

방송현장에서의 메타버스, 어디를 향해 달려가는 걸까? - 3

AR 콘텐츠 제작을 위한 준비 - MR, XR 제작의 현주소

글. 김제균 EBS 영상기술부

지난달에 이어 증강현실, AR을 살펴보겠습니다. AR도 VR과 같이 기술이며, AR 기술로 만들어진 결과물은 AR 콘텐츠이고, 이를 실감형 콘텐츠라 총괄합니다. AR은 VR처럼 다양한 제작 방식의 콘텐츠들이 혼용되어 언급되지는 않으며, 가장 많이 구현되는 형태는 실제의 환경 세계에 부가적인 가상 요소의 정보가 추가되는 방식입니다. 예는 다음 그림과 같습니다.



Panasonic Automotive AR HUD(좌), Apple Glass Concept Design(우)

실제의 환경 세계, 즉 현실 세계에 가상정보를 추가하려면, 현실을 인식하고 분석하여 가상 요소를 추가한 후 보여 주는 하드웨어가 필요합니다. 이 역할을 하는 장비가 초기 모바일 디바이스에서 HMD와 헤드셋, 글래스 타입으로 진화하고 있습니다.

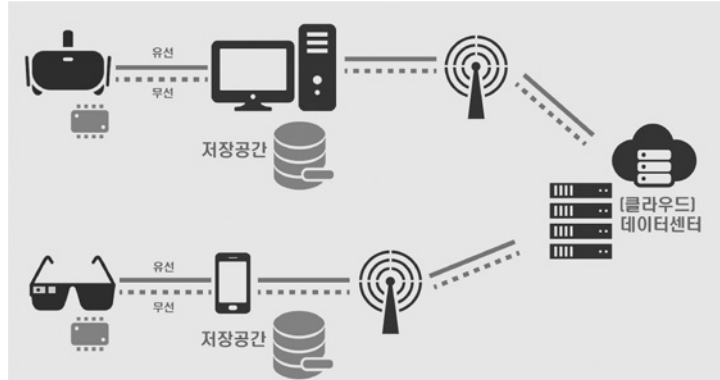


모바일 디바이스 기반의 AR 'Ikea Place' 앱 (좌), Google Glass (우)

AR 콘텐츠는 현재 HMD나 헤드셋 형태의 장비 위주로 구현되고 있지만, 고가이며 무겁고 장비에 종속적인 단점이 있습니다. 이 단점들이 개선된 구글 글래스와 출시 예정인 애플 글래스 같은 안경 타입의 장비를 사용하여, 장비에 종속적이지 않은 형태로 가볍고 편하게, 사용자의 현실과 환경을 감지하고 인지하며 상호작용하는 AR 기술로 구현될 수 있습니다. 현재로서는 이것이 가장 이상적인 형태입니다. 다시 말해 AR 글래스 형태로서 주 장비와의 유·무선 연결 등이 최소화된 통신 기반 독립형 모바일기기로 소형화, 경량화된 장비가 되어야 AR 콘텐츠를 편하게 즐길 수 있다는 것입니다.

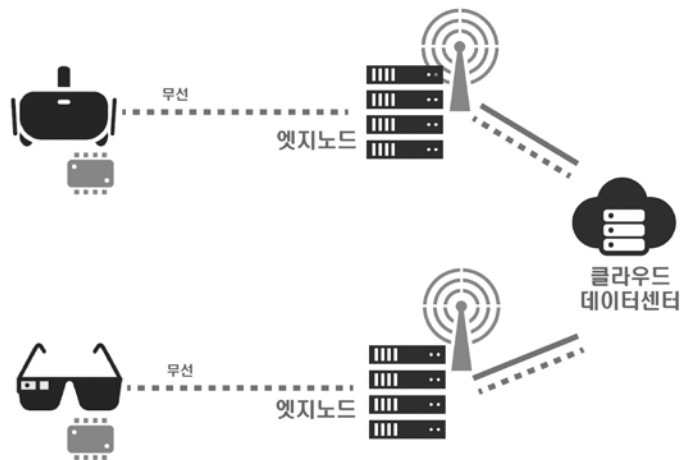
여기서 VR/AR 기술에 있어서 독립형이라는 개념을 알아보겠습니다. 기존의 VR/AR 콘텐츠는 장비 종속형입니다. 종속형이라는 것은 VR/AR 콘텐츠를 구현하기 위해 연산과 데이터가 송·수신되는 주된 장비, 즉 하드웨어가 별도로 필요하다는 것을 말합니다.

HMD나 웨어러블 테크놀로지, 센서 등의 부가적인 하드웨어들이 유·무선 형태로 데이터가 저장된 주 장비와 연결되어 연산 후 결과를 데이터센터와 직접 송·수신하며 콘텐츠를 사용하는 것입니다. 장비의 저장공간에는 VR/AR 콘텐츠가 구동·운용되기 위한 데이터가 이미 준비되어 있고, 유·무선으로 사용자의 입력과 환경에 감응하여 변화하는 값을 연산 후, 저장된 데이터를 사용하고 해석하여 콘텐츠가 구현되는 개념이 종속형입니다. 고품질의 온라인 PC게임이나 콘솔게임을 이용할 때 PC나 게임기의 로컬 저장공간에 구동에 필요한 데이터와 프로그램을 먼저 다운로드받거나 복사 및 설치한 후 로딩하여 이용하는 것과 비슷합니다.



종속형 VR/AR 콘텐츠 구현 개념도

그러나 장소와 장비의 제약 없이 자유롭고 편하게 VR/AR 콘텐츠를 이용하려면, 종속형과는 다르게 콘텐츠가 모바일 디바이스의 임시 저장공간에 구동과 구현을 위한 최소데이터만 남기고, 연산과 데이터처리를 클라우드 기반의 데이터센터에서 수행해야 합니다. 이때 생기는 과부하와 병목현상을 줄이고 충분한 데이터 전송속도를 확보하기 위해 HMD나 AR 글래스가 엣지노드(Edge Node)라고 불리는 컴퓨팅 장비와 직접 데이터를 송·수신하며 데이터를 엣지노드로부터 스트리밍 받는 방식이 독립형입니다. 5G 통신망을 활용하여 데이터 송·수신의 속도가 높아져 기술적 기반의 기초가 준비되었지만, 현재는 종속형 AR 콘텐츠가 주류입니다. 점차 독립형으로 전환되어야 합니다.



독립형 VR/AR 콘텐츠 구현 개념도

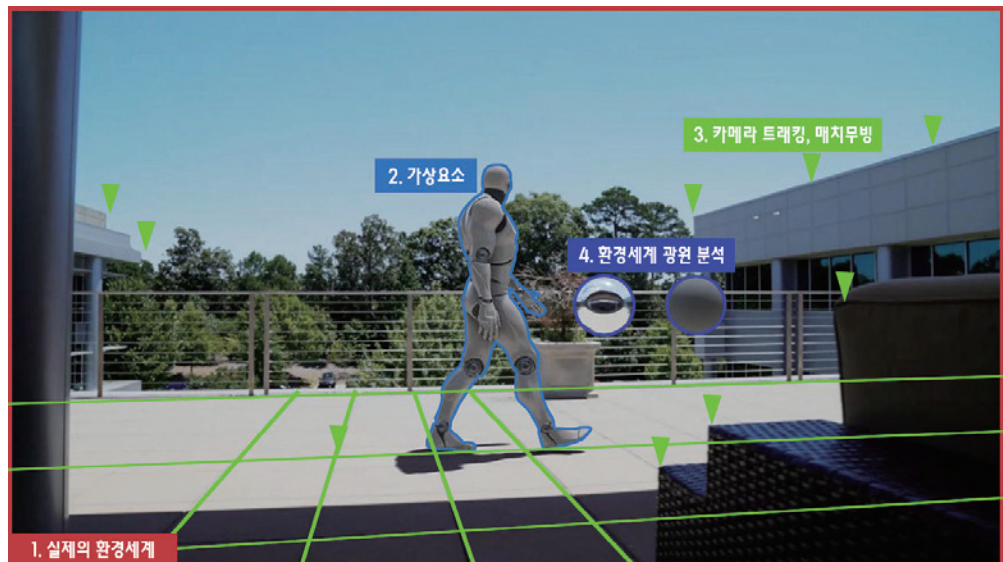
다음 페이지 그림은 Epic 사의 Unreal Engine 5.0을 발표할 때, 제공되었던 프로젝트 'Valley of the Ancients'입니다. 이 콘텐츠의 로컬 데이터 용량은 100GB(107,760,116,263바이트)입니다. 이런 고품질의 콘텐츠를 온라인 기반의 다중접속이 가능한 독립형 고품질 콘텐츠로 구현한다면, 엣지노드에서 얼마나 많은 데이터가 처리되어야 할지 상상이 되지 않습니다. 이와 같은 고품질의 VR 콘텐츠를 제작하고 구현하기 위해서는 고용량의 데이터가 필요합니다. 이에 비해 AR 콘텐츠



Unreal Engine 5.0 : Valley of the Ancients

츠는 상대적으로 필요한 데이터가 적습니다. AR 콘텐츠에서는 VR 콘텐츠에서 배경이 되는 부분이 현실로 대체되고, 1인칭 시점을 기준으로 가상의 요소가 추가되어야 하기에, VR에 비하여 저용량의 데이터로 구현이 가능합니다. 하지만 제작에 있어서 고려되어야 할 요소들과 과정은 많습니다.

그러면 AR 콘텐츠 제작에 있어서 필요한 요소들과 과정을 살펴보겠습니다. AR 콘텐츠 제작은 DCC와 VFX 분야의 합성(Compositing)작업을 이해한다면, 제작할 때 어떤 기능적인 단계나 기능들이 필요한지 생각할 수 있습니다. 합성도 작업의 종류에 따라 다양하지만, 실사 영상에 3D 그래픽으로 제작된 가상의 요소를 합성하는 과정이 AR 콘텐츠를 제작하는 것과 개념적으로 흡사합니다. 그 과정은 다음과 같습니다.



How Real-time Rendering Is Changing VFX And Animation Production, IAN FAILES 2017

1. **실제의 환경 세계** : DCC와 VFX에서는 합성을 위해 촬영을 한 영상소스(Footage)가 있어야 하며, AR에서는 광학기기를 통해 인식되는 환경 세계가 영상소스로 사용
2. **가상 요소** : 그래픽으로 제작된 가상 요소, 에셋(Asset) 형태로 작업 후 추가
3. **카메라 트래킹(Tracking), 매치무빙(Match moving)** : 환경과 지형, 사물을 인식하여 카메라의 이동과 가상의 요소가 합성될 올바른 위치, 배율, 방향을 설정하고 입체의 공간을 분석, 가상 요소가 위치할 지점(Anchor) 계산
4. **실제 환경 세계의 광원 분석** : 영상소스에서 광원의 위치와 종류, 광량, 주변 환경의 반사 처리를 위한

이미지 추출 후 연산하여 가상 요소에 적용

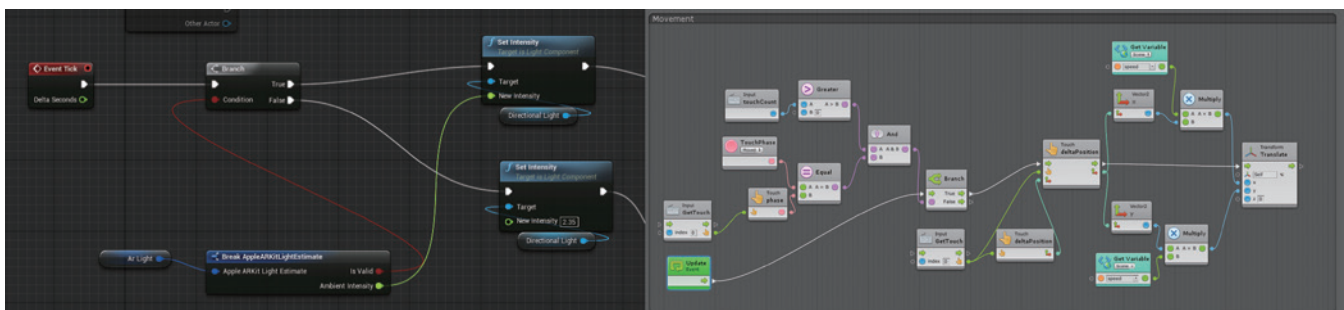
5. 최종결과물 합성 : 위 과정들의 연산 값으로 렌더링(Rendering)하여 최종결과물로 산출

이러한 개념적인 과정을 기본으로 AR 콘텐츠를 제작한다면, AR이 구현될 장비(AR 글래스나 HMD, 모바일 디바이스)와 AR 애플리케이션, 그리고 애플리케이션이 구동될 플랫폼이 필요합니다. 플랫폼은 하드웨어, 소프트웨어, 서비스플랫폼으로 구분되지만, 통합적인 개념으로 다양한 애플리케이션이 구동되는 소프트웨어 플랫폼의 범주로 생각해볼 것입니다. 앞서 VR과 AR이 기술, 콘텐츠, 플랫폼 중 어떤 범주에 포함되는지 알아보았습니다. 물론, 이미 답을 알고 있으나 아직 많은 사람과 매체에서 VR/AR을 플랫폼이라 일컫고 있습니다. 하지만 애플리케이션들이 구동되는 환경을 제공하는 역할을 하는 것이 플랫폼이기에, VR/AR을 플랫폼이라 하기에는 부족합니다. 또한 AR 애플리케이션 개발에는 SDK(Software Development Kit), API(Application Programming Interface), 라이브러리 등이 사용되고, 프레임워크, 아키텍처 등의 개발환경에 대한 이해도 필요합니다. 우선 SDK 위주로 모바일 기반의 AR 콘텐츠 개발을 생각해볼 것입니다.

AR 기술은 현실 세계를 이미지나 영상으로 처리, 인식하여 디지털정보로 변환, 분석하고 가상 요소를 추가하기 위해, AR 글래스나 HMD, 모바일 디바이스의 카메라 등의 하드웨어 사용 권한을 제어해야 합니다. 그리고 구글의 ARcore나 애플의 ARkit 등의 SDK를 이용하여 먼저 개발하고자 하는 플랫폼(안드로이드, iOS)을 선택한 후 개발을 진행합니다.

AR 애플리케이션 SDK로는 구글의 탱고 프로젝트(Project Tango)가 있었습니다. 하지만 이미지 기반으로 빠르고 쉽게 AR을 연산하고 구현하는 애플의 ARkit이 발표된 후, 구글은 탱고 프로젝트를 중단하고 ARcore 개발에 전념하여 ARkit과 함께 대표적인 SDK가 되었습니다. 또한 SDK만을 사용하여 개발하는 것보다 게임엔진인 Unreal과 Unity를 사용하여, 보다 쉽게 ARcore나 ARkit과 연동하고 확장하여 AR 애플리케이션 개발과 배포가 가능합니다. 앞에서 살펴보았던 합성의 개념적인 요소들은 ARkit이나 ARcore에서 함수 형태로 기능을 제공하고 있고, Unreal과 Unity에서도 함수 형태로 사용 가능하며, 코딩 기반이 아닌 노드(Node) 기반으로 개발도 가능하여 보다 쉽게 콘텐츠 제작이 가능합니다. 그리고 Spark AR 같은 소프트웨어를 사용하여 쉽고 편하게 AR 콘텐츠를 제작할 수 있는 환경이 제공되고 있습니다.

중요한 것은 구현하기 위한 도구가 아니라, 필요한 단계의 중요한 개념적 기능을 구현하기 위한 로직(Logic)입니다. 게임엔진과 제작소프트웨어 자체 편의성 신장과 기능확장으로 AR 콘텐츠 제작이 쉬워졌고, 구현 가능 범위도 넓어졌습니다. 즉 코딩이 가능한 프로그래머만의 전유물이었던 개발이 엔지니어, 그래픽디자이너, 기획자 등 코딩 능력이 부족하거나 없는 사람들도 확장되었습니다. 아이디어와 컨셉을 누구나 구체화하고 구현 가능하다는 것은 큰 변환점이라 할 수 있습니다.



Node 기반의 Unreal Blue Print(왼쪽)와 Unity Visual Scripting(오른쪽)

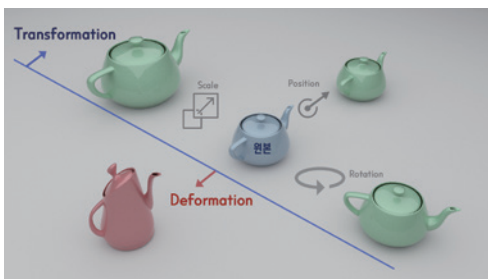


iPAD Pro의 LiDAR 스캐닝 기술이 적용된 Visual Live 사의 AR, 라이프로그킹과 융·복합된 Ghost Pacer AR

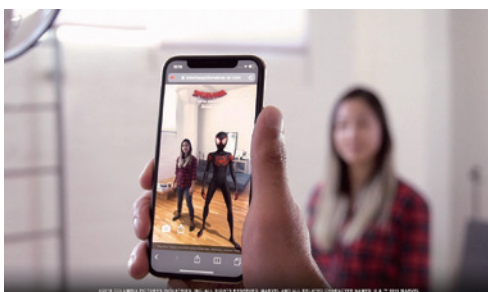
이런 특·장점을 기반으로 AR 기술은 초기 정보그래픽의 가상 요소를 추가하는 형태에서, 모바일 디바이스 및 하드웨어 발전과 함께 게임, 에듀테인먼트, 과학, 기술, 의학, 금융, 경제 등 사회 전 분야에서 걸쳐 사용되고 있습니다. 또한 모바일 디바이스를 활용했던 메타버스의 범주인 라이프로그킹과 융·복합되고, AI, 라이다(LiDAR, Light detection and ranging) 등의 기술과 접목하여 다양한 형태의 AR 콘텐츠로 폭넓게 사용되고 있습니다.



방송에서 사용되는 다양한 AR의 형태 / 제공 : zerodensity, Vizrt, abc



오브젝트의 변환과 변형의 비교



변형 애니메이션이 적용된 AR 콘텐츠 예, Sony Pictures : Spider-Verse Web AR Experience

방송에서의 AR은 초기 정보그래픽 위주로 뉴스, 기상정보, 스포츠 등의 코너와 올림픽이나 선거 등의 이벤트에 많이 사용되었고, 이를 계기로 많이 발전했습니다. 방송에서 AR을 구현하기 위해서는 VR 구현과 같은 환경의 카메라 트래킹 시스템과 Vizrt, Brainstorm, Pixotope, Zerodensity 등의 소프트웨어가 필요합니다. 초기 AR 콘텐츠가 정보그래픽 위주의 객체기반 AR로 사용되었던 이유는 소프트웨어에서 가상 요소가 되는 오브젝트의 위치, 크기, 회전의 변환값(Transform - Position, Scale, Rotation)만 애니메이션 된다는 제한성 때문이었습니다. 그래서 객체의 조합과 간단한 애니메이션으로 정보를 시청자에게 전달하는 형태로 많이 사용하였습니다. 그러나 일차적인 변환값에 의한 애니메이션만으로는 표현의 한계가 명확했으며, 캐릭터와 자연스러운 애니메이션이 적용된 가상 요소를 제작하기 위해, 변형(Deformation) 애니메이션이 필요했습니다. AR의 가상 요소를 변형하는 것은 초기형태의 VR/AR 소프트웨어에서는 표현이 불가능하였고, 점차 Plug-in 형태와 게임엔진과의 접목을 통해 변형 애니메이션을 지원하는 형태로 발전되었습니다. 물론, 게임엔진을 기반으로 한 AR 제작 소프트웨어는 보다 더 용이하게 변형 애니메이션을 지원하여, AR 콘텐츠 제작에 캐릭터 애니메이션 제작 능력이 필수가 되었습니다. AR에서 변

형 애니메이션 기반의 캐릭터는 MR, XR에서 더 포괄적인 기술로서 넓게 사용되고 있으며, 메타버스에서는 아바타 제작 기술로 연계되고 있습니다.

또한 LED와 연동하여 LED에서 보이는 영상과 같이 AR 가상 요소가 돌출되는 형태로 콘텐츠의 몰입성을 높이는 제작기법이 사용되고 있습니다. 이 기법이 CAVE(Cave Automatic Virtual Environment)로 소개되고 있으나, VR에서 살펴봤던 몰입형 LED 스크린이 진정한 의미의 CAVE 기술로 구현된 콘텐츠로 보는 것이 맞습니다.



Mediacorp in Singapore / 제공 : Vizrt



Differences between Bump vs Normal vs Displacement BY SPIDERLILI

AR 기술에서 고품질의 가상 요소를 만들기 위해 필요한 그래픽 기술들은 캐릭터 제작에 있어서 저용량 고품질의 콘텐츠를 만들기 위한 기술들이 활용됩니다. VR을 제작할 때 모델링으로 표현되지 않은 높낮이의 표현, 음영을 표현하기 위해 범프(Bump) 맵핑 등의 렌더링 기법을 사용하거나, 보다 진보된 디스플레이스먼트(Displacement) 맵핑이나 노



LOD 구현의 예, Levels of Detail & Polygonal Simplification

멀(Normal) 맵핑 기법을 사용하여 캐릭터의 품질을 높일 수 있습니다.

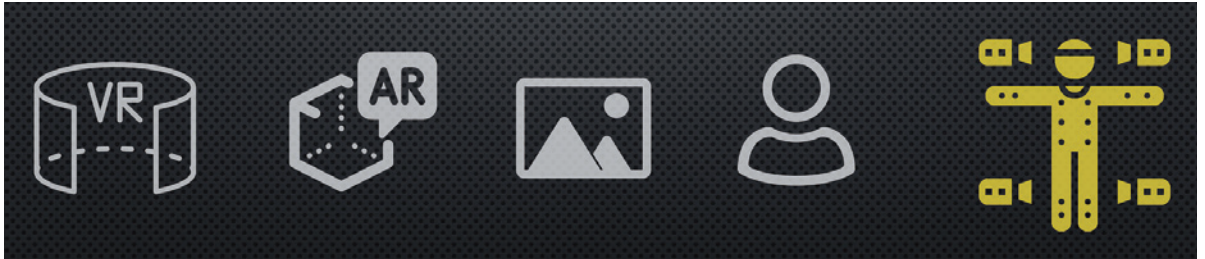
또한 LOD(Level of Detail) 기법을 사용하여 카메라와 피사체의 거리에 따라 근거리 샷에서는 고용량의 디테일한 가상 요소를 사용하고, 원거리 샷에서는 저용량의 가상 요소를 사용하여 콘텐츠를 구현하여, 지연이 없는 실시간 AR 콘텐츠를 제작할 수 있도록 효과적인 방법 등을 적절히 활용해야 합니다.



Magic Leap의 컨셉 영상(왼쪽)과 Magic Leap 1로 본 데모 영상(오른쪽)

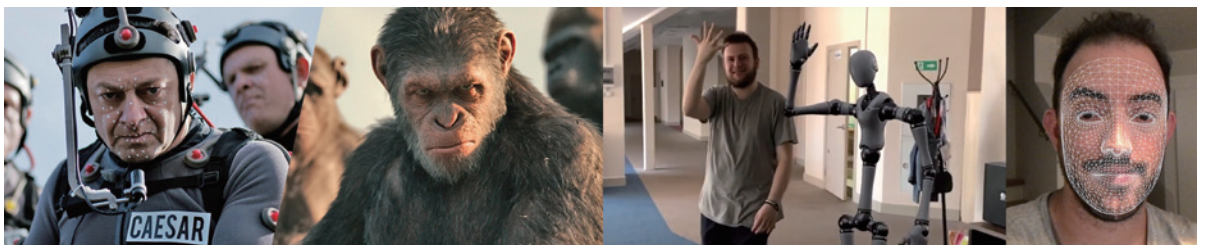
VR/AR의 개별 실감형 콘텐츠 제작기술은 각각의 기술을 좀 더 유연하게 사용자의 환경이나 요구, 필요에 따라 자유롭게 활용할 수 있는 MR 기술로 확장되었고, MR은 VR과 AR을 혼합해서 사용한다는 단순한 개념보다는 사용자와

환경을 인식하고 분석하는 기술을 접목하며 발전하고 있습니다. 사용자와 환경을 인식한다는 것은 VR/AR의 가상 요소와 사용자가 상호작용을 통해 콘텐츠를 체험하고 활용할 수 있다는 것입니다. 대표적인 MR 구현의 하드웨어로는 Microsoft 사의 Hololens 2와 Magic Leap 사의 Magic Leap 1, 2 등이 있습니다. MR도 기술이지만 개념적인 확장이라고 말씀드렸던 것 기억하시나요? 현재 MR 기술의 적용 예를 보면 HMD를 착용한 AR과 크게 다르지 않습니다. Magic Leap의 고래 영상을 보며, MS의 MR보다 훨씬 더 진보된 기술로 각광 받고, MR 기술의 실감형 콘텐츠를 사용하는 시대가 도래했음을 알렸습니다. 이것은 2016년의 일입니다. 그러나 구현 영상에서 보듯이 이상과 현실의 벽이 있다는 것을 알 수 있습니다.



VR, AR, 환경, 사용자, 캡처 기술과 같은 혼합현실(Mixed Reality)의 요소

MR은 VR과 AR 기술의 혼재가 아닌 사용자의 동작, 감정 등을 인지·분석하여 환경이 변화하고, 사용자와 상호작용을 하며, 콘텐츠가 구현되어야 하는 것이 핵심입니다. 사용자를 입력받아 분석하기 위해 MR 기술에서는 사용자를 캡처(Capture)하는 기술이 필요합니다. 사용자를 캡처하는 것은 동작과 표정을 인지하여 분석하고, 감응한다는 것인데, 이 기술은 이미 VFX나 DCC 분야에서 완성되어 있는 기술입니다. 물론 동작이나 표정의 단순한 캡처를 넘어서, 웨어러블 테크놀로지를 활용한 심박, 동공 캡처 같은 실험적인 기술들이 비약적으로 발전하기 전까지는 움직임 영상 신호 기반으로 캡처하는 기술들이 주가 됩니다. 초기의 고가장비를 통한 모션캡처(Motion Capture)와 얼굴캡처



VFX 분야의 Motion, Facial Capture(왼쪽)와 MR 기술에서의 Motion, Facial Capture(오른쪽)

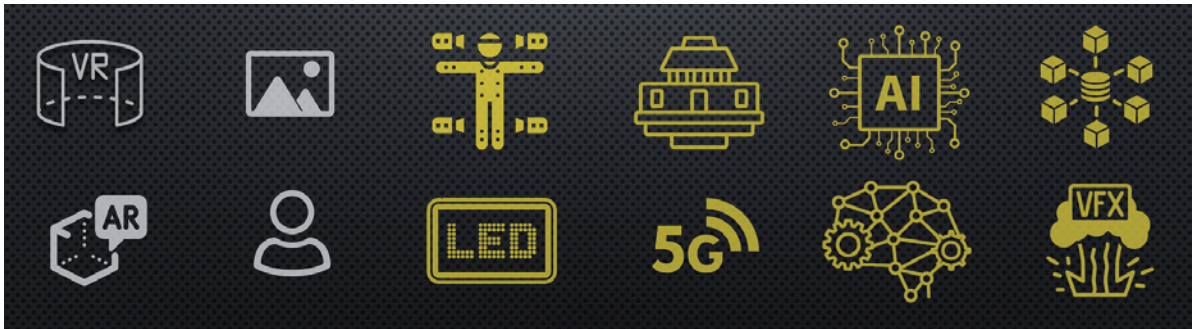


Volumetric Capture 예시 / 제공 : SK 점프스튜디오

(Facial Capture)는 현재 기능과 성능의 측면에서 더욱 향상되었으며, 모바일기기를 통해 간단하게 범용적인 동작과 표정의 캡처가 가능합니다. 또한 캐릭터의 부분적인 캡처 기술을 넘어 3차원 공간으로 캐릭터 전체를 캡처하는 기술인 Volumetric Capture 등이 도입되어 MR, XR Studio라는 이름으로 구축, 사용되고 있으며, 국내의 광고와 홍보영상, 음악쇼 등에 사용되고 있습니다.

MR 기술을 활용한 콘텐츠 개발에 필요한 요소들을 살펴보았으나 이상과 현실의 벽이 높다는 것을 확인했습니다. 현재 MR 콘텐츠와 기술들은 VR/AR 기술을 확장하거나, 실시간 특수영상 제작기술로 대체, 보완되어 사용되고 있는 것이 현실입니다.

이제 XR 기술을 알아보겠습니다. XR은 MR을 포괄한 확장의 개념이 XR입니다. VR, AR, MR 기술을 바탕으로 새로운 기술들과 융·복합되며 확장되는 모든 기술이 XR이고, XR 기술로 만들어진 콘텐츠가 XR 콘텐츠입니다. 그러나 MR보다 더욱더 넓은 범위의 개념적인 확장이기에 기술로 정의하는 것보다 플랫폼으로 정의하는 것이 더 적합한 콘텐츠입니다. 그 이유는 다양한 기술들을 활용하여 다양한 결과물의 형태로 모든 분야에 적용할 수 있기 때문입니다. XR에서는 MR의 요소(VR, AR, 환경, 사용자, 캡처) 외 다양한 4차 산업기술들이 XR의 요소가 됩니다.



VR, AR, 환경, 사용자, 캡처 기술, LED, 미디어파사드, 5G 통신, AI, 딥러닝, 빅데이터, VFX 등 확장현실(Extended Reality)의 요소들

XR 콘텐츠에서 LED 기술은 VR에서도 언급했던 것처럼 LED 기반의 XR 스튜디오라는 이름으로 국내에서도 방송사와 대형 광고영상제작 포스트 업체 등에서 구축하여 사용 중입니다. 이미 언급한 미디어파사드 분야에도 MR, XR 기술이 접목되어 다수의 프로젝트와 LED를 활용하며 nDisplay가 되는 환경으로 바뀌어 가고 있고, 다양한 입력과 캡처를 통해 환경과 사용자를 감응하는 MR, XR 콘텐츠로 변모하고 있습니다. 이는 초기에 CAVE라는 몰입형 현실환경으로 정의된 기술을 근간으로 HMD나 센서 등을 사용하여 상호작용하는 XR 콘텐츠로서, 미디어파사드도 LED 기술과 캡처 기술을 활용하여 사용자에 따라 변화하는 설치미술이나 미디어아트 등에 사용되며 확장되고 있습니다.



CAVE 기술(왼쪽), CAVE 기반으로 구현된 MR, XR 콘텐츠(가운데), XR 콘텐츠(오른쪽) / 제공 : HTC, NIST



EBS의 인공지능 학습 메이트 AI 팽톡

그 외 다른 분야에서 본격적으로 4차 산업혁명의 핵심기술들을 활용하여 XR 콘텐츠를 만드는 것은 현재 초기 단계이며, 앞으로 많은 시행착오와 노력을 통해 발전되어야 합니다. 기존에 없던 XR 콘텐츠를 만들겠다는 것보다 이미 있는 콘텐츠를 발전시키는 형태로 XR 콘텐츠를 만드는 것이 시작점이 될 수 있습니다. 예를 들어 올해 EBS에서 런칭한 ‘팽톡’이라는 애플리케이션이 있습니다. AI 기술을 활용하여 아이들이 팽수와 대화를 하며 영어를 배운다는 컨셉입니다. 이 콘텐츠의 현재는 AI 기반 교육 콘텐츠이지만, 몰입형 VR, AR 기반으로 환경과 사용자를 감응하는 형태로 발전한다면 MR 콘텐츠이고, AI 기술을 기반으로 하였기에 나아가 XR 콘텐츠가 되는 것입니다. MR, XR 콘텐츠에 대한 집중적인 투자와 개발은 현재 진행형이지만, 여러 곳에 혼재되어 있는 각 기술들이 이미 개발되어 사용되고 있습니다. 이것들을 융·복합하는 다양한 시도가 필요합니다.

또한, XR 콘텐츠는 5G 통신기술 기반의 독립형 실감형 콘텐츠가 될 수 있으며, AI 기술, 빅데이터, 딥러닝 등의 기술들과 접목되어 콘텐츠의 적용 범위와 사용 범위가 넓어집니다. 의료나 교육 분야에서 XR을 콘텐츠를 계획한다면, 각 분야의 표본 빅데이터를 활용하여야 하고, 그 빅데이터를 통해 사용자를 분석하고, 학습한 후 결과를 산출하는 딥러닝이 적용된 실감형 콘텐츠가 되어야 한다는 개념입니다. 물론, 말로 표현하는 것은 간단히 블록을 끼우는 것처럼 쉽지만, 구현하기 위해서는 각 기술을 활용한 기획능력, 구현능력, 제작능력, 운용능력 등이 모두 필요합니다.

마지막으로 영화나 광고시장에서 VFX라는 시각적인 특수효과로 표현되는 고품질의 영상을 제작하는 시각효과들이 XR, MR 콘텐츠에 접목되어 몰입성과 현실성을 극대화할 수 있는 중요한 요소가 되기에, VFX에서 사용되는 콘텐츠 제작기법과 제작 파이프라인 도입, 노하우 등 관련 기술에 대한 이해가 필요합니다. 근래 XR 콘텐츠 플랫폼이 되기 위해 투자하는 기업과 VFX 업체가 MOU를 체결하고, 국내 메이저 VFX 업체들이 상장하는 것은 XR 실감형 콘텐츠 분야에서 VFX가 갖는 의미와 역할, 중요도가 커지고 있다는 맥락으로 이해할 수 있습니다.

다음 달은 연재의 마지막으로 ‘메타버스의 현재와 미래’를 살펴보도록 하겠습니다. 감사합니다. 🐼

참고자료

1. 위키피디아 | 플랫폼, 디지털 플랫폼, Match moving, Bump mapping, Displacement Mapping, Normal Mapping, LOD(Level of Design), Cave automatic virtual environment
2. 엣지컴퓨팅이란 무엇일까? | <https://www.redhat.com/ko/topics/edge-computing/what-is-edge-computing>
3. ow Real-time Rendering Is Changing VFX And Animation Production | <https://www.cartoonbrew.com/tools/real-time-rendering-changing-vfx-animation-production-153091>
4. Understanding the Importance of Matchmoving for Integrating CG Elements into Live-Action Footage | <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/understanding-importance-matchmoving-integrating-cg-elements-live-action-footage>
5. Tech Art Tips & Tricks: All About Displacement, Height, Normal & Bump Maps | <https://spiderlilli.com/2020/03/01/tech-art-tips-tricks-all-about-displacement-normal-bump-maps>
6. HDRI Normal Map Blender by YeshuaNel on DeviantArt | <https://www.deviantart.com/yeshuanel/art/HDRI-Normal-Map-Blender-851818308>
7. Levels of Detail & Polygonal Simplification | <http://mkus.free.fr/CG/LODS/xrds>