

'96 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

다중센서와 신경회로망을 이용한 수송용기 취급장비 위치 인식

박영수, 윤지섭, 오승철, 김동기, 이원상

한국원자력연구소

요 약

사용후핵연료 수송용기의 이송 및 개폐작업을 수행하기 위하여 수송용기 취급장치(RCGLUD)를 개발하였으며, 카메라 및 다중센서를 사용하여 취급공정을 자동화하는 연구를 수행하였다. RCGLUD는 크레인에 매달려 구동되므로 수송용기에 정확히 위치를 일치시키는 작업이 어려우며, 이를 위하여 카메라 영상정보 처리방법을 도입하여 수송용기의 위치인식 방법을 개발하였으며, 수송용기의 효과적인 파지작업을 위해서 다중센서정보와 신경회로망을 이용하여 RCGLUD의 파지부와 수송용기의 Trunnion을 정확히 조립시키는 알고리즘을 개발하였다.

1. 서 론

우리 나라에서는 1988년 KSC-1 輸送容器를 국산화한 이래 KSC-4 輸送容器 및 KSC-7의 개발을 완료하였으나, 輸送容器의 취급을 위한 각종 장비의 개발 연구는 상대적으로 미약하였다. 특히, 사용후핵연료 이송 작업에 사용하기 위하여 제작되었던 취급 장비, 내부 제염 장비, 고정 용구 장비 및 기타 유지 보수 장비 등은 모두 수동 조작에 의존할 수밖에 없는 형편이었다. 특히 輸送容器를 이송하는 작업 및 輸送容器상단 부분에서 볼트를 풀고 조이는 작업은 방사선 피폭의 위험성이 많은 작업으로 분류되어 자동화가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 취급 작업 중 輸送容器를 걸어 잡고 이송하는 작업과 輸送容器의 뚜껑을 체결하고 있는 볼트를 풀고 조이는 작업을 원격 조작으로 수행할 수 있는 輸送容器 원격취급장치(Remote Cask Grappling and Lid Unbolting Device(RCGLUD))를 개발하였으며 RCGLUD를 수송용기에 정확히 조립(alignment)시키기 위하여 화상정보 처리기법 및 인공신경회로망을 도입하여 수송용기의 중심위치를 구하는 알고리즘을 개발하였다.

2. 장치 개요

수송용기 遠隔 把持/뚜껑 開閉 裝置는 무진동크레인에 매달린 채, 수송용기(KSC-4)가 놓여 있는 곳으로 이송되어, 수송용기를 자동으로 걸어 잡고, 이를 이송하거나 수

송용기의 뚜껑을 체결하고 있는 볼트를 풀어내는 기능을 가진다.

그림 1에서 보인 바와 같이 수송용기 취급장치는 길이(1,798 mm)인 몸체의 양끝에 그레플이 설치되고, 중심축 상의 약간 아래에는 몸체의 길이 방향으로 평행하게 렌치 가이드가 설치되며, 중심축 끝에는 카메라, 초음파 센서, 레이저 변위 센서 및 볼트 수집판이 설치된다. 그레플(grapple)은, 수송용기의 트러니언을 걸어 잡는 부분으로, 그레플 모터를 구동하면 몸체의 길이 방향 축을 따라 몸체의 가운데로 움직여, 아래 부분의 그레플 구멍이 수송용기의 좌·우 트러니언(trunnion)을 걸어 잡는다. 한 쪽 그레플에, 한 개의 레이저 센서와 두 개의 광전 센서가 장착된다. 토크 렌치는 교류 서보 모터를 상자 모양의 케이스에 장착한 것으로 모터 출력 회전부에 소켓렌치 어댑터를 부착하고, 어댑터에 소켓렌치를 끼워 수송용기의 뚜껑을 체결하고 있는 볼트를 풀어내는데 사용된다. 裝置의 각 부분은 일곱 개의 교류 서보모터들로 구동되며, 그림 1에서 보인 바와 같이 각각 몸체 회전모터(축 1), 좌·우 그레플 구동 모터(축 2, 3), 렌치 가이드 회전모터(축 4), 토크렌치 횡행모터(축 5), 토크렌치 승강모터(축 6) 및 토크렌치 모터(축 7)로 구성된다. RCGLUD는 구동제어를 위해서 MEI(Motion Engineering Incorporation)사에서 개발한 DSP형 다축제어기를 도입하였다.

RCGLUD 구동부의 정교한 제어를 위해서 각 구동축에는 엔코더(encoder)가 장착되어 있으며, 器械 裝置의 외부 작업환경에 대한 위치정보를 제공해 주기 위하여 레이저 변위 센서, 광전 센서, 초음파 센서 및 CCD 카메라를 설치하였다.

3. 카메라 정보를 이용한 수송용기 위치 인식 알고리즘

RCGLUD가 무진동 크레인에 부착된 상태에서 RCGLUD와 수송용기 사이의 공간에서의 상대 위치 및 수송용기의 자세를 RCGLUD에 부착된 카메라와 초음파 거리 측정 센서를 이용하여 찾아내어야 한다. 이를 위하여 먼저 초음파 센서로 RCGLUD와 수송용기 사이의 거리를 측정하고 카메라로 수송용기의 화상을 잡아 RCGLUD와 수송용기 중심 사이의 오차를 계산한다. 카메라로 수송용기의 위치와 자세를 동시에 측정하기 위하여 다음과 같은 화상정보 처리 알고리즘을 개발하였다.

- (1) 화상 2치화: 화상처리를 효과적으로 수행하기 위해서 그림 2-a와 같은 영상을 이치화한다. 이치화 임계값은 히스토그램을 사용하여 선정하였다.
- (2) 화상 복원: 그림 2-b와 같은 2진화 영상은 각 등분 영상 내에서도 빛의 양이 고르지 않기 때문에 부분적으로 데이터가 소실되어 있다. 이와 같은 영상을 잡음제거 처리를 하여 그림 2-c와 같은 깨끗한 영상을 얻는다.
- (3) 윤곽선 추출: 영상 데이터에서 물체의 테두리선(윤곽선)을 구하기 위하여 8 방향 검색 방식을 사용하였으며, 이 방식의 적용 결과 그림 2-d에서 보는 바와 같다.
- (4) 중심점 좌표 산정: 수송용기의 트러니언의 위치 및 자세를 구하기 위해서 수송용기 윤곽선의 상하좌우점을 구하고 그 점들로부터 수송용기의 중심점 좌표를 구한다.

- (5) 위치오차 산정: 수송용기의 중심점을 구한 후 트리니언의 위치 및 방향을 구하기 위하여 수평축과 수직 축으로 나누어 각 축으로부터 직각 방향으로 윤곽선까지의 길이를 측정한다. 이와 같은 과정은 그림 2-e에서 보는 바와 같다. 만약 수평축이 비틀어져 있다면 그림 2-f와 같은 방식으로 윤곽선까지의 거리를 구할 수 있다.

이상에서 설명된 화상처리 알고리즘을 도입하여 RCGLUD와 수송용기간의 위치오차를 1cm 이내로 산정할 수 있었다.

4. 신경회로망을 이용한 Trunnion 위치 인식

앞에서 설명된 방법에 의하여 RCGLUD를 수송용기 뚜껍의 중심 축이 일치하도록 구동시키더라도 여러 가지 제어 또는 기계적인 요인들로 인하여 오차가 발생하게 된다. 따라서, 인공신경망(neural networks)의 특성을 새로이 이용하여 정확도가 향상된 수송용기 중심점 위치인식 방법을 개발하였다.

4.1 인공신경망(artificial neural networks)의 구성 및 학습

RCGLUD의 각 그래플에 설치된 2개의 광전센서를 이용하여 RCGLUD의 중심이 수송용기의 중심과 편이된 정도를 인공신경망을 이용하여 정량적으로 계산하고자 한다. 먼저 trunnion에 대한 그래플의 상대 위치에 따른 광전센서의 출력 값은 well-defined 된 함수 관계를 갖고 있다고 가정하고, 바닥으로부터 측정된 上位 trunnion의 중심 높이와 그래플 내의 동심원의 중심 높이는 정확히 같다고 가정한다.

그래플의 중심 편이 오차는 그림 3에서 보는 바와 같이 수송용기 중심 좌표계로부터 xy-평면상의 벡터 \mathbf{e} 와 RCGLUD 축을 중심으로 한 회전각으로 나타낼 수 있다. 따라서 인공신경망으로부터 예측하고자 하는 값은 위치오차 e_x , e_y 와 회전각 θ_z 이다. 이들 값은 양쪽 그래플의 총 4개의 광전센서의 출력값(v_{ij} 로 표시되고 i 는 그래플의 수이고 j 는 각 그래플에 달린 광전 센서의 수)을 인공신경망에 입력함으로써 얻게 된다.

인공신경망 알고리즘을 구하고 이를 구현하기 위하여 1/2 축척으로 trunnion과 그래플 장치를 모사한 실험장치를 제작하였다. 인공신경망 학습과, 성능 테스트를 위하여 그림 4에서 보는 바와 같이 학습용 데이터(L, 그림의 원)와 테스트용 데이터(R, 그림의 사각형)를 선택하였다.

4.2 실험결과

모델링에 쓰인 역전달 인공신경망은 4개의 입력 노드, 첫 번째와 두 번째의 은닉계층에서 각기 14개와 6개의 은닉 노드를, 출력계층에서 3개의 출력 노드를 갖는다. 학습과정은 학습데이터 L에 대해 RMS (Root-Mean-Square) 값이 0.0157 될 때까지 수행하였다. 학습된 위치예측 인공신경망의 성능을 검사하기 위해 새로운 광전센서 값들을 학습된 인공신경망에 입력하여 표 1과 같은 결과를 얻었다.

표 1. 신경회로망의 예측결과.

| | $ e_{x,desired} - e_x $ | $ e_{y,desired} - e_y $ | $ \theta_{z,desired} - \theta_z $ |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| mean | 0.0714 cm | 0.0417 cm | 0.0769 deg. |
| std. deviation | 0.0538 | 0.0316 | 0.0608 |
| max. error | 0.253cm | 0.134 cm | 0.307 deg. |

표에서 아래첨자 *desired*는 실제 그래플 장치의 위치를 나타낸다. 그래플 내의 동심원의 중심과 trunnion의 수직면의 중심이 일치하였을 때, RCGLUD의 각 그래플 내의 동심원과 수송용기 trunnion 사이의 유격 (clearance)이 0.5 cm 임을 고려한다면 위의 예측 결과(최대오차 0.235 cm)는 매우 정확한 것임을 알 수 있다. 즉, 설계된 인공신경망은 새로운 RCGLUD의 중심 위치에 대해서도 위의 표와 같은 정확도를 갖고 그 위치를 예측할 수 있으며, 그 위치 보정 제어에 효과적으로 적용될 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

사용후핵연료 輸送容器的 이송 및 뚜껑개폐작업을 원격 조작으로 수행할 수 있는 수송용기 원격취급장치(RCGLUD)를 설계 제작하고, 이의 조심위치 산정을 위한 알고리즘을 개발하여 성능 실험을 수행하였다. 연구개발 결과 수송용기와 RCGLUD의 위치/자세를 자동으로 인식하기 위한 화상정보 처리 시스템의 위치 인식 정밀도는 1.0 cm 이내로 전체 작업장의 규모에 비하여 상당히 정밀한 인식 정밀도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 RCGLUD의 그래플과 트러니언의 위치를 보다 정확히 측정하기 위하여 별도의 4개의 광전 스위치를 양쪽 그래플의 구멍 측면에 설치하여 이들의 출력을 수차례 학습시켜 트러니언의 위치 인식 정밀도를 0.5 cm이내로 높일 수 있는 신경망회로 구조를 설계하였다.

6. 참고문헌

- [1] 사용후핵연료 취급기술개발: 제3권 원격장치 기술개발, 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센터, 1993
- [2] "Optimizing an automated stud handling machine for vessel heads," P. Gautier, *Nuclear Engineering International*, Vol. 38, No. 469, August, 1993, pp. 46-48
- [3] Motion Engineering, Inc., *DSP Motion Controller User's Manual and Software Reference*, Version 2.4E, 1995.
- [4] R. P. Lippmann, "An introduction to computing with neural nets," *IEEE Acoustics Speech and Signal Processing Magazine*, vol. 4, pp. 4-22, 1987.

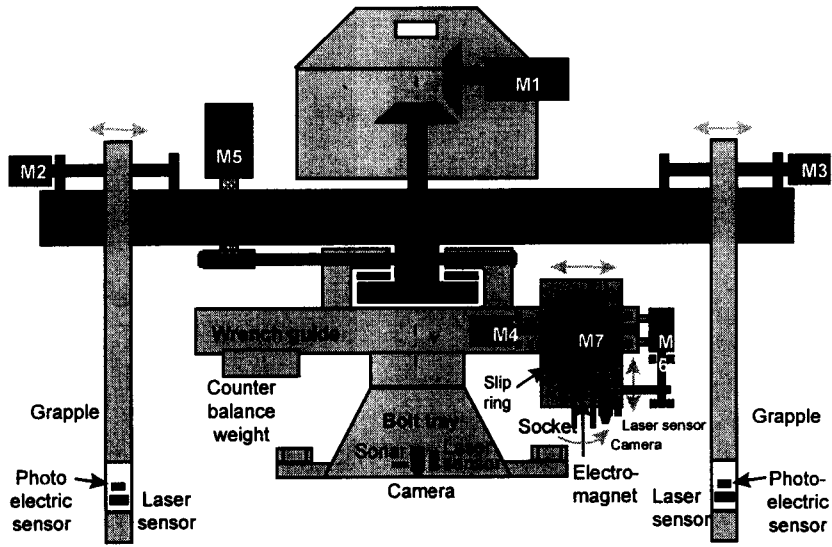


그림 1. RCGLUD의 구조

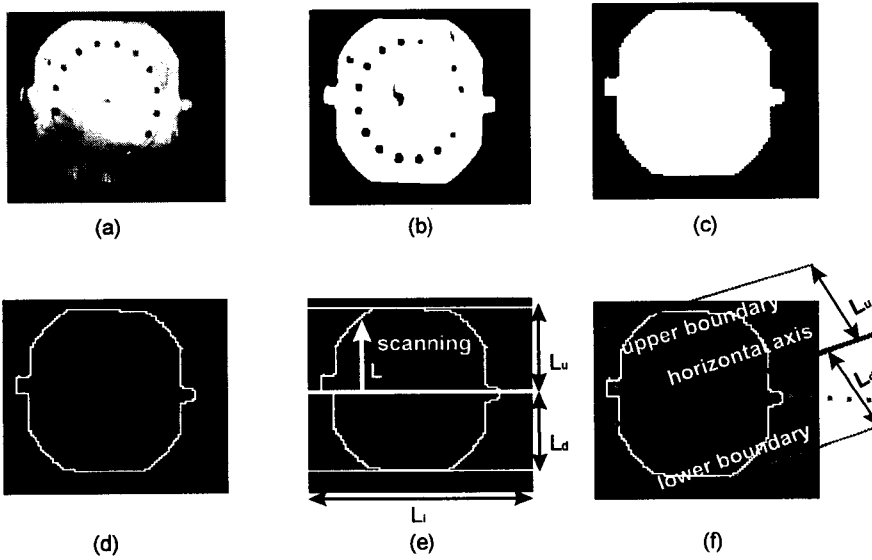


그림 2. 화상처리 과정

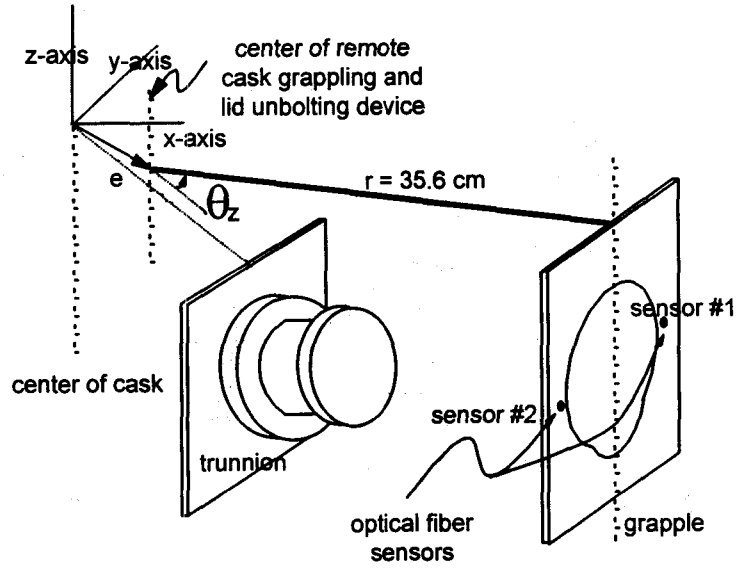


그림 3. RCGLUD 중심점 위치 좌표

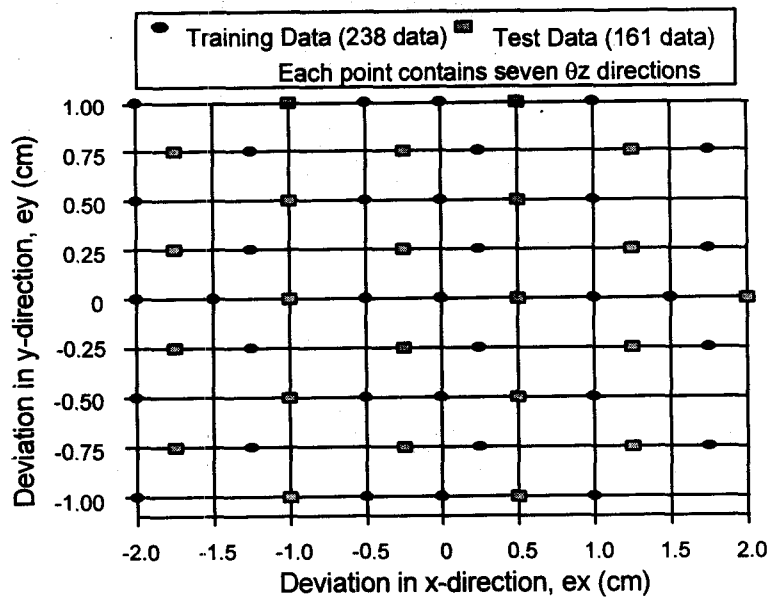


그림 4. RCGLUD 중심점 정보