

미분 게임에서 유전자 알고리즘을 이용한 유도 규칙 산출에 대한 연구

김 용 운^o, 박 동 조^o

^o한국과학기술원 전기 및 전자공학과
(Tel : 869-5438; Fax : 869-8038; E-Mail : ywkim@eagle.kaist.ac.kr)

Key Word : Genetic algorithm, Guidance laws, Prediction model

Abstract

The guidance system which uses the line-of-sight(LOS) rate to guide the missile towards its target has been used to the conventional differential game, such as the pursuer-evader game. Proportional navigation guidance and its derivatives have been shown to be an effective LOS rate guidance system. In this paper, we have used the genetic algorithm to construct the guidance system for the pursuer-evader type differential game. Also we have proposed the prediction model to obtain the informations about the intention of future actions of the pursuer and the evader.

1 서론

미사일을 유도하는 데 사용되는 시선각(LOS)을 기법은 그동안 기존의 미분 게임 등에서 많이 사용되어져 왔다. 그 중에서 비례 항법(Proportional Navigation) 유도 규칙은 기존의 시선각을 사용하는 시스템중에서 가장 널리 알려진 기법이다 [1][6][7].

또한, 유도되는 미사일(Pursuer)을 피하는 목표물(Evader)의 능력은 미분 게임에서의 생존 능력에 상당히 중요한 요인으로 작용한다. 이와 같은 목표물의 항법은 결과적으로 나타나는 미사일과의 최소 거리가 살상 반경보다 더 멀어지면 성공적으로 기동했다고 볼 수 있다.

이와 같이 미사일과 목표물의 행동 양식을 모두 고려하여 유도 규칙을 도출하기 위해서는 많은 수학적인 어려움이 따른다. 따라서 이 논문에서는 기존의 유전자 알고리즘을 이용하여 Pursuer-Evader 형의 미분 게임에 사용되는 미사일 유도 알고리즘을 제안하였다[1][2][4][5].

또한 이 논문에서는 유도 규칙을 산출하기 위해 미사일과 목표물의 미래 기동을 예측하기 위한 예측 모델을 사용하였다. 이 예측 모델은 현재 주어

진 위치, 속도 및 시선각을 가지고 앞으로의 기동 형태를 예측한 다음 이를 기준으로 미사일 유도 규칙을 도출해 내는 데 사용하였다.

2 사용된 모델

이 논문에서 사용된 기존의 미분 게임 모델은 다음과 같다. 여기에서 미사일의 속도는 v_m 으로 가변적이고, 목표물의 속도는 v_t 로 일정하다고 가정한다. 미분 게임에서 사용되는 모델을 그림으로 나타내면 그림 1과 같고, 이를 극좌표계로 표현하면 다음과 같다.

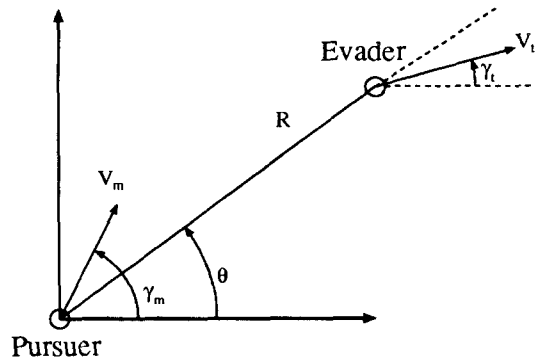


그림 1: 미분 게임 운동 모델

$$\dot{R} = v_t \cos(\gamma_t - \theta) - v_m \cos(\gamma_m - \theta) \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{R} (v_t \sin(\gamma_t - \theta) - v_m \sin(\gamma_m - \theta)) \quad (2)$$

$$\dot{\gamma}_t = \Gamma_t u_t \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_m = \Gamma_m u_m \quad (4)$$

$$\dot{v}_m = -k_m v_m^2 (C_{D_0} + K C_{L_{max}}^2 u_m^2) \quad (5)$$

위의 수식에서 $\gamma_m(\gamma_t)$ 은 미사일(목표물)의 비행 경로각을 의미하고, $\Gamma_m(\Gamma_t)$ 은 최대 회전 반경, 그리고 $u_m(u_t)$ 은 항법 유도명령을 의미한다. 유도

명령 $u_m(u_t)$ 은 주어진 모델에서 무차원화된 변수이고 그 절대 크기에 있어서도

$$|u_m| \leq 1 \quad (6)$$

또는

$$|u_t| \leq 1 \quad (7)$$

와 같은 제한을 받는다.

계산상의 편의를 위해 이들 수식에 쓰인 변수들을 무차원화할 때, 거리와 속도 변수는 다음과 같이 무차원화시켜 줄 수 있다.

$$r = \frac{R}{R_m} \quad (8)$$

$$v = \frac{v_m}{v_t} \quad (9)$$

이 때, 위의 새 변수와 약간의 계산을 통해 미사일과 목표물과의 거리 r 과 시선각 θ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{r} = v_t \cos(\gamma_t - \theta) - v_m \cos(\gamma_m - \theta) \quad (10)$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{r} (v_t \sin(\gamma_t - \theta) - v_m \sin(\gamma_m - \theta)) \quad (11)$$

그리고 미사일과 목표물의 비행 경로각은

$$\dot{\gamma}_t = \frac{R_m \Gamma_t}{v_t} u_t = \frac{R_m}{R_t} u_t = \sigma u_t \quad (12)$$

$$\dot{\gamma}_m = \frac{R_m \Gamma_m}{v_t} u_m = \frac{v_m}{v_t} u_m = v u_t \quad (13)$$

와 같이 된다. 이 때, 무차원화된 미사일의 속도는

$$\begin{aligned} \dot{v} &= \frac{R_m}{v_t^2} \dot{v}_m \\ &= -k_m R_m \left(\frac{v_m}{v_t} \right)^2 (C_{D_0} + K C_{L_{\max}}^2 u_m^2) \\ &= -\frac{v^2}{C_{L_{\max}}} (C_{D_0} + K C_{L_{\max}}^2 u_m^2) \\ &= -v^2 \left(\frac{C_{D_0}}{C_{L_{\max}}} + K C_{L_{\max}} u_m^2 \right) \end{aligned} \quad (14)$$

와 같이 정리할 수 있다.

위의 과정을 종합하여 미분게임의 모델을 다시 써 보면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{r} = v_t \cos(\gamma_t - \theta) - v_m \cos(\gamma_m - \theta) \quad (15)$$

$$\dot{\theta} = \frac{1}{R} (v_t \sin(\gamma_t - \theta)) \quad (16)$$

$$\dot{\gamma}_t = \sigma u_t \quad (17)$$

$$\dot{\gamma}_m = v u_m \quad (18)$$

$$\dot{v} = -v^2 (a + b u_m^2) \quad (19)$$

여기에서

$$\sigma = \frac{R_m}{R_t} = \frac{\Gamma_t v_m}{\Gamma_m v_t} = \frac{\Gamma_t}{v_t k_m C_{L_{\max}}} \quad (20)$$

$$a = \frac{C_{D_0}}{C_{L_{\max}}} \quad (21)$$

$$b = K C_{L_{\max}} \quad (22)$$

이다. 일반적으로 미사일이 목표물을 맞추기 위해서는 $\sigma < 1$ 이라는 조건이 필요하다.

3 유도 알고리즘

지금까지의 미사일 유도 알고리즘에는 시선각 기법, 비례 항법 등 많은 종류의 유도 항법들이 있어 왔다. 이 논문에서는 기존의 방법과 다르게 유전자 알고리즘을 미분 게임에 적용하여 미사일의 유도 알고리즘을 제안하였다.

미사일 유도 알고리즘을 얻기 위해 사용된 유전자 알고리즘은 기존의 유전자 알고리즘과 약간의 차이가 있다. 기존의 유전자 알고리즘은 생물학적인 유전자와 유사한 구조를 갖게 하기 위해 유전자의 형태가 이진 구조를 취한다. 이에 반해 여기에서 사용된 유전자 알고리즘의 구조는 이와 같은 이진 구조대신 실수형의 유전자를 갖도록 하였다. 이와 같은 유전자 알고리즘에서 유전자의 진화 과정은 백색 가우시안 난수를 이용하여 실수형 유전자가 가지고 있는 값을 변하게 한다. 따라서, 여기에서의 진화 과정은 기존의 유전자 알고리즘에서 사용된 Crossover와 돌연변이 과정을 혼합한 방법으로 진화 연산을 하게 된다.

미사일 유도 알고리즘을 얻기 위해 이 논문에서는 미사일과 목표물의 앞으로의 기동을 예측하기 위한 예측 모델을 사용하였다. 이 예측 모델과 결합된 유도 알고리즘을 그림 2에 보였다.

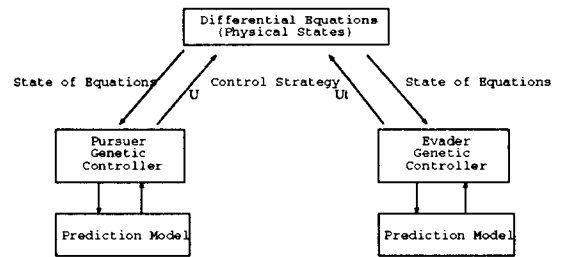


그림 2: 유도 알고리즘의 구성

그림 2에 주어진 시스템은 다음과 같이 동작한다. 먼저 각각의 상대에 대한 각종 정보들을 수집한다. 이와 같은 정보들은 레이다, 자세 결정 기구 등에서 얻는다.

이렇게 각종 정보들이 수집되면, 주어진 예측 모델은 미사일과 상대 목표물의 미래 기동을 예측하게 된다. 그리고 나서 유전자 알고리즘은 이

예측된 결과를 가지고 각 유전자들의 적합도를 계산하고 제어 명령을 도출하게 된다. 한 진화 세대 안에서의 유전자들 중에서 미사일이나 상대 목표물을 제어하는 유도 명령은 적합도가 가장 좋은 유전자에서 찾게 된다.

이 논문에서 사용된 유전자 제어기에서 각 유전자들의 적합도는

$$\text{Fitness} = K_1 \times R + K_2 \times \theta, \quad (23)$$

와 같이 구하게 된다. 여기에서 K_1, K_2 는 문제에 알맞게 설정해 준 상수값들이고, R 은 예측 모델에서 구한 미사일과 목표물과의 예측 거리를 말하고, θ 는 미사일과 목표물 사이의 예측된 시선각을 의미한다. 따라서 가장 적합도가 좋으려면 R 과 θ 가 작을수록 좋은 유전자가 된다.

이와 같은 유전자 알고리즘은 디지털 제어, 비선형 제어 등과 같은 많은 분야에서 해석적으로 주어지지 않은 문제에 접근했을 때와 비슷한 결과를 보인다는 것이 알려져 있다. 즉 이는 유전자 알고리즘이 해석적으로 접근하기 힘든 문제에 있어서 보다 쉽게 문제의 해결을 도와 줄 수 있다는 것을 말한다.

4 Simulation 결과

제안한 유도 알고리즘을 가지고 2절에서 주어진 미분 게임 모델에 대해 여러 가지 경우에 대해 많은 Simulation을 행하였다. 여기에서는 그 중에서 미사일의 초기 방향이 지상에 대해 0도이고, 목표물의 초기 방향이 지상에 대해 45도, 90도, 그리고 135도인 경우에 대해 보인다. 이 논문에서 사용하는 미분 게임 모델은 [3]에 기초하여 만들어졌다.

여기에서 행한 Simulation에서는 미사일과 목표물 모두 제안된 유도 알고리즘을 가지고 기동한다고 가정하였다. 그리고 여기에 쓰인 유전자 알고리즘의 기본 파라미터들은 표 1과 같이 정의하여 사용하였다.

표 1: 유전자 알고리즘의 기본 파라미터

기본 파라미터	값
개체 수	50
진화 세대수	30
제어 변수	1
상태 변수	5
적합도 변수	1

그리고 2절에서 주어진 미분 게임 모델에서 각각의 상수들은 표 2와 같이 정의하여 사용하였다.

Simulation 결과들은 그림 3, 그림 4, 그리고 그림 5에 보였다. 그리고 여기에서는 해석적으로 구

표 2: 미분 게임 모델에서의 상수값

상수	값
R_m	1515.15 m
v_t	300 m/sec
σ	0.809
a	0.0875
b	0.40
$v_m(t_0)$	800 m/sec

한 유도 알고리즘과 비교하기 위하여 그 결과들을 같이 보였다.

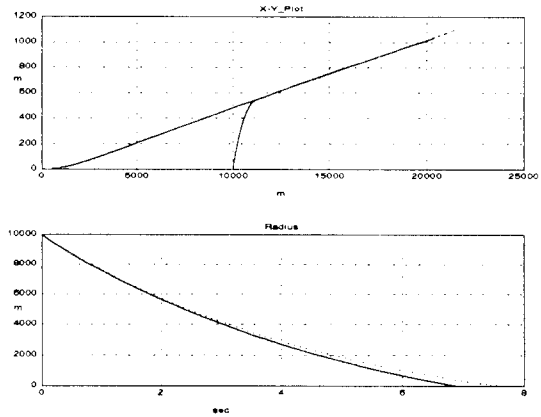


그림 3: 목표물 초기 방향 : 45도

이들 그림에서 실선은 유전자 알고리즘과 예측 모델을 사용하여 얻은 제안된 유도 알고리즘의 결과를 의미하고, 점선은 최적 제어 기법에 따라 해석적으로 구한 결과를 나타낸다. 여기에서 볼 수 있듯이 유전자 알고리즘을 사용하여 구한 결과와 해석적으로 구한 결과가 상당히 유사함을 볼 수 있다. 즉 유전자 알고리즘을 이용하여 미분 게임에서의 최적화 문제에 대해서도 적용 가능성을 보여 준다고 할 수 있다.

5 결론

이 논문에서는 미분 게임에서의 유도 알고리즘을 구하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 그리고 사용된 유전자 알고리즘의 구조를 기존의 유전자 알고리즘과 비교하여 약간 변형을 시켰다. 여기에서의 진화 과정은 실수형 유전자에 잡음성 난수를 가지고 돌연변이를 일으켰다.

또한 제안한 유도 알고리즘을 가지고 이 논문에서는 몇 가지의 Simulation을 행하였고, 이를 해석적으로 구한 결과와 비교하였다. 그 결과들에서 알 수 있듯이 유전자 알고리즘을 사용하여 얻은

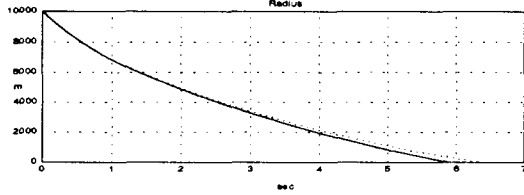
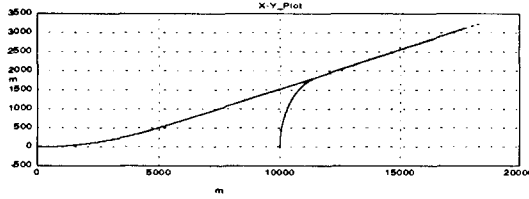


그림 4: 목표물 초기 방향 : 90도

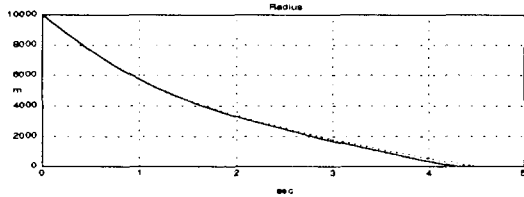
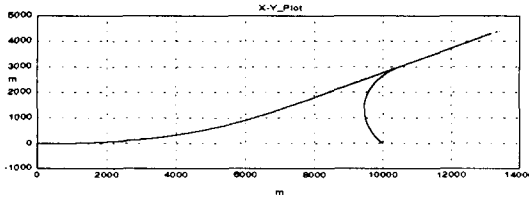


그림 5: 목표물 초기 방향 : 135도

유도 알고리즘은 해석적으로 얻은 결과와 상당히 유사한 결과를 보였다. 이와 같은 결과를 토대로 앞으로는 유전자 알고리즘을 사용하여 미분 게임 모델을 최적화하는 데에도 응용할 계획이다.

참고 서적

- [1] A. Blaquiere, F. Gerard, and G. Leitmann, *Quantitative and Qualitative Games*, Academic Press, 1969
- [2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms - in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989
- [3] M. Guelman, J. Shinar, and A. Green, "Qualitative Study of a Planar Pursuit-Evasion Game in Atmosphere," *AIAA*, Aug. 1988
- [4] R. Isaacs, *Differential Games*, Robert E. Krieger Publishing Co., 1975

- [5] J. Koza, *Genetic Programming*, MIT Press, 1992
- [6] H. Seywald and R. R. Kumar, "Genetic Algorithm Approach for Optimal Control Problems with Linearly Appearing Controls," *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, Vol. 18, No. 1, 1995
- [7] J. Shinar and R. Tabak, "No-Escape Firing Envelopes Revisited," *ACC*, 1994