

# GA를 이용한 4족 보행로봇의 걸음새 자동 생성 및 성능향상

## Automatic Gait Generation for Quadruped Robot Using GA with an Enhancement of Performance

서기성<sup>1</sup> · 최준석<sup>1</sup> · 조영완<sup>2</sup>

Kisung Seo, Junseok Choi, Young-Wan Cho

서경대학교 전자공학과<sup>1</sup>, 컴퓨터공학과<sup>2</sup>

### 요 약

GA 기반의 4족 보행로봇의 걸음새의 속도와 안정성을 최적화하는 걸음새의 자동 생성 방법을 구현한다. 기존에 사용된 걸음새 파라미터 집합에서 중요 파라미터의 영향을 분석하였고, 이를 통해 효율적인 탐색 방향을 설정하였다. 또한 속도 위주의 기존 연구와는 달리 반복 정확도가 수반된 결과를 얻도록 하였다. 제안된 기법의 검증은 위하여 SONY Aibo 4족 보행 로봇에 대해서 ODE 기반의 물리적 특성을 포함한 정교한 시뮬레이션이 가능한 Webots 을 이용하여 실험을 수행하였고, 속도와 안정성 면에서 향상된 결과를 얻었다.

### Abstract

This Paper introduces new approach to develop fast and reliable gaits for quadruped robot using GA(genetic algorithm). Planning gaits for legged robots is a challenging task that requires optimizing parameters in a highly irregular and multidimensional space. Recent approaches have problems to select proper parameters which are not known in advance and optimize more than ten to twenty parameters simultaneously. In our approach, the effects of major gait parameters are analysed and used to guide the search more efficiently. The experiments of Sony AIBO ERS-7 in Webots environment indicate that our approach is able to produce much improved results in fast velocity and reliability.

Key Words : Automatic Gait Generation, Quadruped Robot, Genetic Algorithm, Gait parameters

## 1. 서 론

다리로 걷는 보행로봇은 바퀴 로봇보다 장애지형이나 평평하지 않은 지형도 이동할 수 있어 높은 이동성을 가지는 장점이 있으며, 4족 보행 로봇의 경우, 현재 SONY 사의 AIBO 로봇처럼 점차 각광을 받고 있는 엔터테인먼트 분야에서도 널리 사용되고 있다[1-4].

4족 보행로봇의 걸음새(Gait) 생성 문제는 로봇의 보행 계획을 결정하는 핵심적인 부분으로, 발의 궤적, 스텝 수, 초기자세 등의 수많은 파라미터를 동시에 설계해야 하는 복잡한 문제이다. 걸음새는 각 다리의 주기적인 움직임을 얻기 위한 실수 파라미터 벡터의 집합으로 정의된다. 관련된 걸음새 파라미터들 중에서 필요한 파라미터들이 사전에 또는 동적으로 선택되어야 하고, 선택된 걸음새 파라미터의 실수 값이 결정되어야 한다.

지금까지 상당수의 걸음새 연구는 사람에 의해서 반복적인 시뮬레이션을 통해 수작업으로 구해지는 방식, 또는 분석적 탐색방법이었으며[5], 최근 들어 GA(Genetic Algorithm)를 이용한 자동적인 생성법들이 시도되고 있다 [1][6-8]. 이러한 접근법은 걸음새를 자동적으로 생성해줄

수 있고 GA의 성능에 따라 최적에 가까운 값을 탐색할 수 있는 장점이 존재한다.

현재의 GA 등을 이용한 자동 걸음새 생성 기법들은 필요한 주요 파라미터들을 사전에 정해놓고, 이들 값들을 탐색하는 파라미터 최적화 문제로만 접근하고 있는 실정이다 [1][6-8]. 그러나 걸음새에 관련된 수많은 파라미터를 다 포함시킬 수 없고, 사전에 선택된 파라미터만이 걸음새 생성을 위해서 충분한 조건인지 판단하기 어려우며, 사용된 최소한의 파라미터도 10개 이상을 사용하고 있어 이들의 최적값들을 구하는 것은 매우 어려운 문제이다.

참고적으로 현재 대부분의 최근 GA 응용 걸음새 연구에서 사용되고 있는 주요 파라미터는 직교좌표계에서의 궤적(locus)과 초기자세, 그리고 한 사이클 당 보간수로 구성되어 있다.

궤적(locus)의 경우 형태에 따라 직사각형, 일반 사각형, 사다리꼴, 원호 등을 사용하고 있으며, 각각에 대해 2차원, 또는 3차원의 구성이 가능하다.

초기자세는 앞뒤의 높이, 발의 측면 및 정면 편차, 머리의 각도등의 파라미터로 접근법에 따라 선택되는 파라미터 종류와 정의가 약간씩 차이가 난다. 사이클당 보간 수는 반복되는 발의 움직임 궤적에서 한 주기에 대한 제어 명령 실행의 샘플링 수를 의미한다.

현재의 GA 접근법은 위에서 언급한 3가지 종류의 모든 파라미터들을 유전자(chromosome)로 표현해야 하기 때문에 최적화해야 될 파라미터 수도 많을 뿐 아니라, 3가지 종류의 파라미터의 특성이 서로 다르므로 연산 시간 및 최적

접수일자 : 2007년 8월 13일

완료일자 : 2008년 4월 2일

이 논문은 2006년 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2006-311-D00146)

화 도달에 큰 어려움을 가지고 있다.

기존 연구의 또 다른 문제점은 사용된 파라미터의 종류와 수가 너무 많아서 어느 파라미터가 성능에 더 영향을 미치는지에 대한 고찰이 없고, 십 여개의 파라미터를 일괄적으로 최적화하는 GA 탐색법을 사용하고 있다. 그러나 궤적과 자세, 사이클당 보간수등 다른 종류의 변수가 고정되어 야만 구할수 있는 특정 변수의 값 특성 때문에 전체의 최적화는 매우 어려운 문제이다. 또한 제한된 자원상 더 중요하고 영향력이 있는 파라미터를 선택해서 설계하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 기존에 널리 쓰이고 있는 궤적과 자세, 그리고 사이클당 보간수로 구성된 파라미터 집합에서 일부 파라미터를 제한시켜 가면서 중요 파라미터의 영향을 분석하는 방법을 적용하였다. 그리고 속도 위주의 기존 연구와는 달리 반복 정확도가 수반된 결과를 얻도록 하였다.

GA 기반의 4족 보행로봇의 걸음세의 안정성을 최적화하는 걸음세의 자동 생성 방법을 구현한다. 제안된 기법의 검증을 위하여 SONY Aibo 4족 보행 로봇에 대해서 ODE 기반의 물리적 특성을 포함한 정교한 시뮬레이션이 가능한 Webots[9] 을 이용하여 실험을 수행하였다.

## 2. 4족 보행 로봇 걸음세 제어

### 2.1 4족 보행 로봇 모델

걸음세 생성을 위한 4족 보행로봇 모델은 SONY Aibo ERS-7을 사용하였다(그림 1). ERS-7은 1세대인 ERS-110과 2세대인 ERS-210 을 거친 3세대 모델로 로봇축구 및 엔터테인먼트용 로봇으로 잘 알려져 있으며, 그림 2에 관절 움직임에 대한 사양이 나와 있다[10].

### 2.2 4족 보행 걸음세 생성

4족 보행 걸음세 생성을 위해서는 크게 나누어 다음과 같은 4가지 종류의 변수들이 설정되어야 한다.

#### 1) 걸음세 패턴 선택

걸음세 패턴은 로봇의 4다리가 어떠한 순서로 움직일 것인지를 정의 하는 것이다. 그림 3과 같이 4가지 패턴이 있으며 실제로는 Trot 걸음세를 많이 사용하고 있다.

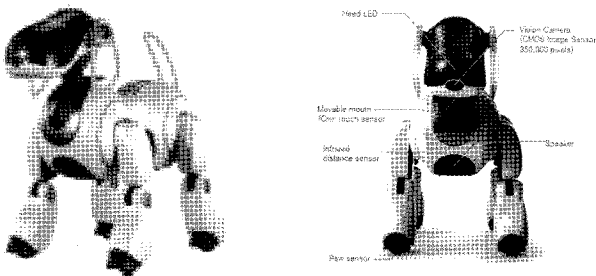


그림 1. SONY Aibo ERS-7  
Fig. 1. SONY Aibo ERS-7

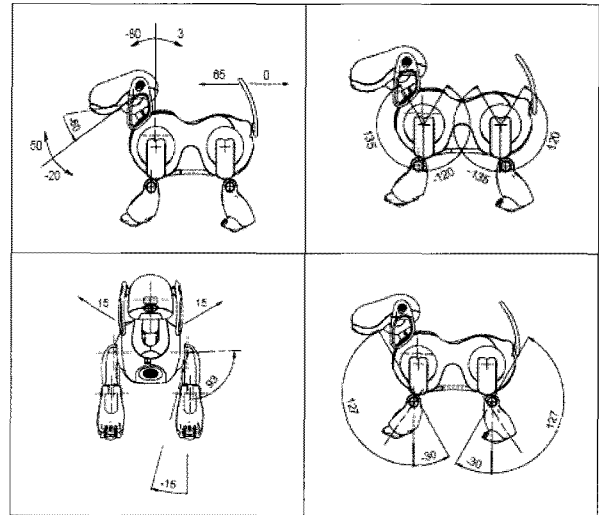


그림 2. SONY Aibo ERS-7 의 관절 공간  
Fig. 2. Joint space for SONY Aibo ERS-7

### Quadruped Gaits

	Crawl	Trot	Pace	Bounding
front right				
front left				
rear right				
rear left				

그림 3. 걸음세 패턴  
Fig. 3. Gaits pattern

#### 2) 자세 설계

안정적이며 빠른 이동을 위해서 로봇의 자세는 많은 영향을 준다. 초기자세는 기존의 여러 연구마다 차이가 있으며 자신들의 기구학에 맞는 파라미터로 구성하고 있다. 초기자세는 앞쪽 높이, 뒤쪽 높이, 앞발의 측면 편차, 앞발의 정면 편차, 뒷발의 측면 편차, 뒷발의 정면 편차, 머리의 수직 각도 및 수평각도 등 접근법에 따라 서로간의 선택되는 파라미터 종류와 정의가 약간씩 차이가 나며, 선택되는 수도 많게는 20개 이상에서 적게는 10여개 정도로 차이가 있다.

#### 3) 궤적(locus) 설계

로봇 발의 궤적(locus)의 경우 형태에 따라 직사각형, 일반 사각형, 사다리꼴, 원호 등을 사용하고 있으며, 각각에 대해 2차원, 또는 3차원의 구성이 가능하다.

#### 4) 사이클당 보간 수

사이클당 보간 수는 반복되는 발의 움직임 궤적에서 한 주기에 대한 제어 명령 실행의 샘플링 수를 의미한다. 단일 변수로서 성능에 영향을 상당히 미치는 것으로 알려져 있다. 샘플링수가 많으면 보간 간격이 작게 되며 반대의 경우 보간 간격이 크게 된다. 로봇 컨트롤러의 샘플링 시간을 고려하여 적절한 보간의 수가 결정되어야 한다.

2.3 기구학

ERS-7 모델은 한 쪽발이 3개의 관절로 구성되기 때문에  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ 의 값을 계산하는 기구학 식만을 구하면 되고 다음과 같이 나타낼수 있다. 여기서,  $\Theta_1$  은 shoulder,  $\Theta_2$  는 joint,  $\Theta_3$  는 knee 에 해당한다.

그림 4 - 6 과 식 (1) - (8) ERS-7 모델의 기구학에 대한 설명이 나와있다.(자세한 과정은 참고문헌 [10] 참조) 먼저  $\Theta_3$  는 그림 4처럼 식 (3) 으로 표현된다.

$$\cos \theta_A = \frac{\beta^2 + \gamma^2 - \alpha^2}{2\beta\gamma} \quad (1)$$

$$\theta_B = \arctan(l_1/l_3), \theta_C = \arctan(l_2/l_3) \quad (2)$$

$$\theta_3 = 2\pi - \theta_A - \theta_B - \theta_C \quad (3)$$

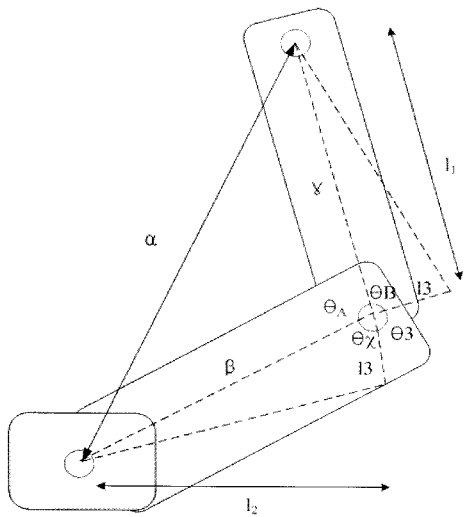


그림 4.  $\Theta_3$  계산  
Fig. 4. Calculate  $\Theta_3$

$\Theta_1$  는 그림 5와 6 에서 식 (4) 와 (5) 로 구해질수 있다.

$$\theta_1 = \arcsin \frac{z}{v} \quad (4)$$

식(4)의  $v$ 는 그림 6를 참조하여 풀이하면 식(5)처럼 표현된다.

$$\theta_1 = \arcsin \frac{z}{l_1 + 2l_3 \sin \frac{\theta_3}{2} \cos \frac{\theta_3}{2} + l_2 \cos \theta_3} \quad (5)$$

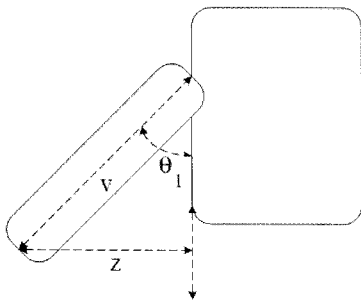


그림 5.  $\Theta_1$  계산  
Fig. 5. Calculate  $\Theta_1$

마지막으로  $\Theta_2$  는 위에서 구한  $\Theta_1$ 의 식 (8)로 얻어진다. (그림 6)

$$y = v \cos \theta_1 \cos \theta_2 - u \left( \frac{x - u \cos \theta_2}{v \cos \theta_1} \right) \quad (6)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{y u \cos \theta_1 + u x}{v^2 \cos^2 \theta_1 + u^2} \quad (7)$$

$$\theta_2 = \pm \arccos \frac{y u \cos \theta_1 + u x}{v^2 \cos^2 \theta_1 + u^2} \quad (8)$$

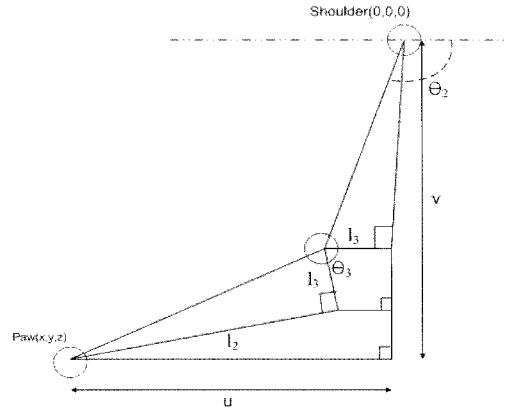


그림 6.  $\Theta_2$  계산  
Fig. 6. Calculate  $\Theta_2$

3. GA를 이용한 걸음새 자동 생성

3.1 기존 GA 접근법에서의 생성방법

상이한 발끝 궤적(locus)을 사용한 대표적인 연구는 다음과 같다. Hu[6]는 GA를 이용하여 로봇의 자세와 사각형 걸음새 궤적의 크기를 생성하였다(그림 7). GA에 사용된 파라미터는 14개로서, 로봇의 자세, 궤적의 크기와 위치, 로봇 발의 속도, 좌우발의 phase가 설정되어 있다.

UNSW 팀은[5] 자신들이 개발한 학습알고리즘을 사용하여 걸음새를 최적화 시켰다. 궤적은 사다리꼴 과 변형된 사다리꼴이 사용되었다(그림 8). 자세 파라미터로는 11개의 파라미터가 사용되었으며 2005년에는 33개의 파라미터로 확장하였다.[10]

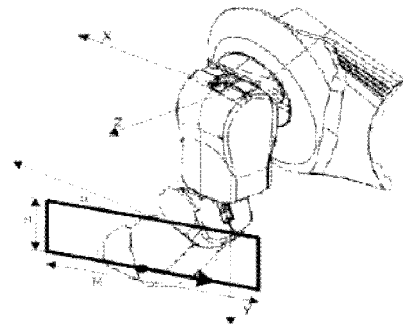


그림 7. 사각형 궤적  
Fig. 7. Rectangular locus

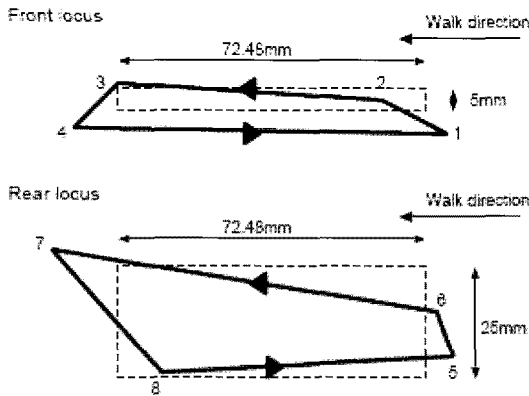


그림 8. UNSW 팀의 궤적  
Fig. 8. UNSW team locus

Tekin[3] 은 반원형의 궤적을 선택하고, 자세 파라미터 6 개, 궤적 파라미터 4개, 보간수 1개로 구성된 총 11개의 파라미터를 사용하였으며 GA를 이용하여 이들 파라미터들을 구하였다.

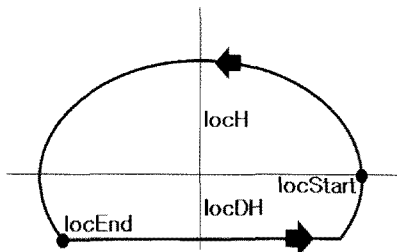


그림 9. 반원형 궤적  
Fig. 9. Elliptical locus

이상과 같이 기존의 걸음새 생성방법은 하나의 궤적의 모양을 선택한 다음 다른 파라미터들을 구하는 방식을 택하였다. 몇 연구는 궤적의 변형을 시도하였으나[2], 서로 다른 궤적에 대한 비교 연구는 아직까지 시도되지않고 있다.

### 3.3 파라미터의 영향 분석 및 체계화

본 연구에서는 기존에 널리 쓰이고 있는 궤적과 자세, 그리고 사이클당 보간수로 구성된 파라미터를 비교 검토하여, 대상 파라미터를 선택하였고, 여기에 대하여 일부 파라미터를 제한시켜 가면서 중요 파라미터의 영향을 분석하는 방법을 적용하였다.

#### 1) 걸음새 패턴

걸음새 패턴은 가장 많이 사용되고 있는 trot 걸음새를 선택하였고, 대부분 사용되는 고정된 1/2 phase 방식과는 달리 phase의 비율을 조정하여, 이의 영향을 분석할 수 있도록 구성하였다. 이를 위해 관련 변수를 GA 염색체에 추가 하였다.

#### 2) 자세 설계

로봇의 자세 파라미터는 설계한 기구학에 따라서 많은 차이가 있다. 화자가 사용한 기구학은 좌표를 기준으로 로봇의 3관절의 각도 값을 계산하기 때문에 6개의 파라미터를 사용하여 자세와 걸음새 궤적을 따라간다.

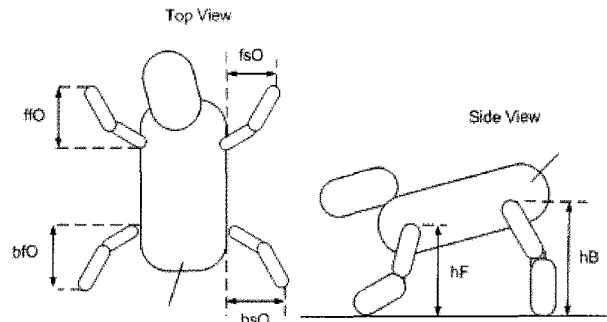


그림 10. 자세 파라미터  
Fig. 10. Stance parameter

위의 그림은 로봇의 자세를 표현하는 파라미터로 기존의 연구에서도 공통적으로 사용하는 파라미터가 모두 표현되었다. 앞다리와 뒷다리의 좌표로 구성되며 어깨를 기준으로 3차원상의 좌표를 설정하여 구성된다. 6개의 파라미터를 사용하여 앞뒤 다리의 좌표로 표현하였다.

#### 3) 궤적(locus) 설계

궤적은 기존에 사용한 궤적과 크기를 바탕으로 구현하였다. 궤적의 크기는 실험을 통하여 설정한다.

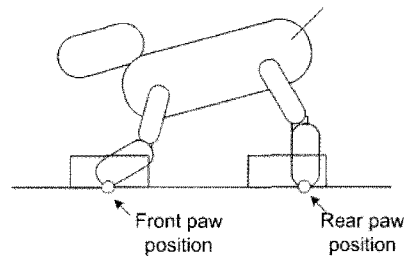


그림 11. 걸음새 궤적시작위치  
Fig. 11. Initial position of gait

#### 4) 걸음새 시작 위치 설계

걸음새 위치설계는 걸음새의 궤적이 로봇의 자세에서 어디에 위치해야지 최적의 걸음새가 나오는지 결정하기 위한 것이다. 앞다리와 뒷다리의 걸음새위치를 선정하기 위하여 2개의 파라미터를 추가하였다.

## 4. 실험 및 결과

### 4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 Cyberbotics 사의 Webots[9] 을 사용하였다. Webots 은 모바일 로봇에 대한 모델링, 프로그래밍, 그리고 시뮬레이션 기능을 제공하는 모바일 로봇 시뮬레이션 s/w 이다. 주요 기능은 다음과 같다. 각종 센서와 액츄에이터에 대한 라이브러리 제공, 정확한 physics 시뮬레이션을 위한 ODE(Open Dynamics Engine) 라이브러리 제공, 그리고 실제 모바일 로봇에 컨트롤러를 트랜스퍼 할 수 있는 기능을 가지고 있다.

SGA를 사용하였으며 개체 수는 40, 세대 수는 500 교배 85%, 돌연변이 15%를 사용하였다. GA 염색체 표현은 그림 12와 같다.

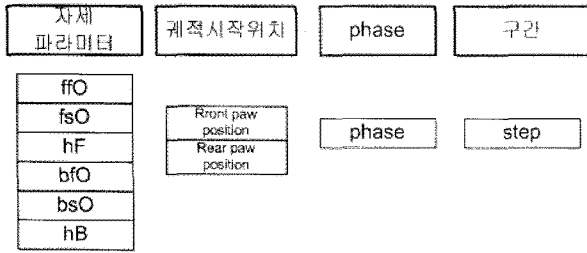


그림 12. GA 염색체 표현  
Fig. 12. Representation of GA chromosome

4.2 실험

실험 결과 사각형, 반원, 사다리꼴에서 각각의 궤적의 모양에서 4가지의 궤적크기를 설정하여 크기에 따라 3번씩 실험하였으며 총 36번의 실험결과 사각형이 가장 빠른 속도가 나왔으며 사각형 가운데 가로 120mm 세로 25mm의 궤적에서 가장 우수한 속도를 보여 주었다. 현존하는 최고 속도인 Zhang[6]의 결과 47cm/s의 속도 보다는 낮지만 44.5cm/s의 속도를 보여 주었다.

그림 13은 가로 120mm 세로 25mm의 크기를 가지는 사각형 궤적에 대한 결과이다. 좌측 상단은 로봇다리의 움직임을 측면에서 본 것으로 가로축은 직진거리(단위 : m), 세로축은 직진거리(단위 : m) 이다. 우측 상단은 5회 반복수행에 대한 직진거리를 나타낸 것으로 가로축은 시간(추출 샘플링수), 세로축은 직진거리(단위 : m) 이다. 좌측 하단은 시간에 따른 발끝의 높이 변화(세로축, 단위: m)를 나타내고, 마지막으로 우측 하단에는 직진시 측면으로 벗어난 정도(세로축, 단위: m)를 나타낸다.

사각형의 궤적에서 실험결과 속도는 빠르지만 같은 파라미터에 대해서 5번의 반복 실험이 일치하지 않음을 보여준다. 즉, 구해진 파라미터에 의한 걸음새의 자세와 궤적 및 보간수등의 조합이 약간 불완전하여, 실제 수행시 중력 및 몸의 균형의 흔들림등으로 인해 매년 약간씩 틀린 걸음새가 나올 수 있다.

사각형뿐 아니라 사다리꼴과(그림 14) 반원형의(그림 15) 궤적에서 모두 불안정한 움직임을 보여 주고 있다.

걸음새 궤적은 사각형이 가장 빠른 결과를 보였다. 반복 정확성의 문제는 모든 궤적에서 발생한 것으로 추론해 볼 때 파라미터의 설정이 문제가 있는 것으로 추측된다.

위의 사각형 궤적 실험에서(그림 13) GA를 통해 구해진 파라미터를 도식적으로 표현한 것이 그림 16에 나와 있다. 여기서 이동기준점은 반대편 발이 동작을 시작하는 점을 나타낸다. 한 사이클은 5개의 구간으로 구분된다.

그림 16과 같은 보간수의 분포일때 분석해 보면 그림 17 처럼 3개 이상의 다리가 일정 시점에서 공중에 떠있는 시간을 발견할 수 있다. 이로 인하여 반복시 불안정한 현상이 나타남을 알 수 있었다.

주 원인은 로봇의 앞다리와 뒷다리의 보간수(step)가 동기화 되지 않았기 때문이며, 이러한 움직임은 사각형 사다리꼴 반원형에서 모두 나타난다.

그림 17과 같은 현상을 없애기 위하여 그림 18 과 같이 앞발과 뒷발의 보간수를 동기화 하였다. 이후의 실험은 사각형의 궤적이 가장 빠른 속도가 나왔기 때문에 사각형에 대한 실험 결과만을 나타내었다.

그림 19 처럼 보간수를 동기화 하여 실험하면 이전보다 안정한 결과가 나온다. 하지만 정확하게 5번의 실험이 모두

일치 하지는 않으며 속도도 최소 8%이상 낮아진다. 역시 모든 궤적의 모양에서 실험해본 결과 속도는 낮아지나 반복 정확성은 높아 졌다.

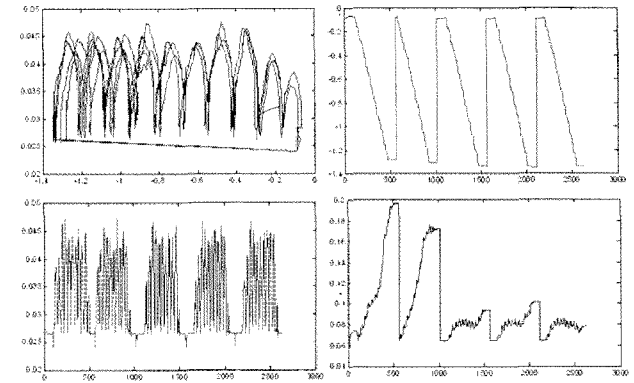


그림 13. 사각형 궤적에서 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 13. Motion results of front paw in rectangular locus

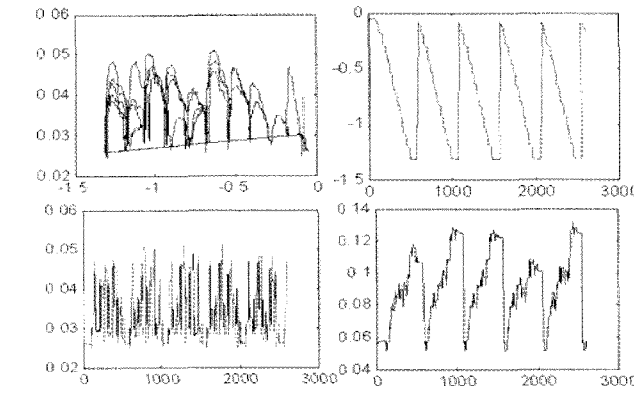


그림 14. 사다리꼴 궤적에서 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 14. Motion results of front paw in trapezoidal locus

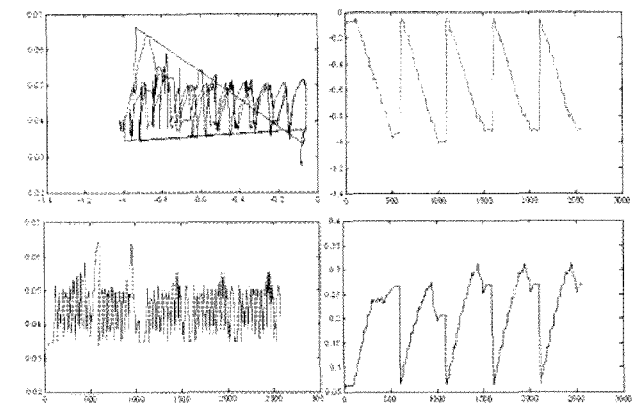


그림 15. 반원형 궤적에서 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 15. Motion results of front paw in elliptical locus

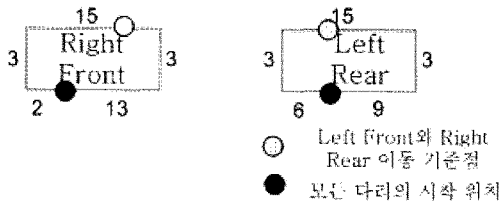


그림 16. 궤적의 위치와 각 구간의 보간수  
Fig. 16. Position of locus and interpolation numbers for each segment

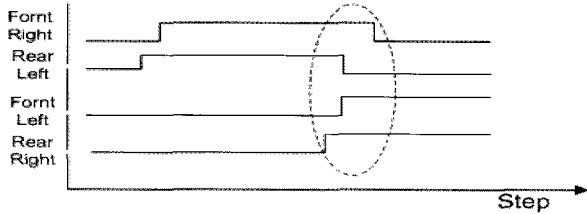


그림 17. 로봇발의 높이 변화  
Fig. 17. Alteration of paw height

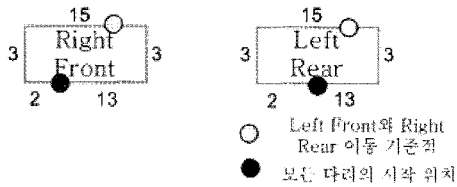


그림 18. 구간의 보간수 동기화  
Fig. 18. Synchronization of interpolation numbers

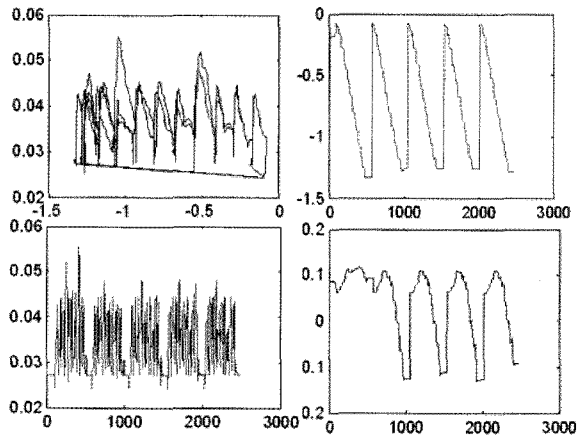


그림 19. 구간의 보간수 동기화에 의한 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 19. Motion results of front paw by synchronization of interpolation numbers

반복 정확도를 더욱 개선하기 위해서, 앞 뒷발의 궤적의 시작위치를 동일하게 설정하여 실험하였다. 앞다리와 뒷다리의 궤적의 위치가 다르면 5개 구간의 속도가 틀러지기 때문에 불안정한 현상이 발생하였기 때문이다.

그림 20과 같이 앞 뒷발의 5개 구간의 보간수와 궤적의 위치를 같게 하면 그림 21처럼 5회의 반복실험에서 궤적이

모두 일치하는 반복 정확성을 얻을 수 있다. 하지만 이 경우에 속도는 기존의 실험보다 15%이상 감소하였다.

지금까지의 실험 결과를 분석하면 속도와 반복정확성은 반비례의 관계를 나타낸다. 따라서 반복안정성을 유지하면서 속도를 높이기 위해서, 지금까지의 방법과는 달리 궤적 상에서 거리를 기준으로 구간의 보간수를 설정하는 대신에, 구간별 보간수 자체도 GA 를 통해 생성하는 방법을 적용하였다. 초기 파라미터(그림 12) 대신에 걸음새 궤적시작위치 파라미터를 하나로 설정하고 5개 구간의 보간수를 결정하는 파라미터 5개를 추가하여 전체 14개의 파라미터로 염색체를 표현하였다.

새로 제안된 염색체 표현을 통해서 실험과 결과, 그림 22와 같이 5번 반복실험에서 매우 안정적이며 속도도 이제까지 알려진 47cm/s[6] 보다 빠른 51cm/s의 빠른 걸음새가 나왔다.

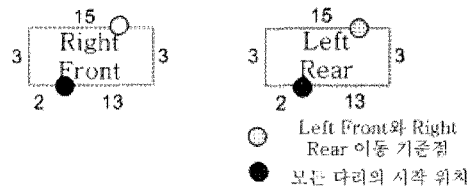


그림 20. 궤적시작위치 동기화  
Fig. 20. Synchronization of initial position

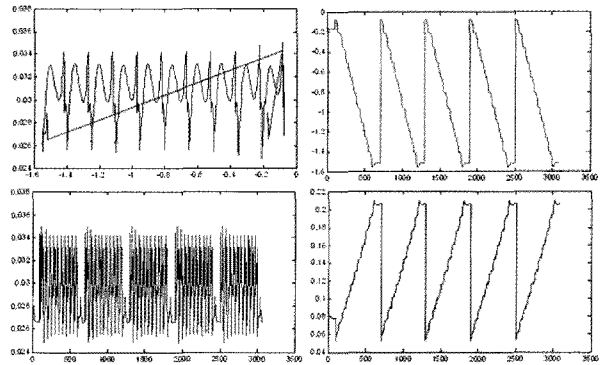


그림 21. 궤적시작위치 동기화에 의한 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 21. Motion results of front paw by synchronization of initial position

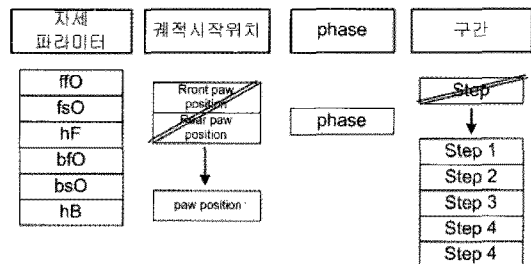


그림 22. 새로운 염색체 표현  
Fig. 22. Representation of new chromosome

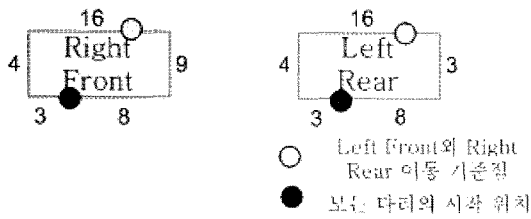


그림 23. 각 구간의 보간수 생성  
Fig. 23. Generation of interpolation numbers for each segment

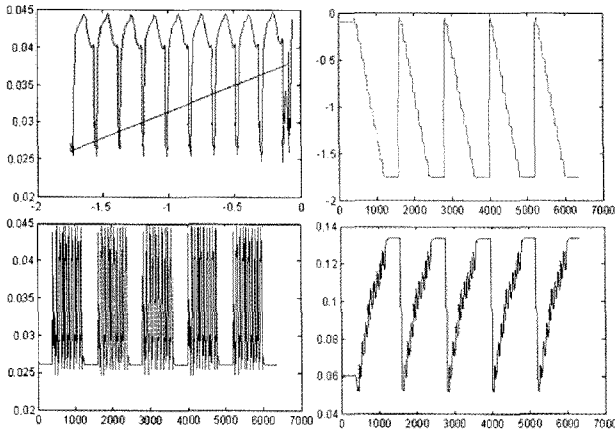


그림 24. 사각형 궤적에서 로봇 앞다리의 움직임  
Fig. 24. Motion results of front paw in rectangular locus

## 5. 결 론

본 연구에서는 장애지형과 엔터테인먼트 분야에서 강점을 지닌 4족 보행로봇에 대해서 GA를 이용하여 속도와 반복안정성을 최적화하는 걸음새의 자동 생성 방법을 구현하였다. 기존에 사용된 걸음새 파라미터 집합에서 중요 파라미터의 영향을 분석하였고, 이를 통해 GA 탐색 파라미터를 설정하였다. 제안된 기법의 검증을 위하여 SONY Aibo 4족 보행 로봇에 대해서 ODE 기반의 물리적 특성의 시뮬레이션이 가능한 Webots를 이용하여 실험을 수행하였고, 속도와 안정성 면에서 모두 향상된 결과를 얻었다.

## 참 고 문 헌

[1] G. S. Hornby, S. Takamura, T. Yamamoto, and Masahiro Fujita, "Autonomous Evolution of Dynamic Gaits With Two Quadruped Robots", in *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 21, No. 3, pp. 402-410, June 2005.

[2] T. R'ofer, T. Laue, D. Thomas. Particle-Filter-Based Self-Localization Using Landmarks and Directed Lines. In *RoboCup 2005: Robot Soccer World Cup IX, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer, 2005

[3] T. Mericli, H. L. Akın, C. Mericli, K. Kaplan,

B. Celik, *The Cerbus'05 Team Report*

[4] Z. D. Wang, J. Wong, T. Tam, B. Leung, M. S. Kim, J. Brooks, A. Chang, N. V. Huben, *The 2002 rUNSWift Team Report*, 2002

[5] M. S. Kim and W. Uther, "Automatic gait optimisation for quadruped robots," in *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation*, Brisbane, Australia, December 2003.

[6] D. Golubovic and H. Hu, "Parameter Optimisation of an Evolutionary Algorithm for On-line Gait Generation of Quadruped Robots" in *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology - ICIT'03*, Maribor, Slovenia, 10 - 12 Dec. 2003.

[7] S. Chernova, M. Veloso, "An Evolutionary Approach To Gait Learning For Four-Legged Robots", In *Proceedings of IROS'04*, Sendai, Japan, September 2004.

[8] H. Dong, M. Zhao, J. Zhang, Z. Shi, N. Zhang, "Gait Planning Of Quadruped Robot Based On Third-Order Spline Interpolation", in *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* October 9 - 15, 2006, Beijing, China.

[9] L. Hohl, R. Tellez, O. Michel, A. J. Ijspeert, "Aibo and Webots: Simulation, wireless remote control and controller transfer", *Robotics and Autonomous Systems*, 54(2006), pp. 472-485, 2006.

[10] Sony Corporation, Model information for ERS-7, OPEN-R SDK, 2004.

## 저 자 소개

서기성(Kisung Seo)

2007년 제 17권 6호 참조



최준석(Junseok Choi)  
2006년 : 서경대학교 전자공학과 공학사  
2006~현재 : 서경대학교 전자공학과 석사과정

조영완(Young-Wan Cho)

2007년 제 17권 6호 참조