

A Moving Path Control of an Automatic Guided Vehicle Using Relative Distance Fingerprinting

Hong Youn Sik[†] · Kim Da Jung^{**} · Hong Sang Hyun^{**}

ABSTRACT

In this paper, a method of moving path control of an automatic guided vehicle in an indoor environment through recognition of marker images using vision sensors is presented. The existing AGV moving control system using infrared-ray sensors and landmarks have faced at two critical problems. Since there are many windows in a crematorium, they are going to let in too much sunlight in the main hall which is the moving area of AGVs. Sunlight affects the correct recognition of landmarks due to refraction and/or reflection of sunlight. The second one is that a crematorium has a narrow indoor environment compared to typical industrial fields. Particularly when an AVG changes its direction to enter the designated furnace the information provided by guided sensors cannot be utilized to estimate its location because the rotating space is too narrow to get them. To resolve the occurrences of such circumstances that cannot access sensing data in a WSN environment, a relative distance from marker to an AGV will be used as fingerprinting used for location estimation. Compared to the existing fingerprinting method which uses RSS, our proposed method may result in a higher reliable estimation of location. Our experimental results show that the proposed method proves the correctness and applicability. In addition, our proposed approach will be applied to the AGV system in the crematorium so that it can transport a dead body safely from the loading place to its rightful destination.

Keywords : Automatic Guided Vehicle, Indoor Position Tracking, Marker Recognition, Relative Distance Fingerprinting, Moving Path Control

상대거리 지문 정보를 이용한 무인이송차량의 주행 경로 제어

홍 윤 식[†] · 김 다 정^{**} · 홍 상 현^{**}

요 약

본 논문에서는 실내에서 비전센서를 이용한 마커 영상 인식을 통해 무인이송차량(AGV)의 주행 경로를 제어하는 방안을 제안한다. 적외선 센서와 랜드마크를 이용한 AGV 주행 제어 시스템의 경우 실내로 투과되어 들어 온 햇빛으로 인해 적외선 센싱 결과를 제대로 인식하지 못하는 공간이 발생하는 점과 작업 공간이 협소할 경우 랜드마크를 이용한 주행 경로 제어가 어려운 상황이 발생하였다. 이처럼 WSN 환경에서 센싱 정보를 획득하지 못하는 상황을 보완할 수 있는 방안으로 마커와 AGV 간 상대 거리 정보를 지문 정보로 활용하는 방안을 제안한다. 무선신호 수신세기(RSS)를 지문으로 사용하는 방식에 비해 마커 영상 이미지 크기를 지문으로 사용하면 상대적으로 신뢰도가 높은 위치 정보를 획득할 수 있다. 모형 AGV를 이용한 다양한 실험을 통해 상대 거리 정보를 지문으로 사용하는 방안의 타당성을 입증하였다. 본 논문의 연구 결과는 화장장에서 시신을 운구하는 무인이송차량 시스템에 적용될 것이다.

키워드 : 무인이송차량, 실내 위치 추적, 마커 인식, 상대거리 지문, 주행 경로 제어

1. 서 론

최근 장묘문화에 대한 인식이 바뀌면서 화장장 관리 시설이 현대화되는 추세이다. 이미 대부분의 화장장(추모공원 또는 장묘문화센터라고도 함)에서는 시신(屍身)의 몸무게, 화장로의 온도 등을 감안해 분골(粉骨)을 수습할 수 있는 시각을 산정해 유족들에게 자동안내 방송하고 있다. 본 논문에서는, Fig. 1에 보인 것처럼, 화장장이란 특수한 실내

※ 본 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 인천대학교 컴퓨터공학부 교수

** 준 회 원 : 인천대학교 모바일컴퓨팅연구소 연구원

논문접수 : 2013년 7월 12일

수정일 : 1차 2013년 9월 5일

심사완료 : 2013년 9월 9일

* Corresponding Author : Hong Youn Sik(yshong@incheon.ac.kr)

공간에서 무인이송차량(Automatic Guided Vehicle, AGV)이 시신을 탑재한 지점에서부터 최종 목적지인 화장로까지 시신을 안전하게 운구(運柩)할 수 있는 문제를 다루고자 한다. 화장장은 일반 산업 현장에 비해 이동 공간이 매우 협소하기 때문에, 장애물과 충돌하지 않고 목표 지점인 화장로까지 안전하게 주행할 수 있도록 정밀한 주행 제어가 필요하다.

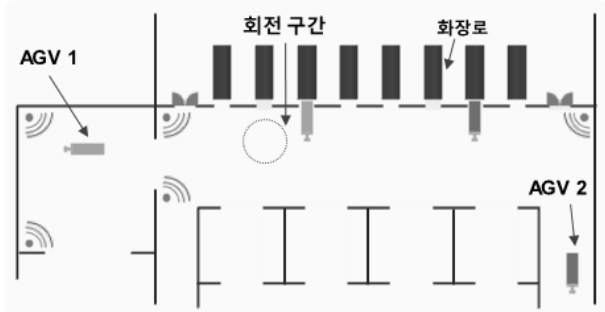


Fig. 1. A moving control of an AGV using infrared ray sensors

현재, 일부 추모공원[16]에서는 시신 운구를 위한 유도라인(guided line) 기반 AGV 시스템을 도입한 바 있다. 이 시스템은 화장장 바닥에 유도라인을 매립하고, AGV에 장착된 비전 센서가 이 라인을 판독하여 AGV를 무인 주행하게 하는 방식이다. 이 방식은 AGV가 주행 도중에 장애물과 충돌할 가능성이 낮아 안전하게 주행할 수 있다는 장점이 있지만, 구현 과정에서의 유연성 및 확장성이 떨어지는 단점이 있다. 최근 화장장 바닥은 고가의 대리석으로 시공되기 때문에, 경제성을 감안할 때 매립된 유도라인의 변경은 거의 불가능하다. 뿐만 아니라, 판독 과정의 특성상 2개 이상의 유도라인이 교차하도록 설계할 수 없다.

유도라인 방식이 갖는 문제점을 해결하기 위해, 무선센서 네트워크(wireless sensor network, WSN) 환경에서 적외선 센서 기반 AGV 주행 제어 방식을 제안한 바 있다[9]. Fig. 1에 보인 것처럼, AGV에 장착된 적외선센서가 천정에 부착된 주행 방향 지시용 마커인 랜드마크(landmark)를 판독하게 함으로써, AGV가 지정된 경로를 따라 자율 주행할 수 있도록 구현하였다. 그러나 이 방식을 실제 현장[17]에 적용했을 때 채광을 위해 천정 및 벽면 곳곳에 설치된 유리창에서 유입되는 직사광선 때문에 적외선 센서가 랜드마크를 제대로 판독하지 못하는 문제가 발생했다. 뿐만 아니라, 화장로로 진입하기 위한 회전 구간(Fig. 1에서 90도 방향 전환 구간)이 지나치게 협소해서 랜드마크 판독을 통한 회전 궤적 추적에 어려움이 있었다.

이러한 문제는 WSN 환경에서 다양한 센서로부터 실시간 정보를 제대로 획득하지 못했을 때 어떻게 대처할 것인가 하는 문제로 일반화할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 비전 센서와 마커의 상대 거리를 지문(fingerprint) 정보로 활용하여 전술한 문제들을 보다 효과적으로 해결하는 방안을 제안하고자 한다.

Fig. 2에 보인 것처럼, 시각 $t1$ 일 때 AGV가 마커로부터 가장 멀리 떨어져 있다고 가정하자. 이 때 AGV에 장착된 비전 센서가 인식한 마커 이미지의 크기(편의상 이미지의 길이는 l_{t1} 이다. 한편, AGV와 마커의 상대 거리는 $d1$ 이다. 시각 $t2(>t1)$ 일 때 AGV는 마커에 조금 더 가깝게 접근하며($d2 < d1$), AGV가 인식한 마커 이미지의 길이(l_{t2}) 역시 l_{t1} 보다 길게 된다. 즉 비례식 $d1 : l_{t1} = d2 : l_{t2}$ 이 성립한다. 일반적인 지문 알고리즘[3]은 지문 정보로써 무선랜(wireless LAN) 환경에서 액세스 포인트가 내보내는 RF 신호의 수신신호 세기(received signal strength, RSS)를 사용한다. 그러나 AGV와 마커의 상대 거리를 지문 정보로 이용하면, 지문 정보가 거리에 비례해 변화하므로 RSS 지문에 비해 상대적으로 신뢰도가 높은 위치 정보를 획득할 수 있다.

또한, 상대 거리 지문 정보를 이용하면 간단한 수식을 사용해 AGV의 현재 속도 및 마커에 도달하기까지 남은 거리 정보를 쉽게 계산해 낼 수 있다. Fig. 3에 보인 것처럼, 시각 t_{ref} 에서 AGV와 마커의 상대 거리 d_{ref} 를 알고 있는

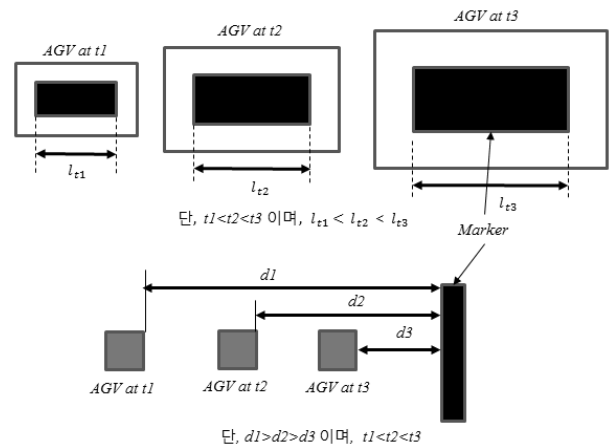


Fig. 2. Image size variation of a marker with respect to each AGV move

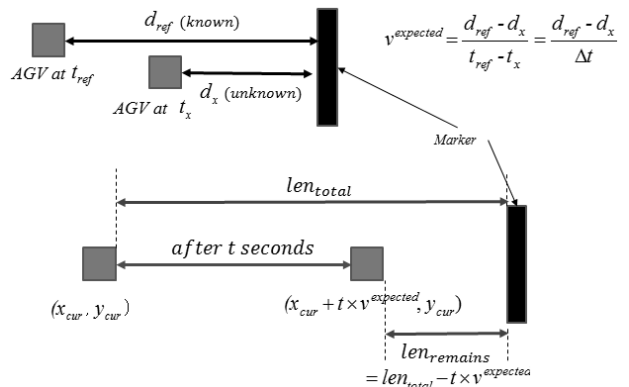


Fig. 3. Calculation of the expected velocity(upper) of an AGV and the residual distance(lower) using relative distance fingerprinting

경우, 시각 t_x 에서의 상대 거리 d_x 를 지문 알고리즘을 사용해 구하면 AGV의 현재 주행 속도 $v^{expected}$ 를 예측할 수 있다. 이 값을 사용하면 t 초 후에 AGV와 마커와의 남은 거리 $len_{remains}$ 도 예측할 수 있다(Fig. 3 아래). 따라서 AGV가 회전 구간에 도달하기 전에 마커 판독을 통해 미리 속도를 줄이면서 방향 전환에 대비할 수 있게 되어 목표 지점을 지나치는 오버런(overrun) 현상을 방지할 수 있다

본 논문에서는 AGV와 마커간 상대 거리를 지문 정보로 활용하여 AGV의 실시간 위치 정보를 파악하고 이에 따른 속도 제어를 통해 AGV의 주행 경로를 제어하는 방안을 제안하고자 한다. 한편, 적외선센서가 판독하는 랜드마크는 천정에 부착되지만, 비전센서가 인식하는 마커는 벽이나 화장로 입구에 부착된다. 두 종류의 마커는 각기 다른 공간에 부착되지만, 상호 작용을 통해 AGV가 안전하게 목적지까지 주행할 수 있도록 필요한 정보를 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 적외선센서 기반 실내 위치 추적 시스템 및 지문 알고리즘 등 관련 연구를 기술한다. 3장에서는 윤곽선 추출을 통한 마커 검출 알고리즘에 대해 상세히 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능 평가와 관련된 실험 결과를 제시하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 언급할 것이다.

2. 관련 연구

2.1 적외선센서 기반 실내 위치 추적 시스템

실내에서 이동 장치(mobile unit, MU)의 위치 추적에 주로 사용되는 초음파센서 방식은 화장장의 바닥재가 대리석 이어서 위치 추정 오차가 증가하는 단점이 있다. 반면, 적외선센서 방식은, 빛의 간섭 효과가 심하지 않다면, 상대적으로 오차가 적게 나타난다[9]. 적외선 센서를 사용한 위치 추적 방식 중 ubiTrack[10]은 적외선 송신기, 분배기 및 적외선 수신기 등 3개의 모듈로 구성된다. 적외선 송신기를 천정에 격자 형태로 배치하고, 각 송신기는 4개의 그룹 중 하나로 지정된다. 분배기는 각 송신기의 센싱 영역이 중첩되는 공간에서 충돌이 발생하지 않도록 송신기가 속한 그룹별로 순차적으로 동작하도록 구현하였다. 이 방식은 정밀한 위치 추적이 가능한 장점이 있는 반면, 중첩된 센싱 영역에서 충돌 문제를 해결하기 위해 동기화가 필요할 뿐만 아니라, 시스템 구성도 매우 복잡한 단점이 있다.

또 다른 방식[9, 15]은 MU가 천정에 부착된 랜드마크를 향해 적외선을 방사(放射)하면, 랜드마크는 이 적외선을 반사해서 MU로 되돌려 보낸다. MU는 반사되어 온 적외선 신호를 흑백 이미지(그림 4)로 변환하여, 해당 랜드마크의 위치 정보 및 (주행) 방향 정보를 판독하여 MU의 실시간 위치를 추적하는 방식이다.

2.2 랜드마크(landmark)[12]

랜드마크는, Fig. 4에 보인 것처럼, 검은색 테두리 사각형

과 16개(4x4 배열)의 소형 블록으로 구성된다. 사각형의 각 모서리에 위치한 4개의 블록(a, b, c, d)은 랜드마크의 방향을 나타내기 위해 사용된다. 이를 위해 블록 a는 검은 색, 나머지 3개의 블록(b, c, d)은 흰색으로 표시된다. 0-10의 숫자가 표시된 블록은 랜드마크의 고유 번호(ID)를 나타내기 위한 것으로, 각 숫자는 2의 지수를 의미한다. parity 블록은 숫자 블록 중 사용되지 않는 블록(검은색으로 표시됨)들의 총 개수를 짝수로 만들기 위해 사용된다.

랜드마크를 주행 방향 지시용 마커로 사용하는 적외선기반 위치 추적 시스템[6]에서는 한 번에 1개의 랜드마크만을 판독하여 해당 랜드마크의 ID, 주행 방향과의 각도 및 MU의 위치 좌표를 추정한다. 그러나 랜드마크는 체크섬(checksum) 기능을 제공하지 않기 때문에, 랜드마크로부터 읽어 온 데이터가 정확한지 여부를 판단할 수 없다. 따라서 랜드마크 인식 직후부터 다음 랜드마크에 도달할 때까지 신뢰성이 보장되지 않은 정보를 사용할 가능성이 있다.

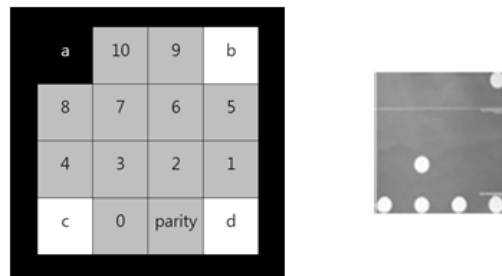


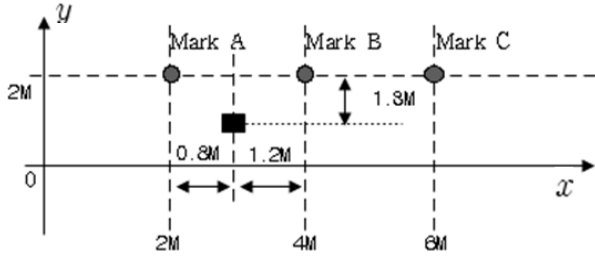
Fig. 4. A structure of landmark[12] and the typical 4x4 landmark

2.3 센싱 오차 보정을 위한 이중 랜드마크 인식

적외선기반 위치추적 시스템을 AGV 무인 주행 제어를 위해 실제 화장장에 적용했을 때 발생한 문제점 중 하나는 랜드마크 판독 오류로 인해 위치 추정 오차가 허용 오차 범위를 넘어서면서 AGV가 주행 도중 흔들리거나 최악의 경우 경로를 이탈하는 현상이 나타난다는 점이었다. 그 원인은 화장장의 실내 채광을 위해 유리창을 천정 및 벽면 곳곳에 시공하여, 빛의 산란, 간섭 현상 등으로 인해 전혀 랜드마크를 판독하지 못하는 사각지역(dead zone) 및 정상 주행 경로에서 멀리 떨어진 위치의 랜드마크까지 인식하게 되는 중첩지역(overlap zone)이 발생하였기 때문이다. 이를 해결하기 위해 이전 연구[9]에서는 이중 랜드마크 판독 기법을 제안하였다. 이중 랜드마크 판독 알고리즘이란 직전 위치 좌표를 체크섬(checksum)을 위한 기준 값으로 사용하며, 이 값을 2개의 랜드마크 판독 과정에서 획득한 위치 좌표와 비교함으로써 위치 추정 오차 발생 가능성을 줄이는 방식이다.

이중 랜드마크 인식 방식에서는, Fig. 5에 보인 것처럼, AGV(사각형으로 표시)는 동시에 2개의 랜드마크 A와 B를 인식한다. x축 방향으로 진행하고 있기 때문에 y축을 기준으로 각 랜드마크와 AGV의 상대 거리 정보를 구한다. 각

랜드마크와 AGV의 상대 거리가 모두 1.3m(허용 오차 범위 이내)로 같으므로, 인식 오류는 없는 것으로 판단하게 된다. 그러나 각 랜드마크와 AGV간 상대 거리가 오차 범위를 벗어날 경우, AGV는 내부 버퍼에 저장하고 있던 이전 좌표 정보를 기준으로 선택하게 된다.



상대좌표 $Mark A = (x, y) \Rightarrow (+0.8M, -1.3M)$
 $Mark B = (x, y) \Rightarrow (-1.2M, -1.3M)$

Fig. 5. An illustration of the double landmark recognition algorithm [9]

2.4 지문 알고리즘

지문 알고리즘은 사전에 특정 위치에서 측정된 무선신호 세기(RSS)를 지문 데이터베이스에 저장한 다음, MU에서 측정된 값을 지문 데이터베이스에 저장된 값과 비교해서 MU의 위치를 추정하는 방식이다. 지문 알고리즘은 데이터 수집 단계와 위치 추정 단계 2단계로 구성된다. 데이터 수집 단계는 Fig. 6에 보인 것처럼 MU의 위치 추적이 필요한 공간을 대상으로 일정 간격으로 측정 지점을 설정하고 해당 지점에서 지문(RSS)을 측정한다. Fig. 6에서 고정 노드는 무선신호를 일정 간격으로 송신하는 역할을 담당한다. 위치 추정 단계에서 MU의 현재 위치를 지문 데이터베이스와 비교하게 되는 데, K-근사 이웃 선택 알고리즘(K-nearest neighbor algorithm) [4]을 사용하기도 한다.

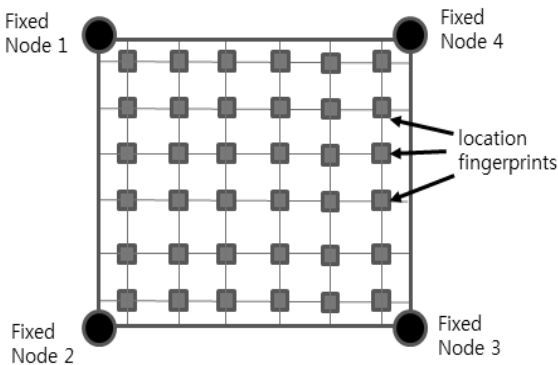


Fig. 6. A possible structure for applying RSS-based fingerprinting algorithm

Fig. 1에 보인 것처럼 AGV가 지정된 화장로에 진입하기 위해서는 90도 방향 전환(즉 회전)이 필요한 데, 실제 현장 [17]에서는 회전 구간이 지나치게 협소해서 AGV가 랜드마크

를 판독해서 정해진 회전 궤적을 따라 주행하도록 하는 것이 사실상 불가능하였다. 기존 연구[9]에서는 이 문제를 해결하기 위해 회전 구간에서의 AGV 이동 궤적을 수식으로 모델링한 다음, PID 방식 제어 기법을 적용하여 AGV가 제시된 이동 궤적대로 주행하도록 제어하였다. 화장장에서 AGV가 목표 지점을 지나치는 오버런이 심각한 문제를 일으킬 수 있기 때문에, 계산된 제어량보다 덜 이동하는 언더런(underrun) 방식으로 AGV를 주행하게 함으로서 AGV의 안전성을 확보하였다.

그러나 본 논문에서처럼 AGV와 마커간 상대 거리를 지문 정보로 이용하게 되면 마커(화장로)까지의 잔여 거리를 예측할 수 있기 때문에 AGV가 회전 구간에서 오버런하는 현상을 방지할 수 있다.

3. 상대거리 지문을 이용한 AGV 위치 추정

3.1 시스템 개요

AGV는 Fig. 7에 보인 것처럼 모터부, 제어부, 센서부로 나눌 수 있다. 센서부는 랜드마크를 검출하는 역할을 한다. 즉, 발광부에서 적외선을 발광시키면 수광센서가 이 빛을 받아들이는 방식이다. 적외선 센싱 과정에서의 오차 발생 가능성을 줄이기 위해 이중 랜드마크 인식 알고리즘을 구현하였다. 제어부는 AGV 주변 온도가 300도가 넘는 상황을 고려하여 PLC로 구현되었으며, 센서부에서 입력받은 데이터(3차원 위치 좌표)를 분석하여 모터부의 바퀴 회전을 제어하도록 하였다.

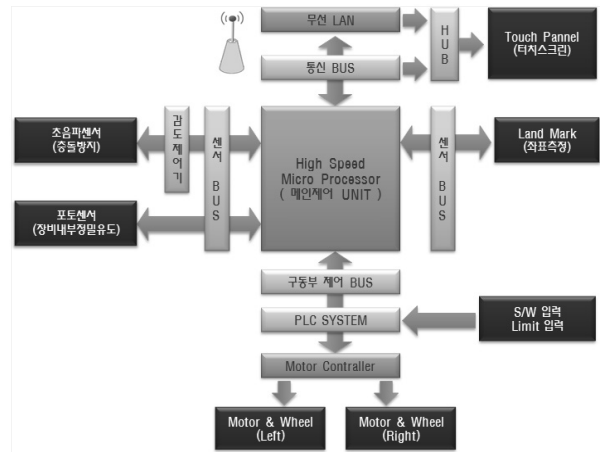


Fig. 7. An operational overview of the AGV system

Fig. 7에 보인 것처럼 AGV는 자신의 실내 위치 정보 및 이동 궤적에 대한 정보를 무선 LAN을 통해 통합 관제 시스템에 전송한다. 또한 이동 중에 충돌 가능성을 최소화하기 위해 초음파센서(충돌방지), 지자기센서(이동 방향 확인) 및 포토센서(정밀 유도) 등의 센서를 추가로 장착하고 있다. 운행 도중 적외선 센서가 랜드마크를 제대로 인식하지 못해 위치 추정 오차가 허용 범위를 벗어나게 되면, AGV에 장착

된 비전센서가 판독한 마커 지문을 이용하여 AGV가 정상 주행 중인지 판단할 수 있다. 또한, AGV는 회전 구간 진입 전에 마커 인식을 통해 마커와의 잔여 거리를 예측함으로써 주행 속도를 조절할 수 있다.

3.2 마커 검출

기존 마커 검출 방식은 근사화된 선분을 이용해 사각형의 기하학적 특징을 이용하는 방법과, 사각형의 네 점과 벡터 내적을 이용하여 좌표 평면에서 사각형 너비의 최대값을 구해 추출하는 방법 등이 있다[5, 6]. 본 연구에서는 AGV의 주행속도와 마커 검출 시간간의 관계를 조사하여 상대적으로 처리 속도가 빠른 것으로 판명된 윤곽선 추출을 통해 마커를 검출하는 방법을 적용하고자 한다.

1) 이진화

마커를 검출하기 위한 첫 번째 작업은 잡음을 제거하는 것이다. 비전센서를 통해 받아들인 영상은 수많은 색을 받아 오기 때문에 이를 보다 간단하게하기 위하여 그레이(gray) 이미지로 전환하고, 이 후 영상을 보다 구분하기 쉽도록 흑색과 백색 두 가지 색으로 표현한다.

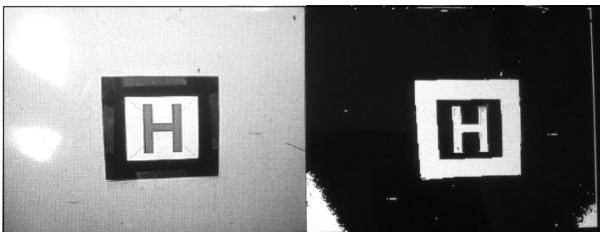


Fig. 8. the original image(left) and the converted gray image(right)

2) 라벨링

라벨링이란 영상 내에서 서로 떨어져 있는 물체 영역들을 구별하고자 할 때 사용되는 영상처리 알고리즘이다. 영상 내에 여러 종류의 물체가 있는 경우, 라벨링 과정을 통해 물체마다 고유 번호(픽셀값)를 붙일 수 있다. 이 후, 관심 있는 물체만을 화면에 출력하고자 할 때는 물체에 해당하는 고유 번호를 가진 화소들만 출력하면 된다. 본 연구에서는 흰색을 외곽으로 하여 라벨링을 한다.



Fig. 9. The extraction of the candidate region for the marker(left) and its verification(right)

3) 영상분할

매 시각 변하는 AGV의 위치를 추적하기 위해서는 시스템의 처리 속도가 빨라야 한다. 비전 센서가 촬영한 영상 정보에서 마커를 추출하기 위해서는 이진화, 라벨링 등의 과정을 거쳐야 한다.

영상분할을 위한 실험의 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 카메라를 통해 영상을 입력 받는다.
- ② 입력받은 영상을 라벨링 한다.
- ③ 라벨링 된 후보 영역을 영상분할 한다.
- ④ 마커를 검증한다.

4) 마커검증

마커는 이진화, 라벨링의 단계를 거쳐 마커의 윤곽이 추출된다. 윤곽이 추출되면 윤곽추출 도형의 중심을 기준으로 영상을 분할한다. 분할된 영상에서 정밀한 마커의 검증이 이루어질 것이다. 최종적으로 마커의 검출은 외곽선 트리를 이용하여 검출된 외곽선들의 포함 관계를 담아 검증하게 된다.



Fig. 10. A stepwise execution for verifying the marker

3.3 주행속도와 마커 검증 시간과의 관계

AGV가 주행 중에 벽면에 부딪히는 것을 방지하기 위하여 마커가 부착된 벽면과 AGV간의 거리를 측정해야 한다. 거리 측정을 위해서 마커를 검증하는 동안의 시간과 속도와의 관계를 파악하고, 차량의 회전 반경을 고려한 회전 지점을 정해야 한다.

1) AGV 회전 반경

반지름이 r이고, 호(arc)의 각도가 A radian 일 때, 호의 길이는 Ar이다. 회전 원점으로부터 안쪽 바퀴와 바깥쪽 바퀴의 거리가 각각 r1, r2이라 할 때, 회전 반지름의 비는 호의 길이와 비례한다. 두 바퀴 사이 간격을 a라고 하면,

$$r1: (r1+a) = Ar1 : Ar2 \tag{1}$$

식(1)로부터 반지름 r1에 관한 식을 얻을 수 있다.

$$r1 = \frac{\alpha \times Ar1}{Ar2 - Ar1} \tag{2}$$

2) AGV 회전 시작 지점 구하기

마커와의 상대거리 지문 정보 인식을 통해 AGV가 회전 가능 범위 진입했다고 판단한 위치를 회전 포인트(rotation point, RP)라고 부른다. Fig. 11에서 RP는 원으로 표시되어 있다. RP로부터 회전을 시작할 때까지 걸린 시간을 t_p 라

면, 회전 시작 지점 l_p 는 식(3)에 의해 구할 수 있다. 단, v_c 는 AGV의 주행 속도이다.

$$l_p = v_c \times t_p \tag{3}$$

그러나 AGV가 회전 과정에서 벽(또는 장애물)과 충돌하지 않기 위해서는 또 다른 조건을 만족해야 한다. 즉, 회전 과정에서 AGV가 주행하게 되는 폭 L, AGV 회전 반경 r_1 , RP로부터 회전 시작점까지의 거리 l_p 와의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

$$L \geq l_p + r_1 + l_\alpha \tag{4}$$

따라서 $l_p \leq L - r_1 - l_\alpha$ 를 만족해야 한다. 여기서 l_α 는 AGV가 벽에 충돌하지 않을 만큼의 여유 거리이며, AGV 주행 속도 v_c 에 따라 달라진다.

3.4 상대 거리 지문을 이용한 위치 추정

AGV와 마커와의 상대 거리 지문을 이용한 AGV의 위치 추정은 선분의 기울기를 이용해 구할 수 있다.

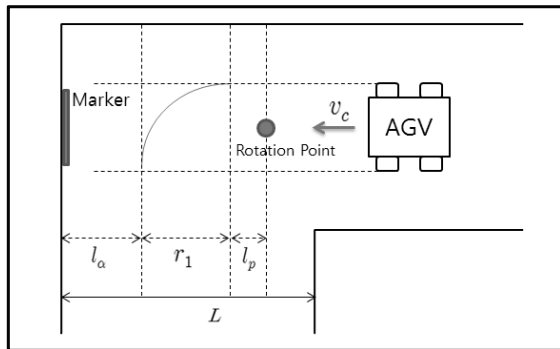


Fig. 11. The rotation point of an AGV

즉 Fig. 12에 보인 것처럼, 사전에 지문을 측정한 기준점이 n개일 경우 전체 구간은 n-1개의 구간으로 분할된다. 각 구간에서는 양쪽의 기준점 좌표 및 지문을 이용하여 해당 구간의 기울기 Δ 는 식(5)를 사용하여 구할 수 있다.

$$\Delta_{y_j=y_i} = \frac{fp_j - fp_i}{x_j - x_i} \tag{5-1}$$

$$\Delta_{x_j=x_i} = \frac{fp_j - fp_i}{y_j - y_i} \tag{5-2}$$

각 구간의 기울기는 지문 정보를 획득할 때 함께 저장된다. 구간별 기울기를 사용하여 AGV의 위치를 추정할 때 해당 구간의 2개의 기준점 중 마커에 더 가까운 기준점을 선

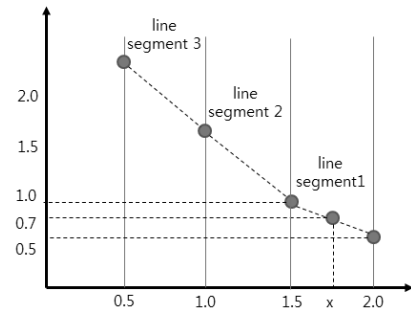


Fig. 12. A linear-wise location estimation of an AGV using relative distance fingerprinting

택하였다. 그 이유는 AGV가 마커 방향으로 계속 주행 중이며 마커 인식에 걸리는 처리 시간 등을 감안하였기 때문이다. 마커 이미지 크기가 $fp_{measured}$ 일 경우, AGV의 추정 위치 $x^{expected}$ (또는 $y^{expected}$)는 식(6)(또는 식(7))을 사용하여 구할 수 있다.

$$x^{expected} = x_{min} - \frac{fp_{min} - fp_{measured}}{\Delta_{y_j=y_i}} \tag{6}$$

$$y^{expected} = y_{min} - \frac{fp_{min} - fp_{measured}}{\Delta_{x_j=x_i}} \tag{7}$$

단, $x_{min} = \min[x_i, x_j]$, $y_{min} = \min[y_i, y_j]$

상대 거리 지문 정보를 이용해 AGV의 위치를 추정하기 위한 실험 환경 구성은 Fig. 13과 같다. 즉 지문 정보를 측정하는 기준점 위치는 마커 인식 불능 지역에서부터 충돌 방지 공간(식(4)) 사이에서 가능하다. 기준점 수가 많을수록 측정 정밀도는 높아지겠지만, 기준점간 간격은 AGV의 주행 속도 v_c 및 마커 인식 처리 속도에 좌우된다.

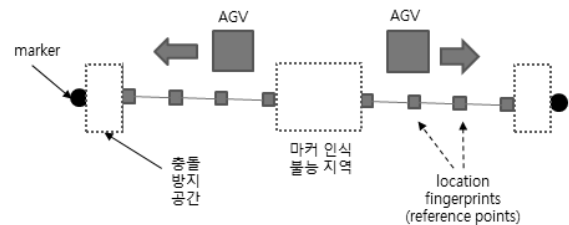


Fig. 13. An experimental set up for estimating the location of an AGV using relative distance fingerprinting

4. 성능 평가

4.1 실험 환경 구성

실험용 모형 AGV로 HBE-RoboCAR-Vision[13]을 사용하였다. 모형 AGV는 마이크로컨트롤러로써 ATmega128L을

사용하며, 구동부 제어(DC 모터)가 가능하다. 또한, VGA급 (30fps) CMOS 이미지 센서가 장착되어 있어 2.4~2.5GHz 대역에서 양방향 RF 통신이 가능하다. 한편, 모형 AGV는 적외선센서를 장착되어 있고, 랜드마크 판독 기능을 처리할 수 있다. 마커 인식을 위해 컴퓨터 비전용 다양한 라이브러리를 제공하는 OpenCV[14]를 사용하였으며, Visual C++ 언어를 사용하여 구현하였다.

4.2 마커 크기와 인식 가능 거리

마커 크기와 인식 가능 거리 관계를 분석하는 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 마커는 단색(붉은색) 정사각형을 사용하였으며, 모형 AGV에 장착된 CCD 카메라가 정면으로 마커를 향하도록 모형 AGV를 고정시켜 놓은 상태로 측정하였다. Table 1에 마커 크기와 인식 거리에 대한 실험 결과를 요약하였다. 마커의 크기가 클수록 마커 인식 가능 거리도 늘어나며 인식 속도도 빨라짐을 알 수 있다. 대략 마커 크기가 5cm 커질수록 인식 가능 거리가 약 1m씩 늘어남을 알 수 있다. 또한, 정상 인식 범위 내에서는 1.3초 이내에 마커 인식이 가능함을 알 수 있다.

Table 1. Summary of the marker size and its distance to be recognized

마커 크기	인식 거리 (max)	거리별 인식 속도	
		거리(m)	처리시간(초)
10cm x 10cm	1.5m	0.5	1.6
		1	2.6
		>1.5	인식 안됨
15cm x 15cm	2m	0.5	1.0
		1	1.3
		1.5	7
		2	16.9
20cm x 20cm	3m	0.5	<0.1
		1	1.2
		1.5	1.3
		2	1.3~1.4
		2.5	1.5
		3	12

4.3 상대 거리 지문 측정

AGV와 마커의 상대 거리를 지문 정보로 사용해 주행 방향 확인 및 마커와의 잔여 거리 정보를 추정하는 것에 대한 타당성 검증을 진행하였다. 이번 실험에 사용한 마커는, 4.2 절에서처럼 외곽선 추출이 주목적인 단순 마커가 아닌, 패턴 인식용 일반 마커(15cm x 15cm)를 사용하였다(Fig. 14). 패턴 인식용 마커는 그 자체로 정보를 전달할 수 있다. 예를 들면, Fig. 17에 보인 것처럼 영문자 R이 인쇄된 마커를 인식할 경우 AGV는 우회전해야 함을 인지하게 된다.

Table 2에 모형 AGV와 마커와의 상대 거리에 대해 인식된 마커 이미지와의 관계를 요약하였다. Table 2의 마커 이

미지 크기는, Fig. 14에 보인 것처럼, AGV 디스플레이 창에 출력된 이미지를 나타낸다. Table 2로부터 상대거리를 지문 정보로 사용해 MU의 위치 추정이 가능함을 알 수 있다. 또한, 상대 거리가 점점 짧아질수록 이미지 크기 증가폭이 더 커짐을 알 수 있다.

상대 거리를 지문 정보로 활용할 경우, 공간 제약이 없는 RF 신호와 달리 마커 크기에 따라 인식 가능 범위가 제한되는 단점이 있다. 반면에 RF 신호 송신기 위치에 따라 RSS 값의 변화가 심하지만, 마커와의 상대 거리 정보는 일정하게 유지되는 장점이 있다. 본 논문에서 AGV와 마커와의 상대 거리를 지문으로 활용하려는 목적이 적외선센서 기반 위치 추적 시스템에서 핵심 센싱 정보를 제대로 획득하지 못할 경우 이를 보완할 수 있는 대체 방안을 찾는 것이었으며, 상대 거리 지문은 이 목적에 부합하는 것으로 판단된다.

Table 2. The relation of relative distance to the marker and its image size

모형 AGV와 마커와의 상대 거리(m)	마커 이미지 크기(cm)		마커 이미지가 차지하는 비율(%)
	변의 길이	증감	
2	0.5	-	0.43
1.5	0.9	+0.4	1.39
1	1.5	+0.6	3.87
0.5	2.4	+0.9	9.91



Fig. 14. The marker image displayed on the mock-up AGV with respect to the relative distance from the mock-up AGV to the marker

4.4 상대 거리 지문을 이용한 위치 추정

지문 정보를 이용한 모형 AGV의 위치 추정 오차가 얼마나 되는지에 대한 실험 결과를 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15에서, 2m 지점은 모형 AGV의 출발 지점이며, 0.5m 지점은 충돌 방지 공간 시점(Fig. 13)이어서 비교 대상에서 제외

하였다. 4.3절에서 사용했던 15cm x 15cm 크기의 패턴 인식용 일반 마커를 사용했으며, 모형 AGV의 예상 주행 경로에 거리 측정을 위해 1cm 단위로 선분을 표시하였다. 따라서 실험 결과에서 최소 추정 오차는 1cm 이다. 모형 AGV의 주행 속도(4.5절)를 기준으로 50cm 이동할 때마다 마커 이미지를 저장하고 식(6)(한 방향만 측정)을 사용해 모형 AGV의 위치를 계산하였다.

실험 결과 최대 위치 추정 오차는 5cm였다(오차 범위 +0.025%이내). 한편 모형 AGV의 위치 추정 결과는 항상 실제 위치보다 +1~+5cm 더 앞에 위치하고 있는 것으로 예측하였다. AGV가 50cm 이동할 때마다 마커 이미지가 저장되는 데, 이 이동 거리는 AGV의 구간별 주행 속도 및 경과 시간을 토대로 계산된다. 그러나 모형 AGV의 주행 속도는 측정 결과 정속 주행(0.121m/s)으로 구동시켰음에도 불구하고 일부 구간에서는 주행속도를 초과(0.125m/s)하여 양의 위치 추정 오차가 발생한다. AGV가 기준 속도를 초과할 경우 PID제어에 의해 속도를 감속(0.117m/s)하게 되므로, 누적된 위치 추정 오차 역시 감소한다. 다시 말해 AGV의 단위 구간별 평균 주행속도는 기준 값보다 같거나 다소 높게 유지되며, 이로 인해 양의 위치 추정오차가 발생하게 된다.

4.5 상대 거리 지문을 이용한 주행 속도 추정

서론에서 상대 거리 지문 정보를 이용하면 AGV의 현재 속도 및 마커에 도달하기까지 남은 거리 정보를 계산할 수 있다고 언급한 바 있다. 모형 AGV의 주행 속도를 지문 정보를 사용하여 얼마나 정확하게 예측이 가능한지 실험해 보았다. 시각 6.7초일 때와 14.6초 일 때 지문 정보를 이용한 마커와 AGV와의 거리가 2.25m와 1.35m로 각각 계산되었다. 따라서 모형 AGV의 주행 속도는 약 0.113m/second = 6.78m/minute 가 된다. 이 값은 실제 모형 AGV의 주행 속도 6.75~6.80m/minute와 거의 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

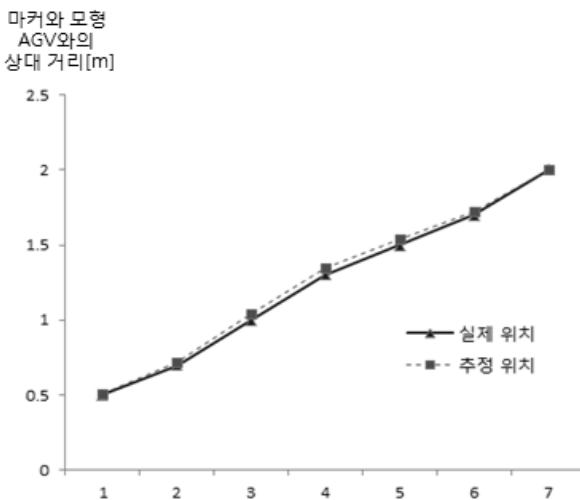


Fig. 15. A comparison of the estimated location using fingerprinting with its real location

4.6 영상 분할을 통한 인식 속도 개선

모형 AGV의 실시간 위치를 추적하기 위해서는 AGV 내부 처리 속도가 향상시킬 필요가 있다. 비전 센서가 촬영한 영상 정보에서 마커를 추출하기 위해서는 이진화, 라벨링 등의 과정을 거쳐야 하는 데, 이러한 처리 과정에서 소요되는 시간을 줄이기 위해 전체 영상이 아닌 영상 분할을 통해 부분 영상 추출 기법을 적용하였다. 즉, 전체 영상에서 마커와 비율이 같은 사각형을 중심으로 부분 영상 추출이 이루어진다. 마커가 위치하는 중앙 좌표를 중심으로 영상을 분할한 후 윤곽선 추출에 걸리는 시간을 비교해 보았다. Fig. 16에 보인 것처럼, 전체 영상에서 윤곽선 추출 할 때 걸리는 시간은 170.6ms(평균)이지만, 부분 영상에서는 추출 시간이 22.2ms(평균)로 현저한 차이를 보였다. 영상 인식 속도를 개선하기 위한 방법으로 분할한 영상의 처리 속도가 약 8배 정도 빨라진 걸 확인 할 수 있었다. 실험에서 사용된 속도 계산은 clock()함수를 이용하였으며, clock()함수는 1/1,000초 단위로 시간을 반환하기 때문에 비교하기 쉽도록 출력을 1/1,000,000초 단위로 변환 후 이를 정수로 출력하였다.

4.7 충돌 방지 구간 인지 및 90도 회전

모형 AGV를 사용하여 마커로부터의 잔여 거리를 예측하고, 속도를 감속한 뒤 90도 회전하여 충돌하지 않고 목적지까지 안전하게 이동하는 지를 최종적으로 확인해 보았다. 각 단계별 동작 과정은 Fig. 17에 나타내었다. 실험 환경을 구성할 때 실제 화장장 상황이 반영되도록 모형 AGV의 주행 공간은 최소화했으며, 다양한 형태의 장애물을 곳곳에 배치했다. 또한, 패턴 인식용 마커를 사용해서 모형 AGV가 해당 마커 패턴에 따라 우회전 또는 좌회전을 시도하도록 하였다. 다양한 실험을 통해 모형 AGV가 목표 지점까지 안전하게 주행함을 확인하였다. 한편, 적외선센서 기반 이중렌드마크 인식 동작은 이전 논문의 연구 주제였으므로 본 논문의 실험 결과에서는 기술을 생략하였다.

5. 결론

본 논문에서는 실내에서 비전센서를 이용한 마커 영상 인식을 통해 AGV의 주행 경로를 제어하는 방안을 제안하였다. 이를 위해 마커와 AGV와의 상대거리를 지문으로 이용하는 방안을 제시하였다. 상대거리를 지문으로 이용하면 AGV의 위치, 주행 속도 및 마커와의 잔여 거리 등 다양한 항목들을 추정할 수 있다. 모형 AGV를 사용한 실험 결과 본 논문에서 제안하는 방법을 적용한 위치 추정 및 주행 속도 예측 정확도가 매우 높음을 확인하였다. 또한 마커 인식 속도를 향상시키기 위해 전체 영상 중 마커를 제외한 불필요한 영상을 제거하는 부분 영상 추출 기법을 구현하였으며, 최대 7배까지 인식 속도를 개선할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 방식은 센싱 정보를 제대로 획득할 수 없는 공간이나 작업 공간이 협소해 센싱을 통한 주행 궤적 제어가 불가능한 지역에서 AGV를 제어하는 데 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

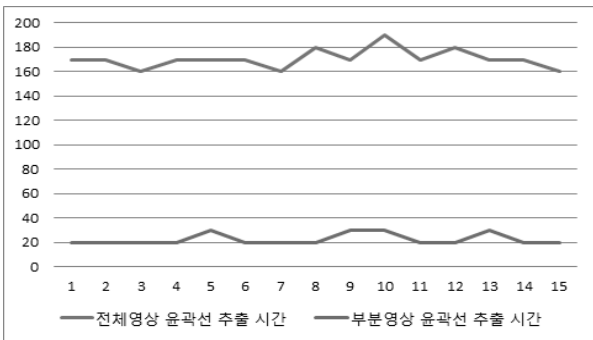


Fig. 16. Comparison of the execution time for the outline extraction

상대거리 지문 인식 방식은 RSS 지문과는 달리 마커를 인식할 수 있는 거리에 제한이 있으며, 마커와 카메라의 각도가 클 경우 인식할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방식이 독자적으로 구현되기보다는 기존 시스템과 접목해서 현장에 적용되는 것이 바람직하다. 본 논문의 연구 결과 역시 기존 적외선 센서 기반 무인대차 자율 주행 시스템의 기능을 보완하는 방식으로 국내 화장장의 시신 운구를 위한 시스템에 적용될 것이다.

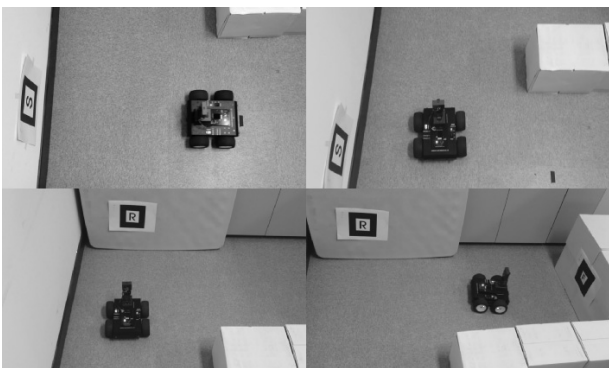


Fig. 17. A series of snapshots of the mock-up AGV move starting from upper left image in clockwise rotation

참 고 문 헌

[1] Yanying Gu; Lo, A.; Niemegeers, I., "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, pp.13-32, 2009.
 [2] Jeffrey. H and Gaetano. B., "Location systems for ubiquitous computing," IEEE Computer, pp.57-66, 2001.
 [3] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting", IEEE INFOCOM, pp.1012-1022, 2004.
 [4] M. Bal, H. Xue, W. SHen, H. Ghenniwa, "A 3-D Indoor Location Tracking and Visualization Systems Based on Wireless Sensor Networks.", IEEE Systems, Man and Cybernetics, pp.1584-1589, 2010.

[5] Maur'cio Marengoni and Denise Stringhini, "High Level Computer Vision using OpenCV", 24th SIBGRAPH Conference on Graphics, Patterns, and Images Tutorials, pp.9-10, 2011.
 [6] P. N. Druzhkov, V. L. Erukhimov, N. Yu. Zolotych, E. A. Kozinov, V. D. Kustikova, I. B. Meerov, and A. N. Polovinkin, "New Object Detection Features in the OpenCV Library", software and hardware for pattern recognition and image analysis, 2011.
 [7] F. Bergamasco, A. Albarelli, A. Torsello, "A Fast Image-Space Marker Design Based on Projective Invariants", Springer-Verlag, pp.7-8, 2012.
 [8] Hye-Gyeong, Youn-Sik Hong, "A Moving Control of an Automatic Guided Vehicle Based on the Recognition of Double Landmakrs", Journal of KICS, Vol.37C, No.8, pp.721-730, 2012.
 [9] S. Jung, W. Jung, W. Woo, "Infrared-based User Location Tracking System for Indoor Environments", Journal of IEEK, Vol.42, No.5, pp.9-20, 2005.
 [10] S. Park, T. Han, "Improvement of Jittering in marker detection step for Marker Based Augmented Reality", HCI2010, pp.405-408, 2010.
 [11] K-G Yang, Marker recognition using OpenCV libraries (technical report), <http://blog.daum.net/pg365/>, 2011.
 [12] T. Choi, J. Park, Vision Mobile Robot Control using HBE-ROBOCAR-Vision, Hankack Electronics Ltd. 2009.
 [13] OpenCV web site, <http://opencv.org/>
 [14] Hagisonic web site, <http://www.hagisonic.com/>
 [15] Seoul Memorial Park, <http://www.memorial-park.or.kr/>
 [16] Sangbok Memorial Park (by Changwon City Facilities Management Corporation), <http://sangbok.cwsisul.or.kr/>

홍 윤 식



e-mail : yshong@incheon.ac.kr
 1983년 한양대학교 전자공학과(학사)
 1985년 KAIST 전기및전자공학과(석사)
 1989년 KAIST 전기및전자공학과(박사)
 1991년~현 재 인천대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야: 모바일 컴퓨팅, Internet of Things

김 다 정



e-mail : dajung0609@nate.com
 2010년 3월~현 재 인천대학교 컴퓨터공학부 재학 중
 2011년 8월~현 재 인천대학교 모바일 컴퓨팅연구실 연구원

관심분야: 모바일 컴퓨팅, 실내 위치 추적



홍 상 현

e-mail : viva8902@nate.com

2010년 3월~현 재 인천대학교 컴퓨터
공학부 재학 중

2011년 12월~현 재 인천대학교 모바일
컴퓨팅연구실 연구원

관심분야: 모바일 컴퓨팅, 실내 위치 추적