

# 다감각의 운동감을 갖는 가상현실 효과 시스템의 설계 및 통합

유병현\*<sup>1</sup>, 한순흥\*

Design and Integration of VR Effect System  
with Multi-sensory Motional Display

Byounghyun Yoo, Soonhung Han

## Abstract

가상현실 시뮬레이터는 교육과 지식의 전달을 위한 도구로 발전하고 있으며, 과학교육 및 문화체험을 위한 첨단과학전시시스템의 수요가 증가하고 있다. 동역학적 계산을 기반으로 하는 기존의 가상현실 시뮬레이터는 콘텐츠의 변경이 어려운 단점이 있으며, 효과적인 지식전달 및 흥미 유발을 위해서는 운동감뿐만 아니라 다감각을 동원한 체감 시스템이 필요하다.

본 연구에서는 체감형 전시 시스템에 적합한 운동감 생성 방법과, 다감각 동원 가상현실 효과 시스템을 설계하고 통합하였다. 제안된 방법은 영상의 시점변화를 기반으로 한 운동감 생성과, 미리 저장된 모션 라이브러리를 이용한 운동감 효과를 동시에 적용할 수 있으며, 관객의 상호작용에 의한 운동감 효과를 쉽게 추가할 수 있다. 관객의 다양한 감각을 이용한 가상현실 효과를 위하여 체감형 전시 시스템에 적합한 다양한 다감각 효과의 적용 방안을 모색하고, 효율적인 다감각 효과를 선정하여 실제 시스템에 적용하였다. 이를 통하여 체감형 전시를 위한 가상현실 효과 시스템의 기본 구조를 정립하였다.

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

\* 한국과학기술원 기계공학과 yoo@kaist.ac.kr<sup>1</sup>

## 1. 서론

과학기술문화 체험을 통한 지식전달을 위해서는 다양한 감각을 자극할 수 있는 체감형 전시 장비가 필요하다.

기존의 가상현실 시뮬레이터는 동역학적 계산이 중심이 되어, 승용구를 모델링한 동역학 지배 방정식의 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 승용구의 시뮬레이터의 연구는 오래전부터 지속되고 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 중형항공기 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 라이브러리만을 제시

하여, 수동적인 라이딩 필름 방식의 고화질 영상과 함께 사용하지 못하는 문제점이 있다. 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 진행되고 있다.

본 연구는 과학기술문화체험 가상현실 전시기술 개발을 위한 것으로, 인체탐험 콘텐츠에 적용하기 위한 운동감 생성 방법과 다감각 가상현실 효과 프레임워크의 개발을 내용으로 한다.

## 2. 운동감 생성 시스템

### 2.1 운동감 생성 방법

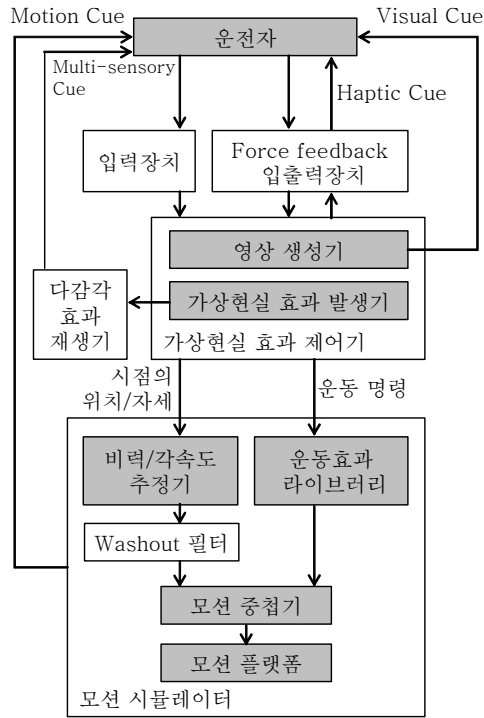
운동감을 생성하기 위해서는 시뮬레이션의 대상이 되는 객체의 움직임을 알아야 하고 이를 모션 플랫폼으로 표현하여야 한다. 기존의 운동감 생성에는 일반적으로 승용구의 동역학 모델을 포함한 운동 방정식이 이용된다[4].

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

대부분의 극사실 영상은 1인칭의 스토리텔링(storytelling) 방식을 사용하기 때문에 카메라의 움직임과 승용구의 움직임이 유사한 특성을 이용하면 가상 객체의 움직임을 유추할 수 있다. 본 연구의 가상현실 효과 시스템은 그림 1과 같다.

시뮬레이터의 특성상 3차원 공간을 자유롭게 운동하는 가상객체의 운동을 모션 플랫폼의 제한된 선형운동과 회전운동으로 재현하기 위해서는 가상공간에서의 객체의 운동을 모션

플랫폼 위의 운동으로 변형해주는 washout 필터가 필요하다. 본 연구에서는 계산속도가 빠르고, 각 방향별 계수의 독립적 조절이 가능하여 직관적 튜닝이 가능한 classical washout 필터를 사용한다.



<그림 1> 가상현실 효과 시스템의 흐름도

카메라의 움직임으로부터 객체의 운동을 추정하기 때문에, 영상에는 빠져있는 다양한 움직임 효과들을 보상하는 것이 필요하다. 이를 위하여 운동효과 라이브러리 사용하고 카메라에 의한 움직임과 운동효과를 중첩하여 운동감을 증강한다.

## 2.2 실시간 운동감 생성

고화질 영상으로부터 카메라의 위치정보를 받아 실시간으로 운동감을 생성한다. 이를 위해서는 6자유도의 카메라정보를 운동감 생성에 필요한 비력과 각속도로 변형하여야 한다.

일반적으로 영상의 카메라 파라미터는 카메라의 위치( $x, y, z$ )와 오일러 각 (Euler angles) ( $\theta, \phi, \psi$ )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.

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

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

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

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

```

get Pos(x, y, z), Ang(θ, φ, ψ), 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(θ, φ, ψ), F)
    
```

<그림 2> 카메라의 위치 및 자세 정보로부터 비력을 추정하기 위한 pseudocode

```

get Ang(θ, φ, ψ), 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(θ, φ, ψ), angular_velocity_local)
    
```

<그림 3> 카메라의 자세 정보로부터 각속도를 추정하기 위한 pseudocode

그림 2와 그림 3은 비력과 각속도를 추정하기 위한 pseudocode 이다.

### 2.3 모션 라이브러리

모션 라이브러리는 두 가지 측면에서 사용된다. 첫째, 동역학 엔진을 사용하지 않기 때문에 부족한 운동감을 증강하기 위하여 운동효과를 추가하는데 이용된다. 둘째, 인터랙티브 방식의 문화 콘텐츠의 시연에 필요한 이벤트적인 운동감을 생성하기에는 모션 라이브러리가 효과적이다.

#### 2.3.1 모션 라이브러리 구축

모션 라이브러리에 사용될 데이터는 실제 대상을 샘플링(sampling) 하거나, 가상 모델에 대한 인위적인 운동방정식에 의해 계산하여, 데이터베이스에 저장한다.

체험 콘텐츠가 가상 모델을 이용하는 경우, 주어진 운동변수들을 방정식으로 나타낸 후

일정한 간격으로 샘플링하고, 실제 시뮬레이션 과정을 통한 튜닝(tuning) 단계를 거친다.

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

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

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

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

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

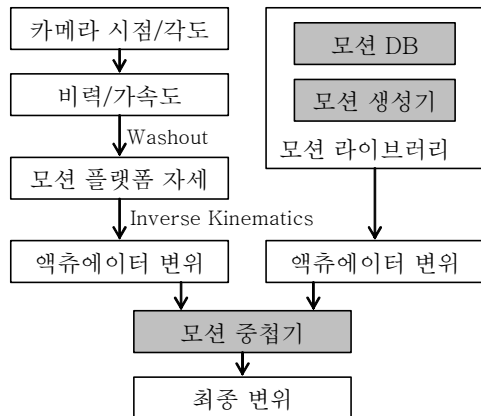
$W$  는 0.1ms 단위의 주기를 나타내며,  $M$  은 운동효과의 진폭을 의미한다. 각 파라미터를 조절함으로써 포격에 대한 운동효과의 특성을 조절할 수 있다.

### 2.3.2 모션 라이브러리 호출

운동에 대한 요구를 얻는 과정은 운동에 관한 제약조건(constraint)을 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. 샘플링된 데이터를 직접 가져오거나, 파라메트릭 화하여 저장된 식에 운동 변수를 대입하여 단위 모션을 생성한다. 이를 제공받은 운동 조건(주기, 강도)을 사용하여 일정 기간 동안의 모션 데이터로 연결된 모션 스트림을 생성하여 모션 중첩기로 보내준다.



<그림 4> 모션 중첩과정의 흐름도

## 2.4 모션 중첩

운동감은 카메라의 움직임에 의한 거시적인 운동감과, 체험 콘텐츠의 특성에 따라 부수적으로 발생하는 운동감 효과의 두 가지 측면으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 카메라에 의한 거시적 움직

임과 이벤트에 의하여 발생하는 미시적인 운동감 효과를 선형 중첩하였다.

운동감의 중첩은 비력/각속도, 모션 플랫폼의 자세, 액추에이터의 변위의 3가지 물리량에서 각각 중첩하는 것이 가능하다. 이들 중 액추에이터의 변위를 중첩하는 것이 가장 계산이 간단하고, 중첩과정에서 직관적인 튜닝과 과도한 움직임의 필터링이 가능하다.

그림 4는 액추에이터의 변위량을 기준으로 한 모션 중첩과정의 흐름이다.

## 3. 다감각 가상현실 효과

### 3.1 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.

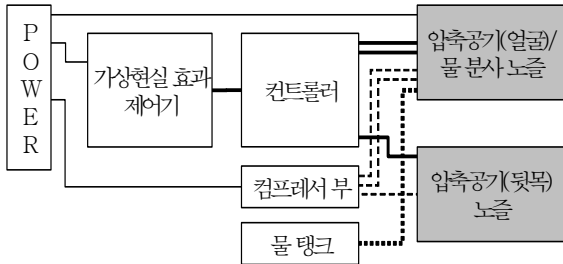
일반적으로 체감형 시뮬레이터에서 현실감을 증강하는데 효과가 있는 가상현실 효과는 다음과 같다. 1-조명, 2-바람, 3-물, 4-진동, 5-Leg\_tickler, 6-안개, 7-레이저, 8-스트로브, 9-향기, 10-Seat\_drop.

이중 수동방식의 라이딩 과정과 게임과 같은 사용자 상호작용에서 증강효과가 큰 바람과 물 효과를 선정하여 가상현실 효과로 적용하였다.

### 3.2 가상현실 효과 적용

바람과 물 효과는 체험자의 얼굴 주변을 위주로 재현하여 증강효과를 도모한다. 물과 바람의 가상현실 효과를 위한 재현 장치의 구성은 그림 5와 같다.

물과 바람효과의 분사 시간을 파라미터화 하여 가상현실 효과 제어기에서 제어할 수 있도록 하였다. 분사 시간을 10ms 단위로 조절하여, 라이딩 효과에 필요한 지속적인 분사와, 인터랙티브 모드에 필요한 이벤트적인 분사효과를 제작하였다.

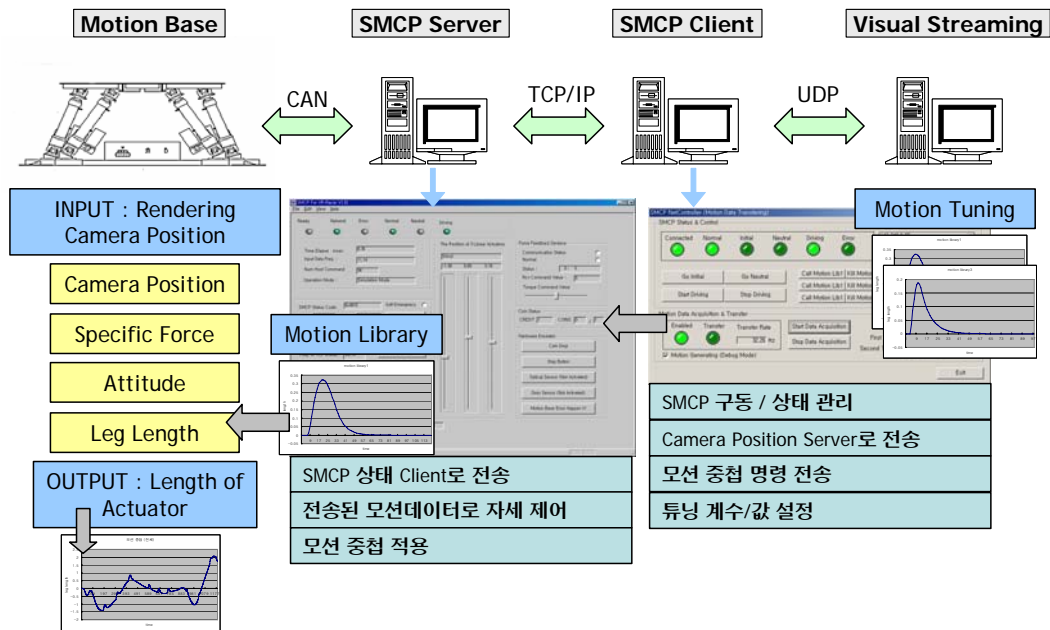


<그림 5> 물/바람 가상현실 효과 재생기

### 3.3 시물레이션 통합 및 적용

다감각 가상현실 효과를 3자유도를 가진 hanging 타입의 Inverted CX1 기종과 6자유도의 stewart 플랫폼에 적용하였다.

그림 6은 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 시물레이션을 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 6> 적용된 가상현실 시물레이터의 구조도

## 4. 결론

본 연구에서는 체험 콘텐츠의 카메라 정보에 기반을 둔 운동감 생성 방법과 다감각 가

상현실 효과 프레임 워크를 제시하였다. 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.

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, 큐의 추가로 인한 교육 및 체험효과 상승 판단 기준 마련.

## 후기

본 연구는 과학기술부 ‘과학기술문화 체험 전시기술 연구사업’ 및 정보통신부 ‘대학 IT 연구센터 육성지원사업’의 지원으로 수행 되었습니다.

## 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 차량시뮬레이션 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