

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제23권 제1호, 2018년 1월 (JBE Vol. 23, No. 1, January 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.1.104>

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

## DASH 환경에서 ANFIS 구조를 이용한 비디오 품질 조절 기법

손 예슬<sup>a)</sup>, 김현준<sup>a)</sup>, 김준태<sup>a)†</sup>

### A Video-Quality Control Scheme using ANFIS Architecture in a DASH Environment

Ye-Seul Son<sup>a)</sup>, Hyun-Jun Kim<sup>a)</sup>, and Joon-Tae Kim<sup>a)†</sup>

#### 요약

최근 HTTP 기반 비디오 스트리밍 트래픽이 계속해서 증가함에 따라 HTTP 기반 적응적 스트리밍(HTTP-based Adaptive Streaming : HAS) 기술 중 하나인 DASH(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)가 주목받고 있다. 이에 따라 DASH 환경에서 클라이언트에게 높은 QoE(Quality of Experience)를 제공하기 위한 많은 비디오 품질 조절 기법들이 제안되어왔다. 본 논문에서는 뉴로 퍼지 시스템의 구조 중 하나인 ANFIS(Adaptive Network based Fuzzy Inference System)를 이용한 새로운 품질 조절 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 ANFIS를 이용하여 클라이언트에게 적절한 세그먼트 비트율을 선택하는 퍼지 파라미터를 찾고, VBR(Variable Bit-Rate) 비디오의 특성을 고려하여 실제 세그먼트의 크기를 이용해 다음 세그먼트 다운로드 시간을 보다 정확하게 예측한다. 그리고 이를 이용해 시변 네트워크에서 적절하게 비디오 품질을 조절한다. NS-3를 이용한 모의실험에서 제안된 기법이 기존 기법들에 비해 높은 평균 세그먼트 비트율과 낮은 비트율 변화 횟수를 보여 클라이언트에게 항상된 QoE를 제공함을 보인다.

#### Abstract

Recently, as HTTP-based video streaming traffic continues to increase, Dynamic Adaptive Streaming over HTTP(DASH), which is one of the HTTP-based adaptive streaming(HAS) technologies, is receiving attention. Accordingly, many video quality control techniques have been proposed to provide a high quality of experience(QoE) to clients in a DASH environment. In this paper, we propose a new quality control method using ANFIS(Adaptive Network based Fuzzy Inference System) which is one of the neuro-fuzzy system structure. By using ANFIS, the proposed scheme can find fuzzy parameters that selects the appropriate segment bitrate for clients. Also, considering the characteristic of VBR video, the next segment download time can be more accurately predicted using the actual size of the segment. And, by using this, it adjusts video quality appropriately in the time-varying network. In the simulation using NS-3, we show that the proposed scheme shows higher average segment bitrate and lower number of bitrate-switching than the existing methods and provides improved QoE to the clients.

Keyword : MPEG-DASH, Adaptive bitrate streaming, Video-Quality Control, Neuro-Fuzzy System, ANFIS

a) 건국대학교 전자·정보통신공학과(Department of Electronic Engineering, Konkuk University)

† Corresponding Author : 김준태(Joon-Tae Kim)

E-mail: jtkim@konkuk.ac.kr

Tel: +82-2-450-4269

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6953-5482>

Manuscript received October 16, 2017; Revised December 29, 2017; Accepted December 29, 2017.

## I. 서 론

최근 HTTP 기반의 비디오 스트리밍 트래픽이 계속해서 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 이에 따라 비디오 서비스 제공자들은 HTTP 서버의 트래픽 부하를 줄이고 서비스 클라이언트들에게 높은 품질의 서비스를 제공하기 위해 HAS 기술을 적용하고 있다. HAS 기술은 하나의 비디오를 여러 개의 비트율로 인코딩하고 각 비트율의 비디오를 일정한 시간 단위로 나누어 여러 개의 세그먼트로 만든다. 비디오 서비스 클라이언트들은 시변 네트워크 상황에서 적절한 비트율의 세그먼트를 HTTP 서버에 요청하고 해당 세그먼트를 수신하여 재생한다. 이러한 HAS 기술의 표준으로 MPEG에서 제정된 DASH<sup>[2][3]</sup>가 있으며 최근까지 DASH를 이용한 서비스에 대한 연구가 진행되고 있다<sup>[4][6]</sup>.

그 중 하나로 DASH 환경에서 클라이언트들이 자신에게 적절한 비트율을 결정하는 비디오 품질 조절 기법들이 연구되고 있다<sup>[7][9]</sup>. 대부분의 비디오 품질 조절 기법들은 평균 세그먼트 다운로드 속도, 이용 가능한 대역폭 그리고 클라이언트의 버퍼 상태 등의 파라미터들을 이용하여 다음 세그먼트의 비트율을 결정한다. 하지만 대부분 다음 세그먼트의 크기는 고려하지 않는다. VBR 비디오의 경우 각 세그먼트마다 크기가 다양하기 때문에 다음 세그먼트의 크기를 고려하지 않는다면 다음 세그먼트 다운로드 속도를 정확하게 예측할 수 없다. 이러한 이유 때문에 [8]에서는 다음 세그먼트들의 크기를 비디오 콘텐츠에 대한 정보를 담고 있는 MPD(Media Presentation Description) 파일에 추가로 저장하고, 이를 이용해 다음 세그먼트의 다운로드 속도를 보다 정확하게 예측하는 방법을 소개하였다. 그리고 이 방법을 통해 세그먼트를 다운로드 한 뒤의 버퍼 상태를 예측하여 그 값에 따라 비트율을 결정하는 SARA 기법을 제안하였다. SARA 기법에서 소개한 다운로드 속도 예측 방법은 시변 네트워크의 급격한 변화에 의해 생기는 이상 점의 영향을 줄이기 위해 조화평균을 이용한다. 하지만 이 방법은 다운로드 받은 모든 세그먼트에 대해 조화평균을 사용하여 오히려 실제 속도와 오차가 커진다는 단점이 있다.

한편, [9]에서 제안된 FDASH 기법은 퍼지 논리를 이용하여 다음 세그먼트의 비트율을 결정한다. FDASH의 퍼지

논리 제어부(Fuzzy Logic Controller : FLC)는 클라이언트의 현재 버퍼 상태와 버퍼 상태의 변화량을 입력 값으로 하여 퍼지화와 퍼지 규칙 기반 추론, 역퍼지화를 거쳐 다음 세그먼트 비트율의 증감 인자인  $f$ 를 출력한다. FDASH는 NS-3를 이용하여 다른 기존의 품질 조절 기법에 비해 평균 세그먼트 비트율과 세그먼트 비트율 변화 횟수에 대해서 좋은 성능을 가짐을 보였다. 하지만 비디오 재생을 시작한 시점에서 네트워크 속도에 알맞은 비트율까지 도달하는 시간이 오래 걸리며 이는 QoE에 좋지 않은 영향을 미친다<sup>[10]</sup>. 또한 FDASH는 제안한 퍼지 소속 함수를 설정한 근거에 대한 설명이 부족하고, 클라이언트의 최대 버퍼 크기와 오버플로우 현상을 고려하지 않는다는 단점이 있다.

본 논문에서는 뉴로 퍼지 시스템을 이용한 새로운 DASH 품질 조절 기법을 제안한다. 뉴로 퍼지 시스템은 퍼지 이론과 인공지능망을 결합한 하이브리드 지능 시스템으로 인공지능망의 학습 능력을 통해 최적의 퍼지 파라미터를 찾을 수 있다<sup>[11]</sup>. 제안하는 기법은 뉴로 퍼지 시스템의 구조 중 하나인 ANFIS<sup>[12]</sup>를 이용하여 클라이언트에게 적절한 세그먼트 비트율을 선택하는 퍼지 파라미터를 학습한다. 또한, VBR 비디오의 특성을 고려하여, SARA에서 소개된 실제 세그먼트의 크기를 이용한 다음 세그먼트 다운로드 시간을 예측하는 방법을 변형하여 사용한다. 이를 통해 클라이언트는 자신의 버퍼 상태와 네트워크 상황에 알맞은 다음 세그먼트의 비트율을 선택할 수 있다. 끝으로 NS-3를 이용한 시변 네트워크 상황에서의 모의실험 결과에서 제안하는 기법이 기존의 기법들에 비해 높은 평균 세그먼트 비트율과 낮은 세그먼트 비트율 변화 횟수를 보여 클라이언트에게 향상된 QoE를 제공함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 ANFIS에 대해 기술하고, III장에서는 ANFIS를 이용한 새로운 품질 조절 기법을 제안한다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안한 기법의 성능을 검증하고 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. ANFIS

뉴로 퍼지 시스템은 FLC와, 인공지능망의 구조 및 학습

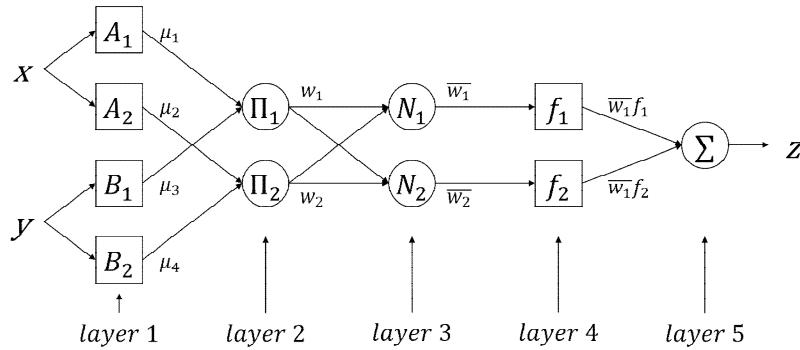


그림 1. ANFIS 구조  
Fig. 1. The ANFIS architecture

능력을 결합한 의사 결정 시스템으로 뉴로 퍼지 시스템의 인공신경망 노드들은 퍼지 소속 함수, 퍼지 규칙과 대응하여 작동하며, 주어진 학습 데이터를 통해 자동으로 적절한 퍼지 소속 함수의 파라미터를 학습한다<sup>[11]</sup>. 이러한 뉴로 퍼지 시스템의 구조 중 하나로 [12]에서 스케노 퍼지 모델<sup>[13]</sup>과 동일한 기능을 하도록 만들어진 ANFIS가 제안되었다.

그림 1에 나타낸 대로 ANFIS는 총 5개의 층으로 구성된다. 그림 1의 ANFIS는  $x, y$  두 개의 입력 값을 가지고 최종적으로  $z$ 를 출력하며 동작은 다음과 같다. 먼저 입력 값  $x, y$ 에 대해 첫 번째 층은 퍼지 소속 함수를 통해 퍼지화를 수행한다. 이 때 어떤 소속 함수 형태를 선택했는지에 따라 첫 번째 층의 출력식이 달라진다. 예를 들어  $i$  번째 노드에 대한 첫 번째 층의 출력  $\mu_i$ 는 퍼지 소속 함수를 가우시안 소속 함수로 선택하면 식 (1)으로, 퍼지 소속 함수를 종형 소속 함수로 선택하면 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\mu_i(x) = \exp\left(-\frac{(x - c_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$\mu_i(x) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - c_i}{a_i}\right|^{2b_i}}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

식 (1)의  $\{c_i, \sigma_i\}$ 와 식 (2)의  $\{a_i, b_i, c_i\}$ 는 전제 파라미터로 학습 데이터를 통해 학습되어 적절한 소속 함수를 나타내게 된다.

두 번째 층의 노드들은 퍼지 규칙에 대응되며 출력은 노드마다 연결된 입력신호를 모두 곱한 값이다. 예를 들어 그

림 1에서 첫 번째 퍼지 규칙  $\Pi_1$ 의 출력  $w_1$ 은 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$w_1 = \mu_1 \times \mu_3 \quad (3)$$

다음으로 세 번째 층의  $i$  번째 노드는 두 번째 층의 모든 출력 값 합계에 대한 두 번째 층의 출력 값  $w_i$ 의 비율을 출력하며 식 (4)와 같이 계산한다.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad i = 1, 2 \quad (4)$$

이 때  $n$ 은 두 번째 층의 노드의 총 개수이다.

네 번째 층은 역퍼지화를 수행한다.  $i$  번째 노드에 대한 네 번째 층의 출력은 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

이 때  $\{p_i, q_i, r_i\}$ 는 결과 파라미터이며, 전제 파라미터와 마찬가지로 학습 데이터를 통해 학습되어 적절한 출력 소속 함수를 나타내게 된다. 스케노 퍼지 모델의 출력 소속 함수는 선형 함수 또는 상수 함수 두 가지 형태가 있으며, 식 (5)의 출력 소속 함수는 기본적인 선형 함수 형태이고, 식 (5)에서  $p_i$ 와  $q_i$ 가 0일 경우 상수 함수의 형태가 된다.

마지막으로 다섯 번째 층에서는 네 번째 층의 출력 값을 모두 더하여 식 (6)과 같이 최종 출력인  $z$ 를 만든다.

$$z = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (6)$$

이터의 출력 값과 ANFIS의 출력 값의 오차가 일정한 값을 만족하거나 정해둔 반복 횟수에 도달하면 종료된다.

전체 파라미터, 결과 파라미터의 학습에는 최소자승법과 경사 하강법이 결합된 하이브리드 학습 기법<sup>[12]</sup>이 사용된다. 하이브리드 학습 기법의 학습 과정은 표 1에 정리하였다.

표 1. 하이브리드 학습 과정

Table 1. The hybrid learning process

종류 Type	순방향 경로 Forward path	역방향 경로 Backward path
전체 파라미터 Premise Parameters	고정 Fixed	경사 하강법 Gradient Descent
결과 파라미터 Consequent Parameters	최소자승법 Least Squares Estimate	고정 Fixed
참조 신호 Reference Signal	노드 출력 Node Outputs	오차 Error

하이브리드 학습 기법은 순방향 경로에서는 전체 파라미터들은 고정시키고, ANFIS 노드들의 출력과 결과 파라미터를 이용하여 최소자승법으로 학습한다. 다음으로 역방향 경로에서는 결과 파라미터들을 고정시키고, 학습 데이터의 출력 값과 실제 ANFIS의 출력 값의 오차를 이용하여 경사 하강법으로 전체 파라미터를 학습한다. 하이브리드 학습은 최소자승법과 경사 하강법을 반복하여 수행하다가 학습 데

### III. 제안하는 기법

본 장에서는 2장에서 설명한 ANFIS 구조를 이용하여 DASH 환경에서 클라이언트들에게 높은 QoE를 제공할 수 있는 새로운 품질 조절 기법을 제안한다. 1장에서 언급한 퍼지 논리를 이용한 FDASH는 클라이언트의 현재 버퍼 상태와 버퍼 상태의 변화량을 FLC의 입력으로 사용하였는데, 이러한 입력만으로는 현재 네트워크 상황을 고려하기에는 정보가 부족하다. 따라서 제안하는 기법에서는 현재 클라이언트의 버퍼 상태와 네트워크의 처리량을 고려하여 예측된 버퍼 상태, 그리고 보정된 버퍼 상태 변화량을 사용하여 다음 비트율을 결정한다. 이 때, FDASH는 다음 비트율을 FLC의 최종 출력인 현재 비트율에서의 변화비율을 이용하여 결정하였다. 하지만 변화비율을 이용하여 다음 비트율을 결정할 경우 현재 비트율 값에 따라 변화량이 큰 차이를 보인다. 따라서 제안하는 기법은 변화비율이 아닌 변화량을 최종 출력 값으로 정하였다. 또한 제안하는 기법은 처음 비디오 재생을 시작할 때 빠르게 높은 비트율에 도달하고 오버플로우를 방지하는 방법을 포함한다. 자세한 설명은 다음과 같다.

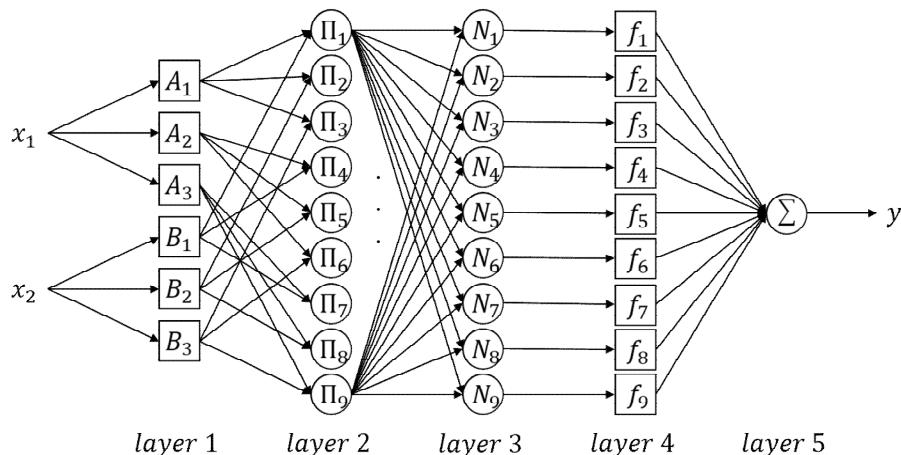


그림 2. 제안하는 품질 조절 기법의 ANFIS 구조  
 Fig. 2. The ANFIS structure of the proposed quality control scheme

## 1. 제안하는 품질 조절 기법의 구조

제안하는 품질 조절 기법의 ANFIS 구조는 그림 2에 나타내었으며, 그 특성은 표 2에 정리하였다. 제안하는 기법은  $x_1, x_2$  두 개의 입력을 가지며 최종적으로  $y$ 를 출력한다. 제안하는 구조에서 입력  $x_1$ 은 다음 세그먼트를 다운로드 받은 뒤 예측되는 클라이언트의 버퍼 상태  $B_{pred}$ 로 식 (7)로 표현된다.

표 2. 제안하는 기법의 ANFIS 특성

Table 2. The ANFIS properties of the proposed scheme

입력 개수 Number of Inputs	2
출력 개수 Number of Outputs	1
입력 당 입력 소속 함수의 개수 Number of input membership functions per input	3
퍼지 규칙의 개수 Number of fuzzy rules	9
입력 소속 함수의 종류 Type of input membership function	가우시안 소속 함수 Gaussian membership function
출력 소속 함수의 종류 Type of output membership function	상수 함수 constant

$$x_1 : B_{pred} = B_{curr} - T_{next} + D \quad (7)$$

$B_{curr}$ 은 현재 클라이언트의 버퍼 상태이며,  $D$ 는 세그먼트의 하나의 재생 시간,  $T_{next}$ 는 다음 세그먼트를 다운로드 받기 위한 시간이다. 여기서  $T_{next}$ 는 보다 정확하게 계산하기 위해 실제 다음 세그먼트의 사이즈  $S_{next}$ 를 이용하여 식 (8)으로 계산된다. 이 때  $S_{next}$ 는 지난 번 요청했던 비트율의 다음 세그먼트의 사이즈이다.

$$T_{next} = \frac{S_{next}}{R} \quad (8)$$

식 (8)에서  $R$ 은 이전 세그먼트를 다운로드 받은 속도이다. SARA 기법에서는  $R$ 을 계산할 때 조화평균을 사용하여 시변 네트워크 상황에서 네트워크의 급격한 변화에 의해 생기는 이상점에 대응하고자 했다. 이처럼 네트워크 속

도를 파라미터로 사용하는 품질 조절 기법들은 불필요한 품질 변화를 가져오는 이상점의 영향을 무시하고자 실제 네트워크 속도를 평坦하게 보정하여 사용한다<sup>[9][14][15]</sup>. 하지만 제안하는 기법에서는 네트워크 속도를 파라미터로 사용하지 않고 미래의 버퍼 상태를 예측할 때만 사용하기 때문에 바로 이전에 다운로드 받은 세그먼트의 크기  $S_{last}$ 와 이전 세그먼트를 다운로드 받기 위해 걸렸던 시간  $T_{last}$ 를 이용하여 식 (9)처럼 보정 없이  $R$ 을 계산한다.

$$R = \frac{S_{last}}{T_{last}} \quad (9)$$

두 번째 입력  $x_2$ 는 버퍼 상태의 변화량  $B_{diff}$ 이다. FDASH는 이전의 버퍼 상태와 현재 버퍼 상태의 차이인 버퍼 상태의 변화량을 입력으로 사용했지만, 단순한 버퍼 상태의 변화량을 사용하는 것은 네트워크 속도를 파라미터로 사용할 때와 마찬가지로 네트워크 속도의 이상점에서 불필요한 품질 변화를 가져올 수 있다. 따라서 제안하는 기법에서는 이상점을 무시하고자  $B_{diff}$ 를 식 (10)처럼 계산한다.

$$x_2 : B_{diff} = \begin{cases} \frac{\Delta B_{last} + \Delta B_{curr}}{2} & Q_{last} = Q_{curr} \\ \frac{\Delta B_{curr}}{2} & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

이 때,  $\Delta B_{last}$ 는 이전 버퍼 상태의 변화량,  $\Delta B_{curr}$ 는 현재 버퍼 상태의 변화량이며  $Q_{last}$ 는 이전 세그먼트의 비트율,  $Q_{curr}$ 는 현재 세그먼트의 비트율이다. 즉,  $Q_{last}$ 와  $Q_{curr}$ 가 같으면  $B_{diff}$ 는  $\Delta B_{last}, \Delta B_{curr}$ 의 평균이고 그 외의 경우  $\Delta B_{curr}$ 를 2로 나눈 값으로 계산된다. 이를 통해 갑작스러운 네트워크 변화를 무시할 수 있다.

최종적으로 제안하는 ANFIS 구조의 출력  $y$ 는 현재 비트율에서의 변화량을 나타낸다. 현재 비트율 따라서 다음 비트율은 현재 비트율  $Q_{curr}$ 에서  $y$ 를 더한 값과 가장 가까운 비트율으로 결정한다.

## 2. 학습 데이터

제안하는 ANFIS 구조의 파라미터들을 학습하기 위해서

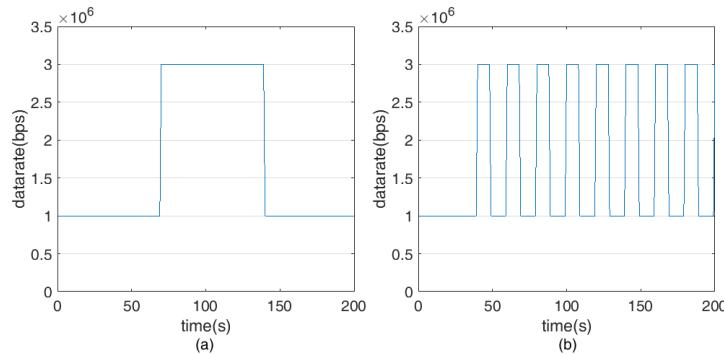


그림 3. 학습 데이터 모집 환경 (a) 장기 변화 점대점 링크 네트워크 (b) 주기적 단기 변화 점대점 링크 네트워크

Fig. 3. The training data extraction environment (a) Long-term change point-to-point link network (b) Periodic Short-term change point-to-point link network

는 학습 데이터가 필요하다. 학습 데이터를 얻기 위해 그림 3과 같은 두 가지 점대점 링크 네트워크 환경에서 클라이언트 측은 실제 링크 용량을 아는 상태로 실제 링크 용량에 알맞은 비트율의 세그먼트를 요청하며 제안하는 ANFIS 구조의  $x_1, x_2, y$ 에 해당하는 데이터를 얻는다. 이 때 두 가지 점대점 링크 네트워크의 링크 용량의 변화폭이나 변화 시간, 또는 시작 링크 용량을 조절한 다양한 링크 네트워크에서 데이터를 모집하여 제안하는 ANFIS 구조의 모든 페지 규칙에 해당하는 다양한 데이터가 나올 수 있도록 해야 한다. 학습 데이터를 모집한 뒤, 학습은 학습 데이터의 출력 값과 ANFIS의 출력 값의 오차가 어떠한 값에 수렴할 때까지 반복한다.

### 3. 기타

일반적으로 품질 조절 기법들은 첫 번째 세그먼트를 다운받을 때 시작 지연을 최소화하기 위해 가장 낮은 비트율의 세그먼트를 요청한다. 하지만 이로 인해 높은 비트율에 도달하는 시간이 느려지며 이러한 요인들은 클라이언트의 QoE에 나쁜 영향을 미친다<sup>[10]</sup>. 따라서 제안하는 기법에서는 첫 번째 세그먼트는 가장 낮은 비트율의 세그먼트를 요청하고 그 다음 두 번째 세그먼트는 현재 버퍼 상태보다 작은  $T_{next}$ 를 갖는 비트율 중 가장 큰 비트율로 요청하여 시작 지연은 최소화하고 높은 비트율에 도달하는 시간을 줄인다.

또한 제안하는 기법은 오버플로우를 방지하기 위해 클라

이언트의 최대 버퍼 크기보다 작은  $B_{limit}$  값을 설정하여 클라이언트의 버퍼 상태가  $B_{limit}$ 를 초과할 경우 초과한 시간 만큼 세그먼트를 요청하지 않고 기다린다<sup>[8]</sup>.

## IV. 모의실험 결과 및 평가

본 장에서는 제안하는 기법의 성능을 NS-3 모의실험을 통해 검증한다. 모의실험 결과로 제안하는 기법과 FDASH와 SARA 기법의 평균 세그먼트 비트율과 세그먼트 비트율 전환 횟수, 재생 끊김 횟수를 비교하였다. 평균 세그먼트 비트율과 세그먼트 비트율 전환 횟수, 재생 끊김 횟수는 클라이언트의 QoE에 영향을 주는 인자로 평균 세그먼트 비트율이 높을수록, 세그먼트 비트율 전환 횟수가 적을수록, 재생 끊김 횟수가 적을수록 클라이언트의 QoE가 향상된다<sup>[10][16]</sup>. 모의실험에서 세그먼트 하나의 재생 시간  $D$ 는 4초이며 DASH 서버에서 제공하는 비트율 종류는 45, 89, 129, 177, 218, 256, 323, 378, 509, 578, 783, 1000, 1200, 1500, 2100, 2400, 2900, 3300, 3600, 3900Kbps이다. 또한 클라이언트의 최대 버퍼량을 35초로 가정하고 제안하는 기법의  $B_{limit}$ 는 30초로 설정하였다. 가정한 최대 버퍼량을 고려하여 FDASH의 목표 버퍼량은 20초로 설정하였으며 SARA 기법의  $I$ 는 8초,  $B_\alpha$ 는 20초,  $B_\beta$ 는 30초로 설정하였다. 모의실험은 하나의 DASH 서버, 하나의 DASH 클라이언트 및 5개의 백그라운드 TCP 전송이 있는 Wi-Fi 환경에서 진행하였으며, 동일한 환경에서 각 기법들에 대해 한 번씩 수

행하였다.

## 1. 학습 결과

모의실험 결과에 앞서 제안하는 ANFIS 구조의 학습 결과를 그림 4, 그림 5에 나타내었다. 그림 4는 학습 데이터를 통해 학습된 전제 파라미터를 적용한 퍼지 소속 함수 그래프이다. 그림 5는 학습된 파라미터들을 적용한 ANFIS를 이용한 스트리밍 결과를 일부 학습 데이터와 비교한 그림

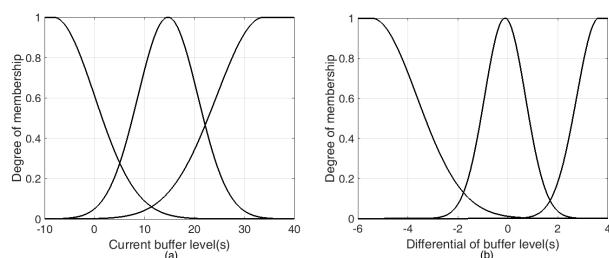


그림 4. 학습된 퍼지 소속 함수

Fig. 4. The trained fuzzy membership functions

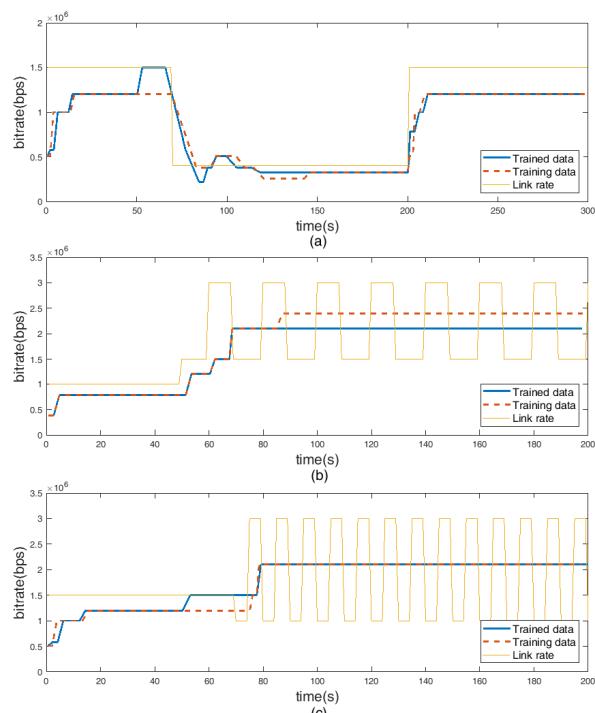


그림 5. 학습 데이터와 학습된 데이터 비교

Fig. 5. The comparison of training data and trained data

이다. 주황색 선은 링크 네트워크에서 설정한 링크 용량을 나타내며 빨간색 점선은 학습 데이터의 비트율, 파란색 실선은 학습된 ANFIS를 통해 결정된 비트율이다. 빨간색 점선과 파란색 실선을 비교했을 때, 두 개의 그래프가 완벽하게 일치하지는 않지만 비슷한 모양을 따라가고 각 비트율 값이 크게 차이가 나지 않음을 보아 학습이 잘 수행되었음을 확인할 수 있다.

## 2. 모의실험 결과

모의실험을 위해 5개의 백그라운드 트래픽의 주기성이 다른 Wi-Fi 환경을 구성하였으며, 5개의 환경에서 각 기법들의 스트리밍 결과를 합하여 그림 6에 순서대로 나타내었다. 그림 6에서 주황색 선은 SARA 기법, 파란색 선은 FDASH, 빨간색 선은 제안하는 기법을 적용한 결과로 (a)는 세그먼트 비트율의 변화, (b)는 버퍼 상태의 변화를 나타낸다.

그림 6의 모의실험 결과에서 FDASH는 목표 버퍼량에 도달할 때 까지 낮은 비트율에서 많은 수의 세그먼트를 요청한다. 그리고 목표 버퍼량에 도달한 다음부터 다음 세그먼트의 비트율이 점점 증가하는 형태를 보인다. 특히, 첫 번째, 세 번째, 다섯 번째 모의실험에서 FDASH는 동영상 재생을 시작한 후 약 50초 전후동안 다른 기법들에 비해 낮은 비트율의 세그먼트를 요청하고 목표 버퍼량에 도달한 이후부터 점점 더 높은 비트율의 세그먼트를 요청하기 때문에 다른 기법들에 비해 높은 비트율에 도달하는 시간이 느린 것을 확인할 수 있다. 또한 FDASH는 오버플로우에 대한 고려를 하지 않기 때문에 모든 모의실험 결과에서 클라이언트 버퍼에 40초 이상의 세그먼트를 저장하며 특히 세 번째 모의실험의 경우에는 60초를 초과한다.

SARA 기법의 경우 모든 모의실험에서 높은 비트율에 도달하는 시간이 빠르다. SARA 기법은 클라이언트 버퍼 상태가  $I$ 보다 낮아지지 않는다면 세그먼트 비트율을 증가하거나 유지하는데, 이 때 버퍼 상태가  $B_\alpha$  이하이고 세그먼트 비트율이 증가하는 경우 세그먼트 비트율이 한 단계씩 증가한다. 이 때문에 처음 동영상 재생을 시작할 때 낮은 비트율의 세그먼트부터 하나씩 요청함으로써 빠르게 버퍼

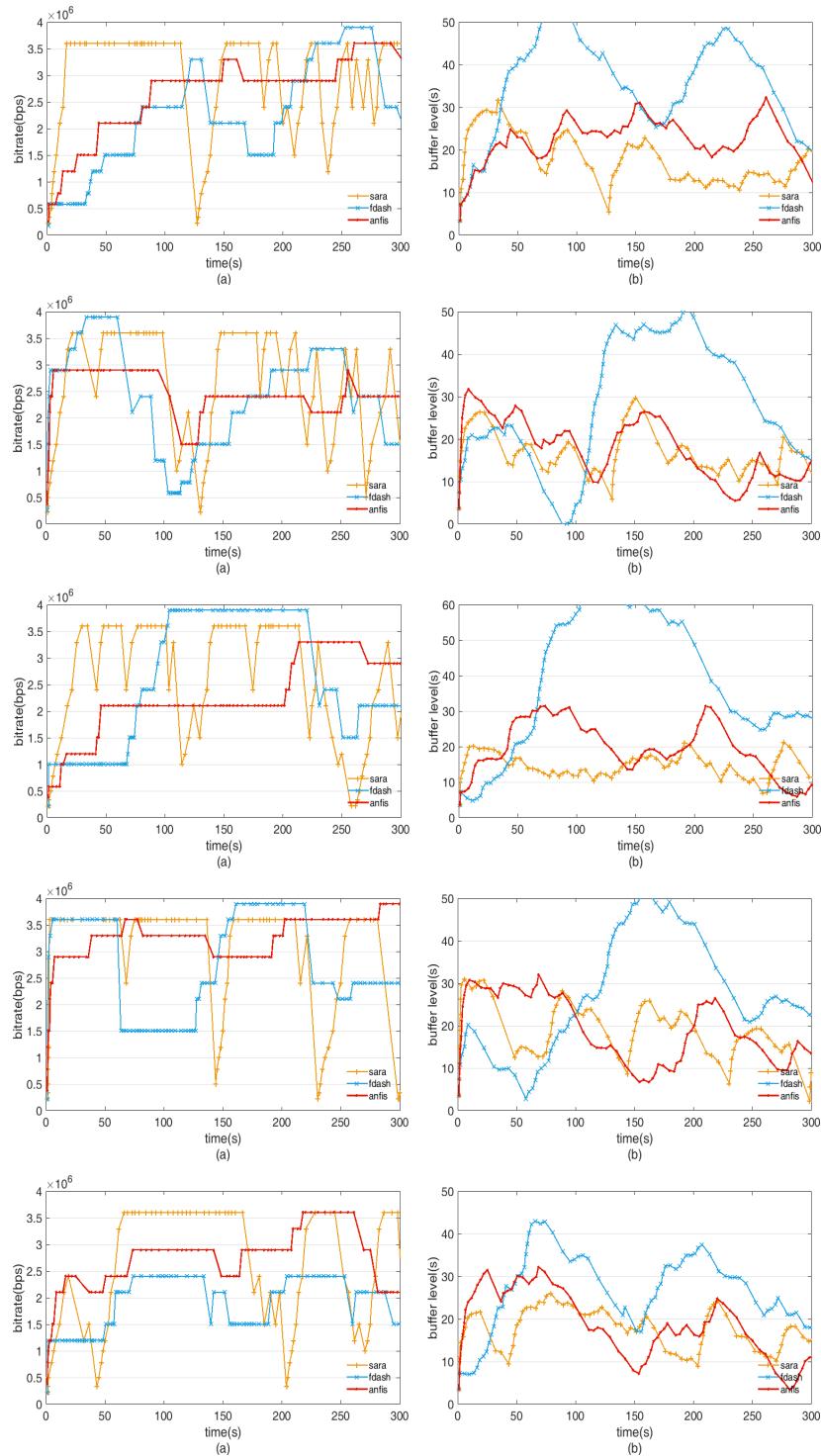


그림 6. Wi-Fi 환경에서 모의 실험 결과 (a) 세그먼트 비트율 (b) 클라이언트 버퍼 상태  
 Fig. 6. The simulation results in Wi-Fi environment (a) segment bitrate (b) client buffer level

의 세그먼트 수를 증가시킬 수 있고, 이로 인해 높은 비트율에 빠르게 도달할 수 있다. 그러나 SARA는 첫 번째 모의실험의 125초, 세 번째 모의실험의 145초, 230초, 300초와 같은 급격한 세그먼트 비트율의 감소와 첫 번째 모의실험의 250초 이후, 두 번째 모의실험의 200초 이후와 같이 세그먼트 비트율이 증가와 감소를 반복하는 형태가 다른 기법에 비해 많이 나타난다. 이러한 많은 비트율 변화는 클라이언트의 QoE에 좋지 않은 영향을 미치며 특히 그 변화의 차이가 클수록 더욱 좋지 않다<sup>[10]</sup>.

제안하는 기법을 적용한 결과는 다른 기법에 비해 비트율의 변화가 적고 또한 그 변화의 차이가 작다. 또한 두 번째, 다섯 번째 모의실험 결과에서는 SARA 기법보다 높은 비트율에 도달하는 시간이 빠르며 도달한 높은 비트율을 오래 유지한다. 그리고 클라이언트 버퍼 상태 값이  $B_{limit}$ 를 초과한 경우 초과한 시간만큼 기다리므로 버퍼 오버플로우가 발생하지 않는다. 따라서 제안하는 기법이 QoE에 영향을 주는 인자들에 대해 다른 기법보다 좋은 성능을 보인다.

각 모의 실험의 평균 세그먼트 비트율과 세그먼트 비트율 전환 횟수, 재생 끊김 횟수에 대한 정량적 결과는 표 3에

정리하였다. 표 3에 정리된 결과에서 제안하는 기법은 5번의 모의실험에서 평균적으로 2.529Mbps의 평균 세그먼트 비트율, 13.6번의 세그먼트 비트율 전환 횟수, 총 0번의 재생 끊김 횟수를 가진다. 이에 비해 FDASH는 2.13164Mbps의 평균 세그먼트 비트율, 16.6번의 세그먼트 비트율 전환 횟수를 가진다. 이를 통해 제안하는 기법이 FDASH보다 높은 평균 세그먼트 비트율을 낮은 세그먼트 비트율 전환 횟수를 가짐을 확인할 수 있다. 또한 FDASH는 두 번째 모의실험 결과에서 90초에 재생 끊김이 1회 발생한다. SARA 기법은 2.5048 Mbps의 평균 세그먼트 비트율과 46.8번의 세그먼트 비트율 전환 횟수, 총 0번의 재생 끊김 횟수를 가지며 마찬가지로 제안하는 기법이 더 좋은 성능을 가짐을 확인할 수 있다. 각각의 모의실험 결과에 대해서는 첫 번째, 두 번째, 세 번째 모의실험에서 제안하는 기법보다 SARA 기법의 평균 세그먼트 비트율이 비슷하거나 더 높다. 하지만 평균 세그먼트 비트율이 높더라도 세그먼트 비트율 전환 횟수가 많다면 클라이언트의 QoE에 좋지 않은 영향을 미친다<sup>[10]</sup>. 따라서 제안하는 기법이 SARA보다 훨씬 적은 세그먼트 비트율 전환 횟수를 가지면서 SARA와 비슷한 평균 세그먼트 비트율을 보이므로 클라이언트에게 더 좋은

표 3. 정량적 모의실험 결과

Table 3. The Quantitative Simulation Results

기법 Algorithm		평균 세그먼트 비트율 Average Segment Bitrate (Mbps)	세그먼트 비트율 전환 횟수 Number of Segment Bitrate Switching	재생 끊김 횟수 Number of Interruption
SARA	1회	2.6795	46	0
	2회	2.3568	56	0
	3회	2.4624	50	0
	4회	2.6563	34	0
	5회	2.3690	48	0
FDASH	1회	1.9197	19	0
	2회	2.1179	22	1
	3회	2.2979	14	0
	4회	2.5314	15	0
	5회	1.7914	13	0
Proposed Scheme	1회	2.4968	12	0
	2회	2.3380	16	0
	3회	2.1129	10	0
	4회	3.1251	14	0
	5회	2.5722	16	0

QoE를 제공할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 뉴로 퍼지 시스템의 구조 중 하나인 ANFIS를 이용한 새로운 DASH 품질 조절 기법을 제안하였다. 기존의 FDASH의 퍼지 소속 함수는 그 설정에 대한 근거가 부족한 반면, 제안하는 기법은 ANFIS의 학습을 통해 적절한 퍼지 소속 함수의 파라미터를 찾을 수 있다. 또한 제안하는 기법은 VBR 비디오의 특성을 고려하여 다음 세그먼트의 다운로드 시간을 보다 정확히 예측하고, 동영상 재생을 시작할 때의 시작 지연 시간과 시작 후 높은 비트율에 도달하는 시간을 줄였으며, 클라이언트 버퍼의 오버플로우를 고려한다. 이를 통해 제안하는 기법은 시변 네트워크 상황에서 적절한 세그먼트 비트율을 선택할 수 있다.

최종적으로 본 논문은 제안하는 기법이 기존 품질 조절 기법들에 비해 QoE에 영향을 주는 평균 세그먼트 비트율, 세그먼트 비트율 전환 횟수, 재생 끊김 횟수 면에서 더 나은 성능을 보임을 NS-3 모의실험을 통해 검증하였다. 이를 통해 제안하는 기법이 기존 품질 조절 기법들에 비해 클라이언트에게 높은 QoE를 제공함을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] SANDVINE, IU, 2016 Global Internet Phenomena Report. North America and Latin America, 2016.
- [2] ISO/IEC 23009-1:2014 (Second edition), Information technology Dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH) Part 1: Media presentation description and segment formats, 2014.
- [3] T. Stockhammer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP--: standards and design principles," Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems, San Jose, CA, USA, pp.133-144, 2011.
- [4] M. Park and Y. Kim, "MMT-based Broadcasting Services Combined with MPEG-DASH," Journal of Broadcast Engineering, Vol.20, No.2, pp.283-299, March 2015.
- [5] K. Yun, W. Cheong, J. Lee, and K. Kim, "Design and Implementation of Hybrid Network Associated 3D Video Broadcasting System," Journal of Broadcast Engineering, Vol.19, No.5, pp.687-698, September 2014.
- [6] Y. Kim, and M. Park, "MPEG-DASH Services for 3D Contents Based on DMB AF," Journal of Broadcast Engineering, Vol.18, No.1, January 2013.
- [7] H. Kim, Y. Son, and J. Kim, "A Modification of The Fuzzy Logic Based DASH Adaptation Algorithm for Performance Improvement," Journal of Broadcast Engineering, Vol. 22, No. 5, September 2017.
- [8] P. Juluri, V. Tamarapalli, and D. Medhi, "SARA : Segment aware rate adaptation algorithm for dynamic adaptive streaming over HTTP," Proceedings of Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on, London, UK, pp.1765-1770, 2015.
- [9] D.J. Vergados, A. Michalas, and A. Sgora, "FDASH: A Fuzzy-Based MPEG/DASH Adaptation Algorithm," IEEE System Journal, Vol.10, No.2, pp.859-868, 2016.
- [10] L. Yitong, S. Yun, M. Yinian, L. Jing, L. Qi, and Y. Dacheng, "A study on quality of experience for adaptive streaming service," Proceedings of Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on, Budapest, Hungary, pp.682-686, 2013.
- [11] CT. Lin, and CSG. Lee, "Neural-network-based fuzzy logic control and decision system," IEEE Transactions on computers, Vol.40, No.12, pp.1320-1336, December 1991.
- [12] JSR. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Vol.23, No.3, pp.665-685, May/June 1993.
- [13] T. Takagi, and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Vol.SMC-15, No.1, pp.116-132, January-February 1985.
- [14] Q. He, C. Dovrolis, and M. Ammar. "On the predictability of large transfer TCP throughput," ACM SIGCOMM Computer Communication Review. Vol. 35, No. 4, pp.145-156, August, 2005.
- [15] J. Jiang, V. Sekar, and H. Zhang, "Improving fairness, efficiency, and stability in http-based adaptive video streaming with festive," Proceedings of the 8th international conference on Emerging networking experiments and technologies, Nice, France, pp.97-108, 2012.
- [16] M. Seufert, S. Egger, M. Slanina, T. Zinner, T. Hobfeld, and P. Tran-Gia, "A Survey on Quality of Experience of HTTP Adaptive Streaming," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.17, No.1, March 2015.

---

저자소개

---

손 예 슬



- 2017년 : 건국대학교 전자공학과 학사과정 졸업
- 2017년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-8048-9966>
- 주관심분야 : 무선 이동통신 네트워크, 멀티미디어 스트리밍 프로토콜

김 현 준

- 
- A portrait photograph of a young man with dark hair and glasses, wearing a black shirt.
- 2017년 : 건국대학교 전자공학과 학사과정 졸업
  - 2017년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신공학과 석사과정
  - ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-5457-8957>
  - 주관심분야 : 무선 이동통신 네트워크, 멀티미디어 스트리밍 프로토콜, 최적화 이론

김 준 태



- 1990년 : 한국과학기술원 학사과정 졸업
- 1993년 : 한국과학기술원 석사과정 졸업
- 1998년 : 한국과학기술원 박사과정 졸업
- 1998년 ~ 2003년 : LG전자 DTV연구소 책임연구원
- 2003년 ~ 현재 : 건국대학교 전자공학부 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-6953-5482>
- 주관심분야 : 차세대 방송 통신 & 디지털 TV 시스템, 통신 시스템