
컴퓨터 비전을 이용한 컨테이너 자세 측정

주기세*

The Container Pose Measurement Using Computer Vision

KISEE JOO*

이 논문은 2003년도 (재)21세기 한국연구재단의 해외연수 연구비 지원을 받아 수행하였음

요 약

본 논문은 CCD 카메라와 거리 센서를 사용하여 컨테이너의 자세 측정에 관하여 연구하였다. 특히 특징점을 추출하고 영상의 잡음을 줄이는 방법에 대하여 중점적으로 기술하였다.

가우시안 및 랜덤 노이즈를 제거하기 위하여 Euler-Lagrange 방정식을 소개하였으며 PDE(Partial Differential Equation)를 기초로 한 Euler-Lagrange 방정식을 풀기 위하여 ADI(Alternating Direction Implicit)방법을 적용하였다. 그리고 스프레더와 컨테이너의 특징점을 추출하기 위해서 기존의 황금 분할법과 이분 분할법을 이용한 방법은 지역적 최대 및 최소 값의 경우 정확한 해를 구할 수 없어서 k차 곡률 알고리즘을 이용하였다.

제안된 알고리즘은 영상의 전처리과정에서 잡음제거에 효과적이며 카메라와 거리센서를 이용한 제안 시스템은 기존시스템의 구조적 변경 없이 사용가능하기 때문에 비용이 저렴한 장점이 있다.

ABSTRACT

This article is concerned with container pose estimation using CCD a camera and a range sensor. In particular, the issues of characteristic point extraction and image noise reduction are described.

The Euler-Lagrange equation for gaussian and random noise reduction is introduced. The alternating direction implicit(ADI) method for solving Euler-Lagrange equation based on partial differential equation(PDE) is applied. The vertex points as characteristic points of a container and a spreader are founded using k order curvature calculation algorithm since the golden and the bisection section algorithm can't solve the local minimum and maximum problems.

The proposed algorithm in image preprocess is effective in image denoise. Furthermore, this proposed system using a camera and a range sensor is very low price since the previous system can be used without reconstruction.

키워드

alternating direction implicit(ADI), Euler-Lagrange equation, k order curvature calculation

1. 서 론

최근에 항만시스템은 센서를 응용한 각종 자동화 기술, 통신기술의 발달로 지능형 통합항만 관리시스템을 지향하고 있으며, 이를 웹까지 연동시키는 통합시스템으로 개발되고 있다. 특히 치열한 국제 경쟁에서 화물을 유치하기 위한 노력이 경주되고 있는 가운데, 싱가포르, 로테르담 등과 같은 항만은 이미 지능형 항만 자동화를 구현함으로써 대외 경쟁력을 확보해 나가고 있다. 이에 국내에서도 대규모 항만개발 사업과 아울러 자동화에 대한 연구 및 투자가 진행되고 있다.

현재의 컨테이너 선적 및 하역을 담당하는 크레인시스템은 수작업으로서 크레인 운전자의 숙련도에 의존하기 때문에 초보자는 조작 미숙으로 크레인을 원하는 지점으로 이동시키는데 숙련된 작업자에 비해서 작업시간이 오래 걸린다. 위와 같이 야드의 생산성에 영향을 미치는 작업시간 문제를 해결하기 위하여 대부분의 국가에서는 항만을 건설하고 선적 및 하역을 위한 장비와 인력을 투입해왔다. 그러나 이와 같은 방법은 긴 시간과 많은 비용, 작업 인력확보 등의 문제점을 지니고 있다. 또한 항만 물류에 필수적인 컨테이너를 적재적소에 이동시키는 크레인의 무인화[1][2][3]에 대하여 여러 연구가 진행되고 있다.

크레인 작업에서 가장 문제점은 크레인에 부착된 와이어 로프의 흔들림 때문에 컨테이너를 원하는 위치로 빠르고 정확하게 이동시키는데 많은 문제점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 트롤리에 CCD카메라를 설치하여 획득된 영상으로부터 편미분 방정식[4]을 기본으로 한 Euler-Lagrange 방정식을 이용한 이미지 전처리, 이미지 분할[5][6][7][8], k차 곡률을 이용한 꼭지점 인식, 추출된 꼭지점들에 대한 실세계 상에서의 좌표계산, 스프레더와 컨테이너간의 거리 계산을 통하여 스프레더가 컨테이너를 보다 빠르고 정확하게 작업할 수 있도록 정보를 제공하고자 한다.

II. 시스템 구성 및 방법

효과적으로 크레인의 선적과 하역작업 시간을 단축시키기 위해서는 기존 시스템을 크게 개조하지 않고 적은 비용으로 시스템 구축이 가능하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 트롤리에 카메라를

설치하여 스프레더가 컨테이너 위치를 빠르고 정확하게 찾을 수 있도록 구축하였다. 두 대의 카메라를 설치하여 3차원 정보를 추출하는 경우에는 양 카메라에서의 이미지 전처리 및 분할, 특징점 추출, 대응점 문제(corresponding problem)[9][10]등을 처리해야 되기 때문에 많은 처리시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 카메라 한 대 및 3차원 높이 정보를 구하기 위한 거리 센서를 이용하였다.

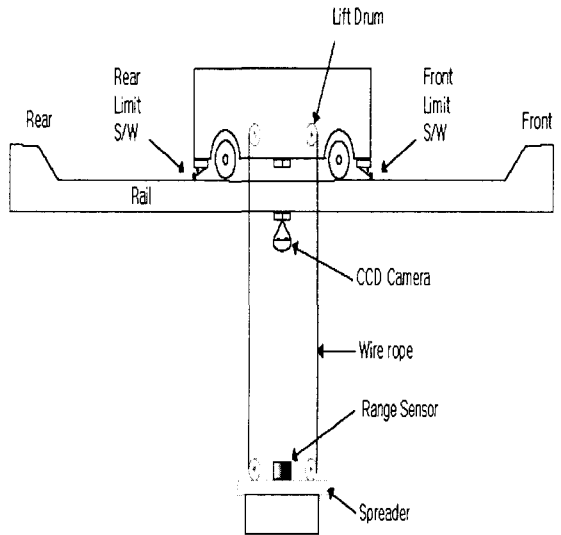


그림 1. 시스템 구성도
Figure 1. The system configuration

그림 1은 시스템 구성도를 나타내고 있으며 기존 트롤리에 단지 카메라만 수직으로 설치하였다. 그리고 지면과 수직으로 설치된 카메라를 통해서 는 단지 2차원 정보만 획득이 가능하기 때문에 높이 정보를 추출하기 위하여 스프레더에 거리센서를 부착하였다.

위와 같은 구축 방법은 트롤리에 카메라를 지면에 수직으로 설치하고 스프레더에 거리센서만 부착하기 때문에 시스템의 큰 개조 없이 저렴하게 구축할 수 있는 장점이 있다. 그리고 스프레더와 컨테이너의 물체 구별을 위하여 비교적 작업이 쉬운 스프레더 끝 가장자리에 마크를 표시하여 두 물체를 구별하도록 하였다.

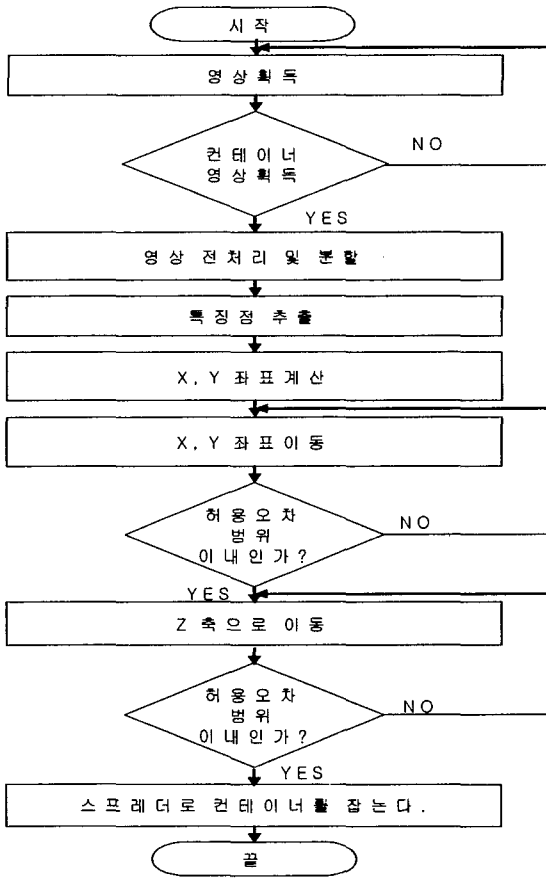


그림 2. 시스템 순서도
Figure 2. The system flowchart

그림 2의 순서도를 살펴보면 크레인 운전자가 트롤리를 컨테이너 근처까지 이동한 후 카메라로 스프레더와 컨테이너 영상을 획득한다. 만약 영상에 컨테이너가 완전히 들어오지 않았다면 트롤리를 조금 이동한 후 영상을 획득한다.

트롤리에 부착된 카메라를 통하여 스프레더 끝 가장자리에 표시된 마크를 인식하여 스프레더와 컨테이너를 각각 인식한다. 획득된 영상에 대하여 이미지 전처리 및 분할, 특징점 추출에 의해 스프레더와 컨테이너의 각 꼭지점들의 화면 좌표 상에서의 픽셀좌표를 알아낸 후 캘리브레이션을 이용해서 실제계의 X, Y좌표를 계산한다. 운전자는 스프레더와 컨테이너 차이만큼 이동을 하고 허용오차 범위를 체크한 후 스프레더를 이동하며 스프레더에 부착된 거리센서에 의해서 컨테이너와의 높이를 조정해 가면서 컨테이너를 잡는다.

III. 영상인식 처리 시스템

3.1 영상 전처리 및 분할

영상전처리 과정은 카메라로 영상을 획득한 후 획득된 영상의 가우시안 노이즈 및 랜덤 노이즈를 제거하는 작업을 말한다. 전처리를 위한 일반적인 방법은 이웃하는 픽셀 값 간의 기울기 함수를 최소화하는 것으로서 식 (1)과 같이 표현된다. 식 (1)에서 u_0 는 잡음이 포함된 관측 이미지를 나타내고, u 는 원래영상, λ 는 Lanrange 곱셈자, $\epsilon (\geq 0)$, 정규화 파라미터)은 $|\nabla^\epsilon u| = (u_x^2 + u_y^2 + \epsilon^2)^{1/2}$ 를 나타낸다.

$$\min F_{\epsilon, \lambda}(u) = \int_{\Omega} |\nabla^\epsilon u|^p dx + \lambda \|u_0 - u\|^2 \quad (1)$$

만약 $p=1$ 이고 $\epsilon = 0$ 이면, 식 (1)의 첫 번째 항은 총 변동 량(total variation)이 되고 식 (1)의 해를 구하기 위해서는 편미분 방정식을 도입하여 식 (2)와 같이 표현 가능하다. 식 (2)에서 변수 t 를 사용하면 식 (3)과 같은 형태로 변환 가능하다.

$$p \nabla \cdot \left(\frac{-\nabla u}{|\nabla u|} \right) - 2\lambda(u - u_0) = 0 \quad (2)$$

$$u_t = \nabla \cdot \left(\frac{-\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \beta(u_0 - u) \quad (3)$$

여기서 λ, β (임의의 상수) ≥ 0

식 (3)의 해는 식 (4)와 같이 ADI을 이용하여 해를 구할 수 있다. 식 (4)에서 ∇t 는 시간 간격크기, $(D_x1, D_x2)T$ 는 기울기에 대한 중앙차 연산자 (central difference operator for gradient)를 나타낸다.

$$\begin{aligned} (1 + \frac{\nabla t}{2} A_1^{n-1})u^n &= \\ (1 - \frac{\nabla t}{2} A_1^{n-1} - \nabla t A_2^{n-1})u^{n-1} + \nabla t \beta u_0 \\ (1 + \frac{\nabla t}{2} A_2^{n-1})u^n &= u^* + \frac{\nabla t}{2} A_2^{n-1}u^{n-1} \\ A_l^{n-1}u^n &= -D_{xl} \left(\frac{D_{xl} u^n}{|\nabla h^x u^{n-1}|} \right) + \frac{\beta}{2} u^n, \quad l=1,2 \end{aligned} \quad (4)$$

그림 3은 스프레더 아래 컨테이너가 위치했을 경우로 스프레더는 영상중심을 기준으로 좌우대칭으로 놓여있으며 컨테이너는 스프레더보다 -X, -Y

만큼 떨어져 위치하고 있다. 이 영상은 스프레더와 컨테이너 영상만을 추출해 내기 위해서 먼저 식 (3)을 이용하여 노이즈를 제거하고 스프레더와 컨테이너 구별을 위하여 스프레더의 가장자리에 부착된 마크를 인식하여 관련 정보를 저장한 후 이진화 시킨 영상을 나타낸다.

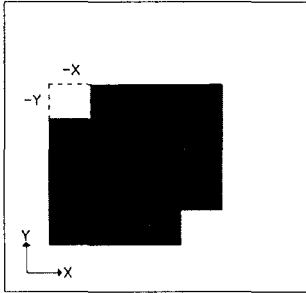


그림 3. 이진화 처리된 영상
Figure 3. The binary rocessed image

3.2 k차 곡률을 이용한 특징점 추출

그림 5와 같이 스프레더와 컨테이너의 특징 점을 추출하기 위해서는 그림 3의 영상에서 체인코드 알고리즘을 이용하여 스프레더와 컨테이너 외곽 선을 추출하고 각각의 에지점을 찾는다. 추출된 에지점들에 대하여 3차원 정보를 모두 추출하는 방법은 많은 계산 및 메모리 낭비를 초래한다. 따라서 컨테이너의 특징을 잘 나타내는 꼭지점을 찾아 그 특징 점들에 대한 3차원 정보만을 구함으로써 위 문제들을 해결하였다.

그림 3에서 획득된 영상으로부터 추출된 에지점들로부터 꼭지점들을 구하기 위하여 기존에는 황금분할법(golden section method), 이등 분할법(bisection section method)이 많이 이용되었다. 위와 같은 방법은 탐색 영역 내에 전역적 최소값 또는 최대값이 하나만 존재하는 경우에 장점을 지니고 있다. 그러나 최대 값이 다수 존재하거나 최소값과 최대값이 동시에 존재하는 경우 즉 지역적 최대 및 최소값인 경우에는 여러 가지 문제점을 수반한다. 위와 같은 문제점들 때문에 본 연구에서는 그림 4에서와 같이 추출된 에지점들에서의 k차(k-order) 곡률 정보를 이용하였다. 그림 4에서는 연속하는 에지점들에 대한 3차 및 5차 곡률을 계산하는 예로서 차수가 작을수록 지역적인 특성을 나타내며 차수가 클수록 전역적인 특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

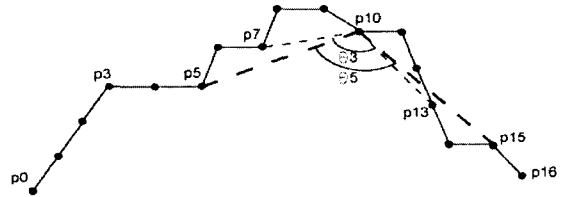


그림 4. 3차, 5차의 곡률 계산
Figure 4. The curvature calculation of 3th, 5th

본 연구에서는 황금분할법, 이등분할법, 고차 곡률을 이용한 방법을 비교 실험한 결과 황금분할법과 이등분할법은 지역적인 최소값과 최대값을 찾기 때문에 시간이 많이 걸리고 많은 메모리를 차지하는 문제점을 지녔다. 이와같은 문제점을 해결하기 위해서는 또 다른 조정과정(tuning)을 거쳐야 하기 때문에 본 연구에서는 획득된 화상이 단순하고 주로 곡선이 아닌 선형으로 이루어져 있기 때문에 다음 식 (5)를 이용한 고차 곡률을 계산하여 이용하였다. 식 (5)에서 $\rho_k(p_i)$ 는 주어진 점 i 에서의 k 차 곡률을 나타내며 θ_{ik} 는 세 점(p_{i-k} , p_i , p_{i+k})이 이루는 각도를 나타낸다.

$$\rho_k (p_i) = 1 - | \cos \theta_k^i | \quad (5)$$

k차 곡률 계산 알고리즘을 이용하여 다음 그림 5에서와 같이 모두 8개의 꼭지점들이 검출되게 되며 꼭지점 중 근접한 3개의 점인 ㉠, ㉡, ㉢를 찾는 예를 나타내고 있다. 그리고 추출된 8개의 꼭지점 정보를 이용하여 계산된 X, Y정보를 이용하여 먼저 스프레더와 컨테이너의 거리 차만큼 스프레더를 이동한 후 스프레더에 부착된 거리센서에 의해 획득된 높이 정보를 이용하여 컨테이너를 짐چه 된다.

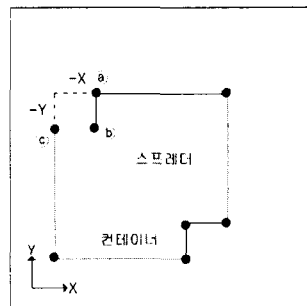


그림 5. 추출된 특징점들
Figure 5. The extracted characteristic points

IV. 좌표계 시스템 및 3차원 캘리브레이션

카메라 캘리브레이션[11][12][13]은 월드좌표계 상에서의 카메라의 위치와 방향을 정하는 외부 파라미터와 카메라의 광학적, 기하학, 디지털 특성을 설정하는 내부 파라미터를 구하는 과정이다. 외부 파라미터는 월드좌표와 카메라좌표 사이의 변환을 정의하기 위해 3x3 회전 행렬 R과 이동 벡터 T를 계산하는 것이다. 그리고 내부 파라미터는 영상중심의 위치측정, 영상 두 좌표축의 스케일 인자측정, 두 좌표축의 직교문제 등의 변수를 계산하는 것이다.

그림 6에서 Cw는 실세계 좌표계를 나타내며 Cw에서 점 M의 좌표는 [Xw, Yw, Zw]T로 정의된다. 그리고 Cc는 카메라 좌표계를 나타내며 Cc에서 점 M의 좌표는 [Xc, Yc, Zc]T로 정의되며 카메라 좌표계에서 Z축은 카메라의 광 축이 된다. 실세계 좌표계 [Xw, Yw, Zw]T에서 카메라 좌표계 [Xc, Yc, Zc]T로의 변환은 식(6)과 같다. 식 (6)에서 R은 3x3 회전행렬이며 T는 3x1 이동 벡터이다.

Ci는 이미지 좌표계를 나타내며 좌표계의 원점은 카메라의 광 축에 위치한다. Ci에서 점 m의 좌표는 [u, v]T로 정의된다. 카메라 좌표 [Xc, Yc, Zc]T에서 스크린 좌표 [u, v]T로의 변환은 식 (7)과 같다.

이미지 좌표 [u, v]T에서 실제 픽셀 좌표[xp, yp]T로의 변환은 식 (8)과 같으며 캘리브레이션에서 구한 카메라의 내부 파라미터의 영향을 받는다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (6)$$

$$u = f \frac{X_c}{Z_c} \quad (7)$$

$$v = f \frac{Y_c}{Z_c}$$

$$x_p = -\frac{u}{s_x} + o_x$$

$$y_p = -\frac{v}{s_y} + o_y \quad (8)$$

여기서 f : 카메라 초점거리, Sx, Sy : 스케일 인자, Ox, Oy : 스크린 중점좌표

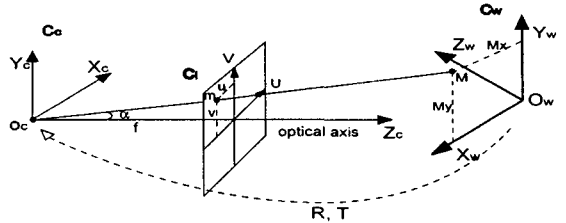


그림 6. 좌표계 시스템
Figure 6. The coordinate system

V. 결 론

숙련자와 미숙련자간의 작업시간 편차를 줄이고 컨테이너의 선적과 하역 작업 시간 효율을 높이기 위하여 CCD 카메라와 거리센서를 이용하였다. 또 모양이 비슷한 컨테이너와 스프레더를 구별하기 위하여 스프레더의 가장자리에 인식용 마크를 표시하여 사용하였다.

이미지 전처리 단계인 가우시안(gaussian) 및 랜덤(random) 노이즈를 제거하기 위하여 Euler-Lagrange 방정식을 이용하였으며 이 식을 풀기 위하여 ADI방법을 사용하였다. 그리고 획득된 이미지의 영역분할 후 추출된 에지 정보를 이용한 특징 점 추출을 위하여 k차 곡률을 이용하였다. 이 방법은 이분 탐색법(bisection section method)이나 황금분할법(golden section method)에서의 문제점들을 해결하는 장점들을 지니고 있다.

제안된 방법은 현 시스템의 큰 구조적 변경 없이 구축 가능하므로 저렴한 비용과 짧은 기간에 적용이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 또한 완전 자동화를 위한 중간 단계인 반자동화 단계를 구축함으로써 완전 자동화를 위한 기반을 구축할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 임영도, 한근조, 강근택, "CCD 카메라에 의한 Container Crane의 흔들림 방지," 제3회 CIIPMS 연구 결과 발표 논문집, pp.75-85, 2000
- [2] 이만형, 이석, "자동화 컨테이너 터미널을 위한 통신망 설계 기술 개발," 제3회 CIIPMS

- 연구 결과 발표 논문집, pp.123-134, 2000
- [3] M. Nomura, Y. Hakamada, and H. Saeki, "Anti-sway Position Control of Crane based on Acceleration Feedback and Predicted Pattern Following Method", Trans. of the Institute of Elec. Eng. of Japan D. Vol. 117, No. 11, pp. 1341-1347, 1997
- [4] G. Sapiro., "Geometric Partial Differential Equation and Image Analysis", Cambridge University Press, New York, 2001
- [5] S. Osher and R. Fedkiw, "Level set methods: An overview and some recent results", J. Comput. Phys., Vol. 169, No. 2, pp 463-502, May, 2001
- [6] T.F. Chan and L.A. Vese., "Image Segmentation using level sets and piecewise constant Mumford-shah model", Technical report, UCLA Dept. of Math., CAM00-14, 2000
- [7] Z. W Tu and S. C. Zhu., "Image segmentation by data driven markov chain monte carlo.", IEEE Trans. PAMI, vol. 24, No. 5, pp. 657-673, May 2002
- [8] S. Chattopadhyan and P.P. Das., "A new method of analysis for discrete straight lines", Pattern Recognition Letter, 12: 747-755, 1991
- [9] J.C. Nevel, F. Rodriguez-Miguel, and W. Cockshott, "Stroboscopic Stereo Rangefinder", Third international conference on 3-D Digital image modeling pp59-64, 2001
- [10] D. Geiger, A. Gupta, L. A. Costa, and J. Vlontzos, "Dynamic programming for detecting, tracking, and matching deformable contours", IEEE Trans. PAMI, Vol. 17, No. 3, pp. 294-302, 1995.
- [11] 주기세, "삼각법을 기반으로한 레이저 캘리브레이션", 한국해양정보통신학회 제3권 제4호, 1999
- [12] Beyer, H.A, "Accurate calibration of CCD Cameras", In proceeding of the international conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign, IL, IEEE, 1992
- [13] R. J. Valkenburg, A.M McIvor, " Accurate 3D Measurement using a Structured Light System", Report 576, Industrial Research Limited, June 1996.

저자소개

주기세(KISEE JOO)

1988. 2 한양대학교 공과대학 산업공학과 졸업(공학사)
 1992. 5 Texas A&M Univ. (공학석사)
 1996. 2 고려대학교 공과대학 산업공학과 졸업(공학박사)
 ※관심분야: 로봇비전, 공장자동화, 영상처리