

# 이상치가 있는 모션 데이터를 이용한 인간형 로봇의 동작 제어

이한결<sup>1</sup> 장하영<sup>2</sup> 장병탁<sup>2</sup>

한국과학영재학교<sup>1</sup> 서울대학교 전기컴퓨터공학부<sup>2</sup>

hanliger@gmail.com, hyjang@bi.snu.ac.kr, btzhang@bi.snu.ac.kr

## Humanoid Robot Control using Motion Data with Outlier

Hangyeul Lee<sup>1</sup> Ha-Young Jang<sup>2</sup> Byoung-Tak Zhang<sup>2</sup>

Korea Science Academy<sup>1</sup>

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University<sup>2</sup>

### 요 약

Kinect 등의 영상센서를 통해 관측한 위치 정보를 이용한 인간형 로봇의 제어에서 발생하는 문제점은 로봇과 사람의 자유도 차이, 센서에서 발생하는 측정오차 등이 있다. 측정오차가 있는 관측 값으로부터 실제 값을 구하기 위해서는 파티클필터의 경우에는 일반적인 오차와 다른 분포를 가지는 이상치(outlier)에 대해서 취약하다는 단점이 있다. 특히 영상센서를 이용한 특징기반 동작인식에서는 센서 자체의 오차 이외에 측정 대상에 의해 발생하는 의도하지 않은 오차들로 인해서 이상치의 발생이 더욱 많아지게 된다. 본 논문에서는 RANSAC (RANdom SAmple Consensus) 알고리즘을 이용한 이상치의 제어 기법에 대해서 제안한다. 제안한 방법은 기존의 방법과 달리 데이터에 대한 사전지식(Prior Knowledge)를 이용함으로써 모션 데이터 처리에 있어서 보다 높은 성능을 보인다.

### 1. 서론

현대 사회에서 인간형 로봇의 활용도는 점점 커지고 있다. 위험한 작업을 자동화하는 일등을 기존의 로봇에 비해 조금 더 인간과 유사하게 수행할 수 있다는 강점을 가지고 있을 뿐 아니라 다양한 센서를 이용하여 인간형 로봇의 인간-컴퓨터 상호작용에 대한 연구가 활발하다. 이러한 인간형 로봇의 움직임을 제어하는데에는 여러 방법이 있는데, 각 관절의 움직임을 직접 제어하는 방식이 가장 보편적이다. 그러나 이러한 방식은 인간과 닮은 로봇이기 때문에 가질 수 있는 직관성이 부족하다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 사람의 움직임을 센서를 통해서 측정하고 이를 이용하여 직접 동작을 제어하는 방법에 대해서 논의한다.

Kinect를 이용해 적외선 센서와 카메라를 이용해 20개의 관절을 추적하고 상대적 x, y, z 좌표를 얻는 것이 가능하다. 그러나 이러한 좌표가 시간 간격에 따라 연속적으로 분포된 경우, 움직임에 따른 관절간의 중첩으로 인한 데이터의 손실 및 관측장비의 측정오차로 인한 오류로 인해서 데이터 상의 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방법으로, 잡음 등에 의해 발생하는 이상치(outlier)를 RANSAC 알고리즘을 이용하여 제거하는 모션 데이터의 이상치 처리 기법에 대하여 논의한다.

### 2. RANSAC 알고리즘을 이용한 이상치의 제어

제스처의 데이터는 시간에 따른 각 관절의 (x, y, z) 값으로 구성된다. 이러한 좌표 값을 로봇의 관절의 각도로 변환하여 로봇의 관절을 인간 관절이 움직였던 각도와 같이 움직일 수 있다.

그러나 이러한 데이터를 그대로 움직임에 적용할 경우, 사람이 의도한 움직임과 크게 벗어난 값이 있어 로봇의 움직임에 영향을 주는데, 이러한 값을 이상치라고 볼 수 있다. 이 때 이를 배제할 수 있는 방법으로 일정 간격에서 데이터의 선택하여 그 중간값을 선형적으로 추가하는 스무딩(smoothing) 기법과 데이터 수집 이후 RANSAC을 이용해 이상치를 배제하는 방법을 사용하였다.

데이터 수집은 Microsoft사의 Kinect 센서를 이용하여 관절의 자유도가 20인 Skeleton Model 에서 3차원 상에서의 좌표값 x, y, z에 대하여 총 60-tuple 데이터를 시간 간격에 따라 수집하였다..

n개의 모션에 대한 데이터셋 M은 다음 수식1과 같이 나타내어진다. (수식번호 추가할 것)

$$M = \{(t_i R_x, R_y, R_z) | i = 1, \dots, n\} \quad (1)$$

이상치의 발생 원인 첫번째로, 측정오차로 인해 의도한 선형적인 움직임이 아닌 측정오차로 인한 흔들리는 모션 데이터를 그대로 따라하는 경우

데이터에서 일정한 간격으로 데이터를 뽑은 뒤, 그 사이를 선형적으로 보간하면 보간점으로 뽑힌 두 데이터 사이에 포함된 이상치를 배제할 수 있다. 즉, 프레임 간격을 조절하는 것이다.

보간 간격을  $k$  프레임, 데이터의 개수를  $n$ 이라 했을 때,  $M$ 의 원소  $x_i$ 는 식2와 같이 된다. (수식번호 추가)

$$x_i = \frac{(i-k \times \lfloor \frac{i}{k} \rfloor - 1)x_{1+k \times (\lfloor \frac{i}{k} \rfloor + 1)}}{k} + \frac{(i-k \times (\lfloor \frac{i}{k} \rfloor + 1) - 1)x_{1+k \times (\lfloor \frac{i}{k} \rfloor)}}{k} \quad (2)$$

보간 간격  $k$ 가 늘어날수록 움직임에서 의 측정 오차가 줄어들며 움직임이 더 선형적으로 변하나, 의도와 멀어질 수 있다. 서로 다른 두 개의 선형적 움직임에서, 그 경계에 해당하는 점이 선택되지 않았으며 보간 간격이 과도하게 큰 경우 의도와 완전히 다른 단일 선형 움직임이 나타나기도 했다.

한 사람의 움직임을 기록할 때, 단순히 관절의 떨림뿐 아니라, 두 개 이상의 관절의 위치가 겹침으로써 skeleton이 붕괴되거나 데이터가 소실된다.

앞서 제시된, 시간 간격으로 보간의 기점을 잡아 선형적으로 보간하는 경우, 이러한 관절 겹침에 의한 이상치가 선택되는 경우가 있었다. 즉, 보간의 기점에서 이러한 이상치가 선택되지 않도록 RANSAC을 이용하여 모델을 세운다.[1]

RANSAC은 데이터셋에 참정보(inlier)가 이상치(이상치)보다 많은 경우, 모델 인수를 결정하는데 필요한 최소의 데이터를 랜덤하게 샘플링해 모델을 만들고, 그 모델과 “예측된 모델”과의 오차가 작아질 때까지 반복하는 알고리즘이다.[2]

이는 보간에서 발생할 수 있는 몇 가지 예외 상황을 보정하기 위함이다. 1. 선형적 움직임의 연속에서 서로 다른 선형적 움직임의 간격이 샘플링 간격보다 작아 단일 선형 모션이 되는 경우, 2. 보간점으로 선택된 데이터가 이상치인 경우를 배제하고자 할 때 랜덤 샘플링이 유효하다.

그러나, 이 논문에서 다루는 움직임이 몇 개의 선형적 움직임의 집합이므로 모든 데이터를 처음부터 이용하면 모델을 세울 수 없다. 그러므로 RANSAC을 적용하기 전에 motion segmentation이 이루어져야 하며, 이는 단순선형회귀를 이용하여 첫 번째 데이터부터  $n$ 번째까지의 데이터를 선형적으로 분석한 뒤 오차값이 급격히 커지는 경향이 있는 데이터를 분리하는 방식을 사용하였다.[3][4]

먼저, 원래의 모션 데이터셋  $M$ 은 다음과 같이 이루어진다.  $n$ 번째 데이터를 1~ $n$ 번째까지의 프레임을 선형보간하였을때의 오차  $R$ 을 값으로 하는 새로운 데이터셋  $R$ 을 만든다.

이 새로운 데이터셋  $R$ 에서  $i-1$ 번째와  $i$ 번째 값의 차를 값으로 하는 데이터셋  $R'$ 에서 큰 변화가 있는 지점  $k$ 를

segmentation의 기점으로 하여 데이터셋  $M$ 을 submotion  $M_i \in M$  s.t.  $\sum M_i = M$ 으로 분할한다. 이러한  $M_i$ 에 대하여 각각 RANSAC 알고리즘을 적용하였다. 필요한 iteration 횟수  $k$ 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$k = \frac{\log(1-p)}{\log(1-w^n)} \quad (3)$$

$p$ 는 데이터셋에서  $n$ 개의 점을 선택하였을 때 outlier가 포함되어있지 않을 확률이고,  $w$ 는 한 번 선택 시 이상치가 선택되지 않을 확률을 의미한다.

### 3. 실험 및 결과

데이터 수집은 Microsoft사의 Kinect 센서를 이용하여 관절의 자유도가 20인 Skeleton Model 에서 3차원 상에서의 좌표값  $x, y, z$ 에 대하여 총 60-tuple 데이터를 시간 간격에 따라 수집하였다. 데이터는 10가지의 단위 동작을 설정하여 80회 시행 후 60 tuple data를 Raw data일때와, 5, 10 프레임 간격으로 보간했을 때, RANSAC을 이용한 데이터 처리한 뒤의 data를 DARWin-OP의 Motion file로 변환하여 움직이게 하고, 데이터상에서 의도하지 않은 outlier를 세는 실험을 수행하였다.

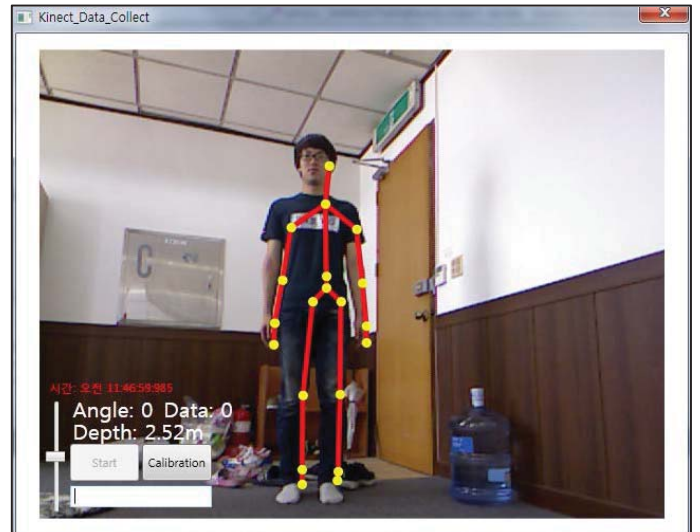


그림1. 제스처 데이터를 수집하기 위한 프로그램의 실행 모습

각 단위 동작은 몇 개의 프레임으로 이루어지는데,  $\frac{1}{30}$ 초마다의 3차원 좌표값, 즉  $M_i$ 를 한 프레임이라 한다.

그리고 전체 프레임 중 이상치에 해당하는 측정오차는 각 프레임을 motion data로 바꾸었을 때 움직임의 이상현상으로서 관찰된다. 이는 데이터 수집 단계에서 사람의 움직임을 영상으로 촬영하여 비교하였다. 이렇게 이상치 프레임을 세어, 전체 프레임 수 대비 출현율을

백분율로 하여 나타낸 표는 다음과 같다.

	RAW	5프레임	10프레임	RANSAC
동작1	8.82%	3.83%	2.20%	1.23%
동작2	9.04%	4.42%	3.29%	1.54%
동작3	11.21%	3.25%	3.33%	0.34%
동작4	5.62%	2.23%	0.13%	0.26%
동작5	7.71%	3.43%	1.39%	1.04%
동작6	3.24%	1.89%	0.87%	0.05%
동작7	13.22%	5.24%	3.69%	0.23%
동작8	4.42%	3.32%	1.32%	0.13%
동작9	3.78%	3.36%	2.51%	1.12%
동작10	6.23%	3.23%	2.27%	2.31%

표1. 모션 데이터의 이상치 처리 기법에 따른 이상치 프레임의 출현율

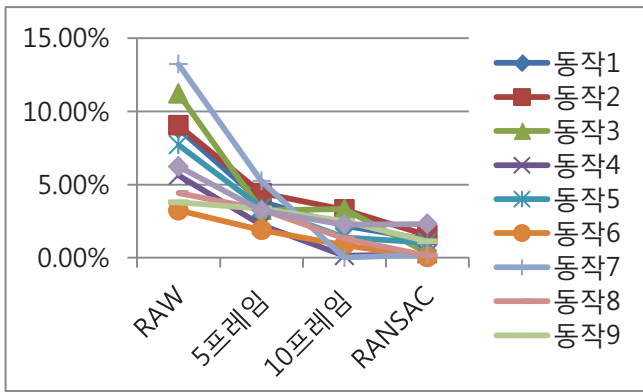


그림1. 모션 데이터의 이상치 처리 기법에 따른 이상치 프레임의 출현율

Raw data에서의 총 프레임 대비 잘못된 움직임으로부터 센 outlier frame의 비율은, 대체로 5-frame보간에 비해 10-frame 보간이, 10-frame보간에 비해 RANSAC이 감소하는 경향을 보였다. 즉 등간격으로 보간한 방법에서 k가 클 수록 outlier data의 출현 빈도가 낮아지고, 보간보다는 RANSAC이 더 나은 이상치 제거 효율을 보여주었다.

동작 3에서와 같이 선형보간에서는 프레임을 늘렸음에도 성능이 거의 변화가 없는 구간도 관찰되나, RANSAC의 경우 강건한 성능을 보여주었다.

즉, 관절이 겹치거나 측정오차로 인해 발생한 이상치의 수가 크게 감소하였으며, 이에 따라 이상치 처리 이후의 데이터를 이용하여 인간형 로봇의 움직임을 제어하였을 때, 의도와 다른 움직임의 빈도가 많이 감소하였다. 또한, smoothing 기법이나 RANSAC 기법 모두 선형 모델에 대응되어 데이터가 처리되었으므로, 원래의 Raw data에서 측정오차로 인한 떨림이 있어 부자연스러웠던 움직임이 부드럽고, 자연스러워지는 효과를 얻었다.

#### 4. 결론 및 향후 연구방안

실험으로부터, 이상치 처리 후의 outlier의 발생 빈도는 RANSAC을 이용했을 때 전체 프레임 대비 약 1%, RAW Data에서의 발생비율 대비 12% 정도로, 이상치를 크게 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

Kinect를 이용하여 얻은 관절의 x, y, z 값만을 이용하여 로봇의 움직임을 제어할 때, 움직임이 부드럽지 못한 문제점을 해결하는 방법으로 등간격 보간을 이용한 smoothing 기법과 RANSAC을 적용하니 motion data에서의 이상치를 상당히 배제할 수 있었다.

이러한 이상치 처리 기법을 적용하면 인간의 움직임만으로 Humanoid Robot을 움직이게 하고, 나아가 기계학습을 통하여 인간의 행동 semantic을 이해하고, 분류하여 상황에 따라 재현하는 등 인간-컴퓨터 상호작용에도 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

그러나, 비선형적 연속동작에서의 이상치를 제어하는 경우, RANSAC에 필요한 모델을 세우는 것이나, 보간을 이용한 smoothing 기법 모두 적용되기 힘들리라 생각된다.[5]

이러한 문제를 해결하기 위하여 데이터를 수집할 때 extended kalman filter를 적용하여 데이터 수집 단계에서부터 이상치를 1차적으로 걸러내는 기법과, 비선형적 모델에 대하여 이상치를 제거할 수 있는 기법에 대하여 추가 연구가 필요할 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 국가연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012-0005643)이며, KAIST 부설 한국과학영재학교 R&E의 성과물로 2012년도 한국과학창의재단의 지원을 받아 수행되었음.

#### 5. 참고문헌

- [1] Sugaya, Y. and Kanatani, K., "Outlier removal for motion tracking by subspace separation", *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 2003
- [2] 최형일, 퍼지 RANSAC 을 이용한 강건한 인수 예측, "정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용", 2006
- [3] Wolf, W. "Key frame selection by motion analysis", *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1996. *ICASSP-96. Conference Proceedings.*, 1996 *IEEE International Conference on*, 1996
- [4] Torr, P.H.S. and Murray, D.W., "Motion segmentation and outlier detection", *Sensor Fusion VI*, 1993
- [5] Olsson, C. and Eriksson, A. and Hartley, R. "Outlier removal using duality", *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 *IEEE Conference on*, 2010