

## 2D 비전 센서를 이용한 차체의 3D 자세측정 ( The Position Estimation of a Car Using 2D Vision Sensors )

한명철(부산대학교), 김정관\*(부산대학원)  
M.C.Han(Pusan Nat. Univ.), J.K.Kim(Pusan Nat. Univ.)

### ABSTRACT

This paper presents 3D position estimation algorithm with the images of 2D vision sensors which issues Red Laser Slit light and receives the line images. Since the sensor usually measures 2D position of corner(or edge) of a body and the measured point is not fixed in the body, the additional information of the corner(or edge) is used. That is, corner(or edge) line is straight and fixed in the body. For the body which moves in a plane, the Transformation matrix between the body coordinate and the reference coordinate is analytically found. For the 3D motion body, linearization technique and least mean squares method are used.

**Key words** : 3D position estimation, Laser Slit Light, 2D Vision Sensors, Transformation matrix

#### 1. 서론

작업 환경이 열악하거나 능률이 낮은 공정에서 비전 센서를 사용한 자동화 사례가 많이 있다. 예를 들어 로봇에 의한 부품의 이동과 조립, 작업대상물의 표면가공(Grinding)등이 그것이라 할 수 있다. 특정 형상의 부품을 조립하기 위해서는 우선 대상물의 형상에 따른 다양한 Gripping을 수행하여야 하는데, 이를 위해 물체의 형상 인식이 필요하게 된다. 로봇에 의한 그라인딩 작업 또한 작업수행을 위해 3차원 가공면의 정확한 인식이 필요하다. 이러한 요구들을 충족시키기 위해 다양한 비전 센서가 개발되었고, 센서에서 얻은 데이터로부터 실제 대상물에 최대한 가까운 형상 및 위치를 해석하기 위한 기법이 개발되고 있다.

일반적으로 물체의 3차원 정보는 다중 센서 시스템에서 얻어진 이미지로부터 추출할 수 있다.([4]) 스테레오 비전에 의한 3D 형상의 측정이나([6],[7]) 2D 비전 카메라와 거리측정용 초음파 센서의 조합에 의한 3D Position Estimation([3])이 그 예이다. 특히 3차원 데이터를 얻기위해 초음파 센서를 사용한 경우는 비전 센서만으로 구성된 시스템보다 복잡성이 적으며 비용이 절감된다는 장점이 있다. 더욱이 물체가 평면위에서 운동하는 경우라면 초음파 센서들만의 조합에 의한 Estimation도 가능하다.([5])

본 연구에서는 자동차 조립라인의 실링(sealing) 작업의 robot-sensor system에 의한 자동화 연구를 소개한다. 대부분의 자동화 사례와 마찬가지로, 로봇에 의한 만족스런 실링작업 수행에는 실링부위의 기준좌표계(Reference, World Coordinate)에 대한 좌표값 즉, 작업경로 데이터가 필요하다. 초기에 입력한 기준좌표계에 대한 작업경로는 On-Line에서의 여러 가지 외란이나 자동차를 옮기는 carrier의 부정확성에 의해 보정이 필요하게 된다. 이를 위해 실제 자동차 조립라인에 신뢰성 높은 센서의 사용이 요구되며 레이저 슬릿광을 자체광원으로 갖는 비전센서가 널리 이용되고 있다. 이 센서는 슬릿광을 대상물에 비추어 반사된 이미지로부터 2차원 데이터를 얻는 방식으로서 특히 물체의 깎여진 부분(Corner)이나 선단(Edge)을 Mark Point없이 측정하므로 사용상 편리하며 실제 현장에서의 활용도가 높을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구의 목표는 2차원 슬릿광 비전센서를 이용하여, Off-Line에서 설정된 초기치에 대한, 각 대차상태의 변화량을 계산하며 그로부터 수정된 올바른 작업경로를 얻는 것으로 한다. 이를 위하여 우리는 공간상에 고정되어 있는 기준좌표계( $\{r\}$ )와 센서좌표계( $\{s\}$ ) 그리고 차체의 일정 위치에 고정되어 차체의 움직임에 따라 이동하는 물체좌표계( $\{b\}$ )의 세 개의 좌표계를 사용하며, 각 좌표계들간의 변환관계를 나타내는 변환행렬

(Transformation Matrix)  $T$ 를 구한다. 우리는 이 변환행렬로써 모든 대차상태의 초기값에 대한 변화량을 표현한다.

본 연구에서는 이 센서를 다중으로 사용하여 그 센싱된 이미지로부터 자동차 조립라인의 '차체의 3D Position Estimation'을 수행하는 방법을 제안한다. 그 데이터 분석을 통해 최소한의 필요한 센서의 개수를 찾아내고, 그 이상의 센싱 이미지가 제공될 경우 최소자승법[8]에 의한 좀 더 정확한 데이터를 얻을 수 있는 방법을 제공한다.

## 2 센서의 선정

본 연구에서 사용한 센서는 2차원 비전 센서이며 일반적인 비전 카메라와는 달리 광원으로서는 'Red Laser Slit Light'를 사용한다. 따라서 대상물로부터 얻는 이미지는 평면형상이 아닌 선(line)의 모습이다. 그림 1에서, Laser Diode로부터 Laser Plane이 나오면 FOV(Field of View : 측정 가능 범위)내에 위치한 측정물에 비추지며 그로부터 얻어진 선 모양의 이미지는 센서 내부에 장착된 CCD Matrix에 저장된다. Matrix상의 임의의 위치는 FOV내의 임의의 위치와 1 대 1 대응되어 있으며 이러한 보정은 센서 구입 시 소프트웨어로 제공된다. 따라서 우리는 이렇게 얻어진 이미지 데이터로부터 측정된 코너 또는 선단의 좌표값을 센서좌표계에 대해 산출한다. 센서좌표계는 슬릿광이 나아가는 방향을 z축, 센서의 긴 방향을 x축으로 정의하며 마지막으로 오른손 법칙에 의해 y축이 결정된다. 센서좌표계의 원점은 FOV의 중앙에 위치한다.

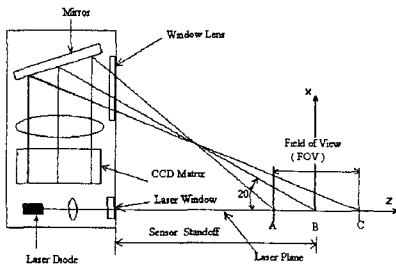


그림 1 레이저 센서의 구조

이 센서는, 홀(hole) 또는 그 외의 측정점에 Mark Point를 부착하여 측정할 수도 있지만, 사용되는 광원의 특성상 코너점(corner point)나 선단(edge point)을 쉽게 측정할 수 있다. 홀의 측정 또는 Mark Point의 부착은 측정 대상물의 일정한 점을

측정한다는 것을 의미한다. 그러나 실제로 자동화에 있어서는 대상물에 홀이 없거나 있더라도 항상 일정한 점을 측정하기가 곤란할 수 있다. 이러한 경우 본 센서를 이용하면 측정 대상물의 다양한 형상과 위치를 비교적 제약없이 측정할 수 있으며 이로부터 3차원 자세를 파악할 수 있다.

그림 2에서 처럼 센서로부터 나온 Laser Plane이 코너 형상의 측정물에 비추지면 측정물에 Laser Line이 생기며, 그에 대응하는 CCD Matrix상의 이미지가 그림 3과 같이 모니터에 나타난다. 그림 3에서 코너의 위치는 표시된 두 직선이 만나는 곳이다. 모니터상의 코너점은 CCD Matrix상의 좌표값(pixel)으로 표현되어진 후 다시 센서좌표계에 대한 좌표값(mm)으로 변환된다. 이와 같은 구조의 센서에서는 측정점이 항상 슬릿광의 평면위에 존재하므로 x축에 대한 값은 항상 '0'이다.

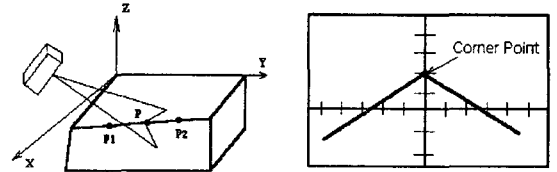


그림 2 코너 측정    그림 3 CRT상의 Image

본 연구에서는 자동차의 자세측정을 위하여 측정부위로서 코너라인을 선택하였으며, 따라서 코너점의 좌표를 계산하는 알고리즘을 수행하였다. 우리는 이것을 '코너 알고리즘'이라 부를 것이다. 센서좌표계에 대한 코너값의 다른 좌표계로의 변환은 두 좌표계간의 변환행렬을 구함으로써 얻을 수 있다.

## 3. 3차원 운동하는 물체의 자세측정 알고리즘

이 절에서는 기준좌표계에 대한 물체좌표계의 운동 즉, 차체의 운동이 3차원적이라고 가정하고, 그에 대한 자세측정 알고리즘을 기술한다. 따라서 변환행렬  ${}^bT$ 에는 z, y, x축들에 대한 각 변위를 나타내는  $\alpha, \beta, \gamma$ 와 각 축에 대한 병진운동  $dx, dy, dz$ 의 여섯 개의 미지수가 존재한다. 회전행렬은 'z-y-x Euler Angles'로 표현할 때 다음과 같이 된다.

$${}^bR = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma)$$

$$= \begin{bmatrix} c\alpha & -s\alpha & 0 \\ s\alpha & c\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\gamma & -s\gamma \\ 0 & s\gamma & c\gamma \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

위의 회전행렬과 병진벡터를 포함한 변환행렬을 기준좌표계와 물체좌표계 사이에서 식 (1)과 같이 표현한다.

$${}^rP = {}^rT {}^bP$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cac\beta & cas\beta\gamma - sac\gamma & cas\beta\gamma + sas\gamma & dx \\ sac\beta & sas\beta\gamma + cac\gamma & sas\beta\gamma - cas\gamma & dy \\ -s\beta & c\beta\gamma & c\beta\gamma & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

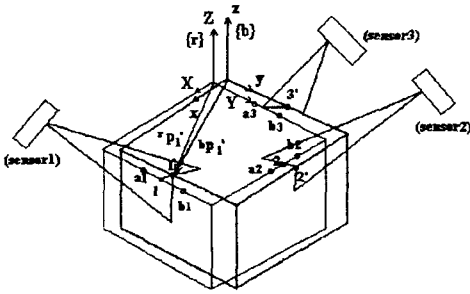


그림 4 일반적 3차원 측정

식 (1)을 전개하면  ${}^rT$ 의 요소들과  $x, y, z$ 에 대한 3개의 방정식이 만들어진다. 이때  $x, y, z$ 의 값들을  ${}^rT$ 의 함수로 표현한다. 즉, 물체좌표계에 대한 슬릿광의 평면방정식과 기준좌표계에 대한  $\vec{ab}$ 의 직선방정식의 교점이  ${}^bP(x, y, z)$ 가 되므로  $x, y, z$ 의 값들은  ${}^rT$ 의 요소들의 함수로 표현될 수 있다. 그림 4와 같이 3개의 센서로 세 지점을 측정한다고 하자. 먼저, 센서1에 대해 분석한 후 다른 두 센서에 대해서도 똑같이 적용하기로 한다.

센서1의 슬릿광의 기준좌표계에 대한 평면방정식을 다음과 같이 둔다.

$$a_1X + b_1Y + c_1Z + d_1 = 0 \quad (2)$$

식 (2)를 물체좌표계에 대한 평면방정식으로 변환한다. 식 (1)에서

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & dx \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & dy \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X &= r_{11}x + r_{12}y + r_{13}z + dx \\ Y &= r_{21}x + r_{22}y + r_{23}z + dy \\ Z &= r_{31}x + r_{32}y + r_{33}z + dz \end{aligned} \quad (3)$$

이므로 식 (3)을 식 (2)에 대입하면,

$$a_1(r_{11}x + r_{12}y + r_{13}z + dx) + b_1(r_{21}x + r_{22}y + r_{23}z + dy) + c_1(r_{31}x + r_{32}y + r_{33}z + dz) + d_1 = 0$$

또는,

$$(a_1r_{11} + b_1r_{21} + c_1r_{31})x + (a_1r_{12} + b_1r_{22} + c_1r_{32})y + (a_1r_{13} + b_1r_{23} + c_1r_{33})z + a_1dx + b_1dy + c_1dz + d_1 = 0 \quad (4)$$

이 얻어진다. 식 (4)를 다음과 같이 간단히 쓴다.

$$a_1'x + b_1'y + c_1'z + d_1' = 0$$

여기서,

$$a_1' = a_1r_{11} + b_1r_{21} + c_1r_{31}$$

$$b_1' = a_1r_{12} + b_1r_{22} + c_1r_{32}$$

$$c_1' = a_1r_{13} + b_1r_{23} + c_1r_{33}$$

$$d_1' = a_1dx + b_1dy + c_1dz + d_1$$

차체가 운동하기 전의 물체좌표계(=기준좌표계)에 대한  $\vec{a_1b_1}$ 의 방정식을 다음과 같이 두자.(그림 4)

$$\frac{x_1 - x_{a1}}{x_{b1} - x_{a1}} = \frac{y_1 - y_{a1}}{y_{b1} - y_{a1}} = \frac{z_1 - z_{a1}}{z_{b1} - z_{a1}} = k_1$$

$$\begin{aligned} x_1 &= (x_{b1} - x_{a1})k_1 + x_{a1} \\ y_1 &= (y_{b1} - y_{a1})k_1 + y_{a1} \\ z_1 &= (z_{b1} - z_{a1})k_1 + z_{a1} \end{aligned} \quad (5)$$

점 1'의 물체좌표계에 대한 좌표값은 직선방정식 (5)와 평면방정식 (4)의 교점이므로 식 (5)를 식 (4)에 대입하면,

$$(a_1'(x_{b1} - x_{a1}) + b_1'(y_{b1} - y_{a1}) + c_1'(z_{b1} - z_{a1}))k_1 = -d_1' - a_1'x_{a1} - b_1'y_{a1} - c_1'z_{a1}$$

위 식으로부터  $k_1$ 을 구할 수 있다.

$$k_1 = \frac{-(a_1'x_{a1} + b_1'y_{a1} + c_1'z_{a1} + d_1')}{a_1'(x_{b1} - x_{a1}) + b_1'(y_{b1} - y_{a1}) + c_1'(z_{b1} - z_{a1})} \quad (6)$$

식 (6)의  $k_1$ 은  $\alpha, \beta, \gamma, dx, dy, dz$ 의 함수이며 식 (5)에 대입하므로써  $x_1, y_1, z_1$ 을  ${}^rT$ 의 요소들의 함수로 표현한다. 식 (5)를 식 (3)에 대입하면, 다음의 센서1에 대한 세 개의 방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned}
X_1 &= \{r_{11}(x_{b1} - x_{a1}) + r_{12}(y_{b1} - y_{a1}) + r_{13}(z_{b1} - z_{a1})\}k_1 \\
&\quad + r_{11}x_{a1} + r_{12}y_{a1} + r_{13}z_{a1} + dx \\
Y_1 &= \{r_{21}(x_{b1} - x_{a1}) + r_{22}(y_{b1} - y_{a1}) + r_{23}(z_{b1} - z_{a1})\}k_1 \\
&\quad + r_{21}x_{a1} + r_{22}y_{a1} + r_{23}z_{a1} + dy \\
Z_1 &= \{r_{31}(x_{b1} - x_{a1}) + r_{32}(y_{b1} - y_{a1}) + r_{33}(z_{b1} - z_{a1})\}k_1 \\
&\quad + r_{31}x_{a1} + r_{32}y_{a1} + r_{33}z_{a1} + dz
\end{aligned} \tag{7}$$

식 (7)의 방정식에서 좌변의  $X_1, Y_1, Z_1$ 은 모두  ${}_bT$ 의 함수로 나타난다.

식 (7)의 구해진 방정식들은 복잡한 비선형성 때문에 해석적인 해를 구하기가 어렵다. 그런데, 대상 상태의 초기 자세에 대한 변화량은 실제로 작은 값이다. 따라서 우리는 여섯 개의 변수들에 대해 미소 변위를 가정하고 다음과 같이 선형화한다.

$$\begin{aligned}
X_1 &= f_1(\alpha, \beta, \gamma, dx, dy, dz) \\
Y_1 &= g_1(\alpha, \beta, \gamma, dx, dy, dz) \\
Z_1 &= h_1(\alpha, \beta, \gamma, dx, dy, dz)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_1 &= k_{110} + k_{111}\alpha + k_{112}\beta + k_{113}\gamma + k_{114}dx + k_{115}dy + k_{116}dz \\
Y_1 &= k_{120} + k_{121}\alpha + k_{122}\beta + k_{123}\gamma + k_{124}dx + k_{125}dy + k_{126}dz \\
Z_1 &= k_{130} + k_{131}\alpha + k_{132}\beta + k_{133}\gamma + k_{134}dx + k_{135}dy + k_{136}dz
\end{aligned}$$

여기서,  $k_{i,j,k}$ 는 선형화 과정에서 나오는 계수들이다. 센서2, 센서3에 대하여도 똑같이 전개하면 총 9개의 방정식을 얻으며 그것을 다음과 같이 행렬 형태로 쓴다.

$$\begin{bmatrix} k_{111} & k_{112} & k_{113} & k_{114} & k_{115} & k_{116} \\ k_{121} & k_{122} & k_{123} & k_{124} & k_{125} & k_{126} \\ k_{131} & k_{132} & k_{133} & k_{134} & k_{135} & k_{136} \\ k_{211} & k_{212} & k_{213} & k_{214} & k_{215} & k_{216} \\ k_{221} & k_{222} & k_{223} & k_{224} & k_{225} & k_{226} \\ k_{231} & k_{232} & k_{233} & k_{234} & k_{235} & k_{236} \\ k_{311} & k_{312} & k_{313} & k_{314} & k_{315} & k_{316} \\ k_{321} & k_{322} & k_{323} & k_{324} & k_{325} & k_{326} \\ k_{331} & k_{332} & k_{333} & k_{334} & k_{335} & k_{336} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 - k_{110} \\ Y_1 - k_{120} \\ Z_1 - k_{130} \\ X_2 - k_{210} \\ Y_2 - k_{220} \\ Z_2 - k_{230} \\ X_3 - k_{310} \\ Y_3 - k_{320} \\ Z_3 - k_{330} \end{bmatrix}$$

또는,  $A\mathbf{u} = \mathbf{v}$  (8)

식 (8)을 보면, 주어진 방정식의 수가 미지수의 수보다 3개 더 많다. 그러나 모든 방정식들이 선형 독립이지는 않다. 2차원 센서를 사용하므로 9개의 식들 중 6개만이 선형 독립이다. 식 (8)을 최소자승법에 의한 'Pseudo-Inverse' 개념으로 문제를 푼다. 만일 측정점에 대한 특이한 직선을 선택한다면 서로 독립인 식이 6개보다도 적어 저서 세 개의 센서로도 데이터가 부족하게 될 것이다. 그 때는, 센서의 개수를 늘려 rank(A)가 6이 되도록 해야 한다.

만일 rank(A)=6이면 다음과 같이  $\mathbf{x}$ 를 구할 수

있다.

$$\mathbf{u} = A^\# \mathbf{v} \tag{9}$$

여기서  $A^\# = (A^T A)^{-1} A^T$ 이다. 식 (44)에서  $\mathbf{u}$ 는 차체의 임의의 모션에서의 자세를 알려주는 변수들이다. 행렬 A는 초기 셋업시 설정되는 센서의 위치와 방향, 기준좌표계와의 관계 그리고 Feature Points에 의한 세 개의 직선에 의해 결정된다. 즉, A는 초기에 시스템을 구성하는 방법에 따라 달라지며, 일회에 한하여  $A^\#$ 을 계산하면 된다. 따라서, 차체의 자세측정은  $A^\#$ 과 매 순간 센서로 측정된 데이터로부터 얻어지는  $\mathbf{v}$ 의 곱으로부터 얻을 수 있다. 기준좌표계와 물체좌표계간의 변환행렬을 얻으면 초기 작업경로를 현재의 물체좌표계에 대하여 수정할 수 있다.

#### 4. 예제

비교적 간단한 형태의 예제를 생각한다.

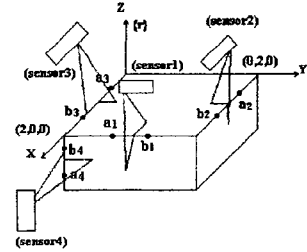


그림 5 3차원 자세측정의 예

그림 13과 같이 네 개의 코너점을 측정하며 각 코너점에 대한 직선을 결정하기 위한 Feature Points를 다음과 같이 가정한다.

$$\begin{aligned}
a_1(2, \frac{1}{2}, 0), & \quad b_1(2, \frac{3}{2}, 0) \\
a_2(\frac{1}{2}, 2, 0), & \quad b_2(\frac{3}{2}, 2, 0) \\
a_3(\frac{1}{2}, 0, 0), & \quad b_3(\frac{3}{2}, 0, 0) \\
a_4(2, 0, -\frac{3}{2}), & \quad b_4(2, 0, -\frac{1}{2})
\end{aligned}$$

기준좌표계에 대하여,

$$\begin{aligned}
\text{센서1의 slit 광의 평면 방정식} & : Y = 1 \\
\text{센서2의 slit 광의 평면 방정식} & : X = 1 \\
\text{센서3의 slit 광의 평면 방정식} & : X = 1 \\
\text{센서4의 slit 광의 평면 방정식} & : Z = -1
\end{aligned}$$

라고 두자. 그럼처럼, 각 센서의 슬릿광은 Z축에 대해 수직하거나 평행하다. 이와 같이 셋업하고 선형화 된 식의 계수  $k_{ijk}$  들을 구한 후 식 (8)의 행렬 형태로 쓴다.

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \\ \frac{\partial x}{\partial z} \\ \frac{\partial y}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1-2 \\ Y_1-1 \\ Z_1-0 \\ X_2-1 \\ Y_2-2 \\ Z_2-0 \\ X_3-1 \\ Y_3-0 \\ Z_3-0 \\ X_4-2 \\ Y_4-0 \\ Z_4+1 \end{pmatrix}$$

또는,

$$A\mathbf{u} = \mathbf{v}$$

행렬 A는 12×6이고, rank(A)=6이므로 아래와 같이 A의 Pseudo-Inverse를 구할 수 있다.

$$A^{\#} = (A^T A)^{-1} A^T$$

$$= \begin{pmatrix} -0.3636 & 0 & -0.3636 & 0 & -0.3182 & -0.1364 \\ 0.2727 & 0 & -0.7273 & 0 & -0.1364 & 0.2273 \\ 0.0909 & 0 & 0.0909 & 0 & -0.0455 & 0.4091 \\ 0.4545 & 0 & -0.5455 & 0 & -0.2273 & 0.0455 \\ 0.4545 & 0 & 0.4545 & 0 & 0.7727 & 0.0455 \\ 0.2727 & 0 & -0.7273 & 0 & -0.1364 & 0.2273 \\ 0 & -0.3182 & 0.500 & 0.3636 & 0.6364 & 0 \\ 0 & -0.1364 & 0.500 & -0.2727 & 0.2727 & 0 \\ 0 & -0.0455 & -0.500 & -0.0909 & 0.0909 & 0 \\ 0 & -0.2273 & 0.500 & 0.5455 & 0.4545 & 0 \\ 0 & 0.7727 & -0.500 & -0.4545 & -0.5455 & 0 \\ 0 & -0.1364 & 1.500 & -0.2727 & 0.2727 & 0 \end{pmatrix}$$

마지막으로, 구하고자 하는 미지수  $\mathbf{u}$ 는 식 (9)로부터  $A^{\#}$  과 센서에서 측정한 데이터인  $\mathbf{v}$ 를 곱하여 얻을 수 있다. 만일 더욱 정확한 해를 구하고자 한다면 센서의 개수를 증가시킴으로써 오차를 줄일 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 자동차의 조립라인에서 실링작업의 Robot-Sensor System을 통한 자동화 연구를 소개하였다. 사용한 센서는 슬릿광 타입의 2차원 센서이며, 몇 개의 센서를 통한 3차원 자세측정 알고리즘을 개발하였다. 여기에는 세 개의 좌표계가 정의되었고, 각 좌표계들 간의 변환관계를 유도하였으며, 센싱된 값들로부터 기준좌표계에 대한 차체의 변화된 자세를 나타내는 변환행렬을 구할 수 있었다. 직선형상의 코너나 선단 부위를 센싱하여 차체의 자

세를 측정하는 이 알고리즘은 차체가 2차원 운동을 하는 경우에 있어서는 해석적인 방법으로 보정 데이터를 구할 수 있으나, 3차원 운동의 경우에는 복잡한 비선형성이 나타나므로 선형화하여 선형방정식의 최소자승법 해법을 이용하였다. 일반적으로, 차체의 2차원 운동의 경우 두 개의 센서가 필요하며 3차원의 경우는 세 개가 필요하다. 최소로 필요한 수 이상의 센서를 사용할 경우, 최소자승법을 이용한 해를 구하므로 오차가 감소된 더욱 정확한 데이터를 얻을 수 있다.

## References

- [1] TriCam Algorithm Manual  
Part Number #009-0084 Revision B 3/95
- [2] SETUP Parameter Quick Steps  
Part Number #009-0071 Revision B 3/94
- [3] Anders Nilsson and Per Hilmberg "Combining a Stable 2D Vision Camera and an Ultrasonic Range Detector for 3D Position Estimation" IEEE Transactions on Instrumentation and measurement. vol.43 no.2 APRIL 1994
- [4] K.D. Gremban, C.E. Thorpe, T. Kanade, "Geometric camera calibration using system of linear equations" in Proceeding IEEE Int. Conf. Robot Automat., vol. 1 1988, pp.562-567.
- [5] P. Holmberg, "Detecting location and orientation on plane surfaces by means of ultrasonic sensors - Robotic applications", Proc. ISMCR92, Tsucuba, Japan, Nov. 1992, pp.701-708.
- [6] 여인재, 박희재, "Vision System for Precision Dimensional Inspection of Bicycle Frames", 한국 정밀 공학회 '95년도 춘계 학술대회 논문집 pp.389-395
- [7] Reimark K. and Rogery Y. "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology", IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence vol.10, no.5, September 1988. pp713-720
- [8] K. J. Å ström and B. Wittenmark, in Identification in Computer Controlled Systems, Theory and Design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984, pp.324-342.