

특집
06조선소 생산 기술 향상을 위한 가상현실 기반
훈련 시뮬레이션

목 차

1. 서 론
2. 관련 연구
3. 시스템 구성 및 개발 사례
4. 결론 및 토의

양용연 · 이 건 · 손욱호 · 최진성
(한국전자통신연구원)

1. 서 론

가상현실 기술을 사용하는 대표적인 목적은 사용자에게 가상의 경험을 제공하는 것이다. 즉, 실제의 상황과 동일하거나, 나아가 실 세계에서 물리적 또는 관념적으로 불가능한 가상의 시나리오를 사용자가 체험할 수 있도록 해서, 교육 및 오락 등 다양한 경험을 사용자에게 전달하는 것이다. 이러한 체험적인 경험을 전달하는 특징을 바탕으로 가상현실 기술은 항공우주, 국방, 의료 및 기타 산업 현장에 대한 교육 및 훈련, 그리고 엔터테인먼트 분야 등에 활용되고 있으며, 특히, 실제 현장 상황이 가진 위험요소 및 경제적 요인 등의 난점으로 인해 사용자의 체험이 어려운 응용 분야에 대해 여러 문제점들을 최소화 시키면서도 작업 과정을 직접 체험하고 실습할 수 있도록 하는 대안으로서 큰 기여를 하고 있다.

본 논문은 한국전자통신연구원 (ETRI) 가상현실 연구팀에서 가상현실 기반 IT기술을 조선 산업에 적용하여 개발된 가상 선박 도장 훈련 시뮬레이터의 개발 사례를 보고한다. 본 시스템은

조선소 현장의 기술 개발 수요 제기에 따라서 개발된 결과물로서, 선박 건조 과정에 필수적인 선박 블록 도장 작업에 대한 가상 훈련 시나리오를 제공한다. 선박 제작 공정에 있어서 페인트를 칠하는 작업은 전체 작업 일정 및 선박의 품질에 중요한 영향을 끼치는 중요한 부분으로 많은 수의 숙련공을 필요로 하는 작업이다. 하지만, 열악한 작업 환경 등의 사유로 이직률이 높아, 새로운 인력에 대한 훈련 및 재교육 요구가 높으며, 따라서 단기간에 숙련된 작업 능력을 키우기 위해 많은 실습 및 훈련을 필요로 한다. 이러한 요구에 맞추어 실제 페인트를 이용한 훈련방식이 조선 업계에서 사용되고 있으나, 이는 다음의 문제점들을 안고 있다.

첫째는 재료의 낭비이다. 실제의 페인트를 사용한 훈련은 실습을 위해 다량의 특수 페인트를 소비하게 되며, 기초 실습을 위한 물을 이용한 훈련 또한 수자원을 낭비하는 문제를 안고 있다. 또한 이렇게 훈련을 위해 사용된 페인트 및 물은 재활용이 어려워 환경오염 문제를 유발하기도 한다.

둘째로는 안전사고 위험에 관련된 사항으로,

스프레이 건을 이용한 페인트 분사 시에 발생하는 유독성 가스와 고압의 airless pump를 활용한 분사로 신체 손상에 대한 위험성을 들 수 있다. 이는 훈련자의 건강에 좋지 않을 뿐 아니라, 이러한 문제를 해결하기 위해 착용하는 방독면 및 방호복 착용은 교사와 훈련생 간의 대화를 어렵게 하여, 효율적인 실습 교육이 이루어지는데 큰 걸림돌이 되고 있다.

끝으로, 훈련 진행 상의 어려움을 들 수 있다. 도장 실습을 위해서는 페인트를 칠할 대상이 되는 선박 구조물이 필요한데, 실습을 위해 사용될 구조물은 실제 건조 중인 선박에 비해 그 수와 크기에 있어 제한이 많아, 한번에 다양한 작업 시나리오와 많은 인원의 실습 훈련 참가가 어렵다. 또한 한 번 칠해진 구조물은 도료가 건조되어 도막(塗幕) 두께를 측정하기까지 1~2일의 시간이 소요되며, 건조 된 후에 새로운 실습을 하기 위해서는 구조물의 이동 및 이전의 도막을 제거해야 하는 번거로움이 있다.

이러한 문제점들은 조선소 훈련소 현장, 도장 기술 연구소 및 한국 폴리텍 대학과 같은 도장 인력 양성 기관 등에서 제기된 사항이다. 본 연구에서는 이러한 현장 작업 상황을 가상현실 기술을 활용하여 재현 함으로써, 실제 페인트를 이용한 실습 시에 발생하는 문제점들을 해소 하거나 최소화 시키고, 더 효율적인 훈련 실습이 가능하도록 하는데 그 목적을 갖고 있다. 이를 위하여, 실제 실습의 대상이 되는 선박 블록과 동일한 규모의 가상 모델을 실측 크기의 작업 공간으로 가상화 시킬 수 있는 몰입형 입체 디스플레이 장치, 작업 현장에서 사용되는 동일한 작업 도구(스프레이 건)를 이용하여 실감 있는 분사 반력감을 제시하는 사용자 인터페이스, 사실적인 가상 페인트 스프레이 패턴 실시간 가상화, 그리고, 다양한 작업 환경 및 훈련 시나리오 지원을 주요 기능으로 하는 가상 선박 도장 훈련 시스템을 개발하였다. 그리고, 본 시스템은 세계

최고 수준의 국내 대표 조선사 현장에 설치되어 재료비 절약과 안전사고 위험 감소 등 기존 훈련 방법의 단점을 개선하고 있으며, 훈련생의 능력 작업 능력 향상에 도움을 주고 있다.

2. 관련 연구

가상 훈련은 가상현실 기술의 대표적인 응용 분야로, 항공우주, 국방 및 의료 관련 분야에서 선도적으로 연구 및 실용화 기술이 개발되었다. 실제 현장에서 발생하는 다양한 경제적 문제 및 안전사고의 위험을 줄일 수 있는 장점이 검증되면서 현재는 교육과 산업 생산 및 엔터테인먼트 등 다양한 분야에 대한 활용 기대치가 높은 상태이다. 산업용 가상현실 기반 훈련 시스템 사례는 Stone[1]에 정리된 사례가 있으며, 최근에는 조선 산업과 관련되어 가상 용접 작업에 대한 훈련 시스템이 개발 사례[2][3]가 있다. 그리고, 안전사고와 관련된 가상 훈련 시스템 개발로는 광산업에 적용한 사례[4][5][6]가 있다.

본 연구 결과물과 같이 스프레이 건을 이용하여 페인트를 칠하는 가상환경에 대한 연구 사례로는 Salford 대학의 MY Virtual Graffiti[7] 와 Fraunhofer IGD의 Virtual Graffiti[8]가 있으나, 실제 산업 현장 작업에의 적용보다는 예술적인 목적이나 엔터테인먼트 시스템으로서 설계되었으며, 도장 대상 물체가 2차원 평면으로 제한되거나 페인트 도막의 두께 측정 기능을 지원하지 않는 등 조선소용 도장 훈련 시스템으로 활용하기에는 부족한 점이 있다. 사실적인 페인트 가상화 기술은 컴퓨터 그래픽스 분야에서도 많이 연구 되고 있는 주제이다. 하지만, [9]와 같이 가상현실 시스템과 통합되기에는 실시간 처리 성능이 부족하거나, 예술적인 관점에서 붓과 같은 회화 도구를 대상으로 한 시스템이 주를 이루고 있어 [10][11], 페인트 스프레이 작업을 대상으로 하는 본 연구와는 차이가 있다.



(그림 1) 가상 선박 도장 훈련 시뮬레이터 구성 및 정보의 흐름

3. 시스템 구성 및 개발 사례

가상 선박 도장 훈련 시스템에서는 사용자는 훈련 현장을 실물 크기로 재현한 입체 영상 공간에서, 현장에서 사용하는 작업 도구(스프레이건)와 동일한 인터페이스를 가지고, 현장의 훈련 과정에서 얻게 되는 시각, 청각, 촉각(햅틱) 감각과 일치도가 높은 피드백을 받으면서, 훈련 과정에 참여할 수 있다. (그림 1)은 시스템의 전반적인 구성 및 정보의 흐름을 표현한다. 시스템 기반 데이터부분에는 사실적인 가시화를 위하여, 현장 실측 실험으로 구축된 스프레이 패턴 및 적층 데이터베이스가 있으며, 표준 작업 동작 가시화를 위한 현장 전문가(도장 교사)의 모션 캡처 데이터와 실제 선박(VLCC: very large crude carrier)의 3차원 CAD 데이터로부터 추출한 3차원 작업 블록 데이터가 입력 자료로 활용된다. 실시간 훈련 시뮬레이션을 위해서, 사용자의 시선(head tracking)과 스프레이 건의 6자유도 정보(위치 및 자세)가 비전 기반 트래킹 장치

로 시스템에 입력된다. 그리고, (그림 1)의 우측 하단부의 내용과 같이 시스템에서 제공하는 주요 기능으로는 페인트 및 스프레이건 관련된 파라미터 변경, 작업 시나리오 변경, 즉석 스프레이 두께 측정, 그리고 강의용 디지털 교보재 등이 있다.

3.1 몰입형 입체 디스플레이 플랫폼

가상현실 시스템에서는 높은 수준의 현장감 (spatial presence)을 제시하기 위한 목적으로, 몰입형 디스플레이를 주로 활용한다. 몰입형 디스플레이의 대표적인 예로는 여러 대의 프로젝터를 이용하여 6면의 방 형태로 꾸민 CAVE [12] 시스템과 사용자의 얼굴에 착용하는 형태의 HMD (Head Mounted Display)[13]를 들 수 있다. 최근에는 설치 공간을 줄이고 해상도를 높이기 위한 노력의 일환으로 복수의 프로젝터를 격자 형태로 배치하여 영상을 생성하는 타일드 (tiled) 디스플레이 기술[14]이 개발되었고, Full

HD급 이상의 고해상도 프로젝터와 평판 디스플레이를 매트릭스 형태로 배열한 대형 디스플레이도 개발되고 있다. 본 논문에서는 설치 공간의 제약, 실습 규모 및 해상도 등의 요구사항에 맞추어 가변적으로 구성할 수 있는 평면 형태의 2x1 타일드 디스플레이를 사용하였다.

본 연구에서 구축된 평면형 타일드 디스플레이는 폭 150cm, 높이 200cm의 후면투사 방식의 스크린을 사용하며, 스크린을 상하로 2영역으로 나누어 각 영역에 2대(입체영상 구현)의 프로젝터를 사용하여 영상을 가시화 하였다. 다수의 영상이 겹치는 부분에 대한 경계 일치(edge blending)문제는 H/W적인 기능(lens shift 지원 프로젝터)을 활용하고 S/W적인 기능(alpha channel blending)을 이용)을 구현하여 해결하였다. 디스플레이의 크기는 현직 도장 교사의 조언에 따라서 결정된 것으로, 일반적인 도장 작업 시 대상 물체에서 약 1m정도의 거리에서 작업을 하며, 상하좌우로 팔을 움직여 스프레이 작업을 하는 점을 고려하여 사용자의 시야 및 작업 공간을 확보하되 설치공간을 최소화 하는 방향으로 설정하였다.

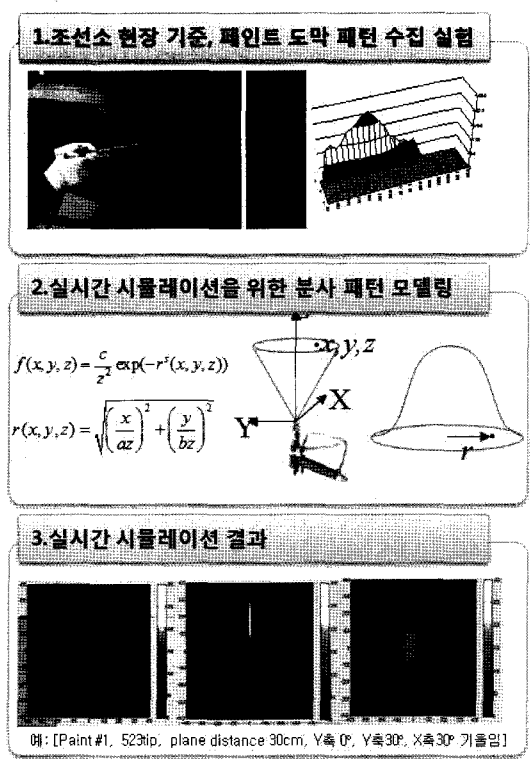
입체 영상 생성을 위해서는 사용자의 양안에 전달되는 영상을 분리할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 상대적으로 낮은 가격이면서 사용자의 자세에 영향이 적은 원형 편광 필터를 사용하였다. 도장 작업 시 실습자가 자세를 변경하면서 입체 구조물을 다양한 관점에서 관찰할 필요가 있는데, 이 경우 원형편광 필터는 일반적인 선형 편광필터에 비해 사용자가 머리를 좌우로 기울여도 그 극성이 바뀌지 않는 특성이 있어 입체영상을 안정적으로 분리해 줄 수 있다.

타일드 디스플레이에 영상을 가시화하기 위해서는 각각의 프로젝터에 가시화될 영상을 분리하여 생성할 필요가 있으며, 이를 위해 본 연구에서는 PC기반 렌더링클러스터를 사용하였으며, 구축에 편리한 기능을 제공해주는 OpenSG

[15] 가시화 라이브러리를 기반으로 가상현실 소프트웨어를 개발하였다.

3.2 사실적인 페인트 스프레이 분사 가시화 및 적층 시뮬레이션

가상환경 내의 3차원 물체에 페인트가 칠해지는 현상을 가시화 하는 방법은, 3차원 모델의 표면에 직접 색조를 입히는 방법으로 텍스처 맵 이미지를 덧입혀 구현 하는 것이 일반적이며, 본 연구에서도 이와 같은 방법을 사용하였다. 기존의 연구들이 페인트를 칠하는데 따른 물체의 색상 변화에 초점을 맞춘 반면, 본 연구에서는 도막의 두께를 측정하기 위해 두께를 표현하는 텍스처 맵 이미지를 추가로 사용하여, 스프레이 건의 위치와 각도에 따라 적절한 스프레이 페인트 패턴을 근사식을 통해 생성하여 색상 및 두께 텍스처 맵 이미지를 갱신하는데 사용하였다.



(그림 2) 실시간 스프레이 페인팅 시뮬레이션

이를 시뮬레이션 하기 위해서는 스프레이 패턴 및 도막 두께를 물리적으로 모델링 할 필요성이 있다. 페인트의 종류 및 스프레이 건의 노즐에 따라 고려해야 할 변수가 많아 모델링이 복잡할 뿐 아니라 이를 실시간에 처리하는데 어려움이 있어, 본 연구에서는 대표적인 페인트와 스프레이 건의 분사 노즐을 사용하여 실제로 페인트를 분사하여 생성되는 패턴 및 도막 두께를 분석하는 방법으로 데이터 베이스를 구축하고, 이를 기반으로 근사식(Scaled Gaussian model)을 모델링 하였다.

이러한 방법으로 1m² 면적당 192x192 pixel의 텍스처 맵 이미지 및 두께 정보 이미지를 사용하여 실시간(평균25fps)에 페인트 스프레이를 시뮬레이션 하고 가시화 할 수 있는 결과를 얻었다.

3.3 현장과 일치된 경험을 제공하는 사용자 인터페이스

가상 훈련 시스템에서는 실제 작업 현장과 동일한 가상환경을 가시화하는 것에 더해, 사용자 인터페이스를 실제 작업 시 사용하는 도구와 최대한 유사하게 만드는 것 또한 중요하다. 이는 특히 사용자의 신체적 운동을 통해 이루어지는 작업의 경우 인터페이스의 사용성 및 향후 실제 작업 환경에의 적응 및 활용 능력에 큰 영향을 미친다. 이러한 점을 반영하여 본 연구에서는 실제 선박 도장 작업 현장에서 사용하는 스프레이 건을 바탕으로 사용자 인터페이스를 설계 및 구현하였다.

컴퓨터의 입력장치로 사용하기 위해 스프레이 건의 레버에 버튼을 부착하여 실제 작업과 동일한 방법으로 스프레이의 분사를 조절하도록 하였으며, 3차원 위치 추적 장치를 이용하여 스프레이건의 3차원 공간상의 위치와 자세를 추적함으로써 실제 작업 시와 동일한 방식으로 스프레이 건 인터페이스를 다룰 수 있도록 하였다.

또한, 페인트 분사 시 발생하는 반발력과 소음을 재현하기 위하여 스프레이 건에 3마력의 힘을 발생시키는 컴프레서를 연결하여 압축 공기를 분사하도록 함으로써, 현장 작업과 유사한 반발력과 사운드 효과를 제시하였다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 선박 도장 작업 훈련 과정에서 발생하는 시간적, 물질적, 경제적, 환경적 문제점을 극복할 수 있는 방안으로 가상현실 시뮬레이션 시스템의 개발 수요 사례를 보고하였으며, 이를 위해 실제 작업 현장과 일치된 훈련 환경 제공을 위하여 가상현실 인터페이스 및 시스템을 개발하였다.

현재까지 개발된 시스템은 건조 기술과 건조량 면에서 세계 최고 수준인 국내 대표 조선소 S사와 D사의 현장에 설치되어, 직원 교육에 활용되고 있다. 향후 추가 연구 개발 내용으로는 실제 작업 현장을 재현하는 것에서 더 나아가 훈련 효과를 높이기 위한 방법의 일환으로 사용자의 자세 및 동작을 분석하여 평가 및 교정해 줄 수 있는 방법[16]에 대한 연구를 계획하고 있다. 그리고, 선박 도장 인력 양성 기관 등 다양한 소비자의 기술 수요에 적합하도록 시스템의 세부 기능을 최적화시키는 작업이 진행되고 있다.

참고문헌

- [1] Stone R. Virtual reality for interactive training: an industrial practitioner's viewpoint. *International Journal of Human-Computer Studies* 55, Academic Press, 2001; 699-711.
- [2] Fast K, Gifford T, Yancey R. Virtual Training for Welding. *Proceedings of the Third IEEE and ACM International*

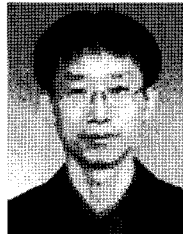
- Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2004; 298-299.
- [3] 123 Certification, Arc+ Welding Simulator, <http://www.123arc.com>
- [4] Filigenzi MT, Orr TJ, Ruff TM. Virtual Reality for Mine Safety Training. Applied Occupational and Environmental Hygiene 15(6), 2000: 465 - 469.
- [5] Mallett LG, Unger RL. Virtual Reality in Mine Training. 2007 SME Annual Meeting and Exhibit, 2007.
- [6] Stothard PM, Galvin JM, Fowler JCW. Development, Demonstration and Implementation of a Virtual Reality Simulation Capability for Coal Mining Operations. Proceedings of ICCR Conference, 2004.
- [7] M. Y. Lim, R. Aylett, "MY virtual graffiti system", International Conference on Multimedia and Expo (ICME'04), 847-850, 2004.
- [8] P. Eschler, D. Stricker, "Virtual Grafitti: from stone-age to digital art", CG topics 1(1), 32-33, 2003.
- [9] T. Van Laerhoven, F. Van Reeth. "Real-time simulation of watery paint", Proceedings of CASA'05, 2005.
- [10] P. Hanrahan, P. Haeberli, "Direct WYSIWYG painting and texturing on 3D shapes", Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 215-223, 1990.
- [11] M. Agrawala, A. C. Beers, M. Levoy, "3D painting on scanned surfaces", Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics, 145 - 150, 1995.
- [12] C. Cruz-Neira, D. J. Sadin, T. A. Defanti, "Surroundscreen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE", Proceedings of SIGGRAPH '93, 135-142, 1993.
- [13] www.inition.co.uk/inition/compare.php?SubCatID=16
- [14] M. Hereld, I. Judson, R. Stevens, "Introduction to building Projection-based Tiled Display Systems", IEEE Computer Graphics and Applications 20(4), 22-28, 2000.
- [15] www.opensg.org
- [16] U. Yang, G. J. Kim, "Implementation and Evaluation of 'Just Follow Me': An Immersive VR-based, Motion-Training System", Presence: Teleoperators and Virtual Environments 11(3), MIT Press, 304-323, 2002.

저자약력



양응연

1997년 충남대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2000년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(박사)
 2003년~현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀
 선임연구원
 관심분야 : 가상(혼합)현실, 인간-컴퓨터 상호작용,
 지식 정보 가시화, 인간공학 및 감성공학
 기반 인터페이스 디자인
 이 메 일 : uyyang@etri.re.kr



손욱호

1987년 연세대학교 컴퓨터과학과(학사)
 1996년 텍사스 A&M 전산학과(석사)
 2001년 텍사스 A&M 전산학과(박사)
 2001년~현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀
 선임연구원
 관심분야 : 가상현실, 증강현실, 햅틱 상호작용, 로보틱스
 이 메 일 : whson@etri.re.kr



이건

2000년 경북대학교 컴퓨터과학과(학사)
 2002년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2009년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(박사)
 2005년~현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀
 선임연구원
 관심분야 : 가상현실, 증강현실, 인간-컴퓨터 상호작용
 이 메 일 : endovert@etri.re.kr



조진성

1989년 경북대학교 전자공학과(학사)
 1994년 경북대학교 전자공학과(석사)
 1994년~1996년 한국과학기술연구원 시스템공학연구소
 연구원
 1996년~현재 한국전자통신연구원 가상현실연구팀 팀장
 관심분야 : 가상현실, 의료기반 가상현실, 영상 특수 효과,
 초고속 렌더링
 이 메 일 : jin1025@etri.re.kr