

엘리트 유전알고리즘을 이용한 비전 기반 로봇의 위치제어

백주현 · 김동준 (전남대 대학원), 기창두 (전남대 기계공학과)

Vision based position control of manipulator using an elitist genetic algorithm

J. H.Baek(Graduate school ,CNU), D. J. Kim(Graduate school ,CNU),C. D. Kee (Chonnam National Univ.)

ABSTRACT

A new approach to the task of aligning a robot using camera is presented in this paper. We apply an elitist GA to find the joints angles of manipulator to reach target position instead of using nonlinear least error method. Since it employs parallel search and have good performance in solving optimization problems. In order to improve convergence speed, the floating coding method and geometry constraint conditions are used. Experiments are carried out to exhibit the effectiveness of vision-based control using elitist genetic algorithm.

Key Words : elitist genetic algorithm(엘리트 유전알고리즘), vision(비전), vision based control(비전기반 제어), optimization(최적화)

1. 서론

비전 기반 매니플레이터 제어 방법은 로봇 그리퍼(끝단)의 위치제어를 위해 영상정보를 이용한다. 이런 방법은 카메라를 통해 영상정보를 얻고, 이를 이용 로봇 제어를 하는 것이다. 이와 같이 로봇에 비전시스템을 적용하는 것은 로봇에 시각을 부여하는 것으로 로봇이 스스로 주변환경 및 장애물을 인식하여 정확한 작업을 수행할 수 있게 한다. 시각에 의한 로봇 제어에 대한 광범위한 연구는 주로 스테레오 비전, 위치와 깊이 추정, 카메라 모델과 보정 기술, 영상 특징 선택, 추적 생성, 적응 제어, 동적 안정성 해석 등 다양한 분야에서 연구되고 있다.

로봇의 위치는 카메라 좌표와 매니플레이터 기구학적 모델 사이의 상호 관계식으로부터 추정된 매개변수를 이용하여 카메라 공간상에서 제어하고자 하는 그리퍼 상의 점과 목표 영상점 사이의 오차를 최소화 시키는 방법에 의해 구해진다. Skar⁽¹⁾는 기존의 로봇 위치 추정방법으로 비선형 자승오차법을 이용한 수치해석적인 방법을 이용했다.

그러나 본 논문에서는 6 자유도의 로봇의 위치제어를 위해 도함수에 기초한 구배법을 이용한 대신 유전적 계승과 생존경쟁이라는 자연현상을 알고리즘 형태로 모델링한 확률적 탐색법을 이용하였다. 이런 유전알고리즘의 장점은 연속성, 미분가능성, 단변수 등과 같은 탐색공간의 제약성으로부터 자유

롭다는 것이다. 이러한 장점으로 인해 유전알고리즘은 스케줄링, 선로라우팅, 기계학습, 운송문제, 제어, 시스템 식별들에 최근 많이 적용되고 있다. 또한 본 논문에서는 기존에 많이 사용되는 이진코딩 유전알고리즘 대신에 실수코딩 유전알고리즘을 이용하였다. 실수코딩 유전알고리즘⁽⁵⁾은 이진코딩 알고리즘에 비해 여러 장점을 가지고 있다. 무엇보다도 변수(표현형)와 유전자(유전자형)간에 일대일 일치로 프로그래밍이 간편해지고 이진코딩 GA 에서 요구되는 부호화, 복호화 프로세스가 필요 없게 되어 탐색시간을 줄여 전체적인 시간을 감소시킬 수 있다. 또한 실수표현을 사용할 경우에 정밀도는 계산환경에 따라 다르겠지만, 일반적으로 이진표현보다 훨씬 우수하다.

논문의 구성은 제 2 장에서 엘리트 유전알고리즘, 3 장에서는 카메라 모델, 그리고 실험 및 결론 순으로 기술한다.

2. 엘리트 유전 알고리즘

유전알고리즘⁽⁴⁾⁽⁵⁾은 생물집단이 자연선택과 유전자 교환을 통해 번식하는 과정을 모델링화한 알고리즘이다. 즉 어떤 세대를 형성하는 개체들 중 환경에 대한 적합도가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 교배, 돌연변이를 통해 다음세대의 개체들을 형성하게 된다. 이 알고리즘의 주요 요소는 여러 유전자(gene)로 이루어지는 개체(individual), 그리고

개체들의 집합으로 이루어지는 개체군(population)과 이들을 다음 세대로 진화시키는 연산자와 선택과정, 개체들의 적합도를 평가하는 적합함수들로 이루어져 있다.

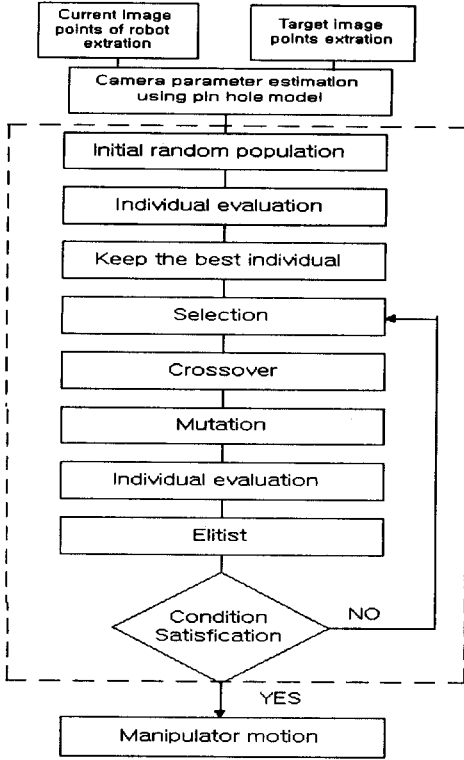


Fig. 1 Flow chart of control method using GA

유전알고리즘에 영향을 미치는 요소들은 집단크기, 교배확률, 돌연변이 확률, 유전연산자 등이 있으며 이들은 수렴속도와 탐색공간에 영향을 미친다. 집단의 크기가 너무 크면 탐색속도가 느려지고, 너무 적으면 탐색이 원치 않은 방향으로 빨리 적응해가며, 교배는 염색체간 유전자 교환을 통해 탐색을 도운다. 그 교배확률이 너무 적으면 새로운 개체발생이 적게되어 탐색이 침체되고, 너무 크면 탐색공간을 빨리 탐색하게 된다. 돌연변이는 유전자를 임의로 변경함으로써 탐색 공간이 어느 특정영역에만 머무르지 않고 탐색공간을 확대시켜줘 전구간을 탐색할 수 있어 지역해로 수렴하는 것을 막아준다. 또한 유전알고리즘의 성능은 교배확률이나 돌연변이확률의 영향보다는 유전연산자의 영향을 더 많이 받는다. 재생산에는 룰렛휠(roulette wheel) 선택이 자주 채용되지만 때로는 순위에 기초한 선택이 더 나을 수도 있다. 그러므로 적용되는 문제에 따라 유전연산자를 달리 적용함으로써 효과적인 결과를 얻을 수 있을 것이다.

2.1 엘리트즘

이전세대의 최적개체를 저장하고 있다가 재생산-교배-돌연변이 연산을 거쳐 현재세대 개체가 완성된 후 이전세대의 최적개체가 소멸되면, 저장된 이전세대의 최적개체를 현 세대에서 적합도가 낮은 개체와 교환해주는 것이다. 이러한 엘리트 전략은 집단 내에서 가장 강한 개체가 다음 세대로 진화시 소멸되지 않고 생존하는 것을 보장해준다.

2.2 초기 집단의 생성

각 회전축의 회전각을 유전자로 하여 실수코딩을 이용하였으며, x_i^U , x_i^L 은 i 번째 회전각이 가질 수 있는 최대, 최소값이면 그 한계 값 내에서 랜덤하게 Population 을 생성하고 코딩방법은 실수코딩방법 사용한다. 이 코딩 방법은 이진코딩보다는 더 자연적이고 부적합한 해의 복구 등이 쉬우며, 제약 조건이 따르는 문제에서는 이진코딩보다는 실수코딩이 더 효과적이다⁶⁾.

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (1)$$

2.3 적합함수

Fitness Function 은 영상평면상의 현재 그리퍼의 위치와 목표 위치 사이의 차를 이용하여 평가하였다. $F_{objective}$ 는 현재 그리퍼의 위치와 물체를 잡기 위해 최종적으로 위치해야 할 영상평면상의 x, y 좌표 값의 차이이다. C 는 임의의 큰 상수 값으로 $F_{fitness}$ 값이 항상 양의 값을 갖도록 하였다.

$$F_{fitness} = C - F_{objective} \quad (2)$$

Table 1 GA parameters

GA 매개 변수	설정값
Popular size	100
Selection rate	0.8
Mutation rate	0.1
Elitist	Yes
Coding	Float coding

3. 카메라 모델

로봇의 그리퍼상의 점을 B_j 이라고 하고 카메라에 대한 그리퍼상의 점은 x_j, y_j, z_j 로 표현할 때 이 점들의 영상 투영 좌표는 핀홀 카메라모델에 의해 식 (3)으로 표현할 수 있다¹⁾⁽²⁾

$$x_c = f \frac{X}{Z}, \quad y_c = f \frac{Y}{Z} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

X, Y, Z : Camera frame
 x, y, z : Gripper frame
 x_c, y_c : Image plane coordinate system

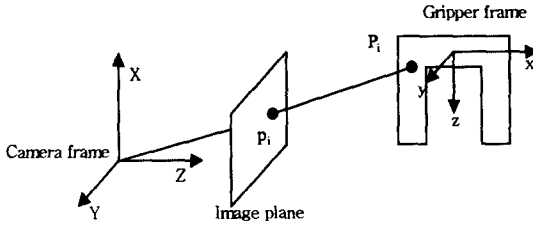


Fig. 2 Camera model

카메라와 그리퍼 좌표 사이의 변환행렬을 오일러 파라미터를 이용하여 기술하면 식 (5)로 표현 할 수 있다.

$$R = \begin{bmatrix} e_0^2 + e_1^2 - e_2^2 - e_3^2 & 2(e_1e_2 + e_3e_4) & 2(e_1e_3 - e_2e_4) \\ 2(e_1e_2 - e_3e_4) & e_0^2 - e_1^2 + e_2^2 - e_3^2 & 2(e_2e_3 + e_4e_4) \\ 2(e_1e_3 + e_2e_4) & 2(e_2e_3 - e_4e_4) & e_0^2 - e_1^2 - e_2^2 + e_3^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

X₀, Y₀, Z₀ 는 카메라 좌표계에 대한 물체 좌표계의 위치 벡터를 나타낸다. 그러므로 핀홀 카메라 모델은 7개의 독립 파라미터의 식으로 표현될 수 있다.

$$x_c = f \frac{X}{Z} = f \frac{T_{11}x + T_{12}y + T_{13}z + X_0}{T_{31}x + T_{32}y + T_{33}z + Z_0} \quad (6.a)$$

$$y_c = f \frac{Y}{Z} = f \frac{T_{21}x + T_{22}y + T_{23}z + Y_0}{T_{31}x + T_{32}y + T_{33}z + Z_0} \quad (6.b)$$

대상물체의 길이가 카메라에서 물체까지의 거리인 Z₀ 와 비교하여 상대적으로 충분히 작다고 가정하면 핀홀 카메라 모델은 테일러 급수로 전개하여 1차 근사화하여 정리하면 새로운 파라미터 C 를 사용하여 식 (7.a)와 (7.b)로 간략화 할 수 있다. x_i^T, y_i^T 이 l 번째 카메라의 공간에서 end effector의 끝점의 목표 위치를 나타낸다면 f_x(x, y, z, C^l)와 f_y(x, y, z, C^l)은 xyz 공간으로부터 l 번째 카메라 공간으로의 국부적 매핑을 나타낸다. C^l 는 6 개의 파라미터 C_i^l의 최근의 추정치를 나타내며 l 개의 카메라가 사용된다면 end effector의 끝점의 목표 위치는 다음식으로 표현된다.

$$f_x(x, y, z, C^l) = (C_1^l)^2 + (C_2^l)^2 - (C_3^l)^2 - (C_4^l)^2 x + 2(C_5^l + C_6^l) y - 2(C_5^l - C_6^l) z + C_7^l \quad (7-a)$$

$$f_y(x, y, z, C^l) = 2(C_2^l C_3^l - C_1^l C_4^l) x + ((C_1^l)^2 - (C_2^l)^2 + (C_3^l)^2 - (C_4^l)^2) y - 2(C_5^l + C_6^l) z + C_7^l \quad (7-b)$$

$$\min J = \sum_{l=1}^L \left\{ [x_l^T - f_x(x, y, z, C^l)]^2 + [y_l^T - f_y(x, y, z, C^l)]^2 \right\} \quad (8)$$

6 개의 파라미터 C_i^l 각각에서의 불안정이 주어질 때 식 (8)으로 부터 계산된 최종의 좌표 x, y, z 의 불안정성을 찾는 것이다. 최종 목표 r = [x, y, z]^T 은 위 최소화 함수를 풀어 얻을 수 있다.

4. 실험

4.1 실험 장치

실험을 위한 제어 시스템은 비전시스템, 주컴퓨터, 제어기, 로봇 매니플레이터로 구성된다. 이미지 처리를 위해 사용된 비전시스템은 CCD 카메라 (처리 화소수는 640×480) 2 대와 영상처리보드 Matrox Meteor Image Processing Board)이며, 제어 대상인 로봇 매니플레이터는 6축 로봇(SAMSUNG FARA MAN-AS1), 제어기는 MMC 보드이다.



Fig. 3 Experimental setup

4.2 구속 조건

수렴속도를 향상시키기 위해 몇 가지 제한조건을 두었다. 첫째, 영상 평면 안에 로봇이 있도록 로봇의 회전각의 한계를 설정하였다. 둘째, 작업공간 바닥에 놓인 물체를 잡기 위해서는 6 개의 회전각 중 4 번 회전각이 변화가 없어야 한다. 또한 물체의 좌표와 로봇의 좌표가 평행하도록 1 번 회전각과 6 번 회전각이 동일해야 하는 조건을 만족하도록 기하학적인 구속조건을 두었다.

Fig4 는 진화하면서 각 세대가 가지는 Fitness function 값을 나타낸다. Objective function 은 현재 그리퍼의 위치와 물체를 잡기 위해 최종적으로 위치해야 할 영상평면상의 x, y 좌표 값의 차이이다. C 는 임의의 큰 상수 값으로 Fitness function 값이 항상 양의 값을 갖도록 하였다(식 2). Fitness function 은 대부분 200 세대정도에서 수렴하였다.

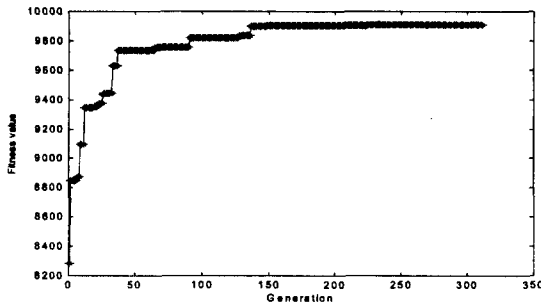


Fig. 4 Fitness value responding to each generation

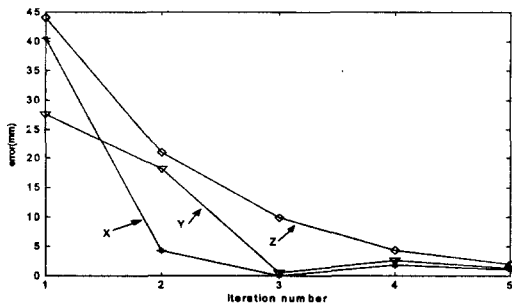


Fig.5 Experimental results of x, y, z error in world coord.

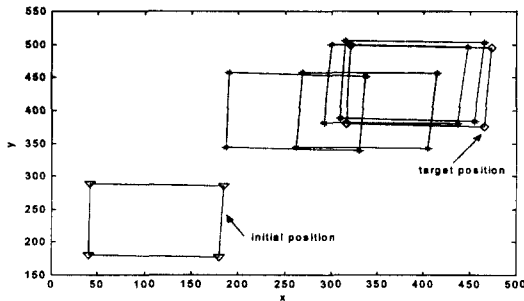


Fig. 6 Experimental results according to gripper moving on image plane

Fig.5 는 로봇의 작업공간에서 물체를 잡기 위해 이동해야 하는 목표 위치와 단계적 이동에 따른 거리 오차이며 지수적으로 오차가 감소하는 경향을 보였다. Fig.6 은 초기위치에서 목표위치까지의 로봇 매니퓰레이터 이동상태를 관찰 공간에 나타냈으며 단계적으로 목표점으로 접근해가는 것을 알 수 있다. Table 2 는 이미지 평면상에서 그리퍼가 초기 위치에서 목표점으로 단계적으로 이동시 각 단계에서 x, y 값을 표시한 것이다.

Table 2 estimated x, y of each step to reach the desired position

초기위치	Xm	180	40	42	185
	Ym	177	180	288	285
1 단계	Xm	330	187	190	337
	Ym	339	344	457	452
2 단계	Xm	404	262	269	414
	Ym	339	344	457	452
3 단계	Xm	437	292	300	448
	Ym	380	381	499	496
4 단계	Xm	455	309	315	465
	Ym	383	388	505	503
5 단계	Xm	460	310	318	470
	Ym	380	385	500	500
목표위치	Xt	465	316	321	474
	Yt	375	380	498	495

5. 결론

본 연구에서는 비전 기반 위치제어에서 영상오차를 최소화하기 위한 최적화 문제에 도함수에 기초한 구배법을 이용한 대신 유전적 계승과 생존경쟁이라는 자연현상을 알고리즘 형태로 모델링한 확률적 탐색법인 엘리트 유전 알고리즘을 적용하였다. 이러한 엘리트 유전알고리즘 방법에서 해는 지역 최소값으로 수렴 또는 발산을 피할 수 있으므로 더 견고한 해를 구할 수 있었다. 또한 비선형 최소 오차법에 비해 수렴속도가 느린 단점은 기하학적 구속조건을 포함한 제한 조건, 그리고 실수형 유전 알고리즘을 사용함으로써 진화속도를 증가시켜 수렴에 이르는 세대 수를 감소시킬 수 있었다. 영상 내 오차의 발생은 카메라 모델과 영상점을 추출시에 발생하는 그리퍼의 특징점에서의 오차로 생각되며 더욱 더 정확한 위치제어를 위해서는 견고한 영상점을 추출하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. W. Z. Chen, U.A Korde, S.B. Skaar, " Position Control Experiments Using Vision", The International Journal of Robotics Research Vol.13, No.3, June 1994, pp.199-1208
2. P. I. Corke, "Visual control of robot manipulators - a review", Visual Servoing, pp. 1-32, World Scientific
3. Mamoru minami, Julien Agbanhan, " Manipulator visual servoing and tracking of fish using a genetic algorithm", An International Journal Vol. 26 · Number 4 · 1999 · pp.278-289
4. Zbigniew, 1996, "유전자 알고리즘", 그린
5. 진강규, 2000, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사