

다양한 지형에서의 걷기와 달리기 동작의 효율적 생성

송 미 영[†] · 조 형 제^{**}

요 약

대부분의 3차원 캐릭터 애니메이션에서는 모션 캡처 장비를 통해서 포착된 동작 데이터를 이용하여 다양한 지형상에서 캐릭터의 이동 동작을 표현한다. 이러한 동작 포착 데이터는 실제 사람과 같이 움직이는 동작들을 자연스럽게 표현할 수 있으나, 만약 다양한 지형에 대해 움직이는 동작을 표현할 경우, 지형의 유형에 따라 모든 동작을 캡처하여야 하고, 얻어진 동작 데이터를 다른 유형의 캐릭터에 적용할 경우 동작 데이터를 다시 얻거나 기존 동작 데이터를 재편집해야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 평지면, 경사면, 계단면 그리고 굴곡면 등 다양한 지형에서의 적응적인 걷기, 달리기의 이동 동작을 생성하기 위한 통합적 생성 방법을 제안한다. 이 방법에서는 캐릭터의 신장이나 걷는 속도, 걸음폭 등의 적은 매개변수들을 사용하여 이동 동작을 생성할 수 있다. 관절들의 위치나 각도는 역운동학(Inverse Kinematics) 방법으로 계산하고, 골반과 이동하는 다리의 움직임 궤적 산출은 큐빅 스플라인 곡선을 활용한다. 또한 제안된 방법을 통해서 다양한 실제 캐릭터에 적용하여 이동 동작을 확인한다.

키워드 : 걷기 동작, 달리기 동작, 이동 궤적, 역운동학, 큐빅 스플라인

An Efficient Generation of Walking and Running Motion on Various Terrains

MiYoung Song[†] · HyungJe Cho^{**}

ABSTRACT

In 3D animation most people adjust the moving motion of their characters on various terrains by using motion data acquired with the motion capture equipment. The motion data can be used to present real human motions naturally, but the data must be captured again to apply to the different terrains from those given at acquiring mode. In addition, there would be a difficulty when applying the data to other characters, in that case the motion data must be captured newly or the existing motion data must be heavily edited manually.

In this paper we propose a unified method to generate human motions of walking and running for various terrains such as flat plane, inclined plane, stairway and irregular face. With these methods we are able to generate human motions controlled by the parameters : body height, moving speed, stride, etc.

In the proposed methods, the positions and angles of joint can be calculated by using inverse kinematics, and we calculate the trajectory of the swing leg and pelvis according to the cubic spline. With these methods we were presented moving motions using a model of a human body.

Key Words : Walking Motion, Running Motion, Moving Trajectory, Inverse Kinematics, Cubic Spline

1. 서 론

최근 하드웨어 기술과 소프트웨어의 급속한 발전으로 인하여 게임 분야와 가상현실 시스템 분야는 빠르게 발전해 왔다. 특히 컴퓨터의 초고속화, 대용량화, 지능화에 따라 가상현실 기술이 다양한 게임 개발의 장르로 자리를 잡아가고 있는 추세이다. 3차원 가상현실이나 게임 분야에서는 인체를 비롯한 다관절체의 동작 표현에 있어서 지형이나 다른

주변 환경에 의한 적응적인 동작에 사실성을 강조하고 실시간으로 자동 생성하는 처리 기술이 필요함으로 인해 많은 연구가 이루어지고 있다[1-2].

기존의 3차원 가상현실 내에서 캐릭터 움직임 동작을 생성하는 동작 제어 기법을 통해 가상환경의 지형에 따라 적응적인 캐릭터의 동작을 표현하는 데는 한계가 있다. 즉, 대부분의 가상환경에서 캐릭터의 움직임은 일정하고 단조로운 동작만을 반복하여 표현하고 있어서 관찰자로 하여금 지루함을 느끼게 하고, 지형의 조건이나 형태가 달라지면 캐릭터의 발끝이 지면에 스며들거나 떠있는 등의 부자연스러운 동작으로 인해 사실감을 저하시킨다. 이러한 문제점들을 개

[†] 준 회원 : 수원여자대학 멀티미디어통신과 전임강사

^{**} 정 회원 : 동국대학교 멀티미디어공학과 교수

논문접수 : 2005년 11월 14일, 심사완료 : 2006년 1월 26일

선하기 위하여 최근 3차원 인체 모델링의 사실적 표현에 대한 각 분야별 관심이 높아짐에 따라 몇 년 사이에 동작 포착(Motion Capture) 시스템에 대한 연구가 급속도로 발전되고 있다. 하지만 포착된 동작 데이터는 수작업으로 편집하여야 하는 번거로움으로 인해 실시간으로 동작을 생성하기에는 어려우므로 이를 해결하기 위한 동작 분석 기술의 연구가 필요하다[1, 3-4].

따라서 이 연구는 인체의 모델을 정의하고, 전신의 움직임 자세를 바탕으로 작은 매개변수와 역운동학을 이용하여 이동 동작을 생성하고, 평지·경사·계단·굴곡면 등의 지형 유형에 따라 서로 다른 기법을 적용하여 동작을 생성하는 것이 아니라 어떠한 지형이든지 적용적인 이동 동작을 생성할 수 있는 간단하고 효율적인 방법을 제안한다.

이 연구의 2장에서는 동작 제어 기법과 다양한 지형에서의 이동 동작의 관련된 연구들을 살펴보고, 3장은 이동 동작 생성의 처리 과정과 캐릭터 모델을 정의하고, 4장에서는 이동 동작을 위한 전신의 움직임 자세에 대해 설명한다. 5장에서는 다양한 지형에 따른 적용적인 이동 동작을 생성하기 위한 골반 및 이동하는 다리의 동작 계획을 정의하며 또한 다양한 지형에서의 충돌 회피를 위한 이동 동작에 대해서 알아본다. 6장에서는 제안한 다양한 지형에 따른 이동 동작 계획 방법으로 뼈대 모양과 3차원 모델링 도구에서 작성한 캐릭터 모델들을 통해서 걷기 동작과 달리기 동작의 생성 결과를 확인한다. 마지막으로 7장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

3차원 캐릭터 애니메이션의 제작에 있어서, 캐릭터의 생명을 표현하기 위해서 물리적 법칙을 비롯한 일련의 규칙에 따라 자동 혹은 반자동적으로 동작을 생성하는 기법을 적용하는데 이를 통칭하여 동작 제어 기술이라 한다[5].

2.1 동작 제어 기법

동작 제어 기법은 크게 키프레임, 운동학, 역학 그리고 동작 편집 방법 등으로 분류할 수 있으나 키프레임 기법은 모든 동작 제어에 공통적으로 적용된다. 키프레임 기법(Key-Frame Techniques)은 시간축에 따라 캐릭터의 각 관절의 굴절 각도와 캐릭터 자체의 공간적 위치 등을 수작업을 통해서 동작을 제어하는 방법으로 키프레임 간의 연결 동작을 위해 보간 동작의 생성이 필요하다[5].

운동학적 기법(Kinematics Techniques)은 키프레임을 이용하고 키프레임 간의 자연스러운 연결 동작을 위해 적절한 보간 기법을 적용하며 각 관절의 접합 위치(joint position)와 각도로부터 관절의 끝 위치(end effector)를 운동학적 방법으로 산출하여 동작을 생성하는 방법이다[4, 6-9]. 이 기법으로는 계층구조의 상위에 있는 관절을 조작하여 동작을 제어하는 전운동학(forward kinematics) 방법과 계층구조의 하위에 있는 관절을 조작하여 동작을 제어하는 역운동학(inverse kinematics) 방법 등이 있다. 운동학적 기법은 구현이 쉽고 다관절체들을 정밀하게 제어할 수 있으며 계산 비

용이 적어서 실시간 동작 생성에 적합하지만, 실제 사람과 같은 자연스러운 동작을 생성하기에는 부적합하고 키프레임 간의 연결 동작을 위한 보간 방법이 필요하다[4, 6-9].

역학적 기법(Dynamics Techniques)은 뉴턴 법칙의 각속도와 각가속도, 회전력 등의 물리적인 역학과 일련의 규칙에 의해 동작을 생성하는 방법이다[4]. 역학적 기법들로는 키프레임의 궤적(key-framed trajectories)을 예측하여 정의하지 못하는 운동학적인 기법의 문제점을 해결하기 위해 전역학과 역역학 등을 결합한 전·역역학(forward and inverse dynamics) 방법[2, 4, 10], 전체 연속 동작에서 시간에 따라 변하는 근육의 힘과 움직임을 계산하여 동작을 생성하는 시공간 제한성(spacetime constraints) 방법[4, 11-12], 그리고 가상의 캐릭터가 가상환경에서 상호적인 동작을 효과적으로 취할 수 있는 컨트롤러(controller) 방법[4, 13] 등이 있다. 이러한 역학적 기법은 적은 조건만으로도 그 결과가 매우 사실적이며 자연스럽게 현실적인 움직임을 생성할 수 있고, 다양한 입력 조건에 따라 다양한 시뮬레이션 결과를 쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 물리적인 접근의 구현 자체가 매우 까다롭고 물리적인 역학의 지식을 많이 필요로 하며, 무엇보다 구제적이고 직접적인 제어가 불가능하여 결과를 예측하기 어려워서 자동화된 동작을 표현하기 어렵고 계산 비용의 부담이 크다는 단점이 있다.

동작 편집 기법(Motion Editing Techniques)은 모션 캡처 장비에서 얻어진 데이터를 이용하여 사용자의 용도에 따라 서로 다른 동작들과 연결을 하거나 결합하는 등의 원하는 동작으로 재편집하는 방법이다[4]. 이 기법들을 살펴보면, 모션 블렌딩(motion blending)은 새로운 동작을 생성하기 위해서 서로 다른 동작간의 보간 동작을 생성하기 위한 방법으로 동작 생성을 위한 데이터베이스가 필요하다[4, 14-15]. 모션 와핑(motion warping(displacement mapping)) 방법은 전이 함수(displacement map)라고도 하며, 이는 동작 신호의 전역성을 보존하고 일관성을 유지하면서 전이함수를 통해 지역적으로 동작신호를 변환하여 동작을 생성한다[4, 16-17]. 시공간 제한성(spacetime constraint) 방법은 전체적인 동작을 동시에 고려하여 동작을 생성하는 것으로 사용자는 전체 동작상의 제한성을 기술할 수 있으나, 이러한 제한조건에 맞는 최적의 동작을 얻기 위한 해결책 등이 요구된다[4, 11-12, 15, 18]. 모션 리타겟팅(motion retargetting)은 포착된 동작 데이터들을 신체 크기가 다르거나 다양한 유형의 캐릭터에 적용할 수 있도록 동작을 편집하는 방법이다[4, 14, 19]. 동작 편집 기법은 동작을 취하는 사람의 몸에 부착된 트래커가 조금씩 움직이거나 흔들릴 수 있기 때문에 잡음 데이터가 포함될 수 있어 아주 정밀한 움직임을 포착하기가 어렵다. 그리고 포착된 동작 결과의 사용에 있어서, 포착과정 중의 잡음 등에 의해 생기는 거친 동작을 수정하거나 몇 개의 단위 동작을 결합하여 새로운 동작을 생성하기 위한 사후 편집 과정이 필요하기에 실시간 애니메이션의 형태로 사용될 경우 이를 해결하기 위한 처리 기술을 별도로 개발하여야 한다.

2.2 다양한 지형에서의 이동 동작 생성에 대한 관련 연구

위의 동작 제어 기법을 기반으로 평지면에서의 이동 동작 외에 경사면이나 계단면 등의 지형상에서 자연스러운 이동 동작을 생성하는 연구들이 진행되고 있다.

Chung 등이 제안한 방법은 계단 지형에서 최적의 골반 이동 궤적을 검출하기 위해 골반의 후보 이동 경로를 윈도우로 나누고 이 윈도우내에서의 각가속도를 계산한 후 각가속도의 변화가 가장 적은 지점을 제어점으로 선정하여 최적의 골반 이동 궤적을 산출한다. 그리고 이동하는 다리의 이동 궤적 산출은 베이지 곡선을 활용하고 지형과의 충돌을 고려한다. 그러나 최적의 골반 이동 궤적을 위한 제어점을 산출하기 위해서 골반의 이동 경로에 따른 윈도우내의 각가속도 변화량을 매번 계산하여야 하고, 또한 베지어 곡선은 제어점을 근사적으로 접근하므로 지형과의 충돌 회피를 보장할 수 없기 때문에 제어점의 재수정도 필요하다[10].

최근 연구가 활발한 동작 포착 장비를 통해 실제 사람으로부터 포착된 동작 데이터를 활용하기 위한 방법으로 Sun은 시상면의 각도를 이용하여 다양한 지형에서의 걷는 동작을 실시간으로 생성하는 방법을 제안하고[20], 최지호는 간단하고 빠르게 캐릭터의 다리 길이가 달라져도 경사면에 적합한 동작을 표현할 수 있는 방법을 제안하였다[19]. Lee와 Park은 울퉁불퉁한 지형이나 계단 지형에서의 걷기 동작을 생성하는 방법으로 Park은 적절한 개수의 동작들만으로도 울퉁불퉁한 지형 위에서 사용자가 지정한 경로를 따라 이동하는 동작을 실시간으로 생성할 수 있는 방법을 제안하였다[14-15]. 그러나 동작 포착 데이터를 사용하기 위해서는 정밀한 동작 움직임을 측정해야 하는 비용과 시간이 요구되고, 포착된 동작 결과의 사용에 있어서 포착과정 중의 잡음 동작을 수정하거나 단위 동작을 결합하기 위해서 많은 동작 데이터를 분석해야 하며 사후 편집 과정도 필요하다. 그리고 지형의 유형이 다양한 경우, 지형에 따른 동작을 재 포착하거나 포착된 동작을 보정하는 기법 등이 요구된다. 이러한 동작 포착 장비를 이용해 얻어진 각 관절의 위치 정보와 각 정보로 이루어진 데이터를 직관적으로 사용자의 용도에 맞게 재수정하는 것은 매우 어려운 일이다.

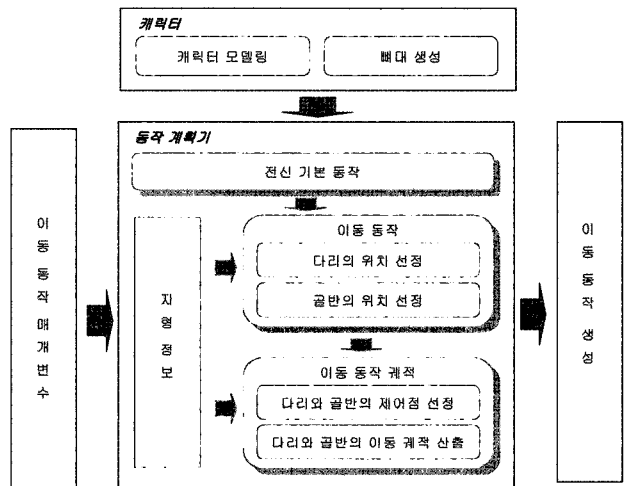
Kang은 포착된 동작 데이터 없이 달리기 동작을 제어하고 자동으로 생성하는 방법으로 간단한 뼈대 구조의 모델을 사용하고, 최적의 이동 동작을 얻기 위해서 유전자 알고리즘(genetic programming)을 적용하며 최소 에너지 기법(energy minimization technique)을 확장하여 다양한 감정 기술에 따른 동작을 생성한다[21]. 그러나 평지면에서의 동작만을 생성하고 있고, 유전자 알고리즘을 통한 최적의 동작을 얻기 위해서는 반복 수행해야 하는 단점이 있다. Welman는 사람의 모습을 3차원으로 모델링하여 달리기 동작 제어 방법을 통해서 실제 운동 모습과 유사하게 달리기 동작을 세밀히 표현하고자 하였지만, 실시간적인 동작을 생성할 수 없다는 문제점이 있다[22]. Unuma는 동작 신호 기법을 확장하여 감정을 포함한 동작 제어 기법으로 매개변수치를 조절하여 감정의 표현과 이동 동작을 생성하지만, 동

작 신호 기법을 기반으로 하기 때문에 최적의 동작 생성을 위한 해결책을 찾는 데 계산적 비용이 크다는 단점이 있다[17].

따라서 이 연구는 운동학적인 방법과 역학적인 방법을 접목하여 이동 동작을 생성한다. 또한 동작 포착 데이터에서 최적의 동작을 얻기 위한 비용과 시간을 줄일 수 있도록, 적은 매개변수와 기하학적인 정보만을 이용하여 빠르고 효율적으로 다양한 지형에서의 걷기 동작과 달리기 동작을 생성한다. 그리고 지형과의 충돌을 고려하여 골반과 다리 등의 이동 궤적을 위한 제어점을 선정하기 때문에 이동 궤적을 검출하기 위해 반복적인 계산을 요구하지 않으며, 또한 제어점을 반드시 지나가는 큐빅 스플라인 곡선을 활용함으로써 지형 충돌의 문제를 보장할 수 있다.

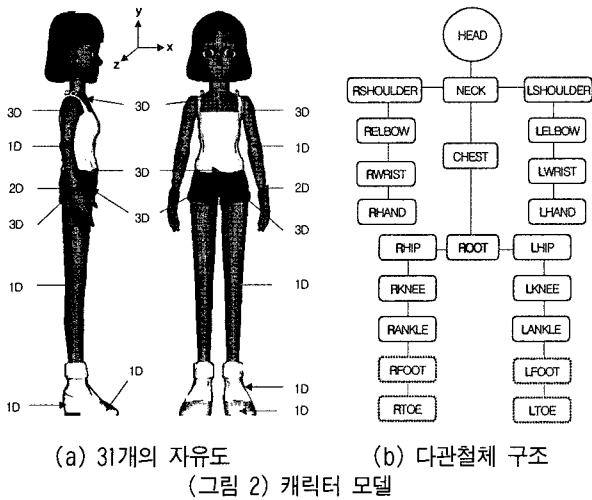
3. 이동 동작 생성의 처리 과정

다양한 지형에 따른 적응적인 이동 동작 생성의 처리 과정은 3차원 그래픽 도구에서 캐릭터를 모델링하고 캐릭터의 신체 길이에 따라 뼈대 구조를 생성한다. 캐릭터의 뼈대 구조를 통해서 이동 동작의 필요한 매개변수와 지형의 정보를 기반으로 지형상의 다리 위치를 선정하고, 선정된 다리와 지형의 높이를 고려하여 골반 위치를 결정한다. 그리고 이동하는 다리와 골반의 움직임 궤적은 발끝이 지형에 스며들거나 충돌하지 않도록 제어점을 선정하여 이동 궤적을 산출한다. 이렇게 산출된 움직임 궤적과 동작시 필요한 매개변수를 통해 다양한 지형에서의 적응적인 이동 동작을 생성한다.



(그림 1) 이동 동작 생성의 처리 과정

이동 동작의 생성을 위한 캐릭터의 모델은 실제 사람의 뼈대 구조를 기반으로 하여 뼈대(skeleton)들로 이루어진 다관절체로 구성한다. 여기에 발의 움직임을 좀더 자연스럽게 표현하기 위해서 발부분의 중간지점에 연결점을 추가하여 두개(Foot+Toe)의 뼈대로 나누어 구성한다. 이러한 캐릭터 모델은 (그림 2)와 같이 다관절체의 연결점은 15개, 회전을 위한 자유도는 31개를 가진다.

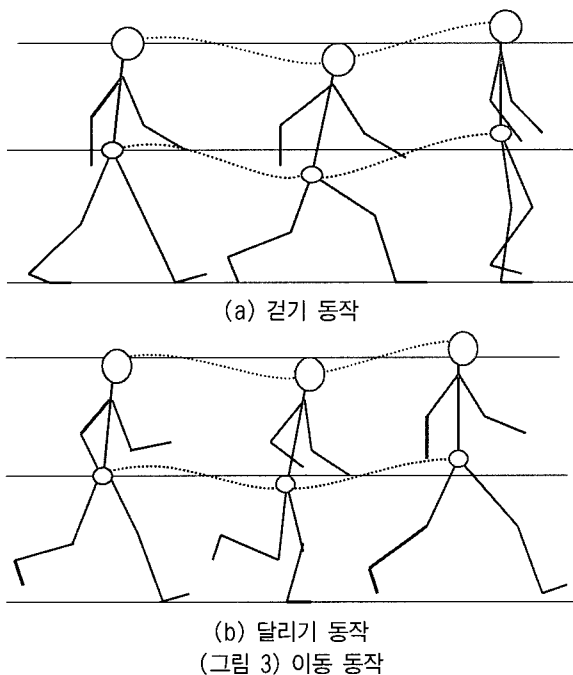


4. 전신의 기본 동작

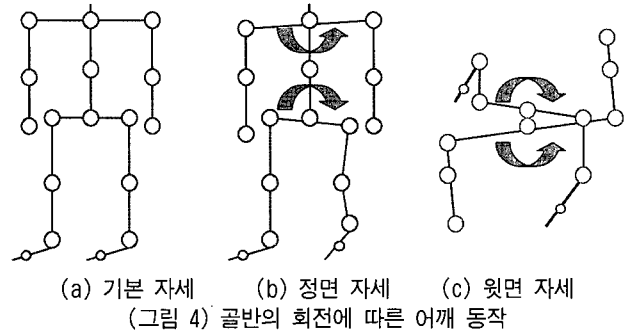
실제 사람의 이동 동작은 인체의 골반으로부터 움직임이 시작된다. 즉, 걸을 때 다리의 동작은 골반이 움직여서 시작하고, 상체의 움직임도 골반의 동작에 의한 작용과 반작용으로 이루어진다. 이 장에서는 다양한 지형에서의 이동 동작에 적용하기 위해서 실제 사람의 움직임을 기반으로 하여 상체와 하체의 기본 움직임에 대해서 살펴본다.

4.1 전신의 움직임

실제 사람의 전신에 대한 움직임은 (그림 3)과 같이 골반을 중심으로 이동 동작을 취한다. 그리고 골반 움직임의 곡선 이동 궤적을 따라 머리의 움직임 궤적도 곡선을 그리며 이동한다.



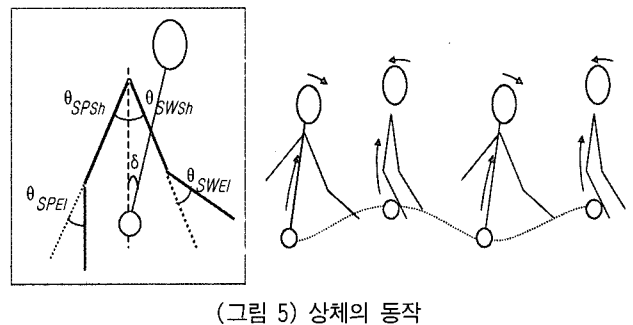
이동 동작의 한 주기는 크게 한쪽 다리가 지면에 접촉하여 몸의 중심을 지탱하는 단계(Support Phase)와 다른 한쪽 다리는 한 주기동안 지면에서 떨어져 이동한 후 다시 지면에 접촉할 때까지의 단계(Swing Phase)로 이루어진다. 걸기 동작에서는 그림3(a)와 같이 두 다리가 지면에 접촉되는 상태(Double Support)의 동작을 취하고, 달리기 동작에서는 그림3(b)와 같이 두 다리가 지면에 접촉하지 않는 공중에 떠 있는 상태(Flight)의 동작을 취한다는 점이 서로 다르다.



이동 동작에서 골반의 움직임 상태를 살펴보면, (그림 4)(b)처럼 몸의 무게가 실려서 지면에 접촉하여 지탱하고 있는 다리의 골반은 위로 회전하고, 지면에서 비접촉하여 이동하고 있는 다리는 아래로 회전을 한다. 이 때 골반의 상하 회전에 따라 상체의 균형을 잡기 위해서 어깨는 골반과의 반작용으로 상반되게 상하로 회전한다. 또한 (그림 4)(c)와 같이 위에서 본 경우, 지면에 떨어져 앞으로 나아가는 다리의 골반은 앞으로 회전하고, 반대로 지면을 지탱하고 있는 다리의 골반은 뒤로 회전한다. 즉, 앞으로 뺀 다리의 골반은 앞쪽을 향하도록 회전하고, 반대쪽 골반은 반대방향으로 회전한다. 또한 어깨도 골반과 반대로 회전하여 균형을 맞춘다.

4.2 상체의 움직임

골반의 전후 회전에 따라 상체는 (그림 5)에서 보듯이, 골반이 가장 낮은 지점에서는 앞쪽으로 많이 굽히고, 골반이 가장 높은 지점에서는 가장 곧게 펴진 상태로 전후로 회전한다. 이러한 상체의 회전 각도가 크면, 상체의 동작이 전체적으로 과장되어 어색해질 수 있기 때문에 이동 속도에 비례하여 보통 $\delta = 3 \sim 5$ 도 내외에서 변화를 준다.



이동 동작에서 다리의 움직임과 마찬가지로 팔의 움직임도 중요한 역할을 한다. 다리 동작의 움직임 속도에 따라 팔의 움직임을 맞춰서 자연스러운 이동 동작을 표현한다. 팔 동작은 팔의 길이와 관절 각도 등을 매개 변수로 사용한다. (그림 5)에서 팔 동작의 초기 각도는 식 1과 같이 서로 동일한 값으로 설정한다.

$$\theta_{SP_{s_1}} = \theta_{SW_{s_1}} = \theta_{SP_{s_2}} = \theta_{SW_{s_2}} \quad (1)$$

4.3 하체의 움직임

이동 동작에서 다리의 움직임은 캐릭터의 자연스러운 동작을 표현하는데 있어서 가장 중요한 부분이다. 다리의 이동 동작을 생성하기 위한 매개변수로는 걸음폭(Step Length), 다리길이(Leg Length), 이동속도(Moving Speed), 신체길이(Body Height) 그리고 걸음반복횟수(Step Frequency) 등을 사용한다[2, 10].

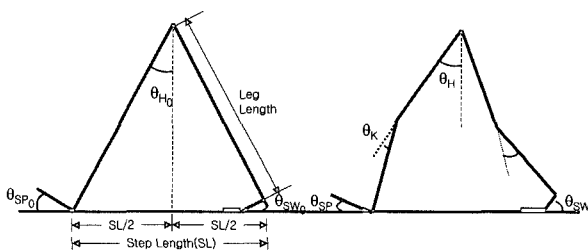
식 2에서 이동속도(V)는 걸음폭과 걸음반복횟수로 산출하고, 걸음폭(StepLength)은 신체길이나 이동속도의 변화에 따라 조절한다.

$$V(m/min) = \frac{StepLength(m) * StepFrequency(steps/min)}{\quad} \quad (2)$$

$$StepLength = \sqrt{\alpha * V * body\ height},$$

$$\alpha = \frac{SSL}{SSF * SBH}$$

여기서 α 는 표준신체길이에 따른 상수값으로 표준걸음폭인 SSL (Standard Step length), 표준걸음반복횟수인 SSF (Standard Step frequency) 그리고 표준신체길이(SBH : Standard Body Height)로 산출한 결과가 0.004이다[10].

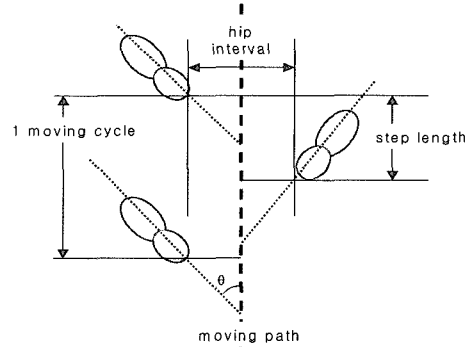


(그림 6) 다리 동작

(그림 6)(a)는 이동 동작을 위한 초기 모습으로 다리의 초기 각도는 식 3과 같다. 여기서 θ_{H_0} 는 두 다리의 간격이 최대 걸음폭일 때의 각도이다. (그림 6)(b)처럼 이동 동작을 하는 동안 각 관절의 위치와 각도는 역운동학(Inverse Kinematics) 방법으로 산출한다.

$$\theta_{H_0} = \theta_{SP_0} = \theta_{SW_0} \quad (3)$$

발의 동작은 (그림 7)과 같이 지면에 접촉하여 지탱하는 다리와 지면에서 떨어져 이동하는 다리의 발은 바깥쪽으로 약간 회전하여 이동 경로를 따라 움직인다.

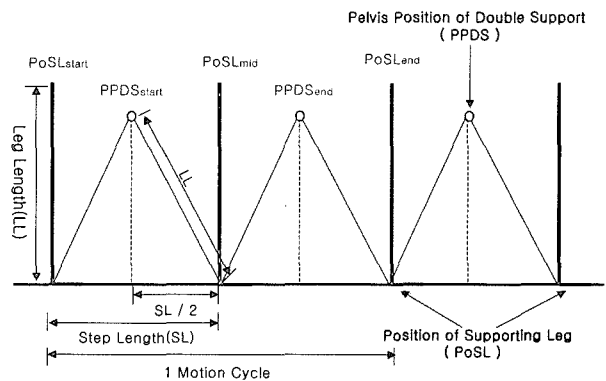


(그림 7) 발 동작

5. 다양한 지형에서의 이동 동작 계획

이 장에서는 다양한 지형에서의 다리와 골반의 이동 동작 계획과 지형의 충돌 문제를 고려하기 위한 이동하는 다리의 동작 및 이동 궤적에 대해서 알아본다.

(그림 8)은 다양한 지형에서의 이동 동작 계획을 표현한 것이다. 이동 동작동안에 다리와 골반의 위치를 각각 $PoSL$ (Position of Supporting Leg)와 $PPDS$ (Pelvis Position of Double Support)로 정의하고, 이를 기반으로 다양한 지형에 따른 걷기 및 달리기 이동 동작을 계획한다. 여기서 지면으로부터 $PoSL$ 의 높이는 다리길이와 같으며, $PPDS$ 의 높이는 두 다리가 최대 걸음폭일 때의 골반의 높이에 해당한다. 걷기 동작인 경우는 $PoSL$ 지점에서는 골반의 위치가 가장 높고 $PPDS$ 에서는 골반의 위치가 가장 낮으며, 달리기 동작인 경우는 걷기 동작과는 반대로 골반의 위치가 가장 낮은 위치는 $PoSL$ 이고 골반의 위치가 가장 높은 위치는 $PPDS$ 이다.



(그림 8) 이동 동작 계획

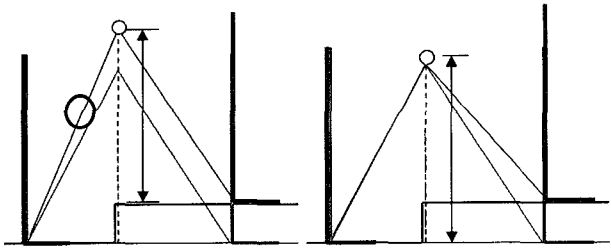
5.1 다리의 위치($PoSL$)와 골반의 위치($PPDS$)의 선정방법
다양한 지형에서의 적응적인 이동 동작을 위해서 우선,

지형에서의 $PoSL$ (Position of Supporting Leg) 위치점을 선정한다. (그림 8)과 같이 한 주기의 이동 동작 계획에서 지면상의 $PoSL$ 위치는 걸음폭의 간격으로 각각 $PoSL$ 의 시작지점($PoSL_{start}$), 중간지점($PoSL_{mid}$), 끝지점($PoSL_{end}$) 등을 선정한다. 여기서 $PoSL_{mid}$ 는 다음 동작 주기에서 $PoSL_{start}$ 가 된다. 따라서 다양한 지형의 지면상에서 $PoSL$ 들의 위치점을 결정하기 위한 방법은 식 4와 같다.

$$\begin{aligned}
 PoSL_{start}(x,y,z) &= (x_0, Height_{PoSL}, z_0) \\
 PoSL_{mid}(x,y,z) &= (PoSL_{start}(x) + StepLength, \\
 &\quad Height_{PoSL}, z_0) \\
 PoSL_{end}(x,y,z) &= (PoSL_{mid}(x) + StepLength, \\
 &\quad Height_{PoSL}, z_0)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 $Height_{PoSL}$ 는 각 $PoSL$ 위치의 지면에서 부터 다리길이 만큼의 높이이다.

(그림 8)에서 보듯이, 이동 동작의 한 주기동안에 두 $PoSL$ 의 위치에 따른 골반의 위치인 $PPDS$ (Pelvis Position of Double Support)은 $PoSL_{start}$ 와 $PoSL_{mid}$ 의 사이를 $PPDS_{start}$ 로 하고, $PoSL_{mid}$ 와 $PoSL_{end}$ 의 사이를 $PPDS_{end}$ 로 정의한다. 이 때, 지면상에서 $PPDS$ 의 기준 위치를 두 $PoSL$ 의 중간지점인 지면에서부터 선정하는 경우, (그림 9)(a)와 같이 중간지점의 지면 높이로 인해 $PPDS$ 의 위치가 높아져서 이동 주기동안에 두 다리가 지면에 접촉하여야 하는 상태임에도 불구하고 다리가 지면에 비접촉되는 경우가 발생한다.



(a) 지면의 높이를 기준 (b) 두 $PoSL$ 중 낮은 높이를 기준
(그림 9) $PPDS$ 의 위치점 선정

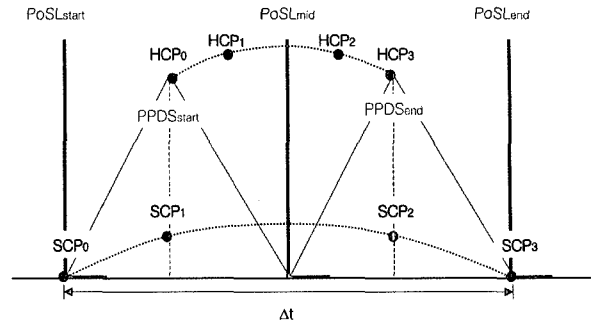
그러므로 $PPDS$ 의 기준 위치 선정은 (그림 9)(b)와 같이 두 $PoSL$ 중에서 지면상의 위치가 낮은 $PoSL$ 을 기준으로 하여 $PPDS$ 의 위치점을 결정하며 이는 식 5와 같다.

$$\begin{aligned}
 PPDS_{start}(x,y,z) &= (MID(PoSL_{mid}(x), PoSL_{start}(x)), \\
 &\quad Height_{PPDS_{start}}, z_0) \\
 PPDS_{end}(x,y,z) &= (MID(PoSL_{mid}(x), PoSL_{end}(x)), \\
 &\quad Height_{PPDS_{end}}, z_0)
 \end{aligned} \tag{5}$$

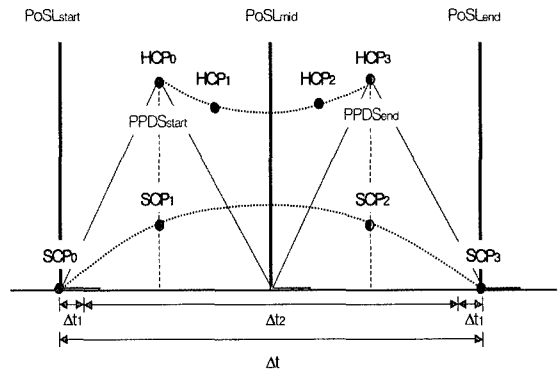
여기서, $Height_{PPDS}$ 는 두 $PoSL$ 중에서 지면의 높이가 낮은 $PoSL$ 을 기준으로 한 골반 높이이다.

5.2 골반과 이동하는 다리의 움직임 궤적

이 연구에서는 다양한 지형에 따라 골반과 이동하는 다리



(a) 걸기 동작



(b) 달리기 동작

(그림 10) 이동 동작의 움직임 궤적

의 움직임 궤적을 쉽게 제어할 수 있고 자연스러운 이동 궤적의 곡선을 산출하기 위해 큐빅 스플라인(Cubic Spline) 곡선 방법을 이용한다. (그림 10)은 이동하는 다리와 골반의 움직임 궤적을 위한 제어점들을 표현한 것으로 HCP (Hip of Control Point)와 SCP (Swing Leg of Control Point)는 각각 골반과 이동하는 다리의 이동 궤적을 위한 제어점이다.

골반의 움직임 궤적을 산출하기 위한 제어점은 (그림 10)과 같이 $PPDS_{start}$ 와 $PPDS_{end}$ 의 위치와 동일하게 HCP_0 , HCP_3 를 선정하고 나머지 두 제어점은 $PPDS$ 와 $PoSL_{mid}$ 의 사이로 HCP_1 , HCP_2 를 선정한다. 따라서 이동 궤적을 위한 골반의 제어점 선정은 식 6과 같고, 이 때 두 제어점 HCP_1 과 HCP_2 의 높이인 $Height_{HCP_1}$ 와 $Height_{HCP_2}$ 는 이동 동작시 $PoSL_{mid}$ 지점에서 몸의 중심을 지탱하는 다리가 지면으로부터 비접촉하는 경우가 발생하지 않도록 $PoSL_{mid}$ 와 $PPDS$ 차의 $\frac{a}{2}$ 이 되는 지점을 선정한다. 여기서 a 는 걸기와 달리기 동작에 대한 가중치로 ± 1 이다.

$$\begin{aligned}
 HCP_0(x,y,z) &= (PPDS_{start}(x), PPDS_{start}(y), \\
 &\quad PPDS_{start}(z)) \\
 HCP_1(x,y,z) &= (MID(PPDS_{start}(x), PoSL_{mid}(x)), \\
 &\quad Height_{HCP_1}, PPDS_{start}(z)) \\
 HCP_2(x,y,z) &= (MID(PPDS_{end}(x), PoSL_{mid}(x)), \\
 &\quad Height_{HCP_2}, PPDS_{end}(z)) \\
 HCP_3(x,y,z) &= (PPDS_{end}(x), PPDS_{end}(y), \\
 &\quad PPDS_{end}(z))
 \end{aligned} \tag{6}$$

다리의 움직임 궤적을 위한 제어점은 (그림 10)과 같이 $PoSL_{start}$, $PPDS_{start}$, $PPDS_{end}$ 그리고 $PoSL_{end}$ 에 해당하는 위치들을 각각 SCP_0 , SCP_1 , SCP_2 , SCP_3 으로 선정하여 식 7과 같이 정의한다. 식 7에서 제어점 SCP_1 과 SCP_2 의 높이인 $Height_{SCP_1}$ 와 $Height_{SCP_2}$ 는 걷기 동작인 경우 다양한 지형에서 이동하는 다리가 움직일 때 발끝이 지형과 충돌하지 않기 위해서 발의 전체길이와 두 $PoSL$ 간의 지면 높이차에 대한 합으로 한다. 달리기 동작인 경우 걷기 동작보다 속도에 따라 발끝이 올라가는 위치와 두 다리가 공중에 떠 있는 위치가 모두 높아지므로 포물선 운동에서의 최대 높이를 산출하는 방법을 활용한다. 또한 (그림 10)(b)와 같이 한 주기내에서 시작·끝 지점의 시간차를 다르게 하여 공중에 떠 있는 상태를 자연스럽게 표현한다.

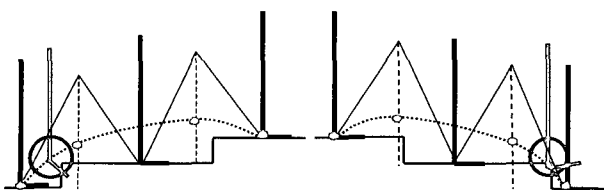
$$\begin{aligned}
 SCP_0(x,y,z) &= (PoSL_{start}(x), PoSL_{start}(y), PoSL_{start}(z)) \\
 SCP_1(x,y,z) &= (PPDS_{start}(x), Height_{SCP_1}, PPDS_{start}(z)) \\
 SCP_2(x,y,z) &= (PPDS_{end}(x), Height_{SCP_2}, PPDS_{end}(z)) \\
 SCP_3(x,y,z) &= (PoSL_{end}(x), PoSL_{end}(y), PoSL_{end}(z))
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

5.3 지형 충돌 회피를 고려한 이동 동작

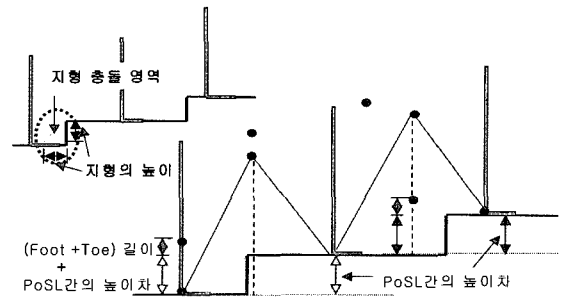
다양한 지형에 따라 이동 동작시 발끝이 지형에 스며들거나 지면을 스쳐 지나가는 부자연스러운 동작으로 인해 사실감을 저하시킨다. 그러므로 지형에서 $PoSL$ 의 발끝이나 발목이 지형과 충돌하는 경우, 충돌 지형과의 거리를 발끝길이(Toe Length)만큼의 간격을 유지한다. 또한 다양한 지형에서 $PoSL$ 가 충돌하지 않더라도 (그림 11)과 같이 이동하는 다리가 움직임 궤적을 따라 이동하면서 지형과 충돌하는 경우가 발생한다.

따라서 이 연구에서는 이동하는 다리가 이동 궤적을 따라 움직일 때 발끝이나 발목이 지형과 충돌하지 않으면서 자연스러운 동작을 얻기 위해서 지형과의 충돌 문제를 고려하기 위한 방법으로 지형충돌영역을 정의하고 이 지형충돌영역의 설정에 따른 충돌이 발생한 경우, 이동하는 다리와 골반의 이동 궤적을 위한 제어점을 보정한다.

지형과의 충돌 문제를 보장할 수 있도록 (그림 12)의 좌측 상단과 같이 지형의 높이와 동일하게 수평거리로 지형충돌영역을 설정한다. $PoSL$ 의 지면상의 위치 선정시 우선, $PoSL$ 의 지점에서 발끝이나 발목이 지형충돌영역에 포함하는지를 검사하여 (그림 12)와 같이 지형충돌영역에 포함되는 경우에 이를 충돌이 발생한 것으로 간주하여 이동하는 다리의 움직임 궤적을 위한 제어점은 충돌이 발생한 $PoSL$ 의 위치로 재조정하고 이와 동일하게 골반의 제어점도 재조정한다.



(그림 11) 이동하는 다리의 지형 충돌



(그림 12) 지형 충돌시 제어점 재선정

6. 실험 및 분석

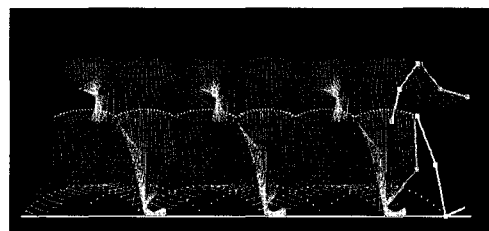
실험환경은 Windows 2000의 운영체제, 구현언어는 Microsoft Visual C++ 6.0 그리고 그래픽 라이브러리 OpenGL과 VRML을 사용하여 행해졌다. 또한 캐릭터 모델링은 3D Studio Max 5.0을 통해 이루어졌다.

이 장에서는 실제 사람의 움직임과 유사한 전신의 움직임을 자세를 기반으로 뼈대 모델을 통해 생성된 동작들을 살펴보고, 또한 신체 크기가 서로 다른 실제 캐릭터 모델들을 통해 다양한 지형에서의 이동 동작 생성 결과를 확인한다.

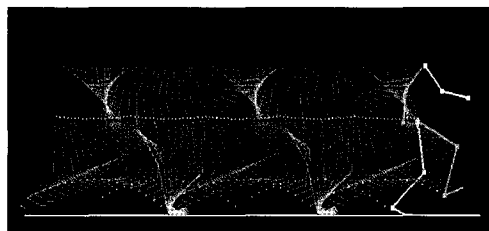
6.1 전신의 움직임

이 연구에서 정의한 실제 사람과 유사하게 전신의 움직임에 대해 생성된 결과가 (그림 13)이다. (그림 13)(a)와 (b)는 왼쪽 팔과 왼쪽 다리를 걸음속도에 맞추어 생성된 걷기 동작과 달리기 동작의 결과로서, 앞 절에서 제안한 제어점 선정에 따라 골반과 이동하는 다리의 움직임 궤적을 표현한 것이다.

걷기 동작인 경우 걸음폭은 0.34m/step, 이동속도는 3km/h로 하고, 달리기 동작인 경우 걸음폭은 0.45m/step, 이동속도는 5km/h로 매개변수를 설정하여 팔 동작, 다리 동작, 발 동작 그리고 이동 궤적 등의 움직임 결과를 생성하였다.



(a) 걷기 동작

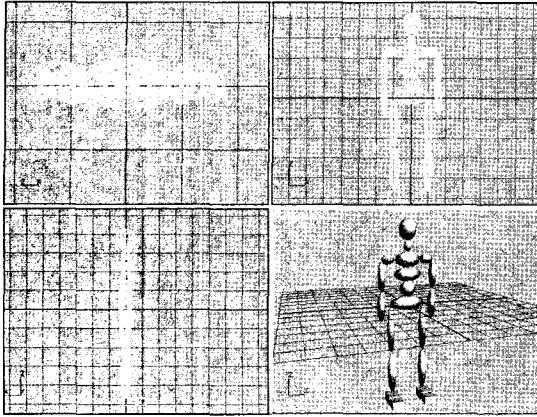


(b) 달리기 동작

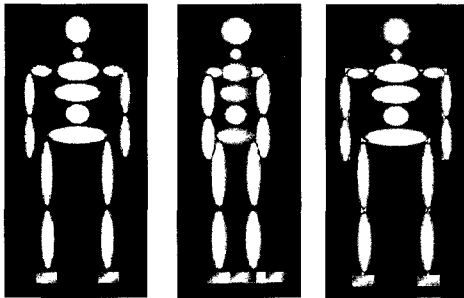
(그림 13) 전신의 기본 동작

6.2 실제 캐릭터를 적용한 이동 동작

3차원 모델링 도구를 사용하여 신체 크기가 서로 다른 실제 캐릭터 모델을 작성하고, 이 캐릭터의 크기와 동일하게 뼈대를 구성하여 이 연구에서 제안된 다양한 지형에서의 이동 동작 방법을 실험하였다.

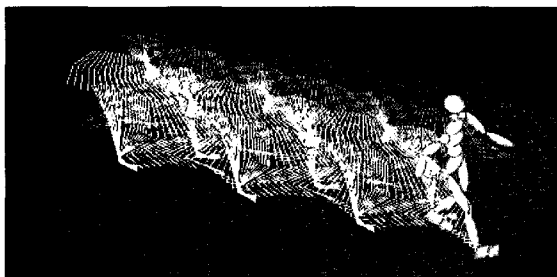


(그림 14) 3D에서의 캐릭터 모델링

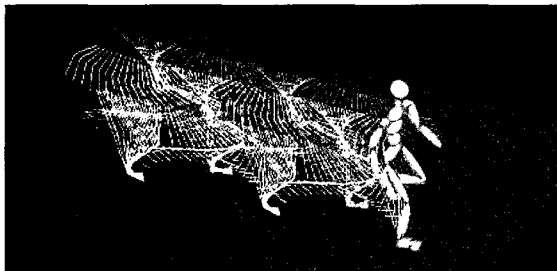


(a)정면 (b)반측면 (c)모델과 뼈대

(그림 15) 실험환경에서의 캐릭터 모델

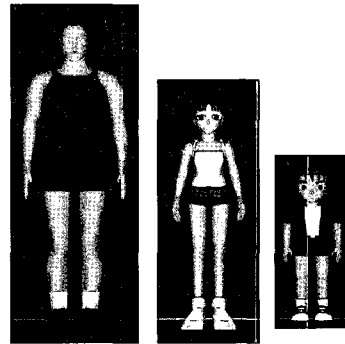


(a) 걸기 동작



(b) 달리기 동작

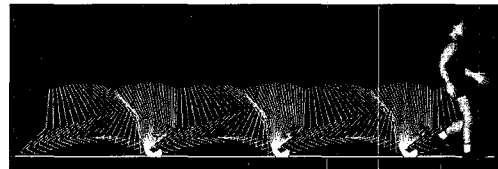
(그림 16) 3D 캐릭터의 동작



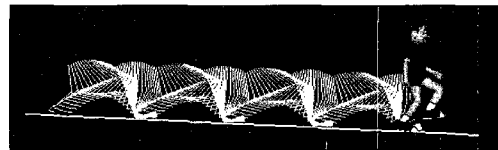
(그림 17) 신체크기가 다른 캐릭터

(그림 14)는 3D Studio Max5.0에서 구와 타원, 육면체 등의 솔리드 모델링으로 작성한 캐릭터이다. (그림 15)는 3차원 모델링 도구에서 작성된 캐릭터 모델을 이 연구의 실험 환경에 표현한 결과로서, (그림 15)(a)는 캐릭터 모델의 정면, (b)는 캐릭터의 45도 회전 측면 그리고 (c)는 캐릭터 모델의 신체 크기에 맞춰서 뼈대를 구성한 결과들이다. 이 모델을 가지고 이 실험 환경에서 캐릭터의 걷는 모습과 달리는 모습을 생성하여 표현한 것이 (그림 16)이다.

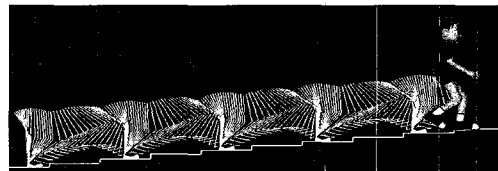
또한 3D Studio Max에서 신체 크기가 서로 다른 성인 남자, 꼬마 여자 그리고 꼬마 남자 등의 실제 캐릭터를 모델링하여 이 연구에서 제안된 방법에 따라 다양한 지형에 대해서 이동 동작의 결과를 확인한다. (그림 17)은 3D Studio Max에서 모델링된 성인 남자, 꼬마 여자 그리고 꼬마 남자 캐릭터의 모습이다.



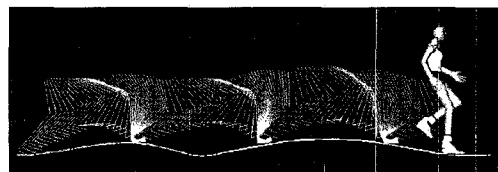
(a) 평지면



(b) 경사면

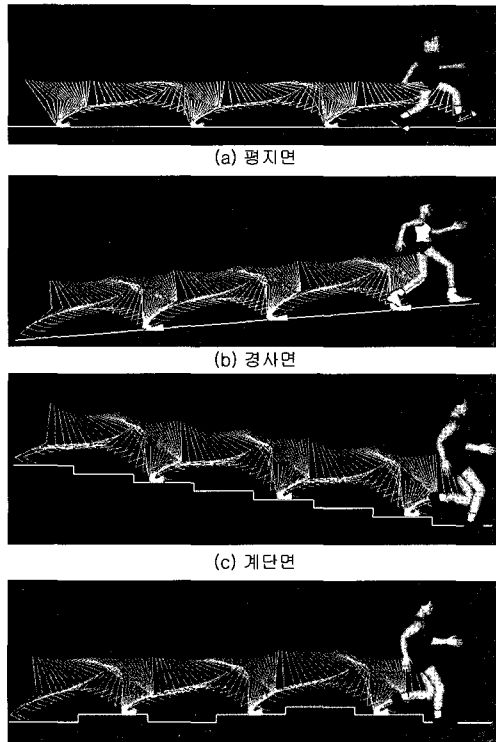


(c) 계단면



(d) 굴곡면

(그림 18) 걸기 동작



(a) 평지면
(b) 경사면
(c) 계단면
(d) 불규칙면
(그림 19) 달리기 동작

(그림 18)과 (그림 19)는 다양한 지형에 적응적인 걷기 동작과 달리기 동작을 생성한 결과이다. (그림 18)(a)는 성인 남자 캐릭터 모델로 걸음폭은 0.32m/step, 이동속도는 0.5km/h로 하여 생성한 평지면에서의 동작이고, (b)와 (c)는 각각 -3도의 경사 지형과 계단폭이 0.20m이고 높이는 0.05m인 계단 지형에서 신체 크기가 작은 꼬마 남자 캐릭터의 이동 동작이고, (d)는 꼬마 여자 캐릭터로 굴곡면에서의 이동 동작을 생성한 결과이다.

(그림 19)(a)는 신체 크기가 작은 꼬마 남자 캐릭터 모델은 0.16m/step, 이동속도는 0.5km/h로 달리기 동작을 생성한 결과이다. (b)는 +6도의 경사 지형에 대해 꼬마 여자의 적응적인 이동 동작이고, (c)는 계단폭이 0.30m이고 높이는 0.1m인 계단 지형에서 성인 남자 캐릭터의 이동 동작이며, (d)는 높이가 폭이 불규칙한 지형에서의 이동 동작을 생성한 것이다.

7. 결론

이 연구에서는 동작 포착 데이터에서 최적의 동작을 얻기 위한 비용과 시간을 줄이고, 캐릭터의 체형 크기에 무관하게 다양한 지형에서 적응적인 이동 동작을 빠르고 효율적으로 생성하는 방법을 제안하였다.

우선, 이동 동작을 생성하기 위해 사람과 유사하게 전신의 움직임 자세를 정의하였고, 이를 바탕으로 적은 매개변수와 기하학적인 정보만을 이용하여 평지면, 경사면, 계단면 등의 다양한 지형에 따라 적응적인 걷기 동작과 달리기 동

작을 생성하였다.

다양한 지형에 따른 적응적인 이동 동작을 위한 계획으로 *PoSL*(Position of Supporting Leg)와 *PPDS*(Pelvis Position of Double Support)를 정의하였고 이에 대한 다리 동작 계획 방법과 큐빅 스플라인 곡선으로 다양한 지형에 적응적인 관절의 이동 궤적의 산출 및 지형 충돌의 문제를 보장할 수 있는 방법에 대해 제안하였다.

그리고 제안된 방법을 통해 평지면, 경사면, 계단면 등의 다양한 지형에서의 뼈대 캐릭터와 3차원 그래픽 도구에서 제작한 실제 캐릭터 모델을 통해 이동 동작을 생성하여 지형에 따른 적응적인 이동 동작을 확인하였다.

따라서 이 연구는 다양한 지형에서의 걷기와 달리기 동작을 생성할 수 있는 다리 동작 계획을 통해 지형의 유형에 따라 관절들의 이동 궤적을 쉽고 효율적으로 제어할 수 있어서 다양한 지형에 적응적인 이동 동작을 생성할 수 있고, *PoSL*과 *PPDS*의 다리 동작 계획과 큐빅 스플라인을 바탕으로 지형의 변화에 따른 다리 동작의 변화를 빠르게 산출할 수 있으므로 온라인 게임이나 가상현실 내에서 캐릭터의 움직임을 표현하는데 유용하다.

그리고 이 연구에서 충돌 회피를 위한 이동하는 다리의 이동 궤적은 발목을 기준으로 계산하므로 계단과 같은 지형에서는 발끝의 충돌을 방지하기 위해서 발목을 지나치게 높게 드는 경향이 있다. 이를 해결하기 위해서 발끝을 기준으로 이동 궤적을 산출하여 발끝이 충돌하지 않는 연구가 필요하다.

앞으로 현실 세계의 움직임과 같은 효과를 제공하여 가상현실 내에서의 사실감을 증가시킬 수 있도록 다양한 지형에 따라 여러 유형의 동작에 대한 연구와 신체의 무게 중심을 기반으로 상체와 하체의 상호관계를 자동적으로 표현할 수 있는 동작 생성의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] 박기주, 백성민 외 2명, “3차원 게임 애니메이션을 위한 모션 캡처 데이터”, 동계 한국 게임학회, pp.348-352, 2002.
- [2] A.Bruderlin and T.Calvert, “Goal-directed, Dynamic Animation of Human Walking”, In Computer Graphics SIGGRAPH Conference Proceedings, pp.233-242, 1989.
- [3] 한국 게임 산업 개발원, “가상 현실과 게임”, 2002.
- [4] F.Multon, L.France, M-P.Cani-Gascuel, and G.Debunne, “Computer Animation of Human Walking”, a Survey. Journal of Visualization and Computer Animation, pp. 10:39-54, 1999.
- [5] “CG 애니메이션”, 정보과학회지 제17권 제2호 통권 제117호 1999.
- [6] H.Ko and N.I.Badler, “Animating Human Locomotion in Real-Time Using Inverse Dynamics”, IEEE Computer Graphics & Applications, pp.50-59, 1996.
- [7] R.Boulic, R.Mas, and D.Thalmann, “A Robust Approach for

the Center of Mass Position Control with Inverse Kinetics”, Journal of Computers and Graphics, 20(5), 1996.

[8] R.Boulic and D.Thalmann, “Combined Direct and Inverse Kinematic Control for Articulated Figures Motion Editing”, Computer Graphics Forum, 11(4):189-202, 1992.

[9] F.M.Silva, J.A.Tenreiro Machado, “Kinematic Aspects of Robotic Biped Locomotion Systems”, Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS’ 97, Vol.1, pp.266-271, 8-13 1997.

[10] S.Chung and J.Hahn, “Animation of Human Walking in Virtual Environments”, Institute for Computer Graphics School of Engineering and Applied Science, The George Washington University, pp.4-15, 1999.

[11] M.F.Cohen, “Interactive Spacetime Control for Animation,” In Processings of ACM SIGGRAPH, pp.293-302. Addison Wesley, July, 1992.

[12] J.T.Ngo and J.Marks, “Spacetime Constraints Revisited”, In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp.343-350, Anaheim, California, August, 1993. Addison Wesley.

[13] J.Laszlo, M.van de Panne, and E. Fiume, “Limit Cycle Control and Its Application to the Animation of Balancing and Walking”, In Processings of ACM SIGGRAPH, pp.155-162, New Orleans, Louisiana, August, 1996. Addison Wesley.

[14] J.Lee, J.Chai, P.Reitsma, J.Hodgins, and N.Pollard, “Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data”, ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH 2002), 21:3, pp.491-500, 2002.

[15] S.I.Park, H.J.Shin, and S.Y.Shin, “On-line Locomotion Generation On Motion Blending”, In Proc. ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002.

[16] A.Bruderlin and L.Williams, “Motion Signal Processing”, In Computer Graphics SIGGRAPH 95 Proceedings, pp.97-104, 1995.

[17] M.Unuma, K.Anjyo, and R.Takeuchi, “Fourier Principles for Emotion-Based Human Figure Animation,” In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp.91-96, 1995.

[18] J.Lee and S.Y.Shin, “A Hierarchical Approaching to Interactive Motion Editing for Human-like Figures”, Computer Graphics(Proc. SIGGRAPH 1999), pp.39-48, 1999.

[19] 최지호, 백두원, 정문열, “경사면 위에서의 걷기 동작을 위한 리타겟팅 기법”, 한국정보과학회, 2002.

[20] H.C.Sun and Dimitris Metaxas, “Automating Gait Animation”, Conference Proceedings on Computer Graphics, 2001.

[21] Y.M.Kang, H.G.Cho, E.T.Lee, “An Efficient Control over Human Running Animation with Extension of Planar Hopper Model,” The Journal of Visualization and Computer Animation, pp.215-224, 1999.

[22] C.Welman, “Inverse Kinematics and Geometric Constraints for Articulated Figure Manipulation,” M.S. thesis, Simon Fraser University, 1993.

[23] 송미영, 이금희, 엄기현, 김준태, 조형제, “걷기 움직임을 위한 전신의 기본 동작 계획”, 2003 동계학술발표 논문집, 한국게임학회, pp.243-248, 2003.

[24] 송미영, 이금희, 엄기현, 김준태, 조형제, “지면의 성질에 따른 캐릭터의 걷기 동작 생성”, 2003 동계학술발표 논문집, 한국게임학회, pp.255-262, 2003.

[25] 이금희, 송미영, 조형제, “전신의 움직임을 표현한 캐릭터의 걷기 동작 생성”, 2002 추계학술발표 논문집, 멀티미디어학회, pp.466-469, 2002.

[26] F.Faure, G.Debunne, M.-P.Cani-Gascuel, F.Multon, “Dynamic Analysis of Human Walking,” Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation, pp.95-107, 1997.

[27] J.K.Hodgins, “Three-Dimensional Human Running,” In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3271-3276, 1996.

[28] J.K.Hodgins, W.L.Wooten, D.C.Brogan, and J.FO.Brien, “Animating Human Athletics,” In Proceedings of ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, pp.71-78, 1995.

[29] N.Badler, C.Phillips and J.Zhao, “Interactive Realism Articulated Figure Manipulation Using Multiple Kinematic Constraints,” In Proceedings, Symposium on Interactive 3D Graphics, pp.245-250, 1990.



송미영

e-mail : songmy@swc.ac.kr

1995년 안양대학교 전자계산학과(학사)

1998년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2004년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

2004년~현재 수원여자대학 멀티미디어

통신과 전임강사

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 게임, 컴퓨터 비전



조형제

e-mail : chojh@dgu.edu

1973년 부산대학교 전자공학과(학사)

1975년 한국과학기술원 전기·전자공학과
(공학석사)

1986년 한국과학기술원 전기·전자공학과
(공학박사)

1986년~현재 동국대학교 멀티미디어공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 게임, 컴퓨터비전, 멀티미디어 정보 처리