

휴머노이드와 모바일 로봇의 협조작업을 위한 진화적 동작 생성

Evolutionary Generation of the Motions for Cooperative Work between Humanoid and Mobile Robot

장재영, 서기성*

(Jae Young Jang and Kisung Seo)

Abstract: In this paper, a prototype of cooperative work model for multi-robots system is introduced and the evolutionary approach is applied to generate the motions for the cooperative works of multi-robots system using genetic algorithm. The cooperative tasks can be performed by a humanoid robot and a mobile robot to deliver objects from shelves. Generation of the humanoid motions such as pick up, rotation, and place operation for the cooperative works are evolved. Modeling and computer simulation for the cooperative robots system are executed in Webots environments. Experimental results show the feasible and reasonable solutions for humanoid cooperative tasks are obtained.

Keywords: cooperative work, humanoid, mobile robot, genetic algorithm

I. 서론

복수개의 로봇으로 구성된 다중 개체 환경에서의 자율적이고 분산된 행동양식의 제어문제는 개별 로봇의 제어뿐 아니라 군집 행동 그리고 로봇간의 협조 작업등 다양한 도전적 문제를 포함한다[1-6]. 특히, 개별 개체 로봇만으로는 불가능 하거나, 효율이 떨어지는 경우, 협조작업의 필요성은 더욱 높아진다.

협조작업을 위해서는 로봇이 작업 환경과 물체등을 인식하여 적절한 작업을 수행해야 하며, 장애물 및 다른 로봇과의 충돌 회피, 그리고 협조작업에 대한 분할 수행과 이에 필요한 통신 기능등이 요구된다.

협조작업은 다시 동종(homogeneous) 로봇들로 이루어진 경우와 이종(heterogeneous) 로봇들로 구성된 경우로 구분된다. 동종로봇 협조작업의 예로는 특정 공간을 몇 대의 로봇이 분할하여 탐색작업을 한다거나[1-3], 로봇축구와 같이 게임을 위한 공동 전략 수행[4], 두 대의 매니플레이터가 제품을 조립 또는 분해하는 작업[5], 그리고 두 대의 휴머노이드 로봇이 협력해서 물체를 운반하는 작업등이 있다[6].

자연계의 군집은 동종(homogeneous)으로 구성된 집단보다는 이종(heterogeneous)이 같은 환경에 존재하고 있는 것처럼, 로봇 응용 분야에 있어서도 이종 로봇 환경에 대한 연구가 향후 중요한 과제로 떠오를 전망이다.

각 로봇들이 동일 기능을 가지며 서로 유사한 작업(예로, 좌우 형태만 다른 작업, 역할만 다르고 실제 작업 행위는 거의 동일)을 수행하는 동종 로봇과는 달리, 이종 로봇의 경우는 각 로봇의 기능과 역할이 상이하므로, 훨씬 더 복잡한 행동 양식과 이에 따른 제어 문제를 포함한다. 최근 들어서야 관련 연구가 진행중이며, 사람과 서로 다른 4가지 종류의 로봇과의 상호작용을 지식베이스 기반 S/W 플랫폼

으로 구현한 연구[7]와 크기가 다른 휴머노이드 로봇 팀을 협조 제어하는 시도[8]등이 있으나 아직까지 정형화된 기준 모델이나 역할 분담, 그리고 협조제어에 대한 프로토타입이나 방법론등이 부재한 형편이다.

휴머노이드 로봇은 다리로 걷거나, 팔을 이용하여 물체를 운반하는 기능을 수행할 수 있는 반면, 바퀴형 모바일 로봇은 평지를 빠른 속도로 안정되게 이동할 수 있는 장점이 있다. 따라서 이 두가지 형태의 로봇의 장점을 활용한 협조작업 구성은 향후 널리 시도될 것으로 예측된다.

본 연구에서는 휴머노이드와 바퀴형 모바일 로봇으로 구성된 이종 로봇 환경에서, 물체의 출고와 운반을 로봇간의 협조로 수행하는 모델을 구성하고, 시뮬레이션을 수행한다. 전체 작업의 흐름과 모바일 로봇과 휴머노이드 로봇간의 상호 통신등은 알고리즘적으로 접근하며, 상대적으로 복잡하고 어려운 휴머노이드의 협조 동작을 GA (Genetic Algorithm)[9]을 이용하여 자동적으로 생성하고자 한다.

II. 협조 작업 모델

1. 이종 로봇간 협조작업

이종 로봇의 협조 작업은 로봇간의 작업 연계를 통하여 한 개체 혹은 동종 로봇만으로는 수행하기 힘든 작업을 수행할 수 있고, 또한 작업을 분담함으로써 전체 작업의 효율을 향상시킬 수 있다.

특히, 이종 로봇간 협조작업은 한가지 형태의 로봇이 가지지 못한 작업 기능을 보완할 수 있고, 이동성의 제약을 해결할 수 있으며, 높이 면에서도 작업 공간의 확장이 가능하다. 예로, 모바일 로봇의 접근할 수 없는 위치(높이)의 물체를 휴머노이드가 도달할 수 있고, 모바일 로봇에 없는 기능은 휴머노이드가 담당하며, 대신 모바일 로봇은 휴머노이드의 느린 이동을 보상해 줄 수 있다.

하지만 제어해야 하는 대상의 증가와 대상간의 다른 제어 방식, 그리고 상호작용으로 인하여 운영이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 15., 수정: 2009. 12. 15., 채택확정: 2009. 12. 30.
장재영, 서기성: 서경대학교 전자공학과
(geruld@naver.com/ksseo@skuniv.ac.kr)

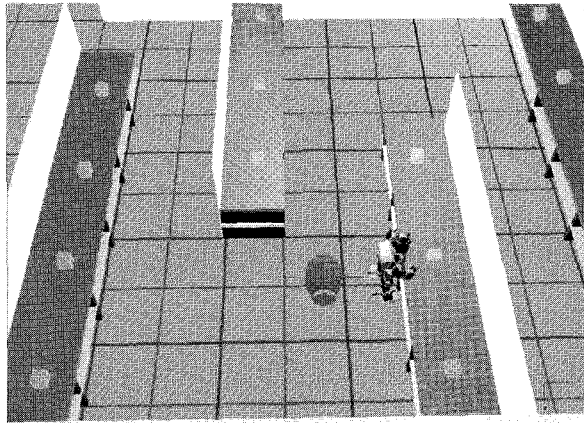


그림 1. 협조 작업 모델.
Fig. 1. The model of cooperative work.

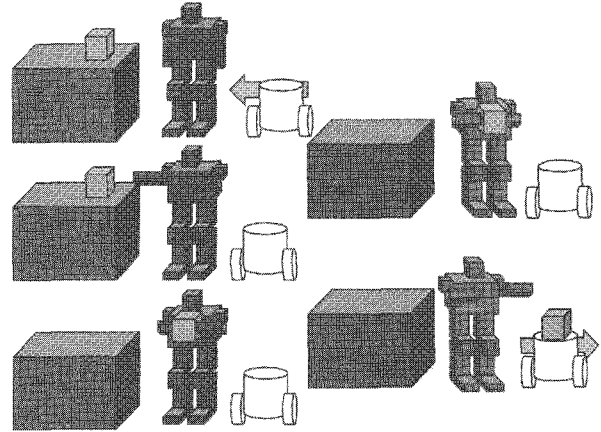


그림 2. 휴머노이드의 물체 운반 동작.
Fig. 2. Moving objects by humanoid robot.

2. 휴머노이드와 모바일 로봇의 협조작업 모델

본 연구에서 대상으로 하는 협조작업 모델은 휴머노이드 로봇과 한 대의 바퀴형 모바일 로봇으로 구성된 것으로(그림 1), 다음과 같은 작업 시나리오를 가진다. 마트와 같이 여러개의 진열대가 위치하고 사이의 통로를 따라, 휴머노이드 로봇과 모바일 로봇이 조를 이루어 이동하면서, 주문된 물건을 수합(또는 출고)하는 대행기능을 가정한다.

세부적으로 휴머노이드 로봇은 통로를 이동하면서 벽면에 부착되어 있는 표식을 인식해서, 해당 제품이 있는곳에서 정지한후 제품을 집어서 모바일 로봇위에 올려 놓는다. 모바일 로봇은 휴머노이드 로봇의 상대적 거리를 인식하면서 뒤에서 따라가며, 휴머노이드 로봇으로부터 제품을 받기 좋은 일정한 위치에 정지하여 제품을 받는다.

그림 1에 협조작업의 구성도가 나와 있다. 대상 협조작업은 다음과 같은 특징을 가진다. 바퀴형 모바일 로봇의 접근할 수 없는 위치(높이)의 물체를 휴머노이드 로봇이 도달할 수 있고, 모바일 로봇에 없는 짐을 휴머노이드 로봇이 담당하며, 대신 모바일 로봇은 휴머노이드 로봇의 느린 이동을 보상에 줄 수 있다.

III. 협조 작업의 설계 및 생성

본 연구에서는 앞 절의 전체 시나리오 모델 중 휴머노이드 로봇의 작업에 중점을 둔다. 휴머노이드 로봇은 주문된 제품 리스트를 받아서 진열대를 이동하면서 제품들에 부착된 표식을 비전으로 인식하여, 해당 제품이면 그 앞에 정확하게 정렬하여 그것을 집은 다음 90도 회전하여 뒤에 따라온 모바일 로봇에 내려놓는 작업을 수행한다(그림 2).

1. 휴머노이드의 비전 인식

휴머노이드 로봇은 제품을 정확히 집어 올리기 위해서 제품의 중앙에 위치해야 한다. 이를 위하여, 부착된 비전캠을 통해 입력된 제품의 표식 패턴을 통해서 자신의 위치와 물체(제품)의 정보를 인식하도록 한다. 설계된 패턴은 아래의 사진과 같이 붉은색 선위에 검은 수직선분이 바코드 형태로 구성되어 있다. 붉은색 선은 로봇의 위치 보정 및 식별 태그 선정을 위해 사용되며, 검은색 선은 물체의 고유 번호를 인식할 수 있도록 설계하였다(그림 3(a)).

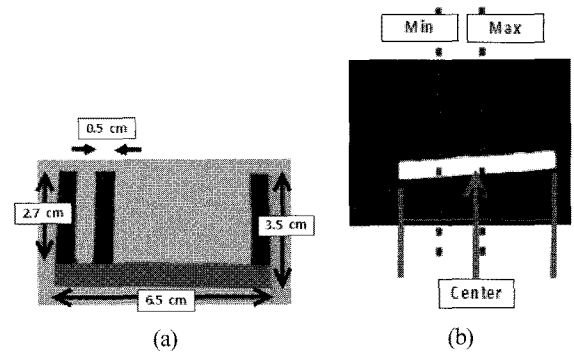


그림 3. 표식 설계 및 중심 위치.
Fig. 3. Design of landmark and center position.

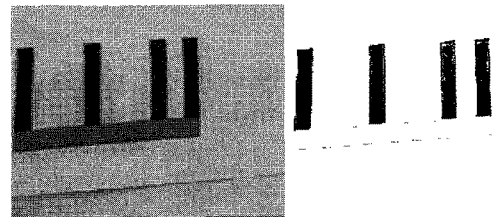


그림 4. 제품 정보 패턴 인식.
Fig. 4. Cognition of information for a product.

표식 영상에서 하단의 적색 수평 바의 윤곽을 추출하고, 윤곽선의 수평방향에 대한 최대값과 최소값을 이용하여 인식된 붉은색 선의 중심값을 계산한다. 이를 통해 로봇의 위치가 붉은색 선의 중심값과 일치하도록 위치를 보정한다(그림 3(b)). 로봇의 움직임과 카메라의 흔들림으로 인해 중심값의 위치가 계속적으로 변하기 때문에 중심값에 대한 min, max 값을 정하였다. max 값보다 크면 휴머노이드 로봇을 왼쪽으로, min 값보다 작으면 로봇을 오른쪽으로 미세 이동시켜 물체와 로봇의 중심을 맞춘다.

그림 4에서는 적색 수평바 위의 검은색 수직바에 대한 영상처리를 통해 표식의 패턴을 인식한다. 수직바 사이의 간격과 이의 조합에 따라 다른 정보를 표시한다(예로, 제품 번호등을 의미).

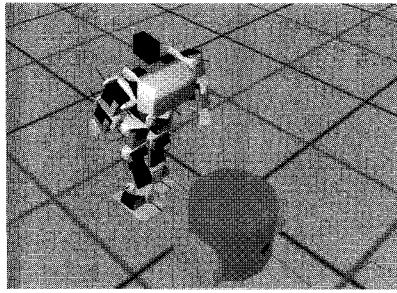


그림 5. 모바일 로봇의 추종.

Fig. 5. Following humanoid robot.

2. 모바일 로봇의 제어

모바일 로봇은 물체 운반 협조 작업을 위해서 거리 감지 센서와 통신을 이용하여 동작한다. 거리 감지 센서를 통하여 휴머노이드 로봇과의 거리를 판별하면서 추종한다(그림 5). 휴머노이드가 물체를 집는 위치에 정지하면, 일정한 거리에 자신도 정렬한 다음 통신을 통하여 자신이 물건을 받는 것이 가능한 상태를 휴머노이드 로봇에게 전달한다.

3. 진화연산을 통한 휴머노이드 작업 자세 생성

앞 절의 시나리오 모델에서 휴머노이드 로봇과 모바일 로봇과의 전체 협조 작업은 센서와 서로간의 통신을 통한 알고리즘에 의해서 수행되며, 휴머노이드 로봇이 물체를 집어서 모바일 로봇에 내려놓는 핵심 동작은 진화연산을 통해서 자동 생성된다.

이 부분은 그림 2와 같이 휴머노이드 로봇이 모바일 로봇위로부터 물체를 들어 올리는 동작, 물체를 든 채 회전하는 동작, 모바일 로봇위에 물체를 내려놓는 동작 3가지로 구분된다.

대상 휴머노이드 로봇은 16개의 관절로 구성되어 있으며, 각 관절들의 값들의 조합을 통해 특정 동작을 수행한다. 집기, 회전, 내려놓기등의 복합적인 동작 특성을 가진 프리미티브들은 기구학이나 동역학의 제어공학적인 관점에서 설계하기가 매우 어려워, 학습등의 지능적인 연산을 통해 접근되고 있다[3,6]. 본 연구에서는 시간이 많이 소요되는 학습대신에 GA 기반의 진화연산에 의한 최적화 접근법을 시도하며, 휴머노이드의 다른 동작에 진화연산을 적용한 저자의 사전 연구를[10] 응용한다.

휴머노이드 로봇의 관절 공간은 10-20 차원의 변수를 가지고 있어, 방대한 탐색공간과 함께 각 관절들의 값들의 지역 변화에 따른 적합도 공간에서의 대응점 변화가 불연속인 경우가 상당히 존재한다. 따라서 적은 수의 개체를 사용할 경우에는 수렴성이 빠른 SGA[9]가 좀 더 진보된 기법인 PCX, DE, CMA-ES등 연속적인 실수 최적화 문제에 탁월한 성능을 보이는 진화기법들과 별 차이가 없거나, 오히려 우수한 경우가 종종 있음을 몇 가지 사전 연구를 통해 확인하였다.

2.1 유전해 표현

협조작업에 대한 유전해 표현은 그림 6과 같다. 3가지 동작을 각각 독립적인 유전해로 구성하여 각각의 서브 해를 구한다음 이를 전체 해로 결합한다.

그림 6에서 M1~16은 휴머노이드 로봇을 구성하고 있는

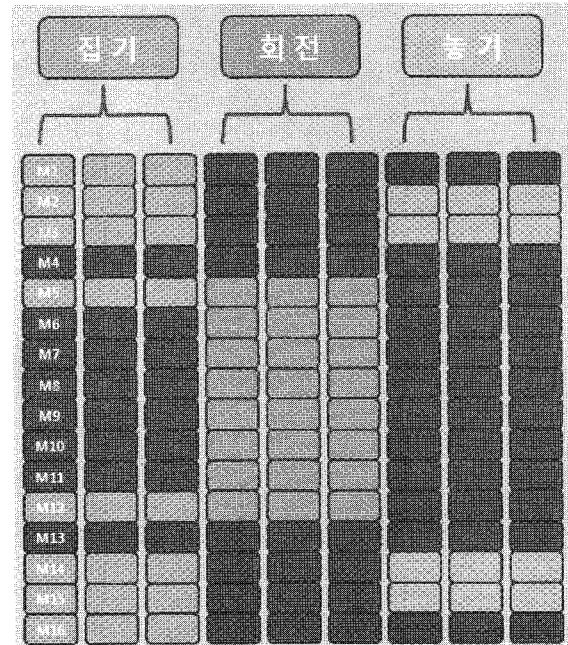


그림 6. 휴머노이드 동작을 위한 GA 유전자의 표현.

Fig. 6. Representation of GA chromosomes for humanoid motion.

모든 관절이 16개임을 의미한다. 그 중에서 3가지 동작에 사용되는 관절은 배경과 색을 달리 표현하였다.

진화연산의 특성상 유전해의 표현이 차수가 많아지면 해의 수렴이 어렵게 된다. 그렇기 때문에 GA 유전자의 구성에 있어서, 차수를 최소화하기 위하여 각 동작에 필요한 최소한의 관절만을 사용하고 양 팔과 같이 대칭성을 가진 움직임이 필요한 경우에는 한 개의 관절값을 생성한 뒤 대응되는 관절에는 쉼표값을 사용한다.

집기 동작의 경우 어깨, 팔꿈치, 손의 3관절에 굽히는 동작을 위한 다리 관절 하나가 사용된다. 12번째 관절은 5번째 관절의 쉼표값을, 16번째 관절은 1번째 관절의 쉼표값을 사용하고, M14-15도 대응되는 쉼표값을 사용한다. 이는 놓기 동작에서도 동일한 방법으로 수행되며, 회전 동작에서는 대칭되는 관절값 없이 모두 탐색된다.

2.2 계층적 교배 연산자

교배는 2단계를 거쳐 계층적으로 수행된다. 1차 교배는 2개의 선택된 부모 개체의 동작들 사이에서 교배점을 선택

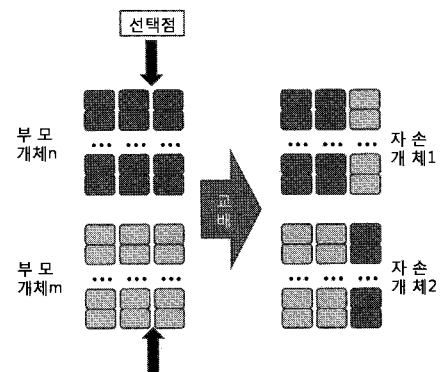


그림 7. 1차 교배.

Fig. 7. First stage crossover.

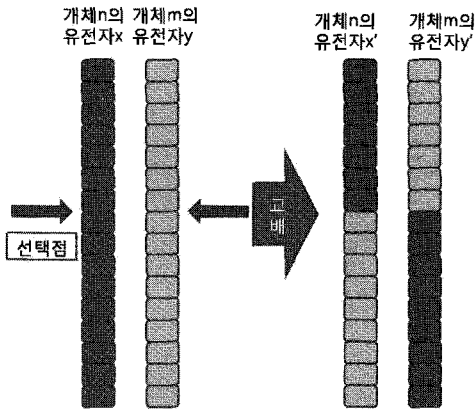


그림 8. 2차 교배.
Fig. 8. Second stage crossover.

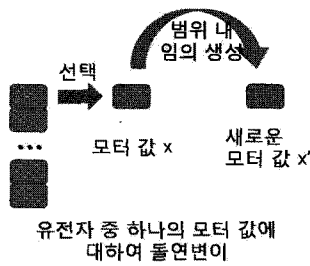


그림 9. 돌연변이.
Fig. 9. Mutation.

하고 그 점을 기준으로 상호의 동작 관절집합들을 교환한다(그림 7). 2차 교배는 1차 교배가 끝난 후 두 부모 개체의 동일한 한 동작 관절집합 내에서 세부 관절값들을 교환하는 방식으로 이루어진다(그림 8).

돌연변이는 개체를 구성하는 유전자내의 모든 관절값(모터값)에 대하여 수행되며, 선택된 관절값을 주어진 확률에 따라 유효한 수치 범위 내에서 새로운 관절값을 재생성하는 방식으로 이루어진다(그림 9).

2.3 EAM (Elite Archive Mechanism)

SGA 는 수렴성이 빨라서 조기 수렴에 빠질 확률이 매우 높으므로, 본 연구에서는 이를 완화하기 위해서 EAM (Elite Archive Mechanism) 이라는 기법을 도입하였다. 이 방법은 초기 10세대까지의 우수한 개체들을 따로 저장해 놓았다가

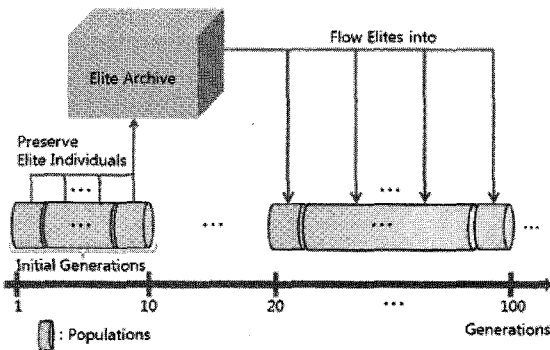


그림 10. EAM (Elite Archive Mechanism).
Fig. 10. EAM (Elite Archive Mechanism).

일정세대마다(10세대) 하위 10% 개체를 교체하는 기법이다 (그림 10).

IV. 모델링 및 시뮬레이션 방법

1. Webots 시뮬레이션 환경

전체 로봇 협조 모델의 검증과 진화연산에 의해 생성된 휴머노이드 동작에 대한 적합도 판정에는 반복적인 시뮬레이션 수행이 효율적이다. 시뮬레이션 환경으로 이러한 조건에 적합한 Cyberbotics사의 Webots[11]을 사용하였다. Webots는 모바일 로봇에 대한 모델링, 프로그래밍, 그리고 시뮬레이션 기능을 제공하는 모바일 로봇 시뮬레이션 S/W이다. 주요 기능은 다음과 같다. 각종 센서와 액츄에이터에 대한 라이브러리 제공, 정확한 Physics 시뮬레이션을 위한 ODE (Open Dynamics Engine) 라이브러리 제공, 그리고 실제 로봇에 컨트롤러를 트랜스퍼 할 수 있는 기능을 가지고 있다.

2. 로봇과 환경 모델링

휴머노이드 로봇 모델은 그림 11의 왼쪽에 나와있으며, Kondo Kagaku사의 KHR-2에 대한 Webots 모델[11]을 본 실험에 적합하도록 수정, 보완하여 사용한다.

추가로 몸체와 양 발에 각 2개씩 6개의 위치 센서를 부착하고, 수집된 센서 정보를 통하여 로봇의 기울기와 안정성 등을 계산한다. 그 외에 모바일 로봇과의 거리를 판별할 거리센서와 통신을 위한 에미터와 리시버 2쌍이 구현되었다.

모바일 로봇은 그림 11의 오른쪽에 나와 있으며, 원통형의 몸체에 지름 50cm의 바퀴 1쌍으로 구성되었다. 휴머노이드 로봇과의 거리를 판별하기 위하여 전,후방에 거리센서를 추가로 구현하고, 로봇의 상판에 놓일 물체를 인식하기 위한 상부 압력 센서와 거리 센서 5개, 다른 컨트롤러와의 통신에 사용될 에미터와 리시버 2쌍으로 구성하였다.

협조작업 환경은 상기의 휴머노이드 1대, 모바일 1대를 포함하여 복수개의 진열대와 그 위에 놓여있는 운반할 제품들로 구성된다(그림 1 참조).

3. 시뮬레이터 제어구조 및 전체 수행 알고리즘

시뮬레이터 제어 구조는 그림 12와 같다. 최상위 슈퍼바이저를 통하여 진화연산의 수행과 모든 로봇 컨트롤러의 제어를 담당한다. 슈퍼바이저에서 다음 행동을 진행하도록 신호를 주면 하위의 로봇 컨트롤러들이 신호를 받아 행동

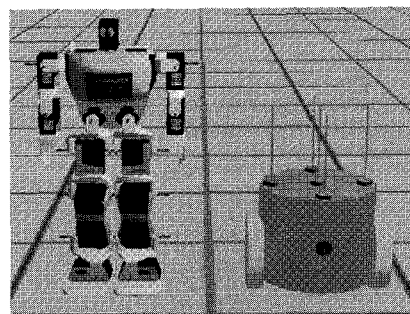


그림 11. 휴머노이드 로봇과 모바일 로봇.
Fig. 11. Humanoid and mobile robot.

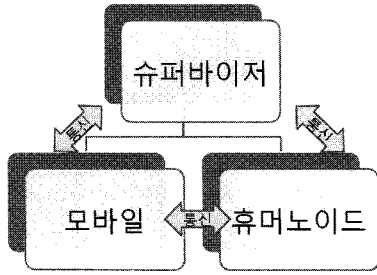


그림 12. 시뮬레이터 제어구조.
Fig. 12. Control structure of simulator.

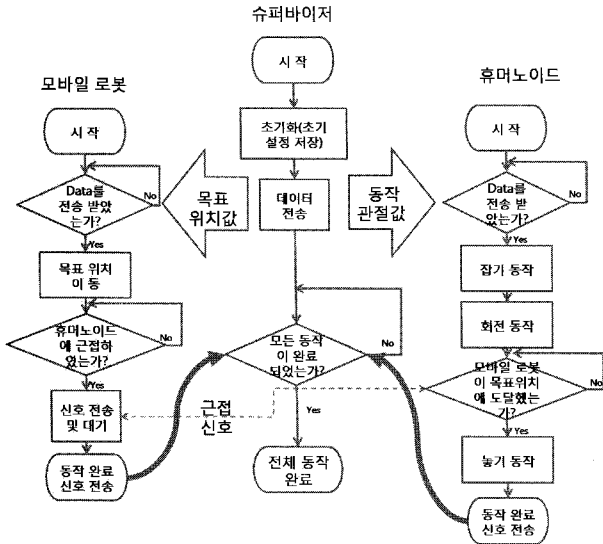


그림 13. 전체 협조작업의 제어 흐름도.
Fig. 13. Flow chart for entire cooperative work.

하고, 완료시 신호를 반환하는 형식으로 작업이 진행된다. 각 로봇들 간에는 상호간의 작업 가능여부를 판단하기 위하여 정보를 주고받는다. 그림 13에는 전체 협조작업 시뮬레이션에 대한 제어 흐름도가 나와 있다.

4. 시뮬레이션에서의 프로세스 통신

그림 13의 전체 협조작업은 Webot 상에서 다음과 같은 프로세스간의 통신 및 제어로 수행된다.

- 1) 슈퍼바이저 - 개체 생성 및 초기화
- 2) 슈퍼바이저 - 에미터를 통해서 생성된 유전자 정보를 대상 로봇의 컨트롤러에 전달
- 3) 휴머노이드 - 리시버를 통하여 유전자를 전달 받음
- 4) 휴머노이드 - 유전자 정보를 해석, 해석이 완료되면 레디플래그를 에미터를 통해 슈퍼바이저에 전달
- 5) 슈퍼바이저 - 로봇들에게서 모두 레디플래그가 들어오면 무브플래그를 에미터를 통해 전달
- 6) 모바일 & 휴머노이드 - 무브플래그가 도착하면 해석된 정보를 토대로 동작 수행.
동작이 끝나면 슈퍼바이저에게 엔드 플래그를 전달
- 7) 슈퍼바이저 - 모든 로봇들에게서 엔드 플래그가 들어오면 적합도 평가 실행
- 8) 슈퍼바이저 - 슈퍼바이저 필드 초기화(로봇들의 위치) 다음개체에 대해서 위 과정을 반복수행

V. 시뮬레이션 실험

1. 휴머노이드 작업을 위한 적합도 함수

휴머노이드 로봇의 집기, 회전하기, 놓기 작업 수행의 평가를 위한 적합도 함수는 다음과 같이 구성한다.

$$w_t \cdot \sum(T_L \cdot T_R) - w_z \cdot \sum ZMP + w_{H1} \cdot (H_{Box_final} - H_{Box_initial}) - w_{H2} \cdot \sum(|H_{Box_front} - H_{Box_rear}| + |H_{Box_left} - H_{Box_right}|)$$

먼저 집기 동작의 적합도의 경우, 물체의 집기 및 이를 유지하기 위해 물건의 양면에 부착된 압력 센서값 T_L, T_R , 집는 동작시 몸체의 균형을 유지하도록 ZMP 값이 중심부에서 벗어난 누적량, 물체를 들어집을 판별할 수 있는 물체의 높이(H_{Box}), 그리고 물체의 전후, 좌우의 기울어짐을 판별하기 위한 평형에서 벗어난 누적값의 네 가지로 구성된다.

원래 휴머노이드의 손 부분에 압력 센서를 부착하여 이를 측정하고자 하였으나, 시뮬레이션 상에서 충돌의 문제로 인하여 부득이 하게 물체에 센서를 부착하였다. 실제의 로봇에 적용할 때에는 손에 부착하여 실험하는 형태를 사용하는 것이 더 적합할 것으로 생각된다.

$$w_t \cdot \sum(T_L \cdot T_R) - w_f \cdot F - w_z \cdot \sum ZMP - w_{H1} \cdot (H_{Box_present} - H_{Box_initial}) - w_p \cdot (|CP_{mobile} - CP_{Box}|) - w_{H2} \cdot \sum(|H_{Box_front} - H_{Box_rear}| + |H_{Box_left} - H_{Box_right}|)$$

놓기 작업의 적합도도 집기의 경우와 유사하며, 물체가 받는 충격력인 F 와 물체가 모바일 로봇에 정확히 올려졌는가를 판별할 중앙 위치값 CP 가 추가된다.

$$w_t \cdot \sum(T_L \cdot T_R) + w_d \cdot (D_{present} - D_{initial}) - w_z \cdot \sum ZMP - w_p \cdot (|P_{humanoid_present} - P_{humanoid_initial}|) - w_{H2} \cdot \sum(|H_{Box_north} - H_{Box_south}| + |H_{Box_west} - H_{Box_east}|)$$

물체를 든 채 회전하는 경우는 회전시 제자리에서 직각으로 회전하는 것이 매우 중요하므로, 회전된 각도값 D 와 초기 좌표값과의 차이 $P_{humanoid}$, 그리고 벗어난 ZMP 값의 누적량, 물체의 안정성을 판별하기 위한 평형을 벗어난 누적값으로 구성하였다.

Webot 시뮬레이션 수행시 ODE 에 의한 물리적 특성의 계산과 많은 양의 그래픽 시뮬레이션에 시간이 소요되는 관계로, 진화연산의 수행에 50 pops, 50 gen을 사용하였다.

2. 결과 및 분석

그림 14-19에 휴머노이드 로봇의 집기, 회전하기, 놓기 작업에 대한 진화적 자동생성 결과 화면과 적합도 그래프가 나와 있다. 먼저 집기 작업은 로봇 손이 선반에 닿지 않기 위해서 양팔을 벌려서 물체에 접근한 다음 물체를 집어 올리는 모습을 보인다(그림 14). 이에 대한 적합도 그래프가 그림 15에 나와 있다.

그림 16에는 물체를 든 채 회전하는 동작이 나와 있다. 대부분의 휴머노이드 및 대상 로봇은 수평으로 회전하는 관절이 없어서 회전이 매우 어려운 작업이며, 특히, 제자리

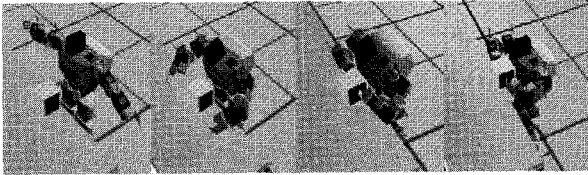


그림 14. 진화 생성된 집기 동작.
Fig. 14. Evolved pick up motions.

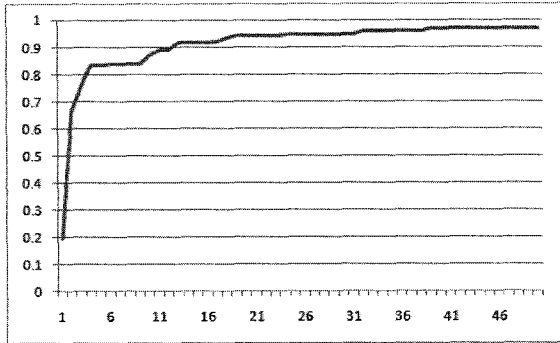


그림 15. 집기의 평균 적합도.
Fig. 15. Fitness for pick up motion.

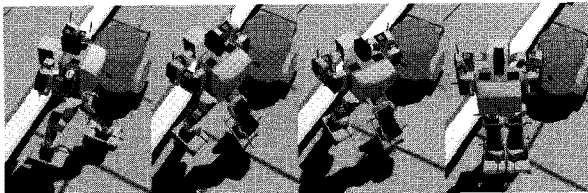


그림 16. 진화 생성된 회전 동작.
Fig. 16. Evolved rotation motions.

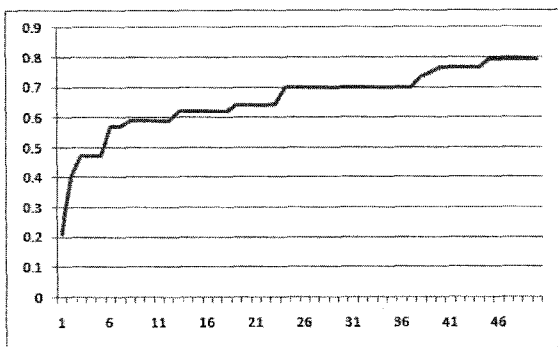


그림 17. 회전의 평균 적합도.
Fig. 17. Fitness for rotation motion.

에서 회전을 하는 것은 사람과 달리 구조상 거의 불가능하다. 따라서 발을 내밀었다가 다시 붙이면서 미끄러짐을 통해 약간의 회전효과를 얻을 수 있다. 이를 몇 회 반복하면 직각 회전을 할 수 있다.

제자리 회전은 장소가 좁은 공간에서 특히 필요하며, 모바일 로봇과의 협조작업에서도 자신의 위치를 이동시키지 않고 물체를 전달할 수 있는 장점이 있다. 그림 15의 회전 동작 결과는 위에서 언급한 부분 회전동작을 3회 반복한 결

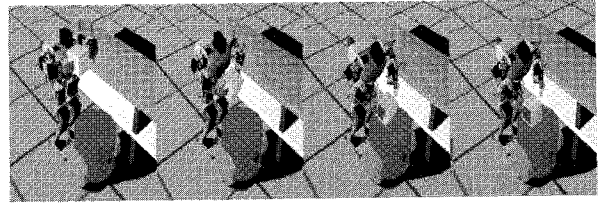


그림 18. 진화 생성된 놓기 동작.
Fig. 18. Evolved place motions.

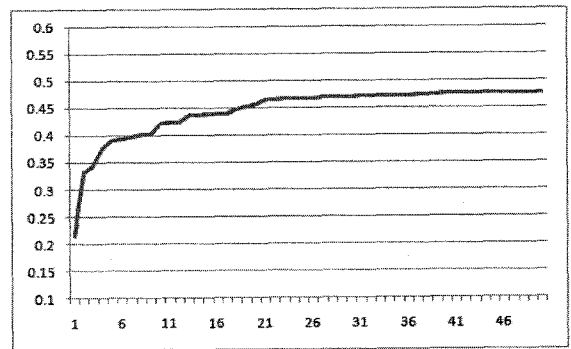


그림 19. 놓기의 평균 적합도.
Fig. 19. Fitness for place motion.

과이고, 직각에는 못미치는 약 45도 정도 회전한 모습이다. 그림 17에 회전 동작에 대한 적합도 그래프가 나와 있으며, 최종세대에 근접할 때까지 적합도의 향상을 보인다. 적합도는 부분 단위 동작에 성능을 나타낸다.

그림 18에는 휴머노이드 로봇이 모바일 로봇에 물체를 내려놓는 동작이 나와 있다. 집기와는 달리 초기의 자세를 유지하면서 상체를 숙여서 내려놓는 모습이다. 그림 19에는 이에 대한 적합도가 나와 있으며, 비교적 빨리 수렴이 되었음을 보인다.

아직까지 적합도 함수 구성의 어려움, 센서부착의 문제점, 시뮬레이션 결과의 실제 적용 등의 문제점이 남아 있으며, 진화연산 측면에서 해 공간 분석을 통한 진화탐색 방법의 개선 및 추가 실험이 필요하다.

현재, 협조작업에 대한 실제 실험 모형을 제작하고, 시뮬레이터 상의 휴머노이드와 구조가 거의 같은 실제 로봇을 사용하여 실험이 진행 중이다. 비전에 의한 표식 인식 실험은 정상적인 조명 환경에서 어느 정도 안정된 결과를 얻고 있으며, 시뮬레이션의 진화 생성에 의해서 얻어진 집기와 회전에 동작에 대한 실제 검증이 일부 테스트 되고 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 휴머노이드와 바퀴형 모바일 로봇으로 구성된 이종 로봇 환경에서, 물체를 출고하고 운반하는 협조작업에 대한 모델링과 시뮬레이션을 수행하였다.

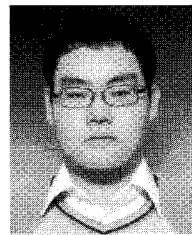
아직까지 정립되지 않은 이종로봇간의 협조작업 방법론 분야에 가능성 있는 접근법을 제시하는 성격의 연구로서, 진화연산이 결합된 정밀한 시뮬레이션 기법이 빠른 프로토타입 생성 및 로봇의 동작 설계 및 분석에 효율적이라 사료된다.

현재까지 얻어진 휴머노이드의 협조 동작들은 최적화보다는 비교적 합리적인 가능해 들이지만, 추가적인 개선을 통해서 효율성의 향상과 실제 로봇에의 적용이 용이할 것으로 생각된다.

향후 적합도 함수의 개선, 개체수의 증가 및 해 공간 분석을 통한 적합한 진화탐색 방법이 필요하며, 진화 시뮬레이션에서 얻어진 협조작업 동작을 실제 로봇들에 적용하였을 때 발생할수 있는 차이를 줄일 수 있는 연구도 보완되어야 할 것으로 사료된다.

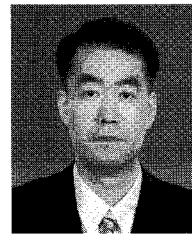
참고문헌

- [1] W. Burgard et. al., "Coordinated multi-robot exploration," *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 21, no. 3, pp. 376-386, 2005.
- [2] C. K. Cheng and G. Leng, "Cooperative search algorithm for distributed autonomous robots," *Proceeding of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System*, Sendai, Japan, pp. 394-399, 2004.
- [3] Y. Wang and C. W. Silva, "A machine-learning approach to multi-robot coordination," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21, issue. 3, pp. 470-484, Apr. 2008.
- [4] R. Ros et al., "A case-based approach for coordinated action selection in robot soccer," *Artificial Intelligence*, vol. 173, pp. 1014-1039, 2009.
- [5] F. Torres, S Puente, and C Diaz, "Automatic cooperative disassembly robotic system: Task planner to distribute tasks among robots," *Control Engineering Practice*, vol. 17, issue. 1, pp. 112-121, Jan. 2009.
- [6] Y. Inoue, T. Tohge, and H. Iba, "Cooperative transportation system for humanoid robots using simulation-based learning," *Applied Soft Computing*, vol. 7, issue. 1, pp. 115-125, Jan. 2007.
- [7] T. Zhang and H. Ueno, "Knowledge model-based heterogeneous multi-robot system implemented by a software platform," *Knowledge-Based Systems*, vol. 20, issue. 3, pp. 310-319, Apr. 2007.
- [8] H. Lim et. al., "Multiple humanoid cooperative control system for heterogeneous humanoid team," *Proceeding of 17th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 231-236, 2008.
- [9] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [10] 안광철, 조영완, 서기성, "주입-이주형 PGA를 이용한 휴머노이드 로봇의 넘어짐 자세 개선," *제어·로봇·시스템학회 논문지* 제15권 제3호, pp. 280-285, 2009.
- [11] Cyberbotics, *Webots Reference Manual* release 5.1.9, 2006.



장 제 영

2010년~현재 서경대학교 전자공학과 석사과정. 관심분야는 GA, GP, 지능로봇.



서 기 성

1986년 연세대학교 전기공학과 공학사. 1988년 연세대학교 전기공학과 공학석사. 1993년 연세대학교 전기공학과 공학박사. 1993년~1998년 서경대학교 산업공학과 조교수. 1999년~2003년 Michigan State University, Genetic Algorithms Research and Applications Group, Research Associate. 2002년~2003년 Michigan State University, Electrical & Computer Engineering, Visiting Assistant Professor. 2003년~2004년 서경대학교 전자공학과 조교수. 2004년~현재 서경대학교 전자공학과 부교수. 관심분야는 지능로봇, GA, GP, 진화 디자인.