

무선 네트워크에서 계층기반 RED 알고리즘을 이용한 스케일러블 비디오 스트리밍

하 호 진*

Scalable Video Streaming using Layer based Random Early Detection (RED) in Wireless Networks

Hojin Ha*

본 논문은 2021년도 1학기 한양여자대학교 교내연구비에 의하여 연구됨.

요 약

최근 비디오 콘텐츠의 수요가 높아지면서, 영상을 효율적으로 전송하기 위한 다양한 압축 및 전송 기법들이 연구되고 있다. 본 논문은 무선 네트워크에서 스케일러블 비디오 전송을 위한 계층기반 RED(Random Early Detection) 이용하는 비대칭 손실 보호(ULP, Unequal Loss Protection) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 네트워크 부하와 계층 기반의 패킷 손실로 인한 에러 전파량을 이용하여, 화질 열화를 최소화하는 비대칭의 손실 보호 알고리즘을 이용하여 패킷을 전송한다. 계층 기반이 에러 전파량을 측정하기 위한 에러 전파 모델은 스케일러블 비디오의 압축구조를 이용하여 계산된다. 실험에서, 제안된 알고리즘은 기존의 ULP 알고리즘과 비교하여 다양한 네트워크 환경에서 높은 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 보였다.

Abstract

Recently, as the demand for video content increases, various compression and transmission techniques for efficiently transmitting video have been studied. In this paper, we propose a layer-based Random early detection (RED) unequal loss protection algorithm for scalable video transmission in wireless networks. The proposed algorithm is transmits packets using ULP algorithm that minimizes video quality degradation due to packet loss by using the network load and layer-based the amount of error propagation. The error propagation model for measuring the layer-based error propagation amount is calculated using the compression structure of the scalable video. In the experiment, the proposed algorithm showed high Peak signal-to-noise ratio (PSNR) in various network environments compared to the existing ULP algorithm.

Keywords

scalable video streaming, random early detection (RED), unequal loss protection (ULP), scalable video coding (SVC)

* 한양여자대학교 소프트웨어융합과 교수
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6488-9193>

· Received: Jul. 08, 2021, Revised: Aug. 11, 2021, Accepted: Aug. 14, 2021
· Corresponding Author: Hojin Ha
Dept. Software Convergence, Hanyang Women's University, 200 Salgoji-gil,
Sengdong-gu, Seoul, 04763, Korea,
Tel.: +82-2-2290-2205, Email: hjha@hywoman.ac.kr

1. 서 론

최근에 무선 네트워크에 접속하여 다양한 인터넷 비디오 서비스를 이용하는 사용자가 증가하고 있다 [1]. 그러나 무선 네트워크의 페이딩, 간섭 등으로 인하여, 유선 네트워크보다 높은 패킷 손실율이 발생한다[1]. 이는 시간적·공간적으로 높은 의존성을 갖고 있는 비디오의 화질 열화에 많은 영향을 미치고 있다[2][3]. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 패킷 손실로 인한 스케일러블 비디오(SVC, Scalable Video Coding)의 화질 왜곡을 최소화하기 위해서, 계층 기반의 RED(Random Early Detection, LRED)를 이용한 비대칭 손실 보호(Unequal loss protection) 알고리즘을 제안한다.

ULP(Unequal Loss Protection) 알고리즘은 순방향 에러 정정(FEC, Forward Error Correction) 방법을 이용한다. FEC 알고리즘은 자동 재 전송 요구(ARQ, Automatic Repeat reQuest) 알고리즘과 비교하여, 손실된 패킷의 재전송을 요구하지 않으며, 전송 데이터 패킷에 부가 패킷을 전송한다. 수신단은 재 전송에 대한 요구없이 손실 데이터 패킷을 복원할 수 있다. 비디오 전송과 같이 전송 지연에 민감한 멀티미디어 서비스에 적합한 손실 복원 알고리즘이다[4].

FEC 알고리즘은 크게 정적인 SFEC(Static FEC)와 적응적 AFEC(Adaptive FEC)로 나눌 수 있다. SFEC는 네트워크 부하에 상관없이 부가 패킷을 할당하는 방식이다. 부가 패킷은 손실된 패킷을 복원할 수 있지만, 네트워크 부하를 증가시켜, 손실 패킷의 복원율을 낮출 수 있다[5][6]. AFEC는 현재의 패킷 손실율과 네트워크 부하를 고려하여, 부가 패킷의 양을 조절한다.

[7]에서는 네트워크 지연 정보를 이용하여 부가 패킷을 할당하는 ULP 알고리즘이 제안되었다. 그러나 무선 네트워크의 지속적인 시변 특성 때문에, 정확한 네트워크 상태정보를 부가 패킷 할당 알고리즘에 적용하는데 한계가 있다.

[8]에서는 네트워크 트래픽의 혼잡을 제어하기 위한 큐의 버퍼 관리 알고리즘인 RED를 이용한 ULP 알고리즘(RED-ULP)이 제안되었다. 큐에 쌓이

는 패킷의 양이 평균적으로 증가하면, 패킷 손실율(PLR, Packet Loss Rate)이 증가한다[8]. 이러한 PLR을 낮추기 위해서, 기존의 RED-ULP 알고리즘은 큐의 크기에 따라 FEC 부가 패킷의 양을 조절한다. 네트워크 트래픽이 증가하여 큐에 패킷이 쌓이면, FEC 부가 패킷의 양을 낮추어 네트워크 혼잡을 제어한다. 그러나 기존의 RED-ULP 방법은 스케일러블 비디오의 압축구조에 기반하여 패킷 손실로 인한 에러 전파의 특성이 고려되지 않아서, 패킷 손실로 인한 화질 열화를 효율적으로 제한하지 못하고 있다[8].

본 논문은 무선 네트워크에서 스케일러블 비디오 전송을 위해 패킷손실에 강인한 계층기반의 LRED-ULP(Layer based RED-ULP) 알고리즘을 제안한다.

LRED-ULP 알고리즘은 2개의 모듈로 구성된다. 첫 번째 모듈에서는 네트워크 부하를 고려하여, RED 기반의 부가 패킷 할당율을 조절한다. 큐의 길이에 따라 부가 패킷 할당율은 반비례 관계를 가지며, 부가 패킷의 양을 조절한다. 그러나 첫 번째 단계의 부가 패킷 할당 알고리즘은 비디오 패킷의 손실로 인한 에러 전파의 특성을 고려하지 않고, 네트워크 부하만을 고려하였기 때문에, 패킷 손실로 인한 에러 전파로 화질열화를 발생시킬 수 있다.

두 번째 모듈에서는 스케일러블 비디오의 계층기반 에러 전파 특성을 이용하여 부가 패킷의 수를 조절한다. 에러 전파량이 큰 비디오 패킷에는 부가 패킷의 양을 최대한 많이 할당하여, 패킷 손실로 인한 비디오 화질 열화를 최소화한다. 반면, 에러 전파량이 작은 비디오 패킷에는 적은양의 부가 패킷이 할당되어 네트워크 혼잡이 조절된다. 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘과 비교하여, 다양한 패킷 손실율을 갖는 무선 네트워크 환경에서 1.0-1.5dB 향상을 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 제안된 알고리즘의 구현을 위한 시스템 환경에 대해서 살펴본다, 3절에서는 본 논문에서 제안하는 LRED-ULP 알고리즘에 대해 설명한다. 4절에서는 제안한 방법의 실험 결과를, 그리고 5절에서는 본 논문에 대한 결론을 서술한다.

II. 제안된 시스템 구성

그림 1(a)는 무선 네트워크에서 스케일러블 비디오의 적응적 스트리밍을 위한 계층기반 LRED-ULP 알고리즘의 구조를 나타낸다[7][8].

서버는 비디오 입력에 대해서, 시간과 공간의 스케일러블 특성을 갖는 스케일러블 비디오 패킷을 생성한다. 생성된 패킷은 RTP(Real-time Transport Protocol) / UDP(User Datagram Protocol) / IP(Internet Protocol)을 이용하여, 다양한 디바이스의 특성을 갖고 있는 수신단에 전송된다. 제안된 LRED-ULP 알고리즘은 무선 네트워크의 AP(Access Point)에 구현된다.

비대칭의 손실 보호(ULP) 알고리즘은 RS(n,k) 알고리즘을 이용한다. RS(n,k)에서 k는 RS(n,k)를 적용하기 위한 비디오 패킷 수이며, BOP(Block Of Packets)로 나타낸다. n-k는 손실된 패킷을 복원하기 위한 BOP에 할당되는 부가 패킷의 수를 나타낸다.

LRED-ULP 알고리즘은 그림 1(b)와 같이, 2개의 세부모듈로 구성된다. 첫 번째 모듈에서는 네트워크

부하를 고려하여, RED 알고리즘 기반의 부가 패킷을 할당한다. 그림 1(c)는 RED을 이용하여 ULP 알고리즘[8]을 할당하는 방법을 보여준다. 현재의 큐의 길이(L_q)와 2개의 임계치(T_L , T_H)를 이용하여, 현재의 네트워크 부하에 반 비례하는 알고리즘을 적용하여 부가 패킷을 조절한다. 큐의 길이가 작을 때는 네트워크 부하가 낮기 때문에, 부가 패킷을 충분히 할당할 수 있다. 반면, 네트워크 혼잡할 경우에는, 추가적인 부가 패킷의 할당으로 인한 네트워크 혼잡을 피하기 위해서 부가 패킷의 할당율을 낮춘다. 그러나 비디오 패킷의 손실로 인한 에러 전파의 특성을 고려하지 않고, 네트워크 부하만을 고려한 부가 패킷 할당은 패킷 손실로 인한 많은 에러 전파로 화질열화가 발생한다.

두 번째 모듈은 현재의 네트워크 부하와 패킷 손실에 의한 에러 전파 가중치를 고려하여 부가 패킷 할당율을 조절한다. 스케일러블 계층기반의 계층적(Hierarchical) 압축구조는 낮은 시간 또는 화질 계층의 패킷 손실은 높은 계층의 패킷 손실보다 더 큰 에러 전파의 양을 갖게 되는 특징을 가지고 있다[5].

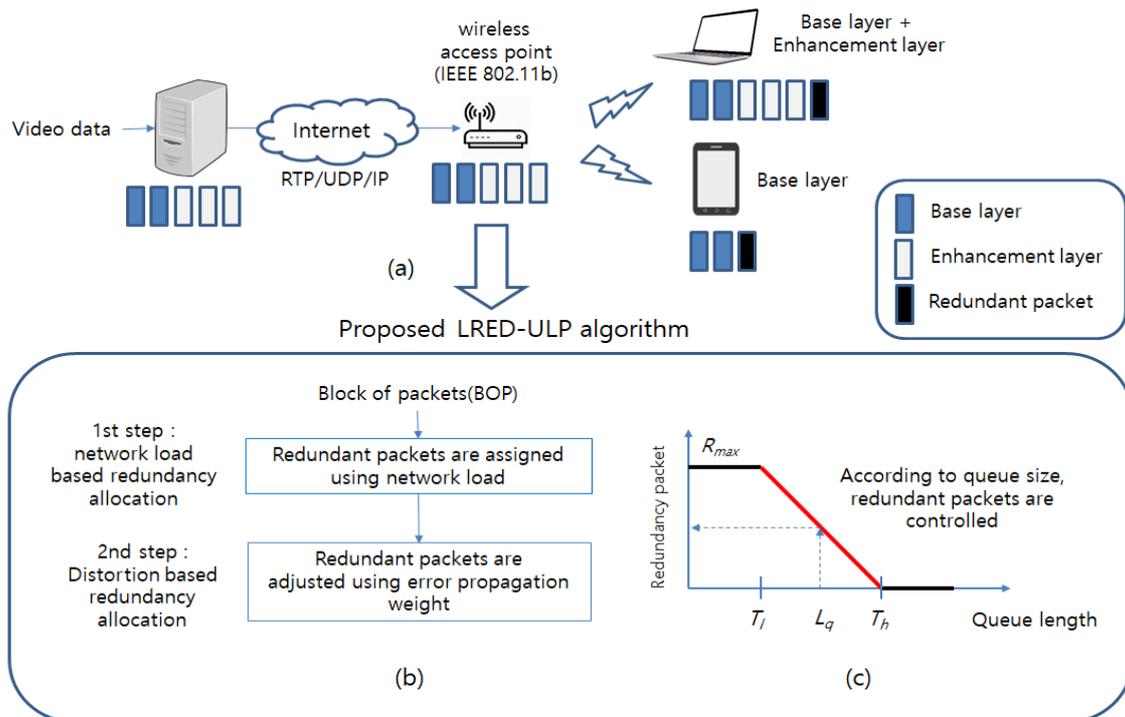


그림 1. 스케일러블 비디오 스트리밍을 위한 LRED-ULP 알고리즘 구조, (a) LRED-ULP 구조, (b) 2단계의 LRED-ULP 순서도, (c) RED-ULP 알고리즘 개념도

Fig. 1. Structure of LRED-ULP for scalable video streaming, (a) Schematic illustration of LRED-ULP, (b) Flow chart of LRED-ULP with 2 steps, (c) Concept of RED-ULP algorithm

제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘과 비교하여, 다양한 패킷 손실율을 갖는 무선 네트워크 환경에서 1.0-1.5dB 향상을 나타내었다. 다음 장에서 제안된 LRED-ULP 알고리즘을 자세히 살펴본다.

III. LRED-ULP

3장에서는 무선 네트워크에서 패킷손실로 인한 화질열화를 최소화하기 위한 계층기반의 LRED-ULP 알고리즘을 설명한다.

첫 번째 단계에서는 네트워크 부하를 최소화하기 위한 부가 패킷 할당 알고리즘을 수행한다. 부가 패킷은 여러 개의 스케일러블 비디오 패킷을 하나의 블록(BOP, Block Of Packets)으로 모아서 할당한다. 하나의 GOP(Group Of Pictures)는 여러 개의 BOP로 구성된다. 하나의 BOP에 할당되는 부가 패킷의 개수를 R_b 로 나타내면, 두 개의 임계치인 T_L 과 T_H 를 이용하여 R_b 는 아래와 같이 계산한다[8].

$$R_b = R_{\max} \cdot \frac{T_H - L_q}{T_H - T_L} \quad (1)$$

여기에서 R_{\max} 는 BOP내에서 할당 가능한 최대 부가 패킷의 수를, L_q 는 현재의 큐의 길이를 나타낸다. 만약 L_q 가 T_L 보다 작으면, 부가 패킷의 최대 수인 R_{\max} 가 할당된다. L_q 가 T_H 보다 크면, 큐는 패킷 드롭을 막기 위해서, 어떠한 패킷도 할당하지 않는다. 만약 L_q 가 T_L 과 T_H 사이에 있으면, R_b 가 할당된다. 그러나 네트워크 부하만을 고려하여, 부가 패킷 할당할 경우, 에러 전파량이 큰 비디오 패킷의 전송 지연 또는 손실로 큰 화질열화가 발생할 수 있다.

두 번째 단계에서는 패킷 손실로 인한 에러 전파의 가중치를 고려한 부가 패킷 할당 방법을 제안한다. 우선 스케일러블 비디오의 계층기반의 압축구조를 이용하여 패킷당 에러 전파 가중치를 계산한다. 각각의 스케일러블 비디오 패킷은 서로 다른 화질 및 시간 계층정보를 가지며, 패킷 손실로 인한 에러 전파량은 낮은 시간 또는 화질 계층의 패킷손실이 높은 계층의 패킷 손실보다 더 큰 에러 전파의 양을 갖는다[9].

하나의 GOP내에서 i 번째 패킷의 시간과 화질 계

층 정보를 $t(i)$ 와 $q(i)$ 로 각각 나타내면, 패킷 손실 시에 에러 전파 가중치, $e(i)$ 는 아래와 같이 계산된다 [10].

$$e(i) = (e_{\max} - t_{\max} \cdot q(i) - t(i)) \cdot r \quad (2)$$

여기에서 e_{\max} 는 $q_{\max} \cdot t_{\max}$ 로 계산되며, q_{\max} 와 t_{\max} 는 스케일러블 비디오 계층구조에서 화질 및 시간 계층의 최대 수를 나타낸다. r 은 계층의 인덱스에 따른 에러 전파량을 조절하기 위한 변수이다. 모든 비디오 패킷은 $q_{\max} \cdot t_{\max}$ 개의 에러 전파량 중 하나로 맵핑된다. $e(i)$ 의 최대값은 $q(i)$ 와 $t(i)$ 가 0인 경우이며, 그 값은 $q_{\max} \cdot t_{\max} \cdot r$ 이 된다. 예를 들어, $q(i)$ 의 값이 1에서 2로 증가할 경우, $e(i)$ 의 값은 $t_{\max} \cdot q(i)$ 만큼 감소하게 된다. 또한 $t(i)$ 값이 1에서 2로 증가할 경우, $e(i)$ 의 값은 $1 \cdot r$ 만큼 작어지게 된다. 식(1)의 에러 전파 모델은 낮은 계산량으로, 패킷에 따른 에러 전파량을 계산할 수 있는 장점이 있다.

스케일러블 비디오의 압축구조에 따라, BOP에서의 평균 에러 전파량을 D_b 로 나타내면, 다음과 같이 계산된다.

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^{N_b} e_b(i)}{N_b} \quad (3)$$

여기에서 $e_b(i)$ 는 BOP에서의 패킷 i 의 에러 전파량을, N_b 는 BOP내의 패킷의 개수를 나타낸다. BOP내의 패킷의 에러 전파량에 따라서 R_{\max} 의 크기를 조절하기 위한 R_d 를 정의하고, 아래와 같이 계산한다.

$$R_d = (R_{\max} - R_b) \cdot \frac{D_b - D_T}{D_{\max}} \quad (4)$$

여기에서 D_{\max} 는 BOP가 가질 수 있는 최대 에러 전파량을 나타낸다. 만약 D_b 가 D_T 보다 크면, BOP는 패킷 손실로 인한 에러 전파량이 크다는 의미이고, R_d 는 양수 값을 갖는다. 반면, D_b 가 D_T 보다 작으면, 패킷 손실로 인한 에러 전파량이 작다는 의미이며, R_d 는 음수 값을 갖게 된다. R_d 와 R_{\max} 를 이용하여, \hat{R}_{\max} 를 정의하면 아래와 같다.

$$\hat{R}_{max} = R_{max} + R_d \quad (5)$$

식 (5)에서 R_d 가 양수값을 가지면, R_{max} 가 R_d 만큼 증가하여, 더 많은 부가 패킷을 BOP에 할당한다. 반면, R_d 가 음수일 경우, R_{max} 는 R_d 만큼 감소하여, 적은 부가 패킷이 할당되며, 이로 인하여 네트워크 부하가 줄어든다. \hat{R}_{max} 와 식 (1)을 이용하여, BOP에 할당되는 부가 패킷의 수를 \hat{R}_b 로 나타내면, 다음과 같이 계산한다.

$$\hat{R}_b = \hat{R}_{max} \cdot \frac{T_H - L_q}{T_H - T_L} \quad (6)$$

\hat{R}_b 는 현재의 네트워크 부하와 패킷손실 시에 에러 전파량을 고려하여 부가 패킷 할당율을 조절한다. 큐의 길이에 따라 부가 패킷 할당율은 반비례 관계를 가지며, 이때의 기울기가 \hat{R}_{max} 에 의해서 결정된다. 계층기반의 패킷손실로 인한 에러 전파량이 커지면, 기울기가 커지게 되고, 이로 인하여 부가 패킷의 양은 증가한다. 반면, 에러 전파량이 낮은 비디오 패킷의 경우에는 \hat{R}_{max} 가 작아지면, 기울기가 낮아지게 되고, 이에 따라 부가 패킷의 양은 줄어들게 되어 네트워크 혼잡이 조절된다. 그림 2는 스케일러블 비디오 스트리밍을 위한 제안된 LRED-ULP 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

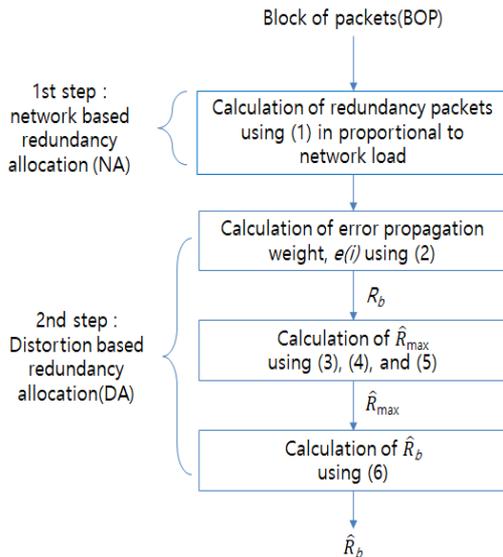


그림 2. 스케일러블 비디오 스트리밍을 위한 LRED-ULP 알고리즘의 순서도

Fig. 2. Flow chart of proposed LRED-ULP algorithm for scalable video streaming

IV. 구현 결과

4장에서는 네트워크 혼잡과 패킷손실로 인한 에러 전파 가중치를 고려한 제안된 LRED-ULP 알고리즘의 성능을 분석하였다. 성능평가를 위해서, 에러 전파의 특성을 고려하지 않고, 네트워크 혼잡만을 고려한 RED-ULP 알고리즘[8]을 이용하였다.

테스트 시퀀스의 부호화 및 복호화를 위해서 JSVM (Joint Scalable Video Model) 9.8 버전을 사용하였다 [11]. 테스트 시퀀스는 QCIF(Quotes Common Intermediate Format) 크기의 ‘Foreman’과 ‘News’를 사용하였다. GOP 크기는 16으로 설정하였으며, 총 5개의 시간계층(t_{max})과 4개의 화질계층(q_{max})을 갖도록 설정하였다. 성능 분석을 위해서 식(1)~(6)의 파라미터는 $T_L=10$, $T_h=40$, $N_b=8$, $D_{max}=30$, $R_{max}=7$, $D_T=15$, $r=2$ 로 설정하였다.

실험은 NS-3 네트워크 시뮬레이터[12]를 이용하여 진행하였으며, 전송 단위는 512 바이트로 설정하였다. 혼잡환경에 대한 실험을 위해서, FTP(File Transfer Protocol) 트래픽과 지수(Exponential) 트래픽을 사용하였다. 표 1은 실험 조건을 간단히 정리하여 나타내었다.

표 1. 실험 조건

Table 1. Simulation conditions

| Test sequence | ‘Foreman’, ‘News’ |
|----------------------------------|---|
| Image size | QCIF |
| GOP size | 16 |
| Number of temporal/quality layer | 5/4 |
| LRED-ULP parameters | $T_L=10$, $T_h=40$, $N_b=8$, $D_{max}=30$, $R_{max}=7$, $D_T=15$, $r=2$ |
| Transmission unit(Byte) | 512 |
| Additional traffic | FTP/Exponential |

그림 3은 제안된 LRED-ULP과 RED-ULP이 적용된 부가 패킷 할당량의 변화를 큐의 크기 변화에 대해서 보여주고 있다. 실선은 큐의 크기에 대한 변화를 나타내며, ‘○’은 LRED-ULP 그리고 ‘*’은 RED-ULP에 의해서 할당된 부가 패킷의 수를 각각 나타낸다.

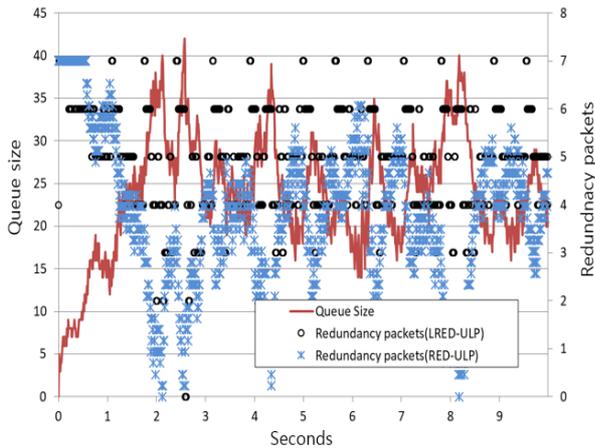


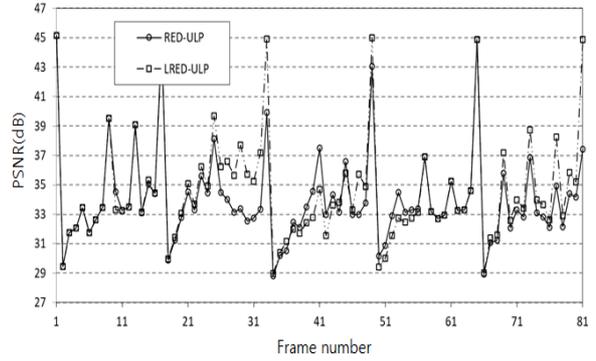
그림 3. 제안된 LRED-ULP에서 큐의 크기에 따른 부가 패킷의 할당 변화

Fig. 3. Variation of number of redundancy packets in accordance with queue size in proposed LRED-ULP

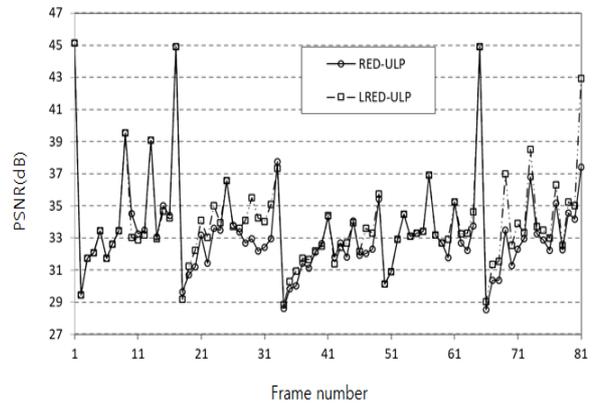
전체적으로 큐가 클 경우에는 네트워크 혼잡이 크다는 의미이며, 적은 수의 부가 패킷이 할당됨을 볼 수 있다. 기존의 RED-ULP 알고리즘의 경우, 큐의 크기에 반비례하여, 부가 패킷이 할당되는 것을 볼 수 있다. 제안된 LRED-ULP 알고리즘은 네트워크 혼잡만을 고려하는 기존의 알고리즘과는 달리, 네트워크 혼잡과 전송 패킷의 에러 전파의 특성을 동시에 고려하여, 부가패킷을 할당하고 있다.

그 결과, 같은 큐의 크기 변화에 대해서, 서로 다른 부가 패킷 할당 결과를 보여주고 있다. 제안된 알고리즘은 네트워크가 혼잡한 경우에도, 패킷 손실로 인한 에러 전파량이 큰 비디오 패킷이 전송될 경우, 부가패킷을 추가하는 조정을 구현하여, 패킷 손실로 인하여 에러 전파량을 최소화하도록 부가 패킷을 할당하고 있다.

그림 4(a)와 (b)는 제안된 LRED-ULP와 RED-ULP의 PSNR을 비교하고 있다. 각 비디오 시퀀스에 대한 패킷 손실율은 10%('Foreman')와 15%('News')로 각각 설정하였다. 제안된 알고리즘은 RED-ULP 알고리즘과 비교하여 약 0.5-1.0dB의 성능향상을 얻을 수 있었다. 이러한 향상은 계층기반의 에러 전파량을 기반으로 부가 패킷을 조정하여 패킷 손실로부터 비디오 화질 열화를 효과적으로 제한하였기 때문이다.



(a) 'Foreman' 비디오
(a) 'Foreman' video



(b) 'News' 비디오
(b) 'News' video

그림 4. 제안된 LRED-ULP와 RED-ULP 알고리즘의 PSNR 비교

Fig. 4. PSNR comparison of proposed LRED-ULP and RED-ULP

V. 결 론

본 논문에서는 무선 네트워크에서 스케일러블 비디오의 전송 시에, 패킷손실로 인한 화질열화를 최소화하기 위한 계층기반 RED 비대칭 손실 보호 (LRED-ULP) 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 첫 번째 단계에서 네트워크 부하를 고려하여, RED 알고리즘 기반의 부가 패킷을 할당하였다. 두 번째 단계에서는 스케일러블 비디오의 계층기반의 압축구조를 고려한 에러 전파 가중치를 이용하여 부가 패킷의 수를 조절하였다. 제안된 알고리즘은 기존의 네트워크 부하만을 고려한 기존의 RED-ULP 알고리즘과 비교하여, 다양한 패킷 손실율을 갖는 무선 네트워크 환경에서 1.0-1.5dB 향상을 나타내었다. 추후 연구에서는 계층적 압축구조를 이용한 파

라메타기반의 에러 전파 모델을 개선하여, 비대칭 손실 보호 알고리즘의 성능을 개선할 계획이다.

References

- [1] S. Xiang, L. Cai, and J. Pan, "Adaptive scalable video streaming in wireless networks", MMSys '12: Proceedings of the 3rd Multimedia System Conference, New York, NY, United States, pp. 167-172, Feb. 2012.
<https://doi.org/10.1145/2155555.2155583>.
- [2] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology, Vol. 17, No. 9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.
<https://doi.org/10.1109/TCSVT.2007.905532>.
- [3] J. Reichel, H. Schwarz, M. Wien, and J. Vieron, "Joint scalable video model 9 of ISO/IEC 14496-10: scalable video coding", 2007.
- [4] C. Lin, Y. Wang, C. Shieh, and W. Hwang, "An unequal error protection mechanism for video streaming over IEEE 802.11e WLANs", Computer Networks, Vol. 56, No. 11, pp. 2590-2599, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.04.004>.
- [5] A. Nafaa, T. Taleb, and L. Murphy, "Forward error correction strategies for media streaming over wireless networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 1, pp. 72-79, Jan. 2008.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4427233>.
- [6] H. Yang and K. Rose, "Optimizing motion compensated prediction for error resilient video coding", IEEE Trans. Image Process., Vol. 19, No. 1, pp. 108-118, Jan. 2010.
<https://doi.org/10.1109/TIP.2009.2032895>.
- [7] C. Lin, Y. Wang, C. Shieh, and W. Hwang, "An unequal error protection mechanism for video streaming over IEEE 802.11e WLANs", Computer Networks, Vol. 56, No. 11, pp. 2590-2599, Jul. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.04.004>.
- [8] C. Lin, C. Shieh, N. Chilamkurti, C. Ke, and W. Hwang, "A RED-FEC mechanism for video transmission over WLANs", IEEE Trans. Broadcasting., Vol. 54, No. 3, pp. 517-524, Sep. 2008. <https://doi.org/10.1109/TBC.2008.2001713>.
- [9] C. Ke, C. Yang, J. Chen, K. Ghafoor, and J. Lloret, "Frame-based mapping mechanism for energy-efficient MPEG-4 video transmission over IEEE 802.11e networks with better quality of delivery", Journal of Networks and Computer Applications, Vol. 58, pp. 280-286, Dec. 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2015.08.005>.
- [10] H. Ha, "Layer-based packet scheduling algorithm for scalable video streaming over IEEE 802.11e wireless networks", Journal of KIIT, Vol. 18, No. 2, pp. 147-153, Feb. 2020.
<http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.2.147>.
- [11] J. Reichel, H. Schwarz, M. Wien, and J. Vieron, "Joint Scalable Video Model 9 of ISO/IEC 14496-10:2005/AMC3 Scalable Video Coding", 2007.
- [12] NS-3 Network Simulator. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org/>. [accessed: Oct. 12, 2020]

저자소개

하 호 진 (Hojin Ha)



1999년 2월 : 명지대학교
제어계측공학과(공학사)
2000년 2월 : 한양대학교
제어계측공학과(공학석사)
2009년 2월 : 연세대학교
전기전자공학부(공학박사)
2000년 2월 ~ 2011년 8월 :

삼성전자 DMC 연구소 책임연구원

2011년 9월 ~ 2018년 8월 : 한라대학교 정보통신방송
공학과 교수

2018년 9월 ~ 현재 : 한양여자대학교 소프트웨어융합과
교수

관심분야 : 멀티미디어 신호처리 및 네트워크