

미디어 버퍼 제어를 이용한 효율적인 무선 네트워크 스트리밍 중계 엔진 개발

제 희 광*, 권 동 우*, 김 현 우*, 안 동 혁°, 주 흥 택°

Development of an Efficient Media Streaming Relay Engine Using Buffer Control in Wireless Networks

Huigwang Je*, Dongwoo Kwon*, Hyeonwoo Kim*, Donghyeok An°, Hongtaek Ju°

요 약

최근 모바일 스마트 기기의 급격한 보급과 확산으로 인해 모바일 스마트 기기 간의 멀티미디어 콘텐츠 공유 기술이 확산되고 있다. 이를 위해 계층적으로 구성된 이중 무선 네트워크 상에서 멀티미디어 스트리밍 중계 시 중계 기기와 다수의 멤버 기기를 간의 과도한 네트워크 자원 경쟁으로 인해 재생 화면 정지 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 중계 기기와 멤버 기기의 스트림 데이터 버퍼링을 제어함으로써 과도한 네트워크 점유를 방지하고 버퍼 고갈로 인한 재생 화면 정지 문제를 개선하는 스트리밍 중계 기법을 제안한다. 또한 제안한 중계 기법을 적용한 스트리밍 중계 엔진을 설계하고 구현한다. 제안한 중계 기법의 성능 평가를 위해 스트리밍 중계 시의 화면 정지 횟수와 정지 시간을 측정하여 기존의 중계 엔진과 비교한다. 성능 측정 결과, 본 논문에서 제안하는 미디어 버퍼 제어를 이용한 중계 엔진이 기존의 중계 엔진보다 더 적은 화면 정지 횟수와 정지 시간을 보였으며 이를 통해 멀티미디어 스트리밍 품질을 향상시킬 수 있다.

Key Words : Media Streaming, Streaming Relay, Media Buffer Control, QoS

ABSTRACT

Recently, as the proliferation of mobile smart devices, multimedia content sharing technologies between mobile smart devices have provided. For efficient content sharing in wireless networks, the hierarchical streaming network has been proposed. However, member devices in a network group experience frequent delay while playing multimedia content files because of excessive network resource occupation between a relay and member devices. In this paper, we propose an efficient multimedia streaming relay method using media buffer control to reduce network congestion during streaming from the relay device to the member devices. We also measured the number of buffering and buffering time of the proposed relay engine and compared them with the performance of the existing relay engine.

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(2015R1D1A1A01059786), 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이고(R0126-16-1009, ICBMS 플랫폼 간 정보 모델 연동 및 서비스 매쉬업을 위한 스마트 중계 기술 개발), 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1C1A1A01052627).

• First Author : Medical Device Development Center, Product R&D Division, hgje@dgmif.re.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Keimyung University, Department of Computer Engineering, donghyeokan@kmu.ac.kr, 정희원, juht@kmu.ac.kr, 중신회원

* Keimyung University, Department of Computer Engineering, {dwkwon, hwkim84}@kmu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-07-168, Received July 29, 2016; Revised October 7, 2016; Accepted October 10, 2016

I. 서 론

최근 모바일 스마트 기기의 보급과 확산으로 개인용 컴퓨터 외의 다양한 모바일 기기에서 인터넷 서비스 제공이 가능하게 되고, 클라우드 서비스의 보급과 더불어 다수의 기기 간에 멀티미디어 콘텐츠를 공유하는 기술이 제공되고 있다¹⁾. 특히 스마트 회의, 스마트 교육 등과 같은 응용 서비스는 다수의 모바일 스마트 기기들이 회의장, 강의실 등과 같은 단일 무선 랜 환경에 연결되어 기기 간 멀티미디어 콘텐츠를 공유한다. 하지만 단일 무선 랜 환경에서 기존의 기술들을 적용할 경우, 무선 채널의 네트워크 대역폭 제약으로 인하여 규모 확장성이 낮아지는 문제가 발생한다. 이 문제는 기기들이 무선 네트워크 자원을 공유함에 따라 다수의 기기가 필요한 네트워크 대역폭을 충분히 확보하지 못하기 때문에 발생한다.

이를 해결하기 위해서 이종 무선 네트워크를 계층적으로 구성하여 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하는 방법이 제안되었다^{2,3)}. 이 방법은 스트리밍을 위해 구성된 네트워크에 공통으로 연결된 중계 기기를 통하여 이종 네트워크 간 멀티미디어 데이터를 전달한다. 계층적 이종 무선 네트워크를 구성하여 이용하는 방법은 다중 무선 채널을 사용하여 단일 채널에 비해 대역폭을 향상되는 효과를 보였다. 하지만 이와 같은 방법으로 멀티미디어 스트리밍 중계를 진행할 경우, 중계 기기에 다수의 멤버 기기가 연결되면 멤버 기기 별 일시적 버퍼 고갈로 인한 재생 화면 정지 문제가 발생한다. 재생 화면 정지는 멤버 기기 간 과도한 경쟁으로 인해 순간적으로 해당 채널의 대역폭 사용의 공평성이 낮아지기 때문에 발생한다.

중계 기기와 멤버 기기 사이의 대역폭 공평성 문제의 해결 방법으로는 멀티미디어를 전달할 노드들에 가중치를 두어 그 가중치에 따라 서버에서 미디어를 전송하는 방식이 있다^{4,5)}. 하지만 이러한 방식을 사용할 경우 서버에서 미디어 전송을 관리하기 때문에 서버에 대한 의존성이 높아지고, 서비스의 참여 및 탈퇴가 상대적으로 빈번한 모바일 기기의 특성상 멤버 기기들에 대한 서버의 관리 비용이 증가한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 멤버 기기에서 미디어의 요청을 제어하여 무선 네트워크에서 특정 기기의 과도한 데이터 전송 점유를 지양하고, 과도한 경쟁과 순간적인 네트워크 공평성 저하로 인한 버퍼 고갈을 방지하고자 한다. 본 논문에서는 멤버 기기 상에서 스트림 데이터 버퍼링 제어를 통한 효율적인 멀티미디어 스트리밍 중계 기법을 제안한다. 제안하는 기법

의 평가를 위하여 재생 화면 정지 횟수와 화면 정지 시간을 측정하여 성능을 분석한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티미디어 중계와 미디어 스트리밍 시 대역폭 공평성 제어와 관련된 연구를 소개한다. 3장에서는 기존 중계 방법에서 발생하는 화면 정지 문제에 대해 알아보고, 버퍼링 제어를 이용한 스트리밍 중계 방법을 제안한다. 그리고 이러한 중계 방법을 적용한 중계 엔진의 구조와 구현 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 중계 방법을 이용하여 성능 실험을 수행하고 그 결과를 분석하며, 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구에 관해 논의한다.

II. 관련 연구

무선 네트워크 환경에서 멀티미디어 스트리밍 기기 수의 확장을 위한 관련 연구로 Je 등⁶⁾은 단일 무선 랜 환경에서 확장성 있는 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 무선 네트워크 구조를 제안하기 위해 다양한 무선 네트워크의 성능을 측정하였다. 이를 위해 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크, IEEE 802.11 ad hoc 네트워크, Wi-Fi Direct 네트워크를 구성하였으며 성능 지표는 대역폭과 Round Trip Time (RTT)을 사용하였다. 성능 측정 결과, Wi-Fi Direct 네트워크가 가장 성능이 좋았으며, 다음으로 IEEE 802.11 ad hoc 네트워크, 그리고 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크 순으로 성능이 우수하였다. 하지만 Wi-Fi Direct 네트워크의 경우에 기기 제조사별/모델별로 연결 가능한 최대 기기 수에 제약이 있으며, IEEE 802.11 ad hoc 네트워크는 모바일 스마트 기기에서 구성에 제약이 있다. 이러한 제약을 극복하여 원활한 멀티미디어 스트리밍을 수행하고자, Je 등²⁾은 Wi-Fi Direct 네트워크와 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크를 계층적으로 구성하는 이종 무선 네트워크 구조를 제안하였다.

Kwon 등³⁾은 이종 무선 네트워크를 이용한 계층적 네트워크 구조의 자가 구성 방법을 제안하고 구성한 네트워크의 성능 측정을 수행하였으며, 이는 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크보다 성능 및 규모 확장성 면에서 우수함을 보였다. 하지만 이러한 계층적 이종 무선 네트워크를 사용하기 위해서는 병목 지점인 무선 접속점(Access Point, AP) 장치와 Wi-Fi Direct 네트워크의 그룹 소유자 기기 사이의 연결 대역폭 제약 문제 해결이 필요하다. 이러한 대역폭 제약 문제 해결을 위해서 그룹 소유자 기기에서 그룹 멤버

기기에 미디어를 중계하는 기술의 필요성을 언급하고 있다.

Je 등^[7]은 무선 네트워크 환경과 Android 기기에 적합한 미디어 스트림 중계 엔진의 구조와 동작을 설계하였으며, Lin 등^[8]은 중계 장치의 메모리 복사 문제를 해결하기 위한 페이로드(payload) 공유, 다중 스트림과 Quality of Service (QoS) 스케줄링을 이용하는 One-to-Many Streaming Splicing (OMSS)을 제안하였다. OMSS를 적용한 결과, CPU 이용률 감소와 미디어 구독자의 최대 수가 증가함을 보였다. 하지만 제안한 방식은 운영체제 커널 상에서 동작을 제어해야 하기 때문에 시스템 호환성이 부족하다.

Hwang 등^[9]은 Home-to-Home 콘텐츠 분배를 위해 Enhanced Adaptive Fast Replica (EAFR)를 기반으로 하는 Digital Living Network Alliance (DLNA) 프록시 구조를 제안하였다. 미디어 서버를 포함하는 홈 네트워크는 DLNA 프록시의 Content Distributor를 통해 미디어를 전달하며, 미디어의 수신을 원하는 홈 네트워크는 DLNA 프록시의 Content Collector를 통해 미디어를 전달받는다. 미디어를 전달받은 각 홈 네트워크들은 홈 네트워크 상의 노드들에게 전달받은 미디어를 멀티캐스트를 이용하여 전달한다. 하지만 멀티캐스트를 이용한 방식은 모바일 환경의 특성과 일부 모바일 기기의 무선 칩셋 및 드라이버의 지원 문제로 인한 제약으로 다양한 환경에 적용하기 어렵다.

무선 네트워크 상에서 멀티미디어 스트리밍 대역폭의 공평성을 제어하기 위해 수행된 연구로, Wei와 Zhu^[4]는 이종 네트워크를 통한 서로 다른 종류의 비디오 서비스를 수행할 때의 효율성을 보장하기 위해 컨벡스(convex) 최적화를 이용한 공정 대역폭 할당 전략을 제안하였다. Liu 등^[5]은 내시 협상을 기반으로 하는 게임 이론 프레임워크를 통해 P2P 스트리밍 시스템의 네트워크 이용률과 공평성을 높이고, 대역폭 할당의 인센티브 문제를 해결하고자 하였고 공평성과 성능은 트레이드오프(trade-off) 관계였다. 이 연구들은 미디어 서버에서 각 노드의 기중치를 통해 미디어를 전달하는 노드를 선택 및 제어하기 때문에 미디어 서버에 대한 의존도가 높다.

재생 중지 현상을 개선하기 위한 연구로 Suh 등^[10]은 멀티미디어 스트리밍 사용자의 체감 품질을 향상시키기 위해 QoE-enhanced Adaptation Algorithm over DASH (QAAD)를 제안하였다. 이는 가용 네트워크 대역폭을 지속적으로 측정하고, 사용자의 체감 품질을 감소시키는 요인들을 고려하여 다운로드 받을 비디오 데이터의 다음 세그먼트 비율을 결정한다. 이

때, 이전에 요청한 비디오 세그먼트의 품질과 가장 가까운 품질의 비디오 데이터를 요청하여 사용자의 체감 품질 저하를 방지하며 재생 끊김 방지를 위해 일정한 버퍼 용량을 항상 유지하도록 하였다. 이 방법은 가변적인 네트워크 상태를 가진 단일 기기에서 안정적인 비디오 재생이 가능함을 보였다.

본 논문에서 제안하는 계층적 이종 무선 네트워크의 미디어 스트림 중계 기법은 링크 계층 또는 운영체제의 커널 수정이 필요한 기존의 연구들과 달리 응용 계층에서 이루어지기 때문에 적용가능성이 높으며, 클라이언트 기기 측에서 대역폭 사용을 제어하기 때문에 미디어 서버 기기에 대한 의존성이 낮고 확장성이 높다.

III. 스트리밍 중계 엔진 설계 및 구현

3.1 미디어 스트림 데이터 버퍼 고갈 문제

단일 무선 랜 상에서 다수의 모바일 스마트 기기들 간의 멀티미디어 스트리밍이 수행될 때 발생하는 대역폭 제약 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct 네트워크를 계층적으로 구성하는 스트리밍 네트워크 구조^[6]가 연구되었다. 이 네트워크 구조에서 서로 다른 네트워크에 연결된 소스 기기와 멤버 기기 간 미디어 스트림을 중계하기 위해 두 네트워크에 공통으로 연결된 중계 기기를 이용하여 소스 기기에서 멤버 기기에 미디어 스트림을 전달한다. 기존의 중계 방법은 원본 미디어를 보유하고 있는 소스 기기에 중계 기기가 미디어를 요청하여 다운로드하고, 이와 동시에 스트리밍을 진행하면서 멤버 기기들이 중계 기기로 미디어를 요청하여 스트리밍을 진행한다. 하지만 이 방식을 이용하여 스트리밍 중계를 진행하면 멤버 기기들이 동시에 중계 기기에 미디어를 요청하고 재생하기 때문에 대역폭 경쟁으로 인한 일부 멤버 기기에서 미디어 스트림을 수신하지 못하는 버퍼 고갈 문제가 발생한다. 결국 미디어 스트림 데이터를 받아 버퍼에 채우는 작업인 버퍼링 작업이 빈번하게 발생하게 되고, 이로 인해 미디어 재생이 원활히 진행되지 못하여 화면 정지 현상이 발생한다.

그림 1은 이종 무선 네트워크상에서 미디어 스트리밍 중계를 진행하였을 때, 버퍼 고갈로 인한 멤버 기기별 화면 정지 횟수를 나타낸 그래프이다. 실험을 위해 하나의 중계 기기 노드에 총 8개의 멤버 기기가 스트리밍 중계를 요청하였다. 그림 1의 가로축은 동영상 화질을 결정하는 요소 중 하나인 비트전송률(bit rate)

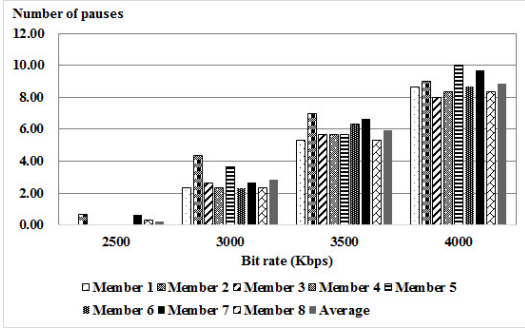


그림 1. 버퍼 고갈로 인한 재생화면 정지횟수
Fig. 1. Number of pauses of member devices by media buffering

값을 나타내고 있으며, 세로축은 화면 정지 횟수를 표현하고 있다. 실험 측정은 비트전송률 별로 총 세 번 측정하여 평균하였다. 이 그래프를 살펴보면 비트전송률이 2500Kbps인 미디어 중계 시 화면 정지 횟수가 0~1회로 거의 일어나지 않고 있으나 비트전송률이 높아짐에 따라 화면 정지 횟수가 증가하고 있다. 또한 같은 비트전송률을 가진 미디어를 재생하더라도 멤버 기기 별로 서로 다른 화면 정지 횟수가 발생하였음을 알 수 있다.

이와 같은 문제의 발생 원인은 기기 간 과도한 네트워크 자원 경쟁으로 인해 대역폭 공평성 저하가 발생하고, 그 결과 스트리밍에 필요한 대역폭이 멤버 기기들에 균등하게 할당이 되지 않아서이다. 따라서 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 멤버 기기에서 미디어 버퍼링을 제어하여 미디어 스트림을 중계하는 기법을 제안한다.

3.2 버퍼링 제어를 통한 스트리밍 중계 개념

이 절에서는 제안하는 스트리밍 중계 기법의 개념에 대해 설명한다. 그림 2는 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct 네트워크를 계층적으로 구성한 네트워크에서 멀티미디어 스트리밍 중계 과정의 흐름을 표현한 그림이다. 소스 기기와 멤버 기기는 각각 서로 다른 네트워크로 연결되어 있고 중계 기기는 소스 기기가 연결된 네트워크와 멤버 기기가 연결된 네트워크에 공통으로 연결되어 있다. 중계 과정을 살펴보면, (1) 먼저 소스 기기에 중계 기기가 미디어를 요청하면, (2) 소스 기기는 중계 기기에 미디어를 스트림 방식으로 전달하며 중계 기기는 이를 파일 형태로 저장한다. (3) 파일 형태로 저장된 미디어를 멤버 기기가 요청하면, (4) 중계 기기가 스트림 형식으로 미디어를 전달하여 멤버 기기가 재생

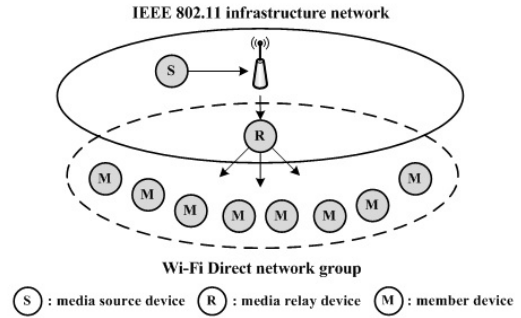


그림 2. 미디어 스트림 데이터 중계
Fig. 2. Media stream data relay

할 수 있도록 한다.

기존 중계 방식은 미디어 재생을 위해 미디어를 요청하여 다운로드할 때, 해당 기기의 정해진 잔여 버퍼의 양만큼 요청하고 미디어를 다운로드하여 재생을 시작하도록 하며 점진적(progressive) 다운로드 방법을 사용한다. 이 과정에서 당장 필요하지 않은 과도한 양의 미디어 데이터를 요청하게 되고, 네트워크 사용량이 증가하여 네트워크 경쟁이 증가한다. 또한, 여러 멤버 기기에서 동시에 많은 데이터를 요청하게 되면 네트워크의 혼잡이 발생하여 멤버 기기들에 잦은 재생 화면 정지가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 멤버 기기에서 미디어 요청과 버퍼링을 제어함으로써 네트워크에서의 과도한 경쟁 상황을 방지한다. 멤버 기기가 중계 기기로 미디어를 요청하면 우선 일정 부분을 다운로드하여 파일로 저장하고 미디어 재생을 진행한다. 그리고 버퍼 양이 일정 이하로 줄어들면 다시 미디어 파일의 다음 부분을 요청하여 다운로드한다. 미디어 재생은 미디어 파일을 다운로드한 시점부터 사용자가 정지시키지 않는 한 계속해서 재생되며, 버퍼에 저장된 스트림 데이터의 양이 충분하지 않으면 다시 미디어를 요청하여 재생이 중단되지 않도록 한다. 이러한 방법을 사용하여 당장 필요하지 않은 미디어 스트림 요청을 감소시켜 네트워크의 혼잡을 최소화한다. 이를 통해 기기 간의 과도한 대역폭 경쟁 및 공평성 저하를 방지하고 빈번한 재생 화면 정지 문제를 해결할 수 있다. 그림 3은 이러한 버퍼링 제어를 통한 스트리밍 중계 과정을 소스중계/멤버 기기 관점에서 순차 다이어그램으로 나타낸 것이다.

3.3 스트리밍 중계 엔진 구조 및 중계 기법

이 절에서는 스트리밍 중계 엔진의 구조와 중계 기법에 대해 설명한다. 그림 4은 중계 기기의 스트리밍

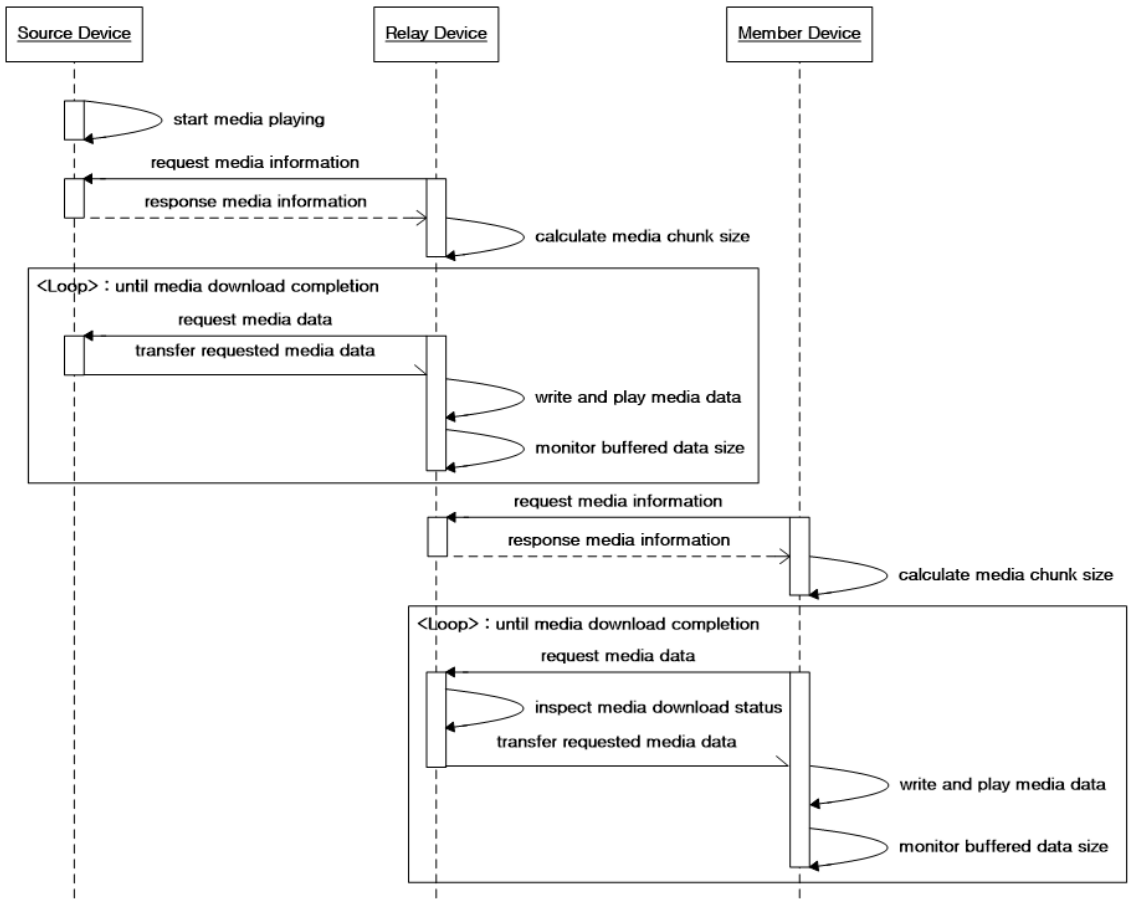


그림 3. 버퍼링 제어를 통한 스트리밍 중계 순차 다이어그램
 Fig. 3. Sequence diagram for streaming relay using buffering control

중계 엔진의 구조를 나타낸 그림이다. 중계 기기의 스트리밍 중계 엔진은 Media File Manager (MFM), Media Player Manager (MPM), HTTP Server Manager (HSM)로 구성되어 있다. MFM은 Media File Download Module (MFD Module)과 Media File Writer (MFW)로 구성된다. MFD Module은 소스 기기에 미디어 파일을 요청하여 다운로드하도록 하며, MFW는 소스 기기로부터 다운로드한 미디어 파일을 저장소에 저장하는 역할을 한다. MPM은 Media Player Module (MP Module)로 구성되어 있으며, 이는 저장소에 저장된 미디어 파일을 읽어와 재생할 수 있도록 한다. HSM은 멤버 기기로부터 미디어 파일 요청이 들어왔을 때 저장소에서 미디어 파일을 읽어와 멤버 기기로 전송하는 역할을 한다.

그림 5는 멤버 기기의 스트리밍 중계 엔진의 구조를 나타낸 그림이다. 멤버 기기의 스트리밍 중계 엔진

은 MFM과 MPM으로 구성되어 있다. MFM은 중계 엔진과 동일하며, MPM은 MP Module과 함께 Buffer Management Module (BM Module)로 구성된다. MFD Module은 중계 기기에 미디어 파일의 크기 및 전체 재생 시간에 따라 정해진 크기만큼의 미디어 스트림을 요청하여 다운로드하고, MFW에 의해 다운로드한 스트림 데이터를 저장소에 저장하게 된다. MP Module은 저장소에 저장된 미디어 파일을 재생하고, BM Module은 미디어 재생기의 버퍼를 계속 감시하여 스트림 데이터의 양이 일정 수준 이하이면 MFD Module에게 파일 다운로드를 요청하여 다음 미디어 스트림을 수신하도록 한다.

다음 식 (1)은 멤버 기기가 중계 기기에 미디어 스트림 데이터를 요청할 때 요청할 스트림 데이터의 크기를 구하는 수식이다.

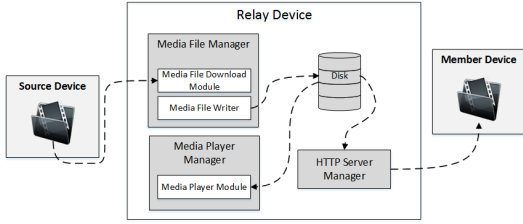


그림 4. 스트리밍 중계 엔진 구조: 중계 기기
Fig. 4. Structure of the streaming relay engine: relay device

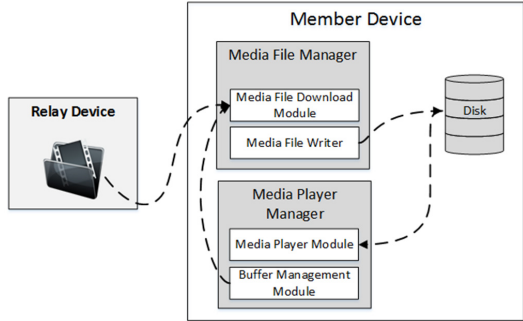


그림 5. 스트리밍 중계 엔진 구조: 멤버 기기
Fig. 5. Structure of the streaming relay engine: member device

$$S_{download} = \frac{S_{total}}{D_{total}} \times D_{range} \times \alpha \quad (1)$$

식 (1)에서 S_{total} 은 원본 미디어의 전체 크기를 의미하고, D_{total} 은 원본 미디어의 전체 재생 시간을 의미한다. S_{total} 을 D_{total} 로 나누면 대략 1초 동안 미디어를 재생할 때 필요한 스트림 데이터의 크기를 추정할 수 있다. D_{range} 값은 멤버 기기가 요청하는 스트림 데이터의 최소 재생 시간을 의미한다. 예를 들어, 미디어 재생을 위해 최소 10초 단위의 스트림 데이터 조각을 요청하여 다운로드하고자 하면 이 값을 10으로 주어 대략 10초 동안 재생할 수 있는 미디어 스트림 데이터를 요청할 수 있다.

최근 대부분의 멀티미디어는 가변 비트전송률 (Variable Bitrate, VBR)을 가지므로 특정 시점의 비트전송률이 미디어 전체의 평균 비트전송률보다 높을 수 있으며 이 경우에 상대적으로 더 큰 크기의 $S_{download}$ 값이 요구된다. 이와 같이 가변 비트전송률에 따른 $S_{download}$ 값의 보정을 위해서 α 값을 사용한다. 만약 $S_{download}$ 값이 보정되지 않을 경우 다음 스트림 데이터를 요청하여 다운로드하는 시점이 오기 전에 스트림 데이터의 부족으로 인하여 미디어 재생이 중

단되는 오류가 발생할 수 있다. 가변 비트전송률을 가진 멀티미디어에서 D_{range} 만큼의 재생 시간을 보장하기 위한 스트림 데이터 양인 $S_{download}$ 값은 실험을 통해 α 값을 2로 설정하는 것이 적절함을 확인하였기 때문에 본 논문에서는 α 값을 2로 설정하여 스트리밍 중계 실험을 수행하였다. 즉, 식 (1)의 $S_{download}$ 값은 멤버 기기가 중계 기기에게 미디어를 요청하였을 때, D_{range} 시간 동안 미디어를 재생하기 위하여 주기적으로 요청할 미디어 스트림 데이터의 용량을 나타낸다.

3.4 스트리밍 중계 엔진 구현

이 절에서는 본 논문에서 제안하는 스트리밍 중계 엔진의 구현을 위한 개발 환경과 구현 방법에 대해 설명한다. 제안한 중계 기법을 적용한 멀티미디어 스트리밍 중계 애플리케이션은 Android 운영체제를 사용하는 모바일 스마트 기기 상에서 동작되도록 구현하였으며, Android API 레벨 19를 기준으로 구현되었다. 중계 애플리케이션이 실행되는 모바일 스마트 기기들은 그림 2와 같이 계층적 이중 무선 네트워크를 형성한다. 먼저 미디어 소스 기기와 중계 기기를 연결하기 위해 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크를 구성하고, 중계 기기를 그룹 소유자로 하는 Wi-Fi Direct 네트워크를 구성하여 각 멤버 기기를 그룹 멤버로 연결하였다.

중계 엔진 구조에서 저장소에 저장된 미디어 파일을 재생하는 MPM의 MP Module은 Android 운영체제에서 제공하는 VideoView와 MediaPlayer를 이용하여 구현하였으며, HTTP 프로토콜을 사용하여 멤버 기기로부터 스트리밍 요청을 받는 HSM은 오픈 소스로 제공되는 HTTP 서버인 NanoHTTPD^[11]를 일부 수정하여 구현하였다. MFM의 MFD Module은 스트리밍 받고자 하는 미디어 파일에 대해 HTTP 프로토콜의 Range 헤더를 이용하여 식 (1)에서 계산된 $S_{download}$ 크기의 스트림 데이터 조각을 요청하도록 구현하였다.

IV. 성능 평가

4.1 실험 환경 및 실험방법

제안하는 멀티미디어 중계 기법의 성능을 평가하기 위해 실험에서 사용한 네트워크 구성은 그림 2와 같다. 실험 네트워크는 소스 기기 1대, 중계 기기 1대, 멤버 기기 8대로 구성된다. 원본 미디어를 가지고 있는 소스 기기와 멤버 기기로 미디어를 전달하는 중계 기기는 동일한 무선 접속점 장치에 연결하여 IEEE

표 1. 실험에 사용된 모바일 스마트 기기 사양
Table 1. Mobile smart device specification for performance measurement

| Model | CPU | RAM | OS | Max. Number of devices in a Wi-Fi Direct network |
|---------------------------------------|-------------------------|-----|------------------------|--|
| Galaxy Note 10.1 2014 Edition (relay) | 2.3GHz Quad-Core | 3GB | Android 4.4.2 KitKat | 9 devices (include a group owner) |
| Galaxy Tab S 8.4 (source/member) | 1.9GHz/1.3GHz Octa-Core | 3GB | Android 5.0.2 Lollipop | 5 devices (include a group owner) |

802.11n infrastructure 네트워크로 구성하였고, 원본 미디어를 전달받고자 하는 멤버 기기들과 중계 기기는 Wi-Fi Direct 네트워크 그룹으로 구성하였다. Wi-Fi Direct 네트워크의 그룹 소유자는 중계 기기로 설정하였다. 표 1은 실험에 사용된 모바일 스마트 기기의 하드웨어 사양을 나타낸 것이다.

실험에 사용된 동영상은 3분 47초의 재생 시간을 가지는 MPEG-4 형식의 동영상이며, 동영상의 비트전송률은 각각 2500Kbps, 3000Kbps, 3500Kbps, 4000Kbps를 가진다. 비트전송률이 높을수록 미디어의 크기가 증가하고 그 크기로 인해 네트워크 점유율이 증가한다. 이에 따라 멤버 기기에서 미디어 스트림 데이터에 대한 기아 현상이 발생하는 확률이 높아지므로 다양한 비트전송률을 가진 동영상을 실험에 사용하여 비트전송률에 따른 스트리밍 중계 성능을 비교한다.

스트림 데이터에 대한 버퍼링을 제어하지 않는 기존 중계 방법의 성능과 본 논문에서 제안한 스트리밍 중계 방법의 성능을 비교하기 위해 각 중계 방법 별로 멤버 기기의 평균 화면 정지 횟수, 평균 화면 정지 시간, 화면 정지 시간의 최소/최대 시간을 3회씩 측정하여 평균 계산한다.

4.2 실험결과 및 분석

그림 6은 버퍼링 제어를 하지 않는 기존 중계 방법과 본 논문에서 제안한 버퍼링 제어를 통한 중계 방법의 멤버 기기별 평균 화면 정지 횟수를 비트전송률별로 측정하여 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 통해 제안하는 중계 방법이 기존의 중계 방법보다 더 적은 횟수의 재생 화면 정지가 발생하였음을 알 수 있다. 특히 가장 높은 비트전송률인 4000Kbps의 미디어 재생 시, 기존 중계 방법은 8.83회의 화면 정지가 발생한 반면에 제안한 중계 방법은 2.45회로 매우 적은 횟수의 화면 정지가 발생하였다.

그림 7은 기존 중계 방법과 본 논문에서 제안한 버퍼링 제어를 통한 중계 방법의 멤버 기기별 화면 정지 1회 시의 최소/최대/평균 시간을 비트전송률별로 평균하여 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프를 통해 제안하는 중계 방법이 기존의 중계 방법에 비해 화면 정지가 발생하였을 때 버퍼링이 완료되어 다시 재생이 시작되기까지 더 적은 시간이 소요됨을 알 수 있다. 특히 4000Kbps 비트전송률을 가진 미디어 중계 시 제안된 중계 방법이 약 5.52초 빠르게 재생이 회복되었다.

실험 결과를 통해 기존 중계 방법보다 제안된 중계 방법의 재생 화면 정지 횟수와 화면 정지 시간이 현저하게 감소하였음을 알 수 있다. 이는 멤버 기기에서

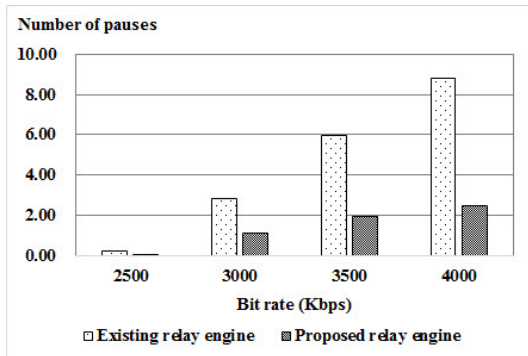


그림 6. 비트전송률별 평균 재생화면 정지횟수
Fig. 6. Average number of pauses of member devices by bit rate

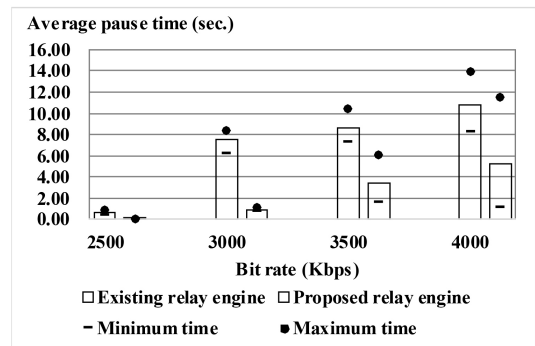


그림 7. 비트전송률별 재생화면 정지 평균 및 최소/최대 시간
Fig. 7. Average/min./max. pause time of member devices by bit rate

미디어 스트림 데이터에 대한 버퍼링을 제어하여 멤버 기기 간 발생하는 과도한 대역폭 경쟁을 방지하고 네트워크 대역폭 사용에 대한 공평성 저하를 방지하기 때문이다. 중계 버퍼링 제어를 통해서 스트리밍 중계가 이루어지는 무선 채널 내에서 발생하는 프레임 충돌과 경쟁을 감소시키고 대역폭을 확보하여 스트림 버퍼링 대기로 인한 지연시간을 감소시킨다. 이에 따라, 멤버 기기들의 재생 화면 정지 횟수 및 화면 정지 시간을 감소시켜 서비스 사용자가 체감하는 멀티미디어 스트리밍의 품질을 향상시킬 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 단일 무선 랜의 대역폭 제약을 극복하기 위해 제안된 계층적 이중 무선 네트워크에서, 멀티미디어 스트리밍 중계 시에 발생하는 버퍼 고갈 문제를 해결하기 위한 기법을 제안하였다. 이 기법은 중계 기기에 대한 멤버 기기의 스트림 데이터 버퍼링을 제어함으로써 당장 재생에 불필요한 네트워크 자원 경쟁을 감소시키고 가용 대역폭을 확보한다. 또한, 제안하는 기법이 적용된 중계 엔진을 설계하고 모바일 애플리케이션으로 구현하였다.

제안하는 중계 기법의 성능 측정을 위해서 스트리밍 중계 시 발생하는 재생 화면 정지 횟수와 화면 정지 시간을 측정하는 실험을 수행하였다. 실험 결과, 기존 중계 방법보다 화면 정지 횟수 및 화면 정지 시간이 현저하게 감소하였고 이를 통해 제안된 중계 방법이 멀티미디어 스트리밍 서비스의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

향후 연구로는 무선 네트워크의 채널 상태에 따라 단일 중계 네트워크 그룹의 멤버 기기 수를 조정하고, 새로운 네트워크 그룹으로의 참여 유도를 통해 스트리밍 중계가 가능하도록 하여 최대 중계 기기 수 제약 문제를 해결하는 것이다. 이를 통해 스트리밍 서비스를 제공받을 수 있는 기기에 대한 규모 확장성을 증가시킬 수 있다.

References

[1] C. Yoon, H. Lee, and W. Ryu, "Classification of N-screen services, scenarios and its standardization," *ICACT Trans. Advanced Commun. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 214-222, May 2013.

[2] H. Je, D. Kwon, H. Kim, and H. Ju, "Mobile

network configuration for large-scale multimedia delivery on a single WLAN," in *Proc. Asia-Pacific Netw. Operations and Management Symp. 2014*, pp. 1-6, Hsinchu, Taiwan, Sept. 2014.

[3] D. Kwon, H. Je, H. Kim, and H. Ju, "An autonomous ad hoc network configuration method for scalable media streaming between mobile smart devices," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 516-528, Mar. 2015.

[4] S. Wei and Q. Zhu, "Efficient and fair bandwidth allocation for multiuser multimedia communication over heterogeneous networks," in *Proc. 6th Int. Congress on Image and Sign. Process.*, vol. 1, pp. 16-20, Hangzhou, China, Dec. 2013.

[5] L. Liu, J. Zou, and H. Xiong, "Bandwidth allocation for video streaming over peer-to-peer networks with Nash Bargaining," in *Proc. Int. Conf. Internet Multimedia Comput. and Serv.*, pp. 363-367, Xiamen, China, Jul. 2014.

[6] H. Je, D. Kwon, H. Kim, and H. Ju, "Measurement of wireless network performance for multimedia streaming on a single WLAN," in *Proc. KICS Korean Netw. Operations and Management Conf. 2014*, pp. 72-76, Daejeon, Korea, May 2014.

[7] H. Je, D. Kwon, and H. Ju, "Design of a media stream relay engine on Android OS," in *Proc. Asia-Pacific Netw. Operations and Management Symp. 2015*, pp. 1-4, Busan, Korea, Aug. 2015.

[8] Y. Lin, C. Ku, Y. Lai, and C. Hung, "In-kernel relay for scalable one-to-many streaming," *IEEE Multimedia*, vol. 20, no. 1, pp. 69-79, Feb. 2013.

[9] T. Hwang, H. Park, E. Paik, and J. Chung, "EAFR-based DLNA proxy for high-quality video distribution in extended home space," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 57, no. 1, pp. 120-125, Feb. 2011.

[10] D. Suh, I. Jang, and S. Pack, "A video bitrate adaptation algorithm for DASH-based multimedia streaming services to enhance user

QoE,” *J. KICS*, vol. 39, no. 6, pp. 341-349, Jun. 2014.

[11] NanoHTTPD, *NanoHTTPD - a tiny web server in Java* (2016), Retrieved Jul., 28, 2016. from <https://github.com/NanoHttpd/nanohttpd>.

제 희 광 (Huigwang Je)



2014년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 학사
2016년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 석사
2016년 6월~현재 : 첨단의료기기 개발지원센터 제품개발부 연구원

<관심분야> 미디어 스트리밍, 미디어 중계기, 네트워크 관리

권 동 우 (Dongwoo Kwon)



2010년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 학사
2012년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 석사
2013년 9월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 미디어 스트리밍, 인터넷 침입 예측, 네트워크 관리 및 보안

김 현 우 (Hyeonwoo Kim)



2010년 8월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 학사
2012년 8월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 석사
2012년 9월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> IoT 관리, 방화벽 정책 추론 및 관리, 네트워크 관리 및 보안

안 등 혁 (Donghyeok An)



2006년 2월 : 한동대학교 전산전자공학부 학사
2013년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 박사
2013년 8월 : 성균관대학교 IT 융합연구원 박사후연구원
2014년 2월 : 성균관대학교 컴퓨터공학과 초빙교수

2015년 2월 : 삼성전자 책임연구원
2015년 3월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학부 조교수
<관심분야> 유무선 네트워크, IoT, 콘텐츠 중심 네트워크

주 흥 택 (Hongtaek Ju)



1989년 8월 : 한국과학기술원 전자계산학과 학사
1991년 8월 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사
1997년 8월 : 대우통신종합연구소 선임연구원
2002년 2월 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사

2002년 9월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 네트워크 및 시스템 관리, IoT 관리, SDN 네트워크 관리, 인터넷 침입 예측, 네트워크 보안