

# SLAM 기술을 활용한 태양광 발전기 패널 표면의 오염영역 청소 드론 설계

장우희\*, 김예은\*, 김희정\*, 이은진\*, 윤택근\*, 이홍창\*\*, 이광재\*

\*상명대학교 정보보안공학과, \*\*현대엘리베이터

e-mail: koo03129@naver.com

## A Design of a Drone for Cleaning Polluted Areas on the Surface of Solar Panels using a 3-D SLAM Technique

Woo-Hee Jang\*, Ye-Eun Kim\*, Hee-Jeong Kim\*, Eun-Jin Lee\*, Yoon Taek Geun\*,  
Hong-Chang Lee\*\*, Kwangjae Lee\*

\*Dept. of Information Security Engineering, Sangmyung University

\*\*Hyundai Elevator

### 요약

본 논문은 SLAM 기술로 3D 매핑하고 태양광 발전기 패널 표면의 오염영역을 파악하여 청소하는 자율비행 드론에 대한 연구이다. 본 프로젝트에서 구현된 드론은 SLAM 기술을 활용하여 3D 매핑과 ROS Topic 통신으로 자율비행을 하면서 카메라로 촬영한 영상에서 태양광 발전기 패널을 파악하고 패널에 있는 얇은 먼지막을 프로펠러에 의하여 발생하는 바람으로 제거한다. 그리고 열화상 카메라로 확인된 고오염 또는 고장으로 인한 빌열 부분에 페인트 볼을 떨어트려 시각적으로 표시하고 관리자에게 능동적으로 알린다. 이로 인해 제안된 방법에 따라 넓은 영역에 분포된 다수의 태양광 발전기 패널의 오염정도를 쉽게 파악하고 저오염 영역의 즉각적인 청소 및 고오염 영역의 빠른 보고로 인하여 전반적인 태양광 발전 효율을 제고할 수 있으며, 수동으로 이루어지는 인력 관리에 비하여 오염지역 파악 및 제거 시간이 보다 빠르고 정확하게 이루어질 수 있다.

### 1. 서론

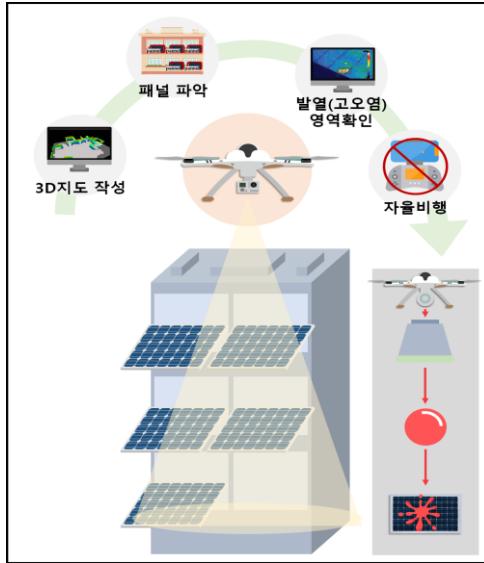
최근 전 세계적으로 태양광 발전기를 필두로 신재생 에너지 발전에 대한 관심과 발전이 급속도로 증가하고 있는 추세이며, 환경 오염 이슈 등을 바탕으로 이러한 추세는 당분간 유지될 것으로 예상된다[1]. 태양광 발전기는 야외에 설치되어 있는 경우가 많기 때문에 오염이 될 가능성이 많다. 오염이 되면 출력이 크게 저하되고, 패널의 온도가 증가함에 따라 태양광 발전기 패널의 출력이 저하되기 때문에 주기적인 청소가 필요하다[2]-[3]. 하지만, 발전기의 효율을 높이기 위해 패널의 크기는 사람보다 크고, 건물의 난간에 설치되는 경우가 다반사이고 잘못된 청소방법으로 인해 인명사고가 발생할 수 있어 사람이 직접 청소하기에 어렵다[4]. 또한, 주로 넓은 면적의 대지 또는 건물의 옥상 등에 배치되어 오염물을 확인하거나 이를 제거하는 작업에는 많은 어려움이 따를 수 있다[5]. 이러한 오염들을 제거하기 위해 현재 상용화 되고 있는 제품들은 흡착방식을 이용하기 때문에 태양광 표면의 코팅층이 벗겨지거나 고오염영역에서는 흡착력이 낮아져 제품이 패널로부터 낙하하는 문제점이 있다[6]. 또한, 패널에 부착된 제품들은 패널 하나 당 하나의 청소제품이 필요하고 오염영역만이 아니라 전체 영역을 청소하기 때문에 비효율적이다[7].

따라서, 본 논문에서는 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)기술을 활용한 자율비행 드론으로 태양광 발전기 패널을 파악 후 드론의 프로펠러가 일으키는 바람으로 얇은 먼지막을 제거하고, 고오염 영역 및 고장으로 인해 발생하는 빌열 부분을 시각적으로 표시하여 유지보수를 지원하는 드론을 제안한다. 이 드론은 다수의 태양광 패널을 한번에 청소할 수 있으며 사람이 직접 청소하면서 발생할 수 있는 안전 사고 등을 사전 예방할 수 있다. 그리고 자율비행 기능으로 인하여 직접적인 제어 없이도 동작할 수 있다.

### 2. 본론

제안하는 청소 드론은 태양열 패널이 다수 설치되어있는 건물에 3D 매핑(Mapping) 자율비행 드론을 날려 패널 설치 위치를 탐색한다. 패널 탐색은 드론에 설치된 카메라와 OpenCV 객체 탐지(Object Detection) 기법을 통해 구현하였고, 패널 근처에 비행하여 강한 풍압으로 이물질 및 먼지 층을 제거한다. 만일 바람으로 제거되지 않는 고오염 영역이나 고장으로 인한 빌열이 확인된다면 그 위치를 시각적으로 표시하고 태양열 패널 유지보수 관리자에게 알린다. 고장 감지기는 열화상 센서를 통해 빌열 여부를 확인하였고, 전체적인 드론 제어는 ROS(Robot Operating System) 사용하여 구현하였다. 그럼 1은 제안된 기술의 전체 구성

도를 보여준다.



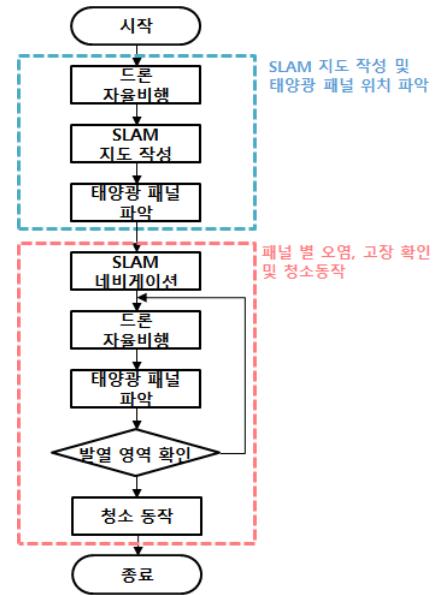
(그림 1) 제안하는 청소 드론의 구성도

## 2.1 시스템 흐름도

제안하는 시스템 흐름도는 그림 2 와 같이 크게 SLAM 지도 작성 및 태양광 패널 위치 파악, 패널별 오염, 고장 확인 및 청소 동작 부분으로 구분된다. 드론이 자율비행을 시작하면 SLAM 으로 지도를 작성하고, OpenCV 를 활용하여 태양광 패널을 파악한다. 이는 SLAM 지도 작성 및 태양광 패널 위치 파악에 해당한다. 이후 SLAM 네비게이션을 활용하여 ROS 의 Topic 통신을 이용하여 드론이 자율비행한다. 그리고 태양광 패널을 파악 후, 열화상 카메라를 이용하여 발열 영역이 확인된다면 고장 확인 및 청소 동작한다. 이때 발열 영역이 확인되지 않는다면 드론이 다시 자율비행한다. 이는 패널별 오염, 고장 확인 및 청소 동작에 속한다. 표 1 은 제안하는 태양광 패널 청소 드론의 기능 요약이다.

<표 1> 제안하는 태양광 패널 청소 드론의 기능 요약  
설명

<b>3D 매핑</b>	카르토그래프 SLAM을 사용해 카메라로 촬영한 지형지를 영상을 3차원 지도화
<b>자기 위치 파악 및 출발 위치 저장</b>	3D 지도에서 각종 센서들을 이용해 드론의 현재 위치를 파악 및 출발 위치를 저장
<b>패널의 HSV값 비교 및 이진화</b>	지정한 패널의 HSV값과 촬영한 영상의 HSV값을 비교하여 해당하는 픽셀을 이진화 처리 수행
<b>이진화 이미지 오류 제거</b>	모풀로지 연산을 사용해 이진화 처리한 이미지에서의 오류를 제거
<b>패널 인식</b>	OpenCV 내장된 Contour 함수 및 모풀로지 연산으로 결과 이미지에서 직사각형이면서 지정한 면적과 일치하는 부분을 패널로 인식
<b>패널에서 발열 부분 찾기</b>	열화상 카메라로 촬영한 패널 중 색이 다른 부분을 찾아 발열 영역으로 인식
<b>라즈베리파이와 노트북 ROS 통신</b>	라즈베리파이에 부착된 각종 센서들의 측정값을 노트북으로 보내고 노트북에서 연산하여 드론의 제어 명령을 라즈베리파이에 전달(통신방식: ROS Topic 통신)
<b>가속도 센서 조절</b>	라즈베리파이에 부착된 가속도센서 측정값을 통해 드론의 자세를 보정하여 호버링 함
<b>기압 센서 조절</b>	라즈베리파이에 부착된 기압센서 측정값을 통해 드론이 현재 몇 층에 있는지 파악
<b>초음파 센서 조절</b>	라즈베리파이에 부착된 초음파센서 측정값을 통해 주변의 지형지를 파악하고 충돌 회피함
<b>드론 자율 비행</b>	각종 센서에서 측정한 측정값을 이용해 자율비행 수행
<b>청소 후 출발 위치 복귀</b>	청소 후 SLAM에서 저장한 출발 위치로 복귀

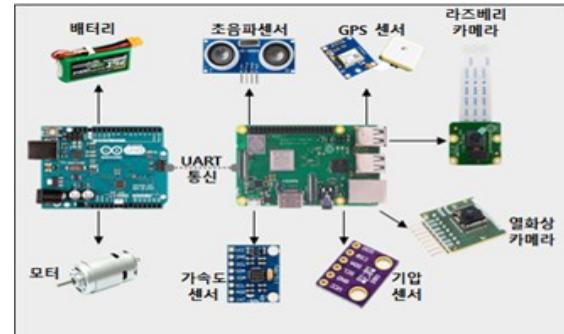


(그림 2) 제안하는 청소 드론의 시스템 흐름도

## 3. 구현

### 3.1 청소 드론 제작

청소 드론은 드론을 제어할 아두이노와 각 센서 값을 추출하여 노트북과 ROS Topic 통신하기 위한 라즈베리파이로 구성되어 있다. 라즈베리파이에는 SLAM 과 태양광 발전기 패널 파악에 필요한 라즈베리파이 카메라와 태양광 발전기 패널의 발열 영역을 인식할 열화상 카메라, 자율비행에 필요한 다양한 센서들이 연결되어 있다. 그림 3 은 이러한 구조를 보여준다.

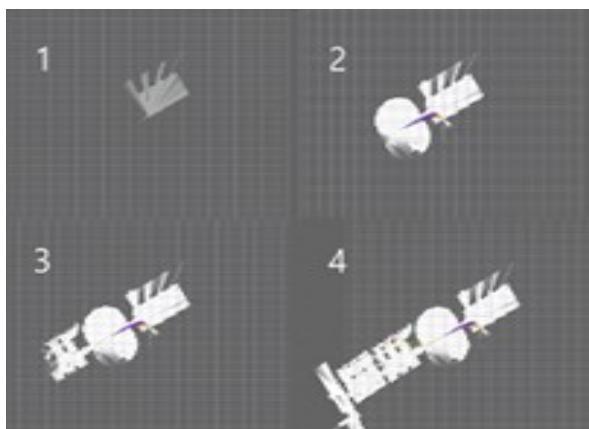


(그림 3) 청소 드론의 H/W 구조

### 3.2 3D 매핑 및 자기 위치 파악

자율비행을 위해 SLAM 기술을 활용하여 3D 매핑을 작성한다. SLAM 기술이란 로봇공학에서 사용되는 개념으로 동시적 위치추적 및 지도 작성이라는 뜻을 갖고 있다[8]. SLAM 기술은 지도가 주어져 있지 않은 상황에서 로봇이 여러 센서들을 통해 주변 환경을 감지하면서 직접 지도를 만들고 그 지도에서의 로봇, 본인 스스로의 현재 위치를 파악하는 기술이다. 오픈 소스인 구글 카르토그래퍼 SLAM(Cartographer SLAM) 을 활용해 드론에 연결된 각종 센서 값을들을 읽어와 실시간으로 주변 환경을 파악하여 3D 매핑한다[9]. 우

선 지도를 작성하기 위해서 드론의 거리 감지 센서와 기압 센서 그리고 이 둘의 단점을 보완해줄 수 있는 카메라를 사용하여 주변 환경에 대한 거리 값 등을 받아와 특정 점에 대한 계산을 한다. 그리고 거리 감지 센서의 오차 값을 줄여주는 칼만 필터를 사용한다 [10]. 필터를 거친 계산 결과 값을 토대로 드론이 이동할 수 있는 곳과 그렇지 않은 곳, 아직 계산이 되지 않은 곳 등등 구분을 하여 ROS 3D 시각화 툴인 RViz에서 3D 매핑을 작성한다. 완성된 3D 매핑을 통해 자신의 현재 위치를 파악하여 드론이 자율비행을 할 수 있도록 해준다. 드론의 이동 방향 값과 높이 변화 값을 이용하여 3D 매핑에서 드론의 이동 위치를 표현하여 자율비행에 도움을 준다. 그림 4는 구글 카르토그래퍼 SLAM을 설치하여 demobag를 실행하여 3D 매핑을 그린 결과 사진이다.

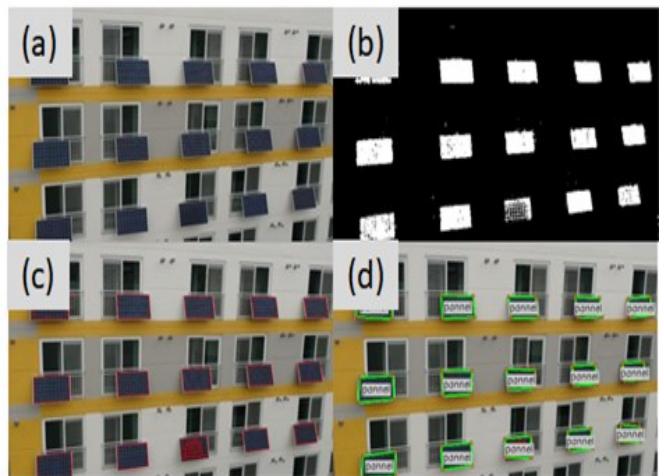


(그림 4) SLAM 실행 결과

### 3.3 태양광 발전기 패널 파악

태양광 패널 청소 드론은 드론에 부착시킨 라즈베리파이 카메라를 통해 실시간으로 태양광 패널이 설치되어 있는 아파트 건물을 촬영하고, 촬영된 영상을 불러와 영상처리 기술인 OpenCV로 태양광 패널을 인식한다. 우선 카메라를 통해 촬영된 영상 이미지를 획득하고 그림 5(a)와 같이 영상 이미지를 복사한다. 패널의 색을 더 명확하게 인식하기 위하여 RGB 색상 모델로 들어온 영상 이미지의 색 공간을 색상, 채도, 명도의 좌표를 사용하여 특정 색을 지정하는 HSV 색상 모델로 변환한다. 변환된 영상을 미리 지정한 태양광 패널의 HSV 색 범위와 비교하여 그림 5(b)와 같이 패널 색 범위 영역은 흰색으로, 그 외의 영역은 검은색으로 표현하는 이진화 처리 기법을 사용한다. 이진화 된 이미지에 있는 노이즈를 제거하고, 패널의 형태를 더 명확하게 하기 위하여 모폴로지 연산 중 열림과 닫힘이라는 연산으로 이미지를 보정한다. 보정된 이진화 이미지에서 윤곽선을 추출한 후 그림 5(c)과 같이 윤곽선들을 표시한다. 윤곽선만이 검출된 영상 이미지에서 패널 형태와 더 근접한 값을 구하기 위해 윤곽선의 근사화 값과 최소 면적에 해당하는 기준 값을 조정하여 1 차 필터링을 한다. 이미지 내 윤곽선으로 인해 생겨난 도형들 중 볼록 도형에 해당하-

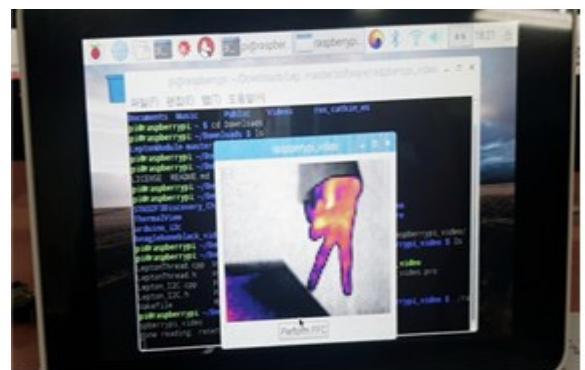
는 부분만 선택하여 2 차 필터링을 한다. 윤곽선을 통해 생겨난 볼록 도형들 중 볼록한 부분이 4 개 이상인 도형만 선택하여 3 차 필터링을 하고 그림 5(d)과 같이 이를 태양광 패널로 인식한다.



(그림 5) OpenCV 실행 결과

### 3.4 열화상 카메라로 고오염 부분 인식

드론에 부착시킨 열화상 카메라(FLIR)로 패널을 촬영한 영상에서 고오염 및 고장으로 인해 비정상적으로 발생된 발열 부분을 파악 후 페인트 볼을 떨어트려 시각적으로 표시하고 관리자에게 알려주는 것을 목표로 한다. 열화상 카메라를 이용해 촬영한 실시간 영상을 픽셀 단위로 기준 온도보다 높을수록 붉은색으로 표시되도록 한다. 색을 표시한 결과 이미지를 라즈베리파이에서 ROS의 Topic 통신을 이용해 PC로 전송하고 HSV 색상 모델로 변환시킨다. HSV 색상 모델로 변환된 이미지를 픽셀 단위로 나눠 HSV 범위 값을 추출하고 미리 지정한 HSV 범위 값과 비교하여 기준 값보다 클 경우 오염 및 고장이라고 인식한다. 고장이라고 인식된 패널 위에 페인트 볼을 떨어트리라는 메시지를 전송한다. 그림 6은 라즈베리파이와 열화상 카메라를 연결하여 온도가 높은 부분을 붉은색으로 표시하도록 한 실행 결과 사진이다. 사람 손의 온도가 높기 때문에 손은 붉은 색으로, 옷 부분은 검정색으로 표시되었다.

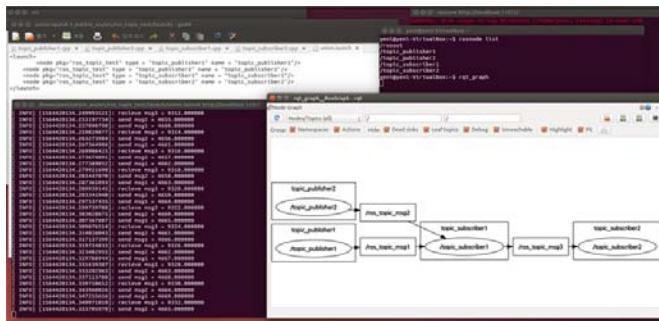


(그림 6) 열화상 카메라 실행 결과

### 3.5 ROS Topic 통신을 활용한 자율비행

ROS 의 Topic 통신을 활용하여 라즈베리파이와 노트북 간의 메시지를 통신한다. ROS 는 로봇용 오픈소스 메타 운영체제로 노드 간의 메시지 통신을 지원한다. 라즈베리파이와 노트북을 각 노드로 설정하고, 라즈베리파이에서 각 센서 값과 라즈베리파이 카메라의 실시간 영상 및 열화상 카메라의 결과 값을 노트북으로 송신한다. 노트북은 수신받은 센서값들과 카메라 영상들을 자율비행에 필요한 연산 후 그에 맞는 드론 제어 명령어를 라즈베리파이로 송신한다. 라즈베리파이는 수신받은 명령어를 UART 통신으로 아두이노에게 보낸다. 이후 열화상 카메라 영상에서 발열이 발생하는 고오염 영역 및 고장 부분이 파악되면 페인트 볼을 떨어트려 위치를 표시하고, 관리자에게 전송한다.

그림 7 은 ROS Topic 통신을 활용하여 여러 센서 값을 받아 연산 후 다시 송신하는 예제를 수행해본 결과이다. 여러 센서들의 결과 값을 송신하기 위해 센서 값을 송신하는 pub 노드 2 개(pub1, pub2), 센서 값을 수신하고 연산하여 명령어를 전달해주기 위한 pub 와 sub 의 역할을 동시에 수행하는 sub 노드 1 개(sub1), 명령어를 수신받을 sub 노드 1 개(sub2)로 노드를 구성하였다. pub1 과 pub2 는 각각 센서 값인 msg1 과 msg2 를 sub1 로 송신한다. sub1 은 이를 수신받아 연산 한 결과 값인 msg3 를 sub2 로 송신한다. sub2 는 sub1 로부터 수신받은 msg3 를 화면에 출력한다. 이를 드론에 접속시켰을 경우 msg3 는 드론 제어 명령어로 라즈베리파이가 아두이노와 UART 통신으로 모터를 제어하여 호버링 및 비행 제어를 수행할 수 있다. 마지막으로 rqt\_graph 로 각 노드 사이의 메시지 통신 상태를 그래프로 확인해보았다.



(그림 7) ROS Topic 통신을 활용한 센서 값 연산 예

### 4. 결론

본 논문은 SLAM 기술로 3D 매핑하고, 태양광 발전기 패널 표면의 오염영역을 파악하여 청소 하는 자율비행 드론에 대한 연구이다. 본 프로젝트에서 개발된 드론은 SLAM 기술의 3D 매핑과 ROS Topic 통신을 이용하여 자율비행을 하면서 태양광 발전기 패널을 인식하고 열화상 카메라를 통하여 패널표면의 오염 정도를 파악한다. 패널표면에 있는 얇은 먼지막은 운전 시 동작하는 프로펠러에 의하여 발생하는 바람으로 제거하며, 열화상 카메라를 통해 파악한 고오염영

역 또는 고장난 부분에 페인트 볼을 떨어트려 시각적으로 표시하고 이 정보를 관리자에게 제공하여 관리 할 수 있도록 지원한다. 기존 개별 패널마다 부착된 고정형 청소 도구와 대비하여 제안된 방법은 자율비행 드론을 이용하여 넓은 영역에 분포된 다수의 태양광 발전기 패널의 오염정도를 쉽게 파악하고 저오염 영역의 즉각적인 청소 및 고오염 영역 및 고장의 빠른 보고로 인하여 전반적인 태양광 발전 효율을 제고 할 수 있으며, 수동으로 이루어지는 인력 관리에 비하여 오염지역 파악 및 관리 시간이 보다 빠르고 정확하게 이루어질 수 있다.

본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT 멘토링 프로젝트 결과물입니다.

### 참고문헌

- [1] 이석호, 조일현, “국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장분석”, 에너지경제연구원 기본 연구보고서 pp.18-27, 2018.
- [2] 전태모, “태양광패널 청소 로봇 등장 – 태양광발전 소 청소”, Internet: m.blog.naver.com/kj2354/221045959336, Jul. 7, 2017 [Sep. 19, 2019].
- [3] 고병훈, “태양광 패널 발전효율 증대를 위한 직간접식 냉각 시스템 및 반사시트 적용 연구”, 박사학위논문, 부산대학교, 2017.
- [4] 배영호, “태양광 모듈 패널 청소 기능을 갖는 태양광 발전 시스템”, KR1020110112163A, 2011.
- [5] 황준원, 미래채널: 미래를 만드는 사람들을 위한 메가트렌드. 21 세기북스, 2017.
- [6] 정경식, “태양광 패널 자동 청소 로봇장치”, KR1020160155796A, 2016.
- [7] 권준범, “태양광모듈 청소로봇, 가능성 확인하다”, Internet: www.energy-news.co.kr/news/articleView.htm?l?idxno=62195, Mar. 8, 2019 [Sep. 19, 2019].
- [8] Wikipedia, “Simultaneous localization and mapping,” Internet: en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous\_localization\_and\_mapping, Aug. 27, 2019 [Sep. 19, 2019].
- [9] Googlecartographer, “cartographer,” Internet: github.com/googlecartographer/cartographer, May 9, 2019 [Sep. 19, 2019].
- [10] Wikipedia, “Kalman filter,” Internet: en.wikipedia.org/wiki/Kalman\_filter, Sep. 18, 2019 [Sep. 19, 2019].