

모바일 스마트 기기들 간의 확장성 있는 미디어 스트리밍을 위한 자율적인 Ad hoc 네트워크 형성 기법

권 동 우*, 제 희 광*, 김 현 우*, 주 흥 택^o

Autonomous Ad hoc Network Construction Method for Scalable Media Streaming Between Mobile Smart Devices

Dongwoo Kwon*, Huigwang Je*, Hyeonwoo Kim*, Hongtaek Ju^o

요 약

본 논문에서는 소스 미디어를 가진 단일 모바일 스마트 기기로부터 나머지 다수의 스마트 모바일 기기로 효율적이며 규모 확장성 있는 미디어 스트리밍을 가능하게 하는 모바일 ad hoc 네트워크 구조와 그 구조의 자율적인 네트워크 형성 기법을 제안한다. 스트리밍 트래픽을 분산 전송하는 확장성 있는 네트워크 구조를 구성하기 위해서 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 ad hoc 네트워크를 혼합하여 계층적으로 구성하며, 소스 미디어를 가진 기기는 무선접속점을 통하여 각 네트워크 그룹 소유자에게 스트리밍 트래픽을 전송한다. 이 구조는 특정한 기기 노드의 역할에 의존하지 않고, 기기의 상태 및 성능과 무선 네트워크 상태를 기반으로 한 장치별 경쟁을 통하여 자율적으로 형성된다. 본 논문에서 제안하는 방법은 무선 네트워크 프로토콜과 모바일 운영체제 수준의 수정이나 관리자 권한 획득 없이 상용 모바일 스마트 기기에 적용이 가능하며, 제안하는 기법을 사용하여 단일 무선 랜 환경에서 다수의 스마트 기기 간의 효율적인 미디어 스트리밍 서비스를 제공할 수 있다. 제안하는 계층적 스트리밍 네트워크 구조는 성능 실험을 통하여 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크보다 성능 및 규모 확장성 측면에서 더 우수함을 보였다.

Key Words : Scalable streaming network, Autonomous configuration, Ad hoc network, Media streaming

ABSTRACT

In this paper, we propose mobile ad hoc network configuration and its autonomous network construction method for efficiency and scalability of media streaming for mobile smart devices. To provide scalable network configuration for streaming traffic distribution, an IEEE 802.11 infrastructure network and ad hoc networks are hierarchically built. The proposed method autonomously configures a hierarchical streaming network by competition based on performance and states of devices and the wireless network, not depending on any specific nodes. Finally, we conduct performance measurement for the proposed configuration and analyze the experimental result.

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW 창의연구과정의 연구결과로 수행되었고(NIPA-2013-H0502-13-1099), 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며(2012H1B8A2025942), 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2012R1A1A2006331).

♦ First Author : Keimyung University, Department of Computer Engineering, dwkwon@kmu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Keimyung University, Department of Computer Engineering, juht@kmu.ac.kr, 종신회원

* Keimyung University, Department of Computer Engineering, {heegoang0426, hwkim84}@kmu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2014-09-362, Received September 26, 2014; Revised January 2, 2015; Accepted February 17, 2015

I. 서 론

최근 모바일 스마트 기기의 급속한 보급과 이동통신망의 발전으로 인하여 대용량 네트워크 트래픽 전송을 요구하는 미디어 스트리밍 서비스가 확산되고 있다. 또한 개인이 소유한 모바일 스마트 기기를 활용하는 BYOD (Bring Your Own Device) 도입 추세에 힘입어, 회의실이나 강의실과 같은 단일 무선 랜 환경에서 효과적인 회의 진행과 스마트 교육을 위하여 인접 모바일 스마트 기기들 간의 실시간 미디어 스트리밍 기술이 요구되고 있다.

하지만 기존의 무선접속점(wireless access point)을 이용한 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크는 대역폭이 제한적이고 유선 네트워크에 비해 연결 품질이 고르지 못하다. 이러한 환경에서 소스 미디어를 가진 기기와 20대 이상의 스트리밍 클라이언트 기기들이 단일 무선접속점에 연결되어 스트리밍 트래픽을 송수신하면 모든 트래픽이 무선접속점으로 집중되어 네트워크 대역폭 제약 문제와 트래픽 처리 부하 문제가 발생하므로 심각한 지연현상이 발생하게 된다.

이러한 제약을 극복하기 위해서 고려할 수 있는 방법으로는 (1) 유니캐스트(unicast) 대신 멀티캐스트(multicast) 전송방법을 이용하거나, (2) 스마트 기기들을 ad hoc 네트워크로 구성하여 스트리밍 트래픽과 처리 부하를 분산하는 방법, 그리고 (3) 미디어 스트리밍 서버를 사용하여 스트리밍 하고자 하는 미디어를 저 품질로 변환(transcoding)하여 전송하는 방법이 있다.

무선 멀티캐스트를 이용하는 방법은 특정 모바일 스마트 기기들의 무선 네트워크 칩셋과 드라이버의 제한된 멀티캐스트 지원 문제로 인하여 일반화된 해결방법이 될 수 없으며 Delivery Traffic Indication Message (DTIM) 간격에 따라 무선 전송 속도에 영향을 미친다. 또한 무선접속점 장치의 멀티캐스트 트래픽 처리 성능도 함께 고려되어야 한다. 다음으로, 기기들을 ad hoc 네트워크로 구성하는 방법은 단일 ad hoc 네트워크 그룹 내에 참여할 수 있는 멤버 기기 수의 제약으로 인하여 규모 확장성 문제가 발생한다. 모바일 스마트 기기의 IEEE 802.11 ad hoc 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크는 생성된 그룹 내에 참여할 수 있는 최대 멤버 수가 제한되어 있으며 이는 기기 모델별로 상이하다. 미디어 변환 방법은 접속점 장치에 연결된 미디어 스트리밍 서버가 네트워크 병목점이 되어 지연현상을 발생시킬 수 있으며 스트리밍 클라이언트 기기의 수가 증가할수록 더욱 낮은 품

질의 미디어로 변환해야 한다는 단점이 존재한다.

우리는 이러한 문제점을 극복하기 위해서 이전 연구를 통해 단일 무선 랜에서 모바일 스마트 기기의 무선 네트워크의 성능을 측정하였다^[1]. 그리고 인접한 모바일 스마트 기기들 간의 규모 확장성 있는 미디어 스트리밍 서비스를 위하여 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 계층적으로 연결한 네트워크 구조를 제안하였다^[2].

본 논문에서는 이전 연구에서 제안한 모바일 스마트 기기들 간의 계층적 네트워크 구조를 기반으로 하여 모바일 스마트 기기의 상태 특성을 반영한 효율적인 미디어 스트리밍 네트워크 형성 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 각 스마트 기기의 성능 및 사용 가능한 자원의 상태와 무선 네트워크 상태를 고려하여 ad hoc 네트워크의 그룹 오너(group owner)를 선출하고 생성된 그룹에 참여할 멤버를 결정한다. 그룹 오너 및 멤버 선출은 멤버의 그룹 참여 및 탈퇴가 빈번한 모바일 스마트 기기의 특성을 고려하여 특정 노드에서 모든 정보를 수집하여 결정하는 중앙 집중적인 방식이 아닌 각 노드별로 상이한 짧은 대기시간을 통해 자율적인 방식으로 선출된다.

이후의 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 미디어 스트리밍 관련 연구에 대해 논의한다. 3장에서는 인접한 모바일 스마트 기기들 간의 효율적인 미디어 스트리밍을 위한 자율적인 ad hoc 네트워크 형성 기법에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안된 스트리밍 네트워크 구조와 자율적인 네트워크 형성 기법에 대한 성능평가 결과에 대해 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구에 관해 논의한다.

II. 관련 연구

L. Keller 등^[3]은 동일한 영상을 재생하는 근접 모바일 기기들에서 발생하는 셀룰러 네트워크 트래픽을 줄이기 위해 MicroCast를 제안하였다. MicroCast는 셀룰러와 Wi-Fi/Bluetooth 두 개의 네트워크 인터페이스를 사용하여 각 기기들의 셀룰러 인터페이스에서 전송받은 영상 조각들을 Wi-Fi/Bluetooth 인터페이스를 사용해서 공유하는 방식으로 동작한다. 제안된 시스템은 다운로드, 피어(peer) 연결 구성, 브로드캐스트 컴포넌트로 구성되고 고성능 Wi-Fi 브로드캐스트를 위해서 수정된 Wi-Fi 드라이버와 기기 펌웨어, Android 프레임워크를 개발하였으며 높은 성능과 확장성을 보였다.

D. A. Tran 등⁴⁾은 단일 미디어 서버로부터 인터넷 상에 연결되어 있는 다수의 수신 클라이언트에게 효율적인 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서 P2P 방식의 ZIGZAG를 제안하였다. ZIGZAG는 송신자와 수신자 중단 간의 지연을 줄이기 위해 트리 높이를 작게 유지하는 응용 계층의 멀티캐스트 트리를 구성하고 중계 수신 노드의 장애로 인한 스트리밍 서비스 중단에 강건한 제어 알고리즘을 사용한다. 제안된 알고리즘은 제어 오버헤드를 최소화하고 뛰어난 확장성을 보였다.

제회광 등¹¹⁾은 모바일 스마트 기기를 이용한 미디어 스트리밍에 적합한 네트워크 구조를 제안하기 위해서 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크, IEEE 802.11 ad hoc 네트워크, Wi-Fi Direct 네트워크의 대역폭과 Round Trip Time (RTT)을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 실험결과, Wi-Fi Direct 네트워크의 성능이 가장 뛰어났지만 Wi-Fi Direct 네트워크의 확장성 제약과 대역폭 제한으로 인하여 단일 네트워크 구성으로는 규모 확장성 측면에서 한계가 있음을 분석하였다.

H. Je 등¹²⁾은 단일 무선 랜 상에서 소스 미디어를 가진 단일 모바일 스마트 기기로부터 나머지 다수의 스마트 모바일 기기들로 효율적인 미디어 스트리밍을 수행할 수 있는 모바일 ad hoc 네트워크 구조를 제안하였다. 이 네트워크 구조는 IEEE 802.11 infrastructure 모드와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 혼합한 계층적 구조로서 단일 무선 랜의 네트워크 대역폭 제약 문제를 해결하여 높은 확장성을 보였다. 하지만 스트리밍 네트워크의 연결 구조만 제안한 것으로 네트워크 구성 방법과 미디어 배포 그래프(media distribution graph) 결정 및 품질보장에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 제안된 계층적 네트워크 구조를 모바일 스마트 기기의 특성을 반영한 자율적인 방법으로 형성하여 효율적인 미디어 스트리밍이 이루어질 수 있도록 한다.

이경철 등¹³⁾은 다중 홉 이동 ad hoc 네트워크에서 크로스 레이어(cross layer) 기반의 효과적인 멀티미디어 전송 알고리즘을 제안하였다. 크로스 레이어 기반의 멀티미디어 전송 알고리즘은 전향 오류 정정(Forward Error Correction, FEC) 기법인 리드 솔로몬 코딩(reed-solomon coding)을 사용하여 수신 노드에서 패킷 손실률이 일정 범위의 값을 가지면서 지연 시간이 최소가 되도록 하여 안정적인 멀티미디어 전송이 가능하도록 한다. 이는 응용 계층과 MAC 계층, 물리 계층의 정보를 기반으로 채널 상태에 적응적으로

전송 모드를 선택하여 패킷 손실률을 허용 범위 내에 있도록 하고 중단 간 지연을 최소화함으로써 수신 멀티미디어의 품질을 향상시켰다.

전세일 등⁶⁾은 PMIPv6 프로토콜을 기반으로 멀티스크린 서비스를 위한 융합적 이동성 관리와 관련된 요소기술들을 비교하여 정리하였다. 이동성과 관련된 연구로 세션 이동성, 호스트 이동성, 그룹 이동성으로 나누어 비교하였으며, 스트리밍 서비스 지원을 위한 데이터 전송 모드로 유니캐스트와 멀티캐스트를 구분하여 각각을 만족시키는 네트워크 기반의 PMIPv6 이동성 관리 네트워크 구조 및 요소 기술들과 관련 연구들을 제시하였다.

주현철 등⁷⁾은 서로 다른 무선망 환경에서의 효과적인 영상 스트리밍 시스템에 대한 연구를 진행하였다. 이들은 채널 코딩 방법 중 하나인 파운틴 코드를 영상 스트리밍 서비스에 적합하도록 변형하고 다수의 무선망들을 효과적으로 통합하여 관리할 수 있는 영상 스트리밍 시스템을 제안하였다. 파운틴 코드는 소스 심벌 선택 확률을 변경한 것으로 소스 심벌들이 특정 패킷과 연관관계를 맺는 것을 방지하여 패킷 손실로 인해 소스 심벌 복구에 미치는 영향을 최소화하였다. 이는 기존의 임의 소스 심벌 선택 확률을 적용한 파운틴 코드에 비해 복호화 성공 확률이 더 증가됨을 보였다. 그리고 제어 변수 설정 알고리즘을 사용하여 각 경로의 상태 정보를 기반으로 영상 인코더의 스트림 비트율과 파운틴 인코더의 코드율 및 WRR 분배기의 각 경로에 대한 가중치를 동적으로 설정하여 높은 품질의 영상 스트리밍 서비스를 안정적으로 제공할 수 있음을 보였다.

김나명 등⁸⁾은 가변적인 네트워크 상황에 적응적으로 대처하기 위해서 기본 계층과 향상 계층으로 데이터를 인코딩하여 전송하는 스케일러블 비디오 코딩의 특성을 고려한 새로운 재전송 기법을 제안하였다. 이들이 제안한 재전송 기법은 기본 계층과 향상 계층을 나누어, 채널상태에 따라서 디코딩에 필요한 수만큼 데이터를 재전송하여 불필요한 전송을 방지하고 전체 전송시간을 감소시킨다. 시뮬레이션을 통한 성능평가 결과, 제안한 재전송 기법이 기존의 재전송 기법보다 불필요한 데이터 전송을 줄여 전송시간을 감소시켰다.

미디어 스트리밍에 관련된 기존의 연구들은 대부분 효율적인 스트리밍을 위한 네트워크 구조나 스트리밍 트래픽을 분산하는데 연구의 초점을 두고 있다. 인접한 다수의 모바일 장치들 간의 규모 확장성을 고려한 무선 스트리밍 방법에 초점을 둔 연구는 찾아보기 어려우며, 관련 연구들은 모바일 장치의 다중 네트워크

인터페이스를 이용하거나 인터넷 상에 넓게 배치되어 있는 P2P 네트워크를 이용하여 스트리밍 트래픽을 효과적으로 분산하는데 중점을 두고 있다.

또한 대부분의 기존 연구들은 알고리즘 제안에 그치거나 시스템으로 구현되었다더라도 하드웨어별 제약이 존재하고 드라이버, 펌웨어, 모바일 운영체제 상의 많은 수정이 필요하기 때문에 적용가능성이 부족하여 실용적이지 못하다. 그리고 관리자 권한 획득 과정이 요구되는 경우, 보안 취약성으로 인한 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 인접한 다수의 모바일 스마트 기기들 간의 규모 확장성을 고려한 미디어 스트리밍을 위해서 자율적인 ad hoc 네트워크 형성 기법을 제안한다. 그리고 제안된 네트워크 구조에 대한 성능 실험을 수행하고 그 결과에 대해 논의한다. 제안하는 기법은 관리자 권한 획득 없이 Android 운영체제에서 기본적으로 제공하는 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크 API와 Wi-Fi Direct API를 사용하여 구현이 가능하기 때문에 상용 모바일 스마트 기기에서 어떤 추가적인 수정 없이 적용이 가능하여 적용가능성이 뛰어나다.

III. 자율적인 Ad hoc 스트리밍 네트워크 형성

3.1 규모확장성을 고려한 스트리밍 네트워크 구조

단일 네트워크 그룹은 동일한 무선 채널을 공유하므로 대역폭 제약이 존재하며 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 경우 무선접속점 장치에 트래픽이 집중되는 구조이므로 무선접속점 장치의 트래픽 처리 성능에 영향을 받는다. 또한 IEEE 802.11 ad hoc 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크는 단일 네트워크 그룹에 최대 참여 장치 수의 제한이 있다. 이러한 문

제점은 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 계층적으로 구성하는 다중 네트워크 연결을 사용하여 극복 가능하다^[2].

그림 1은 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 계층적으로 구성한 구조를 나타낸다. 이 그림에서 S 노드는 미디어 소스 장치, C 노드는 스트리밍 클라이언트 장치, R 노드는 네트워크 그룹 오너를 의미한다. 미디어 소스 장치를 비롯한 인접한 모바일 장치들을 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크 그룹으로 구성하고 각각의 그룹 오너들을 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크로 연결하여 구성한다. 소스 장치에서는 동일한 Wi-Fi Direct 그룹의 장치들로 미디어를 스트리밍 하여 전송한다. 이 그룹의 오너는 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크로 연결되어 있는 다른 그룹 오너에게 미디어를 전송하며, 전송 받은 미디어 스트리밍 트래픽은 동일한 Wi-Fi Direct 그룹 내의 멤버들에게 전송된다.

이와 같이 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 결합한 계층적인 네트워크 구조를 형성함으로써 채널 대역폭 제약 문제를 해결하고 무선접속점 장치에 집중되는 트래픽 부하를 분산시킴으로서 규모 확장성 있는 스트리밍 네트워크를 형성할 수 있다.

3.2 자율적인 Ad hoc 네트워크 형성 기법

이 절에서는 이전 절에서 제시하였던 무선 스트리밍 네트워크 구조를 적용하여 각 모바일 장치들이 네트워크 상태와 장치 상태를 반영하여 자율적으로 네트워크를 형성하고 관리하는 방법을 제안한다.

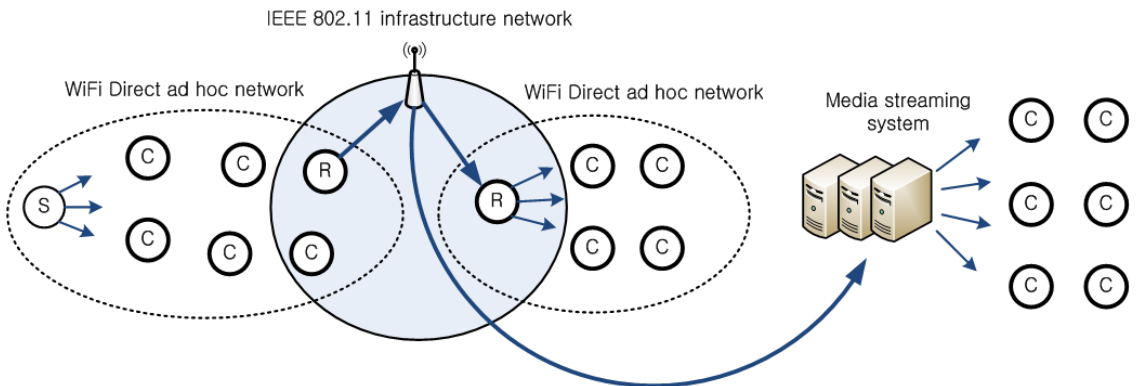


그림 1. 모바일 스마트 기기를 위한 효율적이고 규모 확장성 있는 계층적 스트리밍 네트워크 구조
Fig. 1. Hierarchical media streaming network configuration for efficiency and scalability

3.2.1 모바일 스마트 기기를 위한 Ad hoc 네트워크 형성 방법

Ad hoc 네트워크 구성 방법에는 중앙집중적(centralized) 방법과 자율적(autonomous) 방법이 있다. 중앙집중적 네트워크 형성 방법^[11]은 특정 노드에서 주변 노드들의 정보를 수집하여 토폴로지를 결정 한 후 각 노드들에게 토폴로지 형성을 위한 정보를 전송하여 구성하는 방법이다. 특정 노드에서 토폴로지 형성에 필요한 모든 정보를 수집하기 때문에 최적의 토폴로지를 형성 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 모든 노드들의 정보를 특정 노드에서 수집하여 처리한 후 결과를 전파하므로 제어 오버헤드가 발생하는데 이는 노드 구조가 동적으로 빈번하게 변하는 환경에는 부적합 하다. 또한 토폴로지 형성을 특정 노드에 의존하기 때문에 장애 발생 시 전체 네트워크에 영향을 미칠 수 있다는 단점이 있다.

자율적 네트워크 형성 방법은 특정 노드 역할에 의존하지 않고 각 노드들이 자율적으로 동일한 기능을 수행한 결과로서 토폴로지를 형성하는 방법^[11-13]이다. 토폴로지 형성 시 특정 노드에 의존하지 않고 상황에 따라 자율적으로 토폴로지 형성하므로 상대적으로 제어 오버헤드가 적으며, 특정 노드의 장애 발생에 강한 장점이 있다. 반면에 글로벌 뷰(global view)에 대한 정보가 부족하기 때문에 최적의 토폴로지를 형성하기 어렵거나 비용이 높을 수 있어 비효율을 야기할 수 있는 가능성이 있다.

일반적인 무선 센서 네트워크의 센서 노드는 정해진 역할만 수행하며 에너지 소진 및 노드 장애 외에는 예외 상황이 드물다. 하지만 스트리밍 네트워크의 모바일 장치 노드는 범용 기기이기 때문에 사용자에게 의한 토폴로지 구성 에이전트 종료, 높은 기기 자원을 점유하는 다른 애플리케이션의 실행, 무선 네트워크 기능의 비활성화, 스마트 기기의 절전 모드 진입 또는 기기 종료, 그리고 기기 이동으로 인해 연결된 무선 네트워크 범위 이탈과 같은 예외 상황이 매우 빈번하게 발생할 수 있다.

또한 무선 센서 네트워크에 비해 특수 노드 선정이 어렵다. 만약 소스 장치를 특수 노드로 선정하게 되면 토폴로지를 구성 가능한 무선 범위가 소스 장치의 Wi-Fi Direct 무선 신호 범위로 한정 되므로 스트리밍 가능한 ad hoc 네트워크 범위가 작아지게 된다. 또한 스트리밍 중인 혼잡한 상황에서 제어 오버헤드 문제가 가중된다. 따라서 모바일 장치의 특성을 고려한 스트리밍 네트워크 형성 방법으로 자율적인 스트리밍

네트워크 형성 방법을 적용하는 것이 적합하다.

3.2.2 Group Owner 선출 시 고려 요소

자율적인 방법을 사용한 스트리밍 네트워크 형성에 앞서 그룹 오너를 선출하기 위해서 고려해야 할 요소들이 존재한다. 기존의 Energy efficient clustering algorithm^[14]은 무선 센서 네트워크에서 감시 및 정찰 목적의 에너지 효율적인 클러스터링을 위해서 감시 대상과의 거리와 에너지 잔량을 고려하여 지역적 경쟁 방식으로 클러스터 헤드(cluster head)를 선출하였다. 무선 센서 네트워크가 아닌 모바일 스마트 기기로 구성된 네트워크에서 효율적인 스트리밍을 위한 그룹 오너를 선출하기 위해서는 CPU 성능, CPU 사용률, 메모리 사용률, 기기의 무선 네트워크 지원규격, 에너지 사용률, 무선접속점의 신호강도, 네트워크 대역폭, RTT, 지터(jitter) 등이 고려되어야 한다.

무선 그룹 오너는 그룹 내 기기에 대한 스트리밍과 무선접속점에 연결된 다른 그룹에 대한 스트리밍을 동시에 수행해야 하므로 기기의 CPU 성능이 중요한 요소가 된다. 그리고 백그라운드(background)에서 동작 중인 프로세스에 의해 CPU 자원이 많이 사용되고 있는 상태일 수 있으므로 CPU 성능과 함께 CPU 사용률이 고려되어야 한다. 또한 그룹 오너는 그룹 내 기기에 대한 스트리밍과 무선접속점과 연결된 다른 그룹의 오너에게 스트리밍을 동시에 수행해야 하고 에너지 잔량 부족 시 그룹 오너를 재 선출해야 하는 문제가 발생하므로 충분한 에너지 잔량을 가지고 있어야 한다. 그러므로 에너지 사용률 또한 그룹 오너 선출 시 중요한 요소로서 반영되어야 한다. 마지막으로 그룹 오너는 무선접속점과 연결되어 다른 그룹 오너들과 스트리밍 트래픽을 주고받으므로 무선접속점과의 신호강도도 고려되어야 한다.

Android 운영체제는 메모리가 부족하면 Low Memory Killer (LMK)가 동작하여 Least Recently Used (LRU) 방법으로 비활성(inactive) 프로세스를 자동으로 메모리에서 제거하므로 메모리 사용률은 고려하지 않는다. 그리고 네트워크 대역폭, RTT, 지터는 각 기기에서 동시에 측정 시 그 결과가 부정확하고 다른 요소들에 비해 상대적으로 측정비용이 높으며 측정에 소요되는 시간으로 인해 지연이 발생하게 된다. 따라서 이러한 요소들을 제외한 CPU 성능, CPU 사용률, 에너지 사용률, 무선접속점의 신호강도, 이 네 가지 요소를 고려하여 그룹 오너를 선출한다.

3.2.3 스트리밍 네트워크 자가 구성 알고리즘

모바일 스마트 기기들 간의 규모 확장성 있는 미디어 스트리밍 네트워크를 구성하기 위한 자율적인 ad hoc 네트워크 자가 구성 알고리즘은 소스 장치 외 기기들의 그룹 형성 알고리즘과 소스 장치의 네트워크 참여 알고리즘으로 구성된다.

3.2.3.1 스트리밍 네트워크 그룹 형성 알고리즘

IEEE 802.11 infrastructure 네트워크와 Wi-Fi Direct ad hoc 네트워크를 결합한 계층적인 스트리밍 네트워크 구조를 형성하는 알고리즘은 그림 2에 기술되어 있으며 그 과정은 그림 3과 같다.

(a) 미디어 소스 장치는 제공하는 스트리밍 서비스에 대한 서비스 광고(service advertisement) 메시지를 브로드캐스팅하고, 이 메시지를 수신한 각 모바일 장치들은 그룹 오너 선출요소를 바탕으로 Group Owner Election Window (GOEW)를 계산한다. GOEW는 모

바일 장치의 CPU 성능(Dp)과 CPU 사용률(Du), 배터리 사용률(Eu), 무선접속점과의 신호강도(R_{AP})를 반영하여 다음 수식 (1)을 사용하여 계산된다. 이 중에서 Du와 R_{AP}는 측정시점에 따른 값의 변화가 클 수 있기 때문에 N회 측정 시 수식 (2)를 사용하여 지수가중이 동평균을 적용한다.

$$GOEW_t = INT \left(\frac{EMA(Du, N)_t \cdot Eu_t}{Dp \cdot EMA(R_{AP}, N)_t} \right) + RandNum \quad (0 < RandNum < 1) \quad (1)$$

$$EMA(V, N)_t = \alpha \times V_t + (1 - \alpha) \times EMA(V, N)_{t-1}, \quad \alpha = 2/(N + 1) \quad (2)$$

그리고 계산된 GOEW와 미리 정해진 단위시간과의 곱을 통해 다음 수식 (3)과 같이 Group Owner Election Time (GOET)을 계산한다. 결과적으로 GOET는 해당 기기가 높은 CPU 성능을 가지고 무선 접속점과의 신호강도가 강하며, CPU 사용률과 배터리 사용률이 적을수록 짧은 시간 값을 가지게 된다.

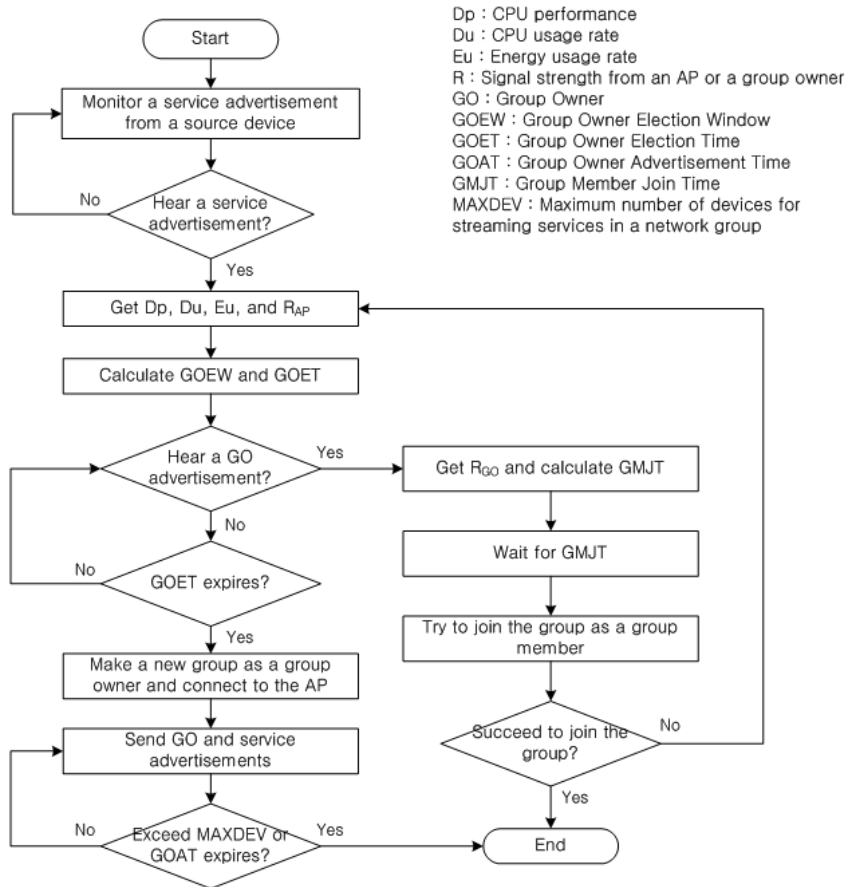


그림 2. 스트리밍 네트워크 자가 구성을 위한 자율적인 네트워크 형성 알고리즘
Fig. 2. Autonomous network self-configuring algorithm for an scalable and efficient streaming network

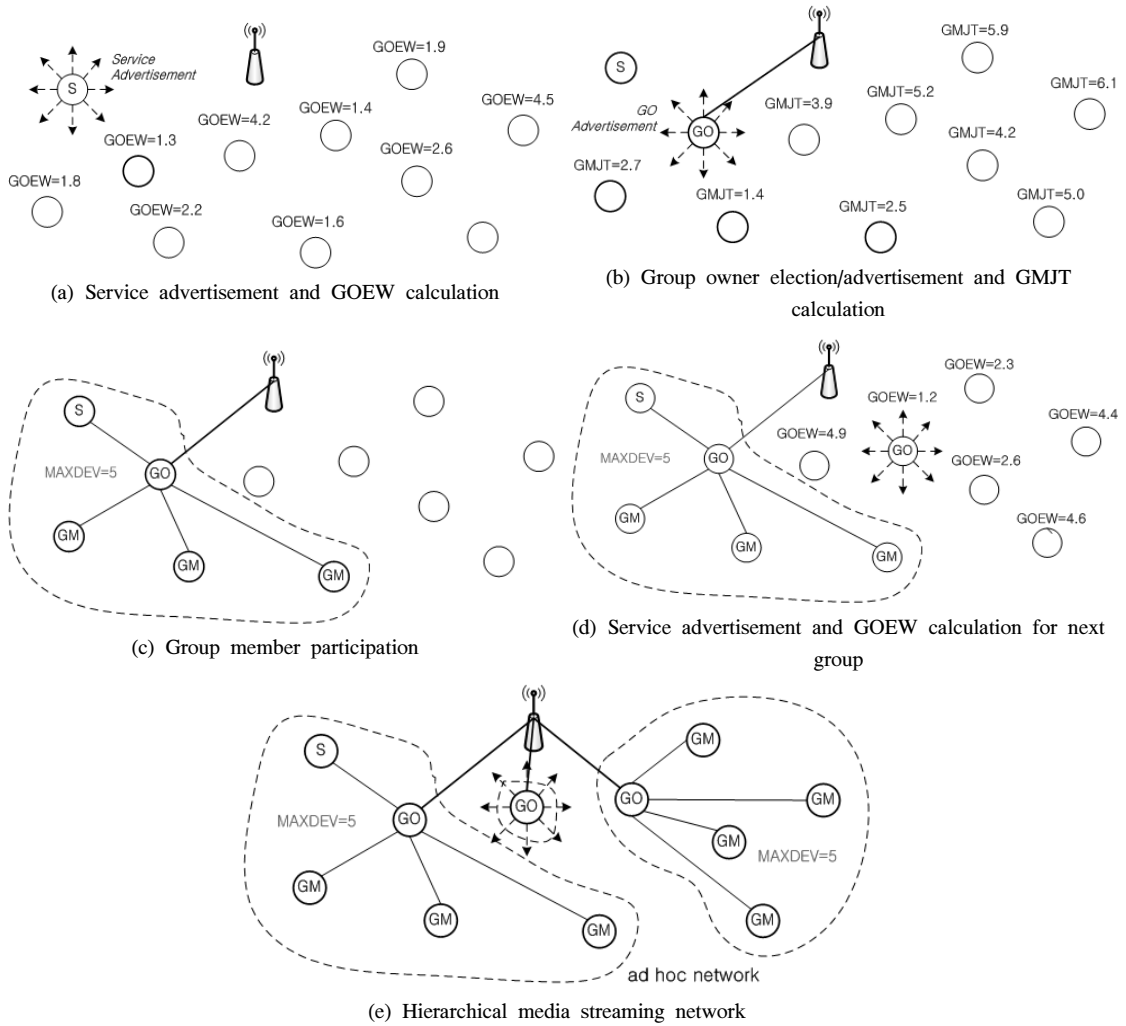


그림 3. 규모 확장성 있는 계층적 스트리밍 네트워크의 자율적 자가 구성 과정
 Fig. 3. Process of autonomous network self-configuration for scalable and efficient media streaming

$$GOET = GOEW \times Ts \quad (3)$$

(b) 각 모바일 장치는 계산된 GOET 지연시간동안 대기한 후 자신보다 작은 GOET 값을 가진 다른 장치로부터 그룹 오너 광고 메시지를 수신 받지 않았으면 자신이 그룹 오너가 된다. 선출된 그룹 오너는 무선접속점과 연결한 후 그룹 오너 광고 메시지를 브로드캐스팅 한다.

이 메시지를 수신한 다른 그룹 멤버 후보들은 그룹에 참여하기 위해 이미 계산된 GOEW에 그룹 오너와의 무선 신호강도(R_{GO})를 반영하여 수식 (4)와 같이 Group Member Join Time (GMJT)을 계산한다. 이

때, R_{GO} 는 지수가중이동평균값을 사용한다.

$$GMJT_t = \frac{1}{GOEW_t \cdot EMA(R_{GO}, N)_t} \times Ts \quad (4)$$

(c) 계산된 GMJT를 기반으로, 생성된 네트워크 그룹에 최대 장치 참여 대수인 MAXDEV만큼 모바일 장치들이 참여하여 스트리밍 네트워크를 형성한다. MAXDEV는 다음 수식 (5)에 의해 계산된다. MAXDEV는 하나의 네트워크 그룹 내에 참여할 수 있는 최대 기기 수(MAXGRP)와 현재 네트워크 대역폭에서 스트리밍 하고자 하는 미디어 소스의 비트 전송률(bit rate)을 나눈 값(MAXMEDIA) 중에 작은 값

으로 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{MAXGRP} &= (\text{Maximum number of devices in a network group}) \\ \text{MAXMEDIA} &= \text{Roundoff} \left(\frac{\text{Available Network Bandwidth}}{\text{Media Bitrate}} \right) \quad (5) \\ \text{MAXDEV} &= \text{Min}(\text{MAXMEDIA}, \text{MAXGRP}) \end{aligned}$$

(d) 아직 스트리밍 네트워크에 참여하지 못한 모바일 장치들은 다시 (a)의 과정으로 돌아가 그룹 오너를 선출하고 스트리밍 네트워크를 형성한다.

(e) 이 과정은 모든 모바일 장치들이 스트리밍 네트워크에 참여할 때까지 반복된다. 형성된 각 네트워크 그룹들은 무선접속점에 연결된 그룹 오너들을 통하여 스트리밍 트래픽을 전송한다.

무선 센서 네트워크에서 백오프(back-off) 시간에 기반을 둔 기존의 클러스터 헤드 선출 알고리즘들은 대부분 데이터 전송 시의 효율적인 에너지 자원에 초점을 두고 있다. 무선 센서 네트워크의 노드들은 특정한 목적을 가진 센서를 사용하여 데이터를 수집하고 인근의 노드들에게 전송한다. 이 때 소모되는 통신 에너지를 줄이기 위해서 클러스터를 형성하고 클러스터 헤드를 선출하여 데이터를 집약(aggregation) 전송함으로써 에너지 효율을 높인다.

하지만 모바일 스마트 기기들로 구성된 스트리밍 네트워크는 특수한 목적을 위해 배치된 무선 센서 네트워크와 달리 구성 노드들이 높은 범용성과 이동성을 가지는 특성이 있다. 그리고 안정적인 미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위해서는 그룹 오너 선출 시 높은 CPU 성능과 무선 신호강도가 보장되어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 모바일 스마트 기기들의 범용성과 이동성을 고려한 효율적인 미디어 스트리밍 네트워크를 형성하기 위해서 에너지 자원 외에도 그룹 오너 선출을 위한 GOEW 계산식에서 CPU 성능과 사용률 그리고 무선접속점과의 신호강도를 반영하고, 그룹 멤버 참여를 위한 GMJT 계산식에서 그룹 오너와의 무선 신호강도를 고려하고 있다.

3.2.3.2 미디어 소스 장치의 그룹 참여 과정

미디어 소스 장치는 기본적으로 그룹 멤버로만 동작한다. 그룹 오너는 무선접속점 및 그룹 내 다른 하위 기기들에게 스트리밍 기능을 제공해야 하므로 기기의 평균 자원 사용률이 높다. 소스 장치는 미디어 배포 트리에서 루트 노드의 상위에 위치하므로 소스 장치의 원활하지 못한 동작은 전체 스트리밍 서비스 품질에 큰 영향을 줄 수 있다. 그렇기 때문에 소스 장

치는 그룹 멤버로만 그룹에 참여하게 되고 별도의 GOEW와 GOET 계산이 필요치 않다.

또한 소스 장치는 그룹 참여 시 GMJT 대기시간 없이, 그룹 광고를 수신하면 즉시 그룹에 참여한다. 이것은 GOET가 가장 작은, 즉 성능이 가장 좋은 그룹 오너의 그룹에 참여하여 미디어 배포 트리에 속해있는 장치들의 전체 스트리밍 지연시간을 줄이고 스트리밍의 품질을 향상시키기 위해서이다. 그림 4는 이와 같은 소스 장치의 네트워크 그룹 참여 알고리즘을 나타낸다.

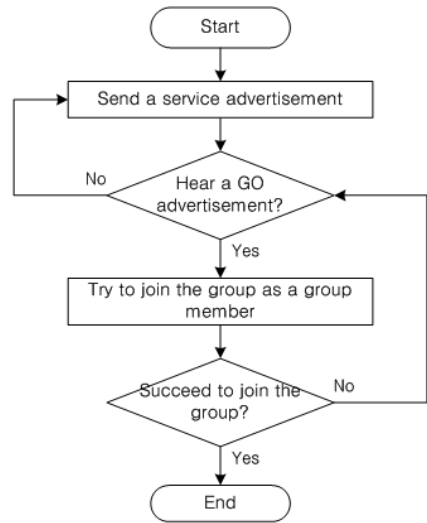


그림 4. 미디어 소스 장치의 네트워크 그룹 참여 알고리즘
Fig. 4. Network self-configuring algorithm for a media source device

IV. 성능 평가

이 장에서는 이전 장에서 제안한 자율적인 네트워크 형성 방법으로 구성된 계층적 스트리밍 네트워크 구조와 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크 구조를 구성하고 이 두 가지 네트워크 구조에서 대역폭과 RTT를 측정하여 네트워크 성능을 비교 분석한다.

4.1 실험 환경

4.1.1 네트워크 구성

계층적 스트리밍 네트워크 구조와 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크 구성을 이용하여 각각의 네트워크를 구성한 후 네트워크 성능을 측정하고 비교하기 위해 표 1의 장치들을 이용하여 네트워크를 구성하였다. 무선 규격은 IEEE 802.11g 규격을 사용

표 1. 네트워크 성능 측정을 위한 실험 기기
Table 1. Mobile device specification for network performance measurement

Device Name	CPU/APU	OS	RAM
LG Xnote Z2	Intel Mobile Core2 Duo T5600	Ubuntu 12.04.3 LTS	1GB DDR2 SDRAM
Samsung Galaxy Note 10.1 2014 Edition	ARM Cortex-A15 1.3GHz Quad-core	Android 4.3 (Jelly Bean)	2GB DDR2 SDRAM
Samsung Galaxy Note 10.1	ARM Cortex-A9 1.4GHz Quad-core	Android 4.1.2 (Jelly Bean)	2GB DDR2 SDRAM
Samsung Galaxy Player 5.8	ARM Cortex-A9 1GHz Dual-core	Android 4.0.4 (Ice Cream Sandwich)	1GB DDR2 SDRAM

하였으며, infrastructure 네트워크 구성 시에 무선접속점 장치의 트래픽 처리 성능에 따른 네트워크 성능을 비교하기 위해서 고성능 무선접속점 장치와 보급형 무선접속점 장치를 이용하여 실험을 수행하였다.

계층적 스트리밍 네트워크 구성 시에 두 개의 Wi-Fi Direct 그룹(그룹 A, B)을 생성하고 각 그룹 별 최대 기기 대수(MAXDEV)는 세 대로 설정하였다. 상대적으로 높은 하드웨어 성능을 가지고 있는 랩톱 컴퓨터를 미디어 소스 장치로 구성하고, 각각의 그룹 오너와 미디어 소스 장치를 동일한 무선접속점에 연결하여 infrastructure 네트워크가 구성되도록 하였다. 그 외 그룹 오너 선출 및 그룹 멤버 장치 참여는 앞서 제안된 방법을 적용하였다. 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크 구성 시에는 모든 기기들을 무선접속점 장치에 단순 연결하여 구성하였다. 실험에 사용한 무선접속점 장치는 실험에 참여한 기기들 외에는 연결되지 않은 상태에서 실험을 진행하였다. 그

림 5는 성능 측정 실험에 사용된 네트워크 구성을 나타낸다.

4.1.2 네트워크 성능 측정 방법

계층적 스트리밍 네트워크의 성능 측정 방법은 다음과 같다. (1) 미디어 소스 장치에서 그룹 A에 소속된 모든 멤버 기기들에게 동시 패킷 전송, (2) 미디어 소스 장치에서 그룹 B에 소속된 모든 멤버 기기들에게 동시 패킷 전송, (3) 미디어 소스 장치에서 그룹 A와 그룹 B의 모든 멤버들에게 동시 패킷 전송하여 실험을 진행하였으며 각 실험 구성에서 고성능 무선접속점 장치와 보급형 무선접속점 장치를 각각 교체해 가며 실험을 진행하였다.

단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 성능 측정은 미디어 소스 장치가 연결된 무선접속점 장치에 실험 기기들을 연결하고 미디어 소스 장치에서 클라이언트 기기들에게 패킷을 동시 전송할 때의 성능

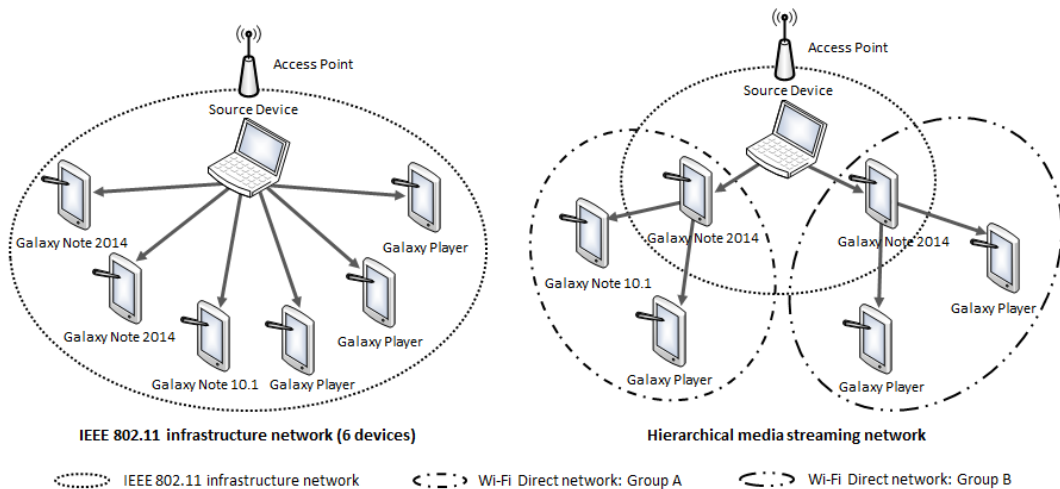


그림 5. 성능 측정을 위한 실험 네트워크 구성
Fig. 5. Experimental environment for performance measurement

을 측정하였다. 이 실험은 무선접속점 장치에 미디어 소스 장치를 제외하고 한 대의 클라이언트가 접속되어 있을 때의 성능 측정부터 무선접속점 장치에 실험 기기를 한 대 씩 증가시키며 연결하여 네트워크의 성능을 측정하였다. 계층적 스트리밍 네트워크의 성능 측정 방법과 동일하게 고성능 무선접속점 장치와 보급형 무선접속점 장치를 사용하여 각각의 성능을 측정하였다.

네트워크 성능 지표로는 대역폭과 RTT를 사용하였다. 대역폭 측정은 Iperf를 사용하여 10초 간 TCP 트래픽(윈도우 크기 8KBytes)을 전송한 후 해당 네트워크의 대역폭을 측정하였으며, RTT 측정을 위해 ICMP echo request를 10회 송신하고 수신한 ICMP echo reply 메시지를 통해 평균 RTT 값을 계산하였다. 각 네트워크의 대역폭과 RTT 측정 시 미디어 소스 장치를 서버로 두고 나머지 기기들을 클라이언트로 설정하였다. 계층적 스트리밍 네트워크 실험은 각 그룹 오너들을 프록시(proxy) 서버로 두어 미디어 소스 장치에서 각 그룹의 멤버들에게 트래픽을 전송할 시에 그룹 오너를 경유하여 전송될 수 있도록 하였다. 그 외의 설정은 기본 값을 사용하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

계층적 스트리밍 네트워크의 대역폭과 RTT를 측정 한 결과는 그림 6과 같다. 이 그래프의 가로 축은 트래픽 전송 경로를 나타내며 세로축은 각각 대역폭과 RTT 측정결과를 나타낸다. 실험결과로서 계층적 스트리밍 네트워크의 대역폭은 미디어 소스 장치에서 트래픽을 전송하는 그룹의 수가 증가할수록 대역폭이 감소하였다. RTT는 미디어 소스 장치에서 패킷을 전송하는 그룹의 수에 대해 영향이 크지 않았다. 반면 고성능 무선접속점 장치와 보급형 무선접속점 장치의 차이로 인한 성능은 대역폭 측면에서는 큰 영향이 없

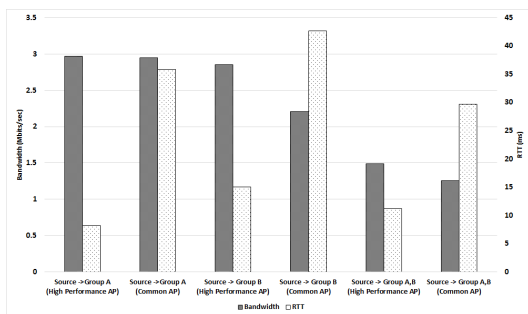


그림 6. 계층적 스트리밍 네트워크의 성능 측정 결과
Fig. 6. Performance measurement result for the hierarchical media streaming network

었으나 RTT 측면에서는 2배가 넘는 성능 차이를 보였다. 특히 보급형 무선접속점 장치를 사용하면서 그룹 A에 비해 상대적으로 하드웨어 성능이 낮은 그룹 B에 대해 RTT를 측정한 결과는 다른 실험에 비해 현저하게 높은 값이 측정되었다.

그림 7은 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 성능 측정 결과로서, 그래프의 가로 축은 미디어 소스 장치에서 트래픽을 동시 전송하는 기기들의 수를 나타내며 세로축은 각각 대역폭과 RTT 측정결과를 나타낸다. 측정결과에서 트래픽을 동시 전송받는 기기들의 수가 증가할수록 대역폭이 감소하고 RTT는 증가한다. 이것은 무선 네트워크의 특성상 연결된 기기의 수가 증가할수록 대역폭이 반비례하여 감소하고 무선접속점 장치에 트래픽이 집중됨에 따라 트래픽 처리 부하가 급증하기 때문이다. 고성능 무선접속점 장치와 보급형 무선접속점 장치 사이의 성능 격차는 계층적 스트리밍 네트워크와 동일하게 대역폭 측면에서는 큰 차이가 없었으나 RTT 측면에서는 높은 격차를 보였다.

계층적 스트리밍 네트워크와 고성능 무선접속점 장치를 사용한 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 성능을 비교한 결과는 그림 8과 같다. 이 그림은 각 네트워크 구조별 3대(그룹 오너 1대, 그룹 멤버 2대) 그리고 6대(그룹 오너 2대, 그룹 멤버 4대)의 기기들로 구성되어 있을 경우의 대역폭과 RTT를 비교하고 있다. 성능 비교 결과, 모든 실험에서 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크에 비해 계층적 스트리밍 네트워크의 대역폭이 더 높게 측정되었으며, 특히 6대의 기기들로 네트워크를 구성한 실험에서 계층적 스트리밍 네트워크 구조가 약 1.7배 높은 대역폭을 나타내었다. 실험구성에서 두 개의 ad hoc 네트워크 그룹이 형성되어 있고 각 그룹은 서로 다른 무선 채널을

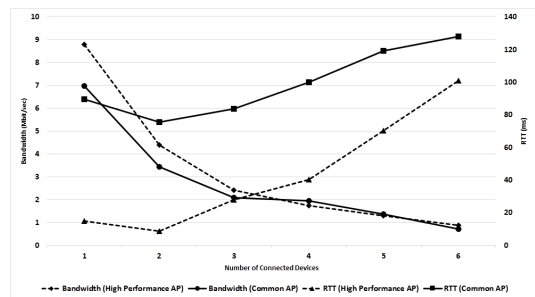


그림 7. 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 성능 측정 결과
Fig. 7. Performance measurement result for the IEEE 802.11 infrastructure network

사용하고 있기 때문에 실험결과와 같이 대역폭 측면에서 큰 장점이 있다. RTT 실험에서도 계층적 스트리밍 네트워크 구조가 2배 이상 낮은 RTT 값을 나타내었으며, 특히 6대의 기기들로 수행한 실험에서는 계층적 스트리밍 네트워크 구조에 비해 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크가 약 9배 높은 RTT 값을 보였는데 이것은 실험에 참여한 모든 기기들의 트래픽이 무선접속점을 경유하고 있기 때문이다.

이 실험결과로 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크로 스트리밍 네트워크를 구성하는 것보다 본 논문에서 제안한 기법을 사용하여 구성된 계층적 스트리밍 네트워크 구조가 대역폭과 RTT 측면에서 더 우수함을 알 수 있다. 또한 규모 확장성 측면에서도 계층적 스트리밍 네트워크 구조가 기기 수의 증가에 따른 RTT 상승폭이 매우 낮고 대역폭 감소량도 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크에 비해 더 낮으므로 우수한 성능을 가진다. 계층적 스트리밍 네트워크 구조에서 대부분의 기기들이 ad hoc 네트워크로 연결되어 있음에도 불구하고 네트워크 그룹 수의 증가에 따른 대역폭 감소량이 기대보다 높은 이유는 무선접속점에 연결되는 그룹 오너의 수가 증가하고 무선접속점과 그룹 오너 사이의 연결 대역폭이 그룹 내의 대역폭보다 낮아 병목구간이 되기 때문이다^[2]. 보다 높은 규모의 확장성을 보장하기 위해서는 무선접속점과 그룹 오너 사이의 연결 대역폭 문제가 해결되어야 할 것이다.

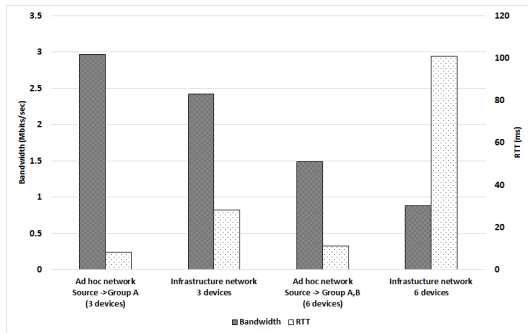


그림 8. 계층적 스트리밍 네트워크와 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크의 성능 비교
 Fig. 8. Performance comparison of the hierarchical media streaming network and the IEEE 802.11 infrastructure network

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 인접한 모바일 스마트 기기들 간의 효율적이고 규모 확장성 있는 스트리밍 네트워크를

자율적으로 형성하기 위한 기법을 제안하였다. 제안한 방법은 스마트 기기의 상태 및 성능과 무선 네트워크의 상태를 기반으로 미디어 스트리밍에 최적인 그룹 오너를 선출하고 ad hoc 네트워크를 형성한다. 이 때 GOET와 GMJT를 지연시간으로 사용하여 특정 노드에 의존하지 않고 자율적인 방식으로 그룹을 형성한다. 그룹 오너는 무선접속점에 연결되어 다른 그룹 오너와 통신한다. 이러한 방법으로 형성된 계층적 스트리밍 네트워크 구조는 성능 실험을 통하여 단일 IEEE 802.11 infrastructure 네트워크보다 성능 및 규모 확장성 측면에서 더 우수함을 보였다. 이 기법을 사용하여 단일 무선 랜 환경에서 다수의 스마트 기기들 간의 효율적인 미디어 스트리밍 서비스를 제공할 수 있으며, 제안한 기법은 Android API만을 사용하여 구현이 가능하기 때문에 무선 네트워크 프로토콜과 모바일 운영체제 수준의 수정이나 관리자 권한 획득 없이 상용 모바일 스마트 기기에 적용이 가능하므로 적용 가능성이 뛰어나다.

향후 연구로는 계층적 스트리밍 네트워크 구조에서 병목구간으로 작용하고 있는 무선접속점 장치와 그룹 오너 기기 사이의 연결 대역폭 제약문제 해결이 필요하다. 또한 본 논문에서 제안한 계층적 스트리밍 네트워크 구조의 자가 구성 기법 외에도 자가 최적화, 자가 복구 및 자가 보호 기법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

References

- [1] H. Je, D. Kwon, H. Kim, and H. Ju, "Measurement of wireless network performance for multimedia streaming on a single WLAN," in *Proc. KNOM Conf. 2014*, pp. 72-76, Daejeon, Korea, May 2014.
- [2] H. Je, D. Kwon, H. Kim, and H. Ju, "Mobile network configuration for large-scale multimedia delivery on a single WLAN," in *Proc. APNOMS 2014*, pp. 1-6, Taiwan, Sept. 2014.
- [3] L. Keller, A. Le, B. Cici, H. Seferoglu, C. Fragouli, and A. Markopoulou, "MicroCast: Cooperative video streaming on smartphones," in *Proc. MobiSys 2012*, pp. 57-70, Low Wood Bay, Lake District, United Kingdom, Jun. 2012.
- [4] D. A. Tran, K. A. Hua, and T. Do, "ZIGZAG:

an efficient peer-to-peer scheme for media streaming,” in *Proc. INFOCOM 2003*, vol. 2, pp. 1283-1292, San Francisco, California, USA, Mar.-Apr. 2003.

[5] G. Lee, W. Kim, and H. Song, “An effective cross layer-based multimedia transmission algorithm over multi-hop mobile ad Hoc network,” *J. KICS*, vol. 35, no. 5, pp. 474-481, May 2010.

[6] S. Jeon and Y. Kim, “Converged mobility management technology for multi-screen services,” *KICS Inf. Commun. Mag.*, vol. 29, no. 3, pp. 75-82, Mar. 2012.

[7] H. Joo, D. Lee, S. Han, and H. Song, “Efficient video streaming system over heterogeneous wireless networks,” *J. KICS*, vol. 37, no. 2, pp. 110-119, Feb. 2012.

[8] N. Kim, T. Song, W. Kim, and S. Pack, “A scalable video coding (SVC)-aware retransmission scheme for multimedia streaming in IEEE 802.11 WLANs,” *J. KICS*, vol. 39, no. 2, pp. 95-101, Feb. 2014.

[9] O. Buyanjargal and Y. Kwon, “Adaptive and energy efficient clustering algorithm for event-driven application in wireless sensor networks (AEEC),” *J. Networks*, vol. 5, no. 8, pp. 904-911, Aug. 2010.

[10] Z. Zheng, Z. Wu, and H. Lin, “An event-driven clustering routing algorithm for wireless sensor networks,” in *Proc. Int. Conf. Intell. Robots and Syst. 2004*, pp. 1802-1806, Sept. 2004.

[11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks,” in *Proc. HICSS 2000*, pp. 1-10, Jan. 2000.

[12] O. Younis and S. Fahmy, “Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach,” in *Proc. Annu. Joint INFOCOM 2004*, vol. 1, pp. 629-640, Mar. 2004.

[13] J. Kong, J. Kim, and D. Eom, “Energy-aware distributed clustering algorithm for improving network performance in WSNs,” *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 2014, pp. 1-10,

Mar. 2014.

[14] J. Kong, J. Lee, J. Kang, and D. Eom, “Energy efficient clustering algorithm for surveillance and reconnaissance applications in wireless sensor networks,” *J. KICS*, vol. 37C, no. 11, pp. 1170-1181, Nov. 2012.

권 동 우 (Dongwoo Kwon)



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

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

제 희 광 (Huigwang Je)



2014년 2월 : 계명대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2014년 3월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 미디어 스트리밍, 미디어 중계기, 네트워크 관리 및 보안

김 현 우 (Hyeonwoo Kim)



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

<관심분야> 방화벽 정책 추론 및 관리, 네트워크 관리 및 보안

주 흥 택 (Hongtaek Ju)



1989년 8월 : 한국과학기술원 전
자계산학과 졸업

1991년 8월 : 포항공과대학교 컴
퓨터공학과 석사

1997년 8월 : 대우통신종합연구
소 선임연구원

2002년 2월 : 포항공과대학교 컴
퓨터공학과 박사

2002년 9월~현재 : 계명대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야> 네트워크 및 시스템 관리, IoT 관리,
SDN 네트워크 관리, 인터넷 침입 예측, 네트워
크 보안