

스노우보드 체험을 위한 몰입형 시뮬레이터의 개발

김상연*, 박원형*, 서희석*

요약

본 연구에서는 사용자가 눈 위에서 스노우보드를 타는 것과 같은 느낌을 제공할 뿐 아니라 실제세계에서 경험하기 힘든 스노우보드 상황까지도 사용자에게 경험하게 하는 몰입형 스노우보드 시뮬레이터 시스템을 개발한다. 이를 위하여 사용자의 움직임에 따른 스노우보드의 움직임과 햅틱 거동을 생성하는 운동재현 시스템을 제안하고 운동재현 시스템의 움직임에 따라 가상환경을 시각화하는 그래픽 시스템을 구축한다. 제안하는 시스템은 사용자들에게 모션 피드백 정보를 전달하기 위해 눈길 위에서의 가속도를 이용한다. 운동시 가속도 뿐 아니라 눈과 스노우보드사이의 진동자극을 생성하기 위해 DC 모터에 편심을 추가하여 모터의 회전에 따른 진동이 생성되도록 한다. 본 시스템은 사용자들에게 눈길위의 다양한 정보를 전달해 주어 스노우보드 사용자들을 위한 훈련시스템으로 사용될 수 있다.

The Development of an Immersive Simulator for Snowboarding

Sang-Youn Kim*, Won-Hyung Park*, Hee-Suk Seo*

ABSTRACT

In this paper, we suggest an immersive snowboard simulator which allows users to experience the same sensation as if they enjoy snowboarding on the snow, and furthermore it enables users to experience phenomena in virtual environment which are difficult to illustrate in real world. We develop a motion creation system for generating the motion and haptic behavior of the snowboard according to the user's motion command, and we construct a graphic system for visualizing the virtual environment as the motion creation system moves. In order to provide motion feedback information to users, the proposed system computes the snowboard's acceleration and uses it. The vibrotactile feedback in this proposed system is achieved by manufacturing an eccentric motor which creates vibration according to its revolution. The proposed system can be used as a training system for snowboarders because the system provides a variety of haptic and motion sensation.

Key Words : Immersive Sensation, Haptic Feedback, Virtual Environment, Vibrotactile Information, Training System

* 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부(✉sykim@kut.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 김상연 · 교신저자(Correspondent Author) : 서희석

· 접수일(2012년 1월 9일), 수정일(1차 : 2012년 2월 8일), 게재확정일(2012년 2월 10일)

I. 서 론

특정한 환경 및 상황을 똑같이 컴퓨터로 모사하여 환경에 대한 정보를 전달하는 가상현실 시스템이 발전됨에 따라서 사용자들은 그들이 원하는 상황을 가상공간에 그대로 생성하여 현실감 있게 그 상황을 체험하고 있다. 초기의 가상현실은 그래픽 물체의 해상도를 극대화 시킨 상태에서 2D 모니터나 프로젝터를 통한 제한된 화면에서 대상물체를 사용자에게 사실적으로 보이게 하는 데 초점을 맞추었다. 그러나 한정된 좁은 모니터 또는 제한된 투사 영역에서 구현되는 가상현실 공간은 그 한계가 명확하기 때문에, 최근에는 여러 대의 모니터를 연결하거나 여러 대의 프로젝터를 연결하여 하나의 가상공간을 구성하는 멀티채널 디스플레이 방식에 대한 연구가 많이 시도되었다[1,2,3]. 저 해상도의 프로젝터를 여러 대 이용하여 고 해상도의 큰 스크린을 만들어 내는 멀티채널 디스플레이 방식은 비교적 저렴한 가격으로 높은 해상도를 구현할 수 있고, 필요에 따라 프로젝터를 추가하면 그 해상도 및 전체 스크린의 크기를 원하는 대로 확장할 수 있다는 장점이 있다. 몰입감을 증가시키기 위한 또 하나의 방법으로 두 개의 카메라를 이용하여 입체 영상을 획득 및 영상처리 하여 물리적인 거리감을 사용자에게 전달하는 스테레오 영상 시스템이 개발되었다[4,5,6].

이와 같은 영상시스템의 발전과 실시간 하드웨어의 탄생으로 인하여 가상현실 시스템은 그래픽 적으로 재생되는 가상현실 부분과 운동감을 재현해 주는 장치가 결합되어 현실감을 획기적으로 향상시킨 형태(시뮬레이터 시스템)로 발전되어오고 있다. 이와 같은 시뮬레이터 시스템은 변수나 조건들을 변화시켜가며 특정시스템의 파라미터들이 변함에 따른 영향을 미리 파악하게 해 주며 대상 시스템의 사용이 미숙한 사람들에게는 실제와는 다른 안전한 환경 하에서 시스템을 운용할 수 있도록 해 준다. 그러므로 시뮬레이터 시스템은 의료, 국방, 제품 설계 및 생산, 엔터테인먼트 등 다양한 분야

의 어플리케이션에 핵심적인 엔진 역할을 하고 있다.

최근 들어 여가산업의 발달과 함께 그 부가가치 및 경제적인 잠재력이 커짐에 따라 게임을 시뮬레이터와 결합시킨 몰입형 시스템이 연구되고 있다. 그러나 이와 같은 시스템은 일반적으로 시각정보와 청각정보만을 활용하기 때문에 사용자들에게 충분한 현실감을 제공하는 데는 한계가 있다. 몰입감을 증가시키기 위해 많은 연구자들이 사람의 손에 근 감각 제시장치들을 이용하여 햅틱 감각을 전달하는 햅틱 시뮬레이터 시스템을 구축하였다 [7,8]. 이러한 근 감각 제시장치들은 사람의 특정부분(손가락 또는 손등)에만 운동감이나 햅틱 감각을 제공하므로 온몸으로 체험이 필요한 몰입형 시뮬레이터에 적용하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 본 연구에서는 체감형 게임시스템에 적용 가능한 운동재현 시스템을 개발하고 이를 기반으로 사용자에게 눈이 밟히는 느낌을 촉각적으로 전달하고 스노우보드의 빠른 속도 및 눈 위에서의 진동감을 사용자에게 전달해 주는 몰입형 시뮬레이터 시스템을 개발한다.

II. 스노우보드 시뮬레이터 시스템

본 장에서는 사용자에게 눈이 눌리는 느낌, 눈 위에서의 진동감 및 속도감등을 전달하여 사용자가 몰입감을 느낄 수 있는 스노우보드 게임용 시뮬레이터 시스템에 대하여 소개 한다. 그림 1은 개발한 시뮬레이터 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 개발한 시뮬레이터 시스템은 운동재현 시스템과 메인제어기로 나뉘어져 있다. 운동재현시스템은 로컬 제어기(마이크로프로세서)에 의해 제어되는 리니어 모터에 의해 구동되며, 사용자의 의도는 사용자의 무게 중심에 따라서 기울어지는 운동재현시스템위에 있는 스노우보드의 기울기를 스노우보드 밑에 부착된 가속도 센서가 읽어 들여 해석된다. 해석된 사용자의 의도는 패킷형태로 직렬 통신(Serial Communication)을 통해 메인 제어기인 PC로

전송되며, 이 데이터를 이용하여 메인 제어기에서는 그래픽 환경을 사용자에게 시각적으로 제공해 준다. 메인 제어기에서는 또한 눈과 스노우보드와의 사이에서 발생하는 미세한 진동정보를 계산하여 이를 로컬제어기인 마이크로 프로세서로 전달한다. 전달된 정보는 마이크로 프로세서에 의해 분석되어 모터를 통하여 진동감 및 속도감을 생성하여 사용자에게 제공하여 준다. 그래픽 렌더링은 파이썬(python)과 판다3D(panda 3D) 라이브러리를 이용하여 메인제어기에서 수행되었다.

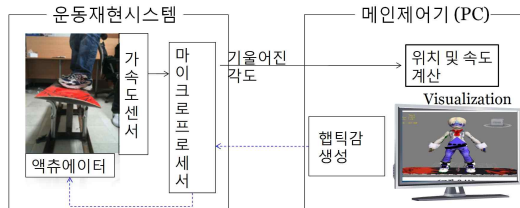


그림 1. 시뮬레이터 시스템의 하드웨어 구성
Fig. 1 Hardware components for the proposed simulator system

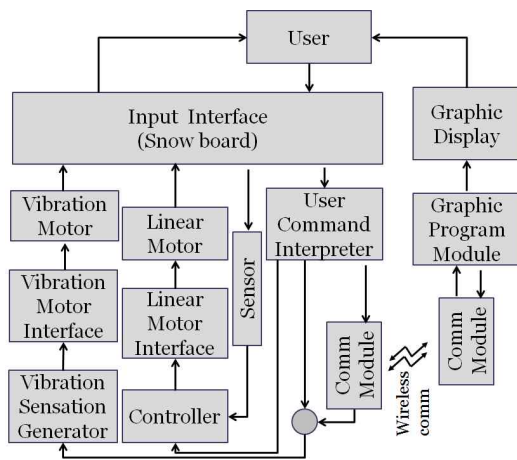


그림 2. 시뮬레이터 시스템의 신호 흐름도
Fig. 2 The signal flow of the proposed simulator system

그림 2는 제안하는 시스템의 신호 흐름도를 보여준다. 사용자가 스노우보드를 발로 조정하면 보드의 기울기가 가속도 센서를 이용하여 읽혀지고 이를 기반으로

하여 사용자의 의도가 해석되어 통신부를 통해 PC 쪽의 그래픽 프로그램 부로 전달되어 스노우보드를 타고 있는 아바타의 현재 속도 및 가속도가 계산된다. 이 속도 및 가속도 값이 그래픽 환경과 결합되어 아바타가 움직이고 시각화 (visualization)되어 그래픽 디스플레이 부로 전달되어 사용자는 자신이 스노우보드를 직접 타고 있는 것과 같은 느낌을 전달 받는다. 그리고 사용자의 움직임과 그래픽 환경과의 인터랙션 정도가 리니어 모터 인터페이스를 통해 모터 제어신호로 변환된다. 이 신호에 따라 각 모터들이 운동재현 시스템을 움직여 주어 사용자는 실제 보드를 타는 것과 같은 느낌을 전달받는다.

2.1 그래픽 모듈

스노우보드 시뮬레이터 시스템을 구축하기 위해 3D 그래픽 환경을 구축하였다. 이 환경에서 사용자는 운동재현시스템위에 있는 스노우보드를 제어하여 방향과 속도/가속도등을 조절함으로 출발점으로부터 최종목적지까지 내려온다. 스노우보드를 조정할 가상의 아바타는 3Dmax 로 모델링 후 스킨작업을 하였으며, 사실감을 증대시키기 위해 Unwrap UVW로 작업하여 매핑 (Mapping) 작업을 함으로 텍스처를 구축하였고, 포토샵으로 구축된 텍스처 이미지들을 자세하고 사실적으로 표현하기 위해 모델링한 캐릭터를 구간별로 나누어 작업 하였다. 그림 3(a)는 3Dmax를 통해 모델링한 아바타에 Biped를 스킨작업까지 한 그림이며 그림 3(b)는 Unwrap UVW으로 매핑(Mapping) 작업을 한 것을 photoshop으로 완성한 결과이다. 그리고 3(c)는 스킨 작업한 모델과 photoshop으로 완성한 jpg 파일을 결합하여 완성한 결과를 보여주고 있다.

그림 4는 그래픽 지형의 구현 모습을 보여주고 있다. 그래픽 시뮬레이션을 위한 지형은 그림 4(a)와 같이 커브형태의 내리막길로 구성하였다. 그리고 그림 텍스처를 UVW mapping을 통해 사물의 크기에 맞게 입히고

Unwrap UVW를 통해 나무나 장애물들의 텍스처를 입혔다. 펜스를 통해서 사용자가 코스 범위를 넘어가지 않도록 하고 장애물들을 통해서 더욱 긴장되고 몰입도가 높은 화면을 구성 하였다.

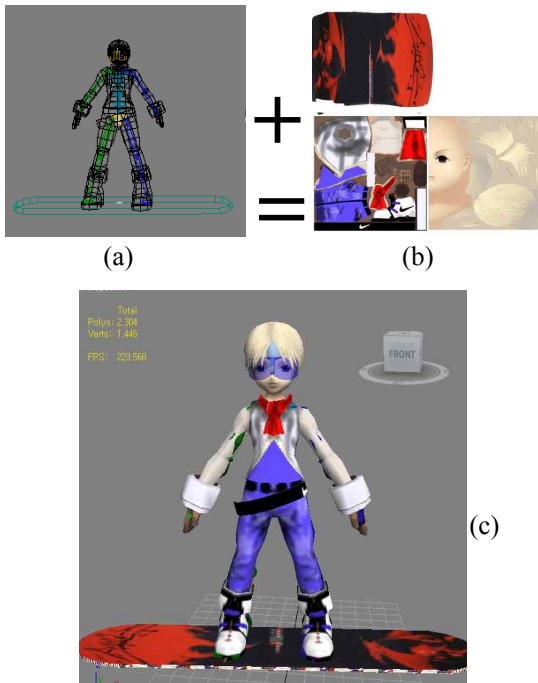


그림 3. 그래픽 아바타
Fig. 3 Graphic Avatar

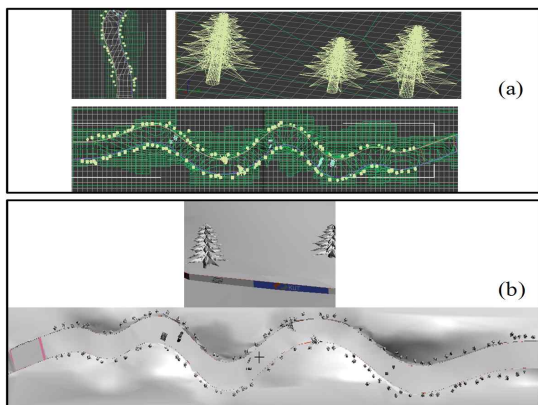


그림 4. 지형모델
Fig. 4. Terrain Model

2.2 햅틱 모듈

햅틱 액추에이션은 마이크로 프로세서가 사용자의 의도를 가속도 센서로 파악하고 메인제어기로부터 게임중 발생한 이벤트를 시리얼 통신으로 전달받아 다음장에서 설명할 운동재현 시스템을 구동함으로 수행되었다. 운동재현시스템에 존재하는 액추에이터의 특성상 고주파의 진동감각을 생성하는 것이 쉽지 않으므로 진동감각을 생성하기 위한 액추에이터를 따로 두어 사용자의 몰입감을 증폭시켰다. 진동 액추에이터는 그림 5와 같이 DC 모터의 끝부분에 질량을 추가하여 모터의 회전에 따른 진동이 생성되도록 제작하였다. 그리고 이를 스노우보드 아래부분에 장착하여 사용자가 진동을 전달 받을 수 있도록 구축하였다.



그림 5. 진동액추에이터와 스노우 보드
Fig. 5. Vibration Motor and Snowboard

III. 운동재현 시스템

3.1 운동재현 모델링

스노우보드 주행 시 보드를 통하여 스노우보드더에게

다양한 형태의 반력이 들어오게 된다. 이러한 반력은 크게 노면에 대하여 수직방향과 좌우 방향으로 나뉘는데 수직방향의 반력은 노면의 굴곡에 의해서 나타나고 좌우 방향 반력은 스노우보드의 주행방향 등 보드의 거동에 의해 나타나거나 노면의 상태에 따라 영향을 받는다. 특히 좌우 방향의 반력은 스노우보더가 넘어지지 않고 즐길 수 있는 중요한 정보가 된다. 본 연구에서는 이러한 보드의 반력을 생성하여 스노우보더에게 전달하여 그들이 보드의 움직임 및 실제와 같은 햅틱 느낌을 전달 받을 수 있도록 운동재현시스템을 구축하였다.



그림 6. 운동재현 시스템
Fig. 6. Motion creation system

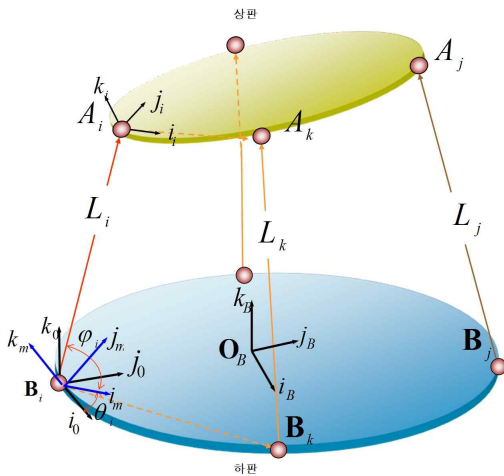


그림 7. 운동재현 시스템의 구조
Fig. 7. The structure of the motion creation system

운동재현 시스템은 직렬 매니퓰레이터 형태와 병렬 매니퓰레이터 형태로 구축될 수 있다. 직렬매니퓰레이터 형태는 각 링크들이 직렬로 연결되어 있어서 작업공간이 크지만 끝단에서 받을 수 있는 하중이 작고 구동속도가 다소 느리다. 반면에 병렬 매니퓰레이터 형태는 작업공간은 작지만 힘이 가해지는 끝단에서 받을 수 있는 하중이 크고 고속 구동이 가능한 장점을 가지고 있다. 제안하는 운동재현 시스템은 사용자가 스노우보드를 즐길 때 사용자의 하중을 모두 견뎌야 하며 사용자의 움직임은 크지 않지만 고속구동이 가능해야 한다. 그러므로 본 연구에서는 스노우보드를 상판으로 아래의 베이스를 하판으로 하는 병렬 매니퓰레이터의 형태로 운동재현 시스템을 제작하였다. <그림 6>은 본 시스템에서 개발한 운동재현 시스템을, 그리고 <그림 7>은 운동재현 시스템의 기계적 모델을 보여주고 있다. 그림 7에서 i, j, k 는 X, Y, Z 축을 각각 나타내고 있다.

사용자의 움직임과 그래픽환경에 따라 운동재현 시스템의 상판의 중심점 (T_0)이 변화하고 상판의 중심점의 움직임에 따라 각각의 조인트들이 움직여야 한다. 이러한 움직임을 계산하기 위하여 <그림 7>과 같이 절대좌표계 (X_B, Y_B, Z_B), 기준좌표계 (X_O, Y_O, Z_O), 액추에이터 좌표계 (X_i, Y_i, Z_i), 매개 기준좌표계 (X_m, Y_m, Z_m)를 설정하였다. 기준좌표계는 절대좌표계와 평행하게 설정하였고, 액추에이터는 액추에이터 좌표계에 고정되어 있다. 본 시스템 모델에서 상판은 모든 변위가 0일 때 하판과 평행하게 되므로 액추에이터의 길이를 L_i 라고 하면 L_i 는 수식 1과 같이 표현 가능하다. (단 $L_i = [L_{xi} \ L_{yj} \ L_{zk}]$)

$$L_i = X_{Ei} - X_{Bi} \quad (1)$$

수식 (1)에서 X_{Ei} 와 X_{Bi} 는 절대 원점 O_B 로부터 액추에이터 끝단까지의 위치와 기준좌표계 원점까지의 위치를 나타내는 위치 벡터이다. 액추에이터 끝단의 위치 벡터 X_{Ei} 는 상판의 무게 중심 벡터를 통해서 수식 (2)

와 같이 표현할 수 있다. 수식 (2)에서 X_C 는 하판의 중심으로부터 상판의 중심까지의 위치 벡터이며 ${}^B A_U$ 와 ${}^U X_{CE,i}$ 는 각각 상판과 하판의 좌표계 시스템에서 상판의 중심으로부터 E_i 까지의 위치 벡터이다. 그리고 ${}^B A_U$ 는 상판으로부터 하판까지의 오일러 변환 행렬이며 수식 (3)과 같이 표현가능하다. 수식 (3)에서 c 는 코사인을 s 는 사인을 의미한다.

$$X_{E,i} = X_C + {}^B X_{CE,i} = X_C + {}^B A_U + {}^U X_{CE,i} \quad (2)$$

$${}^B A_U = \begin{bmatrix} c\alpha & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

액츄에이터의 길이는 (L_i)는 수식 (1)과 (2) 에 의해 수식 (4)과 같이 표현 가능하고, 하판의 조인트 B_i 는 단지 회전운동만 가지므로 액츄에이터의 속도는 수식 (5)와 같이 표현 가능하고 가속도는 수식 (6)와 같이 된다. 수식 (6)에서 ${}^o a_{E,i}$ 는 기준좌표계에 따른 액츄에이터 좌표계의 가속도(수식 7)이다.

$$L_i = X_C + {}^B A_U + {}^U X_{CE,i} - X_{B,i} \quad (4)$$

$$\frac{d(L_i^T L_i)}{dt} = 2 {}^o v_c + {}^o \omega_N \times (X_{E,i} - X_c) [(X_{E,i} - X_{B,i})] \quad (5)$$

$$\frac{d^2(L_i^T L_i)}{dt^2} = 2 ({}^o a_{E,i}^T [X_{E,i} - X_{B,i}] + {}^o v_{E,i}^T {}^o v_{E,i}) \quad (6)$$

$${}^o a_{E,i} = {}^o a_c + {}^o \alpha_c \times (X_{E,i} - X_c) + {}^o \omega_c \times ({}^o \omega_N \times (X_{E,i} - X_c)) \quad (7)$$

화면 및 운동감, 반력 등은 뉴턴의 법칙 중에서 유효 힘 (Effective force)을 구하는 방법을 이용하여 계산할 수 있다.

3.2 운동재현 시스템의 제어실험

개발한 운동재현 시스템을 제어하기 위하여 여러 가지 프로세서를 사용할 수 있으나 여러 소규모 응용 분야에 손쉽게 적용할 수 있으며 다른 제품군에 비해 비교적 저렴한 가격으로 시스템을 구성할 수 있으며 인터럽트 지연 시간이 짧아 하나의 프로세서로 여러 가지 동작을 수행하고자할 때 높은 성능을 보이는 Cortex-M3를 장착한 LM3S8962를 타겟 프로세서로 선정하였다.

컴퓨터 그래픽으로 재생되는 가상현실 환경과 운동감을 재현해 주는 장치를 결합하여 몰입감을 향상시킨 본 시뮬레이터는 운동재현시스템이 얼마나 잘 구성되어 있고 얼마나 정확하게 실제세계에서의 조종환경과 동일한 환경을 제공해 주도록 제어 되는가에 의해 결정된다. 그러므로 사용자의 무릎 및 발목 등의 차이식역 (Just Noticeable Difference : JND) 을 조사하고 제안하는 시스템의 분해능이 차이식역 내에 존재하는지를 알아보았다. 일반적으로 사람의 무릎이나 발목 등의 움직인 각도에 대한 차이 식역은 약 2도 보다 작다[9]. 다시 말하면 사람은 약 2도 이하의 움직임 차이는 감지할 수 없다는 의미로 개발한 운동재현시스템의 상판의 분해능이 2도 이내가 되어야 한다. 본 시스템의 각 리니어 모터의 움직임에 대한 상판의 회전 각도를 측정하면 약 0.9도로 차이식역 내에 존재하여 만족할 만한 성능을 보임을 알 수 있다.

제감형 시뮬레이터에서는 사실적인 분해능 뿐 아니라 사용자의 작용에 대한 시뮬레이터의 반응이 제한된 시간 이내에 처리되어야 사용자는 몰입감 및 현실감을 느낄 수 있다. 이를 위하여 본 시뮬레이터 시스템은 시뮬레이터의 상태정보를 상호 공유하고 제어 프로세스

들 간의 동기화를 수행하고 동기화 과정에서 발생하는 프로세스의 블록현상을 최소화 하였다. 사람이 운동정보나 촉각 정보를 얻을 때 두 개의 연속된 자극이 20msec 정도의 차 이내로 들어오게 되면 두 개의 자극을 구분할 수 없다[10]. 그러므로 사용자의 명령이 전달되는 순간부터 운동재현 시스템의 동작을 위한 액추에이터 제어 신호가 생성되는 시점까지의 시간을 측정하였다. 시간은 100회 반복할 때마다 평균을 계산하여 1회 소요되는데 까지 시간을 계산하였으며 (그림 8) 이를 10회 반복하였다. 동작을 위한 평균 시간은 2.3msec가 소요 되었으며 사용자가 느끼지 못할 만큼 작음을 알 수 있었다. 위와 같은 두 가지의 실험결과로부터 개발한 시스템은 사용자에게 충분히 현실감을 재현하여 전달할 가능성이 있다는 사실을 파악하였다.

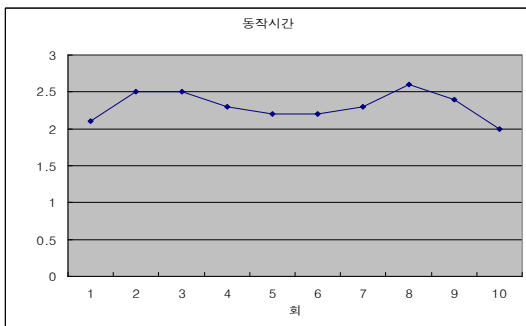


그림 8. 동작 시간
Fig. 8. Operating Time

IV. 결론

몰입형 시스템을 구축하기 위한 가장 중요한 요소는 시각 정보 뿐 아니라 햅틱 정보까지도 사용자에게 전달하여 현실감을 높이는 것이다. 본 연구에서는 스노우보드를 타는 것과 같은 몰입형 시뮬레이터 시스템을 개발하기 위해 운동재현 시스템을 구축하였다. 하중에 대하여 강한 그리고 고속구동이 가능한 운동재현 시

스템을 위해 본 연구에서는 상판과 하판 사이에 병렬적으로 액추에이터가 연결된 병렬 체인형 시스템을 제작하였다. 또한 스노우보드를 타는 공간을 그래픽 적으로 모델링 및 렌더링 하여 시각적 이미지를 생성하였다. 이 시각시스템은 운동재현 시스템과 사용자의 위치정보, 지형 정보 등을 상호 교환하면서 시뮬레이터 시스템의 가상환경을 생성하고 현실감을 제공하였다. 또한 실험을 통하여 사용자의 입력에 대하여 화면 및 운동감, 반력 등이 실시간으로 연동되어 사용자에게 현실감을 제공하기에 충분함을 증명하였다.

참고문헌

- [1] Yang, R., Gotz, D., Hensley, J., Towles, H., and Brown, M. (2001), "PixelFlex: A Reconfigurable Multi-Projector Display System," IEEE Visualization 2001, San Diego California, Oct. 2001.
- [2] Chen, Y., Chen, H., Clark, D., Liu, Z., Wallace, G., and Li, K. (2001), "Software Environments for Cluster-based Display Systems," IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Brisbane, Australia, 2001, pp 202-210.
- [3] Raskar, R., Beardsley, P.A., (2001), "A Self-Correcting Projector", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), December 2001, pp 626-631.
- [4] Simone, C., and Farup, I., (2009) "An Alternative Color Dierence Formula For Computing Image Dierence", In Proceedings from Gjvik Color Imaging Symposium, Gjvik University College, Norway, pp 8-11.
- [5] Min, D., Kim, D., Yun, S.U., and Sohn, K., (2009), "2D/3D freeview video generation for 3DTV system", Signal Processing: Image Communication, vol.24 No. 1-2, pp. 31-48.
- [6] Gadia, D., Villa, D., Bonanomi, C., Rizzi, A., and Marini, D., (2010), "Local color correction of stereo pairs. In Proceedings of SPIE, Vol. 7524.

- [7] Baillie, S., Crossan, A., Reid, S., and Brewster, S., (2003), "Preliminary Development and Evaluation of a Bovine Rectal Palpation Simulator for Training Veterinary Students". Cattle Practice, Vol 11. No 2, pp 101-106.
- [8] Iwata, H., Yano, H., Nakaizumi, F., and Kawamura, R., (2001) "Project FEELEX: Adding Haptic Surface to Graphics", Proceeding of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques SIGGRAPH '01. ACM, New York, pp 469-476. SIGGRAPH2001.
- [9] Muaidi, Q.I. Nicholson, L.L., and Refshauge, K.M., (2008) "Proprioceptive acuity in active rotation movements in healthy knees", Arch Phys. Med Rehabilitation, Vol. 89, No. 2, pp 371-376.
- [10] Hirsch, I.J., and Sherrick, C.E., (1961) "Perceived order in different sense modalities. J. of Experimental Psychology, Vol. 62, pp 423-432.

감사의 글

연구는 2010년도 한국기술교육대학교 교무팀의 교수 교육연구진흥사업(과제명 : 몰입감을 위한 온열감 디스플레이)의 지원을 받아 수행되었습니다.



박원형(Won-Hyeong)

2011년 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 학사

2011년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 석사 과정

※ 관심분야: Haptics, HCI



서희석 (Hee-Suk Seo)

2000년 성균관대학교 산업공학과 학사

2002년 성균관대학교대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 석사

2005년 성균관대학교대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 박사

2005년~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수

※ 관심분야: 모델링&시뮬레이션, 네트워크보안, 보안 시뮬레이션, USN

저자소개



김상연(Sang-Youn Kim)

1997년 2월 KAIST 석사

2002년~2003년 4월 가상현실 연구센터 연구원

2005년 2월 KAIST 박사

2005년 2월~2006년 2월 삼성 종합기술원 책임 연구원

2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 조교수

※ 관심분야 : Haptic Rendering, Tactile Display, Virtual Reality, HCI