스웜봇의 제작 및 시스템 제어

Swarm-bot Manufacture and System Control

정수연, 이승원, 박재선, 김동환*

(Suyeon Jeong, Seungwon Lee, Jaesun Park, and Dong Hwan Kim)

Abstract : A swarm-bot docking with two independent robots aiming at overcoming obstacles or climbing up/down stairs is introduced how it can be manufactured and controlled. Utilizing the fast mobility of the vehicle robot and cooperating between robots expands the applications of the robot. An algorithm for identifying the partner robot and its generic mechanism enabling the docking of two robots are addressed. The designed swarm-bot has advantages in terms of overcoming obstacle or stair climbing which is not easily implemented by a single robot, increasing the adaptability to the environment.

Keywords : 스웜봇, 도킹 메카니즘, 계단 승하강, 영상처리, 시스템제어

1. 서론

스웜봇(swarm-bot)은 협지 주행 및 장애물 극복에 효과적으로 대응하기 위하여 두 대 이상의 로봇을 합체(도킹) 및 분리를 자유로이 하여 이동성과 신속성을 높여 사용하는 로봇으로 정의한다. 물론 개별적으로도 로봇은 장애물 회피 및 주행 등 고유의 임무를 수행 할 수 있지만 로봇을 합체할 경우 보다 큰 협지, 장애물에 보다 효과적으로 대응할 수 있다. 이러한 목적으로 스웜봇은 사용되고 서로 기구적으로 합체함으로써 하나의 로봇으로서의 하지 못하는 일을 할 수 있는 경우가 훨씬 크다. 스웜봇은 이동로봇(mobile robot)의 이동성(mobility)과 여러 개별 로봇의 합체를 통해 보다 확장된 영역으로의 응용성을 확대한다. 개별 로봇으로는 주변의 장애물이나 극한 환경을 극복하지 못하는 취약한 면을 로봇을 합체를 통해 보다 수월하게 극복하게 하는 것이 스웜봇을 제작하는 이유이다. 따라서 스웜봇을 통해 협한 환경도 예외 없이 적절한 방향전환 및 이동속도의 보장, 장애물 회피/극복 등 이동능력을 갖추어 효과적인 작업이 가능하다. 실제 우리 주위에는 무수히 많은 장애물이 존재하며 로봇에게 있어서 단 5cm에 불과한 조그만 턱도 커다란 벽이 될 수 있음은 간과할 수 없는 사실이다. 물론 스웜봇에서는 로봇을 합체하기 위한 메커니즘의 설계 및 자기 위치 인식 및 상대방의 위치 및 방향등의 정확한 인식이 수반되어야 하는 부담이 있다.

스웜봇은 바퀴형 로봇[1-4]이 빠른 기동성 및 작은 회전반경이 요구되는 환경에 적합하나 협지나 요철 부분의 주행에는 무한궤도(caterpillar)형태의 구동 방식이 보다 적절하다. 이 논문에서 소개하는 스웜봇은 이동방법이 무한궤도방식으로 좌우 궤도 간 회전비 및 회전방향에 의해 방향전환이 가능하고 궤도의 회전에 의해 적절한 이동속도가 보장되며 협지 주행에 보다 효과적으로 작용하게 설계되어 있

다. 또한 무한궤도의 양쪽에 팔을 연결하여 무한궤도 자체를 들어 올려 계단 등에 효과적으로 주행하도록 설계되었다. 또한 이 팔을 활용하여 다양한 로봇의 변형을 통해 특수한 형태의 장애물의 극복에 활용될 수 있다. 다중 스웜봇에 대한 장애물 회피 및 상호 협조제어에 대한 연구는 시뮬레이션을 통해 최적 경로 판정 및 상호협력, 정보교환에 대한 연구가 진행되고 있다[6-8,10]. 그러나 다중 스웜봇에 대한 효과적인 실험적 결과가 아직은 발표되고 있지 못한 실정이다. 두 로봇 간의 합체를 위한 메커니즘도 단순한 그리퍼를 채용한 것이 주류를 이루고 있으며[1-5] 상호 정확한 위치 보정이나 정렬, 그리고 그리퍼를 계속 체결하여 이동할 경우 배터리 전력 소모 등의 현실적인 문제에 대한 고찰이 아직 부족한 것이 현실이다.

본 논문에서의 스웜봇은 로봇 두 대가 각기 탐사, 정찰 임무를 수행하다가 한 대의 로봇이 극복할 수 없는 장애물을 만났을 때 두 대의 로봇이 서로 도킹하여 장애물을 극복할 수 있게 제작되었다. 이는 두 대의 로봇이 빠르게 임무를 수행 할 수 있으며 한 대의 로봇일 때 불가능한 주행을 합체를 통해 효과적으로 극복할 수 있는 장점을 가지고 있다. 기존의 연구결과와 비교하여 본 논문에서 제시하는 스웜봇은 로봇의 크기는 다소 커지고 대신에 장애물 극복능력 및 구동 방식 등은 우수하게 제작되었다. 본 논문에서 적용하는 도킹방법에 있어서도 기존의 스웜봇과 차이가 있다. 기존의 제품은 그리퍼를 이용하여 상대 로봇을 잡는 것이고[1-5] 본 스웜봇은 전자석을 이용하고 상호 결합 부를 사다리꼴 형태로 제작하여 도킹을 원활하게 해주고 도킹 완료시에 솔레노이드를 이용해서 해체를 수월하게 하는 도킹 메커니즘을 가지고 있다. 또한 방안은 회전 블록을 사용하여 이를 회전시켜 고정부에 고정하는 기계적인 방법도 제시한다. 기존의 그리퍼를 이용하여 도킹하는 것은 장애물을 극복하는 과정 중에 뜻하지 않게 그리퍼가 풀릴 수도 있는 단점이 있는데 본 스웜봇에 채용한 솔레노이드 및 전자석 도킹 메커니즘이나 회전블럭 방식은 이동 중 안전하게 체결될 수 있게 설계되어 있다. 또한 체결 후 곧바로 솔레노이드부나 회전블럭 구동용 모터부의 전원을 끄으로써

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 3. 21., 채택확정 : 2006. 11. 29.

정수연, 이승원, 박재선, 김동환 : 서울산업대학교 기계설계 자동화공학부

(j801123@hanafos.com/lsw1978@korea.com/ppchunsa@passport.com/dhkim@snut.ac.kr)

이동 중 소비 전력을 절감하는데도 매우 효과적이다. 도킹을 해제 할 경우만 솔레노이드에 전류를 일시에 공급하거나 회전블럭 구동부의 전원을 공급하면 된다. 또 다른 특징은 본 스웜봇은 합체된 후 바퀴의 팔을 이용하여 4발로 구동하여 움직일 수 있는 메커니즘을 지니고 있다. 이를 통해 지면의 일정 높이의 장애물을 직접 넘지 않고 넘어 갈 수 있는 방안 및 자유로운 회전운동도 제시 할 수 있다.

계단을 오르내리기 위한 계단 로봇은 여러 유형이 발표되었으나 스웜봇을 통한 로봇간 합체를 통한 계단 승하강 로봇은 본 논문이 처음으로 소개한다. 기존 스웜봇은 주로 바퀴 구동 형으로 구성되어 계단승하강 보다는 바닥면의 요철 부를 통과하는데 목표를 두고 제작된 것이 대부분이다[1-6]. 팔을 이용한 계단 승하강용 로봇[15]의 적용을 스웜봇으로 확대한 것이 이 논문의 특징이다.

본 논문에서는 제작된 스웜봇의 기구 메커니즘의 소개와 도킹 메커니즘, 상대인식방법, 도킹과정, 계단 승/하강 시퀀스 및 로봇 간 통신방법, 주행 및 장애물 극복 알고리즘 등이 소개된다. 그리고 다양한 로봇비전 처리를 활용하여 스웜봇의 자율 주행능력을 향상 시키고 기구부의 합체 시 정확한 정렬 및 상대방 로봇의 인식에 효과적으로 대응 할 수 있도록 비전처리 알고리즘을 설계하여 적용하였다.

II. 메카니즘 설계

스웜봇의 기구 구성은 여러 기능의 수행을 고려하여 설계하였다. 첫째 구동부분에서는 각조에 두 개의 모터부로부터 무한궤도로 구동 바퀴가 연결되어 있으며 장애물 극복 및 바닥면 인식 등에 사용되는 포토센서 5개가 부착되어 있다. 동시에 무한궤도형 바퀴는 어깨 축에 연결되어 바퀴의 축이 회전하게 되어 있어 다양한 운동 재현이 가능하다. 이러한 장점으로 인하여 계단을 손쉽게 승/하강 할 수 있게 된다. 어깨 축에는 어깨 회전을 측정하는 엔코더가 부착되어 있다. 이 부분은 기존 스웜봇이 가지는 고정 형 바퀴와는 뚜렷한 차별성을 가진다.

구동 부의 기본적인 역할은 전/후진 및 방향전환이다. 적절한 속도를 보장받기 위해 높은 토크출력 모터 보다는 높은 회전수를 가지는 모터를 사용하였고 사용이 간편한 타이밍벨트를 동력전달장치로 채용했다. 방향전환은 별도의 조향장치를 설치하지 않고 좌우 궤도가 서로 다른 회전방향으로 회전 또는 좌우 궤도에 서로 다른 회전력을 부여함으로써 이루어진다.

앞/뒤 어깨 축 부분은 일종의 관절 역할을 하는 것으로 계단을 극복하는 과정에서 가장 중요한 부분이다. 어깨 축 관절을 회전하여 궤도 형 바퀴를 적절히 상하로 오르내리게 함으로서 계단 등을 올라가게 된다. 동력전달장치는 로봇이 계단을 올라가는 과정에서 발생하는 급격한 어깨축의 회전방향 변화와 모터의 큰 힘을 감안하여 체인과 스프라켓 방식을 선택했다. 즉, 모터축의 회전력을 체인과 스프라켓 구조를 통해 어깨 축에 전달하는 방식이다. 모터 축과 어깨 축은 기본적으로 수평을 유지해야 한다. 그러나 부품(어깨 축)의 정밀도가 완전하지 않고 어깨축의 급격한 회전방향변화와 모터의 큰 힘에 의해 어깨축의 휨 현상이 발생

그림 1. 스웜봇 구조의 합체후의 모습의 도면과 사진.

Fig. 1. Drawing and photo of swarm-bot mechanism after docking.

할 수 있다. 타이밍벨트 및 기어와 같은 동력전달장치 보다는 체인과 스프라켓 구조가 축간 유격과 큰 힘 전달에 유리하다. 두 개의 엔코더는 전/후방 어깨축의 회전량에 관한 정보를 얻기 위해 사용된다. 계단 모서리를 기준으로 궤도 형 바퀴를 회전시키는 요소는 회전축이고, 따라서 엔코더의 위치는 회전축에 설치되어야 함이 마땅하다. 그러나 취부의 곤란함으로 회전축을 회전시키는 역할을 하는 모터일체형을 선택하였다. 그림 1은 합체된 후의 스웜봇의 형상을 보여주고 있다. 물론 각 로봇은 개별 구동이 가능하게 되며 필요시 합체하고 평상시에는 하나의 이동로봇으로 기능을 하게 되어 있다.

다음으로 두 로봇이 결합을 하기 위한 도킹 부분으로써 전자석과 전동 실린더가 부착되어 있는 메커니즘과 회전막대를 사용하는 방안에 대해 기술한다.

1. 전자석 및 솔레노이드에 의한 체결 메커니즘

그림 2는 두 로봇이 합체되기 전의 개별 로봇의 구조를 보여주고 있고 각 로봇에 도킹을 위한 메커니즘이 소개되어 있다.

두 로봇이 상호 결합하기 위한 결합 기구는 스웜봇의 핵심으로써 두 로봇간의 결합을 위한 정렬이 준비되면 전자석에 의한 당겨지고 그 후 솔레노이드에 의해 최종 결합이 이루어진다. 사다리꼴 구조의 암수 결합부에는 결합을 보다

그림 2. 솔레노이드와 전자석에 의한 스웜봇의 합체 메커니즘.
Fig. 2. Drawing of the docking mechanism by solenoids and electric magnet.

그림 3. 솔레노이드를 사용한 합체후의 체결된 스웜봇 모습.
Fig. 3. Drawing of assembled mechanism after docking using solenoids.

용이하게 하며 전자석에 의해 로봇이 끌려오면 테이퍼 모양이 합체를 위한 가이드 역할을 하여 중심에 서로 안착되어 결합된다. 좌우의 로봇이 결합부분을 센서와 카메라 정보를 통해 인식하여 결합을 명령 받으면 두 로봇은 상호 전진하게 되고 두 로봇의 결합부가 가까워지면 전자석의 힘으로 끌려 결합하게 된다. 일단 결합 후에는 한 쪽 로봇

의 큰 반지름 값과 홀과 전동실린더의 작은 반지름 값이 달라서 솔레노이드를 강제로 분리하지 않는 한 결합이 풀리지 않는다. 이때 전자석의 전류 공급을 해제하여도 계속적으로 체결을 유지할 수 있게 되므로 도킹 중에도 전자석 및 솔레노이드에 전류 공급을 차단하여 순수하게 기계적인 접촉만이 유지되므로 로봇의 전력 소비를 최소화 하여 장시간 로봇의 운동을 가능하게 해 주게 된다. 그림 3은 도킹 결합 된 후의 모습을 보여 주고 있다.

2. 회전막대에 의한 체결 메커니즘

그림 4는 회전블록을 사용하여 체결하는 메커니즘을 보여주고 있다. 여기서는 앞에서 서술한 솔레노이드 방식에 의한 체결 방식과는 달리 회전블록을 모터로 통해 돌려서 체결하는 방식이다. 솔레노이드를 사용하여 체결하는 경우 두 로봇이 서로 비교적 정확히 정렬이 되어야하는 전제를 기반으로 이루어진다. 때때로 정확한 정렬이 이루어지지 않은 상태에서 전자석에 의해 당겨진 상태로 결합이 이루어지는 경우도 있을 수 있어 완전한 체결방식이 되지 않는 경우에는 솔레노이드의 결합이 어려울 수 있다. 이를 극복하기 위하여 두 로봇이 전자석에 의해 일차적으로 결합이 된 후 회전 막대가 회전하여 두 부분을 체결하는 구조를 제안한다. 이는 비교적 단순하게 구성되며 회전막대가 회전하는 힘의 크기를 적절히 여유 있게 하면 체결 이 비교적

그림 4. 회전 막대와 전자석에 의한 스웜봇의 합체 메커니즘.
Fig. 4. Drawing of the docking mechanism by rotating block and electric magnet.

그림 5. 합체 후의 스웜봇의 다양한 운동 재현.

Fig. 5. Various motions generation of swarm-bot after docking.

용이하게 이루어 질 수 있다. 단지 이 경우 두 로봇 간에 형성되는 홈이 비교적 정확히 맞지 않을 경우 회전블럭이 홈에 충분히 끼이지 못하는 경우가 발생 할 수 있다. 홈이 지나치게 크면 체결 후 헐거움이 발생하여 로봇 이동시 소음이 발생할 가능성이 있다. 그러나 위에서 제안한 2가지 방식 모두 기존의 그리퍼를 체결하는 방식보다는 정확도가 높고 상호 정렬을 유도하는 전자석과 결합부의 구조로 인해 결합의 성공률을 크게 높일 수 있다.

3. 합체후의 메커니즘

스웜봇이 합체 한 후 다양한 유형의 동작을 재현 할 수 있다. 이러한 기구적 특징으로 인해 계단을 보다 원활하게 승하강 할 수 있고 장애물의 회피에도 효과적으로 대응 할 수 있다. 구동 바퀴부에 부착되어 있는 팔을 이용하여 구동 바퀴를 들어 올려 4발로 주행을 할 수도 있다. 또한 자유로운 방향 전환도 가능하여 빠른 속도로 장애물을 극복하거나 회피 할 수 있다. 그림 5는 스웜봇이 재현 할 수 있는 다양한 모습을 보여준다.

III. 제어부

스웜봇의 제어구조는 전체적으로 상위제어기와 하위제어기로 구분된다. 상위제어기(Pentium-4)는 기본적으로 스웜봇의 두뇌 역할을 한다. 즉, 상위제어기에서는 스웜봇에 부착되어 있는 CCD 카메라의 영상을 RF 이미지 모듈[11]을 사용하여 영상을 전송 받은 후, 적절한 영상분석 후 블루투스(blue tooth)를 이용하여 하위제어기에 결과를 전송한다. 마이크로프로세서인 DSP[12]를 제어기로 채용한 하위제어기는 실제로 스웜봇에 부착되어 로봇을 제어하는 역할을 한다. DSP는 센서 입력을 받는 포트와 모터에 출력신호를 보내주는 포트를 활용하여 현재의 로봇의 상태, 주변의 장애물 유무 등의 정보를 획득하여 상위 제어기로 정보를 넘겨주게 된다. 이러한 정보는 데이터인 경우는 블루투스를 통하여 송수신하며 영상 정보는 RF 무선 통신 모듈을 통해 상위 제어기로 보내준다. 상위 제어기에서는 데이터 및 영상 정보를 분석하고 최종 판단에 대한 결과를 블루투스를 통하여 무선으로 DSP로 내려 보내게 된다. 영상 분석 등 빠른 연산이나 다량의 데이터 처리는 상위제어기에서 하고 받은 명령에 대한 수행이나 주변 센서 정보 등의 비교적 적은 양의 정보 처리는 하위제어기에 있는 DSP가 하게 된다. 이 DSP는 상위제어기의 영상처리 결과에 따라 명령을 지시 받고 광센서(photo sensor), 엔코더, 초음파 센서의 정보를 받아 주행모터, 축모터 등 액츄에이터를 자율적으로 제어함으로써 평지주행, 방향전환, 장애물 회피/극복 등 일

그림 6. 스웜봇의 제어기 구조.

Fig. 6. Controller structure for swarm-bot.

표 1. 상위레벨과 하위 레벨간의 통신 프로토콜.

Table 1. Communication packet between high level and low level.

S	D1	D2	D3	D4	E
---	----	----	----	----	---

련의 동작을 가능하게 한다. 그림 6은 스웜봇의 제어기의 구조를 표시하고 있다.

다음으로, 상위제어기와 하위제어기간 인터페이스는 블루투스 통해 이루어지며 RS-232 프로토콜을 사용하였다. 통신 패킷은 표 1과 같다.

여기서, S = 시작 바이트(start byte)이고 Dx는 송수신할 데이터인 데이터 바이트(data byte)이며, E는 종료바이트(end byte)를 나타낸다. 이러한 데이터 패킷은 송수신 데이터의 손실이나 오류를 최소화하는 것으로 실험적으로 검증되었다.

IV. 도킹 및 계단 승하강을 위한 영상처리 및 알고리즘

스웜봇에서 합체를 하기 위해서는 상대방의 표적물을 정확히 인식해야한다. 이를 위해서 로봇 비전과 각 센서의 정보를 통합하여 판단하여야 한다. 우선 로봇의 합체과정을 설명하고 그 후 계단 승하강을 위한 영상처리 및 알고리즘에 대해 기술한다. 스웜봇의 장애물 극복은 합체를 통하여 이루어지기도 하고 경우에 따라서는 합체 없이 단독으로 행해진다. 그림 7은 스웜봇의 장애물 및 계단 승/하강을 위한 흐름도를 보여준다.

1. 스웜봇의 합체 인식 및 합체 과정

두 로봇의 합체를 위해서 하나의 로봇에 설치된 두 개의 표적을 사용한다. 두 개의 표적을 빨간색 계열의 표적을 이용하여 색깔 데이터만으로는 주변의 노이즈 영향을 받을 수 있기 때문에 사각형의 형상을 인식하는 알고리즘을 더하여 영상 데이터의 신뢰도를 높인다. 표적의 획득은 빨간 계열의 값을 주위환경(빛의 강도)을 고려한 임계치를 기준으로 하여 우선 우리가 원하는 빨간 계열의 데이터를 찾게 된다. 로봇은 기구적으로 좌우로는 움직이지만 상하로는 합체하기 이전에는 움직임이 없기 때문에 두 개의 표적물을 상하 두 영역으로 구역을 나누어 설치하여 추적을 가능하게 한다(그림 8).

그림 7. 스웜봇에서 주행 및 장애물 회피의 흐름도.

Fig. 7. Flow chart for moving or avoiding obstacles in a swarm-bot.

그림 8. 스웜봇에 설치된 표적.

Fig. 8. Installed targets on swarm-bot.

로봇합체를 위한 인식의 1단계는 상대 로봇 (2호기로 명명) 중심 상단부에 반지름과 높이가 같은 실린더 모양의 표적을 달아서 본 로봇 (1호기로 명명)이 사방 어디에서 보아도 정사각형의 형상을 추적하도록 한다. 이 실린더 모양 표적을 찾게 되면 스웜봇 1호기는 2호기의 중심을 향하게 된다. 2단계로는 스웜봇 2호기 중심 하단부에 표적을 달아 스웜봇 1호기의 추적구역으로 표적이 들어오도록 제자리에서 회전하여 1호기가 표적을 추적할 수 있도록 자세를 보정한다. 3단계는 위의 단계를 모두 완료하면 1호기는 2호기에 접근하면서 합체를 시도하게 된다. 접근하는 중에도 표적이 화면 중심에 위치하도록 좌우로 움직이며 제어하면서 합체를 위해 설계된 기구 메커니즘을 통해 합체를 완료한다.

그림 8을 보면 빨간색을 사각형으로 두 개 만들어 놓은 부분이 보인다. 이것은 앞서 언급한 바와 같이 두 대의 스웜봇이 도킹을 하기 위해 만들어 놓은 표적이다. 위 표적은 상대 로봇이 기준으로 삼는 등대와 같은 역할을 하게 된다. 이 표적은 로봇의 중심에 위치해 있고 높이와 지름이 같기

때문에 사방 어디서 보아도 정사각형의 모양을 보여준다. 정사각형의 형상을 만들어준 이유는 빨간색만으로 중심을 찾을 때 주변에 빨간 계열의 색을 띄는 물체가 있게 되면 로봇의 중심을 찾는데 확률이 매우 낮아지는 것을 방지하기 위함이다. 그리하여 색깔 추적 알고리즘에 형상을 인식할 수 있는 알고리즘을 추가하여 상대방 로봇과의 결합을 위한 중심을 찾을 수 있는 정확도를 높였다.

다음은 위 표적을 찾아내는 알고리즘이다. 우선 사각형 표적박스로 잡힌 픽셀의 개수를 판별한다. 오차를 감안하여 픽셀의 수가 기준 값의 80% 이상이면 사각형으로 판별하고 동시에 영상에 잡힌 이미지의 모양이 사각형에 근사할 때 최종 표적으로 인식한다. 기준 값의 80%를 판단 기준으로 삼은 이유는 카메라로 들어오는 영상이 사람이 보는 것과는 다르게 왜곡되어 들어오기 때문에 100%는 이론상으로만 가능할 뿐 실제로는 이런 데이터를 얻을 수 없기 때문이다. 이 후 정사각형을 판별하기 위한 프로그램이 수행되며 정사각형도 카메라의 왜곡 때문에 정확한 값을 비교할 수 없다. 그래서 정사각형을 판별하는데 있어서도 오차를 고려하여 일정분의 여유를 두어 처리한다. 다음으로 사각형 표적의 좌표 값을 비교하여 표적의 중심이 영상화면의 중심을 향하도록 한다. 그렇게 함으로써 추적하는 로봇이 표적을 가지고 있는 로봇의 중심을 향하도록 한다.

하단 부 표적도 마찬가지로 상단부의 알고리즘이 똑같이 적용된다. 상단부의 표적과 하단부의 표적이 화면의 중심으로 일치되면 표적을 보고 있는 로봇이 전자석을 켜고 전진하여 표적을 달고 있는 로봇과 도킹을 하게 된다. 중간에 전진을 하면서 상단의 표적과 하단의 표적이 중심에서 벗어났을 경우에도 다시 중심을 향하도록 자세를 수정하면서 전진하게 된다.

2. 계단 인식

계단인식에는 그레이 스케일(gray scale)의 이미지의 데이터로 0부터 255 사이의 값으로 표현되는 정보를 활용한다. 영상을 효율적으로 처리하기 위해서는 배경과 물체를 구분해 주어야 한다. 물체는 윤곽선을 가지게 되며 물체와 배경 사이에는 명도 값 차이에 의해 구분이 나타난다. 첫 과정으로 블러링[13] 마스크를 사용하여 잡음 등의 노이즈를 걸러낸다. 그러나 마스크는 한 프레임(frame)을 입력받아 모두 연산해야 하므로 계산되는 양이 많아져 실시간 영상처리에 적합하지 않았다. 따라서 이진 영상으로 바꾸어 두 개의 임계값을 잡아주어 실제 영상 데이터가 손상되지 않도록 노이즈를 제거하여 영상데이터를 최대한 보존한다. 그러나 조명이나 장소 등 환경적 요인에 많은 영향을 받게 되어 임계값이 항상 변화하는 어려움이 따르게 되었다. 따라서 임계값을 환경에 따라 적절하게 변화시킬 수 있도록 임계값을 사용자가 자유로이 변화시키도록 프로그램을 설계했다.

다음으로 임계값에 의해 이진화된 영상을 라벨링[14](labeling)을 한다. 라벨링을 하게 되면 서로 인접되어 있는 물체의 픽셀 값을 모두 읽어 들이므로 물체의 크기와 모양의 정보를 얻게 된다. 라벨링 하는 과정에서 잡고자 하는 물체의 중심 값을 읽어 들여서 중심점에서부터 라벨링을 시작하여 물체의 밖의 노이즈를 한번 더 걸러내는 효과를

낼 수 있다.

영상 이미지에서 물체(object)는 모든 외곽선이 연결되어 있는 다각형으로 고려된다. 나타나는 픽셀로부터 전체 이미지 안에서 물체가 차지하는 넓이를 구하고 해당 물체의 중심점도 구하게 된다. 중심점으로부터 오른쪽 외곽선과 왼쪽 외곽선을 얻고 물체의 위쪽 외곽선과 아래쪽 외곽선을 구한다. 위쪽과 아래쪽 외곽선의 거리를 측정하면 해당물체의 대략적인 높이가 되므로 로봇이 극복이 가능할 수 있는지를 가능할 수 있다. 단 화면상의 픽셀은 로봇과 물체간의 거리에 따라 달라지므로 로봇 전면부에 장착되어 있는 초음파 센서로부터 거리 값을 입력받는다. 로봇의 전진속도를 감안하여 70cm부터 로봇의 구동 속도를 감속하고 영상처리를 시작한다. 대신 물체에 로봇이 다가갈수록 조명에 따라 물체가 왜곡되어 보여 진다. 그래서 로봇의 최소 반경을 고려하여 50cm까지만 영상 데이터를 받아 처리했다.

계단에서는 물체가 두 개 이상인 동시에 첫 번째 난간과 두 번째 난간 사이에 명도가 급격히 달라지는 부분이 발생하게 된다(그림 9).

이와 같이 명도의 변화량이 큰 값이 x 축으로 연속적으로 나타나면 계단일 가능성이 높아지게 되고 계단임을 확신하기 위해 다음의 검증과정을 더 거친다. 이진화한 영상으로 판단할 경우 모서리 선의 특징으로는 그림 10을 고찰해 보면 아래의 조건에 부합되면 계단으로 우선 인식되기에 충분하다.

- i) 검은색 점(0)들의 연속으로서 인접한 검은색 점이 바로 옆 혹은 바로 옆의 위(또는 아래)에 위치할 경우

그림 9. 계단에 대한 원 영상과 이진화 영상.
Fig. 9. Original image and binary image for stair.

그림 10. 이진화 데이터에 의한 계단선 정보.
Fig. 10. Stair line information by binary data arrangement.

- ii) 카메라가 위치하는 방향에 따라 선 데이터가 좌우로 경사지거나 일직선으로 나열된다. 그러나 카메라 왜곡으로 전반적으로 선(line)은 좌우 양 끝에서 구부러진 형상을 가진다.
- iii) 선의 두께는 대략 거리에 따라 2~7 픽셀 정도이고 선의 길이는 50 픽셀 이상임.

계단 인식의 확률을 높이기 위해 다음의 알고리즘을 추가한다. 그림 11의 영상을 보면 크게 세 개의 물체로 나뉘음을 알 수가 있다. 높이가 낮은 두 개 이상의 물체가 존재할 때와 구별을 위하여 첫 번째와 두 번째 물체의 y 좌표가 가까이 존재한다.

그림 11을 보면 계단에 대해서 두 물체가 잡혔음을 알 수가 있다. 초록색은 물체 1에 해당되고 빨간 선은 물체 2이다. 위의 그림은 두 물체의 y 변화량이 x에 비해 많다. 이러한 사실로부터 본 이미지는 두 개의 다른 물체가 있는

그림 11. 로봇 비전에 의한 계단 이미지 인식.
Fig. 11. Stair image recognition by robot vision.

그림 12. 스웜봇 운용 프로그램.

Fig. 12. Operational program for swarm-bot.

것이 아니고 단계적으로 변하는 계단으로 판단한다. 일단 계단으로 인식될 경우 DSP에서는 계단 승/하강의 알고리즘이 작동되게 된다. 만약 두 개의 다른 물체라고 판단되면 스웜봇은 장애물로 인식하여 우회하여 돌아가게 된다. 상세한 계단 승/하강 알고리즘은 다음 장에서 서술한다.

화상처리를 위한 운영 프로그램의 구조는 그림 12에서 제시된다. 여기서 ①은 원래 화면을 모니터링 하는 창이고 ②는 영상처리 후 화면을 나타내며 ③은 라벨링 후에 잡혀진 물체의 정보 표시창이고 ④는 물체간의 거리와 초음파 거리 표시 창이다. 다음으로 ⑤는 명령 버튼과 동적 임계값 입력부분을 표시하고 ⑥은 수동 조절 부분이며 ⑦은 DSP 마이크로 컨트롤러와 통신 설정을 하는 부분이며 ⑧은 상태창으로써 통신내용을 보여준다.

V. 스웜봇의 도킹 및 계단 승/하강 실현

앞 절에서 서술한바와 같은 영상인식과 여러 센서의 통합에 의하여 물체와 계단을 스웜봇이 인지한 후 상호 합체(도킹)를 하고 계단을 오르내리는 동작을 수행한다. 여기서는 합체하는 과정과(그림 13) 계단 승/하강을 하는 과정을 실현하는 모습을 사진으로 보여 준다(그림 14).

1. 결합(도킹) 동작

그림 13에서 두 로봇이 합체하는 과정을 스냅사진으로 찍어 각 시퀀스를 보여주고 있다. 각 시퀀스별 동작은 다음과 같다.

(a)최초 도킹명령 신호 (b)빨간색의 정해진 사각형을 찾기 위해 두 대의 로봇이 서로 회전 (c)빨간색의 사각형을 찾은 후 정해놓은 픽셀 값을 맞추기 위해 서로 자세 교정 (d)빨간색의 사각형을 보고 전진 이때 전자석 작동 (e)가까이 다가 왔을 때 앞 로봇을 전자석이 끌어당기는 모습 (f)도킹 후 앞바퀴의 다리를 펴는 모습 (g)도킹 후 뒷바퀴의 다리를 펴는 모습 (h)도킹 후 앞, 뒷바퀴의 다리를 다 편 상태.

2. 계단 승하강 동작

그림 14에서는 스웜봇이 합체 후 계단을 상승하는 과정을 보여주고 있다. 각 단계별 내용은 다음과 같다. 하강은

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

그림 13. 스웜봇의 합체 과정 순서.

Fig. 13. Docking sequences for a swarm-bot.

상승과 유사하기에 설명을 생략한다.

(a)계단을 오르기 위한 안정적인 엔코더 값 확보, 앞 축 모터 상승(lift-up), 구동 모터 정지 (b)앞 계단에 걸칠 수 있도록 앞바퀴 하강(lift-down) (c)첫 계단을 오르기 위한 뒷바퀴 하강 (d)앞 포토센서 감지(on)될 때까지 전진 후 앞바퀴 상승 (e)앞 바퀴가 두 번째 계단에 걸칠 수 있도록 전진 후 앞바퀴 하강 (f)뒷바퀴가 첫 번째 계단에 걸칠 수 있도록 전진 후 뒷바퀴 하강 (g)앞바퀴의 포토센서가 감지될 때까지 전진 후 앞바퀴 상승 (h)앞바퀴가 세 번째 계단에 기댈 수 있을 때까지 전진 후 뒷바퀴 상승 (i)앞바퀴가 계단에 걸칠 수 있도록 하강 (j)뒷 바퀴가 두 번째 계단에 닿을 때까지 전진 후 하강 (k)뒤 바퀴의 포토센서가 감지될 때까지 전진 후 뒷바퀴 상승 (l)앞으로 전진 하면서 자세교정(계단 오르기 성공)

그림 14. 스웜봇의 계단 승강과정 순서.

Fig. 14. Stair climbing up sequences for swarm-bot.

VI. 실험결과

제작된 스웜봇을 대상으로 합체를 하는데 소요되는 시간은 합체 명령을 받은 후 약 30여초가 소요되며 계산 승/하강의 시간을 측정한 결과 3개의 단으로 구성된 계단 승강에는 약 2분 정도 소요되었다. 두 가지 메커니즘을 모두 적용한 결과 소요시간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 주위에 표적과 유사한 물체가 존재하지 않는 경우는 표적 인식에 다소 시간이 덜 소요됨을 확인 하였다. 물론 모터의 속도를 빠르게 지정하면 이 시간은 더 단축되기도 한다. 합체 시 두 로봇간의 표적 인식의 시간을 줄이는 것이 최고의 관건이며 일단 표적이 인식되면 두 로봇은 빠르게 이동한다. 이동 중에도 지속적으로 표적의 변화를 주시하기에 두 로봇은 미세한 조정동작을 지속한다. 약 3mm 이내로 접근하면 전자석에 의해 쉽게 합체가 되는 것을 확인 할 수 있었다. 일단 합체가 시작되면 전자석과 테이퍼 진 합체 구조에 의해 손쉽게 부착이 된다. 기존의 연구에서는 합체 시간 및 인식 시간에 대한 실험적 결과는 발표되어 있지 않고 다만 빠른 시간 안에 합체가 된다는 전제를 두고 집단 인식, 공동 작업 등의 효율성에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 그러나 실험적으로 고찰한 결과 합체의 시간 및 상대 로봇의 정확한 인식 등이 스웜봇에서 상당히 중요함을 알 수 있었다. 현재 연구에서는 두 대의 로봇만을 대상으로 하여 합체를 했으나 추후 3대 이상의 로봇을 대상으로 합체를 수행할 예정이다. 물론 이 경우는 표적의 모양, 추적 알고리즘, 자기 위치 확인 등 보다 복잡한 알고리즘의 개발이 요구된다. 일단 두 대의 로봇 간 합체는 다중 로봇의 합체에 필요한 방안 등을 제시하는데 기준이 된다.

계단 승강 시에는 계단의 정확한 인식이 절대 중요하며 본 논문에서는 앞 장에서 서술된 계단 인식 알고리즘이 상당히 효과적임을 확인하였다. 여러 번 시험한 결과 계단 인식률은 90%에 이르고 계단 인식이 완전하면 승강의 시퀀스와 각 센서의 정보를 활용하여 계단 승강 또는 하강에는 별 문제가 없었다. 단지 계단의 상태가 미끄러운 경우 정해진 시퀀스에 의한 동작 시 계단에서 이탈하는 경우도 발생했다. 여러 유형의 계단에 대해서 자율적으로 동작하기 위해서는 보다 엄밀한 센서 융합 알고리즘이 요구된다. 계단 하강 시는 상승시의 알고리즘과는 달리 보다 엄정하게 처리되어야 한다. 내리막에서는 미끄러질 확률이 더 크므로 보다 보수적으로 각 시퀀스의 동작의 폭을 운용해야 한다. 목표물 인식에 소요되는 시간 역시 30여초 내외로 되어 있어 실제 적용하기에는 큰 무리는 없다. 이 시간을 줄이기 위해서는 보다 빠른 인식 알고리즘이 적용되어야 하고 보다 빠른 속도로 접근하는 것이 필요하다. 스웜봇이 일단 목표물을 인식하여 상호 접근하는 경우 계속해서 목표점의 인식이 이루어져야한다. 이동 중 목표가 일시적으로 화면에서 다소 이탈되는 경우도 발생한다. 5cm 이내로 접근하면 합체 모드로 전환되어 두 로봇은 상호 합체가 이루어 진다. 합체 시에도 합체 부분에 있는 센서를 통해 지속적인 위치 보정을 하게 되어 있으므로 최종 합체 완료시까지의 약 30여초가 소요됨을 알 수 있었다. 표 2는 평균적으로 소요되는 목표물 인식 시간과 합체에 소요되는 시간을 측정한 결

표 2. 스웜봇 실험결과 데이터.

Table 2. Experimental results data for swarm-bot.

	평균 소요시간	성공률	실험회수
목표물 인식	20초	90%	20회
도킹 (솔레노이드 방식)	10초	95%	20회
도킹 (회전블럭 방식)	8초	98%	20회
계단 승강	120초	80%	20회

과이다. 기존 계단 로봇에서는 무한궤도를 채용한 바퀴의 회전과 지면과의 마찰을 적절히 극복하면서 계단 승/하강을 하지만 본 논문에서 채용하는 방식은 무한궤도가 회전을 하는 동시에 팔을 활용하여 무한궤도 자체를 회전시키기 때문에 보다 넓은 작업 영역을 확보 할 수 있다. 특히 계단의 높이가 설계된 궤도의 폭보다 작은 경우는 로봇의 몸체를 계단 경사에 관계없이 수평으로 유지 할 수 있는 장점이 있다. 즉 계단 승/하강 시 무한궤도 자체를 팔로 회전시킴으로써 로봇 몸체의 수평 유지가 가능하게 된다. 일반 무한궤도형의 계단 로봇은 계산 승/하강 시 몸체의 기울기가 계단과 거의 같은 각도를 유지 할 수밖에 없는 한계가 있다. 이와 달리 본 스웜봇은 계단 승/하강 시에도 로봇 몸체를 수평을 유지하면서 움직임으로써 경사지나 험지에서 수평 유지 장치로서의 활용도 가능할 것이다. 표 2는 여러 실험을 통해 획득한 실험 결과이다. 이를 통해 알 수 있듯이 스웜봇은 성능이 만족할 만한 것으로 판정되었으며 보다 세밀한 보정과 수정을 통해서 성능을 향상 시킬 것으로 기대된다.

VII. 결론

스웜봇은 다중 로봇이 합치하거나 분리하여 주어진 명령을 수행하게 되어 있으며 본 논문에서는 두 로봇이 합체하여 험지나 계단 등을 보다 수월하게 극복하는 스웜봇을 제작하고 그 성능을 평가하였다. 두 로봇이 합체를 위해서는 특별한 메커니즘의 설계가 요구된다. 여기서는 기존의 단순한 그리퍼에 의한 파지 방식에 의한 합체 메커니즘을 개선하기 위하여 전자석과 솔레노이드를 사용한 메커니즘과 전자석과 회전블럭을 사용한 두 가지 방식을 소개하고 이의 효용성을 실험을 통해 검증 하였다. 특히 두 로봇의 원활한 정렬을 위한 사다리꼴 암수 형태의 기계적 메커니즘과 로봇이 이를 찾기 위한 비전처리 및 센서 융합 기술 등을 적용하였다. 기존의 그리퍼 형 합체 메커니즘은 합체의 정밀도가 떨어지므로 합체 시 요하는 시간이 많이 소요되는 단점이 있고 합체 후에도 그리퍼 구동 모터에 전력을 공급해야 하는 문제가 있다. 이 문제들은 본 논문에서 제안한 메커니즘을 통해 개선될 수 있음을 확인 하였다. 무한궤도 바퀴축이 팔을 이용하여 회전을 하게 함으로써 계단 등을 오르내릴 수 있고 다양한 형태의 동작의 구현도 가능하다. 예로 스웜봇이 네발로 걷는 동작도 가능하고 몸체를 자유로이 상하로 이동시켜 운동의 자유도를 확대하는 것도 가능 하

였다. 또한 합체된 스웜봇은 계단 승/하강시 낮은 계단의 경우 로봇 몸체를 수평으로 유지 하면서 승/하강을 할 수 있다.

스웜봇을 합치하기 위한 도킹 메커니즘, 표적 인식과 결합 알고리즘은 그 성공률이 높았고 합치 후 계단을 승/하강하는데도 효과적으로 작용하였다. 아울러 본 논문에서는 상대로봇을 인식하는 센서 융합기술, 로봇을 제어하는 제어 기술 및 운영 알고리즘 등 전반적인 시스템 기술이 동반되었다. 본 결과를 통해 개선하거나 보완 할 사항으로는 주변에 상대 로봇을 인식하기 위해 설치한 표적과 유사 환경이 있을 경우 로봇의 카메라 정보에 의한 인식의 불분명함으로 인식에 오류가 발생할 가능성이 있거나 시간이 많이 걸리는 문제이다. 보다 엄밀한 비전인식 알고리즘의 개발이 요구된다. 그리고 계단 승/하강에서는 계단의 크기가 일정하지 않을 경우 안전한 승/하강을 보장하기 위하여 보다 정교한 비전 및 센서 통합 알고리즘의 개발이 전제 되어야 한다. 즉 계단의 폭, 높낮이 정보를 정확히 인식하는 비전처리 기술이 수반되고 이를 통해 각 동작별 운동의 범위 등이 정해져야 한다.

추후 두 가지 로봇만의 합체에 의한 스웜봇이 아니라 다 개체로 로봇을 제작하여 자신 및 상대 로봇의 정확한 위치 및 동작 인식 등을 명확히 하여 스웜봇의 적용범위를 확대해 갈 계획이다.

참고문헌

- [1] F. Mondada, A. Guignard, A. Colot, D. Floreano, J.-L. Deneubourg, L. M. Gambardella, and S. Nolfi, "MSWARM-BOT: A new concept of robust all-terrain mobile robotic system," *Technical report, LSA2-I2S-STI, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland*, March 2002.
- [2] F. Mondada, M. Bonani, S. Magnenat, A. Guignard, D. Floreano, I. F. Groen, N. Amato, A. Bonarini, E. Yoshida, and B. K. editors, "Physical connections and cooperation in swarm robotics," *Proceedings of the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS8)*, Amsterdam, NL, pp. 53-60, March 10-14, 2004.
- [3] E. Sahin, T. H. Labella, V. Trianni, J.-L. Deneubourg, P. Rasse, D. Floreano, L. M. Gambardella, F. Mondada, S. Nolfi, M. Dorigo, In A. El Kamel, K. Mellouli, and P. Borne, "SWARM-BOT: Pattern formation in a swarm of self-assembling mobile robots," *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Hammamet, Tunisia, Piscataway, NJ, October 6-9, 2002.
- [4] F. Mondada, L. M. Gambardella, D. Floreano, S. Nolfi, J.-L. Deneubourg, and M. Dorigo, "SWARM-BOTS: Physical interactions in collective robotics," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 12, pp. 21-28, 2005.
- [5] F. Mondada, M. Bonani, S. Magnenat, A. Guignard, and

- D. Floreano, "Physical connections and cooperation in swarm robotics," *Proceedings of the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS8)*, Amsterdam, NL, pp. 53-60, March 10-14, 2004.
- [6] G. C. Pettinaro, L. M. Gambardella, and A. Ramirez-Serrano, "Adaptive distributed fetching and retrieval of goods by a swarm-bot," *12th International Conference on Advanced Robotics*, pp. 825- 832, July 18-20, 2005.
- [7] A. Farinelli, L. Iocchi, and D. Nardi, "Multirobot Systems: a classification focused on coordination," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol. 34, no. 5, pp. 2015-2028, 2004.
- [8] M. J. Mataric, "Using communication to reduce locally in distributed multi-agent learning," *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, vol. 10, no. 3, pp. 357-369, 1998.
- [9] F. Mondada, A. Guignard, M. Bonani, D. Bar, M. Lauria, and D. Floreano, "SWARM-BOT: from concept to implementation," *Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, pp. 1626-1631, 2003.
- [10] E. Sahin, T. H. Labella, V. Trianni, J.-L. Deneubourg, P. Rasse, D. Floreano, L. Gambardella, F. Mondada, S. Nolfi, and M. Dorigo, "SWARM-BOT: pattern formation in a swarm of self-assembling mobile robots," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 4, pp. 6, Oct. 2002.
- [11] RF Image Receiver Rx-2400 User Guide 2005.
- [12] 김도윤 "예제로 배우는 제어용 DSP" 성안당, 2003.
- [13] 정성환, 이문호 "C를 이용한 영상처리 이해와 활용" 영한 출판사.
- [14] 강동중, 하정은 "Visual C++를 이용한 디지털 영상처리" 사이텍 미디어.
- [15] 홍영호, 김동환, 임충혁, "자율주행형 계단 승하강 로봇 시스템 설계," 제어 · 자동화 · 시스템 공학회지, vol. 9, no. 1, pp. 73-81, 2003. 1.

정 수 연

2006년 서울산업대 기계설계 · 자동화 공학과 졸업. 2006년~현재 동 대학원 석사. 관심분야는 지능제어, 이동로봇, 메카트로닉스.

이 승 원

2006년 서울산업대 기계설계 · 자동화 공학과 졸업. 2006년~현재 고려대학교 기계공학과 석사. 관심분야는 지능제어 및 응용, 모델링.

박 재 선

2006년 서울산업대 기계설계 · 자동화 공학과 졸업. 2006년~현재 (주)DIT 근무. 관심분야는 지능제어, 인공지능, 메카트로닉스.

김 동 환

1986년 서울대 기계설계학과 졸업. 1988년 동 대학원 석사졸업. 1995년 Georgia Institute of Technology 대학 박사. 현재 서울산업대학교 기계설계 자동화 공학부 부교수. 관심분야는 메카트로닉스, 로봇틱스.