

비전 프로세싱을 이용한 화재진압 DARwIn-OP 시스템

이은섭¹, 이동형², 김경태², Adith Jagadish⁵, Amy Wagoner⁵, 나요안나³, 정주은⁴, 고석주¹, Eric T.Matson⁵

¹경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 ²송실대학교 컴퓨터학부 ³서강대학교 컴퓨터공학과
⁴목포대학교 컴퓨터공학과 ⁵Purdue university

Extinguishing A Fire System of DARwIn-Op Using Vision Processing

Eun-Seop Lee¹, Dong-Hyung Lee², Kyeong-Tae Kim², Adith Jagadish Boloor⁵, Amy Wagoner⁵, Yo-an-na Na³, Ju-Eun Jung⁴, Seok-Joo Koh¹, Eric T.Matson⁵

¹School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

²School of Computer Science and Engineering, Soongsil University

³Department of Computer Science and Engineering, Sogang University

⁴department of computer engineering Mokpo national university ⁵Purdue university

요 약

이 논문에서, 우리는 휴머노이드 로봇인 다윈에 내장되어 있는 색 접근법을 이용한 비전 프로세싱을 통해 화재가 난 위치에 접근하며, 적정거리에 도달했을 경우, 다윈의 손에 들고 있는 분무기로 화재를 진압하도록 하는 “화재진압다윈”을 만들었다. 여러 논문에서 화재진압용 로봇들을 소개하였지만, 우리는 다윈이라는 휴머노이드 로봇을 이용하여 화재를 진압하도록 하였다. 아직까지 휴머노이드 로봇을 실용적으로 사용하기에 많은 문제들이 존재한다. 하지만 휴머노이드 로봇 분야는 사람이 할 수 있는 사다리 타기, 계단 오르기, 장비 다루기 등과 같은 여러 가지 기능들을 수행할 수 있으므로 많은 잠재력을 가지고 있다. 이번 리서치에서 시도한 화재진압다윈 역시 실용적인 부분에서는 아직 많은 미흡한 점들이 있지만, 미래의 잠재력에 한발자국 나아갔다는 부분에 있어서 많은 의미를 둔다.

1. 서론

화재를 진압하는데 있어서, 소방관들은 화상, 유독가스과 같은 위험한 상황과 직면하는 경우가 빈번하다. 심지어 실제 화재진압도중 안타깝게 순직하는 경우도 있다. 이와 대조적으로 로봇은 화상과 유독가스 위험에서 자유로우면서도 소방관과 같이 화재를 진압할 수 있다. 다른 말로 말하면 화재상황에 로봇을 투입한다면, 소방관들의 부상을 방지할 수 있으며, 심지어 소중한 목숨까지도 구할 수 있음을 말한다. 이러한 이유 때문에 많은 사람들은 로봇으로 화재를 진압하기 원하며, 현재 많은 화재진압로봇연구가 활발히 진행되고 있다.

여기에 몇 가지 화재진압용 로봇들이 있다. [1]과 뱀 모양으로 만들어진 [2]는 카메라를 통해 소방관들이 로봇을 조종하며 화재를 진압한다. 또한 센서를 이용하여 화재를 감지하는 로봇도 있다. [3]의 로봇은 사람이 조정하거나 아니면 자율주행을 이용하여 지정된 공간 안에서 정찰을 실시한다. 그리고 화재 센서(Flame Sensor)를 이용해 단지 화재의 발생 유무를 알리도록 개발되어 있다. [4]에서는 자외선 센서(Ultraviolet sensor)를 이용하여 화재를 발견하고, 화재와의 거리를 계산해 물을 뿌리게 하는 일을 자동으로 수행한다. 비전 프로세싱(Vision processing)으로 화재를 발견하는 로봇도 있다. [5]은 LWIR Camera를 통해 얻은 열 이미지(Thermal image)를 이용해, 상대적인 열 밀도(density)를 구하며 자외선 센서의 값을 참조하여 화재장소

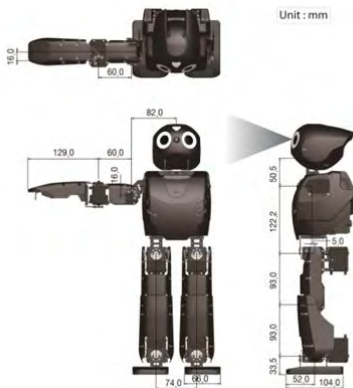
로 접근한 뒤, 화재를 진압한다. 마지막으로 [6]은 색 접근법(Chromatic approach)을 사용하여 화재를 발견하고, 거리를 측정하여 화재를 진압한다.

Classifications		1	2	3	4	5	6
Device	Temperature Sensing		O				O
	Gas Sensing		O				
	Camera	O	O				O
	Flame sensor			O			
	Ultraviolet sensor				O	O	
Control	LWIR Camera					O	
	Remote Control	O	O	O		O	
Autonomous	Detecting a fire	X	X	O	O	O	O
	extinguish a fire	X	X	X	O	O	O
Other	Humanoid	X	X	X	X	X	X

<표 1>. 위에서 언급한 화재진압로봇들의 정보 (O=yes, X=no, 빈칸=알 수 없음)

위의 리서치들을 참고했을 때, 리모트 컨트롤(Remote Control)을 이용하거나, 센서, 비전 프로세싱을 통해 화재를 자동으로 진압하게 구성되어 있음을 알 수 있다. 하지만, 리모트컨트롤의 경우 반응이 느리며, 소방관 한 사람당 한 개의 로봇만을 담당해야하기에 여러 가지 한계가 존재한다. 또한 센서 같은 경우는 Low range이며 환경변화에 민감하기 때문에 화재를 감지하는데 몇몇 어려움이 존재한다. [6] 또한 로봇의 이동수단을 보았을 때, 위의 모든 로봇이 바퀴를 이용한 방식을 채택하였다. 아직까지 휴머노이드

로봇에는 실용적으로 사용하기에 많은 문제들이 존재한다. 하지만 휴머노이드 로봇은 사람이 할 수 있는 사다리 타기, 계단 오르기, 장비 다루기 등과 같은 여러 가지 기능들을 수행할 수 있으므로 많은 잠재력을 가지고 있다. 위와 같은 이유 때문에 이번 리서치에서 초점을 맞춘 부분은 비전 프로세싱과 휴머노이드 부분이다. 휴머노이드 로봇 중에서 비전 프로세싱을 지원하는 몇몇 로봇이 존재한다. 하지만 우리가 선택한 로봇은 <그림 1>에 보이는 것과 같이, Purdue 그리고 Pennsylvania 대학교와 협력 연구한 Virginia Tech에서 만든 DARwIn-OP(Dynamic Anthropomorphic Robot with Intelligence - Open Platform)이란 휴머노이드 로봇이다.[7] 이 다윈(DARwIn-OP)은 오픈 플랫폼이며, 많은 유저 커뮤니티 그리고 확장성이 용이하기에, 우리가 원하는 방향으로 쉽게 개발할 수 있었다.

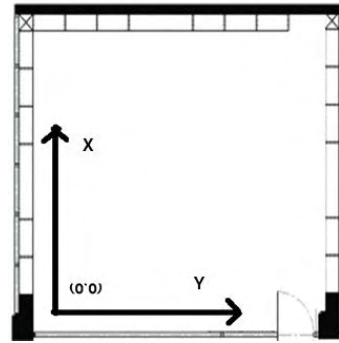


<그림 1> 다윈 파라미터

2. 로봇 설계 및 구현

화재진압다윈은 <그림 2>와 같이, 정해진 공간 안에서 화재진압을 위한 시나리오의 한 부분을 담당하고 있으며, 그 시나리오는 아래와 같다. 먼저 센서를 통해 화재가 감지되면, 시스템에 화재감지를 알림과 동시에 UGV(Unmanned ground vehicle)가 화재를 찾으러 이동한다. 그리고 UGV가 실제 화재를 발견할 시, 그 화재위치를 다윈에게 보내주도록 하였고, UGV로부터 좌표를 받은 다윈은 화재 예상지점보다 약 35cm 떨어진 지점에서 멈추고, 화재를 발견할 때까지 제자리에서 한 바퀴를 돈다. 만약에 다윈이 화재를 발견한다면, 한 바퀴 도는 것을 멈추고, 그 지점으로 걸어간다. 그리고 화재를 진압하기에 적절한 거리(약 20cm)와 다윈 몸통 안쪽으로 각도가 도달했을 경우 “RobotPlus”로 만든 “Extinguish동작”을 실행함으로써 화재를 진압하게 하였다.

이 일을 수행하기 위해서 우리는 비전 프로세싱, 다윈의 기본 손을 Gripper arm와 교체 및 분무기 장착, Walking 튜닝 및 Walking 클래스 소스 수정, 화재 트래킹 그리고 Extinguish모션 제작 이렇게 5가지 일을 중점적으로 수행하였다.



<그림 2> 실험한 장소

2.1 비전 프로세싱

로봇공학에서 비전 프로세싱은 환경에서 물체를 인지하는데 유용한 기술 중 한가지로, 그에 관한 많은 리서치들이 존재한다. Horng의 리서치에서는 밝거나 어두운 환경 속에서 화재유사지역의 대략적인 구분을 위해 HIS 컬러모델(color model)을 사용하였다.[8] Punam Patel의 리서치에서는 YCbCr와 YCbCr모델 사이에서 화재픽셀탐지(fire pixel detection)의 움직임에 대한 영역탐지(area detection)와 함께 적절한 임계 방법들을 사용하였다. [9] Turgay Celik는 화재픽셀의 움직임을 감지를 위한 초기감지와 그 후 배경추출을 위해서 RGB모델에서 CIE's LAB 색상공간(color space)로 전환시켰다.[10] 그리고 Rangan M K는 RGB와 YCbCr 색상공간(color space)안에서 적절한 임계값을 통하여 색 특성(color property)과 조도(illuminance) 이 두개의 기본적인 화재의 성질을 추출함으로써 화재를 감지하였다.[11]

우리가 사용하는 다윈은 색 접근법(Chromatic approach)을 사용한다. 색 접근법은 각각 물체가 가지고 있는 색으로 물체의 존재를 구분하는 기법인데, 색상공간(color-spaces)과 세그멘테이션 모델들을 이용한다. Caleiro, António와 Armando가 발표한 논문에 따르면 robotics application을 위한 색 기반의 색상공간에는 RGB, YUV, HLS, HSV, 그리고 IHLS 이렇게 5가지 방법이 있다.[12] 그리고 우리가 사용하는 다윈은 위에 언급한 여러 가지 모델들 중에서 실시간 물체구분(real-time object recognition)에서 가장 효과적인 HSV(Hue, Saturation and Value) 모델을 이용하여 색으로 물체들을 구분한다.

기본적으로 다윈은 빨간색 공을 감지하는 기술이 내장되어 있다. 하지만 우리가 개발할 화재진압다윈이 찾아야 할 색은 빨간색이 아니라 불(fire)의 색이다. 많은 사람들이 불의 색이 빨간색이라 생각하지만, 사실은 노란색에 가까웠다. 그렇기에 다윈에게 찾아야 할 색을 지정하는 ColorFinder 클래스에 불에 적절한 색의 값(Hue, Saturation 그리고 Value)을 입력해줘야 한다. 우리는 불의 정확한 값을 찾기 위해서, DARwIn-OP의 e-manual[13]에 이미지 프로세싱 부분을 참조하면서, 라이트를 사용해, HSV안에서 로봇 비전 시스템으로부터 찍힌 불 색깔의 정확한 값들을 추출하였다. 그것의 결과로 hue는 65, Saturation는 0, 마지막으로 Value는 75의 값이 적절하다는 걸 알아냈다. 또한 각각의 물체에 대해 칼라 세그멘테이션을 효과적으로 수행하기 위해서, 적절한 용인 값(appropriate tolerance value)이 필요했다. 불의 정확한 값을 추출하는 것은 어려운 일이었지만, 위의 실험방법을 이용해 정확한 불의 값을 추출하였다.

2.2 기본 팔을 Gripper arm과 교체 및 분무기 장착

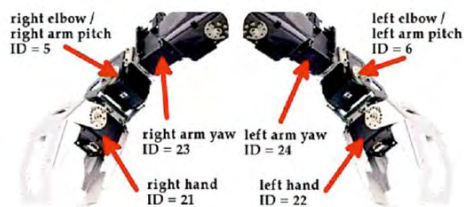
화재를 진압하기 위해 어떤 방법을 사용할 것인지는 화재진압로봇에게 중요한 일이다. 우리는 물을 발사함으로써 화재를 진압하도록 하였지만, 위에 언급된 화재진압로봇들과 다른 점이 있다면, 다윈은 휴머노이드 로봇이라는 점이다. 이는 사람과 같이 화재를 진압할 때 도구를 사용할 수 있음을 나타낸다. 그래서 우리는 손에 작은 분무기를 고정하고 화재를 진압하라는 시그널을 받을 시, 물을 발사하도록 하였다.

이 일을 위해서는 두 가지 일을 수행해야 한다. 첫 번째는 다윈이 잡기에 적합한 분무기를 구하는 것이다. 그리고 두 번째는 손가락이 없어서 분무기를 발사할 수 없는 다윈의 기본 팔을 손가락이 있는 Gripper arm과 교체하는 일이다. 다윈이 분무기를 잘 다루기 위해서는 분무기가 다윈의 상체크기보다 작아야 한다. 그래서 우리가 사용한 분무기는 <그림 3>의 모습이다. <그림 1>과 <그림 3>을 참조하면 알 수 있듯이, 다윈의 상체의 높이는 122.2mm이며, 분무기의 높이는 75mm이므로 다윈이 사용하기에 적절한 크기임을 알 수 있다. 그러나 Gripper arm는 그것을 다윈에 부착하며, 우리가 원하는 대로 작동시키기에는 몇몇 어려움이 존재하였다.



<그림 3> 분무기(높이 75mm, 넓이 50mm)

다윈에 쓰이는 스크루의 크기가 너무 작았으며, 관절부위에 위치한 스크루를 조이는데 있어서 스크루드라이버를 사용하기 다소 불편함이 있었다. 또한 TellDarwin으로부터 가져온[14] <그림 4>를 보면 알 수 있듯이, 기존 다윈의 관절 servo보다 각각 2개의 servo가 더 존재한다. 그렇기 때문에, 물리적인 연결을 실시하여도, 다윈이 총 4개의 추가적인 servo를 읽도록 수행해야 했다. 그래서 우리는 다윈에 내장되어 있는 “dxi_monitor”를 이용해 각 팔의 ID를 읽어오도록 하였다.



<그림 4> DOF DARwIn's gripper hand

2.3 Walking 튜닝 및 Walking 클래스 수정

다윈의 손을 Gripper arm으로 교체하며, 분무기를 고정시킨 뒤, walking 프로그램을 실행시켰을 때, 계속 앞으로 넘어지는 문제가 발생하였다. 그래서 우리는 분무기를 장착한 다윈의 무게중심을 교정하기 위해 다윈의 프레임워크에 설치된 “Walking Tuner”를 사용하여 앞으로 집중되어 있

는 다윈의 무게중심을 수정하도록 하였다. 우선 Hip pitch offset을 수정하여 다윈의 상체가 뒤로 이동하게 하였다. 그리고 다윈의 walking speed를 약 10% 정도 느리게 하였다. 이렇게 수정하였지만 Walking 자세는 다윈의 손과 어깨가 최대한 다윈의 몸통에 붙이도록 되어있기 때문에, Walking Tuner로는 무게중심문제를 완벽하게 해결하지 못했다.

그래서 우리는 그 다음으로 Walking 클래스에 다윈이 걸을 때 어깨와 손의 요(yaw) 위치를 아래로 내리도록 코드를 수정함으로써 <그림 5>에 보이는 바와 같은 형태에 이르게 되었고, 균형문제를 해결하였다.



<그림 5> 물리적 세팅이 완료된 화재진압다윈의 앞 측 모습

2.4 화재 트래킹

이 리서치에서 가장 큰 어려움은 다윈이 화재가 발생한 곳을 찾고, 정확히 트래킹하며, 화재를 진압하는 것이다. 다윈은 UGV로부터 받은 화재예상지점으로 이동한 뒤, 도착했을 때부터 카메라로 화재를 감지하기 시작한다. 그렇기에 UGV로부터 받은 위치로 이동하는 도중 카메라에 화재가 잡혀도 무시하게 되며, 화재예상지점에 정확히 도착할 때, 카메라로 화재를 찾기 시작한다. 하지만 <그림 5>와 같이 카메라가 물체와 너무 가까이에 있어서 물체를 확인할 수 없는 사각지대에 화재가 위치하게 되는 경우가 종종 발생하였다. 그래서 우리는 UGV로부터 받은 위치로부터 약 35cm를 덜 이동하게 하여 이 문제를 해결하였다. 또한 다윈이 지형과 walking 시 반동의 영향을 받아 정확하게 앞으로 이동하지 못하는 경우가 빈번히 발생하였다. 그렇기에, 화재가 근처에 있어도, 카메라의 좌우 시야를 벗어나 화재를 발견하지 못하였다. 이 문제를 해결하기 위해서 다윈은 화재예상지역으로 이동하고 난 뒤, 그 자리에서 한 바퀴를 돌며, 화재가 다윈의 시야에 들어 올 경우, 한 바퀴 도는 함수를 정지시키도록 하였다.



<그림 5> 받은 위치로 정확히 이동할 때, 오히려 다윈이 화재를 시야에서 놓치는 경우가 발생함

다음은 다윈의 vision system을 이용하여, 화재를 찾아가도록 만들어야 한다. 이 문제를 해결하기 위해서 우리는 기

존에 존재하였던 tracking과 following the ball 함수들을 이용하였다. tracking the ball함수는 그대로 사용하였지만, following the ball함수는 수정함으로써 위에서 입력한 불의 값을 발견 할 경우, 자동으로 적절한 거리(약 20cm)와 다윈의 몸통 안쪽으로 불의 범위가 들어오도록 하였으며, 두 조건을 만족 할 경우, 화재를 진압하라는 시그널을 발생시키도록 하였다.

2.5 Extinguish모션 제작

마지막으로 화재의 근처에 다가갔을 때 다윈의 Gripper arm이 분무기를 잡음으로써 물을 발사해야 한다. 이것에 대한 적절한 모션을 만들기 위해 우리는 “RobotPlus”라는 소프트웨어를 이용하여, 다윈의 오른손을 앞으로 내밀고, Gripper arm에서 분무기가 물을 발사 할 정도의 힘을 주어 화재를 진압하도록 하였다. 이 때 동작이 너무 빠르면 다윈이 넘어질 수 있으므로, 넘어지지 않을 정도로 모션의 속도를 느리게 하였다.

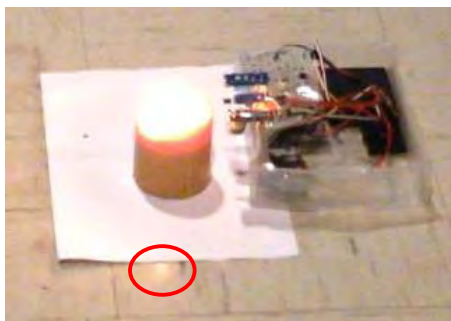


<그림 6> 분무기를 앞으로 내밀고 발사하는 다윈의 모습

3. 실험 성능 분석

우리가 만든 화재진압다윈으로 실제 여러 번의 실험을 통하여 화재를 찾고 화재방향으로 이동하여, 분무기를 발사하는 일련의 과정에 대한 성공률이 80%정도임을 확인할 수 있었다. 하지만 여기에도 몇 가지 문제점이 존재하였다.

첫 번째는, 분무기를 발사하여도 정확히 불을 맞추지 못하여서 화재를 진압하는 시늉만 하지, 실제 화재를 진압할 수는 없었다. 또한 <그림 7>과 같이 불의 반사광 때문에 다윈이 불이 아니라 반사광을 인식하는 경우가 종종 발생하였다.



<그림 7> 반사광 발생

4. 결론

실용적인 부분에 있어서 좀 더 보완해야 할 부분들이 존재하지만 다윈이 화재를 진압할 수 있는 시나리오를 세우고 위에서 언급한 기술을 이용하여 이 로봇을 구현하였다. 본 리서치를 통해 휴머노이드 타입의 로봇이 화재진압에 유용

하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 NIPA 서울어코드활성화사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- [1] Pyung-Hun Chang, Young-Hwan Kang, “Control Architecture Design for a Fire Searching Robot using Task Oriented Design Methodology” Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference 2006, pp. 3126-3131
- [2] Pål Liljebäck, Øyvind Stavdahl and Anders Beitnes “SnakeFighter - Development of a Water Hydraulic Fire Fighting Snake Robot” in Control, Automation, Robotics and Vision, December 5-8, 2006, pp. 1-6
- [3] KuoL. Su, “Automatic Fire Detection System Using Adaptive Fusion Algorithm for Fire Fighting Robot” Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 966-971
- [4] Manish Kumbhare, S.S. Kumbhalka, and Ratnesh Malik, “FIRE FIGHTING ROBOT : AN APPROACH,” vol. 2, issue. II, pp. 1-4, 2012.
- [5] Jong-Hwan Kim, Brian Keller and Brian Y. Lattimer “Sensor Fusion Based Seek-and-Find Fire Algorithm for Intelligent Firefighting Robot” Proceedings of 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), pp. 1482-1486
- [6] Rangan M K, Rakesh S M, Sandeep G S P and C Sharmila Suttur “A Computer Vision based approach for Detection of Fire and Direction Control for Enhanced Operation of Fire Fighting Robot” 2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision and Embedded Systems
- [7] Inyong, H.A., et al.: Development of open humanoid platform DARwIn-OP. In: 2011 Proceedings of the SICE Annual Conference (SICE), pp. 2178-2181. IEEE (2011)
- [8] W.B. Horng, J.W. Peng, and C.Y. Chen, “A New Image-Based Real-Time Flame Detection Method Using Color Analysis,” in IEEE Networking, Sensing Control, 2005.
- [9] Punam Patel and Shamik Tiwari, “Flame Detection using Image Processing Techniques,” in International Journal of Computer Applications, vol. 58, 2005.
- [10] Turgay Celik, “Fast and Efficient Method for Fire Detection Using Image Processing,” in ETRI Journal, vol. 32, 2010
- [11] Shaohua CHEN, Hong BAO, Xianyun ZENG and Yimin YANG “A Fire Detecting Method Based on Multi-sensor Data Fusion” in Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on , pp. 3775-3780
- [12] Caleiro, P.M.R., Neves, A.J.R., Pinho, A.J.: Color-spaces and color segmentation for real-time object recognition in robotic applications. Electrónica e Telecomunicações, 940-945 (2013)
- [13] ROBOTIS, DARwIn-OP e-Manual v1.28.00, <http://support.robotis.com/ko/product/darwin-op.htm>
- [14] Krzyzaniak, M.: TellDarwin Reference. Idea Lab. University of Georgia Web (June 15, 2013), <http://idealab.uga.edu/Projects/Darwin/Reference.html>