

Stud-welding Robot의 Fine Positioning을 위한 Sensor를 이용한 위치보정 System

o 김 문상 이종원 박기환 류 정배
(M. Kim, C.W. Lee, K. Park, J. Ryoo)

한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실 (KIST CAD/CAM Lab.)

In automobile glass fitting the stud is welded on the window seating panel in order to insert the plastic molding onto the stud. Since this type of process is in general manually done, almost 50% of the output turns out to be failure resulted from work inefficiency and weld inferiority. Therefore, it is required to improve this process for the productivity elevation through the application of the robot.

2. 본론

1. 서론

차량 유리 장착용 molding 을 부착하기 위해서 stud 용접이 필요하다. 현재 수작업으로 이루지고 있는 stud welding 작업은 작업자의 작업성 불량과 stud gun spark shield 부위의 마모로 인한 stud 위치및자세의 불량, 용접 조건 불량과 용접상태 불량으로 인한 용접분리 현상이 발생되어 불량률이 거의 50% 에 이르고 있다. 이와같이 수작업에서 발생하는 오차를 줄이기위해 로봇과 sensor 를 이용, 용접작업을 자동화시킬 필요성이 대두 되고 있다.

shuttle bus 에 탑승되어 작업 공정에 유입되는 차량은 제작시 공차, 부품조립시 공차 그리고 탑승정확도와 주위환경에 의해 조금씩 차이가 나며 그 상대오차는 평균 $\pm 1mm$ 에 이르고 있다. 따라서 robot 를 이용하여 $\pm 0.3mm$ 의 위치정확도를 보장하는 용접을 수행하기 위해서는 이러한 오차를 보정시켜주는 sensor system 의 도입이 필요하다.

본 연구에서는 laser displacement sensor 를 이용하여 robot 와 차체의 상대 오차를 감지 on-line 으로 보정하는 system 을 개발하였다. 전체 control system 으로는 산업용 personal computer 를 이용하였고 이 PC 는 sensor signal 을 처리하고 robot 와의 신호송수신을 담당한다. robot 와 PC는 RS232C port 를 이용하여 communication 이 실현되었고, robot 3 대는 자체의 I/O 를 이용하여 상호 communication이 실현되었다. PC 는 robot 3대를 동시에 control 하기위하여 multi-tasking 기법을 사용하였다.

2-1 Stud Welding Robot System 의 구성

전체 Stud Welding Robot System 은 그림1과 같이 구성되어 있다. 2개의 차종에 대한 program 이 이루어 졌으며 전체 cycle time 을 만족하기 위하여 3대의 robot 가 도입되었다. 3대의 robot 는 작업시의 충돌을 피하기위하여 자체 I/O 로 상호 interrupt 가 걸려있으며 각각 Welding Gun 의 고장을 대비하여 Automatic Tool Change System 을 보유하고 있다. 각 Robot 와의 communication 은 RS-232C 를 이용한 multi-tasking 이 이루어져서 communication 으로 인한 time delay를 최소화 하였다.

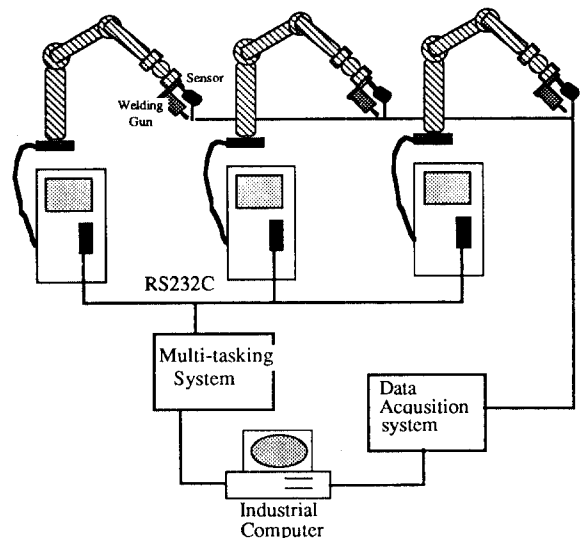
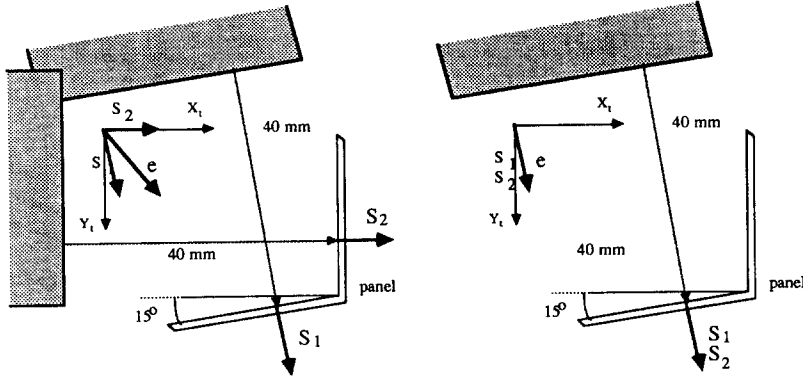


Fig.1 stud-welding robot system의 구조



- x_t, y_t, z_t : robot tool coordinate system
- s_1, s_2 : sensing value of sensor1 and sensor2 respectively
- x_{tc}, y_{tc} : components of the sensing value in the robot tool coordinate system
- e : compensation vector
- a : reference sensing distance of sensor (40 mm)
- θ : panel angle

Fig2. (a) 2차원 보정 (b) 1차원 보정

2.2 Sensor

위치보정을 위하여 고려된 sensor 는 카메라, laser wearing sensor, 접촉식 transducer 들 그리고 비접촉식 laser displacement sensor 등이다./1/ 이 sensor 들중 laser displacement sensor가 속도, 정확도 그리고 가격등을 고려해 채택되었다.

Shuttle Bus 에 탑승되어 작업 공정에 유입되는 차량은 제작시 공차, 부품 유입시 공차, 탑승정확도, 그리고 robot 의 반복정도등에 의한 상대오차등으로 조금씩 차가 나며 평균 ± 1.0 mm 정도이다.

laser displacement sensor 는 그림 3.a 에서 보여주는 바와 같이 양쪽 panel 표면까지의 2차원 오차를 감지하기 위하여 장착될 수 있다. stud 용접 Gun과 차량유입시 변화된 거리를 감지하여 수학적 연산을 통해 각 sensor 의 성분값 x_{tc}, y_{tc} 를 수할수 있다. 이 값은 Robot 에 보내져 stud 용접위치가 항상 일정하게 유지된다. (그림 2.a)

$$\begin{aligned} x_{tc} &= \frac{s_1}{\cos\theta} - s_2 \tan\theta \\ y_{tc} &= s_2 \end{aligned} \quad (2-1)$$

Gun 진입방향으로 무시할 수 있는 정도의 error 가 존재할 경우 (약 ± 1 mm 이하) Gun자체의 진입 compliance 로 해결할 수 있다. 이때의 x_{tc}, y_{tc} 는 (그림 2.b)

$$\begin{aligned} x_{tc} &= \frac{s_1}{\cos\theta} \\ y_{tc} &= s_1 \end{aligned} \quad (2-2)$$

용접등으로 인한 panel 변형으로 생긴 측정오차를 줄이기 위하여 두개의 sensor 가 그림 3.b 와 같이 한방향으로 장착된다. (이러한 변형은 측정점이 용접점과 정확하게 일치하지 않기때문에 발생하며 위치정확도에 영향을 미칠 수 있다.)

2.3 위치 보정 Algorithm

새로운 측정 process 를 거치지 않고 다음 welding 점의 위치 오차를 현 측정점 오차의 좌표변환을 통해 수정할 수 있으면 작업공정의 시간단축을 위해 매우 유용하다. 이러한 방법은 기본적으로 로봇의 반복정도가 요구되어지는 위치정도 보다 작아야 한다는 조건을 갖는다. 이 경우가 아니면 잔류 오차를 보정하기 위하여 추가 보정이 필요하다.

위치 보정은 크게 2단계로 나눌수 있는데, 첫 단계로는 teaching 위치에서 sensing 한 성분값을 Robot 에 전송해주어 그 위치에서 미세 보정해주는 것이며, 다음 단계로는 전송해준 보정값을 다음 teaching 위치로 좌표 변환한후, 로봇제어기 register 에 보내서 로봇가 다음 용접점을 접근하면서 동시에 보정될 수 있는 단계이다.

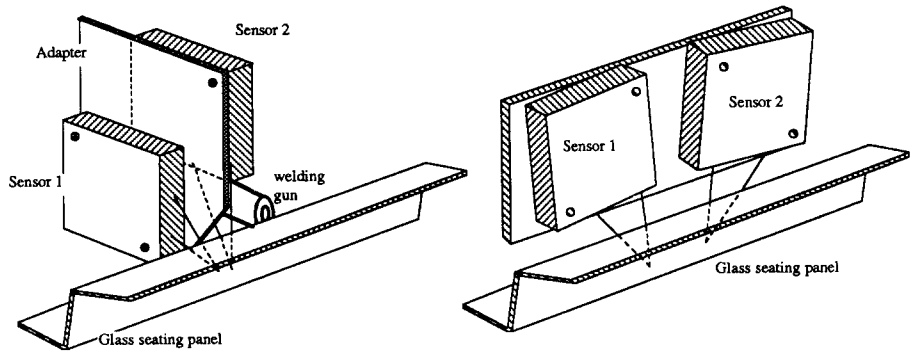
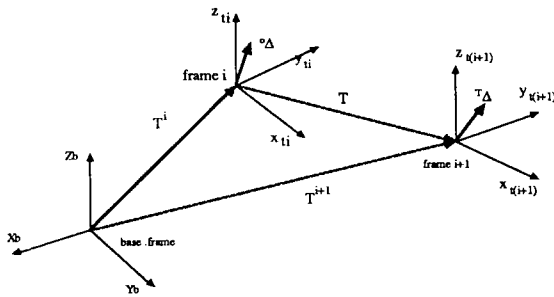


Fig.3 (a) 기본 set up (b) 한 방향 두 sensor 의 set up



T^i ; base 좌표계에서 정의된 i-번째 tool좌표계
 T ; i-번째 tool좌표계에서 i+1-번째 tool좌표계로의 transformation Matrix

Fig.4 Differential transformation

좌표 변환 matrix T 는 다음과 같이 구해진다. (그림 4)
 여기서 q_i 는 i-번째 용접점에서의 로봇 kinematics의 관절각도를 정의하며 함수 f 는 로봇 관절각도 q_i 와 i-번째 공구좌표계 T^i 간의 관계를 기술한다.

$$T^i = f(q_i), \quad T^{i+1} = f(q_{i+1}) \quad (2-3)$$

$$T^i T = T^{i+1} \\
T = (T^i)^{-1} T^{i+1} \quad (2-4)$$

좌표 변환 T 의 요소를 회전 vector n, o, a 와 위치 vector p 로 표시하면 다음과 같다./2/

$$T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ o & | & 1 \end{bmatrix} \quad (2-5)$$

T 의 inverse matrix 는

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} n_x n_y n_z & | & -p \cdot n \\ o_x o_y o_z & | & -p \cdot o \\ a_x a_y a_z & | & -p \cdot a \\ 0 & 0 & 0 & | & 1 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

T_Δ 와 O_Δ 의 관계는 그림 4에서와 같이

$$T T_\Delta = O_\Delta T \\
T_\Delta = T^{-1} O_\Delta T \quad (2-7)$$

여기서 O_Δ 는 frame i에서의 미소 변화이고 T_Δ 는 frame i+1에서의 미소변화를 나타낸다. 변화가 매우 작다는 가정하에 O_Δ 는 다음과 같이 표시 되어진다.

$$O_\Delta = \begin{bmatrix} 1 & -\delta_z & \delta_y & d_x \\ \delta_z & 1 & -\delta_x & d_y \\ -\delta_y & \delta_x & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

Robot 에 보내질 변위정보는 위치정보와 각도정보로 이루어져 있지만 차체 유입 상황에 따라 각도정보는 생략할 수 있다. 위치성분만 고려하면 (2.5) (2.6) (2.7) 그리고 (2.8) 식으로부터

$$T_{d_{i+1}}^i = \begin{vmatrix} T_{d_x} \\ T_{d_y} \\ T_{d_z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{n} \cdot ((\delta x \mathbf{p}) + \mathbf{d}_i^i) \\ \mathbf{o} \cdot ((\delta x \mathbf{p}) + \mathbf{d}_i^i) \\ \mathbf{a} \cdot ((\delta x \mathbf{p}) + \mathbf{d}_i^i) \end{vmatrix} \quad (2-9)$$

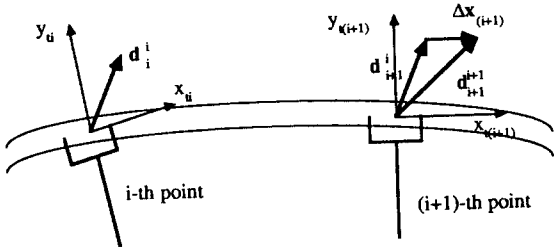


Fig. 5 위치보정

Panel 위의 i 번째 point 에서 stud welding 이 끝나고 (i-1) 번째 point 로 이동시, 위치 보정은 좌표변환과 새로운 sensing 성분의 합으로 나타난다. (그림 5)

$$\mathbf{d}_{i+1}^{i+1} = \mathbf{d}_{i+1}^i + \Delta \mathbf{x}_{(i+1)} \quad (2-10)$$

여기서

- x_i, y_i, z_i ; i-번째 공구좌표계
- \mathbf{d}_{i+1}^{i+1} ; (i+1) 번째 용접점에서의 보정 오차값
- \mathbf{d}_{i+1}^i ; (i+1)-번째 공구좌표계로 좌표변환된 i-번째 보정오차
- $\Delta \mathbf{x}_{(i+1)}$; (i+1) 번째 용접점에서의 새로운 오차값

2.4 위치 보정 system 의 기능

자동차 생산 line 상에서의 고장에 따른 응급처치와 손쉬운 teaching 등을 위하여 다음과 같은 기능들이 부가되었다. 그림 6은 전체 program 의 구성을 보여준다.

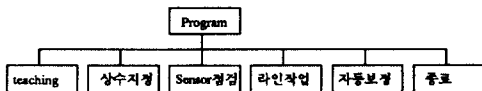


Fig. 6 보정 system의 구조

전체 package 는 C 언어로 programming 되어 있으며, 3대의 Robot와 동시에 송수신이 가능하도록 multi-tasking System 이 실현되었다.

- . **teaching** ; Robot 용접점 teaching 을 용이하게 하기 위하여 각 point 들에 대한 sensing 값을 monitoring 할 수 있는 기능이 부여되었다. 각 point 들을 좌표변환을 위하여 file 에 저장한다.
- . **상수지정** ; 새로운 차종에 대한 parameter 들과 용접에 필요한 조건들을 입력한다.
- . **Sensor 점검** ; 작업전에 sensor 의 이상유무를 확인한다.
- . **라인 작업** ; Robot 가 각 용접 point 에 이동했을때의 sensing 값과 측정된 sensing 값을 처리하여 보정량을 계산, Robot 에 보내준 후 (보정후) 의 sensing 값을 나타낸다.
- . **자동 보정** ; 장시간 작업에 따른 Welding Gun 의 마모로 인한 용접점의 drift 또는 재 teaching 등이 요구될 때 실제 측정된 값으로 기준점을 조정하는 기능.

. **종료** ; 작업을 종료한다.

3. 결론

실제 차량에 적용시킨 결과 요구되어지는 용접위치 정도 $\pm 0.3 \text{ mm}$ 이내에 모두 용접되었으며 수동 작업시 발생하는 stud 위치 및 용접자세불량, 용접분리 현상등이 없어졌으며 생산성이 크게 향상되었다. 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 비접촉식 Laser Displacement Sensor 를 사용하여 신속성, 안전성, 정확성을 기했으며, 2개의 sensor 를 병렬로 설치하여 spot 용접시의 판넬불량으로 인한 측정오차를 줄였다.
2. Robot 3대를 동시에 control 하기위해 multi-tasking 기법을 사용하여 communication 으로 인한 시간지연을 최소화 하였다.
3. teaching 을 용이하게하고, 용접위치의 수정을 각 용접점마다 신속하게 처리하기 위해 자동보정 기능을 내장하였다.

4. 작업중 나올 수 있는 Error에 신속히 대처하기 위한 Message 기능을 내장하여 사용자가 쉽게 대처하고 Error를 처리하게 하였다.

5. global 오차를 줄이고 보정시간을 줄이기 위하여 현 보정오차값을 좌표 변환하여 다음 용접 자세를 보정하는 방법이 사용되었다.

4. References

1. Pugh, A. : Robot Sensors, Berlin, Springer Verlag
1986
2. Paul, R.P.: Robot Manipulators, Cambridge, M.I.T.
Press 1982