

RFID 기반 재고조사용 이동로봇 시스템의 설계

Mobile Robot System Design for RFID-based Inventory Checking

손민혁¹, 도용태[†]

Minhyuk Son¹, Yongtae Do[†]

Abstract In many industries, the accurate and quick checking of goods in storage is of great importance. Most today's inventory checking is based on bar code scanning, but the relative position between a bar code and an optical scanner should be maintained in close distance and proper angle for the successful scanning. This requirement makes it difficult to fully automate the inventory information/control systems. The use of RFID technology can be a solution for overcoming this problem. The mobile robot presented in this paper is equipped with an RFID tag scanning system, that automates the otherwise manual or semi-automatic inventory checking process. We designed the robot system in a quite practical approach, and the developed system is close to the commercialization stage. In our experiments, the robot could collect information of goods stacked on shelves autonomously without any failure and maintain corresponding database while it navigated predefined paths between the shelves using vision.

Keywords : Mobile robot, RFID, Inventory checking, Storage automation, Vision-based navigation

1. 서론

산업화의 진행에 따라 대량생산과 대량소비가 일반화되고 있고, 물류의 규모와 다양성이 크게 증대되고 있다. 이에 따라 재물을 장, 단기간 보관하기 위한 창고가 늘어나고 있으며, 신속하고 정확한 재물의 조사 및 분류 작업이 필요하여 졌다.

창고재물의 조사방법은 과거부터 시행되어 온 바와 같이 사람이 직접 육안으로 확인하고 문서에 기입하는 방법이 주로 소형의 창고에서 여전히 사용되고 있으나, 바코드(bar codes)를 광학적으로 인식하는 방법이 보다 광범위하게 사용되고 있다. 또한 최근에 와서는 RFID (Radio-Frequency Identification)를 이용하는 방법에 대한 연구가 관심을 얻고 있다.

이들 대표적인 재물 검사방법들을 비교해 보면, 먼저 사람이 직접 눈으로 확인하며 조사하는 방법은 인력비용이 높고, 실수의 가능성이 상존하며, 효율성도 낮다는 단점이 있다. 그러나 시설비용이 거의 들지 않는 장점이 있어 여전히 소규모의 창고에서 유효한 방법이다. 현재 널리 사용되고 있는 바코드를 사용하는 방식은 코드에 저장되어 있는 정보가 재물의 종류만 표현하는 단순한 형태가 대부분이다. 따라서 기존의 1차원 바코드를 2차원의 코드로 확장하여 정보의 양을 대폭 늘린 방식이 이미 상용화되어 활발히 활용영역을 넓혀가고 있다¹⁾. 그러나 정보의 양과는 별개로 스캐너가 코드에 아주 근접 위치하여야 하는 제약이 있으며, 이는 창고 정보의 취득 및 관리시스템의 자동화에 제약이 된다. 이 문제는 RFID를 이용하여 전파를 정보 확보의 매개로 사용할 때 해결될 수 있다. 특히 바코드에 의한 재물정보의 자동화된 처리가 주로 재물 입출하의 과정 중에 이루어지는 데 비해, RFID에 의한 방식은 기보관 중인 재물의 정보를 수시로 쉽게 확인할 수 있어 도난 등의 문제에 대한 대책이 가능하며, 재물의 창고 내 실제 위치

Received : Sep.03.2010; Reviewed : Dec.07.2010; Accepted : Dec.10.2010

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 로봇 비전 연구의 한계 상황 돌파를 위한 핵심 기술 개발 지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C7000-1001-0006).

[†] 교신저자: 대구대학교 전자공학부 교수 (ytdo@daegu.ac.kr)

¹ 대구대학교 대학원 전자공학과 석사과정

과약과 같은 부가정보도 취득할 수 있다는 장점을 지닌다. 반면 RFID 기술의 단점으로는 태그(tag)의 비용이 바코드의 인쇄비용보다 비싸다는 데 있다. RFID 기술의 등장에 따른 바코드 기술의 전망은 문헌 [2]를 참조할 수 있다.

본 논문에서는 이동로봇에 RFID 리더기를 탑재하고, 창고의 선반 사이 경로를 자율주행하면서 RFID 태그가 부착된 재물의 정보를 수집하고 데이터베이스 (Database: DB) 까지 갱신할 수 있는 일관되고 효율적인 시스템이 서술된다. 로봇은 과거의 공장자동화용 매니플레이터(manipulator)에서 다양한 서비스 영역으로 그 기능과 용도를 급속히 확대하고 있는데, 여기에서 중요한 요소는 이동성이다. 또 RFID 기술은 유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor network)를 실현하는 요소 기술로 가정, 사무실, 공장, 교통, 물류 등으로 나날이 그 활용영역을 확대하고 있다. 비록 본 논문의 내용과 동일한 목적을 가지고 개발된 시스템의 예를 찾기 어려웠으나, 관련 기술들이 충분히 성숙되어 있고 산업 현장에서의 필요성까지 감안할 때 연구의 동기는 충분하다.

본 논문의 주제와 관련이 있는 기존의 결과를 살펴보면, 창고 내 재물의 입출하 관리를 자동화하기 위해 바코드를 사용하는 방법에 대한 초기 연구가 있었다³⁾. 또한 바코드 리더기를 탑재한 이동로봇이 핵폐기물 창고에의 활용을 위해 개발된 바도 있는데⁴⁾, 폐기물이 담긴 원통형 드럼 표면에 부착된 바코드와 리더기의 각도를 유지하는 것이 중요하였다. 근래에 와서는 재물의 표면에 찍어 있는 문자를 기계시각 기술을 사용하여 인식함으로써 바코드의 제한된 정보로 인한 문제를 극복하려는 연구가 있었고⁵⁾, 여러 가지 다른 조건에서 취득된 영상에서 바코드를 강건하게 인식하려는 연구도 있었다⁶⁾. RFID 기술과 이동로봇 기술을 통합하는 비교적 최근의 연구들은 대부분 로봇의 위치를 확인하는 문제(localization)에 집중되어 있으며⁷⁻⁹⁾, 이는 본 논문에서의 연구와 차별되는 점이다. 다만 드물게 본 논문에서와 같이 이동로봇에 장착된 리더기가 RFID 태그가 부착된 재물의 정보를 수집하기 위하여 사용되었다. 예를 들어 능동형 태그로 구성된 그물형 네트워크(mesh network)와 로봇으로 실현가능한 이동형 리더기를 사용하여 창고 내 재물에 대한 쿼리(query) 시스템 운영 알고리즘의 성능에 대한 연구가 최근 실시된 바 있다¹⁰⁾. 네트워크를 통하여 정보만 이동하는 경우와 고정된 재물사이를 리더기가

이동하는 경우, 그리고 정보와 리더기가 모두 이동하는 경우의 성능을 전력소모와 이동거리의 측면에서 비교하는 시뮬레이션을 실시하였으나, 실제 시스템이 제작되지는 않았다. 도서관 서가의 RFID 태그가 부착된 도서들을 검색하기 위해 이동로봇에 리더기를 장착하고, 이를 운용하기 위한 연구¹¹⁾는 수동형 태그가 부착된 대상이 선반 위에 위치한다는 점에서 본 논문의 연구와 유사하다. 그러나 4cm 미만의 극히 가까운 거리에 위치한 책들을 소형의 교육용 로봇에 장착한 고주파수 리더기로 인식하는 다분히 실험적인 연구로, 상업적 활용 가능성을 중요한 기준으로 시스템을 설계하고자 하는 본 논문에서의 접근방식과는 차이가 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 전체 시스템의 구조를 설명하였다. 이는 연구의 개념과 시스템 설계의 기준으로 사용되었다. 이어 3장에서는 창고 내 재물에 장착된 RFID 태그를 인식하기 위해 개발된 로봇을 자세히 서술하였다. 4장에서는 개발된 로봇의 성능실험 과정과 결과를 서술하고, 마지막으로 5장에서는 결론과 검토사항을 다루었다.

2. 전체 시스템의 구조

본 논문의 연구는 RFID 태그가 부착된 재물들의 정보를 이동로봇을 활용하여 무인으로 획득하고 관련 데이터베이스를 실시간으로 자동 갱신하는 시스템을 설계 및 개발하는 데 목표를 두었다. 이러한 목표는 특히 개발 및 운영에 있어 저비용과 고신뢰성이 가능하여 상업화의 단계에 근접할 수 있도록 하는 방식을 기준으로 접근하였다.

일반적인 RFID 기반 시스템의 구조는 그림 1과 같은 요소들로 구성되어 있다¹²⁾. 즉, RFID 태그와 리더(Reader), 리더 네트워크 제어기(Reader Network Controller: RNC), 활용영역, 그리고 이들 구성요소들 사이의 접속 및 프로토콜이다. 리더는 안테나를 통하여 RF (Radio Frequency) 신호를 태그 방향으로 전송하고, 태그는 자신의 고유한 정보를 RF 신호에 담아 리더로 반송하게 된다. RNC는 수신된 정보들에 대해 추가로 필요한 처리를 하고, 이를 활용영역에서 사용할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 창고 내 재물정보를 취득하기 위한 목적으로, 그림 1의 구조가 그림 2와 같이 실현되었다. 그림 2(a)는 설계된 시스템의 기능적 구성을 보여 주며, 그림

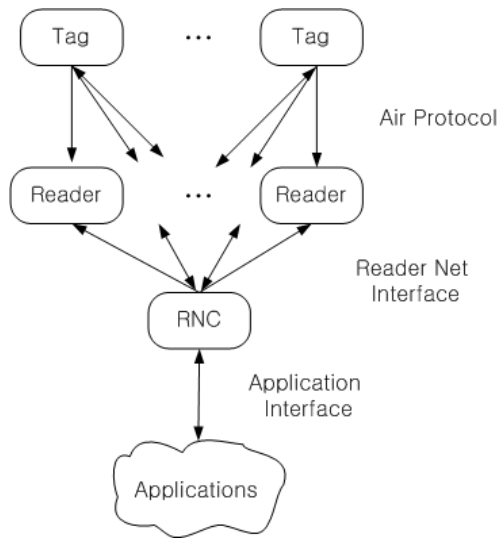
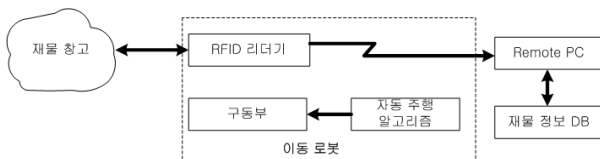
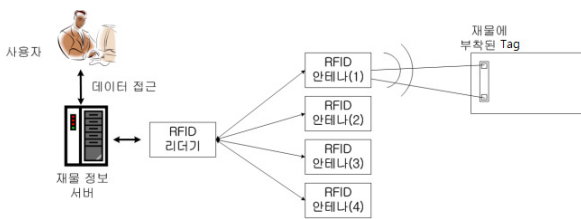


그림 1. RFID 시스템의 일반적 구조



(a) 시스템의 기능적 구성,



(b) 재물정보의 흐름

그림 2. 설계된 시스템의 전체 구조

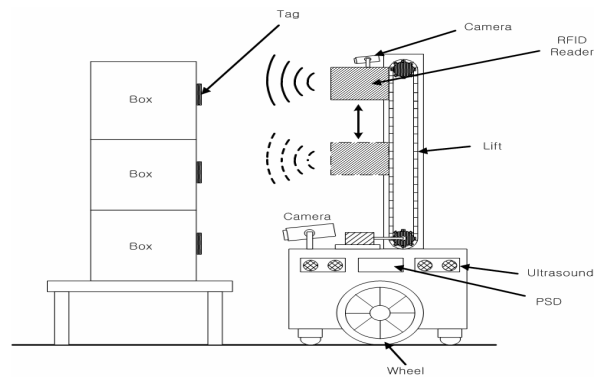
2(b)는 시스템의 물리적 요소를 통한 재물정보의 이동경로를 보여 준다. 즉, 창고 내의 정해진 경로를 주행하는 로봇이 리더기를 탑재한 채 태그들이 부착된 재물들의 전방을 지나가게 되고, 이동 중 획득된 태그신호는 원격의 PC로 실시간 전송된 후, 해석되어 재물의 DB를 갱신하게 되는 것이다. 구체적으로는 가격과 크기의 측면에서 이점이 있는 수동형 태그가 재물에 부착되는 것을 가정하였고, 태그면에 수직된 방향으로 전파의 송수신이 가능하도록 RF 안테나를 로봇에 이동방향의 법선방향으로 부착하여, 정보획득의 효율을 높일 수 있도록 하였다.

3. 시스템의 설계와 개발

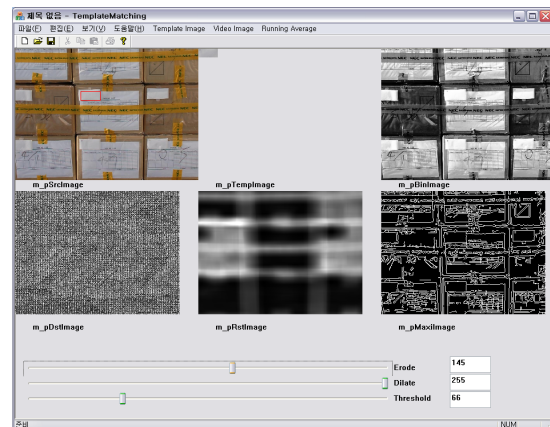
3.1 이동로봇의 설계

창고 내 재물들을 검색하는데 적절한 구조를 가지는 이동로봇이 설계되었다. 중소규모의 창고를 활용영역으로 가정하고, 선반위에 적재된 재물들을 로봇이 자동으로 검색할 수 있도록 하기 위해 그림 3(a)와 같은 구조가 먼저 고려되었다. 즉, 로봇의 상부에 상하이동이 가능한 리더기를 설치하고, 카메라의 영상을 그림 3(b)와 같이 처리하여 태그의 위치를 파악한 후, 리더기를 해당 위치로 이동시켜 재물정보를 획득하는 구조이다. 초음파 센서는 재물과 로봇의 거리를 일정하게 확보하고, 로봇의 이동 중에 사람과 같은 장애물이 나타나는 경우에 대비하여 설치하였다.

그러나 그림 3의 구조는 실현 과정 중에 몇 가지 중요한 문제점을 노출하였는데, 먼저 카메라 영상의 처리와 리더기의 이동에 따른 시간소요의 문제가 있었다. 또 처리시간



(a) 로봇의 동작구조,



(b) 태그를 찾기 위한 카메라 영상의 처리

그림 3. RFID 재물조사용 로봇의 초기설계

동안 로봇은 정지하여야 하고, 이동과 정지를 반복하는 로봇의 제어방식은 짧은 거리에서 가감속하여야 하는 문제 때문에 바람직하지 못한 것으로 결론이 내려졌다. 두 번째 문제로, 카메라의 관측영역(Field of View: FOV)이 제한적이므로 두 대 이상 다수의 카메라가 필요하고, 이는 경제적 비용뿐 아니라 처리비용의 상승을 의미하였다. 셋째로, 카메라 영상에서 태그를 찾는 작업은 주변 환경의 영향을 받게 된다. 조명뿐 아니라 재물의 표면색깔 등에 민감하게 되어 인식의 성공률을 장담할 수 없고, 특히 재물이 비닐 등으로 포장되어 있을 경우에는 빛의 반사로 인해 영상 내 태그 인식이 급격히 낮아진다. 이러한 결과는 상업화 단계에 근접하도록 하고자 하는 본 논문 연구의 접근방식에 위배된다.

이상의 발견을 기본으로 그림 3의 설계는 그림 4와 같이 변경되었다. 즉, 이동로봇의 상부에 광역 안테나를 복수 이상 설치하여, 미리 지정된 경로를 따라 로봇이 이동하는 중에 경로 측면의 선반에 놓여있는 재물들의 정보가 태그의 위치에 상관없이 자동으로 획득되도록 하는 구조이다. 만약 선반들 사이의 폭이 적당하다면, 그림에서와 같이 로봇의 진행방향 양측에 적재되어 있는 재물의 정보가 한꺼번에 취득될 수 있을 것이다. 카메라를 여전히 사용하고 있으나, 그 용도는 바닥의 주행 유도선 검출을 위한 것으로 한정하였다. 이와 같은 구조는 그림 3의 설계에서 노정된 다수의 현실적인 문제들을 해결할 수 있게 할 뿐 아니

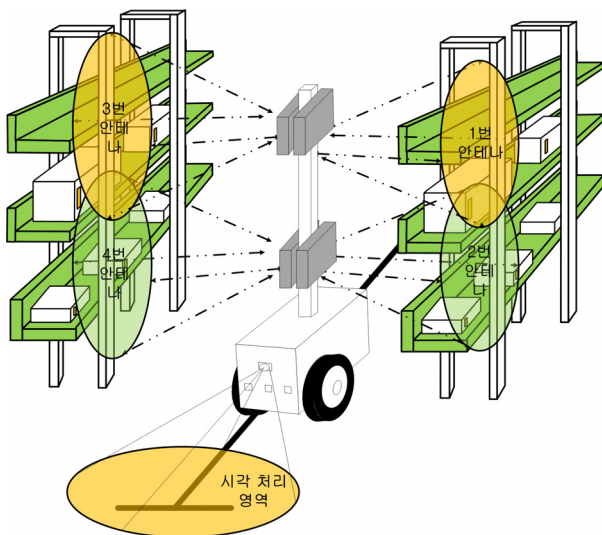


그림 4. RFID 재물조사용 로봇의 구조 및 운행

라, 설계 및 제작은 오히려 더욱 간단해진다는 장점을 지닌다.

그림 4와 같이 운용되는 이동로봇은 2개의 바퀴로 구동되며, 1개의 캐스터로 지지된다. 로봇은 하단부, 중단부, 상단부의 3개 층으로 나눌 수 있는데, 하단부는 바퀴 모터의 제어를 위한 구동부이며, 그 위에는 임베디드 PC와 시각 및 센서 제어부, 전원, RFID 신호처리모듈 등으로 구성된 중단부를 두며, 상단에는 RFID 안테나가 장착되었다.

3.2 RFID 시스템의 설계

RFID 시스템에서는 태그와 리더가 가장 중요한 구성요소이다. 본 연구에서 사용된 태그는 그림 4의 설계에서 알 수 있듯이 수동형이다. 즉, 자체적인 전력의 소모가 없고 소형이며 가격이 싸서, 이동로봇의 위치인식을 위해 자주 사용되는 능동형 태그에 비해 본 활용영역에 더 적합하다. 구체적으로는 ALIEN사의 ALN-9540이 채용되었는데, 860~960 [MHz]의 주파수를 지원한다. 태그 양단에 위치한 안테나에서 수신된 전파는 중앙에 위치한 집적회로를 거치면서 태그 고유의 정보가 부가되며 다시 안테나를 통하여 리더기로 반송된다.

리더기는 NESSLAB사의 NL-RF100을 사용하였는데, 900 [MHz]로 동작하고, 4 채널의 안테나 확장 포트가 있으며, 직렬 통신 및 IP(Ethernet) 통신이 가능하다. Minerva사의 MKUR-CA200L/R 안테나가 로봇의 상단 직선형 막대에 장착되었다. 안테나는 대체로 정사각형의 모양을 가지며, 220×220×20[mm]의 크기를 가진다.

3.3 시각에 의한 로봇 유도선 추종

제작된 재물조사용 로봇의 이동은 바닥에 설치된 주행 유도선을 따르는 방식을 사용하였다. 이 방식은 간단하고, 오류가 거의 없이 빠르게 경로를 추종할 수 있다는 장점이 있어, 이미 공장 자동화 등에 널리 사용되고 있다. 본 논문 주제의 대상이 되는 창고의 경우에도, 특성상 일단 정해진 경로의 변경이 잦지 않으며, 설혹 경로의 변경이 있다고 해도 이를 위해 주행 유도선을 조정하는 것이 대체로 어렵지 않다.

바닥에 표시된 유도선을 따라 주행하는 기존의 방법으로는 마그네틱 선을 설치하고 이를 추종하는 방법^[13]과 바닥에 표시된 선을 적외선 센서로 감지하여 주행하는 방법^[14], 또는 시각 장치를 이용하는 방법^[15,16] 등이 있다.

본 논문에서는 시각을 사용한 주행 유도선 추종방식을 사용하였다. 일반적으로 시각센서는 여타의 로봇용 센서들에 비해 비용이 비싼 문제가 있다. 그러나 근래 활용이 간단한 저가의 카메라들이 많이 출시되고 있고, 특히 본 시스템에서는 고정밀의 기계시각용 카메라가 필요하지 않아 비용이 큰 문제가 되지 않았다. Sentech사의 STC-N63 소형 카메라가 장착되었는데, 640 × 480의 해상도로 컬러 영상을 취득하였다. 경제적 비용뿐 아니라 시각 센서의 영상 출력을 처리할 때 발생하는 계산비용도 고려해야 할 요소이다. 영상정보는 방대한 데이터의 2차원 배열로 이루어져 있고, 이를 짧은 시간 내에 처리할 때 계산 부담이 크다. 본 시스템의 경우, 영상의 일부만 처리하는 방식으로 계산량을 대폭 줄여 초당 30 프레임의 영상을 실시간으로 처리할 수 있었다.

시각에 기반하여 바닥의 선을 추종하는 주행기술은 이미 오래 전부터 연구가 진행돼 바 있다¹⁵⁾. 그러나 하드웨어 및 소프트웨어의 발전에 따라, 예전의 흑백영상 기반의 저속도 처리기술에서 최근에는 컬러영상을 MATLAB이나 LABVIEW 등의 도구를 사용하여 손쉽게 처리하면서 실시간 처리가 가능한 시스템을 저가로 구축하는 기술로 계속 발전하고 있다¹⁶⁾. 시각 기반 바닥 주행선 추종에서 실제적으로 중요한 문제는 카메라 영상 내 주행선 검출의 성능이 주변 환경의 밝기에 의존적이라는 것이다. 본 논문에서는 영상 내 밝기 정보를 배제함으로써 환경 민감성을 완화시키고, 소영역별로 주행선을 판정함으로써 화소 검출 오류에 대한 내인성을 증대시키는 방법을 고안하여 사용하였다.

로봇에 장착된 카메라로부터 출력되는 [R,G,B] 컬러공간의 영상을 식 (1)을 이용하여 H(hue) 컬러의 값으로 변환하였다.

$$H = \frac{\cos^{-1}\left[\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]\right]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}, \quad (1)$$

if $B > G$, $H = 360^\circ - H$

이상의 변환과정에서 영상의 밝기(intensity)와 채도(saturation) 정보가 손실되는데, 이들 정보를 인위적으로 배제함으로써 이후 영상처리 결과는 주변 밝기 변화에 둔감하게 된다. H 값만 사용하더라도 주행선과 여타 배경 바닥과의 색상만 뚜렷이 차이가 난다면 이의 분리가 가능하

다. 영상 내에서 주행 유도선이 차지하는 면적이 여타 바닥면에 비해 항상 작다고 가정하면, 다수의 유사한 H 값을 가지는 화소들은 배경이 되며, 나머지 소수에 해당하는 화소들은 선에 해당하게 되어, 영상 내 영역분리(segmentation)는 자동적으로 처리될 수 있다. 사용된 방식은 대부분의 기존 기법과는 달리 바닥이나 주행 유도선의 색상을 미리 지정할 필요가 없고, 주변 환경의 변화에 따라 바닥과 선의 영상 특성이 변화하게 되는 경우에도 강건한 주행선 검출의 결과를 기대할 수 있다.

일단 바닥과 선의 색상이 구분되면, 이후에는 영상 내 설정된 관심영역에서만 유도선을 탐색하게 된다. 그림 5는 이와 같은 목적을 위해 작성된 프로그램의 실행 예를 보여준다. 프로그램 창의 우측 상단에 카메라의 영상이 보이고, 영상 내 아래쪽에 20개의 소영역이 상하 2개의 띠 모양으로 설정되었다. 각 소영역의 너비는 주행선의 영상 내 너비와 근사적으로 같다. 먼저 색상을 기준으로 이 영역들에서 주행선에 해당되는 화소들을 검출한 후, 이를 바탕으로 각 소영역을 주행선과 배경 영역으로 분류하였다. 이와 같이 영상 내 일부분만 처리하면 계산량을 크게 줄일 수 있다. 즉, 관심영역의 각 소영역을 64 × 48 화소 배열로 설정하고, 20개의 소영역 영상만 처리하도록 프로그램을 실행시켰을 때 28 msec의 수행시간이 소요되었는데, 이는 전체 영상을 처리할 때 소요된 시간인 150 msec의 약 1/5에 불과하며 초당 30 프레임의 실시간 비디오 속도로 처리하는 것이 가능해 졌다. 또한 주행선 화소 검출의 오류에 대한

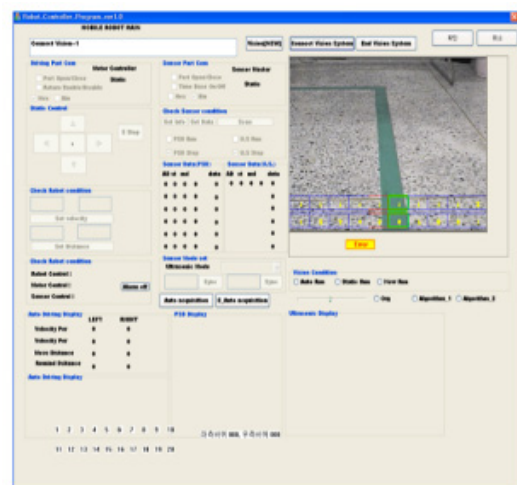


그림 5. 카메라를 이용한 주행선의 검출 프로그램

내인성도 증대되었다. 화소 단위로 주행선을 검출할 경우 주행선이나 배경 영역에서 오분류된 화소들이 일부 존재하기 마련이다. 우리는 각 소영역별로 50% 이상의 화소가 주행선의 색상을 가질 때 그 소영역을 주행선 영역으로 분류하였는데, 이를 통하여 결국 어느 정도의 화소 검출 오류는 영역 판정에 영향을 미치지 않게 된다. 이 때 판정의 기준을 50%로 설정한 것은 만약 두 인접한 소영역의 가운데에 주행선이 수직으로 위치하는 경우, 그 두 영역들 중 하나의 영역만 주행선으로 검출되도록 하기 위한 것이다. 이 경우에 만약 기준을 50% 보다 작게 잡으면 두 개의 소영역에서 모두 주행선이 검출될 것이며, 반대로 50% 보다 크게 설정하면 두 영역 모두에서 주행선이 검출되지 않는 경우가 발생하는 것이다. 일단 주행선에 해당하는 부분이 두 개의 띠모양으로 설정된 영상 내 소영역들에서 검출되면, 아래쪽 띠와 위쪽 띠에서의 검출된 소영역들의 상대적인 위치에 따라 로봇이 직진할지, 혹은 좌 또는 우측 방향으로 이동할 것인지를 결정하였다.

4. 실험 및 결과

앞에서 상술된 설계에 기반하여 로봇이 실제 제작되었다. 제작된 로봇의 외형은 그림 6과 같다. 로봇의 외형은 알루미늄을 사용하였고, 바퀴는 알루미늄 휠에 폴리우레탄을 덧붙여 미끄러짐을 방지하고자 하였다. 12V DC 모터를 사용하여 1:120의 기어비에서 30 kg·cm의 토크를 얻었으며, 전원은 탑재된 축전지를 사용하였다.

실제 창고와 같은 상황을 구성하고 제작된 시스템을 시험하여 보았다. 실험은 세 가지 관점에서 개발된 시스템의 동작을 관찰하였다. 그 첫 번째는 RFID 태그 인식능력에

관한 것이며, 두 번째는 로봇의 주행능력이며, 세 번째는 전체적인 시스템 동작성능에 관한 것이다.

먼저 창고의 선반에 놓인 재물에 부착된 RFID 태그의 인식에 관한 실험을 실시하였다. 태그와 안테나 사이의 거리를 변화시키면서 인식률을 확인하였을 때, 그 결과는 그림 7과 같았다. 그림에서 볼 수 있듯이, 태그와 태그 사이의 간격도 변화시키면서 각 실험당 10회씩 태그를 읽었는데, 사용된 ALN-9540 태그의 폭에 해당하는 8 mm 정도의 간격만 최소한 유지되면 완벽하게 검출이 가능하였고 이는 그림의 Exp. 1과 Exp. 2의 경우에 해당한다. 이러한 성능은 안테나까지의 거리가 2.5 m 정도가 될 때까지 유지되었으나, 그 이상의 거리에서는 급격히 인식률이 떨어졌다. 또, 태그를 상하좌우로 이동시키면서 안테나가 검출할 수 있는 각도를 측정된 결과는 그림 8과 같이 상하 및 좌우

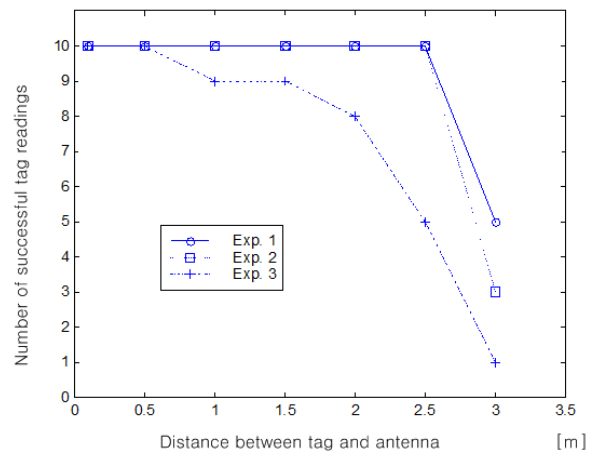


그림 7. 거리에 따른 태그의 검출 Exp. 1은 단일 태그, Exp. 2는 간격이 8 mm인 복수 태그, Exp. 3은 간격이 없는 복수 태그에 대해 각 10회씩 실험 실시

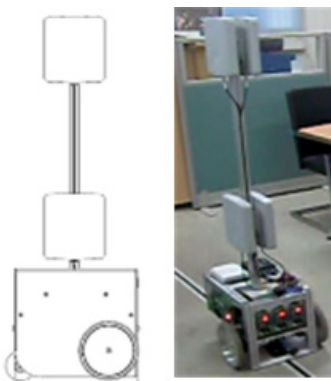


그림 6. 제작된 로봇의 외형

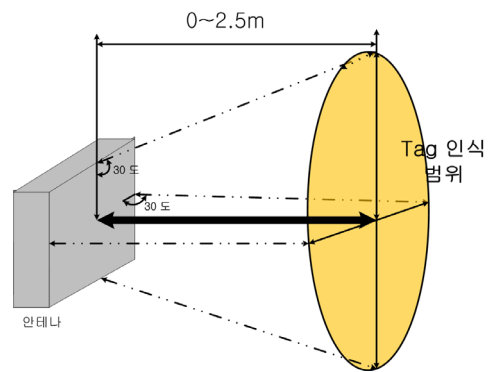


그림 8. 확인된 안테나의 태그 인식 각도

모두 약 30°의 각도 내에서 검출이 안정적이었다.

로봇의 주행능력을 실험하기 위하여 바닥에 주행 유도선을 설치하고, 로봇으로 하여금 사용자의 간섭 없이 카메라 영상의 처리를 통하여 주행하도록 하였다. 그림 9는 실험용 주행 경로의 상세이다. 로봇은 직선경로 상에서 가속하며, 회전지점이 영상 내에 포착되면 감속하도록 프로그램 되었다. 경로 상 두 지점에서 로봇의 실제위치가 측정되었고, 로봇의 최고속도는 약 17 cm/sec이었다. 총 30회 시험주행을 실시하였고, 위치오차 측정의 결과는 표 1에 보인 바와 같다. 표에서 Exp. 1은 시계 방향으로 10회 주행한 결과이고, Exp. 2는 반시계 방향으로 10회 주행한 결과이다. 이 때 1회 주행을 마칠 때 마다 로봇을 정지시키고 위치 보정 후 재출발하도록 하였다. 그리고 Exp. 3은 반시계 방향으로 정지 없이 10회 연속 주행한 결과이다. Exp. 1의 Position 1의 경우 다른 경우에 비해 오차가 유난히 작았는데, 이는 로봇의 위치가 보정된 후 재출발한 직선 주행 구간 위에서 오차가 측정된 결과인 것으로 생각된다. 두 위치에서 각각 30회씩 측정된 결과의 평균 오차는 표로부터 7.28 cm 임을 알 수 있으며, 사용된 주행선의 너비가

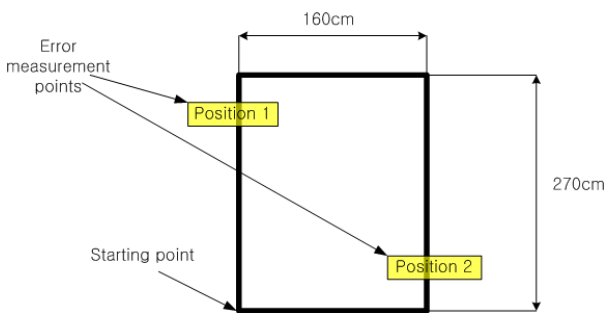


그림 9. 로봇의 시험 주행 경로

표 1. 로봇 주행 실험의 위치 오차

(실험별 각 10회 주행, 단위 [cm])

구 분	측정 지점	평균 오차	최대 오차
Exp. 1	Position 1	2.5	5
	Position 2	7.0	12
Exp. 2	Position 1	7.8	13
	Position 2	9.6	14
Exp. 3	Position 1	8.5	14
	Position 2	8.3	13

5 cm 이었으므로 로봇이 주행선 폭의 1.5배 정도의 범위 내에서 대체로 선을 중앙에 유지하고 주행하였음을 알 수 있다.

마지막으로 그림 10과 같이 실제 창고와 유사한 환경을 설치하고, 제작된 로봇을 운행하면서, 전체 시스템의 동작을 확인하였다. 선반간의 간격은 120 cm로 하였고, 로봇은 주행하면서 경로 좌우의 재물을 동시에 기록하였다. 기록

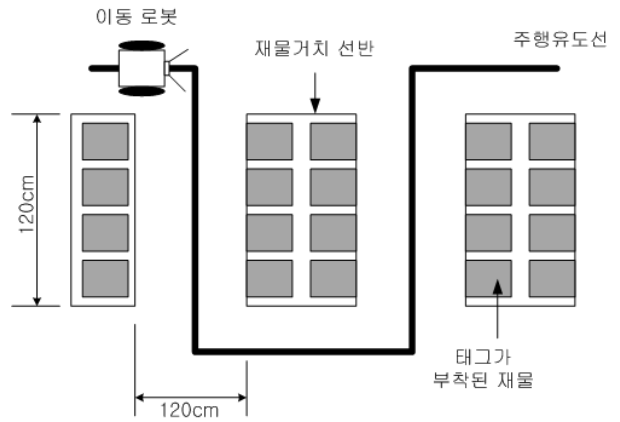
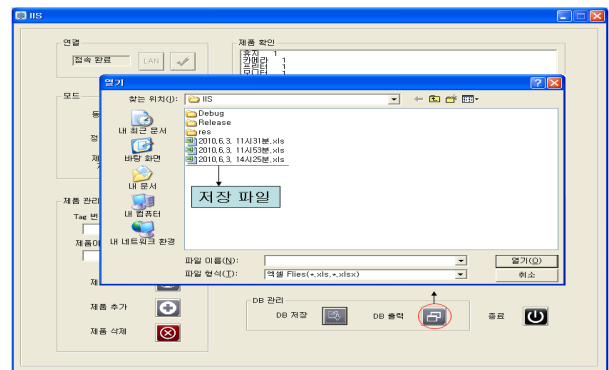
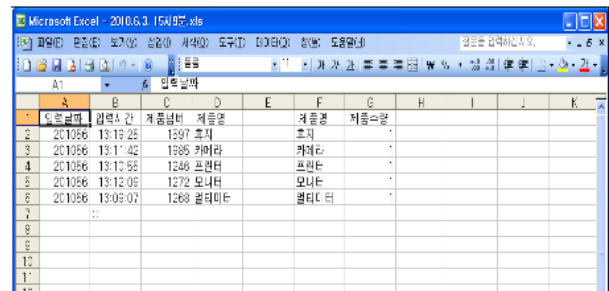


그림 10. 시스템의 운용 시험



(a) 재물정보 DB 처리용 소프트웨어



(b) 결과로 얻어진 MS Excel형식의 재물 DB

그림 11. 재물정보의 처리

된 정보는 그림 11과 같이 Microsoft사의 Excel 파일형식으로 저장되었다. 재물의 위치를 변경하면서 5회 실험을 되풀이한 결과 어떠한 오류도 없이 선반에 적재된 시험용 재물을 100% 감지하여 DB에 자동 기록하였다.

5. 결론

RFID 시스템과 이동로봇을 결합하여 창고에서 재고의 조사를 자동으로 실시할 수 있는 시스템이 설계 및 개발되었다. 본 논문이 작성되는 시점에서 이와 같은 용도를 가진 시스템에 대한 연구개발 관련 문헌들은 많지 않으며, 존재하는 연구들도 대체로 이론에 대한 모의실험이나 실현 가능성의 탐색을 다루었다^{10, 11)}. 이에 비해 본 논문에서는 실제 활용을 염두에 두고 목표를 효율적으로 달성할 수 있도록 이동 로봇과 주변 시스템의 기능과 구성을 설계하고 이의 개발을 완료하였다. 이 점은 본 논문의 가장 중요한 기여가 된다. 개발된 시스템은 RFID 안테나를 탑재하고 바닥 주행선을 따라 주행하면서 수동형 태그가 부착된 주변의 재물 정보를 취득하여 관련 DB를 자동 갱신하는 일련의 과정을 수행할 수 있다. 로봇의 주행은 바닥에 설치된 유도선을 따르는 방식을 사용하였으며, 소형의 컬러 카메라 영상 중 일부분의 색상값만을 처리하여 주변환경에 둔감하면서도 영상처리가 실시간으로 이루어질 수 있는 실제적인 방법이 제안되었다.

개발된 시스템은 실제 창고와 유사한 실험 환경에서 100% 재물을 인식하는 성능을 보였다. RFID 태그의 인식은 안테나로부터 30° 각도 내 2.5 m 거리 이내로 한정되었으며, 시스템은 이에 맞게 설계되었다. 만약 재고 선반 사이 통로의 폭이 약 5 m 이내 이면 개발된 로봇은 통로 양편의 재고 정보를 주행 중 동시에 획득할 수 있다.

본 논문에서 서술된 시스템은 RFID 기술을 사용하므로, 재물들에 RFID 태그가 부착되는 것을 전제한다. 비록 저가의 수동형 태그가 장착된 재물을 가정하고 시스템이 설계되었으나, 일반적으로 RFID 태그는 현재 널리 사용되고 있는 바코드에 비해 비싸며 이는 현실적인 제약이 된다. 즉, 제시된 로봇시스템의 성공적인 활용은 이러한 시스템 설계 이전의 문제, 즉 RFID가 바코드를 대신하여 재물의 정보를 표현하는 보편적인 수단이 될 수 있는가에 달려 있다.

또 다른 문제점은 바닥에 설치된 주행 유도선의 사용에서 찾을 수 있다. 비록 이와 같은 방법이 상업화의 측면에

서 봤을 때 신뢰할 수 있으며, 제안된 영상처리 기법이 주위환경의 변화에 강건하고, 처리가 단순하여 실시간 운영에 적합하기는 하나, 유형의 선을 설치하는 것 보다는 인간과 같이 경로주변의 시각적 랜드마크에 기반하여 경로를 기억하고 주행하는 것이 더욱 자연스럽다. 다만 이러한 방식은 훨씬 많은 연산을 필요로 하며, 주행선을 사용하는 방식에 비해 대체로 강건하지 못할 뿐 아니라, 그 자체만으로 독자적인 연구주제가 된다. 그리고 본 논문에서와 같이 주행을 위하여 카메라를 사용하는 방식은 여타의 보다 단순한 센서를 사용하는 것에 비해 가격과 계산량의 측면에서 불리할 수 있다. 그러나 영상이 제공하는 다양한 정보와 활용 가능성을 고려하면, 센서의 선택은 시스템이 적용되는 환경과 추가적으로 부가하고자 하는 기능에 따라 달라질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] J. Z. Gao, L. Prakash, R. Jagatesan, "Understanding 2D-barcode technology and applications in M-commerce design and implementation of a 2D barcode processing solution," Proc. 31st Annual Int. Conf. Computer Software and Applications, pp.49-56, 2007.
- [2] L. McCathie, K. Michael, "Is it the end of barcodes in supply chain management?," Proc. Collaborative Electronic Commerce Technology and Research Conf., pp.1-19, 2005.
- [3] T. Sriram 외, "Applications of barcode technology in automated storage & retrieval systems," Proc. 22nd Int. Conf. Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, pp.641-646, 1996.
- [4] R. Fulbright, L. M. Stephens, "SWAMI: An autonomous mobile robot for inspection of nuclear waste storage facilities," Autonomous Robots, Vol.2, pp.225-235, 1995.
- [5] C. K. Meng, Y. Away, "Visual inventory inspection using optical character recognition," Proc. Int. Conf. Computer Graphics, Imaging, and Visualization, pp.89-92, 2004.
- [6] L. Xiangju, F. Guoliang, W. Yunkuan, "A robust barcode reading method based on image analysis of

- hierarchical feature classification,” Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.3358-3362, 2006.
- [7] R. C. Luo, C.-T. Chuang, S.-S. Huang, “RFID-based indoor antenna localization system using passive tag and variable RF-attenuation,” Proc. Conf. IEEE Industrial Electronics Society, pp.2254-2259, 2007.
- [8] D. Hahnel 외, “Mapping and localization with RFID technology,” Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation, pp.1015-1020, 2004.
- [9] T. Tsukinyama, “Navigation system for mobile robots using RFID tags,” Proc. Int. Conf. Advanced Robotics, pp.1130-1135, 2003.
- [10] M. Lin 외, “Data collection using RFID and a mobile reader,” Proc. IEEE Global Telecommunications Conf., pp.1-6, 2008.
- [11] I. Ehrenberg, C. Floerkemeier, S. Sarma, “Inventory management with an RFID-equipped mobile robot,” Proc. 3rd Annual IEEE Conf. Automation Science and Engineering, pp.1020-1026, 2007.
- [12] P. Krishna, D. Husalc, “RFID infrastructure,” IEEE Communications Magazine, Vol.45, No.9, pp.4-10, 2007.
- [13] C.-Y. Chan, “A system review of magnetic sensing system for ground vehicle control and guidance”, Research Report UCB-ITS-PRR -2002-20, PATH, Inst. Transportation Studies, UC Berkeley, 2002.
- [14] S. Akash, B. Kabi, S. Karthick, “Implementing a line tracing robot as an effective sensor and closed loop system”, Int. J. Recent Trends in Engineering, Vol.2, No.7, pp.104-107, 2009.
- [15] S. Ishikawa, H. Kuwamoto, S. Ozawa, “Visual navigation of an autonomous vehicle using white line recognition,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.10, No.5, pp.743-749, 1988.
- [16] A. H. Ismail 외, “Vision-based system for line following mobile robot,” Proc. IEEE Symp. Industrial Electronics and Applications, pp.4-6, 2009.



손민혁

2009년 2월 대구대학교 전자공학부(공학사)
2009년 3월 대구대학교 대학원 전자공학과
현재 동대학원 석사과정 재학중.
관심분야: 자동화, 로봇시각, 센서시스템 등.



도용태

경북대학교 전자공학과(공학사)
서강대학교 전자공학과(공학석사)
Univ. of Hull(영) 전자공학과
PhD
CMU, Univ. of Wisconsin (Madison), Imperial College London, Nat'l Univ. of Singapore 에서 객원교수/방문과학자.
현재 대구대학교 전자공학부 교수.
관심분야: 로봇, 기계시각, 인공지능, 센서 및 계측 등.