

손 제스처 기반의 로봇 원격제어

최경묵 나용길 채승병 정경훈

국민대학교 전자공학부

{kyungmuk, skdydrf, white002486}@naver.com khjung@kookmin.ac.kr

A Hand Gesture-based Remote Control of Robot

Choi, Kyung-Mook Na, Yong-Gil Chae, Seung-byeong Jung, Kyeong-Hoon

Kookmin University, School of Electrical Engineering

요약

본 논문에서는 영상처리 기능을 통해 손 제스처를 인식하는 알고리즘을 개발하고 이를 활용하여 로봇의 움직임을 원격으로 제어하는 시스템을 구현하였다. 전체 시스템은 손 영상을 획득하는 카메라, 영상처리를 수행하는 컴퓨터, 그리고 LEGO Mindstorm 로봇으로 구성되며, 컴퓨터와 로봇 사이의 통신은 Mindstorm에 내장된 블루투스 기능을 사용하였다. 카메라에서 획득한 영상에서 사람의 손에 해당하는 영역만을 추출하기 위해 먼저 컬러 필터링을 수행하였으며 영상의 신뢰성을 향상시키기 위해 잡음을 제거하는 보정 작업을 거친다. 그리고 무게중심 연산을 통해 손의 중심점을 추정하고 이로부터 일정 거리에 있는 손가락 영역을 추출한다. 마지막으로 펼쳐진 손가락 개수를 구하고 그 개수에 따라 미리 설정된 명령을 로봇에 전송한다. 실험을 통해 조명 상태가 양호하고 배경이 복잡하지 않은 대부분의 환경에서 로봇 원격제어가 성공적으로 이루어짐을 확인하였다.

1. 서론

로봇의 여러 활용 방안 가운데 한 가지는 인간이 작업하기 부적절한 환경에서 작업을 수행하는 것이다. 하지만 로봇의 경우 미리 정해져 있는 명령에 의해 정해진 작업을 수행하기 때문에 스스로 환경에 적극적으로 반응하면서 정밀한 작업을 수행하기는 쉽지 않다. 한국과학기술원(KAIST)에서 개발한 인간형 로봇 휴보의 경우도 일정 정도 환경에 맞춰서 작동하기는 하지만 실제 사람 수준의 움직임을 보여주기에는 부족한 면이 있다[1]. 때문에 로봇의 동작 제어 기법에 대한 관심이 높아지고 있으며 다양한 관련 연구가 진행 중이다.

그 가운데 제스처 인식은 인간의 행동을 로봇이 이해하는 기술로서 인간과 로봇간의 새로운 인터페이스 환경을 제공하는 기술이다. 로봇이 인간의 제스처를 인식하기 위해서는 시각 센서를 통해 얻어진 정보로부터 복잡한 배경 및 객체의 자세를 파악하는 기술과 더불어 움직임을 추적한 후 동작을 분석하는 기술이 요구된다. 그리고 이러한 시각 인터페이스 기술을 통해 로봇이 인간의 행동을 분석하고 적절한 대응을 하게 제어하도록 할 수 있다.

본 논문의 목적은 인간의 제스처를 인식하여 로봇을 제어하는 것으로서 구체적으로 인간의 손 동작을 통해 차량형 로봇의 다양한 움직임을 원격으로 조작하는 시스템을 구현하는 것이다. 손 제스처의 분석과 인식을 위해 카메라가 장착된 컴퓨터를 활용하였으며 제어의 대상이 되는 로봇은 실험의 목적에 적합하면서도 손쉽게 구성할 수 있는

LEGO Mindstorm을 사용하였다. 그리고 컴퓨터와 로봇 사이의 통신을 위해 Mindstorm에 내장된 블루투스 기능을 활용하였다. 만일 센서, 카메라, 프로세서 등 로봇의 하드웨어 성능이 향상된다면 제안하는 제스처 인식 알고리즘이 다양한 분야에서 활용되리라 기대된다.

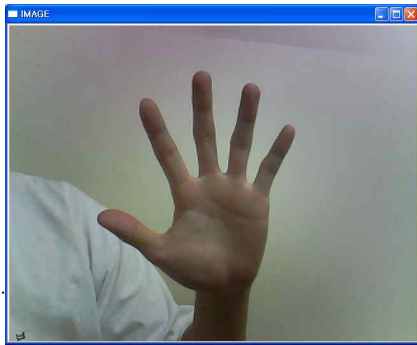
2 손 제스처 인식 알고리즘

본 논문에서는 로봇을 제어하기 위하여 손의 움직임을 사용하며, 구체적으로는 펼쳐진 손가락의 개수를 기반으로 명령이 설정된다. 따라서 영상으로부터 손 영역 및 손가락 개수를 추출하기 위해 다음의 (그림 1)과 같은 4단계의 알고리즘을 제안한다.



(그림 1) 손 제스처 인식 알고리즘

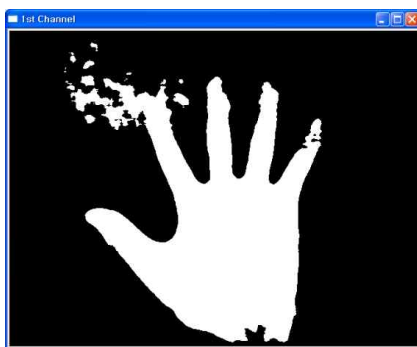
(그림 2)는 카메라로부터 입력된 실험 영상의 예를 나타내었다. 일반적으로 카메라 입력 영상에는 사람의 손 뿐 만 아니라 다양한 배경이 혼재되어 있으므로 손 동작을 인식하기 위해서는 먼저 손의 영역만을 추출할 필요가 있다.



(그림 2) 카메라 입력 영상

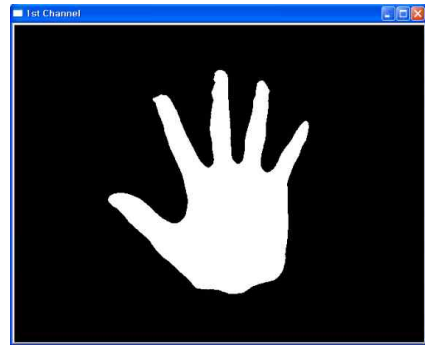
사람의 피부색 분포는 자연계의 다른 물체와 구분할 수 있는 뚜렷한 특징을 가지고 있는데 인종마다 피부색은 다르지만 색상 평면에서의 분포는 매우 유사하면서 협소한 영역을 차지하고 있고, 단지 밝기 차이만 존재하기 때문에 색상 성분을 이용하면 쉽게 피부 영역을 추출할 수 있다[2].

따라서 본 논문에서는 손 영역 추출을 위한 첫 번째 단계로서 컬러 필터링을 사용한다. 필터링을 하는데 활용된 컬러 모델은 빛의 삼원색으로 구성된 RGB모델과 밝기 신호와 색상 신호 정보로 구성된 YCbCr모델이 사용되었다. 손의 영역을 검출하기 위해 RGB 공간에서의 영상을 필터링하여 피부색을 검출한 후 조명의 영향을 최소화하기 위하여 YCbCr공간에서 한번 더 필터링을 수행하였다. 이렇게 처리된 영상은 (그림 3)과 같이 피부색과 피부색이 아닌 영역으로 이진화되어 나타난다.



(그림3) 컬러 필터링 결과 영상

두 번째 단계는 추출한 손 영역의 신뢰성을 향상시키는 과정이다. 이를 위해 모폴로지 기법 중 침식(erosion)과 팽창(dilation)을 사용하여 영상에서 잡음의 영향을 제거하였다[3]. 이 과정을 통해 손 객체의 외곽선이 자연스럽게 연결되며, 손 영역 내부 및 외부에 존재하는 미세한 잡음이 제거된다. 다음의 (그림 4)에서는 (그림 3) 영상에서 잡음을 제거한 결과를 나타내었다.



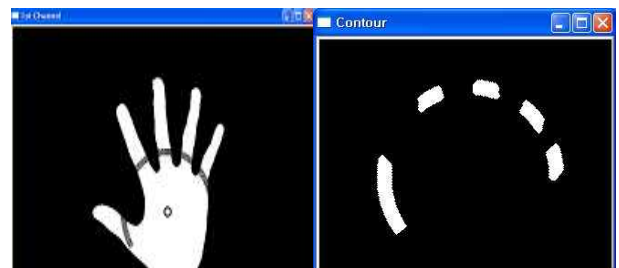
(그림 4) 잡음이 제거된 영상.

최종적으로 손가락의 개수를 추출하기 위해서는 우선 손의 중심점을 구할 필요가 있다. 손의 중심점을 기준으로 원을 그려 손가락의 개수를 추출할 수 있기 때문이다. 따라서 세 번째 단계는 손의 중심점을 추정하는 과정이다. 이 과정은 앞서 얻어진 잡음이 제거된 손 영역을 나타내는 이진 영상의 면적의 평균값 즉 무게중심을 구함으로써 수행된다. (그림 5)에서 추정된 중심점을 손영역 이진 영상위에 함께 표시하였다.



(그림 5) 손의 중심점 표시 영상

마지막 단계는 펼쳐진 손가락 개수의 계산 과정이다. 이를 위해 중심점으로부터 일정한 크기의 반지름을 가지는 원을 그리고 원주를 따라 검출되는 불연속적 객체의 개수를 계산함으로써 손가락 개수를 파악할 수 있다. (그림 6)에서 이 과정을 나타내었다.



(그림 6) 손가락 개수 추출 과정

3. 시스템 구성

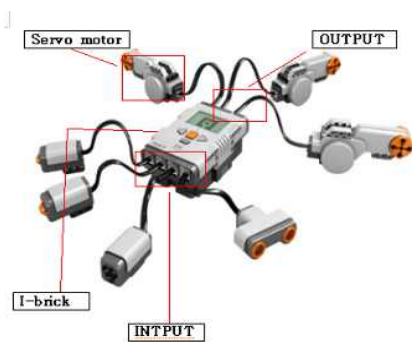
전체적인 시스템의 구성은 (그림 7)과 같이 영상 획득을 위한 카메라, 영상처리를 수행하는 컴퓨터, 그리고 LEGO Mindstorm 로봇으

로 구성된다. 카메라는 컴퓨터에 장착된 웹 카메라를 사용하였으며, 컴퓨터에서 영상처리를 통해 인식된 손 제스처에 따른 결과적인 제어 명령은 블루투스를 통해 로봇으로 전송된다. 최종적으로 Mindstorm 로봇은 명령에 따라 프로그래밍된 동작을 수행한다.



(그림 7) 시스템 구성도

하드웨어로 쓰이는 LEGO Mindstorms은 1998년 LEGO와 MIT 미디어랩과의 공동 연구를 통해 출시한, 로봇 제작을 위한 브릭 시스템으로서 기본적으로 LEGO 테크닉 시리즈의 브릭들을 포함하고 있다. 다양한 플랫폼을 제공하기 때문에 C, Visual C++, Visual Basic, JAVA 등으로 인터페이싱과 로직을 작성할 수 있다. 입력 및 출력 포트는 6핀 커넥터를 통해 다양한 센서 및 모터와 연결할 수 있으며, 초음파 센서, 광량센서, 터치센서, 온도 센서들을 통해 지원하여 다양한 하드웨어의 구성이 가능하다. Mindstorm의 경우 별도의 프로그램이 없이 블루투스 사용하여 명령을 전송하여 동작하는 direct command 를 사용하고 있기 때문에 본 실험에 적합하다. (그림 8)에서 Mindstorm 의 구성요소를 나타내었다. 본 논문에서는 프로세서 역할을 하는 NXT의 I-Brick을 중심으로 출력 포트에 모터를 연결하고 로봇의 형태는 차량의 형태로 구현하였다.



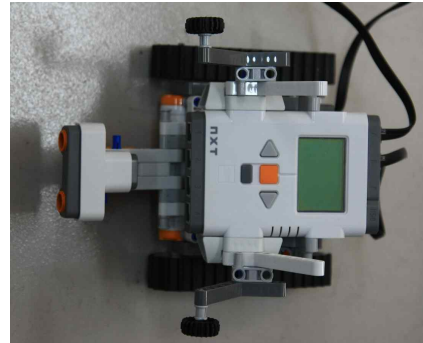
(그림 8) Mindstorm 구성요소

블루투스의 네트워크는 하나의 Master와 7개의 Slave로 구성되는 Piconet을 기반으로 한다. 블루투스의 네트워크는 Piconet을 기반으로 하여 상호간의 연결을 Scatternet으로 정의한다. 브리지 노드의 역할과 배치에 따라 Piconet은 다양한 방법으로 연결될 수 있으며 Piconet의 접속 방식에 따라 여러 형태의 토폴로지가 가능하다[4]. Mindstorm의 경우 블루투스 기능이 I-Brick에 내장되어 있기 때문에 추가의 하드웨어가 필요하지 않다.

Mindstorm 프로그래밍은 C++을 이용하였으며 영상처리를 통해 인식된 제어 명령을 입력받으면 정해진 동작을 수행하도록 설계하였다.

4. 실험 결과

(그림 9)에서는 손 제스처 인식 알고리즘을 통한 원격 제어 실험을 위해 제작한 Mindstorm 로봇을 나타내었다. 기본적으로 차량형 로봇으로 구성하였으며 초음파센서를 사용하여 전면에 장애물이 나타날 경우 사용자에게 경고음으로 알려주도록 하였다.



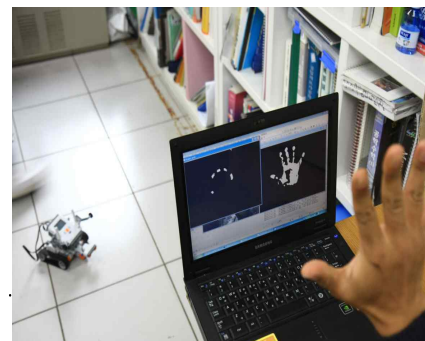
(그림 9) Mindstorm 차량형 로봇

Mindstorm 로봇은 카메라로부터 입력된 영상을 처리하여 얻은 사용자의 손 제스처에 따라 동작하는데, 실험을 위해 설정된 세부적인 동작 명령은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 손 제스처에 따른 동작 명령

손 제스처	동작
주먹을 쥐었을때	정지
손가락 1개를 펼칠때	좌로 회전
손가락 2개를 펼칠때	우로 회전
손가락 3개를 펼칠때	뒤로 이동
손가락 5개를 펼칠때	앞으로 이동

(그림 10)은 실제로 원격 제어 실험을 수행하는 모습이다. 조명과 배경의 영향 등 다양한 환경 조건에서 성능을 평가하기 위해서 여러 장소에서 조명을 바꾸어 가면서 반복 실험을 수행하였다.



(그림 10) 원격 제어 실험 모습

실내 실험의 경우, 조명 상태가 양호하고 배경이 복잡하지 않은 대부분의 환경에서 로봇 원격제어가 성공적으로 이루어짐을 확인하였다. 블루투스를 통한 원격 제어가 정상적으로 동작하는 Mindstorm 로봇과 컴퓨터 사이의 거리는 약 21m로서 인간의 육안으로 인식하는 능력을 고려해 볼 때 적합하다고 볼 수 있다.

그러나 역광 및 반사광의 영향 등 조명 상태가 적절하지 않은 경우에는 손 영역을 검출하기 위한 으면 컬러 필터링의 임계값을 적응적으로 변화시킬 필요가 있었다. 특히 실외 실험의 경우에는 주변 밝기의 영향을 많이 받았다. 즉 햇빛이 강한 낮 시간에 너무 밝은 장소에서는 웹 카메라에 입력되는 영상의 품질이 떨어지기 때문에 오동작을 하는 사례가 다수 발생하였다. 한편 배경에 따른 영향을 살펴보면, 주위 배경에 인간의 피부색과 유사한 색상의 물체가 있으면 잡음으로 작용하여 원하는 동작을 수행하지 않는 경우가 발생하였다.

이러한 문제들은 고성능의 카메라를 사용하거나 고기능의 알고리즘을 개발하면 어느 정도 해결할 수 있는 문제라고 판단되지만 근본적으로 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 사용자 제스처 영상을 획득하는 환경을 안정적으로 구성할 필요가 있다는 것을 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 영상처리 알고리즘을 이용하여 손 제스처에 따라 동작하는 차량형 원격제어 로봇 개발 모델을 LEGO Mindstorm NXT 기반으로 설계하였다. 하드웨어 설계는 Mindstorm을 활용하였으며 영상처리, 블루투스, 그리고 로봇 프로그래밍은 C++언어를 이용하였다. 손 제스처를 인식하기 위해 우선 컬러 필터링을 통해 손 영역을 추출하였으며 잡음 제거과정을 거친 후 무게중심을 통한 손의 중심점을

설정하였다. 그 다음 중심점을 기준으로 일정한 거리의 원주상에서 펼쳐진 손가락 개수를 인식하여 작동하도록 하였다.

구현한 모델을 실험해 본 결과 조명 상태가 안정적이고 배경이 복잡하지 않은 일반적인 환경에서 로봇의 동작이 정상적으로 제어되었으며 제어 가능한 거리는 약 21m정도로 측정되었다. 그러나 주변 밝기에 따라 컬러 필터링의 임계값을 조절할 필요가 있으며 너무 밝거나 어두워서 피부색상의 인식에 적합하지 않은 경우에 오동작이 나타나는 문제점이나 배경에 피부색과 유사한 색상이 존재하는 경우 잡음의 영향을 받는 문제점 등은 앞으로 개선해야 할 필요성이 있다.

본 논문에서 보인 바와 같이 사용자 제스처 영상의 획득하는 과정에서 조명이나 배경 등의 변화 요인을 최소화할 수 있는 환경하에서는 시스템이 안정적으로 동작하기 때문에 시스템의 하드웨어 성능이 더욱 향상된다면 제안하는 제스처 인식 알고리즘을 통해 다양한 분야에서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김원섭, "휴머노이드 로봇 플랫폼 디자인:휴보," 제20권 제6호 pp.13-16, 2007.
- [2] 배주호, '개선된 손동작 인식 및 추적 알고리즘,' 영남대 대학원 석사학위논문, 2008.
- [3] Gonzalaz.R.C and Woods.R.E, 'Digital Image Processing,' Prentice-Hall, 2002.
- [4] 강성호, 추영열 "Bluetooth 기반 네트워크 자동형성 설계 및 구현", 멀티미디어학회논문지 제11권 제10호 pp.1376-1384, 2008.