

여유자유도 로봇의 장애물 회피 시뮬레이션 (II)

- 기계시각과 검증실험 -

A Simulation of Obstacle Avoidance with a Redundant Robot

- Machine Vision and Evaluation -

류관희*	박정인*	류영선**	김기영*
정희원			정희원
K. H. RYU	J. I. PAK	Y. S. RYU	G. Y. KIM

1. 서론

로봇의 생물생산에의 적용은 작업환경이 일반 산업과 매우 다르고 작업대상이 일정하지 않기 때문에 많은 어려움이 있다. 특히 과실수확과 같이 복잡한 작업환경에서는 로봇이 장애물과 충돌하는 문제가 발생하기 때문에 이러한 복잡한 환경에서 작업하는 로봇은 작업의 유연성이 크게 요구되며 기존의 2-링크 시스템의 6자유도 이하의 로봇으로서는 작업수행이 불가능한 경우도 발생하게 된다.

이와 같은 복잡한 환경에서, 머니플레이터에 의해 유연한 작업이 이루어질 수 있는 로봇과 장애물 환경 인식 시스템의 사용이 유용할 것으로 판단된다. .

따라서 본 연구의 목적은 과실 수확용 로봇에 3차원 공간상의 장애물 및 수확 대상물에 관한 정보를 제공할 수 있는 기계 시각을 이용한 장애물 환경인식 시스템을 개발하는데 있으며, 또한 이 시스템과 운동 경로 생성 및 기준속도 생성 방법을 바탕으로 한 여유자유도 로봇의 장애물 회피 프로그램의 과실 수확 작업에의 적용 가능성을 실험을 통하여 검증하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 수확 대상물의 인식

수확 대상물과 장애물은 기계시각 시스템을 이용하여 인식하였다. 기계시각 시스템은 수확할 대상 과실과 피해야 할 장애물의 영상을 획득하여 3차원 공간에서의 위치를 파악하고 로봇이 장애물을 회피하여 대상 과실에 정확히 도달할 수 있도록 환경 정보를 제공하도록 하였다.

* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

** 삼주기계

수확 대상인 과실과 장애물 정보를 획득하기 위한 장치로 컬러 CCD 카메라(CV-950, Japan)를 이용하였다. 사용된 컬러 CCD 카메라 영상장치는 최대 768×494 화소의 해상도를 갖는 것으로 물체의 색, 크기, 종류 및 기타 필요한 정보를 종합적으로 판단할 수 있는 장점이 있다.

카메라로부터 입력된 영상정보는 영상처리용 프레임 그래버(FlashPoint 128, Integral Technologies, USA)를 통해 컴퓨터로 입력된다. 입력된 영상 정보에서 과실과 배경의 분리는 개체가 지니는 색차 정보를 이용하였다.

과실은 지나 배경에 비하여 화소의 RGB 값이 커서 밝고, 또한 R 값의 백분율이 B, G 값에 비해 크다. 이 때문에 색차 정보를 이용하여 과실과 가지, 그리고 배경을 쉽게 분리할 수 있었다.

과실과 가지를 각각 영상으로부터 분리한 후, 밝기 정보만을 추출하여 다시 화상으로 변환하였다. 밝기 정보만으로 변환된 영상을 문턱값을 설정하여 이치화하고, Roberts edge detection 알고리즘을 이용하여 경계선을 찾은 후 과실과 가지의 위치를 각각 계산하였다.

과실에 대하여 경계선을 찾은 후 과실의 중심점 위치를 계산하기 위하여 그림 1과 같은 개체 탐색 알고리즘을 사용하였다.

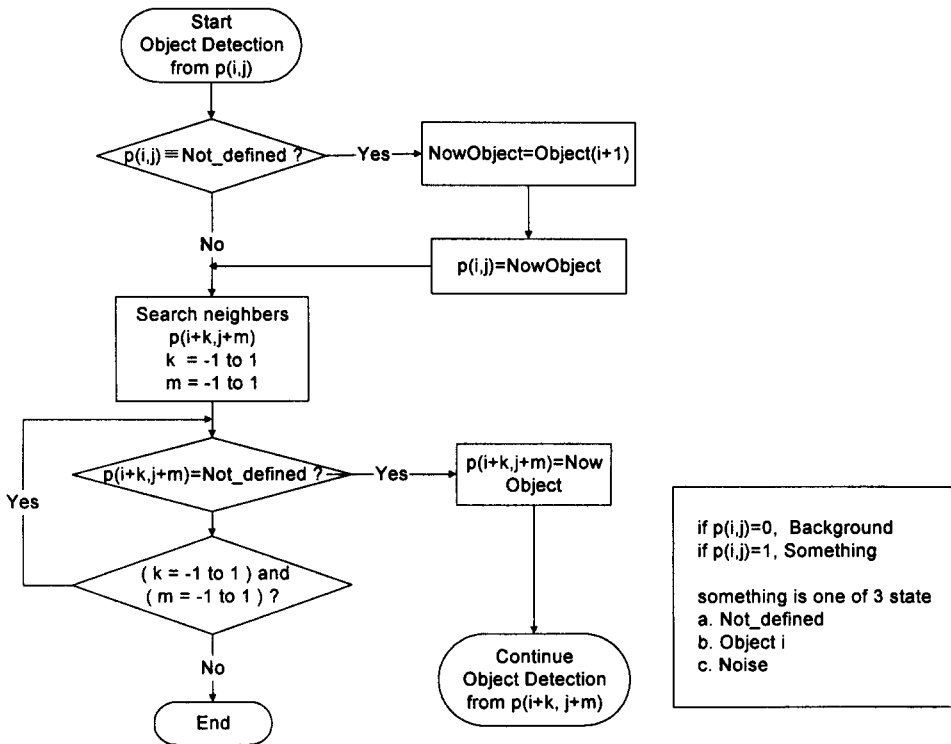


Fig. 1 Flow-chart of the object detection algorithm.

개체 탐색 알고리즘은 이치화된 영상에서 화면의 좌측 상단으로부터 흰 화소를 찾기 시작하는데, 찾아낸 처음의 흰 화소에서 주위에 이웃해 있는 흰 화소를 계속적으로 찾아감으로써 서로 접해 있는 화소들의 집합을 하나의 개체로 인식하는 알고리즘이다.

개체를 탐색하는 동안 특정 개체에 속하는 화소 수 N 과 최대, 최소 값을 갖는 화소의 위치 $x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}$ 를 기억해두고 N 이 일정 개수 이하일 때는 노이즈로 판단하여 개체로 지정하지 않는다. 또한 $x_{max} - x_{min}$ 과 $y_{max} - y_{min}$ 의 비가 상하한의 범위를 넘길 경우에도 개체의 원형도가 낮은 경우이므로 역시 개체로 지정하지 않는다. 이렇게 생성된 개체의 중심 위치는 다음과 같이 계산된다.

$$x_{ob} = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \quad y_{ob} = \frac{y_{max} + y_{min}}{2}$$

제시된 개체 탐색 알고리즘을 수행한 예를 그림 2에 나타내었다. 개체의 중심 위치에 있는 십자선이 계산된 개체의 중심이다.

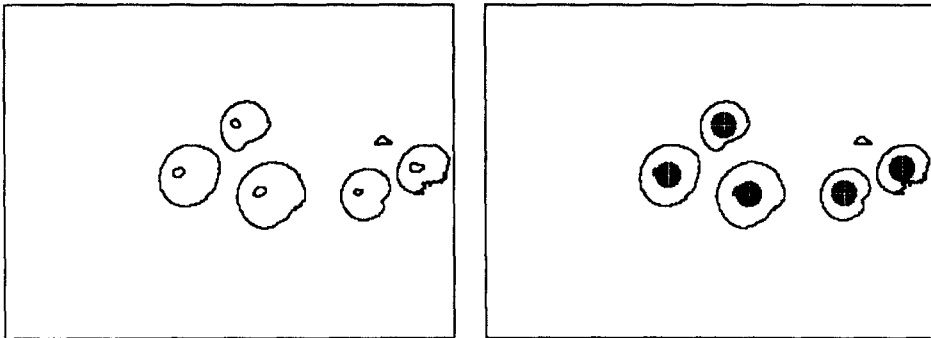


Fig. 2 Example of object detection.

2.2 Hough Transform을 이용한 나뭇가지 위치 계산

Hough transform은 영상에서 어떤 도형의 방정식을 찾기 위해 사용되는 일반적인 방법인데, 나뭇가지를 직선으로 가정한 후 Hough transform을 이용하여 영상의 원점으로부터의 거리 r 과 x 축과 이루는 각 θ 를 구하였다. 직선의 위치를 구하는 예를 그림 3에 나타내었다.

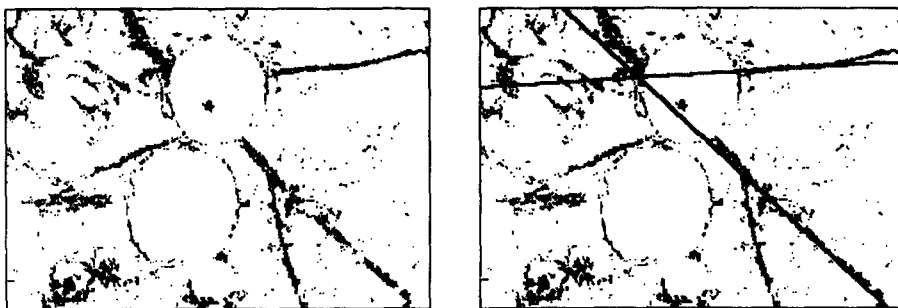


Fig. 3 Example of line detection using Hough transform.

2.3 공간상의 3차원 위치 결정

일정 거리 떨어진 곳에서 입력된 두 개의 영상에서 대상 물체의 중심 위치를 각각 구한 후, 두

물체 중심 위치의 차로 그 물체의 3차원 좌표를 구하였다. 이를 위해 먼저 두 개의 영상에 입력된 여러 개체들 중에 동일한 개체의 좌표를 인식한 뒤 카메라의 초점거리, 실제 영상이 맺히는 영상막의 크기, 화소의 수, 두 영상이 획득된 실제 위치 사이의 거리 등을 이용하여, 과실의 3차원 공간상에서의 위치 정보를 삼각측량법에 의해 계산하였다.

2.4 모의 과수에 대한 장애물 회피 실험

기계시각에 의해 수확 대상물의 3차원 공간상의 위치를 결정하고 장애물 회피 알고리즘에 의해 개발된 프로그램에 의하여 로봇 머니플레이터를 구동하여 수확 대상물의 위치에 정확히 도달하는 것을 목표로 하였고, 수확 대상물은 실험실 내에 설치한 모의 과수를 이용하였다.

로봇 시스템은 CRS Robotics사(캐나다)의 A465 로봇을 이용하였다. 이 로봇은 공간상의 위치 결정에 3자유도(dof, degree of freedom), 손목 부위의 자세 결정에 3자유도를 가진 6자유도 로봇이므로 장애물 회피에 필요한 여유자유도를 갖지 않는다.

따라서 연구를 위하여 로봇 머니플레이터의 손목 부위에 링크를 하나 더 부착하여 자세 결정에 사용되는 자유도 중 2자유도를 새로 부착된 링크의 위치 결정에 이용함으로써 공간상의 위치 결정에 5자유도를 구현하여 장애물 회피에 필요한 여유자유도를 확보하였다. 본 연구에서는 선단 작업부의 자세 결정에 사용되는 자유도를 희생하여 위치결정에 여유자유도를 구현하였기 때문에 선단 작업부의 자세는 고려하지 않았다.

3. 장애물 회피 실험 결과

주어진 목표물과 장애물의 환경정보를 이용하여 목표물까지의 안전한 경로를 구하여 경로를 추종하면서 장애물 회피를 만족하는 기준속도 벡터를 적용하여 개발된 프로그램에 의하여, 위치결정에 5자유도를 사용하는 여유자유도 로봇으로 장애물 회피를 만족하면서 목표물에 정확하게 도달하는지를 모의로 설치한 과수를 이용하여 검증하였다.

로봇 머니플레이터를 구동하여 수확 대상물의 위치에 정확히 도달하는 것을 목표로 하였고, 수확 대상물은 실험실 내에 설치한 모의 과수를 이용하였다.

3.1. 개발된 프로그램을 이용하여 안전한 경로와 관절해 구하기

개발된 프로그램을 이용하여 목표물까지의 안전한 경로를 생성하고, 주어진 경로를 추종하면서 장애물을 회피할 수 있는 기준속도 벡터를 설정하였다. 그림 4에 기계시각을 이용하여 수확 대상물 및 장애물을 인식하고, 주어진 환경 정보에 따라 가상 여유자유도 로봇이 장애물과 충돌하지 않고 과실에 접근하는 것을 나타내었다.

3.2. 로봇의 실제 구동

주어진 환경에 대해 모델링한 후 작성된 프로그램을 이용하여 관절각들을 구하고 실험실 내에 설치한 모의 과수에 대하여 실제로 로봇을 구동시켜 경로추종과 장애물을 회피하는 모습을 그림 5, 6에 나타내었다.

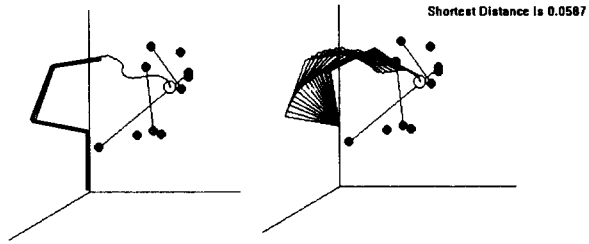


Fig. 4. A result of simulation for randomized bar-type obstacles.

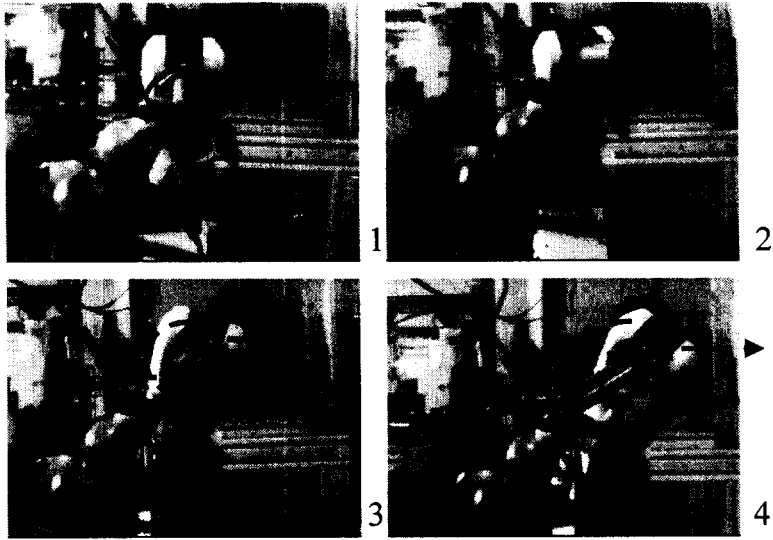


Fig. 5. Front view of robot operation.

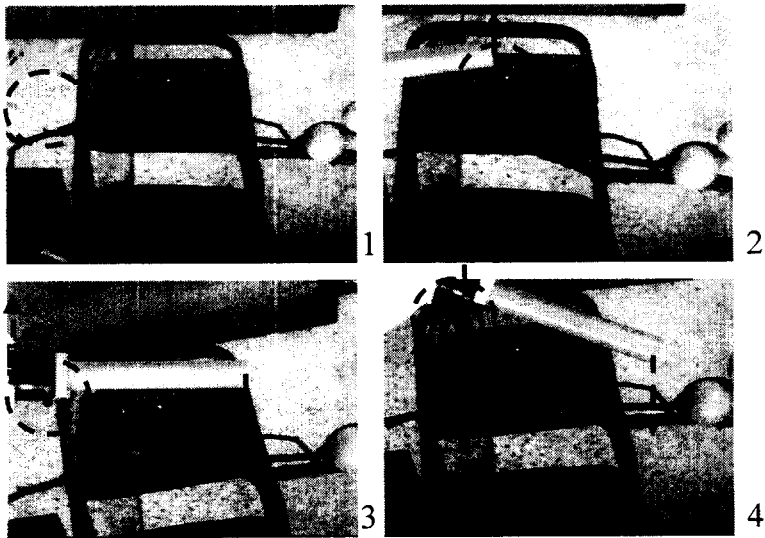


Fig. 6 Top view of robot operation.

그림 5, 6에 대한 설명은 다음과 같다.

1. 로봇의 초기위치(점선으로 표시된 나뭇가지 부분이 로봇의 움직임에 영향을 미치는 장애물)
2. 장애물의 영향으로 작업 선단부가 나뭇가지 반대방향으로 방향을 바꾼다.
3. 작업 선단부는 이미 장애물을 돌아서 목표물인 과실을 향해 움직이고 작업 선단부의 경로를 뒤따라오던 바로 이전 관절은 나뭇가지의 영향으로 방향을 바꾸기 시작한다.
4. 작업 선단부는 목표물로 더욱 밀착하고 이전 관절은 나뭇가지로부터 충분한 거리를 유지하고 있다.

이상과 같이 주어진 목표물과의 안전한 경로를 생성하고 주어진 경로를 추종하면서 장애물과 충돌하지 않고 과실 수확이 가능함을 보였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 3차원 공간에서 여유자유도를 갖는 농업용 과실수확 로봇이 미숙과일이나 가지와 같은 장애물과 충돌을 일으키지 않으면서 수확하고자 하는 목표물까지 이동하여 이를 수확하고자 하는 목적으로, 첫째 개체 탐색 알고리즘과 Hough transform을 이용하여 과실 수확 작업에서 수확 대상물 및 장애물을 포함하는 환경 정보의 인식 및 처리 방법을 제시하였고, 둘째 기 개발된 안전한 경로와 기준속도 생성을 위한 프로그램을 이용하여 실제로 로봇을 구동함으로써 장애물 환경에서 여유 자유도 로봇의 과실수확 작업에의 적용 가능성을 보여 주었다.

5. 참고문헌

1. 류영선. 1997. 여유자유도 로봇 머니플레이터의 과실 수확시 장애물회피 운동제어 알고리즘 개발. 서울대학교 박사학위 논문
2. Chand, S. and Keith L. Doty. 1985. On-line polynomial trajectories for robot manipulators. The International Journal of Robotics Research. v4(2):38-48
3. Edan, Y. and G. E. Miles. 1993. Design of an agricultural robot for harvesting melons. Transactions of the ASAE 36(2):593-603
4. Fu, K. S., R. C. Gonzalez and C. S. G. Lee. 1987. Robotics : control, sensing, vision, and intelligence. McGraw-Hill, Inc.
5. Khatib, Oussama. 1986. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. The International Journal of Robotics Research 5(1):90-98
6. Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. P. Ling and K. C. Ting. 1996. Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting. Transactions of the ASAE 39(6):2331-2338
7. Nakamura, Y. 1993. Advanced robotics redundancy and optimization. Addison-Wesley publishing company.
8. Shiller, Zvi and Steven Dubowsky. 1989. Robot path planning with obstacles,

actuator, gripper, and payload constraints. *The International Journal of Robotics Research*. v8(6):3-18

9. Simonton, W. 1991. Robotic end effector for handling greenhouse plant material. *Transactions of the ASAE* 34(6):2615-2621