



『넷플릭스 기술 연구회』 4부

EBS 기술인협회 스터디
『넷플릭스 기술 연구회』

지난 3부에서 넷플릭스가 의사결정과정에서 A/B Test를 어떻게 활용하는지 알아보았습니다. 이번 4부에서는, 넷플릭스가 기술적 문제 상황에서 어떤 과정을 거쳐 사용자 경험을 개선하였는지 알아보기 위해 두 가지 사례를 소개해드리려고 합니다. 기술로 사용자 경험을 개선한 두 가지 사례를 통해 미디어 기술 트렌드를 파악하고, 방송기술인의 역할에 대해 고민해보는 기회가 되었으면 좋겠습니다.

넷플릭스의 추천 시스템

원본 정보

제목	Netflix Recommendations: Beyond the 5 stars 넷플릭스의 추천 시스템: 별점 이상의 시스템	
URL	https://netflixtechblog.com/netflix-recommendations-beyond-the-5-stars-part-1-55838468f429	

그림 1. 원본 링크

첫 번째로 소개할 사례는 넷플릭스의 추천 시스템(Netflix Recommendation)입니다. 넷플릭스의 추천 시스템은 사용자 개인별 취향에 맞는 콘텐츠를 추천해 주는 시스템입니다. 이것은 사용자의 경험을 개선해 콘텐츠 소비를 촉진하는 ‘개인화’ 서비스입니다. 이러한 개인화 서비스는 넷플릭스가 DVD 대여 서비스를 하던 시절부터 효율적인 재고관리를 가능하게 했습니다. 넷플릭스가 스트리밍 서비스를 시작하면서부터 추천 시스템은 또 다른 방향으로 개선되었는데, 그 이유를 넷플릭스의 비즈니스적 배경에서 찾을 수 있습니다.

From US DVDs to Global Streaming - 추천 시스템에 집중하게 된 배경

초창기 넷플릭스는 DVD 대여 서비스를 제공하는 업체였습니다. 넷플릭스가 DVD 대여 서비스에서 실시간 스트리밍 서비스로, 사업의 형태가 바뀌면서 사업의 많은 부분에서 변화가 생겼습니다.

매우 빠른 영상 소비 주기

DVD 대여 사업의 경우, DVD 현물이 넷플릭스와 고객 사이에서 이동됩니다. 시청에는 며칠 혹은 몇 주가 걸리고, 시청 도중 교환하려고 해도 최소 하루 이상이 소요됩니다. 때문에 고객은 대여를 위한 선택을 신중하게 할 수밖에 없습니다.

반면, 인터넷 실시간 스트리밍 서비스는 앉은 자리에서 즉시 시청이 가능하고, 고객이 시청을 결정하기 전에 예고편을 볼 수도 있습니다. 뛰어난 서비스 접근성으로 고객은 편리하고 부담 없이 영상을 시청하기 때문에 이전 사업 형태에 비해 소비 주기가 매우 빨라졌습니다.

고객 행동 데이터 수집의 용이성

DVD 사업의 경우, DVD에 대한 고객의 피드백을 수집하고 게시하는 것은 어려움이 많습니다. 또한, 고객의 시청 횟수, 부분 시청 등 시청 행동에 대한 데이터를 수집하는 것이 거의 불가능합니다. 스트리밍 서비스는 고객의 피드백을 수집하고 게시하는 것이 용이하며, 시청 패턴 정보를 파악하는 것도 가능합니다.

고객 경험 관리를 위한 수단의 필요성 증대

넷플릭스가 실시간 스트리밍 서비스로 사업을 전환하고, 해외 서비스까지 시작하면서 가입자는 지속해서 증가했습니다. 2012년 당시, 넷플릭스는 전 세계에 2,300만 명의 유료 가입자를 보유하고 있었습니다. 사업의 규모가 커진 만큼 이를 유지하고 개선하기 위해 고객 경험을 관리하는 것이 중요해졌습니다.

Everything is a Recommendation - 넷플릭스 추천 시스템의 특징

위와 같은 배경으로 넷플릭스는 사용자의 행동 패턴을 분석하고, 이를 통해 사용자 경험을 개선할 수 있는 수단에 집중하게 됐습니다. 그 결과, 넷플릭스는 ‘Cinematch’라는 지금의 추천 시스템을 운용해 오고 있습니다. 본문의 설명에 따르면, 추천 시스템의 특징을 다음의 몇 가지 키워드로 요약할 수 있습니다.

Diversity (다양성)

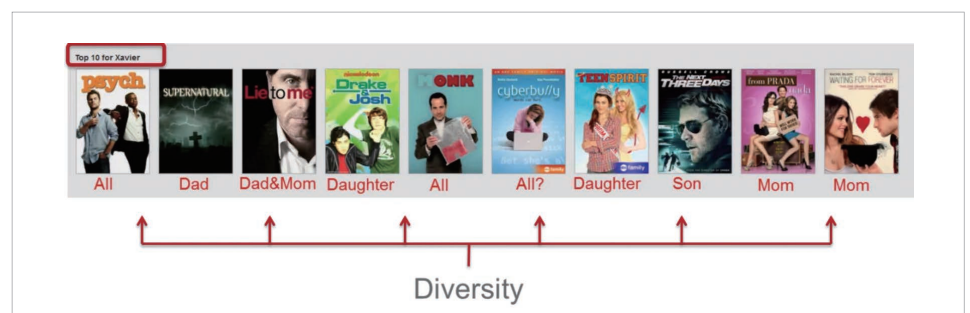


그림 2. 다양성을 갖춘 추천의 예시

넷플릭스는 사용자가 선호할 가능성이 가장 높은 영상을 추천해 줍니다. 이 추천 목록은 사용자 개인에게 특화된 취향이 아니라 일반적으로 선호할 수 있는 작품을 추천해 줍니다. 이는 사용자가 사용자의 가족 등 지인들을 위한 아이템을 발견할 수 있게 하여, 추천 시스템이 사용자 뿐 아니라 주변 지인들까지 넷플릭스로 유인합니다.

Awareness (사용자가 시스템 존재를 인식하는 것)

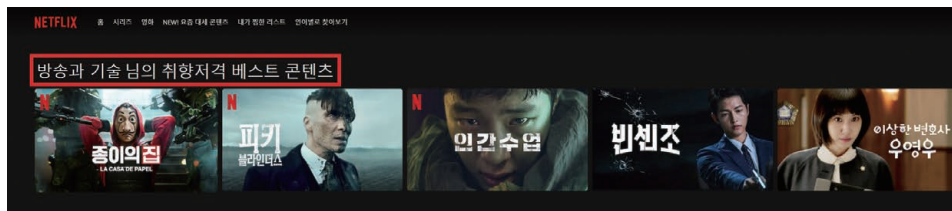


그림 3. 사용자의 취향을 고려해 추천한다는 것을 인지시킴

사용자들에게 이러한 시스템의 존재를 인지시키는 것 또한 중요한 문제입니다. 추천에 대한 설명과 영상이 추천된 이유 등을 명시함으로써, 사용자는 추천 시스템의 존재에 대해 의식할 수 있습니다. 이것은 추천 시스템이 광고 노출과는 다르다는 신뢰를 줄 수 있습니다. 단, 2023년 현재의 넷플릭스의 추천 시스템에서 해당 특징은 거의 사라진 것으로 보입니다.

Freshness (참신성)

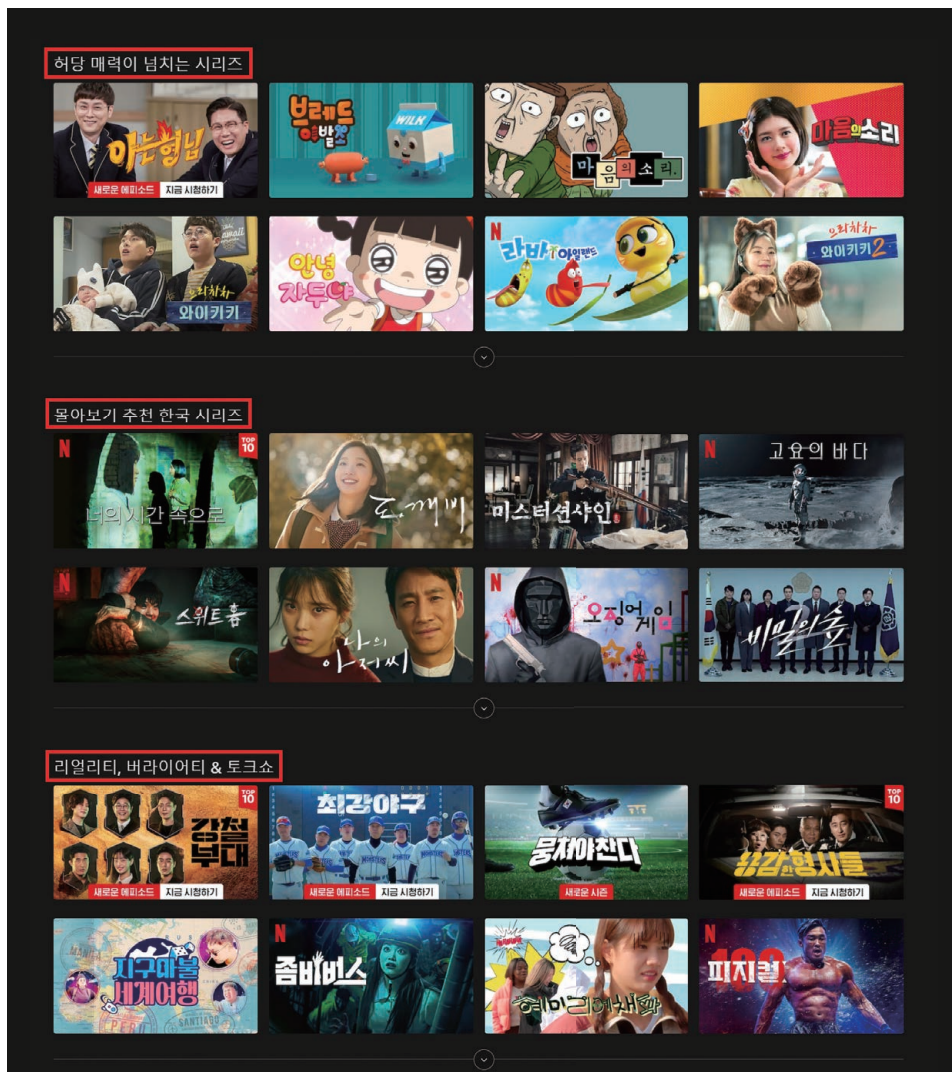


그림 4. 세부 장르 구분으로 참신함을 고려한 영상 추천

수많은 장르 중에서 어떤 것을 추천할 것인지 결정할 때 고려됩니다. 액션 장르를 좋아하는 사람도, 특정 국가의 액션 영화를 좋아할 수 있고, 특정 소재의 액션 영화를 좋아할 수도 있으며, 심지어 액션 영화보다 TV에서 방영되는 액션 드라마를 더 좋아할 수도 있습니다. 이처럼 고도로 맞춤화된 기준이 고려될 때, 사용자는 조금 더 참신한 추천을 받을 수 있습니다.

Similarity (유사성)

개인화를 위해선 유사성을 바탕으로 영상을 분류하고, 사용자의 시청 데이터를 분석해 유사성을 찾고 가장 적절한 분류 기준을 찾아야 합니다. 또한, 이러한 유사성을 혼합해 다른 모델의 feature(데이터 개별의 특성값)로 사용되기도 합니다.

The Netflix Prize and the Recommendation Problem - 추천 시스템과 정확도

추천 시스템이 이러한 특징들을 갖추기 이전에 예측의 정확성 향상을 위해 대회를 개최하기도 했습니다. 이때 평가 기준으로 사용된 것이 예측 평점과 실제 평점과의 차이에 대한 RMS 값으로, RMSE(Root Mean Square Error)라고 표현합니다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - P_i)^2}$$

X_i = 실제 평점
 P_i = 예측 평점

대회 시작 1년 후, 선두를 달리던 팀은 SVD(Singular Value Decomposition)와 RBM(Restricted Boltzmann Machines)을 활용했다고 합니다.



그림 5. SVD의 활용

SVD는 행렬을 특정 구조로 분해하는 수학적 기법으로 작품의 feature를 수치화할 수 있습니다.

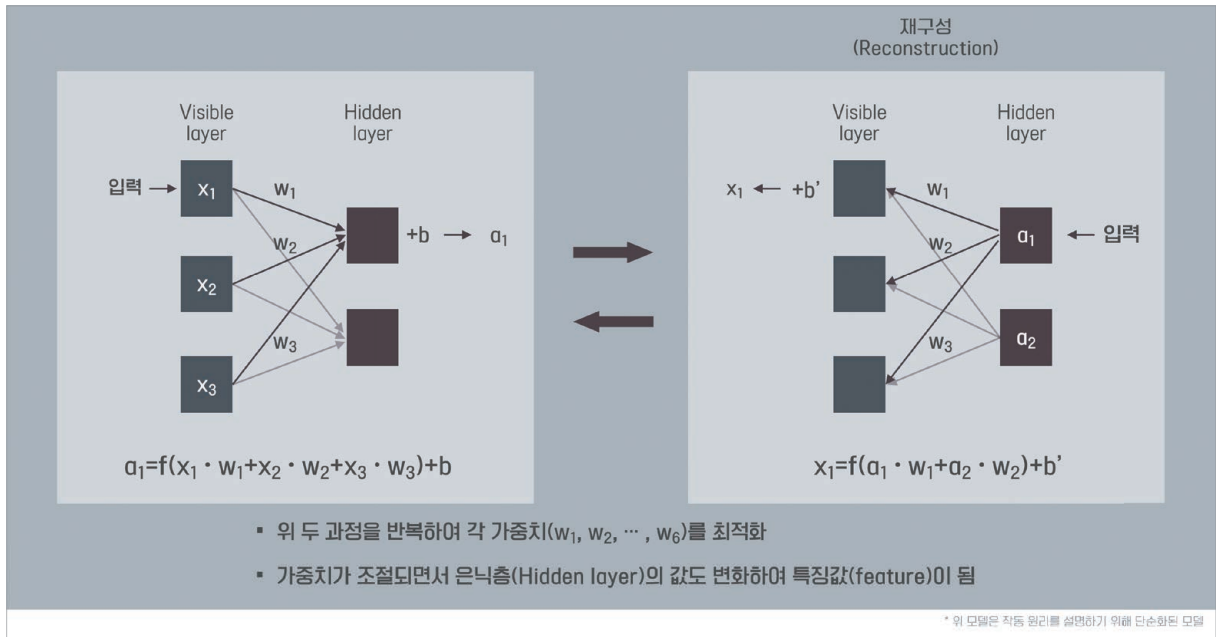


그림 6. RBM의 개념

RBM은 두 layer로 구성된 신경망 모델로, feature 값을 학습하기 위해 사용한다고 합니다. 두 가지를 선형적으로 혼합하는 방법을 통해 RMSE를 0.88(기존 대비 약 8%)까지 끌어내렸습니다.

하지만, 낮은 RMSE의 알고리즘은 넷플릭스가 추천 시스템을 개발하는 궁극적인 목표와는 달랐습니다. 추천 시스템의 정확도를 높이는 가장 확실한 방법은 대중적인 인기도에 따라 추천하는 방법일 것입니다. 대부분의 사람이 선호하는 만큼, 어떤 사용자도 선호할 가능성이 높기 때문입니다. 하지만 이것은 개인화 서비스와는 상반되는 개념이고, 개인화 서비스의 목표인 사용자의 체류 시간, 시청률 증가와 유의미한 관계가 있지도 않습니다. 즉, RMSE라는 지표는 넷플릭스가 원하는 추천 시스템으로 판별하기에는 다소 부족함이 있습니다.

이후, 넷플릭스는 다양한 가설을 세우고 테스트를 설계했습니다. 다양한 지표를 참조하고, 다양한 데이터를 활용했습니다. 이러한 과정을 수없이 반복했고, 이를 통해 정확성은 다양성, 유사성, 참신성과 같이 추천 시스템의 여러 요소 중 하나일 뿐이라는 것이 확인됐습니다. 이러한 과정을 통해, 알고리즘은 예측의 정확성이 아닌 사용자의 시청률 최적화에 초점을 맞추게 되었습니다.



그림 7. PT 토론

IBM의 설립자 왓슨은 “성공의 속도를 올리고 싶으면, 실패의 속도를 두 배 올려라.”라고 말했습니다. 넷플릭스는 ‘TOP 10 마라톤’이라 불리는 사내 해커톤 등 수많은 작은 실패들을 경험하고 있습니다. Netflix Prize 이후, 추천 알고리즘을 개선하는 것처럼 이런 실패와 도전들이 지금의 넷플릭스를 만든 원동력이 아닐지 생각합니다.

네이티브 프레임 레이트 재생

원본 정보

제목	Native Frame Rate Playback 네이티브 프레임 레이트 재생	
URL	https://netflixtechblog.com/native-frame-rate-playback-6c87836a948	

그림 8. 원본 링크

두 번째 사례는 영상의 프레임 레이트와 영상 출력 장치의 프레임 레이트가 일치하지 않아 발생하는 문제를 해결하는 과정을 소개하는 내용입니다. 과거 TV 방송 표준으로 NTSC 방식과 PAL 방식을 채택한 지역별로 TV의 주사율이 달랐던 것이 지금까지 이어져 오는 경우가 있기 때문입니다.

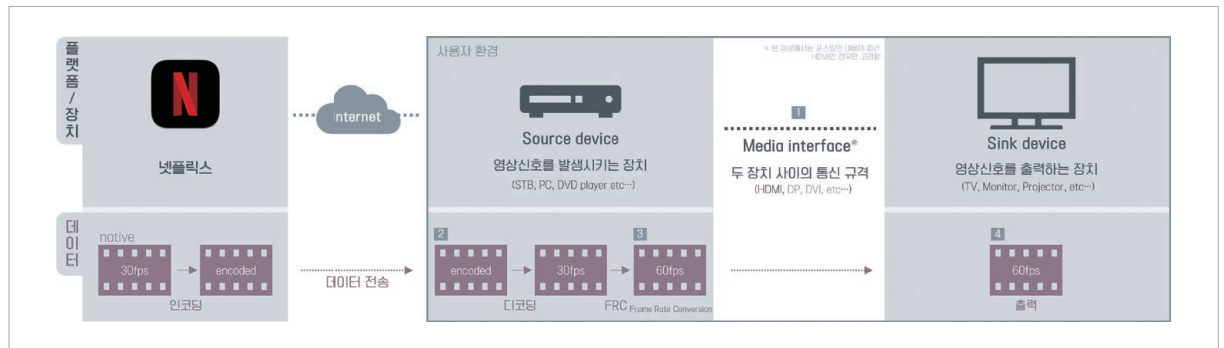


그림 9. 영상 출력 과정

설명에 앞서 자주 본 글에서 자주 사용하게 될 용어에 대한 정의를 하겠습니다.

- * **Frame rate** : 영상 데이터를 구성하는 이미지 프레임의 빈도수를 나타내는 수치. [fps, frame per second]
- * **주사율(Refresh rate)** : 영상 출력 장치가 영상의 프레임을 출력하는 빈도수를 나타내는 수치. [Hz]

[그림 9]는 넷플릭스 사용자가 영상을 시청하기까지의 과정을 장치 및 플랫폼 간의 신호를 중심으로 나타낸 개념도입니다. 사용자는 영상신호를 처리하고 출력장치에 신호를 발생시키는 장치인 소스 디바이스와 영상신호를 출력하는 장치인 싱크 디바이스로 미디어 환경을 구축하고 있습니다. 두 미디어 장치 간의 연결을 미디어 인터페이스라고 하는데, 흔히 사용되고 본 사례에서 다룰 예정인 HDMI인 경우를 고려하겠습니다.

1. HDMI로 연결된 미디어 환경에서는 HDMI의 통신 사양에 따라 DDC(Display Data Channel) 싱크디바이스가 지원하는 주사율이 포함된 장치정보 E-EDID(Enhanced Extended Display Identification Data)를 소스 디바이스에 전송합니다.
2. 사용자가 넷플릭스 콘텐츠를 선택하면, 영상이 소스 디바이스로 전송됩니다. 이때, 네이티브(원본) 영상은 용량이 매우 커 데이터 통신을 하기에 비효율적이므로, 인코딩을 통해 용량을 축소한 후 전송합니다. 소스 디바이스에 다운로드된 인코딩된 영상을 네이티브 영상으로 디코딩합니다.

3. 네이티브 영상의 프레임 레이트와 1번 과정에서 파악한 싱크 디바이스의 주사율이 일치하지 않는다면, 네이티브 영상의 프레임을 변환(FRC, Frequency Rate Conversion)합니다. 30fps 영상을 60Hz 모니터에서 출력하는 경우, 영상의 각 프레임을 복제하면 60fps의 영상을 만들 수 있어 60Hz 모니터에서 출력할 수 있습니다.
4. FRC를 통해 싱크 디바이스의 주사율과 프레임 레이트가 일치된 영상 데이터를 소스 디바이스에서 싱크 디바이스로 전송하면, 싱크 디바이스에서 영상을 출력합니다.

문제점 - FRC 변환 비율이 비정수배인 경우

앞선 3번 과정의 예시와 달리 영상의 프레임 레이트와 싱크 디바이스의 주사율이 다른 경우, 문제가 발생합니다. 24fps의 영상 데이터를 50Hz의 모니터에서 재생하는 경우를 예시로 들어 보겠습니다.

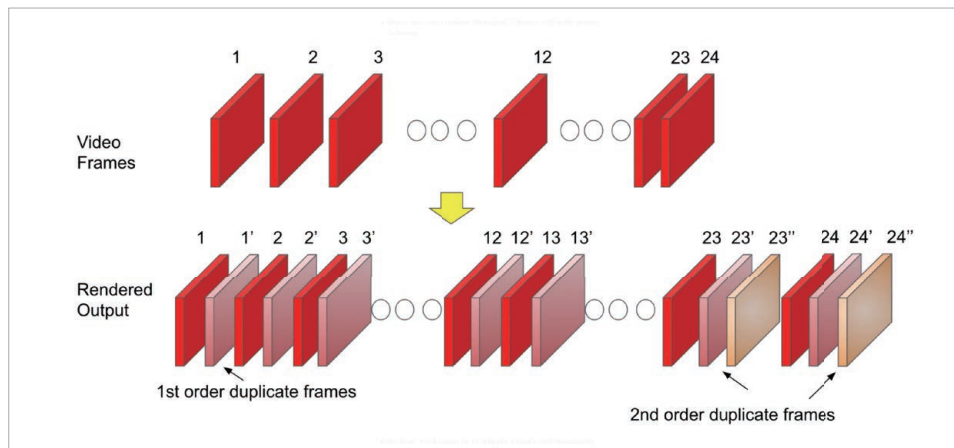


그림 10. 24fps → 50fps FRC 과정

1초 단위로 FRC를 수행하며, 원본의 1초에 해당하는 24프레임을 하나의 단위로 봅니다.

1. 원본 영상의 24개 프레임 모두를 하나씩 복제합니다. (전체 프레임 수 : 24 → 48)
2. 원본 영상의 23, 24번째 프레임을 하나씩 복제합니다. (전체 프레임 수 : 48 → 50)

이 방법으로 FRC 된 영상의 1초 동안, 원본 영상 1~22번째 프레임은 2프레임씩(2/50sec) 재생되지만, 23~24번째 프레임은 3프레임씩(3/50sec) 재생됩니다. 즉, 프레임 간 재생속도가 일정하지 않아 영상이 느려지거나 끊어져 보이는 현상인 'Judder'가 발생할 수 있습니다. 아래 QR 코드를 스캔하면 Judder 현상 유무에 따른 영상의 차이를 확인할 수 있습니다.



그림 11. 원본 영상



그림 12. Judder 현상



그림 13. HDMI Bonk 현상

해결책 1. HDMI의 프레임 레이트를 네이티브 프레임 레이트에 동기화(HDMI v2.1 이하)

넷플릭스는 이 문제를 해결하기 위해 3가지 해결책을 강구했습니다. 첫 번째는 HDMI의 영상 전송 프레임 레이트를 네이티브 영상의 프레임 레이트에 동기화하는 방법입니다. 이 방법은 근본적인 문제를 해결하는 방법으로 Judder 억제력이 뛰어나고, HDMI 인터페이스 환경에서 모두 사용할 수 있어 접근성도 뛰어나지만, 동기화에 따른 사용자 경험이 좋지 못합니다. HDMI 2.1버전 이하에선 프레임 레이트를 변경하기 위해선 데이터 전송 속도의 변경이나, 싱크 보정이 필요합니다. 이때, [그림 13]의 QR 코드의 링크와 같이 HDMI Bonk라고 불리는 검은 화면이 발생합니다.



그림 14. QMS를 이용한 프레임 레이트 전환

해결책 2. HDMI Bonk 현상 없이 HDMI의 프레임 레이트를 네이티브 프레임 레이트에 동기화 (HDMI v2.1 이상)

두 번째 해결책은 첫 번째 해결책과 근본적으로 같은 방법입니다. 다만, HDMI를 2.1 이상의 버전을 사용해 HDMI가 지원하는 QMS(Quick Media Switching)라는 기술로 HDMI Bonk 현상을 해소한다는 차이점이 있습니다. Judder 억제력은 기존과 같이 뛰어나고, HDMI Bonk 현상이 없는 QMS를 적용하여 사용자 경험도 뛰어나다는 장점이 있지만, 소스/싱크 디바이스가 HDMI 2.1b 이상을 지원해야 사용할 수 있는 솔루션입니다.

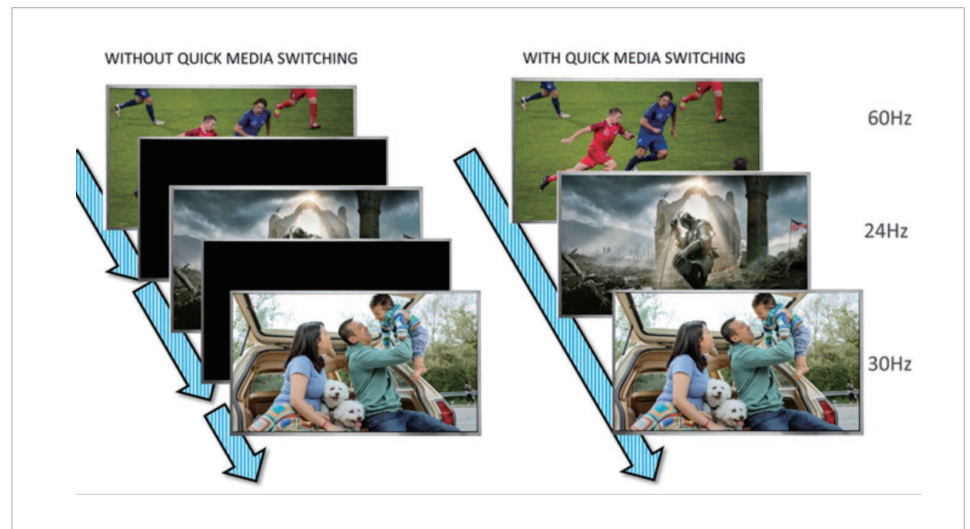


그림 15. QMS 기능의 개념도 / 출처 : www.hdmi.org/spec21sub/quickmediaswitching

해결책 3. 넷플릭스 앱을 이용한 FRC

세 번째 해결책은 앞서 소개한 방식과 조금 다른 FRC를 수행하는 방법입니다. 앞서 소개한 비정수배 FRC 과정에서 1초 단위의 FRC를 고려했습니다. 해당 솔루션은 FRC를 수행하는 주기를 1초 이상으로 설정합니다.

24fps 영상을 50Hz 모니터에서 재생하는 경우를 다시 한번 예시로 들겠습니다. 다만, FRC는 3초 단위로 수행합니다.

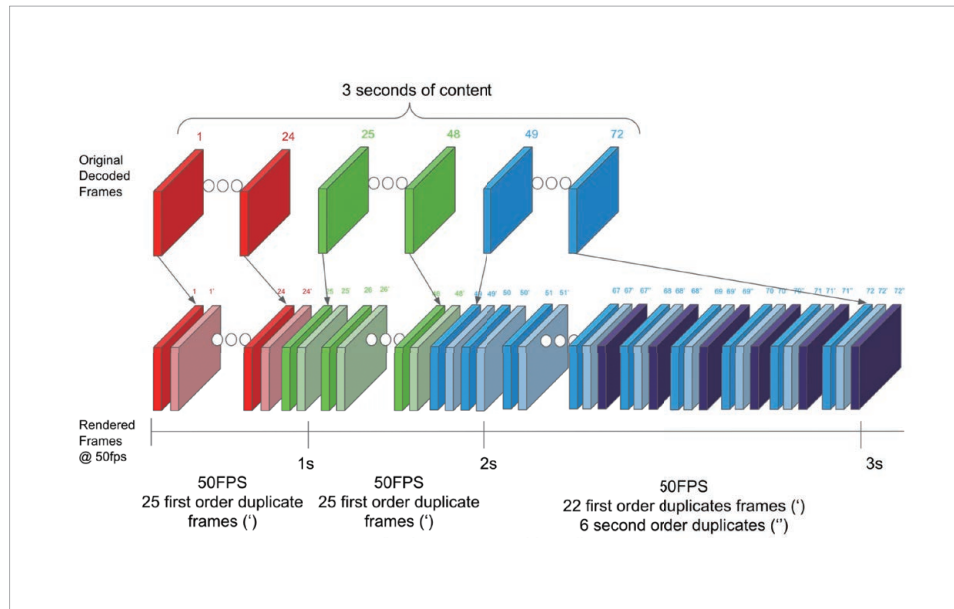


그림 16. 24fps → 50fps (3sec) FRC 과정

원본 영상 72프레임을 1~25번째 프레임(프레임 수 : 25), 26~50번째 프레임(프레임 수 : 25), 51~72번째 프레임(프레임 수 : 22)으로 총 3개로 구분합니다.

1. 1~25번째 프레임 모두를 하나씩 복제합니다. (프레임 수 : 25→50)
2. 26~50번째 프레임 모두를 하나씩 복제합니다. (프레임 수 : 25→50)
3. 51~72번째 프레임 모두를 하나씩 복제합니다. (프레임 수 : 22→44)
- 3-1. 이어서, 61~72번째 프레임을 하나씩 복제합니다. (프레임 수 : 44→50 / 총프레임 수 : 150)

이 방법은 FRC 된 영상의 0~2초 구간은 정수배 FRC이므로 Judder 문제가 발생하지 않습니다. 2~3초 구간에서만 비정수배 FRC를 수행했으므로 Judder가 발생하는데, 1초 간격 FRC보다 Judder의 발생 빈도수가 적어져 결과적으로 Judder를 완화할 수 있습니다. (원문에서는 Judder의 정도 또한 완화된다고 설명합니다.)

이 방법은 인터페이스의 프레임 레이트를 조정하는 방식이 아니기 때문에 Judder 억제력을 향상하는 것에는 구조적인 한계를 갖고 있지만, 인터페이스 종류나 버전에 관계없이 적용 가능한 솔루션이기 때문에 호환성이 뛰어나고, 깜빡거림이 없어 사용자의 경험에도 영향을 미치지 않습니다.

다만, 원본 영상과 FRC 영상의 시간 구분이 맞지 않아 다음의 표와 같이 재생속도의 차이가 다소 발생할 수 있습니다.

시간 구간 (FRC 영상 기준)		0~1초	1~2초	2~3초
Native 영상 (24fps)	프레임 수	25	25	22
	재생시간[sec]	1.04	1.04	0.92
FRC 영상 (50fps)	프레임 수	50	50	50
	재생시간[sec]	1	1	1
FRC 영상 재생속도 (native 영상 대비)		0.96배속	0.96배속	1.09배속

실제 적용 사례 - 사용자 경험을 우선으로

넷플릭스는 기술적 우선순위, 사용자의 사전 설정에도 불구하고 사용자의 환경에서 최상의 경험을 할 수 있도록 3가지 솔루션을 적절하게 선택합니다. 3가지 솔루션에 대한 기술적 설명에 따르면, 하드웨어적인 제한이 없는 경우엔 솔루션 2가 가장 이상적인 솔루션으로 생각됩니다. 하지만, 고객들의 브라우징 환경을 고려한다면 그렇지 않습니다. HDMI를 이용한 솔루션은 영상의 프레임 레이트뿐 아니라 싱크 디바이스로 출력되는 넷플릭스 앱의 UI 브라우징의 프레임 레이트에도 영향을 미치기 때문입니다. 넷플릭스는 같은 예시를 소개하고 있습니다.

1. 예고편이 다양한 프레임 레이트로 인코딩된 경우라면, 솔루션 1이 가능한 상황이라도 영상이 전환될 때마다 화면의 깜빡거림 때문에 UI 브라우징을 어렵게 할 수 있습니다. 때문에 이런 경우에는 낮은 Judder 억제력에도 불구하고 뛰어난 사용 경험을 위해 솔루션 3을 적용합니다.
2. 예고편이 낮은 원본 프레임 레이트로 재생되는 경우, 솔루션 2가 가능한 상황에도 UI 구성 요소의 프레임도 낮은 원본 프레임 레이트에 맞춰 사용자의 브라우징 경험에 영향을 미치기 때문에 솔루션 3을 적용합니다.

이처럼 넷플릭스는 영상 프레임 레이트와 싱크 디바이스의 주사율이 다르다는 문제를 해결하기 위해, 사용자 경험을 기준으로 다양한 해결책을 적용하여 해결했습니다.

마치며

이번 4부에서 소개한 두 가지 사례를 정리하면서 최근 읽은 애플 관련 기사가 생각났습니다. “애플은 왜 AI를 내세우지 않을까?”라는 제목의 기사로, 기술 자체보다 고객의 경험을 혁신하는 것에 더 큰 가치를 두기 때문에 AI를 내세우지 않는다는 내용이었습니다. 기업의 궁극적인 목적은 고객이 서비스나 제품에 만족하여 계속 찾도록 하고, 엔지니어는 기술을 통해 이를 실현하는 것이 제 역할일 것입니다.

이번 기고를 통해, 기술 트렌드에 대해 파악하고 기술을 이해하는 한편, 방송사의 목적과 방송 기술인의 역할에 대해 함께 고민할 기회가 되었으면 좋겠습니다. 📺

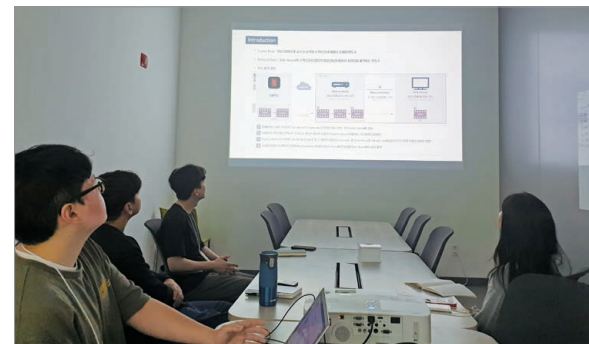


그림 17. PT 토론