

이차 변형을 이용한 캐릭터 동작의 과장 기법 (Exaggerating Character Motions Using Quadratic Deformation)

권지용[†] 이인권^{**}
(Ji-yong Kwon) (In-Kwon Lee)

요약 본 논문은 이차 변형을 이용하여 캐릭터 동작을 만화적으로 과장하는 방법을 소개한다. 기존의 캐릭터 동작 과장 기법이 각 관절의 회전각 운동 곡선을 독립적으로 과장한 것과 달리, 우리는 캐릭터의 전체적인 포즈를 이차 변형으로 모델링하고 이를 과장함으로써 캐릭터 전체의 움직임이 과장되는 효과를 낼 수 있었다. 제시한 방법은 실시간에 빠르게 계산될 수 있으며 관절이 불안정한 방향으로 꺾이는 등의 부작용이 상대적으로 적다.

키워드 : 동작 과장, 만화화, 캐릭터 모션, 이차 변형

Abstract In this paper, we propose a method that exaggerate a character motion using quadratic deformation. While the previous methods tend to exaggerate a rotational motion of an individual joint angle, our method attempt to model the poses of a whole body at each frame and exaggerate those, so that the whole-pose action of the character can be exaggerated. Our method can be computed in real-time, and prevents a joint motion that rotates unexpected direction.

Key words : Motion Exaggeration, Cartoon Stylization, Character Motion, Quadratic Deformation

- 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000389).
- 이 논문은 제36회 추계학술발표회에서 '이차 변형을 이용한 캐릭터 동작의 과장 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것입니다.

[†] 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과
mage@cs.yonsei.ac.kr

^{**} 정회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
iklee@yonsei.ac.kr

논문접수 : 2009년 12월 23일
심사완료 : 2010년 2월 22일

Copyright©2010 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨터의 실제 및 레터 제16권 제5호(2010.5)

1. 서론

많은 연구자들이 그간 연구해 온 사실적인 관절 캐릭터 동작 생성 기법은 이제 성공적으로 영화 및 게임 애니메이션에 사용되고 있다. 그러나 아직까지도 만화 애니메이션에서는 이러한 기법들이 효과적으로 사용되지 못하고 있는데, 그 이유는 만화 애니메이션에서는 사실적인 동작보다 좀더 과장된 동작을 사용하여 전체적인 애니메이션과 개별적인 동작의 의미 전달 및 흥미 요소 유발을 피하고 있기 때문이다[1].

이러한 이슈를 바탕으로 최근 몇몇 연구자들이 사실적인 동작을 만화 애니메이션 형태로 스타일화하는 기법에 대한 연구를 진행하였다. 기존의 방법들은 대체적으로 각 관절을 움직이는 회전각의 시퀀스를 신호 처리 기법을 통해 개별적으로 처리하여 만화 형태로 과장된 결과를 생성하였다[2-4].

그러나 고전 애니메이션 관련 서적을 참고한 결과, 애니메이션이 강조하는 것은 개별적인 관절의 움직임보다는 캐릭터 전체의 움직임이라는 것을 관찰할 수 있었으며[1], 따라서 우리는 개별 관절의 움직임을 처리하는 기존의 연구와는 달리, 캐릭터 전체의 움직임을 처리하는 방법을 모색하고자 하였다. 본 논문에서는 이러한 캐릭터의 전체적인 움직임을 이차 변형(Quadratic deformation)을 통해 모델링하고 이를 이용하여 과장하는 기법을 소개한다. 본 논문에서 제시하는 방법은 기존 방법을 통해 생성된 결과와 비교하여 캐릭터 전체의 모양새 및 움직임을 강조할 수 있다. 또한 캐릭터 전체의 움직임에 보다 신경을 쓰므로 관절이 불안정한 방향으로 회전되는 경우가 적으며, 실시간에 계산이 가능하다.

2. 관련 연구

기존에도 사실적인 동작을 만화와 같은 형태로 과장하는 기법에 대한 연구는 몇몇 있었다. 이러한 과장 기법은 크게 신호 처리 이론을 이용한 기법과 만화의 원리 원칙을 공식화한 기법으로 나누어 볼 수 있다. 먼저 신호 처리 이론을 이용한 기법을 살펴보면, Bruderlin과 Williams[2]가 동작의 관절각 시퀀스를 가우시안 피라미드를 이용하여 주파수 대역으로 나눈 뒤, 이를 대역별로 증폭시키거나 감쇄시켜 스타일화하는 기법을 제시하였다. Lee와 Shin[3]은 앞서 제시한 주파수 대역별 분석 기법을 확장하여 동작 데이터에 사용하기 용이한 사원수(Quaternion)를 바탕으로 수식을 재구성하는 방법을 제시하였다. Wang 등[4]은 동작 신호의 시퀀스에 LoG(Laplacian Of Gaussian) 필터를 이용하면 자동적으로 만화 애니메이션의 기본 효과 중 하나인 예비 효과(Anticipation) 및 후동작(Follow-through)을 생성할

수 있음을 밝히고 이를 캐릭터 동작뿐만 아니라 다양한 곳에 적용하는 방법을 제시하였다. 이러한 방법들의 특징은 캐릭터의 각 관절에 신호 처리 기법을 개별적으로 적용하여 결과적으로 관절의 회전각이 과장된 동작을 생성한다. 반면 우리가 제시하는 방법은 모든 관절의 위치를 하나의 이차변환으로 표현하고 이를 과장함으로써 캐릭터의 전체적인 움직임을 과장한다.

한편 만화 애니메이션의 기본 원칙을 공식화한 기법을 살펴보면, Kim 등[5]은 사원수의 외삽과 최적화 기법을 통하여 주어진 동작에 자동적으로 예비 효과 및 후동작을 생성하는 기법을 제시하였으며, Kwon과 Lee[6]는 주어진 캐릭터의 관절 구조를 더 세세히 나눈 뒤 부드럽게 휘어지는 고무 형태의 캐릭터 애니메이션을 만들어내는 방법을 소개하고 이에 질량-용수철 구조를 응용하여 자연스러운 후동작을 생성하는 방법으로 확장하였다. 앞서 소개한 신호 처리 방식과 애니메이션 원칙에 기반한 동작의 과장 효과들이 대체적으로 관절의 회전각을 일시적으로 반대방향으로 움직이게 함으로써 예비효과 및 후동작을 생성하는 것을 목표로 하였다면, 우리가 제시한 방법은 [1]에서 기술한 스쿼시 및 스트레칭(Squash and Stretch) 원칙을 몸 전체의 모양새에 적용하는 방향으로 수식화하여, 결과적으로 주어진 캐릭터 애니메이션의 전체적인 포즈가 납작해지거나 펼쳐지는 등의 과장을 목표로 한다.

3. 알고리즘 개관

본 논문에서 제시하는 기법의 전체적인 흐름을 개략적으로 나타낸 것이다. 먼저 캐릭터의 레퍼런스 포즈와 각 프레임에서의 포즈간의 형태 매칭(Shape matching)을 통해 이차 변형을 계산하고 이를 이용해 캐릭터의 전체적인 동작을 표현한다. 그 다음 이차 변형의 시퀀스에 대하여 LoG 필터를 적용함으로써 캐릭터 전체의 움직임을 과장한다. 끝으로 과장된 이차 변형을 기초로 각 프레임의 포즈를 복원하여 최종적으로 과장된 동작 결과를 생성한다.

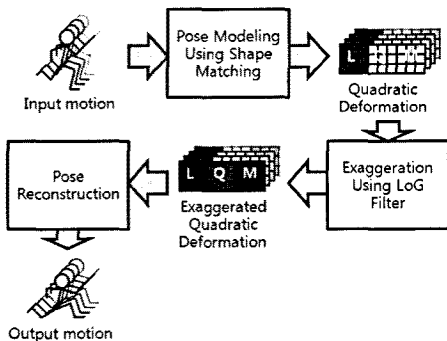


그림 1 전체 알고리즘 구성

4. 이차변형을 이용한 캐릭터 포즈의 모델링

가장 단순한 형태로 캐릭터의 전체적인 모양을 표현하는 방법은 캐릭터의 바운딩 박스를 이용하는 것이다. 바운딩 박스의 위치와 오리엔테이션, 크기 정보를 통하여 우리는 캐릭터의 간단한 상태를 표현할 수 있다. 이러한 바운딩 박스를 통한 물체의 상태 표현 범위, 즉 자유도(DOF: Degree Of Freedom)는 선형 변환(Linear Transformation)과 유사하다. 그러나 전체 캐릭터의 움직임은 하나의 선형 변환을 통해 나타내기 불가능하며, 단순한 스케일링만으로는 캐릭터의 전체적인 모양변화를 표현하기 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단순한 선형 변환을 이용한 접근법 대신 이차 변형을 이용하여 캐릭터의 포즈를 모델링하고자 한다.

3차원 공간상의 임의의 점 p 가 이차 변형 D 를 통해 점으로 변환되었을 때 이를 행렬 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$p' = D(p) = D\tilde{p},$$

$$D = [LQM],$$

$$\tilde{p} = [xyzx^2y^2z^2xyyzxz]^T$$

이때, L, Q, M 은 각각 선형, 제곱, 혼합 형태의 계수를 가진 행렬이다. 선형 변환에 비하여 제곱 및 혼합 계수가 추가되었기 때문에, 이차 변형 행렬을 이용하면 스케일링, 회전 이외에도 휘어짐(Bend), 꼬임(Twist), 가늘어짐(Taper) 등을 표현할 수 있다[7].

캐릭터의 관절 i 의 위치를 p_i 라고 하고, N 개의 관절로 구성된 캐릭터의 모든 관절의 위치를 하나의 $3 \times N$ 행렬로 나타낸 것을 포즈 $U = [p_1 \dots p_N]$ 라 하자. 임의의 시간 t 에서의 포즈 U_t 와 T포즈를 취하고 있는 캐릭터의 레퍼런스 포즈를 U_0 라고 하고, U_0 의 각 위치값을 U_t 에 가장 근접하게 만들어주는 최적의 이차 변형 행렬을 D_t 라고 한다면 다음과 같은 식을 통해 D_t 를 개략적으로 계산할 수 있다.

$$U_t \approx D_t \overline{U_{co}} + C_t, \tag{1}$$

$$U_{co} = U_0 - C_0$$

여기서 U_0 와 U_t 는 회전 행렬의 영향을 최소화하기 위하여, 모두 루트 관절의 지역 좌표계에 대한 위치로 표현되어 있음을 가정한다. 또한 C_0, C_t 는 각각 U_0 와 U_t 의 무게중심점을 열 벡터로 가지고 있는 $3 \times N$ 행렬이다. 최적의 이차 변환 행렬 D_t 는 Muller 등이 소개한 형태 매칭 기법[7]을 통해 쉽게 계산할 수 있다.

이차 변환이 일차 변환에 비해 더 높은 자유도를 가지고는 있지만, 캐릭터 포즈는 이보다 훨씬 복잡한 자유도를 가지고 있으므로 D_t 와 U_0 만을 이용하여 U_t 를 완벽하게 복원할 수는 없다. 따라서 우리는 매칭된 포즈

$D_t \bar{U}_{CO} + C_t$ 와 원본 포즈 U_t 간의 변위 Δ_t 를 미리 계산해 두어 이후 포즈를 재생성할 때 이용하였다. 즉 다음과 같은 식을 통해 원본 포즈를 복원할 수 있다. 그림 2는 입의의 시간에서의 포즈를 레퍼런스 포즈와 이차 변환만을 이용하여 매칭한 결과 및 변위를 함께 사용하여 복원한 결과이다.

$$U_t = D_t \bar{U}_{CO} + C_t + \Delta_t \quad (2)$$

주어진 동작의 모든 시간에 대해 최적의 이차 변형 행렬 및 변위를 계산하면, 캐릭터 동작의 전체적인 형태를 이차 변형의 시퀀스로 나타낼 수 있다.

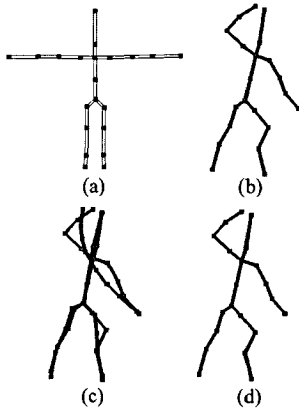


그림 2 이차변형을 이용한 캐릭터 포즈 모델링 과정. (a) 레퍼런스 포즈, (b) 매칭할 대상 포즈, (c) 최적의 이차변형을 계산하여 매칭한 결과, (d) 최적의 이차변형의 계산 결과에 변위를 함께 사용하여 복원한 결과

5. 이차 변형 행렬의 과장

앞의 단계에서 계산한 이차 변형의 시퀀스에 대해 직접 신호처리 기법을 적용함으로써 개별적인 관절의 움직임이 아닌 캐릭터 전체 포즈에 대한 과장을 할 수 있다. 우리는 LoG 필터[5]를 이용하여 이차 변형 행렬의 각 요소를 과장하였다. 각 포즈를 나타내는 이차 변형 행렬 D_t 는 3×9 행렬로 총 27개의 요소를 가지고 있다. D_t 의 i 행 j 열 요소를 $d_t^{i,j}$ 라고 하면, 다음과 같은 컨볼루션 식을 통해 과장된 이차 변형 행렬 \hat{D}_t 를 계산한다.

$$\hat{D}_t = [\hat{d}_t^{i,j}], \quad (3)$$

$$\hat{d}_t^{i,j} = d_t^{i,j} - d_t^{i,j} \otimes LoG^{i,j}(a, \sigma)$$

여기서 LoG 커널의 폭 σ 는 주파수 대역의 분석을 통해 자동적으로 결정할 수 있다[5]. LoG 커널의 크기 a 는 사용자가 원하는 방향으로 조절할 수 있다. 즉, 캐릭터의 전체적인 움직임에 스트레칭과 스쿼싱을 더 강조

하고 싶을 경우, 스케일을 컨트롤하는 선형 변환 부분을 더 강조하면 되므로, D 를 구성하는 요소 중 선형 변환에 해당되는 L 부분에 대해 더 큰 a 를 사용하여 원하는 효과를 얻을 수 있다.

선형 변환 L 은 극 분해법(Polar decomposition)과 같은 기법을 이용하여 회전 변환과 스케일 변환, 기울임 변환 등으로 분해할 수 있다. 혹은 이렇게 분해된 각각의 변환 요소에 독립적인 과장을 적용하길 원할 수도 있으나, 분해된 회전 변환이 시간에 대한 연속성을 보장하지 않기 때문에 불안정한 결과를 만들게 된다. 따라서 우리는 이차 변형 행렬의 구성요소를 L, Q, M 세 개만으로 한정하여 과장하는 방식을 택하였다.

한편, 이차 변형 행렬은 캐릭터의 포즈를 대표할 뿐 캐릭터의 전역적 위치(Global position)와 회전 정보를 포함하지는 못하므로, 루트 관절의 위치 및 회전정보에 대해서 따로 LoG 필터를 이용한 과장을 수행하도록 하였다.

6. 동작의 복원

앞의 단계에서 과장된 이차 변형 행렬과 식 (2)를 이용하면 과장된 형태의 동작을 생성할 수 있다. 그러나 이와 같은 단순한 복원을 이용하면 두 가지 문제점이 발생한다. 첫째로, 이차 변형 행렬의 값이 과장 처리를 통해 변하면서 과장된 포즈는 관절 길이의 제약 조건을 고려하지 않는다. 따라서 결과적으로 계산된 포즈는 관절 길이 제약을 위배하게 된다. 특히 과장을 위한 크기 파라미터 a 를 크게 할수록 이차 변형 행렬이 원본과 크게 달라지면서 왜곡 현상이 더욱 심하게 일어나게 된다. 둘째로, 실제 애니메이션 데이터로 사용하기 위해서는 각 관절의 회전각 시퀀스로 구성된 데이터가 필요하나, 식 (2)를 통해 계산된 포즈는 각 관절의 위치값만을 가지고 있다. 따라서 과장된 포즈의 각 관절의 위치를 참고로 하여 관절의 회전각으로 표현된 동작 데이터로 복원하는 과정이 필요하다. 이 과정은 동작의 리타게팅과 비슷한 문제로 해석될 수 있기 때문에, 우리는 Hecker 등이 제안한 파티클 IK(Inverse Kinematics) 기법[8]을 응용하여 이를 해결하였다.

파티클 IK 기법은 기존의 자코비안 방식의 IK와는 달리 각 관절의 회전정보를 제외하고 위치 데이터만을 통해서 관절 길이 제약 및 IK 목표 위치를 만족시킨 뒤, 교정된 각 관절의 위치를 생성할 수 있으면서 원본 회전각과 가장 유사한 새로운 회전각을 계산하는 두 단계의 방식으로 구성되어 있다[8]. 우리는 과장된 포즈와 가장 유사하면서 관절 길이 제약을 위반하지 않는 새로운 포즈를 계산한 뒤, Hecker 등이 제안한 방법과 마찬가지로 원본 포즈에서의 회전각과 가장 유사하면서 새로운 관절 위치를 나타내는 새로운 회전각을 계산하였다.

주어진 과장된 포즈에서의 관절 i 의 위치를 \hat{p}_i 라고 하고, 새로 계산된 관절 길이 제약을 지키는 위치를 q 라 하자. 그러면 다음과 같은 최적화 문제를 풀어냄으로써 q 를 구할 수 있다.

$$\min Q(q_1, \dots, q_N) = \sum_{i=1}^N \|q_i - \hat{p}_i\|^2 \quad (4)$$

s.t. $\|q_i - q_j\| = l_{i,j}$, for all $(i,j) \in L$

이때 L 은 연결된 두 관절을 원소로 가지고 있는 집합이며, $l_{i,j}$ 는 연결된 두 관절 i, j 간의 링크 길이이다. 제약 조건이 비선형이므로 식 (4)은 비선형 최적화 기법을 통해 문제를 풀어야 한다. 우리는 Steepest-Descent 기법을 바탕으로 복원 알고리즘을 설계하였다. 표 1은 제시하는 알고리즘의 의사코드이다.

표 1 관절 길이 제약 준수 알고리즘의 의사 코드

```

 $\alpha \equiv$  Steepest-descent coeff. for objective func.
 $\beta \equiv$  Steepest-descent coeff. for constraints
 $[q_1, \dots, q_N] \leftarrow [q_1, \dots, q_N]$ 
 $e_o \leftarrow \infty$ 
while  $e_o$  is not converged, repeat
  for each joint  $i$ ,
     $q_i \leftarrow q_i - 2\alpha(q_i - \hat{p}_i)$ 
  end for
   $e_c \leftarrow \infty$ 
  while  $e_c$  is not converged, repeat
    for each link  $(i, j)$ 
       $m_{i,j} \leftarrow \|q_i - q_j\|$ 
       $v_{i,j} \leftarrow \frac{(l_{i,j} - m_{i,j})}{2\|q_i - q_j\|} (q_i - q_j)$ 
       $q_i \leftarrow q_i - \beta v_{i,j}$ 
       $q_j \leftarrow q_j + \beta v_{i,j}$ 
    end for
     $e_c \leftarrow \sum_{(i,j) \in L} \|q_i - q_j\| - l_{i,j}$ 
  end while
   $e_o \leftarrow \sum_{i=1}^N \|q_i - \hat{p}_i\|^2$ 
end while
    
```

즉, 한 번의 루프 수행 중 목표함수의 기울기 방향으로 새로운 해를 계산한 뒤, 여러 번의 루프를 통해 관절 길이 제약을 지키도록 반복하는 것이다. 제시하는 알고리즘은 다소 비용이 많이 드는 반복 수행 형태의 최적화 기법이나, 대체적으로 프레임당 3.6msec만에 계산할 수 있을 정도로 매우 빨리 수행되었다. 그림 3은 앞 단계에서 계산된 과장된 포즈가 우리의 알고리즘을 통해 관절 길이 제약에 맞도록 복원된 결과를 보여주고 있다.

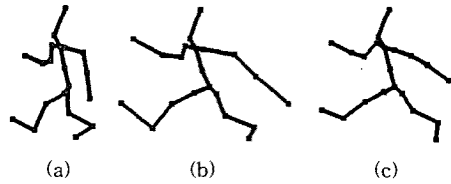


그림 3 모션 복원 알고리즘 수행 결과. (a) 과장 되기 전 포즈, (b) 과장 프로세스 직후의 관절 길이 제약을 위해하는 과장 포즈, (c) 관절 길이 제약에 맞게 복원된 과장 포즈

7. 결 과

실험을 위해, 제시한 방법을 쿼드코어 2.5Ghz, GeForce 9600 환경에서 구형 및 성능 테스트를 하였다. 실험에 쓰인 동작은 모션 캡처 데이터를 만화 캐릭터의 관절 구조에 맞도록 리타게팅된 것이다. 동작을 복원한 후에는 원본 동작이 가지고 있던 발바닥 접촉 제약(Foot contact constraint)이 위배되므로, 이를 IK를 통해 후 보정하였다.

그림 4는 제시한 방법을 통해 점프 동작을 과장한 결과이다. 원본동작 (a)와 비교했을 때 (b), (c)는 보다 큰 동작을 하는 것을 관찰할 수 있다. 특히 LoG 커널의 크기 파라미터를 조작함으로써, (b)보다 (c)가 더 큰 동작을 하고 있는 것을 쉽게 관찰할 수 있다.

그림 5는 우리의 방법을 통해 생성된 과장 동작과 Wang 등이 제시한 방법을 통해 생성된 과장 동작 간의 결과를 비교한 것이다. Wang 등이 제시한 방법은 기본적으로 동작을 구성하는 관절의 회전 신호를 주파수 대역으로 나누었을 때, 고주파 대역의 신호를 증폭하여 예

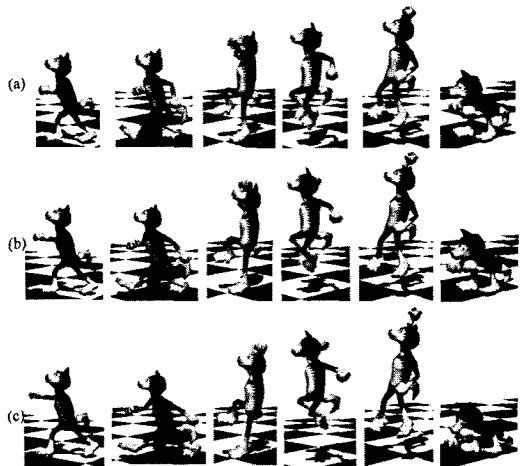


그림 4 과장 파라미터 변화 예제. (a) 원본 동작, (b) a=10으로 과장한 결과, (c) a=20으로 과장한 결과

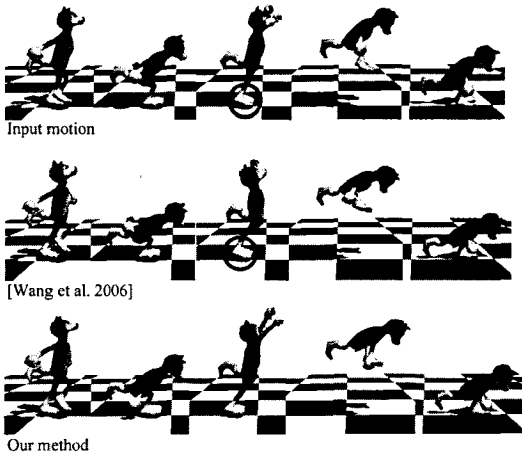


그림 5 제시한 방법과 Wang 등의 방법[5] 간의 결과 비교. 1행: 입력 동작, 2행: Wang 등의 방법, 3행: 제안하는 방법을 통해 얻은 과장된 동작

비 동작 및 후동작을 자동으로 생성하는 방법이므로, 기존의 다른 연구[3,5]의 결과를 대표할 수 있다. 결과의 비교를 위하여 LoG 커널의 크기 α 를 수동적으로 조절하였다. 세 번째 프레임에서 캐릭터의 허벅지 관절의 회전을 비교해보면 알 수 있듯이, 엇비슷한 형태와 크기의 과장이라 하더라도 Wang 등의 방법이 국소적인 관절의 과장에 기초해 있기 때문에 관절이 역으로 꺾이는 경우가 생기는 반면(그림 5의 동그라미 부분 참조), 우리의 방법은 캐릭터 전체의 모양을 과장하기 때문에 이러한 문제가 발생하지 않음을 알 수 있다.

8. 결론

본 논문은 캐릭터 동작의 과장을 개별적인 관절의 국소적 과장이 아닌, 전체 관절에 대한 광역적인 과장으로 해결하는 방법을 제시하였다. 이를 통해서 단순한 회전 범위의 과장보다 포즈 전체의 움직임이 확실하게 과장되는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 안정적인 동작 복원 방법을 이용하여 결과 동작이 강건하였다.

본 방법의 단점은 관절의 포지션 데이터를 기반으로 매칭하기 때문에 관절의 꼬임회전(Twist rotation) 동작을 함께 고려하지 못한다는 것이다. 관절 위치와 더불어 관절이 뻗은 방향과 수직한 위치를 함께 매칭함으로써 해결할 수도 있으나 캐릭터 동작의 전체적인 움직임에서 꼬임회전이 차지하는 비중은 미미하기 때문에 현재 제시한 방법과 큰 차이를 느낄 수 없었다. 또 관절 길이 제약 준수 알고리즘의 경우 대부분 수렴하게 될 정도로 강건하나, 무조건적인 수렴 보장을 못하기 때문에 LoG 커널의 크기 파라미터가 너무 크게 설정되는 경우 간혹

관절 길이 제약을 위배하는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 캐릭터의 전체적인 모양새를 모델링하기 위해서 이차 변형을 사용하였으나, 이차 변형 또한 캐릭터의 세밀한 동작까지 모델링할 수는 없다. 차후 이차 변형 대신 다른 여러 가지 방법을 통해 캐릭터의 포즈를 모델링함으로써 더 좋은 결과를 생성할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] John Lasseter, Principles of Traditional Animation Applied to 3D Computer Animation, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH '87*, pp.35-44, 1987.
- [2] Armin Bruderlin and Lance Williams, Motion Signal Processing, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH '95*, pp.97-104, 1995.
- [3] Jeehee Lee and Sung Yong Shin, A Coordinate-Invariant Approach to Multiresolution Motion Analysis, *Graphical Models*, vol.63, no.2, pp.87-105, 2001.
- [4] Jue Wang, Steven Drucker, Maneshi Agrawala, and Micheal F. Cohen, The Cartoon Animation Filter, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH '06*, pp.1169-1173, 2006.
- [5] Jong-Hyuk Kim, Jung-Ju Choi, Hyun Joon Shin, and In-Kwon Lee, Anticipation effect generation for character animation, *In Proceedings of the Computer Graphics International Conference*, pp.639-646, 2006.
- [6] Ji-Yong Kwon and In-Kwon Lee, Exaggerating Character Motions Using Sub-joint Hierarchy, *Computer Graphics Forum*, vol.27, no.6, pp.1677-1686, 2008.
- [7] Matthias Muller, Bruno Heidelberger, Matthias Teschner, and Markus Gross, Meshless Deformations Based on Shape Matching, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH '05*, pp.471-478, 2005.
- [8] Chris Hecker, Bernd Raabe, Rayn W. Enslow, John DeWeese, Jordan Maynard, and Kees van Prooijen, Real-time Motion Retargeting to Highly Varied User-Created Morphologies, *In Proceedings of ACM SIGGRAPH '08*, 2008.