

CNN 기반 공조 덕트 청소 로봇의 교차점 검출 알고리즘 개발

이사랑¹, 노은솔², 홍석무^{3*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 융합기계공학과, ³공주대학교 기계자동차공학부

Development of a CNN-based Cross Point Detection Algorithm for an Air Duct Cleaning Robot

Sarang Yi¹, Eunsol Noh², Seokmoo Hong^{3*}

¹Department of Mechanical Engineering, Kongju National University

²Department of Mechanical Convergence Engineering, Kongju National University

³Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 건물 내부 공기 순환을 위한 공조 덕트는 장기간 사용 시 오염물질이 내부에 쌓여 인력 또는 로봇이 투입되어 청소가 주기적으로 수행된다. 청소는 작업시간과 인건비 문제를 해결하기 위해 최근 원격 조정으로 로봇을 작동시키는 방법이 사용되고 있다. 하지만 완전 자동화가 아니라 인력 의존적이며 청소 시간 단축에도 한계가 있다. 본 연구는 공조 덕트 청소 로봇 자율 주행을 위해 교차점 검출 알고리즘 개발에 대한 것이다. 자율 주행은 청소 로봇에 장착된 카메라 영상에서 교차점 검출 알고리즘을 통해 추출된 점과 중심점 사이의 거리 및 각도를 계산하여 로봇을 제어하도록 구성된다. 교차점 검출을 위한 데이터는 3D CAD 프로그램을 이용한 공조 덕트 내부 이미지를 Python을 이용해 교차점 좌표 및 두 경계선 각도를 추출하여 생성했다. 검출 알고리즘은 딥러닝 중 CNN 모델이 학습에 사용됐으며 학습 모델은 입력 이미지에서 교차점 정보를 추출하며 학습 모델 정확도는 면적과 거리를 이용해 판단했다. 알고리즘 검증에 위해 청소 로봇을 제작했으며 로봇은 몸체, Raspberry Pi, 카메라 및 초음파 센서를 포함한 제어부, 모터와 바퀴를 포함한 구동부로 구성된다. 알고리즘을 탑재한 로봇 청소기 주행 영상을 통해 알고리즘을 검증했다. 향후 공조 덕트뿐만 아니라 에스컬레이터 등 다양한 환경에서 적용 가능할 것으로 기대된다.

Abstract Air ducts installed for ventilation inside buildings accumulate contaminants during their service life. Robots are installed to clean the air duct at low cost, but they are still not fully automated and depend on manpower. In this study, an intersection detection algorithm for autonomous driving was applied to an air duct cleaning robot. Autonomous driving of the robot was achieved by calculating the distance and angle between the extracted point and the center point through the intersection detection algorithm from the camera image mounted on the robot. The training data consisted of CAD images of the duct interior as well as the cross-point coordinates and angles between the two boundary lines. The deep learning-based CNN model was applied as a detection algorithm. For training, the cross-point coordinates were obtained from CAD images. The accuracy was determined based on the differences in the actual and predicted areas and distances. A cleaning robot prototype was designed, consisting of a frame, a Raspberry Pi computer, a control unit and a drive unit. The algorithm was validated by video imagery of the robot in operation. The algorithm can be applied to vehicles operating in similar environments.

Keywords : Air Duct, Autonomous, Convolutional Neural Networks, Duct Cleaning, Deep Learning

*Corresponding Author : Seokmoo Hong(Kongju National Univ.)

email: smhong@kongju.ac.kr

Received May 20, 2020

Revised July 1, 2020

Accepted August 7, 2020

Published August 31, 2020

1. 서론

블특정 다수의 사람들이 이용하는 다중 이용 시설은 실내 온도와 공기질을 쾌적하게 유지하기 위해 덕트와 공기 조화기 등으로 구성된 시스템이 사용된다. 다중 이용 시설의 실내 공기질을 양호하게 유지하기 위해 중앙 각 부처는 환기 설비 설계, 설치 및 유지관리에 관련된 기준을 제시하고 있다. 공기 유지관리 및 청정을 위한 환기 및 급기는 주로 덕트와 공기조화기 등을 통해 이루어진다. 일반적으로 공조용 덕트는 건물 천장에 설치되고 그 형태와 치수는 다양하다. 공조 덕트는 Fig. 1과 같이 외부 공기 및 재순환 공기 중에 함유된 부유분진들이 덕트 내부에 부착, 침강, 응집되어 실내공기 오염원으로 작용한다. 이같이 덕트 내 축적된 오염물질은 실내 공기오염의 주범이 되며 이로 인해 호흡기 질환 발생 위험이 있을 뿐만 아니라 화재의 원인이 된다[1]. 이에 오염 물질 제거를 위해 덕트 청소를 주기적으로 해야 한다.

덕트 청소 방법은 건식 및 습식 방법으로 나뉜다. 건식 방법으로는 접촉식 진공법, 압축공기 이용, 기계적 브러싱으로 분류된다. 각 방법에 따른 분진 제거율은 압축공기 이용법 및 기계적 브러싱은 제거효율이 50-90 %이지만, 접촉식 진공법은 이에 비해 효율이 낮은 것으로 알려져 있다[2]. 습식 방법은 수동 워싱, 워터젯 분사, 화학제 이용 등으로 분류된다.

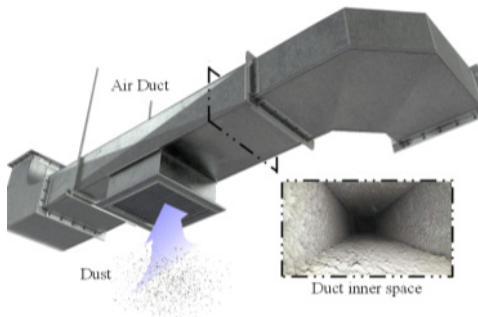


Fig. 1. Square air duct and dust inside the duct

이와 같은 방법으로 덕트 내부는 인력과 로봇이 투입되어 청소된다. 덕트 청소에 투입된 청소 로봇에 대한 연구는 청소 효율 개선을 위한 기계적 브러시 덕트 청소 로봇 설계[3], 오염 분석을 통한 효과적인 청소 시스템 개발 [4], 다자유도를 갖는 로봇 암 시스템 설계 및 실시간 제어[5], 자율 주행 덕트 청소 로봇 위치 측정 및 제어[6] 등이 있다. 이와 같이 기존 연구들은 로봇 구동이나 GPS

기반 위치 측정을 통한 자율 주행 청소 로봇 개발에 초점을 맞추고 있다. 그러나 덕트 재질, 내부 오염물질 등으로 인해 위치 측정의 정확도가 떨어진다. 또한 완전 자동화가 아니라 인력 의존적이며 청소 시간 단축에도 한계가 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 비전과 딥러닝을 적용해 자율 주행을 위한 교차점 검출 알고리즘을 개발하고 청소 로봇에 적용시켜 교차점에 따라 로봇 주행을 제어하고자 한다. 교차점 검출 데이터는 공조 덕트 3D 모델링을 통해 다양한 환경의 덕트 내부 이미지 데이터베이스를 생성한다. 덕트 내부 벽과 바닥 경계선을 지정하고 이들 경계선의 교차점이 딥러닝을 통해 추출된다. 알고리즘 검증 을 위해 제작한 청소 로봇은 몸체, 제어부 및 구동부로 구성되며 교차점 검출 알고리즘 검증을 위해 카메라를 설치했다. 덕트 청소 로봇의 설계 조건은 로봇 작동 시 공조 덕트 처짐을 방지하고 덕트 이음 등 장애물을 통과 해야 한다. 설계 조건을 고려하여 무한궤도 바퀴를 적용 하고 주행 가능한 장애물 최대 높이와 경사각을 분석한다. 공조 덕트의 파손 및 처짐 방지를 위해 로봇 청소기 차체에 경량화 설계를 적용한다. 제작한 덕트 주행 영상을 통해 알고리즘 성능을 검증한다.

2. 본론

2.1 교차점 검출 알고리즘 개발

교차점 검출 알고리즘은 Fig. 2와 같이 청소 로봇 카메라 영상에서 덕트 옆면과 바닥 사이 경계선(boundary)의 교차점(cross point)을 추출하고 그 점과 카메라 영상 중심(center line) 사이의 거리 및 각도(off-center angle)를 판단해 로봇을 제어하도록 구성된다. 교차점 검출을 위한 데이터는 덕트 내부 이미지, 교차점 좌표 및 두 경계선으로 이루어지며 딥러닝 기반 CNN(Convolutional Neural Networks) 모델로 학습된다. 딥러닝 학습 데이터는 무수히 많은 덕트 내부 이미지가 필요하나 실제 덕트 내부 이미지를 촬영하고 데이터베이스를 생성하기 위한 환경과 시간의 요건이 충분하지 않다. 이에 공간과 시간 제약을 줄인 데이터 생성 방법이 필요하다.

2.1.1 공조 덕트 형상 및 모델링

공조 덕트 내부 형상은 사각 형상으로 Fig. 3과 같다. 덕트 크기는 다양하지만, 일반적으로 가로 50-80 cm,

세로 30-50 cm로 구성된다[7]. 본 연구에서는 3D CAD 프로그램인 SIEMENS NX10.0을 사용해 덕트 형상을 모델링 했다. 덕트 형상은 Fig. 4 (a)와 같이 일자 형태인 I type, 굴곡부 형상이 45°, 60° 그리고 90°로 제작된 C type 및 굴곡부 형상이 S 형인 S type 총 5가지 형상으로 제작하고, 그 크기는 Fig. 4 (b)와 같이 가로, 세로 50, 30 cm이다. 3D 모델링은 실제 덕트 내부와 유사하도록 개체 디스플레이 편집과 투시 옵션을 적용했다. 모델링에서 제작한 덕트 내부 영상은 카메라 캡처 및 편집 옵션을 사용해 실제 덕트 내부 촬영 영상과 유사하도록 했다. 제작된 영상에 대해 프레임별 이미지로 저장했으며, 이때 총 이미지 개수는 885개, 이미지 크기는 224×224 픽셀이다.

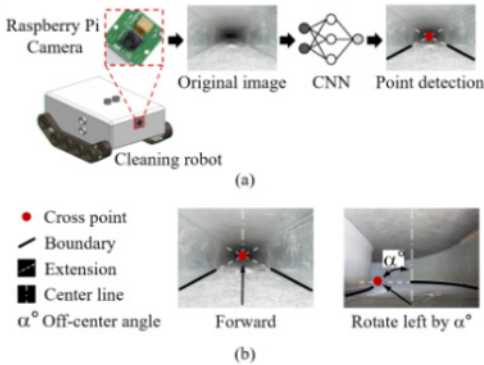


Fig. 2. (a) CNN algorithm for cross point detection from duct images (b) Determination of the direction of movement based on cross point algorithm

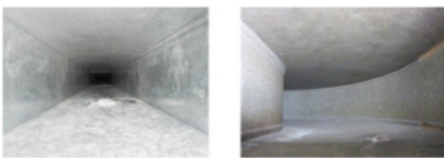


Fig. 3. Possible views from inside the air duct

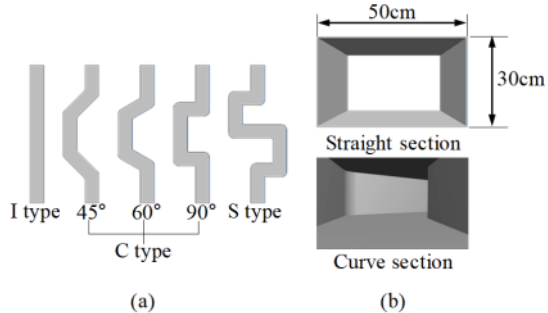


Fig. 4. (a) Possible square duct shapes (b) Inside the air duct (3D CAD model)

2.1.2 CNN 기반 교차점 검출 모델

교차점은 덕트 내부에서 옆면과 바닥의 경계선들이 만나는 점을 의미한다. 청소 로봇의 자율 주행은 교차점 추출을 통해 청소 로봇의 방향을 제어하므로 교차점 추출 딥러닝 학습 모델이 필요하다. 교차점 추출을 위한 딥러닝 학습 모델 이미지 데이터는 2.1.1절에서 서술한 바와 같이 생성했다. 데이터는 이미지뿐만 아니라 교차점 정보가 필요하다. 교차점 정보는 덕트 내부 경계선 상의 임의의 두 점을 지정한다. 두 점을 이용해 경계선의 직선을 구하고 이를 다른 경계선에서 동일하게 수행한다. 앞서 얻어진 두 직선이 만나는 점인 교차점 (x, y) 을 찾고 그 점을 지나는 x 축(cross point x line)과 두 직선 사이 각 (θ_1, θ_2) 를 계산한다. 이 방법으로 Fig. 5와 같이 교차점 정보는 교차점 (x, y) 과 두 직선이 x 축과 이루는 각 (θ_1, θ_2) 으로 이루어진다.

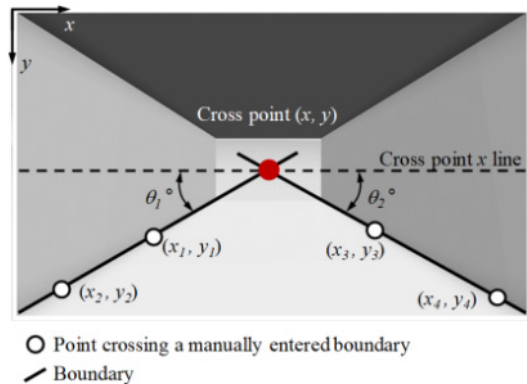


Fig. 5. Virtual wall images and variables generated by 3D CAD used for cross point machine learning

이미지와 교차점 정보로 구성된 데이터베이스는 총 885개이며 딥러닝 학습을 위해 학습 데이터는 총 데이터의 80%, 테스트 데이터는 20%로 나누었다. 딥러닝 모델은 CNN 기반으로 학습된다.

CNN은 하나 또는 여러 개의 convolutional 레이어와 일반적인 인공 신경망 레이어들로 이루어진 구조를 가진 인공신경망이며 기존 이미지 처리 방법과 비교해 고차원의 이미지 정보를 추출할 수 있다. 따라서 객체 탐지, 시맨틱 세분화 등 컴퓨터 비전 분야에서 활발히 적용되고 있다[8,9]. CNN은 하나 또는 여러 개의 convolutional 레이어와 일반적인 인공 신경망 레이어들로 이루어진 구조를 가진 인공신경망이다. CNN은 기존 fully connected neural network와 다르게 각 레이어

어의 입출력 데이터의 형상을 유지하고 이미지 공간 정보를 유지하면서 인접 이미지와의 특징을 효과적으로 인식한다. 필터를 공유 파라미터로 사용하기 때문에, 일반 인공 신경망과 비교하여 학습 파라미터가 매우 적다. 최근 이러한 CNN을 사용하여 자율주행 차량의 차선 검출에 다양하게 적용하고 있으며[10], 본 연구에서 로봇 청소기 자율 주행을 위한 딥트 내부 경로 추적에 적용한다. 경로 추적을 위한 교차점 학습에 사용한 CNN 구조는 Fig. 6과 같으며 2개의 convolutional 레이어와 pooling 레이어로 구성된다. CNN 알고리즘은 파이썬 3.7.3(Python) 기반의 Keras[11] 라이브러리를 사용했다.

Conv2D	input	(None, 224, 224, 3)
	output	(None, 222, 222, 32)
Conv2D	input	(None, 222, 222, 32)
	output	(None, 220, 220, 64)
Max Pooling2D	input	(None, 220, 220, 64)
	output	(None, 110, 110, 64)
Dropout	input	(None, 220, 220, 64)
	output	(None, 110, 110, 64)
Flatten	input	(None, 110, 110, 64)
	output	(None, 774400)
Dense	input	(None, 774400)
	output	(None, 128)
Dense	input	(None, 128)
	output	(None, 128)
Dense	input	(None, 128)
	output	(None, 4)

Fig. 6. CNN structure for cross point detection

학습에 대한 정확도는 Fig. 7과 같이 면적과 거리로 판단했다. 면적은 실제 입력한 교차점과 경계선이 이루고 있는 이미지의 pixel 면적과 예측한 데이터($x_p, y_p, \theta_1, \theta_2$)로 이루어진 pixel 영역의 교차 영역을 추출했다. 추

출된 교차 pixel 영역을 P_{area} 라고 하고 실제 pixel 추출을 위하여 컴퓨터 비전 OpenCV의 이미지 산술연산을 활용했다. pixel 영역을 R_{area} 라고 할 때, 면적 정확도 (A_{acc})는 Eq. (1)을 이용하여 구했다. 거리 정확도(D_{acc})는 실제 교차점 (x_r, y_r)과 예측 교차점 (x_p, y_p)이 이루는 거리를 기준 값(D_s)으로 나눈 값으로 Eq. (2)와 같이 나타내어진다. 각 테스트 데이터에 대한 결과는 Table 1에 명시되어 있으며 면적은 80.8 %, 거리는 80.3 %로 두 정확도의 평균은 80.6 %이다. 면적과 거리 정확도의 차가 0.5 %로 나타난다. 비교적 높은 정확도는 아니나 로봇 청소기 주행 시 주행 영상에서 얻어지는 이미지 상에서 판단하는 결과와 실제 딥트 내부 이미지에서 판단 결과를 분석하기 위해 청소 로봇을 제작해 검증했다.

$$A_{acc} = \frac{P_{area}}{R_{area}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

$$D_{acc} = 100 - \left\{ \frac{\sqrt{(x_r - x_p)^2 + (y_r - y_p)^2}}{D_s} \times 100 (\%) \right\} \quad (2)$$

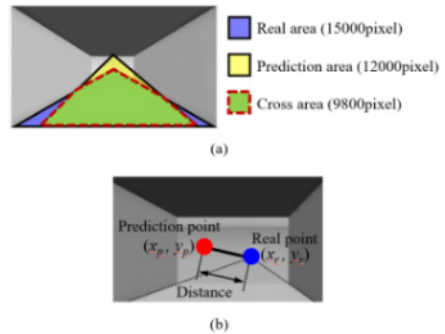


Fig. 7. (a) Error determination based on comparison between real and predicted areas (b) Determination of accuracy based on distance between real and predicted points

Table 1. Accuracies of area and distance

Accuracy (%)		Test Image
Area	Distance	
80.8	80.3	140

2.2 로봇 청소기 구성 및 설계 조건

청소 로봇은 몸체, Raspberry Pi, 카메라 및 초음파 센서를 포함한 제어부, 모터와 바퀴를 포함한 구동부로

구성된다. 제어부에는 교차점 검출 알고리즘 검증을 위해 카메라를 장착했으며 이를 통해 로봇을 제어하고자 한다. 덕트 로봇 청소기는 알고리즘을 통해 추출된 교차점의 위치에 따라 직진 및 좌/우회전한다. 덕트 청소 로봇의 설계 조건은 로봇 작동 시 공조 덕트 처짐을 방지하고 덕트 이음 등 장애물을 통과해야 한다.

2.2.1 로봇 청소기 설계

덕트 내부는 덕트 이음과 같은 요철 등이 존재한다. 이는 청소 로봇의 주행 성능을 저하시키는 요인이다. 따라서 이를 개선하기 위하여 로봇 청소기는 덕트 이음 등 덕트 내부 요철에 상관없이 주행하기 위하여 무한궤도 바퀴를 장착했다. 장착한 무한궤도 바퀴는 장애물의 높이가 38 mm 미만일 때 경사각 90°까지 주행 가능하며 이상일 때 경사각 25°까지 주행 가능하다. Fig. 8은 덕트 이음과 같은 요철에서 주행하는 방법을 나타냈다.

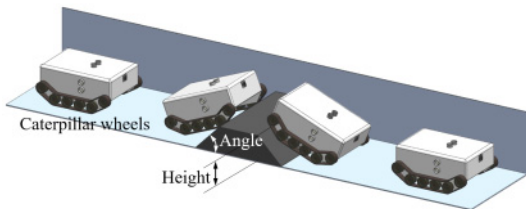


Fig. 8. Modelling of obstacles inside the duct, such as connections between 2 ducts, bumps

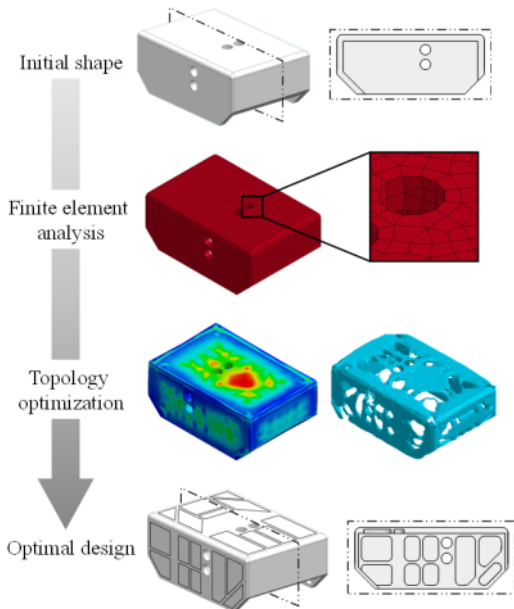


Fig. 9. Structural optimization of cleaning robot for weight reduction

로봇이 청소를 수행할 때 공조 덕트 파손 및 처짐 방지를 위해 로봇 몸체에 경량화 설계를 적용했으며 이는 위상 최적화를 통해 진행했다. 위상 최적화는 제품의 성능 목표를 만족시키면서, 주어진 하중 및 경계 조건에 대해 주어진 설계 공간 내에서의 재료분배를 최적화하는 접근 방법이다[12]. 본 연구에서 Fig. 9와 같이 가로, 세로 50, 30 cm인 덕트 크기와 덕트 로봇 청소기가 회전할 수 있는 구동 면적을 고려한 초기 설계에 경량화 설계를 적용했다. 경량화 설계는 초기 형상을 유한 요소 해석 후 위상 최적화 해석을 진행한 뒤 해석 결과를 토대로 재설계를 진행했다. 위상 최적화를 통해 기존 설계 무게의 40%를 절감했다.

2.2.2 벽 충돌 방지

덕트 로봇 청소기 주행 테스트 중 벽 충돌로 인한 로봇 파손을 방지하기 위해 제안된 교차점 검출 알고리즘 뿐만 아니라 Fig. 10처럼 벽 충돌 방지를 초음파 센서로 적용하였다. 초음파 센서는 Fig. 10 (a)와 같이 일정한 간격으로 사운드 펄스를 Sender에서 발사하고 소리가 개체에 충돌하면 에코 신호로 반사되어 돌아와 초음파 Receiver에 입력된다. 초음파가 발사하고 돌아온 시간을 이용하여 거리를 측정할 수 있다. 적용된 벽 충돌 방지는 초음파 센서 HC-SR04이며 최대 오차는 5 mm 미만이다. 초음파 센서는 Fig. 10 (b)와 총 3개가 적용되었다. 로봇 청소기 앞면 중앙과 각각 좌우 35°에 설치되어 초음파를 통해 거리를 측정하여 벽과의 최소 거리를 30 mm로 유지하도록 제어하였다. 일정 거리는 로봇의 크기와 각 덕트의 크기에 따라 조정할 수 있다.

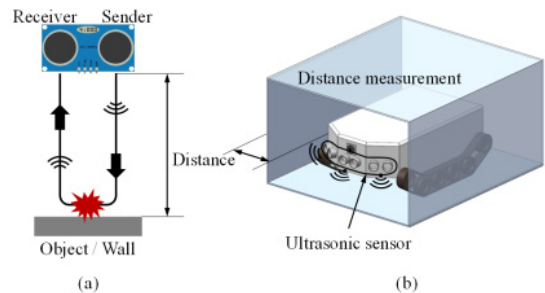


Fig. 10. (a) Ultrasonic sensor-based distance measurement and (b) its application to the cleaning robot

3. 교차점 검출 알고리즘 검증

앞서 제시한 교차점 검출 알고리즘과 로봇 설계 방안을 토대로 프로토타입 덕트 로봇 청소기를 제작했다. 덕트 로봇 청소기는 3D 프린터 플라스틱 몸체와 알루미늄 판 등을 이용하여 Fig. 11과 같이 제작했다. 로봇 청소기는 싱글 보드 컴퓨터인 Raspberry Pi 4와 오픈 소스를 기반으로 한 보드와 개발 도구 및 환경인 Arduino Uno R3를 이용하였고, 측정을 위하여 초음파 센서, 모터 및 카메라가 장착되었다. 덕트 로봇 청소기 검증 주행을 위하여 가상의 단순화된 덕트 환경을 제작했으며 직진부와 굴곡부가 모두 존재하는 Fig. 4의 C type 형태로 테스트 환경이 적용되었다. Fig. 12는 제작된 가상의 단순화된 덕트와 로봇 청소기를 위에서 촬영한 사진을 보여주고 있다. 교차점 검출 알고리즘의 검증을 위하여 덕트 환경 내에서 반복 주행 후 카메라 영상을 통해 얻어진 주행 영상을 CNN 알고리즘을 통해 학습한다. 3D 모델링으로부터 구축된 덕트 형상 806장의 이미지로 학습된 알고리즘은 가상 덕트 50장의 이미지와 실제 덕트의 이미지 15장에 적용하여 알고리즘을 검증하였다. Fig. 13 (a)는 가상 덕트의 사진과 교차점 검출 알고리즘 결과를 보여준다. 빨간 선은 알고리즘을 통해 결정된 교차점과 각도이며, 파란색은 실제 교차점과 각도를 보여준다. Fig. 13 (b)는 실제 덕트의 이미지를 보여주고 있다.

총 65장 테스트 이미지에 대해 교차점 검출 알고리즘을 적용했으며 그에 대한 결과는 Table 2에 나타났다. 제작한 덕트(simplified duct)에서 결과는 면적 정확도는 92.6 %로 상당히 높은 정확도를 보여준다. 그러나 알고리즘으로 결정된 교차점과 측정된 실제 교차점의 거리 정확도는 58.2 %로 상대적으로 낮은 결과를 보여준다. 이는 실제 교차점을 중심으로 계산된 알고리즘은 상하 차이(y length difference)가 존재함을 의미한다. 이런 상하 차이로 인해 71.0 pixel의 오차 평균이 발생하며 이는 Table 3에 나타났다. 반면 교차점 좌우 오차(x length difference) 평균은 33.5 pixel이므로 실제 덕트 로봇의 주행 방향은 크게 차이가 나지 않는다.

교차점 중심 상하 오차가 생기는 이유는 하나의 카메라를 사용한 2차원 이미지를 이용하여 판단하였기 때문이며, 스테레오 카메라를 이용하여 3차원 이미지를 통한 깊이(depth)를 결정할 경우, 더욱 정확한 거리 정확도를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

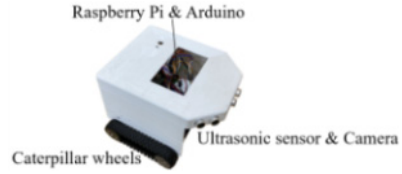


Fig. 11. Prototype of cleaning robot

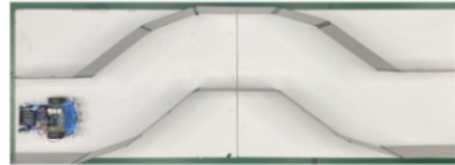


Fig. 12. Validation of autonomous driving algorithm for cleaning robot

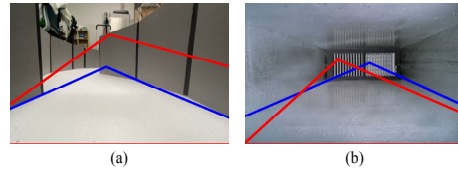


Fig. 13. Result of cross point detection algorithm
(a) cross point detection for simplified duct;
(b) cross point detection for actual duct

Table 2. Result accuracies of area and distance

Duct	Accuracy (%)		Test Image
	Area	Distance	
Simplified	92.6	58.2	50
Real	55.9	29.2	15

Table 3. Average pixel differences between actual and detected distances in x- and y-directions

Duct	x-axis	y-axis
Simplified	33.5	71.0
Real	124.0	47.7

4. 결론

본 연구에서는 CNN 기반 공조 덕트 청소 로봇 자율 주행을 위한 교차점 검출 알고리즘을 개발했으며 다음과 같은 결론에 도달했다.

- (1) 구축한 딥러닝 모델 교차점의 위치를 판단해 교차점이 중심에 위치하도록 청소기 주행 제어 알고리즘을 개발했다.
- (2) 로봇 청소기는 교차점 검출 알고리즘을 통해 검출된 교차점의 위치에 따라 직진, 좌회전 및 우회전한다. 자율 주행 중 벽 충돌을 방지하기 위하여 앞면 중앙과 각 좌우 35°면에 초음파 센서를 설치하여 벽과 로봇 청소기의 충돌을 방지했다.
- (3) 로봇 청소기에 덕트 이음 등 덕트 내부의 요철에 상관없이 주행하기 위하여 무한궤도 바퀴를 적용했다. 적용한 무한궤도 바퀴는 장애물 최대 높이 38 mm, 최대 경사각 90°에서 주행 가능하다. 추후 무한궤도 앞바퀴의 높이를 조절하여 덕트 내의 이음 및 요철 높이와 경사각에 무관하게 주행 가능할 것으로 기대된다.

향후 연구에서 3D 모델링에 매핑 기술을 적용해 실제 덕트 이미지와 유사한 가상 데이터 확보, 딥러닝 알고리즘에 따른 정확도 분석을 통해 교차점 검출 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] H. S. Choi, B. Park, W. Jeong, S. B. Kwon, H. S. Kim, "Development of a Duct Cleaning Robot Platform", 2013 28th ICROS Annual Conference (ICROS 2013), Institute of Control, Robotics and Systems, Changwon-si, Korea, pp.185-186, May 2013.
- [2] S. W. Jeon, W. Jeong, D. Park, S. B. Kwon, "Design of an Intelligent Duct Cleaning Robot with Force Compliant Brush", 2012 12th International Conference on Control (IEEE), Automation and Systems, Jeju island, Korea, pp.2033-2037, Oct. 2012.
- [3] W. Jeong, S. W. Jeon, D. S. Park, "Force control method of duct cleaning robot brush to improve cleaning efficiency", Proceeding of KSME Annual Meeting, The Korean Society of Mechanical Engineers, Changwon-si, Korea, pp.2303-2308. Nov. 2012.
- [4] W. Jeong, D. S. Park, S. B. Park, S. W. Jeon, "Development of Duct Cleaning System Using a Robot", 2013 28th ICROS Annual Conference (ICROS 2013), Institute of Control, Robotics and System, Changwon-si, Korea, pp.183-184, May 2013.
- [5] W. Jeong, S. B. Park, S. W. Jeon, H. S. Kim, "Development of realtime control system for duct cleaning robot", Proceeding of 2014 KSMTE Spring Conference, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Changwon-si, Korea, pp.245-245, April 2014.
- [6] K. T. Park, W. J. Jang, J. H. Ha, M. I. Seo, D. H. Kim, "Position Estimation and Control for Autonomous Duct Cleaning Robot", KSMTE Annual Autumn Conference 2018, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Seoul, Korea, pp.99-99, Oct. 2013.
- [7] W. Jeong, D. S. Park, "Development of a Duct Cleaning Robot and Technology Trends for Subway Stations", Proceeding of 2011 Autumn Conference & Annual Meeting of the Korea Society for Railway, The Korea Society For Railway, Mokpo-si, Korea, pp.1335-1341, May 2011.
- [8] T. Q. Hieu, S. Yeon, J. Kim, "Korean License Plate Recognition Using CNN", Journal of Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers, Vol.23, No.4, pp.1337-1342, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7471/iksee.2019.23.4.1337>
- [9] M. J. Kang, "Comparison of Gradient Descent for Deep Learning", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.21, No.2, pp.189~194, 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.2.189>
- [10] D. H. Kim, J. E. Ha, "Lane detection through epipole estimation by convolutional neural networks", Journal of Institute of Control, Vol.24, No.9, pp.851-856, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2018.18.0111>
- [11] F. Chollet, "Keras", 2015.
- [12] D. S. Ko, H. K. Lee, D. J. Hur "Using Topology Optimization, Light Weight Design of Vehicle Mounted Voltage Converter for Impact Loading", Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol.31, No.6, pp.353-358, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7734/COSEIK.2018.31.6.353>

홍 석 무(Seokmoo Hong)

[중심회원]



- 1999년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학 학사)
- 2001년 2월 : 서강대학교 기계공학과 (기계공학 석사)
- 2007년 3월 : Technical University of Munich, Germany, Department of Mechanical Engineering (기계공학박사)
- 2007년 4월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 GTC, 수석연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

금속 판재성형 및 단조, 유한요소해석, 최적 설계

이 사 랑(Sarang Yi)

[준회원]



- 2019년 2월 : 국립공주대학교 금형설계공학과
- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

인공지능, 머신러닝

노 은 솔(Eunsol Noh)

[준회원]



- 2020년 2월 : 국립공주대학교 금형설계공학과
- 2020년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학원 융합기계공학과 석사과정

<관심분야>

인공지능, 머신러닝