

## PSO를 이용한 지능형 로봇의 주행 제어 알고리즘

문현수, 서효동, 주영훈  
 군산대학교 전자정보공학부

### Navigation Control Algorithm for Intelligent Mobile Robot Using PSO

Hyun Su Moon, Hyo Dong Seo, Young Hoon Joo  
 School of Electronics & Information Engineering, Kunsan University

**Abstract** - 본 논문에서는 Particle Swarm Optimization(PSO)을 이용하여 지능형 로봇의 주행 제어 방법을 제안한다. 지능형 로봇의 주행을 위한 퍼지 제어를 설계하고 퍼지 규칙을 구성하고 있는 멤버쉽 함수의 매개 변수를 PSO를 이용하여 동정한다. 최종 PSO로 동정된 매개 변수를 이용하여 벽면 주행을 수행한다. 마지막으로, 실험을 통해 그 응용 가능성을 증명한다.

#### 1. 서 론

지능형 로봇은 스스로 주위 환경을 인식하여 로봇의 판단에 의해 자율적으로 이동한다. 이를 위해서는 각종 센서들을 이용하여 환경 정보를 수집하고, 이 정보를 기반으로 이동 경로를 결정할 수 있는 제어가 필요하다. 전통적인 제어 이론은 지능형 로봇의 구성 요소인 바퀴와 센서들의 오차로 인해 시스템이 복잡하여 만족스러운 수학적 모델을 얻지 못하였다. 그 대안으로서 퍼지 제어, 인공 신경망을 이용한 제어, 퍼지-신경망 제어, 유전자 알고리즘을 이용한 제어 등 여러 가지 지능 제어 기법이 제안되었다[1,2]. 그 중 퍼지 제어기는 전문가의 경험을 살려 제어 시스템을 언어적인 규칙을 통해 표현한다. 언어적인 규칙을 기반으로 제어를 구성하므로 정확한 수학적 모델을 알지 못할지라도 좋은 결과를 얻을 수 있고 구현이 간단하다고 알려져 있다. 그러나 퍼지 제어기는 전문가의 주관적인 경험에 의해 구성되므로 시스템이 복잡해지거나 돌발 상황에 처했을 때 제어 성능이 떨어지기 쉬우며 퍼지 제어를 최적으로 설계했다는 보장이 없기 때문에 정확도 면에서 신뢰가 부족하다고 알려져 있다. 이러한 이유로 퍼지 제어기의 구성 요소를 최적화하기 위해 인공 신경망, 유전자 알고리즘 등의 방식을 사용한다. Joo 등은 퍼지 모델의 구조 동정에 클러스터링 방법을 이용하고, 퍼지 규칙을 구성하고 있는 멤버쉽 함수의 매개 변수들을 유전자 알고리즘을 이용하여 동정하는 방법을 제안하였고[3,4] Eberhart 등은 PSO 기법이 퍼지 시스템의 가중치를 동정하여 향상된 수행을 한다는 것을 증명하였다[5]. PSO는 유전자 알고리즘의 자연 선택의 진화 메카니즘이 아닌 새 떼나 물고기 무리 등의 움직임에 관한 연구로부터 유도되어 무리 전체가 정보를 공유한다는 가설과 무리의 각 개체들이 현재까지의 자기 경험과 무리 전체에 공유되어 있는 정보를 통해 행동한다는 개념을 최적화 기법에 도입한 것이다.[6] 기존의 유전자 알고리즘들은 수행시간이 길다는 단점을 갖고 있다. PSO는 알고리즘이 간단하여 수행 시간이 짧아 유전자 알고리즘의 긴 수행시간을 보완할 수 있고, 선형이든 비선형이든 어느 쪽 문제에도 적용할 수 있어 효과적으로 최적의 값을 찾는 방법으로 제안되고 있다. Lambert-Torres 등은 PSO를 이용하여 퍼지 멤버쉽 함수의 최적화 문제에 응용하였고[7], Nasri 등은 PSO를 이용하여 퍼지 제어기로 설계된 DC 모터의 속도 조절을 하는데 응용하였다[8].

본 논문에서는 상기 문제를 해결하고자 다음과 같이 PSO를 이용하여 지능형 로봇의 주행 제어 방법을 제안한다. 먼저, 지능형 로봇의 주행을 위한 퍼지 제어를 설계하고 퍼지 규칙을 구성하고 있는 멤버쉽 함수의 매개 변수들을 PSO를 이용하여 동정한다. 마지막으로, 제안된 방법을 이용하여 동정된 매개 변수를 이용하여 벽면 주행을 수행하여 그 우수성을 증명한다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 퍼지 제어기 설계와 PSO를 이용한 퍼지 제어기 매개변수를 동정하는 방법을 설명한다. 3장에서는 실험 내용을, 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 지능형 로봇 주행 시스템

본 논문의 지능형 로봇 주행 시스템은 다음과 같이 세단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 지능형 로봇의 주행을 위해 간략 추론법으로 퍼지 제어를 설계한다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 설계된 퍼지 제어기는 시스템이 복잡해지거나 돌발 상황시 제어 성능이 저하된다. 이 퍼지 제어기의 신뢰성을 강화하고 정확성을 높이기 위해서 퍼지 규칙을

구성하고 있는 멤버쉽 함수의 매개 변수를 PSO에 적용시켜 최종적으로 동정을 마친다. 마지막 단계로 PSO로 동정된 매개 변수를 이용하여 지능형 로봇의 벽면 주행을 수행한다.

##### 2.2.1 퍼지 제어기

본 논문에서 지능형 로봇의 주행을 위해 사용한 퍼지주행 제어기는 간략 추론법으로 식 (1)과 같은 구조를 갖는다.

$$\text{Rule } i: \text{ If } x_1 \text{ is } X_{i1}, \dots, \text{ and } x_n \text{ is } X_{in}, \text{ then } y_i \text{ is } Y_i \quad (1)$$

$$(1 \leq i \leq c)$$

식 (1)에서 Rule  $i$  는 번째 규칙( $1 \leq i \leq c$ ),  $x_j (1 \leq j \leq n)$  는  $j$  번째 입력 변수,  $y_i$  는  $i$  번째 출력 변수,  $X_{ij}$  은 규칙  $i$  번째, 입력  $j$  번째 멤버쉽 함수이고  $Y_i$  는  $i$  번째 규칙에 대한 출력이다. 전반부의 멤버쉽 함수  $X_{ij}$  는 삼각형의 형태로 식 (2)와 같다.

$$X_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{x_{ij} - A_{ij}}{B_{ij} - A_{ij}}, & A_{ij} \leq x_{ij} \leq B_{ij} \\ \frac{C_{ij} - x_{ij}}{C_{ij} - B_{ij}}, & B_{ij} \leq x_{ij} \leq C_{ij} \\ 0, & x < A_{ij}, x > C_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}$  는 삼각형의 왼쪽, 중심, 오른쪽의 위치를 의미한다. 본 논문에서는 입력과 출력 변수의 값들을 0에서 1 사이의 값으로 정규화 하였으며, 각 입력 변수들은 NB(Negative Big), NS(Negative Small), Z(zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big)의 다섯 개로 퍼지 분할되고, 출력 변수는 실수 값을 갖는다. 식 (2)의 퍼지 모델에서 입력 데이터에 대한 적합도  $w_i$  는 식 (3)과 같이 구하며 최종 추론결과 같은 무게 중심법인 식 (4)를 사용한다.

$$w_i = X_{i1}(x_{i1}) \wedge \dots \wedge X_{in}(x_{in}) \quad (3)$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^c w_i \times Y_i}{\sum_{i=1}^c w_i} \quad (4)$$

##### 2.2.2 퍼지제어기의 매개변수 동정을 위한 PSO

PSO는 무리 전체가 정보를 공유한다는 가설과 무리의 각 개체들이 현재까지의 자기 경험과 무리 전체에 공유 되어 있는 정보를 통해 행동한다는 개념을 최적화 기법에 도입한 것이다. PSO는 각 개체들이 현재까지 탐색한 최적의 목적함수  $F(pbest)$ 의 값을 기억한다. 각 개체들은 집단이 탐색 과정에서 발견한 최적의 목적 함수 값  $F(gbest)$  값과  $gbest$ 의 위치 벡터의 정보를 공유하고 있다.  $pbest, gbest$ 를 이용하여 식 (5)를 통해 이동을 하고 각 개체들의 위치는 현재의 위치와 수정된 속도를 이용하여 식 (6)과 같이 나타낸다.

$$v_i^{next} = w_{now} \times v_i^{now} + c_1 \times R_1 \times (pbest_i - p_i^{now}) + c_2 \times R_2 \times (gbest - p_i^{now}) \quad (5)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N)$$

$$p_i^{next} = p_i^{now} + v_i^{next} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

본 논문에서는 식 (5)와 식 (6)에서  $i$ 는 개체의 번호  $v_i^{now}$ 는 현재 개체  $i$ 의 속도 벡터,  $p_i^{now}$ 는 현재 개체  $i$ 의 위치 벡터,  $v_i^{next}$ 는 수정된 개체  $i$ 의 속도 벡터,  $p_i^{next}$ 는 수정된 개체  $i$ 의 위치 벡터,  $pbest_i$ 는 개체  $i$ 가

지금까지 탐색한 최적의 위치 벡터,  $g_{best}$ 는 전체의 개체들이 지금까지 탐색한 최적의 위치 벡터,  $N$ 은 개체의 총 수를 나타낸다.  $w_{now}, c_1, c_2$ 는 가중치 계수로  $w_{now}$ 는 식 (7)에 나타내었고,  $c_1, c_2$ 는 상수 2이다.

$$w_{now} = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (7)$$

식 (7)에서  $w_{max}$ 와  $w_{min}$ 는 각 0.9, 0.4로,  $iter_{max}$ 는 1000으로 사용하고,  $iter$ 의 값은 1에서부터 최적의 값에 도달 할 때까지의 반복 회수를 의미한다. 본 논문에서는 식 (5), 식 (6), 식 (7)을 이용하여 최적의 값을 찾아낸다. 다음은 PSO 알고리즘이 최적의 값을 찾아내는 것을 단계적으로 보여준다.

[step 1] 초기화

전체의 개체(Swarm)에 대해 초기 위치 벡터  $p_i$ 와 속도 벡터  $v_i$ 를 난수를 이용하여 설정한다.

[step 2] 가중치 갱신

개체  $i$ 의 가중치  $w_{now}$ 를 식 (7)을 이용하여 갱신

[step 3] 속도 벡터 갱신

개체  $i$ 의 속도 벡터  $v_i$ 를 식 (5)를 이용하여 갱신

[step 4] 위치 벡터 갱신

개체  $i$ 의 위치 벡터  $p_i$ 를 식 (6)을 이용하여 갱신

[step 5] 각 개체와 전체 개체의 최적 값 갱신

개체  $i$ 에 대해 현재 위치에서 값이  $p_{best}$ 값보다 우수하면  $p_{best}$ 값 갱신, 전체 개체에서  $g_{best}$ 값보다 우수하면  $g_{best}$ 값 갱신

[step 6] 종료 조건

종료 조건을 만족하거나, 규정된 반복횟수에 도달하면 탐색을 종료하고, 그렇지 않으면 [step 2]부터 반복

### 3. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 PSO를 이용하여 지능형 로봇의 주행 제어에 필요한 퍼지 제어기의 멤버십 함수의 매개 변수들을 동정하였다. 동정을 하기 위해서는 실험 데이터들을 필요로 한다. 이 실험 데이터들은 여러 초기 조건을 가지고 이동 로봇을 수동으로 조작하여 획득하거나 이미 일반적으로 우수함이 증명된 제어기를 사용하여 이동 로봇을 주행하여 데이터를 획득하는 방법이 있다. 본 논문에서는 전자인 수동 조작으로 데이터를 획득하는 방법을 선택하였으며, 초기 조건은 기준선을 100[cm], 진행 방향을 10[degree]로 설정하였다.

표 1. PSO의 파라미터 초기 값

Parameter's name	Parameter's Value
Generation	1000
Swarm size	100
$v_{max}$	탐색공간의 20%
$w_{now}$	식 (7)
$[w_{min}, w_{max}]$	[0.4 0.9]
$c_1, c_2$	2.0

표 1은 실험을 위해 사용된 PSO의 초기 값을 나타낸다. 그림 1(a)는 수동으로 동정된 멤버십 함수의 매개 변수를 나타낸 그림이다. 수동으로 동정된 입력과 출력 변수는 5개로 균등분할 하였다.

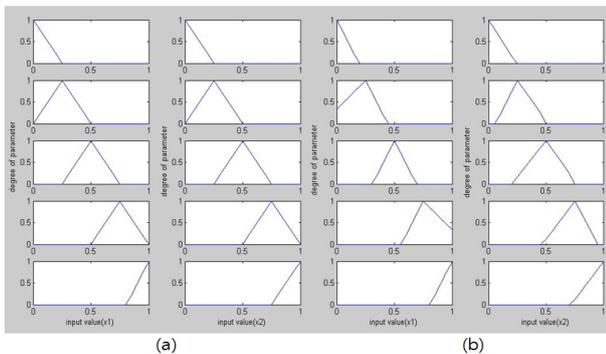


그림 1. (a) 수동으로 설정한 멤버십 함수 (b) PSO로 동정된 멤버십 함수

그림 1-(b)는 PSO로 동정된 멤버십 함수의 매개 변수를 나타낸다. 그림 2는 수동으로 동정된 멤버십 함수의 매개 변수를 기반으로 모의 실험한 결과를 나타낸 그림이고 그림 3은 PSO로 동정된 멤버십 함수의 매개 변수를 기반으로 모의 실험한 결과를 나타낸 그림이다. 그림 2와 그림 3을 비교하면 수동으로 동정된 퍼지 제어기의 벽면 주행 수행의 결과보다 PSO로 동정된 퍼지 제어기의 벽면 주행 수행의 결과가 기준선에 빠르고 정확하게 수렴하는 것을 볼 수 있다.

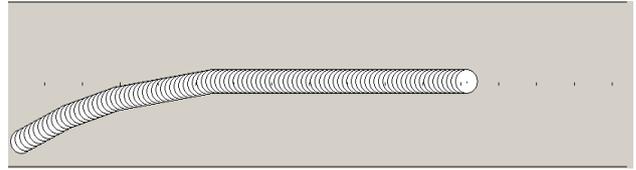


그림 2. 수동 조작에 의한 주행 결과

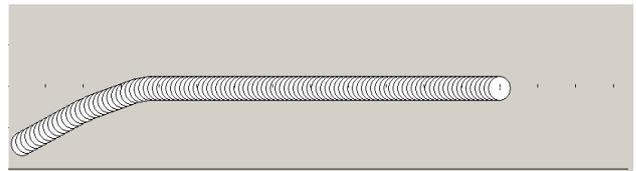


그림 3. PSO로 동정된 퍼지 제어기를 이용한 주행 결과

### 4. 결 론

본 논문에서는 PSO를 이용하여 지능형 로봇의 주행 제어 알고리즘을 제안하였다. 이를위해 먼저 지능형 로봇의 주행을 위한 퍼지 제어기를 설계하고 퍼지 규칙을 구성하고 있는 멤버십 함수의 매개 변수들을 PSO를 이용하여 동정하였다. 마지막으로, 제안된 방법을 이용하여 동정된 매개 변수를 이용하여 벽면 주행을 수행하였다. 결과적으로, 수동으로 동정된 퍼지 제어기의 벽면 주행 수행 결과보다 PSO로 동정된 퍼지 제어기의 벽면 주행 수행 결과가 기준선에 빠르고 정확하게 수렴하는 것을 통해 제안하는 시스템의 우수성을 증명하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] S. Shao "Fuzzy Self-Organizing Controller And Its Application for DynamicProcesses", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 26, pp. 151-164, 1988
- [2] M. Sugeno and T. Yasukawa, "A Fuzzy-Logic-Based Approach to Qualitative modeling", IEEE Trans. On Fuzzy System, Vol. 1, pp. 7-31, 1993
- [3] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Kim and K. B. Woo, "Linguistic Model Identification for Fuzzy System", Electronics Letters, Vol. 31, pp. 330-331, 1995
- [4] Y. H. Joo, H. S. Hwang, K. B. Woo and K. B. Kim, "Fuzzy System Modeling and Its Application to Mobile Robot Control" Fuzzy Logic and Its Applications, Information Sciences, and Intelligent Systems, Kluwer Academic Publishers, pp. 147-156, 1995. 12
- [5] Y. Shi, R. C. Eberhart "Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization", Proceedings of the 2001 conference on Evolutionary Computation, Vol 1, pp. 101-106, 2001. 5
- [6] J. Kennedy and R. Eberhart "Particle Swarm Optimization", IEEE International conference on Neural Networks,, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995. 11
- [7] A.A.A Esmine, A.R Aoki, and G.. Lambert-Torres "Particle Swarm Optimization For Fuzzy Membership Functions Optimization", IEEE international Conference on Systems, Mans and Cybernetics, Vol. 3, pp.6-13 2002. 10
- [8] B. Allaoua, A. Abderrahmani, B. Gasbaoui, and A. Nasri,"The efficiency of Particle Swarm Optimization Applied on Fuzzy Logic DC Motor Speed Control", Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 247-262, 2008 11