

퍼지논리와 유전알고리즘을 이용한 트랙터-트레일러의 후진제어 시뮬레이션

Backward Control Simulation of Tractor-Trailer Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithms

조성인*

정희원

S. I. Cho

기노훈*

정희원

N. H. Ki

ABSTRACT

When farmer loads and unloads farm products with a trailer, linked to a tractor, the tractor-trailer is backed up to the loading duck. However, travelling backward is not easy and takes a time for even skilled operators. Therefore, unmanned backing up is necessary to save the effort. A backward controller of tractor-trailer was simulated using fuzzy logic and genetic algorithms.

Operators drive the tractor-trailer back and forth several times for backing up to the loading duck. As the operators did it, a backward controller was designed using fuzzy logic. And genetic algorithms was applied to improve the performance of the backward controller. With the strings coded with the fuzzy membership functions, genetic operations were carried out. After 30 generations, the best fitted fuzzy membership functions were found. Those membership functions were used in the fuzzy backward controller. The fuzzy controller combined with genetic algorithms showed the better results than the fuzzy controller did alone.

주요 용어(Key words) : 트랙터(Tractor), 퍼지논리제어(Fuzzy Logic Control), 트레일러(Trailer), 유전알고리즘(Genetic Algorithms)

1. 서론

트랙터의 후진제어는 트랙터의 뒤에 작업기를 부착할 경우 등에 필요한 것으로, 작업기가 매우 무겁거나 옮기기에 부적당할 경우 트랙터를 후진하여 작업기를 장착하게 된다. 이는 어느 정도 운전경험을 요구하는 작업으로서, 자동차를 어

느 정도 운전해본 경험이 있는 사람은 트랙터도 용이하게 후진시킬 수가 있을 것이다. 또한, 트랙터를 이용하여 창고에서 물건을 옮기는 등의 작업을 할 경우에는 트랙터의 뒷부분에 트레일러를 부착하여 작업을 하게 되며, 물건을 싣는 곳 (loading duck)까지는 대부분의 경우 후진을 하게 된다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

일반적으로 트랙터는 트레일러가 없는 경우 후진이 비교적 쉽고, 숙련자가 아니라도 후진을 하여 목적한 곳에 트랙터를 위치시킬 수가 있다. 반면에 트랙터의 뒷부분에 트레일러가 부착되어 있을 경우에는 전진의 경우는 방향제어가 쉽지만, 후진을 할 경우에는 비록 트랙터를 다년간 운전해온 사람일지라도 방향제어가 매우 어렵게 된다. 이는 트레일러의 길이가 길 경우 더욱 그러하며, 후진을 할 경우 트랙터의 핸들을 조향하기가 매우 어렵기 때문이다. 또한, 작업이 편리하도록 도달해야 할 경우나 물건을 싣는 곳이 좁을 경우 loading duck 근처에서는 일직선으로 정확히 후진하여야 하는 어려움이 있다.

Kong 등(1992)은 제어지식을 규칙화하여 트랙-트레일러의 후진제어를 하였으나, 목표지점과 가까운 곳에서 출발할 경우 좋지 않은 결과를 보였다.⁽⁷⁾ Tanaka 등(1994)은 트럭-트레일러의 퍼지제어와 그 안정성에 대하여 연구를 했으며,⁽¹¹⁾ 유 등(1994)은 퍼지제어규칙의 중첩에 의한 트럭 후진제어를 하였다.⁽¹⁾ 위의 모든 경우는 후진만을 고려했을 뿐, 후진 시에 발생할 수 있는 전진의 경우는 고려하지 않았다. 또한, 후진시 제어규칙에서 사용되는 적절한 귀속도함수를 시행착오를 거쳐 찾아내었다.

본 연구에서는 먼저 트랙터-트레일러 시스템을 모형화하고, 이를 바탕으로 퍼지논리를 이용하여 전진을 고려한 후진제어기를 구성한 후, 퍼지제어기만을 사용할 경우 나타나는 걱정된 귀속도함수의 결점이라는 문제점을 보완하기 위하여, 유전알고리즘을 이용하여 후진제어기의 직진성을 향상시킬 수 있는 퍼지제어기의 귀속도함수를 찾아내었다.

2. 트랙터-트레일러의 모형화

트랙터-트레일러는 후진을 할 경우 트랙터의 핸들 조향에 의하여 트레일러의 방향이 바뀌게 된다. 이때 트랙터와 트레일러의 위치(그림 1)는 다음과 같이 표시된다.⁽⁸⁾

$$x(t+1)$$

$$=x(t)-r \cdot \cos u(t) \cdot \cos[\gamma(t)-\alpha(t)] \cdot \cos \alpha(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$y(t+1) =y(t)-r \cdot \cos u(t) \cdot \cos[\gamma(t)-\alpha(t)] \cdot \sin \alpha(t) \dots\dots\dots (2)$$

$$\gamma(t+1) =atan2\left[\frac{L_o \cdot \sin \gamma(t)-\gamma \cdot \cos \gamma(t) \cdot \sin u(t)}{L_o \cdot \cos \gamma(t)+\gamma \cdot \sin \gamma(t) \cdot \sin u(t)}\right] \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha(t+1)=atan2\left[\frac{L_o \cdot \sin \alpha(t)-A \cdot \cos \alpha(t)}{L_o \cdot \cos \alpha(t)+A \cdot \sin \alpha(t)}\right] \dots\dots\dots (4)$$

where, $A=r \cdot \cos u(t) \cdot \sin[\gamma(t)-\alpha(t)]$

$$\beta(t+1)=\alpha(t)-\gamma(t) \dots\dots\dots (5)$$

위 식에서 α 는 트레일러가 위치한 각도를 나타내고, β 는 트랙터와 트레일러와의 각도를 나타낸다. γ 는 트랙터가 위치한 각도를 나타내고 u 는 조향 각도를 나타낸다. L_o 는 트레일러의 길이이고, L_t 는 트랙터의 길이이다. r 은 시간 t 에서 $t+1$ 까지의 동안에 움직인 트랙터의 이동거리를 의미한다.

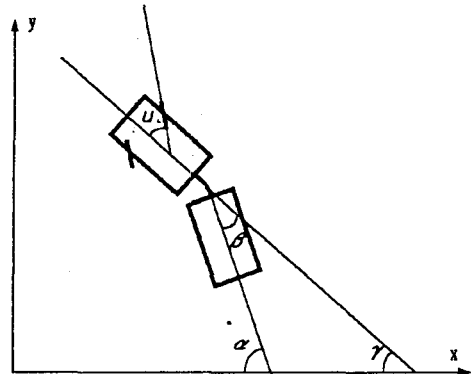


Fig. 1 Modeling of tractor-trailer

α, γ, u 등 변수들의 값은 센서에 의하여 일정한 시간간격으로 측정되고, 노면의 상태는 굴곡지를 고려하지 않고 아스팔트와 같은 평지인 것으로 가정하여 바퀴에서의 슬립은 없는 것으로 하였다.

Table 1. Fuzzy variables and linguistic variables

퍼지변수 언어변수	α	β	d	Handle	Speed
PL	located far to the right	far right from tractor	Not Available	turn far to the right	speed up backward high
PM	located to the medium right	medium right from tractor	Not Available	turn to the medium right	speed up backward moderately
PS	located somewhat to the right	somewhat right from tractor	located right side of loading duck	turn somewhat to the right	speed up backward a little
ZO	located on the main line	making straight line from tractor	located on the middle of loading duck	keep straight	slow down to zero
NS	located somewhat to the left	somewhat left from tractor	located left side of loading duck	turn somewhat to the left	speed up forward a little
NM	located to the medium left	medium left from tractor	Not Available	turn to the medium left	speed up forward moderately
NL	located far to the left	far left from tractor	Not Available	turn far to the left	speed up forward high

3. 퍼지제어에 의한 후진제어기 구성

가. 퍼지변수

퍼지제어를 위한 입력변수로는 트레일러의 위치(α), 트레일러와 트랙터와의 각도(β), 트레일러와 loading duck까지의 수평거리(d)로 주어지며, 출력변수로는 핸들의 조향 각도(Handle)와, 속도(Speed)이다.

이들을 제어하기 위한 언어변수는 표 1과 같다.

나. 퍼지규칙 및 퍼지제어기의 구성

후진제어기는 크게 두 가지로 구분된다. 기존의 후진제어기의 경우에는 후진만을 고려했으나 이럴 경우 사람인 전문가가 제어를 할 경우와는 다른 방식으로 제어를 하게 된다. 즉, 후진제어

시에는 무조건 후진만을 하는 것이 아니고, 상황에 따라서는 전진을 한 후 다시 후진을 하는 것이 훨씬 수월하며 인간적이다.

이를 위하여 제어기를 전진을 위한 것과 후진을 위한 것으로 나누었다. 즉, 퍼지룰베이스(fuzzy rule base)를 전진과 후진으로 나누었다. 전진을 위한 규칙의 수는 16개이고, 후진을 위한 규칙 수는 9개로, 사용한 규칙 수는 25개이다. 후진의 경우 규칙수가 전진의 경우보다 적은 이유는 전진 시에 후진을 쉽게 할 수 있도록 트랙터-트레일러를 위치시켜주기 때문으로, 일단 전진에 의하여 움직여진 트랙터-트레일러는 후진이 쉬워진다.

그림 2에 전진을 위한 규칙과 후진을 위한 규칙의 예를 보였다.

전진에 대한 규칙 5의 경우 “만약 트레일러의 위치가 양의 방향으로 많이 틀어져 있고(PL), 트랙터와 트레일러와의 각도가 음의 방향으로

<Forward Travelling>
 Rule 5 : IF α is PL, β is NM,
 and d is DC,
 THEN *Handle* is NS
 and *Speed* is NL.

<Backward Travelling>
 Rule 18 : IF α is ZG, β is ZO,
 and d is PS,
 THEN *Handle* is NS
 and *Speed* is PM.

Fig. 2 Examples of fuzzy rules

중간정도이며(NM), 트레일러와 loading duck사이의 거리는 관계없을 경우(DC), 트랙터의 핸들을 음의 방향으로 조금만 조향하고(NS), 이때에 속도는 최대로 하라(NL)”는 의미이고, 후진에 대한 규칙 18의 경우 “만약 트레일러의 위치가 loading duck과 수직이고(ZO), 트랙터와 트레일러와의 각도가 거의 없으며(ZO), 트레일러와 loading duck사이의 수평거리가 양의 방향으로 작을 경우(PS), 트랙터의 핸들을 음의 방향으로 조금만 조향하고(NS), 이때에 속도는 후진상태에서 중간정도로 하라(PM)”는 의미이다.

그림 3은 트랙터-트레일러의 후진을 위한 퍼지제어기의 구성도를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 퍼지룰베이스는 forward knowledge base와 backward knowledge base의 두 가

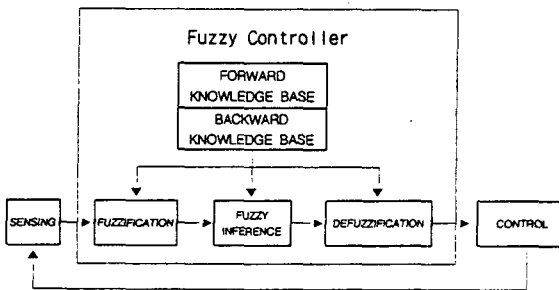


Fig. 3 Block diagram of fuzzy controller and its interface

지로 나뉘어 있다.

4. 유전알고리즘(Genetic Algorithms)에 의한 후진제어기의 직진성 향상

퍼지제어 만을 이용할 경우 퍼지제어기의 설계 시에 가장 중요한 점은 적절한 귀속도함수를 결정하는 것으로서, 이는 퍼지룰베이스와 함께 전문가의 지식을 바탕으로 작성된다. 적절한 귀속도함수를 결정하기 위해서는 여러 번의 시행착오를 거쳐야 가능하다. 완성된 귀속도함수를 이용하여 퍼지제어를 시도하면 후진 시에 완만한 곡선을 그리면서 loading duck에 도달하게 되는데, 이를 개선하기 위해서는 후진경로의 직진성이 유지되어야 한다. 경로의 직진성은 적절한 귀속도함수를 이용하여 개선될 수 있다. 본 연구에서는 퍼지제어를 이용하여 후진제어를 할 때의 경로의 직진성을 향상시키기 위하여 최적의 귀속도함수를 설정하기 위해 유전알고리즘을 사용하였다.

가. 유전알고리즘의 소개

유전알고리즘은 적자생존(natural selection)과 자연유전(natural genetics)에 기초한 탐색 알고리즘으로 Holland(1975)의 “Adaptation in Natural and Artificial System”에서 그 시초를 찾을 수 있다.

기존의 탐색 알고리즘과는 달리 인자들을 부호화 하여(coding), 이 부호화된 개체(string)들을 가지고 작업을 하며, 한 개의 점이 아닌 여러 개의 점들(population)의 집합에서 탐색을 하고, 적합도(fitness, payoff)를 이용하여 탐색을 한다.

유전알고리즘은 3개의 기본적인 연산자를 가지고 있는데 재생산(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)가 그것이다.

재생산은 다음세대에 자손을 남기기 위하여 배우자를 선택하는 것으로 개체들 중에서 적합도에 비례하여 선택된다. 교배(crossover)는 선택된 개체들 중 무작위로 교배하여 각 쌍이 두

개의 새로운 자손(offspring)을 남기는 것으로 한 개체의 어느 부분부터(crossover site) 끝까지가 자신의 배우자와 바뀌게 된다.(그림 4) 교배의 역할은 이를 통하여 자신들보다 형질이 더 우수한 다음 세대를 만들어 내는 것으로, 다른 사람들과 새로운 생각들을 교환하여 더 좋은 결론을 얻는 것과 유사하다. 돌연변이는 좋은 세대들만이 만들어질 경우 유용한 유전자를 잃어버리게 될 가능성을 방지하기 위하여 유전자에 조작을 가하는 것이다.

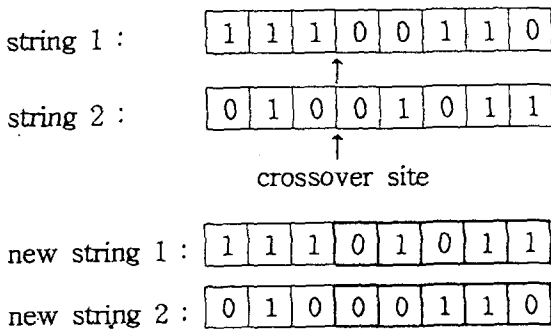


Fig. 4 Crossover of genetic algorithms

위에서의 3가지 기본 연산이 끝나면 목적함수(objective function)에 의하여 각각의 개체가 새로운 적합도를 부여받고 한 세대가 끝나게 된다.

이것이 여러 세대를 지날 경우 적합도가 큰 개체들이 주로 후대까지 자신의 유전자를 물려주게 되어, 개체 중에서 우수한 것들만이 살아남게 된다. 결국, 수많은 세대가 지나면서 적자생존의 결과 우수한 유전자 조각(building block)을 가진 것만이 세대에서 세대로 지수함수적으로 증가하게 되고, 평균치 이하의 적합도 값을 갖는 스키마(schema)는 자손을 남기지 못하고 자연도태되어 없어진다.

나. 유전알고리즘의 적용

유전알고리즘에서는 작업하려고 하는 대상을 개체로 부호화 하는데(coding), 본 연구에서는 하나의 개체(string)가 하나의 완전한 귀속도함수의 집합을 나타내도록 부호화 하였다. 즉, 하

나의 개체가 $\alpha, \beta, d, Handle, Speed$ 를 표시하는 모든 귀속도함수를 나타내도록 하였다. 본 연구에서는 유전알고리즘의 작동시간을 줄여, 후진의 직진성을 향상시키기 위하여 퍼지변수 중에서 $\alpha, \beta, Handle$ 만을 부호화 하였다.

귀속도함수를 부호화 할 경우, 한 개의 귀속도함수를 표시하기 위하여 4개의 점이 필요하며, $\alpha, \beta, Handle$ 의 언어변수(표 1 또는 그림 10, 11, 12)는 모두 가운데(ZO)를 기준으로 하여 대칭이 되기 때문에 부호화를 할 때에 그 절반만을 부호화 하였다.

목적함수(objective function)는 각자 원하는 시스템의 목적에 맞도록 작성해야 하는데, 여기서는 매 세대에서 각각의 개체에 대해 후진제어시 그 직진성에 중점을 두었으므로 다음과 같이 계산하였다.

$$fitness = \sum_{s=1}^{30} \sum_{i=1}^{20} (\text{직진성}) \dots\dots\dots (6)$$

위에서 30은 30세대를 의미하며, 20은 각 개체가 한 세대에서 후진을 20번 시도한 것을 말하고, 직진성은 트랙터-트레일러가 일직선으로 정렬되는 정도와 loading duck에 직각으로 후진되는 경로와의 차이를 고려하여 계산되었다.

위의 내용을 기초로 하여 먼저 처음의 인구(population)를 난수를 발생하여 만들어 준 후, 목적함수를 이용하여 적합도를 계산해 내고, 재생산, 교배, 돌연변이의 연산자를 이용하여 새로운 세대를 만들어 내는 과정을 반복한다. 개체수는 50으로 했으며, 50개의 개체가 30세대를 지낸 후에 그 자식들이 어떻게 변화되어 있는지를 관찰하여 그 중에서 가장 적합도가 큰 개체를 퍼지제어기의 귀속도함수로 사용하였다.

세대수의 결정은 처음에 인구를 만드는 것에 크게 좌우된다. 처음에 난수를 이용하여 적합도가 낮은 개체들이 생성되어 이들이 인구를 구성하게 되면, 일정한 수준의 적합도의 합에 도달하는 데에는 최소한 20세대 정도는 지나야 하는 것으로 시뮬레이션에서 판명되었다. 또한, 적합도가 높은 개체들이 처음에 인구를 구성하게 되면 10세대 이전에도 일정한 수준의 적합도에 도

달하는 결과를 보였다. 위에서와 같이 가장 나쁜 경우를 고려하여 30세대로 정하였다.

5. 결과 및 고찰

가. 퍼지제어에 의한 후진제어

퍼지제어기는 트랙터-트레일러가 위치한 상황에 따라서 전진을 한 후 후진을 할 수도 있고 또는 후진만을 할 수도 있도록 시뮬레이션 되었으며, 후진제어가 실패할 경우 다시 전진을 한 후 후진을 하여 원하는 목적지까지 도달하도록 하였다.

퍼지제어기만을 사용할 경우, 아래 그림 5, 6과 같이 트랙터-트레일러의 궤적이 약간의 완만한 곡선을 그리며 움직이는 것을 알 수 있다. 출발점에서의 트랙터-트레일러의 처음 위치를 그림의 우측하단에 표시하였다.

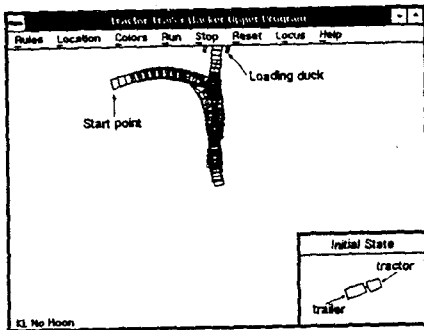


Fig. 5 Fuzzy Control (I)

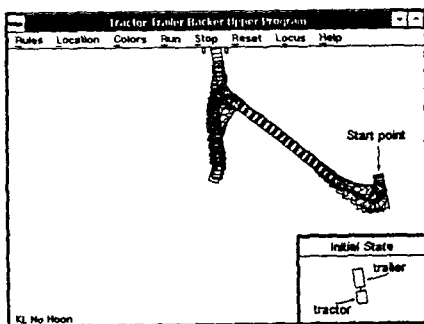


Fig. 6 Fuzzy Control (II)

나. 유전알고리즘을 이용한 경우의 후진 제어

유전알고리즘을 이용할 경우 각 세대별로 적합도의 합을 그림 7과 같이 그래프로 나타내었다. 적합도를 나타내는 곡선이 세대수를 거듭할수록 그 수치가 증가함을 알 수 있고, 이는 세대가 지날수록 더 좋은 형질의 유전자가 다음 세대로 이전되어 전체 적합도를 향상시킴을 보여 준다.

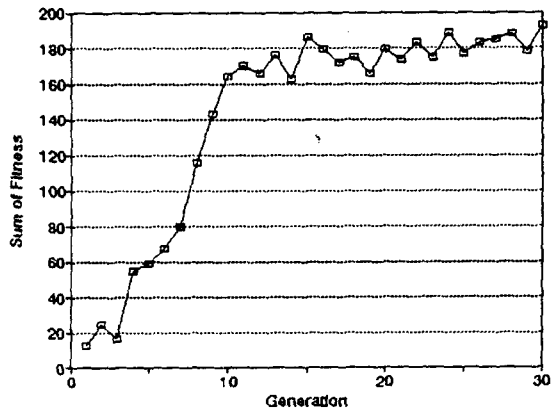


Fig. 7 Fitness of GA

위의 결과 얻어진 새로운 귀속도함수를 이용하여 퍼지제어를 할 경우, 아래 그림 8, 9에서는 후진시의 직진성이 그림 5, 6보다 향상된 것을 알 수 있다. 또한, 퍼지제어기만을 사용할 경우, 후진시에 제어가 제대로 되지 않아 목적지에 도달하는 것이 실패하여 다시 시도하는 일이 많았으나, 유전알고리즘을 사용하여 얻어진 귀속도함수를 이용할 경우 정확한 후진제어로 대부분이 한 번에 목적지까지 도달하였으며, 같은 위치에서 후진을 할 경우에도 직진성이 향상되는 것을 알 수 있다.

유전알고리즘에 의하여 찾아진 귀속도함수를 유전알고리즘을 사용하지 않은 경우의 귀속도함수와 비교한 것이 그림 10, 11, 12이다.

위의 그림 10, 11, 12에서와 같이 유전알고리즘에 의하여 구하여진 새로운 귀속도함수는 가운데에서 즉, NS, ZO, PS의 언어변수 부분에서 삼각형 또는 사다리꼴의 폭이 좁아지거나 합쳐지는 것을 알 수 있다.

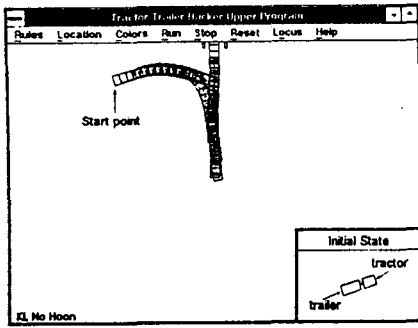


Fig. 8 Fuzzy Control with GA(I)

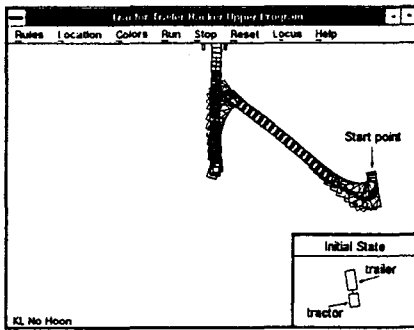
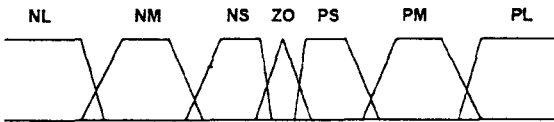
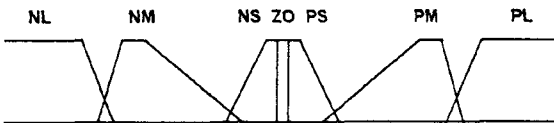


Fig. 9 Fuzzy Control with GA(II)

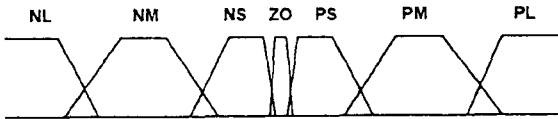


(a) Original membership functions for Handle

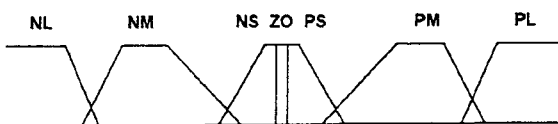


(b) Trained membership functions with GA for Handle

Fig. 10 Membership functions for Handle

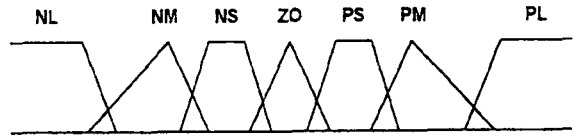


(a) Original membership functions for α

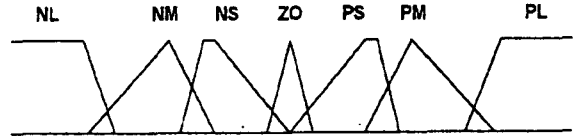


(b) Trained membership functions with GA for α

Fig. 11 Membership functions for β



(a) Original membership functions for β



(b) Trained membership functions with GA for β

Fig. 12 Membership functions for β

그림 13과 같이 트랙터-트레일러의 처음 위치를 loading duck으로부터 일정한 반경 위에서 loading duck line으로부터 18°마다 변화시켜 가면서, 퍼지제어만을 이용할 경우와 유전알고리즘을 사용할 경우 각각에 대하여, 직진성을 비교하였다. 직진성으로부터의 오차(Deviation from straightness)는 loading duck에 직각으로 되는 경로와 트랙터와 트레일러가 이루는 각도의 조합으로 결정되며, 그 값이 작을수록 직진성이 좋다는 것을 의미한다. 그림 14는 위치에 따른 직진성으로부터의 오차를 나타낸 것이다. 유전알고리즘을 사용할 경우 직진성으로부터의 오차가 감소하여 후진의 직진성이 향상됨을 알 수 있다.

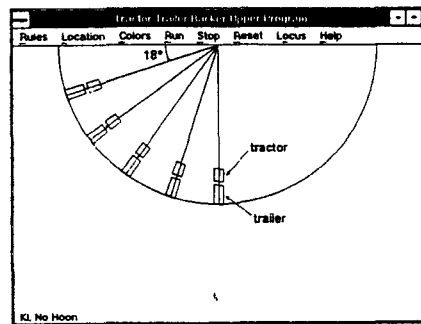


Fig. 13 Various initial positions for the backward control

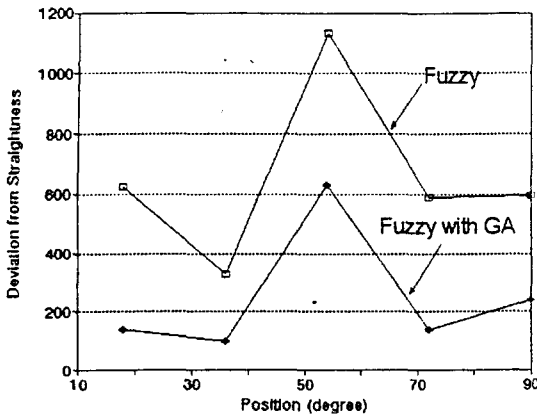


Fig. 14 Deviation from straightness

6. 결론

트랙터-트레일러의 후진제어는 사람이 제어를 할 경우 숙련자도 매우 어려우므로 이를 무인제어가 가능하도록 퍼지논리와 유전알고리즘을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

먼저, 퍼지제어를 이용하여 트랙터-트레일러의 후진제어가 가능함을 보였고, 후진제어시의 직진성을 향상시키기 위하여 유전알고리즘을 적용하여 후진제어에 가장 적당한 귀속도함수를 찾아내었으며, 그 결과 퍼지제어기만을 이용할 경우보다 후진시의 직진성이 향상됨을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

유전알고리즘은 주위의 환경에 적응해 가는 탐색 알고리즘이므로, 주위 환경이 자주 변화하는 농업환경에 적용가능성이 크다고 할 수 있다.

참고 문헌

1. 유완식, 변중남, 1994, 퍼지 제어 규칙의 중첩에 의한 트럭 후진제어, 한국 퍼지 시스템 학회 1994 춘계 학술대회, pp 191~196.
2. Davidor, Y. 1990, Genetic Algorithms and Robotics. World Scientific.
3. Davis, L. 1991, Handbook of Genetic Algori-

- thms. Van Nostrand Reinhold.
4. Fogel, D.B. 1994, An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization. IEEE on Neural Networks, vol. 5, No. 1. pp 3~14.
5. Goldberg, D. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Pub.
6. Higgins, C.M. and Goodman, R.M. 1994, Fuzzy Rule-Based Networks for Control. IEEE on Fuzzy Systems, vol. 2, No. 1. pp 82~88.
7. Kong, S.G. and Kosko, B. 1992, Adaptive fuzzy systems for backing up a truck-trailer, IEEE on Neural Networks, vol. 3, No. 2, pp 211~223.
8. Koza, J.R. 1990, A Genetic Approach to the Truck Backer Upper Problem and Intertwined Spiral Problem, IEEE Contr. Syst. Mag. vol. 10, pp 18~23.
9. Nguyen, D. and Widrow, B. 1990. The Truck Backer-Upper : An Example of Self-Learning in Neural Networks. MIT Press. pp 287~299.
10. Peterson, S. and Lashway C. 1993, A Fuzzy Geometric Pattern Recognition Method with Learning Capability. Fuzzy Logic and Control, Prentice-Hall Pub. pp 279~291.
11. Tanaka, K, and Sano, M. 1994, A Robust Stabilization Problem of Fuzzy Control Systems and its Application to Backing Up Control of a Truck-Trailer, IEEE on Fuzzy Systems, vol. 2, No. 2, pp 119~134.
12. Terano T., Asai, K., and Sugeno, M. 1987, Fuzzy Systems Theory and its Applications. pp 159~168.
13. Wang, L. 1994, Adaptive Fuzzy Systems and Control. Prentice-Hall.
14. Zimmermann, H.J. 1991. Fuzzy Set Theory and its Application. Kluwer Academic Pub.