

가상 현실 운동감 효과를 위한 모션 중첩

차무현¹, 유병현², 한순홍³
한국과학기술원 기계공학과
{mhcha¹,yoo²,shhan³}@kaist.ac.kr

Motion Blending for VR Simulator

Moohyun Cha¹, Byounghyun Yoo², Soonhung Han³
Department of Mechanical Engineering
Korea Advanced Institute of Science and Technology

요약

운동 시뮬레이션 기술에 있어 운동감의 생성은, 일반적으로 대상 오브젝트의 운동에 대한 동역학적 계산에 의해 이루어진다. 사실적 운동감 효과 생성을 위해 보다 정밀한 수치 계산이 필요하지만, 많은 비용이 요구되며 실시간 시뮬레이션 기술의 적용에 어려움이 있다. 하지만 보다 현실적인 운동감 생성을 위한 요구는 계속되고 있으며, 이를 극복할 수 있는 여러 방안이 연구되고 있다. 이중 미리 생성된 다양한 모션 데이터(샘플)들을 서로 혼합하여, 실시간 운동감 효과를 재현하는 방법을 모션 합성(Motion Blending)이라 한다. 미리 계산되거나 샘플링 된 모션 데이터를 기존 모션에 중첩(Superposition)하면, 복잡한 운동을 단순한 몇 가지 운동의 조합으로 표현할 수 있으며, 모션 데이터의 파라메트릭화를 통해 모션의 강도 및 주기를 자유롭게 제어할 수 있는 방법을 제공해 준다. 본 연구에서는 운동감 효과 재현을 실시간으로 구현하기 위해 샘플링에 의한 모션 데이터베이스 구축과 이를 중첩하는 Motion Blending 방법을 단계적으로 적용하여 가상현실 시뮬레이터에 응용하였다.

Keyword : VR, Simulation, Motion generation, VR Effects

1. 서론

사용자가 인위적인 가상의 환경에 몰입하여 실세계와 흡사한 체험을 가능케 하는 가상현실(virtual reality, VR)에 있어, 핵심적인 것이라 할 수 있는 것은, 인간의 감각 기관을 통해 전달되는 가상 효과들이 강한 몰입감을 제공하여, 이를 체험하는 인간과 자연스러운 상호작용이 가능한 환경을 조성하는 것이다.[03]

이런 가상환경을 인간에게 제공하기 위해 여러 가지 VR 장비들이 개발 되었고, 그 중 탑승 장비(vehicle)에 대해 인간이 느끼는 운동감을 재현해 주기 위한 시스템으로서, 운동판(motion platform)이라는 시뮬레이션 장비가 개발되었다. 이는 다수

의 자유도를 가지는 운동판의 회전 및 병진운동에 의해, 운동판에 탑승한 인간이 실세계에서와 비슷한 감각 자극을 받을 수 있도록 구현되어 있다.

운동판은 운동감 표현을 위해 실시간 시스템의 일부가 되는 컴퓨터 내에서, 탑승한 물체의 동역학 모델에 대한 복잡한 연산을 수행하게 된다. 이런 실시간 시스템의 경우 모델의 충실도 및 처리 속도는 항상 상충하게 마련이며, 좀더 사실적이고 구체적인 운동감을 표현하기 위해서는, 고가의 고성능 컴퓨터의 사용이 필요하거나 또 다른 방법으로 시뮬레이션을 위한 수학적 모델을 단순화 하여야 한다.[04] 모션 합성(Motion Blending)이란, 특정 모델에 대해 복잡한 여러가지 운동을 몇가지 가능성 있는 단순한 운동 요소의 합성으로 표현하

는 방법[13]으로, 실시간 시뮬레이션 기술의 문제점을 후자(모델의 단순화)의 방법으로 접근한다. 또는 실제의 운동을 측정(모션 캡처)하여 이들을 활용하는 방법으로, 그래픽의 텍스처 매핑처럼 오히려 동역학 계산보다 사실감 있는 운동효과를 낼 수 있다.

모션 합성은 가능한 모션을 샘플링하고 처리하여 모션 데이터베이스를 구축하는 과정, 실시간에서 모션에 대한 요구를 얻는 과정, 이런 요구를 반영하는 적절한 모션을 생성하여 운동관에 중첩하는 과정, 운동의 제약 조건을 반영하고 튜닝하는 과정 등을 포함하며, 본 논문에서는 (주시물과 인사의 3 자유도 운동관[07]에 간단한 운동 효과를 추가하기 모션 중첩을 구현하였고, 이 과정 중 모션 데이터의 파라메트릭화를 통한 모션의 강도 및 주기를 자유롭게 제어할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 관련 연구

2-1 Classical Motion Generation

가상환경을 제공하기 위한 실시간 시스템 중, 인간이 그 일부로 포함되는 MILS(man-in-the-loop simulation) 시스템에서 가장 대표적인 것이 다자유도 운동관 시뮬레이터이다. 운동관은 탑승한 물체에 대한 동역학 모델을 미리 생성하고, 이를 운동관의 물리적인 한계 내에서 해석하는 워시아웃(washout) 알고리즘을 통해, 운동관의 액츄에이터 길이를 변화시켜 여러 가지 운동 상황을 재현하게 되며, 결과적으로 인간의 전정기관(vestibular)과 촉각(haptic/tactual)을 자극하여 실제 운동효과를 재현한다.[01]

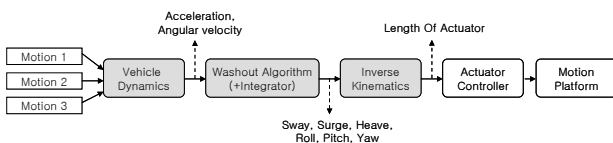


그림 1. Classical Motion Generation Procedure

[그림 1]은 기존 운동관의 제어 과정을 보여준다. 동역학 모델에 의해 생성된 가속도 및 각속도

는 워시아웃 알고리즘을 통과하면서 적분되어 운동관의 자세제어(Sway, Surge, Heave) 데이터를 생성한다. 이는 특정 운동관의 스펙에 따른 출력을 내기 위해 역기구학을 통과하게 되고, 결과적으로 운동관의 액츄에이터 길이로 변환된다.

이 중 워시아웃 알고리즘은 순간 가속도와 지속적인 가속도를 안정감 있게 표현하기 위해 고주파 및 저주파 필터를 적용하는 방식으로 구현 되는데, 진동과 같은 운동감을 표현할 경우 노이즈로 해석되므로, 부드럽게 필터링되어 문제가 된다.[02] 따라서 운동관의 운동을 좀더 사실적으로 표현하기 위해서는 정확한 동역학 모델링 뿐만 아니라 이런 다양한 조건들을 반영 할 수 있도록 워시아웃 알고리즘을 수정 및 튜닝하는 기술이 필요하다. 하지만 이런 작업은 실시간 시뮬레이션 표현에 있어 많은 양의 계산이 필요하며, 이는 인간의 감각 기관이 느끼는 운동감에 있어서의 지연이 발생할 가능성을 안고 있다.

2-2 Motion Blending

Motion Blending 은 근래 컴퓨터 애니메이션 분야에서, 인간의 자연스러운 동작을 재현하기 위해 연구가 진행되어 왔다.[13][14][15] 이는 복잡한 인간의 동작을 관절 모델링 및 동역학 계산이 아닌, 실세계에서의 모션 캡처 데이터를 기반으로 미리 생성된 동작들을, 특정 키 프레임 단위로 합성하는 방법이다. 이는 재사용 가능한 동작 단위를 미리 샘플링하고 이를 그래프에 저장한 후, 알고리즘에 의해 선택된 적절한 동작들을 실시간으로 검색해서 합성 및 보정하는 과정을 포함하며[13], 운동관 시뮬레이션 기술에 있어서 모션데이터의 샘플링 및 중첩과정에 효과적으로 적용 될 수 있다.

3. 운동감 효과를 위한 모션 중첩

탑승물체(또는 비행물체)의 실시간 모션 생성은 주로, 탑승자 뷰포인트 동영상(Ride Film 형식) 내부의 카메라 위치정보에 따라 Passive 운동감을 재현하는 과정과, 탑승자의 인위적인 조작 또는 돌

발적인 이벤트 상황에 의한 Interactive 운동감을 재현하는 과정이 모두 필요하며, 이는 동시에 구현되거나 부드럽게 전환되어야 한다. Interactive 운동감 재현은 탑승자의 명령 또는 주어진 상황에 따른 운동변수들을 입력 받아 모델에 반영하고, 이를 다시 운동판의 변위로 계산해 주는 과정이 필요하지만, 재 모델링 과정이 복잡하고 많은 연산 시간이 소요되어, 실시간 처리에 문제점으로 작용하게 된다. 본 연구에서는 Interactive 운동감 재현을 실시간으로 구현하기 위해 샘플링에 의한 모션 데이터베이스 구축과 이를 중첩하는 Motion Blending 방법을 적용하여 이를 해결하고자 한다.

[그림 2]는 Motion Blending 을 적용한 후의 시스템 구조이다. 지속적인 동역학 계산이 필요한 움직임에 대해서는 기존의 Classical 방법으로 제어하되, 순간적인 효과가 필요한 복잡한 움직임에 대해서는 미리 저장되어 있는 Motion2, Motion3 의 운동 데이터를 Motion1 의 변환 결과에 중첩하는 과정을 보여준다.

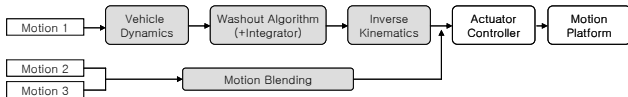


그림 2. Enhanced Motion Generation with Motion Blending

모션 합성(Motion Blending)기술을 운동판 시뮬레이터에 적용하기 위해서는 [그림 3]처럼 보통 5 가지 절차를 거친다. Motion Database 의 구축과정은 시뮬레이션 작동 이전에 미리 수행되며, 나머지는 실시간으로 이루어 진다.

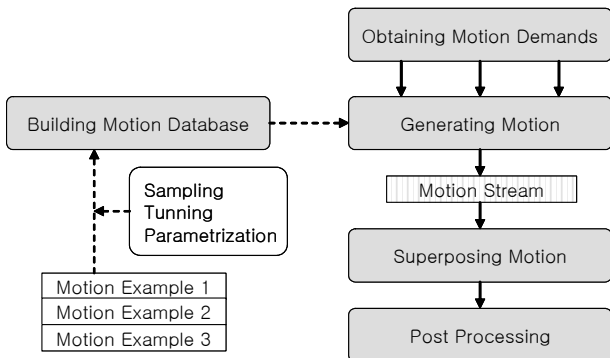


그림 3. Motion Blending Procedure. Motion Example

로부터 구축된 Motion Database 를 이용해 주어진 상황에 적절한 Motion Stream 을 생성.

3-1 Building Motion Database

모션 합성에 사용될 데이터는 실제 샘플링 (Sampling) 되거나, 가상 모델에 대한 인위적인 운동방정식에 의해 계산되어, 데이터베이스에 저장되어 있어야 한다. 실세계에서의 모션을 샘플링하기 위해서는, 가속도 및 각가속도 센서를 실제 운동하는 물체에 부착한 뒤 운동을 수행하며, 주어진 운동 변수 (자동차의 경우, 가속 페달 깊이 또는 핸들 각 변위)에 따른 결과를 운동판 제어 시스템에 맞게 액추에이터 작용 변위로 변환 된 후, 식별자와 함께 파라메트릭화하여(Parametrization) 저장한다. 가상 모델을 이용할 경우, 주어진 운동 변수 들을 운동방정식으로 나타낸 후 일정한 간격으로 샘플링하고, 실제 시뮬레이션 과정을 통한 튜닝(Tuning) 단계를 거친다..

3-2 Obtaining Motion Demands

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.

3-3 Generating Motion

제공받은 식별자로 모션 데이터베이스를 검색한 후, 최적의 모션을 생성하는 과정이다. 샘플링된 데이터를 직접 가져오거나, 파라메트릭화하여 저장된 식에 운동 변수를 대입하여 단위 모션을 생성한다. 이를 제공받은 운동 조건(주기, 강도)들을 사용하여 일정 기간 동안의 모션 데이터로 연결된 모션 스트림을 생성한다.

3-4 Superposing Motion

생성된 모션 스트림은 역기구학을 통해 전달된 운동판의 액추에이터 작용 변위에, 실시간으로 선형 합성된다. 이를 수행하는 과정은 동역학 계산, 위시아웃필터, 역기구학 계산이 제외되어 있으

로, 요구되는 운동감을 생성하고 반영하는데 실시간 처리의 효과를 기대할 수 있다.

3-5 Post Processing

위의 과정을 통해 합성된 액추에이터 작용은 그 범위에 대한 한계값 적용 또는 기타 자연스러운 동작 연결을 위해 변위에 대한 가속도 필터 적용 등이 필요하다.

4. 시뮬레이터 적용 구현 및 실험

(주)시물라인사의 3 자유도 운동판인 ‘Inverted CX1’의 운동감 생성 시스템을 소개하고, Motion Blending 기술을 적용하여 간단한 운동 효과를 재현하는 과정을 소개한다.

4-1 시스템 구조

Inverted CX1 은 [그림 4]와 같이 3 자유도 매달림형 운동판으로서, 시뮬레이터 명령 시스템과 구동 시스템이 Ethernet 을 통해 네트워크로 통신한다. 구동 시스템은 SMCP(Simuline Motion Control Program)라 불리는 운동판 제어 프로그램이, 100Hz 주기의 CAN 통신에 의해 액추에이터를 제어한다. 또한 명령 시스템은 구동시스템과 규격화된 네트워크 패킷을 TCP/IP 통신으로 주고 받으면서, 명령 또는 상태정보를 송수신한다.[07] 이 명령 시스템은 렌더링 시스템과 통합 되거나, 또 다른 네트워크 통신에 의해 서로 동기화 된다.



그림 4. (주)시물라인 매달림형 운동판 ‘Inverted CX1’

[그림 5]는 시스템의 전체적인 구조를 보여준다. 본 연구에서는 인체의 장기를 탐험하는 가상의 캡슐을 모델링하고, 운동중인 캡슐의 영상신호(카메라 위치)를 입력받아, Motion Platform 을 제어하는

SMCP 에 전달하여, 기본적인 비행 운동에 대한 시뮬레이션을 구현하였다. 이때, 포격, 충돌, 진동의 운동효과를 재현하기 위해 특정 시기에 SMCP Controller 가 SMCP 에 네트워크를 통한 운동 효과 명령을 주게 되고, 구동 시스템(SMCP)은 샘플링된 모션 데이터를 적절히 합성하여 운동판에 반영한다.

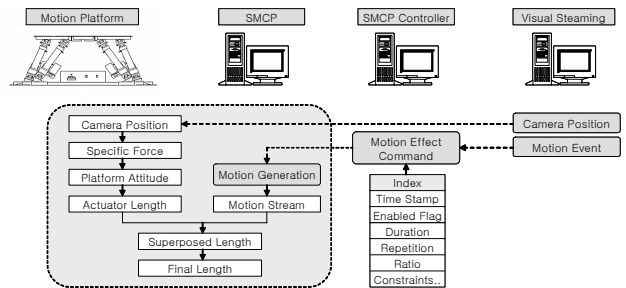


그림 5. Motion Blending 구현을 위한 시스템 구성도. 지속적인 Camera Position 데이터는 기존의 Washout 필터를 통해 액추에이터 길이로 변환되며, 순간적인 Motion Event(충돌, 포격)발생시 Motion Effect 호출 명령을 네트워크 패킷에 담아 전달하여 SMCP 내부에서 Motion Stream 을 생성.

4-2 모션 데이터베이스 생성

가상의 캡슐은 실세계에서 샘플링하는 방법이 불가능 하므로, 가상 모델링을 통한 운동방정식의 계산에 의해 운동 데이터를 샘플링한다. 이번 연구에서는 간단한 진동효과 (포격, 충돌 포함)를 구현하기 위해, 주기적인 Sine 파를 응용해서 확장 가능한 진동효과 생성 함수를 개발하였다.

$$Y = M \sin [2\phi X / (100/125W)]$$

$$(X : 0 \sim W/5, M : 0.01 \sim 0.1)$$

$$Y = M <0.5 + 0.5 \sin \{ [2\phi X / (100 / 125W)] / 2 + \phi/4 \} >$$

$$(X : W/5 \sim W, M : 0.01 \sim 0.1)$$

식 1, 진동효과 재현 함수

식에서 M 은 운동효과의 Magnitude 를 나타내며, W 는 10 분의 1 milli-second 주기를 표현하며, 운

동효과의 세기와 주기를 파라메트릭하게 표현할 수 있는 방법을 제공해 준다. 세가지 운동효과에 대해, 운동판에 직접 탑승하여 그 현실감을 피드백 받아 계수들을 튜닝 하였고, 그 결과 가장 자연스러운 공통적인 M 값으로 0.01 ~ 0.05, W 값으로 충돌효과의 경우 40~50, 포격감 30~40, 진동효과 10~20 의 결과를 얻었다. 이 결과들은 각각 파일로 구조화되어 저장되며 시뮬레이터 초기화 시 SMCP 의 유저 메모리에 로딩된다. [그림 6]은 W 의 변화에 따른 [식 1]의 결과를 나타내었다.

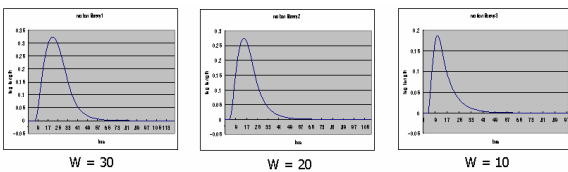


그림 6. 모션 데이터베이스 생성을 위해 자체 제작한 진동 구현 함수를 W 의 변화 따라 플롯팅한 결과. 이 데이터는 시뮬레이터 초기 구동시 메모리에 로딩된다.

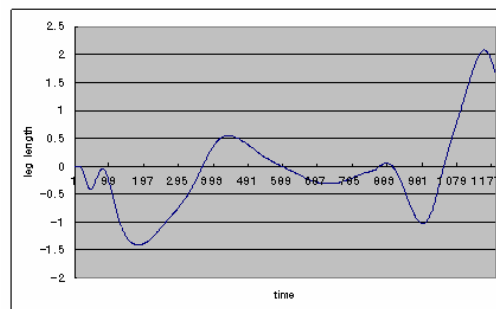
4-3 운동효과의 명령전달 및 생성

모델링된 캡슐은 인체내부를 여행하면서, 장기의 내부벽에 충돌하는 경우가 발생된다. 이때 모션 제어 시스템은 충돌효과 명령에 해당하는 식별자, 타임스탬프, 활성화 여부, 지속시간, 반복여부 및 증폭비 등을 네트워크 패킷에 담아, 모션 구동 시스템에 전달한다. SMCP 는 메모리에 로딩된 모션데이터를 검색하여 해당 데이터를 찾고, 패킷에서 전달된 여러 Constraint 들을 반영하여 일정한 구간의 모션 스트림을 생성하게 된다.

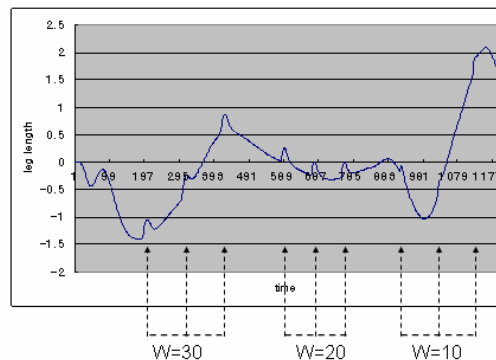
4-4 운동효과의 중첩 및 후처리

생성된 모션 스트림은 Time Key 를 차례로 증가시키며 액추에이터 운동변위에 선형 합성된다. 단위 모션 스트림의 합성이 끝나게 되면, 그 반복여부에 따라 Time Key 를 변경하거나, 활성화 상태를 변경하여 모션 합성을 제어한다. 여기서 중첩되는 각 모션 스트림의 마지막 값은 별도로 저장되어야 하며, 이는 현재 중첩중인 효과의 활성화

상태가 비활성화 상태로 변경될 경우, 갑작스러운 변위의 차이가 생길 수 있기 때문에, 적절한 보간을 수행하는 정보로 활용되어야 하기 때문이다. 또한 중첩된 데이터는 액추에이터 변위로 전달되기 전, 물리적 액추에이터 스펙에 따른 한계값을 적용해야 한다. 본 연구에서의 진동효과 삽입 방식은 그 변위차가 그리 큰 편은 아니었지만, 운동 효과들의 활성화 상태가 변경될 경우, 위에서 말한 적절한 보간을 수행하는 필터가, 자연스러운 운동감 생성을 위해서는 반드시 필요하다.



(a) Before motion superposition



(b) After motion superposition

그림 7. Motion Blending 을 이용한 운동효과의 중첩전 및 중첩후의 액추에이터 변위 그래프. (a) 운동 데이터에 대한 기존의 위시아웃필터를 통과한 결과. (b) 운동 효과가 삽입되어 중첩된 결과. (W 에 따라 진동효과를 조절)

4-5 시뮬레이터 적용 결과

[그림 7]은 캡슐의 운동에 있어 액추에이터 변위를 시간 변화에 따라 나타낸 그래프이다. 액추에이터는 중립 위치에 대해 상하로 변위를 생성하고, 운동판이 해당 자유도에 따라 움직임으로써 운동감을 생성한다. [그림 7]의 아래 그림은 미리

저장된 진동효과 모션을 적절히 중첩하는 과정을 보여준다. W 가 클수록 주기가 큰 진동효과를 나타내며, 진동효과의 크기는 [식 1]의 M 값을 조절함으로써 반영이 가능하다. 직접 탑승한 사람이 운동효과를 직접 체험할 수 있으며, 실세계에서의 진동효과(충돌, 포격 등)와 흡사하다는 평가를 하였다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 ‘Motion Blending’의 개념을 가상환경의 캡슐 운동감 재현에 적용하여, 몇 가지 운동 효과에 대한 중첩을 구현하였다. 간단한 진동 구현 함수를 제작하여 운동효과를 샘플링 하고 모션데이터베이스를 구축하였다. 실제 시뮬레이션 구동 중 운동효과에 대한 명령을 받아 여러 조건에 대한 모션 스트림을 생성하고, 이를 실제 운동판 액추에이터 변위에 중첩하였다. 또한 후처리 과정을 통해, 모션 중첩 중 발생 할 수 있는 예외 조건 및 자연스러운 연결을 처리하였다. 그 결과 모션 중첩을 이용한 운동효과의 생성 방법이 실세계에서의 운동효과와 흡사하다는 평가를 얻을 수 있었다.

모션 데이터베이스는 직접 실재하는 물체의 가속도를 샘플링 하거나 또는 적절한 가상 모델링 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 간단한 모델을 제시 하였지만, 실제 큰 움직임을 나타내는 모션들을 합성하기 위해서는 여러 가지 운동변수에 따라 각각의 모션들을 단계적으로(hierarchically) 저장하고, 최적의 모션 샘플을 찾기 위해 가중치를 부여하여, 실제 운동에 거의 반영되지 않는 요소들에 대한 필터링 과정을 적용하는 연구도 필요하다. 예를 들어 큰 충돌 중에는 작은 진동 또는 회전 효과는 감쇄되어 큰 영향을 미치지 못한다.

또한, 이런 실시간 모션 중첩의 개념을 응용하는 데는, 모션 검색 및 최적화 판단, 후처리 등의 또 다른 추가적인 연산시간이 소요된다. 하지만, 알고리즘 개선의 여지는 기존 방법(동역학 모델링)보다 많이 남아 있다고 판단되며, 많은 연구가 기대된다.

* 본 연구는 ‘과학기술문화 체험전시기술 연구사업’ 과 ‘대학 IT 연구센터 육성 지원사업’ 의 연구 결과로 수행 되었습니다.

참고문헌

- [01] 홍정모, 게임 운동감 생성을 위한 운동 효과 라이브러리의 적용, 2002
- [02] 김세훈, 운동감을 고려한 가상현실 시스템 설계 및 구현, 2002
- [03] 최연철, 차량 시뮬레이터의 실시간 차량시뮬레이션 시스템 및 Washout 알고리즘 개발, 1997
- [04] 윤석준, 시뮬레이션과 시뮬레이터, 선학사, 2003
- [05] 한국기계연구원, (자동차기반기술 확립을 위한) 6 축 운전모사 시스템 개발, 제 1 차년도 중간 보고서, 과학기술부, 1998
- [06] 이정열, 자전거 시뮬레이터용 운동생성 알고리즘 개발, 2000
- [07] ㈜시뮬라인, “Simuline Motion Control Program (SMCP) V1.62 Manual for Professional User”, <http://www.simuline.com>
- [08] W-S. Lee, J.H. Kim, and J.H. Cho, "Development of a Driving Simulator as a Virtual Reality Tool," IEEE Conf. on Robotics and Automation, May, 1998.
- [09] J.H. Kim, W-S. Lee, I.K. Park, K.K. Park, and J.H. Cho, "A Design and Characteristic Analysis of the Motion Base for Vehicle Driving Simulator," IEEE Int'l Workshop on Robot and Human Communication, September, 1997, pp. 290-294.
- [10] David H. Weir and Simon M. Bourne, “An Overview of the DRI Driving Simulator”, SAE Paper 950173, 1995
- [11] Soren LaForce, “Algorithmic Improvements for Simulator Motion Drive”, AIAA-92-4158-CP, 1992
- [12] E.J.Haug, J.G.Kuhl, S.Bae, W.S.Lee, and D.R.Anderson, “Real-Time Vehicle Simulation”, Phase II Final Report, Center for Computer-Aided Design, University of Iowa, 1988
- [13] Okan Arıkan, D.A. Forsyth, Interactive Motion Generation from Examples, 2002

- [14] Sang Il Park, Hyun Joon Shin, Tae-hoon Kim, and Sung Yong Shin. On-line motion blending for real-time locomotion generation. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 2004; 15(3): 125-138.
- [15] Jehee Lee and Kang Hool Lee. Precomputing Avatar Behavior from Human Motion Data. *Symposium on Computer Animation*, to appear
- [16] Charles Rose, Michael Cohen and Bobby Bodenheimer. Verbs and adverbs: Multidimensional motion interpolation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1998; 18(5): 32–40.
- [17] Peter-Pike J. Sloan, Charles F. Rose III, Michael F. Cohen. Shape by example. In *Proceedings of 2001 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, 2001; 135–144.