Kinect 센서를 이용한 효율적인 사람 추종 로봇의 예측 제어

Predictive Control of an Efficient Human Following Robot Using Kinect Sensor

허 신 녕, 이 장 명*
(Shin-Nyeong Heo¹ and Jang-Myung Lee^{2,*})

¹Department of Interdisciplinary Program in Robotics, Pusan National University

²Department of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract: This paper proposes a predictive control for an efficient human following robot using Kinect sensor. Especially, this research is focused on detecting of foot-end-point and foot-vector instead of human body which can be occluded easily by the obstacles. Recognition of the foot-end-point by the Kinect sensor is reliable since the two feet images can be utilized, which increases the detection possibility of the human motion. Depth image features and a decision tree have been utilized to estimate the foot end-point precisely. A tracking point average algorithm is also adopted in this research to estimate the location of foot accurately. Using the continuous locations of foot, the human motion trajectory is estimated to guide the mobile robot along a smooth path to the human. It is verified through the experiments that detecting foot-end-point is more reliable and efficient than detecting the human body. Finally, the tracking performance of the mobile robot is demonstrated with a human motion along an 'L' shape course.

Keywords: human following robot, Kinect sensor, foot vector, tracking performance

I. 서론

과거 이동로봇은 다양한 센서를 단일로 사용해 위치 및 거리를 인식하여 주행하는 이동로봇이 주를 이루었다. 하지만 최근에는 센서 기술의 발달로 융 복합형 센서를 이용한 이동로봇이 급격히 발전하고 있는 추세이다. 특히 로봇 청소기 등의 서비스 로봇을 중심으로 지능형 이동로봇은 우리의 일상 생활에 빠르게 자리하고 있다[1,2].

이동로봇은 주행을 하며 주어진 임무를 수행하는 로봇으로 위치추정, 속도 및 가속도, 장애물 인식, 이동경로설정 등의 복합적인 사항을 고려하게 된다[3]. 따라서 이동로봇에 대한 연구는 많은 센서들을 사용해 온 것이 관례적이나, 현재에는 저가형 Kinect 센서를 바탕으로 센서 사용을 줄이며 다양한 정보를 획득하기 위한 로봇이 개발 중에 있다. 특히 Kinect 센서는 가격이 저렴하며 카메라와 IR 센서 Microphone 등이 융합된 센서로 성능이 우수하기 때문에 각광 받고 있으며, 많은 연구가 이루어 지고 있다. Kinect 센서는 사람의 신체부위 및 움직임을 인식할 수 있기 때문에 센서와 사람 사이의 거리, 각 관절 값 등을 추종하는데 높은 성능을 보여준다. 현재는 많은 학습 알고리즘을 통해 인체의 특징 점은 물론 동작패턴 및 손가락 모양까지도 검출이 가능하다[4].

본 논문에서는 이동로봇이 실시간으로 사람을 추종하는데 있어서 Kinect 센서를 사용한 효율적인 방법을 제안하고 제

안된 방법과 기존 방법을 비교 하여 제안된 방법의 우수성을 실험을 통해 검증한다. 이동 로봇이 사람을 추종하기 때문에 이동로봇은 추종하는 사람의 작업을 보조하거나 도움을 줄 수 있다. 사람을 따라다니게 하기 위해서 몸의 중심점을 검출 하여 이동로봇이 사람을 추종하게 하는 방법이 대표적이나, 이 방법은 몸을 검출 할 수 없는 특수한 상황에서는 추종이 힘들다는 단점이 있다. 가령 사람의 상체가 숙여진 경우 이런 현상이 발생하게 된다. 이를 보완하고 로봇의 인지 정확성 및 로봇의 인지 속도를 높이기 위하여 발 끝점 및 발 벡터를 검출 하여 사람을 추종하는 로봇에 대해 설명한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 이동로봇의 설계 및 구성에 대해 기술한다. III 장에서는 먼저 기존에 연구되었던 사람의 중심점 추종 기법을 대신하여 발 끝점을 추종하는 방법에 대해 설명한다. 그리고 두 경우를 비교하여 발 끝점 추종 방식에서 생기는 이득에 대해 설명한다. IV 장에서는 발의 X 벡터를 측정하여 가중치를 제어기에 결합하여 움직임을 예측하는 방법에 대하여 설명을 한다. V 장에서는 몸 중심점 검출 방법과 III, IV 장에서 언급한 발 끝점 및 발 벡터 검출 방법을 동시에 적용하여 이동로봇의 주행에 대한 효율성에 대해 기술한다. 이 내용을 바탕으로 VI 장에서 본 논문에서 제안된 방법의 우수성에 대해 기술하며 결론 짓는다.

II. 이동로봇의 설계

이동로봇은 표 1과 같이 구성되어 있으며 하드웨어는 크게 MCU, 모터드라이브, Kinect 센서, PC로 구성된다. 시스템 구성으로는 그림 1과 같다. Kinect 센서를 동작 하기 위해 C++ 환경에서 Open CV, NUI를 사용한다. 기본적인 Kinect의 동작은 Microsoft 에서 제공하는 SDK를 사용한다[4,5]. Kinect 센서에서 얻은 데이터를 PC를 이용하여 사람의 전체 크기를

* Corresponding Author

Manuscript received February 2, 2014 / revised March 22, 2014 / accepted June 9, 2014

허신녕, 이장명: 부산대학교 로봇협동과정
(snheo7379@pusan.ac.kr/jmleel@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇 전문인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(H1502-13-1001).

표 1. 하드웨어 구성요소와 주요사항.

Table 1. Hardware configuration.

하드웨어 구성요소(부품명)	주요사항
MCU (myCortex-LM8962)	코어: Cortex-M3 50MHz로 동작
Motor driver (NTDC20A)	동작전압5V, 2개 모터 제어
Kinect Sensor	Kinect for windows ver.1
PC (BOSSMONSTER)	CPU: i7-4700MQ, 메모리: 8GB

그림 1. 시스템 구성.

Fig. 1. System configuration.

그림 2. 실제 이동로봇.

Fig. 2. Experimental mobile robot.

인지, 그 특징 점을 추종하여 이동로봇과 사람 사이의 거리, 각도, 사람이 나아가고자 하는 방향 등을 도출 한다. 최종적으로 이동로봇의 좌우 바퀴 속력을 실험을 통해 이득값을 조정하여 계산하고 시리얼 통신을 사용하여 제어 명령을 MCU에 전송하여 이동로봇을 제어한다. 이에 대한 하드웨어 구성요소 및 시스템 구성도는 다음과 같다.

III. Kinect 센서를 이용한 발 끝점 추종 방법

본 논문에서는 Kinect 센서를 이용하여 발 끝점 및 발 벡터를 검출하여 이동로봇이 사람을 추종하며 예측하여 움직이는 것에 그 목표를 두고 있다. 먼저 발 끝점을 추종하는 방법에 대해 설명한다. 제안된 발 끝점 추종 방법이란 기본적인 Kinect 센서의 좌표 검출 원리를 발에 적용시켜 30fps의 영상을 1/10초 평균을 내어 그 좌표값을 계산하게 만들었다.

그림 3. Kinect 센서의 거리 측정의 원리.

Fig. 3. The distance measurement principle of the Kinect sensor.

Kinect 센서가 좌표를 검출하기 위해 동작 원리를 이해 하여야 한다. Kinect 센서는 카메라와 IR Emitter로 구성되어 있으며, 카메라를 이용한 영상정보와 IR Emitter를 이용한 깊이 정보를 가지고 Kinect 센서와 추종 객체와의 거리를 구한다. 이때, 화소의 수평 이동량을 구하는 원리는 삼각측량의 원리이다[6]. Kinect 센서의 수평방향 거리는 $d[m]$ 떨어져 있으며, 카메라 광학계는 $L[m]$ 떨어진 거리에서 $L_w[m]$ 의 폭이 N_x 화소로 검출한다고 가정을 한다. 이때 객체와 Kinect의 거리를 Z_d , 검출할 객체의 본래 비트 위치를 X_0 , 이동한 비트 위치를 X_1 이라고 가정하면 기하학적인 상관관계로부터 다음 식이 성립한다.

$$N_x : (X_1 - X_0) = L_w : L_X \quad (1)$$

$$d : L_X = K : (1 - K) \quad (2)$$

$$K : 1 = Z_d : L \quad (3)$$

위 식을 바탕으로 구하고자 하는 객체와 Kinect 사이의 거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이는 그림 3에서 식 (4)의 이해를 돕기 위해 나타내었다.

$$\therefore Z_d = \frac{N_x d L}{N_x d + L_w (X_1 - X_0)} \quad (4)$$

위 방법을 이용해 화소 하나의 추정거리를 계산할 수 있다. 본 논문에서는 사람의 발 끝점 밀, 발의 벡터를 추종 하려 한다. 발의 특정부위 검출을 위해 우선 사람의 관절 정보 전체를 이용한 발 끝점 추종 방법에 대해서 설명한다.

Microsoft에서는 Kinect 센서로 사람의 좌표를 추출하고 모션을 인지 하는데 검증된 방법을 제안하였다[7,14-16]. 먼저 사람을 Kinect 센서로 감지를 하여 Depth 정보와 영상 정보를 나누게 된다. 이렇게 나누어진 영상데이터는 어느 부분이 발인지 정확한 명칭이 필요하다. 이를 위해 31개의 신체부위로 나누어 각각의 명칭을 Labeling 한다. 현재 본 논문에서 사용하게 될 발 끝점은 L/R Foot 으로 Labeling 되어있으며 Vector를 알아 내기 위한 지점은 발목으로 국한하여 L/R Ankle 로 Labeling 하였다. 그 후 발의 끝점 (L/R Foot)과 발목 정보 (L/R Ankle)의 좌표를 계산하기 위해 두 가지 방법이 사용된다[8,9]. 먼저 영상 이미지와, Depth 이미지 에서 발이

어느 부분인지 Labeling 한 부분의 영역을 클래스로 지정하고, 그 부분의 중심점의 고정좌표를 읽어내는 방법이다. 그 후, 그 점이 움직이게 되면 움직이는 점이 발 끝점이라는 것을 알기 위해 Randomized decision tree(의사 결정 나무)를 이용한다[10].

Randomized decision tree는 Kinect 센서에 적용할 때 크게 두 가지 방법을 사용한다. 기존의 저장된 영상 이미지를 이용하여 Kinect 센서의 제스처 및 모션의 인지를 위해 사용되기도 하고, 본 논문에서처럼 움직이는 한 지점의 정밀도를 위해 학습방법을 이용하기도 한다. 이는 무작위로 특징들의 부분집합을 선택하여 분류기를 학습시키는 방식으로 작동하며, 여러 개의 결정 트리들로 구성된 앙상블(ensemble) 분류기를 사용하여 원하는 목표치에 근접하는 방법이다. 여기서 앙상블이란 트리를 구성하는데 있어서 여러 개의 샘플을 사용해서 일련의 모델을 만드는 방법을 뜻한다. Randomized decision tree는 다음과 같이 정의한다. t 개의 Decision Tree의 각각의 분할 노드는 f_θ 와 임계값 τ 로 이루어진다. f_θ 는 인체 구성요소와 몸 중심점 사이의 각도 정보이며, $[\theta_x, \theta_y, \theta_z]$ 로 나타낸다. 임계값 τ 는 데이터 베이스의 기준치이며, 이는 Microsoft에서 제공한 데이터 베이스를 사용하였다. 이러한 각도 정보를 이용해 이미지 I에 대한 화소 X는 다음과 같은 확률로 정의할 수 있다[11,12].

$$P(c|I, x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T P_t(c|I, x) \quad (5)$$

이는 관측 열 c 에 대한 레이블 열 (I, x) 의 확률이다. 여기서 T 는 관측열 c 의 길이로 표현되며 $1/T$ 는 정규화 값을 의미한다. 위 학습 방법을 이용하여 사람이 움직일 때의 발 끝점 좌표를 조금 더 정밀하게 계산할 수 있다. 최종적으로 영상 기법인 Mean Shift Clustering 알고리즘을 사용하여 효율적으로 관절 정보를 찾는데 도움을 주게 적용하였다[13]. 본 논문에서는 Microsoft에서 제안한 방법을 바탕으로 발 끝점 좌표를 획득하였으며, 오차 값을 줄이기 위해 640x480의 화면을 30fps의 영상 정보를 바탕으로 측정결과를 1/10초당 한번 평균값을 계산함으로써 정확도를 높였다[14].

발 끝점 추종 방법을 이동 로봇에 적용하였을 때 크게 3가지 장점이 생긴다. 첫째로는 사람의 키에 따른 거리 변화이다. 몸 중심점을 측정했을 때는 사람의 키에 따른 거리의 평균값이 줄어드는 현상을 볼 수 있다. 그 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다.

그림 4(a), (b)는 몸 중심점을 추종하였을 때 키에 대한 추종 거리 변화를 설명하는 그림이며, (c), (d)는 발 끝점을 추종하였을 때 키에 대한 추종 거리 변화를 설명하는 그림이다. H 값의 변화가 (c), (d)에서 생기지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 거리의 오차가 줄어든다는 말이 된다. 거리의 오차가 줄어들게 되면서 가지는 이득에 대해 다음과 같은 3가지 실험을 통해 검증한다.

표 2는 몸 중심점 추종 방법과 발 끝점 추종 방법을 비교한 여러 가지 데이터를 비교하여 분석한 것이다. 이는 발 끝점 추종 방법이 어떠한 장점이 있는지 나타내어 준다. 첫째로 사람의 키에 따라 측정거리 D 값의 변화가 없어지는

그림 4. 키에 따른 추종 거리 변화 원리.

Fig. 4. Principle of distance estimation to a human.

표 2. 추종 방법에 따른 비교 실험.

Table 2. Accuracy comparison for two estimation methods.

2.5 m 위치	몸중심 점 추종법 평균거리 [m]	발끝 점 추종법 평균거리 [m]
Human A [키: 155 Cm]	Aver. 2.495 m	2.496 m
Human B [키: 177 Cm]	Aver. 2.476 m	2.495 m
Data range [m]	-0.6 m ~ 0.5 m	-0.65 m ~ 0.78 m

장점이 있다. 이는 사람 모양 판별을 사용하여 실험 하였고 데이터 정밀도가 매우 정확하게 나온 것을 확인 가능하다. 두 번째로 발 끝점을 측정하게 되면서 측정 범위가 증가하게 되어 좀더 정밀한 측정을 할 수 있는 장점, 세 번째로 한 점 측정과 두 점 측정의 차이로 생기는 데이터 오류 개선의 장점을 실험을 통해 다음과 같이 검증하였다.

1. 사람의 크기에 따른 거리 변화

위 방법을 이용하여 다음과 같은 실험으로 발 끝점 추종법의 우수성을 검증한다. 키 173, 155cm의 사람모양 판별을 Kinect 센서와 2.5m 지점에 두고 몸 중심점 추종법과 발 끝점 추종 방법을 비교하여 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

몸 중심점을 측정했을 때는 사람의 키에 따른 거리의 평균값이 줄어드는 현상을 볼 수 있다.

2. 몸 움직임과 발 움직임 변화 폭 비교 측정

다음은 몸 움직임의 변화 폭을 비교한 실험이다. 거리 2.5m에서 객체가 좌우 1m를 자유롭게 움직였을 때, X 데이터의 변화량을 측정 한 것으로 사람의 행동 패턴에 기인한 영향이다. 사람이 움직이기 위해선 발의 움직임이 최우선적으로 이루어지며, 발의 움직임이 신체의 움직임 중에 가장 큰 폭으로 움직이는 것을 볼 수 있다.

실험 결과를 보면 파란색의 몸 중심점 이동은 발 걸음의 이동속도에 맞게 부드럽게 이동하는 반면 좌우 1m 사이를 번갈아 움직였을 때 그 폭이 발의 움직임 보다 줄어드는 것을 볼 수 있다. 붉은색 그래프는 발의 움직임을 나타내며, 파

그림 5. 몸 중심점 추종 방법의 키에 따른 거리 데이터.

Fig. 5. Distance data according to the height using body center tracking.

그림 6. 발 끝점 추종 방법의 키에 따른 거리 데이터.

Fig. 6. Distance data according to the height using foot-end-point tracking.

그림 7. 추종방법에 따른 수평 방향 데이터 변화폭.

Fig. 7. Horizontal data range according to tracking methods.

란색의 몸 움직임 보다 폭이 더욱 큰 것을 볼 수 있지만 발 동작의 특성에 맞게 부드러운 움직임 보다 변화폭이 큰 움직임을 특징으로 들 수 있다. 이러한 결과는 서로의 장단점이 극명히 존재하며 객체로부터 생기는 오차는 발 끝점이 좀더 장점이 많다고 증명된다.

3. 두 점 추종으로 인한 데이터 오류효과 개선

마지막으로 두 점을 추종함으로써 생기는 데이터 오류효과 개선이다. 이동로봇 플랫폼은 Kinect 센서의 데이터를 받아 움직이기 때문에 Kinect 센서 데이터에 오류가 있을 경우

그림 8. 몸 중심점 추종 방법의 데이터 오류.

Fig. 8. The data errors of body center tracking methods.

그림 9. 발 끝점 추종 방법의 데이터 오류 개선.

Fig. 9. Improve data errors of foot tracking.

동작의 문제가 생기게 된다. 특히 몸 중심점 추종 법은 몸의 중심을 계산한 한 점을 추종하는 방법을 사용하기 때문에 그 점의 데이터가 갑작스런 외란이나 학습능력을 상실 했을 때, 다음 데이터를 찾기까지 큰 폭을 보이는 것이 사실이다. 그런 부분을 보완하고자 발 끝점을 추종하는 방식을 사용하면 두 점의 평균값을 내는 방식을 사용하기 때문에 아래와 같이 오류 현상이 개선이 되는 것을 확인할 수 있다.

측정 결과를 보면 몸 중심점 추종 법에서의 오류는 그 오류 폭이 큰 것으로 나타났으나 발 끝점 추종 방법은 그 값이 평균이 되기 때문에 두 추종 값 중 한 추종 값에 오류나 외란이 생겨도 데이터의 변동 폭은 그렇게 크지 않음을 볼 수 있다. 위 세가지 장점으로 인해 발 끝점 추종 방법이 어떠한 상황에서 유리한지 알 수 있다.

IV. 발 벡터 측정 및 예측 제어

III 장까지의 내용은 제안된 발 끝점 추종 방법의 설명과 어떠한 상황에서 우수한지에 대해 설명하였다. 이와 더불어 이동로봇의 주행에 있어 Kinect 센서로 검출할 수 있는 추가적인 정보를 바탕으로 효과적인 이동 로봇의 움직임 만들 수 있다. 본 논문에서는 발 모양의 움직임을 미리 예측하여 가중치를 양쪽 바퀴에 더해 주는 형식을 추가하여 이동로봇을 제어하는 방법을 제안한다.

그 방법은 다음과 같다. 발의 움직임을 예측하기 위해서 발 벡터를 측정한다. 이때 발의 벡터를 측정하기 위해 사용

그림 10. 발 벡터의 측정 원리.

Fig. 10. Principle of foot-vector measurement.

한 관절 정보는 발 끝점(L/R foot)과 발목(L/R ankle) 정보이다 [8,9]. 위 정보를 이용하여 발의 X 벡터를 구하고, X 벡터의 합 벡터를 계산한 다음 좌우 바퀴 속도 값의 가중치를 더하는 방법을 사용하여, 이동로봇의 예측제어를 가능하게 하였다.

그림 10은 발 벡터의 측정 원리를 설명하는 그림으로써 제안된 방법 중 발의 X 벡터를 검출하여 합 벡터를 계산하는 방법을 나타낸다. 발은 이동방향에 대한 방향과 크기가 있으며, 이는 벡터로 표현 할 수 있다.

$\bar{A}_L$ 은 왼쪽 발 벡터의 X 축 성분이며 $\bar{A}_R$ 은 오른쪽 발 벡터의 X 축 성분, K_3 는 발 벡터 가중치를 위한 이득 값, ΔA 은 최종적인 가중치 값이다. 위의 방법을 이용하면 발 벡터의 최종 합을 구할 수 있다[17].

$$\Delta A = K_3 \cdot (\bar{A}_L + \bar{A}_R) \quad (6)$$

식 (6)는 이동로봇에 적용된 발 벡터의 가중치 이다. 이를 적용하기 위해 이동로봇의 모델링을 이용한다.

이동로봇과 사람과의 위치 관계는 위의 그림과 같다. 이동로봇을 구동하기 위한 좌우 바퀴 속도는 V_R , V_L 로 정의한다. 이때, 사람이 $\bar{x}_t$ 에서 $\bar{x}_t+1$ 로 이동할 때, 속도의 변화량은 식 (7) 과 같다. 이동로봇의 이동 속도는 (8)과 같이 정의된다.

$$\Delta V = K_1 \cdot (\Delta \theta_t^* - \Delta \theta_t) \quad (7)$$

$$V = K_2 \cdot (L_t^* - L_t) \quad (8)$$

발 벡터는 식 (9) 과 같이 가중치를 주게 된다. 최종적인 좌우 바퀴 속도는 (10), (11) 과 같이 계산할 수 있다. 이동로

그림 11. 이동로봇과 사람과의 위치 관계.

Fig. 11. Relationship between human and a mobile robot.

봇의 이동속도는 0.3m/s 이며, 거리 및 벡터 값에 영향을 받아 증가 및 감소 하게 설계되어 있다. 그에 대한 이득 값은 실험을 통해 알맞게 조정하였으며 $k_1=1$, $k_2=0.3$, $k_3=100$ 으로 설정하였다.

$$\Delta A = K_3 \cdot (\bar{A}_L + \bar{A}_R) \quad (9)$$

$$V_R = V + \Delta V + \Delta A \quad (10)$$

$$V_L = V - \Delta V - \Delta A \quad (11)$$

최종적으로 이동로봇의 바퀴의 속력은 위의 V_R , V_L 과 같이 나타난다. 즉, 발 끝점을 측정하여 이동거리와 각도를 계산하여 θ 를 구하게 되며, 이를 이용하여 좌우 바퀴 속도를 결정하고, 최종적으로 발 벡터를 측정하여 가중치를 주는 형식을 취하고 있다. 이를 적용하여 좌우 바퀴 속도를 계산한 후 시리얼 통신을 통하여 이동로봇의 MCU에 좌우 바퀴 속도를 전송 후 수신 받은 정보를 바탕으로 가지고 이동로봇을 제어한다.

V. 실험 및 결과

1. 실험환경 구성

이동경로는 ‘ㄱ’ 자 코스와 ‘s’자 코스에서 실험을 진행하였으며 엔코더 데이터의 불확실성을 제거하기 위해 고성능 카메라를 이용하여 높이 5m 상공에서 촬영을 진행하였다. 그 데이터를 화소 단위로 점을 찍어 이동경로를 표시하였다.

그림 12. 실제 실험환경.

Fig. 12. Real experimental environment.

그림 13. 실제 발 끝점 검출 및 발 벡터 검출 장면.

Fig. 13. Real foot-end-point and foot-vector detections.

그림 14. 두 실험의 이동궤적 비교.

Fig. 14. Trajectory comparison of two experiments.

2. 실험 및 결과

실험은 사람의 이동속도를 평균 0.5m/s 정도로 하며, 반복 실험을 진행한다. 사람이 그림 12의 노란색 표시선을 따라 움직이면 로봇이 곡선반경을 그리며 붉은색 경로로 따라 간다. 이때 사람의 1.5m 뒤에서 로봇은 따라가게 설정이 되어 있다. 사람이 느끼기에 1.5m는 거부감을 느끼지 않을 정도의 거리이다. 실험의 구성은 다음과 같다.

- 몸 중심점 추종방법 에 대한 이동경로 실험 (* 경로)
- 발 벡터를 이용한 발 끝점 추종방법에 대한 이동경로 실험 (o 경로)

두 실험 코스의 레퍼런스는 사람의 움직임으로 검은 점선으로 나타내었으며, 그래프의 *표시는 몸 중심점을 추종한 경우이며 푸른색으로 나타내었다. o표시는 발 끝점을 추종한 경우이며 붉은색으로 나타내었다.

실험 결과를 보면 ‘ㄱ’자 코스의 세로 축의 3m 지점에서 이동로봇이 사람의 이동경로 쪽으로 회전을 하는 것을 볼 수 있다. 이때, 사람의 급격한 수평 이동에서 몸 중심점을 추종하는 방법보다 발 벡터를 적용한 발 끝점 추종 방법이 더욱 빠른 시점에서 회전하는 것을 볼 수 있었다. 이는 앞서 언급했던 발 끝점을 추종하면서 생기는 장점 및 발 벡터를 적용시킨 방법을 더해 기인한 현상으로, 주행 시 급격한 수평 이동에서의 이동 경로의 신속적인 인지능력과, 총 이동거리의 감소 효과를 보여준다. ‘S’자 코스에서도 발 끝점을 추종한 로봇은 조금 더 안쪽으로 회전하며 사람의 움직임에 미리 반응하는 모습을 볼 수 있다. 총 거리량은 (a) 실험에서 발 끝점 추종방법이 몸 중심점을 추종한 것 보다 3.7%, (b) 실험에서 3.9% 줄어들었음을 확인하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 발 벡터를 이용한 발 끝점 추종 방법을 제안하고, 이동로봇에 적용시켜 이동 경로를 표시함으로써 이동로봇의 사람 추종효율성에 대하여 기술하였다. 이 방법은

발을 추종 할 수 없는 경우를 제외한 상황에서 몸 중심점 추종 방법과 비교해 일반적인 상황에서의 장점이 크다는 것을 알 수 있었다. 키에 대한 오차 및 사람의 신체 조건에 대한 오차가 줄어 들었으며, 발 움직임의 큰 변화폭에 의한 빠른 센싱, 두 점 추종으로 인한 데이터 오류 효과 개선 등의 장점을 보유하고 있다. 제안된 방법을 적용시킨 이동로봇의 실험에서 보듯이 주행 중 급격한 수평이동 발생 시 이동 경로를 예측하여 곡선으로 주행하면서 이동거리의 줄이는 효과를 볼 수 있었다. 이는 발 벡터를 이용한 예측 제어의 높은 효율성을 보여준다. Kinect 센서를 이동로봇 분야에 적용하여 몸 중심점을 연구하는 기술과 머리와 어깨를 추종하여 방향을 감지하는 기술이 연구 되어있으나 발을 추종하는 기술이나 발의 방향을 분석하는 기술은 미진하다. 본 연구를 통해 발의 방향 예측 및 발 추종기술의 정립은 인간 추종 로봇에 활용하기에 적합하다. 효과적인 제어기 및 시스템 설계분석을 통한 인간 추종 기법의 연구와 장애물을 만났을 때의 회피 방법의 연구 등을 진행하여 보다 나은 추종 로봇을 만들고자 한다.

REFERENCES

- [1] T.-S. Jin and J.-M. Lee, "Object position estimation and optimal moving planning of mobile manipulator based on active camera," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 42, no. 5, pp. 1-12, Sep. 2005.
- [2] N.-Y. Ko, D.-J. Seo, and Y.-S. Moon, "A method for real time target following of a mobile robot using heading and distance information," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 18, no. 5, pp. 624-631, 2008.
- [3] B.-S. Choi and J.-M. Lee, "A capturing algorithm of moving object using single curvature trajectory," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 12, no. 2, Feb. 2006.
- [4] Microsoft Research Kinect for Windows SDK Programming guide
- [5] G. Bradski, *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.
- [6] V. Ganapathi, C. Plagemann, D. Koller, and S. Thrun, "Real time motion capture using a single time-of-flight camera," *Proc. of CVPR*, pp. 755-762, 2010.
- [7] Y. Amit and D. Geman, "Shape quantization and recognition with randomized trees," *Neural Computation*, vol. 9, no. 7, pp. 1545-1588, 1997.
- [8] G. Mori and J. Malik, "Recovering 3D human body configurations using shape contexts," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 7, pp. 1052-1062, Jul. 2006.
- [9] C. Plagemann, V. Ganapathi, D. Koller, and S. Thrun, "Real-time identification and localization of body parts from depth images," *In Proc. ICRA*, pp. 3108-3113, 2010.
- [10] C. Bregler and J. Malik, "Tracking people with twists and exponential maps," *Proc. of CVPR*, pp. 8-15, 1998.
- [11] A. Carballo, A. Ohya, and S. Yuta, "Fusion of double layered multiple laser range finders for people detection from a mobile robot," *Proc. of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 677-682, 2008.
- [12] C. Barron and I. A. Kakadiaris, "Estimating anthropometry and

- pose from a single image,” *Proc. of CVPR*, pp. 1669-1676, 2000.
- [13] D. Comaniciu and P. Meer, “Mean shift: A robust approach toward feature space analysis,” *IEEE Trans. PAMI*, vol. 24, no. 5, 2002.
- [14] J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sahrp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, and A. Blake, “Real-time human pose recognition in parts from single depth images,” *Proc. of CVPR*, pp. 1297-1304, 2011.
- [15] D. Ramanan and D. A. Forsyth, “Finding and tracking people from the bottom up,” *In CVPR (2)*, pp. 467-474, 2003.
- [16] P. A. Viola and M. J. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” *Proc. of CVPR (1)*, pp. 511-518, 2001.
- [17] P. Udsatid, N. Nipaman, and A. Sudsang, “Human position tracking for side by side walking mobile robot using foot positions,” *Proc. of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1374-1378, Dec. 2012.

허 신 병

2012년 동아대학교 전자공학과 졸업.
2012년~현재 부산대학교 로봇관련 협동
과정 석사과정 재학중. 관심분야는 마
이크로 컨트롤러 응용, 이동로봇의 자
율주행, 제어기 설계, 영상처리.

이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업.
1982년 동 대학원 석사. 1990년 USC 공
학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자전
기공학부 교수. 관심분야는 특수 환경
Localization 및 Navigation, 마이크로 프
로세서 응용, 지능로봇 시스템 제어.