

라인 드로잉을 이용한 직관적인 캐릭터 포즈 편집

이원규[○] 이인권
연세대학교 컴퓨터과학과
blazeq@cs.yonsei.ac.kr, iklee@yonsei.ac.kr

Intuitive character posing by line drawing

Won-Kyu Lee[○] In-Kwon Lee
Computer Science, Yonsei University

요 약

인체와 같은 복잡한 계층 구조를 가진 관절체에서 모션을 생성하는 것은 쉬운 일이 아니다. 기존의 캐릭터 포즈 에디팅 방법은 정운동학과 역운동학을 사용하여 키프레임을 생성하였다. 본 논문에서는 역운동학에 기반 한 직관적인 포즈 편집 기법을 제안한다. 선택된 연속적인 관절들을 입력으로 주어진 커브에 정렬시킴으로써 원하는 포즈를 쉽게 생성할 수 있다. 이렇게 만들어진 포즈는 키 프레임 애니메이션의 키 프레임으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 커브에 관절의 연속된 부분을 정렬시키기 위해 점진적 관절 정렬 기법(Gradual Joint Alignment along Curve)을 제시하고 이 방법을 통해 연속된 조인트 체인으로 하여금 역운동학의 제약 조건을 만족시키면서도 가능한 한 입력된 커브에 정렬될 수 있도록 하였다.

1. 서 론

인체는 200여개의 뼈와 수백 개의 근육으로 구성된다. 인체를 모델링하기 위해선 적어도 40 자유도(Degree of freedom) 이상이 필요하다.

모션을 생성하기 위해서 키프레임 방식을 사용한다면, 하나의 키프레임을 생성할 때마다 모든 조인트(joint)에 대한 회전 값을 세팅 해주어야 한다. 이를 정운동학(Forward Kinematics)라고 한다. 이와 같이 인체와 같은 복잡한 계층 구조를 갖는 관절체(articulated body)의 모션을 생성하는 일이 힘들기 때문에 모션 캡처에 의해 모션을 생성하는 방법을 사용하기도 한다.

키프레임 방식에서는 정운동학과 역운동학(Inverse Kinematics)을 이용하여 키프레임의 회전 값을 세팅 해주는데, 정운동학의 방식은 앞에서 언급했듯이 디자이너의 노력이 많이 필요하므로 역운동학을 이용하여 제약 조건을 만족하는 각 관절의 회전 값을 자동으로 구하게 된다.

모션 캡처에 의해 생성된 모션들을 재활용하여 주어진 상황에 적합한 새로운 모션을 생성하는 방법들이 많이 연구되어왔다. 실세계 오브젝트의 모션 데이터에 기반한 모션 편집 방법들은 사실적이고 자연스러운 모션을 생성하는데 적합하다. 반면에, 과장되고 비사실적인 애니메이션을 만들거나 가상 생물의 동작을 표현하고자 하는 경우, 키프레임 애니메이션이 여전히 큰 역할을 담당하고 있다. 손쉬운 키프레임 편집 기법은 디자이너의 능력을 크게 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 키프레임을 생성하기 위해 포즈를 편집하는 직관적인 방법을 설명한다. 연속된 조인트들은 하나의 커브로 추상화시켜 생각할 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 아이디어를 바탕으로 커브를 이용하여 연속된 조인트들의 위치를 지정하는 방법을 제시한다. 여기서 중요한 점은 이러한 방식으로 생성된 포즈가 인체의 제

약을 만족해야 한다는 것이다. 이를 위해 본 논문에서는 역운동학 기법을 도입한 점진적 관절 정렬 기법(Gradual Joint Alignment along Curve)을 제시하고, 이 방법을 사용하여 관절각에 대한 제약을 만족하면서 커브에도 잘 들어맞는 포즈를 생성하는 과정을 설명한다.

본문의 내용은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련된 연구에 대해 소개하고 3장에서는 점진적 관절 정렬 기법에 대한 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 결과와 성능에 대해 설명하고, 5장에서는 애플리케이션을 소개하고 마지막으로 6장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시하며 글을 끝맺는다.

2. 관련 연구

모션과 관련된 연구로 역운동학과 모션 캡처를 이용하는 방법을 설명한다.

역운동학은 로봇틱스 분야에서 상세하게 연구 되었다. 그러나 대부분의 로봇 매니플레이터는 구조가 단순하여 인체와 같이 redundancy가 심한 메커니즘은 다루기가 힘들었다. Zhao와 Badler[1]는 역운동학을 Optimization problem으로 공식화 하고 nonlinear programming을 이용하여 문제를 해결했다.

end-effector들을 이용하여 복잡한 자세를 제어할 수 있도록 하였으나 오로지 위치만을 목표로 삼았기 때문에 모션에서의 coherence를 보장하지는 못하였다.

Boulic과 Thalmann[2]은 관절체의 모션을 편집하기 위해 정운동학과 역운동학의 하이브리드 기법을 제시했다. half-space로 경계영역을 정의하고 coach-trainee 메타포를 사용하여 end-effector가 경계영역을 벗어나는 것을 방지했다.

Rose et al.[3]은 시공간 제약과 역운동학 제약을 이용하여 기본 모션 간 끊임 없는 트랜지션을 생성하는 알고

리즘을 만들었다. Gullapalli et al[4]은 생체역학과 신체 운동학을 이용하였는데, 에너지 소비와 질량 변위를 최소화하는 방법으로 새로운 모션을 생성했다.

기존의 모션 데이터를 사용하는 방법들은 다음과 같다. Bruderlin과 Williams는 이미 존재하는 애니메이션들을 warp하여 새로운 모션 시퀀스를 생성하는 방법을 제안했다.

많은 연구에서 example들을 직접 복사하거나 블렌딩하는 방식으로 새로운 모션을 생성하였고, 모션 시퀀스들로부터 유사도 함수를 학습하도록 하여 고수준의 제약들을 만족하는 애니메이션을 생성할 수 있게 했다.

Seyoon Tak, Hyeong-seok Ko[5] 논문에서는 현재 end-effector의 위치와 goal의 차이를 최소화 시키면서 동시에 오리지널 모션을 모방하는 nonlinear optimization 테크닉을 사용함으로써 optimal한 상태에서 오리지널 모션을 닮는 부드러운 애니메이션을 생성할 수 있었다.

Kovar[6]는 모션 캡처 데이터로부터 모션 그래프라는 방향그래프를 자동적으로 생성하였다. 모션 그래프는 오리지널 모션들과 자동으로 생성된 트랜지션들로 이루어진다. 모션은 그래프 상에서의 walk를 통해 생성할 수 있는데, 주어진 제약을 만족하는 walk를 생성하는 프레임워크를 제공함으로써 원하는 모션을 생성할 수 있다.

Keith와 Steven[7]은 인체 포즈에 대해 학습 모델을 이용한 IK 시스템을 제안했다. 이 모델은 가능한 모든 포즈 공간의 확률적인

분포로서 표현되는데, 각기 다른 종류의 트레이닝 데이터로 모델을 트레이닝 시킴으로써 어떠한 제약이 주어졌을 때, 그 제약을 만족하면서 트레이닝 한 데이터의 스타일과 유사한 포즈를 리얼타임에 생성해낼 수 있다.

Liu와 Hertzmann[8]는 캐릭터 모션에 대해 물리 기반 표현법을 제시하였다. 모션 캡처 데이터로부터 생체역학에 기반 한 운동학적 factor를 뽑아내어 스타일을 구성하고 다른 애니메이션에 동일한 스타일을 적용한다면 이러한 factor들을 사용하여 다른 스타일을 편집하기도 했다.

본 논문에서는 역운동학에 기반 한 직관적인 포즈 편집 기법을 제안한다. 선택된 연속적인 관절들을 입력으로 주어진 커브에 정렬시킴으로써 원하는 포즈를 쉽게 생성할 수 있다. 이렇게 만들어진 포즈는 키프레임으로 사용되어 키프레임 애니메이션을 만드는데 사용된다.

다음 장에서는 자세한 알고리즘에 대해 살펴보겠다.

3. 커브에 대한 점진적 조인트 정렬 기법

관절체에서 지정된 조인트 서브셋을 커브에 정렬시키기 위한 방법을 제시한다.

이 알고리즘은 커브와 커브에 정렬할 조인트 서브셋을 입력으로 한다. 입력 커브는 3차원 상에서 정의된다. 입력되는 커브의 형태는 연속된 선분들의 리스트이다. 커브는 시작점부터 끝점까지 진행방향을 갖는다고 가정한다. 커브에 정렬할 조인트 서브셋은 조인트 체인(Joint chain)이라 명명한다. 조인트 체인은 관절체의 일부분으

로서 조인트와 링크의 집합이다. 조인트 체인 내의 모든 조인트들은 부모-자식 관계로 연결되어 있으며 하나의 부모 조인트가 하나의 자식 조인트만을 갖는 형태이다. 각 조인트 노드를 연결하는 아크(arc)는 관절체에서 링크에 해당한다. 이 논문에서는 링크의 길이는 고정되어 있다고 가정하였다. 이렇게 분기 없는 트리 구조는 관절체의 계층형 트리 구조에서 하나의 경로를 나타낸다. 이렇게 링크로 연결된 일련의 조인트 시퀀스는 그 위치를 커브로 제어하기에 적합하다.

다음과 같은 제약 조건 하에서 문제에 접근한다. 우선 커브는 진행 방향에 맞춰 조인트 체인을 정렬 시킨다. 조인트 체인은 상위 조인트부터 하위 조인트의 순으로 정렬되어 있으므로 커브의 시작점에서 끝점까지의 진행 방향에 맞춰 조인트 체인을 순서대로 정렬한다. 커브의 진행방향을 고려하지 않는다면 커브와 조인트 체인이 서로 반대의 위치에서부터 정렬되어 원하지 않는 결과를 만들어낼 수 있다. 또한 조인트 체인은 관절체에 주어진 제약 조건을 만족해야 한다. 본 논문에서는 각 조인트에서 회전 범위에 제한을 주어 일정 범위 이상으로 조인트들이 꺾이는 것을 방지하였다. 또한 앞에서 언급했듯이 조인트들을 연결하는 링크의 길이는 변하지 않는다고 가정한다.

몇 가지 용어에 대한 확인 및 정의를 하겠다. 링크의 길이가 변하지 않는 관절체에서 DOF(Degree of freedom)는 회전각의 개수에 의해 결정되며 특정 시점에서 관절체의 모양을 결정하는 회전각을 모두 모아놓은 벡터를 포즈(pose)라고 정의한다. 포즈는 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n), n : DOF$$

각 회전각은 관절체의 동작의 한계를 나타내기 위해 범위를 갖는다. 이러한 범위들에 의해 제한된 포즈 공간을 허용 포즈 공간 Θ 로 정의한다.

$$\forall \vec{\theta} \in \Theta$$

커브는 3차원 상에서 패러미터 t에 의해 정의되며 t가 0인 곳이 시작점 t가 1인 곳이 끝점이다.

$$P(t), 0 \leq t \leq 1$$

현재의 포즈가 $\vec{\theta}$ 일 때, 각 조인트의 위치는 정운동학으로 계산 된다. 각 조인트에 대한 변환 함수를 X_j 라고 하면 $X_j(\vec{\theta})$ 는 관절 j의 위치를 나타낸다.

커브 모양에 가깝도록 관절들을 배열하는 것이 목표이므로 다음 수식을 최소화 하는 $\vec{\theta}$ 가 우리가 구하고자 하는 해가 된다.

$$\text{minimize } \sum_{j \in J} \|X_j(\vec{\theta}) - P(t_j)\|$$

$i, j \in J$ 라고 할 때, i 번째 조인트는 j 번째 조인트보다 상위 조인트이다. 커브의 진행 방향이 조인트 체인의 방향과 일치하므로 $t_i \leq t_j$ 이어야 한다.

위의 수식에서 $\vec{\theta}$ 와 모든 t_j 값들이 서로 독립적인 변수이므로, 한 번에 해를 구하기는 힘들다. 포즈 벡터와 커브 파라미터를 번갈아 고정 시키며 점진적으로 해에 근접해가는 방법을 사용할 수 있다.

목적 함수를 최소화하기 위해 다음 세 가지 알고리즘이 필요하다.

1. 포인트 셋(point set)에 대한 조인트 체인 정렬
2. 로컬 탐색(Local search)으로 목적지 포인트 셋을 구하는 방법
3. 주어진 커브 밖의 점에 가장 가까운 커브 위의 점 찾는 방법

이제부터 세부적으로 3가지 알고리즘에 대해 살펴본다.

3.1 포인트 셋에 대한 조인트 체인 정렬

목적지 포인트 셋을 $\{P_j\}$ 이라고 할 때, 다음과 같은 Objective Function을 minimizing하는 Optimization Problem을 풀면 포즈의 제약 조건을 지키면서 목적지 포인트 셋에 최대한 유사한 포즈를 구할 수 있다.

$$\text{minimize } \sum_{j \in J} \|X_j(\vec{\theta}) - p_j\|^2$$

3.1 로컬 탐색으로 목적지 포인트 셋을 구하는 방법

그림 1에서 흐리게 표시된 조인트 체인은 처음에 주어진 상태를 보여준다. 빨간색 조인트가 조인트 체인 내에서 최상위 노드이고 파란색 조인트가 최하위 노드이다. 녹색 조인트는 빨간 조인트의 부모 노드이다.

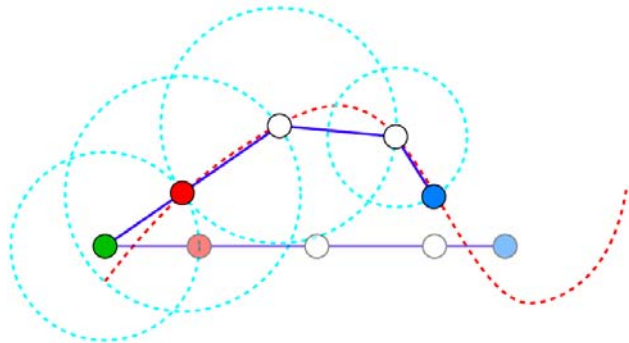


그림 1: Local search로 조인트 초기 위치 구하기

포인트 셋의 점 p_j 를 구하는 과정은 다음과 같다.

최상위 조인트부터 최하위 조인트까지 다음 과정을 반복한다. 커브의 진행방향은 왼쪽에서 오른쪽이다.

1. 현재 조인트의 부모 조인트를 중심으로 하고 부모 조인트와 연결되는 링크의 길이를 반지름으로 하는 구를 그린다. 구와 커브가 만나는 교점이 존재하지 않으면, 다음 조인트로 진행한다.
2. 구와 커브가 두 점 이상에서 교차하는 경우에는 교점 중에 가장 가까운 것을 택한 뒤, 시작부터 교점까지의 커브를 앞으로의 계산에서 무시한다.
3. 현재 조인트의 위치를 교점으로 맞추고 그 이하의 서브 조인트들도 현재 조인트가 움직인 만큼 이동시킨다.
4. 다음 조인트로 진행한다.

이렇게 최상위 조인트부터 Local search를 하면서 목표점 p_j 를 구하면, 관찰각에 대한 제약이 없다고 가정했을 때, 링크 길이의 제약만을 만족하면서 커브에 최대한 들어맞는 조인트의 위치들을 구할 수 있다.

3.3 주어진 커브 밖의 점에 가장 가까운 커브 위의 점 찾는 방법

주어진 커브 밖의 점을 x_j 라고 할 때 가장 가까운 커브 상의 점 $P(t_j)$ 들을 구한다. 특정 점에서 가장 가까운 커브상의 점을 구하는 방법은 다음과 같다.

$$(x_j - P(t_j)) \cdot (\dot{P}(t_j)) = 0$$

위 식을 만족하는 t_j 는 여러 개 존재할 수 있는데 그 중에서 $\|x_j - P(t_j)\|^2$ 가 최소가 되는 t_j 를 찾는다. 즉, $P(t_j)$ 가 점 x_j 와 가장 가까운 점이다.

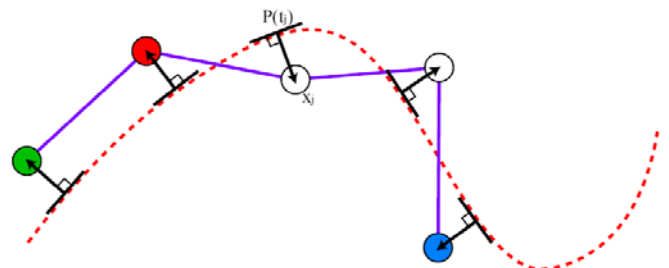


그림 2: 특정 포인트 셋에 가장 가까운 커브 상의 포인트 셋 구하기

다음절에서는 이 방법들을 조합하여 목적 함수를 최소화 하는 절차를 설명한다.

3.4 최종 해 구하기

목적 함수를 최소화하기 위해 다음과 같은 절차를 거친다.

1. 로컬 서치를 통해 초기 목적지 포인트 셋을 구한다.
2. 목적지 포인트 셋에 조인트 체인 일치시키기 (이전에 2번이 수행되었을 때부터 조인트 체인의 위치 변화량을 계산한다. 위치 변화량이 임계값 이하일 경우 계산을 멈추고 현재 포즈를 반환한다.)
3. 조인트 체인의 각 조인트들에 대해서 커브 상에 최소 거리에 있는 점을 찾아 목적지 포인트 셋으로 설정한다.
4. 2번 과정을 수행한다.

알고리즘은 2번 과정을 마지막으로 종료된다. 1, 3의 과정은 커브에 최대한 근접하도록 목적지 포인트 셋을 결정하는 과정이고 2번 과정은 회전각 제한을 지키면서 목적지 포인트 셋에 최대한 근접하는 과정이다.

알고리즘의 결과로서 주어진 곡선에 잘 정렬된 조인트 체인을 얻을 수 있다.

3.5 결과

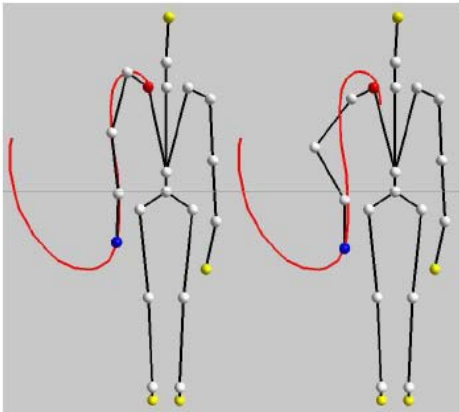


그림 3

왼 쪽: Local search의 결과
오른쪽: 첫 번째 Point set fitting 적용

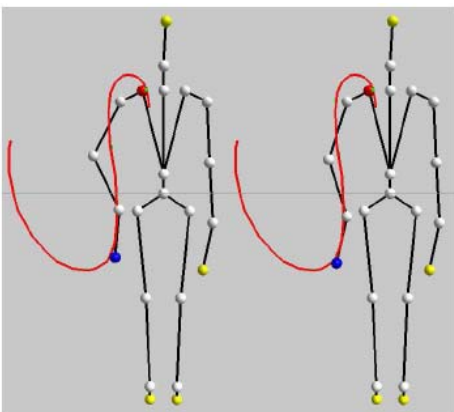


그림 4

왼 쪽: 두 번째 Point set fitting 적용
오른쪽: 세 번째 Point set fitting 적용

위의 그림에서 볼 수 있듯이 Local Search만을 적용하여 조인트 체인의 위치를 맞춘 경우 어깨에서 회전각의 제한이 깨진 것을 볼 수 있다. 커브에서 가까운 점을 찾아가며 포인트 셋과의 피팅 회수를 늘린 경우 주어진 곡선에 더 가까이 조인트들이 정렬됨을 알 수 있다. 보통 2회 정도 반복한 이후에는 반복 회수를 늘려도 이전 단계의 결과와 그리 큰 차이가 나지는 않는다.

5개의 조인트로 이루어진 조인트 체인에 위의 그림과 같은 실험을 실시했을 때 5회 평균 실행시간은 다음과 같다.

- Local Search : 0.36 msec
- 1st Fitting : 5.56 msec
- 2nd Fitting : 24.89 msec
- 3rd Fitting : 43.94 msec

4. 구현

직관적인 포즈 에디팅을 테스트하기 위해 데모 애플리케이션을 제작하였다. 데모 애플리케이션은 다음과 같은 기능을 가진다.

- 모션 캡처 데이터 재생
- 마우스 피킹으로 조인트 두개를 선택함으로써 조인트 체인을 선택할 수 있다.
- 라인 드로잉 기능
- 키프레임 저장, 선형 보간 애니메이션 기능

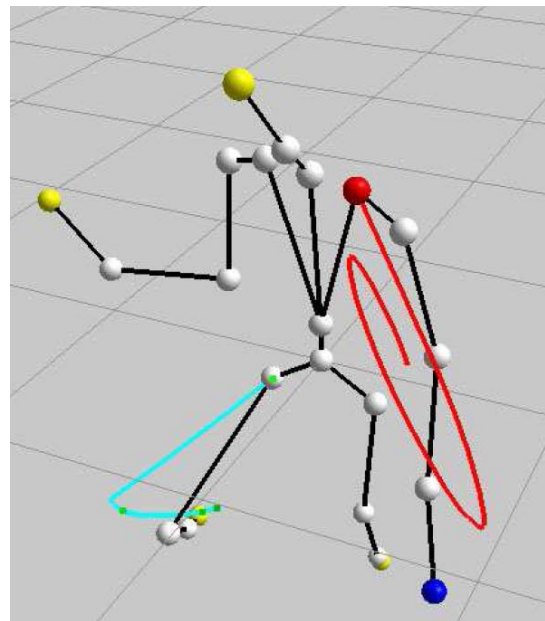


그림 5 : Demo Application

사용한 인체 모델은 다음 그림6 과 같다. 좌측 관찰각 제한만을 표시하였지만 우측 역시 대칭적인 관찰각 제한을 주었다.

기존의 역운동학을 사용한 키프레임 애니메이션에서는 end effector의 위치 정보를 이용하여 각 포즈의 회전각을 생성했다. 커브를 이용한 포즈 세팅 시에는 제약 사항이 더욱 강하기 때문에 적절한 간격마다 키프레임을 생성했다면, 모션 생성 시, time coherence에 대해 깊이 고려할 필요가 없었다.

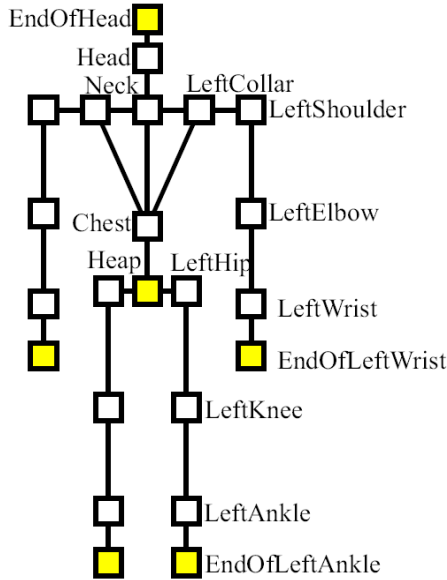


그림 6: 사용한 인체 모델

5. 적용 사례

Animation tool 기존의 키프레임 애니메이션 툴에서 제공되는 FK, IK 기능과 더불어 본 논문에서 제시한 라인 드로잉을 통한 포즈 생성 기법을 사용하면, 디자이너로 하여금 좀 더 효율적으로 원하는 모션을 생성하게 할 수 있다. 또한 커브 자체를 애니메이션 시퀀스로써 기존 방식과 다른 방법으로 모션 데이터를 생성할 수 있다. 예를 들면 특정한 웨이브 플로우에 맞춰 춤동작을 변형시키는 경우 조인트들의 위치를 결정하기 위해 웨이브 플로우를 컨트롤 커브로 사용할 수 있을 것이다.

6. Future work

현재의 시스템에는 평면상에서 포즈를 컨트롤하는 라인을 그릴 수 있다. 3D 공간상에 원하는 곡선을 자유롭게 그릴 수 있다면 라인 드로잉을 통한 포즈 세팅이 더욱 강력한 기능을 발휘할 것이다. 이에 대한 아이디어로는 공간상에 적당한 가상 지오메트리를 생성하고 화면에 그은 스트로크로 하여금 지오메트리에 투영되도록 하여 3D 공간상에 다양한 모양의 커브를 생성하는 것이다. 유저 인터페이스를 개선함으로써 얻을 수 있는 효과가 매우 클 것이다.

또한 라인 스트로크가 단지 국소적인 조인트 체인에만 적용되는 것이 아니라 캐릭터에 전역적으로 적용될 수 있는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이를 위해선 주어진 곡선을 분해하여 조인트와의 상대적인 위치 관계를 분석한 뒤, 분해된 곡선 세그먼트들에 적절한 방향을 부여하고, 관련된 조인트 체인을 업데이트 하는 방법을 고려해야 한다. 이것이 구현되면 커브를 이용하여 개개의 캐릭터뿐만 아니라 캐릭터 집합에 대한 전역적인 모션 제어를 할 수 있다.

7. 결론

본 논문에서는 커브를 이용한 캐릭터 포즈 편집 기술에 대해 설명했다.

그 방법으로서 커브에 대한 점진적인 조인트 정렬 기법을 제시하였다. 이 방법을 사용하면 역운동학적인 제약조건을 만족하면서 커브에 최대한 조인트들의 위치를 맞출 수 있다.

지오메트리 모델링 분야에서는 Free form sketching을 이용하여 폴리곤, 또는 매개변수 곡면 오브젝트를 생성하는 기법들이 소개되었으나 관절체의 포즈를 제어하기 위해 드로잉 입력을 받는 연구는 많이 되지 않았다. 역운동학을 사용한 포즈 제어 기법은 키프레임 애니메이션을 좀 더 쉽게 생성하는데 큰 도움을 주었다. 본 논문에서 제시한 방법을 통해 좀 더 직관적이고 편리하게 캐릭터 포즈 생성을 할 수 있다.

7. 참고 문헌

- [1] Jianmin Zhao and Norman I. Badler, "Inverse kinematics positioning using nonlinear programming for highly articulated figures", ACM Transactions on Graphics, 1994.
- [2] Ronan Boulic and Daniel Thalmann, "Combined direct and inverse kinematic control for articulated figure motion editing", Computer Graphics Forum, 1992.
- [3] Charles Rose, Brian Guenter, Bobby Bodenheimer, and Michael F.Cohen., "Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints.", Computer Graphics (SIGGRAPH'96 Proceedings), 1996.
- [4] Gullapalli, V., Gelfand, J. J., and Lane, S. H., "Synergybased learning of hybrid position/force

- control for redundant manipulators", Proceedings of IEEE Robotics and Automation Conference, 1996.
- [5] Seyoon Tak, Hyeong-seok Ko, "SExample guided inverse kinematics", 2000.
- [6] GLucas Kovar, Michael Gleicher, Frederic Pighin, "Motion Graphs", SIGGRAPH'02 Proceedings, 2002.
- [7] Keith Grochow, Steven L.Martin, Aaron Herzmann, zoran Popovic, "Style-Based Inverse Kinematics", CM Trans., SIGGRAPH'04 Proceedings, 2004.
- [8] D.Baker and C. Wampler, "On the inverse kinematics of redundant manipulators", The International Journal of Robotics Research, 1988
- [9] Armin Bruderlin and Lance Williams, "Motion signall processing", In Computer Graphics(SIGGRAPH'95 Proceedings), 1995
- [10] fmot04 Jehee Lee and Sung Young Shin, "A hierarchical approach to interactive motion editing for human-like figures", SIGGRAPH 99 Conference Proceedings, Annual Conference Series. ACM SIGGRAPH, 1999