

RTGC 주행제어를 위한 카메라기반 가이드라인 위치계측시스템 개발 Development of Guide Line Position Measurement System using a Camera for RTGC Tracking Control

정지현 · 카와이 히데키 · 김영복 · 장지성 · 배헌민

Ji-Hyun Jeong, Hideki Kawai, Young-Bok Kim, Ji-Sung Jang and Heon-Meen Bae

(접수일 : 2010년 10월 15일, 수정일 : 2010년 11월 8일, 채택확정 : 2010년 11월 8일)

Key Words : Rubber Tired Gantry Crane(RTGC), High efficient(고효율), Image processing(화상처리), Line position measurement(라인위치계측), Camera-based measurement system(카메라기반계측장치)

Abstract : The handling ability of containers at the terminal strongly depends on the performance of the cargo handling system such as RTGC(Rubber Tired Gantry Crane). This paper introduces a new guide line position measurement method using a camera for the RTGC which plays a important role in the harbor area. Because the line tracking is the basic technique for control system design of RTGC, it is necessary to develop a useful and reliable measurement system. If the displacement and angle of the RTGC relative to a guide line as trajectory to follow is obtained, the position of RTGC is calculated. Therefore, in this paper, a camera-based measurement system is introduced. The proposed measurement system is robust against light fluctuation and cracks of the guide line. This system consists of a camera and a PC which are installed at the lower side of the RTGC. Two edges of the guide line are detected from an input image taken by the camera, and these positions are determined in a Hough parameter space by using the Hough transformation method. From the experimental results, high accurate standard deviations were found as 0.98 pixel of the displacement and 0.24 degree of the angle, including robustness against lighting fluctuation and cracks of the guide line also.

1. 서 론

최근 세계적으로 컨테이너 화물량이 증가함에 따라 각 컨테이너 터미널의 하역작업에 있어서의 효율성 향상이 꾸준히 요구되고 있다. 터미널에서는 하역작업을 위해 컨테이너 크레인이 필수장비로 이용되고 있기 때문에 크레인의 하역능력향상은 터미널 전체의 하역효율향상으로 이어진다. 현재 터미널에서는 타이어 구동식 크레인(Rubber Tired Gantry Crane: RTGC)이 주로 사용되고 있다. 이것은 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)보다 이동성 및 기동성이 뛰어나 그 역할이 기대되고 있을 뿐 만 아니라, 무인자동화 터미널 구축을 위한 우선 기술개발과제 대상

으로도 주목 받고 있다.^{1,2)}

RTGC 자동화를 위한 우선과제는 야드에서 설정된 경로를 고속, 고정도로 주행하도록 하는 주행제어 문제이다. 이를 위해서는 크레인의 이동거리(변위)와 주행궤도에 대한 각도를 동시에 계측하여야 한다. 지금까지는 GPS를 이용한 야드에서의 포괄적 위치계측³⁾과 카메라나 자기센서를 이용한 국소적 계측⁴⁾ 기술에 관한 연구결과가 보고되고 있다. GPS를 이용한 계측시스템에는 위치의 기준이 되는 베이스 스테이션에 1대, RTGC 상부에 2대의 GPS 리시버가 각각 설치된다. 각 리시버의 좌표를 사용하여 주행궤도에 대한 RTGC의 위치와 각도를 계측한다. 그렇기 때문에 임의의 주행궤도상에서도 계측이 가능한 장점이 있다. 그러나 RTGC의 구조상, 주행중에는 구조물 전체에 진동이 발생하고 강풍에 의해 구조적 형상이 변한다.¹⁾ 형상의 변화는 GPS 리시버의 상대적 위치에 영향을 미치기 때문에 결과적으로 계측정밀도의 저하로 이어진다. 한편 카메라나 자기센서를 이용한

정지현(교신저자) : 부경대 대학원 제어기계공학과·국립수산과학원

E-mail : bada@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6197

카와이 히데키, 김영복, 장지성 : 부경대학교 기계시스템공학과
배헌민 : 국립수산과학원

계측기법은, RTGC의 측면하부에 설치된 센서로 지상의 가이드라인을 검출함으로써 RTGC와 주행궤도와의 상대변위와 각도를 계측하는 기법이다. 이 중에서 자기센서에 의한 계측시스템은 가이드라인으로 지면에 고무자석을 매설한다. 그렇기 때문에 센싱시스템 구축비용이 비싸고 주행궤도의 변경이 거의 불가능하다. 여기에 비해 카메라에 의한 계측시스템은 카메라와 주행궤도로 백선과 같은 가이드라인을 잘 도장하면 되므로 시스템구성이 지극히 단순하여 설치 및 운영비용이 저렴하다. 뿐만 아니라 주행궤도의 변경이 용이하다는 장점도 있다. 그러나 조명조건(기후)의 변화, 경년열화에 의한 가이드라인 내의 박리와 같은 외부환경변화에 따른 다양한 장애요인을 극복해야 한다. 따라서 본 연구에서는 조명조건 변화나 가이드라인내의 박리 등의 외부환경에 강인한 카메라 기반 가이드라인 계측시스템을 제안한다. 제안하는 계측시스템은 RTGC의 측면하부에 장치된 1대의 흑백카메라와 화상처리용 PC로 구성된다. 그리고 입력영상으로부터 가이드라인 좌우의 에지(edge)를 구하고, Hough변환에 의해 좌우 에지의 직선파라미터를 구한다. 그리고 구해진 파라미터로부터 가이드라인의 변위와 각도를 계산한다.

본 논문에서 제안하는 계측시스템을 이용하면 조명조건 변화나 백선의 균열에 대해 강인하게 대응하여 정도 높은 계측값을 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 외부환경에 대한 계측시스템의 강인성 뿐만 아니라 계측 정밀도에 대한 평가도 수행하여 제안하는 계측시스템의 유용성을 확인한다.

2. 시스템 개요

RTGC의 자동화 시스템을 구축하기 위해서는 주행궤도와 RTGC의 현재위치에서의 변위와 각도정보가 필요하다. 제안하는 위치계측시스템에서는 주행궤도에 따라 지상표면에 도장된 가이드라인을 화상처리에 의해 검출하는 것으로 주행궤도의 변위와 각도를 계측한다. Fig. 1은 제안하는 위치계측시스템의 개요를 보여준다. 본 시스템은 RTGC의 측면하부에 설치된 1대의 흑백카메라와 화상처리용의 PC로 구성되어 있다. RTGC가 주행궤도상을 움직이고 있는 경우, 카메라로 촬영한 입력화상에는 가이드라인이 화상중앙에 Y축과 평행하게 촬영된다. 제안하는 계측시스템은 입력화상 내에 가이드 라인 위치를 검출해서 영상중심에서 X축 방향의 변화량 x 와 Y축과 가이드라인이 이루는 각 θ 를 계측한다.

3. 화상처리에 의한 가이드라인 위치계측

제안된 계측시스템이 외부환경에서도 사용 가능하도록 하기 위해서는 조명조건의 변화에 강인한 화상처리법이 필요하다. 예상되는 조명조건의 변화에는 일조조건에 의한 일정한 조명조건의 변화와 RTGC 자신과 적재된 컨테이너 및 외부물체의 그림자에 의한 부분적 조명조건의 변화가 포함된다(Fig. 2(a)). 또한 경년열화에 의한 도장선 내부의 균열 발생도 고려되어야 한다(Fig. 2(b)).

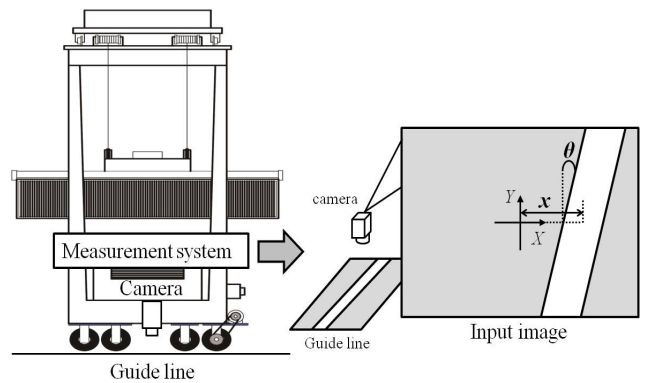


Fig. 1 Schematic diagram of the proposed lane position measurement system

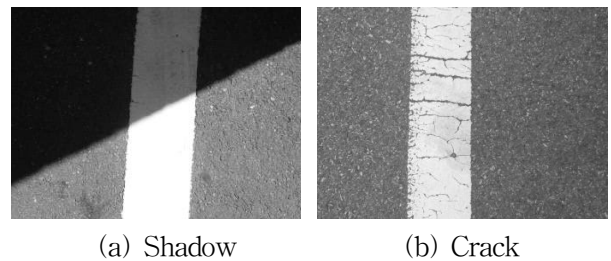


Fig. 2 Disturbances of input images

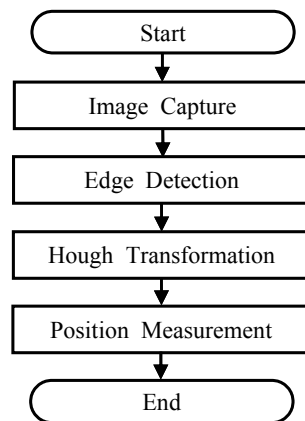


Fig. 3 Processing flow of the proposed measurement system

참조(template)화상을 이용하여 매칭기법으로 위치를 검출하는 경우, 가이드라인에 균열이 포함되면 오차가 발생할 우려가 높게 된다. 따라서 제안하는 계측시스템에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 가이드라인 양단의 에지정보에 기초를 둔 위치계측기법을 도입하였다. Fig. 3은 제안하는 계측시스템의 위치계측절차를 보여주는 순서도이다. 그 순서는 1) 에지추출, 2) Hough 변환, 3) 위치계측으로 간단히 정리할 수 있다. 각 처리순서에 대한 상세한 설명은 다음절에서 다룬다.

3.1 에지검출

가이드라인의 위치검출을 위해, 제안된 계측시스템에서는 카메라로부터 얻은 입력영상에 대한 에지검출을 실행한다. 통상적으로 에지검출은 화상 내에 있는 물체의 윤곽정보를 취득하기위해 이용되며, $n \times n$ 의 필터를 이용하여 연산한다.⁵⁾ 그리고 제안하는 계측시스템에서는 식 (1)에 나타낸 3×3 크기의 2개의 Sobel 필터를 사용한다.

$$S_x(i, j) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, S_y(i, j) = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

식 (1)의 필터를 사용하여 입력화상 $I(x, y)$ 대한 에지강도화상 D_x, D_y 는 식 (2)로부터 구할 수 있다.

$$D_{x,y}(x, y) = \sum_{j=0}^2 \sum_{i=0}^2 I(x-1+i, y-1+j) \times S_{x,y}(i, j) \quad (2)$$

이렇게 구해진 D_x, D_y 의 절대치 합으로부터 2개의 에지화상은 식 (3)과 같이 구해진다.

$$E(x, y) = \begin{cases} 1 & |D_x| + |D_y| \geq t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

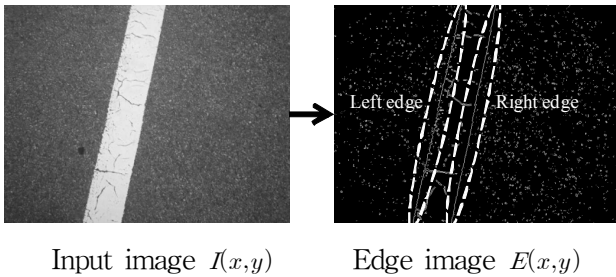


Fig. 4 Edge detection from an input image with Sobel filter

Fig. 4는 카메라로부터 얻은 입력화상 $I(x, y)$ 에 대한 에지화상 $E(x, y)$ 를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이 에지화상 $E(x, y)$ 에서 가이드라인 좌우의 에지가 추출됨을 알 수 있다. 따라서 가이드라인 좌우 에지위치로부터 가이드라인의 위치를 계측할 수 있게 된다.

3.2 Hough 변환

위에서 설명한 것처럼 본 논문에서 제안하는 계측시스템은 에지화상 $E(x, y)$ 로부터 가이드라인의 좌우위치를 검출하는 기법이다. 그런데 에지화상 $E(x, y)$ 에 나타나는 좌우 가이드라인 에지에 균열과 박리에 의한 외란이 존재할 경우, 에지가 추출되지 않는 부분이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Hough 변환을 사용하여 좌우 에지위치 검출에 있어서의 신뢰성을 확보하도록 한다. Hough 변환은 이진(binary)화된 화상으로부터 직선을 검출하는 방법으로, 화상내의 X-Y좌표계에 나타나 있는 직선을 식 (4)를 이용하여 계산한 것이다.⁶⁾

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (4)$$

그리고 $E(x_1, y_1) = 1$ 의 좌표에 대응하는 직선 파라미터를 구하기 위해 (x_1, y_1) 을 $\rho - \theta$ 공간에 사상시킨다. 이때 사상된 좌표는 $\rho - \theta$ 공간에서 곡선으로 표현되고 이 곡선에서 교차가 가장 많이 일어나는 좌표 (ρ_j, θ_j) 가 직선파라미터가 된다.

Fig. 5는 Fig. 4의 에지화상에 대한 Hough 변환된 화상을 나타낸 것이다. 이때 Fig. 5에 나타낸 Hough 변환에서 화상의 좌상을 원점으로 두고 있다. Hough 변환화상 $H(\rho, \theta)$ 의 각 픽셀(pixel)값은 각 좌표를 통하는 곡선의 수를 나타내고 있고, 픽셀값이 높은 좌표위치가 직선 파라미터 후보가 된다.

본 논문에서 제안하는 계측기법은 가이드라인의 위치 검출을 위해 에지직선의 파라미터를 필요로 한다. 그래서 Hough 변환화상 $H(\rho, \theta)$ 로부터 극대값을 검출하고, 그 중에서 픽셀값이 높은 2개의 좌표 $(\rho_L, \theta_L), (\rho_R, \theta_R)$ 을 검출한다. 이때 에지화상의 원점을 화상의 좌상에 있다고 가정하였기 때문에 $\rho_L < \rho_R$ 로 두고 이것으로부터 각각의 에지를 직선 파라미터로 결정한다.

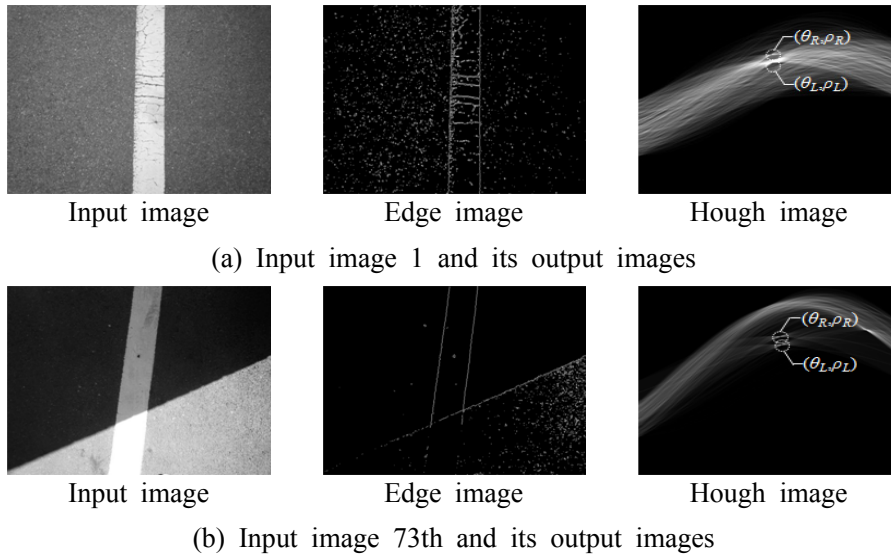


Fig. 7 Experimental results on Edge detection and Hough transformation

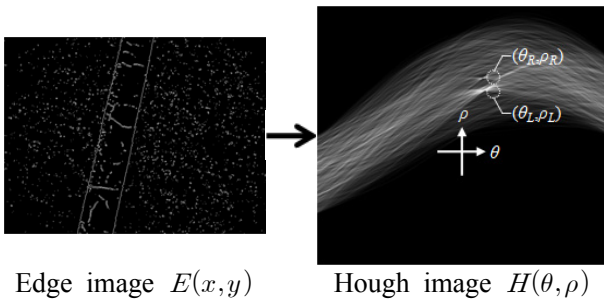


Fig. 5 Hough transformation concerned with an edge image

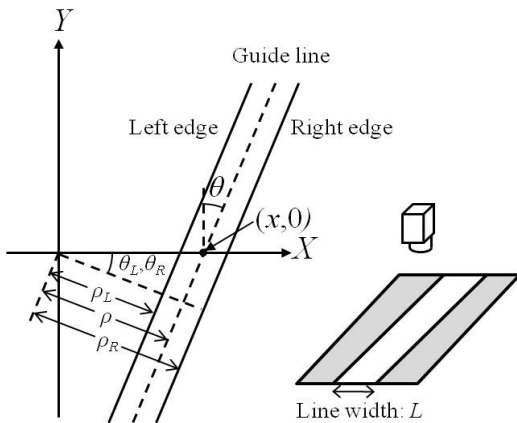


Fig. 6 Scheme of position measurement in the image plane

3.3 위치계측

가이드라인의 변위와 각도는 검출된 2개의 에지직선 파라미터 (ρ_L, θ_L) , (ρ_R, θ_R) 를 사용하여 계측할 수 있는데, Fig. 6은 그 계측원리를 나타낸다. 계측을

위해서 가이드라인을 X-Y평면상의 하나의 직선으로 간주하고, 그 위치는 좌우 에지직선과 거리가 같은 중심에 있다고 간주한다. 즉, 가이드라인에 대한 (ρ, θ) 은 (ρ_L, θ_L) , (ρ_R, θ_R) 로부터 다음 식 (5)로부터 간단히 구할 수 있다.

$$(\rho, \theta) = \left(\frac{\rho_L + \rho_R}{2}, \frac{\theta_L + \theta_R}{2} \right) \quad (5)$$

식 (5)에서 계산된 θ 는 가이드라인의 각도가 된다. 여기서 가이드라인의 변위 x 는 식 (4)에서 $y=0$ 으로 두면 다음 식 (6)으로 계산할 수 있다.

$$x = \frac{\rho}{\cos \theta} \quad (6)$$

단, 식 (6)의 단위가 픽셀이기 때문에 실제 가이드라인 변위 D 는 식 (7)과 같이 가이드라인의 길이 L 을 이용하여 계산한다.

$$D = \frac{L}{|\rho_R - \rho_L|} x \quad (7)$$

4. 실험

외부환경에 노출된 백선이 촬영된 복수개의 입력 화상을 사용해서 제안한 계측시스템의 계측정밀도를 평가했다. 이를 위해

CPU : Core2™ DUO2.1GHz,
RAM : 2.0GB

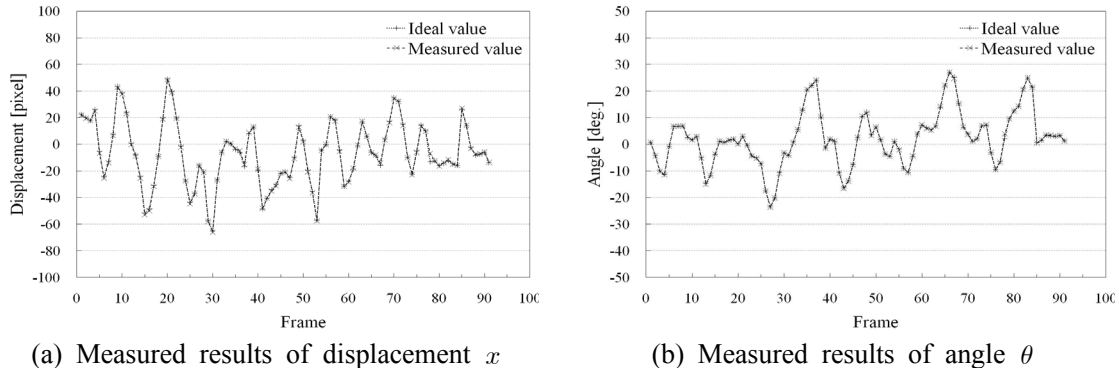


Fig. 8 Measured results with the ideal values for comparison

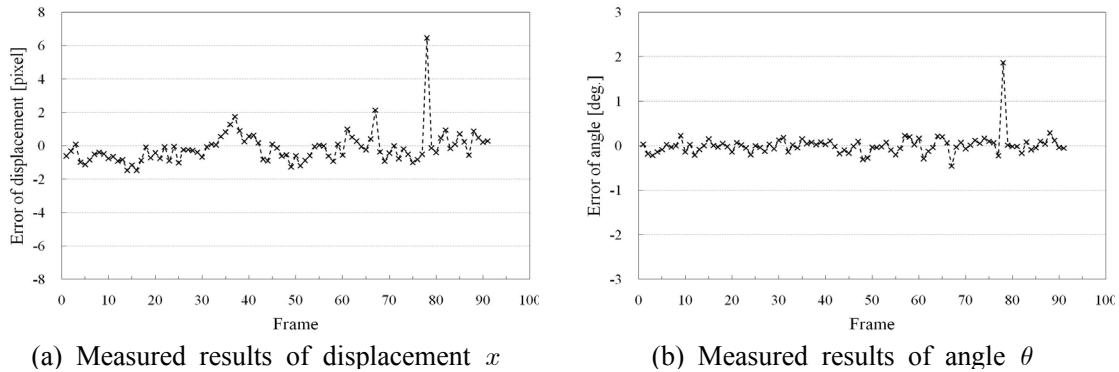


Fig. 9 Measurement error obtained from the comparison of measured values to ideal values

의 PC 환경에서 MatlabR2008b을 이용하여 계측성능을 평가하였다. 계측시스템내의 에지검출, Hough 변환, Hough 화상으로부터 극대값의 검출은 Matlab 함수 edge, hough, houghpeaks를 사용하였다.⁷⁾

실험을 위해 Panasonic사 Lumix DMC-FX520(카메라)를 사용하여, 크기가 640×480픽셀인 입력화상을 91장(frame) 촬영했다. 촬영된 가이드라인 내에는 균열도 있고, 특히 54~91번째 입력화상에서는 부분적으로 조명이 가려지는 조건이 포함되어 있다.

이러한 91장의 입력화상에 대해 제안한 계측기법을 적용하고, 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 가이드라인의 각도와 위치를 계측하였다.

Fig. 7은 조건이 다른 2장의 입력화상에 대한 각각의 에지화상과 Hough 화상을 나타내고 있다. 각각의 Hough 화상에는 검출된 극대값 (ρ_L, θ_L) , (ρ_R, θ_R) 가 나타나 있다. 첫번째 입력화상인 Fig. 7(a)의 입력화상 및 에지화상의 가이드라인 내에는 가로방향으로 다수의 균열이 포함되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 조건에서도 Hough 화상에는 균열에 상관없이 정확하게 2개의 극대값이 검출되었다. 그리고 Fig. 7(b)의 입력화상은 그림자가 포함된 경우를 고려한 것이

다. 이러한 경우 에지화상에도 그림자의 경계부가 추출되어 Hough 화상에도 3개의 극대값이 나타났지만 가이드라인 위치 검출에 필요한 극대값의 위치가 정확하게 검출됨을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 계측된 화상내의 가이드라인 변위 x 와 각도 θ 를 나타낸 것이다. 비교를 위해 입력화상으로부터 수동으로 계측한 정보(변위와 각도)를 동시에 나타내었으며 이것을 실제 측정값으로 간주한다.

Fig. 8로부터 변위 x 는 50~−65픽셀 범위, 각도 θ 는 27°~−23° 범위내에서 성공적인 계측이 이루어졌다. 그리고 Fig. 9는 계측값과 실측값과의 오차를 나타낸 것이다. Fig. 9에서, 특히 78번째 화상에서의 계측오차가 x 는 6.46픽셀, θ 는 1.67°로 타 화상에서의 오차보다 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 이와 같은 오차는 칼만필터⁸⁾와 Sobel 필터 등을 적용하면 충분히 저감시킬 수 있다. 그리고 모든 화상에 대한 오차의 평균/표준편차는 x 에서 −0.15/0.98픽셀, θ 에서 0.01/0.24°로 미소하게 나타났다. 이러한 오차는 가이드라인 위치계측을 위한 계측시스템구축에 필요한 정밀도를 충분히 만족시키는 값이다.

5. 결 론

본 논문에서는 RTGC의 자동화시스템구축을 위해, 주행궤도에 따라 도장된 가이드라인에 대한 RTGC의 변위와 각도를 계측하는 방법에 대해 연구하였다. 제안된 시스템은 카메라를 기반으로 한 계측시스템으로 RTGC하부에 설치하여 야드에 도장된 가이드라인을 촬영하고, 이것을 입력화상으로 하여 화상처리를 통해 위치계측에 필요한 변위와 각도를 계산한다. 일반적으로 입력화상으로부터 가이드라인을 검출할 경우에는 열악한 외부환경도 충분히 고려해야 하므로, 본 논문에서는 이러한 조건하에서도 강인하게 대처할 수 있는 계측기법을 제안하였다. 즉, 가이드라인의 좌우 에지를 Sobel 필터를 이용하여 검출하고, Hough 변환을 통해 계산된 에지들을 직선화시켜 이것으로부터 주행궤도에 대한 RTGC의 상대변위와 각도를 계측할 수 있었다. 계측된 변위와 각도 오차는 계측시스템구축 및 운용에 필요한 정밀도를 충분히 만족시키는 수준이었다. 이 결과로부터 제안된 계측시스템은 RTGC의 자동화를 위한 주행제어시스템구축에 유용할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업 “고효율 항만하역 시스템 기술개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. T. Chikura, M. Yamamoto, T. Monzen, T. Taguchi, and K. Utida, 2005, “Auto steering control of a transfer crane”, Trans. of the JSME(C), Vol. 71, No. 705, pp. 1591-1596.(in Japanese)
2. K. Obata, T. Sakamoto, N. Yoshioka, N. Fujisawa, H. Yoshikawa, and T. Monzen, 2010, “Grid-powered electric transfer crane”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 47, No. 2, pp. 15-18.
3. D. Kim and R. B. Langley, 2003, “On ultrahigh-precision GPS positioning and navigation”, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 50, No. 2, pp. 103-116.
4. K. Yasunaga, N. Watanabe, K. Tanouchi, M. Nishioka and S. Nagashima, 2000, “Auto steering system for transfer crane”, Mitsubishi Heavy Industries Technical Review, Vol. 37, No.5, pp. 298-301.(in Japanese)
5. R. C. Gonzales and R. E. Woods, 2001, “Digital image processing second edition”, Prentice Hall, pp. 134-137.
6. R. C. Gonzales and R. E. Woods, 2001, “Digital image processing second edition”, Prentice Hall, pp. 587-591.
7. R. C. Gonzales, R. E. Woods, and S. L. Eddins, 2003, “Digital image processing using MATLAB”, Prentice Hall.
8. G. Welch and G. Bishop, 1995, “An introduction to the kalman filter,” Technical report TR95-041, University of North Carolina at Chapel Hill.