

열화상 카메라와 CCD 카메라를 이용한 배전선 고장진단 로봇개발

한순신, 최재영, 이장명

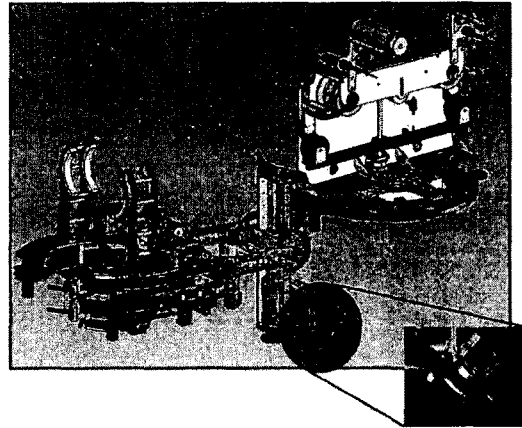
부산대학교 지능로봇 실험실, <http://robotics.ee.pusan.ac.kr>

Development of malfunction diagnostic robot in distribution line using the Infrared Thermal Imaging Camera, CCD Camera

SunSin Han, JaeYoung Choi, JangMyung Lee

Department of Electrical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

Abstract - 본 논문은 기존에 사람의 인력이나 열화상 카메라에 의존하고 있는 배전선 기자재 점검을 사람대신 로봇이 점검 작업을 하고 기존의 열화상 카메라만 사용하는 점검 방법에 CCD 카메라를 추가로 사용하여 열화상 이미지와 실영상을 같이 획득하도록 하여 배전선 점검 작업의 안전성 확보와 고장진단의 결과 값들의 객관성 있고 정확한 데이터를 획득을 할 수 있도록 하였다. 그리고 로봇이 가공지선을 자율주행하면서 발생하는 포스트 간 이동, 가공지선 회피, 가공지선 다 분기와 같은 문제가 발생하게 되는데 이러한 문제점들은 센서 융합 방법을 사용하여 로봇이 가공지선을 원활하게 자율주행을 할 수 있도록 하였다. 그리고 배전선 기자재들의 자연적 현상 때문에 발생하는 기자재의 부식과 열화로 변하게 되는 기자재들의 온도를 열화상 카메라로 분석하여 배전선 기자재들의 불량 기준 온도를 초과하게 되면 열화상 이미지와 CCD 카메라의 실영상 이미지가 자동으로 캡처 되고 저장 될 수 있게 하였다. 이러한 모든 동작들은 로봇이 자율주행을 하면서 이루어진다.



〈그림 1〉 로봇의 전체 구조도

1. 서 론

최근 고품질의 전력을 공급하기 위한 노력이 각 분야에 걸쳐 이루어지고 있고, 이와 같은 추세에 따라 기기의 이상 징후와 장애에 일어날 고장을 인지하여 필요한 대응을 실시하는 예방진단 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 현재 생산된 전력을 수송하기 위한 배전선에는 다양한 종류의 예자와, 가공전선으로 구성되어 있다. 예자란, 송배전선과 지지대와의 절연을 유지하고 동시에 기계적 강도를 지지하기 위하여 사용되는 자기로 만든 것이고, 가공전선은 높은 전압의 송전선에 강선을 속에 넣은 알루미늄 연선, 알루미늄 합금선, 구리합금선 및 강선에 구리를 피복한 선으로 철탑이나 전주에 설치한 예자에 고정시켜 팽팽하게 친 전선을 말한다. 이러한 예자나 가공전선은 대기 중에서 장기간 운용되기 때문에 대기의 화학물의 접촉이나 계절의 변화에 따른 부식이나 열화로 인해 전력 수송에 있어 많은 손실을 가져오게 된다. 기존 점검에서는 승주기별 점검으로 인력을 이용하여 육안이나 열화상 카메라로 식별하여 점검하는 방식에 의존하고 있다. 그리하여 전체 지지대의 7%만 고장 점검이 가능하고 고장 진단과정에서 안전사고의 발생 우려가 있는 것도 사실이다. 이와 같은 방식을 대신할 수 있는 방법으로 배전선의 위에 설치된 가공지선을 통해 이동하며 가공전선과 예자의 열화상 및 부식된 상태일 때의 온도를 파악할 수 있는 열화상 카메라와 그 불량상태의 정확한 실영상 이미지를 파악하는 CCD 카메라를 이용하여 고압 설비의 불량을 점검하는 로봇을 개발하여 좀 더 정확하고 안전한 고장 점검을 할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 배전선 점검 로봇

배전선로의 원활한 운영과 안전성 제고를 위해 현행의 활선 승주 기별 점검 방법은 근접 육안검사 및 열화상 카메라 측정 방법에 의존하고 있다. 이러한 측정 방법은 작업자의 안전에 위험을 초래할 수 있다. 그래서 이러한 작업을 로봇이 할 경우 무선 원격 제어나 자동 제어를 함으로써 작업자의 안전을 한층 높이거나 고장진단 데이터 값들의 객관성과 정확성을 높일 수 있다.

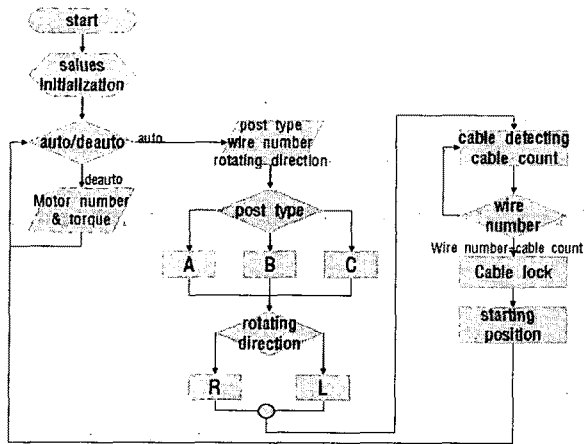
2.1.1 로봇 제어부

가공 지선상의 로봇을 제어하기 위해 여러 개의 모터 드라이브와 제어 회로 그리고 다양한 센서들과 Switch들을 이용하여 로봇을 제어하였다. 로봇이 자율 주행을 시작하게 되면 로봇의 위치 파악과 현재 모션에 대한 정보가 중요하다. 이에 대하여 현재 로봇의 모션에 대한 정보 및 모터 상태에 대한 정보를 모터의 엔코더를 통하여 수신하게 되며, 가공 지선상에서의 포스트 검출 및 이동 거리와 속도에 대한 제어를 초음파 센서 및 포토 센서를 통하여 제어하게 하였다. 그리고 로봇의 초기 위치에 대한 정보를 스위치를 통하여 찾을 수 있도록 하였고, 또한, 긴급 상황 발생 및 로봇의 최초 설치를 위하여 리모컨부를 제작하여 센서의 오동작으로 인한 긴급 상황 발생 시 모든 모터의 동작을 일시 정지 할 수 있도록 하였다.

2.1.2 동작 원리

기존의 개발 중인 로봇의 주행 알고리즘은 아래와 같이 크게 6단계로 나눌 수 있다.

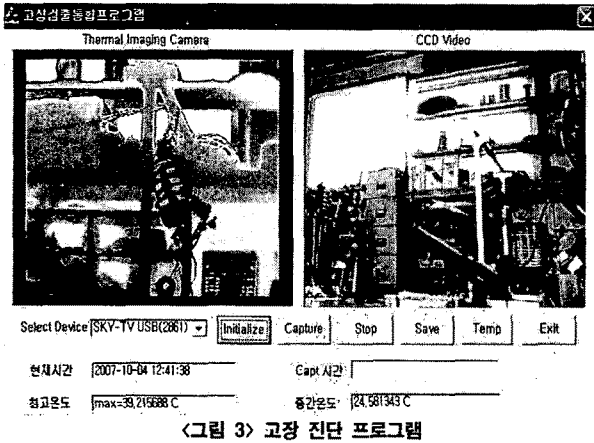
- 1) 초음파 센서를 사용한 가공지선 지지대 감지
첫 단계로는 로봇이 가공지선을 주행하면서 초음파 센서와 비전을 이용하여 가공지선 지지대를 인식하여 로봇의 속도를 줄이거나 일정 거리에서 로봇을 정지한다.
- 2) 로봇 Gripper의 가공지선 지지대 Grip
두 번째 단계로는 로봇이 가공지선 지지대를 그 형태에 맞게 그리퍼를 동작시켜 가공지선 지지대를 잡는다.
- 3) 가공지선의 Lock 해제
3번째 단계로는 Gripper가 가공지선 지지대를 인식하고 지지대를 잡고 난 후 로봇 Body부의 롤러가 가공지선을 해제한다. 이 때 가공지선 해제 유·무는 로봇 Body부에 장착되어있는 포토센서를 사용하여 확인한다.
- 4) 로봇 Body 회전 및 가공지선 Locking
4번째 단계로는 로봇이 가공지선을 해제한 후 Gripper에 달려있는 모터를 사용하여 로봇을 180° 또는 가공지선 지지대 형태에 맞게 로봇을 회전한 후 다음 가공지선을 Lock한다. 이 때 가공지선 Locking 유·무는 로봇 Body부에 장착되어있는 포토센서를 사용하여 확인한다.
- 5) 로봇 Gripper의 가공지선 지지대 Grip 해제
5번째 단계로는 로봇이 180° 나 가공지선 지지대에 맞게 회전을 한 후 가공지선 지지대에서 Gripper를 해제한다.
- 6) 가공지선 지지대 이탈 및 자율주행
마지막으로 6번째 단계로는 로봇의 Gripper가 가공지선 지지대를 완전히 벗어난 후 Gipper를 완전히 내린 후 로봇 Body부에 달려있는 몸통 회전 모터를 사용하여 Gripper부를 180° 회전하여 다음 가공지선 지지대를 인식할 수 있도록 로봇 자세를 맞춘 다음 로봇이 자율 주행을 수행한다.



〈그림 2〉 제어부 동작 원리

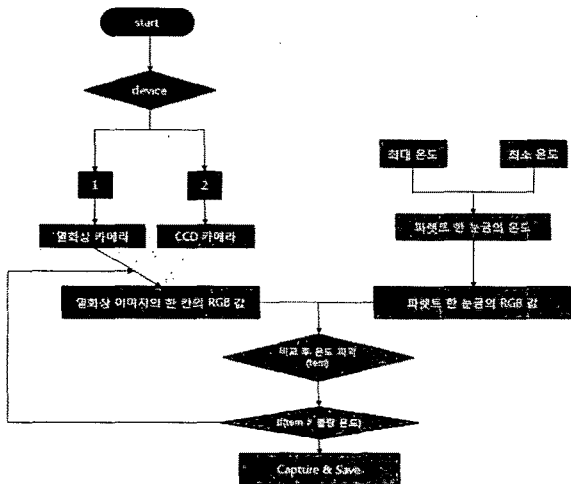
2.2 고장 진단 장치

가공지선을 수행하는 점검 로봇에 열화상 카메라와 CCD 카메라를 설치하여 로봇이 주행하면서 배전선 점검하고 포스트에 도착했을 때 애자의 점검도 같이 하게 된다. 즉, 경지한 상태에서만 점검하지 않고 주행 중에도 점검하여 불량이라는 판단이 되면 자동으로 열화상 카메라와 CCD카메라가 영상을 체크하는 방식이다. 카메라의 기본적인 역할은 열화상 카메라는 물체의 온도 분포를 영상화시켜 영상을 통해 온도의 분포와 편차를 확인할 수 있다. 여기에 CCD 카메라를 추가로 이용하여 열화상 카메라의 점검 중인 물체와 주변 상태나 환경을 캡처 할 수 있게 하여 불량 기차재 판단을 보다 정확하게 할 수 있도록 하였다. 이렇게 하여 포스트와 포스트의 한 구간을 지나가는 동안 열화상 카메라와 CCD 카메라를 이용하여 배전선 기차재들을 실시간으로 점검을 하게 된다. 그림 3과 같은 통합 소프트웨어를 구현하여 고장진단이 용이하도록 하였다.



〈그림 3〉 고장 진단 프로그램

2.2.1 측정원리



〈그림 4〉 소프트웨어 순서도

컴퓨터와 인터페이스 되어 있는 열화상 카메라는 그림 4과 같은 방식으로 구현된 소프트웨어를 통해 필요한 데이터를 수집할 수 있게 되어있다. 열화상 카메라의 렌즈와 연결된 열화상 카메라 모듈의 지정된 파렛트 값을 기준으로 측정 가능한 최대 온도(tem_{high})와 최소 온도(tem_{low})를 설정한 후 그 파렛트를 255등분하게 된다. 여기서 255등분하게 되는 이유는 RGB 값의 변화에 대한 정확한 온도 측정을 위해서 255등분하게 되었고 그렇게 해서 지정된 파렛트에서 한 눈금의 온도(tem_{ave})가 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$tem_{ave} = (tem_{high} - tem_{low}) / 255$$

이렇게 계산된 파렛트 한 눈금의 온도(tem_{ave})는 열화상 카메라를 이용하여 전송된 영상 이미지를 5600등분하여 각각의 한 칸의 RGB 값($data_{RGB}$)과 파렛트의 RGB 값을 비교하여 그에 해당하는 온도(tem)를 측정할 수 있게 된다.

$$tem = tem_{low} + (data_{RGB} \times tem_{ave})$$

위의 식으로 나온 한 칸의 온도(tem)를 통해서 물체의 상태를 파악하여 미리 지정해 둔 배전선 기차재들의 불량상태의 온도와 비교하여 그 온도를 넘어갈 경우 열화상 영상을 캡처하여 저장하게 되는 방식으로 되어 있다. 그림 5와 같은 결과를 통해 정상과 불량을 판단할 수 있다.

위와 같이 그림 5에서 (a)와 (b)의 비교를 통해 불량 유·무의 차이가 정확하게 판별되기 때문에 그에 해당하는 온도를 설정하면 배전선 기차재의 불량 점검이 이루어진다.



(a) 정상 애자 (b) 불량 애자

〈그림 5〉 애자의 불량 상태

3. 결 론

본 논문에서는 현재 시행되는 배전선 점검방법과는 다른 점검 로봇이 가공지선을 자율 주행하면서 배전선 기차재들의 자연 부식이나 열화로 인한 불량 애자나 가공지선의 온도 변화를 열화상 카메라와 분석하고 CCD 카메라를 이용하여 실영상 데이터를 획득하여 배전선 기차재들의 고장진단을 판별할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 기존의 점검방법의 안전성 문제와 비효율성을 해결할 수 있고 위험한 고압전선을 점검 작업을 사람이 아닌 로봇을 통하여 점검 할 수 있게 하여 가공지선을 수행하는 점검 로봇에 열화상 카메라와 CCD 카메라를 장착하여 불량이 판별될 때 나타나는 현상들을 실시간으로 점검하고 결과 데이터 값을 저장하고 파악할 수 있도록 하였다. 열화상 카메라와 배전선간의 거리오차로 인하여 계절별 온도분석이 편차가 생길 수도 있지만 이것은 계절별 평균값을 통해 각기 다른 값을 부여하여 온도편차는 낮아지게 할 수 있다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] 이기상, "적외선 카메라를 이용한 초고압 변압기의 온도특성 분석", 조선대학교, 2003년 2월
- [2] 임용배, "전기설비 진단을 위한 적외선 열화상 온도분포패턴분석 및 능동시험에 관한 연구", 홍익대학교, 2006년 12월
- [3] 이학현, "적외선카메라를 이용한 배전선로 결함진단", 전남대학교 산업대학원, 2003년 8월
- [4] Sarath D.Gunapala, Sumith V.Bandara, John K.Liu, Sir B.Rafol, and M.Mumolo, "640×512 Pixel Long-Wavelength Infrared Narrowband, Multiband, and Broadband QWIP Focal Plane Arrays", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 50, NO. 12, DECEMBER 2003
- [5] Luiz Meyer, Shesha Jayaram and Edward A.Cherney, "Thermal Conductivity of Filled Silicone Rubber and its Relationship to Erosion Resistance in the Inclined Plane Test", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 11, No.4, August 2004
- [6] Christian Kargel, "Thermal Imaging to Measure Local Temperature Rises caused by Hand-held Mobile Phones", IMTC 2004-Instrumentation and Measurement Technology Conference Como, Italy, May 18-20 2004
- [7] C Song, B Marshall, D McLean, T G Frank, W Sibbett, A Cuschieri & P A Campbell, "Thermographic Investigation of The Heating Effect of High Intensity Focused Ultrasound", Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, September 1-4, 2005