

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 : ME96-D-05)에 의하여 연구되었음

## 운동 제어를 위한 운동 포착 및 재현 시스템

윤 중 선\*

### A Motion Capture and Mimic System for Motion Controls

Joongsun Yoon\*

#### ABSTRACT

A general procedure for a motion capture and mimic system has been delineated. Utilizing sensors operated in the magnetic fields, complicated and optimized movements are easily digitized to analyze and reproduce. The system consists of a motion capture module, a motion visualization module, a motion plan module, a motion mimic module, and a GUI module. Design concepts of the system are modular, open, and user friendly to ensure the overall system performance. Custom-built and/or off-the-shelf modules are easily integrated into the system. With modifications, this procedure can be applied for complicated motion controls. This procedure is implemented on tracking a head and balancing a pole. A neural controller based on this control scheme utilizing human motions can easily evolve from a small amount of learning data.

**Key Words:** Motion Capture(운동 포착), Motion Mimic(운동 재현), Human Motion based Control(인체 운동에 의한 제어), Head Tracking(머리 움직임 추종), Pole Balancing(도립 진자 제어)

#### 1. 서론

컴퓨터로 만들어낸 움직임에 살아있는 느낌을 주려면 많은 계산, 뛰어난 처리장치, 피로울 만큼 지루한 작업이 필요했다. 또한 생명체의 움직임을 자유도가 매우 많은 관절들의 움직임으로 보고, 성능이 뛰어난 컴퓨터로 각 관절들을 적절히 작동하려는 생각은 이미 잘못된 것으로 받아들여지고 있다. 생명체의 움직임은 자세한 작동 원리는 알 수 없지만 오랜 경험의 축적(evolution)에서 나온 최적의 것이라는 견해가 오히려 설득력 있게 받아들여지고 있다. 이러한 운동 원리를 로봇과 같은 기계의 운동에

적용하면 복잡한 움직임을 유연하고 쉽게 재현해 낼 수 있을 것 같다. 컴퓨터, 센서, 그래픽 기술의 빠른 발전은 놀랄 만큼의 생동감을 가진 인공생명체를 만들어내는데 기여하고 있다<sup>(1,2)</sup>.

80년대 말부터 컴퓨터 액션 게임 분야에서는 몸에 붙인 센서로 잡은 격투 동작을 쉽게 그래픽 애니메이션으로 생동감 있게 재현해내고 있다. 그것은 시각, 청각, 촉각 등의 감각을 더하여 실제와 같은 상황에 빠지게 하여 큰 시장을 형성하고 있다. 영화계에서도 동물이나 사람의 동작을 컴퓨터 그래픽으로 만든 물체에 합성하여 살아있는 물체를 보는 듯한 영상을 만들어내어 이제 영화는 찍지 않

\* 부산대학교 기계공학부 지능정보제어연구실

고 만든다는 말이 나오고 있다<sup>(3, 4, 5)</sup>.

컴퓨터 게임이나 영화와 같은 오락산업과는 별도로 사람의 복잡한 행동 양태를 응용하여 기계에 지능을 덧붙이려는 노력은 과학기술 분야에 오랫동안 있어 왔다. 원자력발전소의 처리 장치와 같이 위험하고 복잡한 일을 간단한 사람의 동작을 따라함으로써 쉽게 처리하려는 원격 로봇과 복잡한 일을 사람의 동작을 쫓아 하면서 신호의 증폭을 해 큰 힘을 내는 장치에 대한 연구인 extender 분야가 그러하다. 90년대 들어서는 Gulf 전에 활용된 것과 같은 가상 전쟁, 우주 작업의 모의 실험, 로봇을 쓴 원격 수술 분야에서 활발히 연구되고 있어 이것은 21세기의 대표적 기술로 떠오르고 있다<sup>(5, 6)</sup>.

또한 무용과 같은 예술 분야와 육상, 수영, 구기 등의 운동 분야에서는 최적의 움직임 분석, 설계, 재현하여 좋은 동작을 얻으려는 연구가 활발하다. 삶을 행복하고 풍요롭게 해주는 방편의 하나였던 과학 기술과 예술은 레오나르도 다빈치 시대 이후 나뉘어 삶에 대한 균형 감각을 잃게 하였다. 아이러니컬하게도 21세기를 앞둔 지금은 multi media로서의 컴퓨터, 센서, user interface와 같은 과학 기술의 발전으로 과학과 예술은 경계가 허물어지면서 자연스럽게 본연의 자세로 통합되고 있다. 예술과 과학을 접목해 Fluxus Group의 백남준은 전자 매체를 이용한 비디오 아트를 창시하였고, John Cage는 chance operation에 의한 전위 음악을 발전시켰으며 Musser Cunningham은 인간 움직임의 예술적 기록, 해석, 안무에 활용하는 무보(舞譜)의 연구를 시도하고 있다<sup>(7, 8)</sup>.

사람의 움직임은 진화에서 생긴 최적의 것이라는 믿음과 움직임에 감정이 스며들 여지가 있다는 상상력은 뜻밖의 새로운 결과(emotional intelligence)를 기대해 볼 수 있게 한다. 이 연구는 이러한 가능성을 살펴보기 위한 운동 포착 및 재현 시스템(motion capture and mimic system)의 개발 및 적용에 관한 것이다.

움직임 정보를 대상에 맞도록 다듬으면 복잡한 운동을 재현(mimic)하거나 제어(control)할 수 있을 것이다. 운동 포착 및 재현 시스템의 기본 구조를 제시하고 제안된 방법을 머리 움직임의 재현(head tracking)과 도립 진자의 수직 균형 제어(pole balancing)에 적용하는 과정을 설명한다.

## 2. 운동 포착 및 재현 시스템

사람의 팔, 관절, 어깨 등 움직임의 특징을 잡아서 기록

하고 보여주고 재현하기는 매우 어려우므로, 이를 쉽게 해주는 센서 및 처리 시스템이 필요하다<sup>(9)</sup>.

모듈화, 오픈화, 사용자편리성(modular, open, user friendly)의 구성 개념에 따라 운동 포착 및 재현 시스템은 센서로 운동을 잡는 부분(motion capture), 포착된 운동 정보를 다듬어 운동을 계획하는 부분(motion plan), 3차원 그래픽 기법으로 운동을 모의실험 하는 부분(motion visualization), 사용자가 시스템을 쉽게 쓸 수 있도록 해주는 부분(GUI)으로 이루어진다<sup>(10, 11)</sup>. 운동 포착 및 재현 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다.

각 모듈 및 시스템 통합(system integration)에 대한 연구내용 및 방법은 다음과 같다.

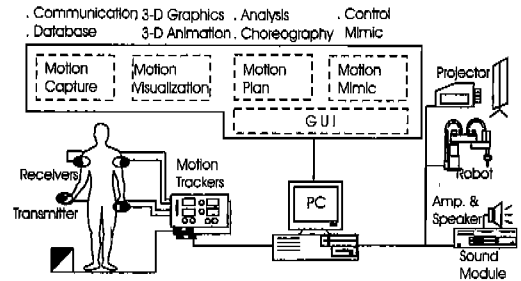


Fig. 1 Motion Capture and Mimic System

### 2.1 운동 포착

운동을 포착하는 부분은 센서를 써서 사람의 팔, 관절, 어깨 등의 움직임의 특징을 잡아서(digitize) 기록한다. 운동 포착기(motion tracker)<sup>(9)</sup>는 물체의 움직임을 3차원의 위치(X, Y, Z)와 3개의 각도(azimuth, elevation, roll)<sup>(6)</sup>로 이루어진 6자유도 좌표 신호를 기준좌표계 신호와 비교하여 실시간으로 낸다. 움직임은 전자기 코일로 이루어진 자기장(magnetic field) 감지 센서, CCD camera와 같은 시각(visual) 센서, potentiometer와 같은 기계적(mechanical) 센서 등으로 포착된다<sup>(9, 12)</sup>.

자기장 감지 센서의 경우 포착 시스템은 주 처리 보드(master board), 발신기(transmitter), 수신기(receiver)로 이루어져 있다. 상용의 주 처리 보드는 PC의 ISA slot통에 끼워서 운동을 접속한다. 발신기는 수신기가 내는 움직임 신호를 재기 위한 시스템의 기준좌표계로 작동한다. 수신기는 발신기가 만들어 내는 자기장을 감지하는 3각의 전자기 코일(a small triad of electromagnetic coils)로 이루어진 장치이다. 운동 포착기는

수신기가 받아들인 물체의 움직임을 6자유도 좌표로 발신기의 자기장으로 발생한 기준좌표계 신호와 비교하여 잰다. 자기장 감지 센서의 대안으로 시각적 센서와 기계적 센서를 비교 검토할 수 있을 것이다<sup>19, 12)</sup>.

운동 포착 소프트웨어는 운동 포착기에서 정리된 정보의 PC급의 주 처리기로 흐름을 원활하게 할 통신 프로그램으로 구성한다. 복잡한 움직임을 여러 개의 센서로 잡을 때, 움직임 정보는 운동 포착기의 병렬처리부를 거쳐 하나의 센서에 의한 포착의 경우와 같이 처리한다.

## 2.2 운동 가시화

운동을 보여주는 부분은 3차원 그래픽과 애니메이션 기법으로 운동을 보여주고 시물레이션을 수행한다. 포착된 물체의 운동은 3차원의 그래픽 기법을 써서 가상 물체(virtual object)의 움직임(animation)으로 보여줄 수 있다. 3차원 애니메이션 기법은 포착된 움직임을 실제로 재현하기 전에 일어날지도 모르는 잘못된 동작이나 불가능한 동작을 미리 살펴볼 시물레이션의 도구로 쓰인다.

포착된 움직임을 통해 실제 대상으로 재현되기 전에 발생될지도 모르는 잘못된 동작이나 불가능한 동작을 미리 살펴볼 수 있다. 잘못된 형상(configuration)에 의한 동작이나 물리적인 구속조건(physical constraints)을 만족시키지 않는 불가능한 동작들은 미리 걸러져서 실질적으로 가능한 동작의 재현이 될 수 있도록 한다.

기존의 많은 포인트 데이터에 의한 wire frame 모델링 대신 센서로 직접 받은 정보에 의한 object 모델링 기법을 쓰면 부드럽고 자연스러운 3차원 애니메이션을 쉽게 얻을 수 있다. 재현기의 주변환경의 그래픽과 애니메이션을 위해서는 WorldToolkit과 같은 가상현실 개발 도구로 개발의 효율성을 높이고 현실감 있는 다양한 상황을 쉽게 점검한다<sup>13)</sup>. 유연한 인체 동작의 생성을 위해서는 LifeForms와 같은 인체 동작 분석 및 안무 프로그램의 도움을 받아 움직임을 자동 생성하여 필요한 정보로 제공한다<sup>6)</sup>.

## 2.3 운동 계획

운동을 계획하는 부분은 포착된 운동 정보의 자료화, 패턴 분류, 분석 및 자동 생성 등을 수행한다. 포착된 사람의 움직임을 로봇과 같은 물체의 움직임으로 바꾸려면 사람과 물체 사이의 움직임 관계(mapping)를 잘 따져야 한다.

움직임의 패턴은 포인트 데이터에 의한 방법 대신 센서

로 받은 정보의 객체지향(object-oriented) 모델링 기법으로 얻는다. 지능 기법을 쓰면 움직임의 포인트 데이터 별 재현보다 패턴별 재현에 필요한 최적의 매핑을 만들어 낼 수 있을 것이다. 포착된 여러 개의 비슷한 움직임을 분류하여 표준화하고 허용 패턴을 정한다. 표준화된 허용 패턴의 분류(pattern classification) 및 인식(pattern recognition)을 위해서는 지능 기법을 써서 분류 처리할 수 있을 것이다<sup>14)</sup>.

운동 포착기로 접속된 디지털 정보는 패턴분류기(pattern classifier)에서 직접신호(direct signal) 패턴으로 바꾼다. 직접신호는 움직임 정보의 입력 패턴과 재현 패턴 사이의 미리 정의된 매핑의 입력으로 사용한다. 직접신호는 미리 입력되어 있는 허용 패턴과 비교되어 재현계의 움직임으로 나타내도록 한다. 직접신호는 운동 생성기(choreography)의 기존 알고리즘에 영향을 준다.

센서로 포착된 움직임 정보는 주 처리기 안에서 0과 1이라는 디지털로 저장되고 처리된다. 디지털 매체에 맞는 오토마타, 확률론, 문법, 패턴일치 및 탐색, 신경망, 퍼지 추론, 유전자 알고리즘, 프랙탈, 혼돈, 인공생명과 같은 기법들이 지능 매핑의 예가 될 것이고 이들을 구성하는 규칙들이 새로운 움직임의 재현계의 체계를 밝히는 대안으로 연구될 것이다. 이러한 움직임의 디지털 정보를 움직임, 소리, 그림으로 매핑하면 유연하고 능숙한 사람의 움직임을 다양한 분야에 응용하여 뛰어난 성능을 기대할 수 있을 것이다<sup>10)</sup>.

움직임의 database는 LifeForms와 같은 인체 동작 분석 및 계획 프로그램의 도움으로 만든 움직임을 자료화하여 저장하고 운동을 자동 생성할 때 필요한 정보로 제공된다. 자료화된 운동 정보는 직접적이거나 간접적인 매핑을 통해 움직임의 패턴분류, 움직임의 최적화(optimized motion), 안무(choreography)등 운동의 분석 및 재현에 쓰인다.

## 2.4 Graphic User Interface

GUI부는 시스템을 쉽게 쓸 수 있는 환경을 만들어준다. 주 처리기에서 운동계를 제어하려면 운동 포착, 운동 계획, 운동 재현 부분들이 자료를 공유하며 쓰기 쉽게 통합되어야 한다. 각 모듈은 객체지향(object-oriented) 개념을 써서 만들어지고 통합된다<sup>15)</sup>. 운동 제어계의 각각의 특징은 GUI의 화면 및 메뉴로 추릴 수 있고 모든 명령은 쉽게 쓸 수 있게 icon과 같은 그림 위주로 이루어진다.

### 3. 운동 재현 및 제어

센서로 포착된 움직임은 그대로 재현되거나 일련의 다른 움직임으로 바뀌어(mapping) 재현된다. 포착된 사람의 움직임 정보를 대상에 맞도록 다듬으면 제한된 운동 포착 및 재현 시스템은 어려운 운동을 재현하거나 제어할 수 있을 것이다. 그 예로 사람 머리의 움직임을 대상의 움직임 패턴으로 재현하는 운동 재현계는, 편리하고 지능적인 사용자 접속기(user interface)로 활용할 수 있을 것이다. 사람은 재빠르게 손을 움직여 비교적 쉽게 막대를 넘어지지 않도록 한다. 이러한 사람 손의 능숙한 움직임을 쓰면 도립 진자의 수직 균형 제어(pole balancing)와 같은 어려운 제어를 쉽게 할 수 있을 것이다. 즉 움직임이라는 관점에서의 인공 머리와 인공 손등을 쉽게 만들어 낼 수 있지 않을까 한다. 사람의 움직임을 포착하여 다른 대상의 운동을 제어하는 시스템은 Fig. 2와 같다<sup>(11)</sup>.

운동 포착 및 재현 시스템의 운동 포착부는 Polhemus의 PC board-level의 운동 포착기 INSIDETRAK과 제공되는 C 언어로 된 감시(monitoring) 프로그램을 다듬어서 만들었다<sup>(9)</sup>. 운동 가시화 module은 C/C++ 언어로 된 3차원 그래픽 프로그램을 다듬어 가상의 머리(cyber cube)와 도립 진자(pole)를 만들었다<sup>(15)</sup>. 운동 계획부와 운동 재현부에서는 포착된 움직임을 cyber cube와 도립 진자의 움직임으로 매핑하였다.

재현부는 운동 재현 대상에 맞게 바뀌어진 움직임 정보와 주 처리기(main platform)와 운동 재현계 사이의 접속(interface)부와 통신 프로그램과 재현된 움직임을 감시하는 감시 프로그램으로 이루어진다. 운동 계획부에서

쓴 지능 알고리즘들을 재현 매핑의 구현에도 쓸 수 있다.

#### 3.1 가상 거울

사람의 움직임에 따른 운동 재현 시스템으로 가상 거울을 만들었다. 컴퓨터 그래픽으로 만든 cyber cube가 거울에 비치는 사람의 움직임을 따라 움직이도록 한다. 머리의 움직임은 몸에 구속되어 각도만으로 나타낼 수 있으므로 가상 거울의 대상으로 운동 포착 센서를 붙인 사람의 머리를 썼다.

센서를 머리 윗 부분에 붙여서 머리의 움직임을 포착하고 이 움직임을 cyber cube의 움직임으로 재현한다. 머리로 허공이나 컴퓨터 화면에 비치는 메뉴를 작동시키면, 이 재현계를 편리한 user interface로 활용할 수 있을 것이다. 감지 후의 모든 정보 처리는 디지털로 이루어지므로 메뉴의 선택은 눈의 깜빡거림이나 손의 움직임 그리고 소리등 감지할 수만 있다면 어떤 방법도 무방할 것이다. 머리 움직임 재현 시스템과 포착된 움직임이 재현되는 일련의 궤적은 Fig. 3과 같다.

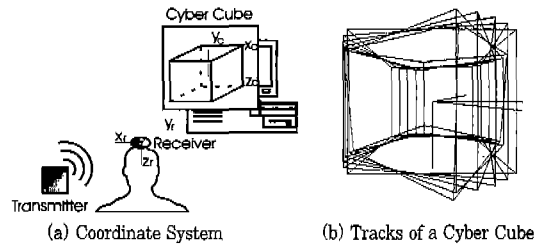


Fig. 3 Cyber Cube mimicking Human Head Motions

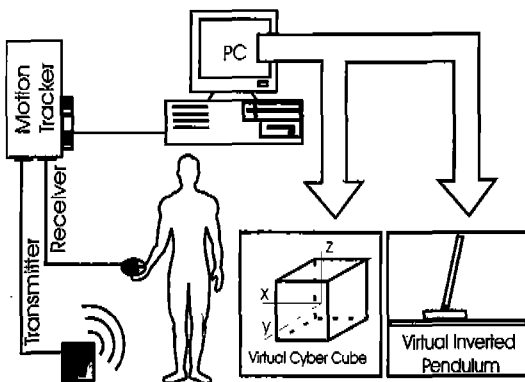


Fig. 2 Motion Capture and Control System

#### 3.2 도립 진자 제어

거꾸로 세운 막대(inverted pendulum)가 넘어지지 않도록 제어하려면 보통 복잡한 제어가 필요하고 많은 계산을 빠르게 하여야 한다<sup>(16)</sup>. 사람은 손바닥 위의 막대가 넘어지지 않도록 막대의 기울어짐을 손과 눈의 감각으로 쉽게 제어한다. 복잡한 계산을 하지 않고도 손의 움직임을 센서로 포착하면 쉽게 막대를 넘어지지 않도록 할 수 있을 것이다. 도립 진자 제어 시스템은 Fig. 4와 같다.

도립 진자의 운동 방정식은 식 (1)과 같다. 여기서  $M$ 과  $m$ 은 수레(cart)와 막대의 무게,  $g$ 는 중력가속도,  $F$ 는 수레에 미치는 힘,  $L$ 은 수레와 막대의 접속에서 막대의 중심까지의 거리이고 수레의 움직임과 막대의 기울어짐

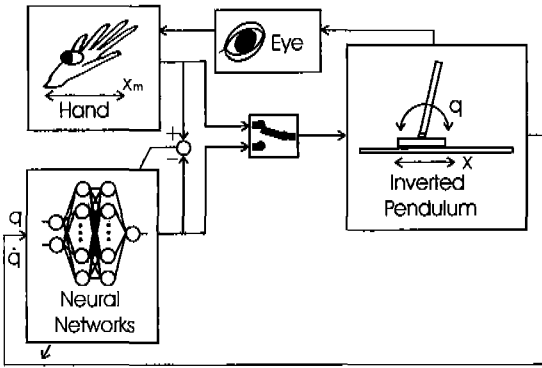


Fig. 4 Pole Balancing utilizing Human Hand Motions

은  $x$ 와  $\theta$ 이다.<sup>(16)</sup>

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)g \sin \theta - \cos \theta (F + ML\dot{\theta}^2 \sin \theta)}{(4/3)(M+m)L - ML \cos^2 \theta} \quad (1a)$$

$$\ddot{x} = \frac{F + ML(\dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \cos \theta)}{(M+m)} \quad (1b)$$

운동 방정식 (1)은 식 (2)로 줄여지고 수레의 위치 가속도가 제어 입력이 된다. 수레는 손 움직임의 빠르기 와 막대의 입력 크기를 고려하여 식 (3)과 같이 제어하였다.  $x_m$ 은 손의 이동 거리이고 손의 움직임을 수레의 움직임으로 바꾸어 막대를 제어한다.  $K_a$ 는 손의 가속도를 수레의 가속도로 비례적으로 바꾸어 주는 시행착오적으로 찾은 비례 값이다.

$$\ddot{\theta} = \frac{(G \sin \theta - \ddot{x} \cos \theta)}{(4/3)L} \quad (2)$$

$$\ddot{x} = K_a \ddot{x}_m \quad (3)$$

포착된 손의 움직임 정보를 다듬어 가상의 도립 진자를 제어할 때 사용된 제어 변수는 Table 1, Table 2와 같다. Fig. 5는 5번의 시도 중 첫 번째와 네 번째 그리고 다섯 번째의 제어 결과를 보여준다. 손의 움직임을 흉내내어 가상의 도립 진자를 세우는 반복된 실험의 결과는 의도하지는 않았지만 점차 손이 시스템에 익숙해지는 즉 성능이 좋아지는 학습의 경향을 보여준다. 5번의 시도 끝에 도립 진자를 약 30초 정도 바로 세울 수 있었다. Fig. 5에서 보여주는 5번째 시도의 처음 15초 즉 300 샘플이

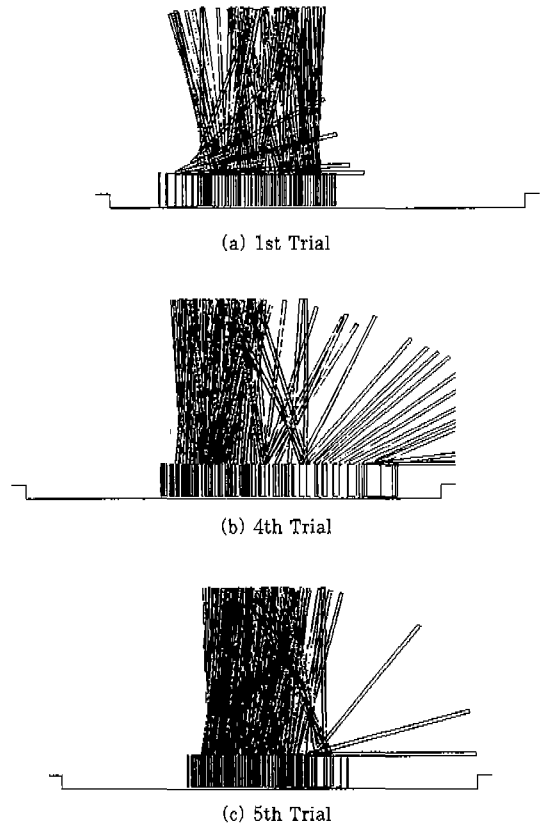


Fig. 5 Pole Balancing by a Human Hand

Table 1 Parameter Values for Pole Balancing by a Human Hand

	Parameter Name	Symbol	Value
Inverted Pendulum	Mass of Cart	M	10 Kg
	Mass of Pole	m	1 Kg
	Weight of Gravity	g	9.8 m/s <sup>2</sup>
	Half Length of Pole	L	20 m
	Cart Position	x	-1.2 ≤ x ≤ 1.2 m
	Pole Angle	θ	-π/2 ≤ θ ≤ π/2 rad
Simulation	Sampling Time	ΔT	0.05 sec
	Acceleration Gain	K <sub>a</sub>	25

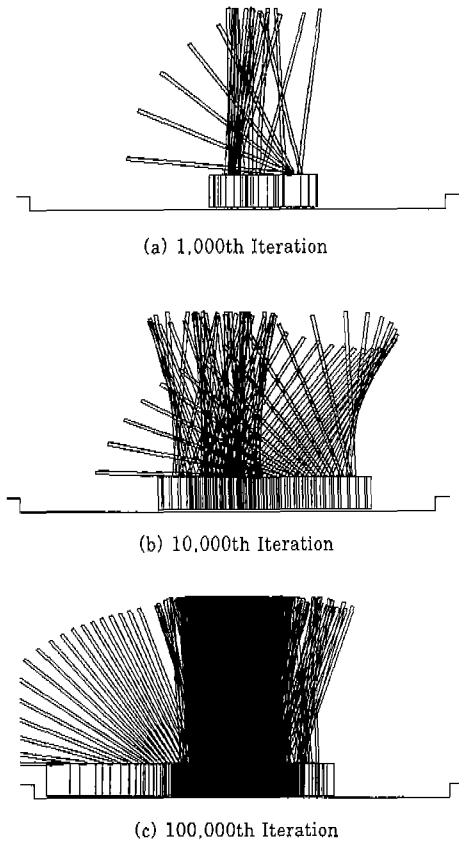


Fig. 6 Pole Balancing by an Artificial Hand

손을 대체하여 흉내내도록 학습되었다. Fig. 6은 1,000번, 10,000번, 100,000번 학습한 신경회로망 제어기를 썼을 때의 제어 결과를 보여준다. 100,000번의 학습 후에 신경회로망 제어기(artificial hand)는 도립 진자를 1분여 동안 바로 세울 수 있었다.

사람의 움직임을 쓴 제어 방법에 의한 신경회로망 제어기(neuro controller)는 적은 양의 학습 데이터로부터 쉽고 효과적으로 만들어질 수(evolve) 있을 것이다. 널리 쓰이는 역전파 다중 퍼셉트론(multilayer perceptron with backpropagation learning)은 정적인 패턴 분류(static pattern classification) 문제를 푸는데 효과적이다<sup>(14)</sup>. 이러한 신경회로망 제어기로 도립 진자 제어와 같은 동적 문제의 제어를 풀 제어기의 역전파 학습에는 엄청난 양의 학습 데이터가 필요하다. 그러나 손의 움직임으로 학습한 신경회로망 제어기는 실제로 발생하는 적절한 양의 데이터만 필요로 한다. 피드백 형의 동적 신경회로망이나 강화학습(reinforcement learning)으로 만든 인공 손을 쓰면 더욱 효과적인 제어를 피할 수 있을 것이다<sup>(14, 16)</sup>.

도립 진자의 수직에서 벗어난 각도와 수레의 위치는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. 사람 손과 신경회로망 손에 의한 도립 진자 세우기 애니메이션을 보면 제어 입력은 도립 진자를 순간적으로 넘어지게 한 후 회복시키는 경향을 보여준다. 이러한 제어 양상(recovery mode)은 더 큰 회복 가속도를 발생시켜 빠른 회복을 보장해준다. Fig. 9는 사람 손과 신경회로망 손에 대한 제어 입력의 떨림(fluctuation)을 보여준다.

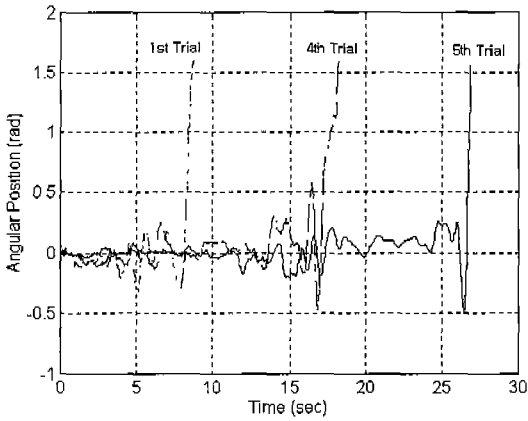
Table 2 Parameter Values for Pole Balancing by an Artificial Hand

	Parameter Name	Symbol	Value
Neural Controller	Input Nodes		2
	1st Hidden Nodes		10
	2nd Hidden Nodes		10
	Output Nodes		1
	Learning Rate	$\eta$	0.0001
	Momentum	$\alpha$	0.1
Simulation Condition	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	$q^1$	0 rad
		$x^1$	-1.2~1.2 m
Learning Data	0~15 sec Hand Motions of 5th Trial		

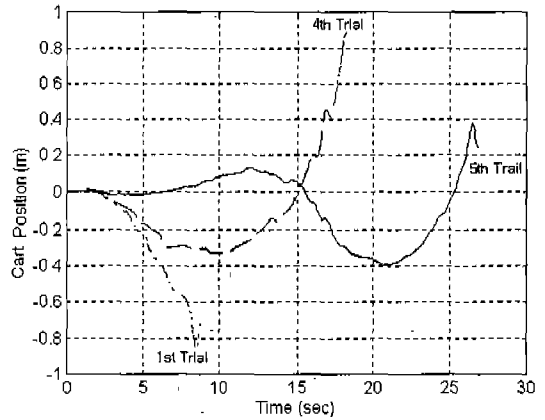
#### 4. 결론

이 연구는 포착된 사람의 움직임을 복잡한 운동의 제어에 쉽게 쓰도록 하는 시스템의 개발 및 적용에 관한 것이다. 운동 포착 및 재현 시스템의 기본 구조가 제시되었다. 시스템은 모듈화, 오픈화, 사용자편리성의 구성 개념으로 운동 포착, 운동 계획, 운동 가시화, GUI 모듈들로 이루어진다. 포착된 사람의 움직임 정보를 대상에 맞도록 다듬으면 제안된 시스템은 복잡한 운동을 재현하거나 제어할 수 있다. 운동 포착기로 잡은 사람의 움직임은 다듬어져서 PC의 3차원 그래픽 도구로 만든 cyber cube와 inverted pendulum의 특정 움직임에 사용되었다.

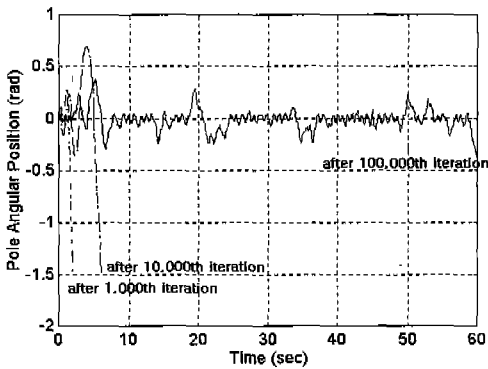
자기장에서 작동되는 운동 감지 센서로 잡은 머리의 움직임은 PC 애니메이션으로 만들어진 거울을 통하여



(a) Human Hand

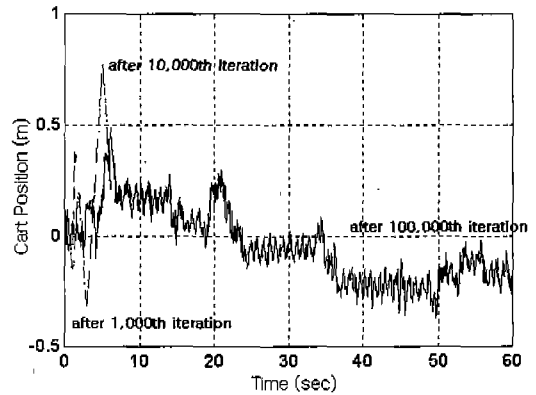


(a) Human Hand



(b) Artificial Hand

Fig. 7 Evolution of Pole Angles



(b) Artificial Hand

Fig. 8 Evolution of Cart Positions

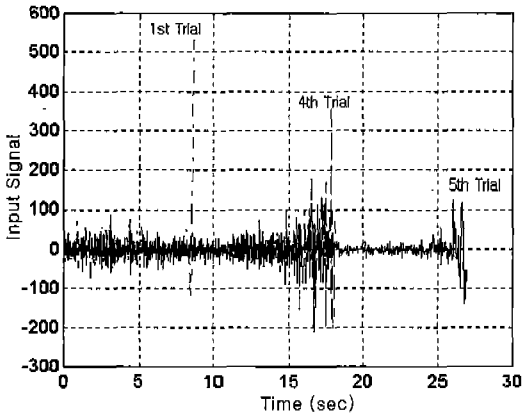
cyber cube의 대칭적인 움직임으로 재현하였다. cyber cube의 운동 재현 실험은 마리나 몸의 일부를 허공에서 움직여서 3차원 공간 안의 물체를 선택할 수 있는 지능적 user interface의 가능성을 보여준다. 센서로 포착된 동작은 그대로 재현되거나 일련의 다른 움직임으로 매핑 되어 재현된다. 6자유도 센서 하나의 움직임을 cyber cube의 위치 및 속도의 방향성 또는 구간 가속과 같은 다양한 패턴의 움직임등 새로운 제어 형태로도 쓰일 수 있다.

포착된 손의 가속적 움직임을 수레의 가속적 움직임으로 바꾸어 거꾸러 세운 막대가 넘어지지 않도록 제어한다. inverted pendulum의 운동 제어 실험은 최적의 사람 움직임을 쓰면 복잡한 계산을 하지 않고도 물체의 운동을 제어할 가능성을 보여준다. 거꾸로 세운 막대가 넘어지지 않도록 막대의 기울어짐을 손과 눈의 감각으로 쉽게 제어한다. 이러한 사람의 움직임과 감각을 쓰면 하드

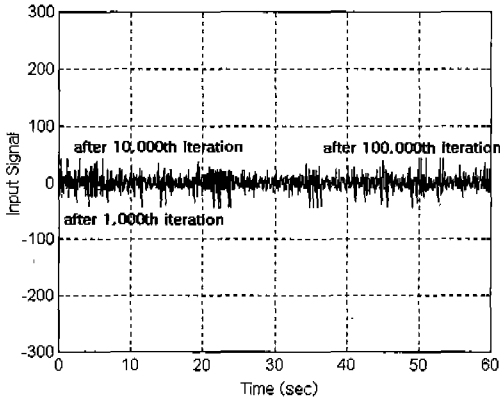
웨어와 알고리즘의 구현에 따르는 어려움을 피할 수 있어 본연의 제어에 더욱 집중할 수 있게 할 것이다.

포착된 손의 움직임을 흉내내어 가상의 도립 진자를 세우는 반복된 실험의 결과는 의도하지는 않았지만 점차 손이 시스템에 익숙해지는 즉 성능이 좋아지는 학습의 경향을 보여준다. 5번의 시도 끝에 도립 진자를 약 30초 정도 바로 세울 수 있었다. 사람 손에 의한 도립 진자의 수직 균형 제어의 5번째 시도의 처음 15초 즉 300 샘플이 손을 흉내내도록 학습되었다. 100,000번의 학습 후에 신경 회로망 제어기(artificial hand)는 도립 진자를 1분여 동안 바로 세울 수 있었다.

사람의 움직임을 쓴 제어 방법에 의한 신경회로망 제어기는 적은 양의 학습 데이터로부터 쉽고 효과적으로 만들어질 수 있을 것이다. 널리 쓰이는 역전파 다중 퍼셉트론은 정적인 패턴 분류 문제를 푸는데 효과적이다. 이러한



(a) Human Hand



(b) Artificial Hand

Fig. 9 Evolution of Input Signals

신경회로망 제어기로 도립 진자 제어와 같은 동적 문제의 제어를 풀 제어기의 역전파 학습에는 엄청난 양의 학습 데이터가 필요하다. 그러나 손의 움직임으로 학습한 신경 회로망 제어기는 실제로 발생하는 적절한 양의 데이터만 필요로 한다. 피드백 형의 동적 신경회로망이나 강화학습 (reinforcement learning)으로 만든 인공 손을 쓰면 더욱 효과적인 제어를 꾀할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Levy, S., Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology.

Random House, New York, 1993.

2. Foley, J., et. al., Introduction to Computer Graphics, Addison-Wesley, Reading, 1995.

3. "신년연속기획 4: 21C 신산업, 하이테크 놀이 문화", KBS, 1996년 1월 11일.

4. "가상현실, 지금 미래를 간다", KBS, 1996년 4월 14일.

5. "신년연속기획 10: 영화 찍지 않고 만든다", KBS, 1996년 3월 1일.

6. Groover, M., et. al., Industrial Robotics, McGraw-Hill, New York, 1986.

7. 박성희, "머스커닝햄: 컴퓨터안무의 새지평", 조선일보, 1993년 7월 12일.

8. LifeForms™ User's Guide, Credo Multimedia Software Inc., 1996.

9. 3SPACE® INSIDETRAK™ User's Manual, Polhemus, Inc., 1993.

10. 윤중선, 최원수, "운동포착 및 재현 시스템", '96 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1344-1347, 1996년 10월 24일.

11. 최원수, 손호영, 윤중선, "인체의 움직임을 이용한 복잡한 운동의 제어", '96한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 243-247, 1996년 11월 23일.

12. Nikkei, ANIMATTON, <http://www.ddd.co.jp/animat/animat.html>, March 1997.

13. WorldToolKit® for Windows User's Guide, SENSE8 Corporation, 1994.

14. Jang, J.-S., et. al., Neuro-Fuzzy and Soft Computing. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 1997.

15. 고재용, 박성파, 박찬익, C/C++ 사용자를 위한 그래픽 프로그래밍, 객체지향으로 한다, 크라운 출판사, 1995.

16. Anderson, C., "Learning to Control an Inverted Pendulum using Neural Networks", IEEE Control System Magazine, Vol. 9, pp. 31-37, April 1989.