

# 모션 데이터베이스 및 운동감 합성을 이용한 차량 시뮬레이터

차무현<sup>1</sup>, 한순홍<sup>2</sup>  
한국과학기술원 기계공학과  
{mhcha<sup>1</sup>,shhan<sup>2</sup>}@kaist.ac.kr

## A Driving Simulator based on Motion Database and Motion Blending

Moohyun Cha<sup>1</sup>, Soonhung Han<sup>2</sup>  
Department of Mechanical Engineering  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

### 요약

가상환경의 실시간 운동감을 제공하는 차량 시뮬레이터 기술에 있어, 그 현실성 제고를 위한 다양한 연구가 수행되어 왔으며, 최근에는 실제 대상의 운동감을 기록하고 이를 재생하는, 데이터기반 운동감 생성 시스템이 개발되었다. 이 방법은 실제 운동감을 제공하므로, 현실성 확보가 용이하나, 사용자와의 상호 작용이 없는 단순한 가상 콘텐츠의 제공 단계에 머물고 있다. 본 연구에서는, 컴퓨터 그래픽스 분야에서 활발히 연구되고 있는, 모션 캡처 데이터의 가공 및 합성 기술을 차량 시뮬레이터 구동 과정에 도입하여, 제어가 가능한, 실 데이터 기반 운동감을 생성하는, 새로운 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은, 실제 차량의 운동데이터를 획득하고, 적절한 형태의 데이터 구조(운동감 조각)로 변환하여 데이터베이스에 저장하며, 실시간 시뮬레이션 시, 최적의 운동감 조각을 검색하고 합성하여 운동감 스트림을 제공하는 방법으로서, 현재의 시뮬레이션 상태 및 사용자의 요구 사항을 매개변수화 하여, 현실과 가장 가까운 운동감 생성방법을 제공한다. 또한, 차량 운동감 생성 시스템의 개발 및 모션 베이스 구동 실험을 통해, 제안한 방법에 의한 운동감의 현실성 제고 방안에 대해 소개하고자 한다.

Keyword : VR, Simulation, Driving Simulator, Motion generation, Motion Database

## 1. 서론

Driving Simulator 또는 Vehicle Simulator 라 불리는 차량 시뮬레이터는 조향, 액셀레이터, 브레이크 등의 운전조작으로, 차량의 운동감을 재현하여 운전자에게 전달하는, 가상현실(VR) 제공 장비이며, 운전조작 시스템(Cockpit System), 시나리오 제어 시스템(Scenario Control System), 모션 생성 시스템(Motion Generation System), 모션 베이스 시스템(Motion Base System), 그래픽 및 음향 시스템(Graphic/Audio System)등으로 구성되어 있다[3,5].

이 중, 운전조작과 시나리오 제어에 의해, 차량의 운동을 생성하는 운동감 생성 과정은, 보통 차량 동역학 모델링 및 운동방정식 계산과정으로 구

현된다[3,5,6]. 또한 최근에는, 이러한 전통적인 방법 외에도, 현실감을 증대 시키거나 기존의 시스템에 병행 적용할 수 있는, 다양하고 새로운 운동감 생성법이 연구되고 있다. 이 중, 실제 탑승체의 주행 운동감을 획득하고, 이를 시뮬레이터 운동감 재현에 사용하는 데이터 기반 시스템의 경우, 실제 운동감을 제공하므로, 현실성 확보가 용이하나, 사용자와의 상호 작용이 없는 단순한 가상 콘텐츠의 제공 단계에 머물고 있다. [14]

그런데, 컴퓨터 그래픽스의 캐릭터 애니메이션 분야에 있어서는, 약 10 년 전부터 자연스러운 인간의 동작을 모사하기 위해, 동작 캡처(Motion Capture, Mocap)가 널리 사용되어져 왔으며, 최근에

는 동작 캡처를 아바타에 그대로 적용하는 단계를 뛰어 넘어, 모션 데이터 베이스를 활용한 동작의 적극적인 합성 및 효율적인 제어에 관한, 다양한 연구가 수행되고 있다[4,7,8,9,10].

본 연구에서는, 위와 같이 인간의 동작을 캡처하고 합성하여, 자연스럽게 제어 가능한 움직임을 재현하는 일련의 기법들을, 데이터 기반 차량 시뮬레이터에 적용하여, 현실성 높은 데이터를 그대로 활용할 수 있는 장점을 살리면서, 운전자의 제어 요구에 반응하여, 상황에 적절한 운동감을 능동적으로 생성할 수 있는, 새로운 운동감 생성법을 제안하고자 한다.

## 2. 데이터 기반 운동감 생성의 개요

본 연구에서 제안하고자 하는, 데이터 기반 운동감 생성의 전체적인 과정을 그림 1에 도식화 하였다. 이 과정은, 먼저 오프라인 절차로서, 차량의 주행정보를 획득하여 운동감 데이터베이스(Motion Database)를 구축하는 과정(Pre-Processor)과, 실시간 시뮬레이션 시, 미리 구축된 운동감 데이터베이스로부터, 운전자와 상호작용하는 운동감을 생성하는 온라인 과정(Motion Blending)으로 구성된다.

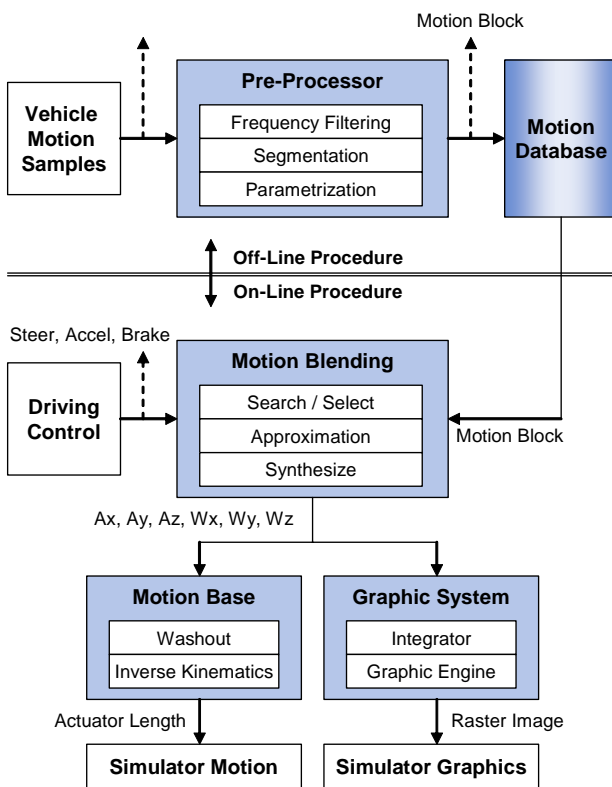


그림 1. 데이터 기반 운동감 생성 과정

먼저, 운동감 데이터베이스를 구축하는 과정에서는, 현실 세계에서 운동을 발생시켜 인간의 운동 감각을 자극하게 되는 탑승체로부터, 운전 조작 명령 및 6 자유도 동적 운동량을 측정하여 특정 차량에 대한 주행 정보를 수집한다. 이 데이터는 노이즈 제거 및 서로 다른 동적 특성을 분리하기 위해 주파수대에 따른 분리 과정(Frequency Analysis)을 거쳐 특징 운동감(Feature Motion)을 추출하며, 일련의 데이터 스트림을 시간축에 따라 적절히 분할(Segmentation)하여 다수의 운동감 조각으로 나누게 된다. 이 운동감 조각에는 동적 운동량 뿐 아니라, 함께 측정된 운전 명령 신호가 저장되어 있으며, 실시간 검색의 효율성을 위해, 매개변수화(Parametrization) 및 전처리 과정(Pre-Calculation)을 거쳐 데이터베이스에 저장되게 된다.

또한, 실시간 시뮬레이터 구동 시에는, 위에서 구축된 모션 데이터베이스에서, 현재 운전조작 및 시뮬레이션 상태를 고려한 최적의 운동감 조각을 검색(Search)하게 된다. 이렇게 얻어진 운동감 조각을 사용하여, 운전자 명령에 의한 운동감 생성을 위해, 저주파 데이터를 시간축에 대해 합성(Synthesis)하거나, 차량 진동 및 지면 상황으로부터 야기되는 운동감 생성을 위해, 고주파 데이터를 공간축에 대해 합성(Texturing)하게 된다. 결과적으로, 이런 운동감 조각들을 서로 부드럽게 연결하여, 운동감 스트림(Motion Stream)을 생성하게 되며, 이 데이터는 시뮬레이터 구동을 위해 모션 베이스 시스템에 전달되거나, 그래픽 시스템에 전달되어 그래픽 이미지를 생성하게 된다.

## 3. 운동감 데이터베이스

우리가 획득하고자 하는 차량 주행 데이터 중 가장 중요한 것은, 차량 강체의 동적 운동량을 나타내는 6 자유도 운동 데이터(Driving Motion), 속력 및 차량의 동적 거동을 직접 제어하는 운전자의 운전 제어 데이터(Driving Control)이다. 또한, 이러한 차량의 거동은 외부 주행 환경(도로표면의 종류, 경사도, 충돌, 공기저항 등)에 의해서도 영향을 받을 수 있으므로, 외부 운전 환경(Driving Environment)에 대한 데이터도 획득하여야 하지만,

본 연구에서는 도로 표면 정보만을 획득하여 적용하고자 하며, 도로의 굴곡(경사), 충돌 등의 환경 변수들은 추후 연구로 남겨 두고자 한다. 표 1은 이러한 차량 주행 데이터의 구조를 정의하고 있다.

Category	Field	Description
Driving Motion (차량의 거동)	Ax (Surge)	병진 가속도(x)
	Ay (Sway)	병진 가속도(y)
	Az (Heave)	병진 가속도(z)
	Wx (Roll)	회전 각속도(x)
	Wy (Pitch)	회전 각속도(y)
	Wz (Yaw)	회전 각속도(z)
	Speed	차량의 속도
Driving Control (운전 제어)	Accelerator	가속 페달의 깊이
	Brake	감속 페달의 깊이
	Steering	조향 각도
Driving Environment (운전 환경)	Event1	도로 표면의 종류
	Event2	굴곡(경사), 충돌 등

표 1. 차량 주행 데이터 구조 정의

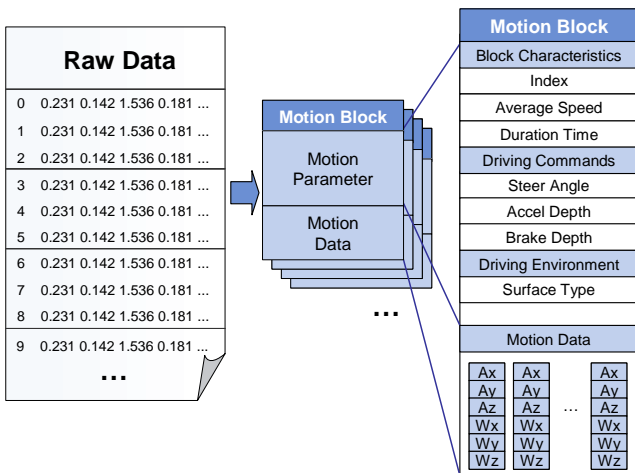


그림 2. 운동감 조각(Motion Block) 데이터 구조

차량 주행으로 획득된 연속적인 운동 데이터들은, 최소한의 연속성을 유지하고, 실시간 시뮬레이션 속도를 만족하며, 운전 제어에 따른 선택 및 합성을 위해, 수 개의 단위(프레임)로 집산화 하여, 분할될 필요가 있다. 본 연구에서는, 이 그룹의 단위를 운동감 조각(Motion Block)이라 정의하여 사용하였다. 그림 2는 차량 주행 정보를 분할하여

생성된 운동감 조각의 데이터 구조를 보여주고 있다. 운동감 조각은, 실시간 비교 검색을 위한 매개 변수 영역과, 실제 차량 운동 데이터를 저장하는 운동감 데이터 영역으로 구성된다.

#### 4. 실시간 운동감 합성

운동감 데이터베이스로부터 실시간 운동감 스트림을 생성하기 위한 첫 번째 단계는, 데이터베이스에 저장된 운동감 조각 매개변수와 비교하게 될, 동일한 시간 간격의 실시간 운전 조건 매개변수를 획득하는 것이다 이를 위해, 시뮬레이터에 탑승한 운전자로부터, 조향각, 가감속기 깊이 등의 운전 조작 명령을 주기적으로 수집하고, 시뮬레이션 소프트웨어로부터 계산되는 차량의 속도 및 주행 환경 데이터를 실시간으로 획득한다.

두 번째 단계인 최적 운동감의 선택은, 현재의 운전상황 및 운전자의 제어 입력을 최대한 반영하는, 가장 유사한(Similar) 운동감 조각을 검색하는 과정이다. 이때, 시스템의 성격상, 이전 운전 조작 명령의 변화 상태에 의해서도, 현재의 거동 특성이 달라 질 수 있기 때문에, 바로 직전 조각과의 매개변수 연속성(Continuity)도 고려해야 한다. 또한, 샘플링된 데이터의 집합은 샘플링 순서대로 재생하는 것이 가장 자연스럽기 때문에, 직전 조각과의 연결성(Connectivity)도 고려해야 한다. 마지막으로, 운동감 조각 분할에서의 기본 가정이었던, 매개변수의 선형성을 보장하기 위해, 비선형 매개변수를 포함하는 운동감 조각은, 그 우량성(Quality)이 낮다고 판단하여 우선순위에 낮게 책정하였다. 이를 위해, 운동감 조각 매개변수의 유사성, 연속성, 연결성, 우량성 등을 모두 반영하는 선택비용 평가함수(Selection Cost Evaluation Function)를 정의하여 사용하였으며, 표 2에서는 전체적인 최적 운동감 선택 알고리즘에 대해 설명하고 있다.

운전 조건 매개변수를 통한, 최적의 운동감 검색 및 선택 알고리즘은, 데이터베이스에 원하는 운동감 조각이 존재할 경우 가장 효과적이지만, 만약 주어진 한계(threshold)내에서 검색하지 못할 경우, 곡선 맞춤(Curve Fitting)에 의한 근사 및 최

소자승법에 의한 보간을 적용하거나, 검색 조건 한계(threshold)를 완화하여 다시 검색하는 방법을 사용하였다.

Algorithms for Selecting the Best Motion Block	
1. Obtaining Motion Demands	- 실시간 운전 조건 매개변수 획득
2. Searching Similar Candidates	- 매개변수와 흡사한 운동감 조각 후보 검색
3. Evaluating Selection Cost	- 선택 비용 평가 수행
4. Choosing Best Motion Block	- 최소 선택비용 운동감 조각 선택

표 2. 최적 운동감 선택 알고리즘



그림 3. 실험 장비 및 주행 테스트

분할 및 선택에 의해 생성된 운동감 조각은, 그 순서가 원래 샘플링 단계의 순서와 일치하지 않으므로, 서로 연결 시, 급작스러운 변화가 일어날 수 있다. 따라서, 이런 현상을 방지하기 위해, Motion Waring 기술을 사용하였으며[2], 그 합성 함수로서 수식 1 와 같은 Cosine 함수를 적용하였다.

$$s(t) = \frac{d(t)}{2} \left( \cos \frac{\pi}{N-1} t + 1 \right), t = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

수식 1. 본 연구에 사용된 합성함수

### 5. 시스템의 구현

먼저, 차량 주행 데이터를 샘플링하기 위해, 그림 3 과 같은 실험 장비를 구성하여 사용하였다. 6 자유도 운동 데이터의 경우, 3 축 가속도 센서와 3 축 자이로 센서가 함께 내장된 DMU(Dynamics Measurement Unit) 장비를 사용하였으며, 운전 제어 데이터의 획득을 위해, 케이블 타입 변위센서 3 개를 차량의 핸들, 액셀레이터 및 브레이크 페달에 설치하여 사용하였다.

실차 주행 실험은 자동차 부품연구원(KATECH)의 주행성능시험장 (PG, Probing Ground)에서 수행하였으며, 아스팔트 직선 주행로 및 9 가지 종류의 특수 시험로에 대한 데이터를 획득하였다.[17]

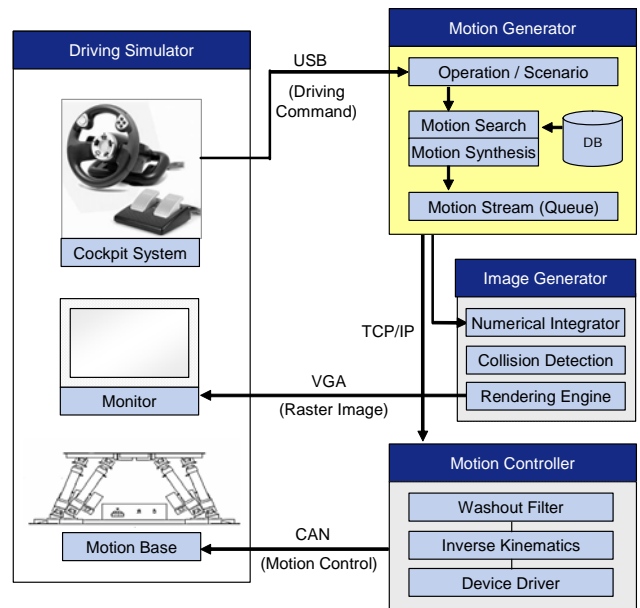


그림 4. 차량 시뮬레이터 시스템 구성도

본 연구에서 제안한, 운동감 분할과 합성 기반의 운동감 생성 시스템을 검증하기 위해, 차량 시뮬레이터 시스템을 구성하였으며, 그 구성도를 그림 4 에 나타내었다. 그래픽 시스템은 오픈 소스 기반의 레이싱 게임 소프트웨어인 프랑스의 TORCS(The Open Racing Car Simulator, v.1.2.4)를 사용하였고[16], 모션 베이스 시스템으로는 (주)시물라의 DSMCP608 기종을 적용하였으며[15], 데이터 기반 운동감 생성 모듈(Motion Generator)을 개발하여 TORCS 에 삽입하였다.(그림 5)





그림 5. (주)시물라인 DMCP608

명칭	Motion / Image Generator	Motion Controller
주요 기능	Motion Blending Image Generation Scenario Control User Input Database	Washout Filter Inverse Kinematics Hardware Control
설치 S/W	TORCS, MySQL, SMCP Client, Motion Generator	SMCP Server
CPU	P4 2.4 GHz	P3 800 MHz
RAM	512M DDR	128M SDRAM
HDD	120G IDE (7.2K)	20G IDE (5.4K)
OS	Windows 2000	Windows 98

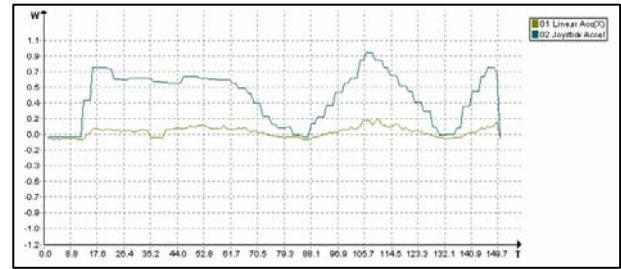
표 3. 차량 시뮬레이터 구동용 PC

전체 시스템은, 운동감 생성기/그래픽 생성기/시나리오 제어기/데이터베이스를 포함하는 운동감 생성 서버와, 모션 베이스를 제어하기 위한 운동감 제어 서버, 총 2 개의 서버로 구성하였으며, 추후 시뮬레이션 성능을 위해 분산 시스템으로 구축할 필요가 있다. 표 3 에서는, 본 연구의 차량 시뮬레이터 시스템에 적용된, 각 PC 의 주요 기능 및 사양을 나타내었다.

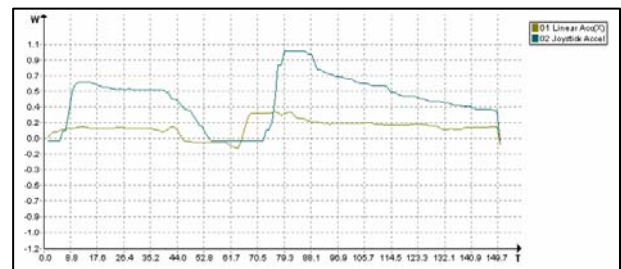
## 6. 실험 및 결과

그림 6 과 같이, 기존의 동역학 기반 운동감 생성 결과와 데이터기반 방식에 의한 결과를 그래프로 비교하였으며, 운전 제어 입력에 대한 운동감 출력 관계를 확인할 수 있다. 그림 7, 8 에서는 여러 가지 형상의 표면으로 이루어진 특수 도로에 대한 운동감 실험 결과 중, 벨지안로에 대한 시뮬레이션 캡처 사진 및 운동감 그래프를 나타내었으며, 실제 샘플링된 노면의 진동이 원활히 합성되

고 있음을 알 수 있다.



(a) 동역학 기반



(b) 데이터 기반

그림 6. 일반 도로 주행 운동감 곡선

(Yellow: Ax, Green: Accel)



그림 7. 특수 도로(벨지안로) 주행 사진

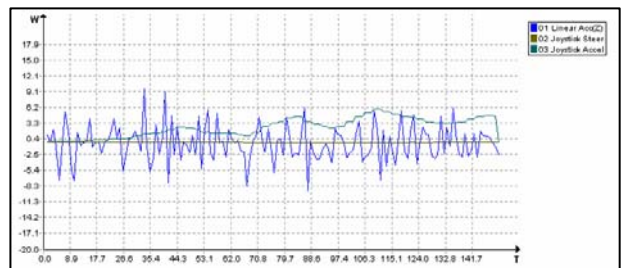


그림 8. 특수 도로(벨지안로) 주행 운동감 곡선

(Blue: Az, Green: Accel, Yellow: Steer)

시뮬레이터 탑승 테스트에서는, 동역학 시스템의 경우, 그래픽 동기화가 뛰어나, 현실감이 만족스럽지만, 실제 차량 고유의 운동감이 아닌, 임의로 생성된 운동감이라는 측면이 강하게 느껴졌다. 모델링에 기반한 운동감 재현이 아닌, 데이터 기

반 시스템의 경우, 샘플링 데이터의 부족 및 외부 환경 변수(충돌 등)의 제외로 인해, 특정 영역에서의 동기화 문제가 발생되었고, 이로 인해 그래픽 현실감이 약간 떨어지게 되었다.

하지만, 운전 제어와 같은 주된 운동감의 생성은 동역학을 적용하고, 실제 모델링에 의해 표현하기 힘든, 차량의 특징 고주파 운동감의 경우는, 샘플링된 데이터베이스를 활용하는, 하이브리드 방식의 경우, 거의 모든 측면에서 만족할 만한 현실감을 얻을 수 있었으며, 데이터 기반 방식의 유용성을 확인할 수 있었다.

또한, 본 연구의 운동감 생성 수행 시간을 측정하였으며, 데이터베이스 내의 운동감 조각의 개수(일반도로 4679, 특수 도로 210)에 따라, 그 차이가 발생할 수 있었지만, 멀티쓰레드 내에서 200ms 단위로 발생하는 운동감 생성 요구에 대해, 그 주기보다 훨씬 작은 수행 시간(평균 17.9ms)을 나타내었으며, 실시간 성능을 확보했다 할 수 있다.

## 7. 결론

본 연구에서는, 운동 시뮬레이터의 현실감 제고를 위해, 실제 샘플링된 데이터를 사용하는, 데이터 기반 운동감 생성시스템을 제안하였다. 상호작용을 배제한, 단순한 재생 기반의 운동감 제공 방식을 개선하여, 캐릭터 애니메이션 분야의 모션 생성 기술과 같이, 사용자 제어가 가능하고 현재 요구사항을 가장 잘 반영할 수 있는 운동감 생성 방식을 제안 하였으며, 그 핵심적인 과정은, 운동감 데이터베이스(Motion Database)를 활용하여, 실시간 최적의 운동감 조각을 검색, 선택, 합성하는 과정이라 할 수 있다.

결과적으로, 제안한 운동감 생성 방식의 실시간 제어 가능성을 확인하였으며, 기존의 전통적인 방법으로 생성된 운동감과, 본 연구에서 제안한 방식에 의한 특징 운동감을, 시스템의 목적에 맞도록 적절히 병행하는 하이브리드 방식이, 현실감 제고를 위한 효율적인 시스템 구성 방안임을 확인할 수 있었다.

\* 본 연구는 ‘대학 IT 연구센터 육성 지원사업’의

연구결과로 수행 되었습니다.

## 참고문헌

1. A.Bruderlin and L.Williams, "Motion signal processing", SIGGRAPH 95, 29:97-104, 1995.
2. A.Witkin and Z.Popović, "Motion warping", SIGGRAPH 95, 29:105-108, 1995.
3. 김영삼, "차량 시뮬레이터 운용을 위한 실시간 차량 시뮬레이션 시스템 개발", 석사학위논문, 국민대학교 대학원, 1998
4. Jehee Lee and Sung Yong Shin, "A Hierarchical Approach to Interactive Motion Editing for Human-like Characters", Proceedings of SIGGRAPH 99, 39-48, 1999.
5. 한국기계연구원, "6축 운전모사 시스템 개발", 최종보고서, 과학기술부, 2000.
6. Dong-Soo Kwon, Gi-Hun Yang, Chong-Won Lee, Jae-Cheol Shin, and et al, "KAIST Interactive Bicycle Simulator", Proceedings of the IEEE ICRA2001, 2001.
7. Arikan O and Forsyth DA. "Interactive motion generation from examples", Proceedings of SIGGRAPH 2002, 21(3): 483-490, 2002.
8. J. Lee, J. Chai, P. Reitsma, J.K. Hodgins, and N. Pollard, "Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data", Proceedings of SIGGRAPH 2002, 21(3): 491-500, 2002.
9. Kovar L., Gleicher M., and Pichin F., "Motion graphs", Proceedings of SIGGRAPH 2002, 2002.
10. Pullen K. and Bregler C., "Motion capture assisted animation: Texturing and synthesis", Proceedings of SIGGRAPH 2002, 501-508, 2002.
11. 홍정모, "시뮬레이터형 게임을 위한 운동감 효과 라이브러리", 석사학위논문, KAIST, 2002.
12. 차무현, 유병현, 한순홍, "가상 현실 운동감 효과를 위한 모션 중첩", 한국정보과학회 HCI 2005 학술대회 논문집, 2005.
13. SNU Movement Research Lab, <http://mrl.snu.ac.kr/>
14. (주)AR-Vision, <http://www.ar-vision.com/>
15. (주)시물라인, <http://www.simuline.com/>
16. TORCS, <http://torcs.sourceforge.net/>
17. 자동차부품연구원, <http://www.katech.re.kr/>