

가상목업을 활용한 협업 정비 시뮬레이션 시스템

이 준 규[†]

요 약

가상목업을 이용한 정비 시뮬레이션을 제품 설계 단계에 적용함으로써 시제품 제작 전 정비성을 검증할 수 있고, 제품 개발 비용을 절감할 것으로 기대되고 있다. 정비 시뮬레이션 결과는 정비 매뉴얼 콘텐츠로 재사용하거나 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 분석 자료로 활용할 수 있다. 가상 환경에서 설계 타당성을 검증하기 위해 정비 시뮬레이션은 가상 제품의 물리특성, 부품의 조립관계, 조작 과정을 실제 환경과 유사하게 제공해야 한다. 시뮬레이션 시스템은 협업 정비 절차를 수행하기 위해 가상 협업 환경으로 확장되어야 한다. 본 논문은 현재 알려진 정비 시뮬레이션을 가상 협업 환경으로 확장하기 위한 3계층 시스템 구조와 물리모의 기반 협업 인터렉션 기술을 제안한다. 제안된 협업 정비 시뮬레이션 시스템은 가상목업 정비 시뮬레이션 시스템으로 구현하였으며, 시뮬레이션 결과를 VADE (Virtual Assembly Design Environment) 사례와 비교하여 물리모의 기반 협업 인터렉션 기술로 다양한 정비 작업을 모의하는 것이 가능함을 확인하였다.

Collaborative Maintenance Simulation System Using Virtual Mockup

Junkyu Lee[†]

ABSTRACT

Applying maintenance simulation using virtual mockup in product design phase enables maintainability test before prototyping physical products, and it is expected to reduce product development costs. The simulation results can be reused as contents of service manuals and RAM (Reliability, Availability, Maintainability) analysis data. Maintenance simulation should provide realistic representation of physical property of virtual product, assembly relation between parts and manipulation process to verify feasibility of product design. The simulation system should be extended to collaborative virtual environment to perform collaborative maintenance procedures. In this paper, the three layered system architecture and the physics based collaborative interaction technique are proposed to extend current maintenance simulation into collaborative virtual environment. The proposed system was implemented as ViMMS (Virtual Mockup Maintenance Simulation system), and compared with case study results of VADE (Virtual Assembly Design Environment). As a result, the ViMMS encompassed broader range of maintenance tasks by using physics based collaborative interaction technique.

Key words: Virtual Mockup(가상목업), Collaborative Virtual Environment(가상협업환경), Maintenance Simulation(정비 시뮬레이션)

※ 교신저자(Corresponding Author): 이준규, 주소: 대전광역시 유성구 수남동 111번지 7본부 1부(305-152), 전화: 042)821-4823, FAX: 042)821-2223, E-mail: junkyulee82@gmail.com

접수일: 2011년 7월 26일, 수정일: 2011년 11월 11일

완료일: 2011년 11월 22일

[†] 정회원, 국방과학연구소 연구원

1. 서 론

가상 환경(Virtual environment)에서 제품의 정비 및 조립 과정을 시뮬레이션 함으로써, 목업이나 시제품 제작 후에 수행했던 제품의 정비성 검토, 생산 공정 계획, 공구와 치구의 설계 활동을 제품 개발 초기 단계에서 수행 할 수 있을 것으로 기대된다. 조립 작업에 소요되는 비용은 제품 개발 비용의 40%를 차지하는 것으로 알려져 있으며, 조립을 고려한 설계(Design for assembly) 활동을 제작 전 가상 환경에서 수행함으로써, 제작 후 발생하는 설계 변경을 최소화하여, 제품 개발 예산을 절감 할 수 있다[1-3]. 또한, 가상 정비 환경을 기술 교범 저작과 정비 훈련에 활용하면 노동집약적인 정비 매뉴얼 저작 과정을 개선 할 수 있을 뿐만 아니라, 시스템 운영 유지 단계에서 정비 절차를 효과적으로 습득하여, 운영 중 정비 오류로 발생하는 사고를 예방하고 운영유지 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

일반적으로 제품의 조립 절차는 조립체를 구성하는 모든 부품을 조립하여 최종 제품을 완성하는 완전 조립 절차(Complete assembly sequence)와 관심이 있는 대상 부품만을 조립하거나 분해하는 불완전 조립 절차(Incomplete assembly sequence)로 분류되는데, 본 논문에서 정비 절차는 두 가지 모두를 포함한다 [4-5]. 정비 절차는 정비 작업(Task)을 선결 관계에 따라 배열함으로써 얻을 수 있는데, 단위 정비 작업은 수행 방식에 따라, 1인의 작업자가 공구를 사용하여 부품을 조립/분해하는 작업, 2인 이상의 작업자가 공구와 치구를 사용하여 구성품을 구조물에 체결/해체하는 작업, 다른 작업자의 보조 하에 지원 장비를 운용하며 대형 설치품을 설치, 제거하는 작업으로 분류 할 수 있다.

가상 정비 환경을 구성하기 위해서 정비 대상 부품, 작업 환경, 작업자를 가상 환경에서 재현해야 하며, 가상 환경의 3차원 모델을 조작하기 위한 인터랙션 기술을 구현해야 한다. 가상목업(Virtual mock-up)은 가상현실(Virtual reality) 기술을 활용하여, CAD(Computer Aided Design) 환경에서 생성된 제품의 설계 정보를 기반으로 제품의 3차원 형상과 제품의 기계적 기능을 가상 환경에서 재현하여 실목업(Physical mockup)을 대체한다 [6]. 가상목업을 구현하기 위해서, 가상의 부품 모델에 대한 충돌 탐지와

같은 3차원 모델의 물리적 특성을 모의하는 기술과 사용자가 가상의 부품을 조작하기 위한, 기하학적 구속 관계나 3차원 모델의 동역학 시뮬레이션을 적용한 인터랙션 기술이 필요하다[7-17].

가상휴먼(Virtual human)은 가상 환경에서 사용자의 대리자로서 3차원 사용자 인터페이스 장치에 의해 구동되는 아바타(Avatar), 인체 측정 통계를 따르는 3차원 마네킹 모델, 인간의 행동(Behavior)을 재현하기 위한 인간 성능 모델 및 인지 모델을 포함한다[18-21].

가상휴먼이 가상 환경에서 정비 작업을 수행할 때, 작업 공간과 대상의 규모에 따라 전신 동작에서부터 세밀한 손동작에 이르는 다양한 수준의 인체 부위에 대해 실제감 있는 동작을 생성해야 한다. 그리고 가상휴먼과 가상목업의 실시간 인터랙션에 의해 정비 작업의 가시성(Visibility), 접근성(Accessibility), 자세의 안정성(Safety)과 같은 인간 공학 요소(Human Factor)를 검증할 수 있다.

가상 정비 시 요구되는 가상휴먼 모델의 상세도, 가상 목업의 재현 정밀도는 작업 공간과 부품의 무게로 정의되는 작업 스케일에 따라 분류할 수 있고, 이에 따라 햅틱 장치를 사용하는 1인형 데스크탑 환경, 트래킹 장치를 사용하는 CAVE 환경 등 다양한 유형의 가상 정비 환경을 구성할 수 있다.

표 1에 작업 대상 스케일에 따라 가상 휴먼이 생성해야 하는 동작(Action)과 일반적인 항공기 조립 시 발생하는 전형적인 작업 사례, 가상휴먼 마네킹의 세그먼트 조절점 수와 표현 부위, 가상목업 모델의 허용 오차를 제시하였다. 작업 스케일이 중형 이상에서, 2인 이상의 작업자가 동시에 참여하는 협업을 모의하기 위해서 가상 정비 환경은 네트워크를 통해 가상 환경을 공유하며 실시간으로 인터랙션을 동기화 할 수 있는 가상 협업 환경(Collaborative virtual environment) [22-24]으로 확장되어야 한다.

기존에 제안된 가상 정비 환경에 대한 연구는 소형 작업 스케일의 경우 실시간 인터랙션의 정밀도와 현실감을 향상시키기 위한 컴퓨터 그래픽스 알고리즘 분야에 치중되어 있다. 국내의 경우, [13-14]에서 1인형 데스크탑 환경에서 햅틱 장치를 활용하여 유도무기의 조립 과정을 시뮬레이션 하였고, [15]에서 세밀한 손동작 인터랙션을 위한 파지 알고리즘 및 핸드햅틱 인터페이스를 제시한 바가 있다. 대형 작업

표 1. 정비 작업의 분류 및 예

작업 스케일	동작(Action)	작업 사례	가상 휴먼 상세도	가상 목업 모델 오차
소형, 경량 (공간 < 10cm ³)	- grasp, release - insert, extract - latch, unlatch - open, close, turn hold, carrying	- 케이스 덮개의 볼트와 너트를 체결, 해제한다 - 케이스를 열고 회로 기판을 꺼낸다	- 1인, 상체 - 세밀한 손동작	제작 공차
중형, 경량 (공간 < 1m ³)	- grasp, release - install, removal - connect, disconnect - open, close, turn, hold, carrying	- 엔진과 엔진 마운트 스트럿 구조물 사이에 제한장치를 설치한다. - 보조 작업자는 제한장치를 작업 중 지지한다	- 협업, 전신 - 60개 이상의 관절 조절점	제작 공차 ~ 수 mm
중형, 중량 (공간 < 1m ³)	- push, pull - install, removal - guide, manipulate - connect, disconnect	- 엔진을 호이스트에 체결하고 4인의 지지하에 엔진 마운트 스트럿 구조물 위에 설치한다	- 협업, 전신 - 30개 이상의 관절 조절점	수 mm
대형, 중량 (공간 > 1m ³) heavy	- push, pull - guide, manipulate	- 지원장비에 탑재된 항공기포트를 장착점으로 이동한다	- 협업, 전신 - 30개 미만의 관절 조절점	수mm ~ 수cm

스케일의 경우, [16]에서 DELMIA [17]로 2인의 정비사가 유도 무기를 정비하는데 소요되는 시간을 산출하기 위해, 스크립트 언어로 가상휴먼의 애니메이션을 생성하여 실제 정비 시간과 비교한 바 있다.

국내, 외 공통적으로 중형의 작업 스케일의 정비 과정을 모의하기에 적합한 가상휴먼의 실시간 인터랙션에 기반한 협업 정비 환경을 구축한 사례는 알려진 바가 없으며, 해당 시스템에 적용 가능성이 있는 인터랙션 기술 위주로 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 네트워크로 구성된 가상 협업 환경에서, 다수의 가상휴먼과 가상목업 사이의 실시간 협업 인터랙션을 위한 시스템 아키텍처와 이를 구현하기 위한 협업 인터랙션 썬 그래프를 제안한다. 시스템 아키텍처는 3계층 구조로, 가상휴먼 계층, 물리모의 계층 및 협업제어 계층을 가진다. 가상휴먼 계층은 가상 정비 환경에 참여하는 가상휴먼 클라이언트로 구성되고, 물리모의 계층은 가상 정비 환경에 참여할 3차원 개체들 사이의 충돌 및 동역학 연산을 협업 인터랙션 썬 그래프로 처리한다. 협업 인터랙션 썬 그래프를 활용하여, 정비 과정 중 변경되는 가상목업의 조립 상태를 관리할 수 있으며, 2인 이상의 가상휴먼이 하나의 가상목업의 부품 모델에 작용하는 협업 인터랙션을 물리엔진을 활용하여 생성할 수 있다. 협업제어 계층은 다수의 가상휴먼 클라이언트

와 물리모의 계층 사이의 메시지 및 분산 객체 상태 동기화를 담당한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 가상 정비 시뮬레이션 구현 사례를 기술하며, 3장에서 시스템을 구성하는 각 계층의 동작 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 가상목업 정비 시뮬레이션 시스템(ViMMS) 구현 결과와 고찰을, 5장에서 결론 및 향후 발전 방향을 제시한다.

2. 가상 정비 시뮬레이션 구현 사례

표 2에 기존에 제안된, 가상 정비 시뮬레이션 사례를 사용자 인터랙션에 활용된 기술과 작업 스케일에 따라 비교하였다. 기존의 연구는 가상 환경에서 현실감을 높이기 위한 인터랙션 기술과 소형의 작업 공간에서 세밀한 조립 작업을 주요 연구 대상으로 한다는 것을 확인할 수 있다.

NIST(National Institute of Standard and Technology)와 워싱턴 주립 대학에서 개발한 VADE(Virtual Assembly Design Environment) [7]는 Pro/E 카드 환경 [25]과 통합된 가상 검증 환경으로, 초기에 SGI IRIX 환경에 구현되어 현재 Linux 환경에 포팅이 되었으며 Flock Birds, Cyberglove, Cybergrasp, 5DT data glove, ultrasonic tracking 장치 등을 인터페이스 장치로 사용하고 있다. VADE는 캐

표 2. 가상 정비 시뮬레이션 관련 연구 비교표

	VADE[7]	Motive3 [8]	SHARP [9]	Garbaya [3]	Alleotti [10]	Jack [31]	ViMMS
작업Scale	소~대	소형	소형	소형	소형	소~대	소~중
충돌탐지	Swept Volume	×	VPS 기반	PhysX	OPCODE	×	PhysX
구속기반 인터랙션	○	제한적	×	×	×	Scripting	○
물리기반 인터랙션	제한적	×	VPS 기반	PhysX	ODE	×	PhysX
가상현실 인터페이스	Tracking Glove visual	Tracking Glove visual	Haptic visual	Haptic visual	Haptic visual	Motion Capture, visual	Motion Capture, Tracking visual
가상휴먼마네킹	전신	손	양손	손	손	전신, 정밀	전신, 정밀
협업	×	×	×	×	×	Scripting	○
자동계획 생성	×	경로생성	×	×	절차생성	×	×

드 모델에 정의된 부품 간의 기하학적 구속 관계를 활용한 사용자 인터랙션 기술과 중력 효과 등을 모의하기 위해 물리엔진을 제한적으로 적용하였다[26].

Motive3D [8]는 Wave propagation algorithm [27] 기반의 해체 경로 자동 생성 모듈과 UG 캐드 환경[28]과 통합된 B-Rep 기반의 Parasolid 포맷 변환 및 배포 모듈, Acension FOB motion tracker, Anir Mouse, 5DT data glove 장치 등을 인터페이스로 사용하는 가상 환경을 HP Unix 환경에 구현하였다.

SHARP(System for Haptic Assembly and Realistic Prototyping) [9]는 햅틱 장치를 사용하기 위해 물리엔진을 활용한 인터랙션 기술인 Voxmap point shell [30] 기반의 충돌 탐지 및 햅틱렌더링 알고리즘을 적용하였다. 그리고, Garbaya와 Zaldivar-Colado는 [3]에서 PhysX 물리엔진을, Alleotti와 Caselli은 [10]에서 Open Dynamics Engine을 적용하였다. 가상 정비 시뮬레이션에 물리엔진을 활용하면, 3차원 모델 사이의 충돌에 의한 반발력, 외력에 의한 부품 간의 구속된 링크의 운동을 시뮬레이션 할 수 있고, [15,34]의 사례와 같이 세밀한 수작업 인터랙션 중 가상 휴먼의 손 모델과 물체의 접촉점 사이의 가상 링크의 동역학을 시뮬레이션 할 수 있으므로, 가상 환경을 보다 충실도 있게 재현할 수 있다.

Jack은 Parametric action representation [18] 기반의 가상 휴먼으로 제품의 인간공학 요소를 검증하

기 위해서 Siemens 캐드 환경 [31]에 통합되어 있는데, 이와 유사한 상용 소프트웨어로 Delmia [17]가 있다. 이들은 마네킹 모델에 스크립팅 유저인터페이스를 제공하여, 연속된 자세를 생성하거나, 모션캡처 장비로 실시간 애니메이션을 녹화할 수 있다.

Motive3D와 Alleotti 등이 제시한 기법은 자동계획생성 모듈을 포함하고 있으나, 현재까지 제안된 조립 경로 및 절차 계획법은 실험적인 경우에 대해서만 만족할 만한 해를 제공하는 실정이다[4-5].

3. 가상목업 정비 시뮬레이션 시스템(ViMMS)

3.1 시스템 구성

중형 이상의 스케일에서 정비 절차(Sequence)는 선결 관계를 가지는 단위 작업(Task)의 집합으로, 일반적으로 2~6인이 치구와 지원 장비를 사용하여 부분품을 설치하거나 제거하는 동작(Action)을 반복적으로 포함한다. 협업 정비 시뮬레이션 시스템은 실행 중 정비 과정에서 발생하는 간섭, 접근성, 가시성 등을 판단할 수 있어야 할 뿐만 아니라, 선결 관계를 따르는 단위 작업과 동작을 재구성 하여 정비 절차를 재수립할 수 있어야 한다. 가상목업 정비 시뮬레이션 시스템(Virtual mockup maintenance simulation system)은 기술지시서(Technical order)를 분석하여 설계한 정비 시나리오 템플릿에 따라 시뮬레이션

을 실행하고, 협업에 참여하는 가상휴먼과 가상목업 사이의 인터랙션 과정을 관리한다. 그림 1에서 ViMMS는 가상현실 사용자 인터페이스에 대응되는 가상휴먼 클라이언트로 구성되는 가상휴먼 계층, 분산 가상 환경의 미들웨어인 협업제어 계층, 물리 기반 협업 인터랙션을 생성하는 물리모의 계층으로 구성된다. 가상휴먼 계층의 가상휴먼 클라이언트는 3차원 입력 장치로 모션캡처 장비와 트래킹 장비, 3차원 마우스를 사용하여 사용자의 정비 과정에 대한 명령과 가상 휴먼의 동작을 입력받고, 3차원 출력 장치로 HMD(Head Mounted Display)와 대형 스테레오 디스플레이 장치를 사용하여 정비 과정을 보여준다. 협업제어 계층은 정비 시나리오 템플릿에 정의된 실행 규칙에 따라 시뮬레이션 과정을 제어하고 가상 환경에 참여하는 개체의 상태를 동기화하고 메시지를 전달한다. 물리모의 계층은 캐드 환경에서 정의된 제품 트리를 기반으로 생성한 협업 인터랙션 씬 그래프로, 가상목업의 조립 상태를 정의하고, 물리엔진을 활용하여 가상휴먼과 가상목업의 인터랙션에 의한, 조립 상태 변경 과정에서 발생하는 3차원 모델의 충돌을 탐지하고 동역학을 생성한다.

3.2 가상휴먼 계층

가상휴먼 계층은 3차원 사용자 인터페이스에 대

해 확장이 용이한 가상 협업 환경을 구현하기 위해 하드웨어 입출력 인터페이스 모듈, 가상휴먼의 동작을 생성하는 모듈, 정비 과정 중 조립 상태를 변경하거나, 사용자 편의 기능을 입력받고 처리하기 위한 사용자 명령처리 모듈, 협업 제어 계층에서 전달된 메시지로 다른 클라이언트가 소유하고 있는 분산 객체의 위치와 속도를 동기화하는 상태 업데이트 모듈, 협업제어 계층의 분산 객체 서버에 접속하기 위한 분산객체 클라이언트 모듈, 협업제어 계층과 네트워크 패킷을 주고 받기 위한 네트워크 통신 모듈로 구성된다. 가상휴먼의 동작을 생성하는 모듈은 3차원 입력 인터페이스가 제공하는 가상휴먼 세그먼트의 조절점의 위치 변화에 따라 가상휴먼 동작을 생성하는데, 트래킹 장치를 사용하는 경우는 제한된 조절점 값만 얻을 수 있으므로 애니메이션 합성과 역기구학 모델로 동작을 생성하고, 모션캡처 장치를 사용하는 경우는 전신에 분포하는 조절점 값을 얻을 수 있으므로 이러한 과정이 생략된다.

협업제어 계층에서 작업 수준의 시나리오가 정의되면 가상휴먼 클라이언트는 동작을 생성하기 전 대기 상태에 진입한다. 분산 네트워크 환경에서 클라이언트로 동작하는 가상휴먼은 협업제어 계층이 관리하는 가상목업의 3차원 모델 아이디를 획득하고, 가상목업과 가상휴먼을 구성하는 분산객체 상태 값을

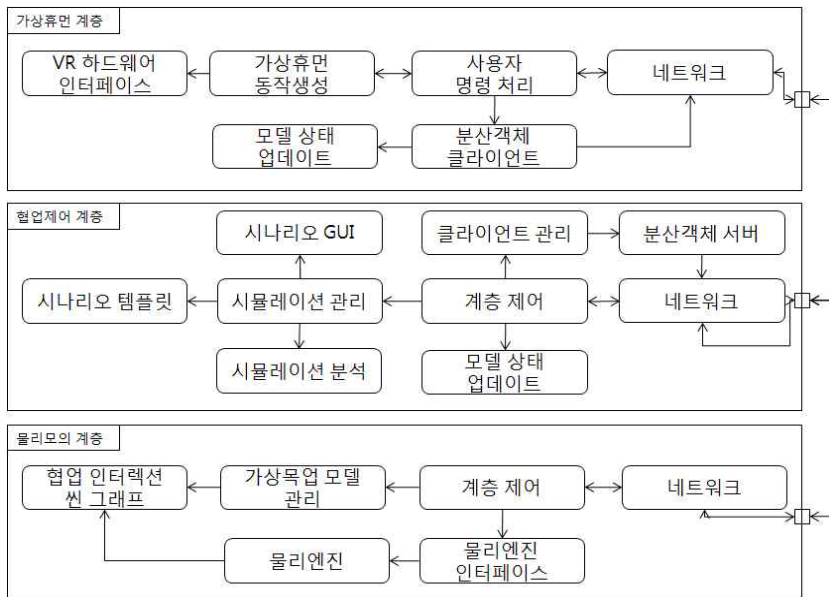


그림 1. 협업 정비 시뮬레이션을 위한 3계층 시스템 구조

동기화 한다.

표 3에 가상휴먼의 사용자 명령과 이에 대응되는 상태변경 요청 이벤트, 가상휴먼 인터렉션 모델에서 상태 변경이 수용되기 위한 사전조건과 물리모의 계층에서 요청이 승인 되었을 때의 결과를 요약하였다. 사용자가 선택한 가상휴먼의 명령은 사용자 인터페이스 모듈을 거쳐 사용자 명령 처리 모듈에서 상태 변경 요청을 위한 로컬 이벤트 발생시킨다. 분산 객체 상태 변경 요청 이벤트는 가상휴먼 인터렉션 모델에 의해 물리모의 계층에 요청할 가상목업 대상 모델과 가상휴먼 클라이언트 모델의 자세, 위치 값으로 변환되고, 네트워크 모듈은 협업 제어 계층에 해당 메시지를 전송한다.

3.2.1 가상휴먼 인터렉션 모델

가상휴먼의 3차원 모델은 가시화 및 가상휴먼의 애니메이션 생성을 위한 66개의 세그먼트를 갖는 스켈레톤, 단일 메시지를 갖는 "Human model", 물리모의 계층에 전달되어 충돌탐지 및 동역학 시뮬레이션을 위한 "Physical Model"로 그림 5와 같이 구성된다.

하드웨어 입출력 인터페이스 모듈에서 실시간 모션 캡처 장비로 획득한 스켈레톤의 세그먼트 값을 "Human model"에 맵핑하거나, 트래킹 장치로 획득한 좌표 값을 기반으로 가상휴먼의 동작 생성 모듈에서 역기구학과 애니메이션 합성으로 "Human model"의 실시간 애니메이션을 생성한다.

가상목업 모델과 가상휴먼 모델의 동역학 시뮬레이션에 기반한 인터렉션은 "Physical model"을 매개로 이루어진다. "Physical model"은 "Human model"의 손바닥 세그먼트 좌표계를 따르는 상자로 구현하였다. "Physical model"은 "Human model"의 세그먼트 중 가상목업 모델에 외력을 가하거나 접촉이 일어날 수 있는 위치에 하나 이상 배치할 수 있다. 가상목업 조립상태 변경 요청을 위한 로컬 이벤트는 표 3에서 "Attach", "Detach" 타입의 명령을 통해 발생한다. Attach 명령이 인가되었을 경우 사용자 명령처리 모듈은 "Physical model"과 가상목업의 3차원 모델 사이의 충돌 검사를 수행하고 충돌이 발생한 가상목업의 모델 중 "Physical model"과 최단 거리인 가상목업의 모델을 찾고, 협업제어 계층으로 전달할 메시지

표 3. 가상휴먼 사용자 명령 및 조립 상태 변경

명 령	조립 상태 변경	사전 조건	조립 상태 변경 결과
Attach	- 가상목업에서 분해	- 휴먼과 목업 사이 충돌 발생	- 대상부품은 "Dynamic" 타입의 그룹으로 변경 - 새로운 Action 생성
Attach without changing scene graph	- 가상목업에서 분해 - 상하관계가 있을 경우, 상위 모델도 포함	- 휴먼과 목업 사이 충돌 발생	- 새로운 Action 생성
Detach to Storage	- 저장 공간에 이동시킴	- 대상 부품이 가상휴먼에 Attach	- 대상부품 모의 대상에서 제외 - 가상휴먼과 링크가 제거됨
Detach to Space	- 현재 공간에 놓음	- 대상 부품이 가상휴먼에 Attach	- 대상 부품과 가상휴먼 사이 링크 제거
Automatic Assemble	- 자동으로 조립	- 대상 부품이 원래 조립되어 있던 위치와 자세로 이동	- 원래 조립 상태로 복귀
Select Scene Graph Node	- 씬 그래프 노드 선택	- 없음	- 물리계층의 씬 그래프 노드 선택
Set Scene Graph Node	- 씬 그래프 노드 링크 설정	- 선택한 노드의 상위 노드를 지정	- 물리계층의 씬 그래프 구조 변경
Hide	- 선택한 노드 모의 대상에서 제외	- 없음	- 노드가 모의 대상에서 제외됨
Change Camera	- 카메라 교체	- 없음	- 카메라 변경
Set Constraint	- 구속 조건 활성화	- 없음	- 구속 On/Off
Set Collision	- 충돌 활성화	- 없음	- 충돌 On/Off
Set View point	- 시점 이동	- 없음	- 선택한 곳으로 시점 이동

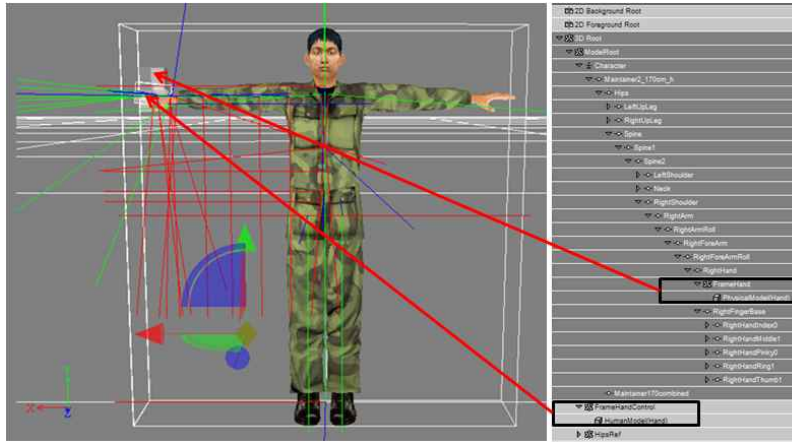


그림 2. 가상휴먼의 3차원 모델과 계층구조

를 생성한다. 가상목업 조립상태 메시지는 최종적으로 물리모의 계층의 협업 인터랙션 씬 그래프를 재구성하고, 재구성된 협업 씬 그래프를 따르는 동역학 시뮬레이션 결과는 주기적으로 모든 가상휴먼 클라이언트에 전달된다.

3.3 협업제어 계층

협업 제어 계층은 상위 계층인 가상휴먼 계층의 클라이언트 세션 관리 및 사용자의 조립, 분해 명령과 같은 인터랙션 요청을 취합하여 하위 계층인 물리모의 계층으로 전송하고, 하위 계층에서 전송되는 분산 객체의 물리엔진에 의한 시뮬레이션 상태를 업데이트 한다.

협업 제어 계층은 양 계층 간 통신을 위한 네트워크 모듈, 분산객체 서버로 접속하는 가상휴먼 클라이언트의 접속 상태를 관리하는 클라이언트 관리 모듈,

양 계층에서 수신된 메시지를 처리하여 분산 시뮬레이션 진행 상태를 제어하는 계층 제어 모듈, 협업 정비 시뮬레이션 진행 상태를 관리하는 시뮬레이션 관리 모듈, 시뮬레이션 참여 개체의 시뮬레이션 진행 단계 별 전역 상태를 관리하는 모델 관리 모듈, 그래픽 사용자 인터페이스 모듈과 시뮬레이션 결과 보고서 등을 생성하는 분석 모듈로 구성된다.

3.3.1 정비 시나리오 템플릿

정비 시나리오 템플릿은 정비 도메인 지식을 추상화하여 시뮬레이션 데이터 구조와 시뮬레이션 실행 규칙을 정의한다. 협업 제어 계층의 시뮬레이션 관리 모듈은 정비 시나리오 템플릿에 정의된 관계에 따라 시뮬레이션의 진행 과정을 관리한다. 그림 2에서 절

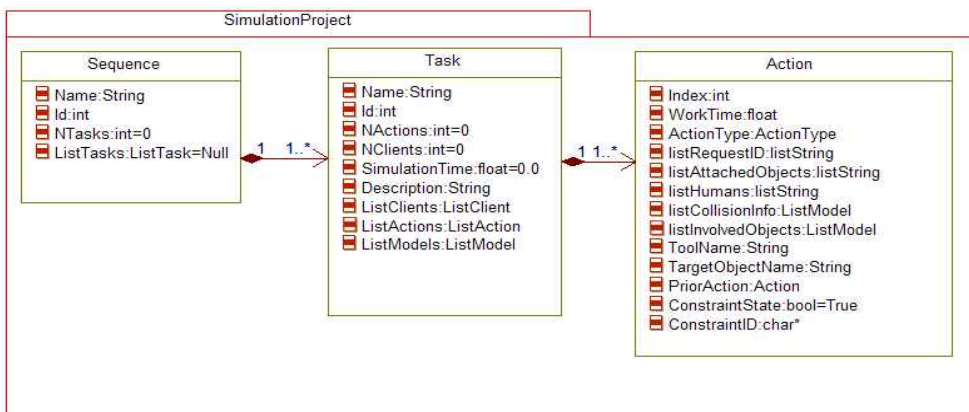


그림 3. 정비 시나리오 템플릿의 구조와 속성

차(Sequence)는 정비 과정 중에 발생하는 재사용 가능한 논리적인 작업(Task)의 컨테이너로 절차에 대한 서술과 작업 아이디 등을 저장한다. 작업은 정비사가 수행해야 하는 동작(Action)의 컨테이너로 작업에 대한 서술, 정비 대상이 되는 가상목업의 3차원 모델, 작업에 참가하는 가상휴먼, 작업에 포함 된 동작 시간의 총합 등을 저장한다. 작업 수준에서 가상휴먼 클라이언트 세션을 관리하며, 협업 시뮬레이션에 참여하는 개체의 상태를 초기화 한다. 동작은 가상휴먼과 물리엔진에 의해 수행되는 협업 인터랙션 실행의 단위로 가상휴먼 클라이언트와 정비 대상 객체, 동작 중 발생하는 조립과 분해 명령, 사용된 공구,

실행 시간 등을 저장한다. 동작의 시작과 끝은 가상휴먼 클라이언트가 발생하는 가상목업의 조립 상태 변경 요청이 물리 모의 계층의 제어 모듈에서 승인된 시점부터 조립 상태가 변경 될 때까지로 정의되며, 동작에 대한 서술은 시뮬레이션 관리모듈이 자동으로 생성 한다.

3.3.2 시나리오 템플릿을 따르는 실행 규칙

그림 3의 시퀀스 다이어그램에서 시뮬레이션이 시작되면, 시뮬레이션 관리자는 절차를 서술한다. 생성된 절차 내에서, 작업 인스턴스를 생성하면, 가상 협업 환경에 참여하는 가상휴먼 클라이언트가 세션

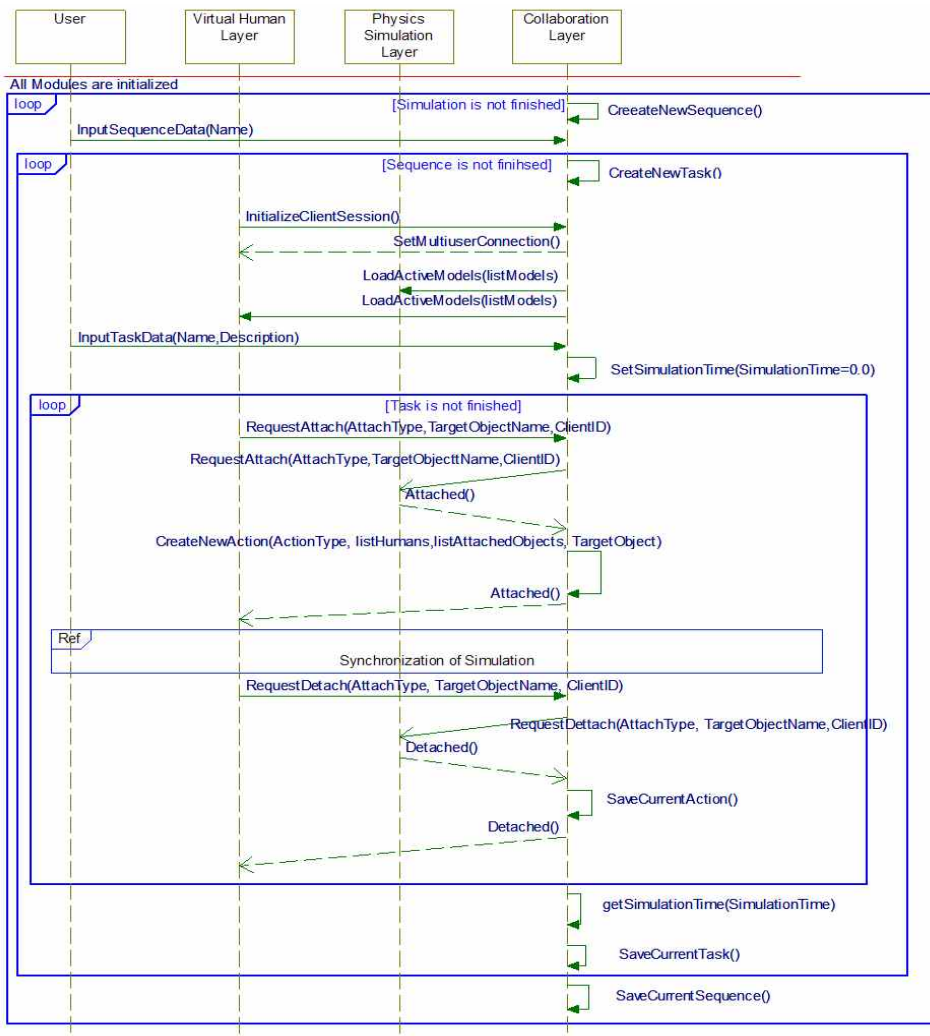


그림 4. 정비 시나리오 템플릿을 따르는 시뮬레이션 실행 순서

에 등록된다. 가상목업 모델 중 물리 모의 대상이 되는 모델을 선택하여 물리모의 계층에 전달하면, 시뮬레이션 관리모듈은 물리모의 대상이 되는 가상목업 모델의 목록, 가상휴먼의 목록, 동작의 목록과 생성한 해당 작업을 수행하는데 소요되는 시간을 산출하기 위한 시간 변수를 초기화한다. 작업 인스턴스 내에서 가상휴먼 클라이언트가 물리 모의 대상이 되는 가상목업의 모델의 조립 상태 변경 요청 명령을 발생시키면 협업제어 계층을 거쳐 물리모의 계층에 전달된다. 협업제어 계층이 상태 변경 요청에 대한 물리모의 계층의 승인 메시지를 수신하면 시뮬레이션 관리 모듈은 동작 인스턴스를 생성한다.

동작 인스턴스는 동작에 참가하는 가상휴먼 클라이언트 아이디, 정비 대상 가상목업 모델명, 가상목업 조립체의 조립상태를 저장한다. 가상목업 모델에 가상휴먼이 상태 변경 요청을 한 후, 또 다른 가상휴먼이 동일한 가상목업 모델에 조립상태 변경을 요청하면 협업 인터렉션이 생성되고 동작 인스턴스에 저장된 정보가 업데이트된다. 협업 인터렉션은 동작 인스턴스 내에 참여한 모든 가상휴먼이 가상목업의 조립상태를 변경한 후에 동작이 종료될 수 있고, 비협

업 인터렉션의 경우 다른 동작과 독립적으로 동작이 실행된다. 작업을 구성하는 동작이 완료되면 작업을 구성하는 동작 수행 시간을 취합하여 작업에 소요되는 인시를 산정한다. 절차를 구성하는 모든 작업이 완료되면 새로운 절차 인스턴스를 생성하고, 모든 절차가 완료된 경우 시뮬레이션을 종료한다.

3.3.3 협업 시뮬레이션 동기화

가상휴먼 클라이언트는 물리모의 계층에서 3차원 모델의 충돌과 동역학 시뮬레이션 결과에 의해 변경되는 3차원 모델의 위치, 자세 상태 값을 실시간으로 동기화하고 가시화한다. 또한 협업 제어 계층에 수신되는 가상휴먼 클라이언트의 조립상태 변경 요청은 동작 수준에 할당하기 위해 물리 모의 계층으로 전송된다. 물리 모의 계층에서 발생한 조립상태 변경 요청에 대한 응답은 협업 제어 계층을 거쳐 각 클라이언트로 전달된다.

그림 4의 시퀀스 다이어그램에서 협업 시뮬레이션 수행 중 가상휴먼 클라이언트와 물리모의 계층이 공유하는 분산객체의 상태를 동기화하는 과정을 보인다. 협업 제어 계층의 네트워크 모듈은 메시지 큐에

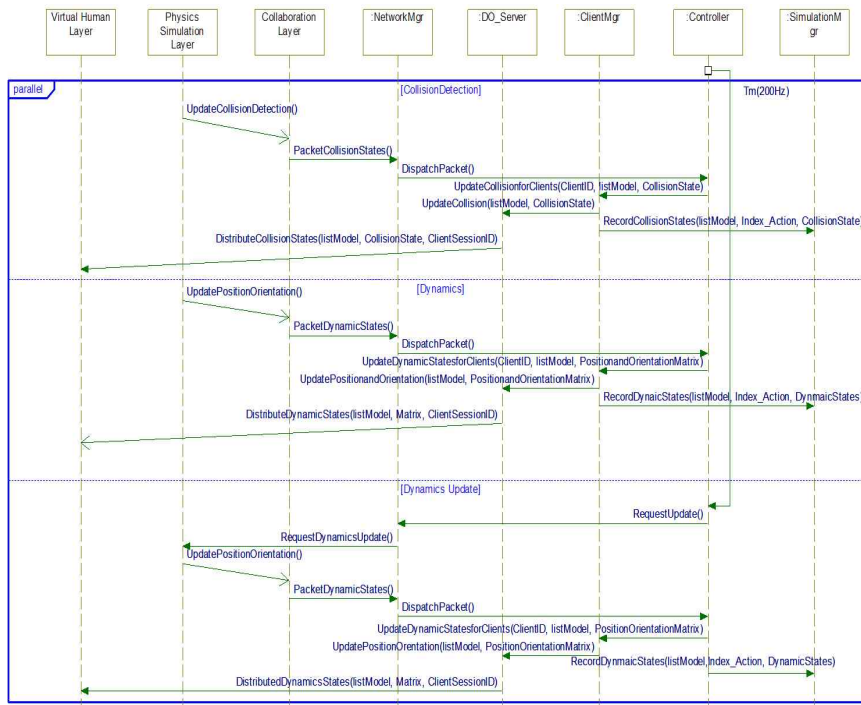


그림 5. 협업 시뮬레이션 동기화 과정

네트워크를 통해 주고받는 메시지 패킷을, 시뮬레이션 관리 모듈은 실행 규칙에 따라 양 계층에 전달할 제어 메시지를 저장한다. 계층 제어 모듈은 200Hz 주기 내에 메시지 처리가 이루어지지 않으면 강제로 분산 객체 상태를 동기화한다. 이때, 클라이언트 관리 모듈은 가상휴면 계층의 클라이언트 세션을 유지하며, 시뮬레이션 관리 모듈은 시뮬레이션 중 진행되는 절차, 작업, 동작 단위의 시뮬레이션 데이터를 저장한다.

3.4 물리모의 계층

물리모의 계층은 가상목업의 3차원 모델과 가상휴면의 "Physical model" 사이의 충돌 탐지와 "Physical model"에 의해 발생하는 외력과 기구학적 구속에 의한 동역학을 PhysX™ 물리엔진으로 생성한다. 주요 구성 모듈로 네트워크 모듈, 시뮬레이션 진행 중 협업제어계층에서 수신된 메시지에 따라 물리 시뮬레이션 과정을 제어하기 위한 계층 제어 모듈, 가상목업의 3차원 모델의 위치, 자세 및 조립 상태를 관리하기 위한 모델 관리 모듈, PhysX™ 물리엔진 인터페이스 모듈이 있다.

협업제어 계층에서 관리되는 작업 수준에서 물리모의 대상 모델과 세션에 참여하는 가상휴면 클라이언트가 초기화되면, 가상목업의 조립상태 변경 메시지는 물리모의 계층에서 동작 단위로 재구성된다. 가상 협업 환경에 공유되는 가상휴면과 가상목업의 분산 객체의 상태는 모델 관리 모듈에서 동역학 시뮬레이션 기반의 인터랙션을 위한 제품트리를 활용한 협업 인터랙션 씬 그래프로 관리된다. 물리엔진 인터페이스 모듈은 PhysX™ 물리엔진이 계산한 분산객체의 위치, 속도, 자세, 각속도 값을 모델 관리 모듈로 전달하고, 네트워크 모듈은 메시지 패킷을 생성하여 협업제어 계층으로 전송한다.

3.4.1 제품트리를 활용한 협업 인터랙션 씬 그래프 정의

모델 관리 모듈은 캐드 모델을 변환한 가상목업의 조립상태와 PhysX™ 물리엔진에 전달할 동역학 시뮬레이션의 입력 변수의 상태를 관리하기 위해 씬 그래프를 생성하고, 동역학 시뮬레이션 중 조립상태 변경에 대응하여 씬 그래프를 재구성한다. 본 논문에서는 일반적으로 1만개 이상의 부품으로 구성되는

캐드 모델의 조립 상태를 정의하고 부품 사이의 포함 관계, 기능의 유사성, 공간 배열 관계를 표현할 수 있는 제품 트리를 활용한 협업 인터랙션 씬 그래프를 제안한다.

협업 인터랙션 씬 그래프는 캐드 모델의 계층구조를 따라 가상목업의 3차원 모델을 구조화하고 캐드 모델로 정의할 수 없는 정비 과정에서 동적으로 변화하는 조립상태를 표현한다. 표 4에 씬 그래프 요소와 캐드 모델과 제품트리를 불러들였을 때, 씬 그래프로 변환되는 요소 사이의 대응 관계를 보인다. 씬 그래프의 요소 중 제품 트리에 대응되지 않는 요소는 협업 인터랙션 시 변경되는 동적인 조립 상태를 정의한다.

협업제어계층에서 가상휴면이 참여하여 동작이 시작되면, 가상목업을 구성하는 3차원 모델은 초기에 가상목업의 조립체 그룹인 "Ground Group"에 속한다. 가상휴면의 "Attach" 타입 명령이 발생하는 경우, "Attachement Group"에 속하게 되며 "Attach" 타입의 명령을 발생 한 가상휴면 개체와 "Attachment Node"를 생성한다. 하나의 부품을 2인 이상의 가상휴면이 동시에 상호작용 하는 협업 상황에서는 "Attachment Group" 밑에 가상휴면의 "Physical model" 마다 "Attachment Node"를 생성하여 씬 그래프를 재구성 한다. "Detach" 타입 명령이 발생하는 경우 해당 가상휴면 객체의 "Attachment Node"는 삭제되고 "Attachment Group"에서 조립 후 최종 위치에 해당되는 "Ground Group" 내의 노드로 이동한다. "Hide" 타입 명령이 발생하는 경우 "Hidden Group"으로 3차원 모델의 노드가 이동하여 가상 협업 환경에서 제외된다. "Constraint link"는 "Ground Group" 또는 "Attachment Group"에 속하는 두 노드 사이의 기구학적 구속 관계를 생성하며 "Connector Group"은 볼트, 너트와 같은 체결류에 의한 조립 관계를 정의하고, 체결류 부품 모델을 자식 노드로 갖는다. "Connector Group"에 포함된 모델은 "Attachment Group" 내의 체결류 모델이 모두 "Attachment Group"으로 이동하지 않을 경우 단일 모델로 처리한다. 노드 간의 상하 관계에 따라, 조립상태 상 하나의 모델로 취급 될 수 있는 하위 노드의 모델들을 병합하여 충돌 탐지 및 동역학 시뮬레이션 처리 속도를 향상 시킨다.

표 5. 제품트리와 가상목업의 조립상태를 정의하는 협업 인터랙션 씬 그래프

조립 상태	제품 트리	씬 그래프 요소
조립체에 조립(지면에 고정)	-	Ground Group
분해 후 저장(숨김)	-	Hidden Group
체결류로 연결	체결류 노드	Connector Group
-	파트 노드	Object Node
-	프로덕트 노드	Frame Node
구성품에 포함되어 조립	트리의 상하 관계	Parent-Child Link
부품 모델 간의 기구학적 구속 링크	구속 메타 모델 정보	Constraint Link
협업으로 부품의 조립 상태를 변경	-	Attachment Group
부품과 가상휴먼 "Physical model" 사이의 동역학 링크	-	Attachment Node

3.4.2 협업 인터랙션을 위한 씬 그래프 재구성 순서

PhysX™ 물리엔진은 물리모의 모델의 질량, 관성 행렬, 탄성 계수를 입력으로 동역학을 시뮬레이션 하고, 가상협업 환경에 참여한 가상휴먼의 "Physical model"과 가상목업을 구성하는 모델 간의 협업 인터랙션을 처리하기 위해서, 씬 그래프의 "Attachment Group"을 생성하거나, 모델 간의 구속을 처리하기 위해 "Joint" 개체를 생성한다. 그림 6의 협업 인터랙션 씬 그래프 구성 예에서, "Attach" 이후 씬 그래프가 재구성된 결과를 보인다.

다수의 가상휴먼이 발생시키는 "Attach" 타입 명령은 협업 제어 계층을 통해 물리 모의 계층으로 전

달된다. 전달된 "Attach" 타입 명령에 따라 물리엔진 인터페이스 모듈은 동일한 가상목업 개체에 "Attach" 요청을 한 가상휴먼 클라이언트에 대해 "Attachment Group"을 재구성 한다. "Attach" 요청에 의해 해당 가상목업 개체에 "Attachment Group"이 이미 생성되어 있는 경우는 협업이 진행 중인 경우이며, "Attachment Group"이 없을 경우 "Attachment Group"을 생성한다. "Attachment Group" 내에서, 가상휴먼의 "Physical model"과 "Attach" 대상 개체, 그리고 두 개체 사이의 스피링-댐퍼 커플링을 위한 컨트롤러 객체를 생성하여 "Attachment" 노드를 생성한다. 컨트롤러 객체는 "Physical model"과 "Attach"

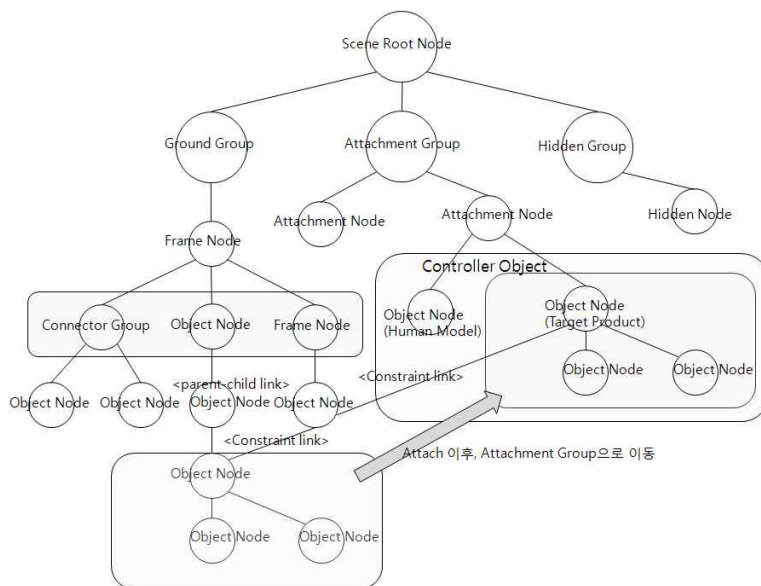


그림 6. 협업 인터랙션 씬 그래프 구성 예

대상이 되는 가상목업의 “Target model”, 그리고 “Attach” 지점의 좌표를 포함한다. “Attachment” 노트 내의 컨트롤러 객체로 물리엔진에 전달할 물리모의 객체를 생성할 때 “Physical model”과 “Target model”의 하위 수준의 노드는 병합되어 단일 모델로 한다.

구속 링크로 연결된 모든 노드에 대해, “Ground Group”에 속해 있는 노드는 “Static” 타입으로, “Attachment Group”에 속해 있을 경우 “Dynamic” 타입으로 하위 수준의 노드를 병합하여 단일 물리모의 모델로 물리엔진에 전달한다. 이때, 구속 링크는 물리엔진에서 “Joint” 객체로 생성된다.

3.4.3 협업 인터랙션 생성 및 분산 객체 위치 업데이트 과정

“Attachment Node”의 컨트롤러 객체와 구속 링크로 연결된 노드는 물리엔진에서 강체 시뮬레이션의 대상이다. 씬 그래프에서 “Ground Group”에 속해 있는 노드는 “Static” 타입으로 질량이 무한대이며, 위치와 자세가 불변인 대상으로 취급된다. “Attachment Group”에 속해 있는 노드는 “Dynamic” 타입으로 외력에 의한 병진, 회전 운동을 생성한다.

물리 엔진에 전달할 물리 모의 대상이 되는 분산 객체에 대한 부피, 밀도, 관성행렬, 탄성 계수 등은 협업 인터랙션 씬 그래프 노트의 속성으로 물리 모의 개체를 생성하는 시점에 초기화 된다. 물리엔진의 전역변수인 중력 상수, 스프링-댐퍼 모델에 적용하기 위한 용수철 상수와 댐핑 계수는 협업 인터랙션 씬 그래프의 “Attachment Group”의 컨트롤러 객체를 생성할 때 정의된다. 또한 기구학적 구속에 의한 병진, 회전 자유도와 운동 범위 제한 값은 “Joint” 객체 생성 시에 정의 된다.

물리 엔진에 전달될 시뮬레이션 변수 초기화가 이루어지면, 물리엔진 계산 주기에 따라, 연산을 수행하고, 가상휴먼의 “Physical model” 및 가상목업의 “Target model”의 위치와 자세 값을 “Attachment” 노트 내의 분산 객체로 업데이트 한다. “Attachment” 노트의 컨트롤러 객체는 이전 프레임의 “Target model”과 현재 컨트롤러 객체의 변위 차이에서 아래 스프링-댐퍼 식 (1)에서 “Target model”에 작용할 외력을 계산한다.

$$\vec{f} = -m_k(\vec{x}_2 - \vec{x}_1) - m_c \vec{v}_2 \quad (1)$$

식 (1)에서 m_k 는 “Physical model”과 “Target model” 사이의 가상의 용수철 상수를, m_c 는 감쇄 상수를, \vec{x}_2 는 현재 프레임에서 “Target model”의 위치 벡터를, \vec{x}_1 은 과거 프레임에서 “Target model”의 위치 벡터를, \vec{v}_2 는 현재 프레임에서 “Target model”의 속도를 나타낸다.

회전 운동의 경우 식 (2)에 따라 작용할 토크를 계산한다.

$$\tau = \kappa(\theta_2 - \theta_1) - b\omega_2 \quad (2)$$

식 (2)에서 κ 는 용수철 상수를, b 는 감쇄 상수를, θ_2 는 현재 프레임에서 “Target model”의 회전각을, θ_1 은 과거 프레임에서 “Target model”의 회전각을, ω_2 는 현재 프레임에서 “Target model”의 각속도를 나타낸다. 위의 식 (1)과 식 (2)에 의해 계산된 힘과 토크는 물리엔진 연산 주기마다 전달되며, “Attachment Group” 내의 모든 “Attachment” 노트에 대해서 동일한 과정이 반복된다.

4. 구현 결과 및 고찰

4.1. 구현 결과

제안한 아키텍처에 따라 ViMMS 시스템은 그림 7과 같이 구현하였으며, 가상현실 사용자 인터페이스 장치로 모션 어날리시스의 Raptor-4 모션 캡처 장비[35], 인터센스사의 IS-900 트래킹 장치[36], 3D Connexion사의 Space Pilot Pro[37] 및 키보드, 마우스를 입력장치로 사용할 수 있다. 가시화 장치의 경우 Sensics사의 xSight HMD [38], 3D TV와 모니터를 사용하였다. 물리엔진의 경우, NVIDIA PhysX™ [39]을 적용하였으며, 3D 렌더링 및 가상휴먼 클라이언트 저작 툴로 3DVia Virtools [40]를 활용하였다. 물리 기반 시뮬레이션 엔진 서버는 물리모의 계층에, 가상목업 시뮬레이션 통제 노드는 협업 제어 계층에, 하위의 4개의 노드는 가상휴먼 계층에 대응된다. 가상휴먼 계층의 가상휴먼 클라이언트는 모션캡처, IS-900 트래킹 장치, 스페이스 마우스에 적용할 수 있는 3종의 클라이언트 SW로 3D Via Virtools 환경에서 구현하였다. 협업 제어 계층은 시뮬레이션 통제 소프트웨어로, 물리모의 계층은 물리 기반 시뮬레이션 엔진으로 C++ 및 C# 언어로 구현하였다.

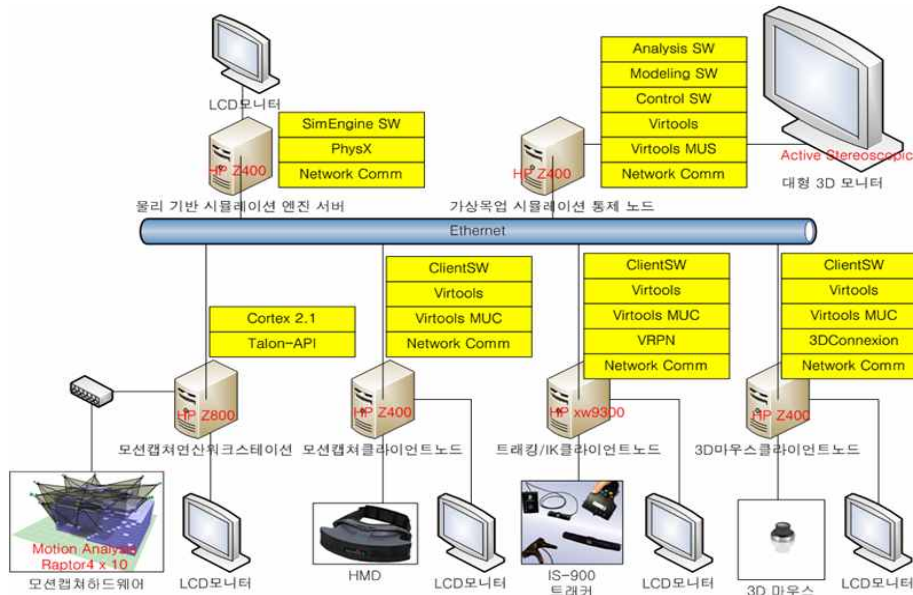


그림 7. VIMMS 시스템 배포 다이어그램

그림 8에 협업 제어 계층을 구현한 시뮬레이션 통제 SW의 실행 화면 및 절차, 작업, 동작을 입, 출력하는 그래픽 사용자 인터페이스 화면을 보인다. 사용자는 GUI 상단에서 정비 절차와 작업을 서술하고, 입력 화면 아래에 통제 소프트웨어에 의해 생성된 동작 목록이 나타난다.

그림 9에 가상 휴먼 클라이언트가 참여하였을 때,

협업 인터렉션 실행 예를 보인다. 그림 9에서, 사용자가 모션캡처 장비로 동작을 얻는 장면과, 트래킹 장비를 사용하여 네 지점의 세그먼트 조절점 값을 입력으로 하는 3차원 가상휴먼 모델, 항공기 엔진을 탈거하기 위해 3명의 가상휴먼이 참가하여 협업 인터렉션을 진행하는 장면을 보인다. 그림에서 2명의 가상휴먼은 항공기 외부 스킨을 함께 분리하고, 1명의 가

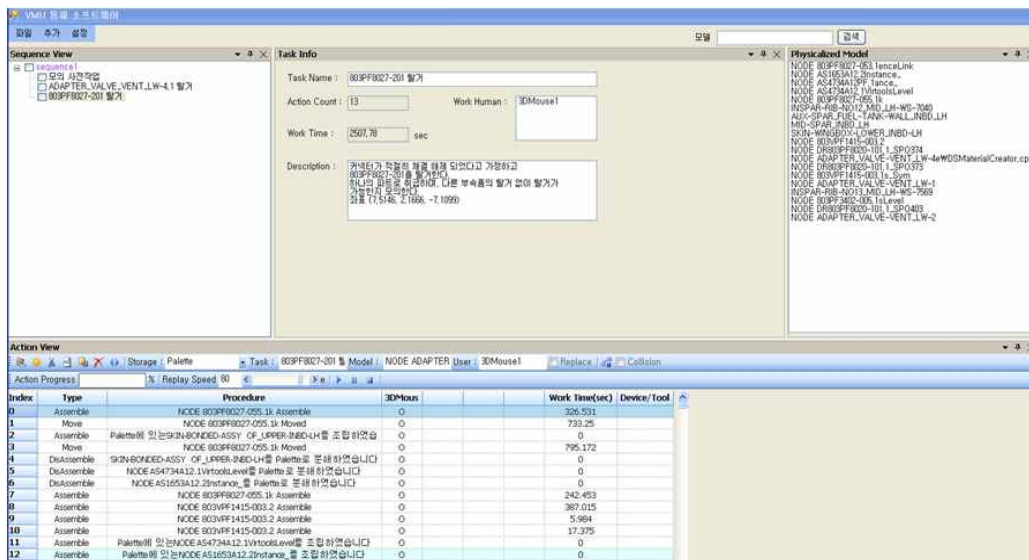


그림 8. 협업 제어 계층의 시뮬레이션 통제 소프트웨어 GUI 구성 예

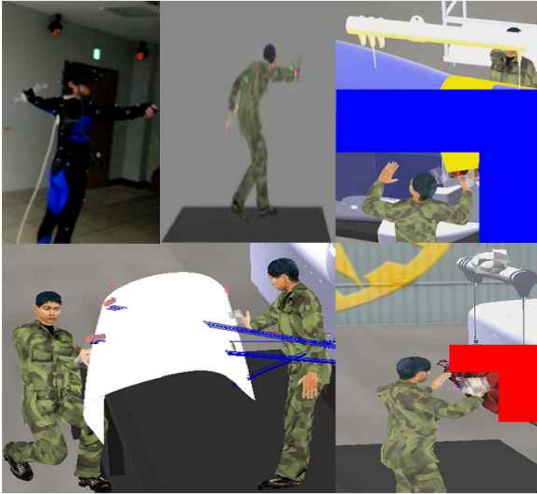


그림 9. 가상휴먼 클라이언트 구성 및 협업 인터렉션 예

상휴먼은 호이스트를 조작하여 항공기의 엔진을 이동시킨다. 엔진이 이동하는 과정 중 1명의 가상휴먼은 호이스트를 조작하는 가상휴먼을 보조하여 엔진을 지지하는 역할을 수행하였다. 항공기 스킨과 항공기 구조물 사이에 충돌이 발생한 경우에는 충돌이 난 지점을 연결하는 파란색 실선을 생성하여, 정비 과정 중 부품 간의 충돌이 일어나는 경우를 확인 할 수 있도록 하였다.

그림 10에 ViMMS 시스템을 사용하여, 항공기의 엔진 탈거 절차 과정을 수행 한 후 생성한 절차서 예를 보인다. 정비 절차서는 그림 8의 시뮬레이션 통제 소프트웨어에서 시뮬레이션 진행 중 입력한 정비 절차, 정비 작업, 정비 동작 데이터를 변환하여 얻었다.

4.2. 고찰

구현한 ViMMS를 현재에도 업그레이드가 진행 중인 VADE와 비교하여, 제안한 협업 정비 시뮬레이션의 3계층 구조의 확장성과 시뮬레이션 가능한 정비 절차 범위를 확인하였다.

VADE는 [2]에서 산업 현장에 적용한 사례 연구를 발표한 바 있는데, 동일한 정비 시뮬레이션을 구성할 수 없어서, ViMMS를 항공기 엔진 탈거 과정에 적용하고, [2]에 VADE를 평가하는데 사용 된 샘플 시나리오와 간접 비교하여, 표 5와 같은 결론을 얻었다. 표 5에서, 기능 점수 중 상의 경우 해당 작업이 구현한 프로그램의 수정 없이 원활히 수행 되는 것을, 중의 경우 기능의 추가로 수행 가능한 것을, 하의 경우 기능을 추가할 수 없으며 수행 불가능한 것을 나타낸다.

[2]의 사례 연구는 대형 크레인에 작업 대상 파트를 부착하여 원하는 위치로 옮기는 작업으로 이루어 지는데 ViMMS는 이에 대응되는 기능 평가를 하기

0	sequence1		
	0-0	호이스트 제거	호이스트 제거
		0-0-0:010101	Hoist의 구속을 해제 하였습니다
		0-0-1:010102	Hoist를 Palette로 분해하였습니다
1	sequence2		
	1-0	CowSkinEngUPR.Disassemble1	** ASSY_CowSkinEngUPR1_6614 (CM803B6614-111.1)
		1-0-0:020205	CM803B6614-111.1 Disassemble To Palette
	1-1	CowSkinEngUPR.Disassemble2	** ASSY_CowSkinEngUPR2_6611 (CM803B6611-111.1) 803B6610-101.1(INSTL_CowSkinEng)에있는 여기는 CowSkin 6개는 모두 Physicalize 상로 충돌음 (CM803B6611-121.1 CM803B6612-111.1 CM803B6611.221.1 CM830B6612.112)
		1-1-4:020306	CM803B6611-111.1 Disassemble To Palette
2	sequence3		
	2-0	ASSY_FrameUPR 제거1	** FuselageAFT=>INSTL_Nacell=>BulkheadEng=>FrameUPR_6622-011.1 (803B6622-013.1) 803B6672-063.1 803B6672-453.1 막 제거
		2-0-0:030411	803B6622-013.1 Disassemble To Palette
	2-1	ASSY_FirewallDuctAFT 제거	** ASSY_PropulsionPrimary=>INSTL_InletDuct=>AssyFirewallDuctAFT (803P6151-003.1)
		2-1-0:030512	803P6151-003.1을 Palette로 분해하였습니다
		2-1-1:030513	803P6524-004.1을 Palette로 분해하였습니다
		2-1-2:030514	803P6524-003.1을 Palette로 분해하였습니다
	2-2	ASSY_FrameUPR 제거2	** FuselageAFT=>INSTL_Nacell=>BulkheadEng=>FrameUPR_6624-011.1 (803B6624-013.1)
		2-2-0:030615	803B6624-013.1 Disassemble To Palette

그림 10.정비 절차서 생성 예

표 17. ViMMS와 VADE[2]의 수행 가능한 정비 작업 비교표

판단 대상 정비 작업	기능 점수* (상, 중, 하)		설 명
	ViMMS	VADE	
조립 대상 파트를 다른 파트 위로 옮긴다	상	상	- ViMMS의 경우, 협업 인터랙션 씬 그래프에서 조립 상태 변경을 통해 임의의 대상과 조립 관계 형성이 가능함
파트를 크레인/호이스트에 부착한다.	상	중	- VADE의 경우 후크에만 파트가 부착 가능함
파트에 있는 임의의 수의 부착점에 케이블로 크레인/호이스트에 부착한다	상	중	- VADE의 경우 4개의 부착점만을 지원하나, ViMMS의 경우 임의의 개수의 구속 부여가 가능함
체결류를 손으로 조립한다	상	상	- ViMMS와 VADE 모두 해당 기능은 지원하지 않음, 세밀한 손동작을 위한 인터랙션 알고리즘을 구현하지 않으면 정밀한 조립 과정을 모사할 수 없음
양손을 이용해서 조립 대상 파트를 다른 파트에 놓는다	상	중	- ViMMS의 경우 협업 인터랙션 씬 그래프로 임의의 개수의 "Attachment Node"를 생성할 수 있으나 VADE의 경우 1개의 picking point를 지원함
2인 이상의 정비사가 하나의 파트를 함께 이동시킨다	상	-	- ViMMS의 경우 협업 인터랙션 씬 그래프로 2인 이상이 "Attachment Group"을 생성하여 파트와 협업 인터랙션이 가능하나 VADE의 경우 협업 인터랙션이 불가하며, 해당 기능에 대해 알려지지 않음
1명은 크레인/호이스트를 좌우로 흔들고 1명은 물체를 지지하였을 때 동역학 링크에 의한 2인의 협업 인터랙션 효과	상	하	- ViMMS의 경우 협업 인터랙션 씬 그래프의 "Constraint Link"로 기계적 링크에 대한 연쇄적인 동역학 효과를 모의할 수 있으나, VADE의 경우 협업 인터랙션이 불가함
중형 크기의 파트가 크레인/호이스트의 후크에 연결되었을 때, 작업자 앞에서 중형 크기의 파트가 중력에 의해 흔들림	상	상	- 양 시스템 모두 중력효과를 모의할 수 있는 물리엔진을 사용하여 크레인에 연결된 파트의 동역학 모의가 가능함
해머/호이스트로 외력을 가하여 파트를 원하는 위치로 이동시키기	상	하	- ViMMS의 경우 물리엔진을 사용하여 호이스트로 파트에 외력을 가하여 원하는 위치로 이동시킬 수 있으나, 인터랙션 정밀도 향상이 요구됨 - VADE의 경우, 시각적 시뮬레이션은 가능하나 동역학 연산을 포함하지 않음

위해 항공기의 엔진을 크레인과 유사한 호이스트로 체결하고 2인의 가상휴먼이 엔진 체결 구조물(Engine Mount Strut)에서 탈거하여 원하는 위치로 이동하는 과정을 수행하였다. ViMMS는 3계층 구조에서 가상휴먼 계층과 물리모의 계층을 분리하고 협업 인터랙션 씬 그래프로 가상목업의 조립 상태를 실시간으로 재구성함으로써, 2인 이상의 가상휴먼이 함께 조립 대상 파트나 기구학적 구속으로 연결된 파트의 위치 이동 시뮬레이션이 가능하지만 VADE의 경우는 불가능한 것으로 판단된다. 또한 VADE의 경우 물리엔진을 중력 효과 모의 및 3차원 모델의 Swept volume 생성에 제한적으로 사용하기 때문에, 해머나

호이스트를 사용하여 작업 대상 파트에 외력을 가하여 위치를 이동을 시키는 작업이 불가능하지만 ViMMS의 경우는 수행 가능하다.

그러나, ViMMS와 VADE 두 시스템 모두 가상휴먼의 인터랙션의 정밀도 향상 문제는 연구 범위 밖에 있으므로, 파지 과정 중 가상휴먼의 손가락 관절과 가상목업의 체결류 모델 사이의 현실감 있는 모의는 불가능하였다. 이러한, 세밀한 인터랙션 기술은 ViMMS의 가상휴먼 클라이언트에 기존에 제안된 파지 과정을 정밀하게 모의하기 위한 알고리즘을 구현함으로써 향상 될 것으로 기대된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문은 항공기와 같이, 2인 이상의 정비사가 참여하여 작업 반경이 1m^3 이상인 중형 및 대형 작업 스케일의 가상 정비 환경에서 실시간 협업 정비 시뮬레이션 구현을 위한 시스템 아키텍처와, 캐드 모델의 제품 트리를 활용한 협업 인터랙션 씬 그래프를 제안하였다. 이는 기존에 제안된 가상 정비 시뮬레이션에 대한 연구 사례에서 다루지 않았던, 가상휴먼 인터랙션 기술과 가상목업의 조립상태 변경 과정을 분리하여, 가상 협업 환경의 확장성을 확보하였다. 또한 협업 인터랙션 씬 그래프를 2인 이상의 가상휴먼이 가상목업의 부품을 조립 또는 분해 하는 과정에서 3차원 가상목업 모델의 위치와 자세 값을 물리엔진을 통해 획득할 수 있었다. 이러한 3계층 구조로 구성되는 협업 정비 시뮬레이션은 협업제어 계층에서 정비 시나리오 템플릿에 따라 협업 시뮬레이션 진행 상황을 관리함으로써, 시뮬레이션 결과를 편집하고 재사용할 수 있으며 가상 환경에서 정비 메뉴얼을 생성할 수 있다.

향후 발전 방향으로, 가상휴먼 계층에서 보다 직관적이고 사용하기 편리한 3차원 사용자 인터페이스 기술에 대한 연구 및 해당 기술을 가상휴먼 클라이언트에 구현함으로써, 시뮬레이션 과정 중 사용자 편의성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구 과제로 가상휴먼이 가상목업 모델의 조립, 분해 절차를 탐구하는 과정에서 가상휴먼의 작업 반경 내의 최적 불완전 조립, 분해 절차를 추론하여 작업 대상 파트를 자동으로 선택하는 기술과 같은 지능적인 3차원 사용자 인터랙션 기술에 대한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 지능적인 3차원 사용자 인터랙션 기술은 3차원 모델을 조작 할 때 발생할 수 있는 오류의 빈도를 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 가상현실을 혼합현실(Mixed Reality)로 확장하면, 항공기 및 자동차의 정비 지원 시스템으로 활용이 가능할 것으로 예상된다. 물리모의 계층의 경우, 캐드 모델에서 생성한 가상목업에 대한 원활한 정비 시뮬레이션 수행을 위해서는 500만개 이상의 메시 모델에 대한 실시간 충돌 탐지 및 동역학 시뮬레이션이 가능해야 하나, 현재 제안된 시스템에서 활용한 PhysX™ 물리엔진을 비롯한 현재 알려진 물리엔진의 경우 요구 성능을 만족하지 못하므로 성능 향상을 위한 고성능 충돌

탐지 및 동역학 시뮬레이션 알고리즘과 연산 속도 향상을 위한 GPU 가속 기술의 발전이 필수적이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Seth, J. M. Vance, and H. H. Oliver, "Virtual Reality for Assembly Methods Prototyping : Review," *Virtual Reality*, Vol.15, No.1, pp. 5-20, 2011.
- [2] S. Jayram, U. Jayaram, Y. J. Kim, C. DeChenne, K. W. Lyons, C. Palmer, and T. Mitsui, "Industry Case Studies in the Use of Immersive Virtual Assembly," *Virtual Reality*, Vol. 11, No.4, pp. 217-228, 2007.
- [3] S. Garbaya and U. Zaldivar-Colado, "The Affect of Contact Force Sensations on User Performance in Virtual Assembly Tasks," *Virtual Reality*, Vol.11, No.4, pp. 287-299, 2007.
- [4] J. Dong and G. Arndt, "A Review of Current Research on Disassembly Sequence Generation and Computer Aided Design for Disassembly," *Proc. Instn Mech. Engrs*, Vol.217, pp. 299-312, 2002.
- [5] J. Kang and P. Xirouchakis, "Disassembly Sequencing for Maintenance: A Survey," *Proc. Instn Mech. Engrs*, Vol.220, pp. 1697-1716, 2006.
- [6] 김천영, 박영근, 김성래, 류태규, "항공기 설계검토를 위한 가상목업시스템(ViMS) 개발," 한국항공우주학회 2006 추계학술대회 논문집, pp. 262-265, 2006.
- [7] S. Jayram, "VADE: A Virtual Assembly Design Environment," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.19, No.6, pp. 44-50, 1999.
- [8] J. Mo, Q. Zhang, and R. Gadh, "Virtual Disassembly," *Int. J. of CAD/CAM*, Vol.2, No.10, pp. 29-37, 2002.
- [9] A. Seth, H. Su, and J. Vance, "SHARP: A System for Haptic Assembly and Realistic Prototyping," *Proc. of the DETC 2006*, CIE-99476, 2006.

- [10] J. Aleotti and S. Caselli, "Physics-based Virtual Reality for Task Learning and Intelligent Disassembly Planning," *Virtual Reality* Vol.15, No.1, pp. 41-54, 2011.
- [11] B. Chen and T. Yang, "Research on Immersive Virtual Maintenance and its Key Technologies," *Proc. 2008 International Symposium on Information Science and Engineering*, pp. 254-257, 2008.
- [12] 주현준, 박영근, 김천영, 정나현, 이준규, 양지연, "군수지원 개발을 위한 정비성 시뮬레이션 활용 효과," 한국항공우주학회 2010 추계학술 발표대회 논문집(II), pp. 1240-1243, 2010.
- [13] 이준규, 주현준, 정나현, 양지연, 류태규, "정비 업무 검증을 위한 조립 분해 시뮬레이션 구현," 한국항공우주학회 2009 추계학술대회 논문집, pp. 1173-1176, 2009.
- [14] 이준규, 김천영, 양지연, 류태규, "항공무기체계 가상목업 시뮬레이션 개발," 한국군사과학기술학회 2010 종합학술대회 논문집, pp. 1970-1973, 2010.
- [15] 김용완, 박진아, "가상현실 기술을 이용한 가상 조립 시뮬레이션에 대한 연구," 멀티미디어학회 논문지, 제13권, 제11호, pp. 1715-1727, 2010.
- [16] 류근영, 김천영, 정나현, 주현준, 김병수, "DELMIA를 이용한 유도 무기 조립 시뮬레이션," 한국항공우주학회 2008 추계학술대회 논문집(II), pp. 1220-1223, 2008.
- [17] <http://www.3ds.com/products/delmia>
- [18] N. Badler, C. Erignac, and Y. Liu, "Virtual Humans for Validating Maintenance Procedures," *Commun. of the ACM*, Vol.45, No.7, pp. 57-63, 2002.
- [19] J. Ianni, "A Specification for Human Action Representation," SAE Technical Paper Series 1999-01-1893, 1999.
- [20] L. Rui, L. Chuan, Z. Yingzhj, and Z. Dong, "The Preliminary Study on the Human-Factor Evaluation System for Maintainability Design," *Proc. of 2009 Int. Conf. on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, pp. 107-112, 2009.
- [21] R. Vujosevic and J. Ianni, "A Taxonomy of Motion Models for Simulation and Analysis of Maintenance Tasks," Air Force Research Laboratory Technical Report (AL/HR-TP-1996-0045), 1996.
- [22] R. L. Gomes, G. J. Hoyos-Rivera, and J. Courtiat, "Collaborative Virtual Environments: Going Beyond Virtual Reality," *Proc. of Int. Conf. Multimedia and Expo*, Vol.2, pp. 105-108, 2003.
- [23] N. Shyamsundar and R. Gadh, "Internet-based Collaborative Product Design with Assembly Features and Virtual Design Spaces," *Computer-Aided Design* Vol.33, pp. 637-651, 2001.
- [24] Y. Xu, X. Meng, W. Liu, and H. Xiang, "A Collaborative Virtual Environment for Real Time Assembly Design," *Proc. of ACM Int. Conf. on Virtual Reality Continuum and its Application*, pp. 373-376, 2006.
- [25] <http://www.ptc.com>
- [26] Y. Wang, S. Jayaram, U. Jayaram, and I. Shaikh, "Methods and Algorithms for Constraint based Virtual Assembly," *Virtual Reality*, Vol.6, No.4, pp. 229-243, 2003.
- [27] C. Mascle and B. A. Balasoju, "Algorithmic Selection of a Disassembly Sequence of a Component by a Wave Propagation Method," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol.19, No.5, pp. 439-448, 2003.
- [28] http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/nx
- [29] R. Gupta, D. Whitney, and D. Zeltzer, "Prototyping and Design for Assembly Analysis Using Multimodal Virtual Environments," *Comput. Aided Des.*, Vol.29, No.8, pp. 585-597, 1997.
- [30] W. A. McNeely, K. D. Puterbaugh, and J. J. Troy, "Six Degree of Freedom Haptic Rendering Using Voxel Sampling," *SIGGRAPH 99 Conferece Proceedings*, pp. 401-408, 1999.
- [31] <http://www.plm.automation.siemens.com>

[32] A. S. Coutee, S. D. McDermottm, and B. Bras, "A Haptic Assembly and Disassembly Simulation Environment and Associated Computational Load Optimization Techniques," *ASME Trans. J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, Vol.1, No.2, pp. 113-122, 2001.

[33] T. Lim, J. M. Richie, J. R. Corney, R. G. Dewar, K. Schmidt, and K. Bergsteiner, "Assessment of a Haptic Virtual Assembly System that Uses Physics-based Interactions," *Proc. of the 2007 IEEE Int'l. Symposium on Assembly and Manufacturing*, pp. 147-153, 2007.

[34] C. W. Borst and A. P. Indugula, "Realistic Virtual Grasping," *Proc. of the 2005 IEEE Virtual Reality*, pp. 91-93, 2005.

[35] <http://www.motionanalysis.com>

[36] <http://www.intersense.com>

[37] <http://www.3dconnexion.com>

[38] <http://www.sensics.com>

[39] http://www.nvidia.com/object/physx_new.html

[40] <http://www.virtools.com>



이 준 규

2000년 3월~2004년 2월 한국과학기술원 물리학과 학사
 2004년 3월~2006년 2월 한국정보통신대학원 공학부 석사
 2006년 3월~현재 국방과학연구소 연구원

관심분야 : 가상현실, 모델링 및 시뮬레이션