

論文

퍼지로직을 이용한 무인항공기의 충돌 회피

장대수*, 조신제*, 탁민제*, 구훤준**, 김종성**

Fuzzy Logic Based Collision Avoidance for UAVs

Dae-Su Jang*, Shin-Je Cho*, Min-Jea Tahk*, Hueon-Joon Koo** and Jong-Soeng Kim**

ABSTRACT

This thesis describes collision avoidance using fuzzy logic based on "Right of way" rules of ICAO and FAA and pilot's experiences for Unmanned Aerial Vehicle(UAV). To apply the rules, we designed fuzzy logic based collision avoidance system. And we also designed decision logic for enable condition of collision avoidance system. Decision logic have three kinds of core key, i.e. Relative Range, Time of CPA(Closest Point of Approach) and Distance at CPA. Application of decision logic made a possible to avoid NMAC(Near Mid-Air Collision) and it has been verified through several simulations. To conclude, we proposed the method to carry out "See and Avoid" ability on UAVs, which is capability to mingle with manned aircraft in civil airspace.

초 록

본 논문에서는 국제민간항공기구와 미연방항공청에서 규정한 "Right of way" 규정과 조종사의 경험을 바탕으로 한 퍼지로직을 이용한 무인항공기의 충돌회피를 다루고 있다. 이 규정을 적용하기 위해 퍼지로직을 이용한 충돌회피 시스템을 설계하였다. 그리고 충돌회피 시스템이 작동할 조건을 위해 결심로직을 설계하였다. 결심로직은 상대방위, CPA까지의 시간, CPA에서의 거리 등 세가지의 중요 요소로 구성되어 있다. 결심로직의 적용은 NMAC를 회피하기위해 설계 되어졌으며 몇 가지 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 결론적으로 본 논문에서는 일반공역에서 유인항공기와 함께 비행할 수 있도록 무인항공기의 "See and Avoid" 능력을 수행할 수 있는 방법을 제안하였다.

Key Words : Right of way, UAV(무인항공기), Collision Avoidance(충돌회피), Fuzzy(퍼지)

1. 서 론

무인항공기의 운용이 증가하면서 종전의 제한된 공역에서의 운용을 벗어나 일반공역으로의 진입이 불가피하게 되었다. 현재의 제한 공역에서의 무인항공기의 비행운용은 유인항공기의 조종사들이 NOTAM(Notice to Airmen)이라는 항공

고시보 체계를 통하여 사전에 무인항공기의 운용계획을 인지하여 설정된 제한공역으로 진입하지 않고 있다. 이렇게 무인항공기가 일반공역으로 진입하기 위해서는 유인항공기와 대등한 충돌회피에 대한 안전 기술이 보장되어야 할 것이다.

유인항공기가 충돌회피를 하게 될 경우 유인항공기는 국제민간항공기구(ICAO)와 미국연방항공청(FAA)에서 규정한 규정에 따라 조종사가 이를 확인하고 회피하게 된다.

이와 같이 Sense and Avoid 대한 연구로 미국 연방항공국(FAA)에서는 MARCAT(Mid-Air Collision Assessment Tool)을 개발하여 Sense

† 2006년 1월 12일 접수 ~ 2006년 5월 17일 심사완료

* 정희원, 한국과학기술원 항공우주공학전공

연락처자, E-mail: dsjang@fdcl.kaist.ac.kr

대전시 유성구 구성동 373-1

** 정희원, 국방과학연구소

and Avoid에 대한 근접비행(Near miss) 및 회피 기동에 대한 분석 등을 연구중에 있다. 또한 UAV Battlelab에서는 ATDSS(Air Traffic Detection Sensor System)을 2003년도에 제안하여 미 공군과 공동으로 Predator 와 Global Hawk를 이용한 vision-like system을 연구중에 있다.

본 논문에서는 유인항공기의 "See and Avoid" 개념을 무인항공기에서의 "Sense and Avoid" 개념으로 전환하여 유인항공기가 준수하는 회피규정과 동일한 방식으로 충돌회피를 수행할 수 있도록 퍼지논리를 이용하여 충돌회피 시스템을 설계 및 구현하였다.

또한 퍼지논리를 이용한 충돌회피 시스템의 작동조건으로 결심로직(Decision Logic)을 설계하여 NMAC(Near Mid-Collision Avoidance)를 회피할 수 있도록 하였다. 여기서 NMAC란 두 대의 항공기가 수평으로 500 ft, 수직으로 100 ft 까지 근접하는 상황을 의미한다.

II. 퍼지 추론 시스템 (Fuzzy Inference System)

퍼지추론 시스템은 다음과 같이 다섯 가지 요소를 구성되어 있다.

첫째는 명확한 값을 언어적인 값으로 변환시켜 주는 퍼지화 인터페이스 (Fuzzification Interface)

둘째는 퍼지논리 제어에서의 퍼지데이터를 조작하고, 언어적 제어규칙을 정의하는데 필요한 사항들을 정의하는 데이터 베이스(Data Base)

셋째는 퍼지논리 제어기의 실행부가 되는 곳으로 퍼지관계와 퍼지논리의 추론규칙을 도입하여 인간의 의사결정방식을 묘사하여 퍼지 제어입력을 구해주는 기능을 하는 의사 결정 논리부 (Decision-making unit)

넷째는 제어목적과 이 방면의 전문가의 제어 방침을 언어적 제어 규칙들로 되어 있는 룰 베이스(Rule Base)

다섯째는 출력 퍼지값을 실제 제어입력의 전체 집합에 맞추어 크기 변화를 시키는 부분으로 위

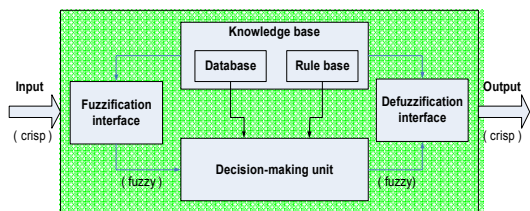


그림 1. 퍼지 추론 시스템 개념도

에서 계산된 퍼지값은 실제 제어입력으로 사용할 수 없으므로, 이를 명확한 비퍼지값으로 변환 시키는 비퍼지화 인터페이스(Defuzzification Interface)

그림 1은 퍼지 추론 시스템의 전체적인 시스템 개념도를 나타낸다.

2.1 퍼지화 인터페이스(Fuzzification Interface)

퍼지화 인터페이스에서는 제어기 입력변수의 값을 측정 후 입력 변수값의 영역을 이에 상응하는 전체집합으로 크기 변환을 시킨 다음 입력값의 퍼지화를 수행한다. 즉 입력값을 적절한 언어적인 값으로 변환시킨다. 여기서 언어적인 값은 입력부 전체 집합 내에서 정의된 퍼지집합들의 이름을 사용한다.

본 시스템의 입력값은 두 가지로 침입기(intruder)에서 본 무인항공기의 상대 방위값과 무인항공기에서 본 침입기의 상대 방위 값을 사용한다. 본 입력값들은 레이더를 장착한 무인항공기로부터 측정되어지는 값들이다.

상대 방위값의 범위는 -180도에서 +180도까지이며 음의 부호(-)는 좌측, 양의 부호(+)는 우측을 의미한다. 전체집합은 FF(Front Forward), LF(Left Forward), LB(Left Back), LBR(Left Back Rearward), RBR(Right Back Rearward), RB(Right Back), RF(Right Forward) 등 총 7개로 구분되어 진다. 전체집합에 대한 각각의 상대 방위값의 구분은 그림 2와 같다.

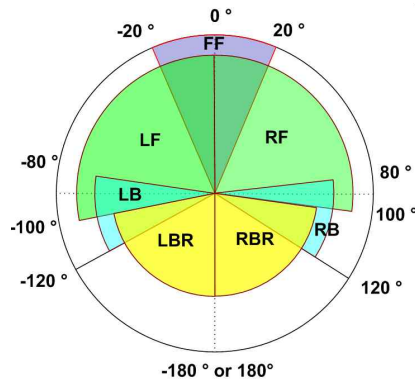


그림 2. 퍼지화 인터페이스 전체집합의 구분

2.2 데이터 베이스(Data Base)

2.2.1 입력 멤버십 함수

입력 멤버십함수는 7가지의 삼각 퍼지셋을 사용하였다. 그림 3은 입력 멤버십 함수의 삼각 퍼지셋을 나타낸다.

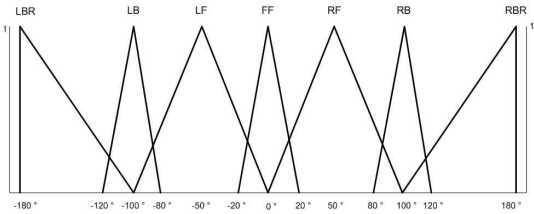


그림 3. 입력 멤버십 함수

삼각 퍼지셋의 계산식은 다음과 같다.

$$A = \int_{X1}^{X2} \frac{(-X1 + X)}{X2 - X1} \frac{1}{X} + \int_{X2}^{X3} \frac{(X3 - X)}{X3 - X2} \frac{1}{X} \quad (1)$$

함수의 X1은 삼각 퍼지셋의 좌측값 또는 최소값, X2는 삼각 퍼지셋의 중앙값 또는 중간값, X3는 삼각 퍼지셋의 우측값 또는 최대값을 의미한다. 입력 멤버십 함수의 정의는 표 1에서 다루고 있다.

표 1. 입력 멤버십 함수의 정의

Division	Meaning	Membership Function (X1:X2:X3)
FF	Front Forward	-20 : 0 : 20
LF	Left Forward	-100 : -50 : 0
LB	Left Back	-120 : -100 : -80
LBR	Left Back Rearward	-180 : -180 : -100
RBR	Right Back Rearward	100 : 180 : 180
RB	Right Back	80 : 100 : 120
RF	Right Forward	0 : 50 : 100

2.2.2 출력 멤버십 함수

출력 멤버십함수의 값들은 퍼지 시스템에서 최종 출력값을 내주는 함수로서 7가지의 삼각 퍼지셋을 사용하였다. 그림 4는 출력 멤버십 함수의 삼각 퍼지셋을 나타낸다.

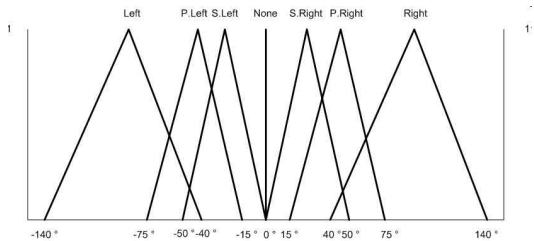


그림 4. 출력 멤버십 함수

음의 부호(-)는 좌선회, 양의 부호(+)는 우선회를 의미하고 각각의 값들은 횡적 기동을 위한 선회량(degree)을 의미한다.

함수의 Y1은 삼각 퍼지셋의 좌측값 또는 최소값, Y2는 삼각 퍼지셋의 중앙값 또는 중간값, Y3는 삼각 퍼지셋의 우측값 또는 최대값을 의미한다. 표 2는 출력 멤버십 함수의 정의를 보여준다.

표 2. 출력 멤버십 함수의 정의

Division	Meaning	Membership Function (Y1 : Y2 : Y3)
Left	Left	-140 : -90 : -40
P.Left	Priority Left	-75 : -45 : -15
S.Left	Slightly Left	-50 : -25 : 0
None	None of command	0 : 0 : 0
S.Right	Slightly Right	0 : 25 : 50
P.Right	Priority Right	15 : 45 : 75
Right	Right	40 : 90 : 140

2.3 룰 베이스(Rule Base)

룰 베이스(Rule Base)는 국제민간항공기구 부속서 2권(ICAO Annex 2)의 "Rules of the Air"와 미국연방항공규칙(FAR) 91.113의 "Right of way"를 근거로 한 충돌회피 규정(이하 Right-of-way rules)과 조종사의 경험을 바탕으로 하여 구성되어 졌다.

2.3.1. Right-of-way rules

(1) 수평 비행하는 두 항공기가 정면으로 접근할 때에는 상호 충돌회피를 위해서 서로 오른쪽으로 선회를 하여 진로를 양보하여야 한다.

(2) 수평 비행하는 두 항공기가 서로 충돌하는 경로에 있을 경우에는 왼쪽에서 다가오는 항공기가 진로양보를 하여야 하며 다른 항공기를 회피하기 위해서 우선회를 하여야 한다.

(3) 추월하고자 하는 항공기는 추월당하는 항공기가 상승이나 강하를 하고 있는 중일지라도 추월당하는 항공기에게 진로양보를 위해 우선회를 하여야 한다. 추월하는 항공기는 다른 항공기의 후방에서 접근하는 항공기이거나 두 항공기의 세로축을 기준으로 70도이내에 있는 항공기이다.

2.3.2 룰 관계식 (Rule relation)

룰 관계식에서는 2.3.1에서 언급한 규정과 조종사의 경험을 바탕으로 구성되어졌고 룰 관계식은 표 3과 같다.

표 3. 룰 관계식

Aircraft	Intruder							
	Bearing	FF	LF	LB	LBR	RBR	RB	RF
Own UAV	FF	Right	P.Right	S.Left	P.Left	P.Left	S.Left	Left
	LF	Right	Right	S.Left	S.Left	S.Left	S.Left	Right
	LB	Right	Right	None	None	None	S.Left	Left
	LBR	Right	Right	None	None	None	None	S.Left
	RBR	Right	Right	None	None	None	None	S.Left
	RB	Left	Right	S.Right	S.Right	None	None	S.Left
	RF	Left	P.Right	S.Right	None	None	S.Right	Left

2.4 비퍼지화(Defuzzification)

퍼지제어의 퍼지 추론결과는 제어입력 전체집합에 정의된 퍼지집합으로 출력된다. 출력부 전체 집합에서 정의된 퍼지제어 조작량을 명확한 비퍼지 제어 조작량으로 변환시켜주는 작업을 비퍼지화(Defuzzification)이라고 한다.

본 연구에서는 비퍼지화 방법으로 가장 널리 사용하는 무게중심법(Center of area method)을 사용하였다.

$$\bar{y} = DEFUZZIFIER[u_Y(y)]$$

$$\bar{y} = \frac{\int u_Y(y) \cdot y dy}{\int u_Y(y) dy} \tag{2}$$

III. 결심로직(Decision Logic)

결심로직의 적용은 퍼지로직 시스템의 출력값을 무인항공기의 입력값으로 언제 사용할 것인지에 대하여 작동 조건을 설정한다. 결심로직의 주 구성요소로는 상대거리(Relative Range), 최근접점까지의 시간(Time of CPA), 최근접점에서의 거리(Distance at CPA) 로 세가지로 구성되어 있다.

충돌상황 시 퍼지로직의 시스템의 출력값은 최초 상대거리, 최근접점에서의 시간, 최근접점에서의 거리의 특정값에 도달했을 때 무인항공기의 회피기동명령으로 사용될 수 가 있다. 그림 5는 결심로직의 흐름도를 보여준다.

3.1 상대거리(Relative Range)

공역에서 en-route protected zone이 2.5 NM 이므로 상대거리가 2.5NM이하 일 경우 퍼지 로직시스템의 출력값을 사용하게 된다[1].

3.2 최근접점까지의 시간(Time of CPA)

3.2.1 최근접점에서의 시간 산출

최근접점(CPA;Closest Point of Approach)이란 운동하는 두 개의 물체가 근접하는 거리가 최소

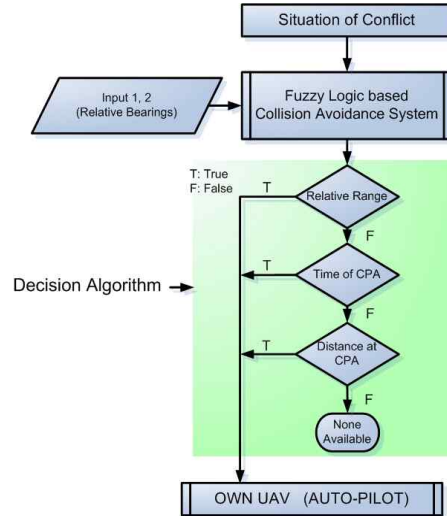


그림 5. 결심로직의 흐름도

가 되는 지점을 최근접점(CPA)이라고 한다.

최근접점까지의 시간 산출을 위하여 다음과 같이 t시간에서의 위치를 나타내는 두 개의 변화하는 점을 P(t), Q(t)라고 하자. t=0에서의 위치는 각각 P₀, Q₀라고 하고 단위 시간당 각각의 속도 벡터는 u와 v라고 하자(그림 6 참조).

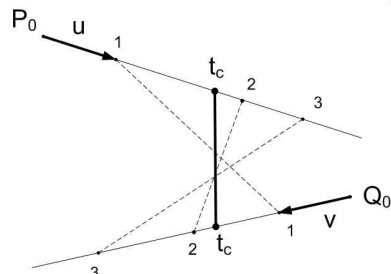


그림 6. 최근접점까지의 시간

각각의 점에 대한 운동방정식은 아래와 같다.

$$P(t) = P_0 + tu \tag{3}$$

$$Q(t) = Q_0 + tv \tag{4}$$

두 지점의 상대거리(d(t))는 다음과 같다.

$$d(t) = |P(t) - Q(t)| = |w(t)| \tag{5}$$

여기서

$$w(t) = w_0 + t(u - v) \tag{6}$$

$$w_0 = P_0 - Q_0 \tag{7}$$

상대거리(d(t))는 $D(t) = d(t)^2$ 이 최소일 때 최소값이 된다.

따라서

$$D(t) = w(t)w(t) = (u-v)(u-v)t^2 + 2w_0(u-v)t + w_0w_0 \quad (8)$$

결국 D(t)의 미분값이 0이 될 때 최소가 된다.

$$0 = \frac{d}{dt}D(t) = 2t[(u-v)(u-v)] + 2w_0(u-v) \quad (9)$$

따라서 Time to CPA(t_c)는 다음과 같다

$$t_c = \frac{-w_0(u-v)}{|u-v|^2} \quad (10)$$

만약 $|u-v|=0$ 가 되면 두 점은 같은 속도로 같은 방향으로 움직이고 있기 때문에 서로 동일한 거리를 유지하고 있는 것을 뜻한다.

3.2.2 최근접점의 시간의 적용

NASA ERAST에서 See and Avoid (DSA) Sensor에 대한 최소요구치를 근거로 하여 최근접점의 시간은 21초로 적용하였다[2].

3.3 최근접점에서의 거리(Distance at CPA)

그림 7에서 최근접점에서의 거리는 다음과 같이 산출된다.

$$d_{CPA}(P(t), Q(t)) = |P(t_c) - Q(t_c)| \quad (11)$$

그리고 NASA ERAST에서 See and Avoid (DSA) Sensor에 대한 최소요구치를 근거로 하여 최근접점에서의 거리는 500ft로 적용하였다[2].

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

시뮬레이션 검증에 있어서는 다음 세 가지를 중점으로 분석을 하였다.

- 첫째, 충돌회피 명령의 Right-of-way rules 준수 여부
- 둘째, 결심 로직(Decision Logic)에 따른 시스템 작동 여부
- 셋째, 충돌회피 명령의 NMAC 회피 보장 여부

4.1 시나리오 1

4.1.1 초기 조건

시나리오 1의 초기조건은 표 4와 같으며 대략적인 시나리오 1의 개략도는 그림 7과 같다.

표 4. 시나리오 1 초기조건

Division	Position(m)			Airspeed(m/s)
	North	East	Altitude	
Own UAV	0	0	1000	40
Intruder 1	20000	-1000	1000	200
Intruder 2	7000	-30000	1000	250

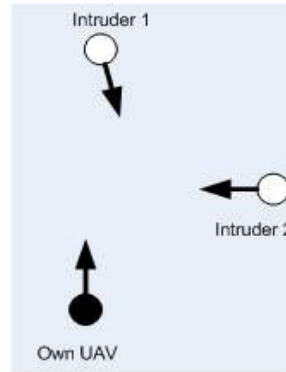


그림 7. 시나리오1 개략도

4.1.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 표 5와 같다. 그림 8는 시나리오 1의 궤적 평면도를 나타낸다.

표 5. 시나리오 1 시뮬레이션 결과

시간	위 치					결심로직 조건	기동	비고
	Own UAV		상대 침입기	침입기				
	North	East		North	East			
60.51	2515	-1	침입기1	8083	-3101	Time of CPA	시작	■
71.78	2966	117	침입기1	5864	-3492	Relative Range	연속	△
88.99	3626	391	침입기1	2474	-4090	Relative Range	종료	○
103.14	4202	528	침입기2	7000	-4217	Relative Range	시작	▲
138.06	5198	-245	침입기2	7000	4512	Clear of Conflict	종료	☆

시뮬레이션 결과에서 실선은 무인항공기, 점선은 침입기 1, 파선은 침입기 2의 비행궤적을 나타낸다.

최초 사각지점(■)에서 무인항공기는 침입기 1에 대하여 최근접점까지의 시간이 21초 이하가 되기 때문에 최초 회피기동을 시작하게 된다. 이후 흰 삼각지점(△)에서 무인항공기는 침입기 1에 대하여 상대거리가 2.5NM이하가 되어서 계속된 회피기동을 하게 되고 동그라미지점(○)에서

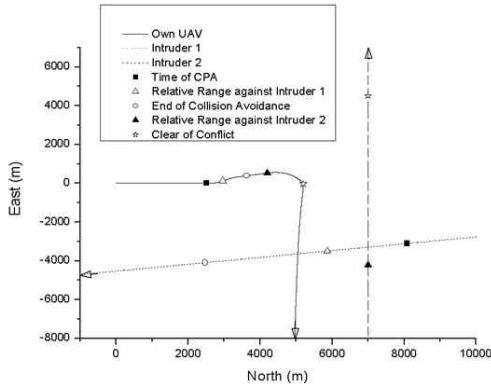


그림 8. 시나리오 1 궤적 평면도

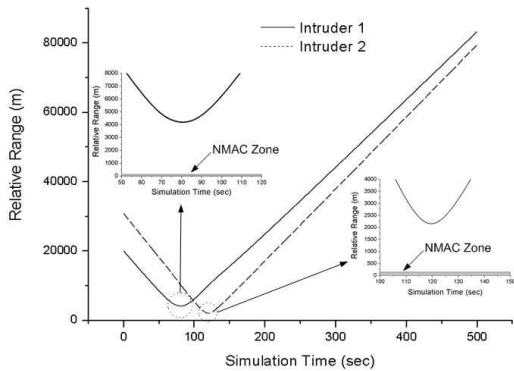


그림 9. 시나리오 1 상대거리 변화도

침입기 1에 대한 충돌회피 기동을 종료하게 된다. 검은 삼각지점(▲)에서 무인항공기는 침입기 2에 대하여 상대거리가 2.5NM이하가 되어 충돌회피 기동을 시작하게 되고 별표지점(☆)에서 침입기 2에 대하여 회피기동을 종료하게 된다.

4.1.3 시나리오 1 결과 분석

시나리오 1에서 충돌회피 명령은 Right-of-way rules 준수 및 결심로직에 따른 충돌회피가 정확히 이루어 졌다.

또한 충돌회피 명령의 NMAC 회피 보장 여부 측면에서 무인항공기는 침입기 1과는 80.48초에 최소 4188.16 meter, 침입기 2와는 119.63초에 2158.26 meter까지 근접하였고 NMAC의 횡적거리인 500ft(152.4 meter)까지는 근접하지는 못하였기 때문에 NMAC 상황은 충분히 회피할 수 있었다.

그림 9는 NMAC 상황에 대한 위 설명에 대한 무인항공기와 각 침입기간의 상대거리를 보여주고 있다. 실선은 침입기 1과의 상대거리의 변화를 나타내며 점선은 침입기 2와의 상대거리의 변

화를 나타내고 있다. 또한 각각의 최소 근접한 부분에 대해서는 확대그림을 통하여 NMAC Zone과는 상당히 떨어져 있음을 보여주고 있다.

4.2 시나리오 2

4.2.1 초기 조건

시나리오 1의 초기조건은 표 6과 같으며 대략적인 시나리오 1의 개략도는 그림 10과 같다.

표 6. 시나리오 2 초기조건

Division	Position(m)			Airspeed (m/s)
	North	East	Altitude	
Own UAV	0	0	1000	40
Intruder 1	-10000	100	1000	200
Intruder 2	12000	13000	1000	150
Intruder 3	19700	-10000	1000	100

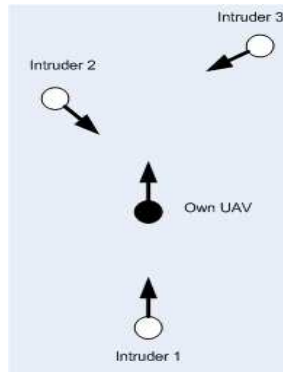


그림 10. 시나리오 2 개략도

4.2.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 표 7과 같다. 그림 11은 시나리오 2의 궤적 평면도를 나타낸다.

시뮬레이션 결과에서 실선은 무인항공기, 파선은 각각 침입기 1,2,3의 비행궤적을 나타낸다.

최초 시작지점(|)에서 무인항공기는 침입기 1에 대하여 최근접점에서의 거리가 500ft 이하가 되어서 최초 회피기동을 시작하게 된다. 2.56초에서 검은 사각지점(■)에서 최근접점에서의 거리가 500ft 이상이 되어 충돌회피기동을 종료하게 된다. 이 부분에 대해서는 그림 12의 Area 1에 대한 확대 그림으로 그림 13에 나타나 있다.

이후 33.84초에 검은 삼각지점(▲)에서 상대거리가 2.5NM 이하가 되어 침입기 1에 대한 충돌회피 기동을 시작하게 되고 77.20초에는 흰 삼각지점(△)에서 침입기 2가 침입기 1보다 무인항공기에 가까이 진입하게 되어 침입기 1에 대한 충

돌회피 기동이 침입기 2에 대한 기동으로 바뀌게 된다. 119.34초에 흰 사각지점(□)에서 침입기 2와의 상대거리가 2.5NM 이상이 되어 침입기 2에 대한 충돌회피 기동이 종료하게 된다. 158.77초에

동그라미지점(●)에서 침입기 3과 상대거리가 2.5NM이하가 되어 침입기 3에 대한 충돌회피 기동을 시작하게 되고 260.07초에 별표지점(☆)에서 침입기 3과의 상대거리가 2.5NM 이상이 되어 충돌회피 기동이 종료하게 된다.

표 7. 시나리오 2 시뮬레이션 결과

시간	위 치				결심로 직 조건	기동	비고
	Own UAV		상대 침입기				
	North	East	North	East			
0.00	0	0	침입기1	-10000	100	Distance at CPA	시작
2.56	97	3	침입기1	-9490	100	Distance at CPA	종료 ■
33.84	1395	163	침입기1	-3234	100	Relative Range	시작 ▲
77.20	2108	1588	침입기2	3813	4813	Relative Range	연속 △
119.34	3254	2822	침입기2	-657	343	Relative Range	종료 □
158.77	4610	3775	침입기3	8474	1226	Relative Range	시작 ●
260.07	2427	3895	침입기3	1311	8389	Clear of Conflict	종료 ☆

4.2.3 시나리오 2 결과 분석

시나리오 2에서 충돌회피 명령은 Right-of-way rules 준수 및 결심로직에 따른 충돌회피가 정확히 이루어 졌다.

또한 충돌회피 명령의 NMAC 회피 보장 여부 측면에서 무인항공기는 침입기 1과는 59.71초에 최소 775.75 meter, 침입기 2와는 95.55초에 775.75 meter, 침입기 3과는 216.68초에 629.99 meter까지 근접하였고 NMAC의 횡적 거리인 500ft(152.4 meter)까지는 근접하지는 못하였기 때문에 NMAC 상황은 충분히 회피 할 수 있었다.

그림 13은 NMAC 상황에 대한 위 설명에 대한 무인항공기와 각 침입기간의 상대거리를 보여 주고 있다. 실선은 침입기 1, 파선은 침입기 2, 점선은 침입기 3와의 상대거리의 변화를 나타낸다. 각 최소근접 지점에 대해서는 그림 14,15,16

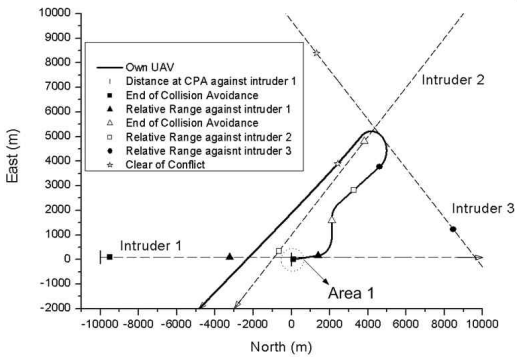


그림 11. 시나리오 2 궤적 평면도

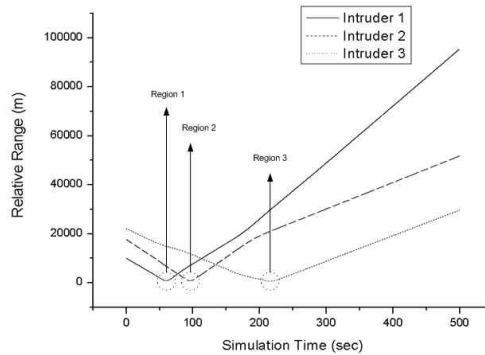


그림 13. 시나리오 2 상대거리 변화도

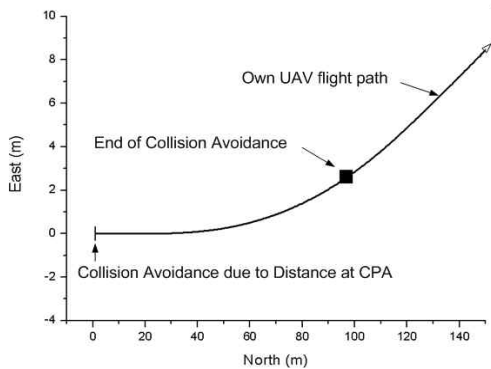


그림 12. 시나리오 2 Area 1

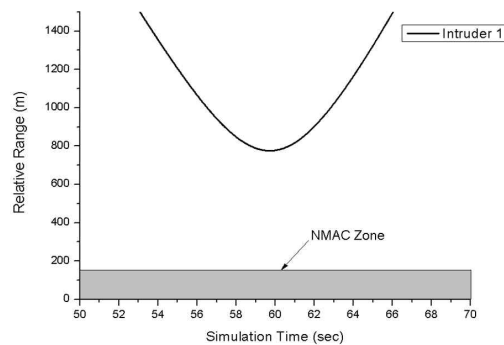


그림 14. 시나리오 2 Region 1

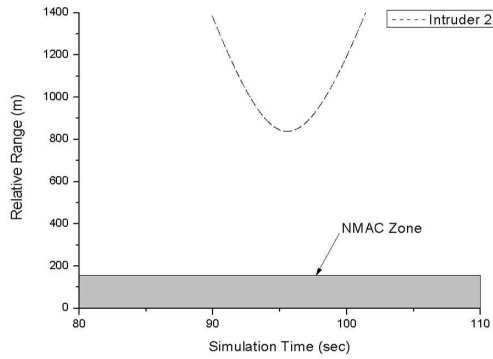


그림 15. 시나리오 2 Region 2

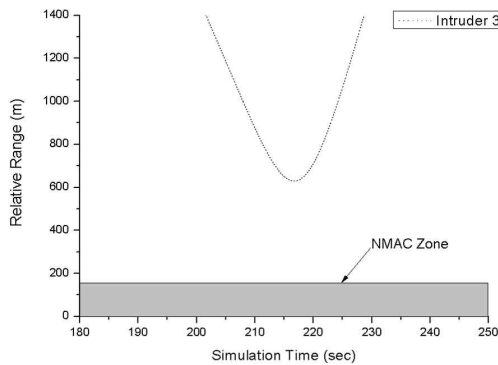


그림 16. 시나리오 2 Region 3

에서 각각 Region 1, 2, 3에서 NMAC Zone을 회피한 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

무인항공기가 일반공역에서 비행하기 위해서는 Right-of-way rules을 따라 비행을 하여야 한다.

본 논문에서는 Right-of-way rules를 적용하기 위해서 퍼지 로직 시스템을 설계하였다. 퍼지 로직 시스템에서 무인항공기와 상대항공기간의 두 개의 상대방위값을 입력값으로 사용하였고 퍼지룰 관계식에서는 국제민간항공기구(ICAO)와 미국연방항공청(FAA)에서 규정한 Right-of-way rules과 그 규정 외의 상황에 대해서는 조종사의 경험을 바탕으로 하여 룰 관계식을 설계하였다. 퍼지 로직 시스템에서의 출력값은 무인항공기의 횡적 기동을 위한 선회 명령을 출력해주고 있다.

또한 상대거리(Relative Range), 최근접점까지

의 시간(Time of CPA), 최근접점에서의 거리(Distance at CPA)로 구성된 결심로직(Decision Logic)을 설계하여 퍼지 로직 시스템에서 출력된 충돌회피 명령을 언제 사용할 것인지를 결정하여 NMAC 상황이 벌어지지 않도록 하였다.

본 연구에 사용된 무인항공기는 레이더로부터 상대항공기의 상대거리 및 상대방위를 측정할 수 있는 레이더 장착 무인항공기를 기반으로 하였다.

본 연구 결과에서 충돌회피 기동시 애초의 비행방향과는 완전히 벗어나는 무인항공기의 기동은 본 저자의 다년간의 비행경험에서 비추어보면 NMAC를 기준으로 충돌회피를 하는 경우에는 애초의 비행방향을 충분히 무시할 만큼의 위험한 상황이므로 최초의 비행진로는 충분히 무시될 수 있는 상황으로 판단하였다.

결론적으로, 본 논문에서는 무인항공기가 일반공역에서 유인항공기와의 상호운용을 위한 무인항공기의 "See and Avoid" 능력을 가져다 줄 수 있는 충돌회피방법을 제안하였다.

향후 연구에서는 종적 회피 명령을 제공해주는 TCAS-II와 같은 종적 충돌회피 시스템과의 통합을 연구할 계획이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소에서 시행한 "무인기 충돌회피 유도기법 연구"의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Claire Tomlin, George J. Pappas, Shankar Sastry, "Conflict Resolution for Air Traffic Management: A Study in Multiagent Hybrid Systems", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL.43, NO.4, APRIL, 1998.
- 2) Modern Technology Solutions Incorporated (MTSI), NASA ERAST Non-Cooperative Detect, See & Avoid (DSA) Sensor Study, July 2002.
- 3) Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation, US DoD, November 2004.
- 4) ICAO Annex 2, Rules of the Air, "Avoidance of Collisions", November 2005