

지능 접속을 위한 인체 운동 포착 및 재현 시스템

A Motion Capture and Mimic System for Intelligent Interactions

윤 중 선
(Joong Sun Yoon)

Abstract : A new paradigm of technology, based on the overall interactions of technology, human and environment, is explored. History of technology and machines is reviewed in terms of the interactions of human and machines. Two main concepts of intelligent interactions proposed, holism and embodiment, are based on the interactions of machines and human through human body's Körperlichkeit (corporeality). Human body movements are the result of long periods of evolution and, thus, are very optimized motions. Complicated and flexible motions could be easily achieved by mimicking human body movements. Motion capture and mimic systems based on the electromagnetic, visual, and gyroscopic type trackers, are being implemented to demonstrate these concepts. Also, various motion mappings are investigated on these interactive systems. By exploring a new paradigm of technology through Körperlichkeit, an oriental view of technology as relativities may evolve to embrace the limitations of western view of machines as an absolute independent form.

Keywords : interactions, Körperlichkeit(corporeality), holism, embodiment, motion trackers

I. 서론

기계는 오랫동안 인간의 의지를 힘겹게 실현하는 수행자로서의 기능이 강조되어 왔다. 그러나 기계의 긴 역사에도 불구하고 기계는 수행자로서의 한계를 여전히 보여줄 뿐 아니라 의지의 주체자인 인간의 새로운 변화에도 잘 적응하지 못하고 있다.

이의 극복을 위하여 기계는 부분적인 정교한 기술의 구현보다는 기계와 인간, 기계와 환경 사이에서 벌어지는 상호적 접근성인 인터랙티브에 주체로서 참여할 수 있는 기능을 갖추어야 할 것으로 보인다. 더 나아가 이들간의 보다 성숙된 '사이'를 구현해주는 '調應'이라는 새로운 개념에서 기계의 바람직한 진화방향이 가닥을 잡아야 할 것이다. 이러한 '사이'와 관계의 정체를 모색하는 새로운 분야가 바로 메타테크놀로지에 해당한다고 보여진다[1]-[3].

최근 서구에서 공학과 인간의 관계를 새롭게 조명하면서 시도되고 있는 감성공학은 인간과 기계의 상호작용보다 인간의 대체적 감성 체계의 구현에 국한된 듯 보인다. 즉 근본적인 기계와 인간간의 접속에 대한 문제점을 이해하고 극복을 하지 못하고 있는 듯하다. 이러한 조류를 무비판적으로 받아들이거나 심지어 서구인이 파악한 동양적 혹은 한국적 감성체계가 가공 역수입되려는 현실 인식 속에서, 패러다임의 자위권을 독자적이면서도 보편성을 지닌 메타테크놀로지 접근법으로 모색해보려고 한다. 논의는 서구인이 흔히 놓치고 있는 전체성(holism)과 인간과 기계의 사이에 중점을 두고 있다.

인체의 움직임은 오랜 경험(evolution)에서 살아남아

최적인 본능적 지능(motion intelligence)의 모습을 보여준다. 이러한 사람의 움직임을 로봇과 같은 기계의 운동에 상호작용으로 조화롭게 참가시키면(intelligent interactions) 복잡한 움직임을 유연하고 쉽게 재현해 낼 수 있을 것이다. 그리고 정보 처리력의 발달과 그에 따른 실천의 문제는 지능의 신체성(Körperlichkeit)에 대한 깊이 있는 이해를 요구하고 있다.

기계의 진화를 기계와 인간의 접속의 관점에서 훑어보고, 새로운 개념의 기계관을 전체성과 일체성이라는 인체와 기계와의 신체적 접속 관점으로 제시하며, 전자기형, 시각형, 판성형 접속계를 구성하여 운동 재현 및 제어에의 적용을 모색해 본다.

II. 접속사

무기로서의 기계의 발전을 생각해본다. 원시 시대의 수렵채취 도구로부터 근대의 전생수행 도구와 정보화 시대의 정보처리 도구에 이르기까지, 무기는 속성상 최적의 수행을 요구받고 있다. 그럼에도 불구하고 기계는 비최적 수행의 한계를 보이고 있고 이를 극복하기 위한 노력으로 자동장치의 개발이나 기계에 자율성(autonomy)을 부여하려는 시도를 들 수 있겠다. 이러한 시도를 통하여 기계 기술은 원시 시대의 도구에 의한 인력의 극대화 기술, 산업혁명 시대의 증기기관을 통한 힘의 증폭과 제어 기술과 자동 방직/방직 기술, 정보혁명 시대의 패턴의 추상화와 복제화에 따른 디지털 기술로 진화하였다[4]. 산업혁명 시대의 자동기계들과는 달리 정보혁명 시대의 지능기계들에 있어서 정밀도는 향상된 것은 분명하나 자율성은 제한적 상황하에서의 구현에만 머물고 있다는 점에서 이들 기계들은 아직 새로운 면이를 보여주지 못하고 있다.

그 대표적 사례로 인간을 닮고자 하는 로봇의 개발을 들 수 있다. 정교한 로봇을 만들려고 하면 할수록 더욱

접수일자 : 1998. 10. 9., 수정완료 : 1999. 4. 29.

윤중선 부산대학교 기계공학부

* 본 논문은 1996년도 한국학술진흥재단 학술연구조성비와 부산대학교 학술연구조성비에 의하여 지원되었습니다 연구과제명 : 학제간 연구 '감성지능의 패러다임 : 디지털 아트'

인간과 떨어지는 개악의 경우가 발생하고 있음을 알 수 있다. 감각, 운동, 판단 등 각 기관의 부분적인 기술의 정교함과 이들 기술의 조합에 집착하기 때문이다. 백남준은 1964년 K-456이라는 로봇을 New York의 길거리에서 시연하였다[5]. 리모콘으로 작동되며 영성하게 움직이는 이 로봇은 매우 정교한 움직임을 재현해내는 이후의 많은 로봇보다 자연스럽게 친밀하여 좀더 인간다운 느낌으로 다가온다. 로봇이 인간을 닮고자 하는 바램에서 나온 것이라면 부분을 정교하게 재현하는 산업용 로봇보다도 움직임은 서툴지만 차에 치여 생을 마감하기까지 하는 K-456이 더욱 인간다운 로봇 생명체로 보인다. 그리고 이러한 로봇 기술의 구현은 대체로 산업용 로봇의 경우보다 매우 쉽다.

산업혁명과 정보혁명을 통하여 이룩한 自動化(automation)와 自律化(autonomy)로 대표되는 기계진화의 시도들은 수동적인 지능적 객체로서의 발전과 일방적인 대체물로서의 진화라는 절대적인 기계의 존재론에 입각하고 있는 것 같다. 사람과 기계의 상대적인 관계성을 통한 진정한 화해의 회복이라는 입장에서는 별 진전이 없는 이러한 기계진화의 시도들은 사람과 기계를 동등하게 상호작용인 인터랙티브로 이해하는 새로운 기계관(paradigm)의 모색을 요청하고 있다[1]-[3].

기계 인터랙션의 최근 대표적인 세계적 연구 사례들은 생체 신호의 평균적 처리에 의해 인체의 특성을 파악하고 응용하는 의공학적 매핑에 관한 연구, 지능창출에 관한 Minskian agents론이나 생명체의 경험적 행동주의론(behaviorism)과 같은 대체 지능체에 관한 연구, 인체 동작의 개입에 의한 기계작동과 가상현실에 관한 연구, 인체의 반응과 동작을 예술 창조의 과정에 접목시키는 인체 접속에 관한 연구 등을 들 수 있다[6].

감성을 생체신호나 입체 영상으로 측정 분석하고 이들의 연관성을 밝히려는 의공학적 감성 매핑 연구는 감성의 정량화와 그 응용에 기여하고 있다. 그러나 이러한 접근법은 측정과 분석에서의 비인간적 방식과 개인차를 고려하지 않는 평균적 방식을 취하고 있어 인간의 근본적인 마음과 개별적인 개성을 제한적으로만 설명하며 응용하고 있는 듯하다[6].

MIT의 AI 연구진과 Media 연구진은 '지능계는 연관되지 않은 많은 요소들의 상호 작용과 학습으로 만들어진다(evolve)'는 'Minskian agents' 개념을 실현하려는 연구를 수행하고 있다. 그 예로 Minskian agents론에 의한 Minsky 팀의 Common Sense Project와 Baby Project, 행동양태론에 의한 Brooks 팀의 Artificial Insects Project, 감성의 디지털적 정보처리론에 의한 Machover 팀의 Brain Opera Performance, 계산체계론에 의한 Picard 팀의 Affective Computing Project 등을 들 수 있다[6]-[8].

2차 대전 직후 미국에서는 방사성 물질을 다루기 위한 인간 조작자의 손과 팔의 움직임을 충실히 재현하는 'master-slave' 형의 원격제어 기계조작기에 대한 연구가 진행되었다. 이 master-slave 장치는 최근까지 발전을 거듭하여 기계적, 전기적 또는 프로그램으로 엮여져서

전달되는 힘을 감지하며 조작자의 작동성을 증진시키고 있다[9]. 또한 포착된 인체의 움직임을 그대로 또는 가공하여 로봇이나 복잡한 기계의 운동 제어나 인간 개입 작동에의 적용이 활발하다[10].

가상현실 분야에서는 보다 많은 현실감을 확보하기 위하여 기계에 힘을 통하여 신체가 개입하도록 해주는 장치(haptic interfaces)들이 고안되고 있다. 이러한 장치들을 통하여 컴퓨터 안의 가상 물체의 접촉과 재질을 감지하며 상호작용 증진에 응용되고 있다. 또한 일련의 액츄에이터들로 이루어진 가상현실 옷을 입으면 컴퓨터가 만들어내는 거칠거나 부드러운 접촉을 느낄 수 있고 인터넷에서의 가상접촉(virtual touch)을 구현할 수 있도록 해주는 연구가 진행되고 있다[11].

최적을 추구하는 공격적인 무기와는 달리 감성과 맞닿아 조화로운 악기로서의 기계 발전을 생각해 볼 수 있다. 악기는 기본적으로 동작과 소리를 조절하는 음악가의 접속 장치로 볼 수 있다. 전통적인 기계적인 악기들은 연주자의 입, 손, 발의 움직임을 아주 미묘하고 우아한 소리의 떨림으로 청중에게 전달한다. 그 대표적인 서양 악기인 피아노는 18세기 초에 발명된 뉴턴 역학적인 악기이다. 19세기에 뉴턴 역학적인 악기의 발달을 끝내고, 20세기부터는 전자공학적인 악기 제작의 시대를 열었다. 인간의 동작을 아날로그나 디지털 신호로 바꾸어 주는 전자 악기들은 표현의 생동감은 줄어든 반면에 동작을 직접적인 소리에서 분리하여 다양한 음의 가공이 가능하게 하였다[12].

지휘자는 악기를 다루지 않고도 지휘봉과 맨 손으로만 음악의 시작과 끝, 빠르기의 변화, 균형, 표현에 대한 신호를 보낸다. 최초의 전기기계 원격조정 장치는 1843년 Berlioz에 의하여 무대에서 떨어져 있는 합창단에게 빛을 보내어 연주 속도를 조절하는데 쓰였다. 1928년 대표적인 전자 악기인 Moog의 Theremin은 두 개의 라디오 안테나 근처에서 두 손을 휘저으면 손의 위치에 따라 전압이 발생되고 그에 따른 음을 만들어낸다. 1990년대 들어 초음파, 가속도계, 카메라와 전자장갑, 디지털 형태의 지휘봉 등에 의한 연구가 이루어지고 있다[12].

전자악기의 이용에서 시작된 예술적 접속 장치들은 컴퓨터와 센서, 네트워크 정보 처리 기술이 가미되며 음악, 미술, 무용 등의 창작에 보편적으로 사용되고 있다. 대표적인 예로 1986년부터 MIT의 Brain Opera 팀에 의해 개발되고 있는 일련의 음악 접속 장치들[8]과 1992년부터 사이버 음악가 Lanier에 의한 다양한 몸짓을 가상현실 장비를 써서 음악으로 바꾸어 주는 연주[13]를 들 수 있다. 1993년부터 센서 기반 자세 제어기로 컴퓨터 음악을 만드는 3명의 음악 집단인 유럽의 Sensorband는 초음파, 적외선, bioelectric 센서를 써서 음악 접속 장치와 로프와 센서로 이루어진 그물 모양의 접속 장치를 공연에 사용하고 있다[14]. 또한 1994년부터 유럽과 미국의 공학자와 예술가 집단은 비디오 카메라, 전극 등으로 이루어진 Palindrome[15]이라는 인체 접속 및 처리 장치들을 무용수와 관객에 사용하여 인터랙티브한 무용 공연을

시도하는 등 예술적 접속 장치의 응용 예는 그 수를 헤아릴 수 없이 많은 상황이다.

악기의 진화에는 동시대의 과학기술과 시대정신이 반영되고 있다. 음악이 그 시대를 보여주는 것이라면 19세기까지의 서양의 음관(音觀)은 Newton의 기계적 결정론이라는 합리주의에 따른 것이었다. Einstein의 상대성이론이나 Heisenberg의 불확정성이론 그리고 전자공학과 컴퓨터로 대표되는 20세기의 음관도 다양하고 정교함에도 불구하고 청각에 맞도록 감동을 전달하지는 못하는 듯하다. 21세기의 음관으로 제어학자 Payne은 생물학과 화학의 원리에 따른 것으로 예견하고 공상소설가 Clarke은 가상현실에 의한 착각적 감각의 세련화로 예견하고 있다. 결정론적 세계관의 허무함과 정보처리적 세계관의 허전함은 동양에서 그 대안을 찾으려 한다[16].

현대에 와서 종합적 인터랙션을 추구하는 그룹으로서 MIT에서 발간되는 Leonardo지를 중심으로 한 모임의 움직임이 들 수가 있다. 예술, 과학, 기술 분야의 전문가들이 글을 쓰고 공식적인 만남을 시도하고 있기는 하지만 서구적 합리주의의 기반 위에서만 만남은 이루어지고 있다. 이러한 시도 외에 wearables manmachine interface, human-computer interface, artificial reality 분야의 기술 등이 인터랙션의 문제를 컴퓨터와 인간을 중심으로 다루며 현재 과학기술 관심사의 주류를 이루고 있다. 매우 성공적이고 정교한 듯함에도 불구하고 이러한 연구들은 인간을 대체하는 시스템의 구현에 국한되어 인간과 기계의 상호작용(interactions)이라는 근본적인 접속의 문제점에 대하여 이해하고 극복하지 못하는 것 같은 아쉬움을 남긴다[1]-[3]

21세기는 과학기술과 예술이 분리된 지난 세기와도 다를 뿐 아니라 이를 통합적인 시스템으로 보려했던 르네상스기와도 다르다. 기계의 진화, 인간이 가진 세계관의 변화뿐 아니라 환경 역시 달라졌다. 이들 상호간의 소통에 있어서 새로운 해석이 필요하다 하겠다[1]-[3].

III. 접속계

인체 운동과 기계와의 신체적 관계성에 주목하여 새로운 접속 패러다임의 제시와 구현을 모색한다. 대표적인 연구 내용은 사용자를 고려한 접속에 대한 이해, 접속기의 구조와 재질에 대한 연구, 정보의 흐름과 처리 방법에 대한 구현을 들 수 있다. 전체성(holism)과 일체성(embodiment)이라는 인체와 기계와의 신체적 접속 관점을 새로운 개념의 기계관으로 제시하고 전자기형, 시각형, 관성형 접속계를 구성하여 운동 재현 및 제어에의 적용을 모색한다.

1. 접속관(Interactions Paradigm)

무기와 악기로서의 기계 발전의 흐름과 자동화와 자율화라는 기존의 기계 진화의 노력을 살펴보았다. 기계 진화의 특성은 부분적인 기술의 정교함과 이들 기술의 조합이라는 선형성과 수동적인 지능적 객체로서의 발전과 일방적인 대체물로서의 진화라는 절대적인 기계 존재론에 입각하고 있는 것으로 보인다.

선형성과 존재론적인 기계 진화의 한계를 비선형성과 상대론적 관계성에 주목한 새로운 기계 패러다임으로 극복을 모색해본다. 최근 과학기술 분야에 중점적으로 연구되고 있는 힘(haptic)에 관한 연구는 주어진 절대적인 위치를 정확하게 쫓아가려는 종래의 절대론적인 기계작동 방식의 한계를 힘을 느끼며 상대적인 거리를 좁히려는 상대성이 고려된 기계 작동 방식의 구현으로 극복하려는 대표적인 시도로 보인다

사람이 무엇을 보거나 듣거나 느낄 때 두뇌의 신경세포로 전달되는 자극은 시냅스 들을 거쳐 신경망 전체에 마치 파장처럼 퍼져 나가며 어느 부분에서 일어난 자극의 전달도 시냅스에 저장된다고 한다 우리의 청각과 시각은 소리와 빛의 파동을 대상으로 한다. 또한 몹시 즐거울 때 웃는 웃음소리의 울동, 슬픔을 참을 수 없어 흐느낄 때 어깨에 오는 진동, 분에 못이겨 떨리는 치(齒), 무시워서 떨리는 사지 등에서 우리는 감정의 파동성을 볼 수 있다[6]. 그리고 마치 맹인의 보행용 지팡이가 침부된 도구가 아니고 몸의 연장된 일부로서 하나가 되는 것을 본다.

새로운 기계와의 접속 패러다임을 이러한 파동적 전체성(holism)과 일체화(embodiment)에 따른 신체성의 관점으로 살펴볼 수가 있다 이를 통하여 기계는 환경과의 상호작용에 하나의 주체로서 참여할 수 있는 단계로 진화할 수 있을 것으로 보여진다[2] 이러한 각 감각의 접속성을 염두에 둔 새로운 해석과 종합감각과 공통감각(synesthesia)으로의 감성 매핑, 몸의 미소하거나 큰 움직임의 떨림 형태로의 이해와 포착, 접속의 일체화와 상호 관계로의 이해와 같은 개념이 새로운 접속의 패러다임으로 모색될 수 있다.

사람의 손, 팔, 관절, 머리와 어깨 등 접촉/비접촉 움직임의 특징을 잡아서 기록하고 보여주고 재현하는 운동 포착 및 재현 시스템은 센서로 운동을 잡는 부분(motion capture), 포착된 운동 정보를 다듬어 운동을 재획하고 모의실험하는 부분(motion map), 운동을 재현 또는 제어하는 부분(motion mimic/control)으로 이루어진다. 시스템의 구조는 그림 1과 같다

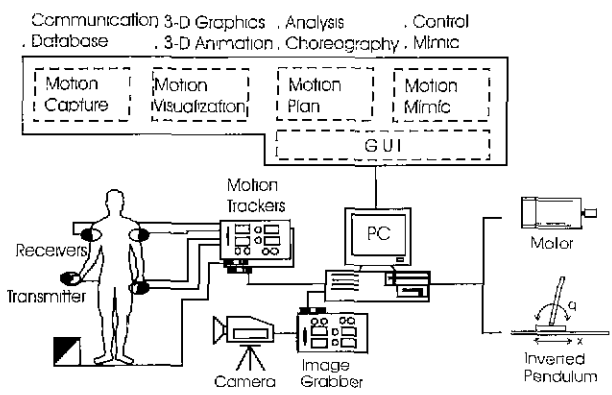


그림 1. 운동 포착 및 재현 시스템의 구조
Fig. 1. Structure of motion capture and mimic system.

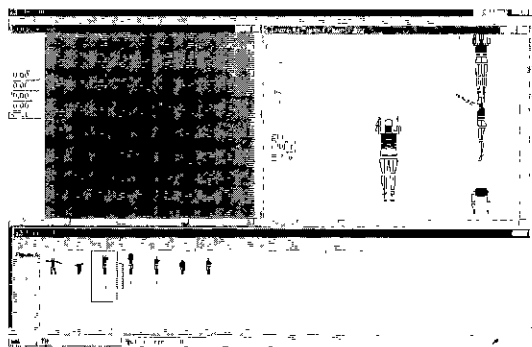
2. 접속부(Interactions Interfaces)

운동을 포착하는 부분은 센서를 써서 사람 몸의 접촉/비접촉 움직임을 특징을 잡아서 기록한다 움직임은 접촉 센서, 전자기 코일로 이루어진 자기장(magnetic field) 감지 센서, CCD 카메라와 같은 시각(visual) 센서, gyro 와 같은 관성(inertial) 센서, 음향(acoustic/ultrasonic) 센서, 적외선(infrared) 센서, potentiometer와 같은 기계적(mechanical) 센서 등으로 포착된다[17][18].

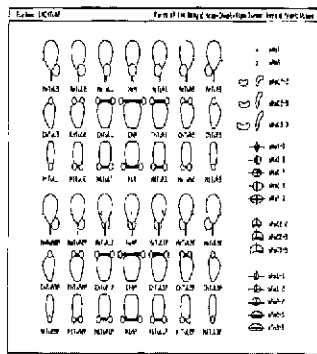
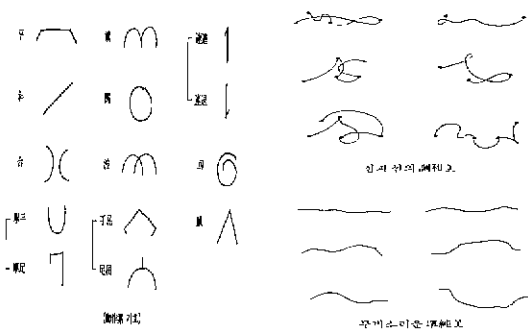
3. 접속처리부(Interactions Map)

운동 포착 소프트웨어는 운동 포착기에서 정리된 정보의 PC급 주 처리기로의 흐름을 원활하게 할 통신 프로그램으로 구성한다.

유연한 인체 동작의 생성을 위해서는 그림 2(a)의 LifeForms와 같은 인체 동작 분석 및 안무 프로그램의 도움을 받아 움직임을 자동 생성하여 필요한 정보로 제공한다[19].



(a) Choreography



(b) Database

그림 2. 운동 처리부.
Fig. 2 Motion map.

운동을 보여주는 부분은 3차원 그래픽과 애니메이션 기법으로 운동을 보여주고 시뮬레이션을 수행한다. 재현기 주변환경의 그래픽과 애니메이션을 위해서는 World-ToolKit과 같은 가상현실 개발 도구로 개발의 효율성을 높이고 현실감 있는 다양한 상황을 쉽게 점검한다[20].

운동을 계획하는 부분은 포착된 운동 정보의 자료화, 패턴 분류, 분석 및 자동 생성 등을 수행한다. LifeForms와 같은 인체 동작 분석 및 계획 프로그램의 도움으로 만든 움직임을 자료화하여 저장하고, 이러한 움직임의 database는 운동을 자동 생성할 때 필요한 정보로 제공된다. Labanotation, Benesh Movement Notation, Lara-Wilmer Illustrations/Nomenclature Stave 등 그림 2(b)와 같은 자료화된 운동 정보는 움직임의 패턴분류, 움직임의 최적화(optimized motion), 안무(choreography)등 운동의 분석 및 재현에 쓰인다[21][22]

IV. 재현계

제안된 인체와 기계와의 접속판에 따라 전자기형, 시각형, 관성형 시스템을 구성하고 운동 재현 및 제어에의 적용을 모색하였다. 움직임 정보를 직접 또는 대상에 맞도록 다듬어 사용자 접속 장치의 구현과 도립진자의 수직 균형 제어(pole balancing)와 모터의 방향 제어에 적용하였다.

1. 관성형(Gyroscopic Tracker)

그림 3과 같이 센서를 부착한 인체의 움직임으로 허공이나 컴퓨터 화면에 보이는 메뉴를 선택하는 편리한 사용자 접속장치를 구현한다. 운동 감지 후의 모든 정보

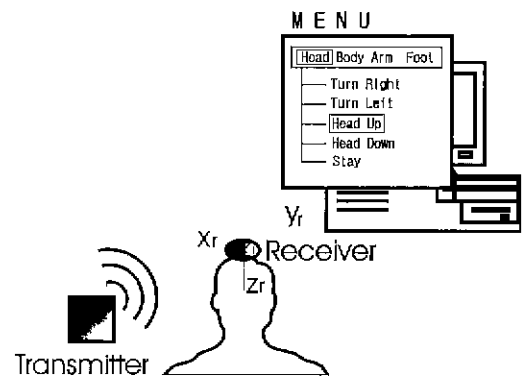


그림 3 사용자 지능 접속.
Fig. 3. An intelligent user interface.

처리는 디지털형태로 이루어지므로 소리나 눈의 깜빡거림 또는 손의 움직임 등 다양한 방법으로 메뉴를 선택할 수 있다. 그림 3의 경우, Virtual i·o의 HMD(Head mounted display) i-glasses 뒷머리 부분에 달린 관성형 센서의 공간상 3자유도(pitch, roll, yaw) 움직임을 메뉴와 연동하여 사용자 집속장치를 구현한 예를 보여준다 [23]. 센서로 인식된 인체의 동작(gesture)은 디지털 형태의 정보 매핑을 거쳐서 다른 움직임(motion)으로 또는 소리(music)나 그림(image)으로 바뀌어 표현될 수 있다 [6][8][15].

또다른 운동 포착부의 관성 장치로, 싸면서 신뢰성이 뛰어나고 PC와 접속이 쉬운 muRata의 반도체형 gyroscope ENV-05S를 사용했다[24]. 압전 회전 1자유도 gyroscope의 회전을 시각형과 비슷하게 비례적으로 모터가 재현하도록 구성하였다.

2 전자기형(Electromagnetic Tracker)

전자기형 운동 포착부는 Polhemus의 PC AT-bus형 board-level 운동 포착기 INSIDETRAK과 제공되는 C언어로 된 감시(monitoring) 프로그램을 다듬어서 만들었다[10][25]. 그림 4와 같이 포착된 손의 가속적 움직임을 수레의 가속적 움직임으로 바꾸어 거꾸로 세운 막대(inverted pendulum)가 넘어지지 않도록 제어한다.

도립진자의 운동 방정식은 (1)과 같고 수레의 가속도가 제어 입력이 된다. 여기서 g 는 중력가속도, L 은 수레와 막대의 접점에서 막대의 중심까지의 거리이고 수레의 움직임과 막대의 기울어짐은 x 와 θ 이다 수레는 손 움직임을 빠르기와 막대의 입력 크기를 고려하여 (2)와 같이 제어하였다. x_m 은 손의 이동 거리이고 손의 움직임을 수레의 움직임으로 바꾸어 막대를 제어한다. K_a 는 손의 가속도를 수레의 가속도로 비례적으로 바꾸어 준다. 시행착오적으로 찾은 비례 값 K_a 로 25가 사용되었다[10].

$$\ddot{\theta} = \frac{(g \sin \theta - x \cos \theta)}{(4/3)L} \tag{1}$$

$$x = K_a \dot{x}_m \tag{2}$$

포착된 손의 움직임을 흉내내어 그래픽 도립진자를

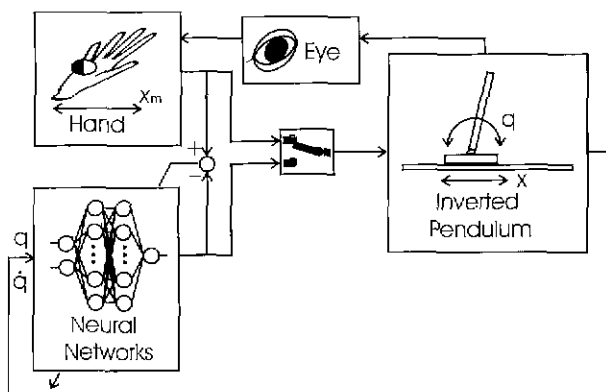


그림 4. 손의 움직임에 의한 도립진자의 제어.

Fig. 4. Pole balancing utilizing human hand movements.

제어한 결과는 그림 5와 그림 6과 같다. 그림 5(a)와 5(b)는 임의의 5번의 시도 중 첫 번째와 다섯 번째의 제어 결과를 보여준다. 5번의 시도 끝에 약 30초 정도 세울 수 있었다. 그림 5(b)에서 보여주는 5번째 시도의 처음 15초, 즉 5msec 샘플 데이터 300개로 손의 움직임을 흉내내도록 다중 퍼셉트론형 신경회로망(artificial hand)이 학습되었다. 그림 5(c)와 5(d)는 1,000번, 100,000번 학습한 신경회로망 제어기를 썼을 때의 제어 결과를 보여준다. 100,000번의 역전파(backpropagation) 학습 후에 신경회로망 제어기는 독립진자를 1분여 동안 세울 수 있었다.

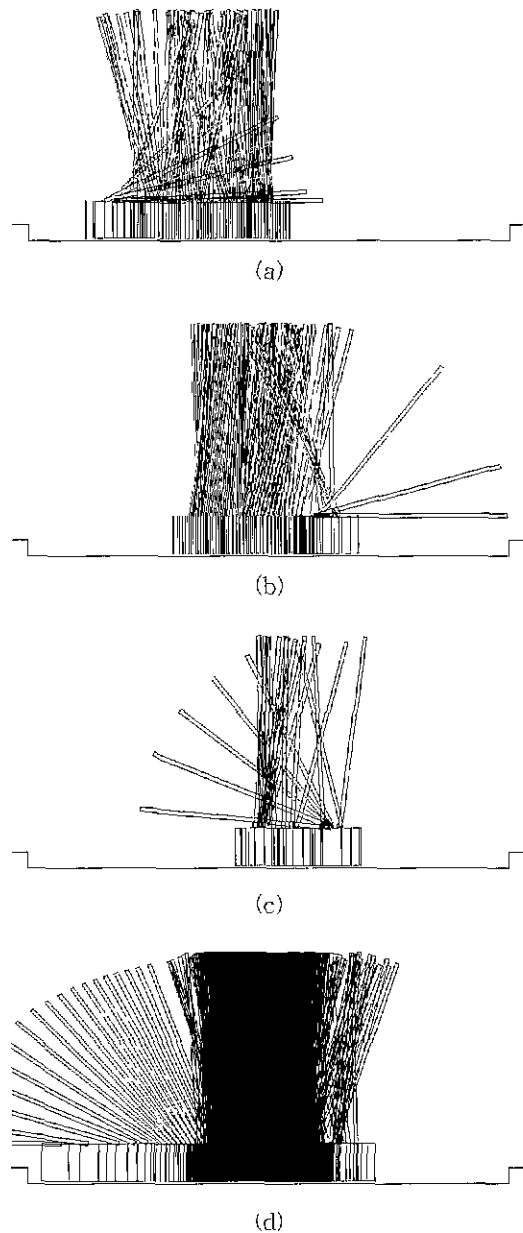


그림 5. 도립진자 제어 궤적.

Fig. 5. Pole balancing animation. (a) 1st trial by a human hand, (b) 5th trial by a human hand, (c) 1,000th iteration by an artificial hand, (d) 100,000th iteration by an artificial H.

전통적인 역전과 학습은 정적인(static) 문제에 적합하므로 동적인(dynamic) 제어기의 학습에는 엄청난 양의 학습 데이터가 필요하다. 동적인 문제를 다루는데 효과적인 recurrent 형인 Hopfield 신경회로망과 강화학습(reinforcement learning) 등을 사용하면 효율적인 제어기를 구성할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 손의 움직임으로 학습한 다중 퍼셉트론 신경회로망 제어기는 동적인 문제를 다루는데도 불구하고 많은 회수의 학습이 필요하기는 하지만 구성이 간단하고 실제로 발생하는 적절한 양의 데이터만 필요로 한다. 진자 제어의 파라미터 값은 표 1과 같다.

표 1. 도립진자 제어의 파라미터 값.

Table 1. Parameter values for pole balancing.

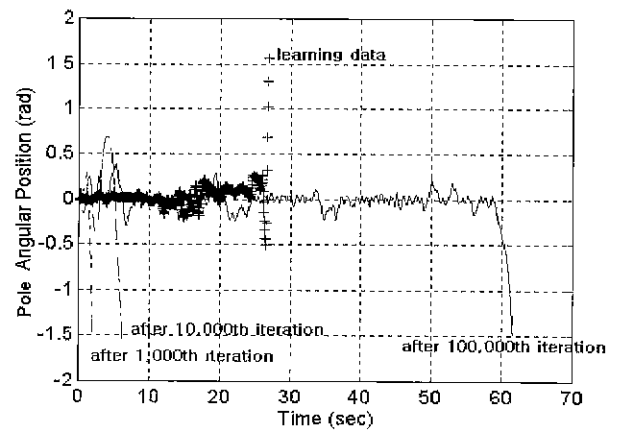
	Parameter Name	Symbol	Value
Inverted Pendulum	Weight of Gravity	g	9.8 m/s^2
	Half Length of Pole	L	2 m
	Cart Position	x	$-1.2 \leq x \leq 1.2 \text{ m}$
	Pole Angle	θ	$-90 \leq \theta \leq 90^\circ$
Neural Controller	Input/Output Nodes		2/1
	1st/2nd Hidden Nodes		10/10
	Learning Rate	η	0.0001
	Momentum	α	0.1
Simulation Condition	Sampling Time	ΔT	0.05 sec
	Acceleration Gain	K_a	25
	Initial Position	q^0	0.1 rad
		x^0	0 m
	Initial Velocity	\dot{q}^0	0 rad/sec
		\dot{x}^0	0 m/sec
	Target Position	q^T	0 rad
x^T	-1.2 - 1.2 m		
Learning Data	0~15 sec Hand Movements of 5th Trial		

도립진자의 수직에서 벗어난 각도와 수레의 위치는 그림 6(a)와 6(b)와 같다. 사람 손과 신경회로망 손에 의한 도립진자 세우기 애니메이션을 보면 제어 입력은 도립진자를 순간적으로 넘어지게 한 후 회복시키는 경향을 보여준다. 이러한 제어 양상(recovery mode)은 더 큰 회복 가속도를 발생시켜 빠른 회복을 보장해준다. 그림 6(c)는 사람 손과 신경회로망 손에 대한 제어 입력의 떨림(fluctuation)을 보여준다.

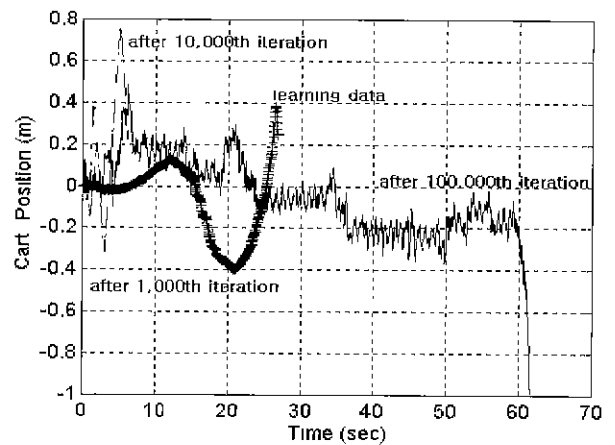
3 시각형(Visual Tracker)

시각형 운동 포착부의 하드웨어는 SONY의 Digital Camera DCR-PC7과 Pentium II/350MHz PC, 그리고 Matrox의 PCI/PCI bridge형 board-level 영상포착기 Meteor/PPB로 구성되어 있다. Matrox의 low-level image processing library인 ActiveMIL을 이용하여 Window 환경에서 실행되도록 프로그램을 구성하였다[26].

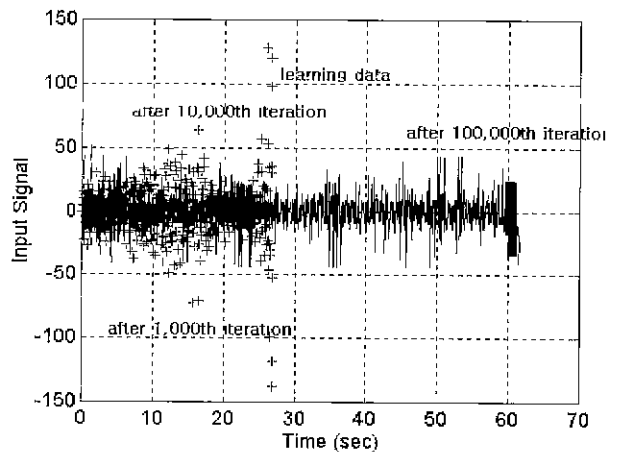
손에 표시한 점의 위치를 1대의 카메라를 써서 초당 약 30 프레임씩 원으로 잡고 원 중심의 위치에 따라 모터가 비례적으로 회전하는 실험을 수행하였다. 모터 제어기는 삼성전자 BLDC 모터 CSM-04BB2ANT3와 32-bit DSP에 의한 디지털 써보 드라이버 CSD-04BB1S 그리고 ADCLONE의 ACL-726 D/A 보드로 구성되어 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 도립진자 제어.

Fig. 6 Pole balancing. (a) Evolution of pole angles, (b) Evolution of cart positions, (c) Evolution of input signals.

카메라와 영상포착기를 통해 얻은 320×240 pixel 크기의 gray scale 이미지를 threshold 시켜 흑과 백으로 이치화시켰다. 영상은 자연광 조명 하에서 포착되고 영상처리에는 단순 이치화 threshold만 사용하였다.

원의 중심은 이미지 평면상에 나타난 한 개의 원의 영역에 대하여 무게중심(center of gravity) 알고리즘으로 찾았다[27].

원의 실제 공간상에서의 위치는 계산하지 않고 320×240 픽셀의 이미지 평면상의 x방향 값(x_{center})을 읽어 이미지 평면의 중심에 있을 때 정지하고 왼 쪽과 오른 쪽 일 때 각각 중심에서의 거리에 비례하여 역방향과 정방향의 회전 운동을 하도록 (3)과 같은 간단한 비례 제어를 설계하였다. 여기서 $\dot{\theta}$ 는 모터의 회전속도(rpm)이고 $K_p = 6000/320(\text{rpm}/\text{pixel})$ 이다.

$$\theta = K_p(x_{center} - 160) \quad (3)$$

그림 7은 카메라로 손의 움직임을 포착하여 모터를 제어하는 모습을 보여준다. 또한 전자기형 운동 포착기의 경우와 같이 간단한 도립전자 제어기를 구현할 수 있다.



그림 7. 손의 움직임을 이용한 모터 제어.
Fig. 7. Motor control utilizing hand movements.

손의 위치에 따른 단순 비례 제어 운동 매핑을 다양하게 확장할 수 있다. 손을 아래위 방향이나 좌우 방향으로 흔들면 이 움직임을 각각 YES와 NO의 패턴으로 구분하고 각 패턴에 따라 모터를 회전 또는 정지시킬 수 있다. 또한 그림 8과 같이 일정 시간 간격동안 손의 움직임, 즉 원 중심의 제적이 만들어 내는 동작 패턴을 분석하여 다양한 동작을 재현해 낼 수 있다. 손의 움직임 패턴에 따라 모터의 속도가 점차 증가한다든지 역회전 또는 정지시킬 수 있고 컴퓨터 소프트웨어의 메뉴와 연결하여 메뉴선택, 하위메뉴선택, 결정 등의 동작으로 재현하였다[28].

그림 8의 동작 패턴은 그림 2(b)와 같은 무용의 춤사위나 무술의 기본 자세와 같은 동작 요소들에서 추출하여 구성한다. 이러한 동작 요소들은 사람 몸의 움직임의 특징을 가장 조화롭고 완성된 형태로 이해하는 의미있는 기본 단위로 보여진다. 이러한 동작 단위를 그대로 또는 이들 동작 단위들의 조합으로 움직임을 재현하면, 유연하고 뛰어난 인체의 움직임을 다양한 분야에서 유용하게 활용할 수 있을 것이다

손뿐만 아니라 팔꿈치, 어깨의 움직임을 카메라로 각

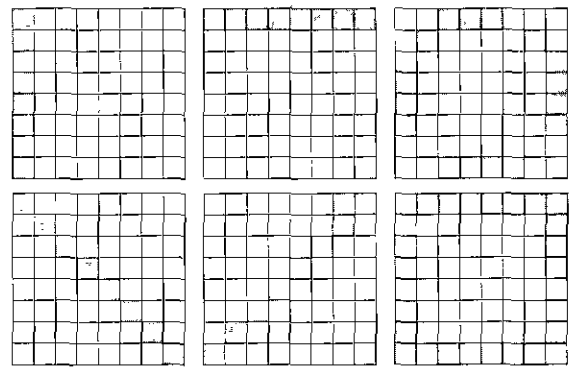


그림 8. 손의 움직임 패턴.
Fig. 8. Patterns of hand movements.

부위에 부착된 점들의 움직임으로 포착하여 2자유도 SCARA 로봇의 각 관절에 대응시키고 팔의 움직임을 로봇의 움직임으로 매핑할 수 있다. 각 점들을 서로 다른 색으로 표시하고 카메라에서 컬러로 영상을 포착함으로써 각 점이 손에 해당되는지 또는 팔꿈치나 어깨에 해당되는지를 구분할 수 있다. 손과 팔꿈치, 팔꿈치와 어깨가 이루는 선분을 로봇의 암(arm)에, 기준좌표에 대해 각 선분이 이루는 각도를 로봇의 관절변수에 대응시키면 팔의 움직임에 따라 로봇이 움직이도록 한다.

V. 결론

바람직한 기계 진화의 방향을 탐색하기 위하여 무기와 악기로서의 기계 발전의 흐름과 자동화와 자율화라는 기계 진화의 노력을 살펴보았다. 기존의 기계 진화의 특성은 부분적인 기술의 정교함과 이들 기술의 조합이라는 선형성과 수동적인 지능적 객체로서의 발전과 일방적인 대체물로서의 진화라는 절대적인 기계 존재론에 입각하고 있는 것으로 보인다.

비선형성과 상대론적 관계성 즉 '시'에 주목하여 새로운 기계 진화 패러다임을 모색하였다. 전체성(holism)과 일체성(embodiment)에 따른 새로운 기계 접촉관을 기계와 인간의 관계성에 주목하는 메타테크놀로지적 접근법으로 모색하였다 제시된 기계관의 구현을 위하여 운동 포착 및 재현 시스템의 기본 구조가 제시되고 제안된 방법에 따라 관성형, 전자기형, 시각형 시스템을 구성하였다. 제안되고 구성된 시스템으로 머리와 손의 움직임을 포착하여 사용자 접속 장치의 구현과 도립전자의 수직 균형 제어와 모터의 방향 제어에 적용하여 보았다.

운동 재현 및 제어 실험에서 보듯 최적의 인체 움직임과 감각을 쓰면 복잡한 기계의 작동이나 제어에 필요한 하드웨어와 알고리즘의 구현에 따르는 어려움을 피하고 본연의 재현 및 제어에 더욱 집중할 수 있게 할 것이다. 관성형 시스템을 이용한 사용자 접속 장치의 구현의 경우 사용 가능한 인체의 움직임이나 소리 등의 디지털 정보를 써서 기계의 작동에 쉽게 개입할 수 있는 도움 장치로서의 응용 가능성을 보여 준다 전자기형 시스템의 경우 허공에서 손을 움직여서 막대를 바로 세울 수 있었고 이 때의 움직임 데이터로 쉽고 효과적으로 손을

대체할 지능적인 제어체인 신경회로망(artificial hand)을 만들 수 있었다. 손의 움직임으로 학습한 신경회로망은 실제로 발생하는 적절한 양의 데이터만을 필요로 했다.

시각형 시스템의 경우 손에 점을 부착하여 손의 위치를 인식하도록 하였다. 인식된 손의 위치에 따른 단순 비례 제어 뿐 아니라 다양한 손의 움직임 패턴에 따른 모터의 운동 패턴 제어 및 다양한 메뉴에 의한 의사 결정의 재현이 가능하다.

인체의 움직임을 여러개의 점이나 색으로 포착하여 다자유도 로봇의 각 관절에 대응시키면 로봇의 유연한 동작의 생성과 제어가 가능하다. 그리고 이동 로봇의 순항 제어 및 조립에서의 복잡한 경로 생성 등과 같이 폭넓은 분야에서 복잡한 운동 제어를 쉽게 실현할 수 있을 것이다.

새로운 기계 접촉 패러다임의 제시와 구현에 대한 모색을 통해 절대적인 독립성을 높게 평가해왔던 서양적인 기계관을 극복한 상대적인 존재로서의 새로운 동양적인 기계관의 자리매김에 한 발짝 가까이 설 수 있을 것을 기대해본다.

참고문헌

- [1] 황인, 윤중선, "예술, 과학기술, 인간의 조화에 의한 메타테크놀로지," '98 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp. 205-207, 1998.
- [2] 황인, 윤중선, "신체성을 통한 메타테크놀로지 모색," '98 한국자동제어학술회의 논문집, 제2권, pp. 1926-1928, 1998.
- [3] 황인, 윤중선, "테크놀로지 아트와 감성공학에서의 신체접속의 문제," '99 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp. 271-273, 1999.
- [4] 윤중선, 박동환, 남창진, "지능 접촉을 위한 인체 운동 포착 및 재현계," '98 한국자동제어학술회의 논문집, 제2권, pp. 1929-1932, 1998.
- [5] *The Electronics Super Highway' Nam June Paik in the 90s*, Video, Carl Soloway Gallery, Cincinnati, Ohio, 1995.
- [6] 윤중선, 황인, "감성지능의 패러다임: 감성접속/재현계," '98 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 합동 학술 발표회 논문집, pp. 208-211, 1998.
- [7] M. Minsky, *The Society of Mind*, Simon & Schuster, New York, 1986.
- [8] J. Paradiso, "Electronic music : new ways to play," *IEEE Spectrum*, vol. 34, no. 12, pp. 18-30, 1997.
- [9] K. Fu, et al, *Robotics*, McGraw-Hill, New York, pp. 4-6, 1987.
- [10] 윤중선, "운동 제어를 위한 운동 포착 및 재현 시스템," 한국정밀공학회지, 제14권, 제7호, pp. 59-66, 1997.
- [11] J. Geary, "In the realm of the senses," *The New Age of Discovery, TIME Special Issue*, pp. 80-85, January 1998.
- [12] C. Roads, *The Computer Music Tutorial*, The MIT Press, Cambridge, 1996.
- [13] J. Larnier, "Jaron larnier's homepage," <http://www.well.com/user/jaron>, 1997.
- [14] B. Bongers, "An interview with sensorband," *Computer Music Journal*, vol. 22, no. 1, pp. 13-24, 1998.
- [15] R. Wechsler, "O body swayed to music (and Vice Versa) : roles for the computer in dance," *LEONARDO*, vol. 30, no. 5, pp. 385-389, 1997.
- [16] 윤중선, "알고리즘에 의한 음악의 작곡," '97 한국자동제어학술회의 논문집, 제2권, pp. 652-655, 1997.
- [17] C. Hand, "A survey of 3-D input devices," <http://www.cms.dmu.ac.uk/People/cph/VRbib/Tracking/trackp.html>, 1998.
- [18] A. Mulder, "Human movement tracking technology : resources," <http://www.cs.sfu.ca/~amuder/personal/vmi/HMTT.add.html>, 1998.
- [19] Credo, *LifeForms™ User's Guide*, Credo Multimedia Software Inc., 1996.
- [20] SENSE8, *WorldToolKit® for Windows User's Guide*, SENSE8 Corporation, 1994.
- [21] 정병호, 한국춤, 열화당, 1985.
- [22] C. Wilmer and C. Resende, "Illustrations and nomenclature stave for dance movements : what visual communication can do for dance," *LEONARDO*, vol. 31, no. 2, pp. 111-117, 1998.
- [23] Virtual i-glasses, http://www.mindflux.com.au/products/vio/iglass_pc.html, Mindflux, 1998.
- [24] Piezoelectric Vibrating Gyroscopes: Gyrostar® ENV, http://www.avnet.se/avnet_times/september96/murata.html, 1997.
- [25] Polhemus, *3SPACE® INSIDETRAK™ User's Manual*, Polhemus, Inc., 1993.
- [26] Matrox, *MIL-Lite 5.0 User Guide. Command Reference, and Board*, Matrox, 1997.
- [27] M. Groover, et al, *Industrial Robotics*, McGraw-Hill, Singapore, pp. 178-179, 1986.
- [28] 남창진, 윤중선, "사람의 움직임을 이용한 사용자 접촉 시스템," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 146-148, 1999.



윤 중 선

1958년 6월 29일생 1981년 서울대 기계설계학과 졸업. 동대학원 기계설계학과 석사(1983), 미국 Lehigh 대학 기계공학과 박사(1988) 현재 부산대학교 기계공학과 교수. 관심분야는 인터랙티브 테크놀로지, 지능·정보·제어.