

컨테이너의 자동랜딩을 위한 레이저센서 기반의 절대위치 검출 알고리즘: 2차원 측정 (Part II)

홍금식* · 임성진* · 강민우**

*부산대학교 기계공학부

**부산대학교 지능기계공학과

Position Detection Algorithm for Auto-Landing Containers by Laser-Sensor, Part II: 2-D Measurement

KEUM-SHIK HONG*, SUNG-JIN LIM* AND MIN-WOO KANG**

*School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

**Department of Mechanical and Intelligent Systems Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

KEY WORDS: 2D position measurement 2차원 위치측정 Transformation matrix 변환행렬 Laser sensor 레이저센서 Crane automation 크레인 자동화

ABSTRACT: In contrast to the method in Part I, which is considered to be the general approach, Part II pursues a closed-form solution. However, this closed-form solution is available only in the 2D situation under the assumption that the moving object is restricted to a 2D space, and also requires the use of only two laser-slit sensors. Since the motion of the container loaded on top of an AGV is restricted to a plane parallel to the ground, it can be considered a 2D motion. As a simple method, but with a high cost, the use of a laser scanner is also discussed. Since the approach in Part I already uses three laser-slit sensors, it is desirable to use the schemes presented in Part II for supplementary purposes.

1. 서 론

국가간의 교류가 날이 갈수록 점점 더 활발해져가고, 조선 및 항만 시스템의 기술이 나날이 발전해감에 따라 항만의 환경은 큰 변화를 겪고 있다. 컨테이너 물동량의 증가에 따라 컨테이너의 대형화 추세를 보이고 있으며, 규모의 경제효과의 추구에 의해 10,000 TEU급 이상의 초대형 선박이 등장하였다. 따라서 현재의 항만은 증가하는 물류량의 처리를 위해 항만 규모의 증가와 동시에 하역 생산성 향상을 위한 새로운 하역시스템이 요구되고 있다.

현재 생산성 높은 항만시스템의 구축을 위한 연구들이 활발하게 이루어지고 있으며, 이미 세계 최초의 자동화 터미널인 네덜란드의 ECT 터미널이 건설되어 운영중에 있다. 자동화 항만을 위해 요구되는 하역시스템으로 AGV(Automated Guided Vehicle)의 개발과 크레인의 자동화에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으며, 그 결과로 많은 종류의 AGV들이 실제 항만에 적용되고 있다. 컨테이너 크레인의 경우 이중호이스트(Dual hoist), 또는 이중트롤리(Double trolley) 컨테이너크레인 등의 고효율의 시스템이 도입되고 있으며, 하역작업의 자동화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

하역작업의 자동화를 위해서는 컨테이너크레인의 무인화 및

AGV와 크레인 간의 통신에 의해 자동으로 위치를 보정하는 기능이 요구되며, 크레인의 자동화를 위해서는 스프레더 위치의 정확한 검출이 필요하다. 본 논문의 Part I에서는 기존의 컨테이너크레인의 자동화를 위해 스프레더의 위치를 측정하기 위한 연구(박병석 등, 1999; Kunimitsu et al., 2002)들의 단점과, 다중센서시스템으로부터 물체의 위치정보를 추출하는 방법에 대한 여러 연구(Reimark and Rogery, 1988; Nilsson and Hilmerberg, 1994; 신호필 등, 2000; 홍금식 등, 1996; 김정관과 한명철, 1999; Yuan and Yu, 1999)들에 대해 살펴보았으며, 컨테이너크레인의 자동화를 위해 세 개의 슬릿광센서를 사용하여 스프레더의 3차원 위치를 측정하는 알고리즘에 대해 알아보았다.

자율주행 방식의 AGV는 바퀴의 회전량을 측정하는 휠 엔코더 등의 내부센서에 의해 현재 위치를 파악한다. 하지만 이 경우 주행 경로가 길어질수록 오차가 계속 누적되며, 이러한 오차는 AGV 내부의 센서만으로는 확인할 수 없다. 따라서 이를 보완하기 위해 외부센서가 필요하며, 초음파센서를 이용하는 방법(Masaharu et al., 1989; Lindsay, 1992)과 적외선과 초음파의 전달속도차를 이용한 방법에 대한 연구(박경섭과 박진모, 1996)가 있었다. 하지만 이 방법들은 AGV의 기울임 등으로 인해 수신센서가 AGV의 정확한 중심에 오지 않을 경우 오차가 크게 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 Part I에서 3개의 슬릿광센서를 사용하는 경우와는 달리, 측정하고자 하는 대상물이 평면운동을 한다고 가정

교신저자 홍금식: 부산광역시 금정구 장전 2동 산 30
051-510-2454 kshong@pusan.ac.kr

할 수 있는 경우에 대하여 구체적인 두가지(두개의 슬릿광 센서를 사용한 경우와 하나의 평면 레이저스캐너를 사용하는 경우)의 방법론을 제시한다. 즉, 지면 상을 이동하는 AGV는 평면운동을 한다고 볼 수 있으므로, AGV 상에 놓여진 컨테이너의 절대위치를 측정하거나, 혹은 트롤리가 목표위치에 도달한 후 AGV를 그 위치로 이동시킬 목적으로 매달린 컨테이너의 절대위치를 측정하고자 할 경우 이와같은 방법을 사용할 수 있겠다.

2. 레이저센서와 좌표계 변환

2.1 레이저센서

컨테이너크레인의 자동화를 위해서 물체의 위치를 측정하는 센서로는 측정이 용이하며, 주위 환경에 대해 내구성, 측정의 높은 신뢰도를 가지는 레이저센서의 사용이 추천된다. 스프레터 및 AGV의 위치측정을 위하여 본 논문에서는 레이저광을 자체 광원으로 사용하는 두 종류의 센서, 레이저슬릿광센서와 레이저스캐너를 사용한다. 물체의 절대위치 검출 알고리즘의 전개를 위해 이들 레이저센서에 대한 이해가 필요하다. 이를 위해 각 센서들의 특징에 대해 먼저 살펴보도록 한다.

레이저변위센서와 슬릿광센서의 측정원리와 특징에 대해서는 3차원 위치측정에 대한 논문(홍금식 등, 2007)에서 자세히 기술되어져 있다. 레이저스캐너는 집광원인 레이저 빔을 이용하는데 원하는 각도범위를 스캔하여 물체의 위치와 형상을 측정하는 목적으로 사용되는 것으로 빛의 시간변화에 따른 상호관계 법칙으로 일차원적인 거리를 측정하며, 이것을 기본으로 하여 발광부 레이저 빔을 회전하는 거울을 통해 일정 간격의 각도마다 데이터를 수집하여 지정한 각도의 데이터를 모아 출력시키는 역할을 한다. 예를 들어 지정한 각도를 100°로 하여 한 번 스캔에 대한 데이터를 설정할 때 앵글각도를 0.5°로 하면 출력 데이터 수는 201개의 거리정보를 수집하여 처리할 수 있다(Sick AG).

2.2 좌표계의 정의 및 좌표변환(Calibration)

본 논문의 전개를 위해서 3개의 좌표계가 정의되어야 한다. 그리고 각 좌표계사이의 변환관계를 나타내는 변환행렬을 중요하게 다룰 것이다. 본 논문에서 정의되는 좌표계에는, 먼저 모든 것의 기준이 되며 공간상의 어떤 한 지점에 항상 고정되어 있는 기준좌표계와 FOV의 중앙을 원점으로 하고 레이저슬릿광센서 또는 레이저스캐너에 의해 측정되어진 데이터를 좌표값으로 나타내는 센서좌표계, 그리고 측정하고자 하는 움직이는 물체의 한 점을 기준으로 물체에 고정되어진 물체좌표계가 있다. 이러한 좌표계의 정의는 Part I에 자세히 기술되어 있다.

Part I에서와 같이, 두 좌표계간의 방위(Orientation)관계의 규명을 위해서 $z-y-x$ 오일러 각을 이용하며, 회전행렬과 병진벡터(dx, dy, dz)를 포함한 변환행렬은 아래의 식 (1)과 같다.

$${}^rP = \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ca\ c\beta & ca\ s\beta s\gamma - sa\ c\gamma & ca\ s\beta c\gamma + sa\ s\gamma & dx \\ sa\ c\beta & sa\ s\beta s\gamma + ca\ c\gamma & sa\ s\beta c\gamma - ca\ s\gamma & dy \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= {}^rT \ {}^sP \quad (1)$$

센서의 위치가 결정되어지면 식 (1)의 결과를 이용하여 기준좌표계와 센서좌표계와의 변환행렬을 구할 수 있다. 실제로 센서를 설치할 때 기준좌표계와 센서좌표계의 하나의 축을 평행하게 설치함으로써 식을 더 간단하게 할 수 있다. 본 논문에서 레이저스캐너를 이용한 알고리즘의 경우 하나의 레이저스캐너만 사용되어지므로 기준좌표계의 ${}^r x$ 축과 센서좌표계의 ${}^s x$ 축을 평행하게끔 설치하여 회전변환은 ${}^r x$ 혹은 ${}^s x$ 축에 대한 $R_x(\gamma)$ 만 고려할 것이다.

3. 슬릿광을 사용한 절대위치 검출 (Method 1)

3.1 레이저슬릿광센서를 이용한 좌표측정

여기서는 물체가 중력에 대해 수직인 평면에서 2차원 운동을 하는 경우, 두 개의 슬릿광센서를 이용하여 절대좌표를 측정하는 알고리즘을 기술한다. Fig. 1과 같이 크레인의 Sill beam 혹은 Leg에 장착되는 2개의 센서로 두 지점을 측정한다고 하자. 일반적인 물체의 평면운동의 측정법에 관한 연구(김정관과 한명철, 1999)가 있었으나, AGV 및 스프레터의 경우 코너라인이 xy 평면에 수평하거나 z 축에 수평한 특별한 경우로 적용에 어려움이 있다. 그러나 z 축에 수평한 두 코너점을 측정함으로써 좀더 간단한 알고리즘을 유도할 수 있다. Fig. 2에서와 같이 ${}^b z$ 축을 기준좌표계의 ${}^r z$ 축과 평행하게 설치하면 물체가 기준좌표계 상의 xy 평면 운동을 할 경우 센서에 의해 측정되어지는 코너점은 물체좌표계상에서 항상 동일점이 된다. 이 사실을 이용하여 단순화된 알고리즘을 유도할 것이다.

Fig. 2에서 P_1, P_2 은 물체가 운동하기 전의 기준위치에서의 측정점이 되며, P'_1, P'_2 는 물체가 운동한 후의 위치에서의 측정점을 나타낸다. 기준좌표계와 센서좌표계간의 변환 관계는 2절에서 알아보았다. 센서는 크레인에 고정되어 있으므로 기준좌표계와 센서의 위치가 결정되어지면 변환행렬은 상수행렬이 된다. 센서좌표계와 물체좌표계의 관계는 식 (2)과 같이 표현된다.

$${}^sP = {}^sT \ {}^bP \quad (2)$$

센서좌표계와 물체좌표계와의 관계는 식 (1)에 의해 기준좌표계와 물체좌표계와의 관계로 표현할 수 있다. 그리고 물체좌표계는 공간상에서 xy 평면에 평행하게 운동하므로 기준좌표계와 물체좌표계와의 관계는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$${}^rP = \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & dx \\ s\theta & c\theta & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \\ 1 \end{bmatrix} = {}^rT \ {}^bP \quad (3)$$

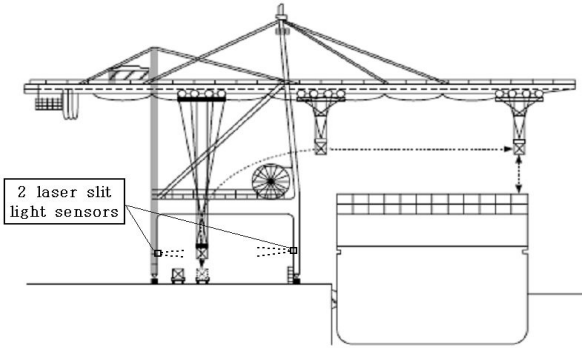


Fig. 1 The proposed sensor locations for measuring the position of a container

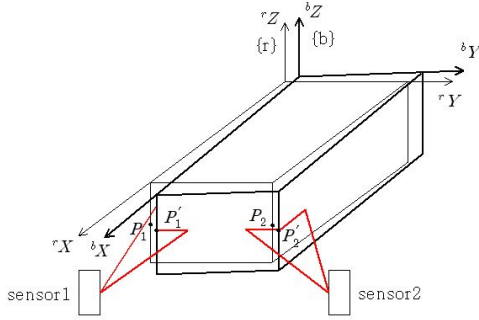


Fig. 2 Position estimation of 2-D motional body

그리고 물체좌표계에 대하여 항상 일정한 점이 측정되어지므로 bP_1 과 ${}^bP_1'$, bP_2 와 ${}^bP_2'$ 는 동일한 값을 가지게 된다. 식 (3)을 살펴보면 변환행렬에 나타난 미지수는 3개이고 2개의 미지수를 제공하므로, 서로 다른 두 측정점에 의해 충분한 수의 방정식을 얻는다. 여기서 ${}^bP_1 = [{}^bx_1, {}^by_1, {}^bz_1]^T$, ${}^rP_1 = [{}^rx_1, {}^ry_1, {}^rz_1]^T$ 으로 표현하면, 측정점 P_1, P_2 에 대하여 다음의 방정식들을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} {}^rx_1 \\ {}^ry_1 \\ {}^rz_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & dx \\ s\theta & c\theta & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^bx_1 \\ {}^by_1 \\ {}^bz_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} {}^rx_2 \\ {}^ry_2 \\ {}^rz_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & dx \\ s\theta & c\theta & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^bx_2 \\ {}^by_2 \\ {}^bz_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

위의 식들을 풀어쓰면 다음과 같다.

$${}^rx_1 = c\theta {}^bx_1 - s\theta {}^by_1 + dx, \quad (6)$$

$${}^ry_1 = s\theta {}^bx_1 + c\theta {}^by_1 + dy, \quad (7)$$

$${}^rx_2 = c\theta {}^bx_2 - s\theta {}^by_2 + dx, \quad (8)$$

$${}^ry_2 = s\theta {}^bx_2 + c\theta {}^by_2 + dy. \quad (9)$$

식 (6)~(9)을 정리하여 다음의 식들을 얻는다.

$$c\theta = \frac{({}^bx_1 - {}^bx_2)({}^rx_1 - {}^rx_2) + ({}^by_1 - {}^by_2)({}^ry_1 - {}^ry_2)}{({}^bx_1 - {}^bx_2)^2 + ({}^by_1 - {}^by_2)^2} \quad (10)$$

$$s\theta = \frac{-({}^by_1 - {}^by_2)({}^rx_1 - {}^rx_2) + ({}^bx_1 - {}^bx_2)({}^ry_1 - {}^ry_2)}{({}^bx_1 - {}^bx_2)^2 + ({}^by_1 - {}^by_2)^2} \quad (11)$$

$$dx = {}^rx_1 - c\theta {}^bx_1 + s\theta {}^by_1 \quad (12)$$

$$dy = {}^ry_1 - s\theta {}^bx_1 - c\theta {}^by_1 \quad (13)$$

위 식을 풀어 해를 구함으로써 변환행렬 rT 의 세 미지수 dx, dy, θ 의 값을 알 수 있으며, 이 결과를 통해 기준좌표계에 대한 물체의 정확한 위치 및 자세를 파악할 수 있다.

3.2 자동화를 위한 알고리즘의 적용방법

이 절에서는 하역작업의 자동화를 위한 좌표측정방법의 적용법에 대해서 기술한다. 먼저 기준좌표계와 물체좌표계를 Fig. 2에서와 같이 정의한다. 물체좌표계는 2.2절에서 언급한 바와 같이 스프레더 또는 AGV의 한 모서리점을 원점으로 하며, 길이방향을 x방향, 중력방향을 z방향으로 정의하며, y축은 오른손법칙에 의해 결정한다. 기준이 되는 측정대상의 위치를 결정하고 그 위치에서의 물체좌표계와 기준좌표계가 서로 일치하도록 기준좌표계를 정의한다. 이렇게 두 좌표계를 정의함으로써 물체가 기준이 되는 위치에 위치할 경우 두 좌표계간의 변환행렬의 요소 dx, dy, θ 의 값이 모두 '0'이 되어, 알고리즘의 적용이 좀 더 간단하게 된다.

물체가 운동을 한 후의 두 좌표계간의 변환행렬의 요소들은 식 (10)~(13)의 해를 찾음으로써 얻을 수 있다. 이 결과값을 기준위치에서의 결과값과 비교하여 물체의 운동 정도를 정확히 파악할 수 있다. 앞에서 기술한 바와 같이 물체가 기준위치에 위치할 경우 기준좌표계와 물체좌표계를 일치하도록 정의하게 되면 운동에 의한 변환행렬의 요소들의 결과값이 바로 기준좌표계에 대한 물체의 운동 정도를 나타내게 된다. 따라서 dx, dy, θ 값이 '0'이 되도록 대상물체를 운동시켜 줌으로써 정확한 위치로 이동이 가능해진다.

컨테이너를 AGV에 올리고 내릴 때, 흔들림 없이 랜딩을 하기 위한 일정한 좌표가 유지되어야 한다. 하지만 실제로 항만에서는 랜딩할 때 어느 정도의 허용오차범위를 두게 된다. 즉 스프레더와 컨테이너, 컨테이너와 AGV가 정확하게 일치하는 점에서 일정한 허용오차범위 안에 들어가면 랜딩이 가능하게 된다.

4. 스캐너를 사용한 절대위치 검출 (Method 2)

4.1 레이저스캐너를 이용한 좌표측정

Fig. 3은 레이저스캐너가 크레인의 부체에 부착된 모습을 보여준다. 그리고 Fig. 4(a)는 레이저스캐너를 이용하여 스프레더를 측정하는 것을 나타내고, Fig. 4(b)는 스캔하여 수집된 데이

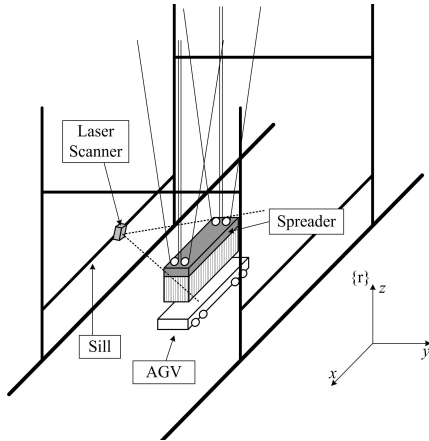


Fig. 3 Measuring the absolute position of the container using a laser scanner

터를 이용하여 측정각도에 대한 변위로 나타낸 그래프를 보여준다. Fig. 4에서 실선으로 된 측정대상의 그래프는 오차없이 랜딩이 되는 기준위치를 나타내고, 점선으로 된 것은 실제 측정위치를 나타낸다. 이 그래프를 이용하여 ${}^sP_1 = [{}^s\alpha_1 \ {}^s d_1 \ {}^s z_1]^T$ 와 ${}^sP_2 = [{}^s\alpha_2 \ {}^s d_2 \ {}^s z_2]^T$ 의 좌표를 알 수 있다. 여기서 윗첨자 s는 센서좌표계를 의미하고 아래첨자 1, 2는 스프레더의 두 좌표를 순서대로 나타낸 것이다. 윗첨자 프라임(')이 없는 것은 기준위치를 의미하고, 프라임이 있는 것은 실제 측정위치를 의미한다.

먼저 레이저 스캐너로 기준위치를 측정하는데, 스캐너로 측정된 센서좌표계는 원통좌표계이므로 이것을 좌표변환을 위하여 직교좌표계로 변환한다.

$${}^s x_1 = {}^s d_1 \sin {}^s \alpha_1, \quad {}^s y_1 = {}^s d_1 \cos {}^s \alpha_1, \quad {}^s z_1 = 0 \quad (14)$$

$${}^s x_2 = {}^s d_2 \sin {}^s \alpha_2, \quad {}^s y_2 = {}^s d_2 \cos {}^s \alpha_2, \quad {}^s z_2 = 0 \quad (15)$$

따라서 센서좌표계에서의 표준좌표는 다음과 같다.

$${}^s P_1 = [{}^s x_1 \quad {}^s y_1 \quad {}^s z_1]^T = [{}^s d_1 \sin {}^s \alpha_1 \quad {}^s d_1 \cos {}^s \alpha_1 \quad 0]^T \quad (16)$$

$${}^s P_2 = [{}^s x_2 \quad {}^s y_2 \quad {}^s z_2]^T = [{}^s d_2 \sin {}^s \alpha_2 \quad {}^s d_2 \cos {}^s \alpha_2 \quad 0]^T \quad (17)$$

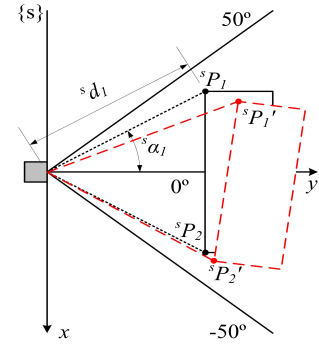
그리고 기준위치를 구하는 방법과 마찬가지로 실제 측정위치를 나타내면 다음과 같다.

$${}^s P'_1 = [{}^s x'_1 \quad {}^s y'_1 \quad {}^s z'_1]^T = [{}^s d'_1 \sin {}^s \alpha'_1 \quad {}^s d'_1 \cos {}^s \alpha'_1 \quad 0]^T \quad (18)$$

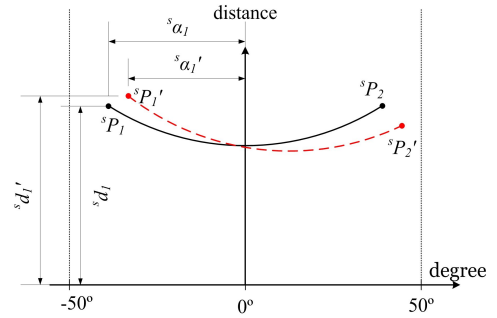
$${}^s P'_2 = [{}^s x'_2 \quad {}^s y'_2 \quad {}^s z'_2]^T = [{}^s d'_2 \sin {}^s \alpha'_2 \quad {}^s d'_2 \cos {}^s \alpha'_2 \quad 0]^T \quad (19)$$

4.2 자동화를 위한 알고리즘의 적용방법

앞 절에서 레이저스캐너의 장착위치 및 기준좌표계와 센서좌표계간의 변환관계에 대하여 알아보았다. 레이저스캐너는 Fig. 3에서와 같이 기준좌표계의 ${}^r x$ 축과 센서좌표계의 ${}^s x$ 축이 평행하도록 설치되어 있다. 즉 두 좌표계 간의 회전관계는 x 축 회전만 고려하면 된다. 여기서 x 축 회전량을 γ , 각 축에 대한 병진운동



(a) Measurement range of the laser scanner



(b) Scanned data

Fig. 4 Measurement of the spreader coordinates using a laser scanner

을 dx , dy , dz 로 하면 두 좌표계 간의 관계는 다음식과 같다.

$$\begin{bmatrix} {}^r x \\ {}^r y \\ {}^r z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & c\gamma & s\gamma & dy \\ 0 & -s\gamma & c\gamma & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^s x \\ {}^s y \\ {}^s z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

식 (20)을 이용하면 센서좌표계에 대한 좌표값을 기준좌표계에 대한 좌표값으로 변환할 수 있다. 따라서 물체의 표준좌표와 실제 측정좌표에 대한 좌표값을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^r P_1 = [{}^s d_1 {}^s \alpha_1 + dx \quad {}^s d_1 c {}^s \alpha_1 c \gamma + dy \quad -{}^s d_1 c {}^s \alpha_1 s \gamma + dz]^T \quad (21)$$

$${}^r P_2 = [{}^s d_2 {}^s \alpha_2 + dx \quad {}^s d_2 c {}^s \alpha_2 c \gamma + dy \quad -{}^s d_2 c {}^s \alpha_2 s \gamma + dz]^T \quad (22)$$

$${}^r P'_1 = [{}^s d'_1 {}^s \alpha'_1 + dx \quad {}^s d'_1 c {}^s \alpha'_1 c \gamma + dy \quad -{}^s d'_1 c {}^s \alpha'_1 s \gamma + dz]^T \quad (23)$$

$${}^r P'_2 = [{}^s d'_2 {}^s \alpha'_2 + dx \quad {}^s d'_2 c {}^s \alpha'_2 c \gamma + dy \quad -{}^s d'_2 c {}^s \alpha'_2 s \gamma + dz]^T \quad (24)$$

위 식에서 각 요소의 값은 이미 알고 있는 값이거나 측정에 의해서 결정되는 값이므로 ${}^r P_1$ 과 ${}^r P'_1$, ${}^r P_2$ 과 ${}^r P'_2$ 의 좌표값은 모두 알 수 있다.

3.2 절에서 기술한 바와 같이 실제 항만에서는 랜딩시에 어느 정도의 허용오차범위를 정하여, 기준위치로부터 일정한 허용오차범위 안에 들어가면 랜딩이 가능하게 된다. Fig. 5에서는 기준

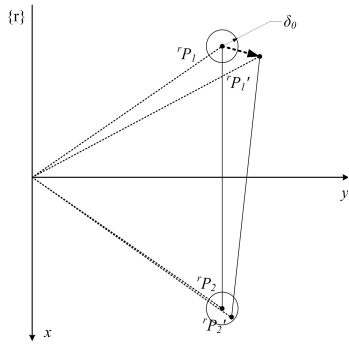


Fig. 5 An example of the range of permissible error (circles)

좌표계에 대한 표준좌표와 실제 측정좌표를 같이 표현하였다. 여기서 표준좌표를 중심으로 반지름이 δ_0 인 원을 랜딩 가능한 허용오차범위라고 가정하자. 그러면 P_1 과 P_1' 사이의 거리가 δ_0 보다 작으면 랜딩이 가능하다. 같은 방법으로 P_2 과 P_2' 사이도 마찬가지로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\|P_1 - P_1'\|_2 < \delta_0 \tag{25}$$

$$\|P_2 - P_2'\|_2 < \delta_0 \tag{26}$$

식 (25), (26)에서 두 조건을 다 만족해야 랜딩이 가능하다. 예를 들어 Fig. 4에서와 같이 2번 코너점에서는 거리가 δ_0 보다 작지만, 1번 코너점에 대한 표준좌표와 실제 측정좌표간의 거리가 δ_0 보다 크게 된 상황에서는 랜딩이 불가능하게 된다. 그리고 스프레더 또는 AGV의 두 코너점에 대한 좌표값을 알면 나머지 두 코너는 스프레더와 AGV의 크기가 고정되어 있으므로 종속 관계가 되어 기준좌표계상의 좌표값을 알 수 있고, 스캐너에 의해 측정된 두 값으로 랜딩 여부를 결정할 수 있다.

5. 크레인에의 적용 및 자동랜딩을 위한 전략

항만의 하역효율을 높이기 위해 점차 도입되고 있는 이중트롤리(Double trolley) 컨테이너크레인의 육측의 트롤리에 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 응용하면 육측 트롤리의 무인화가 가능하기 때문에 본 논문의 결과는 유용하게 사용될 수 있다. 반면에 해상측에서는 선박의 흔들림으로 인하여 인식하고자 하는 컨테이너가 고정되지 않고, 컨테이너선에서 직접 선적/하역할 때 주변 컨테이너 때문에 인식하고자 하는 컨테이너의 위치를 측정하기 어려우며, 스프레더 절대위치 검출을 위한 센서를 설치할 공간이 없기 때문에 무인화가 어려운 실정이다. 육측은 이송하는 처음과 끝에서 컨테이너의 흔들림이 없고, 주변에 다른 컨테이너가 없어서 위치측정이 용이하며, 레이저 센서를 설치할 공간이 충분하다.

3절과 4절에서 기술되어진 알고리즘을 컨테이너크레인에 적용하여 보자. 컨테이너크레인은 흔들림 방지시스템(Anti-sway system)에 의해서 목표위치에서의 컨테이너 흔들림이 거의 발생하지 않고(홍금식, 1999; 신장용 등, 2005; 손유식과 김영복,

2000; 신선근 등, 2000), 호이스팅되는 스프레더는 항상 수평을 유지하는, 즉 스프레더의 윗면은 중력방향에 항상 수직을 유지한다고 가정한다. 이 가정이 적용 가능한 경우에 대해, 절대좌표계에 대한 스프레더의 위치측정을 위해 본 논문의 알고리즘을 적용할 것이다.

먼저 AGV가 컨테이너의 랜딩위치로 들어오게 되면 AGV의 위치를 검출함으로써 정확한 랜딩위치로 유도한다. 크레인 하역시 선박에 선적되어 있는 컨테이너를 스프레더로 잡아서 AGV가 있는 곳으로 이동시킨다. 트롤리가 기준좌표계에 대하여 AGV좌표와 일치하는 지점까지 가게 되면 밑으로 호이스팅하고, 호이스팅되는 줄의 길이를 측정함으로써 측정하고자 하는 스프레더의 위치를 알아내어 AGV와 컨테이너 또는 스프레더와 컨테이너 사이의 거리가 0.2m가 되는 일정한 간격을 유지시킨 뒤, 슬릿광센서 또는 레이저스캐너를 이용하여 센서좌표계에 대한 좌표값을 측정한다. 0.2m의 간격은 하역현장의 경험에 의해서 얻어진 양으로 AGV의 측면 가이드와 같은 구조물들을 고려하여 본 논문에서 제안하는 것이다. 좌표값의 측정 시 10Hz의 샘플링 시간으로 스프레더를 계속 측정하고, 위의 알고리즘에 의하여 최초 만족하는 시점부터 2초간 연속으로 조건을 만족하면 랜딩이 가능한 상태로 인식한다. 그래서 컨테이너를 AGV에 올려놓을 수 있고, 스프레더는 잠금장치를 풀어서 다음 컨테이너를 잡으러 해측으로 움직인다.

선적시에도 하역할 때와 마찬가지로 컨테이너를 싣고 있는 AGV가 크레인에 접근하면 스프레더가 내려와서 레이저 변위센서와 슬릿광 센서 또는 레이저스캐너를 이용하여 위치를 확인하고 알고리즘을 통해서 랜딩가능한지 여부를 확인한 다음 스프레더가 컨테이너를 랜딩한다.

6. 결 론

본 논문에서는 컨테이너크레인의 육측 하역작업의 자동화를 위해 꼭 필요한 AGV 및 스프레더의 절대위치 측정을 위한 알고리즘을 제시하였다. AGV의 경우내부센서에 의한 현재위치의 추정시 주행에 따라 누적된 오차가 발생 가능하므로, AGV의 정확한 랜딩위치로의 유도를 위한 절대좌표계에 대한 위치를 검출을 위해서, 컨테이너 크레인은 흔들림 방지시스템에 의해 흔들림이 거의 발생하지 않는 상황에서 호이스팅되는 스프레더의 운동을 수평운동으로 가정하였으며, 이 경우의 컨테이너크레인의 스프레더의 절대위치를 측정하기 위한 두 가지 알고리즘을 제시하였다.

첫 번째 알고리즘은 2개의 레이저 슬릿광센서로 평면운동하는 AGV 및 스프레더의 두 코너점을 측정하여 기준좌표에 대한 위치 및 자세를 나타낼 수 있었다. 수평운동의 가정에 의해 스프레더 및 AGV의 물체좌표계의 b_z 축이 절대좌표계의 r_z 축에 평행하다는 점에 착안하여, 슬릿광평면이 xy 평면에 수평하게 설치된 슬릿광센서에 의해 물체의 b_z 축 측정하면 항상 동일점이 측정된다는 점에 착안하여 기존의 평면운동 측정법에 비해 좀 더 단순화된 알고리즘을 유도하였다.

두 번째 알고리즘은 레이저스캐너를 이용하여 AGV와 스프

레더의 코너라인을 측정함으로써 기준좌표에 대한 위치를 측정한다. 여기서 지면과 수평하다는 가정을 바탕으로 레이저스캐너는 xy 평면에 대한 측정만 한다. 레이저스캐너는 비용 측면에서 다소 불리한 점이 있으나, 측정을 위해서 하나의 센서만이 사용되며, 슬릿광센서를 이용한 측정 알고리즘에 비해 적은 연산량이 적으므로 알고리즘의 계산을 위한 시스템의 부하를 줄일 수 있다. 그리고 측정시 컨테이너 코너라인의 길이를 스캔함으로써 컨테이너의 크기 정보까지 얻을 수 있는 이점이 있다.

본 연구에서는 평면운동으로 가정이 가능한 경우에 대해 스프레더의 절대좌표와 AGV의 위치를 검출할 수 있는 두가지 알고리즘을 제시하였다. 따라서 이 가정이 적용 가능한 경우, 본 논문의 알고리즘만으로 스프레더 및 AGV의 절대위치를 기준위치와의 오차와 비교, 보정함으로써 컨테이너의 정확한 랜딩이 가능하다. 그리고 3차원 위치측정법에 비해 적은 수의 센서 사용(두개의 슬릿광센서)과 단순화된 알고리즘에 의해, 비용절감과 높은 효율을 기대할 수 있다. 가정이 성립되지 않은 경우 본 논문의 알고리즘은 AGV를 랜딩위치로 유도하기 위해 적용하며, 본 논문의 Part I에서 알아본 알고리즘과 연동하여 컨테이너의 정확한 랜딩이 가능하게 된다. 따라서, 본 논문의 결과는 하역작업의 자동화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2007년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지방연구중심대학육성사업 / 차세대물류IT기술연구사업단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

김정관, 한명철 (1999). "2-D 슬릿광 비전센서를 이용한 물체의 자세측정", 한국정밀공학회지, 제16권, 제12호, pp 133-142.

박경섭, 박진모 (1996). "초음파와 적외선센서를 이용한 AGV위치보정", 공학연구논문집, 제27권, 제1호, pp 113-129.

박병석, 권달안, 윤지섭 (1999). "크레인 자동화를 위한 물체 위치측정 알고리즘 개발", 대한기계학회논문집 A권, 제23권, 제5호, pp 829-838.

손유식, 김영복 (2000). "컨테이너 크레인의 흔들림 방지장치 개발에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제9권, 제11호, pp 906-916.

신선근, 최재준, 소명옥 (2000). "하역효율 향상을 위한 컨테이너 크레인의 제어기 설계", 한국박용기관학회지, 제24권, 제4호, pp 502-508.

신장용, 고성희, 홍경태, 홍금식 (2005). "화물과 트롤리가 만드는 로프가이 화물의 진자운동에 미치는 영향: 적합조건과 분기조건", 한국해양공학회지, 제19권, 제3호, pp 60-66.

신효필, 이종광, 강이석 (2000). "비전센서를 이용한 유연한 로봇 팔의 끝점 위치 측정", 제어·자동화·시스템공학논문지, 제6권, 제8호, pp 682-688.

홍금식 (1999). "컨테이너 기중기의 제어: 수정된 시간최적주행과 비선형 잔류흔들림 제어", 제어·자동화·시스템공학논문지, 제5권, 제5호, pp 630-639.

홍금식, 임성진, 홍경태 (2007). "컨테이너의 자동랜딩을 위한 레이저센서 기반의 절대위치 검출 알고리즘: 3차원 측정 (Part I)", 한국해양공학회지, 제21권, 제4호, pp 45-54.

홍금식, 한명철, 윤중선, 이석 (1996). 차체의 위치보정에 관한 연구: Perceptron 시스템의 분석 및 P4000 시스템을 통한 알고리즘의 구현, 부산대학교 기계기술연구소 보고서, pp 146.

Kunimitsu, S., Asama, H., Kawabata, K. and Mishima, T. (2002). "Measurement of Relative Position between Spreader and Target Container with Image Processing", The 2002 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computer and Communications, pp 1224-1227.

Lindsay, K. (1992). "Optimal Estimation of Position and Heading for Mobile Robots Using Ultrasonic Beacons and Dead-reckoning", Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 2582-2587.

Masaharu T., Shumichi O. and Takahiro., Ken S. (1989). "Study on Mobile Robot Navigation Control by Internal and External Sensor Data with Ultrasonic Sensor", IEEE.RSJ International Workshop on Intelligent Robot and Systems, pp 456-463.

Nilsson, A. and Hilmberg, P. (1994). "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, pp 272-276.

Reimark, K. and Rogery, Y. (1988). "Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3-D Machine Vision Metrology", IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, Vol 10, No 5, pp 713-720.

Sick AG. "Factory Automation", <http://www.sick.com>.

Yuan, J. and Yu, S.L. (1999). "End-Effector Position-Oriented Measurement", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 15, No 3, pp 592-595.

2007년 3월 5일 원고 접수

2007년 7월 4일 최종 수정본 채택