

비전 기반의 무인이송차량 정차 시스템

Vision-based AGV Parking System

박 영 수, 박 지 훈, 이 제 원, 김 상 우*

(Youngsu Park, Jeehoon Park, Je-won Lee, and Sang Woo Kim)

Abstract: This paper proposes an efficient method to locate the automated guided vehicle (AGV) into a specific parking position using artificial visual landmark and vision-based algorithm. The landmark has corner features and a HSI color arrangement for robustness against illuminant variation. The landmark is attached to left of a parking spot under a crane. For parking, an AGV detects the landmark with CCD camera fixed to the AGV using Harris corner detector and matching descriptors of the corner features. After detecting the landmark, the AGV tracks the landmark using pyramidal Lucas-Kanade feature tracker and a refinement process. Then, the AGV decreases its speed and aligns its longitudinal position with the center of the landmark. The experiments showed the AGV parked accurately at the parking spot with small standard deviation of error under bright illumination and dark illumination.

Keywords: AGV, landmark, object tracking

I. 서론

항만에서의 물류 자동화는 비용 절감과 작업효율 향상 측면에서 중요한 주제이다. 경제 단위가 국제적 규모로 확대되고, 국가 간의 교역량이 증가하면서 컨테이너 터미널의 물동량은 크게 증가 하였다. 이러한 물동량의 증가를 소화하지 못하는 터미널은 화물선사로부터 외면 받고 도태될 위기에 처해있다. 각 컨테이너 터미널은 이에 대처하기 위하여 인력이나 장비를 집약적으로 투입하거나 항만의 물류 시스템을 자동화 하는 전략을 취하고 있다. 네덜란드의 ECT (Europe Container Terminal), 독일의 CTA (Container Terminal Altenwerder), 싱가포르의 PPT (Pasir Panjang Terminal), 홍콩의 HIT (Hongkong International Terminal) 등에서는 항만의 자동화 및 반자동화 기술들을 적용하여 인건비 절감, 작업 처리량 증가 등의 효과를 얻고 있다[16].

이러한 자동화 기술 중 무인이송차량 (AGV: Autonomous Guided Vehicle)과 크레인(gentry crane)의 공동 작업은 중요한 요소이다. 크레인은 고정된 위치에 설치되지 않고, 선박의 접안 상태와 작업 영역에 따라 위치를 바꾸어가며 작업하게 된다. 현장 조업자의 말에 따르면 작업 중 지체 현상을 줄이고, 일정한 작업 속도를 유지하기 위해서는 무인이송차량은 크레인과의 공동 작업에서 약 5cm의 상대 위치 오차 내에서 정차하여야 한다. 이러한 요건을 만족하면서도, 자동화를 목표로 하여 건설되지 않은 기존 터미널에도 쉽게 설치할 수 있는 정차 제어 시스템의 개발이 필요하다.

AGV는 산업 분야에 널리 사용되고 있으며 주로 자동화

된 생산 공정의 일부로 사용된다. AGV의 유도방식은 일반적으로 바닥에 설치된 Inductive Wire나 Magnetic Tape등을 사용하는 방법이 많이 쓰인다. 이 외에도 AGV의 유도와 관련하여 optical stripe, heat and odor sensor, laser guide sensor 및 RF transponder 등을 이용한 방법이 연구되고 있다[1,2]. 또한 최근에는 computing power의 향상으로 vision을 이용한 주행 제어 방식도 연구되고 있다[3,4].

본 논문에서는, 컨테이너 터미널의 무인이송차량과 크레인의 정밀하면서도 효율적인 정렬 시스템을 제안한다. 기존에 사용되고 있는 방법은 RF transponder, DGPS, laser와 수광장치 등을 이용하여 차량의 위치나 자세를 제어하는 방식이다. 그러나 이러한 방법들은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. RF transponder를 활용한 주행 시스템의 경우 주행과 위치의 추정을 동시에 할 수 있으며 충분한 정밀도를 획득할 수 있는 장점이 있다. 하지만 터미널 건설 시에 RF transponder를 설치하여야만하며 이를 위해 적지 않은 비용이 소요된다. 더불어 차량에 설치하는 RF transponder 감지 센서 또한 고가의 장비이다. 더불어 자동화를 고려하지 않고 건설된 기존 항만에, 위의 시스템을 설치하는 것은 많은 비용과 시간이 소요되며 현실적으로 불가능한 경우가 많다. DGPS를 사용하는 방식의 경우 각종 기상이변이나 장치장의 기기 및 컨테이너의 배치에 의해 위치 인식에 오류가 발생할 가능성이 있다[18,19]. 또한 위의 두 방식은 크레인의 현재 위치에 대한 정확한 정보가 필요하다. 만일 이 정보에 오차가 발생할 경우 작업이 지연되거나 정지되는 일이 발생 할 수 있다. Laser와 수광 장치를 이용한 시스템은 실제 Yard tractor등에서 운전자를 보조하기 위해 쓰인다. 이 시스템은 위의 시스템들에 비해 설치가 간단하고 비용이 저렴한 편이지만, 시간이 지남에 따라 기계적 편차나 전기적 고장이 발생할 수 있어 지속적인 유지 보수가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 보완하면서 요구되는 수준의 정차 정밀도를 확보하기 위하여 vision을 이용한 정차 제어 시스템을 제안하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 1. 30., 채택확정: 2009. 2. 25.

박영수, 박지훈, 이제원, 김상우: POSTECH 전자전기 공학과
(youngsu@postech.ac.kr/gromit@postech.ac.kr/nowjjang@postech.ac.kr/
swkim@postech.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2009-C1090-0902-0004).

이 시스템은 진행방향과 수직으로 설치된 CCD 카메라에서 취득되는 이미지로부터 Landmark를 detecting하고 tracking하여 차량의 상대위치를 파악한다. 이를 통해 차량의 제어 신호를 생성하여 차량을 크레인에 정렬 시킨다. 이 시스템에서는 현장에서 발생할 수 있는 조명이나 오염의 문제에 대처하고자 detecting과 tracking에 구조화된 HSI color space 기반의 color 정보와 corner feature 정보를 얻을 수 있는 Landmark를 사용하였다. Matching을 위한 key로는 corner feature descriptor를 사용하였다. 또한 효율적 tracking을 위하여 Lucas-Kanade feature tracker를 사용하였다.

본 논문에서는 II 장에서 시스템의 구성에 대해 설명을 하고 III 장에서는 vision을 이용한 정차제어 알고리즘의 내용을 설명한다. IV 장에서는 정차 실험방법과 결과에 대해서 다루고 V 장의 결론으로 마무리한다.

II. 시스템의 구성

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 크레인과 무인이송차량의 정차시스템의 시스템 구성과 요구 사항을 간략히 기술한다.

1. AGV와 크레인 모델

본 논문에서는 항만에서의 선적 및 하역 작업을 모사하기 위해서 크레인과 AGV를 실험실 내에서 가동 가능한 축소모형으로 제작하고, 이를 통하여 실험을 수행하였다.

그림 1은 본 연구에서 사용한 무인이송차량의 모델이다. 무인이송차량은 연구용으로 많이 사용되고 있는 Mobile Robots 사의 4 wheel drive, skid-steering 타입 P3-AT를 베이스로 사용하였다. 이 차체를 바탕으로 Landmark를 인식할 CCD 카메라와 바닥의 magnetic tape를 추종하기 위한 magnetic guide sensor, 그리고 작업영역을 감지하기 위한 RFID reader를 장착하였다. 또한 이들 센서에서 생성되는 정보를 처리하여, AGV를 제어하는 노트북에 보내주기 위한 센서 보드를 제작하여 장착하였다. 목표로 하고 있는 무인이송 시스템을 완성하기 위해서는 guide에 vision을 사용하여야하나, 본 논문에서 다루고 있는 부분은 무인이송차량의 정차 시스템이므로, 실험의 간결성을 위해 magnetic tape를 사용하였다.

그림 2는 본 연구에서 사용한 크레인 모델이다. 크레인

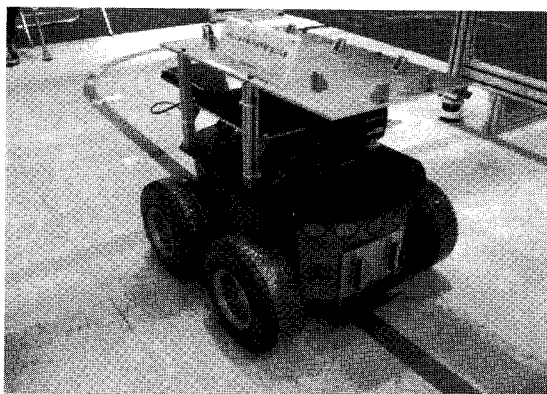


그림 1. 무인이송차량 (AGV) 모델.
Fig. 1. AGV model.

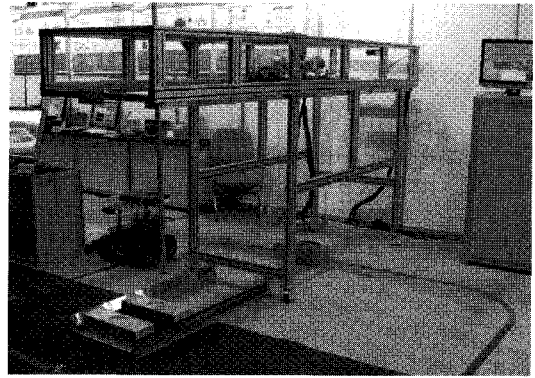


그림 2. 젠트리 크레인 모델.
Fig. 2. Gentry crane model.

의 크기는 실제크기 대비 40:1이며 컨테이너의 실제크기 대비 크기는 15:1 이다. 무인이송차량 모형의 크기비율은 컨테이너 모형의 비율을 따른다.

크레인 모델은 서보모터로 구동되는 트롤리(trolley)와 스프레더(spreaders)를 가지고 있다. 또한 laser range finder센서, laser scanner, CCD카메라 등의 센서를 부착하여 작업 영역의 컨테이너를 인식하고 무인이송차량과 협업을 하게 된다.

2. 시스템의 요구사항

모형 크레인과 무인이송차량의 작업을 위한 오차는 컨테이너 사이즈를 기준으로 하였을 때 약 3.4mm 내외의 오차를 가져야 한다. 이는 컨테이너 작업 시의 요구되는 오차 범위가 5cm 내외이기 때문이다. 그러나 시스템의 크기를 줄일 때 오차수준을 scale에 대비하여 선형적으로 결정하는 것은 적절하지 않다. 본 실험에서는 크레인과 AGV가 원활한 작업을 하기 위해서 1cm 내의 오차 범위 내에서 정차해야 한다. 그림 3은 정차 시스템의 전체적인 구조에 관해 설명하고 있다. 기본적으로 무인이송차량은 바닥에 설치된 magnetic tape를 magnetic guide sensor를 통해 감지함으로써 조향각의 오차 정보를 얻고 이를 통해서 차량의 조향 속도를 조절하여 경로를 추정한다. 무인이송차량의 heading angle에 오차가 발생할 경우 정차시의 위치 오차로 이어지기 때문에 이를 정밀히 조절해야 한다.

무인이송차량이 정확한 위치에 정차하기 위해서는 크레인과 작업영역에 들어섰을 때 속도를 줄이고 Landmark 검출을 위한 vision 프로그램을 활성화 시킬 필요가 있다.

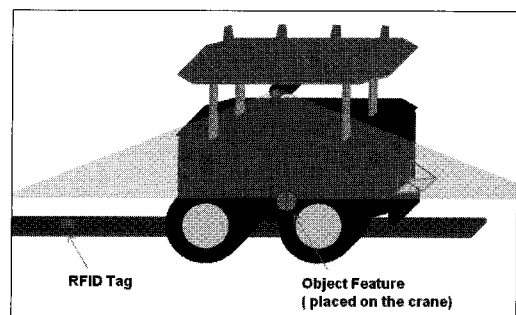


그림 3. AGV의 정차 개념도.
Fig. 3. Basic concept of AGV parking.

이를 위해 무인이송차량에 RFID reader를 설치하고 작업영역 앞에 RFID tag를 설치하였으며, 이를 이용해 무인 이송차량이 작업장으로 진입함을 확인하도록 하였다.

III. AGV 주차 시스템

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 Vision을 이용한 무인이송차량 주차시스템의 전체 알고리즘과 그 세부적 내용을 설명한다. 그림 4는 전체 시스템의 프로세스를 보여준다. 무인이송차량이 주차영역에 들어오게 되면 CCD 카메라로부터 이미지 스트림을 받아 Landmark detection process를 수행한다. Landmark tracking process는 최초 Landmark를 detection한 frame의 이후 frame부터 실행이 된다. Tracking process는 2단계로 나누어지는데, 이전 프레임의 데이터로부터 현재의 위치를 추정하는 estimation step과 추정된 위치를 바탕으로 Landmark의 정확한 위치를 결정하는 refinement step이다. 이를 통하여 Landmark의 위치가 결정되면 화면의 reference 위치와의 차이를 파악하여 무인 이송차량의 속도를 결정하고 이를 통하여 정차제어를 수행한다. 만일 tracking 도중 Landmark의 추적에 실패하는 경우 다시 detection process를 수행한다.

1. Color space와 landmark design

일반적으로 카메라로부터 얻어지는 color 이미지는 1 pixel에 대한 RGB component들의 값들로 표현된다. 하지만 RGB color space는 밝기 변화에 민감하다. HSI color space

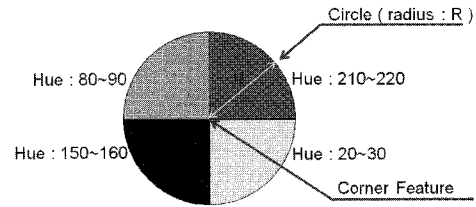


그림 6. Visual landmark의 디자인.

Fig. 6. Visual landmark design.

는 두 개의 chrominance component와 하나의 illuminance component로 구성되어 있어서 조명의 변화에 강인한 특성을 가진다(그림 5)[5,13]. 본 논문에서는 밝기 변화에 robust한 특성을 확보하기 위하여 HSI color space의 정보를 기반으로 Landmark를 디자인 하였다.

뿐만 아니라 인식성능의 향상을 위해서 특수한 feature를 가지도록 하였다. 우선 원형으로 Landmark를 디자인하여 크기변화나 회전 등의 affine 변환에 강인한 특성을 부여하고, 원의 중심에 corner feature를 가지도록 하였다. 이 corner feature를 중심으로 하여 원을 4분하는 호의 색상이 특유의 Hue value sequence를 가지도록 하였다. Hue value sequence는 명암도 영상에서 corner feature가 잘 나타나면서도 밝기의 변화에 강인하도록 하기 위해서 Hue channel의 360도를 4등분 한 지점의 색상들을 Landmark 내 인접한 호 사이의 색상의 Hue difference가 최대가 되도록 배치하였다. 이렇게 디자인된 Landmark를 크레인의 프레임에 부착하여 무인 이송차량의 정차에 사용하게 된다. 그림 6은 위의 방식을 통해서 디자인된 Landmark이다.

2. Detecting 알고리즘

이 절에서는 카메라에서 얻어진 영상에서 Landmark를 인식하는 방법에 대해 설명한다. 그림 7은 detection process에 관한 간략한 다이어그램이다.

먼저 카메라 영상을 capture하여 corner feature point들을 찾아낸다. 각각의 corner feature point에서 특정한 descriptor를 생성하고 object와 descriptor와의 matching을 통하여 이미지의 Landmark를 찾아낸다.

이미지 상에서 corner를 찾는 방법에는 여러 가지가 있지만, 가장 널리 사용되는 방법은 Harris corner detector이다

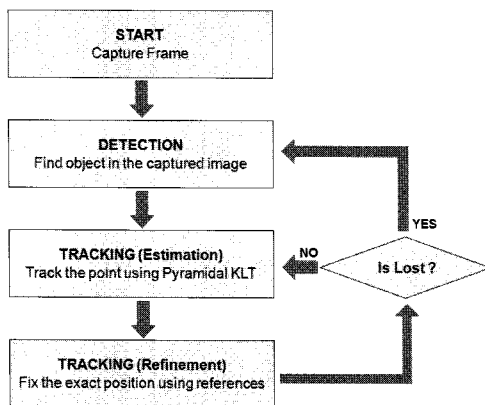


그림 4. 무인이송차량 주차시스템의 전체 프로세스.

Fig. 4. Entire process of AGV parking system.

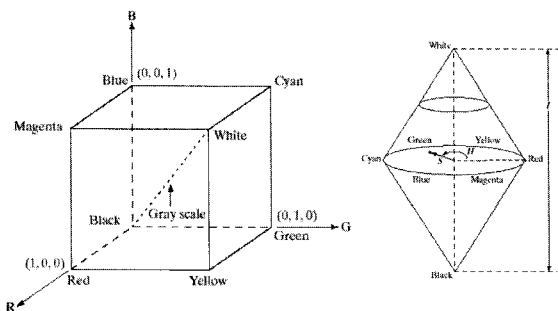


그림 5. RGB와 HSI color space.

Fig. 5. RGB and HSI color space.

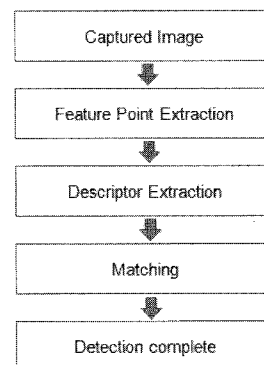


그림 7. 무인이송차량 주차시스템의 전체 프로세스.

Fig. 7. Entire process of AGV parking system.

[6]. 본 논문에서도 Harris corner detector를 이용하여 이미지 상에서 coner point를 찾아내며, 이들은 Landmark의 후보 point가 된다.

다음으로는 matching을 위해서 각 point 마다 descriptor를 생성한다. Descriptor를 생성하기 위해 destination image를 작성한다. 이 과정은 그림 8에 나타나 있다.

그림 8(a)는 카메라로부터 얻은 RGB color 이미지 이고 그림 8(b)는 이를 gray-level로 변환한 영상이다. 그림 8(a)를 HSI로 변환한 이미지에서 Hue channel과 saturation channel에 대한 이미지가 그림 8(c),(d)이다. Feature descriptor들의 값들은 Hue channel value들로 이루어지지만, saturation channel의 value를 이용하여 의미 있는 Hue channel value만 사용하도록 한다. 이를 위해서 saturation channel의 값을 적절히 이진화 하여 그림 8(e)와 같은 mask 생성한다. 이 mask를 Hue channel value 이미지와 and operation 하여 destination 이미지인 그림 8(f)를 획득한다.

Descriptor는 corner point를 중심으로 하는 한 변의 길이가 2*d*인 정사각형의 네 꼭짓점의 Hue값으로 이루어진다(그림 9). 이러한 feature 기반의 detection 기법은 pixel 단위로 feature의 위치를 찾아내고 matching하기 때문에 pixel 혹은 sub-pixel 레벨의 정확성을 보장 할 수 있다. 또한 detecting algorithm이 간단하기 때문에 낮은 성능의 시스템에서도 실



그림 8. Descriptor 검출을 위한 destination image 획득 과정.
Fig. 8. Process to get destination image for descriptor extraction.

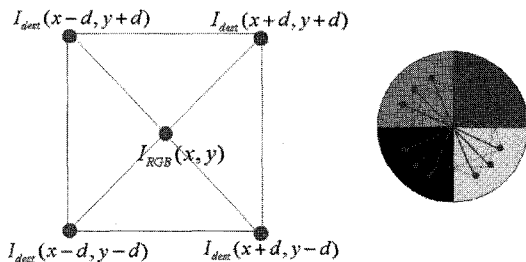


그림 9. Detection window와 window의 회전을 통한 다중 지점 검출.
Fig. 9. Detection window and multi-checking points by rotating detection window.

시간 처리가 가능하다. 하지만 찾고자하는 Landmark의 feature와 비슷한 배경이 존재하거나, Landmark의 부분이나 전체가 가려지는 경우에 문제가 발생 할 수 있다.

이러한 문제를 해결하고 noise나 조명에 의한 영향에 더 강인한 성능을 가지게 하기 위해, coner point를 중심으로 ±30° 이내의 각도로 회전시킨 정사각형의 꼭짓점을 descriptor에 추가한다. *N*회의 rotation을 통한 추가 검출이 존재하는 경우 descriptor dimension은 4*(*I*+*N*)이 된다. 이렇게 얻어진 feature descriptor는 Landmark에 대한 descriptor 성분과의 difference를 구하여 matching process를 수행한다.

3. Tracking algorithm

이번 절에서는 앞의 detecting process를 통해서 결정된 Landmark의 위치 정보로부터 연속적으로 들어오는 이미지 스트림에서 Landmark의 위치를 tracking 하는 전략에 관하여 설명한다. Tracking이 필요한 이유는 detecting시에 전체 이미지를 처리하고 각 corner마다 feature를 처리해야 하는 데서 오는 processing load를 줄이고 과거의 정보를 활용에 현재의 위치를 효율적으로 추정하기 위함이다.

그림 10은 tracking process를 기술하고 있다. 이전 detection process에서 구해진 Landmark의 위치를 기반으로 새로 취득한 이미지에서 estimation step과 refinement step을 이용하여 Landmark의 위치를 tracking 한다. Estimation step에서는 Lucas-Kanade feature tracker[7]를 사용한다. 이 결과를 통하여 현재 프레임의 tracking region을 설정한다. Refinement step에서는 tracking region 내에서 feature descriptor matching을 수행함으로써 estimation step의 알고리즘의 부정확성과 오차누적의 문제를 보완하게 된다.

3.1 Lucas-Kanade feature tracker를 통한 estimation

Estimation step에서는 과거의 Landmark 위치 정보를 이용하여 현재 얻어진 프레임 내에서 위치를 추정한다. 이를 위해서 Tracking 알고리즘을 사용한다. Tracking 알고리즘의 적절한 적용을 위해서 고려할 사항은 accuracy, robustness, processing time 등이다. Accuracy는 물체의 위치를 어느 정도의 정확도로 추정해 내는가에 관련된 항목이며 robustness는 이미지에서의 조명변화, 물체의 회전이나 외곡, 가려짐 등의 문제를 얼마나 잘 처리하는가이다. 또한 processing time

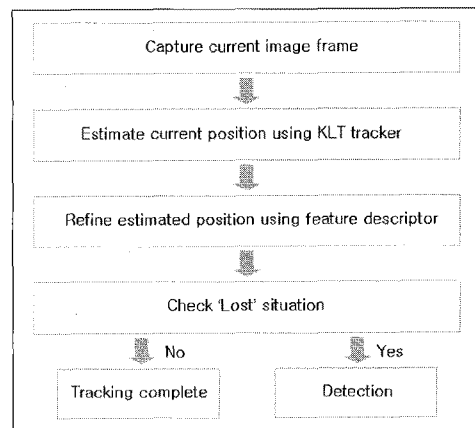


그림 10. Tracking 알고리즘.
Fig. 10. Tracking algorithm.

은 알고리즘이 가지는 computational complexity에 관한 것으로서 알고리즘의 실시간성 여부를 판단할 수 있는 기준이 된다.

일반적으로 사용되는 object tracking 방법으로는 color 정보를 이용하여 object를 tracking 하는 CAM shift 방법, 확률적인 접근 방식을 이용하여 현재의 state를 추정하는 particle filter나 condensation과 같은 방법, 그리고 이미지 상에서의 대응점의 변위를 추적하는 optical flow와 같은 방법이 있다 [8,9]. CAM shift와 같은 방법은 pixel이나 sub-pixel단위의 정확도를 보장하기 힘들고, 확실적인 방법은 많은 계산량 때문에 정확한 위치를 얻기 위해서는 실시간 성을 보장하기가 힘들다. 따라서 실시간 적용이 가능하고 적절한 수준의 정확도를 가지는 optical flow method, 특히 Lucas-Kanade feature tracker를 이용하여 Estimation step을 수행한다.

Lucas-Kanade feature tracker는 stereo correspondence matching을 위해서 제안되었던 알고리즘으로서 현재 object Tracking에 많이 쓰이고 있다[10]. 이는 두 이미지 사이에 강한 연관관계를 가정하고 있다. 현재와 과거의 이미지에서 tracking region 사이의 intensity square sum을 최소화 하는 displacement vector인 optical flow vector를 구하여 object를 tracking한다. 또한 tracking의 robustness와 accuracy를 고려하여 optical flow vector를 pyramidal image 상에서 구할 수 있다[11]. 본 논문에서 제안한 tracking algorithm에서도 이러한 pyramidal image analysis를 적용하였다. Pyramidal image의 level은 처리 속도를 고려하여 3으로 하였다.

3.2 Tracking에서의 color 정보 활용

Color 이미지는 gray-level 이미지 보다 많은 양의 정보를 가지고 있지만 밝기 등에 의해 색상이 다르게 인식되는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 HSI color space로 변환하거나 color histogram adaptation과 같은 방법을 쓰기도 한다.

Optical flow는 기본적으로 gray-level 이미지 밝기의 gradient를 구하는 방법을 사용하는데 최근 optical flow에 관한 연구에서는 color 정보를 활용하는 방법으로 더 나은 성능을 얻을 수 있음을 보여주고 있다[12]. 본 논문에서도 Landmark의 color 정보를 활용하여 Lucas-Kanade feature tracker에 적용 하였다. 특히 detecting process에서 설명한 destination image를 얻어내는 방법을 tracking region 적용하여 이미지 피라미드의 base level로 사용하여 밝기 변화에도 안정적인 tracking 성능을 보여준다.

3.3 Refinement step

Estimation step에서 얻어진 Landmark의 추정 위치는 Landmark 뿐만 아니라 배경의 움직임의 영향도 존재하기 때문에 실제 위치와 차이가 있을 수 있다. 또한 여러 가지 noise factor들에 의해서 tracking 하는 Landmark로부터 벗어나려는 경향이 발생 할 수 있다. 이러한 오차들은 tracking 과정에서 누적되어 Landmark를 놓치는 현상의 원인이 된다. 따라서 estimation step에서 발생하는 오차를 보정하기 위해서 refinement step을 수행한다.

Refinement step에서는 먼저 estimation step에서 얻어진 Landmark의 추정 위치에서 tracking region을 결정한다.

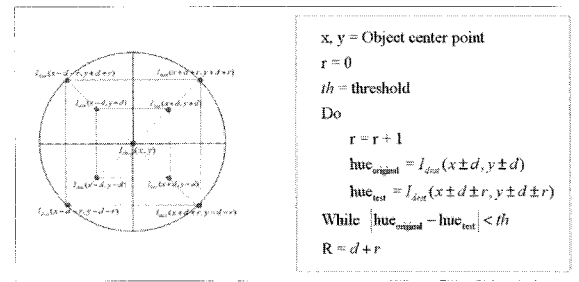


그림 11. Tracking region 구하기.

Fig. 11. Finding tracking region.

tracking region은 Landmark의 추정 위치에서 detection Window의 한 변의 1/2 값인 d 를 변화해가면서 Hue value의 변화를 측정하여 결정한다. 이를 통해 Landmark의 화면상의 반지름 R 을 구할 수 있고, 이전 추정 위치를 중심을 하고 대각선의 길이가 $2R$ 인 tracking region이 결정된다.

다음으로 tracking region 안에 존재하는 coner feature들에 대하여 descriptor를 찾고 matching을 통하여 Landmark 위치를 획득한다.

3.4 Tracking 실패시의 전략

Tracking process 중 Landmark를 놓치는 일이 발생할 수 있다. 이는 estimation step에서 현재 위치로 추정된 값에 큰 오차가 발생하거나, Landmark가 가려지거나, motion blur에 의해 coner point를 찾지 못하는 등의 원인에 의해 발생할 수 있다. 이 경우 AGV의 주행 속도를 낮추고 다시 detecting process를 실행하여 Landmark를 찾는다.

4. Parking position control

무인이송차량의 주행 경로는 크레인에 설치된 Landmark와 일정한 간격을 유지하고 있다. 따라서 최종 정차지점에서는 이미지의 특정 위치에 Landmark의 중심이 정렬되게 된다. 이 위치와 현재 Landmark의 위치의 차이를 이용하여 AGV의 속도를 PID control 하였다.

IV. 실험 결과

이장에서는 본 논문에서 제안한 vision을 이용한 무인이송차량 정차 시스템의 정확도와 조명에 따른 성능 변화를 실험을 통해서 확인한다.

무인이송차량에 설치된 CCD 카메라는 320x240 pixel의 이미지를 capture한다. 카메라 렌즈는 50°의 Horizontal angle of view를 가지고 있고, 카메라와 Landmark간의 최소거리는 약 65cm이다. 이러한 환경 하에서 입력되는 이미지의 한 pixel당의 거리 resolution은 약 1.86mm/pixel 정도이다. 따라서 이론적으로 정지 여유 마진인 2pixel을 고려할 경우 2.8mm의 오차범위 내에서 정차할 것을 기대할 수 있다. CCD camera에서 들어오는 데이터의 처리 주기는 무인이송차량에 장착된 센서들과의 동기화를 고려하여 10Hz로 설정하였다.

실험은 정상 조명과 어두운 조명 상태에서 무인이송차량의 정차 위치를 50회씩 기록하고 그 분포를 확인하는 방법으로 진행 하였다. 정상 조명은 낮 시간의 실험실 환경에서 수행한 경우이고, 어두운 조명은 야간에 조도가 낮은 형광

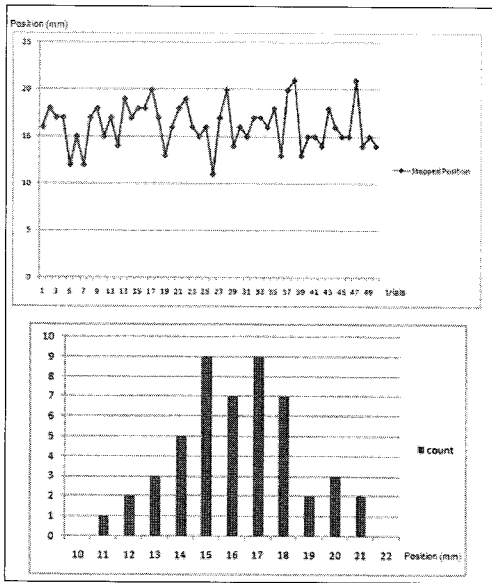


그림 12. 정상 조명의 무인이송차량 정차 성능.
 Fig. 12. AGV parking performance on normal illumination.

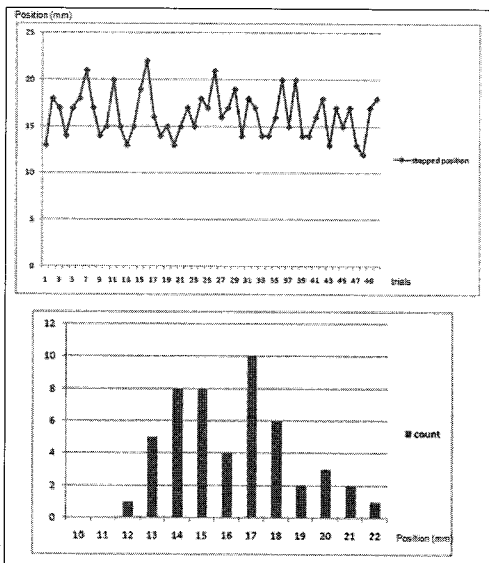


그림 13. 어두운 조명하의 무인이송차량 정차 성능.
 Fig. 13. AGV parking performance on dark illumination.

등 아래에서 수행한 경우이다. 어두운 조명의 경우 RGB를 이용하여 Landmark를 matching 할 경우 성공률이 7~15% 정도 였다. 그림 12는 정상 조명에서 실험결과이고 그림 13은 조명이 어두운 상황의 결과 이다. Reference가 되는 위치는 초기 정지상태의 무인이송차량 위치이며, 이며 각 정차 시마다 이 지점으로 부터의 거리를 기록하였다. 표 1은 reference에 정차 위치에 대한 평균 위치와, 표준 편차, 그리고 평균에 대한 최대 에러를 보여준다.

Average position에 편차가 생기는 이유는 처음 AGV의 세팅이 수동으로 수행되고 이 초기 위치를 reference로 잡기 때문이다. 밝은 조명하에서의 standard deviation은 2.32mm이고 maximum error는 4.8mm이다. 어두운 조명에서의 결과는 standard deviation이 2.40mm, maximum error가 4.74mm로 거

표 1. 평균 정차 위치와, 표준 편차, 그리고 평균에 대한 최대 에러.

Table 1. Average parking position, Standard deviation of parking position and the maximum error to the average parking position.

	Average position	Standard deviation	Maximum error
Bright illumination	16.20 mm	2.32 mm	4.8 mm
Dark illumination	16.26 mm	2.40 mm	4.74 mm

의 성능에 차이가 없음을 알 수 있다.

정차 시에 발생하는 위치의 변동은 여러 가지 이유에 의해서 발생한다. 조명등의 영향에 의해서 conner의 위치가 sub-pixel단위로 달라질 수 있으며 AGV의 heading angle의 변화에 의해서도 영향을 받는다. 이중 heading angle에 의한 영향이 가장 크다. 로봇이 작업영역에 진입하는 과정에서 진입하는 구간이 짧게 되면 heading angle의 오차가 커질 수 있다. 또한 장시간 운행에 따른 magnetic sensor의 reference전압의 변화, 센서 보드의 ADC resolution등이 영향을 주기 때문이다.

V. 결론

Vision 센서를 이용한 무인이송차량의 정차 시스템은 RF transponder, DGPS, laser와 수광장치 등을 이용한 정차시스템에 비하여 가격이 저렴하며 설치가 용이하다. 본 논문에서는 기존의 무인이송차량의 정차 제어 시스템들에 비해 설치 및 유지 관리 비용에서 유리하며 ±5mm의 높은 위치 정밀도를 가지는 시스템을 제안하였다. 또한 실험결과에서 이 시스템은 밝기 변화에도 성능의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 이는 밝기 변화에 강인한 특징을 가지는 HSI color space 기반에서 Landmark를 디자인하였기 때문이다.

Harris corner detector를 통해 얻는 corner feature들은 간단한 HSI color space 기반의 descriptor를 통해서 복잡한 이미지 처리 과정 없이 Landmark를 인식 할 수 있다. 또한 기존의 gray-level을 이용한 Lucas-Kanade feature tracker에 color 정보, 특히 HSI color space 상의 Hue와 saturation정보를 이용함으로써 더 나은 tracking 성능을 얻게 되었다.

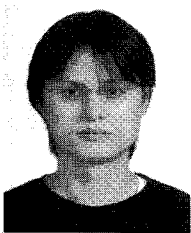
복잡한 배경이 존재하는 경우나 Landmark가 가려진 경우에 feature를 기반으로 하는 tracking 알고리즘은 약점을 가지고 있다. 따라서 이에 대한 보완대책이 필요하다. 그러나 본 논문에서 제안한 간단하고 효율적인 알고리즘 설계를 통해서, 처리 속도가 실시간에 가까우면서도 높은 수준의 정밀도를 가질 수 있는 장점이 있다.

이러한 무인이송차량의 정차제어 방법은 시스템의 비용이 저렴하면서도 정밀한 성능을 보이므로 향만의 AGV만 아니라 일반적인 산업 환경에서의 AGV 정차 또는 주행제어에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

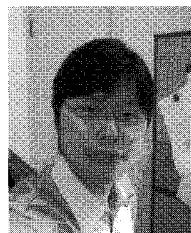
[1] L. Schulze and A. Wullner, "The approach of automated

- guided vehicle systems,” SOLI'06.
- [2] I. F. A. Vis, “Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems,” *European Journal of Operational Research*, vol. 170, issue 3, pp. 677-709, 2006.
- [3] J. W. Lee, S. U. Choi, C. H. Lee, Y. J. Lee, and K. S. Lee, “A study for AGV steering control and identification using vision system,” ISIE 2001.
- [4] S. Atiya and G. Hager, “Real-time vision-based robot localization,” *IEEE Trans on Robotics and Automation*, vol. 9, issue 6, pp. 785-800, 1993.
- [5] S. Jayaram, S. Schmugge, M. C. Shin, and L. V. Tsap, “Effect of colorspace transformation, the illuminance component, and color modeling on skin detection,” *IEEE CVPR '04*.
- [6] C. Harris and M. Stephens, “A combined corner and edge detector,” *4th Alvey Vision Conference*, 1998.
- [7] C. Tomasi and T. Kanade, “Detection and tracking of point features,” *Technical Report CMU-CS-91132*, 1991.
- [8] G. R. Bradski, “Computer vision face tracking as a component of a perceptual user interface,” *Workshop on Applications of Computer Vision*, 1998.
- [9] M. Isard and A. Blake, “Condensation-conditional density propagation for visual tracking,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 29, issue 1, pp5-28, 1998.
- [10] B. Lucas and T. Kanade, “An iterative image registration technique with and application to stereo vision,” *IJCAI81*.
- [11] J. Y. Bouguet, “Pyramidal implementation of the lucas kanade feature tracker, description of algorithm,” Intel Corporation, 2000.
- [12] K. R. T. Aires, A. M. Santana, and A. A. D. Medeiros, “Optical flow using color information : preliminary results,” SAC 08.
- [13] R. C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Second Edition, Prentice Hall.
- [14] OpenCV, Open Computer Vision Library, <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary>.
- [15] J. H. Park, Y. S. Park, and S. W. Kim, “AGV parking system using artificial visual landmark,” *ICASS '08*.
- [16] 양창호, 김영훈, 최상희, 배종욱, 이정은, “A study on the system design and operations of automated container terminal,” 한국해양수산개발원, 2000.
- [17] L. Wang, J. Shu, T. Emura, and Masaaki Kumagai, “A 3D scanning laser rangefinder and its application to an autonomous guided vehicle,” *Vehicular Technology Conference Proceedings 2000*, vol. 1, pp. 331-335, May 2000.
- [18] Yoichi Morales and Takashi Tsubouchi, “DGPS, RTK-GPS and StarFire DGPS performance under tree shading environments,” *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Integration Technology*, pp. 519-524, March 2007.
- [19] Jihua Huang and Han-Shue Tan, “A low-order DGPS-based vehicle positioning system under urban environment,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 11, no. 5, pp. 567-575, Oct. 2006.



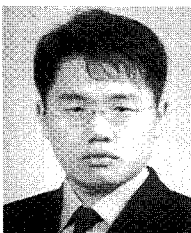
박 영 수

2004년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 석사. 2006년~현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 제어이론, 자동화, Machine Learning.



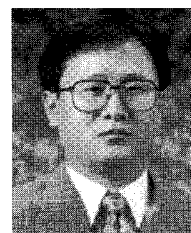
박 지 훈

2007년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 석사. 현재 현대 중공업 연구소 연구원. 관심분야는 로봇 비전, 자동화, 이미지 처리.



이 제 원

2008년 포항공과대학교 전자전기공학과 졸업. 2008년~현재 동 대학원 석사과정 관심 분야는 제어이론, 로봇공학.



김 상 우

1962년 8월 14일생. 1983년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1985년 동 대학원 제어계측공학과(공학석사). 1990년 동 대학원 제어계측공학과(공학박사). 1991년~현재 포항공과대학교 전자전기공학과 부교수. 관심분야는 최적제어, 최적화 알고리즘, 지능제어, 무선통신, 공정 자동화.