

2020학년도 학부생 연구프로그램(UGRP)

최종보고서

연구책임자(학생)	김근우	소속/학번	20160832
과제명	Purius: 밀접접촉정보 기록 및 즉시 방역 로봇		

○ 연구목적

2020년을 휩쓴 COVID-19은 우리 사회를 새롭게 변화시키고 있다. 유례없는 전파력을 가진 COVID-19은 전 지구적으로 퍼져 수많은 사망자를 초래하였고, 수많은 사람을 공포에 휩싸이게 했다. COVID-19는 사스 바이러스의 새로운 형태로 비말(침방울)이 호흡기나 눈·코·입의 점막으로 침투될 때 전염되어 폐렴 증상을 일으킨다. 신종 코로나바이러스로 불리는 COVID-19의 치명률은 약 3.4%로 WHO가 국제적 공중보건 비상사태(PHEIC)를 선포했고 3월 11일 홍콩 독감(1968), 신종플루(2009)에 이어 사상 세 번째로 세계적 대유행(pandemic)을 선포하게 했다. 팬데믹이 선언된지 10개월이 지난 지금에서도 COVID-19은 자연적으로 사그라지지 않았고, 폭발적으로 증가했다 주춤했다를 반복하며 수많은 감염자를 탄생시키고 있다. 우리나라의 COVID-19 감염자는 69,651명(2021.1.12. 자정 기준)에 도달하였고, 확진자가 한 명 발생할 때마다 방역부터 동선 파악, 치료까지 많은 사회적 비용이 지출되고 있다. 또한, 최근 백신이 개발되어 보급되고 있으나 COVID-19의 변이가 영국에서 발견되는 등 완전하게 COVID-19을 종결하기에 많은 시간이 걸릴 것으로 예측된다.

COVID-19을 추적하고 예방하는 것의 가장 큰 주안점에는 신속한 역학 조사와 즉각적인 방역이 있다. 역학 조사를 통해 확진자가 방문한 장소를 신속하게 방역하고, 확진자와 밀접접촉한 사람을 파악하여 신속하게 자가격리와 COVID-19 검사를 진행하는 것이 전염병을 대처하는 가장 중요한 작업이라고 볼 수 있다. 하지만 이것을 신속하게 수행하기 위해서는 수많은 인력의 희생과 노력이 필요로 한다. 우리는 이 두 가지 문제점을 어떻게 해결할 수 있을지 초점을 두고 연구해 보려고 하였다.

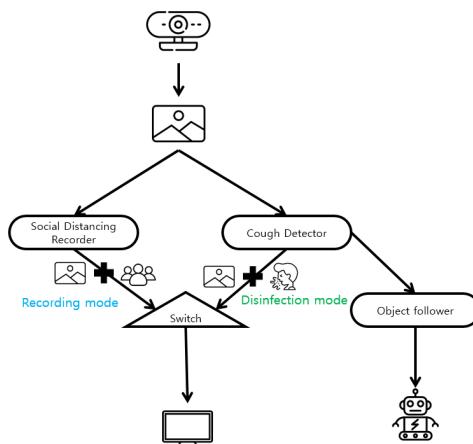
우선 ‘역학 조사의 어려움’에 대해 살펴보자. 현재 COVID-19의 대유행에 따라 다방면에서의 역학 조사가 이루어지고 있다. 역학 조사는 인구집단을 대상으로 특정한 질병이나 전염병의 발생 양상, 전파경로, 원인 등 역학적 특성을 조사하는 것¹⁾으로 바이러스의 추가전파를 방지하기 위함을 기본 목적으로 한다. 역학 조사는 현재 방역 당국을 통해 이루어지고 있는데 기본적으로 감염자의 진술을 바탕으로 이루어지며 추가적으로 휴대전화 위치추적과 카드사용 내역 그리고 CCTV 내역 열람을 통해 동선을 파악한다.²⁾

감염자의 진술은 감염자 개인의 기억력에 의존하기 때문에 불완전하며 자신도 모르게 발생한 접촉이나 이동은 드러나지 않을 수 있다. 따라서 영상기록 매체인 CCTV를 활용한 역학 조사는 진술 다음의 이차 조사 차원에서 가장 정확도가 높고 많은 양의 정보를 얻을 방법일 것이다. 그 와 동시에, 인간의 육안으로 측정하는 정확도의 한계와 지수적으로 증가하는 밀접접촉자의 수로 인해 가장 문제가 많을 것으로 예상하는 방법이기도 하다. 본격적으로 문제를 살펴보기 전에

CCTV 열람을 통한 동선 파악의 목적에 대해 분명히 해야 할 필요성이 있다. 크게 두 가지로 CCTV를 통한 역학 조사의 목적을 함축할 수 있다. 첫 번째는 감염자 동선상의 위험지역 파악이다. 이는 감염자의 동선에 잔여하고 있을지 모를 바이러스로 인한 추가감염을 막기 위함이다. 두 번째 목적은 밀접접촉자 판별을 통한 자가격리 대상자 추출이다. 밀접접촉을 통한 바이러스 감염 위험이 있는 대상자를 선별하여 자가격리를 통해 추가감염을 예방하기 위함이다.

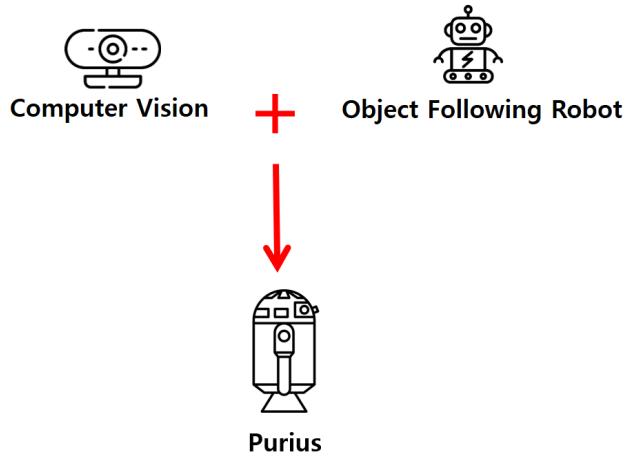
두 가지 모두 COVID-19과 같은 전염병 예방을 위해 신속하게 달성되어야 하는 목적이임이 틀림 없지만, 방역 당국이 발표한 밀접접촉자 판별 기준을 영상을 통해 육안으로 판별하는 것은 애매한 부분이 존재하며 많은 인력과 시간을 투자해야 한다는 단점이 있다. 또한, 확진자의 동선을 파악했다 할지라도 그곳에 방역 인력을 투입하고 방역절차를 수행하는 과정은 시간이 소요될 수 밖에 없다. 따라서 우리는 자동화의 필요성을 느꼈고 컴퓨터 비전기술을 통한 해결책을 제시하고자 했다.

○ 연구내용 및 진행



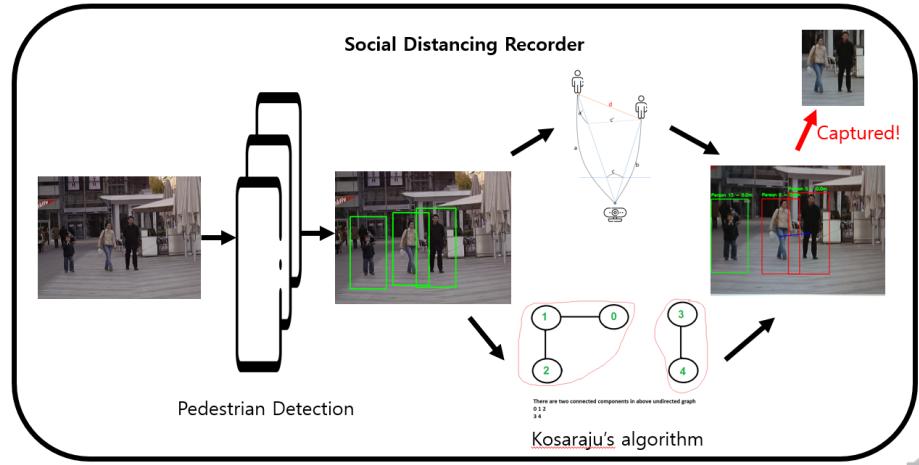
<그림 1>

최종 연구 목표 카메라가 장착된 로봇을 만드는 것이며 <그림1> 의 시스템을 구현하는 것이다. 시스템은 크게 3가지 구성요소로 나뉜다. Social Distancing Recorder는 사람들끼리의 밀접접촉 정보를 자동으로 기록해주는 시스템으로 역학 조사를 돋기 위한 목적으로 구현되었다. Cough Detector는 즉시 방역을 트리거하는 기침 혹은 재채기를 탐지하기 위해 구현되었다. Cough Detector는 Object follower와 통신하는데 Object Follower에서 트레킹할 대상을 던져준다. 최종적으로 Cough Detector에서 기침 혹은 재채기 행위를 탐지하면 Object Follower로 목적지를 보내주고 Object Follower는 로봇을 목적지까지 도달하게 하여 방역 작업을 수행하게 해준다. 로봇에 장착된 스크린에서는 Recording mode와 Disinfection mode에서 각각 Social Distancing Recorder와 Cough Detector에서 나온 프레임이 출력된다.



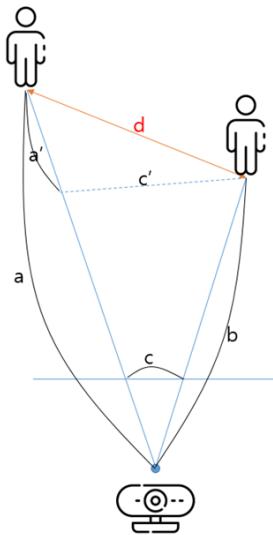
< 그림 2 >

로봇 개발을 위해 시스템을 크게 Computer Vision 파트와 Object Following Robot 파트로 나누었다. Computer Vision 파트에서는 Social Distancing Recorder와 Cough Detector가 돌아가고 Object Following Robot 파트에서는 로봇 제작과 이동에 관련된 모든 요소들이 포함된다. 두 파트는 Cough Detector와 로봇 이동 부분에서 연결된다. Cough Detector에서 기침 행위를 감지하고 목적지를 선정하면 Object Following Robot에서 이를 받아 방역 작업까지 완료한다.



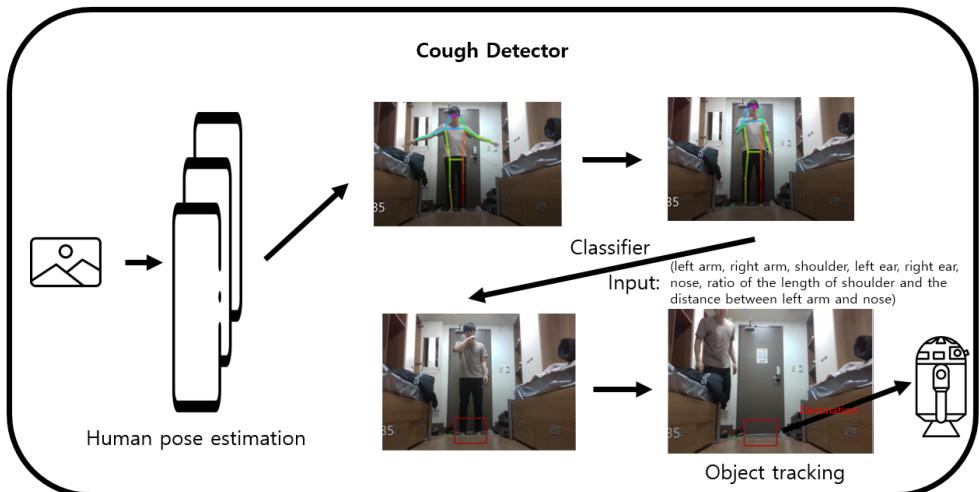
< 그림 3 >

Social Distancing Recorder는 로봇이 방역 작업을 시행하지 않는 모든 시간에 실행되는 모듈이다. 그렇기에 항상 실행되고 있다고 생각해도 된다. Social Distancing Recorder의 기본 목적은 사회적 거리 두기 위반을 기록하기 위함이다. 사회적 거리 두기 위반 특성상 정확한 기준이 존재하지 않기 때문에 이 연구에서는 사람 간의 거리가 1.5m 이내로 30초 이상 유지될 경우를 사회적 거리 두기 위반으로 정의하였다. 사회적 거리 두기 위반을 탐지하기 위해 우선 pre-trained 된 Pedestrian Detection 모델을 이용하여 프레임에서 사람을 구별해냈고 이들 간의 거리를 depth camera를 통해 얻은 정보를 통해 근사하였다.



< 그림 4 >

근사는 <그림 4>와 같이 사람과 카메라를 모델링 하여 이루어졌다. depth 카메라를 통해 a , b , c 를 얻을 수 있었고 코사인 법칙과 삼각비 공식을 이용하여 d 를 계산하였다. 사람 간의 거리 (d) 가 1.5m 이하인 경우에 밀접접촉이 성립한다고 가정하였고 이를 통해 각각의 사람들이 노드이고 옛지는 밀접접촉 여부인 그래프를 매 프레임 마다 얻을 수 있었다. 이렇게 얻어진 그래프에서 Kosaraju 알고리즘을 통해 Strongly Connect Components들을 구별해냈고 이를 각각을 하나의 밀접접촉으로 처리하였다. 그 후, 이러한 Component가 30초 이상 지속되면 Component에 포함된 사람들이 나오는 영역만 캡쳐하여 저장한다. 이렇게 캡쳐된 영역은 밀접접촉이 일어난 시간과 날짜가 표시되어 로봇 내부에 저장된다.



< 그림 5 >

Cough Detector의 목적은 로봇에게 방역을 실행해야 할 장소를 알려주는 것이다. 우리는 이에 대한 기준으로 기침과 재채기 행위를 사용하기로 했다. 따라서 이 두 행위를 탐지하기 위해 Human Pose Estimation 모델을 사용하여 우선 사람 신체 주요 부위에 대한 위치 정보를 가져왔다. 이렇게 가져온 자세에 대한 정보를 가지고 기침 혹은 재채기를 하는 상태인지 판별할 수 있

는 classifier를 구현하였다. 다음은 여러 모델을 사용하여 구현한 classifier의 실험 결과이다.

Model name	Training set	Test set
Logistic Regression	0.72	0.45
Decision Tree	1	0.71
K-Nearest Neighbors	0.88	0.94
Gaussian Naive Bayes	0.84	0.69
Support Vector Machine	0.62	0.34

< 그림 6 >

인풋으로는 left arm, right arm, shoulder, left ear, right ear, nose, ratio of the length of shoulder and the distance between left arm and nose, ratio of the length of shoulder and the distance between right arm and nose를 사용하였다. 미리 찍어둔 기침하는 영상으로 데이터 셋으로 사용하여 모델을 학습시켰고 KNN모델에서 가장 높은 정확도를 얻을 수 있었다. 따라서 KNN모델을 사용하여 기침 혹은 재채기를 탐지하였고 탐지가 되었을 경우 사람이 서 있는 바닥 일정 영역을 Object Tracking 알고리즘에 넣어 로봇이 목적지까지 잘 이동할 수 있도록 좌표 시스템을 구현하였다.

개략적인 방역 로봇의 주된 목표는 기침 행위를 판별한 후 기침이 발생한 장소까지 이동할 수 있는 로봇을 제작하는 것이다. 이를 달성하기 위해 우리는 이동 가능한 로봇을 제작해야 했기에 이를 Sunfounder사의 picar 모듈을 이용해 구현하였다. 로봇은 관찰 모드와 방역 모드가 존재한다. 먼저 관찰 모드에서는 앞서 설명한 밀접 접촉한 사람을 추적하고 기록하는 과정을 수행한다. 만약 그 과정에서 기침하는 사람이 발생하면 로봇은 방역 모드로 전환한다. 로봇이 방역 모드로 전환되면 기침을 하는 사람이 있던 장소를 추적하여 tracking 하는 것으로 이동하여 방역을 한다. 또한, 우리는 로봇의 외관을 제작하기 위해 3D 프린터를 사용했다. 3D 프린터는 Creality사의 Ender-3 Pro 모델을 이용하였고 Picar 차체를 전부 커버하는 형태의 로봇을 제작하는 것을 계획했다. 로봇의 외관은 Purius라는 주제에 걸맞게 순백의 몸체에 디스플레이와 카메라, 그리고 소독액을 분사할 수 있는 모듈을 달린 형태로 계획하였다.



그림 7

최종 로봇의 외관은 그림 7과 같은 형태로 완성되었다. 먼저 목표했던 picar 전체를 감싸는 부

분은 계획대로 수행하지 못하였다. 이는 3D 프린터의 크기 제한과 picar 모터가 감당할 수 있는 무게의 제한으로 인해 축소한 것이다. picar를 완전히 덮어내기 위해서는 반지름 15cm 이상, 높이 24cm 이상의 원기둥이 필요했는데 디스플레이 길이 11cm와 picar 회로와 바퀴까지의 거리를 측정하여 나온 값이었다. 이 24cm의 원기둥과 반지름 15cm의 반구 형태의 머리까지 고려했을 때 수행 목적에 비해 과도하게 거대한 형태의 로봇이 완성될 것으로 예측되었다. 지나치게 큰 로봇은 사람이 지나다니는 장소에서 즉시 방역이라는 목적을 수행하는 것에 오히려 악영향을 미칠 것으로 판단했다. 또한, 완성된 무게로 예상되는 정도의 부하를 주고 picar를 움직였을 때 무게를 견디지 못하고 매우 느리게 이동하는 것을 알 수 있었다. 따라서 우리는 로봇의 몸체를 picar의 회로 부분을 덮는 정도로 사이즈를 변경하였다. 대신 바퀴가 드러나는 부분을 COVID-19 방역 로봇이라는 취지에 맞게 방역복과 같은 재질을 가진 흰색의 우의를 이용하여 덮기로 결정했다.

로봇이 관찰 모드에서 기침하는 사람을 발견하여 방역 모드로 전환 됐을 때 로봇이 기침하는 사람을 발견한 장소까지 이동하는 것으로 로봇 이동의 계획을 세웠다. 먼저 기침하는 사람이 감지되었을 때 그 사람이 있던 장소의 바닥을 인식하고 그 장소로 로봇이 이동하는 것이 우리의 목표였다. 먼저 로봇을 조립하기 이전 실험을 해보았을 때는 의도한 것처럼 이동했다. 하지만 로봇을 전부 조립하고 난 뒤에 다시 시도해보니 로봇이 디스플레이도 사용하고 캠도 사용하는 등 많은 디바이스를 사용하는 바람에 라즈베리 파이 전력이 부족하여 로봇이 이동하면 재부팅이 되는 현상이 지속적으로 발생했다.

우리는 이 현상을 해결하기 위해 다음과 같은 방법을 통해 해결하려고 했다. 우선 관찰 모드 일 때 사용하는 다른 디바이스의 사용을 중지하는 것으로 전력 사용을 최소화하고 오직 캠과 라즈베리 파이, 그리고 picar만 활성화시키는 것으로 전력 부족을 해결하려고 하였다. 하지만 여러 test를 거치면서 캠과 picar만을 사용해도 필요로 하는 전력이 부족하여 라즈베리 파이가 재부팅되는 버그가 지속적으로 남아있었다. 비록 이 문제는 이번 프로젝트에서 주어진 기한 내에 해결하지는 못했지만, 라즈베리 파이 2개를 이용해 전력을 분산하는 등의 방안으로 추후에 해결 가능할 것으로 예측된다.

기침을 감지한 뒤 방역 모드로 진입하여 로봇이 이동한 뒤에는 그 주변을 방역하는 과정을 수행하는 것을 계획했다. 우리는 이 과정을 수행하기 위해 여러 분사 모듈을 찾아보았고 5V ultrasonic humidifier module을 이용하기로 결정하였다. 이 모듈은 전원이 들어오면 지속적으로 분사가 되기 때문에 필요한 시점에만 분사하도록 만들어야 했다. 먼저 생각한 방식은 USB 포트를 제어함으로써 모듈을 제어하는 것이었다. 하지만 라즈베리 파이의 USB 포트는 하나의 포트만 제어하는 것이 아닌 전체 USB 포트를 제어하는 것만이 가능하여 다른 USB 포트를 이용하는 우리 연구 과제에는 맞지 않는 방식이었다. 따라서 우리는 relay를 이용하여 ultrasonic humidifier module을 제어하는 방식을 채택하였고 이를 완성할 수 있었다. 우리는 방역을 하는 부분이 로봇의 앞부분에 있으므로 그 부분을 집중적으로 방역하는 방안을 생각했다. 다만 한 가지 아쉬운 점이 있다면 원래 ultrasonic humidifier module은 5V를 사용하는데 라즈베리 파이에서 3.3V를 주어 모듈의 출력이 본래 5V를 받았을 때의 힘에 비교해 약하게 나오는 것이다.

○ 연구결과 및 활용방안

Social Distancing Recorder는 꽤 높은 정확도를 보였다. 이 모듈에서 핵심은 사람을 잘 인식하여 사람 간의 거리를 정확하게 구해내는 것인데 Pedestrian Detection 모델과 Depth camera의 depth 정보의 높은 정확도가 크게 기여하였다. 물론 이는 카메라 시야 안에 들어와 있는 경우에

만 해당된다. 또한, 사람들이 겹쳐있어서 depth 정보를 정확하게 가져오지 못하는 경우에는 밀접접촉 여부를 판단하는 것이 제한된다. 하지만 제한된 환경에서 Purius는 Social Distancing Recorder를 통해 화면안에 사람이 몇 명이든 몇 명이 밀접접촉을 하고 있든 24시간 밀접접촉정보를 기록할 수 있다. 다음은 데모 결과이다.



그림 8: 서로 떨어져 있는 경우



그림 9: 밀접접촉 한 경우



그림 10: 캡쳐된 화면

Cough Detector의 경우 조금 더 제한된 환경을 가정한다. 우선 기침하는 사람의 모든 신체가 프레임에 나와 있어야 한다. 그리고 기침하는 행위로 인식할 수 있는 자세 또한 제한된다. 현재 모듈에서 감지할 수 있는 기침 행위는 사람이 서 있는 상태에서 손으로 입을 가리고 고개를 숙이는 자세로 제한된다. 따라서 가만히 서서 기침만 하는 경우 혹은 뒤돌아서서 기침하는 경우는 인식하지 못한다. 하지만 이러한 제한된 환경내에서는 꽤 높은 정확도를 보였다. 또한 기침 행위가 감지되어 해당 사람이 서 있는 장소를 트레킹하는 것 또한 로봇이 해당 장소까지 이동할 때 까지 비교적 정확한 좌표를 제공할 수 있었다. 다음은 데모 결과이다.

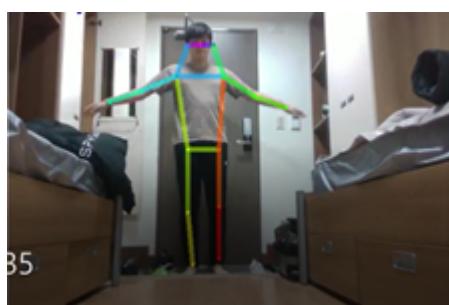


그림 11: Human pose estimation 결과
35

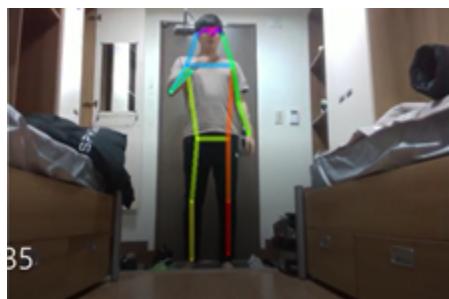


그림 12: 기침하는 행위 탐지
35



그림 13: 탐지 후
사람이 서 있는 위
치 인식

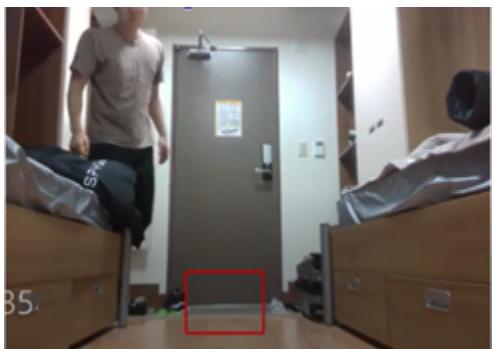


그림 14: 사람이
서 있는 위치 트레
킹

밀접접촉자를 감지하여 데이터베이스에 저장하는 것은 많은 이점을 가지고 있다. 현재 역학 조사에서 진행하는 밀접접촉자 판단은 인력을 많이 필요로 하는 작업이다. 2020년 12월 말에는 하루에 확진자가 천 명이 넘어가는 등 인력의 소요는 줄어들지 않고 계속해서 늘어나고 있는 실정이다. 제한된 인력을 이용하여 이 모든 사람과 관련된 영상을 분석하기란 COVID-19으로 역학 조사 인력과 의료진 인력이 지난 일 년간의 희생을 하였기에 그들에게 더 큰 희생을 강요하는 것은 불가능하다고 볼 수 있다. 하지만 purius를 이용하여 밀접접촉자를 찾아내고 그 밀접접촉을 데이터베이스화하여 저장하는 연구를 통해 이 문제를 최소한의 인력과 최소한의 노력으로 빠르게 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

기침을 감지하여 즉시 방역을 수행하는 것 역시 많은 이점을 가지고 있다. 빠른 역학 조사를 통해 확진자를 추적하는 것 역시 중요하지만, 가장 중요한 것은 COVID-19 바이러스에 노출되는 사람을 최소화하여 COVID-19 확진자를 본질적으로 줄이는 것일지도 모른다. 따라서 Purius를 이용하여 즉시 방역을 통해 COVID-19 바이러스에 노출되는 사람의 수를 줄이는 것이 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 이러한 점에서 볼 때 기침을 감지하여 위험지역을 빠르게 방역하는 즉시 방역 모델은 COVID-19 감염을 최소화하는데 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

우리의 연구를 발전시켜 다양한 곳에서 사용할 수 있을 것으로 예측된다. 먼저 Purius는 로봇의 형태를 가졌기 때문에 유동인구가 많은 공공장소에서부터 CCTV를 설치하기 어려운 길거리나 골목까지 설치할 수 있다. 한자리에 고정된 CCTV와 비교했을 때 로봇은 유동적으로 설치가 가능한 장점이 있다. 이 장점을 활용하여 CCTV가 설치된 곳을 보조하거나 CCTV가 미처 닿지 못하는 부분까지 보충하는 임무를 수행할 수 있을 것으로 예측된다. 또한, 로봇을 더 발전시켜 즉시 방역을 완료한 이후 방역 당국과 Purius가 데이터를 공유하는 등의 방식을 통해 효과적으로 로봇을 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 참고문헌

- 1) <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%97%AD%ED%95%99%EC%A1%B0%EC%82%AC>

-
- 2) <http://www.cukjournal.com/news/articleView.html?idxno=3099>
 - 3) https://docs.openvinotoolkit.org/2018_R5/_samples_human_pose_estimation_demo_README.html
 - 4) https://en.wikipedia.org/wiki/Pedestrian_detection