

휴머노이드 로봇을 이용한 3차원 자세 추정 알고리즘 정확도 분석

백수진^o, 김이현*, 정상현*, 최영림*, 김종욱*

^o동아대학교 전자공학과,

*동아대학교 전자공학과

e-mail: {qortkdnr, rladkgus124, j921sh, lotuswave}@naver.com^o, kjwook@donga.ac.kr*

Accuracy Analysis of 3D Posture Estimation Algorithm Using Humanoid Robot

Su-Jin Baek^o, A-Hyeon Kim*, Sang-Hyeon Jeong*, Young-Lim Choi*, Jong-Wook Kim*

^oDept. of Electronic Engineering, Dong-A University,

*Dept. of Electronic Engineering, Dong-A University

요약

본 논문은 최적화알고리즘을 이용한 관절각 기반 3차원 자세 추정 기법의 정확도를 휴머노이드 로봇을 이용하여 검증하는 방법을 제안한다. 구글의 자세 추정 오픈소스 패키지인 MPP(MediaPipe Pose)로 특정자세를 취한 휴머노이드 로봇의 관절 좌표를 카메라의 픽셀 좌표로 추출한다. 추출한 픽셀 좌표를 전역최적화 방법인 uDEAS(univariate Dynamic Encoding Algorithm for Searches)를 통해 시상면과 관상면에서의 각도를 추정하고 휴머노이드 로봇의 실제 관절 각도와 비교하여 알고리즘의 정확도를 검증하는 방법을 제시한다.

키워드: 자세 추정, MediaPipe Pose, 휴머노이드 로봇, uDEAS

I. Introduction

최근 4차 산업이 발달하면서 다양한 지능형 영상 분석이 가능해졌다. 컴퓨터 비전 분야에서 오랜 시간 동안 연구되고 있는 인간 자세 추정(Human Pose Estimation) 기술이 그중 하나이다[1]. 인간 자세 추정 기술은 인간의 자세를 인식하고 분석하는 기술이다. 최근 본 연구실에서는 2차원 영상으로부터 구글의 오픈소스인 MPP(MediaPipe Pose)[2]로 추출한 인체 주요 관절의 픽셀 좌표를 3차원 휴머노이드 모델과 전역최적화 알고리즘인 uDEAS(univariate Dynamic Encoding Algorithm for Searches)를 이용하여 관절각을 추정하는 알고리즘을 제안한다[3].

본 논문에서는 상기 알고리즘의 정확도를 분석하기 위해 휴머노이드 로봇의 상체 영상으로부터 추정된 관절 각도를 최적화하고 로봇으로부터 측정 및 변환한 실제 관절 각도를 비교함으로써 정확도를 분석하여 3차원 자세 추정 알고리즘을 검증하는 방법을 제안한다[4].

이용하여 최적화하여 비용함수(global cost)가 전역최소일 때 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane), 횡평면(transversal plane)에서의 각도를 출력한다.

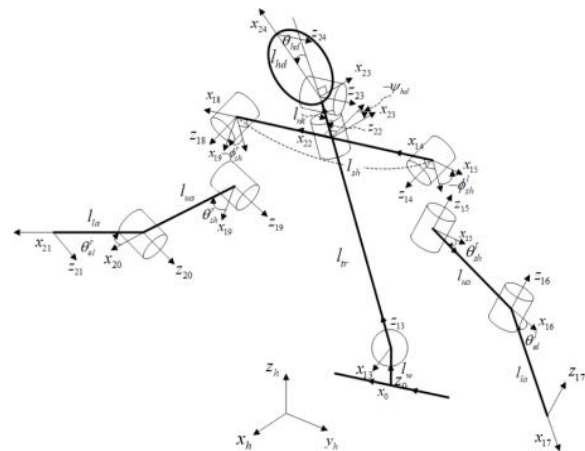


Fig. 1. Humanoid robot model

II. Extraction of the joint angle

3차원 자세 추정 알고리즘은 구글의 MPP를 사용하여 사람 자세를 추정한다. MPP는 자세 추정을 위해 검증된 2단계 detector-tracker ML(Machine-Learning) 파이프라인으로 33개의 포즈 랜드마크 위치를 예측하여 관절 좌표를 추출한다. 추출한 관절좌표를 uDEAS를

이용하여 3차원 자세를 추정하기 위해 인간 골격을 모델링한 휴머노이드 로봇의 상체 모델이다[5]. 이는 DH(Denavit-Hartenberg)

법을 이용하여 총 11개의 관절 변수로 이루어져있다. 이 모델과 uDEAS를 이용하여 최적화를 진행한다.

본 논문에서 사용한 휴머노이드 로봇은 에이로봇사의 AliceIII이다. 이 로봇은 로보티즈 사의 다이나믹셀 모터를 사용하며 해당 모터의 ROS 토픽을 확인하여 현재 관절의 각도 값을 알 수 있다. 하지만 로봇 관절의 기준각 및 극성이 Fig 1의 휴머노이드 모델과 다르므로, 휴머노이드 모델의 시상면, 관상면 각도 정의에 따라 변환한다.

알고리즘 정확도를 비교할 수 있도록 로봇의 모터 각도 값을 Fig 1에 정의된 관절각을 기준으로 변환한다. 변환된 각도 값은 다음의 식으로 계산된다. 식(1)과 식(2)는 어깨관절의 관상면, 식(3)과 식(4)는 어깨관절의 시상면, 식(5)와 식(6)은 팔꿈치의 시상면에 해당하는 식이다. 본 논문에서 사용한 로봇은 왼쪽과 오른쪽 모터의 회전방향에 따라 극성이 다르므로 왼쪽과 오른쪽을 구분하여 나타낸다.

$$\phi_{sh}^r = -roll_{sh}^r + \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$\phi_{sh}^l = -roll_{sh}^l - \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

$$\theta_{sh}^r = pit_{sh}^r \quad (3)$$



Fig. 2. Extracting the robot's joint coordinate values using MPP (simple pose)

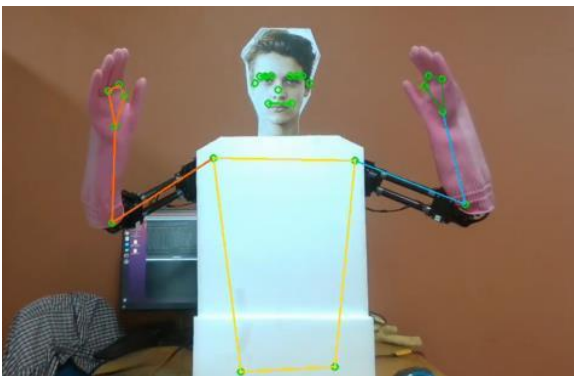


Fig. 3. Extracting the robot's joint coordinate values using MPP (difficult pose)

$$\theta_{sh}^l = -pit_{sh}^l \quad (4)$$

$$\theta_{el}^r = -(pit_{el}^r - \frac{\pi}{2}) \quad (5)$$

$$\theta_{el}^l = pit_{el}^l + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

위의 식에서 ϕ 는 관상면 각도, θ 는 시상면 각도이고, $roll$ 은 로봇의 roll 모터의 각도, pit 은 로봇의 pitch 모터의 각도이다. 그리고 기호의 아래첨자에 sh 는 어깨, el 은 팔꿈치를 의미하고, 기호의 위첨자에서 r 은 오른쪽, l 은 왼쪽을 의미한다.

III. Comparison of the Joint Angle

본 논문에서는 3차원 자세 추정 알고리즘에서 계산된 로봇의 관절 각도와 실제 로봇의 관절 각도를 비교하여 알고리즘의 정확도를 분석하고자 한다. 이를 위해 Fig. 2와 Fig. 3과 같은 자세를 로봇이 취하고 있을 때 알고리즘에 의해 계산된 값과 실제 값을 비교한 결과를 표로 나타낸다.

Table 1. Comparison results of left arm joints for the simple pose

Type	Sagittal Shoulder	Coronal Shoulder	Sagittal Elbow
Estimated angle (deg)	5.3	-95.2	46.2
Measured angle (deg)	-0.6	2.5	-37.3
Converted angle (deg)	0.6	-92.5	52.7
Mean Abs. Error (deg)	4.7	2.7	6.5

Table 2. Comparison results of right arm joints for the simple pose

Type	Sagittal Shoulder	Coronal Shoulder	Sagittal Elbow
Estimated angle (deg)	-4.0	-92.2	39.0
Measured angle (deg)	-3.2	-1.2	45.9
Converted angle (deg)	-3.2	-91.2	44.1
Mean Abs. Error (deg)	0.8	1.0	5.1

Table 3. Comparison results of left arm joints for the difficult pose

Type	Sagittal Shoulder	Coronal Shoulder	Sagittal Elbow
Estimated angle (deg)	20.1	-50.4	81.0
Measured angle (deg)	-52.2	-37.9	20.8
Converted angle (deg)	52.2	-52.1	110.8
Mean Abs. Error (deg)	32.1	1.7	29.8

Table 4. Comparison results of right arm joints for the difficult pose

Type	Sagittal Shoulder	Coronal Shoulder	Sagittal Elbow
Estimated angle (deg)	14.9	-40.0	83.6
Measured angle (deg)	57.2	48.2	-2.9
Converted angle (deg)	57.2	-41.8	92.9
Mean Abs. Error (deg)	42.3	1.8	9.3

Table 1과 Table 2는 각각 로봇이 Fig. 2의 자세를 취했을 때 비교한 결과를 왼쪽과 오른쪽으로 구분하여 나타낸다. 마찬가지로, Table 3과 Table 4는 로봇이 Fig. 3의 자세를 취했을 때의 비교 결과를 나타낸다. 표에서 Converted angle은 식(1)-(6)을 이용하여 변환한 로봇 관절 각도이고, Mean Abs. Error는 최적화기법 기반 추정 알고리즘에 의해 계산된 각도와 관절 모터로부터 측정하여 변환된 관절 각도의 평균 절대값 오차이다.

두 가지 자세의 결과를 보면 Fig. 2에 보인 자세의 경우에는 오차가 대부분 10도 미만으로 작게 나왔지만, Fig. 3에 보인 자세의 경우에는 오차가 비교적 크게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 로봇의 자세에 따라 각도의 오차가 커지는 이유를 분석하였다.

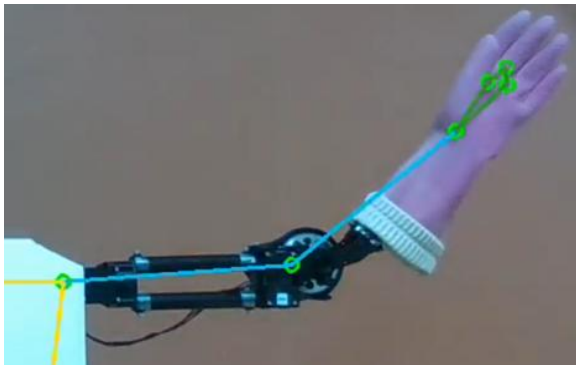


Fig. 4. Enlarged picture of Fig. 2

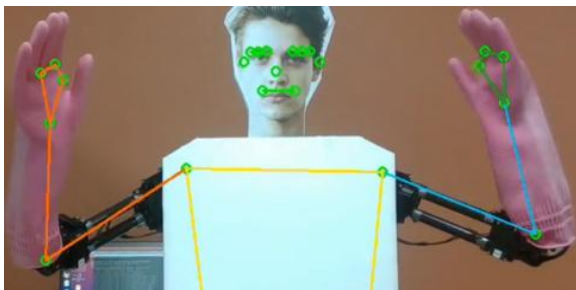


Fig. 5. Enlarged picture of Fig. 3

Fig. 4는 Fig. 2에서 MPP로 로봇을 인식했을 때 링크길이의 오차가 생긴 부분을 확대한 그림이다. MPP는 사람을 모델로 학습한 데이터를 가지고 포즈 랜드마크 위치를 예측한다. 그러나 일반적인 사람의

팔 길이와 로봇의 팔 길이가 달라서 링크 길이를 계산할 때 오차가 발생한다.

Fig. 5는 Fig. 2에서 보인 자세보다 Fig. 3에서 보인 자세의 각도 오차가 더 큰 이유를 보여준다. 어깨관절을 보면 어깨가 비틀려 인식한 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 어깨 관절의 위치 값이 달라져 실제 로봇의 자세와 다르게 인식된다. 이와 같이 복합적인 움직임일 때, 로봇의 앞에서 촬영한 영상 외의 다른 방면에서 촬영한 영상으로 관절 각도를 추정할 필요가 있다.

또한, 2차원의 픽셀좌표에 매칭되는 3차원 자세가 복수개가 있을 수 있다. Fig. 2와 같은 자세일 때, Fig. 6과 같이 로봇은 어깨의 pitch 모터를 0도로 하고 yaw 모터를 움직이는 방법과 yaw 모터를 0으로 하고 pitch 모터를 움직이는 방법이 있다. 현재의 검증 방법에서는 어깨의 yaw 방향의 모터를 고려하지 않아서 오차가 발생한다.

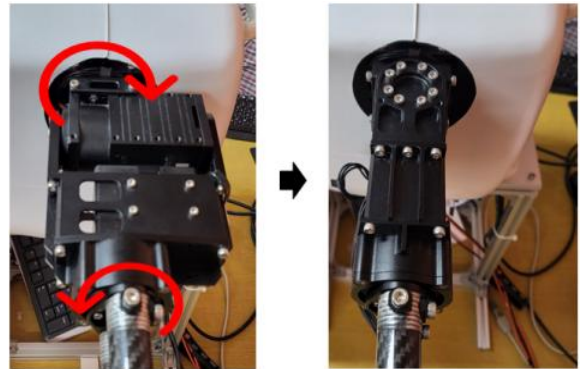


Fig. 6. Method of shoulder motor rotation

IV. Conclusions

본 논문에서는 MPP를 이용하여 사람과 유사한 휴머노이드 로봇의 자세 추정을 하고, uDEAS를 이용하여 로봇의 시상면, 관상면에서의 관절 각도를 출력하여 실제 로봇과 비교하였다.

향후에는 실험과정에서 오차를 발생하게 한 요인들을 보완하여 오차가 작게 나올 수 있도록 하고, 현재는 로봇의 상체에 대해서만 포즈인식을 수행했지만 추후에는 하체에 대해서도 함께 포즈 인식을 할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021R1A4 A1022059).

REFERENCES

- [1] S. Park and J. Chun. "A Study on the Vision-Based Human Posture Estimation for Human Behavior Recognition". Review of Korean Society for Internet Information, vol. 18, pp.19-25, 2017.
- [2] <https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>
- [3] J. Choi, E. Ha, J. Kim, and J. Choi, "Development of a Human Pose Recognition System based on MediaPipe Pose, an Optimization Method, and a Humanoid Robot Model," International Symposium on Advanced Intelligent Systems, CheongJu, pp. 1-5, Dec. pp.15-18, 2021.
- [4] J.-W. Kim, D. Lee, and S.-Y. Jung, "Min-max uDEAS and its application to optimal design of electric machines," IEEE Trans. Magnetics, vol. 49, no. 5, pp. 2201-2204, May 2013.
- [5] J. Kim, Humanoid Robots to Enjoy Together: Robotis OP, Hongneung Science Publishing, Seoul, 2015.