

가상 포토센서 배열을 탑재한 항만 자동화 자율 주행 차량

The Vision-based Autonomous Guided Vehicle Using a Virtual Photo-Sensor Array (VPSA) for a Port Automation

김수용, 박영수, 김상우*
(Soo-Yong Kim, Youngsu Park, and Sang-Woo Kim)

Abstract: We have studied the port-automation system which is requested by the steep increment of cost and complexity for processing the freight. This paper will introduce a new algorithm for navigating and controlling the autonomous Guided Vehicle (AGV). The camera has the optical distortion in nature and is sensitive to the external ray, the weather, and the shadow, but it is very cheap and flexible to make and construct the automation system for the port. So we tried to apply to the AGV for detecting and tracking the lane using the CCD camera. In order to make the error stable and exact, this paper proposes new concept and algorithm for obtaining the error is generated by the Virtual Photo-Sensor Array (VPSA). VPSAs are implemented by programming and very easy to use for the various autonomous systems. Because the load of the computation is light, the AGV utilizes the maximal performance of the CCD camera and enables the CPU to take multi-tasks. We experimented on the proposed algorithm using the mobile robot and confirmed the stable and exact performance for tracking the lane.

Keywords: AGV (Autonomous Guided Vehicle), VPSA (Virtual Photo-Sensor Array), autonomous, machine vision, lane

I. 서론

경제 규모의 증가함에 따라 물동량이 증가하였고, 이로 인하여 화물의 처리 시간 단축과 처리 비용의 절감을 위하여 항만 자동화의 구축이 이루어지고 있다. 항만 자동화를 위한 기반 기술로 컨테이너 이송 차량, 크레인, 지능형 터미널 운영, 화물 추적 및 관리 등이 있으며, 이들의 구현을 위하여 다양하고 복합적인 연구가 이루어지고 있다[9,10,13]. 항만 자동화 작업 중에서 자동화된 크레인으로부터 컨테이너를 하역하기 위하여, 컨테이너 이송 차량은 정해진 위치에 정확하게 정차를 하고, 정해진 경로를 주행할 수 있는 연구가 진행되어 왔다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 자율 주행 차량 (AGV: Autonomous Guided Vehicle)의 주행을 위한 연구는 음파 감지기, laser scanner, RF transponder, infrared sensor, 그리고 카메라 등을 기반으로 한 주행 제어나 시스템의 위치 추정 등의 연구가 이루어졌다[1,2]. 자기 센서를 이용한 주행[10], 음파 감지기와 비전을 함께 이용하여 위치를 인식하거나[11], RF transponder와 칼만 필터를 이용하여 주행을 하거나[14], 스테레오 비전을 이용하여 3차원으로 도로를 인식하여 주행을 하여 도로를 입체적으로 고려하기도 하였다[15]. 특히 비전을 이용한 연구들을 보면, 시스템의 위치 에러를 추출하기 위하여 도로 상의 특징 점(feature point)을 추출 한 후에 이를 통계적 기법, 허프 변환(Hough transform), 지능 시스템, 그리고 동적 프로그래밍(dynamic programming) 등을 써서 오차를 검출하고, 이를 칼만 필터(Kalman filter)나 파티클 필터(particle filter), 신경망 그리고 PID 제어기 등을 이용하여 제어를 하였다[3,5,9,11,14]. 이들 연구들의 공통점은 카메라로부터 취득한

영상을 이용하여 신호 처리 기법을 이용하여 안정적이고 정확한 오차를 생성하여 시스템의 제어를 하는데 있다. 영상을 이용한 연구들이 정밀한 제어를 하는데 있어서 조향 에러가 부정확하거나 불안정 했으며, 주위 환경에 대하여 강인하지 못한 성질을 갖지 못 했으며, 계산량이 많아서 실시간 제어에 있어서 문제가 되었다. 항만 자동화에서도 하역을 위한 정확한 위치에서의 정차와 컨테이너 이송을 위한 항만 내의 도로 주행의 안정적 제어를 위하여 가장 핵심적인 것은 신뢰할 수 있는 센서 데이터를 이용한 에러의 생성이라 할 수 있다.

항만에서의 실제적인 작업 상황을 고려하여 자동화 시스템을 구축하는 비용을 최소화하며, 그 효과를 극대화하기 위하여 전하결합소자 (CCD: Charge-coupled device) 카메라를 이용한 센서 시스템에 대하여 소개하고자 한다. 기존에 연구 결과와 같이 자기 센서를 이용하여 AGV를 이용한 자동화를 구현하는 경우, 항만의 도로에 자성선(magnetic wire)을 설치하여야 하며, 이에 대한 유지 보수나 고장 진단에도 비용이 발생하게 된다[2]. 반면에 비전을 이용한 AGV는 취득한 영상에서 특징점으로 사용할 수 있는 차선과 같이 도로를 표시하는 표식만 있으면 주행이 가능하기 때문에 자동화 구축 비용 면에서 다른 방식에 비하여 우월한 측면이 있다. 그러나 비전을 이용한 방법은 카메라의 광학적 특성으로 인한 왜곡, 시야의 차단과 광량의 변화로 인하여 안정적이며 정확성이 높은 에러를 생성하기 어렵기 때문에, 최근의 비전을 이용한 연구 방향은 자율 주행을 제어 보다는 시스템의 동작을 감시하고 이를 알려주는 보조 시스템에 관한 것이 보편적이다[3].

항만 자동화를 위한 AGV의 경우, 속도가 다른 차량에 비하여 느리기 때문에 자율 주행의 구현이 수월하다고 할 수도 있겠지만, 주어진 경로를 정확하게 추종하여 이동을 하여야 하고, 하역을 위하여 정해진 위치에 주어진 오차 범위 안에서 정차를 할 수 있어야 한다. 이러한 항만 자동화의 요건을 갖추는데 있어 CCD 카메라에서 획득한 영상으로부터 신뢰할 수 있는 제어 오차를 생성하여 주어진 경로를 정확하게

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 10. 29., 수정: 2009. 11. 19., 채택확정: 2009. 12. 11.

김수용, 박영수, 김상우: 포항공과대학교 전자전기공학과

(odinkim@postech.ac.kr/youngsu@postech.ac.kr/swkim@postech.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-C1090-0902-0004).

※ 상기 논문은 KACC2009 학술대회에서 초안이 발표되었습니다.

추종하는 기법을 제안하고자 한다.

CCD 카메라를 이용하여, 영상 처리 속도를 향상 시키기 위하여, 광 센서의 장점을 극대화하고 공간상의 제약인 있는 단점을 극복하는 기법으로 가상 포토 센서(Virtual Photo-sensor, VPS)에 대한 개념을 제안하고, 이를 이용하여 차동한 에러(differential error)를 생성하는 방법을 제안 한다. 오차를 차동하여 생성하는 방법은 광 디스크 드라이브에서 고속으로 트랙을 추종하는데 쓰이는 방법이다[4].

II 장에서는 가상 포토 센서의 개념에 대하여 소개하고, III 장에서는 제어를 위한 에러를 생성하는 방법과 그에 대한 확장인 동적 VPSA에 대하여 논하고, IV 장에서는 실험 방법 및 실험 결과를 보여주고, 마지막으로 V 장에서는 본 논문에서 제시한 이론과 실험으로 결론을 도출하고자 한다.

II. 가상 포토 센서의 개념

기존의 비전 기반의 자율 주행에 관한 연구 결과들을 보면, 대부분 고속도로나 도시의 도로를 가정하고, 고속 주행을 목표로 했기 때문에 근거리에서부터 원거리까지의 정보가 필요했다[3]. 항만 자동화를 위한 AGV의 경우, 빠른 속도 보다는 도로를 정확히 추종하고 지정된 위치에 정차를 하는 동작이 중요하기 때문에, 기존의 진행된 연구와는 다른 문제가 새로 정의되어야 한다. 고속 주행을 하기 위해서는 원거리의 정보를 이용하여 조향 제어를 하지만, 정확한 위치 추종을 필요로 하는 무인 하역 차량의 경우에는 근거리 정보를 이용하여 제어를 하도록 하는 것이 중요하다. 저속 주행을 하는 경우에는 고속 주행과는 달리 시간적 여유나 공간적 여유가 없기 때문에 제어를 위한 보다 정확한 오차가 요구된다. 따라서 기존의 알고리즘과는 다른 방법이 필요하였다. 연산량을 줄여서 실시간 제어가 가능하며, 에러가 신뢰성 있고 안정적이어야 한다.

이러한 요구를 만족 시키기 위하여 본 논문에서는 가상 포토센서 배열 (VPSA: Virtual Photo-sensor Array)라는 개념을 제안한다. 일반적인 포토 센서는 수광부에 들어온 광의 양에 따라 전류의 양이 변하며, 이를 전압으로 변환하여 정보를 얻게 된다. 시스템에서는 수광부의 출력인 전압만 읽으면 되기 때문에 시스템에 큰 부하를 요구하지 않는 장점이 있으며, 발광부의 빛을 수광부에서 잘 받을 수 있도록 설치해야 하는 공간적인 단점이 있다[7]. 포토 센서의 장점은 극대화 하고, 단점을 보완하여 에러의 생성을 위한 연산량은 작으면서 안정적인 알고리즘을 제안한다.

VPSA의 장점은 연산 속도, 구현의 용이성, 오차의 정확성과 강인성, 그리고 확장성 등을 들 수 있다. 첫째, 기존의 카메라를 이용한 알고리즘들은 오차를 생성하기 위하여 많은 연산이 필요하지만, VPSA는 연산 영역을 차선이 있는 주변으로 국한시키고, 연산이 간단하기 때문에 오차를 생성하는데 걸리는 시간이 다른 알고리즘에 비하여 짧으며 효율적이다. 둘째, VPSA 사이의 차동 에러를 이용하기 때문에 구현이 간단하다. 셋째, 빛의 변화에 강인한 특성을 갖는 HSV색깔 공간에서 VPSA를 이용하여 오차를 생성하고[12], 센서를 배열 형태로 구성하고 다수의 VPSA를 사용하는 경우 차선이 오염 및 훼손이 된 경우에도 신뢰할 수 있는 오차를 생성할 수 있다. 넷째, 다수의 VPSA를 이용하여 수직으로 배치될

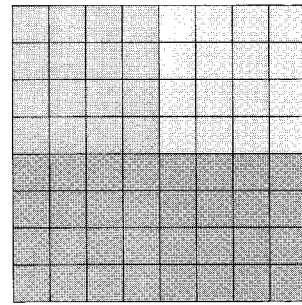


그림 1. VPS와 VPSA의 정의.

Fig. 1. The definition of VPS and VPSA.

하여 영상의 기하적 변화를 측정하면 장애물 회피(obstacle avoidance)에 적용할 수 있으며, 차선에 대한 위치 정보를 이용하여 자율 주행을 위한 차선 변경, 차선 이탈을 쉽게 감지하여 시스템 감시를 위하여 사용하는데 쉽게 적용이 가능하다. 단점으로는 도로 인식을 위한 표식으로서 차선이 반드시 있어야 하며, 이것이 없을 경우에는 사용이 불가능하다. 그러나 항만 자동화는 제한된 환경 하에서 구현이 되기 때문에 실제 적용에는 크게 문제가 되지 않을 것이다.

다음과 같이 용어를 정의 한다.

정의 1: 시스템을 조향 에러가 0이 되도록 위치 시킨 후 취득한 영상에서 특징점-차선, 표식이 위치한 곳의 특정 픽셀들을 가상 포토센서 (VPS: Virtual Photo-sensor)라 한다. VPS에 특징점들이 존재하면 켜져있다(VPS-ON)라고 표현하고 그렇지 않으면 꺼져있다(VPS-OFF)라고 표현한다.

정의 2: VPS를 원소로 하는 집합을 가상 포토센서 배열 (Virtual Photo-sensor Array, VPSA)라고 하며, 영상에서 특징점을 찾기 위한 범위를 의미한다.

그림 1은 VPS와 VPSA의 관계를 나타낸 것이다. 하나의 사각형은 영상에서의 픽셀을 의미한다. 정의 1과 2에 의하여 영상에서 특징점을 찾은 후에 선택된 픽셀들이 VPS가 되며, 이들의 집합이 VPSA가 된다. 색깔이 같은 것은 각각 같은 VPSA의 VPS를 나타내는 것이며, 다른 색깔은 다른 VPSA를 의미한다. 따라서 그림 1은 4개의 VPSA가 존재하며, 각각의 VPSA 안에는 16개의 VPS가 있는 경우를 나타낸 것이다.

VPSA의 값(Z_n)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_n = \frac{1}{\mu N} \sum_{(i,j) \in S} a_{ij} \tag{1}$$

단, μ 은 픽셀이 가질 수 있는 최대값, N은 VPSA 안에 VPS의 전체 개수, S은 VPSA의 좌표 공간, i 는 픽셀의 행의 좌표, j 는 픽셀의 열의 좌표, a_{ij} 는 픽셀의 값이다. 에러의 정규화를 위한 μ 은 이진화 영상을 사용하는 경우에는 이진화된 값을 적용한다. 따라서 Z_n 은 VPSA 내에서 VPS가 켜져 있는 개수의 평균을 취한 것이다.

III. VPSA 형상 설계 및 제어 에러의 생성

1. 제어 에러의 생성

II 장에서 정의한 VPSA를 이용하여 실제 제어기의 입력으로 사용할 수 있는 에러를 생성해 보고자 한다. 일반적인 자율 주행을 제어에 있어서 가속도, 속도나 방향 등과 같은 요

소들을 제어 하지만, 본 논문에서는 조향 성능에 초점을 맞추기 때문에 수평 방향만 에러로서 고려하도록 한다. 조향을 위해서는 시스템이 기준 위치에서 수평 방향으로 얼마만큼 벗어나 있느냐가 주된 관심사이다. 이를 위하여 VPSA를 이용하여 다음과 같은 식 (2)을 가지고 차동 에러(differential error, E_{pos})를 생성한다.

$$E_{pos} = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^M (Z_{2k} - Z_{2k-1}) \quad (2)$$

식 (2)에서 M 은 VPSA의 개수를 의미하고, $2k$ 의 VPSA는 제어를 위한 기준점의 왼쪽에 위치하고, $2k-1$ 의 VPSA는 오른쪽에 위치를 하는 것이다. 시스템 구현의 편의상 순서를 바꾸어도 무방하다.

식 (2)의 물리적 의미는 왼쪽의 VPSA와 오른쪽의 VPSA 중에서 어느 쪽이 더 큰 지를 정량화하는 식이다. 즉 좌측의 값이 큰 경우에는 양의 값을 가지게 되고, 반대의 경우에는 음의 값을 가지게 되며, 같은 경우에는 0의 값을 가지게 된다. 따라서, 좌우의 균형이 이루어야 출력이 0이 되는 경우에는 시스템이 추종을 잘 하고 있다고 판단하여, 어떤 제어도 이루어지지 않게 된다. 여기서 출력되는 정량화된 값을 기준으로 제어가 이루어지게 된다.

2. VPSA의 형상 설계

위의 차동 방식으로 생성된 에러는 VPSA의 형상에 따라 다른 에러 특성을 가지게 된다. 따라서 적용하고자 하는 시스템에 따라 주어진 환경에 적합하도록 VPSA의 형상을 설계하여야 한다. 각각의 VPSA에는 VPS로 구성되어 있다.

그림 2는 VPSA의 형상으로 가능한 후보들을 도시한 것이며, 이 외에도 더 많은 것이 존재할 수 있다. 그림 2의 (가)와 (나)는 직선 경로가 많고 교차로가 없는 경우에 유리할 것이다. (다)와 (라)는 교차로가 많은 경우에 사용하는 것이 유리하다. 각각의 형상은 2개나 4개로 나뉘어져 있는데, 이러한 분할은 다음 절에서 설명할 동적 VPSA의 전략과 연관되어 있으며, VPSA의 개수는 그 전략에 의존적이다. 형상을 설계함에 있어서 고려하여야 할 것은 제어를 하고자 하는 중심과 VPSA의 좌우 중심축을 맞추는 것이다. 또한 VPSA의 영역이 커지면, 에러의 정확성은 향상되겠지만, 연산량이 증가하는 문제점이 발생한다. 그 영역이 너무 작은 경우에는 연산 속도는 증가하겠지만, 외란의 영향에 민감해져서 에러가 불안해지는 현상이 발생할 수 있다.

식 (2)에 의하여 표현되는 수평 위치 에러의 범위는

$$-1 \leq E_{pos} \leq 1 \quad (3)$$

를 갖게 되고, 제어기의 입력 조건에 맞춰서 실제 에러를 생

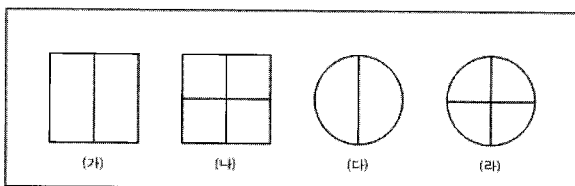


그림 2. VPSA의 형상.

Fig. 2. The shape of the VPSA.

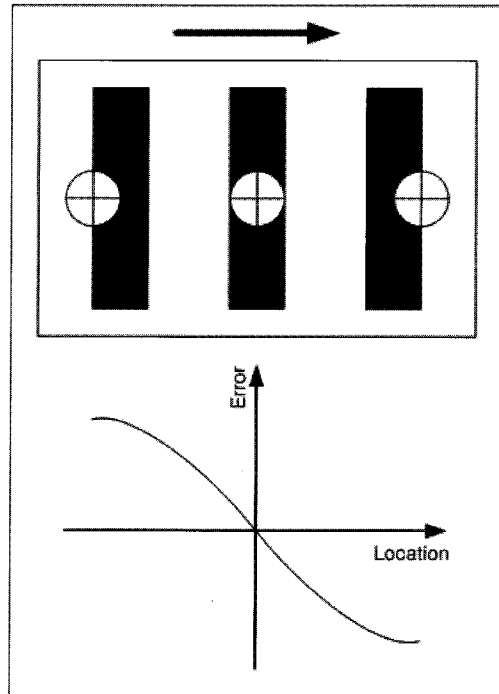


그림 3. VPSA의 움직임에 따른 에러의 변화.

Fig. 3. The change of error as VPSA's moving.

성하기 위하여, 에러의 최대 범위를 좁혀 주면, 제어기 입력단의 실제 에러(E_{real})는 다음과 같다.

$$E_{real} = G \times E_{pos} \quad (4)$$

단, G 는 오차의 동적 범위, 즉 제어기로 궤환(feedback)되는 이득을 나타낸다.

그림 3에서 보면, VPSA가 검정선의 중간에 있는 영역에 대해서는 에러가 선형으로 나타나기 때문에, 이 선형 구간에서 시스템을 제어하게 된다. 그림 2의 (가)와 (나)를 사용하는 경우에는 에러의 출력이 삼각파를 가지기 때문에 전 영역에서 정확한 선형 특성을 가지게 되지만, 가장 자리에서 급격한 변화가 발생하는 문제점을 가지게 된다.

그러나 위의 방식으로 에러를 생성할 경우, 시스템의 동역학적인 특성, 즉 시스템의 제어 감도가 약한 경우로 인하여 쉽게 에러의 선형 구간을 벗어나 버리는 문제가 발생한다. 시스템이 차선의 폭보다 더 벗어나면 제어 불능 상황이 된다. 차선의 폭이 시스템의 폭에 비하여 매우 좁기 때문에, 급격한 곡선 구간에서는 제어 가능한 선형 구간을 쉽게 벗어나기 때문에 에러의 범위를 넓히는 방법을 제안 한다.

3. 동적 가상 포토 센서(Dynamic VPSA, DVPSA)

제어를 하는데 있어서, 제어 오차 허용 범위가 존재한다. 제어 오차 허용 범위라 함은 오차는 0은 아니지만, 제어를 하지 않아도 시스템에 문제가 발생하지 않는 범위를 의미한다. 예를 들면, 자동차가 도로를 주행을 하고 있을 경우에 일반적으로 도로의 폭이 자동차의 폭보다 더 넓은데, 이 경우 도로 폭 안에만 자동차가 있을 경우에는 사고가 발생하지 않는다. 도로의 폭에서 자동차의 폭을 뺀 값이 제어 오차 허용 범위가 된다. 앞 절에서 VPSA를 이용하여 생성된 에러의 경우, 차선 폭에 따라 에러의 크기가 생성된 반면에 이번 절에

서는 제어 오차 허용 범위 안에서 에러를 생성하는 방법에 대하여 설명하고자 한다.

이러한 넓은 범위의 에러를 생성하기 위해서는 VPSA가 고정된 것이 아니라 제어 오차 허용 범위 안에서 동적으로 움직이면서 차선을 추종하도록 한다. VPSA가 동적으로 움직이면서 특징점을 찾아서 에러를 생성시킨다는 의미로 동적 가상 포토 센서 (DVPSA: Dynamic VPSA)라고 명명하기로 한다. DVPSA를 구현하기 위한 방법은 VPSA의 개념을 기본으로 하고, 광학적 흐름(optical flow)의 개념을 접목 시켜 구현한다.

도로의 폭은 W_{road} , 자동차의 폭은 W_{car} , 그리고 차선의 폭은 W_{line} 이라 가정하자. 이 때, VPSA의 동적 탐색 영역(R)은 다음과 같이 한다.

$$R = \left\lceil \frac{W_{road} - W_{car}}{W_{line}} \right\rceil \quad (5)$$

단, $\lceil x \rceil$ 은 x 를 넘지 않는 최대 정수를 의미한다.

VPSA는 동적 탐색 영역 안에서 탐색을 하게 된다. 식 (5)에 의하여 동적 탐색 영역은 차량과 도로 조건에 의존적이다.

그림 4는 식 (5)의 동적 탐색 영역, $R=7$ 인 경우에 대하여 DVPSA를 표현한 것이다. 가운데 위치한 VPSA의 형상은 그림 1의 (나)의 것을 예로 들었고, 검은 영역은 차선을 나타낸다. 그림 4에서 좌측에 있는 VPSA들(하늘색, 연두색)은 VPS-ON의 상태이고, 오른쪽 부분은 모두 VPS-OFF 상태임을 알 수 있다. 영상 처리 때마다 벡터 테이블(vector table)이라는 버퍼(buffer)를 만들어서 VPSA들 중에서 최대값을 갖는 VPSA의 위치 인덱스(index)를 저장 해 둔다. 또한 VPSA가 동적 탐색 영역 중에 어디에 있는지 저장해 둔다.

VPSA의 모든 VPS가 꺼진 경우, 즉 차선의 추종을 실패한 경우에는 저장해 둔 위치 인덱스와 동적 탐색 영역에서의 위치를 이용하여 그림 4에서 표현된 것과 같이 화살표 방향으로 VPSA를 이동시킨다. VPS의 값이 0이 아닌 영역, 즉 차선을 찾고, VPSA의 값을 다시 계산을 하게 된다.

그림 4에서 화살표는 광학적 흐름(optical flow)에서의 벡터 개념으로서[6], 시스템에서는 이 방향 벡터와 시스템의 속도에 의하여 결정된다. 이 벡터를 통하여 동적 탐색 영역 안에서 다음 VPSA를 이동 시킬 방향을 결정한다.

VPSA의 탐색을 통하여 차선을 찾은 후, VPSA가 동적 탐색 영역에서의 위치를 정량화하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{dyn} = \left\lceil \frac{2}{\frac{W_{road} - W_{car}}{W_{line}}} \left(\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (Z_{2k} - Z_{2k-1}) - P_{cur} \right) \right\rceil \quad (6)$$

단, P_{cur} 은 VPSA가 위치한 열의 좌표를 나타낸다. 이 식은 식 (2)에서의 조향 에러를 동적 탐색 영역으로 확장하여 기술한 것이다. 각각의 영역에서의 조향 에러를 정량화 하여 에러의 연속 함수로 나타낸 것이다.

식 (6)를 이용하여 생성된 DVPSA의 장점은 VPSA의 장점은 그대로 유지하면서, 넓은 영역에서 에러를 생성할 수 있으며 연산량은 VPSA와 동일하다는 점이다. 단점으로는 첫째,

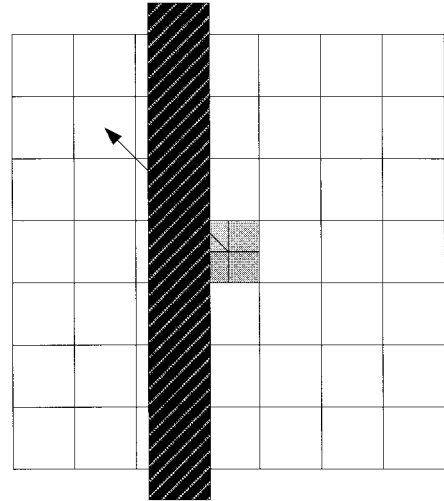


그림 4. 동적 VPSA의 개념.

Fig. 4. A concept of the DVPSA.

VPSA는 1차원적으로 좌우만 고려를 했기 때문에 상하의 에러를 고려할 수 없다는 점이다. 둘째, 곡선 구간에서 추종에 실패했을 경우 특징점을 찾는데 걸리는 시간은 단점으로 가지고 있다. 그러나 벡터 테이블과 시스템의 속도를 이용하여 위치를 예측하기 때문에 탐색 시간을 최소화 시킬 수 있다. 또한 실제 도로의 대부분은 곡선 구간에 완화 곡선을 가지고 있기 때문에 VPSA의 차선을 탐색하는 거리가 멀지 않다.

4. 유효성 검증

DVPSA를 이용했을 때, 적용 가능한 최대 속도에 대하여 검증을 해 보았다. 조향 에러는 수평 성분이 주요하기 때문에, 영상에서 수평 방향으로 움직이는 물체가 있다고 가정하자. 시스템에 장착된 카메라로부터 F_{camera} Hz로 영상을 취득할 수 있다고 하자.

움직이는 물체의 속도(F_{object})에 따른 영상의 각 프레임 당 움직이는 거리는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{frame} = \frac{1}{F_{camera}} V_{object} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하면, 표 1과 같이 움직이는 물체의 속도에 따른 영상의 각 프레임 당 움직이는 거리를 나타낸 것이다.

즉, 정지한 카메라에서 어떤 물체가 수평으로 100Km/h로 움직인다면, 취득된 영상에서는 0.93m/frame으로 보인다는 것이다. 따라서 DVPSA의 범위가 이 거리보다 넓으면 유효한 에러를 생성할 수 있음을 의미한다. 실제 도로에서 90도의 교차로 구간을 만났을 때, 시스템이 위의 속도로 이동하면서 차선이 영상에 나타나는 것과 상대적으로 같기 때문이다.

위의 결과를 토대로 도로 폭은 3.6m, 차선 폭은 0.2m 라고 가정한다[8]. 트럭의 차 폭은 2.5m이며, 승용차의 차 폭은 1.8m라고 가정한다.

표 1. 시속에 따른 카메라 영상에서의 물체의 속도.

Table 1. The velocity of the object from the image.

시속(Km/h)	40	60	80	100
영상에서의 속도(m/frame)	0.37	0.56	0.74	0.93

식 (6)에 의하여 트럭의 경우 동적 탐색 영역의 값이 5, 승용차의 경우에는 9가 된다. 여기에 차선의 폭(W_{lane})을 고려하면, 유효 최대 속도($m/frame$)를 계산할 수 있다.

$$V_{max} = \frac{1}{2}RW_{lane} \quad (8)$$

식 (8)를 이용하여 트럭의 경우 유효 최대 속도가 0.5 $m/frame$ (54km/h)이고 승용차의 경우는 0.9 $m/frame$ (97.2km/h)이다. 따라서 차중 별로 위의 속도 이하에서는 생성된 조향 에러가 유효함을 의미한다.

실제 도로 상에서는 완화 곡선이 설치가 되어 있기 때문에, 이 이상의 속도로 주행을 해도 문제가 없음을 의미한다. 즉, 승용차의 경우에는 속도의 제한을 받지 않고 DVPSA를 사용할 수 있음을 의미한다.

IV. 실험 결과

1. 카메라의 설치

영상을 이용한 시스템에 있어서 중요한 요소 중에 하나는 알고리즘에 알맞은 영상을 취득하는 것이다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 구현하는데 있어서 VPSA의 위치 선정이 중요한데, 이는 시스템에 설치된 카메라의 위치와 관련이 깊다. 자기나 RF를 사용하는 방식의 특징은 시스템이 있는 상황의 위치 에러를 알려주지만, 카메라를 이용하는 경우에는 보이는 위치, 즉 시스템에서 떨어진 위치에 대한 에러 정보를 얻게 된다. 고속 주행을 하는데 있어서는 현 위치보다 멀리 떨어진 정보가 유리하겠지만, 정확한 위치의 주차나 정차를 위해서는 가까운 위치의 위치 에러를 제어기 입력으로 이용하여야 한다. 예를 들면, 실제 차량을 주차할 경우 주차 공간의 주차 영역선이나 그것에 준하는 주위의 가까운 사물을 보면서 서서히 주차를 한다.

그림 5에서 정확한 제어를 위해서는 시야각이 θ 인 카메라에서부터 실제 측정 가능한 거리(e)가 짧을수록 효율적이며, 이에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = h \cot \frac{\theta}{2} \quad (9)$$

식 (9)이 의미하는 바는, 거리(e)를 줄이기 위하여 카메라의 설치 높이(h)가 낮아야 하고, 이를 위해서는 카메라가 전방을 바라보는 것보다는 하방을 가리키는 것이 낫다는 것을 알 수 있다. 따라서 실제 시스템에 적용을 할 경우에는 제어 가능

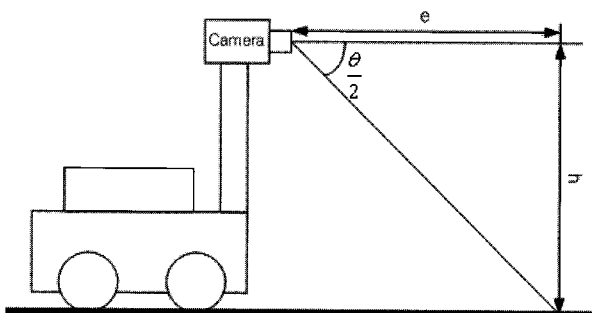


그림 5. AGV의 카메라 설치의 제약 조건.

Fig. 5. A constraint for the installation of the camera of the AGV.

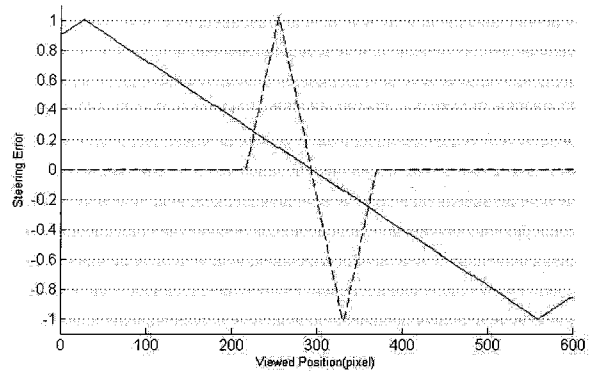


그림 6. 에러 생성 시뮬레이션(점선: VPSA, 실선: DVPSA).

Fig. 6. A result of the simulation for generating the steering error (dashed line: VPSA, solid line: DVPSA).

한 최대의 거리를 설정하고 이보다 작은 범위가 되도록 카메라의 각도를 설정하는 것이 바람직하다. 이렇게 설치함으로써 카메라로부터 취득한 영상에는 원거리의 배경은 배제하고 차선을 최대한 많이 얻어서 이를 이용한 제어를 가능하도록 할 수 있다.

2. 시뮬레이션

가상의 차선을 이진화한 영상을 이용하여 제안된 VPSA와 DVPSA 알고리즘을 이용하여 에러를 생성하는 시뮬레이션을 하였다. 모의 실험에 사용한 VPSA의 형상은 그림 2. (가)를 이용하였다.

그림 6은 VPSA와 DVPSA로 에러를 생성했을 때를 비교한 것으로, VPSA의 형상에 의하여 생성된 조향 에러가 선형적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. DVPSA의 기술기가 7배 작아지며, 처리할 수 있는 영역이 7배 늘어났음을 알 수 있다.

III 장에서 언급한 이론과 결과가 일치함을 알 수 있다.

3. VPSA의 구현

본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 VPSA를 구현하였다. 카메라로부터 입력된 영상을 HSV 공간의 색상(Hue) 채널을 사용하기 위하여 RGB 공간에서 HSV 공간으로 변환한다[2]. 이는 광량의 변화에 대하여 간소한 특성을 갖도록 하기 위한 것이며, 차선의 색깔 정보를 안정적으로 추출하기 위한 것이다. 그리고 영상의 잡음을 제거 하기 위하여 가우시안 필터를 이용하여 스무딩(smoothing) 작업을 수행한다. 이 영상을 이용하여, 차선의 색상 정보와 이미지의 광량의 정보를 이용하여 이진화를 하고, 식 (2)에 대입하여 에러를 구한다.

이렇게 구해진 VPSA의 에러와 허프 변환을 이용한 에러를 비교해 보았다. 실험 조건은 실내에서 흰색의 차선을 찾는 것으로 시스템을 정지해 둔 상태에서 조명의 변화에 따른 에러의 변화를 관찰해 보았다.

표 2. VPSA와 허프 변환과의 오차 비교 (단위: 픽셀).

Table 2. An error comparison between VPSA and Hough transform.

	VPSA	허프 변환
평균	2.67	12.8
표준편차	0.23	5.14

표 2에서 평균값은 영상과 시스템의 보정 작업을 통하여 오프셋(offset)을 제거하면 큰 문제가 되지 않는다. 그러나, 표준 편차가 의미하는 것은 정지 상태에서도 허프 변환을 이용한 경우에 5개 픽셀의 편차가 있음을 보여 준다. 이는 허프 변환이 조명의 변화, 즉 빛의 변화에 민감함을 의미하며, VPSA를 이용한 경우에는 안정적인 값을 출력함을 의미한다.

4. 시스템 상의 동적 VPSA의 구현

VPSA를 이용하여 구현하는데 시스템은 실선의 차선을 추종하며, 시작도 차선 위에서 시작을 하도록 하며, 시스템의 방향만을 제어한다는 제약 조건을 둔다. 차선 위에서 시작을 하지 않는 경우나 동적 탐색 영역에서 VPSA가 탐색을 실패한 경우에는 Hough transform과 같이 기존의 알고리즘을 이용하여 차선을 찾도록 한다[1].

자율 주행 차량은 그림 7과 같이 연구용으로 많이 사용되는 Mobile Robots사의 4 wheel drive, skid-steering 타입의 P3-AT 로봇을 이용하였다. 영상 처리를 위한 CPU는 Intel사의 Duo CPU T7700 2.4GHz였으며, CCD 카메라는 오션하이테크사의 OS-46(640X480,30Hz)이며, 카메라는 이동 로봇의 전면부에 탑재하여 하방을 주시하도록 사용하였다.

정확한 위치 에러를 생성하기 위하여, 주행 시스템과 VPSA의 에러를 일치시키는 에러 보정(error calibration)을 수행하여 실제 위치 정보를 VPSA에 투영 시켜야 한다. 표 2에서 에러의 평균을 0으로 맞추는 과정이다.

시스템 상에서 카메라를 통하여 차선을 보면 원근감으로 인하여 차선이 평행사변형의 형태를 지니게 되며, VPSA의 형상도 동일하게 설계하면 된다. 이의 보정을 할 필요가 있어서 식 (2)는 각각의 비중이 똑같도록 하는 상수(W_k)가 필요하다.

$$E_{pos} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (W_{2k}Z_{2k} - W_{2k-1}Z_{2k-1}) \quad (10)$$

DVPSA를 사용할 때도 식 (10)을 이용하여 에러 생성을 하여야 한다.

DVPSA를 구현할 때의 차이점은 시스템의 방향성을 알기 위하여 현재 VPSA들의 값을 계속 관측하면서 어느 방향으로 움직이는지 알 수 있는 벡터 테이블을 관리하는 점과 동적 탐색 영역에서 어디에 위치하고 있는지를 알고 관리를 하

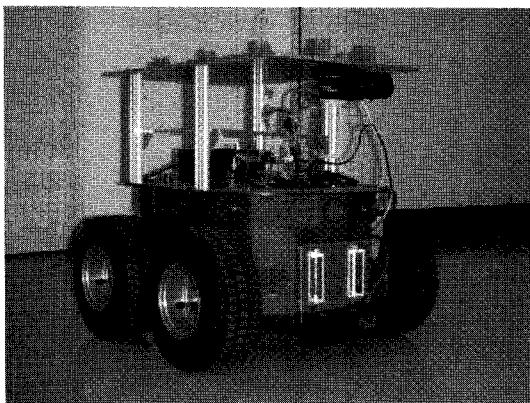


그림 7. 자율 주행을 위하여 카메라를 탑재한 로봇.
Fig. 7. A robot with a CCD camera for autonomous driving.

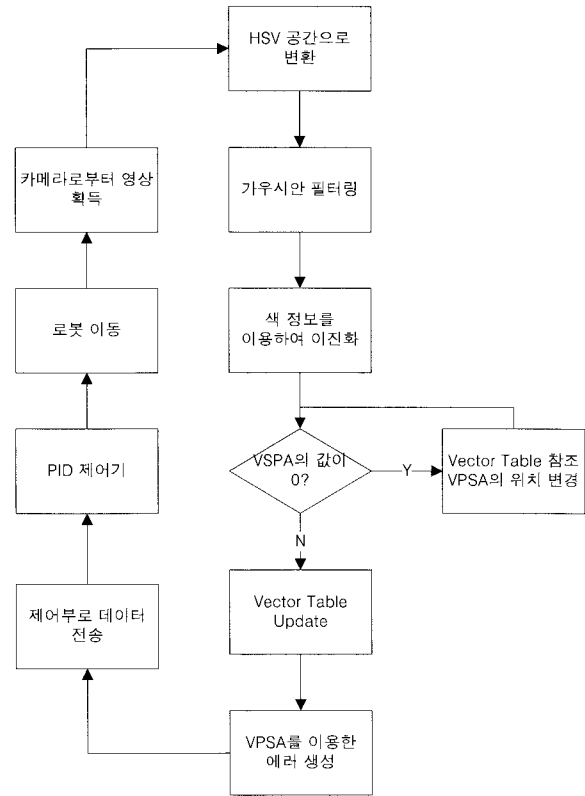


그림 8. 동적 VPSA를 적용한 순서도.
Fig. 8. The flow chart of the system for DVPSA.

여야 한다. 현재의 VPSA에서 차선이 사라진 경우에는 이 벡터 테이블과 동적 탐색 영역에서의 위치를 참조해서 어느 방향의 VPSA를 선택하여 차선을 찾아야 할 지를 결정하여야 한다. 이동 로봇을 이용한 자율 주행을 위하여 다음과 같은 VPSA 알고리즘을 적용을 하였다.

구현된 이동 로봇은 크레인 모델이 같이 구현된 가상의 항만 자동화를 위한 공간을 주행 하도록 하였다. 겐트리 (Gentry) 크레인 모델은 40:1, 컨테이너는 15:1로 축소 제작된 형태이다. 주행 조건과 환경은 다음과 같다.

그림 9에서 초록색 영역에 정확하게 정차를 하여야 겐트리 크레인으로부터 컨테이너의 하역이 가능하다. 이를 위하여 비전을 이용한 정차 시스템이 적용이 되었다[2,10].

각 VPSA의 32개의 VPA를 갖도록 하였으며, 좌우의 VPSA는 64개가 되며, 이를 4.8cm의 차선에 맷핑을 시키는 작업을

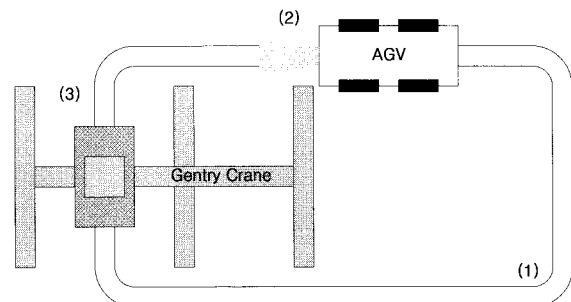


그림 9. 항만 자동화 실험 환경.
Fig. 9. Experimental Environment for a port automation.

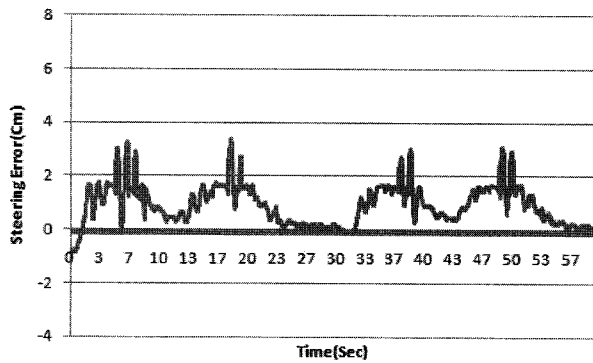


그림 10. 15cm/s에서의 조향 에러.

Fig. 10. Steering error at 15cm/s.

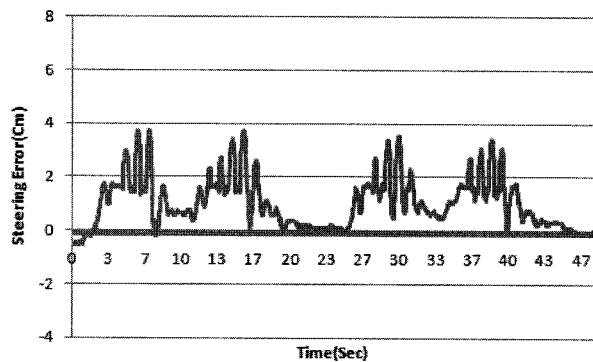


그림 11. 20cm/s에서의 조향 에러.

Fig. 11. Steering error at 20cm/s.

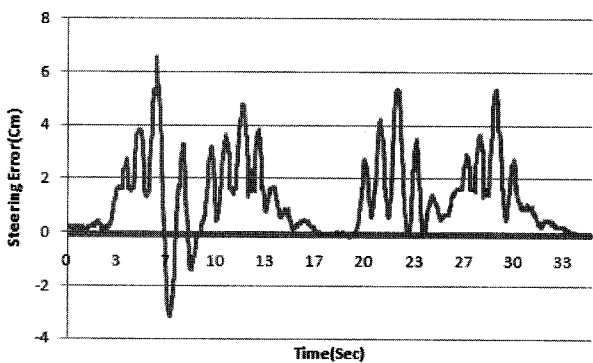


그림 12. 28cm/s에서의 조향 에러.

Fig. 12. Steering error at 28cm/s.

수행하였다. 그리고 DVPSA의 구현을 위하여 동적 탐색 영역(R)은 5로 설정을 하였다. 따라서 각 VPSA의 조향 에러는 $\pm 12\text{cm}$ 의 범위를 가지게 된다. VPSA를 이용한 에러에 의하여 제어되는 AGV에서 주행 중의 제어기 입력 에러를 속도 (15,20,28 cm/s)에 따라 관찰한 결과가 다음과 같다. 각 결과는 그림 9에서 (1) 지역에서 시작하여 1회 회전한 것을 나타낸 것이다.

위의 결과를 보면, 속도가 증가함에 따라 곡선 주행 시에 오차가 증가함을 볼 수 있다. 각 속도 별 최대 조향 에러는 15cm/s에서는 3.375cm, 20cm/s에서는 4.5cm, 그리고 28cm/s에서는 6.56cm로 측정되었다. 차량이 항상 같은 위치에 정차를 시키기 위하여 곡선 구간에서는 2cm 정도의 오차를 향

상 갖도록 제어 전략을 세웠으며, 그 결과 곡선을 주행할 때마다 봉우리 형태의 에러 특성을 가지게 된다. 하역 작업이 일어나는 세 번째와 네 번째 봉우리 사이(그림 9(3))에서는 직선 구간이 너무 짧아서 조향 에러가 0이 되지 않는 못 했지만, 항상 1cm미만을 유지를 해 줬기 때문에 하역 작업을 수행하는데 문제가 발생하지 않았다. 직선 구간(그림 9(2))이 긴 곳에서는 에러가 0으로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 그림 12에서 첫 번째 봉우리와 두 번째 봉우리 사이(그림 9(1))의 에러의 오버 슈팅 현상은 실험 환경인 차선의 상태로 인하여 반복적으로 발생하는 것으로 본 실험의 결과에는 영향을 주지 않는 요인이다.

CCD 카메라의 영상 취득 속도가 30Hz이며, 본 논문에서 제안한 VPSA를 적용한 알고리즘을 적용하여 연산을 완료한 후에도 30Hz가 나왔다. 따라서 본 알고리즘을 이용하여 주행을 위한 실시간 제어가 가능함을 의미한다.

또한 동적 VPSA의 우수함을 증명해 보였다. 차선이 4.8cm 이므로, VPSA만 사용할 경우에 제대로 구현이 되지 않지만, DVPSA를 사용함으로써 안정적으로 제어가 되고 있음을 확인할 수 있었다.

차선을 추종하여 주행을 하는 능력에 있어서는 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 다만 공간적인 제약으로 인하여 하역을 위한 장소의 직선 구간이 너무 짧아 에러가 0으로 수렴하지 못 했지만, 1cm 이내에 항상 제어가 되었기 때문에 컨테이너를 하역 하기 위한 정위치 정착의 성능도 우수함을 보여주면서 본 논문의 알고리즘을 증명해 보였다. 이는 VPSA로 생성된 에러가 안정적이며 유효하다는 것을 보여주는 실험이다.

V. 결론

본 논문에서는 VPSA의 개념에 대하여 소개 하고, 이를 근거로 하여 에러를 생성하는 방법에 대하여 소개 하였다. 또 VPSA의 단점을 보완하는 동적 VPSA의 개념을 제안하였다. 또한 VPSA의 알고리즘과 그에 대한 식들의 유효성을 실험을 통하여 증명하였다. 다른 비전 알고리즘과는 달리 VPSA는 개념이 간단하고, 계산량이 적어서 실시간 제어를 필요로 하는 자율 주행 차량이나 이동 로봇에 적용할 수 있음을 실험을 통하여 보여주었다. 이 알고리즘을 사용하는 경우에 고속 주행에서도 사용할 수 있음을 보여 주었다.

VPSA는 개념이 간단하고 연산량이 작아서 실시간의 제어를 필요로 하는 자율 주행에 적용을 쉽게 할 수 있을 뿐만 아니라 다수의 VPSA를 이용하면 차선 변경, 장애물 회피, 차선 이탈 경보 장치 등에 사용할 수 있다.

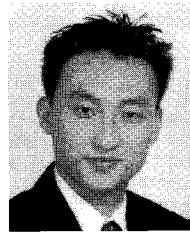
참고문헌

- [1] 김수용, 박영수, 이제원, 김대현, 김상우, "항만자동화를 위한 비전(Vision) 기반의 무인 하역 차량," 한국자동차공학회의(KACC2009) 논문집, 부산, 한국, pp. 394-397, 2009.
- [2] J. H. Park, Y. S. Park, and S. W. Kim, "AGV Parking system using Artificial Visual Landmark," *Control, Automation and Systems*, 2008, pp. 1579-1582, Oct. 2008.
- [3] Joel C. McCall and Mohan M. Trivedi, "Video-based lane

- estimation and tracking for driver assistance: survey, system, and evaluation," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 20-37, Mar. 2006.
- [4] J. R. Ryoo and T.-Y. Doh, "Auto-adjustment of the objective lens neutral position in optical disc drivers," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 53, no. 4, pp. 1463-1468, Nov. 2007.
- [5] Amir A. Amini, Terry E. Weymouth, and Ramesh C. Jain, "Using dynamic programming for solving variational problems in vision," *IEEE Trans. on Pattern Analysis And Machine Intelligence*, vol. 12, no. 9, pp. 855-867, Sep. 1990.
- [6] K. R. T Aires, A. M. Santana, and A. A. D. Medeiros, "Optical flow using color information : preliminary results," *Symposium on Applied Computing*, pp. 607-611, 2008.
- [7] 일본자동차기술, 전금경, 알기쉬운 센서기술, 도서출판 세화, pp. 57-69, 1997.
- [8] 건설교통부, "도로교표준시방서," 한국도로교통협회, 2005.
- [9] 이영진, 이진우, 이권순, "세포성 면역 알고리즘을 이용한AGV의 조향 제어기 설계에 관한 연구," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제7권 제10호, pp. 827-836, 2001.
- [10] 김상우, 박영수, 박지훈, 이제원, "비전 기반의 무인이송 차량 정차 시스템," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제15권 제5호, pp. 473-479, 2009.
- [11] 이정석, 정완균, "동적 환경에서 파티클 필터를 이용한 로봇의 강인한 위치 추적 알고리즘," 제2회 한국로봇공학회 하계 종합 학술대회 논문집, 2007.
- [12] S. Jayaram, S. Schmugge, M. C. Shin, and L. V. Tsap, "Effect of colorspace transformation, the illumination component, and color modeling on skin detection," *Proc. of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol 2, pp. 813-816 Jun. 2004.
- [13] 김우선, 최용석, "다기능 컨테이너 이송차량 운영논리 개발," 해양정책연구, 제21권 제2호, 2006.
- [14] 조현우, 이영훈, 김상우, "Chirp Spread Spectrum 거리 측정을 이용한 이동 로봇의 위치 추정," 제어·로봇·시스

템학회 논문지, vol. 15, no. 10, pp. 994-1001, 2009.

- [15] S. Nedevschi, R. Schmidt, T. Graf, R. Danescu, D. Frentiu, T. Marita, F. Oniga, and C. Pocol, "3D lane detection system based on stereovision," *Proc. of IEEE Intelligent Transportation Systems Conf.*, Washington, pp. 161-166, DC, Oct. 2004.



김수용

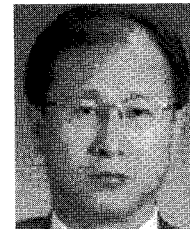
1974년 12월 20일생. 2000년 인하대 자동화공학과 졸업(공학사). 2008년~현재 포항공대 전자전기공학과 석사과정 재학 중. 2000년~현재 삼성전자(주) 책임 연구원으로 재직 중. 관심분야는 자율주행로봇, 지능시스템, 광디스크 드라이브

브 Servo.



박영수

1980년 10월 7일생. 2004년 포항공대 전자공학과 졸업(공학사). 2006년 동 대학원 전자전기공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학 중. 관심분야는 AGV, 항만자동화, 최적화 알고리즘, 임베디드 시스템.



김상우

1962년 8월 14일생. 1983년 서울대 제어계측공학과 졸업(공학사). 1985년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1990년 동 대학원 제어계측공학과(공학박사). 2001년~현재 포항공대 전자전기공학과 부교수. 관심 분야는 최적제어,

최적화 알고리즘, 지능제어, 공정자동화.