

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 구현에 관한 연구

A Study on Implementation of Ubiquitous Home Mess-Cleanup Robot

차 현 구, 김 승 우*

(Hyun-Koo Cha and Seung-Woo Kim)

Abstract : In this paper, Ubiquitous Home Mess-Cleanup Robot(UHMR), which has a practical function of the automatic mess-cleanup, is developed. The vacuum-cleaner had made the burden of house chore lighten but the operation labour of a vacuum-cleaner had been so severe. Recently, the cleaning robot was producted to perfectly solve the cleaning labour of a house but it also was not successful because it still had a problem of mess-cleaning, which was the clean-up of big trash and the arrangement of newspapers, clothes, etc. The cleaning robot is to just vacuum dust and small trash but has no function to arrange and take away before the automatic vacuum-cleaning. For this reason, the market for the cleaning robot is not yet built up. So, we need a design method and technological algorithm of new automatic machine to solve the problem of mess-cleanup in house. It needs functions of agile automatic navigation, novel manipulation system for mess-cleanup. The automatic navigation system has to be controlled for the full scanning of living room, to recognize the absolute position and orientation of the self, the precise tracking of the desired path, and to distinguish the mess object to clean-up from obstacle object to just avoid. The manipulator, which is not needed in the vacuum-cleaning robot, must have the functions, how to distinguish big trash to clean from mess objects to arrange, how to grasp in according to the form of mess objects, how to move to the destination in according to mess objects and arrange them. We use the RFID system to solve the problems in this paper and propose the reading algorithm of RFID tags installed in indoor objects and environments. Then, it should be an intelligent system so that the mess cleaning task can be autonomously performed in a wide variety of situations and environments. It needs to also has the entertainment functions for the good communication between the human and UHMR. Finally, the good performance of the designed UHMR is confirmed through the results of the mess clean-up and arrangement.

Keywords : UHMR(Ubiquitous Home Mess-cleanup Robot), autonomous navigation, manipulator, object detection system, RFID

I. 서론

현재 많은 로봇들이 많은 나라에서 연구 개발 되고 있다. 이러한 로봇들은 모든 첨단 기술들을 포함하고 있으며, 21세기에 RT(Robot Technology) 라는 새로운 분야를 만들었다. 최근에는 많은 로봇 중에 가정용 로봇의 개발이 가속화 되고 있으며, 그 중에서도 청소로봇의 개발이 눈에 띄게 나타나고 있다. 현재의 청소로봇들은 편리성과 이동성의 이유로 공장 자동화 및 안내로봇 등에 쓰이는 이동방식인 휠베이스 방식을 채택하고 있으며, 흡입 방식으로 청소를 하고 있다. 이런 개발에도 불구하고, 현재 청소로봇 시장은 형성되지 못하고 있는 것이 현실이다. 그 이유는 1950년대에 진공청소기가 보급되어졌지만 사실상 노동의 강도는 과거와 별 차이가 없었으며, 지금의 청소로봇이 나왔지만 기능은 기존의 청소기를 단순화한 흡입 기능만을 가지고 있어, 신문, 옷가지 등을 정리정돈 하는 일은 여전히 사람의 일로 남아 있기 때문이다. 그래서 집안의 물건들을 정리 정돈 하고 부피가 큰 쓰레기를 청소 할 수 있는 새로운 개념의 정리정돈(mess-cleanup)로봇이 필요하다[1].

본 논문에서는 기존의 청소로봇과 달리 가정에서 부피가 큰 쓰레기를 청소하고 물건들을 정리정돈 할 수 있는 새로운 개념의 가정용 로봇인 홈 메스클린업 로봇을 개발하며, 나아가 로봇의 실용기능과 감성 및 엔터테인먼트 기능이 결합된 가정용 서비스 로봇으로 발전할 수 있을 것이다.

홈 메스클린업 로봇은 인간과 동일한 공간에서 작동하

로 산업용 로봇과 여러모로 다르다. 산업용 로봇의 기능은 단순하고 반복적인 작업에만 국한되기 때문에 제약되고 잘 정돈된 환경에서 인간과 무관하게 미리 프로그램 된 일만 수행하면 된다. 그러나 사무실이나 가정의 환경에는 정형화된 규칙이 없는데다가 홈 메스클린업 로봇은 항상 인간과 접촉하거나 근접한 위치에서 동작하는 경우가 많다. 또한 로봇이 담당하는 업무도 단순반복 작업이 아니라 인간을 지원하거나 보조하는 일이 주종이다. 이와 같은 기술적 난제를 고려할 때, 홈 메스클린업 로봇을 개발하기 위해서는 인간친화성 소재의 개발에서부터 인간과 비슷한 지능의 구현에 이르기까지 다양한 요소 기술들이 필요하다[8]. 그러므로 홈 메스클린업 로봇은 여러 분야의 연계기술과 종합적인 개발기술을 필요로 한다. 그것들의 기반 기술이 본 논문에서 개발되어진다.

본 논문에서 개발하는 홈 메스클린업 로봇은 양쪽바퀴로 구동되는 주행 시스템과 RFID(Radio Frequency Identification)를 이용한 위치인식(localization)시스템으로 이루어진 네비게이션 파트와 RFID를 이용하여 정리정돈할 물체 인식 시스템과 2개의 6자유도 매니퓰레이터를 이용한 물체의 파지 및 정리정돈 시스템으로 구성되는 정리정돈 파트로 나누어 구성되어 있다. 특히 자기위치인식(self-localization)과 정리정돈 파트에서의 물체인식에 RFID를 활용함으로써 홈 메스클린업 로봇에 유비쿼터스 기능을 적극적으로 도입하는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇을 개발한다.

RFID는 각종 물품에 소형 칩을 부착해 사물의 정보와 주변 환경정보를 무선주파수로 전송 처리하는 비접촉식 인식 시스템이다. 최근 RFID 시스템의 급격한 수요가 발생하고 있다. 이 현상의 가장 좋은 사례는 비접촉 스마트카드를 대

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 9. 15., 채택확정 : 2005. 10. 25.

차현구, 김승우 : 순천대학교 정보기술공학부

(chahyunkoo@sch.ac.kr/seungwo@sch.ac.kr)

중 교통 전자 티켓으로 사용하는 것이다. 5년 전에는 상상할 수 없었지만 지금은 천 만개 이상의 비접촉 티켓이 사용되고 있다. 비접촉 인식 시스템이 가능한 애플리케이션 부분 또한 최근 다양화 되고 있다. RFID 개발자들은 이러한 시스템의 기술적 파라미터들은 발권, 동물인식, 산업 자동화 및 출입통제와 같은 다양한 애플리케이션에 대해서 최적화 된다. 이러한 애플리케이션 부분의 기술적 요구사항은 종종 중복되기도 하는데, 이는 적합한 시스템의 명확한 구분을 하는 것이 간단하지 않다는 것을 의미한다. 가축 인식이나 밀접 결합 스마트 카드와 같은 몇 가지 특별한 경우를 제외하고 더욱 복잡해 지는 것은 RFID 시스템에 대해서 아직 강력한 표준이 없다는 것이다. 그러므로 전문가조차도 현재 제공되는 RFID 시스템들을 전체적으로 살펴보고 꿰뚫어 보는 것이 어렵기 때문에, 사용자들에게 그들의 요구에 가장 적합한 시스템을 선택하는 것이 항상 쉬운 것은 아니다[4,15,16].

본 논문에서는 홈 환경에서 RFID를 이용하여 표준화되고 최적화된 탐색 알고리즘과 물체인식(non-vision) 방법을 제시하여 물건의 정리정돈과 부피가 큰 쓰레기 청소 기능을 가진 홈 메스클린업 로봇을 유비쿼터스 홈 환경을 기반으로 개발한다.

본 논문의 II장에서는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇이 어떻게 구성되며, 어떻게 동작하는지에 대한 개념을 설명하며, III장에서는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 기능별 설계에 대해 설명한다. 그리고 IV장에서는 로봇의 타스크(task) 알고리즘에 대해 설명하고, V장에서는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 실험 및 결과에 대해 기술한다. 마지막으로 VI 장에서는 개발되어진 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 결론을 기술한다.

II. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 개념

지금까지의 청소로봇은 인간이 기본적인 환경을 만들어 주어야만 청소가 가능했다. 이러한 점을 극복하기 위해서는 인간을 대신해서 정리정돈 및 부피가 큰 쓰레기를 청소할 수 있는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 개발이 필요하다. 본 논문에서 개발하는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇(UHMR; Ubiquitous Home Mess Cleanup Robot)의 기능별 구조는 그림 1 과 같다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 구성은 유비쿼터스 환경에서 자기위치인식(self-localization)을 통하여 자율이동할

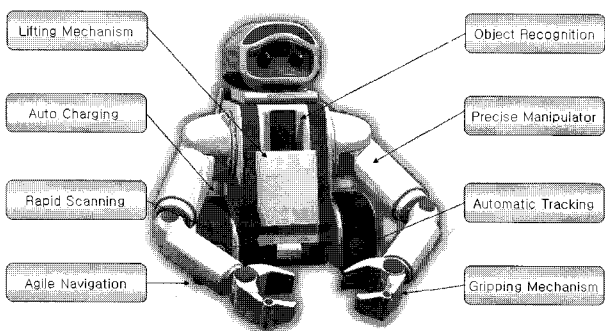


그림 1. UHMR의 시스템 구성.
Fig. 1. UHMR's system configuration.

수 있는 휠 베이스 네비게이션 시스템, 물건을 높은 곳으로 옮기거나 이동할 때 사용되는 리프팅시스템과 로봇의 배터리 리를 충전하기 위한 자동 충전, 물체를 찾을 수 있는 빠른 검색기능 그리고 정교한 탐색기능과 물체를 구분하기 위한 물체인식, 물체를 잡기 위한 매니퓰레이터, 장애물 회피 및 추락방지를 위한 자동 주행기능, 마지막으로 물체의 모양에 따른 과거 기술로 이루어져 있다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 탐색 시스템은 지금까지의 청소로봇과는 달리 일정한 패턴이나 벽면을 따라 움직이는 방식이 아닌 실질적으로 방의 구조를 모두 파악하여, 빠짐없이 청소 할 수 있어야 하며, 잡은 물체를 원래의 위치로 이동 시키거나 버리는 장소까지 이동해야 하므로 절대 좌표로 자신의 위치를 판단 할 수 있어야 한다. 그리고 홈 메스클린업 로봇의 매니퓰레이터는 높은 자유도와 정교함을 가지고 있어서 물체를 잡고 버리는 것에 어려움이 없어야 한다. 그러기 위해서는 사람의 팔과 손의 형태를 가지고 있는 것이 가장 바람직하기에 비슷한 형태의 구조로 설계하였다. 또한 물체의 형태와 관계없이 이동이 용의하도록 로봇 정면에 물건 받침대를 설계하여 이동의 안정성을 높였고 받침대의 높이가 조절 되도록 하여 높은 곳으로의 물체 이동이 가능하도록 하였다.

그림 2는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 정리정돈작업에 대한 시뮬레이션을 보여주고 있다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 유비쿼터스 홈 환경에서 자기위치인식을 통하여 주행과 탐색을 하다가(1) 물체가

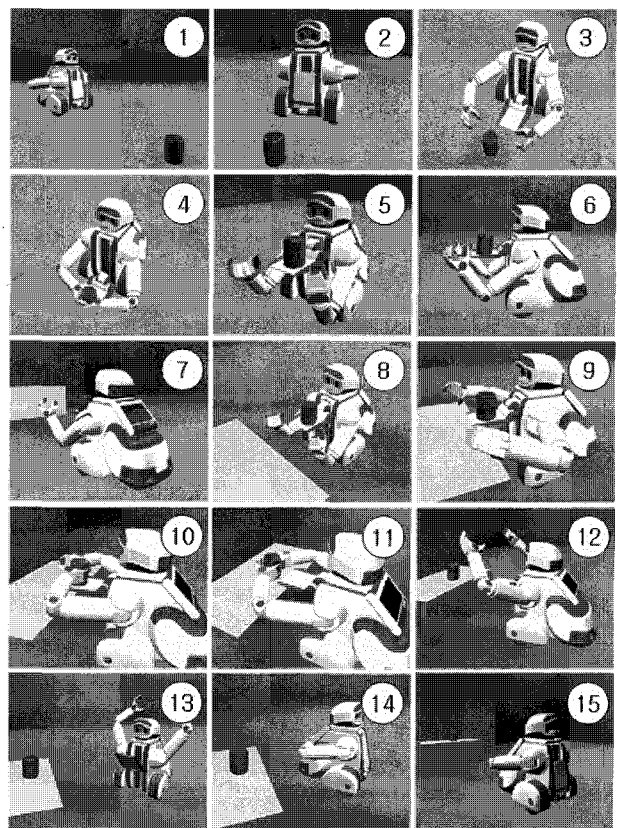


그림 2. HMR의 작업 시뮬레이션.
Fig. 2. Working simulation of UHMR.

감지되면(2) 감지 되어진 정리정돈할 물체를 RFID를 이용하여 판단한다. 물체의 종류에 따라 잡는 힘의 세기 및 잡는 방법을 달리하여(3) 물체를 선반위로 옮긴다(4). 선반위로 옮긴 물체는 리프트를 이용하여 일정 위치로 이동하고(5) 로봇은 최소거리로 이동한다(6). 감지된 물체에 따라 정리할 물체인지 쓰레기인지에 따라 로봇이 이동할 곳이 정해지고 로봇은 최단거리를 계산하여(7) 빠르게 이동한다(8). 정해진 곳까지 이동한 로봇은(9) 파지한 물체를 로봇 팔을 이용하여(10) 물체를 선반의(11) 정해진 곳에 내려놓는다(12). 물체를 내려놓은 로봇은(13) 다시 정리 정돈할 물체를 찾기 위해(14) 탐색을 시작한다(15).

홈 메스클린업 로봇은 물체인식 및 검출 시스템을 가지고 있다. 기존에 가장 많이 쓰이는 방법은 비전을 사용하는 방법이었으나 데이터양 때문에 연산 및 정확성에 한계가 있다. 다른 방법은 물체의 패턴을 인식하는 방법인데, 오판할 가능성이 매우 커서 사용하기 매우 힘이 든다. 그래서 본 논문에서는 최근 새로이 부각되고 있는 RFID(Radio Frequency Identification)를 이용해 물체를 인식하고 판단한다. 이를 위하여 모든 물체에 RFID 태그가 부착되어 있어야 한다. 아직까지는 많은 곳에 사용되고 있지는 않지만 기존의 바코드를 RFID 태그로 가까운 시일 안에 대체될 것으로 전문가들은 예상하고 있기 때문에 물체 인식 및 판단 기준으로 사용이 가능하다는 전제조건을 가지고 UHMR을 설계 및 제작하였다. 그림 3은 홈 메스클린업 로봇의 작업처리 순서도이다.

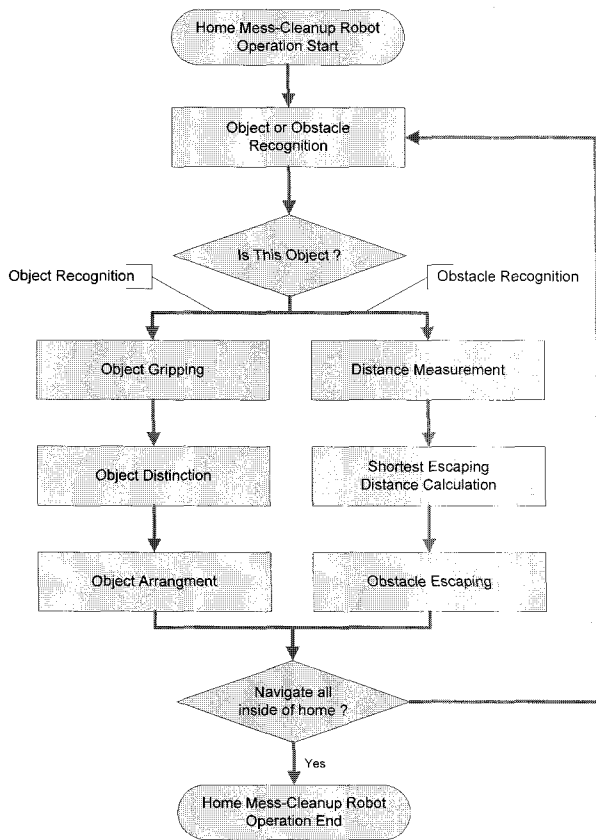


그림 3. UHMR의 작업 순서도.
Fig. 3. A processing scenario of the UMHR's task.

III. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 설계

본 논문에서 연구 되어지는 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 구체적인 내부 설계는 그림 4와 같다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 메스클린업 기능과 엔터테인먼트 기능을 가진 가정용 홈 서비스 로봇이며, 자동 탐색 시스템과 물체의 구분 및 파지를 위한 매니플레이터 그리고 물체의 이동을 돕는 리프팅 시스템으로 구분되어 진다. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 골격 제작은 RP(Rapid Prototype) 및 알루미늄 프레임에 이용하여 제작하였으며, 바닥 역시 알루미늄으로 제작되었다. 구동 모터와 리프트 모터는 제어가 용이한 스텝 모터를 사용하였으며, 팔에는 디지털 RC형 모터를 사용하여 제작하였다.

1. 주행 기구부 설계

자동 탐색 시스템의 경우 휠 베이스에 의해 빠른 이동과 안정성을 확보하도록 설계되었으며, 홈에서의 이동에서 문제가 되었던 턱이나 작은 장애물에 문제가 되지 않도록 그림 5와 같이 유연하게 설계 되었다.

모터와 바퀴가 벨트로 연결되어 턱과 같은 장애물에 강한 주행성을 보여주며, 로봇의 바닥면과 고정되는 부분을 경첩으로 설계하여 바퀴가 위아래로 유동될 수 있도록 설계되었다. 또한 조향바퀴를 피치롤러로 설계하여 로봇이 주행하는 바닥에 대해 받는 저항을 최소화하여 부드러운 주행을 할 수

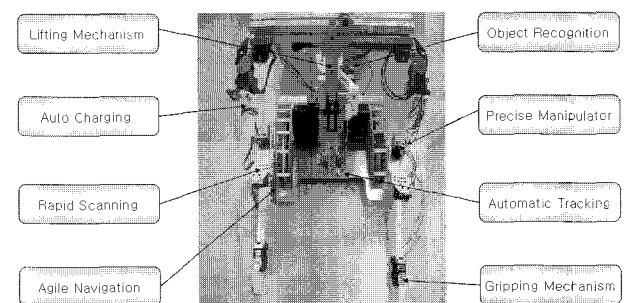


그림 4. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 내부 설계.
Fig. 4. Inside design of UHMR.

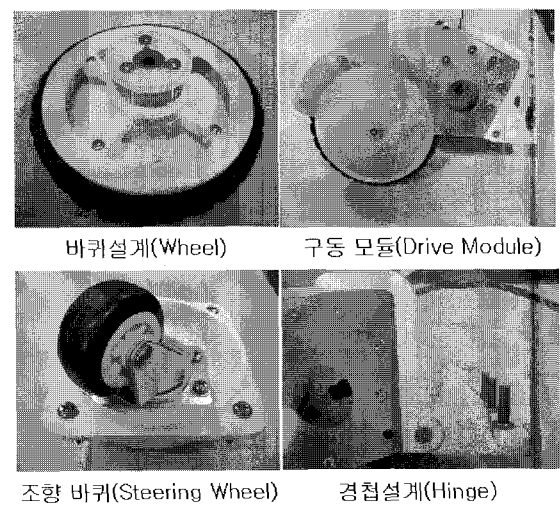


그림 5. 바퀴 구동부 설계.
Fig. 5. Design of wheel base.

있다. 또한 피치롤러 바퀴를 로봇의 바닥면에 부착할 수 있도록 프레임에 장착하였으며 탐색용 센서들을 장착하여 충돌방지 및 물체들의 검색을 할 수 있도록 설계되었다.

2. 매니플레이터 설계

매니플레이터 시스템은 두 개의 로봇 팔과 물체 인식 시스템으로 구분되어 있으며, 로봇의 팔은 그림 6과 같이 6자유도(degree of freedom)로 설계되어 동작이 매우 자유롭다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 매니플레이션(manipulation) 시스템에는 물체의 이동을 돕는 리프트가 설계 되어있어, 물체의 이동을 돕는데 사용되며, 이러한 이유로 로봇에 가해지는 물체의 부하는 거의 없으므로 로봇 팔의 동력학에 대한 분석은 본 논문에서 고려하지 않는다. 그림 7은 로봇 팔에 대한 정기구학의 조인트 구성도이다.

표 1은 Denavit-Hartenberg 공식에 의한 조인트 변환 행렬 파라미터들을 구한 것이다. 위 θ 는 z축에 관한 회전을 나타내는 것이고 d는 두 개의 연속적인 공통 법선 사이의 z축 위

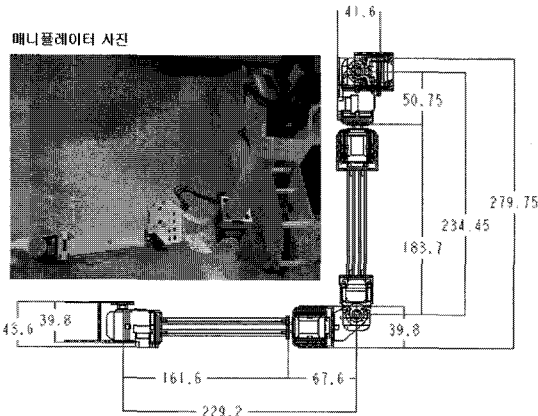


그림 6. 로봇 팔의 설계.
Fig. 6. Design of robot arm.

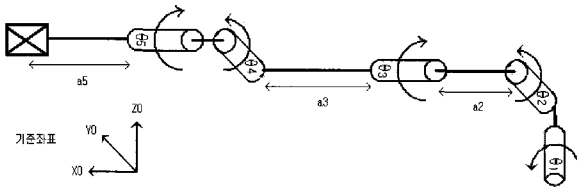


그림 7. 로봇 팔의 정기구학.
Fig. 7. Kinematics of robot arm.

표 1. 조인트 변환 행렬의 파라미터.
Table.1. Parameter of joint conversion matrix.

Joint i	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	-90	0	0
2	θ_2	90	a2	0
3	θ_3	-90	a3	0
4	θ_4	90	0	0
5	θ_5	-90	a5	0

에서 이동한 거리를 나타내며 a는 공통법선 사이의 길이를 나타낸다. 위의 그림과 표를 이용하여 구한 조인트 변환을 나타내는 A 행렬과 암 솔루션(arm solution)은 (1)-(5)에서 볼 수 있다. 행렬식에서 Sn은 Sin θ_n 을, Cn은 Cos θ_n 을 나타낸다.

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & A_2C_2 \\ S_2 & 0 & -C_2 & A_2S_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & A_3C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & A_3S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$A_4^3 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$A_5^4 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & -S_5 & A_5C_5 \\ S_5 & 0 & C_5 & A_5S_5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$P_x = C_1C_2C_3C_4A_5C_5 - S_1S_3C_4A_5C_5 - C_1S_2S_4A_5C_5 - C_1C_2S_3A_5S_5 - S_1C_3A_5S_5 + C_1C_2A_3C_3 - S_1A_3S_3 + A_2C_2C_1 \tag{6}$$

$$P_y = S_1C_2C_3C_4A_5C_5 + C_1S_3C_4A_5C_5 - S_1S_2S_4A_5C_5 - S_1C_2S_3A_5S_5 + C_1C_3A_5S_5 + S_1C_2A_3C_3 + C_1A_3S_3 + A_2S_1C_2 \tag{7}$$

$$P_z = -S_2C_3C_4A_5C_5 - C_2S_4A_5C_5 + S_2S_3A_5S_5 - S_2A_3C_3 - A_2S_2 \tag{8}$$

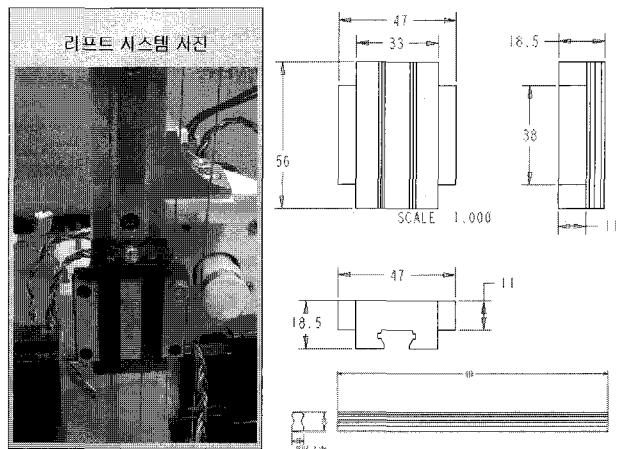


그림 8. 리프트 시스템의 설계.
Fig. 8. Design of lift system.

3. 리프팅 시스템 설계

본 논문의 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 로봇 팔이 파지한 물체 이동의 편리성 및 높은 곳으로의 이동을 위해 리프트를 설계하였다. 리프트의 설계는 LM가이드로 설계되었으며, 와이어와 모터를 이용하여 선반이 위 아래로 이동할 수 있도록 설계되었다. 리프트의 설계로 로봇 팔이 받는 하중을 줄였으며, 정밀 설계를 통해 가이드가 이동하는데 생기는 마찰력을 최소화하였다. 그림 8은 완성된 리프트 시스템 사진이다.

IV. UHMR의 제어 알고리즘

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 자율적인 휠 베이스 네비게이션을 위하여 RFID를 이용한 자기위치인식(self-localization) 시스템과 정돈 대상물체와 청소 대상물체를 구별하고 대상물체의 종류를 판단하는 물체인식 시스템을 갖고 있으며 그것들의 구체적인 알고리즘을 설명한다.

1. 물체인식 알고리즘

로봇이 탐색 중 물체를 인식하는 방법은 기존의 적외선과 초음파 센서를 이용한다. 이 센서들은 충돌방지도 이용되어지며, 감지된 물체의 중심까지 이동에 사용되어 진다. 물체의 앞까지 이동한 로봇은 선반에 RFID 리더가 부착되어 물체에 대한 정보를 확보하여 물체의 파지방법과 물체의 선적 방법을 로봇 스스로가 선택하게 된다. 이러한 무선 식별 시스템으로 기존의 물체인식 방법상의 문제점을 모두 해결할 수 있도록 설계되었다[8,11]. 그러나 RFID 시스템을 물체인식에 사용하기 위해서 물체에 붙어있는 태그와 리더의 거리가 매우 중요하다. 인식 거리가 너무 길면 여러 개의 물체가 한꺼번에 인식 될 수 있고, 너무 짧으면 물체를 놓칠 수 있으므로 거리 최적화 알고리즘이 필요하다.

현재 사용중인 RFID 리더의 안테나는 가로세로 5cm의 정사각형이며, 측정거리는 약 3cm 정도이다. 물체를 인식하는 것은 사용자가 미리 태그에 각각의 물체에 대한 정보를 입력시켜 놓았기 때문이며, 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 저장되어 있는 정보를 읽어 들여 물체를 구분하는데 사용한다.

2. 자기위치인식 알고리즘

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 탐색 및 주행시스템은 기존의 로봇들의 탐색시스템에서 문제가 되었던 자신의 절대좌표 인식을 RFID, 무선 식별 시스템을 이용하여 해결한다. 무선 식별 시스템은 기존의 탐색 시스템에서 사용되어 왔던 레이저 센서나 초음파 센서들이 가지고 있는 직시(line-of-sight) 문제에 영향을 받지 않고 전통적인 감지기술을 대체할 수 있다. 하지만 기존의 삼각측량에 방식에 이용되어진 센서와 감지된 객체 사이의 거리를 RFID에서는 사용할 수 없기 때문에 이러한 방법은 이용 할 수 없다. 실험 결과 문테카를로와 같은 통계적 필터들을 적용 하였을 때도 0.23m의 평균오차가 발생하였다[15,16] 따라서 기존의 방법이 아닌 로봇 위에 RFID 리더기(내부에 안테나 내장형)를 탑재하고 로봇이 활동하는 바닥에 좌표정보를 가지고 있는 RFID 태그를 부착하여 탐색한다. 이러한 방식에서의 에러는 오직 RFID 태그와 RFID 리더기에 존재하나, 그들의 거리 때문에는 존재하지 않는다. 그래서 매우 정확한 좌표를 로봇이 획득

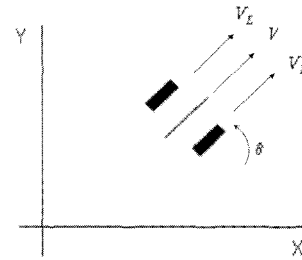


그림 9. 바퀴의 기구학적 모델
Fig. 9. Mechanical model of wheel.

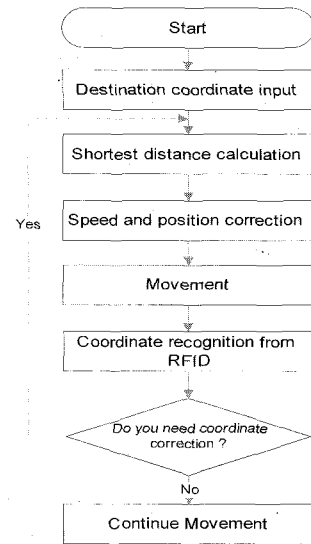


그림 10. UHMR의 주행 알고리즘.
Fig. 10. Navigation algorithm of UHMR.

독할 수 있도록 설계되었다. 이러한 설계로 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 자신의 위치를 실시간으로 갱신할 수 있다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 RFID 태그로부터 얻어진 좌표로부터 이동하려는 좌표로의 이동각도에 따른 자세 보정을 위해 기구학적 해석이 필요하며, 또한 휠 베이스 방식으로 구동을 하기 때문에 로봇의 주행을 위해서는 로봇 이동에 대한 기구학적 해석이 필요하다. 기구학적 모델은 그림 9로부터 얻을 수 있다.

위의 그림으로부터 얻어진 로봇의 선속도와 각속도는 (9)(10)(11) 와 같다.

$$V_L = r\omega_L, V_R = r\omega_R \tag{9}$$

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} = r \frac{\omega_R - \omega_L}{L} \tag{10}$$

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} = r \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \tag{11}$$

따라서 $[P_x \ P_y \ \theta]^T$ 와 $[v \ \omega]^T$ 의 관계는 (12)에서 표현된다.

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \tag{12}$$

그림 10은 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 주행 알고리즘에 대한 순서도이다.

본 논문에서는 로봇의 하단 선반에 RFID 리더기를 장착하고 탐색이 이루어지는 바닥에 좌표를 가진 RFID 태그를 부착한다. 이 정보들은 로봇이 탐색을 하거나 경로를 계산할 때 사용된다. 홈 바닥에 부착되는 태그들은 효율적인 위치정보 획득을 위하여 배열상의 최적화가 필요하다. 태그는 정사각형 모양의 타일을 기준으로 배열하며 RFID 태그를 배치하는 방법으로는 정사각형(square), 사다리꼴(parallelogram), 비틀어진 사각형(tilted square) 및 무작위(random)등이 있으며, 모든 배치는 하나의 타일 위에 4개의 태그로 구성된다. 가장 일반적인 방법은 타일 위 정방에 4개의 태그를 부착하는 방법이다. 하지만 이 방법은 로봇이 태그를 감지하지 못하고 그냥 지나칠 확률이 높기 때문에 본 논문에서는 비틀어진 사각형(tilted-square)방식의 태그 배치를 제안하며, 이 방법은 로봇이 탐색하는 동안 태그를 감지 못할 확률을 최소화 한다.

출발지에서 목적지까지 이동하는데 소요되는 시간을 순차적으로 거쳐가는 태그 사이에서의 직선 움직임과, 태그를 검출했을 경우에 새로운 직선 움직임을 준비하기 위해 필요한 자세보정 시간의 총계로 나타내었다. 이를 식으로 나타내면 (13)과 같다.

$$T(x_0, x_n) = \sum tm(x_i, x_{i+1}) + tr(x_i, x_n) \quad (13)$$

$T(x_s, x_d)$: e_i 플로어배열에서 출발점 x_s 부터 도착점 x_d 까지 네비게이션하는데 걸리는 시간

$tm(x_a, x_b)$: 특정점 x_a 부터 특정점 x_b 까지의 직선 이동 시간

$tr(x_a, x_b)$: 특정점 x_a 부터 특정점 x_b 로의 방향(자세)보정 시간

x_s 또는 x_o : 출발위치 x_d 또는 x_n 도착위치

$x_1 \dots x_{n-1}$: 이동중 검출하는 태그들의 위치

3. 정리정돈 알고리즘

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 매니플레이터는 사람의 팔과 같은 구조로 설계되었다. 한쪽 팔에 6자유도를 가지고 있어 물체를 이동하거나 움직이는데 매우 자유롭다. 매니플레이터는 실질적으로 물체를 가지고 먼 거리를 이동하지는 않는다. 로봇의 앞 부분에 장착되어진 선반까지만 물체를 이동하거나 선반에 놓여 있는 물체를 다른 곳으로 옮기기만 하면 된다. 그렇기 때문에 로봇의 매니플레이터의 모션은 크게 우유곽과 같이 높이가 있는 물체와 신문, 옷가지 등과 같이 높이가 없는 물체로 구분하여 파지 알고리즘을 전개한다.

그림 11은 정리정돈 대상 물체의 높이에 따른 로봇 팔의 제어 알고리즘에 대한 순서도이다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 인식된 물체가 높이가 있으면 로봇 팔을 수평으로 펴서 물체를 끌어 당기며, 높이가 없는 신문과 같은 물체이면 로봇 팔을 수직으로 만들어 한쪽 팔은 위에서 다른 한쪽은 아래쪽에서 물체 방향으로 움직여 물체를 잡아 선반 위에 올려 놓는다.

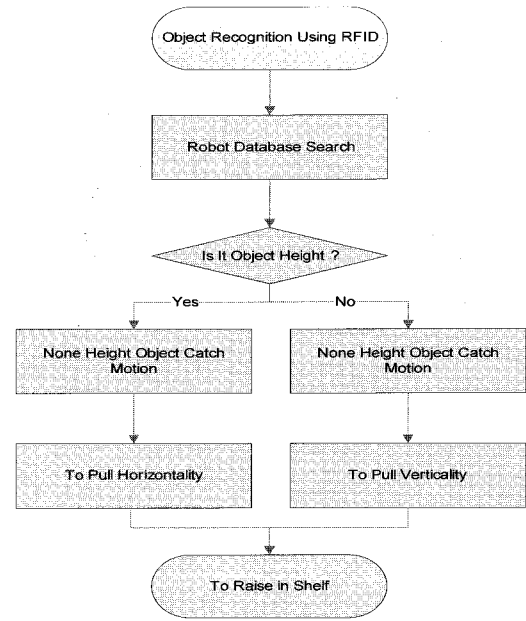


그림 11. 물체의 높이에 따른 로봇 팔의 작업 순서도.

Fig. 11. Working flowchart of robot arm.

V. 실험 및 결과

본 논문에서는 유비쿼터스 홈 환경을 만들기 위해 실험용 거실을 제작하였다. 거실의 크기는 가로세로가 1800mm인 정사각형이며, 거실의 가운데에는 높이 50mm, 길이 900mm인 장애물이 존재 한다. 그림 14는 유비쿼터스 홈 환경에서의 정리정돈 작업을 수행하는 사진이다. 바닥에 태그가 최적화로 배열되어있는 유비쿼터스 환경에서 본 논문에서 개발한 UHMR에 의하여 훌륭하게 정리정돈을 하고 있다.

그림 12에서 볼 수 있듯이 정리정돈 대상물체로는 공, 우유곽, 양말, 및 신문지 등이 놓여 있으며, 각각의 물체에는 독립된 정보를 가진 RFID 태그가 부착되어 있다. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 유비쿼터스 홈 환경(①)에서 자기 위치인식을 통하여 주행과 탐색을 하다가(②) 적외선이나 초음파 센서에 의해 물체가 감지되면(③) RFID를 이용하여 물체를 판단하여 종류에 따라 잡는 힘의 세기 및 잡는 방법을 달리하여 물체를 선반위로 옮긴다(④). 물체를 선반위로 옮긴 로봇은 감지된 물체에 따라 정리할 물체인지 쓰레기인지에 따라 로봇이 이동할 곳이 정해지고 로봇은 최단거리를 계산하여 빠르게 이동한다(⑤) 정해진 곳까지 이동한 로봇은 파지한 물체를 로봇 팔을 이용하여 정해진 곳에 내려놓는다(⑥).

그림 13은 UHMR의 구동모터의 주행 제어 결과 그래프이며, 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇이 자동탐색 중에 탐색시작 및 회전을 나타내는 속도 프로파일이다.

양쪽 바퀴가 출발하거나 정지할 때 가감속이 이루어지며, 일반적인 주행은 정속으로 이루어진다. 또한 회전시 양쪽 바퀴가 가감속 되므로 부드러운 회전을 보여준다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 탐색을 하는데 있어서 RFID 뿐만 아니라 적외선 및 초음파 센서를 이용하여 장애물에 대한 충돌 방지 및 회피, 추락 방지에 이용한다. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 RFID가 인식되지 않은 부분에서

는 dead-reckoning 방법을 사용하여 주행하며, 일단 태그가 인지되면, 로봇은 자신의 경로를 다시 정리하는 것을 볼 수 있었고 계속적인 탐색을 위해 로봇의 자세를 다시 초기화 하

는 것을 볼 수 있었다. 이 실험에서 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 탐색은 성공적이었으며, 물체 인식에 대한 정확성 역시 매우 높게 나타났다.

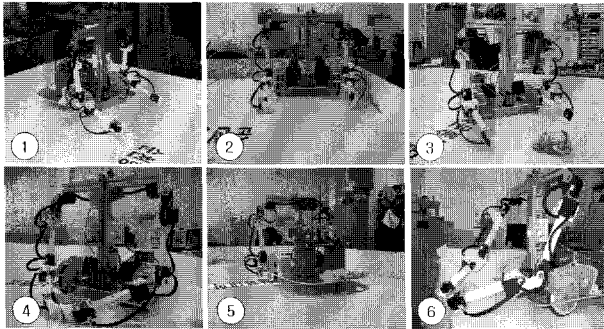


그림 12. 유비쿼터스 홈 환경에서의 정리정돈 작업.
Fig. 12. Mess-cleanup in ubiquitous room.

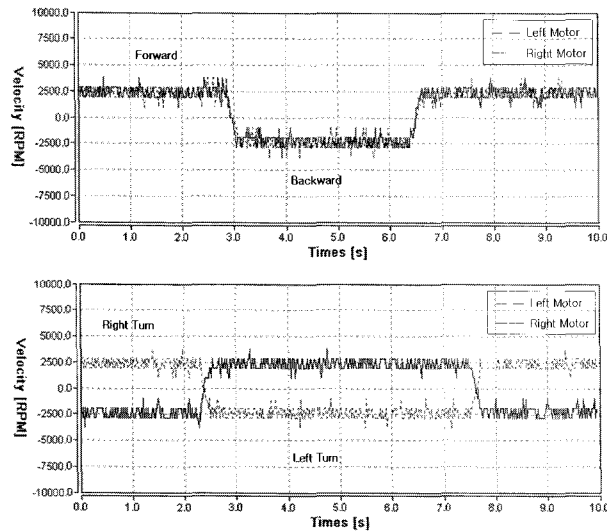


그림 13. UHMR의 주행 제어 결과.
Fig. 13. Motor control result of UHMR.

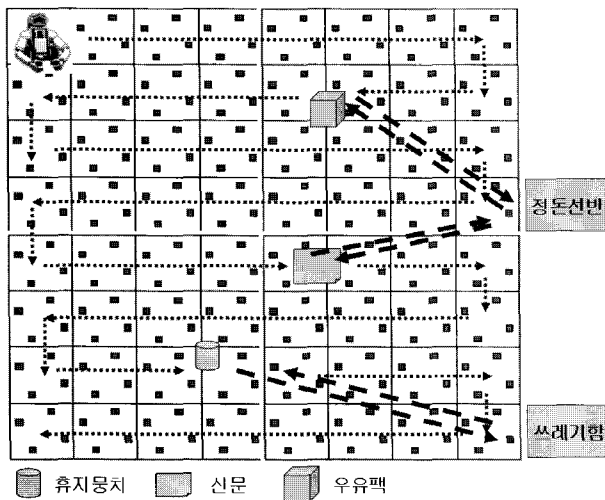


그림 14. RFID를 이용한 탐색.
Fig. 14. Navigation using RFID.

그림 14는 비틀어진 사각형(tilted-square)방식으로 RFID 태그를 배치하여 구성된 홈 환경에서 홈 메스클린업 로봇이 어떻게 작업하는 가에 대한 그림이다. 작은 점들은 RFID 태그를 나타내며, 태그는 그림에서와 같이 정사각형의 모양에 4개씩 배치되며, 물체에 따라 버리는 곳과 정리정돈 하는 곳이 정해져 있고, 여러 가지의 물체들이 놓여있다. 각각에 태그에는 로봇의 탐색을 위한 좌표를 제공하며, 또한 RFID 리더와 태그의 인식범위(reading range)는 회사 및 태그의 종류, 안테나의 종류에 따라 다르므로 사용자에게 의해 정의 되어야 한다.

그림 14는 UHMR이 정리정돈 대상물체에 따라 결정된 작업 유형을 나타내는 그림이다. 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 탐색 주행을 하다 물체가 감지되면 물체에 가까이 다가 RFID를 이용하여 물체의 종류를 파악한다.

- TASK I. 우유팩 정돈 실험: 파악한 물체가 우유팩임을 인지하고 물체를 파지한다. 우유팩의 경우 높이가 있으며, 정돈되어야 하는 물체이므로 그에 맞는 파지법과 장소를 파악하여 최단거리를 계산하여 이동한다. 이동한 뒤 물체를 정돈하고 원래 자리로 복귀하여 탐색을 다시 한다.
- TASK II. 신문지 정돈 실험: 파악한 물체가 신문지임을 인지하고 물체를 파지한다. 신문의 경우 높이가 없으며, 정돈되어야 하는 물체이므로 그에 맞는 파지법과 장소를 파악하여 최단거리를 계산하여 이동한다. 이동한 뒤 물체를 정돈하고 원래 자리로 복귀하여 탐색을 다시 한다.
- TASK III. 휴지통치 청소하기 실험: 파악한 물체가 휴지통치임을 인지하고 물체를 파지한다. 휴지통치의 경우 높이가 없으며, 정리되어야 하는 물체이므로 그에 맞는 파지법과 장소를 파악하여 최단거리를 계산하여 이동한다. 이동한 뒤 물체를 버리고 원래 자리로 복귀하여 탐색을 다시 한다.

RFID로부터 얻어진 물체정보에 따라 로봇은 팔을 움직여 물체를 파지하여 선반 위에 얻는 작업을 한다. UHMR이 물체를 파지할 때에는 크게 두 가지의 방법으로 나뉜다. 물병, 우유팩과 같이 높이가 있는 물체와 신문, 종이 등과 같이 높이가 없는 물체로 나누어 진다. 그림 15, 16은 로봇이 물체를 수평으로 당길 때와 밀어낼 때의 로봇 팔의 6개축의 변화를 나타내는 그래프 이다.

그림 15는 물체를 끌어 당기는 동작에서의 오른쪽과 왼쪽의 팔의 각축에 달려있는 모터의 각의 변화를 나타내며, 그림 16은 물체를 버리기 위해 밀어 내는 동작을 할 때의 그래프이다. 그래프에서 나타나듯이 로봇의 팔은 밀어내거나 끌어 당기는 동작에 모션의 변화가 두 번 나타난다. 로봇의 팔은 각각의 관절에 디지털 서보형 모터로 구성되어 있으며, 각각의 모터에는 위치 제어기가 내장된 마이크로 프로세서가 들어있어 각각의 모터에 각도 지령을 넘겨 주어 팔을 움직이게 된다. 각도 지령은 360에 대해 10bit(1024) 분해도를 가지게 되어, 정밀한 움직임을 보여준다. 그림 15와 16으로부터 정리정돈 과정에서 로봇 팔의 제어가 정밀하게 이루어 짐을 알 수 있다.

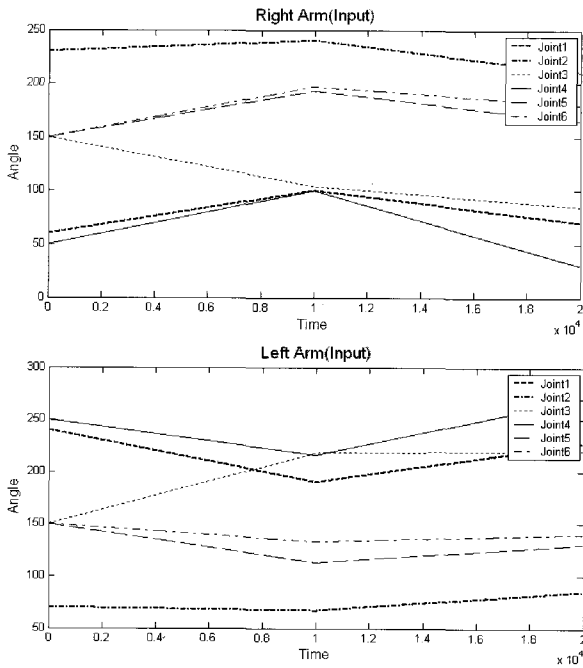


그림 15. 로봇 팔의 제어결과(object capture).

Fig. 15. Control result of robot arm(object capture).

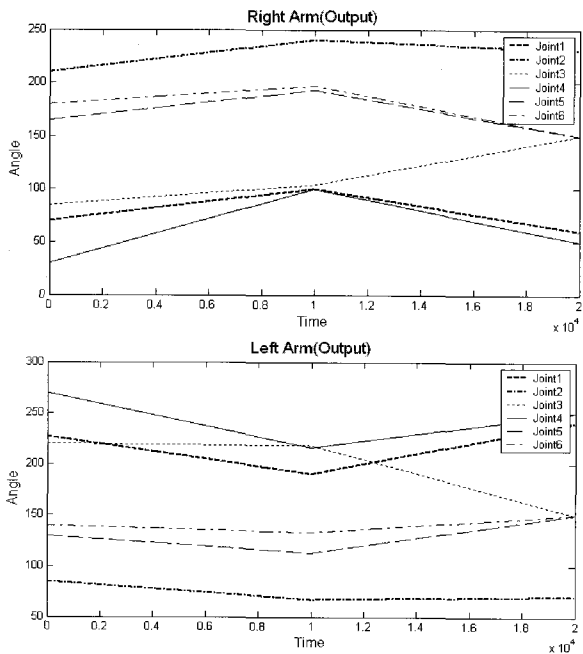


그림 16. 로봇 팔의 제어결과(object release).

Fig. 16. Control result of robot arm(object release).

VI. 결론

본 논문에서는 RFID를 이용하여 유비쿼터스 홈 환경에서, 기존의 청소 로봇이 해결하지 못하고 있는 가정에서의 정리 정돈 문제를 해결할 수 있는 자율이동로봇의 설계방법과 제어 알고리즘을 제시하였다. 또한 가정에서 로봇 스스로가 쓰레기 및 정돈할 물건을 판단하여 그것들을 정리정돈 할 수 있는 홈 메스클린업 로봇의 프로토타입을 성공적으로 개발하였다.

유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇은 기존에 문제가 되었던 물체인식이나 자기위치인식에 있어서 새로운 기술인 무선인식시스템(RFID)을 이용하여 좋은 성능과 결과를 얻었으며, 2개의 6자유도 매니플레이터를 이용하여 물체의 파지에 있어 높은 성능을 보여 주었다. 또한 정교하게 제작된 리프트 시스템은 물체를 이동할 때뿐만 아니라 높은 곳으로 이동하는 것도 가능하게 하였으며, 휠 베이스의 이동방식은 빠른 이동과 RFID태그들의 최적화 배열에 의한 유비쿼터스 홈 환경구축으로 정확한 경로주행을 실현하였다.

마지막으로 본 논문에서 설계된 유비쿼터스 홈 메스클린업 로봇의 좋은 성능은 정리정돈작업 실험 결과를 통하여 검증되었다.

참고문헌

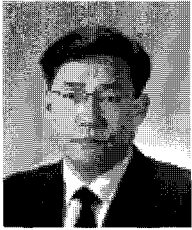
- [1] "International conference on intelligent robots and systems," *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ Maui, Hawaii, USA, Oct. 29 - Nov. 03, 2001.*
- [2] J. Funge, X. Tu, and D. Terzopoulos, *Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning and Planning for Intelligent Characters. In Proceedings of SIGGRAPH 99, 29-38.*: New York, NY. ACM SIGGRAPH, 1999.
- [3] S.-Y. Yoon, *Affective Synthetic Characters. Ph. D. diss. Department of Brain and Cognitive Sciences, Massachusetts Institute of Technology. Forthcoming, 2000.*
- [4] I. Siio, "User position detection using RFID tags," *Technical Report Proceedings of Japanese Information Processing Society, 00-HI-88, pp. 45-50, 2000.*
- [5] G. Kantor and S. Singh, "Preliminary results in range-only localization and mapping," *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Washington, DC, May, 2002.*
- [6] C. A. Breazeal (Ferrell), *motivational system for regulating human-robot interaction. In Proceedings of AAAI 98. Madison, WI, 1998.*
- [7] C. Kline, and B. Blumberg, *The Art and Science of Synthetic Character Design. Proceedings of the AISB 1999 Symposium on AI and Creativity in Entertainment and Visual Art, Edinburgh, Scotland, 1999.*
- [8] E. Paulos, and J. Canny, *Designing personal tele-embodiment. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., pp. 3173-3178, 1998.*
- [9] S. Maeyama, S. Yuta and A. Harada, *Experiments on a Remote Appreciation Robot in an Art Museum, Proceedings of IROS 2000, pp. 1008-1013, 2000.*
- [10] K. Kawamura, R. T. Pack, M. Bishay, and M. Iskarous, "Design philosophy for service robots," *Journal of Robotics and Autonomous Systems, vol. 18, pp. 109-116, 1996.*
- [11] Wijk and H. I. Christensen, "Localization and navigation of a mobile robot using natural landmarks extracted from sonar data," *Robotics and Autonomous Systems, vol. 31, pp. 31-42, 2000.*
- [12] Y. Matsumoto, K. Ikeda, M. Inaba, and H. Inoue, "Exploration and map acquisition for view-based navigation in corridor environment," *in Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics, Pittsburgh, Pennsylvania, August 29-31, pp. 341-346, 1999.*
- [13] V. D. Hardt, P. Arnould, D. Wolf, and M. Dufaut, "Method of mobile robot localisation by fusion of odometric and

magnetometric data," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 65-69, 1994.

- [14] R. Baker, *Human Navigation and the Sixth Sense*, Simon and Schuster, New York, 1981. B. J. Kuipers and Y. T. Byun, "A robot exploration and mapping strategy based on a semantic hierarchy of spatial representations," *Journal of Robotics and*

Autonomous Systems, pp. 47-63, 1991.

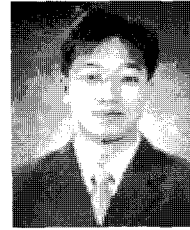
- [15] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Wiley 2003.
- [16] Shepard, Steven, *RFID : Radio Frequency Identification*, McGraw-Hill 2004.



김승우

1961년 서울 출생. 1987년 연세대 전자공학과 졸업. 1989년 동 대학원 공학석사(제어공학). 1994년 동 대학원 공학박사(로봇공학). 현재 순천향대학교 정교수. 1989년~1990년 삼성종합기술원 선임연구원(DD로봇). 1998년~1999년 Case

Western Reserve Univ. 교환교수. 2003년 일본 나고야 대학 로봇연구소 방문교수. 관심분야는 로봇제어, 퍼지제어시스템, SFFS Tech, 유비쿼터스 서비스로봇, 엔터테인먼트 로봇.



차현구

1978년 서울 출생. 2004년 2월 순천향대학교 정보기술공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사과정. 정보제어공학과 재학. 2002년 8월~2004년 3월 Wing Tech 근무(Controller 개발). 2004년 3월~2005년 8월 (주)로봇기술 연구원(Controller

개발). 관심분야는 로봇제어, 유비쿼터스 서비스로봇, 엔터테인먼트 로봇, 사출가열시스템.