

손 마비환자의 재활운동을 위한 테이블-탑 증강현실 시스템 구현

이석준[†], 박길흠^{**}, 이양수^{***}, 곽호완^{****}, 문계완^{*****}, 최재현^{*****}, 정순기^{*****}

요 약

본 논문에서는 마비/편마비 환자의 손 재활운동을 위한 증강현실 인터랙션을 통한 재활운동시스템을 제안한다. 주로 기계적 장치에 의존하고 있는 기존의 마비환자 재활운동시스템에서 가정에서 손쉽게 재활훈련을 수행할 수 있도록 시스템을 구성하기 위하여 컴퓨터 비전 기법을 이용하여 재활훈련에 필요한 장비를 최소화하고 좀 더 간편하게 설치하여 사용할 수 있도록 하는데 초점을 맞추었다. 본 논문에서 제안된 방법은 손끝의 움직임과 상태를 손끝마커의 위치와 접촉여부를 검사함으로써 인터랙션 상태를 점검한다. 현대의 카메라로부터 입력되는 손끝 마커의 2차원 위치는 3차원 객체와의 인터랙션을 위하여 ARToolKit 마커를 기반으로 보정된 3차원 카메라 공간상의 좌표로 변환되어 사용된다. 3차원 좌표계로 변환과정을 거친 손끝 마커의 3차원 위치는 3차원 객체와의 인터랙션에 반영함으로써 증강현실 기반의 인터랙션을 구현하였다. 본 논문에서 제시한 인터랙션 기법의 구현내용을 실험결과에서 나타내었고, 증강현실 기반 테이블탑 환경에서 마비환자의 재활운동에 활용될 수 있음을 나타내었다.

An Implementation of Table-top based Augmented Reality System for Motor Rehabilitation of the Paretic Hand

Seokjun Lee[†], Kil Houm Park^{**}, Yang Soo Lee^{***}, Ho Wan Kwak^{****},
Gye Wan Moon^{*****}, Jae Hun Choi^{*****}, Soon Ki Jung^{*****}

ABSTRACT

This paper presents an augmented reality (AR) based rehabilitation exercise system to enhance the motor function of the hands for the paretic/hemi-paretic patient. The existing rehabilitation systems rely on mechanical apparatus for palsy rehabilitation, but we aim to use the rehabilitation system at home with easy configuration and minimized equipment by the computer vision based approach. The proposed method evaluates the interaction status of the fingertip action by using the position and the contact of the fingertip markers. We obtain the 2D positions of the fingertip markers from a single camera, and then transform the 3D positions from the calibrated camera space by using an ARToolKit marker. We adopt simple geometric calculation by the conversion of the 2D interest points into the 3D interaction points for the simple interactive task in AR environment. Some experimental results show that the proposed method is practical and simply applicable to the applications with personal AR interaction.

Key words: Motor Rehabilitation(운동재활시스템), Human Motion Capture(모션캡처), Augmented Reality(증강현실)

※ 교신저자(Corresponding Author): 정순기, 주소: 대구광역시 북구 대학로 80 경북대학교 공대9호관 509호(702-701), 전화: 053-950-5555, FAX: 053-957-4846, E-mail: skjung@knu.ac.kr

접수일: 2012년 8월 1일, 수정일: 2012년 11월 6일

완료일: 2012년 11월 22일

[†] 준회원, 경북대학교 컴퓨터학부
(E-mail: sukjuni@vr.knu.ac.kr)

^{**} 정회원, 경북대학교 전자공학부
(E-mail: khpark@ee.knu.ac.kr)

^{***} 경북대학교 의학전문대학원
(E-mail: leeyangsoo@knu.ac.kr)

^{****} 경북대학교 심리학과
(E-mail: kwak@knu.ac.kr)

^{*****} 경북대학교 경영학부
(E-mail: gwmoon@knu.ac.kr)

^{*****} 경북대학교 영어영문학과
(E-mail: choijh@knu.ac.kr)

^{*****} 중신회원, 경북대학교 컴퓨터학부

※ 본 연구는 2011년도 경북대학교 KNU융합프로그램 지원으로 이루어졌음

1. 서 론

마비란 신경이나 근육이 형태의 변화 없이 기능을 잃어버리는 상태로서, 감각이 없어지거나 움직임에 장애가 생기는 상태를 말한다. 운동 마비는 뇌의 운동중추로부터 말초신경, 근육섬유까지 이르는 운동의 경로 중 어느 부위에라도 장애가 있을 경우에 일어나며, 마비의 원인에 따라서 치료의 방법은 다양하다. 다양한 치료과정 중에서도 특히, 마비가 온 조기에 재활의학과와의 협진을 통해 재활 운동 치료를 병행하는 것이 향후 후유증을 예방하는데 도움이 될 수 있으며, 반복적인 재활 운동을 통해 마비 증상의 완화와 운동 기능의 회복을 도울 수 있다. 환자의 재활운동은 오래전부터 다양한 방법으로 시도되어 왔고, 주로 기계적 장치의 도움을 받아 수행되어왔다. 하지만 최근 들어 가상현실, 증강현실과 같은 디지털 미디어를 통한 심리적, 운동적 요법의 재활치료를 위한 다양한 시도가 등장하고 있다.

증강현실은 가상의 객체를 실제 장면 위에 겹쳐서 가시화함으로써 실제 객체의 정보를 효과적으로 제공할 수 있는 가시화 방법이다[1,2]. 최근 4~5년 사이에서 급격히 증가된 증강현실 연구에서는 실제 환경에 대한 정보를 가상의 객체와 얼마나 조화롭게 가시화할 것인가에 대한 연구가 활발히 이루어졌으며, 최근 들어 증강현실 환경에서 가시화되는 가상의 객체와 사용자가 어떻게 자연스럽게 상호작용할 것인지에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다[3]. 사람의 실제 행동이 증강현실 환경의 가상객체와 상호작용하도록 하는 과정은 컴퓨터가 생성한 가상의 객체를 사람이 보다 자연스럽게 접근할 수 있게 해주며, 이는 사용자에게 보다 몰입된 가상경험을 부여할 수 있다. 특히 사용자의 자연스러운 행동을 통하여 가상의 객체와 상호작용할 수 있다면, 이것이야말로 가장 자연스러운 상호작용 기법이 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 마비환자의 손 운동재활을 위한 증강현실 기반의 손 재활운동 시스템을 제안한다. 특히, 테이블 탑 환경에서 요구되는 일상적인 손동작과 상지활동에 대하여, 환자의 자연스러운 활동범위와 운동능력을 보장하기 위하여 기계적인 장치의 사용을 지양하고, PC와 카메라만 있으면 운동재활을 수행할 수 있도록 모션캡처 기반의 재활 시스템을 구현하였다. 제안된 방법은 장면분석을 위해 초기 1회 카

메라 보정을 수행하고, 환자의 손에 부착된 색상마커를 추적한다. 입력된 마커위치는 2차원 영상공간의 좌표이므로 보정된 카메라 정보를 이용해 초기화된 3차원 공간좌표로 변환하여 3차원 가상객체와의 인터랙션을 수행한다.

2. 관련연구

2.1 마비환자의 재활

산업발달의 가속화에 따른 재해와 안전사고, 교통사고 등의 다양한 연유로 인해 척수손상 환자의 발생이 증가하고 있다. 또한 뇌졸중, 뇌출혈, 뇌성마비 등과 같은 태생적이거나 후천적인 질환으로 인한 마비환자도 꾸준히 발생하고 있다. 특히 뇌졸중이나 뇌신경 손상으로 인한 (편)마비 증상은 상하지(上下肢)기능 및 일상생활의 동작수행에 문제를 초래하는 감각운동 장애이며, 일상생활에서 필요한 동작의 많은 부분이 이루어지는 상지 기능의 손상은 환자의 삶에 밀접한 영향을 끼치게 되므로 마비환자의 재활치료에서 가장 중요한 재활운동 중 하나로 손꼽히고 있다 [4,5].

주로 마비환자의 운동재활은 신경계 이상으로 오는 근육의 강직이나 경직, 관절의 운동범위가 감소하는 관절구축(articular contracture), 관절 주변에 비정상적인 골화(骨化)가 생기는 이소성골화증(heterotopic ossification) 등의 장애 증상들에 대해 사후부작용을 최소화 시키고, 마비로 인한 기능적 이상을 회복하기 위한 목적을 달성하기 위해 다양한 재활운동 방법이 시도되고 있다. 특히 마비 환자의 상지 운동기능 장애는 주로 강직이나 변형, 감각신경의 둔화나 상실로 인한 근력 약화로 인해 발생하며, 이에 따르는 일상생활동작의 불편함을 완화하는 방향으로 실행되고 있다. 재활치료분야에서 시행되는 상지 운동능력 회복을 위한 방법으로는 보바스치료(Bobath treatment), 동작치료(Brunnstrom method), 고유수용성신경근축진법(proprioceptive neuromuscular facilitation), 강제유도운동치료(constrain induced movement therapy), 과제지향적상지운동(task-oriented movement therapy), 상지신경가동법, 근전도바이오피드백(EMG-biofeedback), 동작연상훈련(motor image training), 로봇을 이용한 재활치료방법 및 가상현실치료(virtual reality based therapy)

등이 시행되고 있다[6-8]. 특히 최근 각광받고 있는 가상현실 기반의 재활치료 기법은 안전한 환경에서 대상자 스스로 흥미롭게 재활운동을 진행할 수 있도록 함으로써, 앞서 나열한 다양한 재활 기법들의 여러 요소들을 아우르는 복합적인 치료를 수행할 수 있다. 또한 환자의 기능장애 정도에 따라 재활 동작에 대한 난이도 조절이 가능하며, 뚜렷한 목표의식과 동기를 유발할 수 있으므로 심리적으로 안정감 있는 재활 치료가 가능하다[9].

일반적인 가상현실 기반의 재활치료/운동 방식은 현실과 분리된 영상에서의 훈련으로 인하여 실제 환경에서 동작을 수행하는데 이질감을 느낄 수 있고, 실제동작에 대해 가상현실에서 재생하는 수행동작과의 시간적 차이로 인한 운동성 멀미가 발생하는 등, 재활훈련에 대한 몰입도가 떨어지는 단점이 존재한다[10,11]. 이러한 단점은 단순히 가상현실 기반 재활시스템에 대한 단점이라기보다 가상현실 가시화 부분에서 발생하는 시각적 피드백(feedback)에 대한 이슈이기도 하다. 가상현실기술 이후에 등장한 증강현실 기술은 가상현실 기술을 통한 안전하고 통제된 환경에서의 가상경험을 실제 장면에 겹쳐진 증강현실 환경에서 구현함으로써 가상현실 가시화에서 가지고 있는 시각적 피드백에 대한 문제를 해소할 뿐만 아니라, 실제 장면위에 부가적인 정보를 제공함으로써 보다 몰입감 있는 가상체험을 가능케 한다. 기존의 가상현실에 기반을 둔 재활 프로그램들도 최근 들어 증강현실 기반의 재활운동 프로그램으로 전환되어가는 추세이고, 이를 통한 몰입적인 재활 훈련이 가능케 되었다[12-14].

2.2 문제분석

마비 환자의 손 재활운동은 일상생활에 필요한 활동의 범위를 넓혀주며, 그 결과가 환자의 삶의 질에 영향을 미칠 정도로 매우 중요한 활동이다. 손 부위의 재활은 마비환자의 관절 경직이나 변형을 최소화시키기 위해 물리치료나 보조기구의 도움으로 진행되는 경우가 많다. 하지만, 손을 사용하는 일상생활을 위한 운동재활 과정은 본인의 의지대로 손을 움직임으로써 목적하고자 하는 일상 활동을 원활히 할 수 있도록 하는데 의의가 있다. 따라서 마비환자의 재활에서는 보조기구나 보조인을 통해 관절의 지지나 유지를 위한 치료를 병행하면서, 환자 스스로 반

복적인 운동과 연습을 할 수 있는 기회를 제공하는 것이 바람직하다.

마비환자 뿐만 아니라 손 부위의 피로나 외부적인 요인으로 인한 손상으로부터 회복하기 위한 기본적인 손 재활운동은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 주로 손과 손목에 해당하는 각 관절 부위를 중심으로 매우 약한 힘을 가해 스트레칭하거나, 반복적인 손동작을 통해 손 부위의 재활운동을 수행할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 증강현실 재활운동 시스템은 그림 1에서 나타내는 여러 동작 중에서, ‘쥐기(grab)’와 ‘꿇기(bend)’ 동작을 통하여 수행하는 손동작에 기반을 두어 재활운동을 진행할 수 있도록 구성하였다.

카메라를 이용하여 환자의 손동작을 통한 재활운동을 진행하기 위해서는 환자의 손동작을 감지하여 시스템이 분석함으로써 손의 상태를 알아내기 위한 방법이 필요하다. 손동작을 인식하기 위한 연구들은 컴퓨터비전이나 영상처리 분야에서 오랫동안 다루어진 이슈이며, 이에 대한 연구결과 또한 너무나 많이 존재한다. 손동작 인식을 위한 기존의 방법으로는, 피부색 인식이나[15-17], Haar-Like Feature를 이용하여 학습하거나[18-20], 인체의 구조적 특징을 이용하는 방법[21-23] 등으로 정리할 수 있다. 이러한 기존의 손 인식 방법들은 상황에 따라 매우 우수하게 동작될 수 있으나, 환자 재활운동 진행에 동반하는 다양한 조건들에 의해 원활히 동작하지 못할 가능성 또한 무시할 수 없다. 마비환자의 재활이 이루어지는 장소나 시간 변화에 의한 조명상태, 영상화질, PC사양 등과 같이 손동작 인식을 위한 방법 면에서 강인하면서도 빠르게 동작할 필요가 있다. 특히 마비환자의 경우, 그림 2와 같이 신경이나 근육의 강직으로 인한 관절부위의 변형, 골화 등의 구조적 변화나 재활이 필요한 부위의 변경 등에 적응적인 방법이 필요하다.



그림 1. 손가락 관절 및 손목 관절 재활을 위한 운동[24]

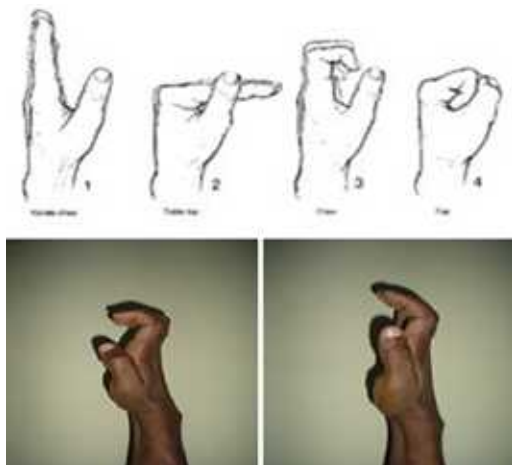


그림 2. 마비환자의 '쥐기 운동'과 손 변형 예제



그림 3. 손 재활운동을 위한 테이블-탑 증강현실 시스템 구성

3. 시스템 개요

본 논문에서는 사용자 손의 실제 행동이 증강현실 환경에서의 가상객체를 직접적으로 조작할 수 있도록 함으로써 마비환자의 반복적인 손동작 재활운동을 가능하도록 하는 시스템을 제안한다. 증강현실 환경에서 가상객체와의 자연스러운 인터랙션을 구현하기 위하여 본 논문에서는 모션캡처 기반의 손동작 인식기법을 사용하여 재활운동 시스템을 구현하였으며, 본 논문에서 제안하는 재활운동 시스템의 기본적인 구성은 그림 3과 같다. 본 논문에서 제안한 시스템은 재활 환자가 보다 간편하게 재활운동 환경을 준비할 수 있도록, 개인용 PC와 웹캠만으로 시스템이 구성된다. 특히 환자의 손 형태 변형에 대한 적응적인 시스템 활용과, 조명환경에 강인한 손동작 인식을 위해 그림 3에서 나타내는 바와 같이 색삼마커를 손끝에 부착함으로써 손동작을 인식하도록 하였으며, 초기 카메라 보정을 위해 ARToolKit마커를 탁자 위에 배치함으로써 실제 테이블탑 환경에 대한 3차원 공간을 초기화 하였다[25]. 본 논문에서 사용한 손끝마커는 재활이 필요한 관절이나 손가락 끝에 부착하여 사용할 수 있으며, 인식률의 안정화 추구를 위한 목적뿐만 아니라, 재활의학자의 소견에 따라 위치를 변경하거나 조합을 변경함으로써 다양한 재활 시나리오를 구성하여 적용할 수 있도록 함에 목적이 있다.

본 논문에서 제안하는 재활훈련 시스템은 그림 4와 같이, 시스템 초기화, 객체검출, 기하계산, 증강현실 가시화의 네 부분으로 나눌 수 있다. 시스템 초기화 단계는 재활운동을 시작하기 전 약 3초 이하의 짧은 시간동안 수행되며, 이 단계에서 탁자위에 놓여진 ARToolKit마커를 인식하여 3차원 공간의 초기화를 수행한다. 초기화 단계에서 설정된 3차원 공간은 카메라로부터 입력되는 2차원 좌표정보를 3차원 공간으로 변환하는데 중요한 정보가 된다. 초기화가 완

본 논문에서 제안하는 재활훈련 시스템은 그림 4와 같이, 시스템 초기화, 객체검출, 기하계산, 증강현실 가시화의 네 부분으로 나눌 수 있다. 시스템 초기화 단계는 재활운동을 시작하기 전 약 3초 이하의 짧은 시간동안 수행되며, 이 단계에서 탁자위에 놓여진 ARToolKit마커를 인식하여 3차원 공간의 초기화를 수행한다. 초기화 단계에서 설정된 3차원 공간은 카메라로부터 입력되는 2차원 좌표정보를 3차원 공간으로 변환하는데 중요한 정보가 된다. 초기화가 완

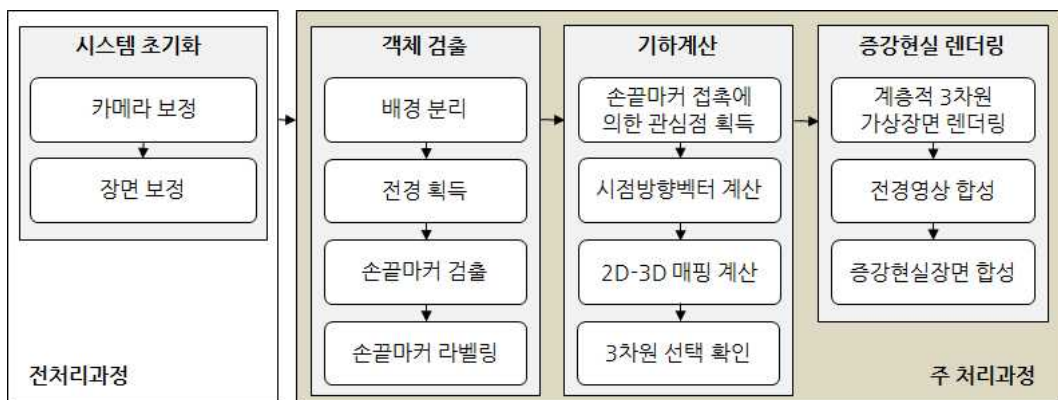


그림 4. 증강현실 기반 손 재활운동 시스템 처리 흐름도

료되면 훈련 시스템은 수행시간동안 지속적으로 객체검출과 기하계산, 증강현실 가시화를 반복하며 사용자의 손끝마커를 검출하여 손동작을 인식하고, 이를 3차원 공간으로 재해석하여 3차원 가상객체와의 인터랙션을 수행하며, 이 결과를 사용자의 정면에 비치된 모니터를 통해 증강현실 환경으로 가시화한다.

객체의 검출은 손동작을 인식하는데 중요한 단계이며, 조명환경이나 재촬영자의 손 구조변형에 무관하게 검출할 수 있도록 색상마커를 손끝에 부착함으로써 안정적으로 수행할 수 있도록 하였으며, 한 대의 카메라로 입력되는 마커의 2차원 좌표는 시스템 초기화 단계에서 초기화한 3차원 공간으로 매핑 함으로써 손끝마커의 3차원 좌표를 획득할 수 있다. 가상의 3차원 객체와의 인터랙션은 손끝에 부착된 마커의 접촉 여부에 의해 판단되며, 두 개의 손끝마커가 접촉하였을 때 사용자가 가상의 객체를 잡았다고 판단하여 가상의 객체를 3차원 공간상에서 선택하거나 이동하거나 내려놓을 수 있다. 손끝마커의 접촉여부 검사방법과 접촉점에 의한 3차원 가상객체와의 교차여부 검사는 본 논문 4절에서 자세하게 설명하도록 한다. 선택된 3차원 가상객체는 가상공간상에 존재하는 '이동평면'을 따라 이동하며, 본 논문에서는 이를 통한 기능성 게임(serious game) 형태의 운동재활 프로그램을 구현하였다.

4. 2차원 객체검출을 통한 3차원 증강현실 인터랙션 구현

본 절에서는 본 논문에서 제안한 시스템의 기술적인 설명을 구체적으로 기술한다. 기본적으로 단일카메라를 이용한 모션캡처를 구현하기 위한 전반적인 방법을 단계별로 나누어 설명하고, 2차원 좌표로 입력되는 모션정보를 3차원 좌표로 변환하여 3차원 가상객체와의 인터랙션에 적용하는 방법을 구체적으로 기술한다.

4.1 카메라 보정 및 장면 보정

본 논문에서 제안한 방법은 한 대의 카메라로 입력되는 영상프레임만으로 3차원 공간에서의 기하적인 의미를 찾을 수 있어야 한다. 2차원 영상으로부터 3차원 기하정보를 획득하기 위해서는 카메라 보정

(camera calibration)과정을 통해 관찰대상에 대한 상대적인 카메라의 위치와 자세를 계산할 필요가 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 카메라 자세보정 단계를 기반으로 2차원 좌표정보를 3차원공간으로 매핑 함으로써 영상에서 관측한 2차원 손끝위치를 3차원 객체와의 인터랙션에 적용할 수 있게 된다. 따라서 카메라 보정 단계는 시스템 전반에서 매우 중요하게 작용하는 단계이며, 이 과정에서 획득한 카메라 자세와 스케일정보는 2차원 좌표를 3차원 공간상의 좌표로 변환하는 과정에 사용된다.

카메라 보정을 위한 방법은 그 활용성이나 정확도 측면에서 다양한 방법이 사용된다. 본 논문에서 제안한 시스템은 마비환자의 증강현실기반 재활훈련을 위해 빠르고 편리하게 카메라 보정 과정을 완료한 후, 그 정보를 기반으로 재활훈련 콘텐츠에 적용할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서 제안한 시스템에서는 증강현실 응용프로그램에서 가장 전반적으로 널리 사용되는 ARToolKit을 사용하여 카메라 보정단계를 수행하였다[25]. 카메라 보정을 위한 카메라 투영변환행렬(P , projection matrix)은 내부 파라미터($K_{3 \times 3}$, intrinsic parameter)와 회전행렬($R_{3 \times 3}$, rotation matrix), 이동벡터($t_{3 \times 1}$, translation vector)로 이루어지며, $P=K[R|t]$ 로 표현될 수 있다[26]. 카메라 보정을 통해 추정된 카메라의 위치 및 자세 정보는 영상으로부터 획득된 손끝 마커의 2차원 좌표를 3차원 공간으로 변환하는데 사용될 수 있으며, 이를 위한 기하계산에 대한 자세한 설명은 3.4 절에서 하도록 한다.

환자의 재활운동은 어떠한 조명환경에서 이루어질 것인지 예측하기 어렵다. 따라서 본 논문에서 제안한 시스템은 조명환경에 강인한 손끝위치 추적을 위해 붉은색 색상마커를 사용하여 손끝의 위치를 안정적으로 추적할 수 있도록 하였다. 이는, 마커를 사용하지 않고 피부색상을 이용하는 방법을 사용할 경우에 변형되거나 손가락이 퍼지지 않는 마비환자의 손끝부위를 단일영상에서 파악하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 현장의 조명 조건에 따라 분리되는 손 영역이 일정치 않다는 단점이 있기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 시스템에서는 보다 명확한 손 부위 분리를 위하여 손동작을 인식하는데 필요하지 않는 배경정보를 시스템 초기화 단계에서 모델링한 후 매 장면 입력되는 영상에서 필터링 함으로써

모션이 발생하는 손 영역에 대해서만 마커를 인식할 수 있도록 하였다. 이 과정에서 사용된 배경 모델링은 초기에 입력되는 다수의 영상프레임(i_N)에 대하여 $YCbCr$ 색상공간에서 각 채널별 평균영상과 표준편차를 화소 대 화소의 범위에서 구하는 방법을 이용하였다[27]. 사용되는 각 화소는 색상 기대 값(E_i , expected color value)과 화소별 색상 표준편차(s_i , standard deviation)의 조합인 $\langle E_i, s_i \rangle$ 로 정의할 수 있고, 이때 색상 기대 값(E_i)은 $YCbCr$ 색상공간의 각 채널로 구성된다($E_i = [\mu_Y(i), \mu_{Cr}(i), \mu_{Cb}(i)]$). 따라서 색상 기대 값(E_i)에 대한 평균 화소 값(A)과 표준편차(s_i)는 (수식 1)에 의해 구할 수 있다.

$$A(x_i, y_i) = \frac{1}{N} \sum_{i \leq N} E(x_i, y_i), \tag{1}$$

$$s(x, y)_i = \frac{1}{N} \sum_{i \leq N} \sqrt{(E(x_i, y_i) - A(x_i, y_i))^2}$$

배경 모델링을 위한 초기화 단계는 N 개(약 40~50 프레임)의 영상을 얻기 위한 시간인 1~2초가량이 소요된다(25fps 획득 가능한 웹캠 기준). 재활 프로그램 구동이 시작하는 초기 시간동안 획득한 영상프레임을 이용하여 배경을 모델링하고, 모델링 된 영상(A_i)과 혼련이 진행되는 동안 입력되는 매 장면영상(E_i)의 Cr, Cb 채널에 대한 절대차(absolute difference)를 구한 후, 이에 대한 OR 연산을 수행하면 전경영상(I_f , foreground image)을 손쉽게 빠르게 획득할 수 있다(수식 2). 이렇게 획득한 전경영상은 관심영역을 축소시킴으로써 불필요한 부분영상에 대한 계산 없이 관심영역에 대한 객체 검출과정에 매우 효과적으로 사용할 수 있다.

$$I_f = |E_i - E_{i-1}|_{Cr|Cb} \tag{2}$$

4.2 객체 검출

현재 장면영상에서 손 부위에 대한 판별은 4.1절에서 기술한 배경 모델링을 통한 전경 분리 기법을 기반으로 수행 한다. 최종적으로는 손끝 마커를 검출함으로써 손동작을 3차원 가상 객체에 적용하는 인터랙션을 수행하지만, 손끝 마커는 손 영역 내부에 존재하므로 배경-전경 분리(background-foreground separation)기법을 통해 전경을 분리하고, 분리된 전경에 해당하는 부분에서만 색상마커에 해당하는 색상 채널을 분리하는 과정을 거친다. 이는 재활훈련이 진행되는 동안 입력되는 모든 영상프레임에 대해 수행되며, 분리된 전경영상은 증강현실 가상화에서 보다 자연스러운 증강현실 렌더링을 위해 3차원 객체와 실제 객체(손 영역) 사이에 대한 가상적 3차원 배치에 사용된다(4.5절).

그림 5의 (a)와 (b)에서는 $YCbCr$ 색상공간에서 Cb, Cr 채널에 대해 각각 절대차를 이용하여 분리한 전경영상 결과를 나타내고 있다. 그림 5의 (c)는 Cb, Cr 두 채널의 전경영상을 OR 연산을 통해 합쳐진 결과이고, 이를 이진화(binanzation)한 결과영상이 (d)와 같이 나타난다. 단순 이진화 영상은 많은 노이즈(salty noise)를 포함하고 있기 때문에, 그림 5(e)와 같이 미디언 필터(median filter)를 통해 노이즈를 제거하고, 그림 5(f)와 같이 침식/팽창(dilation/erosion) 연산을 통해 관심영역에 대한 전경 분리를 완료하였다(그림 5(g))[28].

전경에 대한 영역추출이 완료된 후에는 실제로 재

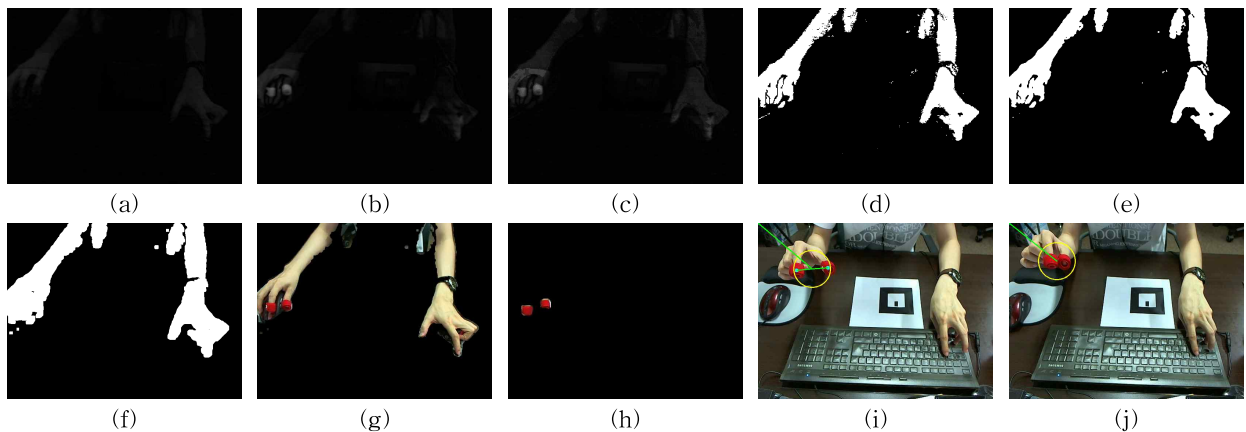


그림 5. 배경 모델링을 통한 전경분리와 객체검출 단계별 결과영상

활 시스템의 입력으로 사용되어질 손끝마커의 좌표를 획득하여야 한다. 본 연구에서는 손동작을 추적하기 위해 붉은색 마커를 사용하였으므로, Cb, Cr 채널의 색상 히스토그램에서 붉은색에 해당하는 채널영역에 대한 문턱치를 사용함으로써 손쉽게 전경영역 내부에 존재하는 붉은색 마커 영역을 추출하였다. 추출된 붉은색 마커영역에 대한 결과는 그림 5의 (h)와 같으며, 마커영역에 대한 라벨링 기법을 통해 현재 장면에 등장하는 마커의 좌표와 인덱스를 지정하였다[28].

4.3 2차원 기하계산

제안하는 시스템에서는 현재 장면에 등장하는 손끝마커의 2차원 영상좌표계에서의 좌표를 이용하여 3차원 객체와의 인터랙션에 적용하는 과정을 수행한다. 독립된 마커의 좌표는 4.2절에서 기술한바와 같이 영상에서 분리한 관심영역인 전경영상에서 붉은색에 해당하는 색상채널에 대한 문턱치를 이용해 붉은색 영역을 추출하고, 이를 라벨링 함으로써 장면영상에서의 마커 좌표를 획득할 수 있다. 이렇게 획득한 마커의 2차원 좌표는 그 자체로도 3차원 인터랙션을 위한 정보가 될 수 있다. 사실상 3차원 객체는 2차원 평면상에 투영되어 시각화되기 때문에 시점으로부터 대상에 이르는 방향벡터를 통해 관심 대상을 지정할 수 있다. 이는 곧 2차원 공간에 투영된 3차원 사물을 선택하는 행위를 2차원 공간에서 수행할 수 있다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 2차원 장면영상에서의 손끝마커 위치를 꾸준히 추적하다가, 사용자가 선택하기 위한 의도를 나타내었을 때 이에 대한 3차원 인터랙션을

수행하도록 하였다. 따라서 제안하는 시스템에서는 사용자가 대상을 선택하는 행위를 두 마커의 접촉여부를 통하여 판단하였으며, 현재 장면영상에서 이를 판별하기 위한 방법으로 추적중인 두 마커의 영상상의 좌표와 그 사이의 거리를 측정함으로써 중점정보와 접촉여부를 판별하였다. 그림 6에서는 현재 장면영상에서 획득한 두 손끝 마커의 기하계산을 위한 관계를 도시하였다. 이는 매우 단순한 방법으로써 이전 과정에서 설명한 마커 추출과정만 원활히 마치면 손쉽게 수행할 수 있는 계산과정이다. 2차원 영상에서 라벨링 된 두 마커의 좌표(p_1, p_2)를 획득하고, 피타고라스 정리를 이용하여 두 점 간의 거리(d)를 구한다. 매 영상프레임에 대해 마커의 좌표를 추적하고, 그림 6(b)와 같이 두 손끝마커가 하나의 범위로 합쳐졌을 때, 두 점 사이의 중점(\hat{p})을 구하여 3차원 객체와의 인터랙션을 위한 관심점으로 사용한다.

4.4 2차원 좌표의 3차원 매핑을 위한 기하계산

이전 단계에서 두 개의 마커에 대한 좌표(p_1, p_2)를 획득하고 접촉이 일어났을 때의 중점(\hat{p})을 구하였을 때, 중점(\hat{p})은 사용자가 관심대상에 대하여 인터랙션을 원하는 관심점으로 정의하였고, 이는 그림 7에서 도식한 바와 같이 카메라 기하학에 의해 카메라 중심(COP, center of projection)으로부터 영상평면상의 관심점(\hat{p})에 이르기까지의 방향벡터로 정의될 수 있다. 이 벡터는 실제 마커가 존재하는 3차원 공간상의 한 점까지 그 크기(scalar)가 확대될 수 있고, 벡터가 미치는 목표점이 바로 실제 마커가 존재하는 3차원 공간상의 위치이다. 따라서 본 연구에서는 사

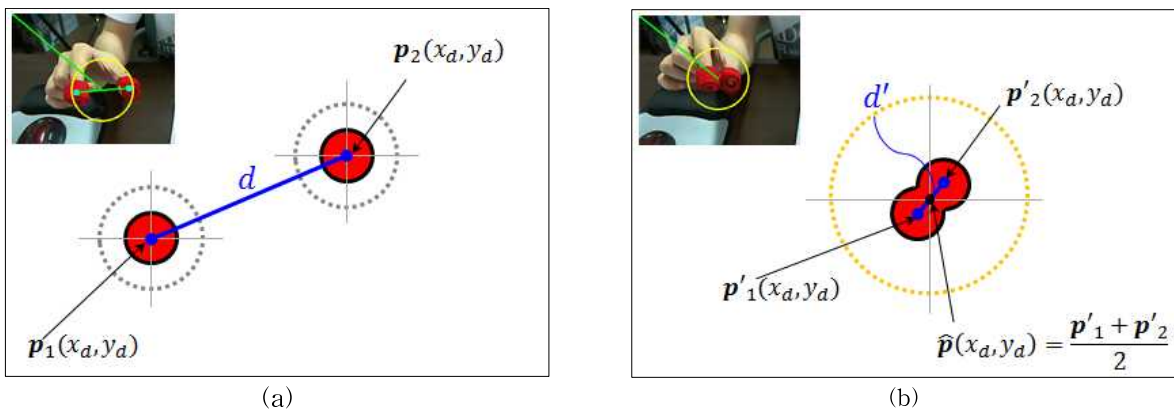


그림 6. 현재 장면영상에서 획득한 두 개의 손끝 마커의 좌표(a)와 두 마커의 접촉점에 대한 좌표계산(b)

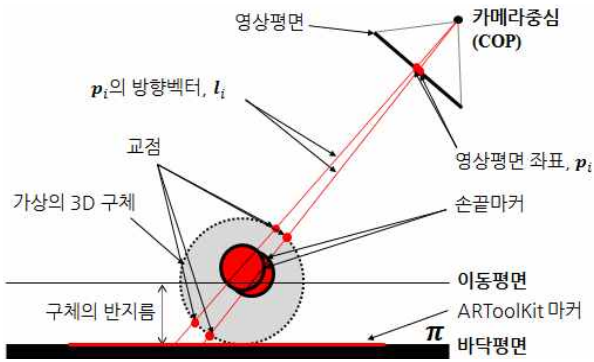


그림 7. 카메라로 입력된 손끝마커 좌표와 실제 손끝 마커간의 3차원 기하 매핑 개념도

영 기하학에 기반을 두어 카메라 자세를 추정함으로써 영상 평면상의 한 점이 3차원 공간에 미치는 벡터를 계산하고, 이 벡터가 미치는 범위 내에 존재하는 3차원 객체와의 충돌 검사를 통해 3차원 객체의 선택 여부를 결정한다.

본 논문에서 제안하는 2차원 좌표의 3차원 매핑 방법의 기하구조는 그림 7과 같이 도식할 수 있다. 고정된 카메라가 ARToolKit이 놓인 바닥평면을 바라보는 상태에서 실제 공간에 존재하는 손끝 마커는 카메라의 영상 평면상에 투영되고, 이는 곧 카메라 중심(COP)으로 투영된다. 역으로, 카메라 중심으로부터 영상평면상의 2차원 좌표로 이르는 방향벡터는 실제 3차원 공간에서의 손끝마커에 이르게 되므로, 이 관계를 이용하여 실제 마커와 3차원 공간상의 가상 객체와의 인터랙션이 이루어지게 된다. 3차원 객체의 이동은 3차원 구체의 반지름에 비례하는 높이에 가상으로 정의된 이동평면을 따라 이동하게 된다.

카메라 중심으로부터 관심점에 이르는 벡터 $\vec{v}(x_v, y_v, z_v)$ 는, 앞서 4.1절에서 기술한 카메라보정 과정으로부터 계산된 카메라 자세(P)와 장면영상 평면상의 관심점 좌표 $p(x, y)$ 에 의해 도출할 수 있으며, 이는 (수식 3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{v} = pP = pK[R|t] \quad (3)$$

이렇게 계산된 방향벡터(\vec{v})는 3차원 공간에 존재하는 가상의 객체(여기서는 구체)와의 교차검사를 수행함으로써 객체와의 인터랙션 여부를 검사한다. 반지름 r , 중심좌표가 $c(x_c, y_c, z_c)$ 인 구체에 대한 방정식($\|l-c\|^2 = r^2$)과, COP로부터 영상평면의 관심점을 통과하여 구체를 통과하는 선 l 에 대한 방정식($l = \delta\vec{v}$)을 대입하면 선과 구체의 교차여부에 대한 해

답을 얻을 수 있다. δ 는 선의크기를 의미하는 스칼라 값인데, 위 두 방정식을 δ 에 대해 전개하면 (수식 4)와 같다.

$$\delta = \frac{(\vec{v} \cdot c) \pm \sqrt{(\vec{v} \cdot c)^2 - v^2(c^2 - r^2)}}{v^2} \quad (4)$$

위 (수식 4)에서 제공된 아래 식($(\vec{v} \cdot c)^2 - v^2(c^2 - r^2)$)의 해가 0보다 작으면 교차가 없고, 0이면 1개의 교차, 0이상이면 두 개의 교차가 발생함을 알 수 있다. 교차가 하나 있거나 없는 경우는 사용자 손끝 마커가 가상객체의 내부에 진입하지 않았음을 나타내므로, 반드시 교차가 두 개가 발생하였을 때만 손끝마커가 3차원 객체의 내부에 있는 것으로 간주하고 선택을 통한 인터랙션을 활성화 한다.

4.5 증강현실 렌더링

본 논문에서 제안한 손동작 인식을 이용한 재활 시스템은 최종적으로 증강현실 환경에서 구동되어 환자가 자신의 손동작을 직접 확인하면서 재활운동을 수행할 수 있다. 보다 사실적인 증강현실 환경을 구성하기 위하여 본 논문에서는 그림 8에서 도식한 바와 같이, 3차원 가상 장면과 2차원 카메라 장면을 나누어 처리한 후, 최종적으로 하나의 영상으로 조합하여 렌더링 하는 과정을 거친다. 먼저 4.5절에서 기술한 방법으로 영상처리 과정을 거치면 전경 영상을 획득할 수 있고, 이를 기준으로 3차원 공간에서 아래에 위치할 3차원 객체와 위쪽에 위치할 3차원 객체를 나누어서 합성을 수행함으로써, 가시화 되는 장면에서 손을 기준으로 하는 3차원 객체의 가시적 배치를 사실적으로 시각화 할 수 있다.

5. 실험 결과

5.1 시스템 구현결과

본 논문에서 제안한 재활운동 시스템은 일반적인 랩톱PC에서도 원활하게 구동할 수 있도록 설계되었다. 본 논문에서 실험한 시스템 사양은, AMD Quad Core 3.4GHz cpu와 nVidia GeForce GTX275 그래픽 카드가 장착된 PC에서 윈도우7 운영체제하에 구동테스트를 수행하였다. 장면영상을 촬영하기 위해 Logitech Pro9000 웹캠을 사용하였고, ARToolKit 라이브러리에서 제공하는 이진마커를 프린트하여



그림 8. 2차원 카메라 장면과 3차원 가상 장면의 깊이계층을 통한 조합

탁자위에 배치하였다.

그림 9는 본 논문에서 제안한 손끝마커를 이용한 증강현실 기반 재활시스템의 실례로써, 손끝마커의 활용에 따른 재활운동 시나리오의 예시를 나타낸 결과이다. 그림 9(a~c)에서 나타낸 재활운동은 손끝마커의 위상에 따른 물리력 피드백(force feedback)을 증강현실에서 시뮬레이션 함으로써 랜덤하게 특정 방향으로 쓰러지는 3차원 가상막대를 환자의 인터랙션을 통해 바르게 세우는 형식의 게임이며, 손 재활 운동에서 ‘취기’와 ‘이동’에 연관된 동작이다. 여기서

도 두 마커의 접촉여부에 따라 물리력을 줄 수 있는 상태와 아닌 상태를 선택할 수 있으며, 손끝마커를 접촉한 상태에서 많이 이동할 수록 가상객체에 가해지는 힘의 양이 커지도록 설계된 시나리오 이다. 그림 9(d~f)는 손바닥 뒤집기를 통해 물리력 피드백을 가상객체에 부여하는 방법으로써, 가상막대가 쓰러지는 반대방향으로 손바닥을 뒤집으면 일정한 물리력이 가상객체에 가해지는 시나리오로써, 환자가 일정시간 테이블에 팔을 의지하면서 운동을 수행할 수 있으며, 아래팔근육(forearm muscles)의 운동반응

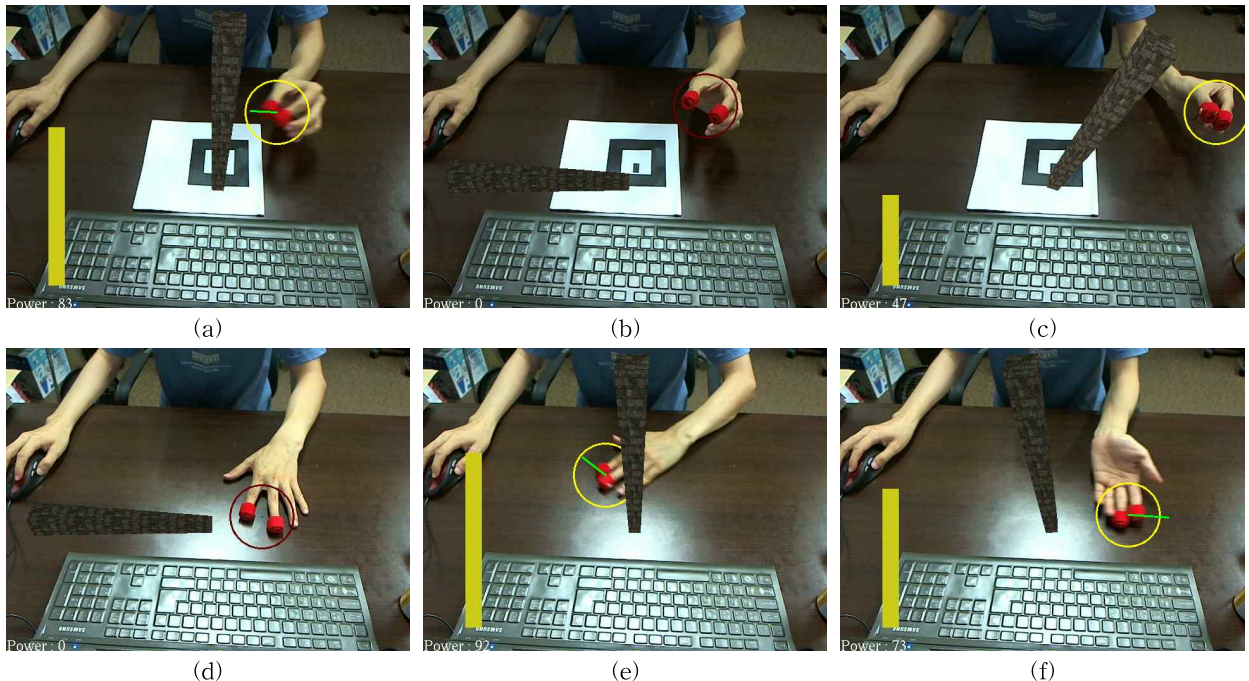


그림 9. 민첩도 향상을 위한 스틱 세우기 게임, (a~c) 손의 이동이 물리력으로 작용하는 손동작 재활 예제, (d~f) 손바닥의 뒤집기가 물리력으로 작용하는 예제

과 재활을 위한 시나리오이다. 두 가지 시나리오에 동일하게 적용되는 물리력은 환자의 운동력 상태에 따라 다르게 적용할 수 있으며, 1회 수행 시 축적되는 물리력은 그림 9의 매 장면에서 볼 수 있는 노란색 상태기둥으로 가시화함으로써, 환자의 재활 동기 부여와 재활운동의 완급조절을 위한 상태과약용으로 사용될 수 있다.

그림 10은 본 논문에서 제안한 증강현실 기반의 재활운동 시스템의 또 다른 예제로써, 손끝마커의 접촉과 움직임을 통하여 가상의 3차원 구체를 선택하고 이동하여 탁상 가운데 배치된 가상의 구멍에 빠뜨리는 시나리오의 재활운동 장면이다. 그림 10(a)는 초기에 3차원 공간을 초기화하기 위해 테이블 위에 ARToolKit마커를 배치한 상태에 대한 장면이다. 초기화 단계는 약 1~2초 정도의 짧은 시간에 완료되며, 초기화 과정이 완료되면 테이블 위의 ARToolKit 마커는 더 이상 필요 없으므로 치워도 된다. 그림 10(b~c)에서는 초기화된 3차원 공간상에 가상의 객체가 실제 장면위에 겹쳐서 가시화 되는 증강현실 환경 세팅이 완료된 모습을 확인할 수 있다. (b)에서는 두 개의 손끝마커가 각각 추적되는 모습을 확인할 수 있고, (c)에서는 두 마커가 하나로 합쳐졌을 때의 모습을 확인할 수 있다. 가상의 구체(자주색)는 가운데 배치된 가상의 홀 양쪽의 파랑/빨강의 생성지대에서 임의로 생성되는데 이는 환자가 테이블 위에 배치된 사물을 집어서 테이블 상에서 옮기는 행위를 연습할 수 있도록 평행동선을 고려한 시나리오이다. 그림 10

(d~g)는 생성된 가상의 구체를 선택한 후(노란색), 테이블 위의 다른 장소로 옮기는 행동을 나타내었다. 구체는 3차원 공간 평면에서 이동하므로, 화면에서 관찰할 때에 가시적으로 원근감을 느낄 수 있으며, 이를 통해 훈련 시나리오가 지시하는 테이블 평면상의 임의의 위치로 가상의 구체를 옮기는 훈련을 진행할 수 있다. 그림 10(h)는 재활훈련 시나리오에서 최종적으로 가상의 홀에 구체를 던져놓도록 지시하였을 때 훈련자가 주어진 임무를 수행하게끔 유도하는 훈련이다. 환자는 가상 구체를 이동하는 동안 꾸준히 손끝을 쥐고 있는 상태를 유지하여야 하고, 이 상태를 유지하면서 테이블 상의 평행이동을 수행하고, 목적지에서 다시 쥔 상태를 풀어줌으로써 구체를 놓아주는 행동을 반복적으로 연습할 수 있게 된다.

5.2 성능분석과 평가

본 논문에서 제안한 증강현실 기반 재활훈련 시스템은 동작 정확도 측정과 더불어, 기존의 재활 훈련 시스템과의 비교분석을 통하여 성능적인 평가를 수행하였다. 그림 19는 본 논문에서 제안한 단일카메라 모션캡처를 통한 손끝마커의 3차원 이동경로(파란선)와 실측 3차원 데이터(붉은선)를 비교한 결과이다. 실측 3차원 데이터는 NaturalPoint사의 'OptiTrack' 모션캡처시스템[29]을 사용하여 비교적 정확한 3차원 모션캡처 데이터를 획득하였으며, 비교결과 평균오차 0.02, 표준편차 0.01로 비교적 실측데이터와 유사한 결과를 도출하였다. 본 논문에서 제안한

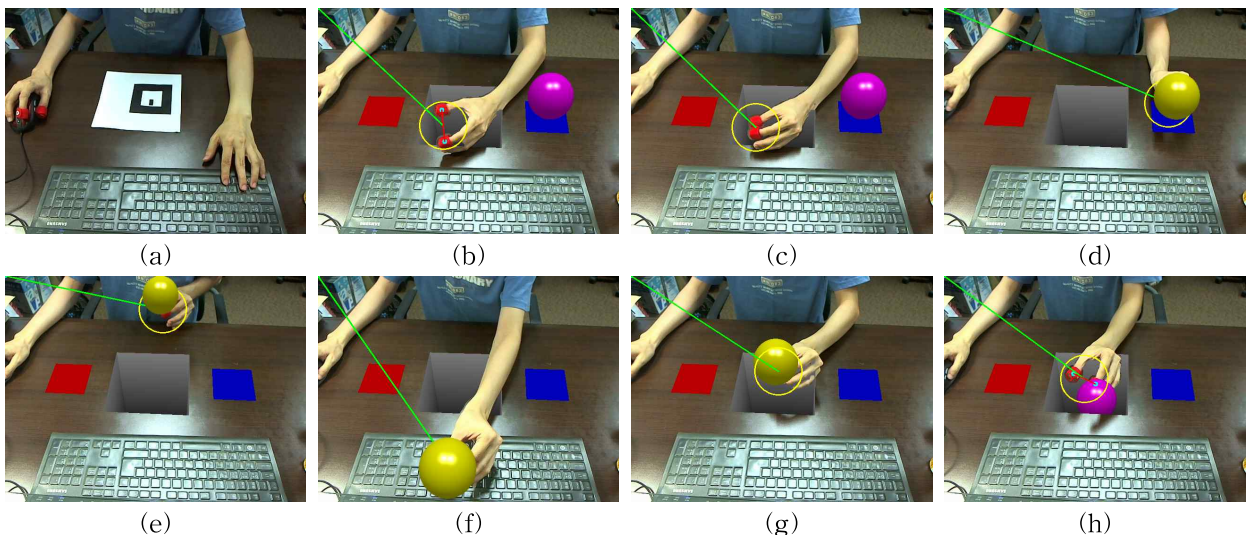


그림 10. 테이블 상에서의 '잡기'와 '옮기기'를 통한 증강현실 기반 손 재활운동 예제

시스템에서는 단일카메라를 사용하였으므로 초기 카메라 보정단계에서 발생하는 카메라 자세에 대한 오차와, 렌즈특성(radial distortion)에 의한 오차로 인해 간혹 측정값이 어긋나는 경우가 발생하지만, 전반적인 손끝추정 과정에서는 비교적 안정적으로 3차원 결과를 도출할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 증강현실 기반의 손 마비 환자를 위한 재활시스템으로써, 이와 유사한 개념의 이전의 시스템과 정성적인 비교를 통해 기존

시스템과의 장단점을 분석해 보았다. 표 1은 기존에 스페인 Pompeu Fabra대학에서 연구 중인 RGS (Rehabilitation Gaming System)[30]와 MIT에서 제안한 손목재활 시스템(Wrist Rehab. System)[31]과의 몇 가지 기준에 의한 비교표이다. 실제로는 목표 기능상에 차이가 있으므로, 정량적으로 비교하는 것은 무리겠으나, 본 표 1에서 제시하는 기준에 의해 실제 그 활용도 또한 판가름 될 수 있을 것이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 가벼운 손 마비 환자의

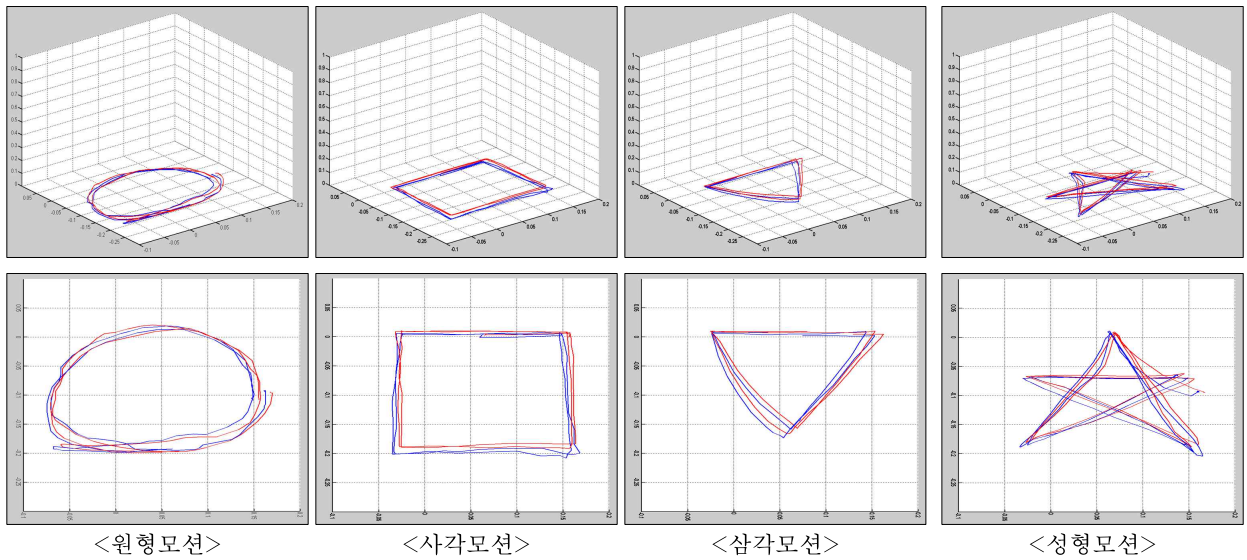


그림 11. 손끝마커의 3차원 이동경로(제안시스템, 파란선)와 3차원 실측 데이터(OptiTrack, 붉은선)의 비교(평균오차 0.02, 표준편차 0.01)

표 1. 기존 시스템과의 비교

| A. 제안시스템 | | B. RGS | | | C. MIT's Wrist Rehab. | | |
|-------------------------|-------|--------|-----|----|-----------------------|----|----|
| 구 분 | 구동방식 | 상호작용 | | 편의 | 이동 | 안전 | 비용 |
| | | 물리적 | 시각적 | | | | |
| A. 제안시스템 - 증강현실 재활 | 비전 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| B. RGS[30] - 가상현실 재활 | 비전+센서 | 0 | 3 | 3 | 1 | 5 | 2 |
| C. MIT[31] - 로봇기반 재활 | 기계 | 5 | 1 | 3 | 0 | 4 | 1 |

재활을 돕기 위해 고안된 시스템이므로, 설치가 용이하고, 누구나 사용가능 하며, 저렴한 비용으로 운용 가능한 시스템을 목적으로 설계되었다.

본 논문에서 제안한 시스템은 크게 객체검출, 객체추적, 3차원 기하계산, 렌더링 등으로 이루어져 있음을 언급한 바 있다. 이 모든 프로세스는 환자가 재활훈련을 진행하는 동안 실시간으로 안정적으로 구동될 필요가 있다. 본 논문에서 제안한 시스템 또한 위 요구사항이 만족되는 범위 내에서 증강현실 기반의 재활훈련 시나리오를 구성하였으며, 실제로 640×480 해상도의 카메라 입력영상에 대해 초당 23~25 프레임(*fps*)의 계산을 수행함을 확인하였다.

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 마비 환자의 손 운동기능의 유지/향상을 위한 증강현실 기반의 재활훈련 시스템을 제안하였다. 제안한 방법은 단일카메라를 이용하여 손끝에 부착한 색상마커를 추적함으로써 손의 위치와 자세를 파악하고, 2차원 장면영상에서 획득한 손끝 마커의 좌표를 ARToolKit마커로 초기화된 3차원 공간으로 변환하는 과정을 통해 3차원 가상객체에 대한 인터랙션을 구현하였다. 본 논문에서 제안한 재활훈련 시스템은 마비환자의 손과 손목, 팔의 기능적 재활뿐만 아니라, 테이블 상에 배치된 가상의 사물을 선택하고 이동하는 등의 기본적인 생활 밀접형 활동에 대한 지속적이고 반복적인 운동을 부하가 없는 상태에서 수행할 수 있으며, 이로 하여금 마비환자의 정신적/육체적 피로를 감소시키고 정상생활에 대한 도전의식을 고취할 수 있다.

본 논문에서는 제안한 증강현실 기반의 재활훈련 시스템에 대한 실험결과를 실제 구동 예시를 통해 제시함으로써, 단일 카메라만으로도 사람의 실제 손 동작을 통하여 3차원 공간의 가상 물체와 실시간에 직접적인 인터랙션이 가능함을 보였다. 이는 적은비용과 최소한의 시스템 구성만으로 재활운동을 위한 환경을 구성할 수 있음을 나타내었고, 사용과 설치상의 편의를 향상 시킬 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법은 테이블 탑 환경에서의 증강현실 인터랙션을 마비환자의 재활운동을 위한 훈련 시나리오로 구성하였지만, 같은 방법을 통하여 테이블 탑 환경에서의 증강현실 기반 가상객체 조작을 위한 방법으로 응용

할 수 있으며, 이를 발전시켜 보다 상호작용이 활발한 증강현실 환경을 구성할 수 있을 것으로 기대된다.

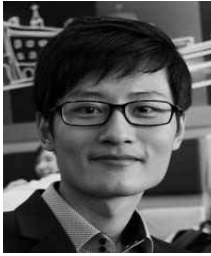
본 논문에서 제시한 테이블탑 환경에서 증강현실 기반의 가상객체 조작을 통한 재활운동 시스템은 마비환자와 같이 신경적인 손상이나 근력의 손상으로 인한 환자의 재활을 돕고자 구성된 시스템이다. 특히 손동작과 같이 사람의 자연스러운 동작을 반복적으로 연습함으로써 생활에서 필요한 활동의 기본적인 동작을 연습할 수 있게 해주며, 이에 대한 동기부여와 재미를 함께 할 수 있도록 설계되었다. 본 논문에서는 증강현실 기반의 손동작 재활을 위한 기본적인 시나리오로만 실험을 진행하였으나, 본 시스템을 통한 환자의 재활운동에 미치는 영향과 도움이 될 만한 시나리오 개발이 진행될 필요가 있을 것이다. 이를 위하여 향후에는 재활의학과와 심리학과 등의 다학제간 공동연구를 통해 시스템을 검증하고 사용성 평가와 더불어 환자 재활에 필요한 다양한 동작에 대응할 수 있는 기능적 보완이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] P. Milgram and F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays," *IEICE Trans. Information Systems*, Vol. E77-D, No. 12, pp. 1321-1329, 1994. (호 기입 요함!)
- [2] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-virtuality Continuum," *Tele-manipulator and Tele-presence Technologies*, Vol. 2351, pp. 282-292, 1994.(호 기입 요함!-호 없음)
- [3] F.P. Brooks, Jr., "The Computer Scientist as Toolsmith II," *Communications of the ACM*, Vol.39, No. 3, pp. 61-68, 1996.(호 기입 요함!)
- [4] J.H. Carr and R.B. Shepherd, *Stroke Rehabilitation*, Butterworth-Heinemann, London, 2003.
- [5] H.M. Feys, W.J. De Weerd, B.E. Selz, G.A. Cox Steck, R. Spichiger, L.E. Vereeck, K.D. Putman, and G.A. Van Hoydonck, "Effect of a Therapeutic Intervention for the Hemiplegic Upper Limb in the Acute Phase After Stroke,"

- A Single-Blind, Randomized, Controlled Multicenter Trial*, Vol. 29, No. 4, pp. 785-792, 1998.
- [6] L. Oujamaa, I. Relave, J. Froger, D. Mottet, and J.Y. Pelissier, "Rehabilitation of Arm Function After Stroke," *Literature Review, Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 52, No. 3, pp. 269-293, 2009.
- [7] 박수현, 유은영, "강제유도운동치료에 관한 고찰," *대한작업치료학회지*, 제12권, 제1호, pp. 123-137, 2004.
- [8] 박지원, 김식현, 남기석, 김연희, 배성수, "상지 신경 가동기법이 뇌졸중 후 편마비 환자의 기능 회복에 미치는 영향," *한국전문물리치료학회지*, 제8권, 제2호, pp. 29-39, 2001.
- [9] L.F. Lucca, "Virtual Reality and Motor Rehabilitation of the Upper Limb After Stroke: A Generation of Progress?," *Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol. 41, No. 12, pp. 1003-1006, 2009.
- [10] F.D. Rose, E.A. Attree, B.M. Brooks, D.M. Parslow, P.R. Penn, and N. Ambihapahan, "Training in Virtual Environments: Transfer to Real World Tasks and Equivalence to Real Task Training," *Ergonomics*, Vol. 43, No. 4, pp. 494-511, 2000.
- [11] S.R. Sharar, G.J. Carrougner, D. Nakamura, H.G. Hoffman, D.K. Blough, and D.R. Patterson, "Factors Influencing the Efficacy of Virtual Reality Distraction Analgesia during Postburn Physical Therapy: Preliminary Results from 3 Ongoing Studies," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 88, No. 12, pp. 43-49, 2007.
- [12] 임명재, 정희웅, 이기영, "증강현실 기반의 물체 인식을 통한 게임형 인지 재활 시스템," *한국인터넷방송통신학회논문지*, 제11권, 제3호, pp. 93-98, 2011.
- [13] 이병희, 김성렬, 서현두, 유하나, "뇌성마비아동의 시공간적 보행능력에 미치는 증강 현실기반 운동 프로그램의 임상적 유용성 연구," *특수교육재활과학연구*, 제48권, 제4호, pp. 211-230, 2009.
- [14] 최완, 김태영, 임철수, "재활 훈련 서비스를 위한 실시간 모션인식 알고리즘," *멀티미디어학회논문지*, 제10권, 제9호, pp. 1143-1152, 2007.
- [15] Y. Wu and T.S. Huang, "View-Independent Recognition of Hand Postures," *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 88-94, 2000.
- [16] Y. Wu, Q. Liu, and T.S. Huang, "An Adaptive Self-organizing Color Segmentation Algorithm with Application to Robust Real-time Human Hand Localization," *Proc. Asian Conf on Computer Vision*, pp. 1106-1111, 2000.
- [17] X. Zhu, J. Yang, and A. Waibel, "Segmenting Hands of Arbitrary Color," *Proc. Int. Conf Autom. Face and Gesture Recognition*, pp. 446-453, 2000.
- [18] M. Kolsch and M. Turk, "Robust Hand Detection," *Proc. Int. Conf. Autom. Face and Gesture Recognition*, pp. 614-619, 2004.
- [19] E.J. Ong and R. Bowden, "A Boosted Classifier Tree for Hand Shape Detection," *Proc. Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 889-894, 2004.
- [20] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511-518, 2001.
- [21] P. Buehler, M. Everingham, D.P. Huttenlocher, and A. Zisserman, "Long Term Arm and Hand Tracking for Continuous Sign Language TV Broadcasts," *Proc. British Machine Vision Conference*, Vol. 110, pp. 1-10, 2008.
- [22] L. Karlinsky, M. Dinerstein, D. Harari, and S. Ullman, "The Chains Model for Detecting Parts by Their Context," *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 25-32, 2010.
- [23] M.P. Kumar, P.H.S. Torr, and A. Zisserman, "Efficient Discriminative Learning of Parts-based Models," *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 552-559, 2009.

- 2009.
- [24] RelayHealth, <http://www.relayhealth.com/>
- [25] ARToolKit, HIT Lab., <http://www.artoolworks.com/>.
- [26] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, USA: Cambridge University Press, New York, NY 2003.
- [27] T. Horprasert, D. Harwood, and L.S. Davis, "A Statistical Approach for Real-time Robust Background Subtraction and Shadow Detection," *IEEE International Conference on Computer Vision*, Vol. 99, pp. 1-19, 1999.
- [28] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [29] Optitrack, NaturalPoint, <http://www.naturalpoint.com/optitrack/>, 1996.
- [30] M.S. Cameirao, S.B. Badia, E.D. Oller, and P.F. Verschure, "Neurorehabilitation using the Virtual Reality based Rehabilitation Gaming System: Methodology, Design, Psychometrics, Usability and Validation," *Journal of Neuroengineering Rehabilitation*, Vol. 7, pp. 48-62, 2010.
- [31] S.K. Charles, H.I. Krebs, B.T. Volpe, D. Lynch, and N. Hogan, "Wrist Rehabilitation Following Stroke: Initial Clinical Results," *Proc. International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 13-16, 2005.



이 석 준

2004년 대구대학교 정보통신공학부 공학사
2006년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2012년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사

2012년~현재 실감콘텐츠 문화기술 공동연구센터 선임연구원
관심분야 : Augmented Reality, HCI, Computer Vision 등



문 계 완

1983년 경북대학교 경영학 학사
1987년 경북대학교 경영학 석사
1996년 Southern Illinois University at Carbondale, 경영학 박사

1996년~1998년 경북대학교 경상대학 경영학부 전임강사
1998년~2002년 경북대학교 경상대학 경영학부 조교수
2001년~현재 경북대학교 경제경영연구소 혁신센터장
2002년~현재 경북대학교 경영학부 부교수



박 길 흠

1982년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
1984년 2월 한국과학기술연구원 공학석사
1990년 2월 한국과학기술연구원 공학박사

1991년~현재 경북대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 자동표적인식, 컴퓨터 비전, 얼굴영상인식, 의료영상인식



최 재 현

1983년 경북대학교 영어영문학과 문학사
1985년 경북대학교 영어영문학과 문학석사
1993년 경북대학교 영어영문학과 문학박사

1995년~현재 경북대학교 인문대학 영어영문학과 교수
관심분야 : Renaissance English Literature, Contemporary English and American Poetry, John Milton, John Donne 등



이 양 수

1988년 경북대학교 의과대학 의학과 의학사
1998년 경북대학교 대학원 의학석사
2001년 영남대학교 대학원 생리학 의학박사

2007년~2008년 University of North Carolina 연구교수
1994년~현재 경북대 재활의학교실 전임강사, 조교수, 부교수, 교수
2004년 9월~2006년 3월 대한재활의학회 대구경북지회 지회장
2008년 3월~2011년 12월 경북대학교병원 재활의학과장
2009년~현재 대구경북권역 심뇌혈관질환센터 재활센터장
관심분야 : Stroke, Gait training, Rehabilitation equipment, Augmented Reality



정 순 기

1990년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학사
1992년 한국과학기술원 전산학과 이학석사
1997년 한국과학기술원 전산학과 공학박사

1998년~현재 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 교수
관심분야 : Virtual Reality, Artificial Intelligence, Computer Vision, Image Processing, Computer Graphics 등



곽 호 완

1982년 서울대학교 농교육학 학사
1985년 서울대학교 대학원 심리학과 문학석사
1992년 Johns Hopkins대 심리학과 Ph.D
1993년~현재 경북대학교 심리학과 교수

관심분야 : Attention, Perception, Engineering Psychology, Neuropsychology