

3차원 의료영상 가시화의 최근 이슈와 전망

인피니트테크놀로지 계획원

1. 서 론

3차원 의료영상 가시화는 다량의 2차원 의료영상을 종합하여 3차원 영상으로 출력하는 기법을 말한다. 본 고에서는 먼저 3차원 가시화의 특징에 대해 설명한다. 이후 3차원 가시화의 세부 기능인 VR, MIP, MPR, 가상내시경에 대해 소개한다. 또한 3차원 가시화의 구체적 논제로서 영상처리의 속도와 화질, 세부 기능간의 유기적 또는 동시 동작, 관찰 파라미터의 정의와 사용자 인터페이스에 대해 언급한다. 마지막으로 최근 부상하고 있는 또는 향후 부각될 것이라고 생각하는 주제인 대용량 영상처리, 세부 기능간의 융합과 특수효과에 대해 진단한다.

2. 3차원 의료영상 가시화

3차원 의료영상 가시화란 의료장비에서 획득한 다수의 영상을 종합하여 하나의 3차원 영상으로 재구성하는 것을 뜻한다. 3차원 가시화의 장점은 크게 두 가지로 나타나는데, 첫 번째 장점은 다수의 2차원 영상을 종합하여 하나의 영상으로 재구성 한다는 점이다. CT나 MR과 같은 의료장비로부터 수 백장의 2차원 영상이 생성되는데 만약 이것들을 하나씩 확인한다면 많은 시간과 노력이 소요될 것이다. 두 번째 장점은 3차원 재구성을 통해 실물을 보는 것과 같은 영상을 제공한다는 점이다. 숙련된 전문 의료영상 판독자라면 2차원

영상을 통해 3차원 구조를 파악할 수 있겠지만, 임상 의와 같은 미숙련자는 마치 2차원 건축 설계도만 보고 완성된 건물을 상상해야 하는 어려움을 겪게 된다. 자동화된 3차원 가시화 기법은 직접 내부구조를 보는 것과 같은 영상을 제공하기 때문에 사용자는 빠른 시간에 필요한 임상 정보를 얻을 수 있다. 물론 3차원 가시화가 2차원 진단을 완전히 대체하지는 않지만, 의료영상을 통한 진료정보의 획득 과정에서 상당한 노력과 시간을 경감하는 것은 분명하다. 본 고는 정보 처리의 측면에서 3차원 의료영상 가시화의 논제를 예를 들어 다루게 된다.

3. 입출력 측면의 3차원 의료영상 가시화

정보 처리의 측면에서 3차원 의료영상 가시화는 두 종류의 입력(처리할 데이터, 데이터를 처리하는 방식)을 받아 영상이라는 형태의 출력을 하는 프로세스로 볼 수 있다. 먼저 3차원 영상을 생성하기 위해 원 재료가 되는 영상 데이터(원본 데이터)가 필요하다. 이 영상은 의료장비에서 생성된 것으로 수십 장에서 수백 장에 이르는 2차원 영상의 집합이며 보통 3차원 배열로 저장된다. 원본 데이터는 특징을 나열하면 다음과 같다.

- ① 원본 데이터는 의료영상이므로 주로 인체 데이터이고 사람의 성별과 나이에 따라 차이는 있지만

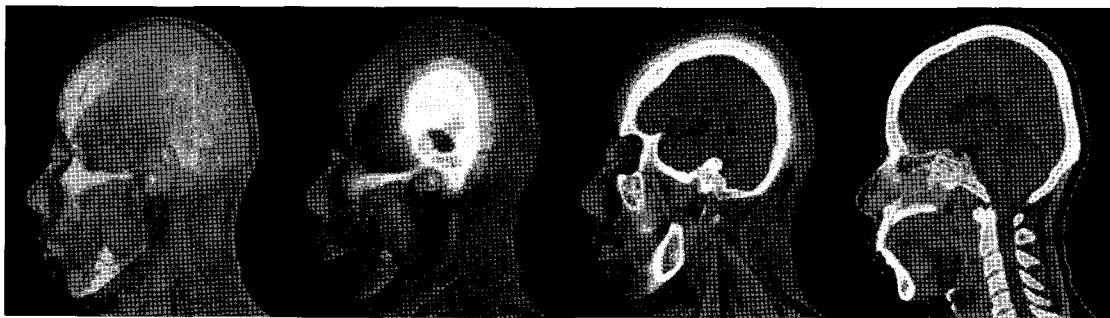


그림 1 3차원 의료영상 가시화

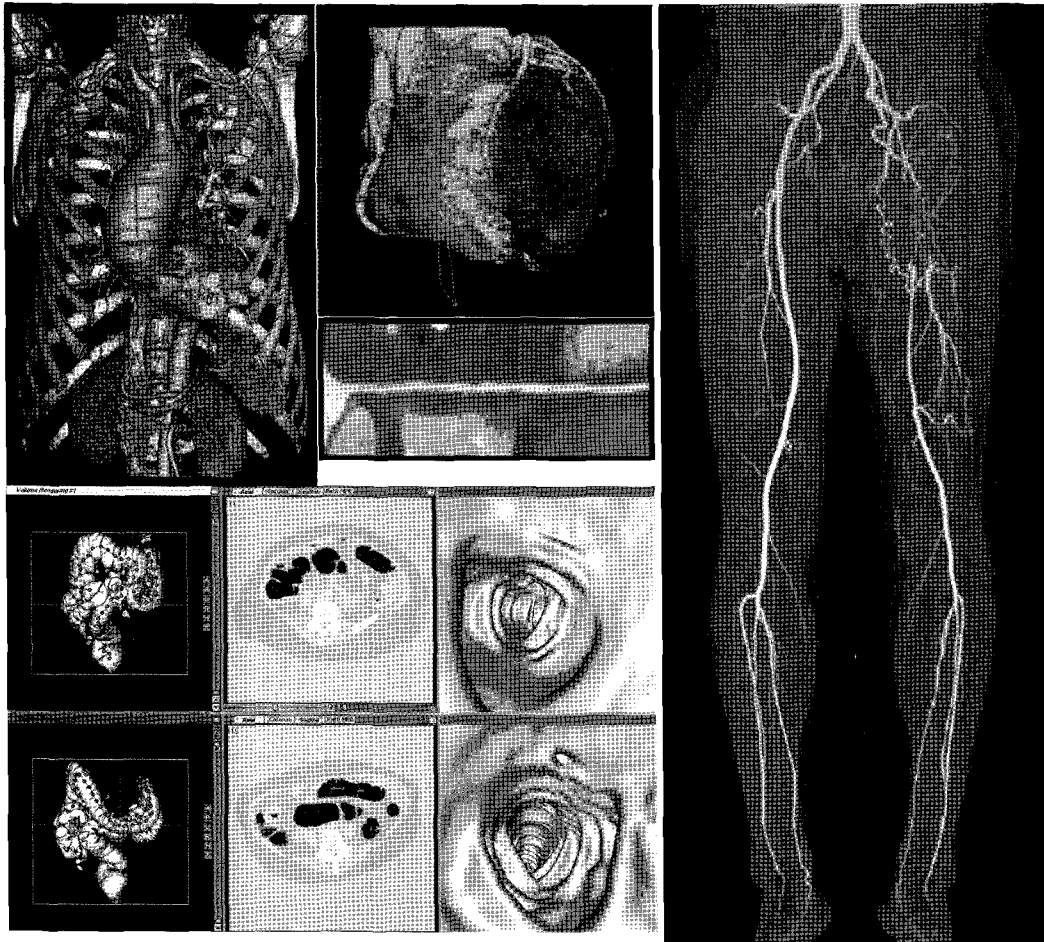


그림 2 3차원 의료영상 가시화 기법들. 왼쪽 위부터 시계방향으로, 직접 볼륨 가시화(DVR), 단면 재구성(MPR), 최대 휘소 투영 가시화(MIP), 가상 내시경

해부학적 형태가 대체로 정형적이다.

- ② 인체의 진단이 목적이므로 데이터가 정밀하여 정보량이 많다.
- ③ 한번 의료장비로부터 생성되면 변경되지 않는다.

따라서 참조 인덱스 생성이나 압축 등의 전처리(pre-processing)를 통해 가시화 성능을 개선할 수 있다. 한편 또 다른 입력으로, 원본 데이터를 관찰하는 파라미터 정보가 필요하다. 파라미터의 종류는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 확대, 축소, 회전, 이동과 같은 기하학적 위치정보
- ② 밝기, 색상, 누적방법을 결정하는 광학정보
- ③ 윈도우, 아이콘의 배치, 단축키 지정 등의 사용자 편의 정보

이러한 파라미터 정보는 사용자의 입력(마우스, 키보드)에 따라 수치로 변경된다.

3차원 의료영상 가시화는 원본 데이터와 파라미터를 입력으로 하여 영상을 출력한다. 다음은 가시화 방법의 구체적인 예를 설명한다.

4. 3차원 의료영상 가시화 기법의 소개

3차원 의료영상 가시화 기법에는 여타의 3차원 가시화 기법과 마찬가지로 시점, 시선방향, 영상, 대상 객체로 이루어진 모델이 존재한다. 그림 3과 같이 출력 영상의 한 픽셀과 시점을 연결한 직선을 볼륨광선이라고 하며, 볼륨광선이 볼륨 데이터를 관통하며 얻는 정보가 픽셀의 색상이 된다.

직접 볼륨 가시화(DVR: Direct Volume Render-

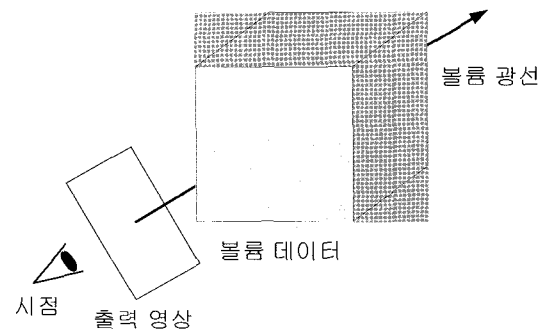


그림 3 3차원 가시화의 기본 모델

ing)는 광선을 따라 가면서 볼륨 광선 적분을 통해 광선의 색을 결정한다. 시점의 위치가 볼륨 데이터의 내부에 있고 볼륨 광선의 방향이 원근투영을 따를 경우 가상내시경과 같은 효과를 얻을 수 있다. 최대 휘소 투영 (MIP: Maximum Intensity Projection) 가시화는 광선을 따라 가면서 최대 밀도를 찾는 방법이다. 픽셀의 색상은 광선상의 최대 밀도로부터 얻는다. 따라서 볼륨 내부의 높은 밀도를 갖는 구조물이 가림 없이 쉽게 관찰이 가능하다. 실용적으로 혈관 조형술을 통해 밀도가 높아진 경우나 골격의 CT영상과 같이 밀도가 높은 부분의 관찰에 주로 이용된다. 반면, MIP는 DVR과 비교하면, 감쇄효과가 없으므로 입체감이 떨어지는 단점이 있다.

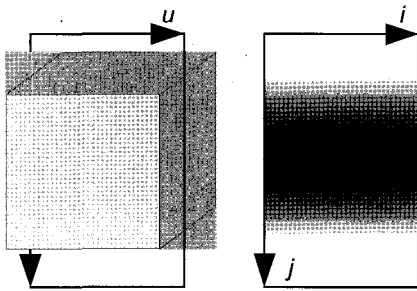


그림 4 MPR 가시화의 기본 모델

한편, 단면 재구성(MPR: Multi Planar Reformatting) 기법은 사용자가 원본 데이터를 관통하는 단면을 정의하면 그 절단면을 보여주는 방법이다. 단면은 주로 볼륨의 좌표계에 평행하게 지정되지만 볼륨 좌표계에 기울어진(oblique) 단면이나 심지어 곡면으로 정의된 단면일 수도 있다. 따라서 볼륨 광선을 통한 연산은 없다.

5. 3차원 영상 처리의 논제

5.1 영상의 화질과 응답속도

대량의 입력 영상을 분석하고 출력 영상을 생성하려면 많은 시간이 필요하다. 이것은 상용의 영상처리 프로그램으로 수 백장의 2차원 영상을 가공하는 것과 유사하다. 한편 출력하는 영상은 의료 진단용으로 사용되므로 화질에 대한 요구 사항도 높다. 따라서 가시화의 기본적인 과제인 “빠른 시간에 고화질 영상을 생성”하는 문제를 해결해야 한다.

속도를 증가시키는 방법으로 우선 가능한 것은, 좋은 하드웨어 장비를 사용하는 것이다. 고가의 그래픽스 워크스테이션이나 전용 하드웨어를 이용하여 빠른 시간에 영상을 생성할 수 있다. 또는 다수의 하드웨어를 클러스터 방식으로 가속화 하는 접근 방법도 고려할 수 있다. 볼륨 메모리의 특징은 매우 빈번한 데이터 이동이 일어나지만 주로 읽기만 한다는 것이다. 그러므로 분산 처리시 메모리 구조에 주의를 기울여야 한다. 영상을 생성할 때 메모리로부터의 빈번한 데이터 이동이 발생하므로 공유 메모리 시스템이라면 다수의 처리장치로 공급할 대역폭이 충분해야 한다. 그렇지 않은 경우, 일반적으로는 각 노드(node)가 독립적인 메모리를 갖게 된다. 한편 노드간 경계 부분이나 관찰 파라미터는 중복해서 저장하거나 공유하는 구조로 저장된다. 고성능의 하드웨어 장비를 사용하는 것은 비용 문제가 크기 때문에, 경우에 따라 클라이언트-서버 방식으로 구동하여 다수의 사용자가 하나 또는 소수의 서버 자원을 공유할 수 있다.

하드웨어 성능과는 별도로, 알고리즘의 개선을 통해

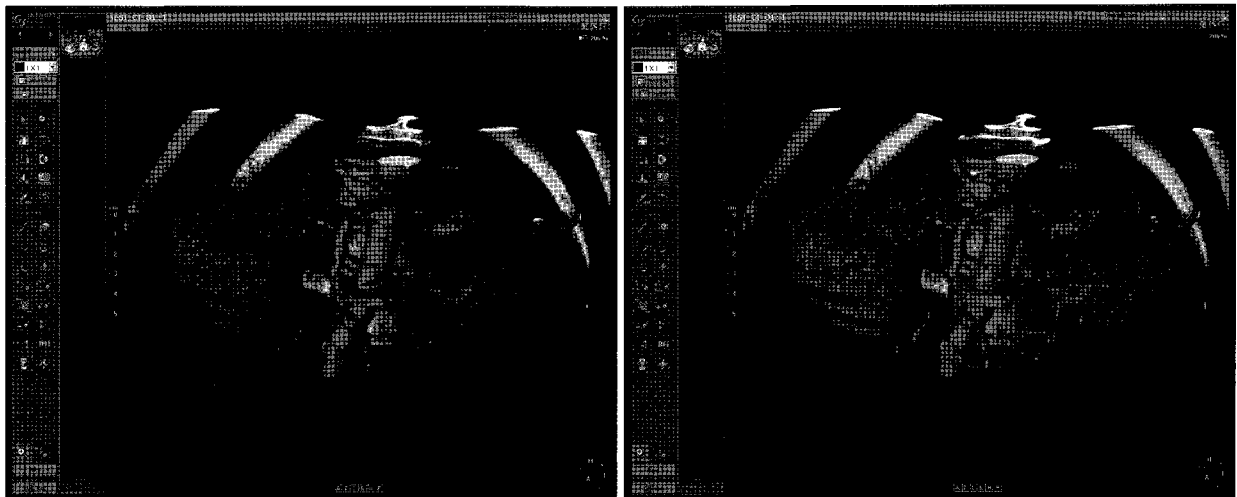


그림 5 프로그래시브 전송을 응용한 점차적 화질 향상. 관찰 파라미터가 변화할 때, 즉 사용자 입력이 있을 때는 응답속도가 빠른 중간 화질 영상(왼쪽)을 보여주다가 사용자 사용자 입력이 종료되면 고화질 영상(오른쪽)을 생성한다



그림 6 여러 모듈의 동시 표현. 왼쪽 위의 MPR화면에 사용자가 곡선을 정의하면 왼쪽 아래에 곡선을 따르는 절단면의 단면 영상(곡면 MPR)이 생성된다. 또한 오른쪽에는 DVR(위)과 MIP(아래)가 서로 다른 관찰 파라미터로 영상을 출력하고 있다. 각 모듈은 독립적으로 기능함과 동시에 서로 파라미터를 전달하는 역할을 수행할 수 있다

가시화 속도를 향상시키는 방법이 꾸준히 연구되고 있다. 원본 데이터에 대한 사전 정보를 이용하여 전처리와 추가적인 자료구조를 통해 속도를 개선할 수 있다. 사전 정보를 이용한 가시화 방식은 출력 영상의 화질을 손실 없이 또는 약간의 손실을 감안하고 속도를 향상시키는 방법이다. 입력 영상은 인체 데이터이기 때문에 영상의 응집성이 크고 정형적인 특수한 패턴을 가지고 있다. 이러한 점을 응용하여 진단에 불필요한 영역을 제거 하여 처리하지 않거나 빠르고 근사적인 처리법을 사용하게 된다. 또는 멀티미디어 재생에서 사용하는 프로그래시브 전송을 응용하여 관찰 파라미터가 급격히 바뀔 때는 낮은 화질의 영상을 일단 보여주고 시간이 지남에 따라 점점 높은 화질의 영상이 나타나게 하는 방법을 사용하기도 한다.

일반적으로 영상처리 소프트웨어는 고화질 영상을 생성해야 한다. 또한 3차원 영상 소프트웨어는 진단하기 용이한 영상을 생성해야 한다. 결과영상은 환부의 상태와 주변 조직과의 관계를 잘 드러낼 수 있어야 하

며, 관찰자가 편안한 느낌을 갖도록 해야 한다. 즉, 좋은 영상을 만들기 위해, 고차 필터를 이용하여 정확한 샘플링을 하는 것도 중요하지만, 결과영상이 기존의 미디어(아날로그 필름) 사용자에게 익숙한 느낌을 줄 수 있어야 한다. 일반적으로 고화질의 영상을 생성하기 위해 더 많은 시간이 필요하기 때문에 응답시간과 화질과의 적절한 균형을 찾아야 한다.

5.2 다양한 모듈간의 유기적 또는 동시 동작

앞서 소개한 다양한 가시화 기법은 각기 다른 형태의 정보를 제공한다. 의료영상을 통한 진단은 각각의 정보가 종합되어 일어나게 되므로 시스템의 측면으로 보면 여러 모듈이 동시에 작동할 수 있어야 한다. 따라서 사용자 편의를 위한 모듈의 배치 문제, 리소스의 적절한 분배 문제가 발생한다.

각 모듈이 기능하려면 하드웨어 자원(메모리, CPU 시간)의 점유가 필요하다. 동시에 여러 모듈이 수행될 때 리소스 부족현상이 생기기 쉽다. 일반적인 시스템에

비해 의료영상 시스템은 많은 하드웨어 자원을 소비하는 편이므로 여러 모듈의 동시 작업은 중요한 문제이다. 보통은 주의 깊은 멀티 쓰레드 프로그래밍을 통해 문제를 적절히 피해갈 수 있다. 그러나 모듈간의 리소스 경쟁시 우선순위 결정과 사용자 응답 속도 확보가 고려되어야 한다. 그리고 각 모듈은 독립되어 동작할 때보다 하드웨어 자원을 합리적으로 사용하도록 해야 한다.

한가지 다행스러운 점은, 의료영상 소프트웨어는 병원에서 특수한 목적으로 사용되므로, 시스템 자원을 독차지할 수 있다고 가정할 수 있다는 것이다. 즉, 일반적인 프로그램은 오피스, 인터넷, 멀티미디어 응용 등의 프로그램이 동시에 실행될 수 있다고 가정하고, 프로그램 자신이 차지하는 하드웨어 리소스 점유율을 낮추기 위해 노력한다. 반면, 의료영상 소프트웨어는 여타의 다른 프로그램에 의해 리소스를 거의 빼앗기지 않는다고 가정하고 하드웨어 환경에 적합한 최대한의 성능을 얻어낼 수 있다. 그러므로 의료영상 전체 시스템은 리소스를 충분히 확보한 상태에서 개별 모듈간의 리소스 경쟁을 제어할 수 있다.

5.3 다양한 설정과 작업 효율화

의료영상 프로그램도 일반적인 소프트웨어와 마찬가지로 사용자 편의를 위해 다양한 설정이 필요하다. 특히 가시화는 2장에서 소개한 것과 같이 기하학적 위치 정보와 광학 정보를 파라미터로 조작할 수 있다. 다양한 파라미터를 제공하면 풍부한 효과의 영상을 얻을 수 있기 때문에, 파라미터의 종류를 세분화 하는 노력을 기울임과 동시에 개개의 파라미터 제어를 세밀하게 하는 인터페이스를 갖추어야 한다. 또한 파라미터들은 간단한 조작으로 편리하게 변경할 수 있어야 한다. 다양한 파라미터를 간단하게 조작할 수 있도록 하는 것은 두 마리 토끼를 잡는 것과 마찬가지로 쉽지 않은 일이다. 한가지 해결 방법으로, 미리 정해놓은 파라미터 값의 목록을 제공하는 방법을 고려할 수 있다. 또는 마법사(wizard) 형식의 워크 플로우(work flow) 자동화를 도입하여, 빠르게 설정 값을 변경할 수 있다.

각 모듈은 독립되어 동작하기도 하지만, 상호 보완하여 한 모듈이 다른 모듈의 입력이 되거나 둘 이상의 모듈이 하나의 입력에 연동할 수 있다. 그러므로 모듈간의 파라미터 전송에 대해서 충분히 고려해야 하며, 모듈간 데이터를 공유할 때 동시성도 보장되어야 한다. 설정 데이터는 대체로 작은 용량을 차지하지만 사용자 지정 영역과 같은 데이터 관련 정보는 용량이 크다. 게다가 영상 소프트웨어는 많은 환자의 데이터를 처리해

야 하므로 저장공간이 커진다. 따라서 경우에 따라 압축 등의 적절한 처리를 해야 한다.

6. 3차원 의료영상 처리의 미래

6.1 범용 하드웨어를 이용한 가속화

최근 다중 프로세서나 특수목적 하드웨어와 함께, 범용 그래픽스 하드웨어를 사용하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 흔히 GPU라고 불리는 범용 그래픽스 하드웨어는 3차원 텍스처 매핑 기능을 가지고 있기 때문에, 가시화 속도를 향상시킬 수 있다. 3차원 게임에서 사용되는 그래픽스 가속 성능이 산업용으로 전용되고 있는 것이다. 최근 컴퓨터 게임과 영상 산업의 수요에 의해 GPU의 연산 속도는 매 6개월간 2배의 발전속도로 비약적인 성장을 하였다. 또한 과거 GPU가 제한된 기능으로 인해 주로 영상 가시화에 국한되었던 것과는 달리, 최신의 GPU는 셰이더 프로그램을 이용하여 기능이 확장되었다. 현재 연구되는 수준으로는 소량의 데이터(2차원 영상 200장 내외)를 실시간으로 가시화할 수 있지만, 1-2년 내에는 임상에서 사용할 수 있는 1000장 이상의 대용량 데이터를 처리할 수 있을 것이다.

범용 그래픽스 하드웨어의 장점은 대용량 워크스테이션에 비해 수십 배 저렴한 비용으로 대등한 성능을 보인다는 것이다. 다만, 범용 그래픽스 하드웨어를 사용하려면, GPU에서 제공되는 각종 질의함수와 셰이더 프로그램을 효율적으로 이용해야 하며, GPU 자체의 구조적인 장점과 약점을 면밀히 파악하고 있어야 한다. 특히 데이터 전송 시 버스에서 발생하는 병목현상은 매우 중요한 문제로 꼭 해결해야 할 과제이다.

6.2 대용량 데이터 처리

MDCT의 출현으로 대용량 데이터 생성이 일반화되고 있기 때문에, 현재와 같은 영상 처리는 한계를 드러내고 있다. 일례로 상당수 환자가 1000장 이상의 CT 영상을 생성하고 있으며 한 환자의 데이터가 1GB를 넘어서는 경우도 있다. 따라서 데이터 전송의 대역폭과 처리량을 획기적으로 줄이는 기법이 필요하다. 대표적인 해결 방법은 3차원 영상 압축이다. 영상 압축은 이미 2차원 영상과 멀티미디어의 재생과 저장에 널리 사용되어왔다. 최근 데이터의 용량이 급격히 증가하는 3차원 의료영상에 영상 압축을 적용하려는 시도는 매우 자연스러운 것이다.

의료영상의 저장과 보관에 압축을 도입하는 것은 이미 DICOM, JPEG2000 등의 표준화를 통해 이루어진

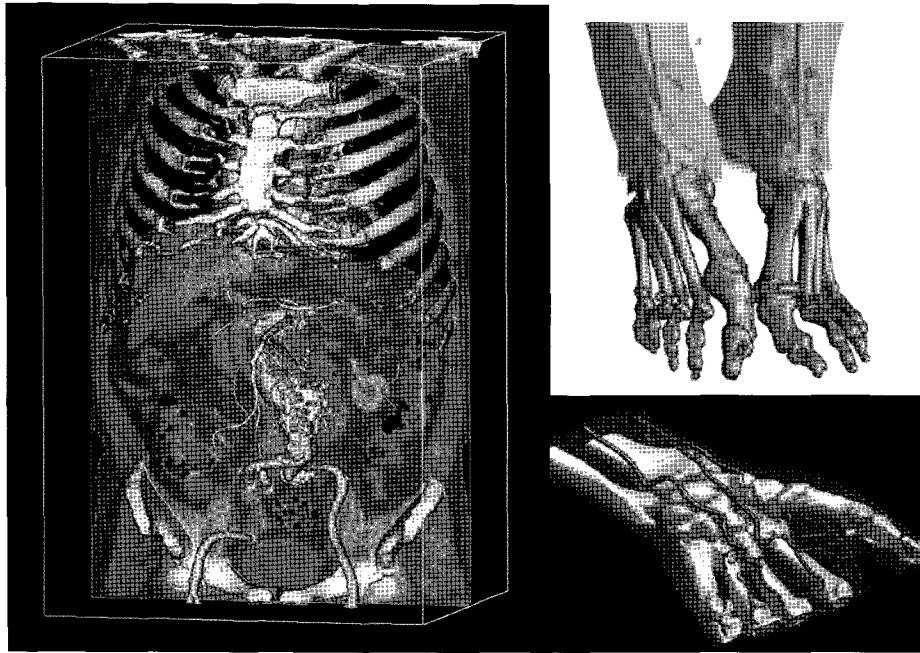


그림 7 3차원 의료영상 가시화의 특수효과. 왼쪽부터 시계방향으로 수퍼-임포지션(super imposition), NPR(Non-Photorealistic Rendering)([1]), Two-Level volume rendering([2])

상태이다. 그러나 압축된 3차원 의료영상을 가시화 하는 방법은 쉽지 않은 일이다. 디코딩에 걸리는 시간이 가시화 시간을 크게 지연시키기 때문이다. 압축된 3차원 영상을 대화적으로 가시화하려면 압축된 영상을 직접 처리할 수 있어야 한다. 즉, 압축비가 높은 동시에 가시적인 화질 손실이 없고 디코딩과 가시화가 동시에 가능한 압축 기법이 연구 되어야 한다.

6.3 특수효과

고전적인 형태의 3차원 볼륨 가시화 기법이 1960년대 소개된 이후, 1980-90년대에는 실용적인 형태의 볼륨 가시화 기법이 등장하였다. 최근에는 기존 기법의 다양한 변형과 기법간의 혼합을 통해 새로운 영상을 생성하고자 하는 시도가 계속되고 있다. 그림 7에서 보는 것과 같이 DVR 영상과 MPR영상을 겹쳐 보이는 방법, 윤곽선을 강조하는 기법[1], MIP와 DVR기법을 혼합하는 방법[2] 등으로 이전에 표현하지 못했던 영상을 생성할 수 있게 되었다. 기존 가시화 기법의 장점을 취합한 새로운 표현 방식은 앞으로 꾸준히 시도될 것이다.

참고문헌

- [1] E. B. Lum and K. L. Ma, "Hardware-accelerated Parallel Non-photorealistic Volume Rendering," Non-Photorealistic Animation and Render-

g archive Proceedings of the 2nd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, pp.67-75, 2002.

- [2] H. Hauser, L. Mroz, G. I. Bischi and M. E. Groller, "Two-Level Volume Rendering," IEEE TVCG, Vol.7, No.3, pp.242-252, 2001.

계 획 원



1999. 2 서울대학교 전산학과 학사
 2001. 2 서울대학교 컴퓨터공학부 석사
 2005. 8 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
 2003. 3~현재 인피니트테크놀로지
 연구원
 관심분야 : 볼륨 가시화, 컴퓨터 그래픽스,
 실시간 렌더링
 E-mail : kuei@infinit.com