

시각 센서에 의한 로봇트 매니플레이터의 툴 좌표계 보정에 관한 연구

正會員 李 龍 中* 正會員 金 學 範** 正會員 李 陽 範*

The Tool Coordinate Adjustment Algorithm For Robot Manipulators With Visual Sensor

Yong Joong Lee* Hak Pom Kim** Yang Bum Lee* *Regular Members*

ABSTRACT

Recently many robot manipulators are used for various areas of industries and factories. It has been frequently observed that the robot manipulator fails to complete the function when the object changes its original position. Due to the unexpected impacts and vibrations the center and direction of the object would be shifted in many real application.

In this study, a visual sensing algorithm for the robot manipulator is proposed. The algorithm consists of two parts : Detection of the object migration and adjustments of the robot manipulators Tool Coordinate System. The image filtering technique with visual sensor is applied for the first part of the algorithm. The change of illumination intensity indicates the object migration. Once the object migration is detected, the second part of the algorithm calculates the current position of the object. Then it adjusts the robot manipulators Tool Coordinate System.

The robot manipulator and the Visual sensor communicate each other using interrupt technique via proposed algorithm. It has been observed that the proposed algorithm reduces the malfunction of a robot manipulator significantly. Thus it can provide better line balance-up of the manufacturing processes and prevent industrial accidents efficiently.

요 약

본 연구에서는 로봇트 시스템에게 인식기능을 부여하여 작업대상물의 위치와 방향이 임의적으로 변경되어도 사용자가 원하는 핸들링작업을 원활하게 수행할 수 있는 자동화시스템을 구현하는데 있다. 이를 위하여 작업대상물의 변화된 위치와 방향은 시각센서로써 검출하고, 화상처리과정에서 명도정보의 가변과 같은 주변여건의 변화때문에 발생하는 에지 추적 오차는 적절한 필터링 방법을 적용하여 최소화시켰

*울산대학교 전기공학과

**상지전문대학교 전자과

論文番號 : 93168

接受日字 : 1993年 9月 7日

다. 시각센서의 응용 프로그램은 인터럽트 기법으로 주변장치와 상호제어가 가능토록 구성하고, 시각센서에서 검출한 데이터는 아스키 포맷으로 로봇시스템에 전달하여 6자유도 매니퓰레이터의 틀 좌표계는 검출데이터와 비례하게 자동보정되어 작업대상물의 위치와 방향변화를 추종할 수 있도록 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템 응용 알고리즘을 생산현장에 직접 적용한 길과 라인 벨러스의 향상과 산업해해 방안을 위한 효과적이고 안정된 생산설비로써 운용될 수 있었다.

I. 서 론

최근 여러 산업체에서는 자동화의 주요 요소로써 로봇이 차지하는 비중이 점차 증가하고 있으며, 적용 분야로는 아크 및 스폿용접(Arc & Spot Welding), 머신 텐딩(Machine Tending), 접착 및 방수(Glueing & Sealing), 도장(Painting)등의 핸들링이며, 대부분 단순 기능직 작업자를 대체하는 방향으로 적용되고 있다.

로봇이 어떤 작업을 수행함에 있어서 작업물의 위치와 방향이 변경되더라도 사용자가 원하는 작업이 수행되어야만 이상적인 자동화 설비로 볼 수 있다. 이러한 목적을 충족하기 위하여 센서 또한 기타의 방법이 사용되고 있다^{[1][2]}. 이러한 국내 외의 사례를 보면 일본의 경우^[3] 다이킨 공업(주)에서 2대의 V-100A 시각 센서와 C4230 시각좌표 로봇으로 FIC(Front Package IC)의 셋팅 위치 변형을 검출한 후 로봇으로써 자동 핸들링하는 공정을 구현하였다. 또한 세이코 전자공업(주)에서도 대부분 수동 작업으로 조립하는 시계를 ME-100 시각 센서와 D-TRN 시각좌표 로봇을 이용하여 자동조립 하였다. 독일에서도^[4] 4096개의 광다이오드 조합과 스캐닝 모듈 및 신호증폭 회로로 구성된 카메라로부터 입력된 데이터를 처리하는 시각 센서와 DC PANCAKE 모터로 구동되는 원통좌표 지멘스(Siemense) 로봇을 조합하여 정밀 자동 핸들링 시스템을 구현하였다. 국내에는 기존의 수작업으로 인하여 발생하는 스티프 용접 불량(불량 원인으로는 작업자의 자세불량, 스티프 간의 마모에 따른 위치 대응 불량등에 기인) 등의 문제점을 2대의 레이저 센서와 HR8000 로봇을 이용하여 자동화로^[5] 문제점을 최소화 시킨 사례도 있다. 또한 제철소 빌렛(Billet) 공장의 턴디쉬(tundish) 용강의 온도 및 산소의 자동 측정을 위하여 로드셀(loadcell)과 HR8000 로봇을 이용하여 용강부재에 비례한 로드셀 출력신호를 산업용 컴퓨터로 데이터 프로세싱하여 매니퓰레이터가 턴디쉬와 충돌없이 이동하여 용강의 온도와 산소를 자동 측정하는 시스템을

구현하였다^[6].

지금까지 인식기능이 첨가되어 실용화된 로봇 응용 시스템에서의 문제점으로는 정지형 시각센서를 제한된 영역에서 적용할 때 로봇 매니퓰레이터가 시각 센서의 센싱영역에 진입하여 센싱장애를 일으킬 수 있다. 또한 밑면에 있는 작업 대상물의 센싱에는 필요 분해능이 낮아져 센싱오차가 발생할 수 있다. 주변 명도 정보의 변화에 의한 영향으로 작업 대상물의 특성을 다르게 인식하여 제품의 품질 편성에 혼란을 야기 하기도 하며, 어떤 경우에는 시각 센서로 유도하는 로봇 매니퓰레이터가 정확한 위치로 이동하지 못하고 주변 장치와 충돌할 수도 있다. 또한 작업 대상물의 특징량 검출 여건에 따라 파라메타의 셋팅 방법등이 다르게 적용되므로 시스템의 일반적 적용이 어렵다.

이와 같은 문제점을 최소화 하기 위해서 본 연구에서는 시각 센서를 핸드홀드(Hand Helded) 방식으로^{[7][8]} 매니퓰레이터에 고정하여 작업 대상물에 직접 접근시켜 낮은 해상도에서도 센싱 정밀도를 높이고, 주변 명도 정보의 변화에 따른 조도차의 영향을 최소화 하기 위하여 작업물의 특성을 세밀하게 분석한 다음에 화상처리 후, 원할하게 수행할 수 있는 효용성이 있는 범용 시각 센서용 소프트웨어 알고리즘을 개발한다.

본 연구 길과를 산업해해가 발생될 수 있는 생산설비를 안정되게 운용하기 위하여 실제의 실린더 헤드 의 가공 공급 현상에 적용하였다. 이를 위하여 기존의 수작업 과정을 관찰한 후 수동작업을 자동화 하기 위하여 먼저 실린더 헤드를 들러 올리는 작업은 로봇으로 하여금 수행토록 하고, 실린더 헤드의 품질검사와 위치 및 방향의 변화량을 시각 센서로 검출하여 정위치에 대한 반복 핸들링 작업을 수행 한 결과 정밀하고도 안정된 시스템으로 구현할 수 있었다.

II. 적용이론

불규칙하게 배열된 작업 대상물을 시각 센서로써 트레이세벨의 불연속성을 계산하여 에지를 검출하

고, 또한 물체의 기하학적 특징(넓이, 원주, 중심, 최대, 최소 관성 모멘트의 비 등)을 구하여 작업 대상물의 특징량을 구할 수 있다. 이와같이 시각 센서에서 검출한 데이터에 의하여 로봇 그리퍼를 정확한 위치로 유도하기 위해서는 먼저 이미 교시된 첫번째 위치에서 시각 센서로 검출한 데이터를 기준하여 보정하는 것이며, 다음은 보정값을 두번째의 교시위치로 좌표 변환하여 가지고 간다. 이러한 보정 방법으로 샤코비안을 해석하여 보정량에 비례한 매니플레이터의 예상 이동량을 구할 수 있으나 역 매트릭스로 해를 구하는 것은 용이하지 않다.¹⁰⁾ 복잡하고 까다로운 작업 대상물에 대한 접근과 주변장치의 간섭등을 고려할때, 이러한 조건들에 비교적 효용성이 좋은 6자유도 이상의 수직 다관절형 로봇 매니플레이터를 적용하고 이를 위하여 기구학을 해석한 후 시각 센서로 부터 검출한 데이터에 비례하게 자동적으로 위치가 보정되는 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

1. 불규칙하게 배열되고 검사면이 거칠은 대상물의 화상처리

시각센서로 부터 검출조사 하는 대상물의 표면이 거칠고 빛 반사량이 불균일할 뿐만 아니라 이 물질이 비 정기적으로 전체 표면에 흡착되었을 경우 시각센서로써 검사 결과 판정을 위한 특징량 선정은 매우 모호하다. 또한 대상물이 불규칙하게 운반된 경우에는 기준점 설정조차 어렵게 된다. 이와같은 문제점들을 해결하기 위한 방법은 다음과 같다. 먼저 작업대상물의 표면 및 반사량의 불균일을 배제하기 위하여 주변의 배경광을 제거한 후 휘도 등을 고려하여 신중한 시각센서 전용의 조명 장치만으로 대상물에 조사한다. 표준품에 해당하는 작업대상물의 기준으로 설정한 화상 특징량과 이물질의 흡착등으로 인하여 동일한 작업대상물임에도 불구하고 잘못 인식하는 것을 방지하기 위하여 대상물의 검사면중에서 이물질의 흡착이 가장 작은 특징부분을 강조한다. 이를 위해서

는 입력화상의 일부 또는 대상물의 특징부분을 강조하는 공간필터를 적용한다. 이 공간필터로는 강조해야 할 부분의 화소 및 그 주변 화소의 데이터로부터 중심화소의 데이터를 계산한다. 실제로 이 계산은 윈도우(window)내의 전체 화소에 대하여 실행하므로 상당한 계산량이 필요하다. 이것을 식으로 표현하면 다음과 같으며

$$G'(I, J) = \sum H(K, L) \cdot G(I - K, J - L) \quad (1)$$

여기서

- G(I, J) : 입력화상의 프레임 메모리 좌표(I, J)의 화소데이터
- G'(I, J) : 공간필터링후의 화소데이터
- H(K, L) : 공간필터링 변환계수
- I, J : 프레임메모리 좌표
- K, L : 계수메트릭스 좌표

이것을 3*3 공간필터의 프레임 메모리 계수와 매트릭스 계수로 표시하면 표 1과 같다.

따라서 표 1과 같은 시각 센서의 프레임 메모리를 이용하여 표준화상의 검사화상을 동일 좌표상에서 화상데이터의 차이를 계산하여 생산기술적인 측면에서 허용되는 이물질 흡착도의 허용치를 설정한다.

한편 일반적으로 대상물의 기하학적인 주요 특징점으로는 여러 형태로 부터 선정할 수 있으나 특히 작업대상물의 홀(hole) 내부가 어두울 경우, 홀·내부와 홀 주변의 배경에 해당하는 면은 로봇 매니플레이터에 스폿 링 라이트(spot ring lighter)등을 정착하여 근접 이동시키는 각부 조명을 생각할 수 있다. 이때 화상의 전처리 과정으로는 Global Thresholding 방법과¹¹⁾ Local Thresholding 방법이 있으나 본 연구에서는 컴퓨터 실시간 처리를 위하여 Global Thresholding 방법을 적용한다. 또한 입력화상에 대한 2차

표 1. 공간필터의 프레임 메모리 계수와 매트릭스 계수
Table 1. Frame Memory and Matrix Coefficient of Spatial Filter

G(I-1, J-1)	G(I, J-1)	G(I+1, J-1)	H(-1, 1)	H(0, -1)	H(1, -1)
G(I-1, J)	G(I, J)	G(I+1, J)	H(-1, 0)	H(0, 0)	H(1, 0)
G(I-1, J+1)	G(I, J+1)	G(I+1, J+1)	H(-1, 1)	H(0, 1)	H(1, 1)

프레임 메모리 계수
Frame Memory Coefficient
매트릭스 계수
Matrix Coefficient

화 방법으로는 입력된 화상이 안정된 경우에 적용하는 절대값 기준 2치화, 윈도우내의 가장 밝고 어두운 화소의 휘도를 기준으로 적용되는 최대값 기준 2치화 및 최소값 기준 2치화, 면적을 기준으로 하는 2치화 방법등이 있다. 그러나 절대값을 기준으로 하는 2치화 방법인 경우, 입력화상의 밝기가 변할 경우에는 2치화 화상이 불안정하고 대상물을 잘못 인식할 가능성이 있다. 최소값 기준 2치화는 윈도우내의 가장 밝은 화소의 휘도를 I_{min} , 보정하는 값을 In (플러스 값)으로 하였을 때 실제의 최소값 기준 2치화 Ls 는 식 (2)와 같다.

$$Ls = I_{min} + In \text{ (플러스 값)} \quad (2)$$

또한 최대값 기준 2치화는 윈도우내의 가장 밝은 화소의 휘도를 I_{max} , 보정하는 값을 Ix (마이너스 값)으로 하였을 때 실제의 2치화 레벨 Ls 는 식 (3)과 같으며 이 방법은 대상물의 밝기가 배경보다 밝고 변동율이 많을 경우에 유용하다. 그러나 입력화상에 극단적으로 밝은 외란광이 입사되면 2치화 레벨이 높아져 버릴 가능성이 있다.

$$Ls = I_{max} + Ix \text{ (마이너스 값)} \quad (3)$$

본 연구에서는 이러한 명도 정보의 민감성으로 인하여 2치화 결과가 급격하게 변하는 것을 최소화시키기 위하여 로보트 매니플레이터에 스폿 링 라이트를 부착하여 대상물에 국부조명으로 조사한다. 실제의 생산현장에서는 2치화 레벨 설정시 이러한 국부조명만으로 완벽하게 명도정보의 변화에 따른 영향을 완

선하게 배제할 수 없으므로 현장조건에 따라 사용자가 위와 같은 방법들을 통하여 시행착오적으로 이치화를 성한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 시행착오적인 방법을 통하여 창틀과 외부 출입구등에 차광막을 설치하여 절대값을 기준으로 2치화를 적용한 결과 양호한 화상특정량을 얻을 수 있었다. 또한 검사화상의 밝고 어두운 변화율을 감제시키고, 폐곽선 검출시 컨투어(Contour)에 연결된 내부의 에지(edge) 값이 컨투어의 에지값 보다 클 경우에는 추적하는 경로가 특정점의 내부로 흘러갈 수 있는 Edge-Tracking이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 방지하기 위하여 에지에 해당하는 폐곽선을 검출한 후 표 2 및 표 3과 같은 에너지강조 필터계수와 컨투어 보정 필터계수를 적용한다¹¹⁾.

한편 검사 화상의 특정량 검출에 따른 불필요한 영향을 배제하기 위하여 대상물 표면의 이물질의 흡착 또는 내부에 존재하는 불필요한 점등을 제거하여야 한다. 이를위한 방법으로는 화상을 확장후 수축하는 방법이 있으며 이것에 대한 수식은 식 (4)와 같다.

$$P = (M - 1) \times N \quad (4)$$

이거시 이물질에 해당하는 흡집수를 P , 화상을 확장후 수축할 때 적용하는 마스크가 점유하는 화소수를 M , 확장후 수축하는 횟수를 N 으로 하면 결과적으로 $(M - 1) \times N$ 화소 이하에 해당하는 흡집은 제거할 수 있다. 반대로 흑색으로 표현되는 홀의 내부에 백색화소로써 불필요한 점으로 판단되는 점등을 소거할 경우에는 화상을 수축후 확장하는 방법이 적용된다. 다음은 예정되지 않은 잘못된 작업대상물의 공급

표 2. 에지 강조 필터계수

Table 2. Edge Enhancement Filter Coefficient

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

-1	-2	-1
0	0	0
+1	+2	+1

표 3. 컨투어 보정 필터계수

Table 3. Contour Corrected Filter Coefficient

0	-1	0
-1	+5	-1
0	-1	0

0	-1	0
-1	+5	-1
0	-1	0

이나 동일 제품임에도 불구하고 뒤틀리게 또는 반대 방향으로 공급되었을 때 시각센서가 잘못 인식하여 생산공정의 흐름에 차질이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 가상 표준품인 작업대상물을 기준으로 화상 특징량에 해당하는 면적과 중심위치 및 방향을 구하여 이 값을 기준으로 컨베이어등으로 공급되는 작업대상물의 검사화상으로부터 검출한 화상특징량과 비교하는 기준데이터로 활용한다. 또한 뒤틀리게 공급되므로써 발생하는 위치오차에도 불구하고 로봇트가 원활하게 핸들링 작업을 수행하기 위하여 로봇트 매니퓰레이터의 툴좌표계의 보정을 위한 기준 값으로도 활용된다. 화상특징량을 구하는 방법으로 중심위치는 식 (5), (6)과 같이 1차 관성모멘트의 비율로부터 구하고, 방향은 식(7)과 같이 2차 관성 모멘트의 비율로부터 구할 수 있다.

$$X\text{좌표중심} = \frac{\sum X \cdot f(X, Y)}{\text{area}} \quad (5)$$

$$Y\text{좌표중심} = \frac{\sum Y \cdot f(X, Y)}{\text{area}} \quad (6)$$

$$\tan(2\theta) = \frac{2 \sum X \cdot Y \cdot f(X, Y)}{\sum X^2 \cdot f(X, Y) - \sum Y^2 \cdot f(X, Y)} \quad (7)$$

여기서

- X, Y : 2차화 화상의 X, Y좌표
- f(X, Y) : 좌표(X, Y)의 화소값
- tan(2θ) : 작업 대상물의 방향
- area : 윈도우내의 전체 화소집합

2. 시각센서의 검출 데이터에 의한 로봇트 매니퓰레이터의 자세 보정 해석

6 자유도를 구현하는 로봇트 매니퓰레이터의 기본적인 정기구학과 역기구학의 해석을 바탕으로 6번째 축인 C₆에 그림퍼와 카메라를 설치하였을 때 로봇트 매니퓰레이터의 6번째 축을 중심으로 하는 좌표계는 그림 1과 같다.

먼저 그림 1에서 C_s(시각 센서 좌표계)의 C₆(6자유도 매니퓰레이터 6축 말단 좌표계)을 기준으로 하는 변환식 ⁶T_s는 식 (8)과 같이 표현할 수 있으며

$${}^6T_s = \begin{bmatrix} N_{sx} & O_{sx} & A_{sx} & P_{sx} \\ N_{sy} & O_{sy} & A_{sy} & P_{sy} \\ N_{sz} & O_{sz} & A_{sz} & P_{sz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

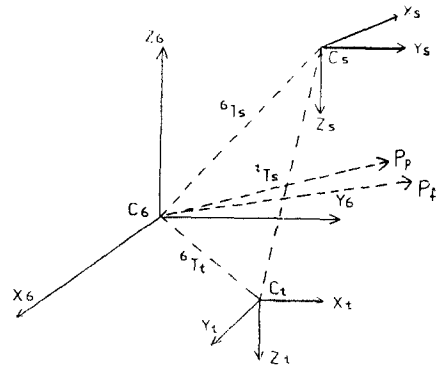


그림 1. 로봇트 매니퓰레이터의 좌표계
Fig 1. Coordinate of a Robot Manipulator

또한

$${}^6T_t \cdot {}^tT_s = {}^6T_s \quad (9)$$

$${}^tT_s = ({}^6T_t)^{-1} \cdot {}^6T_s \quad (10)$$

이므로 식 (10)으로부터 ^tT_s의 해는 식 (11)과 같다.

$${}^tT_s = \begin{bmatrix} N_{sx} & O_{sx} & A_{sx} & P_{sx} \\ N_{sy} & O_{sy} & A_{sy} & P_{sy} \\ N_{sz} & O_{sz} & A_{sz} & P_{sz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

한편 시각센서 좌표계에서 초기에 표준품인 작업대상물을 대상으로 C₆을 기준으로 교시한 P_p의 위치벡터를 $\vec{Y}_s = \gamma_{sxi} + \gamma_{syj} + \gamma_{szk}$ 으로 정하였을때 검사대상물을 센싱한 위치벡터 P_t의 좌표계는 다음과 같다.

$$\vec{Y}_s = \gamma_{sxi}' + \gamma_{syj}' + \gamma_{szk}' \quad (12)$$

또한 툴 좌표계에서 초기에 표준품인 작업대상물을 대상으로 C₆를 기준으로 교시한 P_p의 위치벡터를 $\vec{Y}_t = \gamma_{txi} + \gamma_{tvj} + \gamma_{tzk}$ 로 정하였을 때 변경된 툴 좌표계 내에서 위치벡터 \vec{Y}_t' 는 식 (13)으로 표현할 수 있다.

$$\vec{Y}_t' = \begin{bmatrix} N_{tx} & O_{tx} & A_{tx} & P_{tx} \\ N_{ty} & O_{ty} & A_{ty} & P_{ty} \\ N_{tz} & O_{tz} & A_{tz} & P_{tz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{sx}' \\ \gamma_{sy}' \\ \gamma_{sz}' \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N_{xx} \cdot \gamma_{sx} + O_{xx} \cdot \gamma_{sy} + A_{xx} \cdot \gamma_{sz} + P_{xx} \\ N_{xy} \cdot \gamma_{sx} + O_{xy} \cdot \gamma_{sy} + A_{xy} \cdot \gamma_{sz} + P_{xy} \\ N_{yx} \cdot \gamma_{sx} + O_{yx} \cdot \gamma_{sy} + A_{yx} \cdot \gamma_{sz} + P_{yx} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

결과적으로 보정 되어야 하는 위치벡터 $\vec{\Delta\gamma}$ 은 식 (14)와 같은 보정 위치벡터를 찾는다.
즉,

$$\vec{\Delta\gamma} = \vec{\gamma}_s' - \vec{\gamma}_t' \quad (14)$$

여기서

$$\Delta\gamma_x = N_{xx} \cdot \gamma_{sx}' + O_{xx} \cdot \gamma_{sy}' + A_{xx} \cdot \gamma_{sz}' + P_{xx} - \gamma_{tx}$$

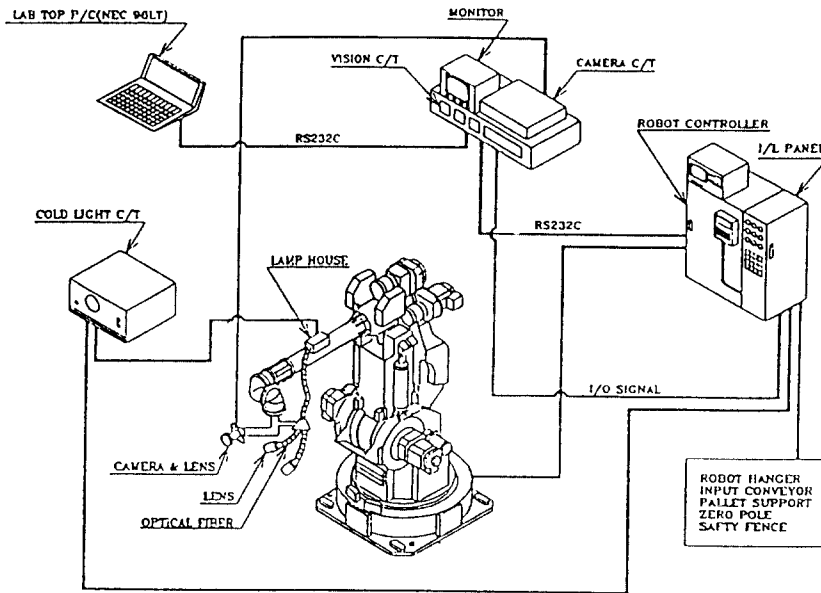
$$\Delta\gamma_y = N_{xy} \cdot \gamma_{sx}' + O_{xy} \cdot \gamma_{sy}' + A_{xy} \cdot \gamma_{sz}' + P_{xy} - \gamma_{ty}$$

$$\Delta\gamma_z = N_{yx} \cdot \gamma_{sx}' + O_{yx} \cdot \gamma_{sy}' + A_{yx} \cdot \gamma_{sz}' + P_{yx} - \gamma_{tz}$$

따라서 $\Delta\gamma_x$, $\Delta\gamma_y$, $\Delta\gamma_z$ 는 X, Y, Z 방향으로 보정되어야 하는 벡터량이다.

III. 시뮬레이션 및 현장 적용 결과

본 연구 결과를 실제의 생산 현장에 적용한 목적은 산업재해가 발생하는 생산설비를 24시간 안정되게 운용하기 위한 것이다. 기존의 실린더 가공을 위한 수직임 과정은 금형 공장에서 생산된 미가공 상태의 실린더 헤드를 직계차로 운반하여 지정된 위치에 하차 후 공작 기계류가 배열된 가공 공장에서 가공을 위하여 작업자가 지속적으로 10kg 가량의 실린더 헤드를 손으로 1개씩 들어올려 회전하고 있는 약 1.7m



- 로봇 : HR8000 (6축 수직 다관절)
- 시각 센서 : NV4201 : 매니플레이터에 핸드홀드 방식으로 부착
- 조명장치 : HLS-4100R (spot ring lighter)
- 행거 : SOL V/V 에 의한 실린더 구동으로 클램핑 on/off 및 접촉 센서로 동작 결과 검출
- 카메라 : CS-3301 BL : 매니플레이터에 핸드홀드 방식으로 부착

그림 2. 시스템 구성도
Fig 2. System Configuration

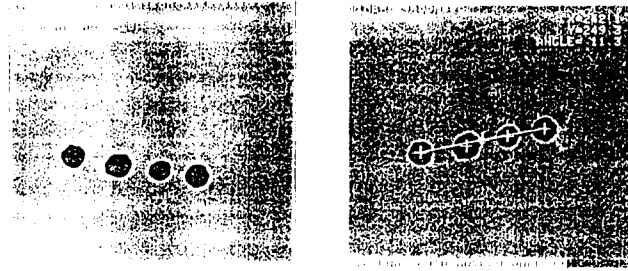


그림 3. 시각 센서를 이용한 실린더 헤드의 중심위치와 방향 검출 결과
Fig 3. Simulation Result of the Center and Direction of the Cylinder Head Using Visual Sensor

높이의 콘베어 위에 올려 놓는다. 이에 따라 작업자의 허리부상 또는 실린더 헤드의 낙하로 인한 안전사고가 발생할 수 있다. 이러한 수동작업을 자동화하기 위하여 먼저 실린더 헤드를 들어 올리는 작업은 작업영역과 가반중량(Handling Capacity)등을 고려하여 HR8000 로봇트로 하여금 수행토록 하고, 금형들에서 바로 취출된 실린더 헤드에는 BUR가 불규칙하게 붙어있고 금형공장과 가공공장간의 이동은 지게차로 운반되어 방향이 불규칙하게 적재되어 있다. 이러한 실린더 헤더의 품질검사와 위치 및 방향의 변화량을 시각센서로 검출한다.

이를 위한 시스템 구성은 그림 2와 같고 약간 뒤틀리게 공급된 실린더 헤드의 중심위치와 방향을 시각 센서로 검출한 결과는 그림 3과 같다. 여기서 검은 부분의 그림은 1개의 실린더 헤드에서 생산기술적인 측면으로 관찰하였을때 이물질의 영향이 가장 적은것으로 판단되어 검사면으로 채택한 부분의 홀을 의미한다. 이때 이 4개의 홀을 중심으로 X(0.512), Y(0.480) 좌표상의 중심위치와 방향(라디안 값)에 대한 검출 결과는 다음과 같다. 가장 표준품인 작업대상물인 경우 방향 데이터는 0이고 중심값은 일정하다.

한편 현장에서 로봇트가 팔레트(pallet)에 60개가 적재되어 있는 실린더 헤드를 핸들링하기 위해 일정 위치에 따라 시각 센서와 동기되면서 실제 작업하는 이동궤적은 그림 4와 같다. ③④⑤⑥은 표준품이고 정확하게 적재되어 있는 상태에서 교시한 시각센서의 적용이 불필요한 로봇트의 플레이백 경로이다. 먼저 ①의 위치에서 기동후 ②의 위치에서 팔렛 타이징 기능이 ON되면 매니플레이터는 팔렛트에 적재된 실린더 헤드가 카메라의 시야에 들어오는 위치로 이동된다. ③의 위치에서 카메라로 화상신호가 입력되어

시각 센서로 보내지고, 시각 센서에서는 화상처리하여 실린더 헤드의 중심위치와 방향을 검출하여 터칭으로 교시한 핸들링 위치와 비교후 그 편차량을 로봇트 시스템으로 전송한다. 이 데이터를 기준으로 자세를 보정하여 정확한 핸들링 작업을 위하여 ④의 위치로 이동한다. 여기서 매니플레이터는 팔레트의 해당 실린더 헤드로 수직 하강하여 ⑥의 위치에서 그립퍼로 클램핑 후 ⑧의 위치를 거쳐 ⑨의 지점에서 콘베어로 투입후 ①의 위치에서 다시 핸들링 작업을 시작한다. 이와 같은 과정은 60개의 핸들링 작업 완료시 까지 반복 작업한다.

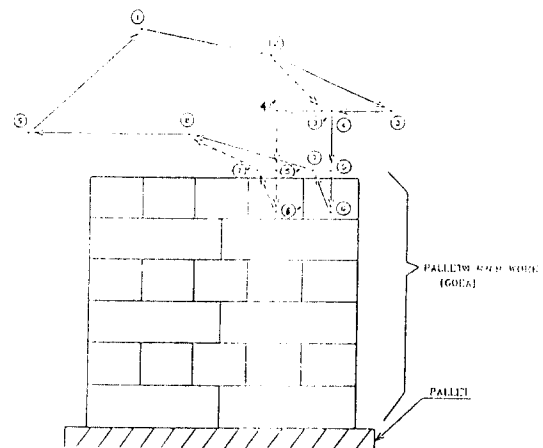


그림 4. 핸들링 작업을 위한 로봇트 매니플레이터의 이동 궤적
Fig 4. Trajectory of the Robot Manipulator for Handling Operation

또한 로봇과 시각 센서는 상호 인터럽트 방식으로 동기되며 로봇은 사전에 교시된 핸들링 위치에서 시각센서에게 작업대상물에 대한 정보를 요청하면 이에 따라 시각센서는 검출한 화상특징량을 송신하고 그 수신된 데이터에 따라 로봇은 매니플레이터의 물 좌표계를 보정하여 작업을 수행하고 그 결과를 시각센서에게 송신한다. 따라서 시각센서에서 검출한 데이터는 아스키 포맷으로 로봇에게 전달하여 6자유도 매니플레이터의 물 좌표계를 검출데이터와 미래하게 자동보정되어 작업대상물의 위치와 방향변화를 추정할 수 있도록 개발하였다. 이:위한 통신 프로토콜은 그림 5와 같으며 상세한 내용은 부록에 있는 전체 시스템 운용 알고리즘과 같다.

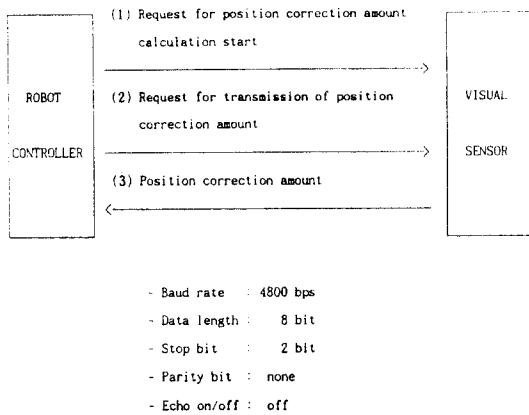


그림 5. 시각 센서와 로봇제어기 간의 통신 프로토콜
Fig 5. Communication Protocol Between Robot Controller and Visual Sensor

본 연구에서는 일정 조도를 유지하는 연구실에서 시스템을 시뮬레이션 한후, 현장에서 실험적인 작업과정중 작업장 상부에 있는 창틀 사이로부터 강렬한 적사광선이 시각 센서의 센싱 영역에 조사 될때 다음과 같은 문제점이 발생하였다. 그 현상으로 HR8000 매니플레이터로 팔렛트에 실린더 헤드를 그림 4와 같이 짧은 부분과 긴 부분을 상호 잇갈리게 60개를 적재하여 그림 6과 핸들링 작업을 수행하였을 때 물 좌표계를 기준으로 X축 방향(실린더 헤드의 긴 부분에 해당), Y축 방향(실린더 헤드의 짧은 부분에 해당), Z축 방향(팔렛트의 적재 높이에 해당)의 오차량은 그림 6, 그림 7 및 그림 8과 같다. 이때 그림 6에서 x

축 방향 그림 6의 클램핑에서 발생한 오차량은 +0.4m이각만 행기가 y축 방향으로 클램핑을 하므로서 핸들링 작업에는 영향이 없었다. 또한 그림 7과 같이 z축 방향으로 발생한 오차량도 실린더 헤드의 표면에 불규칙하게 흡착되는 이물질로 인한 미소한 적재 오차이므로 역시 핸들링 작업에는 영향이 거의 없었다. 그러나 초기에 설계 개작된 그림 6의 보상 여유값이 ±5mm 밖에 미하여 y축 방향으로 그림 7과 같이 최대 오차량이 +6.1mm로 유식 오차가 발생하여 클램핑 애리가 발생하였다. 이를 방지하기 위하여 그림 6

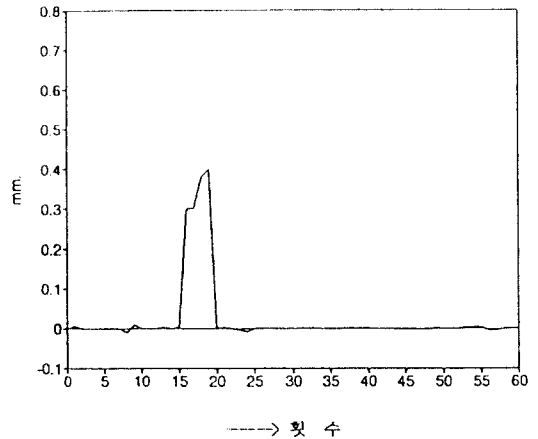


그림 6. X축 방향으로의 오차
Fig 6. Error on X Coordinate

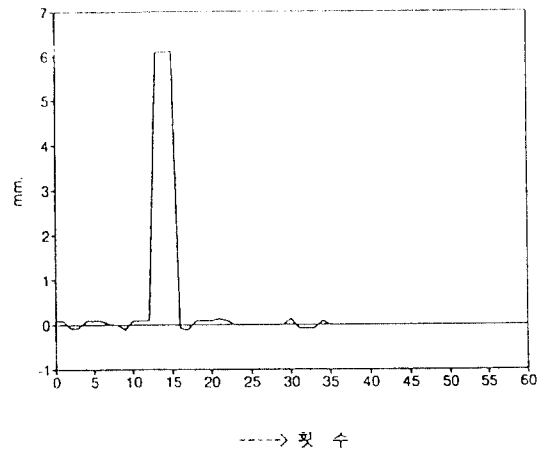


그림 7. Y축 방향으로의 오차
Fig 7. Error on Y Coordinate

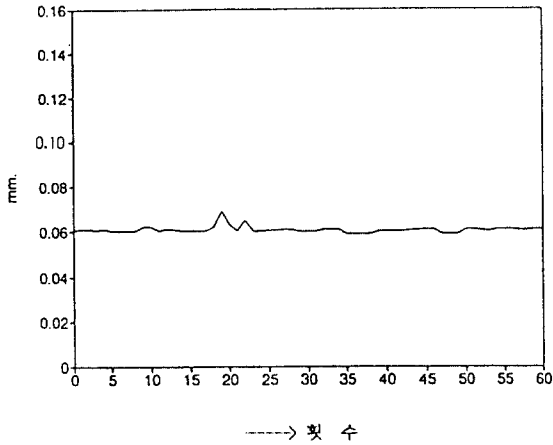


그림 8. Z축 방향으로의 오차
Fig 8. Error on Z Coordinate

에 있는 슬레노이드 벨브 부착용 브라켓(Bracket)을 뒤로 이동 시키는 방법으로 클램핑 오차를 $\pm 8\text{mm}$ 보 상 여유값으로 재 제작하였다. 이와 더불어 창틀과 외부 출입구등에는 차광막을 설치하여 동일한 방법으로 반복 핸들링 작업을 한 결과 양호한 시스템으로 구현할 수 있었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 로봇트 시스템에 인식 기능을 부여하여 작업대상물의 위치와 방향이 임의적으로 변경되어도 사용자가 원하는 핸들링 작업을 원활하게 수행할 수 있도록 자동화 시스템을 구현시켰으며 그 결과는 아래와 같다.

- 1) 표면이 거칠고 빛 반사량이 불균일하며 이물질이 비정규적으로 전체표면에 흡착된 작업대상물에 대해서도 실제의 생산환경을 고려한 조명 설정과 화상처리로 윤곽 특징량 선정의 모호함을 배제하였다.
- 2) HR8000 로봇트 매니플레이터의 6번째 측면에 핸드홀드 방식으로 취부한 그립퍼와 카메라의 위치좌표계를 해석하여 시각센서로부터 검출된 데이터에 비례하게 툴 좌표계가 자동위치 보정될 수 있는 알고리즘을 개발하였다.
- 3) 로봇트와 시각센서가 상호 인터럽트 방식으로 동기되는 통신프로그램을 개발하여 전체시스템에 적용한 결과 실시간 처리가 용이하였다.

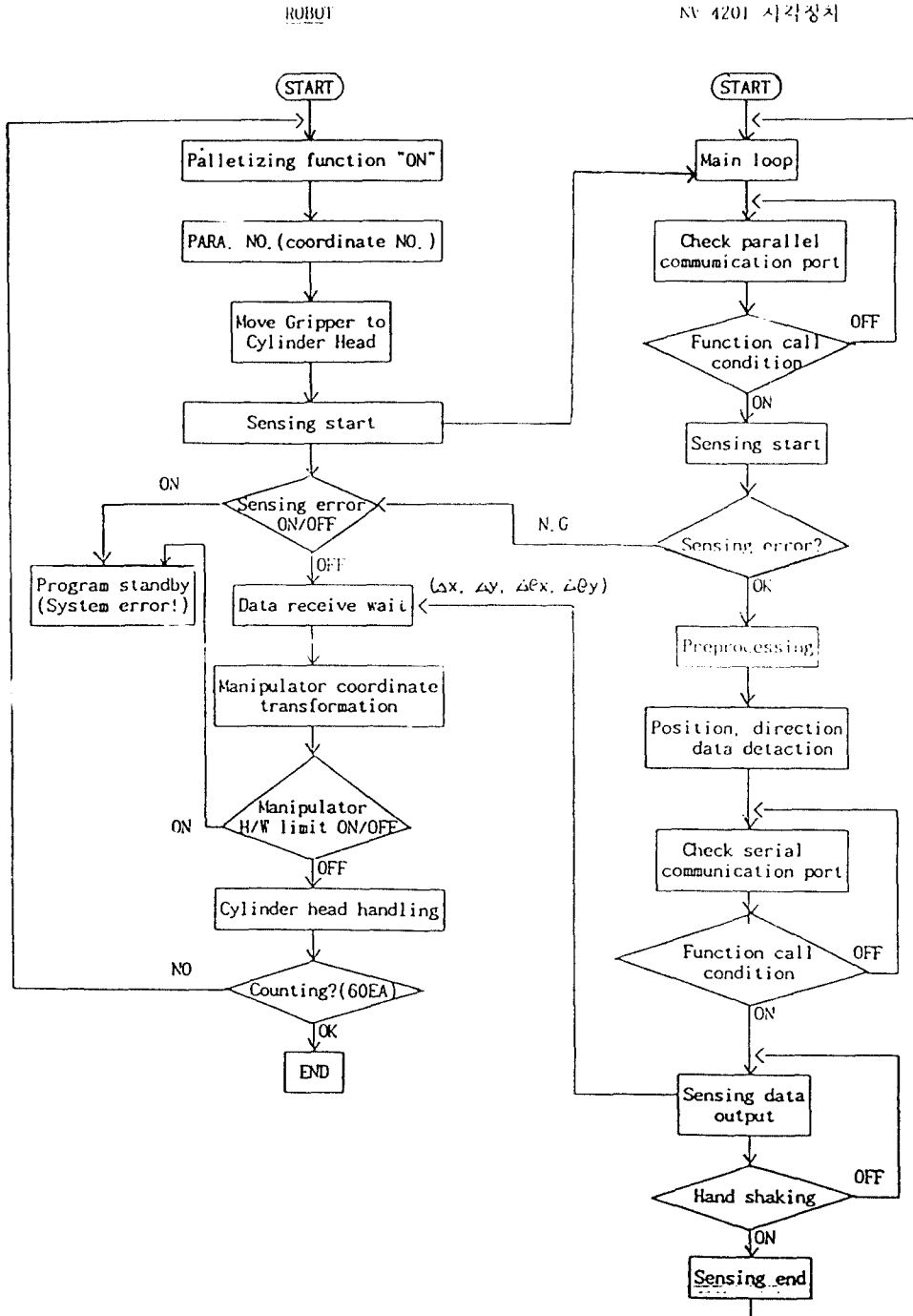
그러나 실제 생산현장에 직접 적용한 결과 예상치 못했던 문제점으로는, 팔레트에 적재되는 실린더 헤드의 적재량이 상호 약속된 양과 높이의 차이가 있을 경우 시각센서가 거리변화량에 대응하는 한계성이 있었다. 이를 보완하는 방법으로 지게차로 운반전에 금형공정의 작업자가 팔레트에 적재시에 수량을 계수 후 적재해야 하는 불편함이 있었다.

앞으로 작업대상물이 불규칙하게 적재되고 또한 시각센서로써 검출코저 하는 면이 기질은 중량물로 로봇트로 하여금 정밀 자동 핸들링 시스템 설계시 본 연구의 해석과 시스템 운용 알고리즘을 적용하면 매우 신뢰성이 높은 시스템을 구현할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Stanley R. sternberg "Vision-Guided Robot for Automatic Assembly" Robotics and Automation IEEE conf. Vol. 1. pp 686-690, 1985.
2. C.Loughline, et. al. "Line, edge and contour following with eye-in-hand vision system" 145th ISIR. pp 553-559, 1984.
3. "自動化技術" 日刊工業新聞社 第31卷 第12호.
4. Alan pugh "ROBOT VISION" IFS(publication) Ltd pp 83-96, 1983.
5. 한국과학기술원 "Stud 용접 Robot의 Fine-positioning을 위한 sensor를 이용한 위치 보정 system 개발" pp 15-23, 1989.
6. 이용중, "로봇트에 의한 제철설비의 자동 측온 시스템 구현" 자동화 기술(11월호) pp 58-62, 1991.
7. P.M Taylor, K. W. Selke, G. E. Taylor "Closed loop control of industrial robot using visual feedback from a sensory gripper" 11th ISIR. pp 79-86, 1981.
8. Loughlin, C. and Hudson, E. "Eye in hand robot vision" 2nd ROVISEC, Stuttgart. pp 264-270, 1982.
9. 안도형, "경로 추적을 위한 2차원 로봇트 비전에 관한 연구" 건국 대학교 석사학위논문 1987.
10. J. S. Weseka, "A Survey of Threshold Selection Techniques," CGIP. Vol. 5. pp 382-399, 1976.
11. 김호성, "로봇트 응용을 위한 컴퓨터 비전 시스템," 한국과학기술원, 석사논문, 1984.

부록. 전체 시스템 운용 알고리즘





李 龍 中(Yong Joong Lee) 정회원
1985년 9월 : 서울산업대학 전기공학
학과(공학사)
1988년 2월 : 연세대학교 산업대학
원 전기공학과(공학석사)
1992년 9월 ~ 현재 : 울산대학교 대
학원 전기공학과 박사
과정

1987년 ~ 1992년 : 울산전문대학 시간강사
1988년 ~ 1992년 : 현대로봇산업(주) 근무
※주관심분야: 로봇틱스, 영상처리, 캐터인식, 공장자동화



金 學 範(Hak Pom Kim) 정회원
1986년 : 경북대학교 공과대학 전자
공학과(공학사)
1988년 : 울산대학교 대학원 전기공
학과(공학석사)
1994년 : 울산대학교 대학원 전기공
학과(공학박사)
1991년 9월 ~ 현재 : 상지전문대학 전
자과 전임강사

※주관심분야: Adaptive Control, Optimal Control, Ro-
botics, Computer Vision System

李 陽 範(Yang Bum Lee) 정회원
1993년 9월호 pp.1385 참조