

운동감 및 다감각 가상현실 효과 시스템의 구조와 응용

유병현*, 한순흥*

A Framework for VR Effects with Multi-sensory Motional Display

Byounghyun Yoo, Soonhung Han

Abstract

Virtual reality (VR) simulators have been extended to transfer knowledge and education, and demands for exhibition systems for science education and cultural experiences has also increased. Existing VR simulators, which are based on the dynamics equations of motion, cannot easily be adapted to changes in simulation contents. In order to effectively transfer knowledge and maintain interests through educational applications, an experiential system that has multi-sensory effects as well as motion effects is required.

In this study, we designed and implemented a motion generation that is tailored to experiential exhibition systems and multi-sensory VR effects. Both the sense of motion which is generated from the movement of the viewpoint of the visual image, and motion effects which are constructed in advance, are applied to motion simulation. Motion effects which occur during interaction between the user and the exhibition system can be easily added. Various sensory cues that are appropriate to the exhibition system are also considered.

Key Words: Motion Generation, Multi-Sensory VR Effect System, Virtual Reality Simulator

1. 서론

자동차, 선박, 항공기 등과 같은 운송수단에 대한 시뮬레이션 및 훈련 시스템을 위주로 발전되어 온 가상현실 시뮬레이터는, 점차 교육과 지식전달을 위한 도구로 응용되고 있다. 과학기술문화 체험을 통한 지식 전달을 위해서는, 다양한 감각을 자극할 수 있는 체감형 전시 장비가 필요하다.

기존의 가상현실 시뮬레이터는 운송수단의 시뮬레이션 및 훈련을 위주로 개발되었기 때문에, 실제 존재하는 승용구(vehicle, 탈것)의 역학적 특성과 현상을, 최대한 실제와 유사하게 재현 하는 것이 주된 목적이다. 따라서 기존의 승용구 시뮬레이터는 동역학적 계산이 중심이 되어, 승용구를 모델링한 동역학 지배방정식의 계산이 중심이 된다. 반면 과학기술문화 체험을 위한 가상현실 시뮬레이터는, 문화 콘텐츠에 해당하는 극사실적 영상이 중심이 되어, 실제 존재하지 않는 가상의 객체에 대한 움직임도 재현할 수 있어야 한다.

실제 존재하지 않는 상상속의 가상 객체는 역학적 모델이 존재하지 않기 때문에, 이것의 운동감을 표현하기 위해서는 새로운 방법을 이용하여야 한다. 또한 과학기술문화 콘텐츠의 변경이 용이하고, 관객이 상호작용을 할 수 있는 다감각의 가상현실 운동감 효과가 필요하다.

일반적인 승용구에 대한 시뮬레이터의 연구는 많이 있다. 미국의 경우 1995년 Univ. of Iowa에서 드라이빙 시뮬레이터가 개발되었고[9], NASA의 SimLabs에서 항공기 및 연구용 시뮬레이터가 지속적으로 연구 개발되고 있다[14]. 국내의 시뮬레이터 개발 관련 연구를 살펴보면 한국과학기술원에서 영상과 음향 및 운동감을 수반하는 자전거 시뮬레이터[10]와 스포츠 헬리콥터 시뮬레이터[3]에 대한 연구를 수행하였으며, 국민대와 한국기계연구원, 현대자동차 등이 자동차 시뮬레이터에 대한 연구를 진행하고 있고[12][1], 한국항공우주연구원에서는 중형 항공기 시뮬레이터를 1998년에

개발하여 운용하고 있다.

그러나 위의 연구는 모두 승용구의 동역학적 모델링을 통하여, 지배방정식을 계산하여 운동감을 생성하고 있다[6][11]. 홍정모[7]는 운동효과 라이브러리를 적용한 게임 운동감 생성 방법을 제안하였다. 하지만 특정한 게임에 국한된 운동효과 라이브러리를 제시하여, 수동적인 라이딩 필름 방식의 고화질 영상과 함께 사용하지 못하는 문제점이 있다. 본 연구는 수동적인 영상에서 역학적 모델 없이 운동감을 생성하는 방법을 소개한다.

컴퓨터 그래픽스 분야의 로코모션 블렌딩(locomotion blending)의 아이디어를 차용하여, 미리 샘플링한 모션 정보를 라이브러리 형태로 구축하고, 이를 중첩하여 사용하는 방법에 대한 연구[5]가 있다. 본 연구는 운동효과 라이브러리와 영상에서 생성한 운동감을, 실시간으로 중첩하여 운동감의 사실감을 높이고, 콘텐츠의 변화에 따른 운동효과와 변경 및 추가가 용이하다.

본 연구는 과학기술문화체험용 가상현실 전시기술 개발을 위한 것으로, 인체 탐험 콘텐츠에 적용하기 위한 운동감 생성 방법과, 다감각 가상현실 효과 프레임워크의 개발을 내용으로 한다. 기존의 동역학 모델 기반의 모션 생성 방법에서 벗어나, 수동적인 라이딩 필름 방식의 운동감과, 관객의 상호작용에 의한 운동감을 동시에 표현할 수 있도록 운동감 생성 방법을 제시하고, 추가적인 감각적 재현장치를 함께 적용한 다감각 가상현실 효과 프레임워크를 소개한다.

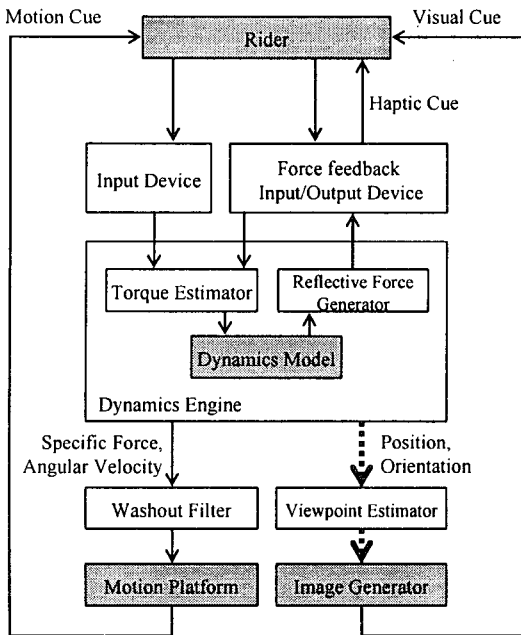
2. 운동감 생성 시스템

2.1 운동감 생성 방법

운동감을 생성하기 위해서는 시뮬레이션의 대상이 되는 객체의 움직임을 알아야 하고, 이를 모션 플랫폼으로 표현하여야 한다. 기존의 운동감 생성에는 일반적으로 승용구의 동역학

모델을 포함한 운동 방정식이 이용된다[4].

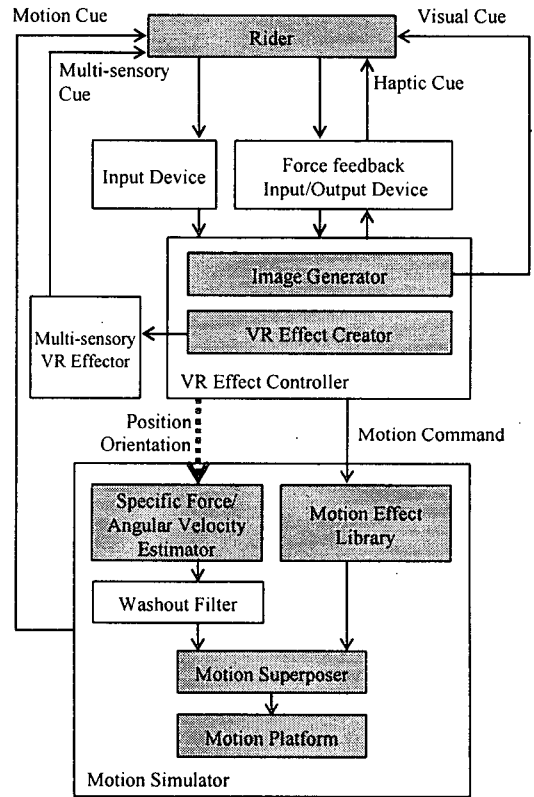
대부분의 극사실 영상은 수동적인 라이드 필름 제작 방식을 사용하기 때문에, 특정한 모션 모델을 가지고 있지 않고, 최근에는 상상 속의 승용구를 VR 시뮬레이션에서 사용하여, 운동감을 재현할 대상의 폭이 보다 넓어지고 있다. 따라서 동역학적 모델링이 불가능하기 때문에, 콘텐츠의 변화에 빠르게 적응할 수 있는 운동감 생성 모델이 필요하다.



<그림 1> 일반 모션 시뮬레이터의 흐름도

대부분의 극사실 영상은 1인칭의 스토리텔링(storytelling) 방식을 사용하기 때문에, 카메라의 움직임과 승용구의 움직임이 유사한 특성을 이용하면, 가상 객체의 움직임을 유추할 수 있다. 체감 콘텐츠의 카메라 움직임에서 승용구의 움직임을 계산하는 것이 필요하게 되는데, 이는 기존의 운동감 생성 방법이 동역학 모델로부터 운전자의 시점과 시선을 계산하던 방법과는, 정보의 흐름이 반대 방향으로 진행된다. 그림 1은 일반적인 운동감 시뮬레이션의 흐름이다. 동역학 엔진에서 점선으로 표현된

화살표와 같이 영상으로 정보가 전달된다. 반면, 본 연구의 가상현실 효과 시스템은 그림 2의 점선으로 표현된 화살표와 같이 영상에서 모션 시뮬레이션으로 정보가 전달된다.



<그림 2> 가상현실 효과 시스템의 흐름도

시뮬레이터의 특성상 3차원 공간을 자유롭게 운동하는 가상객체의 운동을, 모션 플랫폼의 제한된 선형운동과 회전운동으로 재현하기 위해서는, 가상공간에서의 객체의 운동을 모션 플랫폼 위의 운동으로 변형해 주는 washout 필터가 필요하다. 본 연구에서는 전통적(classical), 최적(optimal), 그리고 등위 적응형(coordinated adaptive), 3종류의 washout 필터 중에, 계산속도가 빠르고, 각 방향별 계수의 독립적 조절이 가능하여 직관적 튜닝이 가능한 전통적 washout 필터를 사용한다.

카메라의 움직임에서 객체의 운동을 추정하

기 때문에, 영상에는 빠져있는 다양한 움직임 효과들을 보상하는 것이 필요하다. 이를 위하여 운동효과 라이브러리를 사용하고, 카메라에 의한 움직임과 운동효과를 중첩하여 운동감을 증강한다.

체험 콘텐츠는, 고화질 영상 위주의 1인칭 라이딩 영상 방식(수동 방식)과, 탑승자와의 상호작용을 통해 인위적인 조작과 돌발적인 이벤트들을 자유롭게 활용할 수 있는 인터랙티브 방식으로 구분할 수 있다.

사실감의 극대화와 체험 콘텐츠의 자유도 향상을 위해서, 이 두 가지 방식을 혼용하거나 동시에 사용할 수 있도록 하는 연구[2]가 진행되고 있으며, 이에 적합한 운동감 생성 방법을 다음 절에서 설명한다.

2.2 실시간 운동감 생성

고화질 영상에서 카메라의 위치정보를 받아 실시간으로 운동감을 생성한다. 이를 위해서는 6자유도의 카메라 정보를 운동감 생성에 필요한 비력(specific force)과 각속도(angular velocity)로 변형하여야 한다.

일반적으로 영상의 카메라 파라미터는 카메라의 위치(x, y, z)와 오일러 각 (Euler angles) (θ, ϕ, ψ)으로 표현된다. 반면 모션 플랫폼의 제어에는 roll, pitch, yaw 방향의 회전각을 사용한다.

카메라 위치정보로부터 비력을 계산하기 위해서는 다음 수식 1과 수식 2를 사용한다.

$$\vec{f} \equiv \vec{a} - \vec{g} \quad (1)$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}, a_y = \frac{d^2y}{dt^2}, a_z = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (2)$$

오일러 각의 정의[8][13]를 이용하여 카메라의 오일러 각을 기준 좌표계로 표현하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega_x &= \dot{\theta} \\ \omega_y &= \dot{\psi} \sin \theta \\ \omega_z &= \dot{\phi} + \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

비력과 가속도의 표현을 모션 플랫폼의 로컬 좌표계에 맞게 변형하기 위해서는, 오일러 각에 의한 좌표 변환 행렬을 사용하여야 한다. 글로벌 좌표계의 위치를 (X, Y, Z), 로컬 좌표계의 위치를 (x, y, z)라고 할 때, 비력과 가속도의 변환행렬은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\{V_{xyz}\} = [T]\{V_{XYZ}\} \quad (4)$$

$$[T] = [T_\phi][T_\theta][T_\psi] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} [T_\psi] &= \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ [T_\theta] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$[T_\phi] = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\{w_{XYZ}\} = [T]^{-1}\{w_{xyz}\} \quad (7)$$

$$\{w_{xyz}\} = \begin{Bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \sin \theta \\ \dot{\phi} + \cos \theta \end{Bmatrix} \quad (8)$$

<그림 3>과 <그림 4>는 비력과 각속도를 추정하기 위한 의사코드이다. 실제 구현에서는 1차 필터를 적용하여 속도와 오일러 각의 급격한 변화를 걸러낸다. 생성된 비력과 각속도를 이용하여 classical washout 필터를 적용하고, 모션 플랫폼의 가용 범위 내에서 운동감을 생성한다.

```

get Pos( x, y, z), Ang(  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ), timestep
V = (Pos - PosPrev) / timestep
VFilter = 1st_order_filter (V, VPrev)
A = 2 (VFilter - VPrev) / (timestep + timestepPrev)
F = Equation_1 (A,  $\vec{g}$ )
specific_force = Global_2_Local_Transformation (Ang(  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ), F)

```

<그림 3> 카메라의 위치 및 자세 정보로부터 비력을 추정하기 위한 의사코드

```

get Ang(  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ), timestep
AngFilter = 1st_order_filter (Ang, AngPrev)
Ang_dot = (AngFilter - AngPrev) / timestep
angular_velocity_local = Equation_3 (Ang_dot, Ang)
angular_velocity = Global_2_Local_Transformation (Ang(  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ), angular_velocity_local)

```

<그림 4> 카메라의 자세 정보로부터 각속도를 추정하기 위한 의사코드

2.3 모션 라이브러리

모션 라이브러리는 두 가지 측면에서 사용된다. 첫째, 동역학 엔진을 사용하지 않기 때문에, 부족한 운동감을 증강하기 위하여 운동효과를 추가하는데 이용된다. 카메라의 움직임에서 운동감을 생성하는 것으로는 현실적인 운동감을 표현하기에 부족하다. 이는 동역학 모델링에 비하여 물리적 현상이 생략되어 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 보조적인 운동감을 생성하고 적용하는 것이 필요하다. 둘째, 인터랙티브 방식의 문화 콘텐츠의 시연에 필요한 이벤트적인 운동감을 생성하기에는 모션 라이브러리가 효과적이다. 포격이나 충돌, 진동과 같은 일시적인 운동감은, 승용구의 움직임에 비하여 급격하고, 반복적이며, 빈번하게 발생하는 효과를 동역학적 모델로 표현하는 것은 적합하지 않기 때문이다.

2.3.1 모션 라이브러리 구축

모션 라이브러리에 사용될 데이터는 실제 대상을 샘플링하거나, 가상 모델에 대한 인위적인 운동방정식에 의해 계산하여, 데이터베

이스에 저장한다.

실세계에서의 모션을 샘플링하기 위해서는, 가속도 및 각속도 센서를 실제 운동하는 물체에 부착한 뒤 운동을 수행하며, 주어진 운동변수(자동차의 경우, 가속 페달 깊이 또는 핸들 각 변위)에 따른 결과를, 운동판 제어 시스템에 맞게 액추에이터의 작용 변위로 변환한 후, 식별자와 함께 매개변수화 하여 저장한다.

체험 콘텐츠가 가상 모델을 이용하는 경우, 주어진 운동변수들을 방정식으로 나타낸 후 일정한 간격으로 샘플링하고, 실제 시뮬레이션 과정을 통한 튜닝(tuning) 단계를 거친다.

실제 세계에 대상이 존재하지 않는 가상 모델의 포격, 충돌, 진동에 대한 운동감 효과를 위하여, 삼각함수를 응용한 매개변수화한 진동효과 생성 함수를 만들어 모션 라이브러리를 구축하였다. 이들 중 포격에 대한 진동효과 생성함수는 다음과 같다.

$$Y = M \sin \left(2\pi t / \frac{100}{125W} \right) \quad (9)$$

$$t: 0 \leq t \leq W/5, M: 0.01 \leq W \leq 0.1$$

$$Y = M \frac{1}{2} \left(1 + \sin \left(2\pi t / \frac{100}{125W} \right) / 2 + \pi/4 \right)$$

$t: W/5 \leq t \leq W, M: 0.01 \leq W \leq 0.1$ (10)

W 는 0.1ms 단위의 주기를 나타내며, M 은 운동효과 of 진폭을 의미한다. 각 파라미터를 조절함으로써 포격에 대한 운동효과 of 특성을 조절할 수 있다.

2.3.2 모션 라이브러리 호출

운동에 대한 요구를 얻는 과정은 운동에 관한 제약조건을 얻는 과정을 포함한다. 특정 운동효과를 삽입할 필요가 있을 경우, 그 운동을 나타내는 식별자를 제공받고, 그 지속시간, 강도, 주기 등의 조건 및 운동 변수를 입력 받는다.

2.3.3 모션의 생성

제공받은 식별자로 모션 데이터베이스를 검색한 후, 최적의 모션을 생성하는 과정이다. 샘플링 된 데이터를 직접 가져오거나, 매개변수화 하여 저장된 식에 운동 변수를 대입하여 단위 모션을 생성한다. 이를 제공받은 운동 조건(주기, 강도)을 사용하여, 일정 기간 동안의 모션 데이터로 연결된 모션 스트림을 생성하고, 모션 중첩기로 보내준다.

2.4 모션 중첩

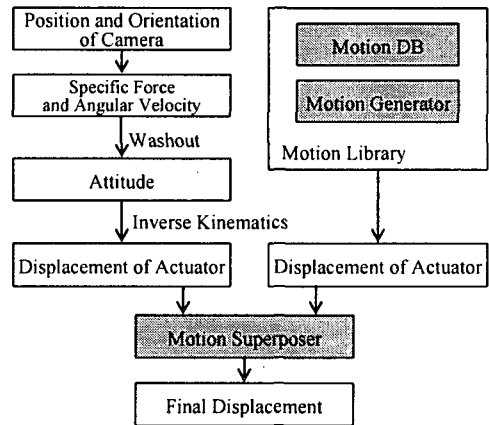
운동감은 카메라의 움직임에 의한 거시적인 운동감과, 체험 콘텐츠의 특성에 따라 부수적으로 발생하는 운동감 효과의 두 가지 측면으로 구분할 수 있다. 이에 따라 모션의 중첩도 시간적 변화의 고려 여부에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 거시적 움직임 + 미시적 움직임 : 선형 중첩,
- 미시적 움직임 + 미시적 움직임 : 시간적 중첩과 모션의 연속성을 고려한 중첩.

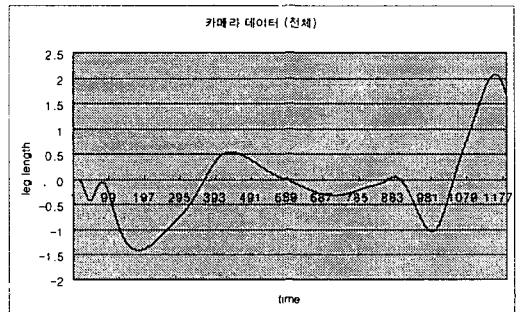
두 가지 모두 중첩 후의 전체적인 움직임 효과의 반감이 없고, 운동 판의 가용 범위를

고려하여야 한다.

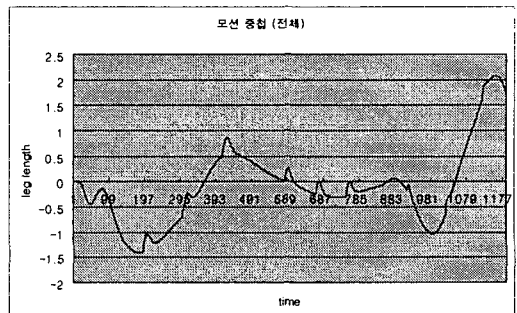
본 연구에서는 카메라에 의한 거시적 움직임과, 이벤트에 의하여 발생하는 미시적인 운동감 효과를 선형 중첩하였다.



<그림 5> 모션 중첩 과정의 흐름도



(a) 카메라에서 실시간 운동감 생성 결과



(b) 모션 라이브러리 중첩 결과

<그림 6> 모션 중첩에 의한 변위

운동감의 중첩은 비력/각속도, 모션 플랫폼의 자세, 액추에이터의 변위의 3가지 물리량에서 각각 중첩하는 것이 가능하다. 이들 중 비력/각속도는 모션 라이브러리의 생성과정에서 얻을 수 없는 경우가 많고, 모션 플랫폼의 자세의 중첩은 역기구학(inverse kinematics)을 이용한 액추에이터의 변위를 중첩한 것과 동일한 결과를 얻을 수 있다. 액추에이터의 변위를 중첩하는 것이 가장 계산이 간단하고, 중첩 과정에서 직관적인 튜닝과 과도한 움직임의 필터링이 가능하다.

<그림 5>는 액추에이터의 변위량을 기준으로 한 모션 중첩과정의 흐름을 보여준다. <그림 6>은 2.3 절에서 설명한 포격감을 중첩한 후 액추에이터의 변위를 기록한 결과이다.

3. 다감각 가상현실 효과

3.1 가상현실 효과

본 연구에서는 물리적인 현상이나 효과를 인간의 감각기관에 표현하여 사실감을 재현하는, 일련의 장치 및 가상의 효과를 가상현실 효과라 부른다.

과학기술문화체험을 위해서는 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각, 그리고 운동감과 같은 서로 다른 감각기관에 의한 현상의 인지가 복합적으로 이루어질 때 체험 효과가 크다. 다양한 감각 기관이 인지하는 가상현실 효과를 함께 사용하여 체감효과의 향상을 도모하는 것을 다감각 가상현실 효과라 한다.

가상현실 효과 중 정보량이 큰 영상과 음향, 그리고 운동감은 독립적인 현실감의 충실도 외에도, 각 감각의 동기화를 통한 다감각 효과의 균형이 가상현실 효과의 인지에 중요한 영향을 미친다.

운동감 효과는 모션 플랫폼의 기하학적 제한으로 인하여 등속도 운동에 대한 속도감의 표현이 불가능하다. 이를 바람이나 물 등의 분사와 같은 보조적인 감각적 효과를 동반하

여 영상과 동기화함으로써, 속도감에 대한 체감효과 향상을 기대할 수 있다. 운동감 영상, 그리고 보조적 분사 장치의 동기화를 통하여 다감각 가상현실 효과를 재현하고, 이로써 모션 시뮬레이션이 제공하는 운동감 외에 속도감 등의 가상현실 효과의 재현이 가능하다.

다감각 가상현실 효과는 분사장치의 예와 같이, 기존의 감각 재현 장치(영상, 음향, 운동감)와 동기화를 통하여, 비교적 큰 증강효과를 나타낼 수 있는 부수적인 재현장치를 사용하는 것이 바람직하다.

3.2 다감각 가상현실 효과의 선정

과학기술문화 콘텐츠의 체험효과 향상을 위해서 다양한 감각의 가상현실 효과를 동기화하여 재현함으로써, 현실감을 증강할 수 있다. 어떠한 큐(cue)에 의한 증강효과가 큰지, 체험자의 인지과정 및 큐의 동기, 구현 측면과 체험 콘텐츠의 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 앞서 설명한 모션 큐 외에 대표적인 증강효과를 선정하여 가상현실 효과에 적용하였다.

체감형 시뮬레이터에서 현실감을 증강하는데 효과가 있는 가상현실 효과 중, 체험자의 체감에 가장 영향이 큰 시각, 청각, 촉각에 영향을 미치는 큐를, 영상과 운동감 재현 분야의 전문가의 의견을 수렴하여 도출하였다.

도출된 가상현실 효과는 다음과 같다. 1-조명, 2-바람, 3-물, 4-진동, 5-Leg_tickler, 6-안개, 7-레이저, 8-스트로브, 9-향기, 10-Seat_drop.

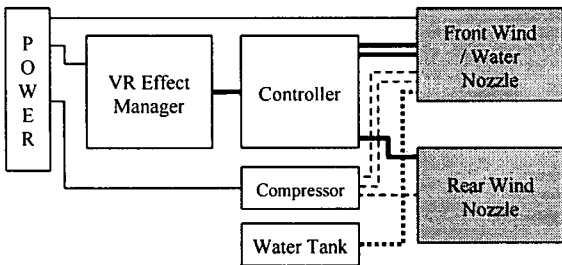
이중 수동방식의 라이딩(riding) 과정과 게임과 같은 사용자 상호작용에서 증강효과가 큰, 바람과 물 효과를 선정하여 가상현실 효과로 적용하였다. 진동효과와 seat_drop 효과는 별도의 재현 장치를 구성할 수도 있으나, 모션 플랫폼의 제어를 통하여 모션 라이브러리로 대체하여 표현한다.

3.3 가상현실 효과 적용

운동감 효과의 현실감 증강을 위하여 추가적인 감각적 재현장치를 구현하고, 이를 함께 적용한 다감각 가상현실 효과 프레임워크의 적용 사례를 소개한다.

바람과 물 효과는 체험자의 얼굴 주변을 위주로 재현하여 증강효과를 도모한다. 물과 바람의 가상현실 효과를 위한 재현 장치의 구성은 <그림 7>과 같다.

물과 바람 효과의 분사 시간을 매개변수화하여 가상현실 효과 제어기에서 제어할 수 있도록 하였다. 분사 시간을 10ms 단위로 조절하여, 라이딩 효과에 필요한 지속적인 분사와, 인터랙티브 모드에 필요한 이벤트적인 분사효과를 제작하였다. 체험 콘텐츠의 시나리오에 등장하는 각 이벤트에 적합한 물과 바람의 분사효과를 라이브러리 형태로 제작하여, <그림 2>의 다감각 효과 재생기에서 재현한다.



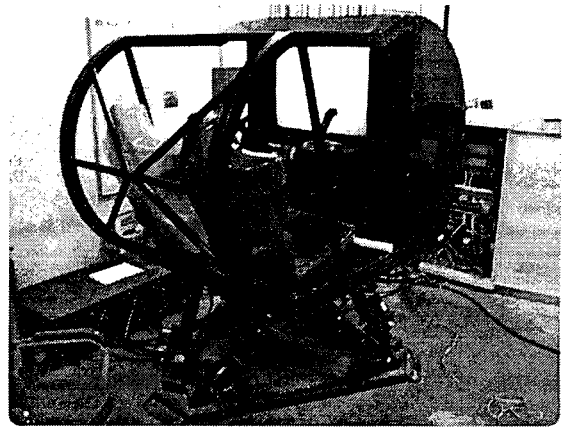
<그림 7> 물/바람 가상현실 효과 재생기

4. 시뮬레이션 통합 및 적용

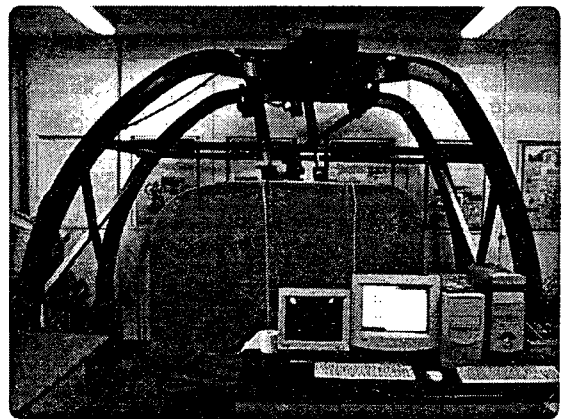
다감각 가상현실 효과를 3자유도를 가진 hanging 타입의 Inverted CX1 기종[15]과 6자유도의 stewart 플랫폼에 각각 적용하였다.

<그림 9>는 시스템의 전체적인 구조를 보여준다. 본 연구에서는 인체 내부를 탐험하는 가상의 객체를 모델링하고, 운동중인 객체의 카메라 위치를 입력받아, 모션 플랫폼을 제어하는 SMCP(motion control program)에 전달하여, 기본적인 비행 운동에 대한 시뮬레이션

을 구현하였다. 이때, 포격, 충돌, 진동의 운동효과를 재현하기 위해, 특정 시기에 SMCP 제어기가 SMCP에 네트워크를 통한 운동 효과 명령을 주게 되고, 구동 시스템(SMCP)은 샘플링된 모션 데이터를 합성하여 모션 플랫폼에 반영한다. <그림 8>은 실제 적용에 사용된 모션 플랫폼의 모습이다.



(a) 6자유도 스투어트 플랫폼

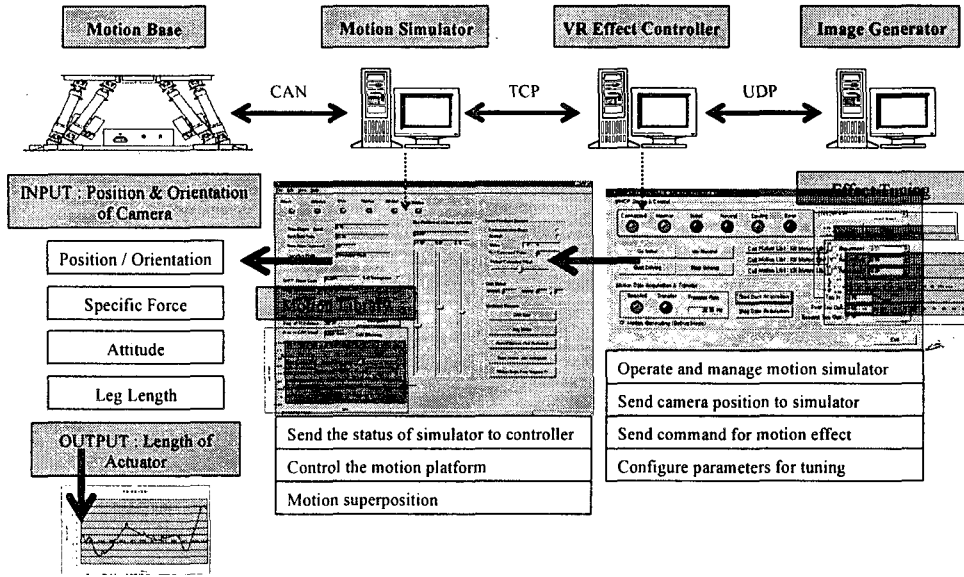


(b) 3자유도 hanging 타입 모션 플랫폼

<그림 8> 가상현실 시뮬레이터

4.1 다감각 가상현실 효과 시스템의 적용

<그림 8>(b)의 3자유도 모션 플랫폼과 다감각 가상현실 효과 시스템을, 인체탐험을 내용으로 하는 체감형 가상현실 시뮬레이터에

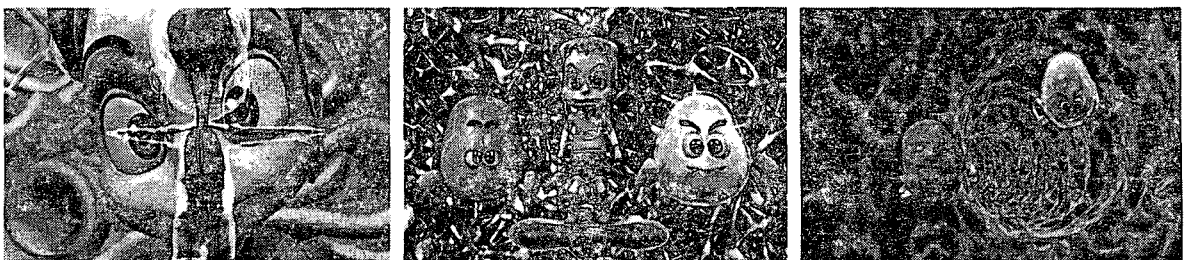


<그림 9> 적용된 가상현실 시뮬레이터의 구조도

적용하여, 제시된 프레임워크의 효용성을 검증하였다.

가상현실 콘텐츠는 인체 해부학 팀과 입체 영상 제작 전문가의 참여로 8분의 시나리오를 구성하고, 이에 따른 가상현실 효과를 구성하였다. 인체탐험 영상은 라이딩 필름 방식의 고해상도 수동 영상과, 인터랙티브 모드의 영상으로 구분하여, 실시간으로 영상에서 운동감을 생성하였다. 시나리오를 바탕으로 구성된 콘티와, 콘티에 등장하는 가상현실 효과를 바탕으로, 물과 바람의 분사, seat_drop 효과 그리고, 진동, 포격, 충돌 세 가지의 운동감 효과를, 실시간으로 생성되는 운동감과 동기화 하여 다감각 가상현실 효과를 재현하였다.

<그림 10>은 실험에 사용된 인체탐험을 주제로 한 가상현실 체감형 콘텐츠의 주요 장면이다. 실험에 사용된 체감형 콘텐츠는, 전반부에 해당하는 4분 동안의 고품질 수동 영상의 재생 후, 시간의 제약이 없는 인터랙티브 영상, 그리고 후반부에 해당하는 4분 동안의 수동 영상으로 구성되어 있다. 수동 영상 구간과 인터랙티브 영상 구간의 운동감은, 앞서 설명한 프레임워크에 의하여 실시간으로 생성되며, 시나리오 콘티에 존재하는 각 이벤트의 다감각 가상현실 효과가 영상과 동기화 되어 재현된다. 다감각 가상현실 효과의 재현은, 반복된 튜닝 작업을 통하여 영상, 음향 및 운동감과의 동기화를 완성하였으며, 연구 참여자 및 외부인의



<그림 10> 인체탐험 가상현실 시뮬레이션 콘텐츠의 영상

답승을 통하여 체감효과를 검증하였다.

5. 결론

본 연구에서는 체험 콘텐츠의 카메라 정보에 기반을 둔 운동감 생성 방법과, 다감각 가상현실 효과 프레임워크를 제시하고, 인체탐험 콘텐츠에 적용하여 효용성을 검증하였다. 구현을 통하여 3자유도와 6자유도의 운동감 생성 및 모션 라이브러리를 구축하고, 모션 중첩과 다감각 가상현실 효과를 적용하였다. 체험 콘텐츠의 변경에 적응하기 쉽고, 다감각의 효과를 사용한 점에서 기존의 연구와 차별화 된다. 기존 연구와의 차이점을 요약하면 다음과 같다.

- 가상현실 콘텐츠의 영상에서 운동감 생성이 가능하다. 기존의 동역학 운동 방정식 기반의 운동감 생성방법은, 승용구의 역학적 모델링이 가능한 경우에만 가능하고, 실시간 운동감 계산을 위하여 모델링 과정에서 생략된 물리적인 특성이 운동감의 현실감을 저해하는 요인이 되기도 한다. 반면 본 연구에서 제시한 운동감 생성 방법과 다감각 가상현실 효과 프레임워크는, 역학적 모델을 사용하지 않아, 역학적 모델이 존재하지 않는 가상현실 콘텐츠에도 적용이 가능하다.

- 모션 라이브러리 및 모션 중첩을 통한 운동감 향상이 가능하다. 기존의 연구는 특정 운동감에 대한 모션 라이브러리만을 사용하여, 승용구의 움직임에 대한 전체적인 운동감의 표현이 어렵다. 본 연구에서 제시한 방법은 카메라에 의한 거시적 움직임과, 이벤트에 의하여 발생하는 미시적인 운동감 효과를 모두 표현할 수 있다.

- 다감각 가상현실 효과의 동기화를 통한 체감효과 증강이 가능하다. 영상, 음향, 운동감 이외의 부수적인 가상현실 효과의 동기화를 통하여, 기존의 가상현실 시뮬레이터에서 표현하지 못하는 등속도의 속도감이나, 이벤트성 가상현실 효과의 재현이 가능하다.

<표 1>은 본 연구에서 제시한 다감각 가상현실 효과 프레임워크의 효용성을 <그림 1>의 일반적인 모션 시뮬레이터와 비교한 것이다. 효용성의 검증을 위해서는 기존의 방법과 정량적인 비교가 필요하며, 이를 위해서는 동등한 체험 콘텐츠에 대한 실험과 정량적인 평가방법에 대한 연구가 필요하다.

<표 1> 일반 모션 시뮬레이터와 가상현실 효과 시스템의 비교

| | 일반 모션 시뮬레이터 | 가상현실 효과 시스템 |
|----------------|---------------|----------------------------------|
| 객체의 운동정보 | 역학적 모델링 | 영상 콘텐츠의 시각정보 |
| 운동감 생성 방법 | 동역학 운동방정식 계산 | 영상 기반 운동감 생성 |
| 이벤트성 운동감 표현 | - | 충돌 충격 진동 |
| 운동감 중첩 | - | 서로 다른 운동감 동시 중첩 가능 |
| 가상현실 효과 표현 | - | 등속도 운동감, 바람/물 분사 |
| 가상현실 영상 콘텐츠 적용 | 불가 | 적합 |
| 콘텐츠 변경 | 어려움 | 용이함 |
| 체감 효과 | 영상,음향, 운동감 | 영상,음향, 운동감,촉감, 등 다감각 동시 체감 |

본 연구에서 제시한 다감각 가상현실 효과 프레임 워크의 현실감 향상을 위해서는, 다음과 같은 주제에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 사실감 판단의 근거 부재, 경험에 의존한 운동감 튜닝, 각 모션 큐의 동기화 정도 및 시뮬레이션 증후(sickness)에 대한 연구, 물리적 샘플링 기반 모션 라이브러리 구축 방안, 다감각 큐의 확장, 그리고 가상현실 큐의 추가로 인한 교육 및 체험효과 상승 판단 기준 마련을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 과학기술부 '과학기술문화 체험 전시기술 연구사업' 및 정보통신부 '대학 IT 연구센터 육성지원사업'의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김형의, 외, 「자동차기반기술 확립을 위한 6축 운전모사 시스템 개발」, 과학기술부 연구과제보고서 98-NE-02-09-A-01, 한국기계연구원, 2000.
- [2] 원광연, 한순홍, 외, 「과학기술문화체험 가상현실기술 개발」, 과학기술부 과학기술문화 체험전시기술 연구사업 보고서, 가상현실연구센터, 2004.
- [3] 유병현, 한순홍, 외, "스포츠 헬리콥터 VR 시뮬레이터", 「HCI 2003: 제12회 HCI CG VR DESIGN 학술대회」, 2003.
- [4] 이정열, 「자전거 시뮬레이터용 운동생성 알고리즘 개발」, 한국과학기술원 석사학위논문, 2000.
- [5] 차무현, 유병현, 한순홍, 가상현실 운동감 효과를 위한 모션 중첩", 「HCI 2005: 제14회 HCI 학술대회」, 2005.
- [6] 최연철, 「차량 시뮬레이터의 실시간 차량 시뮬레이션 시스템 및 Washout 알고리즘 개발」, 국민대학교 대학원 석사학위논문, 1997.
- [7] 홍정모, 「게임 운동감 생성을 위한 운동 효과 라이브러리의 적용」, 한국과학기술원 석사학위논문, 2002.
- [8] Bedford, A. and W.T. Fowler, Engineering Mechanics : Dynamics, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [9] Freeman, J.S., et al., "The Iowa Driving Simulator: An Implementation and Application Overview", SAE Paper 950174, 1995.
- [10] Kwon, D.S., G.H. Yang, et al., "KAIST Interactive Bicycle Simulator", IEEE International Conference on Robotics & Automation, Vol 3, 2001, pp.2313~2318
- [11] Lee, J.Y., J.C. Shin, and C.W. Lee "Bicycle Dynamics for Bicycle Simulator", Proceedings of the 2nd Japan-Korea Symposium of Frontiers in Vibration Science and Technology, Japan, 1999, pp.50-51
- [12] Lee, W.S., et al., "The Kookmin University Driving Simulators for Vehicle Control System Development and Human Factor Study", Driving Simulation Conference, 1999. pp.75-86
- [13] Meriam, J.L., Dynamics, Second Edition, Wiley, New York, 1971.
- [14] SimLabs Homepage, The Simulation Laboratories at NASA Ames Research Center, <http://slserver.arc.nasa.gov/index.html>, 2005.
- [15] Simuline Inc. <http://www.simuline.com>, 2005.

주 작 성 자 : 유 병 현

논문투고일 : 2005. 06. 03

논문심사일 : 2005. 06.14(1차), 2005. 07.27(2차),
2005. 08.04(3차)

심사판정일 : 2005. 08. 04

● 저자소개 ●



유병현

1997 연세대학교 공과대학 기계공학과 학사
 1999 한국과학기술원 기계공학과 석사
 1999 ~ 현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
 관심분야: 가상현실 시물레이션, 물리기반 가상현실 시스템,
 가상환경 구축 기술



한순홍

1977 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사
 1979 서울대학교 공과대학 조선공학과 석사
 1990 University of Michigan 박사
 1979 ~ 1992 해사기술연구소 연구원
 1993 ~ 1995 한국과학기술원 자동화설계공학과 교수
 1996 ~ 현재 한국과학기술원 기계공학과 교수
 관심분야: STEP, 가상현실 응용, 지능형 CAD