

운동학 연산 간소화를 위한 선택적 주의와 최적화 기법 기반 점진적 모션의 표현 *

권지용[°], 윤종철[†], 이인권[‡]

연세대학교 컴퓨터과학과^{°†‡}

mage@cs.yonsei.ac.kr[°], media19@cs.yonsei.ac.kr[†], iklee@yonsei.ac.kr[‡]

Perception and Optimization-based Level of Motion Details for Forward Kinematics Simplification

Ji-yong Kwon [°], Jong-Chul Yoon[†], In-Kwon Lee[‡]

Dept. of Computer Science, Yonsei University^{°†‡}

요약

군중 장면의 실시간 처리를 위해서는 기하 처리 부분 뿐만 아니라 모션 처리 부분까지 다단계 표현 기법 연구가 필요하다. 우리는 모션 처리 부분에서 사용되는 운동학 연산 간소화를 위해, 선택적 주의와 최적화 기법을 통한 모션 다단계 기법을 제안한다. 선택적 주의 기법으로 잘 알려진 가우시안 거리 기법을 응용하여, 우리는 한 모션에서 각 관절의 중요도를 수치화할 수 있다. 또한 운동학 연산에서 제외된 관절에 의해 손상된 각 단계의 모션에 대하여, 비선형 최적화 기법을 통해 최대한 손상을 막은 모션으로 수정할 수 있다. 우리는 제안한 다단계 표현 기법을 통해 표현된 모션의 어색한 정도를 설문조사를 통해 객관적으로 검토하였고, 피실험자들이 관절각이 어느 정도 적은 상태를 유지하는 모션에 대해서는 다단계 표현 기법을 통한 군중 장면과 원본 군중 장면의 차이점을 파악하지 못했음을 발견하였다. 또한 제안한 기법을 사용하여 군중 장면을 렌더링 하면 전체 처리 시간이 약 16% 정도, 운동학 연산 시간이 약 70% 절감됨을 알 수 있었다.

1. 서론

애니메이션, 게임 등을 제작하는 데에 있어 모션 데이터의 중요성은 나날이 커지고 있다. 또한 컴퓨터의 성능이 계속해서 향상되어 다수의 캐릭터가 한 화면에 등장하는 군중 장면을 처리하는 것이 가능하게 되었다. 그러나 아직까지 수 백 개의 캐릭터를 처리해야 하는 군중 장면을 실시간으로 렌더링하는 데에는 현재의 컴퓨터 성능이 미흡한 것이 사실이다. 또한 인간의 인지적 측면에 있어서 인간의 눈으로 인지하지 못하는 작은 요소까지 처리하는 것은 효율적인 자원 관리적 측면에서 불필요하다. 따라서 컴퓨터의 자원을 효율적으로 사용하기 위한 다단계 표현(Level of Detail)에 대한 연구가 필요하다.

하나의 장면을 렌더링하는 작업은 크게 두 개의 과정을 거친다. 하나는 기하 처리이며, 다른 하나는 애니메이션의 모션 처리이다. 기하 처리 부분은 캐릭터를 이루고 있는 삼각형의 표현을 포함하며, 많은 연산을 필요로 한다. 이러한 점에 의해 기하 처리에서의 다단계 기법은 많은 연구가 진행되었다. 애니메이션의 모션 처리는 캐릭터를 이루고 있는 각 관절의 공간 변환을 말하며, 기하 처리 부분에 비해 상대적으로 적은 연산을 필요로 한다. 이러한 점에 의해 모션에서의 다단계 기법은 기하적 다단계 기법에 비해 다소 적은 연

산만이 진행되었다. 그렇지만 군중 장면을 실시간으로 처리하기 위해서는 매우 많은 자원이 필요하기 때문에, 모션의 다단계 기법을 연구가 필요하다고 볼 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 하나의 모션에서 중요한 관절과 중요하지 않은 관절을 구분하는 선택적 주의 기반의 집중점 값 계산을 토대로, 원본 모션에 비해 임의 개수의 관절이 제외된 모션을 대체하는 모션의 다단계 기법을 제안한다. 집중점 맵은 Itti[1]에 의해 처음 소개되었으며, 주로 이미지에서의 집중점을 찾는 데에 널리 사용되어온 방법이다. 우리는 이 집중점 맵에 착안하여 모션에서 두 개 이상의 관절에서 집중을 받는 정도의 비교 우위를 찾는 방법을 제안한다. 또한, 이를 기반으로 중요하지 않은 관절 다수개를 제외하여, 적은 수의 운동학 계산으로도 비슷한 모션을 보여줄 수 있는 모션 최적화 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 집중점에 대한 소개를 하고 이를 토대로 모션에서의 집중점 값을 찾는 방법에 대하여 알아보겠다. 3장에서는 주어진 관절을 운동학 계산에서 제외시켰을 때 원본 모션과 가장 흡사하게 보일 수 있도록 하는 모션 최적화 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 기법을 바탕으로 한 실험 및 결과 분석을 하고 마지막 장에서 결론 및 향후과제를 논하고자 한다.

*본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10117-0(2004))의 지원으로 수행되었음

2. 모션의 집중점 찾기 알고리즘

모션의 집중점을 찾는 알고리즘은 크게 다음과 같은 두 단계로 이루어져 있다. 먼저, 각각의 관절에 대한 가우시안 피라미드를 구성하여 적정 단계에서의 가우시안 거리를 계산한다. 다음 구해진 가우시안 거리를 기반으로 하여 실제 관절의 집중점 값을 계산한다.

2.1 관절에서의 가우시안 피라미드

영상처리에서 집중점 맵이란 하나의 이미지에서 인식적으로 집중이 되는 값을 맵으로 표현한 것이다. 이것을 통해 가장 집중이 되는 점 또는 영역을 구할 수 있어서 이미지의 압축이나 지도 등의 큰 이미지의 이해를 돕기 위한 도구로 많이 사용되고 있다. Itti [1] 가 제안한 알고리즘이 대표적인 집중점을 찾는 방법이다. 그 후로도 알고리즘의 계산상의 간략화를 가져온 다른 연구도 발표되었다. 영상처리에서 집중점을 찾는 방법은 가우시안 피라미드를 통한 낮은 주기와 높은 주기의 차이를 기반으로 한다. 가우시안 거리(Gaussian distance)라고도 불리는 이 방법은 높은 주기를 가지는 피라미드의 단계에서 낮은 주기를 가지는 피라미드의 단계를 픽셀당 계산을 통해 차이를 낸 결과 값을 뜻한다. 즉 이 값이 큰 부분이 집중점이 될 가능성이 크다는 것이다. 영상처리에선 이 차이 값의 기준으로 보색관계, 색의 대비 등이 사용되었다. 가우시안 피라미드는 이미지에서의 집중점 맵을 계산하는 인기있는 방법으로 알려져 있다. 이미지에서 각 픽셀당 집중이 되는 정도를 집중점 맵(Saliency map)이라 한다. 이것을 통해 가장 집중이 되는 점 또는 영역을 구할 수 있어서 이미지의 압축이나 지도와 같은 큰 이미지의 이해를 돕기 위한 도구로 많이 사용되고 있다. 식 (1)은 개략적으로 가우시안 거리를 구하는 방법을 나타낸다.

$$G_{distance} = |G_n - G_{n+\Delta}|, \quad (1)$$

여기서 n 는 사용자가 입력한 특정 단계의 값이고 Δ 는 거리를 구하고자 하는 단계의 차이를 뜻한다.

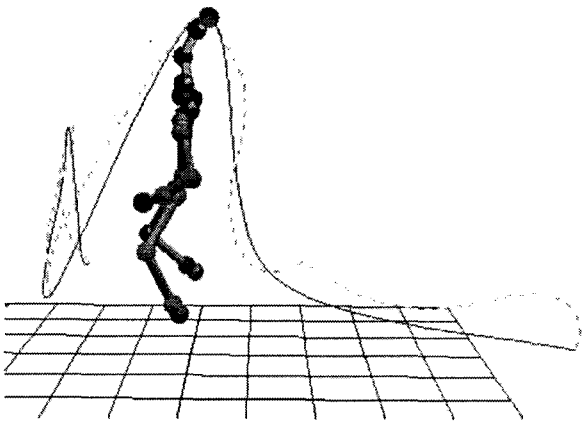


그림 1: 관절의 동선에 대한 가우시안 피라미드. 점선이 원본 동선이고 실선이 원본 동선에 대한 가우시안 피라미드 중 32단계에 해당한다.

본 논문에서는 모션에서의 집중점이 캐릭터를 이루는 각 관절에 있다고 가정하였다. 각 관절에서의 집중점 값을 계산하기 위하여, 본 논문에서는 각 관절이 공간에 그리는 동선에 대한 가우시안 거리를 구하여, 이를 통해 관절의 집중점 값을 계산하였다. 그림 1은 뛰어 오르는 모션을 취하는 캐릭터의 손 관절에 대한 동선과 그에 대한 가우시안 피라미드의 한 단계를 나타낸 그림이다. 그림 2는 각 관절의 동선을 이용하여 구한 가우시안 거리 값 $T(j_n)$ 과 최종적으로 계산되는 집중점 값 $A(j_n)$ 간의 관계를 보여준다.

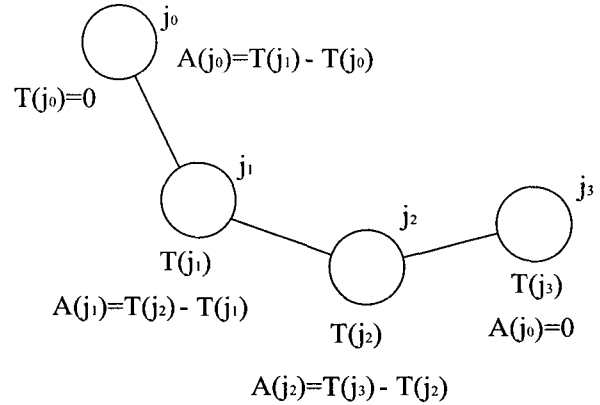


그림 2: 관절의 집중점 값을 구하는 과정

$T(j_i)$ 가 미리 정의된 단계값을 통하여 구한 관절 j_i 의 동선에 대한 가우시안 거리라고 하자. 그림 2에서 루트 관절 j_0 가 평행이동을 하지 않는다고 가정하자. 이때 동선이 생기는 관절은 j_1, j_2, j_3 이며 이들의 동선에 대한 가우시안 거리 $T(j_1), T(j_2), T(j_3)$ 를 계산할 수 있다. 이렇게 얻어진 가우시안 거리 값 $T(j_n)$ 을 자신의 부모 관절들로부터 얻을 수 있는 값을 실제 집중점 값 $A(j_0), A(j_1), A(j_2)$ 들의 관계식으로부터 얻어낸 값이라고 하자. 그림 2를 예제로 보면, $T(j_3)$ 는 그의 부모 관절인 j_2 와 다시 그의 부모 관절인 j_1, j_0 의 영향을 받은 관절이므로 이 모든 값이 식의 유도에 포함되어야 한다. 하나의 부모 관절이 그 아래 자식 관절에게 모두 동일한 작용을 한다고 가정했을 때 그림 2에서의 관계식을 표현하면 다음과 같다.

$$T(j_1) = A(j_0) \quad (2)$$

$$T(j_2) = A(j_0) + A(j_1) \quad (3)$$

$$T(j_3) = A(j_0) + A(j_1) + A(j_2) \quad (4)$$

따라서 본 논문에서 구하고자 하는 실제 관절의 집중점 값은 다음과 같이 부모 관절과 자식 관절의 가우시안 거리 값의 식으로 구해진다.

$$A(j_0) = T(j_1) \quad (5)$$

$$A(j_1) = T(j_2) - T(j_1) \quad (6)$$

$$A(j_2) = T(j_3) - T(j_2) \quad (7)$$

관절이 여러개의 자식 관절을 가지고 있는 경우로 일반화하면 다음과 같은 식이 된다.

$$A(j_p) = \sum_{j_c} T(j_c) - T(j_p) \quad (8)$$

여기에서 j_c 는 자식 관절을, j_p 는 부모 관절을 의미한다.

3. 운동학 연산 간소화 전략

본 절에서는 앞서 구한 관절에서의 집중점 값을 이용하여 모션의 다단계 표현을 하는 전략에 대하여 기술한다. 모션의 다단계 표현이 전체적인 연산의 간소화에 기여하기 위해서 필요한 전제 조건은 임의의 관절이 모션의 표현에서 빠지게 되었을 경우 그 관절에 대한 회전행렬 계산을 하지 않는다는 점이다. 관절을 회전하지 않을 경우 부모 관절의 회전행렬을 그대로 이용할 수 있어 사원수 혹은 오일러각을 통한 회전계산이 간소화된다. 그러나 원래의 모션이 가지고 있는 특징을 잃어버리기 쉬우므로 적절한 전처리를 통해 원래 모션과 가장 유사한 형태가 되도록 수정해야 한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 관절의 위치와 기저를 기반으로 하는 최적화 방법을 제안한다. 또한 다단계 표현을 하는데 있어서, 단계와 단계 사이의 표현 중에 모션이 크게 변하는 장면이 발생할 수 있는 점을 보완하기 위해, 각 단계 사이를 적절히 보간하는 방법을 채택하였다.

전체적인 알고리즘의 흐름은 다음과 같다.

1. 전처리 단계

- 각 관절의 가우시안 거리값을 이용해서 관절을 중요도 순서로 정렬한다.
- 미리 정의된 관절 개수 만큼씩 증가시키면서 중요하지 않은 관절을 제외시킨 모션을 만들어낸다.
- 모션이 최대한 원본과 유사하게 보이도록 최적화 문제를 푼다.

2. 운동학 연산, 다단계 표현 단계

- 화면에 보여지는 캐릭터와 카메라 간의 거리의 제곱값을 계산한다.
- 계산된 값을 토대로 표현 단계를 결정한다.
- 해당 단계에 해당하는 모션을 화면에 그려준다.

3.1 모션의 최적화 공식

본 논문에서는 임의의 관절이 제외된 모션을 원래 모션과 가장 유사하게 보이도록 하는 문제에서, 먼저 각각의 자세간의 차이를 최소화하는 부분문제를 매 프레임에 대하여 해결하는 방향으로 접근하였다. 원본 모션의 한 프레임에서의 자세를 J_0 , 주어진 관절이 회전하지 않으면서 가장 원본 자세와 비슷한 자세를 J 라고 가정하였을 때, 제안하는 최적화 목적함수는 다음과 같다.

$$O(J) = \sum_{j_i \in J_0, j_i' \in J} \|Pos(j_i) - Pos(j_i')\|^2 \quad (9)$$

여기서 $Pos(j_i)$ 은 관절 j_i 의 절대 좌표 벡터를 의미한다. 즉, 각각의 관절간의 거리의 차가 최소화되도록 최적화 문제를 풀게 된다.

한편, 캐릭터를 이루고 있는 각 관절이 일정한 오프셋을 유지하기 위해서 적당한 제한을 주어야 한다. $Pos(j_i)$ 을 사용하여 식을 표현하면 다음과 같다.

$$\|Pos(j_c) - Pos(j_p)\|^2 = \|\vec{\sigma}_{pc}\|^2 \quad (10)$$

여기서 $\vec{\sigma}_{pc}$ 는 부모 관절 j_p 와 자식 관절 j_c 간의 기본 오프셋 벡터이다. 이와 같은 식을 통하여 최적화를 하면 구현하기에는 간단하지만, 계산 속도가 빠르지 못한 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 관절의 기저 또한 변수로 지정하여 제한식을 더 빠르게 계산할 수 있도록 하였다. 관절의 기저를 이용한 식은 다음과 같다.

$$Pos(j_c) - Pos(j_p) = \mathbf{R}_p \vec{\sigma}_{pc} \quad (11)$$

여기서 \mathbf{R}_p 는 부모 관절 j_p 의 기저 행렬이다. 여기에서 기저 행렬을 이루는 오일러각 3개를 변수로 주게 되면, 두 개의 관절이 오프셋 벡터만큼 떨어져 있으며, 회전에 자유로운 형태가 된다.

다음으로 회전을 제한하고자 하는 관절에 대한 제한식은 매우 간단한 형태로 유도할 수 있다. 어떠한 관절이 회전을 하지 않도록 제한하게 되면, 그의 기저와 부모 관절의 기저가 동일하게 되므로 이 조건을 그대로 사용할 수 있으며, 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\mathbf{R}_p = \mathbf{R}_c \quad (12)$$

3.2 운동학 연산 간소 조건식과 단계간 보간

앞에서 살펴본 최적화 기법을 통해 단계별로 일정한 개수의 관절의 움직임을 제한한 모션을 생성하면, 화면에 보여질 모션의 단계를 결정하는 과정이 필요하다. 또한 모션이 진행되면서 캐릭터의 단계가 바뀌는 경우, 단계 간의 부드러운 전이가 필요하다.

본 논문에서는 캐릭터의 모션 단계를 계산하기 위하여 간단한 거리 계산식을 이용하였다. 즉, 카메라의 위치와 캐릭터의 루트 관절간의 거리 제곱값을 계산한 후, 이 값이 사용자가 지정한 각 단계별 값을 넘어서는 경우, 그 단계의 값을 갖도록 지정하는 방법을 사용하였다. 각 단계별 값 간의 차이는 일정하지만 계산된 값은 거리의 제곱이므로 결과적으로 점점 더 멀어질수록 더 빠른 관절 감소가 이루어지게 된다. 캐릭터의 루트 관절을 j , 최고 단계가 되는 거리의 제곱값을 d_{max} , 모션이 가질 수 있는 최고 단계값을 LOD_{max} 라고 하였을 때, 캐릭터의 단계값 LOD_j 을 찾는 식은 다음과 같다.

$$LOD_j = \min(\|Pos(j) - \vec{c}\|^2/d_{max}, LOD_{max}) \quad (13)$$

단계 간의 부드러운 전이를 위해서 본 논문에서는 간단한 보간법을 사용하였다. 단계 a 에서 단계 b 로 전이하는 경우, 먼저 어떠한 단계가 더 높은 관절 수를 가지고 있는지를 분석한 후, 높은 관절 수를 가진 캐릭터의 각 관절에 대하여 회전값을 보간하는 방법을 선택하였다. 보간은 미리 정의된 프레임 수 사이에 보간이 되며, 보간이 끝난 후에는 계속 단계 b 에 머무르게 된다.

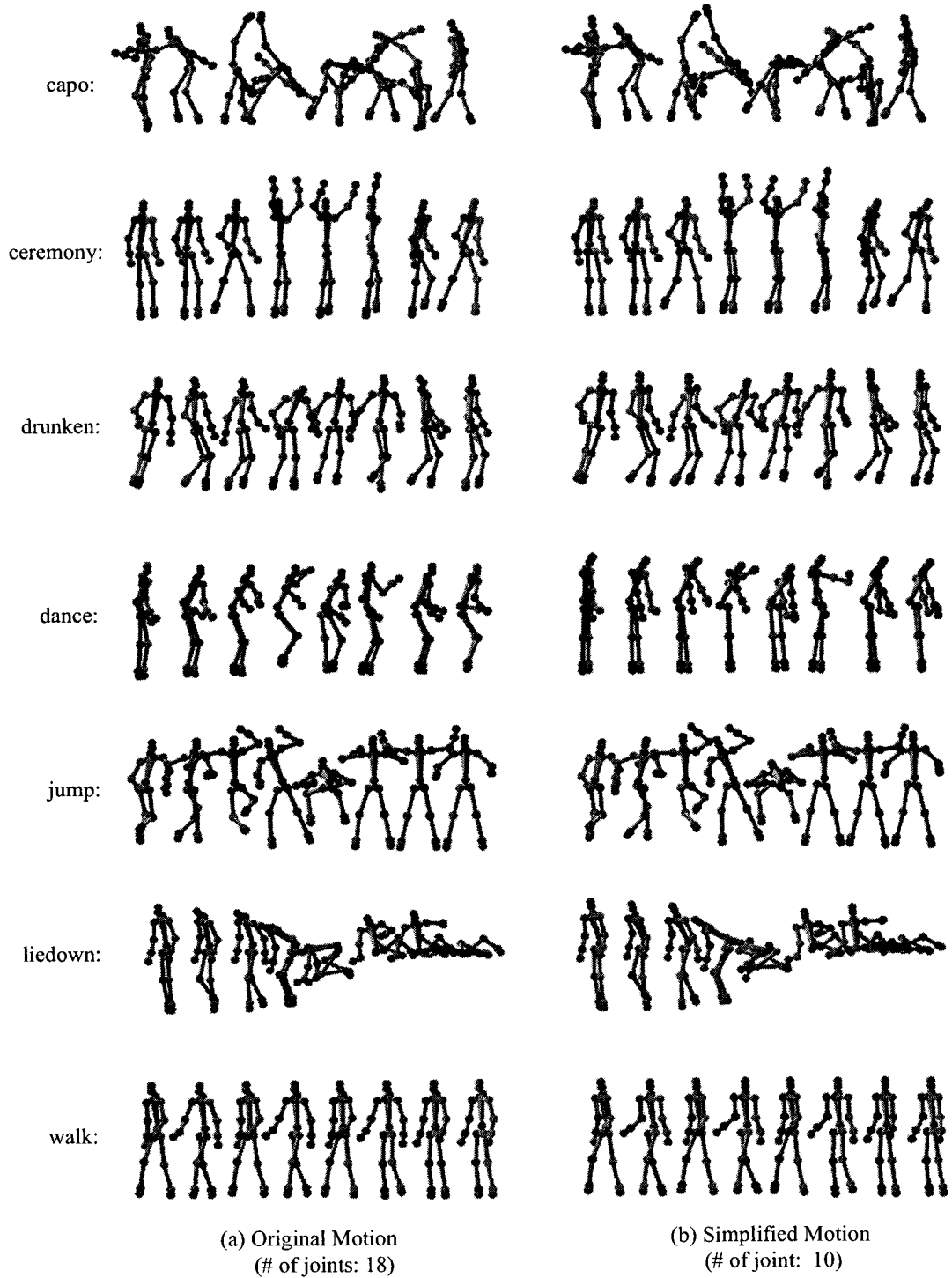


그림 3: 실험에 사용된 모션 (a)원본 모션 (b)4단계 모션(관절 8개 제외)

4. 실험 및 결과

실험을 위해서 23개의 관절을 가진 7개의 모션을 준비하였다. 각각의 캐릭터는 관절의 끝부분(End Effector) 5개를 제외하면 총 17개의 관절로 이루어져있다. 가우시안 단계값은 16으로, 매 표현 단계마다 2개의 관절을 제거한 모션을 만들었다. 따라서 원본 모션까지 합쳐 총 9단계의 모션을 생성하였다. 원본 모션의 형태는 그림 3(a)와 같다. 원본 모션의 관절을 8개 줄여서 생성한 모션이 그림 3(b)이다. dance모션을 제외한 나머지 모션에서는 각 자세가 별 차이 없음을 알 수 있다.

4.1 단일 동작의 단계별 표현

군중 장면에서 본 논문이 제안하는 선택적 주의 기반의 모션 다단계 표현이 사람들의 인지적 측면에서 유효한지 알아보기 위해서 설문조사식 실험을 실시하였다. 실험 내용은 다음과 같다. 먼저 피실험자에게 동일한 동작을 취하고 있는 군중 장면에 대하여 4개의 영상을 보여준다. 각각은 원본영상과 식 13에서 d_{max} 값을 500k, 1000k, 2000k로 정의한 3개의 다단계 기법이 사용된 영상으로 이루어져 있다. 4개의 영상은 피실험자에게 무작위 순위로 보여진다. 그리고 피실험자가 4개의 영상에 대하여 자연스러운 순으로 순위를 스스로 정하게 한다. 이러한 방식으로 앞에서 생성한 모션 7개에 대하여 같은 실험을 반복하였다.

단일 동작의 단계별 표현이 어느 정도 피실험자에게 주의 끌고 있는지를 검증하기 위해서, 피실험자가 각각의 영상에 순위를 매긴 번호를 토대로 점수를 계산하였다. 각 장면의 4개의 영상에 대하여 순위별 빈도수를 센뒤, 높은 등수 순으로 각각 41점을 주어서 전체적으로 피실험자들이 판단한 장면의 순위를 점수로 환산하였다. 그림 4는 실험에 대한 결과를 간단한 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 원 동작에 몇몇 관절의 구부러진 정도가 심한 *capo*, *Drunken*, *Dance*, *LieDown*은 피실험자들이 대체적으로 올바른 순위 매김을 하였으나, 그 외의 동작들에 대한 구분은 대체적으로 올바른 순위 매김을 못하고 있음을 알 수 있다. 이는, 구부러진 정도가 심하지 않은 모션에 대해서는 다단계 표현을 사용해도 인간이 인지하지 못할 가능성이 크다는 것을 의미한다.

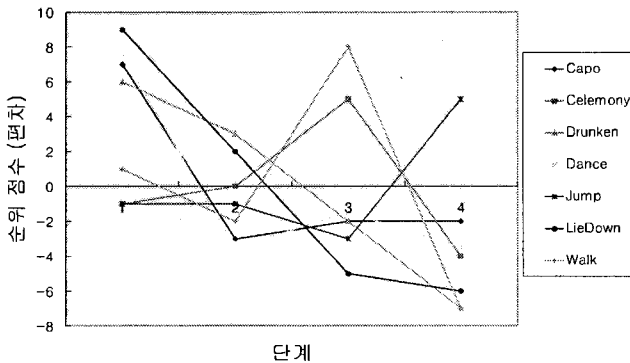


그림 4: 설문 실험 결과 그래프

4.2 군중 장면에서의 성능 향상

군중 장면에서 본 논문이 제안하는 기법이 어느 정도의 성능 향상을 가져오는지를 알아보기 위해 새로운 군중 장면을 구성하여 실험하였다. 그림 3의 동작 7개 중 하나를 택한 캐릭터 400개 표현하는 군중 장면을 구성하여, 프레임당 전체 수행 시간을 확인하였다. 이때 d_{max} 값은 1000k로 미리 정의하였다. 표 1은 원본 군중 장면과 다단계 기법을 적용한 장면의 수행 시간을 비교한 것이다.

Scene	Total Time(msec)	Kinematic Time
Original	79.15	18.20
LOD	66.32	5.37

표 1: 수행 실험 결과표

운동학 계산의 수행 시간은 안정현[2] 등이 발표한 모션 다단계 기법에서 비교한 캐릭터 애니메이션 장면 생성과 렌더링 시간에서 자세변환 시간이 차지하는 비율인 23%를 이용하여 계산한 값이다. 원본 군중 장면의 운동학 계산은 전체 수행 시간에 0.23을 곱한 값으로 계산이 가능하다. 다단계 기법을 적용한 군중 장면은 결과적으로 원본 군중 장면에 비해 운동학 계산만 단축되어 있는 형태로 볼 수 있으므로, 다단계 기법을 적용한 군중 장면의 운동학 계산 수행 시간은 원본 군중 장면 전체 계산 시간에 0.77을 곱한 뒤, 이 값을 다단계 기법을 적용한 군중 장면의 전체 계산 시간에서 뺄으로써 구할 수 있다. 결과를 분석해보면, 전체적인 수행 시간 면에서 약 16%, 운동학 계산 시간 면에서 약 70%의 연산 절감을 하였음을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

우리는 지금까지 모션의 집중점을 이용한 선택적 주의 기법을 통해 운동학 계산 성능향상을 할 수 있는 다단계 기법에 대하여 제안하였다. 운동학 계산이 전체적인 렌더링 시간에 관여하는 비율은 기하 계산량에 비해 작은 편이나, 다수의 캐릭터가 등장하는 군중 장면을 실시간으로 재현하는 데에 있어서는 운동학 계산 성능향상을 통해 전체적인 성능향상을 꾀할 수 있음을 알 수 있다. 더욱이 향후 실시간 군중 장면 생성에서 동역학 계산을 포함하게 되는 경우, 동역학 계산 처리가 매우 많은 비용을 요하게 되므로 동역학 계산 간소화에 적용을 하면 더 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 본 논문에서 제안하는 방법은 몇 가지 제약점이 있다. 첫째로, 임의의 개수의 관절이 제외된 모션의 최적화 문제를 푸는데 있어서 수행 시간이 다소 오래 걸리기 때문에, 전처리 없이는 실시간 수행이 불가능하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 비선형 최적화 기법을 개선한 선형 최적화 기법의 가능성을 검토해 볼 필요가 있다. 둘째로 비선형 최적화 기법을 매 프레임마다 적용하게 되므로, 모션이 전체적으로 시간적 동기화가 일어나지 않을 우려가 존재한다. 따라서 한 자세와 그 자세의 앞, 뒤 프레임을 고려하는 최적화 기법을 생각해 볼 필요가 있다. 셋째로, 모션의 길이가 길면 길수록 부정확한 집중점 값을 얻게 된다. 앞에서 제안한 집중점 값을 구하는 기법 자체는 모션의 길이와 관련이 없으나, 각 관절의 집중점 값을 기준으로 관절을 정렬하는 과정에서 한 관

절에 대해 각 프레임마다의 모든 집중점 값을 더하게 된다. 따라서 시간적으로 앞과 뒤의 일관성이 적은 동작을 토대로 모션의 각 관절에 대한 집중점 값을 계산하는 경우, 누적된 집중점 값은 적절하지 못하게 된다. 이를 해결하기 위해서, 모션의 매 프레임마다의 집중점 값이 구해지는 점을 활용하여 매 프레임마다 다른 관절을 제외시키는 방법을 구상하고 있다.

또한 본 논문에서 제안하는 방법을 발전시켜서 동역학 계산 간소화 기법에 적용하는 방법을 검토하고 있다. Stephen[5]등이 제안한 속도-가속도 기반의 동역학 간소화 계수 계산 방법 대신에, 선택적 주의 기법을 통한 동역학 상의 관절 제거 기법 또한 적용이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] L. Itti, C. Koch and E. Niebur, A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20(11):1254-1259, 1998.
- [2] 안정현, 원광연, '실시간 군중환경의 모션 다단계 기법', 한국 컴퓨터 그래픽스 학회 춘계, pp. 55-63, 2004
- [3] M. Reddy, Perceptually Optimized 3D Graphics, IEEE Computer Graphics and Applications, 21(5):68-75, 2001.
- [4] A. Aubel, R. Boulic and D. Thalmann, , Real-time display of virtual humans: Level of details and impostors , IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology Special Issue on 3D Video Technology , 10(2):207-217 , 2000.
- [5] Stephane Redon, Nico Galoppo, Ming C. Lin, Adaptive Dynamics of Articulated Bodies, ACM Transection of Graphics, 2005
- [6] R. Berka, Level of Motion Detail in Virtual Reality, WSCG 2002, 2002
- [7] Deborah A. Carlson and Jessica K. Hodgins, Simulation Levels of Detail for Real-time Animation, Graphics Interface '97, 1997