

비디오 스트리밍 응답 시간 개선을 위한 데이터 사전 배치 방법

민 지원*, 문현수*, 이영석^o

A data prefetching scheme to improve response time of Video Streaming service

Ji-won Min*, Hyun-su Mun*, Young-seok Lee^o

요 약

비디오 스트리밍 서비스가 다양한 단말기에서 지원되면서 사용량이 증대되었고 그로 인해 사용자 관점에서 서비스를 개선하려는 노력이 지속되고 있다. 사용자가 영상을 시청할 때 입력부터 재생될 때까지 응답 시간이 길어지면 사용자의 서비스 만족도는 저하된다. 본 논문은 사용자의 과거 시청 이력을 분석하여 선호 영상을 추출하고 이 영상 데이터를 단말기에 사전 배치하여 응답 시간을 줄이는 방법을 제안한다. 실험으로 데이터 사전 배치로 응답 시간이 최대 41% 개선되는 것을 확인하였다. 실제 스트리밍 서비스의 시청 기록을 활용하여 사용자별 선호 영상을 계산하였다. 적중률에 따른 응답 시간 변화와 시청되지 않아 낭비된 데이터양을 알아보았다. 적중률이 높아질수록 응답 시간 개선 효과가 커지는 것을 확인하였다.

Key Words : Data Prefetch, Content-based filtering, CDN

ABSTRACT

As the video streaming service are supported by various devices, the amount of usage increases and efforts to improve the service from the viewpoint of users have continued. When a user watches a video, a response time occurs from input to playback, and if this response time becomes longer, the user's service satisfaction decreases. In this paper, we are proposing a method prefetching each user's preference video data obtained by analyzing user's past history record to the device for reducing the response time. We will show the result that prefetching data can improve the response time to 41% at most. And we analyzed real-video streaming viewing record and got each user's preferred video list. We investigated the change of response time according to a hit-ratio and amount of overhead data that was prefetched to the device, but not viewed. It was shown that as the hit-ratio grows bigger, the improvement of response time becomes more effective.

※ 이 논문은 2017년도 충남대학교 해외 파견 연구비 지원에 의한 결과입니다.

• First Author : Chungnam National University Department of Computer Science and Engineering, 201750877@o.cnu.ac.kr

^o Corresponding Author : Chungnam National University Department of Computer Science and Engineering, lee@cnu.ac.kr

* Chungnam National University Department of Computer Science and Engineering, munhyunsu@cnu.ac.kr

I. 서론

비디오 스트리밍 서비스 사용량이 증가하며 사용자 경험에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 대표적 서비스인 Netflix은 2018년 10월 전 세계 트래픽의 15%를 소비할 정도로 많은 사용량을 보였다^[1]. 스트리밍 서비스가 PC, 스마트폰, 태블릿 등의 다양한 단말기에서 지원되며 사용량이 증가하였다. 기존 서비스에서는 추천 영상, 자체 제작 콘텐츠를 생산하여 사용자의 서비스 만족도를 높이려는 노력을 하고 있다.

사용자 경험에 영향을 주는 요인은 ‘응답 시간’이다. 응답 시간이란 사용자가 영상 시청을 요청한 후 정상적으로 재생될 때까지 걸리는 시간을 의미한다. 응답 시간이 길어지면 사용자들은 서비스 이용에 불편함을 느낀다. 스트리밍 서비스에서 응답 시간이 2초 이상 걸리면 시청 중 이탈율이 급증한다고 알려져 있다^[2].

기존 스트리밍 서비스에서는 응답 시간을 개선하기 위해 CDN 기술을 활용한다. 영상 데이터를 저장한 CDN 서버를 여러 지역에 설치하여 사용자가 영상을 시청할 때 지리적으로 가까운 서버에서 영상 데이터를 다운로드하는 방식이다. 이는 중앙 서버의 부담을 분산시키고 데이터 전송 시간을 줄이는 효과를 가져왔다. 하지만 사용량이 많은 시간에는 CDN 서버 과부하가 여전히 존재한다. 이를 해결하기 위해 최근 연구에서는 CDN-P2P 방식을 제안하였다. CDN 서버, 라우터, 단말기가 피어가 되어 영상 데이터를 전송하는 방식이다. 응답 시간과 대역폭 소비 절감을 기대할 수 있다.

이러한 시도에도 사용자들은 영상을 시청할 때 2초 이상의 응답 시간을 경험한다. POOQ, Netflix에서 인기 영상 30개의 평균 응답 시간은 각각 3.9초, 9초로 측정되었다. 그림 1은 POOQ에서 영상을 시청할 때 사용자에게 보여지는 화면 변화를 시간 순서대로 나열한 모습이다. 사용자가 인식하는 영상

재생은 영상 시청 입력으로부터 4.5초 후에 시작된다. 응답 시간이 길어지는 원인은 영상 데이터 및 CDN 서버 탐색 과정 때문이다. 사용자가 영상을 시청하면 서버는 사용자 입력에 따른 데이터 탐색을 시작한다. 더불어 사용자의 현재 상태(접속한 단말기, 네트워크, 지리적 위치 등)를 파악하고 영상 데이터를 전송해줄 CDN 서버를 탐색한다. 이러한 데이터 및 CDN 서버 탐색 과정은 전체 응답 시간의 41%를 차지한다. 사용자 입력 후 발생하는 연산 과정으로 인해 응답 시간이 길어진다.

본 논문에서는 사용자별 선호 영상을 구하고 영상 데이터를 단말기에 배치함으로써 응답 시간을 줄이는 방법을 제안한다. 사용자의 과거 시청 기록으로 사용자의 선호 영상을 구한다. 사용자가 서비스에 접속하면 선호 영상 데이터를 단말기에 전송하여 시청할 때 응답 시간을 줄이는 것을 목표로 한다. 본 논문에서는 모의 비디오 스트리밍 서비스를 제작하여 데이터 사전 배치(prefetch) 방법의 응답 시간 개선 효과를 확인한다. 무선 네트워크 환경에서 사전 배치 방법의 효과와 적중률(Hit-ratio)에 따른 응답 시간 변화를 조사한다.

2장에서는 스트리밍 서비스에서 응답 시간 및 대역폭 소비량 단축을 다룬 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 선호 영상 계산 방법과 데이터 사전 배치 메커니즘을 소개한다. 4장에서는 실험 환경과 결과를 보인다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

스트리밍 서비스의 응답 시간 및 대역폭 소비를 줄이기 위해 캐싱, 데이터 사전 배치를 적용한 연구 사례가 있다. 연구^[3]에서는 학내에 프록시 서버를 설치하여 Hulu 트래픽을 분석하고 캐싱 및 사전 배치가 대역폭 소비를 줄일 수 있는지 조사하였다. 실험 기간 3일 동안 영상 데이터를 캐싱했을 때와 인기 영상 100개의 데이터를 프록시 서버에 사전 배치했을 때 적중률은 각각 77%, 44%로 나타났다.



그림 1. POOQ - 영상 재생 과정 로딩
Fig. 1. POOQ - Loading Process for playing video

프록시 서버가 데이터 요청을 처리함으로써 대역폭 소비량은 3 ~5% 감소한 것으로 나타났다. [4]에서도 로컬 프록시 서버에 영상 데이터를 사전 배치했을 때 응답 시간이 개선된 것을 보였다.

CDN 서버에 몰리는 과부하를 해결하기 위한 CDN-P2P 데이터 배치 방법^{[5],[6]}이 제안되기도 하였다. CDN-P2P 네트워크에서는 서버, 라우터, 단말기 등이 피어가 되어 데이터 전송을 분담한다. 서버는 영상 데이터를 네트워크에 배포하는 역할을 한다. 시드를 보유한 피어들은 영상 데이터 요청이 들어오면 해당 피어에게 데이터를 전송한다. 기존의 CDN 네트워크보다 호스트 사이의 거리가 가까워지기 때문에 응답 시간과 대역폭 소비량 절감 효과를 얻을 수 있다. 하지만 CDN-P2P 네트워크에서는 일부 영상의 데이터 시드가 부족해지는 상황이 벌어진다. 이때 해당 영상을 시청하는 피어가 생기면 이 피어는 시드 탐색 과정으로 인해 긴 응답 시간이 나타날 수 있다. [5],[6]에서는 특정 영상의 시드가 부족해지는 시점 혹은 시드가 부족해질 영상을 예측하여 이러한 문제의 예방 방법을 제안하였다.

연구^[7]에서는 ‘시청자가 항상 처음부터 영상을 시청하지 않는다’ 라고 밝히며 이러한 시청자는 보다 긴 응답 시간을 경험한다고 보고하였다. 이를 해결하기 위해 영상을 구간 별로 나누고 각 구간 별로 초기 영역에 관한 우선순위를 세웠다. 순위가 높은 구간의 영상 데이터를 단말기에 우선 배치하여 응답 시간을 줄이는 방법을 제안하였다.

본 논문은 사용자의 선호 영상 데이터를 단말기에 직접 배치하여 응답 시간을 개선하는 방법을 제안한다. 과거 연구 사례는 프록시 서버에 데이터를 배치하여 응답 시간과 대역폭 소비량을 절감하였다. 단말기에 데이터를 배치했을 때 응답 시간의 개선 정도를 조사한다. 사전 배치되는 영상이 과거 시청 이력을 기반으로 한 선호 영상인 것도 차별화된 점이다.

Ⅲ. 데이터 사전 배치 방법

1. 사용자별 선호 영상 추천

사용자의 과거 시청 기록을 분석하여 선호 영상을 구하는 과정이다. 본 논문에서는 내용 기반 필터링(Content-based filtering) 방법을 활용하여 선호 영상 리스트를 제작하였다. 내용 기반 필터링 방법

은 줄거리, 출연진, 영상 제목 등으로 영상 사이의 유사도를 구하고 유사도가 가장 높은 영상을 추천하는 방식이다.

본 논문에서는 국내 서비스인 POOQ에서 7일 간의 시청 로그를 제공받아 사용자별 선호 영상 계산에 활용하였다. 시청 로그 분석 결과 사용자들은 일일 평균 4.6개의 영상을 시청하는 것으로 나타났다. 일일 평균 시청 영상 수가 4.6개 이상인 활동적인 사용자 100명의 시청 기록을 수집하였다(표1).

표 1. 활용 데이터 요약
Table 1. Summary of Data

정보	설명
기간	2017.01.01. ~ 2017.01.07
크기	882.23KB
사용자 수	100
시청 기록 수	4,635
컨텐츠 수	1,335

영상 사이의 유사도를 구하기 위해 각 영상의 프로그램명, 장르, 줄거리, 출연진 정보를 수집하였다. 수집된 정보에서 단어를 추출하여 전체 단어셋을 생성하고 각 영상마다 모든 단어의 등장 횟수를 기록한 벡터 리스트를 생성한다. 영상별 벡터 리스트로 모든 영상 쌍 사이의 cosine 유사도를 구한다. 사용자마다 과거에 선호한 영상과 가장 유사한 영상 10개를 구하여 사용자별 선호 영상으로 활용하였다.

2. 영상별 데이터 탐색

사용자별 선호 영상 리스트가 제작되면 해당 영상을 재생할 때 필요한 데이터와 데이터를 보내줄 CDN 서버를 탐색한다. 그림 2는 데이터 탐색 과정을 나타낸다. 모든 영상은 고유한 영상 ID를 갖는다. 데이터 탐색 프로세스는 영상 ID를 입력받으면 해당 영상을 재생할 때 필요한 모든 데이터를 탐색한다. 이러한 데이터는 ‘영상 정보 데이터’, ‘관련 영상 정보 데이터’, ‘CDN 서버 정보 데이터’로 나뉜다. 서버는 이 데이터들의 경로를 찾으면 [영상 ID]_[정보]_URL.json 파일에 기록하고 사용자가 접근 가능한 경로에 업로드 한다.

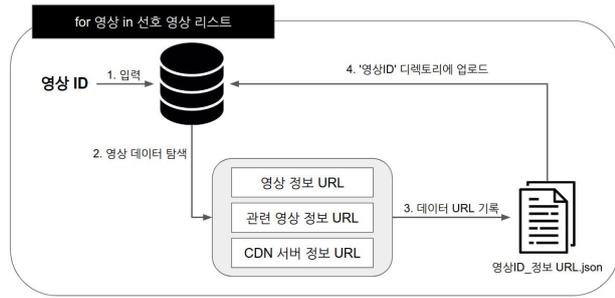


그림 2. 영상별 데이터 탐색 절차
Fig. 2. Procedure for searching data related to a video

표 2. 영상별 데이터 종류
Table 2. Data type of a video

데이터 타입	설명
영상 정보	프로그래밍, 줄거리, 출연진, 썸네일 정보 포함
관련 영상 정보	다른 회차 영상 정보
	함께 많이 시청된 영상 정보
	같은 장르의 인기 영상 정보
	출연진이 참여한 다른 영상 정보
CDN 서버 정보	CDN 서버 주소 경로

표 2는 타입별 데이터 정보를 설명한다. 영상 정보 데이터는 영상의 회차 정보, 줄거리, 출연진, 썸네일 정보를 포함한다. 영상을 시청할 때 화면에 해당 내용을 표기하기 위해 필요하다.

관련 영상 정보는 시청 화면에 함께 로드되는 추천 영상 정보를 의미한다. 시청 중인 프로그램의 다른 회차 영상이나 함께 많이 시청된 영상 정보, 같은 장르의 인기 영상 정보, 출연진이 참여한 다른 영상 정보, 하이라이트 영상 정보의 총 5개 정보로 구성되어 있다. 추천 영상의 정보도 영상 ID, 썸네일 경로, 줄거리 정보를 포함한다.

CDN 서버 정보 데이터는 영상 데이터를 요청할 CDN 서버 주소를 포함한다. 서버는 사용자별 추천 영상이 구해지면 영상 데이터를 관리하는 CDN 서버를 미리 탐색한다. 이를 받은 사용자는 서버 탐색 요청을 생략하고 곧바로 영상 데이터를 다운로드할 수 있다.

각 타입별 데이터의 경로가 파악되면 데이터의 URL들을 '[영상ID]_[정보]_URL.json' 파일에 기록한다. 이 파일을 사용자가 접근 가능한 경로에 업로드한다. 이 파일은 데이터 사전 배치 과정에서 활용된다.

3. 데이터 사전 배치

선호 영상을 재생할 때 필요한 데이터를 파악하면 사용자가 영상을 시청하기 전에 단말기에 데이터를 배치한다. 그림 3은 데이터 사전 배치 과정의 순서도이다.

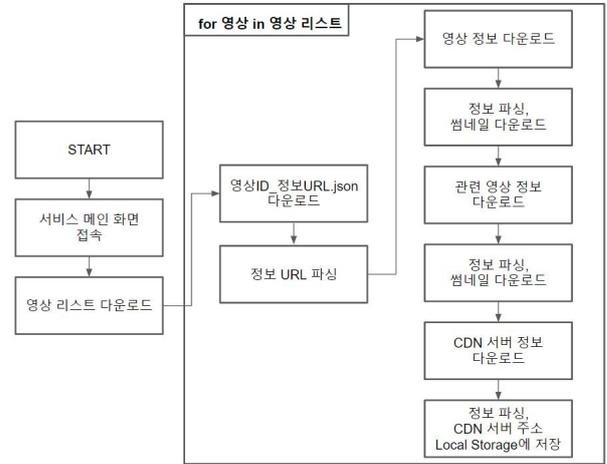


그림 3. 데이터 사전 배치 순서도
Fig. 3. Data prefetching flow-chart

서비스 메인 페이지를 로딩할 때 데이터를 사전 배치하는 자바스크립트 코드가 동작한다. 사용자별 선호 영상의 영상 ID가 기록된 파일을 다운로드한다. 이후 자바스크립트는 각 영상의 '[영상ID]_[정보]_URL.json' 파일을 다운로드한다. 파일 데이터를 파싱하여 영상 정보 데이터와 관련 영상 정보 데이터의 URL을 파악하고 요청을 보낸다. 이 후, 두 가지 데이터에 포함된 썸네일 주소에 요청을 보내 이미지 자원을 다운로드한다. 사용자가 CDN 서버 정보를 다운로드하면 서버 주소를 파싱하여 영상 초반 데이터를 다운로드한다. 더불어 ("영상 ID": "CDN 서버 주소") 쌍 형태로 자바스크립트 로컬 저장소에 저장한다. 사용자가 선호 영상을 시청할 때 로컬 저장소에 영상 데이터 다운로드 링크가 있으면 CDN 서버 탐색 과정을 생략하고 영상 데이터를 요청할 수 있다.

IV. 실험

1. 실험 환경

그림 4는 실험 환경을 나타낸 그림이다. 서버에 Django 프레임워크와 NGINX를 활용하여 모의 비디오 스트리밍 서비스를 제작하였다. HLS(HTTP Live Streaming) 프로토콜을 활용하여 사용자가 영

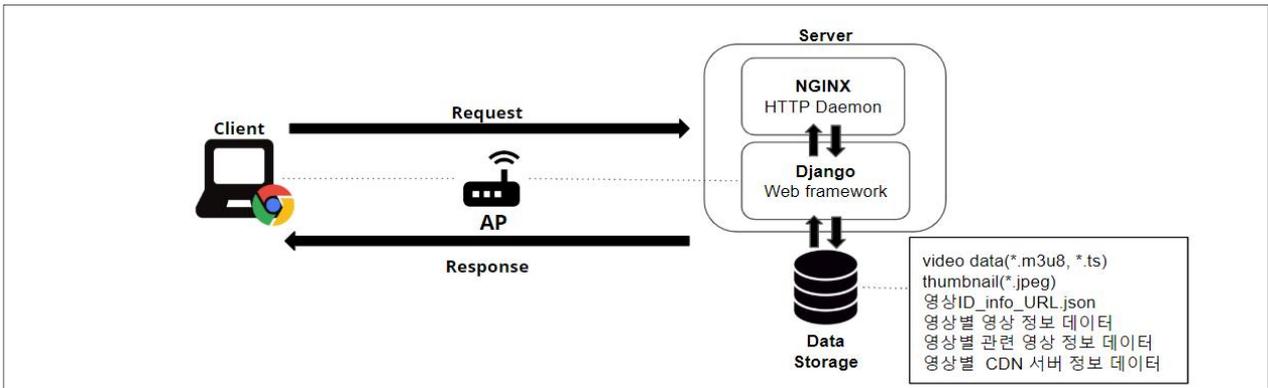


그림 4. 실험 환경
Fig. 4. Experimental Setup

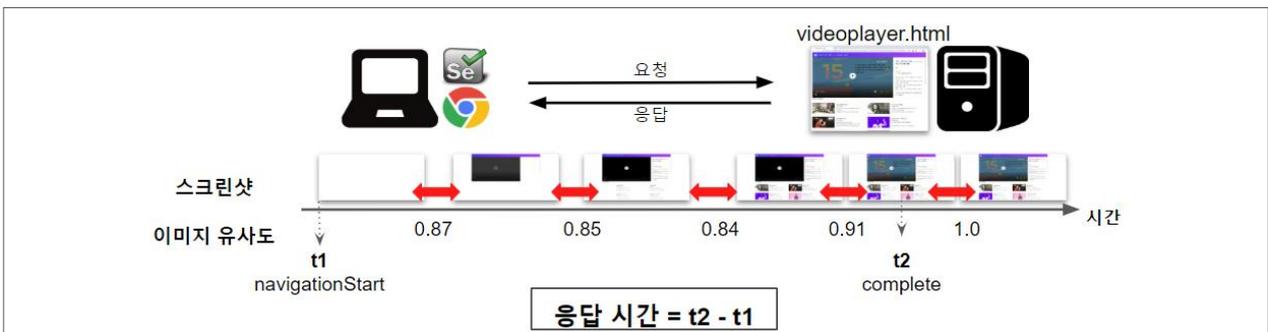


그림 5. 응답 시간 측정 방법
Fig. 5. A metric to measure response time

상을 재생하거나 정지하는 행동에 맞춰 영상 데이터를 전송한다. 클라이언트 프로그램은 Chrome 브라우저를 사용하였다. 응답 시간 측정 실험은 10번씩 반복하였다.

객관적인 응답 시간 개선 효과를 확인하기 위해 응답 시간 측정 도구를 제작하였다. 그림 5은 응답 시간 측정 방법을 보인다. 클라이언트에서 브라우저를 실행시키고 스트리밍 서비스에 접속한다. 영상을 시청할 때 화면 변화를 스크린 샷으로 기록한다. 각 opencv 히스토그램 비교 방식으로 인접한 스크린샷의 유사도를 구한다. 유사도가 1이 되는 시점(t2)을 사용자가 인식한 로딩 완료로 판단한다. t2와 입력이 발생한 시점 t1의 차이로 응답 시간을 계산한다.

2. 데이터 사전 배치에 따른 응답 시간 비교

데이터를 사전 배치했을 때 응답 시간 개선 정도를 알아본다. 서버-클라이언트 사이의 RTT가 10ms, 패킷 손실률이 0%인 환경에서 실험을 진행하였다. 그림 6은 영상 10개를 대상으로 스트리밍 혹은 사전 배치했을 때 응답 시간을 비교한 결과이다. 모의 비디오 스트리밍 서비스에서 스트리밍 방식의 평균 응답 시간은 1.682초로 측정되었다. 사전 배치 방식의 평균 응답 시간은 0.942초로 측정되었다. 데

이터 사전 배치 방법으로 응답 시간을 44% 개선할 수 있다.

3. 무선 네트워크에서 데이터 사전 배치

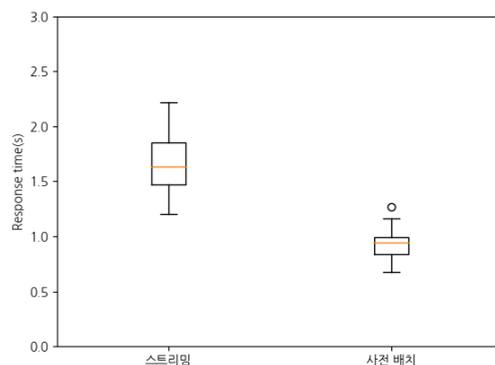


그림 6. 실시간 스트리밍/사전 배치 응답 시간 비교
Fig. 6. Comparison of response time on real-time data loading and prefetching data

데이터 사전 배치 방법이 무선 네트워크에서도 응답 시간 단축에 효과적인지 조사하였다. RTT, 패킷 손실률의 변화폭이 큰 무선 네트워크에서는 네트워크 상황이 악화되면 응답 시간이 길어질 수 있다. 무선 네트워크 LTE, WiFi, 3G에서는 각각 100,

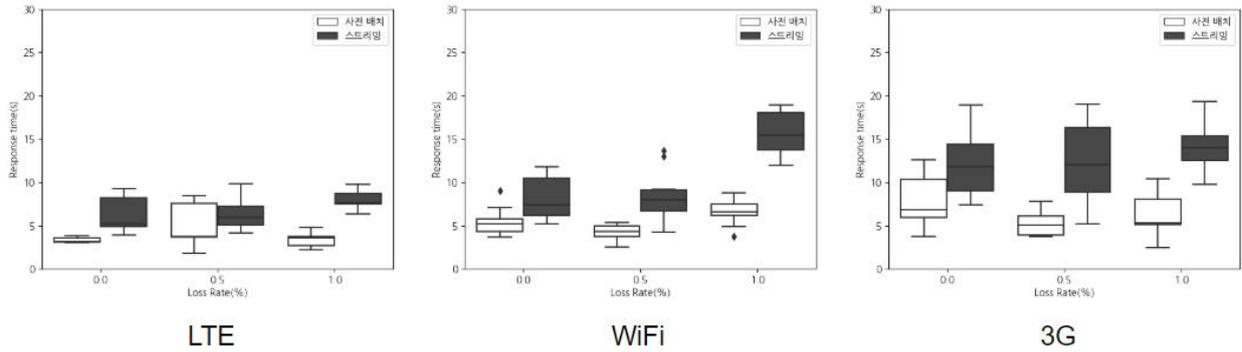


그림 7. 무선 네트워크에서 스트리밍/사전 배치 응답 시간 비교
Fig. 7. Comparison of response time on streaming/prefetching data in the wireless network

150, 200 ms의 지연 시간이 발생한다^[8]. 무선 네트워크 실험 환경을 표 3과 같이 구성하여 각 환경에서 스트리밍 방법과 사전 배치 방법의 응답 시간을 비교해본다.

표 3 무선 네트워크 실험 환경(RTT, 패킷 손실률)
Table 3. Network test-case on wireless network

LTE		WiFi		3G	
100ms	0%	150ms	0%	200ms	0%
100ms	0.5%	150ms	0.5%	200ms	0.5%
100ms	1%	150ms	1%	200ms	1%

그림 7은 LTE, WiFi, 3G에서 데이터 실시간 로딩과 사전 배치했을 때의 응답 시간을 비교한 결과이다. 무선 네트워크에서도 데이터를 사전 배치했을 때 응답 시간이 개선되었다. 가장 사용자가 많은 LTE, Wifi 환경에서 손실률이 0%일 때 응답 시간이 각각 46%, 33% 단축되었다. 패킷 손실률이 클수록 응답 시간 단축 효과는 더 크게 나타났다. 가장 RTT가 짧은 LTE 환경에서 패킷 손실률이 0%, 1%일 때 응답 시간이 각각 46%, 57% 개선되었다. 3G환경에서도 패킷 손실률이 0%, 1%일 때 응답 시간 개선률이 각각 35%, 55%로 나타났다.

4. 적중률에 따른 응답 시간 변화 및 오버헤드 데이터 량 파악

데이터 사전 배치는 응답 시간을 개선할 수 있지만 사용자가 영상을 시청하지 않으면 대역폭이 낭비된다. 적중률에 따른 평균 응답 시간 변화와 표 1의 사용자 시청 기록을 분석하여 낭비된 누적 데이터 크기를 확인한다.

적중률이란 선호 영상 N개 중 사용자가 시청한 영상 M개의 비율을 의미한다. 사용자가 10개의 영상

을 시청할 때 적중률에 따른 응답 시간 변화를 조사하였다. 그림 8은 적중률에 따른 평균 응답 시간 변화를 나타낸다. 적중률이 높아질수록 평균 응답 시간이 단축되는 것을 확인할 수 있다. 사용자가 10개의 영상을 시청할 때 영상을 전부 스트리밍으로 로드할 경우 평균 응답 시간은 1680ms로 나타났다. 영상을 전부 사전 배치하여 로컬에서 로드할 경우 평균 응답 시간이 945ms로 측정되었다. 응답 시간이 최대 44% 개선되는 것으로 나타났다.

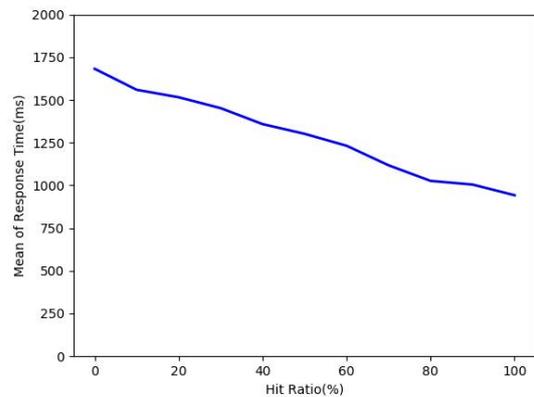


그림 8. 적중률에 따른 평균 응답 시간 변화
Fig. 8. The change of average response time according to hit ratio

실제 스트리밍 서비스 시청 기록을 활용하여 내용 기반 필터링 방식으로 사용자별 선호 영상 리스트를 제작하고 이를 사전 배치했을 때 낭비되는 데이터 량을 파악하는 실험을 하였다. 실험자마다 과거 시청 기록을 분석하여 선호 영상 10개를 구하였다. 각 사용자가 선호 영상을 얼마나 시청했는지 조사하고 시청하지 않아서 낭비된 데이터 량을 조사하였다. 낭비된 데이터를 ‘오버헤드 데이터’로 정의한다. 그림 9는 실험자 100명의 적중률에 따른 누적 오버헤드 데이터 량을 보인다. 적중률 20% 이하의

사용자들에게서 전체 오버헤드 데이터의 74%가 발생한다. 이들이 실험군의 60%를 차지하기 때문에 이 구간에서 급격한 오버헤드 데이터 증가율을 보인다. 전체 실험자들은 평균 123.42 MB의 오버헤드 데이터를 다운로드하는 것으로 나타났다.

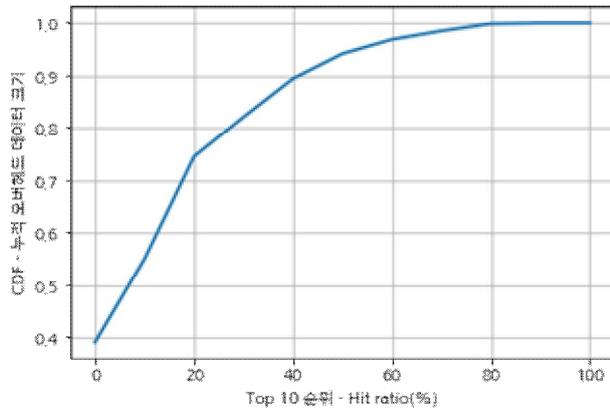


그림 9. 누적 오버헤드 데이터량 CDF
Fig. 9. CDF of cumulated overhead data amount

5. 데이터 사전 배치 방법의 문제점 및 해결 방안

데이터 사전 배치 방법으로 인해 사용자의 단말기에서 용량 부족 문제가 발생할 수 있다. 실험에 활용한 모의 영상 스트리밍 서비스에서는 영상 10개를 단말기에 사전 배치할 때 평균 134.4MB의 데이터가 전송된다. 이 점은 사전 배치 데이터에 유효 기한을 설정함으로써 해결할 수 있다. 데이터가 배치된 후 특정 기한이 지나면 만료되어 소멸하도록 한다.

모바일 사용자는 데이터 사전 배치로 인한 과금을 염려할 수 있다. 사용자가 셀룰러 네트워크로 서비스를 이용할 때 데이터 사전 배치 기능을 제한하도록 선택하는 설정 기능을 제공할 수 있다. 이미지 데이터를 압축하면 전송 데이터양을 최적화하여 요금 부담을 줄이고 더불어 단말기 용량 부족 문제를 해결할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 비디오 스트리밍 서비스에서 영상을 재생하거나 시청 구간을 이동할 때 발생하는 응답 시간을 줄이는 것을 목표로 한다. 사용자의 과거 시청 기록을 분석하여 선호하는 영상을 추천하고 영상 데이터를 사용자 단말기에 미리 배치해두는 방법을 제안하였다. 이 방법으로 기존 서비스 응답

시간의 41%를 차지하던 데이터 및 CDN 서버 탐색 과정이 생략되며 응답 시간을 개선할 수 있다. 더불어 RTT, 패킷 손실률이 유동적인 무선 네트워크에서도 응답 시간 단축 효과를 보였다. 적중률이 높을수록 평균 응답 시간이 개선되는 것을 확인하였다. 신호 영상 제작 알고리즘이 더 정확해질수록 데이터 사전 배치 방법은 사용자의 서비스 만족도 상승에 기여할 것이다.

References

- [1] Chris Morris, Netflix Consumes 15% of the World's Internet Bandwidth, Oct. 2. 2018, <http://fortune.com/2018/10/02/netflix-consumes-15-percent-of-global-internet-bandwidth/>
- [2] Krishnan, S. Shunmuga, and Ramesh K. Sitaraman., "Video stream quality impacts viewer behavior: inferring causality using quasi-experimental designs.", IEEE/ACM Transactions on Networking 21.6, pp. 2001-2014, Dec, 2013.
- [3] Krishnappa, D. K., Khemmarat, S., Gao, L., Zink, M., "On the feasibility of prefetching and caching for online tv services: a measurement study on hulu.", International Conference on Passive and Active Network Measurement, pp. 72-80, Heidelberg, Germany, Mar, 2011.
- [4] Gupta, Samarth, and Sharayu Moharir., "Request patterns and caching for vod services with recommendation systems.", International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS). ,pp 31-38, Bangalore, India, Jan, 2017.
- [5] Yuanxing Zhang, Chengliang Gao, Yangze Guo, Kaigui Bian, Xin Jin, Zhi Yang, "Proactive video push for optimizing bandwidth consumption in hybrid CDN-P2P VoD systems", INFOCOM Conference on Computer Communications, pp. 2555-2563, Honolulu, USA, Apr, 2018.
- [6] Guo, Y., Zhang, Y., Yang, Z., Bian, K., Tuo, H., Dai, Y., "Atdps: An adaptive time-dependent push strategy in hybrid cdn-p2p vod system", International Conference on Communications (ICC), pp. 1-6, Kansas, USA,

May, 2018

- [7] 김병준, 이선우, 이용현, 나시르, 안사리, 조성현. “P2P VoD 서비스 기반 우선순위 버퍼링 알고리즘”, *한국통신학회 학술대회논문집*, pp. 111-112, Jun, 2014.
- [8] Cablefree, LTE Latency: How does it compare to 2G, 3G and WiFi ?, <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-network-latency/>

민 지원 (Ji-won Min)



2012 충남대학교 컴퓨터공학과 학사
 2017 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
 <관심분야> 네트워크 트래픽 분석, 데이터 분석

문 현 수 (Hyun-su Mun)



2015 충남대학교 컴퓨터공학과 학사
 2015~ 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심 분야> 빅데이터 처리, 데이터 분석, 네트워크 트래픽 분석

이 영 석 (Young-seok Lee)



1995 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1997 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
 2002 서울대학교 전기·컴퓨터 박사
 2003~ 충남대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심 분야> 인터넷 트래픽 측정, 빅데이터 처리, 미래인터넷