

사람의 움직임을 쓴 운동 제어 A Motion Control utilizing Human Motions

최원수(부산대 대학원), 손호영(부산대 정밀기계공학), 윤중선(부산대 공대)

Wonsu Choi(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),

Hoyoung Son(Precision & Mech. Eng., Pusan Nat'l Univ.), Joongsun Yoon(Pusan Nat'l Univ.)

ABSTRACT

A general procedure for 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. This procedure is being implemented on a virtual cyber cube, and an inverted pendulum. With modifications, this procedure can be applied for complicated motion controls.

Key Words : human motions(인체 운동), motion capture(운동 포착), motion control(운동 제어)
cyber cube(가상 로봇), inverted pendulum(도립 진자)

1. 서 론

컴퓨터로 만들어낸 물체의 매우 어색한 움직임에 살아있는 느낌을 주려면 많은 계산, 뛰어난 처리장치, 피로울만큼 지리한 작업이 필요했다[1]. 컴퓨터, 센서, 그래픽스 기술의 놀랄만한 발전은 살아있는 듯한 인공 생명체를 만들어내고 있다.

30년대 말부터 컴퓨터 액션 게임 분야에서는 몸에 붙인 센서로 잡은 격투 동작을 쉽게 그래픽 애니메이션으로 생동감있게 재현해내고 있다[2]. 시각, 청각 촉각등의 감각을 더하여 실제와 같은 상황에 빠지게 하여 큰 시장을 형성하고 있다[3]. 영화계에서도 동물이나 사람의 동작을 컴퓨터 그래픽으로 만든 물체에 합성하여 살아있는 물체를 보는 듯한 영상을 만들어 내어 이제 영화는 찍지 않고 만든다는 말이 나오고 있다[4].

컴퓨터 게임이나 영화와 같은 오락산업(entertainment business)과는 별도로 사람의 복잡한 행동 양태(behavior)를 응용하여 지능을 덧붙이려는 노력은 과학기술(science and technology) 분야에 오랫동안 있어 왔다. 원자력발전소의 처리 장치와 같이 위험하고 복잡한 일을 간단한 사람의 동작을 따라함으로써 쉽게 처리하려는 telerobotics[5, 6]와

복잡한 일을 사람의 동작을 쫓아 하면서 신호의 증폭을 통해 큰 힘을 내는 장치에 대한 연구인 extender[7] 분야가 그러하다. 90년대 들어서는 Gulf 전에 활용된 것과 같은 가상 전쟁(virtual war), 우주 작업의 모의 실험(simulator), 93년 6월 이후 로봇을 쓴 원격 수술(virtual surgery)분야에서 활발히 연구되고 있어 21 세기의 대표적 기술로 떠오르고 있다[3].

이 연구는 포착된 사람의 움직임을 복잡한 운동의 제어에 쉽게 쓰도록 하는 시스템의 개발에 관한 것이다. 생명체의 움직임을 자유도가 매우 많은 관절들의 움직임으로 보고 성능이 뛰어난 컴퓨터로 작동하려는 견해는 이미 잘못된 것으로 받아들여지고 있다[8]. 오히려 생명체의 움직임은 자세한 작동 원리는 알 수 없지만 오랜 경험의 축적(evolution)이라는 자연의 섭리에서 나온 최적화된 움직임을 보여준다는 것이다[3, 8]. 이러한 원리를 로봇과 같은 기계에 적용하면 복잡한 움직임을 유연하고 쉽게 재현해 낼 수 있을 것이다.

사람의 팔, 관절, 어깨 등 사람의 움직임 특징을 잡아서 기록하고 보여주는 매우 어려우므로 인체의 움직임을 쉽게 잡아내는 센서 및 처리 시스템이 필요하다. 포인트 데이터에 따른 wire frame 쓰기

보다는 센서로 잡은 움직임을 쓰면 부드럽고 자연스러운 일련의 움직임(animation)을 얻는다. 사람의 능숙하고 복잡한 움직임을 로봇이 재현하려면 포인트 데이터보다는 자세의 패턴 별 재현이 쉬울 것이다.

사람의 움직임을 포착하고 재현하는 시스템(motion capture and mimic system)은 센서를 쓴 운동포착(motion capture)부, 포착된 운동 정보의 자료화, 분석 및 자동 생성 등의 운동계획(motion plan)부, 3차원 그래픽스와 애니메이션에 의한 시물레이션 등의 운동 가시화(motion visualization)부, GUI부로 이루어진다[9]. 시스템의 구성 개념은 modular system, open system, user friendly system으로 각 모듈은 따로 개발, 차용, 통합(system integration)되며 시스템이 커짐에 따라 쉽게 커질 수 있도록 한다.

이 시스템은 사람의 움직임을 3차원 위치와 각도 정보로 포착하여 컴퓨터 그래픽으로 만들어진 가상 물체(virtual object)의 움직임으로 재현한다. 사람의 6자유도 움직임을 재현하는데 간단한 로봇의 하나로 육면체(cyber cube)를 썼다. 도립 진자(inverted pendulum)를 수직으로 세워 넘어지지 않도록 하는 것은 매우 어려운 일이다. 사람은 재빠르게 손을 움직여 비교적 쉽게 막대를 넘어지지 않도록 한다. 개발 중인 운동 포착 및 재현계는 도립 진자의 수직 균형 제어와 같은 어려운 제어를 쉽게 하도록 할 것이다. 사람의 움직임을 응용한 여러 실험들을 설명한다.

2. 운동 포착 및 제어 시스템

사람의 팔, 관절, 어깨 등의 움직임 특징을 잡아서 기록하고 보여주는 것은 매우 어려우므로, 이를 쉽게 해주는 센서 및 처리 시스템이 필요하다[9, 10]. 운동포착기는 PC의 AT-bus에 꼽아 쓸 수 있는 Polhemus의 INSIDETRAK을 쓴다[10, 11]. 운동의 포착은 이 장치의 transmitter가 만드는 자기장(magnetic fields) 형태의 기준 좌표계 신호를 운동 물체에 부착된 receiver가 감지하고 비교하여 이루어진다. 운동 포착기는 부착된 물체의 움직임을 3차원의 위치(X, Y, Z)와 각도(azimuth, elevation, roll) 정보로 받아들인다. 사람의 움직임을 포착하여 다른 대상의 운동을 제어하는 시스템은 Fig. 1과 같다.

포착된 사람의 움직임을 물체 사이의 움직임 관계(mapping)에 따라 가상 로봇(cyber cube)의 움직임으로 재현하거나 매우 불안정한 도립 진자(inverted pendulum)의 위치 제어에 응용한다.

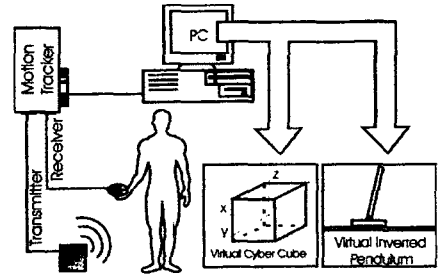


Fig. 1 Motion Capture and Control System

2.1 가상 거울(Cyber Mirror)

사람의 움직임을 쓴 운동 제어 시스템으로 가상 거울을 만들었다. 컴퓨터 그래픽으로 만든 cyber cube가 거울에 비치는 사람의 움직임을 따라 움직이도록 한다. 머리의 움직임은 몸(body)에 구속되어 각도만으로 나타낼 수 있으므로 가상 거울의 대상으로 운동 포착 센서를 붙인 사람의 머리를 썼다.

사람 머리의 움직임과 cyber cube의 움직임 사이의 관계는 다음의 각도 변환 행렬로 나타낼 수 있다 [12, 13]. 가상 거울의 좌표관계는 Fig. 2와 식(2.1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_c \\ \beta_c \\ \gamma_c \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} a_r \\ \beta_r \\ \gamma_r \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

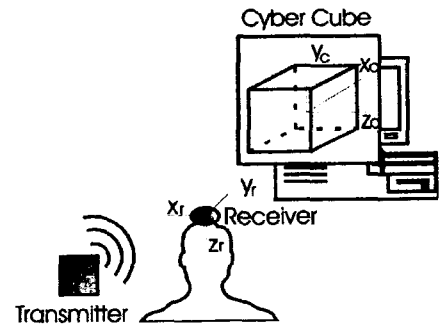


Fig.2 Cyber Mirror Coordinate System

여기서 α , β , γ 는 각각 방위각(azimuth), 양각(elevation), 횡전(橫轉, roll)각도를 나타내며 첨자 r과 c는 각각 receiver와 cyber cube를 나타낸다.

2.2 도립 진자 제어(Inverted Pendulum Control)

거꾸러 세운 막대(inverted pendulum)가 넘어지지 않도록 제어하려면 보통 복잡한 제어가 필요하고 많은 계산을 빠르게 하여야 한다[14]. 사람은 손바닥 뒤의 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. 3과 같다.

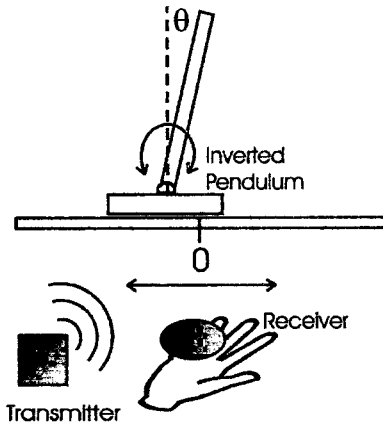


Fig. 3 Inverted Pendulum Control

도립 진자의 운동 방정식은 식 (2.2)와 같다[14]. 여기서 M 과 m 은 수레(cart)와 막대의 무게, G 는 중력가속도, F 는 수레에 미치는 힘, L 은 수레와 막대의 접촉에서 막대의 중심까지의 거리이고 수레의 움직임과 막대의 기울어짐은 x 와 θ 이다.

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)G \sin \theta - \cos \theta (F + ML \dot{\theta}^2 \sin \theta)}{(4/3)(M+m)L - ML \cos^2 \theta} \quad (2.2a)$$

$$\ddot{x} = \frac{F + ML(\dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \cos \theta)}{(M+m)} \quad (2.2b)$$

손의 움직임을 수레의 움직임으로 바꾸어 막대를 제어한다. 운동 방정식 (2.2)는 식 (2.3)으로 줄여지고 수레의 위치 가속도가 제어 입력이 된다. 수레는 손 움직임의 빠르기와 막대의 입력 크기를 고려하여 식 (2.4)와 같이 제어하였다. x_m 은 손의 이동 거리이다.

$$\ddot{\theta} = \frac{(G \sin \theta - \ddot{x} \cos \theta)}{(4/3)L} \quad (2.3)$$

$$\ddot{x} = K_a \ddot{x}_m \quad (2.4)$$

3. 검증

운동 포착 및 제어 시스템으로 포착된 사람의 움직임 정보를 로봇과 같은 대상에 맞도록 다듬어 운동을 재현하거나 제어한다. 센서로 포착된 머리의 움직임을 PC 애니메이션으로 만들어진 cyber cube의 움직임으로 그대로 재현하도록 한다. 그리고 포착된 손의 움직임을 도립 진자의 움직임으로 바꾸어(mapping) 수직 제어를 이루도록 한다.

운동 포착 및 재현 시스템의 운동 포착부(motion capture module)는 Polhemus의 PC board-level의 motion tracker INSIDETRAK[11]와 제공되는 C 언어로 된 감시(monitoring) 프로그램을 다듬어서 만든다. 운동 가시화부(motion visualization module)는 C/C++ 언어로 된 3차원 그래픽 프로그램[16]을 다듬어 cyber cube와 도립 진자를 만든다[15, 16]. 운동 계획부(motion plan module)과 운동 재현(motion mimic module)에서는 포착된 움직임을 cyber cube와 도립 진자의 움직임으로 바꾼다(mapping).

3.1 가상 거울(Cyber Mirror)

센서를 머리 윗 부분에 달아서 고개를 돌리는 움직임을 포착하고 가상 거울을 통한 cyber cube의 움직임으로 재현하도록 한다. PC로 만든 cyber cube와 포착된 움직임이 재현되는 일련의 궤적은 Fig. 4와 같다.

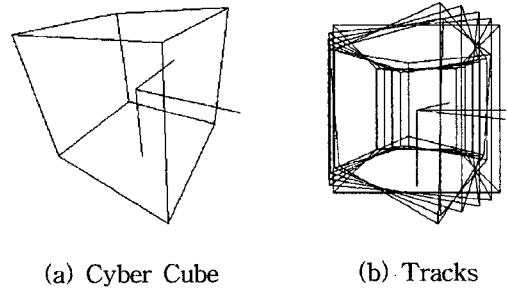


Fig. 4 Cyber Mirror

3.2 도립 진자 제어(Inverted Pendulum Control)

포착된 손의 움직임 정보를 다듬어(mapping) 가상의 도립 진자를 제어한 결과는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같다. 제어 변수는 Table 2와 같다. 5번의 시도 중 첫 번째와 네 번째 그리고 다섯 번째의 제어 결과를 보여준다.

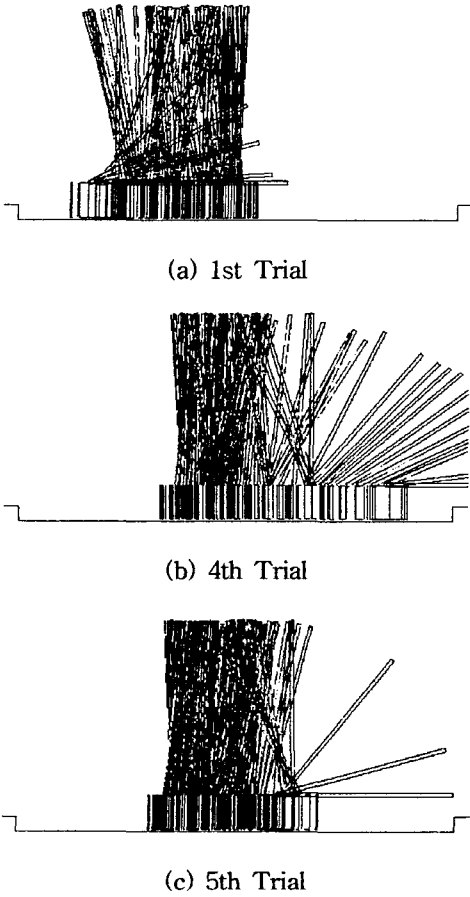


Fig. 5 Tracks of an Inverted Pendulum

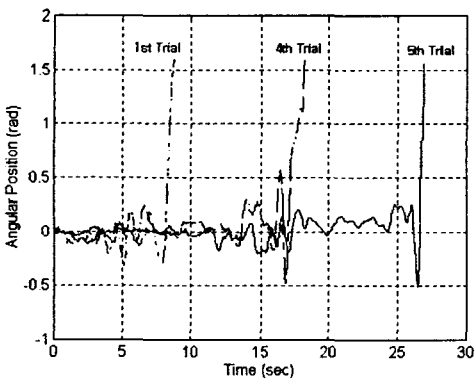


Fig. 6 Evolution of Pole Angles

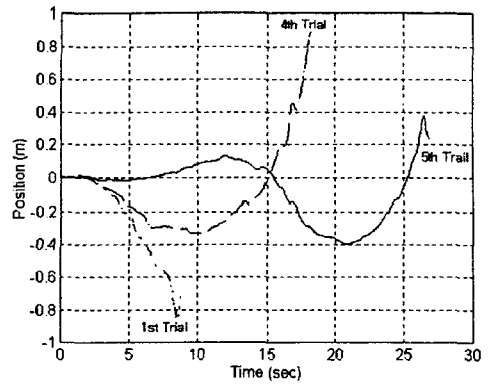


Fig. 7 Evolution of Cart Positions

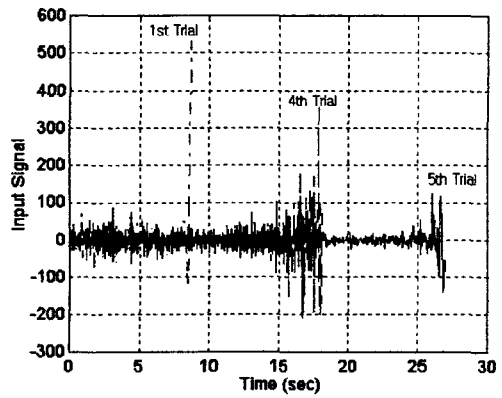


Fig. 8 Evolution of Input Signals

Table 1. Parameters for Inverted Pendulum Control

			Description
Inverted Pendulum	Mass of Cart	M	10 Kg
	Mass of Pole	m	1 Kg
	Weight of Gravity	G	9.8 m/s ²
	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 _a	25

4. 결론

포착된 사람의 움직임을 이용한 운동 제어 시스템에 관한 연구이다. 운동 포착기로 포착된 사람의 움직임은 다듬어져서 PC의 3차원 그래픽 도구로 만든 cyber cube와 inverted pendulum의 특정 움직임에 사용되었다. 센서로 포착된 머리의 움직임은 PC 애니메이션으로 만들어진 거울을 통하여 cyber cube의 대칭적인 움직임으로 재현하였다. 그리고 포착된 손의 가속 움직임을 수레의 가속 움직임으로 바꾸어(mapping) 5번의 시도로 inverted pendulum을 10-30초쯤 넘어지지 않게 할 수 있었다.

cyber cube의 운동 재현 실험은 머리카나 몸의 일부를 허공에서 움직여서 3차원 공간 안의 물체를 선택할 수 있는 지능적 user interface의 가능성을 보여준다. inverted pendulum의 운동 제어 실험은 최적의 사람 움직임을 쓰면 복잡한 계산을 하지 않고도 물체의 운동을 제어 할 가능성을 보여준다. 또한 도입 진자의 반복적 실험은 의도하지는 않았지만 학습(learning)의 경향을 보여주는 듯하다.

사람의 움직임을 cyber cube와 inverted pendulum뿐 아니라 다자유도 로봇의 복잡한 운동을 제어하는데 쓸 수 있다. 3차원 운동 포착 센서에도 6 자유도 힘/토크 센서[17]나 데이터 글로브(data gloves)[18]와 같은 촉각 센서, CCD 카메라나 Head-mounted Display(HMD) [19]와 같은 시각 센서, 청각 센서[20]를 더하면 실감있게 로봇을 제어할 수 있어 지능의 연구 레벨을 넓혀갈 수 있다.

운동 포착 및 제어 시스템은 제어대상의 복잡한 움직임을 바람직한지를 미리 따져볼 수 있게 해준다. 각종 감각 센서를 덧붙인 가상 상황(virtual environment)은 실험 시스템으로 실제 상황을 실감있게 체험(rehearsal)하고 익힐 수 있는 교육용 시스템(educational simulator)으로 쓸 수 있을 것이다. 또한 원격로봇(telerobotics)와 extender 분야의 응용에도 쓸 수 있다. 가상 전쟁(virtual war), 우주 작업의 시뮬레이션(simulator), 로봇을 쓴 원격 수술(virtual surgery)분야 등 가상 현실(virtual reality)의 기초 기술로 쓸 수 있을 것이다.

5. 참고 문헌

1. Foley, J., et. al., *Introduction to Computer Graphics*, 2nd ed., Addison-Wesley, 1994.

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

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

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

5. Groover, M., et. al., *Industrial Robotics*, McGraw-Hill, 1986, Sec. 1-3.

6. 工業技術院機械技術研究所, "機械技術研究所のロボット", ヒ"デオ特集号, *Journal of the Robotics of Japan*, Vol. 9, August 1991.

7. Kazerooni, H., "Human Extenders", *Journal of Dynamic Systems*, ASME, June 1993, pp. 281-290.

8. Levy, S., *Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology*, Random House, New York, 1993.

9. 윤중선, 최원수, "운동포착 및 재현 시스템", 한국자동제어학술회의 논문집, 1996년 10월.

10. Polhemus, *3D Measurement Systems for Motion Tracking and 3D Digitization*, <http://www.polhemus.com/trackers/>, January 1996.

11. 3SPACE[®] INSIDETRAK[™] User's Manual, Polhemus, Inc., 1993.

12. Vince, J., *Virtual Reality Systems*, Addison-Wesley, Cambridge, 1995.

13. Spong, M., and Vidyasagar, M., *Robot Dynamics and Control*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1989.

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

15. *Turbo C++: Library Reference*, Borland International, 1990.

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

17. 박찬주, *지능제어를 이용한 로봇 힘제어*, 석사논문, 부산대학교, 1996.

18. *CyberGlove[™] gloves brochure*, Virtual Technologies, Inc., 1996.

19. *VR4 Head Mounted Display brochure*, Virtual Research Systems, Inc., 1994.

20. *3D Audio Systems: Bechtron[™]/Convolutron[™]/Acoustetron[™] brochures*, Crystal River Engineering, 1996.