

## 레이저센서 데이터융합기반의 복수 휴먼보폭 인식과 추적

진태석\*

### Human Legs Stride Recognition and Tracking based on the Laser Scanner Sensor Data

Taeseok Jin\*

\*Professor, Department of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan, 47011 Korea

#### 요 약

본 논문에서는 레이저 센서 시스템을 이용한 이동중의 사람들을 실시간으로 추종하는 새로운 방법을 제시하였다. 제시한 방법은  $r-\theta$  로 표현되는 센서데이터를  $x-y$ 좌표로 표현되는 2차원 공간으로 표현이 가능하다. 이러한 이동중인 사람들에 대한 정보는 보행패턴과 입력 센서데이터 값에 의해서 이동중인 사람의 특징값을 이용하여 적용하였다.

레이저 센서 기반 사람 추적 방법은 기존의 영상기반의 얼굴인식 방법보다 간단하면서도 이점을 가지고 있다. 제안방법에선 이동궤적알고리즘 기반으로 이동중인 사람의 발목부위를 계측하였도록 하였다. 게다가 제안된 추적 시스템은 중첩된 상황에서도 사람을 강건하게 추적할 수 있도록 HMM 방법을 적용하였다. 적용한 방법을 검증하기 위하여 실제 시스템을 적용한 실험결과를 제시하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we present a new method for real-time tracking of human walking around a laser sensor system. The method converts range data with  $r-\theta$  coordinates to a 2D image with  $x-y$  coordinates.

Then human tracking is performed using human's features, i.e. appearances of human walking pattern, and the input range data. The laser sensor based human tracking method has the advantage of simplicity over conventional methods which extract human face in the vision data. In our method, the problem of estimating 2D positions and orientations of two walking human's ankle level is formulated based on a moving trajectory algorithm. In addition, the proposed tracking system employs a HMM to robustly track human in case of occlusions. Experimental results using a real system demonstrate usefulness of the proposed method.

**키워드** : 데이터융합, 레이저센서, 추적, 보폭, 확률

**Key word** : Data fusion, Laser Sensor, Tracking, Stance, Probability

Received 29 January 2019, Revised 6 February 2019, Accepted 27 February 2019

\* Corresponding Author Taeseok Jin(E-mail:jints@dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1541)

Professor, Department of Mechatronics Engineering, Dongseo University, Busan, 47011 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.3.247>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 지하철이나 공항 같은 혼잡지역에서의 사람을 대상으로 한 영상데이터 기반의 인식 기술은 사람을 단순히 모니터링하는 기술과 사람 인식 및 추종과 같은 형태학적 자세를 계측하거나 사람의 행동의도를 이해하거나 얼굴인식을 통한 보안용 적용 방법들이 존재한다 [1]. 또한 그러한 적용방법은 보안을 위한 자동 모니터링 기술, Human Computer Interaction (HCI), 상황인지 (context aware) 서비스, 공사현장의 위험 조사, 행동 과학·보안 분야에의 응용 등 매우 다양한 분야에 걸쳐 적용되고 있다. 따라서 복수의 사람을 인지하는 것을 목적으로 하는 연구는 대부분 로봇의 인식 카메라 및 컴퓨터 비전 분야에 많은 사례가 제시되었다. 그러나 대부분의 방법은 소수의 사람정보를 계측하는 연구로 진행되어 왔고 복잡한 환경내의 복수의 사람을 동시에 관측 및 식별율이 낮은 실정이다 [2].

행동 인식 및 식별을 위한 대표적 기술로서는 Hidden Markov Model (HMM) [3]이 자주 이용되고 있다. 적용 분야로는 영상기반의 모션 인식, 공항 및 역사와 같은 공공 건물 내에서의 보안, 사람의 제스처 움직임을 모델링하거나 병원 시설의 사고 감지 등의 응용, 고유공간법 (eigen space method)에 의한 차원 압축의 특징량을 HMM에 적용하여 인식모델로 적용한 사례 등이 있다 [4][5]. 그 외에도 Abstract Hidden Markov memory Model (AHMEM)와 Hierarchical Hidden Markov Model (HHMM)을 이용한 분산 시공간 개념을 적용한 인간의 행동을 표현한 연구도 진행되었다[5][6].

특히 동작인식 기술로는 고유공간 방법과 선형 판별 분석[7] 방법이 많은 적용되고 연구가 진행되어 왔는데, 이에 대한 기본 방법은 차원 압축 기법을 응용하기 때문에 차원이 낮고 클래스 간의 분리도가 높은 특징점을 추출하고자 하는 경우에는 적용에 제약이 따른다[8].

본 논문에서는 스캔 센서 데이터 장치에서 얻은 사람의 동선에서 인물 행동 방향을 자동 분류하고 복수의 사람들에 대한 이동 동선을 검출하는 방법을 제안한다. 스캔 센서 데이터의 시야를 탐색하는 인물 및 이미지 정보 뿐만 아니라 다른 센서 장치에도 대응하는 특징값을 이용하는 기술을 대상으로 하였다. 2장에서는 행동인식 선행기술, 3장에서는 복수의 사람들에 대한 행동 패턴 인식 전처리 및 이동방향 특징을 모델링, 4장 보행 패턴

학습결과에 대한 실험결과를 바탕으로 일반적인 사람의 행동 패턴을 인식하기 위해서 움직임 동선 데이터에 적용하여 다른 사람과 식별하고 다른 행동 패턴 인물을 검출하는 실험결과 검증하였다.

## II. 복수인물의 위치인식

### 2.1. 인식시스템 의기본개념

본 논문의 복수의 이동 패턴 인식을 위해 적용한 스캔 센서로는 그림 1과 같이 동작에 대한 사람의 발목부위를 인식하기 위한 스캐닝 센서를 적용하고 지면에서의 보행에 대한 이동 특성을 파악하기 위하여 레이저 센서를 적용하였다.

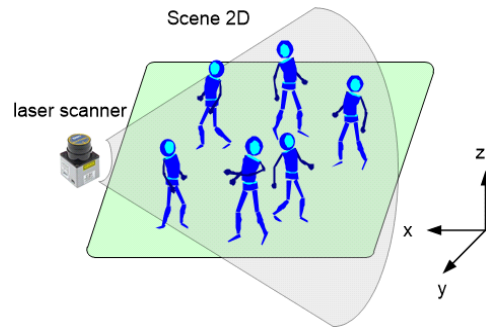


Fig. 1 Kinematics of laser and image sensor

### 2.2. 행동인식과 추출

레이저센서로 스캔하여 획득 가능한 특징 정보는 궤적 특징·보행특징, 환경(글로벌) 특징의 3개 항목으로 추출하도록 하였다. 특징정보와 파라미터는 이동궤적, 보행특징, 환경특징 정보를 이용하였다.

각 특징값은 임의 이동하는 사람들에 대한 시간 t에 특정 인물 k의 관측값이며 시간 방향의 통계인 N 지점에서의 평균값 N 지점의 표준 편차로 특징값이 된다. 또한 환경(글로벌) 특징은 제시하지 않았지만 이동 대상 범위의 특징값에 대한 평균 및 표준 편차로 표현 가능하고 행동을 나타내는 유용한 정보값이 될 수 있다.

레이저 센서를 이용한 환경인식 방법은 기존연구 방법[7]을 적용하였고 레이저센서에 의한 보행자 동선 인식 및 계측방법은 다음절에서 소개하도록 한다.

### 2.3. 보행자 보행인식 및 계측

본 논문에서 보행자의 이동 방향 추종을 위해 적용된 센서로는 Hokuyo사의 레이저센서(UTM30)를 적용하였고 센싱 단위 각으로 펄스파를 레이저 빔 형태로 0.25 각도 단위로 120도 방향으로 조사된다. 로봇에 탑재함으로써 주변 환경에 반사된 펄스를 수신할 때까지 소요되는 시간을 계산하는 알고리즘, Time of Flight 방식이 적용된 센서다. 또한, 내부 구성에서 반사경이 고속회전함으로써 수평 계측에 대해서 최대 180도의 스캔 가능하여 환경에 대한 고정밀 측정이 가능하다. 출력되는 데이터 형태는 각 방위에 대한 거리 값으로 산출이 되며 거리 정밀도의 오차는 2cm미만, 최대 반경 30m 거리까지 측정이 가능하다.

이동자의 이동 데이터 측정 및 획득을 위하여 그림 2와 같이 레이저센서를 바닥면에 설치하였고, 높이는 약 10cm 정도로 하여 사람의 발목위치를 스캔 및 인지할 수 있도록 설정하였다.

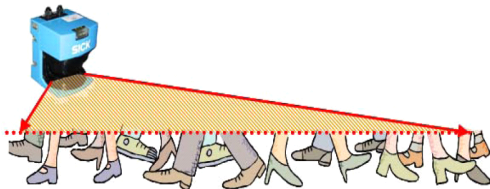


Fig. 2 Geometric structure of laser sensor

## III. LRF를 이용한 보행 패턴 추적

### 3.1. 정지 물체 영역의 추정

실내 환경에 고정된 카메라에 의한 절대 위치와 바닥면에 장착된 LRF에 의한 레인지 데이터와 통합하여 세계 좌표계에 여러 스캐닝 파티클이 얻어진다. 여기에서는 이러한 스캐닝 파티클을 이용하여 인물 추적 방법을 기술하고자 한다.

데이터의 통합에 의해 얻은 스캐닝 파티클을 정지 물체와 이동물체와 구별하기 위해 정지 물체 영역에 대한 추정을 실시한다.

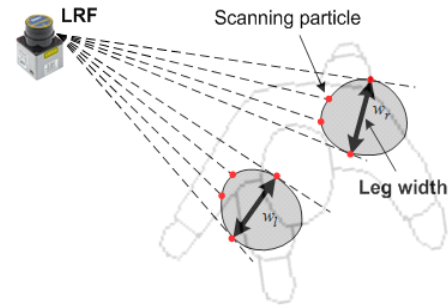
인간과 사물이 공존하는 환경에서는 가구처럼 수시로 위치를 바꾸는 준 정지 물체가 존재한다. 따라서 미리 만들어 놓은 지도 정보에 의해 정지 물체 영역을 할당할 수 없기 때문에 정지 물체 영역은 항상 업데이트

해야 할 필요가 있다. LRF에 의해 일정 시간동안 장애물이 계속해서 관측되는 영역을 정지 물체 영역으로 추정함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있었다.

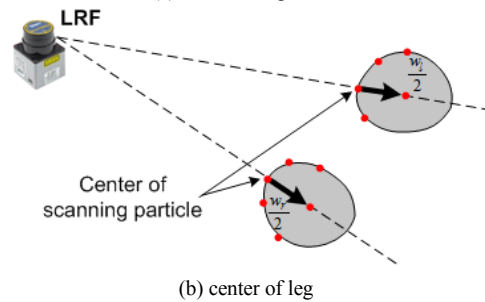
### 3.2. 센서 데이터에서 다리 추출

정지 물체 영역에 들어 있지 않은 데이터에서 다음과 같이 인간의 다리를 추출할 수 있다(그림 3).

- (1) 정지 물체 영역에 들어 있지 않은 스캐닝 파티클 가운데 특정거리 이하로 이어져있는 스캐닝 파티클을 하나의 집합으로 본다.
- (2) 스캐닝 파티클 집합의 양끝 파티클 사이의 거리를 다리의 폭  $w/2$ 로 규정하였다.
- (3) 스캐닝 파티클 집합의 중간점에서 LRF에서 멀어지는 방향으로  $w/2$  떨어진 점을 다리의 중심으로 하였다.



(a) model of leg width



(b) center of leg

Fig. 3 Estimation of the leg position

### 3.3. 칼만 필터에 의한 인물 추적

양 다리에서 추출한 스캐닝정보에서 칼만 필터를 이용하여 인물의 추적을 실시하였다. 우선 동일 인물의 다리 쌍은 (1) 일정한 거리 이상 떠나지 않는다. (2) 진행 방향이 거의 같다는 특징을 가진다. 이러한 조건을 일정 시간 충족하는 다리의 쌍을 동일 인물의 다리 쌍으로 간

주하였다. 이와 같이 다리의 위치를 구한 후 그 중간 지점을 인물 위치로 결정할 수 있다.

동일인으로 간주된 다리의 쌍은 칼만 필터에 의해 이동궤적에 대한 연장 처리가 적용된다[4]. 다음 프레임에서 궤적이 연장된 각각의 다리는 관측된 다리 후보 중에서 가장 가까운 것을 선택하고 그 프레임을 현 다리의 이동 위치로 결정한다. 이것을 반복하여 추적을 구현하도록 하였다. 여기서 적용한 칼만 필터는 다리의 가속도를 외부 입력으로 확장하였고 다리의 가속도는 그림 4에 나타난 보행 모델을 이용하여 적용하였다. 그림 4에서 보행 모델은 4개의 위상으로 나누어 져 있으며 과거의 데이터에서 얻은 다리의 속도 및 가속도에서 현재의 위상을 결정할 수 있다. 그리고 결정된 위상에 따라 가속도를 구할 수 있었다.

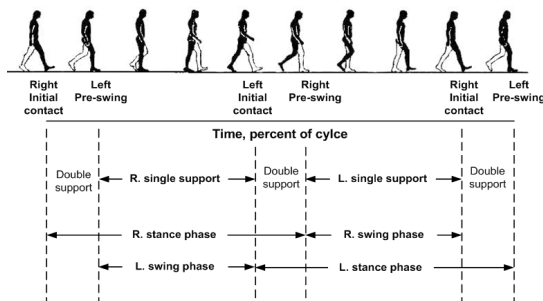


Fig. 4 Walking Model(o : Right leg, \* : Left leg)

#### IV. 행동검출실험

##### 4.1. 이동궤적추출

이동 중인 사람에 대한 궤적을 추출하기 위한 변수로는 위치  $p_t^k = (x_t^k, y_t^k)$ , 이동속도  $v_t^k = (vx_t^k, vy_t^k)$ , 이동방향  $d_t^k = \arctan(x_t^k - x_{t-1}^k, y_t^k - y_{t-1}^k)$ 로 정하였고, 가장 기본적인 이동에 따른 물리량으로 표시할 수 있다. 멈춘 시간  $T$ 는 일정 시간 동안 움직이지 않고 정지된 시간을 나타낸다. 경로의 유연성,  $\alpha$ 는 이동 방향의 유사성  $\theta_t^k$ 를 사용하여 식 (1)~(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\theta_t^k = \arccos \frac{d_{t-1}^k \cdot d_t^k}{\|d_{t-1}^k\| \|d_t^k\|} \quad (1)$$

$$\bar{\theta}_t^k = \frac{1}{2} (\theta_{t-1}^k + \theta_t^k) \quad (2)$$

$$\alpha_t^k = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=t-1}^t (\theta_i^k - \bar{\theta}_i^k)^2} \quad (3)$$

본 실험에서는 스캔 데이터의 오차에 따른 추적 결과는 유연한 궤적 값으로 도출되지 않지만, 취득한 데이터에 대한 평활화 필터링 과정을 거친 후 유연한 궤적 특성을 도출할 수 있다. 또한, 복수 사람들의 이동특성중 중요한 보행 특징정보는 보행 속도, 활보의 길이( 좌우 보폭을 포함한 길이), 왼쪽 다리의 스텝과 오른쪽 다리의 스텝 사이의 소요시간을 나타내는 케이던스(보수/분)로 나타낼 수 있다 [8]. 관찰자의 육안 판정이 용이하기 때문에 케이던스가 잘 사용되고 있는 것이지만 측정시간이 길기 때문에 동작 인식에는 적합하지 않다. 따라서 본 실험 방법에서는 직관적이고 분절화가 가능하도록 이동자의 특유의 보행 주기  $\omega^{(L/R)}$  (초 /한보)를 적용하였다.

이동중인 좌우 보폭의 차이를 명확하게 관찰하기 위하여 활보의 길이정보 보다는 보폭  $s^{(L/R)}$  정보를 이용하였다. 보행은 입각기(stance phase: 발이 지면에 닿아 있는 시기로서 정상 보행의 60%를 차지함)와 유각기(wing phase: 발이 지면에서 떨어져 있는 시간, 정상 보행의 40%를 차지함)에 나누어 적용하였고 그 비율은  $r^{(L/R)}$ 로 하였다.

이러한 매개 변수는 STFT 및 FFT(단시간 푸리에 변환)등을 이용하여 검출하는 것이 일반적이지만, STFT 방법에 의한 이동자의 보행검색을 시도 했는데 차폐에 따른 스캔 데이터 손실에 취약하기 때문에 실제 환경에서의 적용은 어려울 것으로 판단되어 스캔 데이터의 시공간적 분석[2][8]을 적용하여 보행 주기, 보행속도, 그리고 보폭을 검출하였다.

##### 4.2. 이동경로학습

이동자의 시작점과 도착점 조사를 통해서 이동 경로에 대한 스캔데이터에 따른 집계 및 분석을 통한 경로 및 이동자 식별에 대한 판단을 이용한 서비스가 점차 늘어가고 있다. 그러나 혼잡한 복수의 사람들을 개별적으로 추적하고 개별적인 기점과 종점에 대한 정보를 획득하는 것은 매우 어렵다. 따라서 출발점에서 도착점까지의 사이에 추적이 타인의 방해로 인하여 중단되는 경우 시점과 종점의 정보를 잃게 된다. 따라서 시점과 종점을

알 수 없는 단편적인 이동 경로에서 이동 경로를 추정하기 위한 요소 기술로써 Hidden Markov Model (HMM) [5]를 사용하여 이동 경로를 학습하고 미지의 궤적에 대한 시점과 종점을 추정하도록 하였다. HMM의 매개 변수는 다음과 같다 [7][8].

상태전이확률행렬  $\mathbf{A}=\{a_{ij}\}$ , 기호 출력 확률 행렬  $\mathbf{B}=\{b_j(k)\}$ , 초기상태분포  $\pi = \{\pi_i\}$ , 그리고 매개 변수를 사용한 경로 HMM을  $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \pi)$ 로 표현하였다 (그림 5 참조).

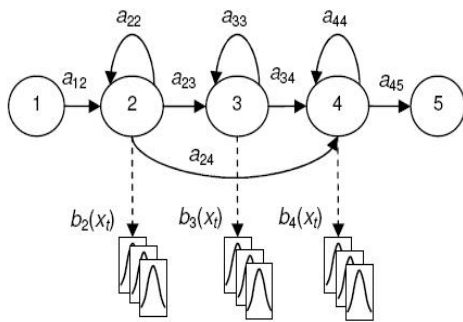


Fig. 5 Hidden Markov Model.

실험에서 주어진 이동방향과 경로에 대한 학습단계는 다음과 같이 실시하였다.

- 실험공간을 격자모양으로 분할하고 이동방향을 그리드 시퀀스  $\mathbf{O}=\mathbf{O}_1, \mathbf{O}_2, \dots, \mathbf{O}_T$  (관측 계열)로 표현한다.
- 시점과 종점 정보가 주어진 상태에서 이동자의 관측 계열을 입력 정보로 하여 Baum-Welch 방법을 기반으로 경로 HMM:  $\lambda_{1 \dots n}$ 을 학습하도록 하였다.
- 시점과 종점 정보가 미지의 관측계열  $\mathbf{O}=\mathbf{O}_1, \mathbf{O}_2, \dots, \mathbf{O}_T$ 를 입력 패턴으로 정의하였다.
- Forward-Backward 알고리즘을 적용하였고, 개별 이동자의 최대출력 확률  $P(\mathbf{O}|\lambda_{1 \dots n})$ 을 이동 방향을 추정 결과로 적용하였다.

## V. 실험

### 5.1. 실험환경

제안 방법에 대한 실험을 검증하기 위하여 다음과 같은 실내 환경을 구성하여 실험을 실시하였다. 실험 환경을 그림 6에 나타내었다. 실험 공간은 약  $6 \times 5$  m 공간내

에 2명의 사람과 고정된 장애물로는 로봇을 위치시켰다. 2 명의 사람은 이동 로봇의 앞을 화살표 방향으로 각각 이동하면서 두 사람의 위치를 추적하게 하였다. 두 사람의 이동 방향은 레이저스캐닝 빔에 대해 횡 또는 사선방향으로 보행하되 속도는 1.2[m/s]이며 방향은 서로 직각 방향으로 교차되게 이동하는 것으로 하였다.

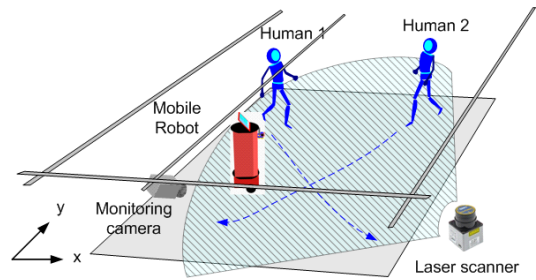
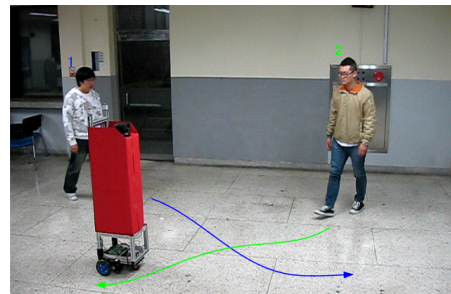
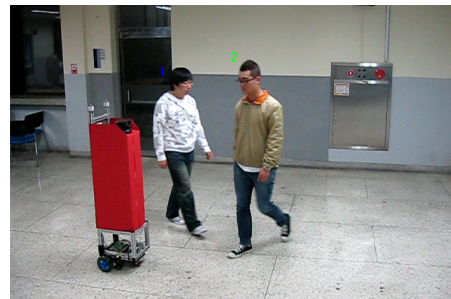


Fig. 6 Setups of Experiment

또한 측정 결과는 독립적인 실내의 고정 LRF의 출력과 겹쳐서 평가를 실시하였다. 모니터링 영상에서 관찰한 영상 그림 7(a)~(d)을 연속적으로 제시하였고 그에 따른 대상물에 대한 인식표로 번호를 각각 마킹하여 결과를 관찰하기 쉽게 하였다.

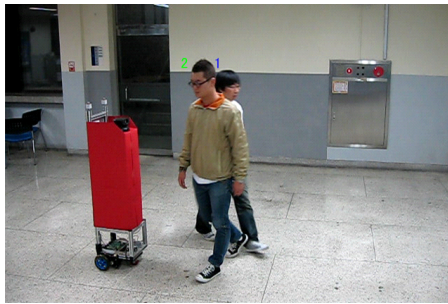


(a)

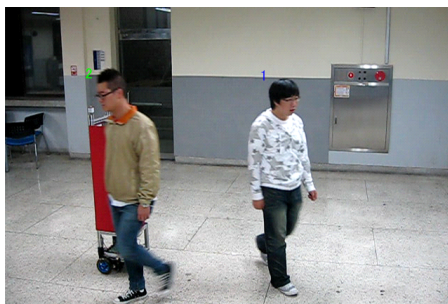


(b)





(c)



(d)

Fig. 7 Image of walking humans for experiments

### 5.2. 실험결과

실험환경 설정에 따른 실험 결과를 그림 8과 같이 제시하였다. 두 사람의 위치에서 각각 교차되게 보행시켜 각각의 스캐닝 파티클을 각각 표시하였다. 실험결과에서 Human 1의 이동방향은 레이저 빔과 사선방향으로 이동한 경우로써 출발점 부근에서는 인식 파티클이 적게 나타나고 있으며 센서 가까운 쪽에서는 인식이 다소 정확하게 나타남을 알 수 있다. 하지만 Human 2의 이동방향은 레이저 빔에 대해서 직각을 이루는 방향으로 이동하고 있기 때문에 Human 1에 비하여 보다 정확한 위치가 인식됨을 알 수 있었다.

계측용 LRF의 출력과 위치 파티클 결과를 그림 8에 나타내었다. 결과 데이터는 두 인물 추정 위치 오차가 최대인 것으로 관측되는 시간이다. 파랑색과 녹색 파티클이 두 인간에 대한 LRF 출력이다. 또한 레이저센서 인식에 따른 다리의 위치와 육안으로 측정한 인물 추정 위치의 오차는 최대 150[mm] 정도였다. 인물 추정 위치에 오차가 생길 요인으로 가장 크다고 생각되는 것은 동기의 차이인 것으로 판단된다. 본 논문에서 이용한 동기화 기법은 관측 시간과의 정확한 일치성을 위한 추가적인 방법이 수행될 것으로 판단된다.

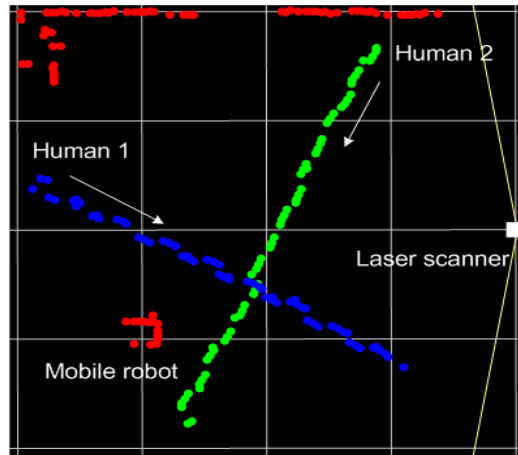


Fig. 8 Evaluation of Experiment

## VI. 결 론

본 논문은 레이저센서를 이용하여 복잡한 환경속의 균중속의 개별 동작과 이동패턴에 대한 추종 방법을 실증 실험을 통해서 다양한 공공 분야에서의 응용가능성을 보여주었다. 제안한 방법의 이동객체 인식 시스템은 각 개인의 보행특성을 파라미터로 설정하고 이동특성을 식별 및 추종하는 전처리부분, 이동방향 특징정보, 보행특징정보, 환경(글로벌) 특징을 도출하는 특징값 추출부분, 그리고 HMM 방법에 대한 학습 및 식별에 대한 실험결과를 제시하였다.

제안 방법에 대한 보행 및 추종 실험으로 학습 및 식별부분에서 HMM을 이용한 각 개인들의 이동방향과 경로의 추정이 가능하였고, 비정상 보행의 검색도 가능함을 보여주었다. 그리고 제안된 방법을 안전팬스가 없는 지하철장이나 보안 구역 내에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 과제로서 다중 센서를 이용한 복잡한 동작 인식 기술 시스템에 대한 실험과 검증에 위한 추가적인 검토 및 연구가 요구된다. 그 중에서도 시공간적으로 뒤얽힌 복잡한 행동에 대한 복수개체에 대한 행동 모델링을 각 개별 행동으로 구별하는 연구가 진행되어야 한다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(No. 2016R1D1A1B04932124).

### References

- [ 1 ] T.S. Jin, and H. Hashimoto, "3D walking human detection and tracking based on the IMPRESARIO Framework," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 8, no. 3, pp. 163-169, 2008.
- [ 2 ] P. Perez, C. Hue, J. Vermaak, and M. Gangnet, "Color-Based Probabilistic Tracking," in *Proceeding of European Conference on Computer Vision*, Copenhagen, 27 May- 2 June 2002.
- [ 3 ] T. Karpagavalli, and B.S. Appavu alias, "Multiple human tracking using 3D ellipsoidal model and SIR-Particle Filter technique," *2014 International Conference on Recent Trends in Information Technology*, pp. 1-5, 2014.
- [ 4 ] A. Ishan, K. Alok, K. Singh, and S. Rajeev, "Weighted Fast Dynamic Time Warping based multi-view human activity recognition using a RGB-D sensor," *2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG)*, pp. 1-4, 2015.
- [ 5 ] J. Gao, A.G. Hauptmann, A. Bharucha, and H.D. Wactlar, "Dining Activity Analysis Using a Hidden Markov Model," in *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, vol. 2, pp. 915-918, 2004.
- [ 6 ] M. Babae, G. Rigoll, and M. Babae, "Joint tracking and gait recognition of multiple people in video," *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 2592-2596, 2017.
- [ 7 ] L. Xiao, T. Dacheng, S. Mingli, Z. Luming, B. Jiajun, and C. Chun, "Learning to Track Multiple Targets," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 26, no. 5, pp.1060-1073, 2015.
- [ 8 ] H. Rintaro, H. Tera, N. Takatoshi, Y. Masashi, and M. Shinya, "A Study of Tracking the Human Arm Twist Motion," *2016 Nicograph International (NicoInt)*, pp. 150-150, 2016.



진태석(Taeseok Jin)

2003년 부산대학교 전자공학과 공학박사  
 2006년~현재: 동서대학교 교수  
 현재: 한국지능시스템학회 부산울산경남지부 회장

※관심분야: TRIZ, 센서융합, 이동로봇, 지능제어