한다. 그러나 저비트율에서 체감화질 증가폭이 고비트율에서의 체감 폭보다 크기 때문에 이 특성을 반영하기 위해 그림 4와 같은 비트율과 화질지수(Video Quality Metric; VQM)의 적합식(fitting function)을 사용한다. 체감화질을 고려한 적합식을 모델링하기 위해 다양한 비트율을 가지는 영상에 대한 주관적 데이터를 이용하였다. 적합식은 네 가지 부분으로 나눌 수 있는데, 매우 낮은 비트율 영역과 매우 높은 비트율 영역에서는 일정한 상수 값을 가지도록 하고, 비트율에 따라 체감화질이 급격하게 변화하는 저비트율 영역에서는 이차함수를 이용한다. 마지막으로 비트율의 변화에 둔감한 고비트율 영역은 일차함수를 이용하여 화질지수를 산출한다. 비트율을 x축, 품질지수를 y축으로 하였을 때, 적합식이 변화하는 세 개의 임계점 (th_0, vq_0) , (th_1, vq_1) 그리고

(th_2, vq_2) 으로부터 다음과 같이 적합식을 계산할 수 있다.

$$fit_{bitrate}(x) = \begin{cases} vq_0, & x < th_0 \\ \omega_0 + \omega_1 x + \omega_2 x^2, & th_0 \leq x < th_1 \\ \frac{vq_2 - vq_1}{th_2 - th_1}(x - th_1) + vq_1, & th_1 \leq x < th_2 \\ vq_2, & th_2 \leq x \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \omega_2 &= -\frac{(vq_1 - vq_0)}{(th_1 - th_0)^2}, \omega_1 = -2\omega_2 th_1, \omega_0 \\ &= vq_0 - (\omega_1 + \omega_2 th_0) th_0 \end{aligned} \quad (6)$$

2. 비트스트림 정보 해석을 통한 화질평가 방법

IP, UDP, RTP 그리고 TS 헤더를 제거하고 나면 영상 부호화 정보가 담겨있는 비트 스트림인 ES를 얻을 수 있다. ES에는 복호화를 위해 필요한 모든 정보를 가지고 있기 때문에, 사용자가 체감하게 될 영상출력정보를 신뢰도 높게 예측할 수 있다.

2.1. PSNR 예측

PSNR은 이미지 및 비디오에서 가장 널리 쓰이고 있는 열화측정 방법이다. 원영상과 열화영상의 MSE를 기반으로 계산하는 이 방법은 인간 시각체계를 정확하게 반영하지

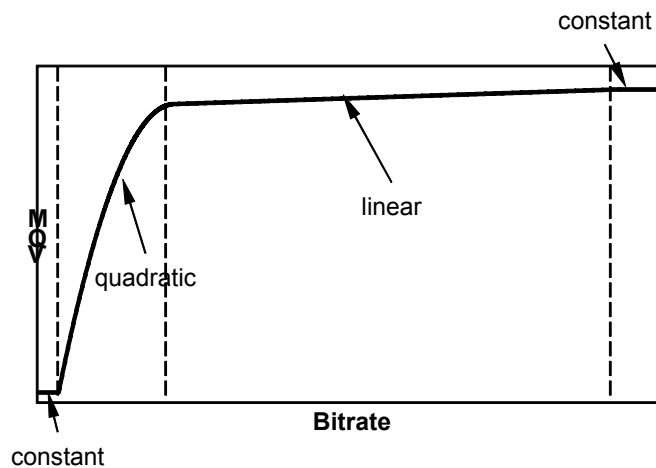


그림 4. 비트레이트-화질지수 적합식
 Fig. 4. fitting function between bitrate and VQM

못한다는 한계를 가지고 있지만 여전히 의미 있는 정보를 제공한다. 그러나 PSNR을 계산하기 위해서는 부호화되기 전의 원영상을 요구하기 때문에 실제 영상서비스에서 적용하기 힘든 한계를 가지고 있다. 이러한 이유로 원영상 정보 없이 전송된 영상만을 이용하여 압축 비트스트림의 파라미터를 통해 PSNR을 예측하는 방법이 제안되었다^{[13][28-31]}. 일반적으로 PSNR 예측방법은 MPEG-2 및 H.264 등 압축데이터의 DCT 변환계수 대해 Cauch 분포, Laplacian 분포 및 가우시안 분포를 가정하여 DCT 계수의 분포로부터 PSNR을 예측한다. 본 논문에서는 여러 방법 중 계수의 선택에 따라 Laplacian 분포와 가우시안 분포를 함께 고려하여 높은 성능을 기대할 수 있는 일반화된 가우시안 분포(Generalized Gaussian distribution)을 이용한 PSNR 예측방법을 사용하였다^[13]. 이 방법에서는 먼저 압축된 동영상 비트스트림에서 변환계수를 추출하고, 이 추출된 변환계수가 일반화된 가우시안 분포를 가진다고 가정한다. 이후 추출된 변환계수의 분산과 형태파라미터를 계산하여 압축된 동영상의 PSNR을 추정할 수 있다.

$$PSNR_{esti} = 10\log_{10} \frac{255^2}{MSE_{esti}} \quad (7)$$

계산하고자 하는 계수가 $M \times M$ 2D DCT라고 가정하면, MSE는 다음과 같이 예측할 수 있다.

$$MSE = \frac{1}{M \times M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \epsilon_{i,j}^2 \quad (8)$$

$$\epsilon^2 = 2 \left[\int_0^{\Delta/a} x^2 p(x) dx + \sum_{k=1}^{\infty} \int_{(k-1+1/a)\Delta}^{(k+1/a)\Delta} (x-k\Delta)^2 p(x) dx \right] \quad (9)$$

$$p(x) = \frac{v\alpha(v)}{2\sigma\Gamma(1/v)} \exp\left\{-\left[\alpha(v)\left|\frac{x}{\sigma}\right|\right]^v\right\} \quad (10)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt, \quad x > 0, \quad \alpha(v) = \left[\frac{\Gamma(3/v)}{\Gamma(1/v)}\right]^{1/2} \quad (11)$$

ϵ 은 한 지점에서의 제공오차 (square error)를 의미하고, Δ 는 양자화 단계 크기를 a 는 양자화기의 선형성을 결정

하는 파라미터이다. v 은 일반화된 가우시안 분포의 형태 파라미터이고, σ^2 은 가우시안 분포의 분산을 의미한다. 일반화된 가우시안 분포 함수 $p(x)$ 는 식 (10),(11)과 같이 v 와 σ^2 에 의해 결정될 수 있으며 식 (9)는 일반화된 가우시안 분포 함수를 이용해 제공오차를 결정하는 수식이다. 양자화 단계 크기 Δ 와 양자화기의 선형성 a 는 압축알고리즘에 따라 미리 결정되는 값이다. 위 식과 같이 가우시안 분포를 이용하여 DCT 한 지점에 대한 제공오차를 예측할 수 있으며, 제공 오차를 기반으로 MSE와 PSNR을 계산할 수 있다. 본 논문에서는 압축 동영상 비트스트림 정보를 통해 예측된 PSNR 값을 화질 지수를 계산하는 데 활용한다.

2.2. 프레임 내 전송오류 영역 계산

전송오류가 발생하면, 복호화기는 전송오류를 보정하기 위한 방법으로 오류은폐 (error concealment) 기능을 사용한다. 그러나 완벽하게 오류를 보정할 수 있는 오류은폐 기술은 존재할 수 없고, 오류가 발생한 부분은 사용자의 주관적 화질을 저해한다. 이러한 이유로 프레임 내 전송오류 영역은 주관적 화질을 나타내는 중요한 지표가 될 수 있다.

H.264에서는 전송오류에 강인한 비트스트림을 위해 하나의 프레임을 여러 개의 슬라이스로 나누어서 전송하는 기능을 제공한다. 그러나 슬라이스를 복호화 하는 중 오류가 발생한다면 오류발생 지점부터 해당 슬라이스가 끝나는 부분까지는 복호화가 불가능하고, 오류은폐기능을 사용하여 해당 위치의 픽셀 값을 예측한다. 프레임내의 전송오류 영역을 계산하기 위해 복호화를 진행하는 동시에 각 프레임의 오류정보 맵을 제작한다. 오류정보 맵은 오류가 발생한 프레임과 여기에서 전파되는 오류정보를 모두 고려하도록 작성한다. H.264에서는 프레임간의 움직임예측 기술을 통하여 부호화를 진행하기 때문에 오류가 발생한 부분에서 참조를 하게 되면 그림 5와 같이 전송오류가 전파된다. 복호화 시 오류정보 맵과 움직임 예측을 위한 움직임 벡터 값을 함께 이용하여 사용자의 눈에 실제 전송오류로 나타나는 영역을 오류정보 맵에 표시한다. 오류 맵으로부터 프레임 내 전송오류 영역을 다음과 같이 계산한다.

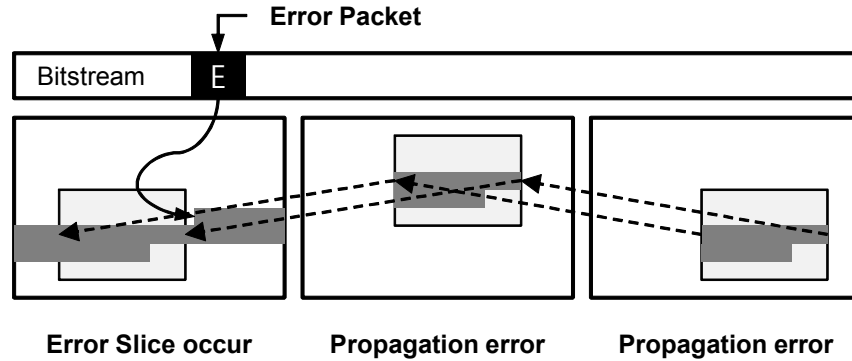


그림 5. 프레임 내 전송오류 영역 계산
 Fig. 5. Transmission error area calculation of frame

$$ErrorRatio[i] = \frac{ErrorPixel[i]}{Width \times Height} \times 100 \quad (12)$$

$$ErrorArea = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ErrorRatio[i] \quad (13)$$

여기서 N은 전체 프레임 수를 의미한다.

2.3. 오류은폐기술에 따른 오류프레임 수 검출

영상서비스에서 전송오류가 발생했을 때 복호화기에서 오류은폐기술을 선택할 수 있다. 프레임 스킵이나 프리징 (프레임 복사)은 오류은폐기술 중 가장 간단하게 사용할 수 있는 기술이다^[32]. 프레임 스킵이나 프리징 오류은폐기술은 프레임에 오류가 존재하면 프레임 전체를 생략하기 때문에 영상의 많은 정보를 잃게 되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 오류가 발생한 국소부위만을 사용자의 눈에 띄지 않도록 은폐하는 다양한 기술이 연구되고 있다^{[33]-[35]}. 본 논문에서는 오류은폐기술을 두 가지로 가정하였다. 한 가지는 오류가 발생한 프레임을 오류발생하지 않은 프레임에서 복사하는 프리징 (프레임 복사)이고, 다른 한 가지는 국소 부위의 오류를 은폐하는 방법(슬라이싱)이다. 개발한 알고리즘에서는 수신단의 사용단말 복호화기의 오류은폐기술에 대한 정보가 미리 주어졌다고 가정한다. 첫 번째로 복호화기에서 슬라이싱 오류은폐 방법을 사용했을 때, 슬라이싱 오류가 발생한 프레임은 이전에 계산한 오류정보 맵을 통해 쉽게 산출 할 수 있다. 오류정보 지도에 오류가 존재하면 슬

라이싱 오류가 있는 프레임으로 고려하여 전체 슬라이싱 오류 프레임을 확인할 수 있다. 두 번째로 복호화기에서 프리징 오류은폐 방법을 사용한다면 오류가 존재하는 프레임 위치를 정확하게 감지하고, 해당 프레임의 오류가 몇 개의 프레임에 프리징이 전달될지 고려해야한다. 이를 고려하기 위해, I, P, B 프레임 정보를 이용한다. B프레임의 경우 오류가 존재하더라도, 해당 프레임을 다시 참조하는 프레임이 없기 때문에 복호화기에서는 해당 프레임만 프리즈 처리한다. P 혹은 I 프레임의 경우는 이후에 복호화 되는 프레임에 오류가 전파될 가능성을 가지고 있기 때문에 다음 I 프레임이 나올 때까지의 모든 프레임을 프리즈 처리한다. 이와 같은 조건에서 전체 프리즈 발생 프레임을 측정할 수 있다.

2.4. 예측 PSNR을 이용한 체감품질 근사화

PSNR 예측 값과 체감화질과의 상관도를 높이기 위해 PSNR 예측 값을 품질지수로 변환하는 적합식을 모델링한다. 체감화질을 고려한 적합식을 모델링하기 위해 다양한 예측 PSNR값을 가지는 주관적 품질지수 값을 사용하였다. PSNR을 모델링하는 적합식은 그림 6와 같이 5개의 구간으로 나누어 계산한다. 매우 낮은 PSNR 값과 매우 높은 PSNR 값에는 일정한 상수를 할당하고 나머지 세 개의 구간에는 각기 다른 기울기를 가지는 선형함수를 이용하여 품질지수를 산출한다. 적합식이 변화하는 네 개의 임계점 (th_0, vq_0) , (th_1, vq_1) , (th_2, vq_2) 그리고 (th_3, vq_3) 으로 부터 다음과 같이 적합식을 계산할 수 있다.

$$fit_{psnr}(x) = \begin{cases} vq_0, & x < th_0 \\ \frac{vq_1 - vq_0}{th_1 - th_0}(x - th_0) + vq_0, & th_0 \leq x < th_1 \\ \frac{vq_2 - vq_1}{th_2 - th_1}(x - th_1) + vq_1, & th_1 \leq x < th_2 \\ \frac{vq_3 - vq_2}{th_3 - th_2}(x - th_2) + vq_2, & th_2 \leq x < th_3 \\ vq_3, & th_3 \leq x \end{cases} \quad (14)$$

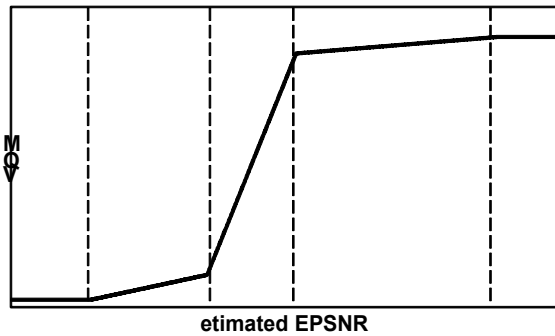


그림 6. 예측 PSNR-화질지수 적합식
Fig. 6. Fitting function between estimated PSNR and VQM

3. 최종 화질지수(VQM) 측정방법

앞 절에서 설명한 특징 추출 방법을 통해 산출된 특징 값을 통해 해당 영상을 대표하는 하나의 화질지수(VQM) 값을 계산한다. 하나의 화질지수 값을 예측하기 위한 화질지수 측정 시스템은 그림 7과 같다. 모든 영상 입력은 10초로 한정하여 계산하였다. 비디오 비트스트림이 입력되면, 비트스트림을 분석하여 헤더정보와 ES(elementary stream) 정보로 분리한다. 분리된 헤더정보와 ES정보는 독립된 알고리즘을 이용하여 화질지수를 측정한다. 헤더정보를 이용하여 화질지수를 측정하여 RTP 및 TS 헤더정보를 이용하여 비트율, 패킷손실을 그리고 오류발생프레임 수를 측정한다. 비트율은 적합식을 통하여 정규화한 후, 패킷오류를 통해 보정하고, 오류발생프레임 수를 통해 후처리를 수행한다. ES 정보를 이용하여 화질지수를 측정하는 방법은 ES정보로부터 PSNR을 예측하고, 예측 PSNR값을 적합식을 통하여 정규화하고, 패킷 손실율을 통해 화질지수 값을 보정한다. 이후 오류발생영역 및 오류발생 프레임 수를 통

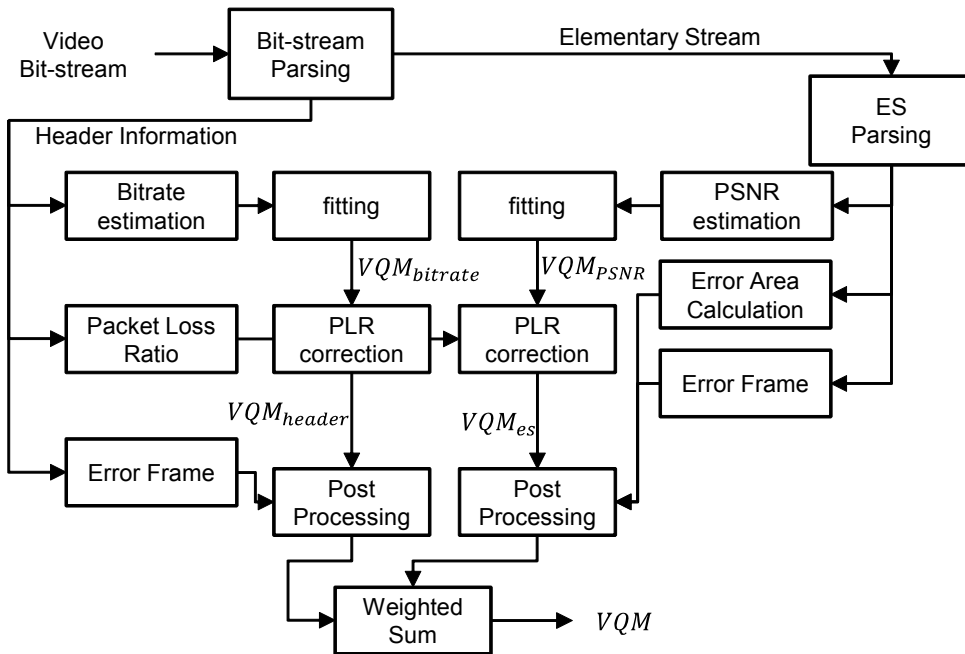


그림 7. 비트스트림을 이용한 화질지수 측정 시스템
Fig. 7. VQM system using bitstream information

해 후처리를 진행한다. 헤더를 이용한 화질지수와 ES를 이용한 화질지수는 각각 그 자체로 화질지수로의 의미를 가진다. 보다 높은 안정성을 가지는 화질지수를 가지기 위해 이 둘의 화질지수를 가중합하여 최종 화질지수를 산출한다.

3.1. 패킷오류 보정

패킷오류가 발생했을 때, 에러를 보정할 수 있는 PLR_{corr} 수치를 계산한다. PLR_{corr} 값은 일정한 임계치까지는 매우 적은 값을 가지며, 임계치 이상의 패킷 손실율을 가질 때, PLR_{corr} 값이 선형적으로 증가하게 설계한다. 패킷 손실율 (PLR)에 따른 값의 PLR_{corr} 변화는 그림 8과 같다. PLR_{corr} 값이 화질지수(VQM)와 같은 값의 범위를 가지도록 설계 파라미터를 설정한다. 패킷 손실율이 하계 (PLR lower bound) 이하의 값을 가질 때, 오류 은닉 기술을 이용하여 충분히 높은 화질을 유지할 수 있다. 그러나 패킷 손실율이 임계점 이상으로 증가할 때, 체감 화질지수가 선형적으로 감소하는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 패킷 손실율로 인해 화질지수가 감소하는 것을 반영하기 위해 PLR_{corr} 값을 이용하여 화질지수를 보정한다.

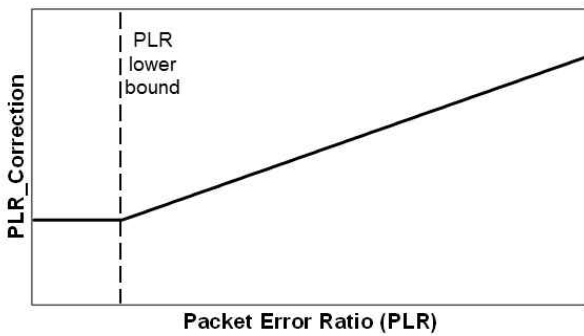


그림 8. 패킷오류 보정지수 계산
 Fig. 8. Calculation of correction coefficient of packet error ratio

패킷오류를 보정한 화질지수 값은 다음과 같이 계산한다.

$$VQM_{header0} = MAX(VQM_{bitrate} - PLR_{corr}, 1) \quad (15)$$

$$VQM_{es0} = MAX(VQM_{PSNR} - PLR_{corr}, 1) \quad (16)$$

여기서, $VQM_{bitrate}$ 는 1.4절의 적합함수를 통해 구한 비트율 값이고, VQM_{PSNR} 은 2.4절의 적합함수를 통해 구한 PSNR 값을 의미한다.

3.2. 헤더기반 화질지수의 보정

헤더기반 화질지수를 비트율 및 오류패킷율을 통해 계산한 후, 추가특징을 이용하여 보정한다. 비트율 및 오류패킷율을 통해 계산한 화질지수 값은 1에서 5사이의 값을 가지고, 높은 값을 가질수록 높은 품질을 나타낸다. 영상에서 발생하는 다양한 열화조건이 발생하면 화질이 감소하고, 이를 화질지수에 반영하기 위한 과정이 필요하다. 그러나 열화조건을 과도하게 반영하면 열화조건을 포함하며 높은 화질을 가지는 일부 영상에 대해 정확도가 낮아질 위험이 존재하기 때문에 열화조건에 대해 최소한의 상한선을 제시한다. 열화조건에 따른 화질지수의 상한선은 주관적 실험 결과의 데이터 분석을 통해 결정하였다. 화질지수 보정은 슬라이싱 수, 프리즈 수 그리고 프레임율 정보를 이용하여 수행한다.

슬라이스 형태의 오류가 나타난 프레임이 일정수준 이상이면 화질지수가 일정 수준이상 나올 수 없다. 계산방법은 다음과 같다. 여기서 $Slice_{total}$ 은 1.3절을 통해 계산한 슬라이스 프레임 수와 같다.

$$VQM_{header1} = \begin{cases} VQM_{header0}, & Slice_{total} \leq 60 \\ MIN(VQM_{header0}, 3.0), & Slice_{total} > 60 \end{cases} \quad (17)$$

프리즈 형태의 오류가 나타난 프레임이 일정수준 이상 지속되면 화질지수가 일정 수준이상 나올 수 없다. 계산방법은 다음과 같다. 여기서 $Freeze_{total}$ 은 1.3절을 통해 계산한 프리즈 프레임 수와 같다.

$$VQM_{header2} = \begin{cases} VQM_{header1}, & Freeze_{total} \leq 10 \\ MIN(VQM_{header1}, 3.5), & 10 < Freeze_{total} \leq 100 \\ MIN(VQM_{header1}, 2.2), & Freeze_{total} > 100 \end{cases} \quad (18)$$

대역폭 문제로 일부 멀티미디어 영상서비스에서 프레임율을 줄여 서비스하는 경우가 있다. 프레임율이 낮으면 화

질지수는 일정 수준 이상 나올 수 없다. 프레임율을 고려한 계산방법은 다음과 같다. 여기서 FPS는 프레임율을 의미한다.

$$VQM_{header} = \begin{cases} VQM_{header2}, & FPS \geq 20 \\ MIN(VQM_{header2}, 3.5), & FPS < 20 \end{cases} \quad (19)$$

프레임율에 따른 화질의 영향은 영상콘텐츠에 따라 다른 결과를 나타낸다. 예를 들어 움직임이 적은 정적인 영상의 경우 프레임율이 낮아도 화질의 저하를 느끼기 힘든 반면, 스포츠와 같이 움직임이 빠른 영상의 경우는 프레임율이 낮아지면 체감 화질의 저하도 비교적 명확하게 나타난다. 이러한 이유로 프레임율로 인한 효과를 최소한 고려하여 식 (19)와 같이 반영한다. 낮은 프레임율에 대해서는 화질이 큰 폭으로 저하될 수 있으나 이를 고려하기 위해서는 영상정보를 이용한 정교한 모델링 과정이 필요하다.

3.3 ES기반 화질지수의 보정

ES기반 화질지수를 예측 PSNR 값 및 오류 패킷율을 통해 계산한 후, 추가특징을 이용하여 보정한다. 헤더기반 화질지수보정과 동일하게 주관적 실험 데이터를 분석하여 최소한의 상한선을 제시한다. 화질지수 보정은 슬라이스 프레임 수, 프리즈 프레임 수 그리고 프레임율을 고려하여 수행하며 수행방법은 3.2절의 헤더기반 화질지수 보정과 동일하다. 슬라이스 프레임 수 및 프리즈 프레임 수는 2.3절을 통해 계산한 결과를 사용한다.

ES기반 화질지수는 추가로 오류영역정보를 이용할 수 있다. 오류 영역이 일정 값 이상이면 화질지수는 일정 수준 이상 나올 수 없다. 오류영역정보를 이용한 화질지수의 보정방법은 다음과 같다. 여기서, $Area_{error}$ 는 2.2절을 통해 계산한 오류 영역정보를 의미한다.

$$VQM_{es} = \begin{cases} VQM_{es0}, & Area_{error} \leq 5 \\ MIN(VQM_{es0}, 3.0), & 5 < Area_{error} \leq 10 \\ MIN(VQM_{es0}, 2.5), & Area_{error} > 10 \end{cases} \quad (20)$$

3.4. 최종 화질지수 계산

최종 화질지수는 헤더정보를 통해 계산한 화질지수와

ES 정보를 통해 계산한 화질 지수를 가중합을 취하여 계산한다. 계산식은 다음과 같다.

$$VQM = \omega_1 VQM_{header} + \omega_2 VQM_{es} \quad (21)$$

헤더정보를 통해 계산한 화질지수와 ES 정보를 통해 계산한 화질지수는 각각 그 자체로 의미 있는 화질지수 결과를 가진다. 그러나 두 개의 화질지수를 동시에 고려하여 화질지수의 안정성을 추가할 수 있다. 일반적으로 ES정보가 헤더정보보다 비디오 화질에 관한 많은 정보를 포함하고 있기 때문에 ES 정보를 통한 화질지수의 가중치가 높은 것을 예상할 수 있다. 본 논문에서는 ω_1 은 0.3 그리고 ω_2 는 0.7을 사용하였고 이 값은 주관적 수치와 상관도를 높여 가질 수 있도록 실험적으로 선택하였다.

III. 실험 결과

본 논문에서 제안한 비트스트림 기반 화질측정 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 다양한 조건의 영상을 제작하고, 제작한 비디오에 대해 주관적 화질평가를 진행하였다. 표

표 1. 주관적 화질평가 실험 디자인
Table 1. Experimental Design of subjective quality assessment

	Test Set #1	Test Set #2	Test Set #3
Resolution	VGA (640x480)	VGA (640x480)	VGA (640x480)
Bitrate	10kbps ~ 704kbps	10kbps ~ 704Mbps	10kbps ~ 704Mbps
protocol	IP/UDP/RTP/TS	IP/UDP/RTP	IP/UDP/RTP
FrameRate	30, 15	30, 15	30, 15
Error Rate	0% ~ 2%	0% ~ 2%	0% ~ 2%
Error concealment	freezing, slicing	slicing	freezing, slicing
Number of video clip	152	152	152
Number of source video	8	8	8

1은 실험을 위해 제작한 영상내용이다.

각 실험마다 서로 다른 8개의 원영상을 사용하였고, 비트율 및 오류율, 오류은폐기술, 프레임율 등을 다르게 하여 각 세션 당 152개의 영상 클립을 제작하였다. 8개의 원영상을 제작할 때는 시간복잡도(움직임정도)와 공간복잡도(복잡한 텍스처)를 동시에 고려하여 다양한 시간복잡도와 공간복잡도를 가지도록 영상을 선택하였다. 이를 통해 다양한 특징을 가지는 영상에 대한 효과가 반영하도록 하였다.

제작한 테스트영상을 ITU 표준문서를 참조하여 주관적 화질평가를 진행하였다^{[36][37]}. 주관적 화질평가는 영상처리와 무관한 비전문가를 대상으로 각각 25명씩 진행하였다. 영상을 평가하는 방법으로는 ACR (Absolute category rating) 방법이 사용되었다^[37]. ACR 방법은 영상을 다섯 단계로 나누어 평가하는 방법으로 많은 수의 영상을 테스트할 때, 유용하게 사용할 수 있는 방법이다.

주관적 점수를 산출 한 후, 해당 테스트 영상에 대해 개발 알고리즘을 적용하였다. 알고리즘의 신뢰도를 측정하기 위한 방법으로 각 테스트 영상 셋에 대해 다음과 같은 Pearson 상관도 계수를 계산한다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \times ((Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (22)$$

표 2는 주관적 평가수치와 측정 화질지수 값의 상관도

측정결과를 나타낸다. 각 실험은 약 75%에서 약 85%의 분포를 보이며, 주관적 화질평가 결과와 높은 상관도를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

표 2. 주관적 평가결과와 화질지수 측정값의 상관도
 Table 2. Correlation between subjective score and calculated VQM

	Correlation
Test Set#1	0.788
Test Set#2	0.864
Test Set#3	0.756

그림 9은 주관적 평가수치와 화질지수 측정값의 분포도를 나타낸다. 가로축은 화질지수 측정값이고 세로축은 주관적 평가수치를 의미한다. 분포도에서 확인할 수 있듯이 높은 주관적 수치를 가지는 값에서는 평가모델에서도 높은 점수를, 낮은 주관적 수치를 가지는 값에서 평가모델은 낮은 점수를 주는 것을 확인할 수 있다. 실험결과는 실험세션에 따라 높은 상관도와 다소 낮은 상관도를 가진다. 이는 영상의 특성을 고려할 수 없는 모델의 한계로 일부 정적인 영상이나 시간, 공간적으로 복잡한 영상에 대해서 계산한 특징과 주관적 화질 간의 상관도가 낮을 수 있다. 이는 추후 비트스트림 정보로부터 영상의 특성을 예측하는 모델의 개발로 원본영상의 특성을 모델에 함께 고려하여 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

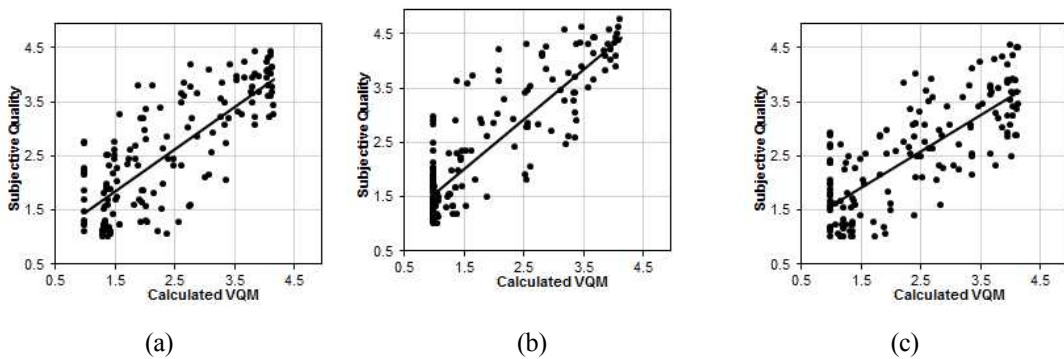


그림 9. 주관적 평가결과와 화질지수 측정값의 분포도 (a) 테스트1 (b) 테스트2 (c) 테스트3

Fig. 9. Scatter plots between subjective quality result and calculated VQM (a) Test#1, (b) Test#2, (c) Test#3

IV. 결 론

본 논문에서는 별도의 영상정보를 제공받지 않고 비트스트림 정보만을 이용하여 영상화질을 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 영상서비스는 스마트기기의 확산과 함께 다양한 형태로 확산되고 있으며, 그중 인터넷을 이용한 영상스트리밍 서비스는 폭발적으로 증가하고 있다. 다양한 영상서비스를 제공할 때, 영상 서비스의 화질을 유지하고 모니터링 하는 것은 매우 중요하며 이를 위해 신뢰도 높은 화질 측정 시스템이 필요하다.

본 논문에서 제안된 방법은 영상 비트스트림만을 사용하여 화질을 측정하는 방법으로 영상정보를 별도로 제공받지 않고서도 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있었다. 다양한 영상서비스에서 일관성 있는 화질을 제공하고 화질에 따른 과금 시스템을 구축하기 위해 넓은 범위에 적용될 수 있는 화질측정 시스템의 개발이 계속되어야 할 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016," February, 2102.
- [2] A.M. Eskicioglu, P.S. Fisher, "Image quality measures and their performance," *IEEE Trans. Comm.* 43, pp. 2959-2965, December, 1995.
- [3] B. Girod, "What's wrong with mean-squared error," A.B. Watson (Ed.) *Digital Images and Human Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 207-220, 1993.
- [4] P.C. Teo, D.J. Heeger, "Perceptual image distortion," *Proceedings of the SPIE*, Vol. 2179, pp. 127-141, 1994.
- [5] Zhou Wang, Hamid R. Sheikh and Alan C. Bovik, "Objective Video Quality Assessment," in *The Handbook of Video Databases: Design and Applications* (B. Furht and O. Marques, eds.), CRC Press, September, 2003.
- [6] Zhou Wang, Ligang Lu and Alan C. Bovik, "Video quality assessment based on structural distortion measurement," *Signal Processing: Image communication* 19, pp. 121-132, 2004.
- [7] Margaret H. Pinson and Stephen Wolf, "A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality," *IEEE Trans. Broadcasting* vol. 50, no. 3, pp. 312-322, September, 2004.
- [8] Zhou Wang and Eero P. Simoncelli, "Reduced-Reference Image Quality Assessment Using A Wavelet-Domain Natural Image Static Model," *Proceedings of SPIE*, vol. 5666, pp. 149-159, 2005.
- [9] Irwan P. Gunawan and Mohammed Ghanbari, "Reduced-Reference Video Quality Assessment using Discriminative Local Harmonic Strength with Motion Consideration," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 18, no. 1, January 2008.
- [10] C. Lee, S. Lee, J. Lee, K. Lee, H. Choi, G. Seo and J. Park, "Video quality measurement for multimedia applications using reduced-reference signals," *Optical Engineering* 50(6), 067403, June, 2011.
- [11] Mylene C.Q. Farias and Sanjit K. Mitra, "No-reference Video Quality Metric based on Artifact Measurements," *ICIP 2005, IEEE International Conference on*, vol. 3, September, 2005.
- [12] H. Choi and C. Lee, "No-reference image quality metric based on image classification," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2011:65. September, 2011.
- [13] J. Choe and C. Lee, "Estimation of the peak signal-to-noise ratio for compressed video based on generalized Gaussian modeling," *Optical Engineering* 46(10), 107401, October, 2007.
- [14] H. Liu, N. Klomp and I. Heynderickx, "No-Reference Metric for Perceived Ringing Artifacts in Images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 529-539, April, 2010.
- [15] ITU-T Recommendation J.144, "Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference," 2004.
- [16] ITU-T Recommendation J.246, "Perceptual visual quality measurement techniques for multimedia services over digital cable television networks in the presence of a reduced bandwidth reference," 2008.
- [17] ITU-T Recommendation J.247, "Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference," 2008.
- [18] ITU-T Recommendation J.249, "Perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a reduced reference," 2010.
- [19] ITU-T Recommendation J.341, "Objective perceptual multimedia video quality measurement of HDTV for digital cable television in the presence of a full reference," 2011.
- [20] ITU-T Recommendation J.341, "Objective multimedia video quality measurement of HDTV for digital cable television in the presence of a reduced reference signal," 2011.
- [21] S. Winkler and P. Mohandas, "The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 54, no. 3, September, 2008.
- [22] ITU-T Recommendation P.1201, "Parametric non-intrusive assessment of audiovisual media streaming quality," 2012.
- [23] ITU-T Recommendation P.1202, "Parametric non-intrusive bitstream assessment of video media streaming quality," 2012.
- [24] S. Lee, K. Jung and D. Sim, "Real-time Objective Quality Assessment Based on Coding Parameters Extracted from H.264/AVC Bitstream," *IEEE Trans. Consum. Electr.*, vol. 56, no. 2, pp. 1071-1078, May, 2010.
- [25] X. Lin, H. Ma, L. Luo and Y. Chen, "No-reference Video Quality Assessment in the Compressed Domain," *IEEE Trans. Consum. Electr.*, vol. 58, no. 2, pp. 505-512, May, 2012.
- [26] M. Naccari, M. Tagliasacchi and S. Tubaro, "No-Reference Video Quality Monitoring for H.264/AVC Coded Video," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 11, no. 5, pp. 932-946, August, 2009.
- [27] O. Suguimoto, S. Natio, S. Sakazawa and A. Koike, "Objective

- Perceptual Video Quality Measurement Method Based on Hybrid No Reference Framework,” in Proc. 16th IEEE International Conference on Image Processing, Egypt, November, 2009.
- [28] A. Ichigaya, Y. Nishida and E. Nakasu, “Nonreference method for estimation PSNR of MPEG-2 Coded Video by using DCT coefficients and picture energy,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. vol. 18, no. 6, pp.817-826, May 2008.
- [29] S. Shim, J. Moon and J. Han, “PSNR estimation using coefficient distribution of frequency domain in H.264 decoder,” IET Electron. Lett. vol. 44, no. 2, Jan. 2008.
- [30] A. Eden, “No-reference estimation of the coding PSNR for H.264-coded sequences,” IEEE Trans. Consum. Electr. vol. 53, no. 2, pp. 667-674, May 2007.
- [31] T. Brandao and M. P. Queluz, “No-reference quality assessment for H.264/AVC encoded video,” IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. vol. 20. no. 11, pp. 1437-1447, Nov. 2010.
- [32] Y. Pitrey, U. Engelke, M. Barkowsky, R. Pepion, and P. L. Callet, “Subjective quality of svc-coded videos with different error-patterns concealed using spatial scalability,” EUVIP, Paris, 2011.
- [33] Y. Xu and Y. Zhou, “H.264 video communication based refined error concealment schemes,” IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 50, no. 4, pp. 1135-1141, Nov, 2004.
- [34] S. Kumar, L. Xu, M. K. Mandal, S. Panchanathan, “Error resiliency schemes in H.264/AVC standard,” J. Vis. Commun. Image R., vol. 17, pp. 425-450, 2006.
- [35] Y. Zhang, W. Gao, H. Sun, Q. Huang, Y. Lu, “Error resilience video coding in H.264 encoder with potential distortion tracking,” Image Processing, ICIP 2004 International Conference on., 2004.
- [36] ITU-R Recommendation BT.500-11, “Methodology for the subjective assessment for the quality of television pictures,” 2002.
- [37] ITU-T Recommendation P.910, “Subjective video quality assessment methods for multimedia applications,” 2008.

— 저 자 소 개 —



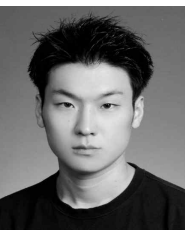
서 귀 원

- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (학사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 통합과정
- 주관심분야 : 영상 신호처리/압축, 이미지 및 비디오 화질평가



옥 지 현

- 2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 졸업 (학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 통합과정
- 주관심분야 : 영상 신호처리, 패턴 인식



이 권

- 2006년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (학사)
- 2008년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 영상 신호처리/압축, 이미지 및 비디오 화질평가, 패턴인식

저 자 소 개



이 재 호

- 2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (학사)
- 2009년 1월 ~ 2010년 8월 : 에스오일 (S-oil)
- 2012년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (석사)
- 2012년 8월 ~ 현재 : 삼성전자 DMC 연구소
- 주관심분야 : 이미지 및 비디오 화질평가, 패턴인식



이 철 희

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 1986년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (석사)
- 1986년 ~ 1987년 : Technical University of Denmark (DTH), Denmark
- 1992년 12월 : Purdue University Electrical Engineering Ph.D
- 1993년 ~ 1996년 : National Institutes of Health(NIH), Maryland, USA
- 1996년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수
- 주관심분야 : 영상 신호처리, 비디오 화질평가, 패턴인식 및 Machine Vision