Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 331-338, vol. 14, no. 2, Apr. 30. 2019, t. 94, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2019.14.2.331

모바일 환경에서의 주관적 영상 서비스 품질 관리 방안

김범준*

Subjective Quality Management Scheme for Video Services in Mobile Environments

Beom-Joon Kim*

요 약

인터넷을 통한 영상 서비스의 비중이 점점 높아지고 있다. 인터넷을 통한 스트리밍 형태로 제공되는 영상서비스는 전송 과정에서 품질이 저하될 수 있기 때문에 품질 평가 및 관리가 매우 중요하다. 현재 영상 서비스에 대한 품질 관리는 특정 파라미터들의 측정값에 기초한 객관적 방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 영상 서비스의 품질은 사람이 체감하는 품질이기 때문에 본질적으로 주관적인 측정이 더 이상적이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 모바일 환경에서 주관적 방법이 가지는 한계점을 극복할 수 있는 영상 서비스 품질 관리 방안을 제안하고 이를 위한 시스템을 설계한다. 제안하는 방법은 향후 모바일 환경에서 영상 서비스를 보다 효율적으로 관리할 수 있는데 기여할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Video services over Internet is getting important. Since the service quality of the video service provided by streaming over Internet may be degraded, the quality assessment and management are very important. Currently the objective method based on the measured values of parameters is being widely used for video services. The subjective assessment, however, is more ideal in that the quality that is experienced by human. This paper, therefore, proposes a subjective quality management scheme for video service in a mobile environment that overcomes the limitations of the subjective method. The proposed scheme is expected to contribute to implement a more efficient quality management system for video services in a mobile environment.

키워드

Mobile Environment, Video Service, Quality Of Experience (QoE), Subjective Quality Assessment
모바일 환경, 영상 서비스, 사용자 체감 품질, 주관적 품질 평가

Ⅰ. 서 론

최근 IT 기술의 발전은 다양한 서비스의 융·복합화를 가속시키고 있으며 이러한 환경 변화에 따라 영상 서비스에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있다[1]. 또한 1990년대 중반부터 이동통신 시스템이 도입이 시작된 이래 2세대, 3세대 이동통신 시스템을 거치면서 대중화되었고 2010년을 전후로 4세대 이동통신인 LTE (: Long-Term Evolution) 시스템이 가동되기 시작했다. LTE 시스템은 3세대 이동통신 시스템과 비교했을 때 사용자 당 수 배 내지는 수십 배의 전송속도를 제공할 수 있었기 때문에 기존의 유선 인터넷에서 이루어지고 있던 다양한 멀티미디어 서비스가 이동통신 환경으로 확장되는 결정적인 계기로 작용했다.

* 교신저자: 계명대학교 전자전기공학부
• 접 수 일 : 2019. 03. 27
• 수정완료일 : 2019. 04. 05
• 게재확정일 : 2019. 04. 15
• Received : Mar. 27, 2019, Revised : Apr. 05, 2019, Accepted : Apr. 15, 2019
• Corresponding Author : Beom-Joon Kim
Email : bkim@kmu.ac.kr

이와 같은 추세는 5세대 이동통신이 도입되는 2020년대에는 훨씬 더 가속될 것으로 예상되고 있다. 한 조사에 따르면 2017년 전체 데이터 트래픽의 56%를 차지하는 영상 트래픽은 2023년경에는 73%에 이를 것으로 예상된다[1]. 이러한 영상 서비스의 대부분은 비디오 스트리밍 기술을 이용한 서비스가 될 것인데 이 스트리밍 서비스의 해상도가 높아지면 그에 따른 데이터 트래픽의 양 역시 증가할 것이다. 또한 이르면 내년 서비스가 시작될 5세대 이동통신에서는 증강현실(AR: Augmented Reality)이나 가상현실(VR: Virtual Reality) 서비스 등 새로운 형태의 영상 서비스가 등장할 것으로 예상됨에 따라 모바일 단말을 통한 영상 서비스의 확장 추세는 더욱 강화될 것이다[2].

과거 아날로그 TV로 대표되는 전통적인 영상 서비스의 경우 한정된 개수의 채널을 가지고 영상 화질도 제한적인 하향 트래픽 위주의 일방적인 방송(broadcast) 형태의 서비스였다. 반면 최근 스트리밍을 이용한 영상 서비스는 영상 콘텐츠를 인코딩하여 IP(: Internet Protocol) 패킷으로 변환한 후 다양한 종류의 링크로 구성되는 네트워크를 통하여 이용자의 단말기로 전송되는 형태이다. 서비스를 특성에 따라 구분하여 그에 맞는 서비스 품질(QoS: Quality of Service)[3-4]을 제공하는 것이 이상적임에도 불구하고 IP 네트워크는 패킷 네트워크 본질 상 전체적인 전송 효율을 극대화하기 위한 소위 'Best Effort' 원칙에 의해서 모든 서비스가 제공되기 때문에 다수 개의 트래픽이 네트워크 자원을 공유함으로 인한 다양한 문제점이 나타날 수 있으며 특히 트래픽이 폭주하는 경우에는 이용자는 심각한 체감 서비스 품질(QoE: Quality of Experience) 저하를 경험하게 된다. 따라서 향후 다양한 영상 서비스의 성공적 저변 확대를 위해서는 합리적인 이용자 체감 품질에 대한 관리 방안이 수립되는 것이 필수적이다[5].

지금까지 영상 서비스의 품질을 관리하기 위한 많은 방법들이 제안되었다[6]. 이와 같은 방법들은 대부분 영상 서비스의 품질을 측정하고 이 측정 결과를 평가함으로써 영상 서비스의 품질을 관리한다는 공통점을 가지고 있다. 이들 방법들은 크게 주관적 방법과 객관적 방법으로 구분되는데 주관적 방법은 사람이 직접 느끼고 경험하는 영상의 품질을 직접 측정하는 방법이라면 객관적 방법은 다양한 공학적 측정을 통해서 얻어지는 결과를 이용해서 이를 사용자가 체감하는 영상 서비스로 변환하는 방법이다.

두 가지 방법가운데 객관적 방법이 선호되는 경향이 있다. 이는 실험 환경 구축, 평가단 모집 등이 필요한 주관적 방법에 비해서 장비 또는 소프트웨어를 활용한 측정을 통해서 가능한 객관적 방법이 훨씬 편리하기 때문이다. 그러나 객관적 방법은 사람이 느끼는 바를 여러 가지 측정값을 이용해서 추정한다는 본질적인 한계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 모바일 환경에서 영상 서비스의 품질을 주관적으로 측정할 수 있는 방안을 제안한다. 모바일 환경에서는 대부분의 영상 서비스가 스마트폰을 통해서 이루어진다는 점에서 착안하여 제안하는 방안은 기존의 주관적 방법이 가지는 환경적, 비용적, 절차적인 측면에서의 번거로움을 극복할 수 있다.

II. 주관적 영상 품질 관리의 필요성

영상 서비스 품질 관리의 필요성이 대두된 이래 지금까지 많은 연구들이 객관적 방법에 초점이 맞춰져 있었던 것은 사실이다. 특히 2000년대 중반 IPTV 서비스가 본격적으로 시작되는 시기에 ITU-T에서는 IPTV FG(: Focus Group)을 구성하고 이를 중심으로 IPTV 서비스의 사용자 체감 품질을 객관적으로 측정하기 위한 다양한 노력을 진행하였다[5]. 그러나 이와 같은 상당 기간에 걸친 노력에도 불구하고 영상 서비스의 품질 수준을 객관적으로 측정, 평가하기 위한 방법은 그다지 성공적이지 못하였는데 그 이유는 다음의 세 가지로 분석될 수 있다.

영상 특성 반영 부족
인코딩, 디코딩 과정의 품질 저하 반영 불가
표준화된 방법 부재

2.1 영상 특성 반영 부족

과거 ITU-T는 IPTV FG의 결과물로 QoS는 사용자 체감 품질을 구성하는 한 요소로 정의하고 사용자 체감 품질을 만족하기 위한 네트워크 QoS 파라미터의 기준 값을 사용되는 코덱 별로 제시한 바 있다. 이와 같이 객관적 품질 측정 방법은 전송속도, 지연, 지

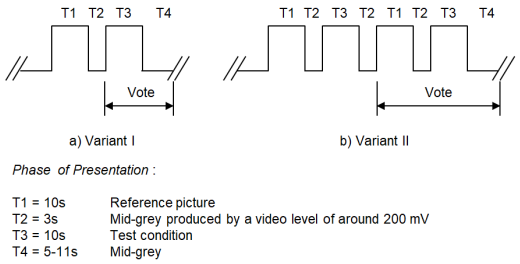

그림 1. DSIS 평가 절차
Fig. 1 DSIS test procedures

연변이, 패킷 손실 등 네트워크 계층에서 전송되는 패킷 레벨에서 측정되는 소위 QoS 파라미터를 측정하고 이를 기준으로 사용자 체감 품질 추정 내지는 변환하고자 하는 방식이었다.

그러나 음성 서비스에서와는 달리 QoS 파라미터 측정 기반의 객관적 사용자 체감 품질 측정이 영상 서비스에는 잘 적용될 수 없다. 음성 서비스의 경우 항상 동일한 비트율로 인코딩되는 반면 영상 서비스의 경우 영상이 담고 있는 장면의 특성에 따라 인코딩 과정에서 압축 정도가 달라진다. 따라서 과거 연구[7]에서 다룬 바와 같이 이와 같은 영상의 특성에 대한 고려 없이 단순히 전송속도, 지연, 지터, 패킷 손실 등에 대한 조건을 모든 영상 서비스에 획일적으로 적용하는 것이 불가능하다.

2.2 인코딩 및 디코딩과정의 품질 저하

영상 서비스가 제공되는 과정은 서버에서 인코딩되어 네트워크를 통해서 전송되어 사용자 단말에서 디코딩되는 것으로 요약할 수 있다[7]. 이 때 발생 빈도에서는 다소 흔하지는 않지만 분명히 인코딩 과정이나 디코딩 과정에서 오류나 품질 저하가 발생할 가능성이 존재한다. 그러나 QoS 파라미터는 주로 전송 과정에서의 네트워크 상태만을 주로 반영하기 때문에 객관적 사용자 체감 품질 측정은 인코딩 과정이나 디코딩 과정에서 발생하는 품질 저하는 반영하기 어렵다는 단점이 있다.

2.3 인코딩 및 디코딩과정의 품질 저하

영상 서비스의 객관적인 서비스 품질 측정을 위한 표준화 노력은 ITU-T를 중심으로 상당 기간 진행되고 있으나 아직까지 표준화된 정식 권고안은 없는 실정이다. 이와 같은 사실을 반영하듯 과거 다른 연구에서 다양한 영상 품질 측정 계측기를 통한 실험을 수행하였으나 동일한 영상에 대해서 계측기마다 다른 값의 품질 값이 도출되는 경우가 상당 수 발생하였다. 또한 향후 객관적 품질 측정 방법이 구체적으로 제시되어 표준화된다고 하더라도 이에 대한 검증은 주관적인 방법에 의해서 이루어지기 때문에 근본적으로 객관적인 측정 방법의 신뢰성은 주관적 방법을 넘지 못한다고 할 수 있다.

2.4 해외 영상 서비스 품질 측정 사례

최근 OTT(: Over The Top) 서비스 이용이 증가함에 따라 ITU-T는 2016년부터 OTT 서비스에 대한 품질관리 필요성을 논의하기 시작하였으며 2018년에는 대중적으로 널리 이용되는 유튜브, 넷플릭스 등의 OTT 서비스에 대해 이용자 경험 중심의 지표가 필요하다는 의견이 제시하였다. 또한 프랑스, 영국, 스웨덴 등의 국가에서도 스마트폰에 영상 측정 앱을 설치하고 영상시작시간, 버퍼링 횟수, 해상도 변화 등으로 영상 품질을 측정하고자 하고 있다. 그러나 이와 같이 스마트 폰을 이용한 주관적 평가 방법과 관련된 연구는 아직 초기에 머물러 있는 상태이기 때문에 측정 절차 및 적용 방법, 그리고 이를 위한 시스템 등에 대해서는 구체성이 부족한 상태이다.

III. 주관적 영상 품질 관리 방안

ITU-R BT.500-11 표준과 ITU-T P.910 표준에는 원본영상의 유무, 영상의 보여주기 방법, 평가척도 등에 따라 다음과 같은 다양한 주관적 영상 품질 관리 방법론을 제시하고 있다.

3.1 DSIS

Double-Stimulus Impairment Scale(: DSIS)는 최초 제작된 영상의 원본과 서비스 제공을 위해 가공 또는 이용자에게 전송된 처리영상을 순차적으로 각각 10초간 보고 화질의 열화(Impairment) 수준을 평가하는 상대평가 방식이다. 여기서 상대평가 방식이란 원본영상과 처리영상을 함께 보여주고 처리영상의 품질

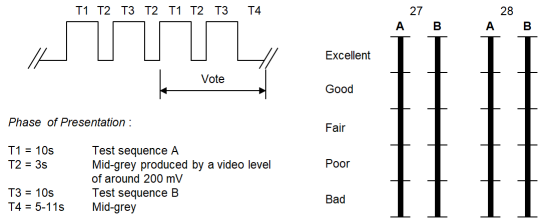

그림 2. DSCQS 평가절차 및 평가도구
Fig. 2 DSCQS test procedures and scale

수준을 평가하는 방식을 말한다. 즉 원본과 처리영상의 순서는 평가자에게 가르쳐 주지 않으며 평가 시간은 두 번째 영상을 본 후 5-11초 사이에서 품질을 평가한다. 평가척도는 5개 등급으로 구분하여 평가하는 방식으로 1 : Very Annoying, 2 : Annoying, 3 : Slightly Annoying, 4 : Perceptible, But not Annoying, 5 : Imperceptible, 5등급으로 구분한다.

3.2 DSCQS

Double-Stimulus Continuous Quality-Scale(: DSCQS)은 원본영상과 처리영상을 순차적으로 각각 10초간 보고 화질의 품질을 평가하는 상대평가 방식이다. 두 가지 영상중 원본영상과 처리된 영상에 대한 정보를 평가자에게 제공하지 않고 두 영상을 무작위 순서로 본 후 5-11초 사이에서 품질을 평가한다. 평가척도는 0-100까지 연속적인 점수(: Continuous Scale)로 평가하는 방식이다. 평가 점수는 그림 2에서와 같이 2개의 막대표로 구성하고 막대를 같이 길이로 구분한 후 5개의 구간으로 표시한다. 각 등급은 Excellent, Good, Fair, Poor, Bad로 나누어서 왼쪽에 등급 명을 표기하여 제공한다.

3.3 SS

Single-Stimulus(: SS)는 5초 혹은 10초 길이의 동영상을 한 번만 본 후 화질의 품질 또는 열화수준을 평가하는 절대평가 방식이다. 절대평가 방식이란 처리영상만을 보여주고 품질 수준을 평가하는 방식을 말한다. 연속적으로 재생되는 동영상은 화질 또한 연속적으로 변화될 수 있음을 반영한다. 평가척도는 등급평가 방식이며 화질수준에 대한 등급의 경우 1 : Bad, 2 : Poor, 3 : Fair, 4 : Good, 5 : Excellent의 5등급으로 구분한다.

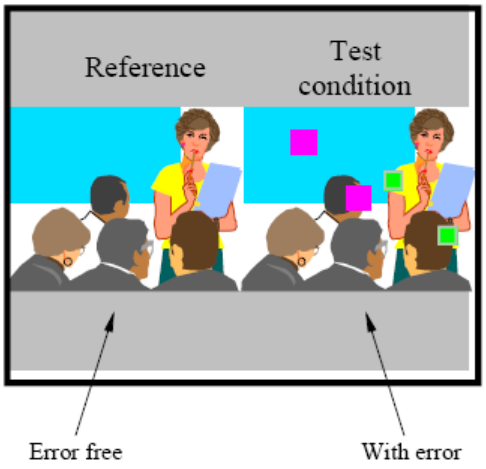

그림 3. SDSCE 시험영상 화면
Fig. 3 SDSCE test display format

3.4 SSCQE

Single Stimulus Continuous Quality Evaluation(: SSCQE)은 최소 5분 길이의 동영상으로 총 30분-60분의 길이로 구성한 영상을 보면서 슬라이드 기구를 통해 화질의 수준을 평가하는 절대 평가 방식이다. 평가척도는 연속구간 평가 방식으로 0-100사이의 연속적인 점수로 평가한다. 평가 결과에 대한 샘플 데이터는 0.5초마다 샘플링 하여 수집하고 점수판은 한 개의 수직 막대로 구성되어 평가자가 채점 시 참고할 수 있도록 점수판인 수직 막대를 5개의 등급(Excellent, Good, Fair, Poor, Bad)으로 구분한다.

3.5 SDSCE

Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation(: SDSCE)은 최대 10초 길이의 두 개의 동영상을 동시에 보고 시험 영상의 화질을 슬라이더 기구를 통해 평가하는 상대평가 방식이다. 평가척도는 연속구간 평가 방식으로 0-100 사이의 연속적인 점수로 채점하는 방식이다. 평가자는 슬라이더를 이용하여 연속적으로 채점하고 0.5초마다 결과를 샘플링 하여 수집하여 집계한다. 평가자에게는 평가 시 품질의 수준을 참고할 수 있도록 평가 구간을 5등급(Excellent, Good, Fair, Poor, Bad)으로 나누어서 평가한다.

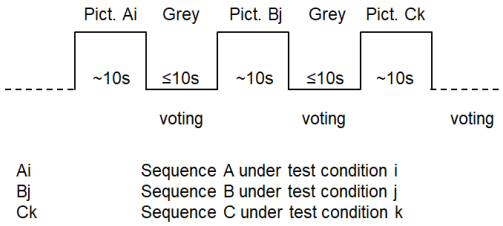

그림 4. ACR 평가절차
Fig. 4 ACR procedures

3.6 ACR

ACR(: Absolute Category Rating)은 10초 길이의 단위 영상을 1회 평가자에게 보여준 후 평가자는 영상 시청 후 10초 이내에 화질을 채점하는 절대 평가 방식이다. 원본영상과 처리영상을 비교하지 않고 실제 시청한 영상을 평가자가 1회만 보고 평가하는 방식으로 짧은 시간 내에 많은 수의 동영상 평가가 가능한 장점이 있다. 원본과 처리영상을 무작위로 10초 이내로 한 번만 제공하고 영상의 콘텐츠(드라마, 스포츠 등)에 따라 영상길이(10초)를 줄이거나 늘릴 수 있다. 평가척도는 등급척도 기반의 등급평가 방식이며 등급은 1 : Bad, 2 : Poor, 3 : Fair, 4 : Good, 5 : Excellent의 5등급으로 구분한다.

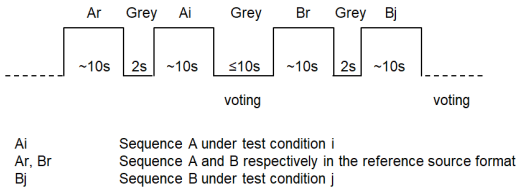

그림 5. DCR 평가절차
Fig. 5 DCR test procedures

3.7 DCR

DCR(: Degradation Category Rating)은 10초 길이의 단위 영상을 원본과 처리영상을 순서대로 보여주고 평가자가 10초 이내에서 화질 수준을 평가하는 상대평가 방식이다. 원본영상과 처리영상에 대한 정보는 제공하지 않고 CIF, QCIF, SIF의 영상 포맷을 주로 사용한다. 평가척도는 등급 척도 기반의 등급평가 방식이며 등급은 1 : Very Annoying, 2 : Annoying, 3 : Slightly Annoying, 4 : Perceptible, But not Annoying, 5 : Imperceptible, 5등급으로 구분한다.

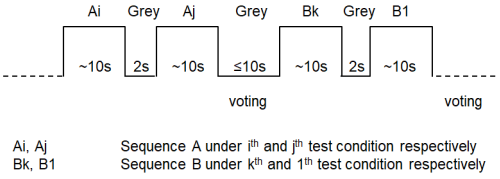

그림 6. PC 평가절차
Fig. 6 PC test procedures

3.8 PC

PC(: Pair Comparison)는 10초 이내 길이의 2개의 시험 영상을 순차적으로 본 후 10초 이내에서 화질 수준을 평가하는 상대평가 방식이다. 시험 영상은 비트율, 인코더 파라미터 등 영상품질 조건을 다르게 하여 제작한다. 평가척도는 등급 척도(: Grade Scale) 기반의 등급평가 방식이며 등급은 1 : Very Annoying, 2 : Annoying, 3 : Slightly Annoying, 4 : Perceptible, But not Annoying, 5 : Imperceptible, 5등급으로 구분한다.

Ⅳ. 제안하는 영상 서비스 품질 관리 방안

4.1 제안 개요

본 논문에서 제안하고자 하는 영상 서비스 품질 관리 방안은 앞의 2장에서 언급한 세 가지 문제점에서 시작되었다. 영상 서비스 품질 측정에 있어 주관적인 평가가 이상적임에도 불구하고 비용, 시간, 평가단 구성 등 여러 현실적인 어려움으로 인하여 객관적 평가 방법을 도출하기 위한 연구가 주류를 이루어왔다.

이런 과정에서 최근 이동통신과 스마트폰과 같은 사용자 단말의 비약적인 발전으로 우리 사회의 의사결정 구조가 크게 변화하는 현상에 주목하였다. 소위 '집단 지성'이라고 언급되는 이 개방적 의사결정 구조를 영상 서비스 품질 평가에 적용하면 주관적인 평가의 현실적 문제로 지적되었던 비용, 시간, 평가단 구성 등의 현실적인 어려움을 수월하게 극복할 수 있다고 판단하였다. 즉, 스마트폰을 이용하여 영상 서비스

를 이용하는 불특정 다수의 사용자들이 자신의 스마트폰을 이용해서 영상 서비스의 시청 도중 혹은 시청 후 직접적인 평가를 하도록 함으로써 모바일 환경에 최적화된 영상 서비스의 주관적 사용자 체감 품질 측정 방법을 제시하고 이를 위한 시스템을 구현하고자 한다.

4.2 주관적 평가 방법의 선정

3장에서 살펴본 바와 같이 주관적 영상 평가 방법들은 절대 평가와 상대 평가, 평가 척도에 따라서 연속적인 평가 척도와 등급기반 평가 척도로 구분될 수 있다. 상대 평가는 평가 대상 영상을 원본 영상과 비교하는 방식인데 반해서 절대 평가는 원본 영상이 필요하지 않고 평가 대상 영상만으로 평가하는 방식이다. 등급 기반 평가는 평가 등급이 구분되어 있어 연속적인 평가 척도에 비해서 이용자가 빨리 그리고 명확하게 판정할 수 있는 장점이 있다.

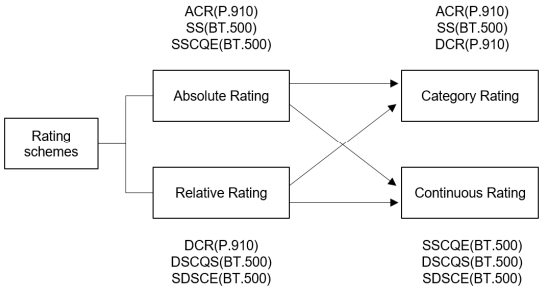

그림 7. 제안하는 방안을 위한 주관적 평가 방법 도출
Fig. 7 Subjective assessment for the proposed

따라서 본 논문에서 제안하고자 하는 다수의 사용자들을 대상으로 하는 평가를 위해서는 상대 평가보다는 절대 평가, 연속적 배점보다는 등급 기반 배점이 현실적으로 유리하다고 판단하였다. 이에 해당하는 방법으로는 ACR과 SS가 있는데 그림 7은 이를 도출하는 과정을 보여준다.

4.3 제안하는 방안의 구현

제안하는 방안의 구현을 위해서는 몇 가지 결정되어야 하는 사항이 있다. 첫째로는 평가단이 아닌 불특정 다수가 참여하는데 최적화된 평가 절차를 설계해야 하는 것이다. 둘째는 다수의 사용자가 평가 참여를 용이하도록 하게 하기 위한 스마트폰 탑재 가능 앱과 측정된 결과를 수집·분석하기 위한 서버로 이루어진 전체 평가 시스템을 구축하는 것이다.

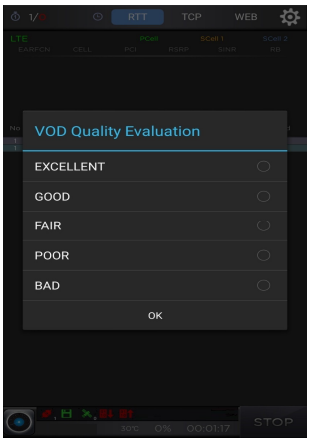

그림 8. 앱을 통한 영상 서비스 품질 평가
Fig. 8 Video quality assessment using the application

본 연구의 일환으로 영상 서비스를 내려 받아 이용자 스마트폰에 재생하고 이를 시청한 이용자가 주관적인 품질을 평가할 수 있는 스마트폰 앱의 개발은 완료된 상태이다. 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 평가는 1 : Bad, 2 : Poor, 3 : Fair, 4 : Good, 5 : Excellent의 다섯 단계로 이루어진다.

본 연구의 목표 달성을 위해서 향후 다음과 같은 추가적인 연구가 이루어질 예정이다. 첫째, 총 영상 평가 시간, 평가 주기, 평가횟수 등에 대한 세부적인 최적화가 필요하다. 이를 위해서는 모바일 환경에서 개발된 앱에 의한 평가와 실제 실험실에서 평가단에 의한 평가와 결과를 비교하고 분석하는 것이 필요하다. 둘째, 제안된 평가 방안의 신뢰성을 확보하는 것이다. 이를 위해서는 실제 영상 서비스에 대한 많은 횟수의 측정 및 결과 분석이 필요하고 특히 기존의 계측기에 의한 객관적 측정 결과와의 비교 및 분석도 필요하다. 현재 이와 같은 연구가 계속 진행되고 있고 그 결과는 추후 별도의 논문을 통해서 발표할 예정이다.

Ⅵ. 결론

본 논문에서는 모바일 환경에서 제공되는 영상 서비스의 품질을 주관적인 방법으로 측정할 수 있는 방안을 제시하였다. 제안하는 방안은 동영상을 시청하는 불특정 다수의 이용자가 자신의 스마트폰을 이용하여 측정에 참여한다는 점에서 특징이 있다. 이를 위한 스마트폰용 앱은 개발된 상태이고 향후에는 측정 절차를 최적화하고 신뢰성을 확보하기 위하여 다양한 측정과 결과 분석을 수행할 계획이다.

References

[1] F. Jejdling, “Ericsson Mobility Report,” 2018. 6. (https://www. ericsson.com/en/mobility-report)

[2] L. Pierucci, “The quality of experience perspective toward 5G technology,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, issue 4, 2015, pp. 10-16.

[3] H. Juh, “An Improved Algorithm of Distributed QoS in Real-time Networks,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 53-60.

[4] S. Bae, S. Lee, and K. Park, “Multipath Routing Method for QoS Support in WMSNs,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 453-458.

[5] A. Takahashi, D. Hands, and V. Barriac, “Standardization activities in the ITU for a QoE assessment of IPTV,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, issue 2, 2008, pp. 78-84.

[6] R. Stankiewicz and A. Jajszczyk, “A survey of QoE assurance in converged networks,” *Computer Networks*, vol. 55, 2011, pp. 1459-1473.

[7] B. Kim, “Study on the Quality of User Experience Considering the Video Contents Characteristics,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science,* vol. 13, no. 2, 2018, pp. 427-434.

저자 소개

김범준(Beom-Joon Kim)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1998년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

계명대학교 전자전기공학부 교수

※ 관심분야 : 인터넷 영상 서비스 품질