LiDAR 센서 기반의 보행 동선 자료를 활용한 보행자 속성 추정 방법론 개발

김태진^{1*} · 정은비² · 유소영²

¹한국철도기술연구원 미래교통정책본부 주임연구원, ²한국철도기술연구원 미래교통정책본부 선임연구원

Development of Pedestrian Property Estimation Method Based on Deep Neural Networks Using LiDAR Sensor

KIM, Taejin^{1*} · JEONG, Eunbi² · YOU, Soyoung Iris²

¹Researcher, Innovative Transport Policy Division, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 16150, Korea

²Senior Researcher, Innovative Transport Policy Division, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 16150, Korea

*Corresponding author: kimtj88@krii.re.kr

Abstract

As the number of accidents and crimes in Seoul metro system has recently increased, there has been growing concerns on the safety of passengers. Even though the integrated management method of metro station using the intelligent CCTV is proposed as an alternative, the cost saving and the privacy issue in analyzing and operating the image based information is critical. Recently, many studies regarding a variety types of sensors have been thoroughly investigated. Among all, LiDAR sensor has excellent capability of recognizing and tracking objects, and also has the advantages of realizing information acquisition and analysis in real time. In this study, the characteristics of pedestrians are extracted from individual pedestrians' trajectory using LiDAR sensor, and analyzed. With the proposed Deep Neural Network (DNN) algorithm in this study, pedestrian property can be predictable from each individual trajectory. As a result, we found a great potential to monitor and manage effectively and seek the certain situation reflecting the behavior of pedestrian's characteristic with environmental elements in a metro station.

Keywords: deep neural network, LiDAR sensor, pedestrian characteristics, pedestrian trajectory, pedestrian

초록

최근 도시철도 내 사건사고 및 범죄 수가 급격히 증가하면서 승객의 안전에 대한 관심은 점차 늘어나고 있다. 지능형 CCTV를 활용한 도시철도역사 통합 관리 방안 등 다양한 전략이 제시되고 있으나, 비용 절감 및 개인사생활 침해 등은 여전히 이슈가 되고 있다. 최근 기술 개발로 인한 다양한 센서에 대한 연구가 진행되고 있으며, 그 중에서도 LiDAR 센서는 사물 인식, 추적 그리고 실시간 정보 처리 등 장점이 많다. 본 연구에서는 이러한 LiDAR 센서를 활용하여, 개별 보행자의 동선 정보로부터 개인 속성을 추출하였으며, 제안된 신경망 알고리즘 기반 모형을 통해

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.5, pp.319-330, October 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.5.319>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 4 June 2018

Revised: 25 June 2018

Accepted: 10 October 2018

Copyright ©
Korean Society of Transportation

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.

보행자의 속성을 추정하였다. 분석결과를 통해 도시철도역사 환경 요소와 개인 속성을 고려한 행태 정보를 반영한 보행 흐름에 대한 활용성 및 도시철도 역사에 대한 효율적인 유지관리 가능성을 제시하였다.

주요어: 심층신경망, 라이다센서, 보행자 속성, 보행 동선, 보행자

서론

현재 서울시의 수송 분담률 약 40%를 차지하고 있는 대표적 대중교통수단인 도시철도는 하루 평균 800만 명이 상이 이용하고 있다. ‘서울시민의 발’ 도시철도는 최근 각종 사고 및 범죄 관련으로 몸살을 앓고 있으며, 주요 인터넷 포털사이트의 실시간 검색어에 자주 등장하는 모습을 보이면서 승객들의 안전에 대한 염려가 커지고 있다. 주요 언론사 및 교통운영기관의 도시철도 사고·범죄 관련 기사를 중심으로 웹크롤링을 활용한 분석 결과, 도시철도 치안 및 안전 관련 뉴스는 ‘17년 한해에만 1,285건으로 이는 하루 평균 3건 이상의 사건 사고가 발생한 셈이다.

새롭게 출범한 서울교통공사는 ‘안전한 도시철도, 편리한 교통서비스’를 모토로 도시철도 안전과 교통 서비스를 개선하기 위하여 미래형 도시철도 시스템 SCM (Smart Connected Metro) 구축사업 중 기존 CCTV를 객체인식 등의 기능이 적용된 지능형 CCTV 시스템으로 개량하여 3D 모델링 기반으로 역사를 입체적으로 통합 관리할 수 있도록 계획하였으며, 2022년까지 277개 전 역사에 CCTV의 고도화 계획을 추진하고 있다. 같은 맥락에서 최근 ICT 기술이 다양한 분야에서 융합되어 새로운 플랫폼과 서비스를 제공하는 사례가 많다. 이는 전통적인 센서에서 벗어나 저전력의 통신 기술이 탑재된 센서 기술이 현장에 적용되어 대량의 데이터를 구득할 수 있는 ‘빅데이터’ 환경이 구성되고 인공지능을 학습할 수 있는 기반이 되었다. 이 같이 대량의 데이터를 분석하는 기존의 방법을 벗어나 데이터를 선별적으로 추출하거나 연산과정에서 데이터의 패턴을 인식하는 고도화된 알고리즘을 통해 데이터를 잘 이해하고 특징과 패턴을 스스로 학습 할 수 있는 심층신경망을 활용하였다. 특히, 심층신경망은 실시간으로 구득되는 데이터를 정보 분석 및 의사결정이 가능한 동적인 알고리즘으로 다양한 응용서비스가 개발되고 있다.

이에 본 연구에서는 미래형 도시철도 시스템에 적용 가능한 기술 개발을 위한 기초 연구로써 객체인식 및 추적능력이 우수하고 실시간으로 정보 구득 및 분석이 가능한 LiDAR 센서를 이용하여 보행자 속성 추정 연구를 수행하였다. LiDAR 센서 기반의 심층신경망을 활용한 보행자 속성 추정을 위하여 자료수집 및 데이터셋 구축, 보행 궤적을 통한 보행자 특성 분석, 심층신경망을 통한 보행자 속성 추정의 3단계로 구분하여 분석을 수행하였다. LiDAR 센서를 이용하여, 개별 보행자 ID, 좌표(X, Y), 속도, 가속도, 각속도, 방향 등의 보행자 동선 관련 자료를 수집하였으며, 센서 외 영상 촬영 장비를 추가로 설치하여 보행자 속성 추출을 위한 보행자 영상 자료를 수집하였다. T-test를 통해, 개찰구 기준으로 접근, 개찰구 통과, 유출 등 통행 행태 및 보행 동선 특성 관계를 검토하고, 성별, 연령대에 따라 보행자 궤적 특성 간 유의한 차이를 보이는 변수를 추출하였다. T-test를 통해 유의미한 차이가 있는 것으로 도출된 변수를 입력변수로 선정하여, 심층신경망 지도학습(Supervised Learning) 기반의 보행자의 속성을 추정하였다.

본 연구의 다음 장에서는 보행자 검출 관련 국내·외 연구와 동선 분석의 중요성을 제시한 기존문헌을 고찰하였고, 3장에서는 연구 방법론을 제시하였으며, 4장에서는 2차원 LiDAR 센서를 활용한 개별 보행자의 추적 기술과 이를 활용한 보행자 동선 자료 수집 내용 및 보행자 동선 분석 시스템을 이용하여 구득된 자료를 기반으로 보행자 속성 추출 및 심층신경망을 활용한 보행자 속성 추정 결과를 제시하였고, 5장에서 분석 결과 및 시사점으로 결론을 맺는다.

기존문헌 고찰

본 연구에서는 보행자 추적 기술과 보행자 동선을 분석한 국내·외 연구와 보행자 동선 분석의 중요성을 시사한 기존 문헌을 고찰하였다. 센서 기반 객체 추적 기술의 발달로 인하여 보행자의 추적이 가능해졌고, 분석 자료를 통하여 보행자의 행태에 관한 연구들이 다양하게 진행되고 있다. Boltes and Seyfried(2012)는 스트레오 카메라를 활용하

여 영상 내에 보행자를 원형으로 마커하여 그 마커를 기준으로 보행자의 좌표를 추출하였으며, Paulo Vinicius(2013)는 영상카메라를 활용하여 Blob Detection을 통하여 광범위한 영상 내에서 보행자의 이동 경로를 추출하였다. 최근 영상자료를 머신러닝 학습 기법을 활용하여 보행자의 동선과 속성을 분석하는 연구들이 진행되고 있다. Convolution 신경망 학습을 통하여 Xue et al.(2016)은 RGBD 비디오 기반으로 보행자의 전신을 분류하여 다수의 보행자를 동시에 추적하였고, Kang et al.(2016)은 CCTV를 활용하여 보행자와 유사한 개체 등을 제외하기 위해 보행자의 전신과 머리영역을 동시에 찾은 객체에 대해 검출, 추적하고 Convolution 신경망 학습을 활용해 보행자의 성별까지 구분하였다. 이처럼 보행자를 추적하여 이동 경로를 추출하는 등 보행자의 동선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 영상자료 기반의 보행자 분석은 1차적으로 보행자 추적과 추출할 수 있는 성능에 초점이 맞춰진 것을 확인할 수 있었으며, 실제 보행자의 동선과 보행자의 속성에 대한 심층적인 분석 연구는 미비한 실정이다.

Downs et al.(2011) 인간이 공간을 인식하는데 있어서 물리적 거리 뿐만 아니라 심리적 거리도 중요함을 강조하였고, Yun et al.(2005) 물리적 거리와 깊이가 인간의 공간인식과 공간행태에 영향을 미친다는 것을 확인 하였으며, Kim et al.(2007) 도시철도 환승역사 내부에서 일반적 보행행태와 다른 경향을 확인하였다. 이처럼 공간의 변화에 따른 보행행태가 다르기 때문에 실제 보행자의 동선을 분석한다는 것은 매우 의미 있는 분석이며 복잡하고 어려운 일이다. Lee et al.(2015)은 도시철도 역사 내 동선 분리 시스템을 활용하여 동선의 변화에 따른 보행편의와 이동성을 증진시킬 수 있음을 확인하였고, You et al.(2016)에서는 입체 공간상의 다양한 조건을 고려하는 보행류 기반 도시철도 역사 평가 시뮬레이터를 활용하여 최적의 대피 시나리오를 통하여 대피시간을 약 60% 절감하는 효과를 보여주었으며, Jeong et al.(2017)는 동일 군집 내에서 유사성이 크게 떨어지는 배회 동선을 검출하여 배회 동선의 특징을 파악하였다.

이와 같이, 기존 연구는 영상 기반의 보행자 속성에 대한 연구에 치중되어 왔으며, 최근 보행행태와 보행동선에 대한 규명을 하고자 하는 연구도 있었지만, 보행행태, 보행동선, 보행자 속성이 동시에 고려된 연구는 전무하다. 본 연구에서는 영상이 아닌 LiDAR 센서를 활용하여, 분석 요소(변수)를 확대하였으며, 일반적인 정보 추출 및 분석(영상 → 인식 → 결과 도출)이 아닌 잠재 정보 추출과 분석(센서 추출 동선(궤적의 형상) → 인식 → 분류 → 속성 매칭 → 결과 확인)이라는 점에서 분석의 깊이와 심층신경망 적용 분야 도출 등 기존 연구를 내용 및 기술적 기여도를 높이 평가 할 수 있다.

이처럼 역사 내 보행 동선의 특징을 파악하여 다양한 효과와 서비스 제공할 수 있음을 확인하였으나, 일반 보행 환경보다 복잡하고 보행량이 많은 지하 역사 내부의 실제 물리적 공간에서 영상장치 기반 동선 분석 시스템은 설치 위치와 수집 범위의 제약이 많은 편이며, 더욱이 보행자간 상충과 혼잡 범위 내에서 객체 추적의 한계로 동선을 분석하는 방법과 수집 된 자료의 미시적 해석이 부족하다고 할 수 있다. 따라서 보행자의 이동에 관여하는 인지적 물리 환경 내에서 보행 동선을 파악하기 위해서는 설치가 용이하고 수집 범위의 제약이 적으며 보행자간 상충과 혼잡 범위 내에서도 객체 추적 할 수 있는 장비가 요구된다. 또한, 물리적 환경에 맞는 역사의 운영 및 관리를 위해서는 보행류 흐름의 분석과 이용자 즉, 보행자의 성별과 연령대와 같은 보행자 속성까지도 파악하는 것이 요구된다.

연구방법론

본 연구에서는 LiDAR 센서 기반의 보행 동선 자료를 활용한 보행자 속성 추정 방법론 개발을 위하여 Figure 1과 같이 (1) 분석 데이터셋 구축, (2) 역사 내 보행 동선 특징정보 분석, (3) 보행자 속성 추정의 3단계로 구분하여 연구를 수행하였다.

Figure 1. Framework of study

분석 데이터셋 구축 단계에서는 LiDAR 센서와 영상 장비를 이용하여 삼성역에 대한 보행자 통행과 관련된 자료, 보행자 속성 자료를 수집하였다. LiDAR 센서를 통해 개별 보행자에 대한 동선 자료를 수집하였으며, 영상 촬영 장비를 동시에 설치하여 보행자 영상 자료를 수집하여 보행자 속성 도출에 활용하였다. 보행자 동선 자료와 보행자 속성 자료는 각기 다른 장비로부터 수집되는 자료이므로, 이종의 장비간에 수집된 두 자료를 매칭하여 분석을 위한 데이터셋을 구축하였다.

역사 내 보행 동선 특징정보 분석 단계에서는 구축된 데이터셋을 이용하여 본 연구에서 설정한 보행자 속성인 성별, 연령에 따른 동선 특성을 분석하고자 하였다. 보행 동선을 통해 추출할 수 있는 속도, 가속도, 방향 등을 통해 개별 보행자에 대한 평균 속도, 보폭, 속도 표준편차, 방향각 표준편차 등의 다양한 특징정보를 도출하였으며, T-test를 통해 추출한 특징정보가 성별, 연령에 따라 유의한 차이를 보이는지 검증하였다.

보행자 속성 추정 단계에서는, 특징정보 분석 단계에서 성별, 연령대별로 유의한 차이가 있는 것으로 도출된 특징정보들을 입력변수로 설정하고, 심층신경망(Deep Neural Network, DNN) 방법론을 이용하여 보행자 속성을 추정하고자 하였다. 보행자 속성은 성별, 연령대로 구분하여 분석에 활용하였으며, 성별은 남성과 여성을 추정하고, 연령은 30대 이하, 50대 이상으로 구분하여 추정하도록 설정하였다.

분석 및 결과

1. 자료수집

1) 동선분석 시스템 개요

본 연구에서는 영상장치 기반의 객체 추적 기술 한계를 극복하기 위해 객체인식 및 추적능력이 우수하고, 실시간으로 정보 구득 및 분석이 가능한 2D LiDAR 센서를 활용하였다. LiDAR 센서는 최근 차량용 첨단 운전자 지원 시

스텝(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)과 자율주행 자동차의 핵심 기술에 활용되는 등, 객체를 정밀하게 추적하고 데이터 처리과정이 빠르다는 장점이 있다. 본 연구에서 활용한 2D LiDAR 센서는 5Hz의 스캔 주파수로, 사각지대 최소화를 위한 190–270°의 계측범위, 구조물의 물리적 배치에 적절한 8–50m 계측이 가능하며, 검지 영역 내 다중 LiDAR 센서를 중첩시켜 추적중인 객체의 정보를 지속적으로 유지할 수 있도록 개발되었다.

본 연구에서는 LG히다찌에서 제공하고 있는 동선분석 솔루션을 이용하여 자료를 수집하였으며, 동선분석 솔루션이란 레이저 센서를 통해 사람 또는 물건을 고정밀·실시간으로 탐지하여 가시화하는 기술이다. 동선분석 솔루션은 펄스 레이저를 통해 2차원 평면을 초당 15회의 속도로 스캔하고, 레이저 센서로부터 각 개체에 대한 레이저 광선이 조사되어 위치 및 거리를 계측한다. 이동 전·후의 위치를 실시간으로 검출하여 이동방향, 이동량을 검출하여 200ms마다 보행자의 궤적 정보를 추출하고, 추적하는 원리로 구동되는 시스템이다. Figure 2에 동선분석 시스템의 개념도를 제시하였으며, 객체 추적 결과를 통해 보행자의 동선정보(위치, 속도, 가속도 등) 및 Heat map, 통행량 표시 등의 시각화 솔루션으로 제공한다.

Figure 2. Concept of pedestrian trajectory analysis system

2) 보행자 자료수집 및 데이터셋 구축

본 연구에서는 최근 영동대로 지하공간 복합개발사업 기본계획안을 발표한 뒤 도시철도 2개 노선(2, 9호선)을 비롯하여 광역급행철도(GTX-A, C)와 고속철도(KTX 동북부 연장), 위례-신사선, 삼성-동탄 광역급행철도 등 6개 철도노선이 신설될 예정인 삼성역을 보행 동선 조사 장소로 선정하였다. 개찰구를 통과한 후, 복합환승센터와 연계 예정인 COEX 방면으로 이동하는 보행자의 행태를 분석하기 위하여 현장 조사를 실시하였으며, 삼성역 3, 4, 5, 6번의 출구 방향 고객 대합실이 적정한 위치임을 확인하였다. 개찰구 및 물리적 공간내에서 적정한 계측 거리를 파악하고자 삼성역 CAD 도면을 활용하여 LiDAR 센서 설치 위치와 동선 분석 영역을 검토하였으며, Figure 3과 같이 LiDAR 센서 5대를 설치하여 보행동선 자료를 수집하였다. 또한 보행자 속성 자료를 추출하기 위한 영상 촬영 장비를 대합실 천장에 설치하여 영상 정보를 취득하였다.

Figure 3. Study area for the data collection

본 조사는 LiDAR 센서 기반의 동선 분석 시스템 및 비디오 카메라를 이용하여 오전 7시-오후10시까지 삼성역을 이용하는 보행자에 대한 동선 및 이동행태 자료를 수집하였으며, 본 연구에서는 자료수집 기간 중 오전 첨두시간인 7-9시 자료를 이용하여 분석에 활용하였다. 동선 분석 시스템을 이용하여 Figure 4와 같이 Raw Data (개별 보행자 ID, 좌표 X, Y, 속도, 가속도, 각속도, 방향 등)를 수집하였으며, 수집된 개별 보행 궤적 자료를 영상자료와 매칭하여 분석을 위한 데이터셋을 구축하였다.

unixtime	id	x	y	z	velocity	direction	acc	ang_vel	caterogy	grid_id
1499810753.99	705531048592	28880	3740	0	1.33	96.58	9999.99	80.59	0	28_3
1499810754.05	705531048592	28860	3830	0	1.32	99.53	9999.99	127.27	2	28_3
1499810754.12	705531048592	28860	3910	0	1.31	94.95	9999.99	92.6	2	28_3
1499810754.19	705531048592	28850	4000	0	1.31	95.77	9999.99	77.75	2	28_4

Figure 4. Example of pedestrian trajectory data

앞서 수집된 자료를 활용하여 보행자의 보행행태를 분석하고 동선 변화와 특징에 따른 보행자의 속성을 정의하기 위하여 보행 동선 시스템을 통해 수집된 보행 동선과 비디오 영상 자료로부터 수집한 보행자 속성 정보를 매칭하였다. Figure 5(a)와 같이 LiDAR 센서 범위 내에서 이동하는 보행자에게 개인별 고유 ID를 부여하고 이동 방향을 표시하여 보행자의 이동경로 전체를 확인할 수 있는 동선 분석 솔루션과 영상자료를 결합하여 개인별 보행자의 속성을 포함한 보행자 동선 특성 및 속성 정보 데이터 셋을 구축하였다.

(a) Pedestrian trajectory

(b) Video image

Figure 5. Data matching of pedestrian trajectory and video image

보행자 속성은 비디오 영상 자료를 통해 성별(남성, 여성), 연령(10-70대), 휴대폰 사용유무를 육안으로 구분하였으며, 센서 자료의 오류로 인해 완전하지 않은 보행 동선을 제외한 보행자를 대상으로 동선 분석 솔루션의 계측 시간과 영상자료의 촬영 시간을 일치시켜 게이트 번호별로 통과된 보행자에 대하여 보행자의 속성 정보를 추출하였다. 또한, 요금 징수를 위해 설치된 개찰구에 의한 물리적 공간 변화는 보행자의 이동저항성을 증가시켜 보행자의 속도를 저하하거나 상충 및 병목현상을 야기하므로, 본 연구에서는 개찰구를 중심으로 접근(approach)통행, 개찰구(AFC) 통과통행, 유출(outflow)통행으로 세분화하여 데이터셋을 구축하여 개찰구 부근에서 변화하는 보행자의 통행 특성을 확인하고자 하였다.

보행 궤적 자료와 영상자료가 매칭된 데이터셋을 통해 보행자 속성 및 역사의 상태를 나타낼 수 있을 것으로 판단되는 변수를 추출하여 분석을 위한 최종 데이터셋을 구축하였다. LiDAR 센서에서 수집되는 보행 동선 자료는 보행자 좌표, 속도, 가속도, 각속도 등으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 해당 자료로부터 추출이 가능한 역사 내 보행

자 체류시간, 평균 보행 보폭, 보행 속도 평균 및 표준편차, 보행 가속도의 표준편차, 방향의 표준편차 정보를 추출하였다. 본 연구에서 사용한 LiDAR 센서는 200ms 주기로 위치정보를 확인할 수 있으며, 200ms 주기로 수집된 보행자 위치 정보를 이용하여 이전 시간의 좌표에서 이동한 직선거리를 보행 폭으로 정의하는 등 변수를 추출하여 분석에 활용하였다. Table 1에 동선 자료와 영상자료를 통해 구축한 분석 데이터 셋을 제시하였으며, LiDAR 센서 자료의 경우 접근(approach)통행, 개찰구(AFC) 통과통행, 유출(outflow)통행으로 세분화하여 분석에 활용하였다.

Table 1. Data description

Data source	Variable	Description
LiDAR sensor data	ID	Trajectory ID
	Num.point	The number of trajectory recording points in the station
	Duration	Total duration time of pedestrian
	Tot_dist	Total moving distance in the station
	Avg.stride	Average stride of pedestrian
	Avg.speed	Average walking speed of pedestrian
	Std.speed	Standard deviation of walking speed
	Std.acc	Standard deviation of acceleration
	Std.direction	Standard deviation of direction angle
Video data	Gender	0: male / 1: female
	Age	0: 10-30s / 1: 50-70s

2. 역사 내 보행자 특성 분석

본 연구에서는 첨두시간대의 보행행태에 대한 보행자의 다양한 특성 확인하고자 오전 첨두시간대(7-9시)의 완전한 보행동선 궤적을 가진 보행자 총 1,381명의 자료를 구축하였으며, 영상 정보와 라이다 센서 정보를 매칭하여 성별 및 연령을 라벨링하여 보행자 속성을 도출하였다. 성별의 경우 육안으로 명확히 구분이 가능하여 1,381명의 자료를 모두 매칭하였으며, 연령의 경우 개인의 주관적인 의견이 반영되기 때문에 비교적 명확한 연령대로 구분하기 위해 중간 연령대인 40대를 제외한 청년(10-30대), 장년(50-70대)으로 구분하여 1,043명의 자료를 이용하여 분석에 활용하였다. 기초분석에서는 T-test를 통해 본 연구에서 추정하고자 하는 보행자 성별, 보행자 연령에 따른 각 변수들 간의 차이를 확인하고, 개찰구를 기준으로 보행자 위치에 따른 보행자의 행태도 함께 분석하여 보행자 추정을 위한 입력변수로 활용 할 수 있는 변수를 도출하고자 하였다.

Table 2-3에 성별 및 연령에 따라 신뢰수준을 90%에 대한 유의한 차이를 보이는 변수들에 대한 T-test 결과를 제시하였으며, 그래프를 통해 각 변수들에 대한 차이를 확인하고자 하였다. 분석결과에 따르면 성별의 경우(Table 2 참조), 평균 보폭과 평균 속도가 전체적으로 차이가 있는 것으로 나타났으며, 남성이 여성보다 보폭이 크고 빠른 속도로 이동하는 것을 확인하였다. 또한, 개찰구를 통과할 때 남성이 여성보다 빠르게 지나가는 것으로 나타났다. 성별의 경우 속도와 가속도의 표준편차, 즉 역사를 이동하는 보행자들의 안정성에는 크게 영향을 미치지 않고, 여성과 남성에 대한 신체적 차이에 의한 특성이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인하였다. Table 3에서 제시한 연령대에 따른 T-test 결과에 따르면, 장년층이 청년층에 비해 개찰구로의 접근 시간이 더 오래 걸리며, 평균 보폭과 평균 속도가 더 작게 나타나 이동성이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 방향에 대한 표준편차는 청년층이 중장년층보다 높게 나타나 이동에 대한 편차가 다양한 것으로 나타나, 장년층에 비해 더 변동성이 큰 이동 패턴을 보임을 간접적으로 확인하였다.

본 연구에서는 T-test를 통해 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타난 변수를 활용하여 성별의 경우 보행 궤적 수, 평균 보폭, 평균 속도 등의 8개 변수, 연령의 경우 보행궤적 수, 평균 보폭, 방향의 표준편차 등의 6개 변수를 심층신경망의 입력변수로 활용하였다.

Table 2. T-test results by gender

Variable	T	Degree of freedom	P-value	Difference in mean	Standard error	95% confidence interval	
						Lower	Upper
Num.point_AFC	-2.19	523	0.0290	-0.5880	0.2686	-1.1156	-0.0603
Duration_AFC	-1.81	659	0.0713	-0.3598	0.1992	-0.7509	0.0313
Avg.stride_A	2.03	1379	0.0427	4.9959	2.4629	0.1644	9.8273
Avg.stride_AFC	2.26	1379	0.0241	11.3773	5.0376	1.4952	21.2595
Avg.stride_O	4.16	1379	0.0000	9.0091	2.1664	4.7593	13.2588
Avg.speed_A	1.86	1379	0.0628	0.0226	0.0121	-0.0012	0.0464
Avg.speed_AFC	3.61	922	0.0003	0.0311	0.0086	0.0142	0.0480
Avg.speed_O	4.91	1379	0.0000	0.0482	0.0098	0.0289	0.0674

A: Approaching AFC, AFC: Passing AFC, O: Outflow

Table 3. T-test results by age group

Variable	T	Degree of freedom	P-value	Difference in mean	Standard error	95% confidence interval	
						Lower	Upper
Num.point_A	-1.71	1379	0.0879	-2.1466	1.2572	-4.6128	0.3195
Duration_A	-1.77	1379	0.0772	-0.5010	0.2832	-1.0566	0.0547
Avg.stride_AFC	1.90	1062	0.0581	7.8282	4.1270	-0.2699	15.9262
Avg.speed_AFC	2.29	1379	0.0224	0.0217	0.0095	0.0031	0.0403
Std.dir_AFC	2.23	614	0.0263	7.2207	3.2427	0.8527	13.5888
Std.dir_O	2.29	592	0.0223	2.6252	1.1456	0.3752	4.8752

A: Approaching AFC, AFC: Passing AFC, O: Outflow

3. 심층신경망을 활용한 보행자 속성 추정

기초분석 및 T-test를 통하여 통계적으로 유의한 차이가 있는 보행자의 통행 특성과 동선 자료를 기초로 보행자의 속성을 추정하고자 심층신경망 지도학습(Supervised Learning)을 활용하였다. 본 연구에서는 제한적인 지면에서 심층신경망의 이론과 수식의 전개과정 등 기술적인 설명을 모두 서술하기에는 한계가 존재하여 심층신경망의 이론적인 고찰은 기존문헌으로 대체하고자 생략하였으며, 보행자 속성을 추정하기 위한 과정 위주로 설명하였다. 보행자

속성을 추정하기 위한 과정은 Figure 6과 같이 인간의 뇌와 유사한 방식으로 구성되어 두 층 이상의 은닉층(Hidden layer)으로 갖춰진 심층신경망을 구축하는 과정과 설계된 심층신경망을 지도 학습하고 검증 과정을 거쳐 최종 추정 모델링을 구축하였다.

Figure 6. Structure of deep neural network

지도학습을 위하여 Input data에 입력되는 Data Set은 학습 데이터(Training Data)와 검증 데이터(Validation Data), 테스트 데이터(Test Data)를 각각 70%, 15%, 15%의 비율로 분리하였다. 학습 데이터와 검증 데이터는 네트워크 구축에 활용되는 데이터셋으로, 학습과정에서 학습 데이터를 통해 구축된 네트워크는 검증 데이터를 통해 평가되고, 주어진 알고리즘에 따라 반복횟수 및 종료조건에 부합하게 되면 최종 네트워크를 구축한다. 이는 학습 데이터로만 네트워크를 구축하게 되면 데이터에 대한 이식성 및 적용성이 떨어지는 모델이 구축될 수 있기 때문에, 이러한 현상을 방지하기 위해 학습 데이터와 검증 데이터를 구분하여 활용하게 된다. 최종 구축된 네트워크는 테스트 데이터를 적용하여 분류정확도(Correct Classification Rate, CCR)를 산출하고, 분류정확도 결과에 따라 모델을 평가한다.

본 연구에서는 행렬(Matrix)기반인 Data Set를 다차원 ndarray를 사용하여 수치 연산에 특화된 파이썬 라이브러리인 Numpy함수를 불러 구축된 심층신경망에서 연산을 수행하였다. 심층신경망은 1차적으로 순전파(Feed-forward) 연산을 수행 후 결과의 추정값(Estimation Value)과 검증용 데이터를 비교 분석하여 결과의 Loss를 확인하고 오류를 역전파(Backpropagation) 형태로 다시 전달하여 은닉층의 가중치를 변화시키고 오차를 최소화하는 방향으로 구성되어 있다. 변수의 연결 관계를 구축된 심층신경망으로 반복 학습하여 데이터의 특징과 관계를 스스로 파악하고 보행자 속성을 추정할 결과를 확률 값으로 해석하기 위하여 Sigmoid function과 Softmax function을 사용하여 보행자 속성 추정 모델의 성능을 확인하였다. 또한, 레이어의 개수와 노드수의 변화에 따른 최적의 정확도를 찾기 위하여 Hyper-Parameter 정산 과정을 수행 하였으며, 수행 결과는 Table 4와 같은 구조에서 최적의 정확도를 보여주었다. 앞서 제시된 분석결과에 따라, 보행자 성별과 연령대 속성이 보행 동선의 특성과 상관관계가 있음이 규명되어, 본 연구에서는 이를 바탕으로 2개의 추정 모델을 구축하였다.

Table 4. Composition of DNN according to gender and age

Composition of DNN	Gender	Age
Number of layers	5	3
Layers 1 - node	88	81
Layers 2 - node	21	33
Layers 3 - node	11	41
Layers 4 - node	73	-
Layers 5 - node	13	-

보행자의 성별을 추정하기 위하여 T-test를 통해 유의한 차이를 보인 보행 데이터 궤적 수, 역사 내 점유 시간, 평균 보폭, 평균 속도에 대한 8개의 변수를 입력변수로 활용하였다. 앞서 구축한 총 1,381명(남성: 892명, 여성: 489명)의 데이터의 불균형으로 인한 남성 중심의 신경망 학습 현상을 방지하기 위해 Under Sampling 기법을 활용하여 남성 데이터와 여성 데이터의 비율을 조절하였으며, 최종적으로 978명의 데이터셋을 학습 데이터, 검증 데이터, 테스트 데이터로 분류하여 분석에 활용하였다. 제한된 데이터 내에서 분석 결과를 도출하기 위하여 Cross validation 기법을 활용하여 1000번의 반복 수행을 통해 결과를 도출하였으며, 보행자 성별 추정 결과는 Table 5에 제시한 바와 같이 64.6%의 분류정확도를 나타내는 것을 확인하였다.

Table 5. Result of correct classification rate

		Gender	
Observed \ Classified		Male	Female
Male		61	35
Female		17	34
CCR (Correct Classification Rate, %)		64.6	

		Age	
Observed \ Classified		10-30s	50-70s
10-30s		34	10
50-70s		17	35
CCR (Correct Classification Rate, %)		71.9	

보행자의 연령 또한 T-test를 통해 연령대별로 유의한 차이를 보이는 6개의 변수인 보행 데이터 궤적 수, 평균 보폭, 평균 속도, 방향 표준편차 등을 입력변수로 활용하였다. 마찬가지로 앞서 구축한 총 1,043명(청년: 722명, 중장년: 321명)의 데이터에서 청년에 대한 Under Sampling을 통해 최종적으로 642명의 데이터셋을 학습 데이터, 검증 데이터, 테스트 데이터로 분류하여 분석을 수행하였다. 분석 결과 Table 5와 같이 분류정확도가 71.9%로 도출되어 성별에 비해 높은 분류정확도를 보이는 것을 확인하였다.

본 연구에서 활용한 데이터는 오전 침두시간대의 자료를 활용하였으며, 이는 일정한 시격으로 운행되는 도시철도 특성상 승하차 인원이 집중적으로 몰리는 침두시간대에는 보행자들이 군집 이동하는 현상이 발생하기 때문에 보행 동선 특성에 대한 편차가 다소 낮게 나타났다. 그러나 T-test 분석 결과에 따라 보행자의 속성에 대한 특성이 성별 및 연령에 따라 차이가 있는 것을 확인하였으며, 심층신경망 분석을 통해 보행자 속성을 추정할 수 있었다. 오전 침두시간에 도시철도 역사를 이용하는 보행자의 특성은 성별 보다는 연령대에 따라 더 뚜렷하게 나타나며, 이는 성별이 지니고 있는 이동성에 대한 특성 차이보다는 연령대가 지니고 있는 보행 안정성에 대한 차이가 오전 침두시간에는 영향력이 더 큰 것으로 판단된다. 기존 영상인식, 객체추정 등을 통한 연령 및 성별을 분류한 연구를 살펴보면 (Jatap and Kokare, 2016; Hossein and Saeed, 2017; Alfonso et al., 2018), 성별은 약 85-98%, 연령은 약 74-94%의 분류 정확도를 보이는 것으로 나타났으나, 기존 연구는 사람(객체)에 대한 안면 인식 등을 이용한 연구 결과이다. 본 연구의 결과는 복합적인 상황 및 공간에서의 보행자 감지 및 속성 추정 방법론을 제시함으로써 영상인식에 비해 다소 낮은 분류정확도를 보이지만 본 연구에서 제시한 보행 동선 특성을 이용한 보행자 속성 추정 방법론은 영상인식 기능과 함께 결합하여 역사 내 보행자 감지 및 인식에 활용 될 수 있는 가능성을 확인하였다.

결론

본 연구에서는 최근 도시공간의 효율적인 이용과 개발을 위하여 도심도 복합 지하공간 개발에 따른 역사의 규모와 특성에 적합한 안전관리 체계와 운영 시나리오가 필요하다는 판단 하에 기존 지능형 CCTV의 한계를 보완하거나

대안으로써 LiDAR 센서를 제시하였으며, LiDAR 센서를 활용하여 보행자 속성 추정 방법론을 제안하였다. LiDAR를 활용한 보행자 추정 방법론은 자료수집 및 데이터셋 구축, 보행 궤적을 통한 보행자 특성분석, 심층신경망을 활용한 보행자 속성 추정의 단계로 제시하였다.

자료수집 및 데이터셋 구축에서는 보행자의 성별과 연령대를 확인하기 위하여 영상 촬영을 실시하였으며, 오전 첨두시간대를 대상으로 최종적으로 보행자 속성을 포함한 1,381명의 분석 자료를 구축하였다. 또한, 성별과 연령대의 세부적인 특성을 추출하기 위하여 개찰구 부근의 통행 행태를 접근, 개찰구 통과, 유출의 세 가지로 나누어 기초 분석 및 T-test를 수행하였다. 분석결과, 보행 궤적에서 추출된 보행자 이동 정보를 통해 성별, 연령대별로 유의미한 차이를 보이는 특성을 지닌 변수들을 추출하였으며, 성별의 경우 남성과 여성에 대한 신체적 차이로 인해 발생하는 보폭, 속도 등이, 연령의 경우 보폭, 속도 외에 이동의 다양성을 나타내는 방향 표준편차 등이 유의미한 차이를 보이는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 기초분석 및 T-test를 통해 보행자 속성 별로 유의한 차이를 보이는 변수를 도출하여 심층신경망의 지도학습 기반 보행자 속성 추정을 위한 입력변수로 활용하였으며, 성별, 연령대에 대한 보행자 속성을 추정하였다. 보행자 추정은 기 구축한 데이터셋을 학습(Training), 검증(Validation), 테스트(Test) 데이터로 70:15:15 비율로 분리하여 분석을 수행하였다. 보행자의 성별 추정 모델은 8개의 입력변수를 활용하여 분류 정확도 64.6%의 결과를 도출하였으며, 연령대 추정 모델은 6개의 입력변수를 활용하여 분류 정확도 71.9%의 결과를 도출하였다.

기존 영상인식에 의한 연령 및 성별 분류 연구 결과와 비교했을 때, 상대적으로 분류정확도는 낮은 수준으로 나타났으나, 기존 연구는 사람에 대한 정확한 안면 인식 등을 이용한 연구 결과로, 본 연구에서 제시한 LiDAR 기반의 보행자 속성 추정 방법론은 복합적인 상황 및 공간에서 보행자의 속성을 추정할 수 있는 방안으로 영상인식과 더불어 보다 신뢰성 있는 도시철도 내 보행자 상황 모니터링이 가능한 시스템으로 발전할 수 있는 가능성을 제시하였다. 다만, 본 연구에서 제안한 방법론의 신뢰성 및 활용가능성을 증가시키기 위해서는 다음과 같은 추가 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서는 한정된 범위 내에서 승·하차 인원이 집중되는 첨두시간대의 자료만으로 보행자의 속성을 추정하여 보행자 이동 특성을 완전히 반영하지 못했다. 따라서 비첨두 시간대에 대한 추가적인 자료 수집 및 구축을 통해 보다 정확하고 세부적인 속성 추정을 위한 추가 연구가 필요하다. 둘째, 보행자 궤적 정보와 속성 정보를 매칭 하는데 있어, 분석가가 육안으로 영상을 판독함으로써 분석가의 주관적인 의견이 포함되어 데이터의 신뢰성이 일부 저하되었다. 신뢰성 높은 보행자 속성 정보를 추출하기 위하여 딥러닝 기반 성별 분류 및 속성 검출 기법에 관한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 이를 통해 추후 지능형 CCTV 등을 통한 자동화 기술과 접목하여 일관적이고 신뢰성 있는 자료 수집이 가능할 것이다. 셋째, 본 연구에서는 성별, 연령으로 보행자 속성을 구분하여 심층신경망을 적용하였으나 보다 복잡한 문제 해결을 위해 기존의 분류 방법과 비교하여 분류 성능을 비교하고, 보행자의 속성을 다양화하여 복합적인 속성을 발굴할 필요가 있다. 마지막으로 물리적 구조물(개찰구, 교통약자 이동시설)이 보행자에게 미치는 영향과 같은 후속 연구를 수행함으로써 도시철도 역사 평가, 모니터링 등의 서비스 제공방안에 대한 타 분야 접목 및 확장성에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 제시된 보행자 속성 추정 방법론은 역사의 규모와 특성이 반영된 물리적 공간 내에서 상황 및 보행흐름에 대한 기초자료로 활용이 가능할 것이라고 판단되며, 혼잡관리 및 보행류 흐름을 개선하는 등 맞춤형 역사관리 서비스를 이용자에게 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 주변 상권과 보행자 속성별 유출경로를 분석하여 상권 변화에 따른 역사 이용객 정보 예측 및 ICT 기술과 접목하여 이용자 맞춤형 서비스 제공 등 다양한 활용처가 있을 것으로 예상된다.

Funding

This research was supported by a grant from the R&D Program of the Korea Railroad Research Institute, Republic of Korea.

알림

본 논문은 대한교통학회 제77회 학술발표회(2017.9.28)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

KIM, Taejin <http://orcid.org/0000-0002-7370-4274>

JEONG, Eunbi <http://orcid.org/0000-0003-0007-8492>

YOU, Soyoung Iris <http://orcid.org/0000-0003-3631-4768>

References

- Alfonso G. B., Gabriel V., Juan F. D. P., Juan M. C. (2018), A Multi-agent System for the Classification of Gender and Age from Images, Computer Vision and Image Understanding, In press, Available online 6, <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2018.01.012>
- Boltes M., Seyfried A. (2013), Collecting Pedestrian Trajectories, Neurocomputing, 16, 127-133.
- Borges P. (2013), Pedestrian Detection Based on Blob Motion Statistics, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 224-235.
- Downs R., Stea D. (2011), Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products, John Wiley & Sons Ltd, 312-317.
- Hossein M., Saeed M. (2017), Gender Dictionary Learning for Gender Classification, J. Vis. Commun. Image R. 42, 1-13.
- Jagtap J., Kokare M. (2016), Human age Classification Using Facial Skin Aging Features and Artificial Neural Network, Cognitive Systems Research, 40, 116-128.
- Jeong E., You S. (2017), An Algorithm of Identifying Roaming Pedestrians' Trajectories using LiDAR Sensor, Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 1-15.
- Jeong E., You S., Lee J., Kim K. (2017), A Comprehensive Framework for Estimating Pedestrian OD Matrix Using Spatial Information and Integrated Smart Card Data, J. Korean Soc. Transp., 35(5), Korean Society of Transportation, 409-422.
- Kang H., Park J., Song J., Yoon B. (2016), CCTV Based Gender Classification Using a Convolutional Neural Network, Journal of Korea Multimedia Society, 1943-1950.
- Kim Y., Kim C., Cho I., Kim A., Nam S. (2007), The Effect of Spatial Layout on Space Use Pattern in Subway Station, Conference of the Korean Society for Railway, 7-18.
- Lee J., Kim T., You S. (2015), Improvement of Pedestrian Convenience and Mobility by Applying the Walking Guidance System in Subway Stations, J. Korean Soc. Transp., 33(2), Korean Society of Transportation, 204-213.
- Lee J., Kim T., You S. (2015), The Implementation of Walking Guidance System in Subway Stations and its Effect on Decreasing Pedestrian Delay, The 72th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 216-219.
- Xue H., Liu Y., Cai D., He X. (2016), Tracking People in RGBD Videos Using Deep Learning and Motion Clues, 5, 70-76.
- You S., Jung R., Chung J. (2016), An Analysis on Evacuation Scenario at Metro-stations using Pedestrian Movement-based Simulation Model, Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 36-49.
- Yun Y., Kim Y., Park Y. (2005), The Effect of Metric Distance and Spatial Depth on Spatial Cognition, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 77-84.