

허리 관절을 갖는 4족 로봇의 GA 기반 경사면 보행방법

최운호* · 김동섭** · 김국화***

GA Based Locomotion Method for Quadruped Robot with Waist Joint to Walk on the Slop

Yoon-Ho Choi* · Dong-Sub Kim** · Guk-Hwa Kim***

요 약

본 논문에서는 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 효율적인 경사면 보행을 위해 유전 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 이용한 경사면 보행 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 먼저, 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 기구학적 모델을 유도하며, GA를 수행하기 위한 유전자 및 적합도 함수를 설정한다. 또한, 경사면에서 최적의 에너지 안정여유도(Energy Stability Margin: ESM)를 갖는 4족 로봇의 자세와 도달 영역 내의 발끝 착지 지점을 GA를 이용하여 자동으로 탐색하여 보행한다. 마지막으로, 4족 보행 로봇의 모의 실험을 통해 기존 방법과 비교함으로써 본 논문에서 제안한 방법의 효용성을 검증한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a genetic algorithm(GA) based locomotion method of a quadruped robot with waist joint, which makes a quadruped robot walk on the slop efficiently. In the proposed method, we first derive the kinematic model of a quadruped robot with waist joint and then set the gene and the fitness function for GA. In addition, we determine the best attitude for a quadruped robot and the landing point of a foot in the walk space, which has the optimal energy stability margin(ESM). Finally, we verify the effectiveness of the proposed method by comparing with the performance of the previous method through the computer simulations.

키워드

Waist joint, Quadruped robot, Walking on the Slope, Energy Stability Margin, Genetic Algorithm
허리 관절, 4족 로봇, 경사면 보행, 에너지 안정 여유도, 유전 알고리즘

1. 서 론

현대 사회에서 로봇은 인간이 수행하기 어려운 정교한 일이나 위험한 일을 대신 수행하는 연구가 활발

히 수행되고 있으며, 이는 인간의 삶을 보다 편리하게 하고 안전한 삶을 가능하게 한다. 이중에서도 다족 보행 로봇은 바퀴 로봇에 비해 평탄한 지형과 험지 보행에 용이하고 안정적인 보행이 가능하여 현재까지

* 교신저자(corresponding author) : 경기대학교 전자공학과 교수(yhchoi@kgu.ac.kr)

** 경기대학교 전자공학과(dongsip@kgu.ac.kr)

*** 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부(gh_kim@kimm.re.kr)

접수일자 : 2013. 09. 10

심사(수정)일자 : 2013. 10. 21

게재확정일자 : 2013. 11. 15

많은 연구들이 수행되었다. 다족 로봇의 종류는 다리의 개수에 따라 2족, 4족, 6족 등의 로봇으로 분류할 수 있으며, 특히 4족 로봇은 2족 로봇보다 더 안정적이고 빠른 이동 속도를 갖는 장점을 가진다.

한편, 4족 로봇은 걸음새 생성 방법에 따라 로봇의 보행 속도 및 안정도가 달라지며, 걸음새를 생성하는 방법에는 다리 이동 순서, 다리 이동 궤적, 몸체 중심 이동, 착지점 설정 등을 고려하게 된다. 기존 걸음새 생성 방법들은 지형과 몸체 구조에 적합한 최적의 특징을 찾고, 이에 따라 각각의 파라미터들을 고정하거나, 수학적 분석을 통하여 최적의 파라미터를 수동적으로 설정하여 걸음새를 생성하게 된다. 그러나, 이러한 수동적인 걸음새 생성 방법은 최적의 파라미터를 구하기 위하여 반복적인 시뮬레이션을 수행해야 하는 단점을 가진다[1-5]. 이러한 단점을 극복하기 위해 지능화 기법을 이용하여 걸음새를 생성하는 방식이 연구되었으며[6-8], 이 중에서도 성능에 따라 시뮬레이션의 반복 없이 자동으로 최적의 파라미터로 해가 수렴하는 장점을 갖는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm : GA)를 이용한 자동 걸음새 생성 방법들이 제시되었다[9-10]. 한편, 일부 파라미터를 제한하고 반복 정확도를 향상시키는 방법에 관한 연구가 수행되었으며 [11], 전력 효율과 안정도를 고려한 자동 걸음새 생성 방법에 관한 연구도 수행되었다[12-14]. 하지만, 경사면과 같은 비 평탄 지형에 대한 연구는 미비하며, 경사면 보행에서는 안정적인 걸음새 생성이 중요하기 때문에 경사도에 따른 보행 안정도가 고려되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 효율적인 경사면 보행 방법을 위해 GA를 이용하여 경사면을 보행하는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는, 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 기구학적 모델을 유도하며, GA를 수행하기 위한 유전자 및 적합도 함수를 설정한다. 또한, 경사면 보행의 안정도 판별 척도인 에너지 안정여유도(Energy Stability Margin: ESM)를 이용하여, 최적의 ESM을 갖는 4족 로봇의 자세와 도달 영역 내의 발끝 착지 지점을 GA를 이용하여 자동으로 탐색하여 보행한다. 마지막으로, 4족 보행 로봇의 모의 실험을 통해 기존 경사면 보행 방법[14]과 비교함으로써 본 논문에서 제안한 방법의 효용성을 검증하고자 한다.

II. 4족 로봇의 모델링 및 유전 알고리즘

본 절에서는 3 자유도(Degree of Freedom: DOF)의 다리와 1 자유도의 허리 관절을 갖는 4족 로봇을 모델링한다. 또한, 유전 알고리즘의 전반적인 구조에 대해 서술한다.

2.1 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 기구학

본 논문에서는 로봇의 임의의 한 점을 좌표축으로 하는 세계 좌표계(world coordination)를 기준으로 모델링을 수행한다. 이 때, 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 구조는 그림 1과 같다.

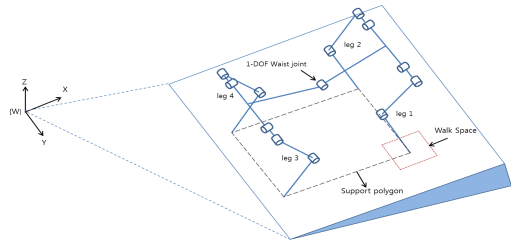


그림 1. 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 구조
Fig. 1 Structure of a quadruped robot with a waist joint

한편, 순기구학 모델은 임의의 한 점이 원점인 세계 좌표계를 기준으로 순기구학 해석 방법 중에 하나인 Denavit-Hartenbug(D-H) 표현 방법을 이용하여 허리 관절을 포함하는 1개의 다리 모델을 유도한다. 한편, 4족 로봇의 모델링을 위한 변수와 D-H 표현 방법의 좌표축 설정은 그림 2와 같다.

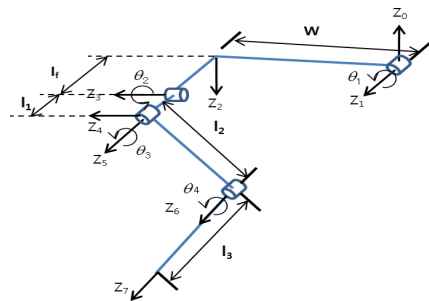


그림 2. D-H 표현 방법을 위한 좌표축 정의

Fig. 2 Definition of coordinates for D-H representation

한편, 그림의 변수들을 이용하여 D-H 변환 행렬을 유도할 수 있으며, 각각의 변환 행렬의 곱을 이용하여 최종적으로 순기구학을 식 (1)과 같이 유도할 수 있다[7].

$$\begin{aligned}
 p_x &= wc_1 + c_4l_3(c_1s_3 + c_2c_3s_1) + l_3s_3(c_3c_1 - c_2s_3s_1) + c_1l_2s_3 \\
 &\quad - l_1s_2s_1 + c_2c_3l_3s_1 \\
 p_y &= l_3s_2s_3s_4 - c_2l_1 - c_3l_2s_2 - c_3c_4l_3s_3 - l_f \\
 p_z &= ws_1 + c_4l_3(s_3s_1 - c_2c_3c_4) + l_3s_4(c_3s_1 + c_2c_1s_3) + c_1l_1s_2 \\
 &\quad + l_2s_3s_1 - c_2c_3c_1l_2
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $c_i = \cos \theta_i$ 이고, $s_i = \sin \theta_i$ 이다.

또한, 위 식을 이용하여 역기구학을 유도할 수 있으며, 본 논문에서는 대수적 방법을 이용하여 역기구학을 유도하며[7], 대수적 방법에 유도된 역기구학 수식은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \theta_1 &= \tan^{-1}\left(-\frac{a_x}{a_z}\right) \\
 \theta_2 &= \tan^{-1}\left(\frac{a_x s_1 - a_z c_1}{a_y}\right) \\
 \theta_3 &= \tan^{-1}\left(\frac{c_2(a_x c_1 - a_z s_1 + a_y s_1)}{a_z s_1 + a_x c_1}\right) \\
 \theta_4 &= \tan^{-1}\left(\frac{c_3(-n_x c_1 - n_z s_1) + s_3(-c_2 c_1 n_z + c_2 n_x s_1 + n_y s_2)}{c_3(n_y s_2 + n_z c_2 c_1 - n_x c_2 s_1) - s_3(n_z s_1 + n_x c_1)}\right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

식 (1)과 (2)는 4족 로봇에서 하나의 다리 모델에 대한 관절각을 나타내며, 4족 로봇의 나머지 다리들은 동일한 구조를 가지므로 동일한 방법을 적용함으로써 기구학 해석이 가능하다.

2.2 유전 알고리즘

GA는 유전학과 자연 진화를 모방한 탐색 방법으로, 최적화 문제들의 해를 구하는 방법으로 많이 사용되고 있다. GA는 초기화, 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 단계로 구분하며, 위와 같은 단계를 반복적으로 수행하여 자동으로 최적의 해로 수렴한다. 따라서 GA는 이러한 단계를 반복함으로써 점진적으로 해에 근접하게 되며, 적합도 함수와 GA 파라미터, 유

전자의 구조 등의 요인으로 인해 성능이 결정된다. GA에 대한 기본 구조는 그림 3과 같이 나타낸다.

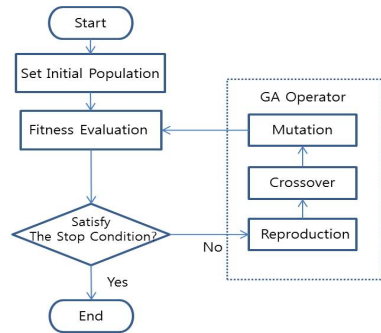


그림 3. 유전 알고리즘의 구조
Fig. 3 Structure of genetic algorithm

그림에서 초기 집단은 해의 범위 내에서 무작위로 분포되도록 선택하거나 경험적인 방법을 통해 초기 집단을 생성한다. 다음 단계에서는 각각의 개체들을 적합도 함수에 따라 적합도가 결정된다. 적합도가 높은 개체들은 재생산 연산에서 선택 확률이 높아지며, 반대로 적합도가 낮은 개체들은 선택 확률이 낮아져 소멸되게 된다. 이렇게 선택된 개체들은 다시 교배의 과정을 거쳐 새로운 개체를 생성하며, 돌연변이의 과정에서 낮은 확률로 해를 변경시켜 이전과 다른 새로운 정보를 가져올 수 있다. 이러한 과정은 정지 조건에도 달할 때까지 반복되며, 위 과정의 한 주기를 한 세대로 정의한다.

III. GA를 이용한 경사면 보행 방법

본 논문에서는 경사면 보행에서 허리 관절을 이용한 자세를 설정하고, 최적의 ESM을 갖는 도달 영역 내 발끝 위치를 GA를 이용하여 탐색하는 걸음새 생성 방법을 제안한다.

3.1 허리 관절을 이용한 경사면 자세 결정

본 논문에서는 허리 관절을 이용하여 경사면 보행 자세를 변경하는 방법을 제안한다. 이 때, 보행 자세는 다음 보행 단계에서 최적의 ESM을 갖는 보행 자세를 탐색하며, 허리 관절각을 이용하여 자세를 변경한다.

이 때, ESM을 계산하는 방법은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[15].

$$ESM = mgh = mg(-x \sin\theta + h \cos\theta \cos\phi + \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} (hx \sin\theta + (x^2 + y^2)\cos\theta)\sin\phi + x \sin\theta - h \cos\theta) \quad (3)$$

여기서, m 은 질량, g 는 중력 가속도, x 와 y 는 지지 다리를 연결한 선분과 무게 중심 사이에 가장 가까운 점의 좌표이고, ϕ 는 이 점에서 무게 중심까지의 벡터와 최대 고점까지의 벡터 사이의 사잇각이다.

한편, 4족 로봇의 초기 자세는 지면과 평행한 자세이며, 상체 허리 각도와 하체 허리 각도를 조절하여 보행하기 위한 최적의 ESM을 갖는 허리 관절각을 GA를 이용하여 탐색한다. 이 때, 허리 관절각에 의한 발끝 좌표 변화는 그림 4와 같다.

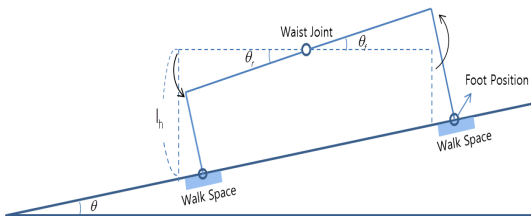


그림 4. 허리 관절에 의한 자세 변화
Fig. 4 Variation of stance by waist joint.

그림에서 4족 로봇의 힙과 초기 발끝 좌표를 하나로 연결한 직선을 l_h 라고 하면, 허리 관절각 θ_f 와 θ_r 의 변화에 의해 l_h 와 경사면과 만나는 점이 변하게 된다. 이 때, 경사면과 맞닿은 지점을 변경된 발끝 좌표로 결정하며, 허리 관절에 의해 변화된 자세와 발끝 좌표로 로봇의 자세를 변경한다. 이 때, 로봇의 변경된 발끝 좌표를 이용하여 ESM을 계산한다.

3.2 도달 영역 내 발끝 좌표 정의

본 논문에서는 GA를 이용하여 도달 영역 내의 최적의 ESM을 갖는 지점을 자동으로 탐색하는 보행 방법을 제안한다. 우선 도달 영역의 기하학적 정의는 그림 5와 같다.

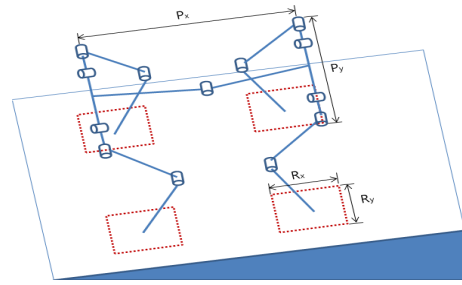


그림 5. 도달 영역의 기하학적 정의
Fig. 5 Geometric definition of workspace

그림에서 P_x 와 P_y 는 각각 로봇의 가로와 세로 길이를 나타내며, R_x 와 R_y 는 각각 도달 영역의 가로 폭과 세로 폭을 나타낸다. 이 때, 도달 영역 R 의 범위는 $R \leq P$ 의 조건을 고려하여 범위를 설정한다.

또한, 도달 영역 내에서 ESM을 탐색하는 기준은 다음 보행 동작에서 가장 최적의 ESM을 갖는 좌표를 최종 발끝 좌표로 탐색하여 착지 지점을 결정하며, 초기 도달 영역의 발끝 위치는 허리 관절에 의해 변경된 발끝 좌표를 기준으로 도달 영역을 설정한다.

3.3 GA 설정 및 경사면 보행 방법

3.3.1 GA 유전자 설정

본 논문에서는 보행 자세와 도달 영역 내의 발끝 좌표를 GA를 통해 자동으로 결정하는 걸음새 방법을 제안한다. 먼저, GA를 수행하기 위한 GA 유전자의 염색체(chromosome) 구조는 그림 6와 같다.

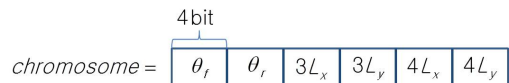


그림 6. GA 염색체 구조
Fig. 6 Structure of GA chromosome

그림에서 θ_f 와 θ_r 은 각각 상체 허리 각도와 하체 허리 각도이며, $3L_x, 3L_y$ 와 $4L_x, 4L_y$ 는 각각 3번 다리와 4번 다리 도달 영역 내의 x 좌표와 y 좌표이다.

여기서, 유전자에 3번 다리의 좌표와 4번 다리의 좌표만 포함된 이유는 1번 다리와 2번 다리 도달 영역 내의 모든 좌표에 대한 ESM이 동일한 값으로 계산되기 때문이다[14]. 따라서, 본 논문에서는 1, 2번 다리는

직진성만 고려하여 이동한다. 한편, 각각의 유전자는 4 비트(bit)의 이진수로 구성되며 총 24 비트의 염색체로 구성된다. 한편, 도달 영역의 범위는 허리 관절각에 의해 변경된 발끝 좌표를 기준으로 범위가 설정된다.

3.3.2 적합도 함수 설정

GA를 수행하는데 있어 적합도 함수(fitness function)는 GA의 성능을 결정하는 중요한 요인 중 하나이다. 적합도 함수의 최적 해는 결국 GA의 수렴 값으로 나타낼 수 있다. 본 논문에서 GA 수행을 위한 적합도 함수는 식 (4)와 같이 설정한다.

$$Fitness = (\alpha R_x) + (\beta ESM_{mean}) \quad (4)$$

여기서, α, β 는 각 요소에 대한 가중치이며, R_x 는 도달 영역의 x 좌표, ESM_{mean} 은 보행 과정에서 전체 다리가 갖는 ESM의 평균값이다. 또한, R_x 는 도달 영역 내에 최종 발끝 좌표를 결정 할 때 직진성을 보장하고 후퇴 보행을 방지하기 위한 요소이며, ESM의 평균값을 적합도 함수로 사용하는 이유는 본 논문에서 제안하는 보행 방법에서 모든 다리에 대한 안정성을 고려하기 위함이다.

3.3.3 GA 기반 경사면 보행 방법

본 논문에서는 4족 로봇의 자세를 제어하고 보행 시 도달 영역 내 다음 발끝 좌표를 탐색하는 방법을 GA를 이용하여 결정하는 경사면 보행 방법을 제안한다. 먼저, 경사면 보행의 효율적인 자동 걸음새 생성을 위해, 일부 파라미터들을 제한하여 GA를 수행한다. 우선, 경사면 보행을 위한 걸음새 방법은 보행과 동시에 몸체를 움직이는 연속 걸음새(continuous gait) 방법을 사용한다. 또한, 다리 이동 순서는 3→2→4→1 순서로 이동한다. 한편, 본 논문에서는 ESM을 결정할 때 발끝 좌표와 몸체 무게 중심 좌표를 이용하여 계산하는데, 다리의 궤적은 경사면 보행의 안정도 판별에 있어 중요한 파라미터가 아니므로 다리 궤적의 모양 및 높이를 제한한다. 또한, 다리의 보폭은 도달 영역 내의 최종 발끝 좌표가 결정됨에 따라 자동으로 결정된다.

한편, 본 논문에서는 GA를 적용하기 위하여 다음과 같은 단계로 보행을 수행한다.

- 단계 1 : 최적의 ESM을 갖는 허리 관절각 탐색
- 단계 2 : 허리 관절각에 의한 보행 자세 변경
- 단계 3 : 변경된 초기 발끝 위치의 도달 영역 탐색
- 단계 4 : 도달 영역 내 최적의 발끝 위치 결정

먼저, 단계 1에서는 허리 관절을 이용하여 최적의 ESM을 갖는 허리 관절각을 GA를 통해 탐색한다. 이때, 변경된 발끝 좌표는 그림 4와 같으며, 다음 보행 시 최대의 ESM을 갖는 허리 관절각을 탐색한다. 단계 2에서는 단계 1에서 결정된 허리 관절각에 의해 결정된 발끝 좌표로 자세를 변경한다. 단계 3에서는 변경된 초기 발끝 좌표의 도달 영역을 계산하며, 단계 4에서는 도달 영역 내에서 ESM을 탐색하고 GA를 이용하여 최적의 ESM을 갖는 최종 발끝 좌표를 탐색한다. 한편, 단계 1부터 단계 4까지 진행된 후, 로봇의 다리 이동 순서에 따라서 단계 3과 단계 4를 반복하며, 모든 다리에 대한 ESM이 계산 되는 것을 한 주기로 한다.

따라서 본 논문에서는 허리 관절각과 최종 발끝 위치를 GA로 탐색함으로써 4족 로봇의 경사면 보행에서 자동으로 최적의 보행 자세로 보정하게 될 뿐만 아니라 도달 영역 내 최대 ESM을 갖는 최종 발끝 위치를 탐색하고 발을 착지시킴으로써 최적의 보폭과 발끝 착지 위치를 자동으로 결정하게 된다.

IV. 모의 실험 및 결과 고찰

본 절에서는 제안한 방법을 모의 실험을 통해 기존의 방법[14]과 비교함으로써 제안한 방법의 효용성을 검증하였고, 모의 실험은 MATLAB을 이용하여 수행하였다. 본 모의 실험에 사용한 4족 로봇의 제원은 표 1과 같다.

표 1. 모의 실험을 위한 4족 로봇의 제원
Table 1. Dimension of a quadruped robot for simulation

	w	l_f	l_1	l_2	l_3
Length[mm]	100	50	20	100	100

4.1 GA 파라미터 설정

GA를 수행하기 위해서는 우선 GA 파라미터에 대

한 정의가 필요하다. 표 2는 GA 파라미터에 대한 설정 값을 나타낸다.

표 2. GA 파라미터
Table 2. GA parameters

Max Generation	50
Size of Initial Population(n)	30
Reproduction Method	Linear Ranking
Crossover Rate	0.7
Mutation Rate	0.03
Solution Range	$\theta_f : 0^\circ \sim 25^\circ$ $\theta_r : 0^\circ \sim 30^\circ$ $3L_x, 3L_y, 4L_x, 4L_y : -40 \sim 40(\text{mm})$

한편, GA에서 재생산 연산자는 순위 확률에 의한 선택 방법을 통하여 재생산 개체를 선택한다. 이는, 도달 영역 내의 계산된 ESM 값이 미세한 좌표 이동에 대해 민감하기 때문에 지역 해로 빠지거나 수렴을 못하는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 또한, 해의 범위는 경사도가 15°인 경사면을 기준으로 경사면과 평행한 상태의 허리 관절 각도인 0°에서 도달 영역의 기구학적 제한이 걸리는 25° 사이를 첫 번째 유전자의 범위로 설정하며, 두 번째 유전자의 해의 범위는 0°~30°로 설정한다. 세 번째부터 여섯 번째까지의 유전자 해 범위는 도달 영역의 가로 길이 R_x 가 80[mm], 세로 길이 R_y 가 40[mm] 크기의 직사각형 범위를 해의 범위로 설정하였으며, 본 모의 실험에서는 지지 다리를 기준으로 -40[mm]~40[mm]로 설정하였다.

4.2 GA 기반의 경사면 보행 모의 실험

본 논문에서는 경사면 보행을 위해 GA를 수행하고 기존 방법과 ESM의 평균값을 비교하여 효율성을 검증하였다. 또한, 경사각이 15°인 경사면 지형에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 도달 영역 내 ESM이 동일한 1번 다리의 도달 영역과 2번 다리의 도달 영역은 직진성만을 고려하여 도달 영역 내 x 축 방향으로만 진행하도록 설정하였다.

먼저, 본 논문에서 제시한 GA 설정 방법을 이용하여 GA를 수행한 결과는 그림 7과 같다.

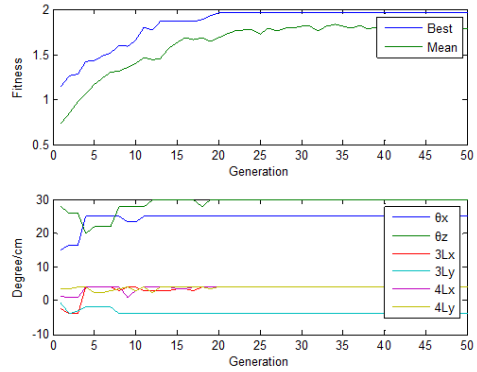


그림 7. 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 GA 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Simulation result using the proposed method.

그림의 결과로부터, 본 논문에서 제시한 GA의 성능은 적합도의 최대값이 20 세대에서 수렴하는 것을 확인할 수 있었으며, 동시에 모든 해가 20 세대에서 최종적으로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 여기서, θ_x, θ_y 는 각각 25°, 30°으로, $3L_x, 3L_y, 4L_x, 4L_y$ 는 각각 40[mm], -40[mm], 40[mm], 40[mm]로 수렴하여 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 이 때, 도달 영역의 좌표는 지지하고 있는 발의 좌표를 기준으로 정의하였다. 한편, 적합도의 평균값이 최대 적합도와 완전히 일치하지 않는 이유는 GA 과정에서 발생하는 돌연변이에 의한 유전자의 변화에 따른 차이가 발생하기 때문이다.

한편, 본 논문에서 제안한 방법으로 설정한 GA 파라미터를 이용하여 수행한 단계별 개체들의 평균 ESM 값은 그림 8과 같다.

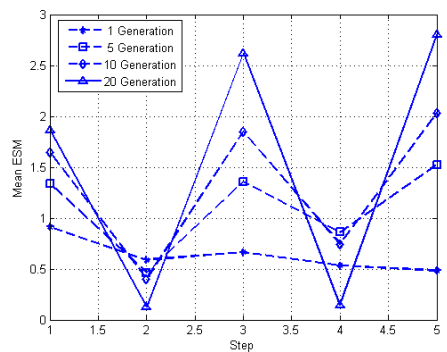


그림 8. 경사면 보행에 따른 세대별 ESM
Fig. 8 ESM of each generation for slop locomotion

그림에서 1 단계는 4족 로봇이 경사면 보행을 수행하기 위한 최적의 자세로 변경하는 단계이며, 2 단계부터 5 단계는 다리 이동 순서에 따른 도달 영역 내 발끝 위치 탐색 단계이다. 그림의 결과로부터, 세대가 진행할수록 1, 3 및 5 단계에서 발끝 위치에 대한 개체들의 평균 ESM이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이 때, GA 수행 과정에서 2, 4 단계에서 ESM이 감소하는 구간이 발생하지만, 전체 보행 단계에 대한 평균값은 1 세대에서 0.64, 5 세대에서 1.01, 10 세대에서 1.29, 20 세대에서 1.54로 계속 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 세대를 거듭할수록 더 안정적인 보행을 수행함을 확인하였다.

한편, 본 논문에서는 기존의 허리 관절을 이용한 경사면 보행 방법[14]과 비교하여 효율성을 검증하였다. 그림 9는 기존의 허리 관절을 이용한 경사면 보행 방법과 본 논문에서 제안한 보행 방법을 비교한 결과이다. 이 때, 기존 방법의 모의 실험은 기존 연구된 허리 관절 결정 알고리즘과 발끝 좌표 탐색 알고리즘을 본 논문의 단계에 적용하였으며, 목표 보폭은 본 논문의 도달 영역의 폭인 40[mm]를 기준으로 수행하였다.

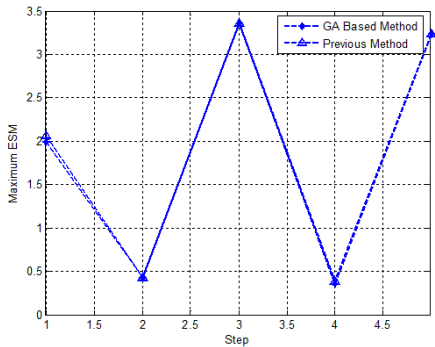


그림 9. 기존 경사면 보행 방법과 본 논문에서 제시한 방법 비교
Fig. 9 Comparison of the proposed method and the previous method

그림의 결과로부터, 본 논문에서 제안한 방법의 단계별 최대 ESM은 모든 단계에서 기존 허리 관절을 갖는 경사면 보행 방법의 ESM과 본 논문에서 제안한 GA 기반 경사면 보행 방법에 의한 수렴 값이 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 한편, 모든 단계에 대한 평

균 ESM은 기존 논문이 1.72, 본 논문이 1.71로 기존 연구의 성능과 거의 유사함을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안한 보행 방법이 기존 방법과 비교하여 비슷한 성능을 나타내며, 최적의 ESM을 갖는 해로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 최종적으로 GA 기반의 보행 방법으로 자동적인 걸음새를 생성할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 효율적인 경사면 보행 방법을 위해 GA를 이용하여 경사면을 보행하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 허리 관절을 갖는 4족 로봇의 기구학적 모델을 유도하였으며, GA를 수행하기 위한 유전자 및 적합도 함수를 설정하였다. 또한, 최적의 ESM을 갖는 경사면 보행을 위한 4족 로봇의 자세와 도달 영역 내의 발끝 착지 지점을 GA를 이용하여 자동으로 탐색하였으며, 제안한 방법의 효율성을 모의 실험을 통해 검증하였다. 모의 실험에서는 본 논문에서 제안한 방법의 성능을 기존 방법[14]와 비교 검증하였으며, 최적의 ESM을 갖는 해로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2012학년도 경기대학교 학술연구비(일반 연구과제) 지원에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- [1] T. Lee and C. Shih, "Study of the Gait Control of a Quadruped Walking Vehicle", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 2, No. 2, pp. 61-69, 1986.
- [2] S. Song and B. Choi, "The Optimally Stable Ranges of 2n-legged Wave Gaits", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No. 2, pp. 61-69, 1986.
- [3] S. K. Jeong, N. Y. Ko, and T. G. Kim, "Development and Implementation of Functions for Mobile Robot Navigation", The

- Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 8, pp. 1213-1218, 2013.
- [4] Y. K. Kwon, "A Path Generation Method for a Autonomous Mobile Robot based on a Virtual Elastic Force", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 149-157, 2013.
- [5] D. J. Seo, S. W. Noh, and N. Y. Ko, "Moving Object Following Control for Differential Drive Robot Based on Two Distance Sensors", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 5, pp. 765-773, 2011.
- [6] Y. S. Kim, S. N. Yu, and C. S. Han, "Proposal of Virtual Sensor Technique for Quadruped Robot using Backpropagation Neural Network", Proc. of the Korean Society of Mechanical Engineers Conference, pp. 894-899, 2008.
- [7] J. Y. Jang, S. H. Hyun, and K. S. Seo, "Locomotion Control of 4 Legged Robot Using HyperNEAT", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 21, No. 1, pp. 132-137, 2011.
- [8] M. Y. Cheng and C. S. Lin, "Genetic algorithm for control design of biped locomotion", Journal of Robotic Systems, Vol. 14, No. 5, pp. 365 - 373, 1997.
- [9] S. Chernova and M. Veloso, "An Evolutionary Approach to Gait Learning for Four-Legged Robots", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 3, pp. 2562-2567, 2004.
- [10] H. Dong, M. Zhao, J. Zang, Z. Shi and N. Zang, "Gait Planning of Quadruped Robot Based on Third-Order Spline Interpolation", Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5756-5761, 2006.
- [11] K. S. Seo, J. S. Choi and Y. W. Cho, "Automatic Gait Generation for Quadruped Robot Using GA with an Enhancement of Performance", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 18, No. 4, pp. 555-561, 2008.
- [12] K. G. Chae and J. H. Park, "Trajectory optimization with GA and control for quadruped robots", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 1, pp. 114-123, 2009.
- [13] K. Kiguchi, Y. Kusumoto, K. Watanabe, K. Izumi and T. Fukuda, "Energy-optimal gait analysis of quadruped robots", Journal of Artificial Life and Robotics, Vol. 6, No. 3, pp. 120-125, 2002.
- [14] G. H. Kim, Y. H. Choi, and J. B. Park, "Gait Generation Method for a Quadruped Robot with a Waist Joint to Walk on the Slope", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 22, No. 5, pp. 617-623, 2012.
- [15] D. Messuri and C. Klein, "Automatic Body Regulation for Maintaining Stability of a Legged Vehicle During Rough-terrain Locomotion", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 1, No. 3, pp. 132-141, 1985.

저자 소개

최윤호(Yoon-Ho Choi)

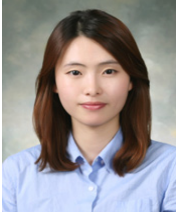


1980년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1982년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1991년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
 1993년~현재 경기대학교 전자공학과 교수.
 ※ 관심분야 : 비선형 적응제어, 지능제어, 네트워크 제어 시스템, 로보틱스, 웨어블릿 변환 및 응용, ADP 및 최적 제어, 다개체 협업제어

김동섭(Dong-Sub Kim)



2012년 경기대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2012년~현재 경기대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 로보틱스, 지능제어



김국화(Guk-Hwa Kim)

2012년 경기대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2014년 경기대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2014년~현재 한국기계연구원 연구원

※ 관심분야 : 로봇틱스, 지능제어

