



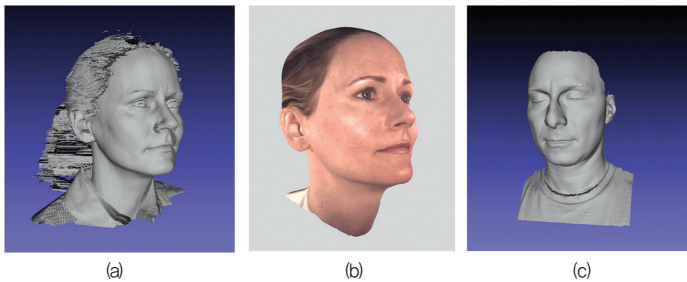
다시점 영상을 이용한 3D 복원 기술 : 3D 얼굴 복원 연구 동향 및 요소 기술

최근 광학 및 카메라 기술의 발달로 카메라의 해상도가 높아지고 가격대비 성능이 향상됨에 따라 이를 이용해 물체를 3D로 복원하려는 시도가 증가하고 있다. 이전 회에서 소개한 바와 같이 광학 장치를 이용한 물체의 3D 외형 복원은 레이저나 패턴광 기반의 능동 방식과 카메라로부터 획득한 영상을 기반으로 하는 수동 방식으로 분류할 수 있다. 능동 방식은 정확도가 높아 전부터 많이 활용됐으나 가격이 비싸고 사용이 어려운 단점이 있고, 수동 방식은 상대적으로 저가지만 영상의 해상도가 낮고, 처리에 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다. 하지만 최근에는 광학 소자 기술 발달 가속화로 능동 센서의 가격은 낮아지고, 카메라의 가격대비 해상도 및 성능이 향상되면서 물체의 3D 외형 복원에 관한 연구가 더욱 활기를 띠고 있다.

이런 추세에 발맞춰 본 원고에서는 인체의 얼굴을 대상으로 하는 3D 얼굴 복원 기술에 대한 연구 동향을 살펴보고, ETRI에서 개발한 리얼 3D 얼굴 복원 기술을 소개하고자 한다.

1. 능동 방식을 이용한 3D 얼굴 복원

능동 방식 중 전통적으로 많이 사용해 왔고 요즘에도 산업계에서 주로 사용하고 있는 것이 3D 스캐너를 이용한 방식이다. 3D 스캐너는 레이저를 물체에 투사하고 삼각측량을 통해 물체의 3D 정보를 획득하는 광학 장치로 영화, 게임과 같은 엔터테인먼트, 의학, 제품 디자인, 문화유산 보존 등 넓은 분야에서 이용되고 있다. 대상 물체의 크기에 따라 다양한 형태의 3D 스캐너가 존재하며, 기하 정보와 동시에 컬러 정보도 획득이 가능하므로 주로 물체의 정교한 3D 데이터를 얻기 위한 목적으로 사용된다. 최근에는 스캐너 장비 자체의 무게와 크기도 감소해 직접 손에 들고 스캔이 가능한 장비도 출시됐다. 그림 1은 상용 3D 스캐닝 장비를 이용해 스캔한 3D 얼굴 데이터를 보여준다¹⁾²⁾. 그림 1의 (a), (b)는 Cyberware사의 PX 스캐너로 획득한 데이터이며, (c)는 Artec MHTM 장비로 획득한 결과이다.



[그림 1. 3D 스캐너를 통해 획득한 얼굴 3D 데이터]

1) <http://www.cyberware.com>
2) <http://www.artec3d.com>

이러한 3D 스캐닝 방식은 한 번의 스캔으로는 정제된 데이터를 획득하기 어려우므로 여러 번 같은 물체를 스캔하고 결과를 목적에 적합하도록 다듬는 후처리 과정이 필수적이다. 장비의 가격이 고가일 뿐 아니라 전용 소프트웨어의 가격이 높고 이를 다룰 수 있는 인력이 필요하다. 또한, 정지된 물체일 경우에는 스캔의 정확도가 높지만 움직임이 있는 경우는 스캔이 힘들고, 검은 머리, 검은 눈동자 등 검은색이 존재하는 곳은 레이저가 흡수되어 스캔이 어려운 단점도 존재한다.

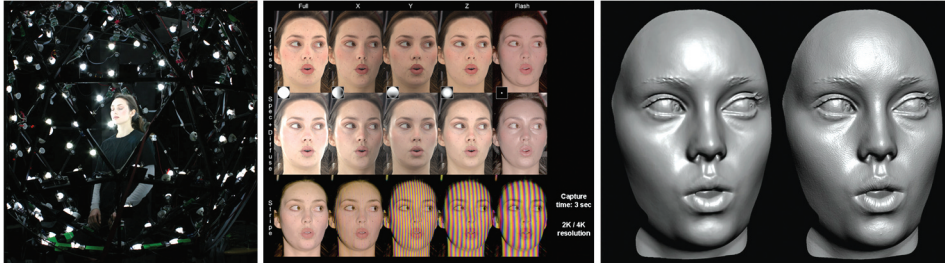
이와는 다른 접근으로 구조광(structured light)을 이용하는 방식도 많은 관심을 받아 왔다. 이 방식은 미리 고안된 2D 패턴을 정지된 물체에 투사하고 이를 카메라로 촬영해 패턴의 변형과 왜곡을 원본 패턴과 비교함으로써 물체의 3D 정보를 추출한다. 구조광을 이용하면 3D 스캐너에 버금가는 정확한 모델 획득 및 비교적 저가로 시스템 구성이 가능하다. 하지만 움직이는 물체는 복원이 불가능하고, 패턴 영상의 크기와 해상도가 복원 정밀도에 영향을 미치므로 고품질 복원 결과를 얻기 위해서는 고성능 프로젝터가 필요한 단점이 있다. 또한, 프로젝터, 패턴 획득용 카메라, 컬러 획득용 카메라 사이의 카메라 보정이 필수적이다. 그림 2는 구조광을 통해 실제 사람의 얼굴과 석고상을 스캔한 결과를 나타낸다.³⁾⁴⁾



[그림 2. 구조광 기반 3D 얼굴 복원 결과의 예]

- 3) J. Geng, "Structured-light 3D Surface Imaging: A Tutorial," *Advances in Optics and Photonics*, Vol. 3, Issue 2, pp. 128-160, 2011.
- 4) D. Crispell, D. Lanman, P. G. Sibley, Y. Zhao, and G. Taubin, "Beyond Silhouettes: Surface Reconstruction using Multi-Flash Photography," *International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission*, June 2006.
- 5) O. Alexander, M. Rogers, W. Lambeth, M. Chiang, and P. Debevec, "Creating a Photoreal Digital Actor: The Digital Emily Project," *European Conference on Visual Media Production*, 2009.
- 6) A. Ghosh, G. Fyfe, B. Tunwattanapong, J. Busch, X. Yu, and P. Debevec, "Multiview Face Capture using Polarized Spherical Gradient Illumination," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 30, Issue 6, December 2011.

구조광 방식 중 정밀도 측면에서 가장 성능이 우수한 방식은 편광 패턴(polarized light patterns)을 얼굴에 투영해 영상을 획득한 후, 다시점에서 정반사/난반사 성분을 분리하고 분리된 정반사 성분으로부터 얼굴 표면의 노멀 맵(normal map)을 분석해 외형의 디테일을 복원하는 접근이다⁵⁾⁶⁾. 대표적인 연구로 2008년 발표된 디지털 에밀리 프로젝트("The Digital Emily Project")를 들 수 있는데, 결과를 보면 복원한 배우의 얼굴과 실제 얼굴의 차이를 거의 구별하기 어려울 정도이다⁵⁾. 초기에는 약 150여 개의 LED 조명과 DSLR 카메라를 이용해 배우의 얼굴을 촬영했으나 최근에는 복원에 필요한 영상의 수가 15장 내외로 감소했다. 그림 3은 이를 위해 설치된 라이트 스테이지(light stage) 구조물과 획득한 입력 영상 및 복원 결과를 보여준다.



[그림 3. "The Digital Emily Project" 영상 획득용 라이트 스테이지, 획득 영상, 복원 결과]

모델의 기본적인 외형은 줄무늬 모양의 구조광 패턴을 사용해 복원하고, 얼굴 표면의 미세한 복원을 위해 LED 조명, 편광 조명하에서 획득한 영상으로부터 반사 성분을 분리한다. 분리된 정반사 성분으로부터 각 화소 위치에서 빛의 법선 벡터 방향을 계산하면 얼굴의 주름까지도 복원이 가능하다. 이 방식은 입력 데이터 획득을 위한 복잡하고 정교한 구조물과 이의 운용을 위한 전문 인력이 필요하며, 단계별로 최종 결과물의 품질을 높이기 위한 많은 자원이 필요하다. 따라서 복원 결과의 정확도와 품질이 중요하게 취급되는 영화 등의 응용 분야에서 주로 사용되고 있다. 이 연구는 능동 방식을 이용한 3D 얼굴 복원 분야에서 한 획을 그었다고 볼 수 있으며, 발표 이래 많은 연구의 비교 기준으로서 역할도 수행하고 있다.

한편, 복원의 정확도를 우선시하는 흐름과는 달리 최근 Microsoft사의 Kinect가 출시되면서 실시간으로 물체의 3D 정보를 추출할 수 있게 됐다. Kinect는 구조광 방식의 일종으로 랜덤 패턴을 물체에 투사하고 이를 캡처해 미리 정해진 규칙에 따라 분석함으로써 물체의 3D 정보를 유추한다. 초당 30프레임의 속도로 640x480 해상도의 깊이 및 컬러영상을 출력하는 Kinect의 등장으로 저가의 깊이센서 시대가 열렸다고 해도 과언이 아니다. Kinect는 가격대비 성능이 우수해 컴퓨터 비전 분야를 비롯한 다양한 영역의 연구를 가속화시키고 있다.

Kinect는 내부적으로 패턴을 투사하는 프로젝터와 투사된 패턴 영상을 획득하는 카메라, 그리고 컬러정보를 획득할 수 있는 RGB 카메라로 구성되었다⁷⁾. 하지만 인체 동작의 인식을 기본 목적으로 하므로 Kinect만으로 3D 복원을 수행하기 위해서는 카메라 보정을 별도로 수행해야 한다. 또한, 측정 거리의 제약이 존재해 약 1미터 이상 3.5미터 이내에서 비교적 정확한 깊이정보 추출이 가능하므로 근거리에서 얼굴의 3D 정보를 획득하는 데는 어려움이 있다.

최근에는 앞서 언급한 이동식 3D 스캐너와 유사하게 Kinect를 손에 들고 움직이면서 정지된 물체를 여러 번 스캔하면 실시간으로 물체의 외형을 3D로 복원하는 연구가 발표됐다⁸⁾. KinectFusion이라 불리는 이 방식은 부정확한 깊이값을 보상하기 위해 물체를 반복적으로 스캔한다. 각 스캔에서 실시간으로 출력되는 깊이정보를 3D 정점으로 변환하고 이 정점들을 실시간으로 정합(registration)함으로써 물체의 외형을 3D로 복원한다.

물체의 깊이정보를 초당 30프레임의 속도로 얻을 수 있으므로 물체에 작은 움직임이 있어도 프레임 정보를 누적해 이를 일부 보상할 수 있다. 또한, 복원 결과를 사용자의 움직임에 따라 바로 확인할 수 있으므로 복

7) <http://www.microsoft.com>

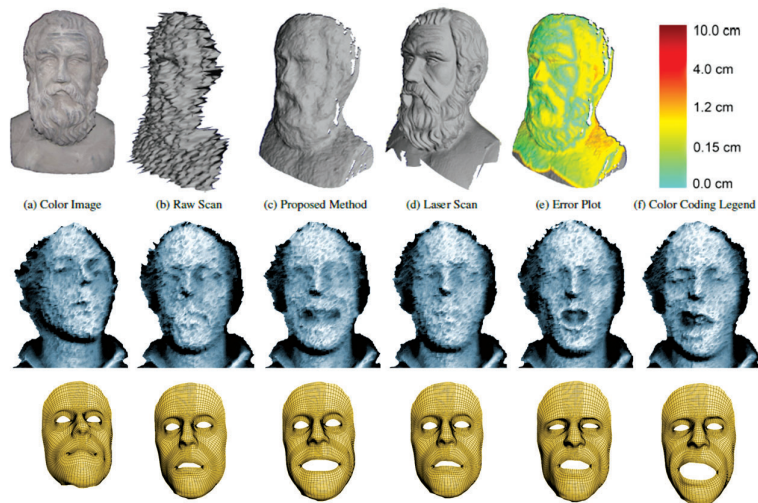
8) S. Izadi, R. A. Newcombe, D. Kim, O. Hilliges, D. Molyneaux, S. Hodges, P. Kohli, J. Shotton, A. J. Davison, and A. Fitzgibbon, "KinectFusion: Real-Time Dynamic 3D Surface Reconstruction and Interaction," ACM SIGGRAPH, August 2011.

원이 불안정한 부분에서는 스캔 횟수를 늘림으로써 최종 결과의 품질을 향상시킬 수 있다. 현재는 Kinect 센서의 제약으로 측정 거리에 한계가 있지만 향후 이 제한이 완화되면 충분히 저가의 개인용 3D 스캐너로도 사용될 수 있을 것이다.

실질적으로 물체의 깊이정보를 실시간으로 획득할 수 있게 된 것은 Kinect의 출시 때문만은 아니다. 적외선이나 초음파 등을 물체에 투사하고 이들이 돌아오는 시간을 계산하는 방식으로 물체의 3D 정보를 실시간으로 획득하는 방식에 관한 연구도 지속적으로 수행돼 왔으며, 이를 ToF(Time-of-Flight)기반 방식 또는 깊이 카메라 방식이라고 일컫는다.

수년간 깊이 카메라의 가격이 수천만 원에서 수억 원에 이르는 고가였기 때문에 이를 활용한 연구가 범용적으로 수행되지는 않았지만, ToF 방식은 실시간으로 물체의 깊이정보를 추출할 수 있어 3D 장면 복원 등에 사용돼왔다. 실내에서만 동작이 가능한 Kinect와 달리, ToF 방식은 환경 제약이 상대적으로 적다. 또한, Kinect와 달리 동기신호를 받을 수 있어 송출 신호의 간섭이 없는 범위 내에서는 몇 대의 깊이를 카메라를 동시에 설치해 움직이는 장면을 캡처할 수 있다. 하지만 노이즈에 매우 민감해 후처리가 필요하며, 최근 출시된 깊이 카메라들은 대부분 해상도가 176x144 등으로 매우 낮은 단점이 있다.

깊이 카메라는 주로 작은 물체의 3D 외형 복원이나 스캐닝보다는 3D 장면(scene)의 깊이정보를 추출하거나 물체의 실시간 움직임 정보를 3D로 추출하는데 많이 이용돼 왔다. 특히, 근거리 물체 촬영 시에는 카메라의 왜곡과 노이즈에 민감한 문제가 있어 왜곡 보정 및 후처리가 필요하다. 최근에는 이런 단점들을 어느 정도 해소하면서 깊이 카메라를 이용해 근거리 물체의 외형을 3D로 복원하는 연구가 발표됐다⁹⁾¹⁰⁾. 그림 4에서처럼 원본 데이터는 노이즈에 민감한 성향을 보이지만 실시간으로 깊이정보가 추출되는 점을 이용해 카메라 또는 물체를 이동시켜 획득하는 정보의 양을 늘릴 수 있다. 그 후 영상처리 기법으로 깊이 맵의 해상도를 높이고 시점별 정보를 정합함으로써 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.



[그림 4. 깊이 카메라를 이용한 인체 상반신 및 3D 얼굴 모델 복원 결과]

9) Y. Cui, S. Schuon, D. Chan, S. Thrun, and C. Theobalt, "3D Shape Scanning with a Time-of-Flight Camera," Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1173-1180, June 2010.

10) M. Breidt, H. H. Bulhoff, and C. Curio, "Face Models from Noisy 3D Cameras," ACM SIGGRAPH ASIA Sketches, 2010.

2. 수동 방식을 이용한 3D 얼굴 복원

수동 방식을 이용한 3D 물체 복원은 주로 카메라로부터 획득한 여러 장의 영상으로부터 물체의 3D 정보를 추출한다. 능동 방식은 카메라가 고정된 상태에서도 광학 신호를 수신해 물체의 3D 정보를 획득할 수 있으나, 수동 방식은 카메라를 이동하거나 여러 대의 카메라를 사용해서 한 물체나 장면을 촬영하고 각 영상에서 대응관계를 계산해 3D 정보를 유추한다. 카메라의 움직임과 위치뿐만 아니라, 영상마다 물체에 대한 대응관계를 추적해야 하므로 영상의 해상도와 영상 특성에 영향을 받을 수밖에 없고, 계산 시간도 많이 소요된다.

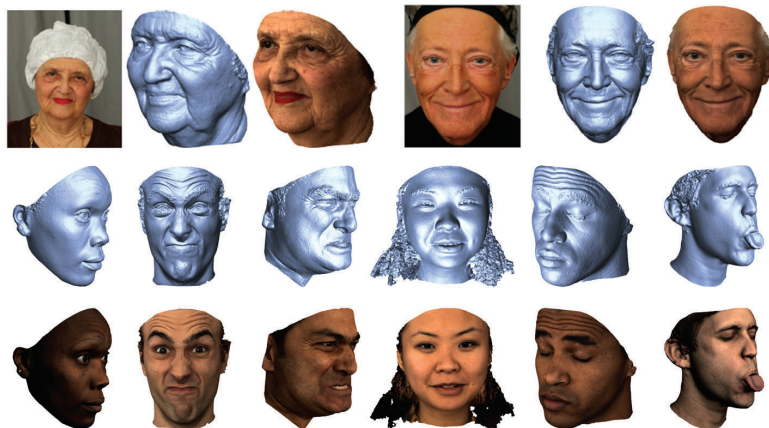
전통적으로 많은 연구가 진행되어 온 분야로는 카메라를 이동시키면서 건물이나 특정 지역을 촬영해 이를 3D로 복원하는 structure from motion, 유사한 대상을 촬영한 여러 영상으로부터 대응관계를 계산해 대상을 복원하는 다시점 스테레오 방식이 있다. 또한, 정지된 조형물 등을 대상으로 물체가 존재하는 공간을 가정하고 이를 복셀(voxel)이라는 작은 육면체로 분할한 후 각 복셀의 공간 점유 여부를 확인함으로써 물체의 3D 정보를 추출하는 복셀 컬러링, 공간 조각 방식(space carving), 하나의 물체를 두 대의 카메라로 촬영해 화소 단위 영상 간 대응관계를 계산해 3D 정보를 추출하는 스테레오 정합 방식 등이 있다.

이중 스테레오 정합 방식은 100년 이상의 역사를 가지지만 그동안 낮은 해상도, 높은 계산 부하로 인한 긴 처리 시간, 평면이나 단일 색상 영역인 경우 정합이 어려움 등 이유로 물체의 3D 외형 복원보다는 대략적인 깊이나 물체 사이 거리 관계 유추 등에 주로 사용돼 왔다. 하지만 최근 컴퓨팅 성능 및 가격대비 카메라 성능의 향상으로 고해상도 영상 획득과 처리가 수월해짐에 따라 스테레오 기반 3D 물체 복원에 대한 연구 결과가 속속 발표되고 있다.

그 중 3D 얼굴 복원과 관련된 대표적인 연구로 여러 대의 DSLR 카메라를 사용해 사용자의 얼굴을 촬영하고 두 대의 카메라 영상 단위로 스테레오 정합을 수행한 후, 시점별 정합 결과를 하나로 합성(merging)해 얼굴을 복원하는 방식이 있다¹⁾. 이 방식은 DSLR 카메라를 사용해 입력 영상의 해상도를 2K급 이상으로 높이고, 조명 조건을 일반적인 실내 환경으로 설정해 갑작스러운 조명 변화를 제한했으며, 얼굴에 적합한 카메라 보정용 기구를 고안함으로써 카메라의 정확한 위치와 방향을 계산했다.

1) Beeler, B. Bickel, P. Beardsley, B. Sumner, and M. Gross, "High-Quality Single-Shot Capture of Facial Geometry," ACM Transactions on Graphics, Vol. 29, Issue 4, July 2010.

구체적으로 살펴보면 우선 여러 대의 카메라들로부터 획득한 두 장의 영상마다 스테레오 정합을 수행한다. 이때, 입력 영상의 해상도에 대한 번만 정합을 수행하는 것이 아니라 영상 해상도를 미리 정한 몇 단계로 나누고 가장 작은 단계에서 상위 단계로 정합을 수행해 나가면서 정합 조건(constraint)을 확인하고 정제(refinement)하는 과정을 반복한다. 특히 사람의 얼굴은 깊이 값의 변화가 급격한 영역보다는 부드럽게 변하는 영역이 많기 때문에 피라미드 식 정합과 정제 과정을 통해 정합 오류를 최소화할 수 있다.



[그림 5. 다단계 스테레오 정합 기반 3D 얼굴 복원 결과]

이렇게 시점별로 얼굴에 대한 깊이 맵을 계산한 후에는 카메라 보정을 통해 계산한 카메라 내/외부 보정 인자를 사용해 이를 3D 메쉬 모델로 변환한다. 시점별로 복원된 데이터의 정합과 합성을 통해 하나의 메쉬 모델을 생성한 후, 획득한 고해상도 입력 텍스처 정보를 기반으로 3D 모델의 각 정점 위치를 법선 방향으로 미세하게 조정한다. 이와 같은 복원 모델의 표면 정제(surface refinement) 과정을 반복 수행하게 되면 얼굴의 주름이나 땀구멍 수준까지 표현이 가능하게 된다. 이때 더해지는 미세 기하 정보는 텍스처를 기반으로 의사적으로 유추한 결과이므로 물리적인 정확도를 측정하기는 어렵지만, 그림 5의 결과에서 확인할 수 있듯이 복원된 3D 얼굴의 주관적인 품질(subjective quality)은 상당히 우수하다.

최근 발표된 이 연구는 수동 방식을 이용해 얼굴의 외형을 밀리미터 이하 수준까지 정밀하게 복원한 대표적인 경우로, 스테레오 기반 방식으로도 능동 방식에 필적할 만한 복원 결과를 얻을 수 있다는 것을 입증한 예이다. 물론 고해상도 영상을 사용하고 3D 표면 정제 등 복잡한 단계를 거치므로 처리 시간은 수십 분 정도 소요된다. 또한, 여러 하이엔드 DSLR 카메라의 사용으로 시스템 구성에 필요한 가격도 수천만 원 수준으로 아직은 고가이다.

이 연구를 기반으로 2011년에는 정지된 얼굴뿐만 아니라 움직이는 얼굴 표정을 3D로 복원하려는 노력이 수행되었다¹²⁾. 능동 방식의 단점 중 하나는 움직이는 물체의 경우 마커를 부착해 이를 추적하는 방식을 사용하지 않으면 복원이 힘들다는 점인데, 제안 방식은 마커 없이 프레임 단위의 복원 기법으로 움직이는 표정을 3D로 복원했다는 점에서 의의가 있다.

처리 시간 등의 이유로 모든 프레임을 3D로 복원하지는 않고, 동영상 프레임을 분석해 표정이 바뀌는 부분, 변화가 심한 프레임 등을 추출해 이를 기준 프레임으로 선택한다. 기준 프레임들을 다단계 스테레오 방식으로 3D로 복원하고, 중간 프레임은 기준 프레임들로부터 보간한다. 이를 위해 프레임 간 대응 관계 추적 기법 등이 추가로 사용되었으며, 동기화된 입력 영상 획득을 위해 산업용 카메라를 사용한 것이 기존과 다른 점이다. 결과적으로 영상 해상도 감소로 얼굴 표면의 미세한 기하정보 복원은 힘들지만, 기존에 디자이너의 수작업을 통한 3D 애니메이션 방법과 달리 실제 촬영한 모델의 움직임을 프레임 기반으로 복원하므로 애니메이션의 자동화가 가능해졌다는 측면에서 장점과 잠재력이 있다고 볼 수 있다.

이렇게 수동 방식을 이용한 3D 외형 복원 연구가 새롭게 주목을 받게 되면서, 스테레오 정합 기술을 기반으로 인체 얼굴 및 상반신의 3D 외형, 움직임을 복원하는 상용 제품도 출시되었다. 영국의 Dimensional Imaging사는 다시점 DSLR 카메라 세트와 산업용 카메라 세트 기반으로 스테레오 정합, 시점별 복원 결과 정합, 합성 과정을 거쳐 3D 얼굴을 복원하는 제품과 복원 모델을 다른 모델로 전이하고 편집할 수 있는 제품을 판매하고 있다¹³⁾.

12) T. Beeler, F. Hahn, D. Bradley, B. Bickel, P. Beardsley, C. Gotsman, R. Sumner, and M. Gross, "High-Quality Passive Facial Performance Capture using Anchor Frames," ACM Transactions on Graphics, Vol. 30, Issue 4, July 2011.

13) <http://www.di3d.com>

3. ETRI 3D 얼굴 복원 기술

앞서 설명한 바와 같이 스테레오 방식에 기반한 3D 얼굴 복원 기술이 새롭게 관심을 받고 있지만, 대부분 여러 대의 DSLR 카메라 및 산업용 카메라 기반 고가(Dimensional Imaging사의 제품 기준 수천만 원에서 수억 원)의 시스템이다.

또한, 적어도 2m x 2m 이상의 설치 공간이 필요하고 이동성이 떨어지며, 설치 장소에 따라 조명 조건을 설정해야 하는 등 제약이 존재하는 단점이 있다. 이는 관련 주요 연구가 영화나 게임 산업에서 기존에 사용돼 온 3D 스캐닝 시스템이나 구조광 기반 시스템을 대체하기 위해, 이와 유사하게 높은 해상도와 정밀도를 갖는 3D 모델을 생성하기 위한 목적으로 진행되고 있기 때문이기도 하다.

한편, 최근에는 이런 연구방향과는 달리 스마트폰 카메라나 디지털 카메라를 통해 영상을 얻고 이로부터 빠르고 간편하게 저품질 3D 얼굴 모델을 복원하려는 시도도 많아지고 있다. 하지만 재미 위주의 시도를 넘어 다양한 산업 분야에서의 응용을 고려하면 응용 분야에 맞게 단계별로 품질 조절이 가능하며 시스템의 설치 제약이 적고, 이동성과 간편성을 확보하면서도 일정 수준 이상의 품질을 제공할 수 있는 저가형 3D 얼굴 복원 시스템에 대한 요구사항이 존재한다. 예를 들어, 뷰티나 마용 분야에서는 아직 2D 기반의 사진을 중심으로 피부 분석 등을 수행하고 사용자들에게 정보를 제공해 왔으나, 요즘에는 이를 3D로 확장하려는 움직임이 증가하고 있다. 또한, 성형 등 의료 분야에서도 성형 전후 환자의 변화 모습을 짧은 시간 안에 3D로 복원해 상담에 이용하려는 시도도 늘고 있다. 이러한 다양한 응용을 목적으로 ETRI에서는 저가형 웹캠, 산업용 카메라, DSLR 카메라 등 입력 장치를 다변화하고 용도에 따라 3D 얼굴 복원 모델의 해상도를 조절할 수 있는 기술을 연구 중이다.

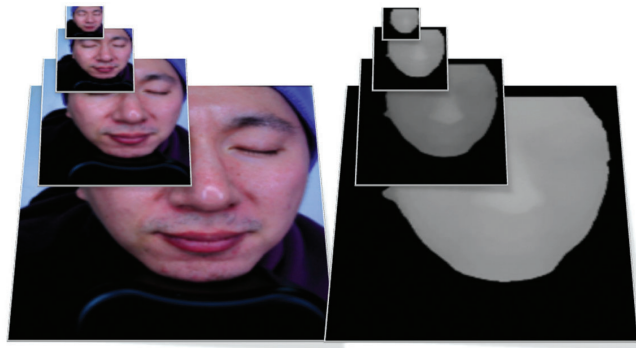
ETRI에서 연구 중인 리얼 3D 얼굴 복원 기술은 수동 방식의 일종이며, 기본적으로 스테레오 영상을 입력으로 사용한다. 그림 6은 ETRI에서 개발한 3D 얼굴 복원 시스템의 전체적인 복원 과정을 나타낸다. 입력된 스테레오 영상을 이용해 각 시점별로 스테레오 정합을 통해 변위 맵을 생성한다. 생성된 변위 맵을 사전에 카메라 보정 작업을 통해 얻어진 카메라 보정 인자를 사용해 격자형 부분 3D 메쉬로 변환한다. 변환된 시점별 부분 3D 메쉬를 정합 과정을 통해 공통 좌표계상에 정치시키고 모든 격자형 부분 3D 메쉬를 합성해 통합된 새로운 메쉬로 변환한다. 합성된 메쉬에 촬영된 영상과 카메라의 위치 및 방향 정보, 각각의 메쉬에 대한 법선 벡터를 이용하여 최적의 텍스처 맵을 생성함으로써 기하학적 형태를 나타내는 3D 메쉬와 얼굴 질감을 표현하는 텍스처 맵으로 구성된 3D 얼굴 외형 데이터를 생성한다.



[그림 6. 스테레오 기반 3D 얼굴 복원 과정]

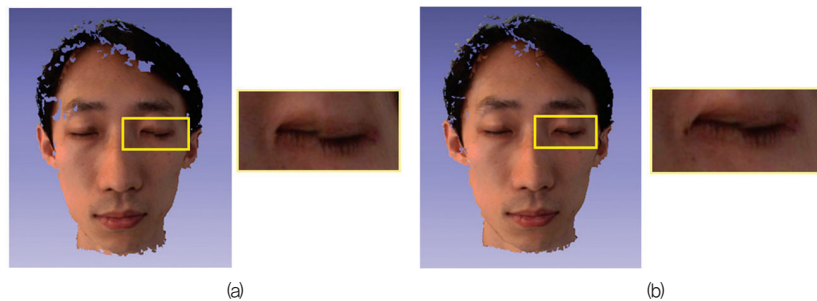
3D 얼굴 외형 복원을 위해 필요한 스테레오 영상은 고해상도(1600x1200) 영상을 촬영할 수 있는 웹캠으로 구성된 스테레오 카메라 2조를 사용해 촬영된다. 배경은 전배경 분리를 용이하게 하기 위해 크로마키 배경이 사용될 수 있다. 제안 시스템과 같이 조명 변화에 강인한 스테레오 정합 기술이 적용된 경우에는 부가적인 제어 조명 없이 촬영이 가능하며 필요에 따라 적절한 지속광 또는 스트로브 조명 이용도 가능하다. 또한, 카메라 내/외부 보정 인자를 계산하는 카메라 보정 작업은 격자 패턴 또는 동심원 패턴 등을 사용해 수행할 수 있다. ETRI에서 자체적으로 개발한 26면체 형태의 동심원 패턴을 이용하면 각 카메라에 대해 3장의 영상만을 촬영함으로써 동심원 추출 작업을 포함하여 수작업 없이 1분 내외의 짧은 시간에 내/외부 카메라 보정 인자를 얻을 수 있는 장점이 있다.

변위 맵 생성은 스테레오 정합을 통해 스테레오 영상 사이의 화소별 대응관계를 정하는 것이다. 정합의 효율을 위해 카메라 보정 인자를 사용하여 직교화(rectification)를 수행함으로써 대응하는 화소의 참조 범위를 수평 또는 수직으로 제한할 수 있다. 또한 Beeler 등이 제안한 다단계 영상 정합과 반복적 세부 보정을 통해 정합의 속도와 정확도를 향상시킬 수 있다⁵⁾. 그림 7은 ETRI의 3D 얼굴 외형 복원 시스템에 적용된 다단계 스테레오 정합 영상 및 변위 맵 영상의 예를 나타낸다.



[그림 7. 다단계 스테레오 정합 및 반복적 세부 보정을 통해 얻은 다단계 변위 맵의 예]

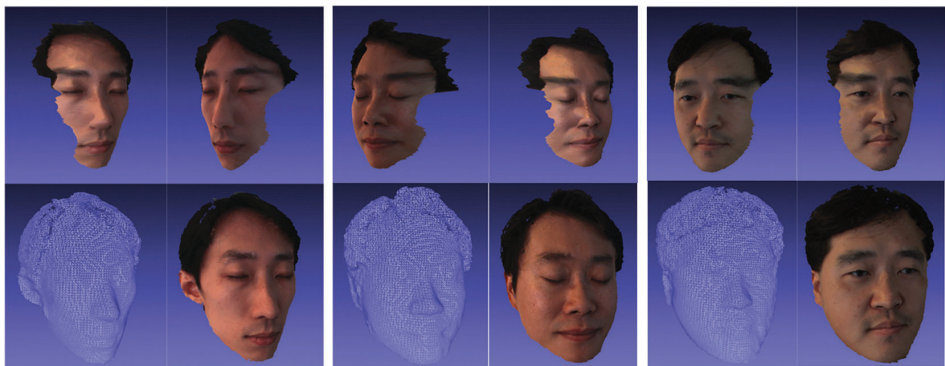
시점별 복원은 카메라의 내외부 인자와 전단계에서 얻어진 변위 맵을 입력으로 삼각법을 이용하여 영상 위의 화소를 3D 카메라 좌표계 위의 한 점으로 변환하여 격자형 3D 메쉬를 구하는 과정을 의미한다. 그림 6의 스테레오 기반 3D 얼굴 복원 과정 중 시점별 복원 단계에서와같이 각 스테레오 카메라 한 조에 대해 하나의 격자형 3D 메쉬를 생성한다.



[그림 8. 기하 및 영상 기반 정합 결과 비교]

정합 과정은 각각의 스테레오 세트에서 생성된 격자형 3D 메쉬를 카메라 외부 인자를 이용하여 공동 좌표계에 대략적으로 위치시키고, 점대점 정합 기법¹⁴⁾, 점대면 정합 기법¹⁵⁾, 점대투영점 정합 기법¹⁶⁾ 등을 사용해 위치와 방향을 정교하게 정합하는 것을 의미한다. 제안 시스템에서는 점대면 정합 기법을 개선한 변형 점대면 정합 방법¹⁷⁾을 사용하여 빠른 시간 내에 정교한 초기 정합 결과를 얻었다. 카메라 보정 인자의 부정확성, 복원 과정에서의 생성된 격자형 3D 메쉬의 오류, 인간 시각의 질감 영상 정보 오류에 대한 높은 민감성 등의 이유로 기하 정보뿐만 아니라 영상 정보를 함께 사용한 정합 방법을 적용했다. 그림 8은 기하 및 영상 기반 정합 결과에 대한 비교를 나타낸다. 확대된 사진을 보면 기하 정보만 사용했을 경우(그림 8(a))에는 눈의 경계선이 어긋남을 알 수 있으며, 기하 및 영상 정보를 함께 사용했을 경우(그림 8(b))에는 눈의 경계선이 부드럽게 이어짐을 확인할 수 있다.

합성은 정합을 통해 한 좌표계로 이동된 시점별 부분 3D 메쉬를 합쳐 하나의 3D 메쉬를 생성하는 과정이다. 제안 시스템에서는 각 시점에서의 격자형 3D 메쉬 오류에 강인하면서도 단순한 3D 체적 합성(volumetric merging) 방법을 사용한다. 합성 작업 후에 새로운 3D 메쉬를 생성할 공간을 복셀로 구성하고, 각 복셀 내에 존재하는 객체의 등가면(iso-surface)을 찾는다. 얻어진 등가면에 Marching Cubes 알고리즘을 사용하여 체적 모델을 3D 메쉬로 변환한다. 메모리 공간 절약을 위해 한 개의 복셀과 이 복셀에 겹쳐지는 시점별 3D 메쉬 표면까지의 부호 거리(signed distance)를 이용해 Marching Cubes 알고리즘을 수행한다¹⁸⁾¹⁹⁾.



[그림 9. 두 시점 격자형 3D 메쉬 합성 및 텍스처 맵핑 결과]

3D 외형 데이터 출력은 합성된 새로운 메쉬에 텍스처를 맵핑하여 일반적으로 사용되는 그래픽 데이터 파일로 출력하는 과정을 의미한다. 제안 시스템에서 사용한 시점 독립 텍스처 맵핑 방법에서는 객체의 표면에 존재하는 각 정점들에 대해 가능한 모든 시점을 확인하고 정점의 법선 벡터와 카메라 시점 벡터 사이의 각도에 의해 가장 적절한 시점을 결정하게 된다. 만약 삼각형 메쉬의 세 정점이 같은 시점으로 맵핑되면 해당 시점의 영상에서 텍스처를 가져오지만, 세 정점이 다른 시점으로 사상된다면 서로 다른 시점의 텍스처를 혼합한다. 혼합 단계에서 시점 사이의 밝기 차 또는 반사로 인해 발생하는 텍스처의 깨짐 현상을 줄이기 위해 제안 시스템에서는 무게중심 좌표계(barycentric coordinate)를 사용하여 삼각형 위의 텍스

14) P. J. Besl and N. D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes," IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelligence, Vol. 14, No. 2, pp.239-256, 1992.

15) Y. Chen, G. Medioni, "Object Modeling by Registration of Multiple Range Images," Image and Vision Computing, pp.145-155, 1992.

16) G. Blais, M. Levine, "Registering Multiview Range Data to Create 3D Computer Object," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 8, 1995.

17) S. Y. Park and M. Subbarao, "An Accurate and Fast Point-to-Plane Registration Technique," Pattern Recognition Letter, Vol. 24, No. 16, pp.2967-2976, 2003.

18) J. Bloomenthal, An Implicit Surface Polygonizer, Graphics Gems IV, pp.324-349. Academic Press, 1994.

19) W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, 1987.

처를 보간했다²⁰⁾²¹⁾. 이러한 과정을 통해 생성된 데이터는 OBJ, WRL 등 3D 그래픽스 데이터 파일 형식에 따라 저장되어 다양한 응용에 사용될 수 있다. 그림 9는 제안 시스템을 통해 생성된 두 시점의 격자형 3D 메쉬를 합성한 후 텍스처 맵핑한 결과이다.

ETRI에서 개발 중인 스테레오 기반 3D 얼굴 외형 복원 시스템은 응용에 따라 그림 10과 같이 웹캠뿐만 아니라 외부 동기 신호에 의해 동기화된 영상 촬영이 가능한 산업용 카메라, 고해상도 촬영을 지원하는 DSLR 또는 저가형 고해상도 CMOS 센서 카메라 등 다양한 형태의 카메라를 지원한다. 동기화된 산업용 스테레오 카메라를 사용할 경우 표정의 다양한 변화를 3D로 복원할 수 있다. 또한, 저가형이지만 고해상도 CMOS 센서가 탑재된 카메라(그림 10(c))를 사용한 3D 얼굴 외형 복원 시스템을 사용하면, 기존 2D 영상만을 사용하는 피부 분석 시스템에 3D 얼굴 외형 데이터를 추가로 융합할 수 있어 입체적인 방식으로 피부 분석이 가능하다.



(a) 웹캠 스테레오 카메라

(b) 산업용 스테레오 카메라

(c) 고해상도 CMOS 스테레오 카메라

[그림 10. 다양한 3D 얼굴 외형 복원용 스테레오 카메라의 예]

본 원고에서는 전통적으로 많은 연구가 수행되어온 능동 방식과 최근에 다시금 각광을 받고 있는 수동 방식 기반 3D 얼굴 복원 연구 동향 및 요소 기술들에 대해 소개하고, ETRI에서 연구 중인 스테레오 기반 리얼 3D 얼굴 복원 시스템에 대해 구체적으로 설명했다.

광학 소자 및 카메라의 가격 대비 성능이 더욱 향상되고, 병렬 처리 기법의 발달로 대용량 데이터 처리 속도가 빨라지면, 향후에는 현재보다 훨씬 저가의 예산으로 시스템 구축이 가능해져 다양한 분야에서 관련 기술이 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

다음 회에서는 본 연재의 마지막 순서로 복원된 리얼 3D 개체를 이용해 방송 등 고품질 영상 콘텐츠 제작 시 유용하게 사용되는 프리비즈(pre-viz, pre-visualization) 기술을 응용 사례로 기술하고자 한다.

20) F. Gerald, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design, Academic Press, 1993.

21) C. Rocchini, P. Cignoni, and C. Montani, "Multiple Textures Stitching and Blending on 3D Objects," Eurographics Rendering Workshop, June 1999.



1. 라디오 디지털화 추진 개요

최근 라디오방송 디지털화에 대한 논의가 급물살을 타고 있다. 2011년 말에는 “2012년 중으로 디지털 라디오 방식을 결정하겠다.”라는 방송통신위원회의 공식 입장 발표가 있었으며[1], 올해 2월 10일에는 가칭 디지털라디오추진협의회가 개최되어 방식결정을 포함한 라디오방송 디지털화 추진을 위한 본격적인 논의가 시작되었다.

본 디지털라디오 소고에서는 라디오 디지털화에 대한 현황과 디지털 라디오기술에 대한 이해를 돕고 향후 라디오 디지털화의 바람직한 방향을 조명해 보고자 한다.

국내에서 라디오디지털화를 위한 논의는 1997년 텔레비전의 디지털화와 함께 시작되었다. 이후 라디오 디지털화 논의는 수년간 지속되어 2001년에는 FM 라디오를 위한 국내 디지털라디오 방식을 결정하는 결실을 보게 되었으며, 표준방식으로는 유럽방식인 DAB(Eureka - 147)가 선정되었다.

당시 FM 라디오 디지털방식이 결정된 이후 방송사, 가전사, 연구소와 전파연구소 등 관련 기관의 전문가들은 디지털 라디오기술기준 마련을 위해 디지털라디오기술기준연구반을 구성하여, 디지털 라디오 방송서비스에 적용하기 위한 방송기술기준연구 및 이를 기반으로 하는 상세기술표준개발 작업을 착수하였다. 그러나 디지털텔레비전 이동수신요구를 해결하려는 방안으로 DAB를 이용한 이동텔레비전서비스인 DMB 서비스의 도입이 국가적 과업으로 제시되면서 FM 라디오의 디지털 방식으로 결정되었던 DAB는 DMB로의 변신을 요구받게 되었고, 이때부터 라디오디지털화는 사실상 무기한 유보되는 형국을 맞이하게 되었다. 또한 디지털 라디오추진에 참여하던 대부분의 전문가들은 DMB 서비스 및 기술개발에 매진하게 되었고, 2005년 5월 1일에는 위성 DMB, 동년 12월 1일 지상파 DMB 서비스의 성공적인 상용화가 이루어지게 되었다.

DMB 상용화를 이룬 직후인 이듬해 2006년에는 중단되었던 라디오디지털화에 대한 논의 재개를 위해 2006년부터 정보통신부 산하에 디지털라디오연구반이 구성되어 라디오방송의 디지털 전환 추진을 해왔으며, 이후 연구반 명칭은 몇 차례 바뀌고 방송기술전문가들 위주의 인적구성도 제작 및 서비스를 위한 전문가들까지 추가되어 오늘날의 디지털라디오추진협의회가 출범하게 된 것이다. 국내에서의 디지털라디오 추진 연혁을 정리하면 [표 1]과 같다.

[표 1. 국내 디지털라디오 추진 주요 연혁]

년 도	주요추진 항목
1997년	지상파 디지털방송추진협의회
1999년	DAB 연구반
2000년	DAB 추진전담반
2001년	디지털 라디오 추진위원회 국내 FM 디지털라디오 방식, Eureka-147로 결정*
2004년	라디오 방송 디지털 전환 정책 연구반
2006년	디지털 라디오 기술 및 정책 연구반 (디지털라디오 추진위원회 별도 활동*)
2007년	디지털라디오 기술 및 정책 위원회
2008년	디지털라디오 추진 준비위원회
2009년	디지털라디오 실험방송 추진반 (실내실험방송 실시)
2010년	디지털라디오 실험방송 추진협의회 (실외실험방송 실시)
2011년	디지털 라디오 전환추진 분과위원회 (기술분과 / 서비스분과로 분리)
2012년	디지털라디오추진협의회

한편 2012년 2월 10일의 첫 회의에서는 추진협의회 업무범위 및 참여기관, 협의 방법 및 추진일정 등을 위한 논의가 있었다. 또한 금번 협의회에서 논의되는 결과는 국내 라디오방식 결정에 지대한 영향력을 가지게 될 것으로 예상되어, 라디오 방송사들의 적극적인 의견제시가 있었다. 특히 디지털 라디오 방식에 따라 현재의 NO인 라디오방송국이 PP로 전환될 수도 있고, 현재의 방송 커버리지의 변동과 라디오방송음질 및 데이터서비스 등에 있어서 상이한 결과를 초래할 수 있으며, 라디오 방송사들의 입장에 따라 선호하는 디지털라디오 방식이 다를 수 있어 첫 회의부터 팽팽한 긴장감을 느낄 수 있었다.

참고로 협의회에는 방송사, 학계, 가전사, 연구기관 등이 위원사로 방송통신위원회가 간사로서 참여하여, 라디오디지털 전환을 위한 정책적 고려사항, 방식 등에 대한 안을 제시할 것이며, 이를 토대로 공청회 실시 등 절차를 거쳐 년 내 디지털 라디오 방송 방식을 선정할 예정이다.

2. 디지털라디오 기술의 출현

라디오 방송은 텔레비전과 함께 공중파 방송의 양대 축이며, 1920년 11월 2일 미국 피츠버그의 KDKA가 하딩과 콕스의 대통령 선거전에서 하딩의 당선 발표로 첫 공식 서비스를 시작한 이래로[2], 중파(AM), 단파, 초단파(FM) 대역에서 현재까지 서비스가 시행되고 있으며, 텔레비전의 디지털화에 이어 디지털화가 진행되고 있다.

유럽은 가장 먼저 디지털 라디오기술 개발을 시작하였으며, 1980년대부터 유럽공동체의 공동 연구개발 프로젝트로서 디지털라디오 전송기술 개발에 착수하여, 1990년대 초 DAB(Eureka-147) 방식개발을 완료하였다. 이후 1995년 영국의 BBC는 DAB 방식으로 세계 최초의 FM 라디오 디지털방송 서비스를 개시하여 라디오 방송사에 한 획을 그었다.

미국도 IBOC(In-Band-On-Channel) 방식의 디지털 라디오 방식 개발을 1990년대 초부터 착수하였으며, 표준제정이 2002년도에 완료되어 2003년부터 상용서비스를 시작하였다.

유럽의 경우 FM 라디오에 적용하기 위한 디지털라디오방식인 DAB를 우선 개발한 이후, 단파 및 중파라디오에 적용하기 위한 디지털라디오 방식인 DRM(Digital Radio Mondiale)을 순차적으로 개발하였다. 이에 비해 미국은 FM 라디오 다음으로 매체 중요도가 높은 중파라디오에도 적용 가능한 IBOC 방식을 개발하였으며, 이는 기존의 아날로그 라디오 주파수에 디지털라디오 방송을 병행해서 실시할 수 있다는 특징과 함께 IBOC 방식의 서비스 명칭인 HD Radio의 장점으로 제시되고 있다.

2007년 유럽은 DRM 라디오 기술을 개량하여 FM 라디오방송에도 적용 가능하며, 기존의 아날로그 방송과 디지털 라디오 방송이 동시에 가능한 DRM+방식의 개발을 완료하고 성능을 검증하기 위한 실험방송을 시행하여 2009년도에는 표준제정을 완료하였다. DRM+는 디지털 라디오 기술개발의 원조격인 유럽이 유럽의 디지털라디오방식들보다 뒤늦게 발표된 미국식 디지털라디오방식인 HD Radio의 장점을 수용하여 가장 최근에 발표한 디지털라디오 기술로서 기존방식들에 비해 가장 발전된 디지털라디오방식으로 평가될 수 있다. 한편 아날로그 라디오 방송매체 중에서 단파라디오에 적용 가능한 방식은 DRM 방식 하나만이 존재하여, 방식 결정에 관한 부담은 없으며, 국내 도입시기 및 도입방안에 대한 논의가 필요하다.

중파라디오의 경우 적용 가능한 방식은 DRM 및 HD Radio 두 방식이 존재하나, 우리나라는 1975년에 체결된 제네바협약(GE75)에 의해 중국 및 유럽 등 주변 국가들과 동일 방식을 적용해야 한다. 아울러 유럽이 개발한 DRM 방식의 AM 디지털 라디오 방송이 유럽 및 중국에서 적용되고 있고, 중파라디오 방식은 DRM으로 결정되어 있어, 방식 결정을 제외한 국내 도입시기와 서비스 및 관련 산업 활성화 등을 고려한 도입방안에 대한 논의 등만이 필요한 상황이다.

그러나 FM 라디오방송의 디지털 전환은 앞의 두 경우와 크게 다르며, 방식 선정이 용이치 않다. 그 첫 번째 이유는 적용 가능한 방식이 세 가지 혹은 세분하면 그 이상으로 그 선택의 폭이 넓다는 것이다. 즉 유럽에서 개발한 DAB와 DAB의 오디오 코덱 성능을 개선한 DAB+ 및 현재 우리가 상용서비스를 시행하고 있는 지상파 DMB도 하나의 후보방식으로 고려할 수 있다. 한편 미국에서 개발한 HD Radio 역시 기존의 아날로그 FM 방송서비스를 시행하며 동시에 디지털 방식의 라디오 서비스를 추가로 시행하거나 전(full) 디지털화가 가능하다. 또한 HD Radio는 DAB 대비 비교적 짧은 기간 내에 빠르게 확산이 되고 있으며, 다양한 응용서비스가 추가되고 있다. 그리고 가장 최근에 개발된 방식으로써 아날로그 동시방송이 불가능한 기존 유럽방식의 약점 등을 개선하여 새롭게 선보인 DRM+도 적용이 가능하다. 그러나 라디오 방송사마다의 여건 및 이해관계에 따라 이들 방식 중 선호하는 방식이 달라 국내에 도입할 디지털 라디오 방식을 선정하는 것이 용이치 않은 상황이다.

[표 2]는 DRM 포럼에서 제공하는 DRM 방송 스케줄로서 각국의 여러 방송사들이 DRM 방송서비스를 제공하고 있는 예를 보여준다. 이 표에는 방송주파수를 비롯하여 방송시간, 요일, 주방향, 방송대상(서비스) 지역, 출력, 프로그램 종류, 언어 등이 포함되어 있다.

[표 2. DRM 방송 서비스 예]

Europe								
UTC	Days	kHz	Beam	Target	Power	Programme	Site	Language
					Filter: All	Filter: All	Filter: All	
0000-0300	daily	177	ND	Germany	150	DLR Kultur	Oranienburg	German
0000-2400	daily	855	ND	Berlin	10	DRadio Wissen	Berlin-Britz	German
0000-2400	daily	909	ND	Nuernberg	0.1	biteXpress	Dillberg	German
0000-2400	daily	15896	ND	Erlangen	0.1	biteXpress	Erlangen	German
0000-2400	daily	693	ND	Italy	30	RAI tests	Milano	Italian
0000-2400	daily	26010	ND	Italy	0.1	Radio Maria	Andrate	Italian
0000-2400	daily	26060	ND	Roma	0.2	Raiway Roma	Vatican City	Italian
0500-0700	daily	1296	96	Europe	35	BBC WS	Orfordness	English
0500-0800	daily	3955	121	Europe	100	BBC WS	Skelton	English
0500-0900	daily	9780	50	Europe	100	REE	Noblejas	Spanish
0530-0600	daily	6175	37	E Europe	90	RR1	Tiganesti	Russian
0600-0630	daily	9650	285	Europe	90	RR1	Galbeni	French
0600-1000	daily	11635	260	Europe	40	VoR	Taldom	R/E
0630-0700	daily	9600	300	Europe	90	RR1	Galbeni	English
0700-0730	daily	9450	307	Europe	90	RR1	Tiganesti	German
0700-0800	daily	5875	300	Europe	40	BBC WS	Moosbrunn	English
0700-0800	Mon	6015	60	Europe	60	TDPradio	Issoudun	English
0700-1610	Mon-Sat	1611	ND	Europe	25	Vatican Radio	Santa Maria	various
0800-0900	Tue	6015	60	Europe	60	TDPradio	Issoudun	English
0800-0900	daily	5790	105	Europe	100	BBC WS	Skelton	English
0800-0900	daily	5875	114	Europe	100	BBC WS	Woofterton	English
0800-1000	daily	7325	220	Europe	15	VoR	Bolshakovo	R/E
0900-1000	Wed	6015	60	Europe	60	TDPradio	Issoudun	English
0915-1610	Sun	1611	ND	Europe	25	Vatican Radio	Santa Maria	various
1000-1100	Thu	6015	60	Europe	60	TDPradio	Issoudun	English
1000-1200	daily	7325	220	Europe	15	VoR	Bolshakovo	R/G
1100-1130	Sat	9760	105	Europe	90	KBS World	Woofterton	English
1100-1130	Fri	9760	105	Europe	90	NHK	Woofterton	English

3. 유럽의 디지털라디오화 추진

가. DAB / DAB +

앞서 언급한 대로 유럽은 디지털라디오 기술 개발 및 도입을 선도하였으며 세계 최초로 디지털라디오방식을 개발한 바 있다. 이 기술은 DAB(Digital Audio Broadcasting)라 불리며, 유럽의 방송통신 표준화 기관인 ETSI에서 1995년 차세대 디지털 라디오 방식의 유럽 표준(ETSI EN 300 401)으로 채택하였고, 국제표준화 기구인 ITU-R에서는 BO.1130-4의 권고안에 System A로 채택하였다.

그리고 영국의 BBC가 1995년 DAB 방식을 이용하여 디지털 라디오 상용서비스를 세계최초로 시작한 이래, DAB는 유럽을 포함한 세계 여러 나라가 채택하기 시작하였다. 그러나 1980년대에 개발이 시작된 DAB는 Musicam(MPEG Audio layer 2)으로 불리는 오디오 코덱을 탑재하고 있으나, 이후 이보다 성능이 우수한 오디오 코덱들이 많이 개발된 2000년대에 들어서는 기술적으로 낙후되었다는 평을 받아왔으며, 이를 극복하기 위하여 오디오 코덱을 AAC+(HE AAC v2)로 대체하여 음질대비 주파수 효율을 증대시킨 DAB+ 방식을 2008년에 발표하였다. DAB+는 40kbps의 비트율로 DAB의 128kbps의 음질과 동등한 품질의 오디오서비스 제공이 가능하며, 서라운드 방송도 지원한다.

또한 하나의 앙상블로 동일한 오디오 품질로 라디오 방송 채널을 배치할 경우 Musicam을 탑재한 DAB로는 9개 채널을, AAC+를 탑재한 DAB+로는 28개 채널의 수용이 가능하여 주파수를 효율적으로 활용할 수 있다. [3]

현재 DAB 방식의 디지털 라디오는 디지털 라디오 방식 중 가장 먼저 탄생한 방식으로서 여러 나라들이 디지털 라디오 표준으로 채택하고 있다. 특히 DAB+는 최근 디지털 라디오방송을 시작하는 나라들이 선호하고 있으며, 2008년 8월 말타(Malta, 남부 유럽 지중해 중앙부에 위치)가 유럽국가 중 처음으로 DAB+방송을 시작하였다. 이후 2009년 5월 호주가 DAB+방식으로 디지털 라디오 서비스를 시작하였고, DAB로 디지털 라디오방송을 시작했던 나라들 중에도 DAB+로의 전환을 시작하여 2012년 1월 현재, 체코, 독일, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 이스라엘, 홍콩, 싱가포르 등이 DAB+서비스를 제공하고 있다.

유럽의 주요국 중의 하나인 독일은 2011년 8월 1일부터 독일 전역을 커버하는 DAB+ 전국방송서비스를 개시하였다. 또한 14개 채널로 축구, 락, 팝, 클래식, 대담, 기독교 방송 등을 전국적으로 청취 가능하며 점차 증대되고 있다. 또한 독일 디지털 라디오 프로젝트 사무국 및 5개 분야의 워킹 그룹을 결성하여 디지털 라디오 활성화를 위한 노력을 경주중이다. 참고로 상기의 5개 분야는 “네트워크”, “제품”, “마케팅과 홍보”, “교통 및 여행” 그리고 “자동차”이다. 아울러 초기 27개의 송신기로 주요 도시와 도로를 커버했으나, 2014년까지 서비스 커버리지를 99%까지 증가시킨다는 계획을 수립하였다.

한편 디지털 라디오 방송을 세계 최초로 시작한 영국은 2010년 7월에 정부와 업계가 공동으로 디지털 라디오 실행계획(Digital Radio Action Plan)을 수립하였으며, 이 계획은 아날로그 라디오를 종료하고 디지털 라디오로의 완전 전환을 위한 세부적인 일정 및 추진방안들을 포함하고 있다. 특히 완전 디지털 전환은 이용자들이 선택해야 하며, 정부는 전환을 시행할 시기만을 결정한다는 것이다. 이를 위해 다음의 2가지 원칙을 제시하고 있다.

- 디지털 라디오 청취율 50% 달성
- FM 라디오 커버리지에 비견할 만한 디지털라디오 커버리지 확보와 인구 및 주요도로 90% 이상 커버리지 확보

한편 현재 영국은 평균 85%의 DAB 서비스 커버리지를 확보하고 있으며, 지역방송의 경우 66.2%의 가정을 커버한다고 보고되었다. 또한 BBC는 2015년까지 전국 서비스 커버리지를 97%까지 확보할 계획이다. [4]

나. DRM

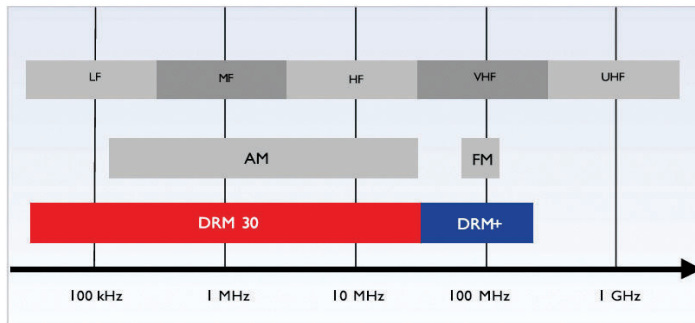
한편 FM 라디오방송을 위한 디지털방식 개발을 완료한 유럽은 1990년 중반부터 중파 및 단파에도 적용이 가능한 디지털 라디오방송 기술개발을 시작하였으며, 이 결과로 DRM이 탄생되었다. DRM은 30MHz 이하 주파수에서 서비스가 가능하여 DRM30이라고도 명명된다. 도시 지역 근거리 방송 시 지상파를 이용한 소출력 서비스와 장거리의 상층파 전파특성을 이용한 광대역 방송이 가능하며 각각의 용도에 적합하도록 다양한 파라미터를 제공한다.

즉, 서비스 품질과 robustness를 조절하여 원하는 서비스를 제공할 수 있도록 하는 다양한 옵션을 제공한다. 이 외에 DRM의 중요한 특징으로는 HD Radio와 유사하게 In Band에서의 아날로그-디지털 동시방송 서비스가 지원된다는 것이다. DRM은 2001년 4월과 9월에 각각 ITU 및 ETSI 표준으로 승인되었다.

한편 DRM은 수요가 많은 FM 라디오방송이 아닌 중파와 단파라디오를 지원하는 디지털라디오 방식이어서 각국들의 적극적인 도입은 이루어지지 않는 상황이며, 출시된 단말기들 역시 매우 한정적인 상황이다. 중파 대역에서의 DRM 라디오 실험방송은 국내에서도 KBS에 의해 시행된 바가 있으며 외국에서는 독일, 이탈리아, 스페인, 멕시코, 인도 등에서 아날로그-디지털 동시방송 등을 포함하여 시행되었고 상용서비스를 제공하는 방송사들이 증가하고 있는 추세이다.

다. DRM+

유럽은 자신들보다 뒤늦게 자기들과는 다른 독자방식으로 디지털 라디오방송 서비스를 시작한 미국에 의해 자극을 받아, FM 라디오에 적용하기 위한 새로운 디지털 라디오방송기술 개발을 추진하였다. 새로운 방식은 DRM 기술을 기반으로 하였으며, 초단파 대역에서 In Band 서비스 지원, 오디오 코덱의 보강 등을 고려하였으며 DRM+라 명명되었다. 다르게 표현하면 DRM+는 30MHz 이하의 방송주파수를 사용하는 DRM 시스템 방송주파수를 FM 주파수 대역을 포함하는 174MHz까지 사용할 수 있게 확장한 것으로 2009년 8월 ETSI 표준으로 확정되었다.



[그림 1. DRM 및 DRM + 적용주파수]

[표 3. 유럽의 디지털라디오 추진 주요 연혁]

년 도	주요추진 항목
1986년	· 유럽연맹(EC) 각료회의 Eureka147 프로젝트 추진 의결(스톡홀름)
1991년	· EBU-ETSI 협력 조직인 기술분과위원회 주관 1단계 기본방식 개발 완료
1994년	· 2단계 상용화 시스템 및 규격 개발 완료 · ETSI 300 401 "Digital Audio Broadcasting(DAB); DAB to mobile, portable and fixed receivers" 제정
1995년	· BBC, 세계 최초 상용방송 시작 · DRM 개발 착수(AM 및 단파 라디오 디지털 화)
2001년	· ETS 300 401 v1.3.3 발표 · DRM 유럽표준(TS) 제정
2002년	· DRM ITU 표준 제정(Short, Medium, Long-Wave Digital Radio)
2003년	· DRM IEC 국제 표준 제정(1월) · DRM 유럽표준(ES) 제정(5월)
2005년	· DRM을 120MHz 까지 확장(FM 라디오 커버)하기 위한 DRM+ 개발 착수
2007년	· DRM+ 기술규격 개발 완료
2008년	· DRM+ 기술검증을 위한 필드 테스트 착수
2009년	· DRM+ 기술표준 제정(9월 IBC 발표) / DAB+ 기술표준 제정

DRM+는 FM 라디오를 지원하는 가장 최근에 개발된 디지털라디오 방식으로 기술적으로는 기존 방식들의 장점들을 수용한 우수한 방식이다. 그러나 개발된 지 얼마 되지 않아 독일, 영국 등에서 실험방송을 시행한 예는 있으나, 아직 상용서비스는 제공되고 있지 않아 지속적인 관심이 요구된다. 유럽의 디지털 라디오 추진 관련 주요 연혁은 [표 3]과 같다.

4. 미국의 라디오 디지털화 추진

미국은 유럽의 디지털 라디오 상용서비스가 시작된 1995년 이후 라디오 디지털화에 대한 논의를 시작하였다. 따라서 유럽보다 뒤늦게 디지털 라디오 기술개발을 착수하였으며 그 과정에서 유럽이 개발한 DAB를 도입하자는 의견도 있었으나 “거대한 미국 시장 보호를 위해 디지털 라디오 방식은 미국 독자 방식을 개발해야 한다.”는 의견이 설득력을 얻어 당시 기술성능 검증을 완료하고 상용화가 개시된 유럽방식을 배제, 미국식 디지털라디오 기술개발을 뒤늦게 추진하였다.

미국 디지털 라디오 방식으로 선정된 HD Radio 방식에 대한 필드테스트는 2001년 8월에 완료되었고, 그 해 9월 NAB Radio에서 HD Radio FM에 대한 일반인의 최종 평가를 시행되었다. 이러한 성능평가 결과를 NRSC(National Radio Systems Committee)와 FCC에 제출하여 2002년 중반에 HD Radio AM/FM에 대한 승인을 얻어, 미국 표준으로 제정되었다.

미국 디지털라디오 방식인 HD Radio는 iBiquity Digital Corporation에 의해 아날로그 AM과 FM 라디오를 그대로 유지하면서 새롭게 도입되는 디지털 방송을 추가하고 궁극적으로는 완전디지털로 전환이 가능하도록 개발된 방식이다. 방송사 입장에서는 현재의 아날로그 AM과 FM 방송을 유지하면서 새로운 고품질의 디지털 방송신호를 함께 송출할 수 있으며, 청취자들은 아날로그에서 디지털 라디오로 전환할 동안 아날로그와 디지털 방송을 모두 청취할 수 있어 전환에 따른 서비스 단절을 방지할 수 있다는 것이 타방식과 비교할 때 최대의 장점이다.

[표 4. 미국의 디지털라디오 추진 주요 연혁]

년 도	주요추진 항목
1990년	· NRSC(National Radio System Committee) 중심의 디지털라디오방송 관심 제고 및 연구개발 착수
1996년	· Eureka-147, AT&T IBAC, VOA/JPL시스템 등 필드 테스트 참가 · Eureka-147 우수성 입증, 라디오방송사 반발 · 기존의 AM, FM 주파수대역에서 사용 가능한 독자적 기술 개발 추진
1998년	· USA Digital Radio, FCC에 디지털라디오표준 선정 원칙 제정 요청
1999년	· FCC, 지상파디지털라디오방송 선정원칙(NPRM: Notice of Proposed Rule Making) 발표
2000년	· USADR사(전송방식)와 LDR사(오디오압축기술보유) 합병 iBiquity 사 탄생 · 미국내 디지털라디오방식 논의를 IBOC로 단일화
2001년	· IBOC 시스템 필드테스트 완료 · NAB 라디오위원회 결의서 제출 · NRSC, IBOC system 평가 완료 및 FCC 제출 · FCC, FM 평가결과에 대한 의견수렴 실시
2002년	· FCC, NRSC에 의한 iBiquity의 AM system 평가결과에 대한 의견수렴 실시 · FCC, iBiquity사 HD Radio™ IBOC 기술승인(미국디지털라디오방송방식 채택)
2003년	· 미국 내 상용방송서비스 개시

그러나 국내 실험방송 결과 기존 아날로그 라디오방송신호에 디지털 라디오 신호가 추가된다면 기존 아날로그 방송서비스 커버리지가 감소되는 것은 약점으로 지적되고 있다.

한편 미국의 지상파 라디오 사업자들은 위성 라디오와 iPod 등과의 경쟁으로 인한 청취자의 감소로 디지털라디오에 큰 기대를 걸고 있으며 많은 미국의 라디오방송채널들이 HD Radio 방송서비스를 제공하고 있다, 특히 디지털 라디오 청취 중 선호하는 곡이 나올 때 특정 버튼을 눌러 해당 곡을 다운로드받는 서비스인 iTunes Tagging 서비스와 실시간 교통정보 서비스는 방송사들이 디지털 라디오를 도입함으로써 추가 수익을 올려줄 수 있는 비즈니스 포인트로 부각된 바 있다.

해외에서는 멕시코가 2011년 6월 16일 라디오 방식 표준으로 채택하였으며 캐나다, 브라질, 중국, 태국, 칠레, 콜롬비아, 체코, 뉴질랜드, 폴란드, 우크라이나 등 10개 이상의 국가에서 실험방송 등을 포함한 채택을 고려 중이다.

[그림 2]는 DAB계열, DRM 및 HD Radio의 로고들을 보여준다.



[그림 2 디지털 라디오 방식별 로고]

그럼, 다음에는 디지털 라디오 방식 별 특징 및 방식 선정 시 고려 사항에 대해서 알아보겠습니다.

참고문헌

- [1] FM 디지털라디오방송 도입추진을 위한 설명회, 2011. 11. 22. 서울교육문화회관
- [2] “라디오 방송의 역사”, 한국 브리태니커백과사전
- [3] DAB+ The additional audio codec in DAB, 2008, World DMB Forum
- [4] Global Broadcasting Update DAB/DAB+/DMB, 2012. 1, World DMB Forum
- [5] ETSI EN 201 908 v1.3.1.1, Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification, Aug. 2009.
- [6] ETSI EN 300 401 v1.4.1, Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers, June. 2006
- [7] ETSI TS 102 428 v1.1.1, Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; user application specification, June 2005.
- [8] NRSC-5-B: IBOC Digital Radio Broadcasting Standard (April 2008).