

# 와이파이-블루투스 콤보칩 사용이 모바일 비디오 스트리밍 서비스에 미치는 영향 분석

## A Study on the Quality-of-Experience in Mobile Video Adaptive Streaming under Active Bluetooth Connection

이종호\*, 최재혁\*

Jongho Lee\*, Jaehyuk Choi\*

### Abstract

With Wi-Fi and Bluetooth connectivity becoming more common in today's handheld mobile devices, single-chip multi-radio combo-modules, which integrate two or more heterogeneous wireless radios on a single chip, are becoming more and more popular. The key requirement for combo solutions is that the quality of the user experience (QoE) must not be compromised by degrading connectivity performance. Therefore, characterizing and understanding the behaviour of combo-module is of vital importance to ensure this requirement in various environments. In this paper, we investigate the impact of the use of combo-modules on the performance of mobile video streaming over a Wi-Fi network. Our study reveals that the use of combo-modules incurs considerable side effects on QoE for mobile video streaming applications when the Wi-Fi and Bluetooth operate at the same time in the 2.4GHz ISM band. We reveal that rate-based adaptive algorithms, including the most popular adaptive bitrate streaming MPEG-DASH, is more severely affected by this phenomenon than buffer-based adaptive algorithms.

### 요약

모바일 기기에서 Wi-Fi와 Bluetooth 연결이 일상화 되면서, Wi-Fi, Bluetooth 등의 두 개 이상의 이기종 무선 라디오를 하나의 칩에 통합한 Wi-Fi 및 Bluetooth 콤보 모듈이 보편화 되었다. 콤보칩 기법의 핵심 요건은 통합칩 사용으로도 사용자 경험(QoE)의 품질을 저하되는 등의 성능저하가 있어서는 안되며, 따라서 다양한 환경에서 이 요건을 보장하기 위해서는 콤보 모듈의 행동을 특성화하고 이해하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 Wi-Fi / Bluetooth 콤보 통신 모듈을 장착한 모바일 기기에서 모바일 스트리밍을 이용할 경우, Bluetooth 사용이 사용자 체감 품질(Quality-of-Experience)에 미치는 영향을 조사한다. 실측을 통한 실험 결과, Wi-Fi와 블루투스를 동시에 사용하는 환경에서는 Wi-Fi만을 이용하는 환경에 비해 최대 55%의 성능 저하를 보인 것으로 나타났다. 본 연구 이기종 통신 모듈의 사용에 따른 물리 및 링크 계층의 전송 스케줄링이 최상위 사용자 계층의 성능에 미치는 영향을 밝혀냈다는 중요성을 갖는다.

*Key words* : Combo module, Bluetooth, Quality-of-Experience, HTTP Adaptive Video Streaming, DASH

\* Dept. of Software, Gachon University

★ Corresponding author

E-mail : jchoi@gachon.ac.kr. Tel : +82-31-750-8657

※ Acknowledgment

This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education under Grant NRF-2017R1D1A1B03034915.

Manuscript received Feb. 14, 2020; revised Feb. 29, 2020; accepted Mar. 2, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

최근 시스코(CISCO)가 전세계 글로벌 모바일 트렌드를 예측한 ‘2016~2021 시스코 모바일 비주얼 네트워킹 인덱스’에 따르면, 2021년 한국 시장의 경우는 1인당 월간 모바일 트래픽이 23기가바이트(GB)이상으로 늘어날 것이라는 관측을 하였다[1]. 이러한 모바일 트래픽의 증가는 주로 모바일 비디오 콘텐츠의 소비 증가에 기인하고 있으며, 모바일 비디오 콘텐츠의 큰 데이터 크기로 인해 전체 모바일 트래픽의 75% 이상을 비디오 스트리밍 데이터가 차지할 것으로 전망하고 있다.

이 같은 모바일 환경에서의 고품질 비디오 스트리밍 서비스에 대한 사용자들의 수요 증가에 따라, 모바일 스트리밍 서비스에서의 사용자들에 대한 체감품질(Quality-of-Experience) 보장도 매우 중요한 문제가 되었다. 이에 따라, 사용자들의 체감품질 향상에 대한 많은 연구 및 시도들이 활발히 진행해 왔으며, 특히 HTTP 기반의 적응적 비디오 스트리밍(Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) 기법이 주목 받아 왔다. 이 기법은 지속 변화하는 사용자의 네트워크 상태를 기반으로 비디오 품질을 적응적으로 선택하여 사용자가 최적의 품질에 해당하는 영상을 제공 받을 수 있도록 하는 기술이다. 오늘날의 대부분의 비디오 스트리밍 서비스들은 이 기법에 기반하고 있다. 하지만, 최근 연구들을 통해서 HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍 기법이 가지는 문제점들이 제시되고 있으며, 이에 대한 관련 연구가 진행되고 있다[2].

본 연구에서는 Wi-Fi / Bluetooth 콤보 통신 모듈을 장착한 모바일 기기에서 모바일 스트리밍을 이용시 Bluetooth 사용을 사용하는 시나리에 대해, Bluetooth의 사용이 사용자 체감 품질(Quality-of-Experience)에 미치는 영향을 실험을 통해 조사·분석한다. 이를 위해 우리는 콤보 모듈의 효과를 이해할 수 있는 실험 환경을 설계하고 사용자의 인식 품질을 측정하는 응용 프로그램을 구현하였다. 콤보 모듈이 사용되는 환경에서, 처리량 기반 및 버퍼 점유율 기반의 두 기법의 DASH 기법에 대해 성능 비교를 진행하였다. 실측을 통한 실험 결과, Wi-Fi와 블루투스를 동시에 사용하는 환경에서는 Wi-Fi만을 이용하는 환경에 비해 최대 55%의 성능 저하를 보인 것으로 나타났다.

본 논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구의 주요 내용을 이해하기 위한 배경지식을 소개하고, 3장에서는 모바일 비디오 스트리밍의 체감품질을 평가하기 위한 실험의 설계와 체감품질에 대한 평가 방법을 설명한다. 4장에서 실험 결과에 대한 분석 다루고 있으며, 본 연구의 결론과 연구 계획에 대한 소개를 5장에서 설명한다.

## II. 배경 지식

이 장에서는 본 연구를 이해하기 위해서 필요한 배경지식들에 대해서 설명한다. 첫 번째로는 HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍(HTTP Adaptive Streaming)의 배경과 기술개요에 대해서 설명하고, 두 번째로는 콤보 모듈의 작동 원리에 대해서 설명한다.

### 1. HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍 DASH

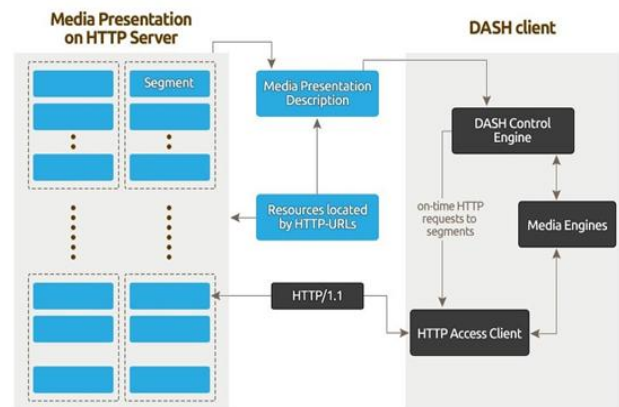


Fig. 1. MPEG-DASH Overview.

그림 1. DASH의 동작 개요도 (encoding.com)

현재 널리 사용되고 있는 모바일 기기용 비디오 스트리밍 방법은 MPEG의 Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP(DASH)을 포함한 HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍(HAS : HTTP Adaptive Streaming) 기술이다[3]. 그림 1은 DASH의 동작 원리에 대해 나타낸 그림이다. 주된 동작 원리는 미디어 서버에서는 비디오를 여러 개의 화질, 즉 여러 개의 비트레이트로 인코딩한 다음, 특정 길이의 작은 세그먼트 단위로 분할하여 준비 한 후, 이를 HTTP를 통해서 클라이언트가 자신의 상태에 맞는 최적의 화질을 요청하고 해당 세그먼트를 전송하여 스트리밍을 행하는 방식이다. 클라이언트가

다음 세그먼트의 화질을 요청하는 방식으로, 크게 처리량 기반(Throughput-based) 방식[4]과 버퍼 점유율 기반(Buffer-based) 기반 방식[5], 두 가지를 혼합한 방식 [6]으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 [4], [5]에 제시된 처리량 기반 방식, 버퍼 점유율 기반 방식에 대한 성능을 비교 검증 한다.

**2. Wi-Fi / Bluetooth Combo Module**

광범위한 목적의 애플리케이션이 동작하는 스마트 폰과 같은 모바일 장치에서 사용자의 다양한 요구 사항을 충족해야 하는 상황이 늘어남에 따라, Wi-Fi, Bluetooth, 또는 Cellular 칩 등 두 개 이상의 이종 무선 라디오를 단일 칩에 통합된 Wi-Fi 및 Bluetooth 콤보 모듈이 보편화 되었다. 이 같은 콤보 지원 장치에서는 Wi-Fi 및 블루투스는 일반적으로 폼 팩터(form factor)는 물론 상호 간섭문제, 에너지 소비 및 비용을 줄이기 위해 2.4GHz 대역의 전송은 그림 2에서와 같이 하나의 안테나를 공유하여 전송한다. 안테나는 시분할 방식(TDM : Time Division Multiplexing)을 이용하여, Wi-Fi와 Bluetooth를 시간을 슬롯 단위로 나누어 번갈아 가며 사용한다. TDM 방식 기반의 콤보 모듈 작동 방식에 대한 자세한 설명은 논문 분량 제약으로 생략하며, 이에 대한 자세한 설명은 참조논문[7]에서 찾아볼 수 있다.

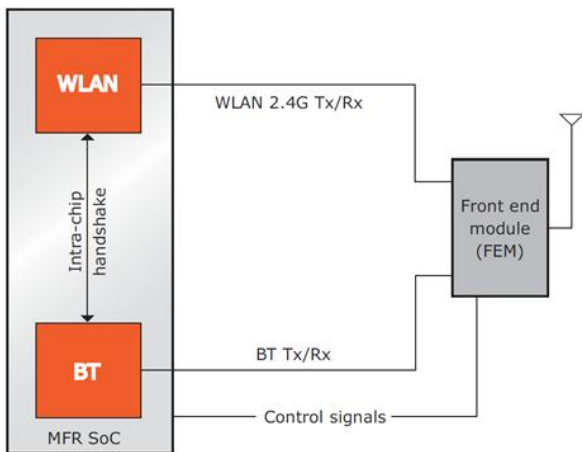


Fig. 2. Combo module H/W structure [7].  
그림 2. 콤보 모듈의 하드웨어 구현 개념 [7]

**III. 실험 설계 및 구현**

**1. 구현 내용 및 실험 방법**

콤보 모듈이 미치는 영향에 대해서 파악하기 위

해, Broadcom BCM 4330 콤보 모듈을 탑재하고 있는 Google Nexus 7 태블릿을 실험군으로 사용하였다. 대조군으로는 삼성 Galaxy Tab S2를 사용하였다. 두 개의 모바일 기기는 기본적으로 Wi-Fi를 통해서 비디오 스트리밍을 수행하였으며, 콤보 모듈의 영향에 대해 비교하기 위해서 Nexus 7은 Bluetooth를 켜둔 상태로 실험을 진행하였고, JBL FLIP2 Bluetooth 스피커와 페어링 된 상태로 실험이 진행되었다. Galaxy Tab S2는 Bluetooth를 꺼둔 상태로 설정하였다. 콤보 모듈이 제대로 사용되기 위해서는 Wi-Fi를 ISM 밴드인 2.4GHz로 제한해야 되기 때문에, 공유기의 설정을 IEEE 802.11g로 설정하였다. 그림 3에 실험 환경을 묘사하였다.

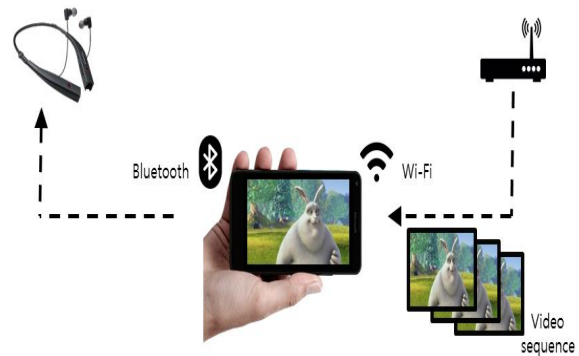


Fig. 3. Experiment scenario.  
그림 3. 실험 시나리오: Wi-Fi를 통한 비디오 콘텐츠 전송시 Bluetooth를 이용해서 음성 전송 및 재생

실험을 위한 구현은 안드로이드 기반의 어플리케이션인 Google Exoplayer를 수정하여 구현하였다. 처리량 기반 기법과 버퍼 점유율 기반 기법의 비디오 품질 조절 기법을 평가하기 위해, 처리량 기반 기법은 Exoplayer에 기본적으로 내장 되어있는 MPEG-DASH를 사용하였고, 추가적으로 버퍼 점유율 기반인 BBA2[5]를 MPEG-DASH 기반으로 구현하여 사용하였다. 추가적으로, 반복적인 실험을 수행할 수 있도록 수정하였고, 정의한 체감 품질을 기록하는 기능을 구현하였다.

사용한 비디오 데이터 셋은 ITEC-DASH에서 제공하는 Red Bull Playstreets을 CentOS 내 Apache 서버를 이용하여 서버로 사용하였다. 비디오의 품질은 100kbps부터 6Mbps까지 총 17개로 나누어져 있으며, 사용 가능한 비디오 세그먼트의 길이는 2초, 10초로 2개 군에 대해 비교 하였다.

## 2. 체감 품질 평가 방법

본 연구에서는 비디오 스트리밍의 체감 품질을 평가하기 위해, 앞에 소개한 연구들에서의 체감 품질 지표를 바탕으로, 평균 비트레이트, 품질 변경 빈도, 품질 변경 정도, 버퍼링 빈도, 그리고 초기 재생 지연, 총 5가지 사용자 체감 품질 지표를 선정하여 사용하였다.

첫 번째 지표는 평균 비트레이트(average bitrate)이다. 비디오 스트리밍이 진행되는 동안에 사용자에게 평균적으로 보인 화질을 의미하며, 평균 비트레이트가 높을수록, 사용자는 좋은 품질로 영상을 시청했음을 의미한다. 평균 비트레이트는 다음과 같다.

$$\sum_{i=0}^N \frac{q_n}{N} \quad (1)$$

( $q_i$ :  $i$ 번째 세그먼트에서 선정된 비트레이트,  $N$ : 세그먼트 수)

두 번째와 세 번째는 품질 변경 빈도와 품질 변경 정도이다. 비디오 스트리밍이 진행되는 동안 화질이 자주 바뀌는 것은 사용자에게는 좋지 않은 영향을 미친다. 또한, 화질이 변경될 때, 사용자가 인식할 만큼 급격하게 바뀌는 것도 좋지 않은 영향을 미친다. 품질 변경 빈도와 품질 변경 정도는 작으면 작을수록 좋은 의미를 가진다. 아래의 수식 (2)는 품질 변경 정도를 나타내는 수식이다.

$$\sum_{i=0}^{N-1} (Qindex_{i+1} - Qindex_i) \quad (2)$$

( $Qindex_i$ :  $i$ 번째 세그먼트에서 선정된 비트레이트의 인덱스,  $N$ : 세그먼트 수)

네 번째와 다섯 번째는 버퍼링 빈도와 시작 지연이다. 버퍼링은 비디오가 재생되는 도중 버퍼를 모두 소모하여, 재생을 잠시 중단하고 일정 수준 이상으로 버퍼를 채우는 작업을 의미한다. 버퍼링은 사용자 체감품질에서 가장 중요한 지표로 여겨진다. 시작 지연은 비디오 스트리밍을 실행시켰을 때, 재생이 시작되기 까지 걸리는 시간을 의미한다. 다시 말하면, 비디오 스트리밍이 실행되었을 때, 재생을 위해 일정 수준 이상의 버퍼를 채우는 작업을 진행한다. 시작 지연은 이 작업이 진행되는 시간을 의미한다.

## IV. 구현 내용 및 실험 방법

실험의 목표는 크게 두 가지이다. 첫째는 비디오 품질 조절 기법인 처리량 기법과 버퍼 기반 기법이 보여주는 성능 차이의 파악, 둘째는 세그먼트의 길이에 따른 성능 차이를 비교하는 것이다. 기본적으로 코덱 모듈이 사용자 체감 품질에 미치는 영향에 대해 조사하는 것은 동일하다.

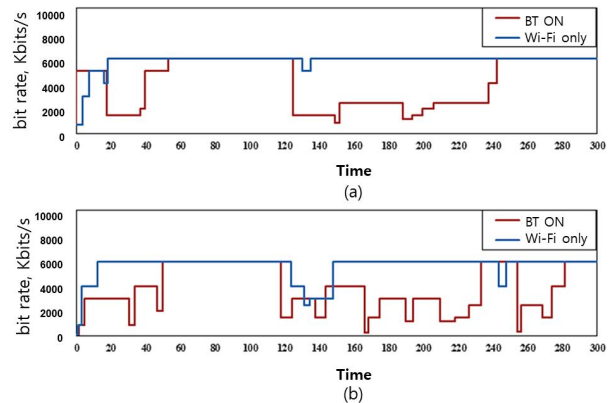


Fig. 4. Dynamics of bitrate for (a) Throughput-based, (b) Buffer-based with segment length = 2 seconds.  
그림 4. 비트레이트 결정 성능 비교, (a) 처리량 기반 (Throughput-based), (b) 버퍼 점유율 기반 (Buffer-based) 세그먼트 길이 = 2초

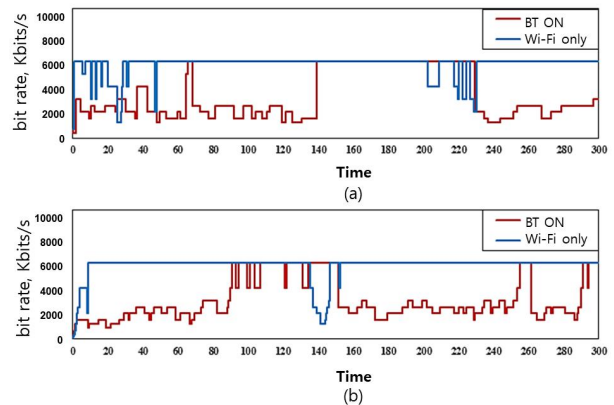


Fig. 5. Dynamics of bitrate for (a) Throughput-based, (b) Buffer-based with segment length = 10 seconds.  
그림 5. 비트레이트 결정 성능 비교, (a) 처리량 기반 (Throughput-based), (b) 버퍼 점유율 기반 세그먼트 길이 = 10초

그림 4과 그림 5는 각각 2초와 10초의 두 세그먼트 길이에 대해 Bluetooth 사용 여부에 따른 결정하는 비트레이트 성능 비교를 나타낸 것이다. (a)는 처리량 기반, (b)는 버퍼 점유율 기반을 뜻한다.

Table 1. QoS result for segment size of 2 seconds.

표 1. 사용자 체감 품질 성능 비교(세그먼트 2초 길이)

	Throughput-based		Buffer-based	
	BT OFF	BT ON	BT OFF	BT ON
평균 비트레이트 (kbps)	5228.89	2787.468	5198.16	2733.76
품질 변경 빈도	8.21	62.04	11.86	61.04
품질 변경 정도	37.69	125.4	46.8	80.8
버퍼링 빈도	0	0	0	0
초기 재생 지연 (ms)	564.4	674.28	633.1	738.88

Table 2. QoS result for segment size of 10 seconds.

표 2 사용자 체감 품질 성능 비교(세그먼트 10초 길이)

	Throughput-based		Buffer-based	
	BT OFF	BT ON	BT OFF	BT ON
평균 비트레이트 (kbps)	5614.13	2210.81	5338.09	2691.574
품질 변경 빈도	2.18	10.28	3.88	27.48
품질 변경 정도	7.16	27.32	18.64	115.52
버퍼링 빈도	0	0.1	0	0.08
초기 재생 지연 (ms)	590.98	623.96	652.84	749.08

표 1과 표 2는 선정된 5개의 사용자 체감 품질에 대해 두 세그먼트 길이(2초, 10초)별로 25번의 반복적인 실험 후에 평균을 낸 수치를 정리한 것이다.

실험 결과를 통해 발견한 사실은 다음과 같다. 첫째, Wi-Fi와 Bluetooth를 함께 사용하는 상황에서는 그렇지 않을 때에 비해 성능이 떨어진다는 것이다. 그림 4와 5에서 확인 할 수 있듯이, 콤보 모듈에서 Wi-Fi와 Bluetooth의 사용할 경우, 그렇지 않은 경우에 비해 처리량 기반, 버퍼 점유율 기반 기법 모두에서 현저히 낮은 성능을 나타냄을 확인 할 수 있다.

두 번째는 성능 저하의 유형이 세그먼트 길이에 따라 달라진다는 것이다. 세그먼트의 길이를 2초와 10초로 비교해본 결과, 세그먼트 길이가 짧을 때는 잦은 품질 변경이 발생하는 성능 저하를 일으켰다. 반면, 세그먼트 길이가 길 때는 품질 변경은 자주 일어나지 않지만, 평균적으로 낮은 품질을 선정하여 전체 평균 비트 전송률이 감소하는 것으로 나타났다.

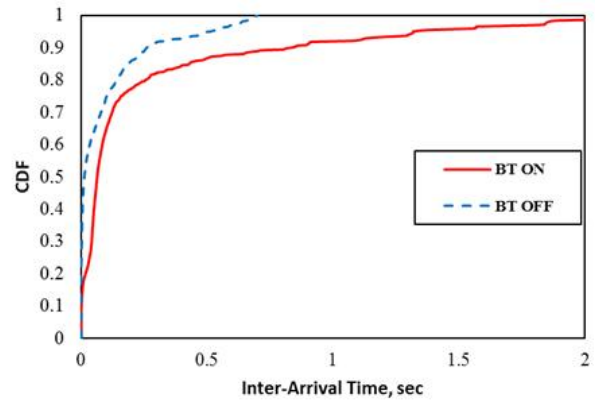


Fig. 6. Distribution of inter-arrival time for segment size of 2 seconds.

그림 6. 세그먼트 간 도착시간 차이 누적 확률 분포 (세그먼트 길이=2초)

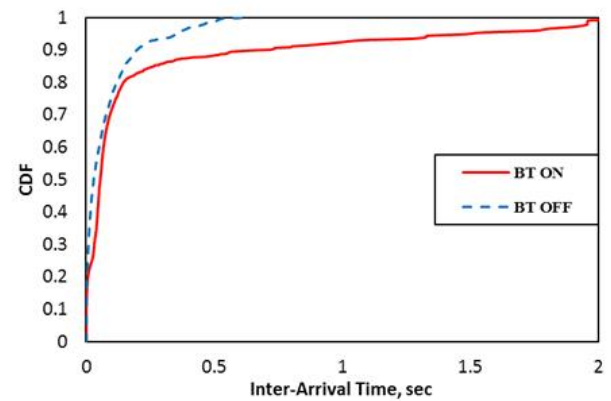


Fig. 7. Distribution of inter-arrival time for segment size of 10 seconds.

그림 7. 세그먼트 간 도착시간 차이 누적 확률 분포 (세그먼트 길이=10초)

그림 6과 그림 7은 Bluetooth의 사용이 세그먼트 하나 다운받는데 얼마나 영향을 미치는 가를 확인하기 위해, 연속된 세그먼트 다운로드가 완료되는 시점의 차이를 누적확률분포로 나타낸 그림이다. 다시 말해, 이전 세그먼트가 다운로드 완료된 시간에서 그 후 세그먼트가 다운로드 완료된 시간의 차이를 누적하여 나타낸 것이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이, Bluetooth를 사용했을 때, Bluetooth를 사용하지 않았을 때 대비 세그먼트 다운로드 시간이 늘어지는 것을 확인 할 수 있다.

세 번째로 발견한 사실은 버퍼 점유율 기반 기법이 처리량 기반 기법에 비해 성능 저하가 조금 더 견고하다는 것이다. 수치로 확인해보면, 처리량 기

반 기법은 평균 비트레이트 감소량이 Bluetooth를 사용 하지 않을 때 대비 약 60%, 버퍼 점유율 기반은 약 50%으로 성능 저하가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 품질 변경 빈도 및 변경 정도는 수치로는 처리량 기반에 비해 높지만, 버퍼 점유율 기반 기법이 품질 변경이 잦다는 특성을 고려하면, 비슷한 수준으로 볼 수 있다.

### V. 결론 및 향후 연구 내용

본 연구에서는 모바일 비디오 스트리밍 서비스의 사용자 경험 품질에 대한 콤보 모듈을 이용한 모바일 장치의 영향을 조사 하였다. 이를 위해 우리는 콤보 모듈의 효과를 이해할 수 있는 실험 환경을 설계하고 사용자의 인식 품질을 측정하는 응용 프로그램을 구현하였다. 콤보 모듈이 사용되는 환경에서, 처리량 기반 및 버퍼 점유율 기반의 두 기법의 DASH 기법에 대해 성능 비교를 진행하였다. 실험 결과에 따르면 시분할 접근(TDM) 기반 콤보 모듈은 이기종 무선 네트워크 인 Wi-Fi 및 Bluetooth를 사용하는 환경에서 사용자 경험 품질을 크게 저하시킴을 알 수 있었다.

이러한 성능 저하에 대한 근본적인 해결책으로는 시분할 접근 방식의 콤보 모듈이 이기종 무선 네트워크를 함께 동시에 사용하는 환경에 대한 성능이 개선되어야 할 것으로 보인다. 향후, 콤보칩 환경에서 성능을 향상 시킬 수 있는 방안에 대해 연구를 진행할 계획이다.

### References

[1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021 White Paper, 2017.

[2] Ban, D., Lim, S., Park, W., Kim, C. "The synergic enhancement of coexistence performance in wireless mobile combo-chips," *ICC*, 2016.  
DOI: 10.1109/ICC.2016.7511229

[3] Thomas Stockhammer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP --: standards and design principles," *Proceedings of the second annual ACM conference on Multimedia systems*, 2011.

DOI: 10.1145/1943552.1943572

[4] Huang, Te-Yuan, et al. "Confused, timid, and unstable: picking a video streaming rate is hard," *Proceedings of the 2012 ACM conference on Internet measurement conference*, 2012.

DOI: 10.1145/2398776.2398800

[5] Huang, Te-Yuan, et al. "A buffer-based approach to rate adaptation: Evidence from a large video streaming service," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.44, issue.4, pp.187-198, 2015. DOI: 10.1145/2740070.2626296

[6] Yin, Xiaoqi, et al. "A control-theoretic approach for dynamic adaptive video streaming over HTTP," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.45, issue4, pp.325-338, 2015.

DOI: 10.1145/2785956.2787486

[7] Chokshi, Ronak. "Yes! Wi-Fi and Bluetooth Can Coexist in Handheld Devices," Marvell White paper, 2010.

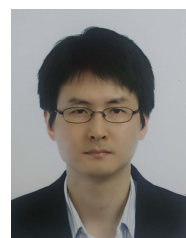
### BIOGRAPHY

**Jongho Lee** (Member)



2015 : BS degree in Software, Gachon University.  
 2017 : MS degree in IT Convergence, Gachon University.  
 2017~2020 : Research Engineer, R&D lab, emro

**Jaehyuk Choi** (Member)



2003 : BS degree in Material Science and Engineering, Seoul National University.  
 2008 : PhD degree in Computer Science and Engineering, Seoul National University.

2008~2011 : Postdoctoral Researcher, University of Michigan  
 2017~2018 : Visiting Scholar, UC San Diego  
 2011~2019 : Associate Professor, Gachon University