

[응용기술]

무인 전투기의 다대다 공중 교전 수행을 위한 가상 전투 파일럿의 설계

Design Virtual Fighter Pilot of Unmanned Combat Aerial Vehicle for Many-to-Many Aerial Combat

I. 서론

최근 무인기는 군사적 목적으로서 성공적으로 적용되어 활용되고 있으며, 그 수요가 가파르게 상승하고 있다. 실제로 무인기는 오래 전부터 아프가니스탄과 같은 실전 전장에 투입되어 왔으며, 조종사에 대한 생존의 위협 없이 감시와 정찰, 그리고 타격 임무를 성공적으로 수행 하였다. 현재까지 전장에서 무인기 운용의 목적은 미사일을 이용한 지상 타격과 감시/정찰에 국한되어왔다. 하지만, 미래의 무인기는 보다 다양한 역할을 수행 할 것으로 예상되며, 특히 파일럿의 생존을 위협하는 공중 교전 상황에서 유인 조종사를 대체하여 보다 효율적인 자율 교전을 수행하기 위한 차세대 무인기가 주목받고 있다. 이러한 차세대 기술을 무인 전투기(Unmanned Combat Aerial Vehicle;UCAV)라 부른다.

전투기는 1, 2 차 세계 대전에서 공중을 통한 공격과 침투의 필요성에 따라 급격하게 발달하였다. 시계내(Within Visual Range; WVR) 기종 교전만을 수행하던 1 세대 전투기에 이어 시계외(Beyond Visual Range; BVR) 영역에서 미사일 기반의 교전을 수행하는 2 세대 전투기가 개발되었지만, 미사일의 효용성은 크게 떨어졌다. 그 후 다시 기관포를 표준 장비로 사용하고 근접 공중 교전을 위한 기동성을 우선시 하는 3, 4 세대 전투기가 개발되고, 최근에는 추력 벡터와 스텔스 기술이 적용된 5 세대 전투기가 개발 중이다. 이후에는 궁극적인 차세대 전투기로서 파일럿의 생존에 위협을 없애고 스텔스 기술과 고기동성이 동시에 강조되는 차세대 무인 전투기 개발이 이루어 질 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 무인 전투기 운용시 유인 조종사의 역할을 대체하는 가상 전투 파일럿(Virtual Fighter Pilot; VFP)을 설계하여 제안한다. 2-3 세대 전투기가 미사일 사용의 효용성과 정확도에 의문을 제시했고, 스텔스 기술과 전파 방해 기술의 발전에 따라 차세대 무인 전투기의 근접 공중 교전 능력은 필수적이다. 특히, 근접 공중 교전은 그 상황이 빠르게 변할 뿐 아니라 장거리 통신 환경 등의 제약으로 인해 원격 운용자를 통해서도 효과적으로 수행되기 어렵다. 때문에 가상 전투 파일럿을 통해 ‘자율’ 교전 수행이 가능하도록 한다. 또한, 일대일보다 복잡성이 높은 다대다 교전에 대해 타겟 선정과 역할 할당 등의 전략/전술 기동을 가능하게 한다. 최종적으로, 에너지 관리 기동과 다대다 교전 성능 검증을 위해 다양한 모의 교전 시나리오를 설계하고, 이에 대한 가상 전투 파일럿의 교전 수행 결과를 제시한다.

II. 모듈화 가상 전투 파일럿의 설계

현재까지 수행된 공중 교전은 고도로 훈련된 유인 조종사가 경험과 직관을 바탕으로 한 최적의 기동으로 전투기를 조종하여 수행된다. 교전을 수행하기 위한 숙련된 조종사를 훈련하기 위해서는 상당한 시간과 비용, 그리고 경험이 필요하다. 뿐만 아니라, 유인 조종사는 실제 전투기 운용 및 전시 상황으로부터 다양한 외부 요인에 의해 지속적으로 생존의 위협을 받는다. 때문에 차세대 기술인 무인 전투기 개발을 통해 유인 조종사의 양성에 필요한 시간과 비용을 줄이고, 조종사가 겪는 생명의 위협으로부터 생존을 안전하게 보장 할 수 있을 것으로 기대된다. 그림 1은 본 논문에서 기술하는 가상 전투 파일럿의 구조이며, 이는 유인 조종사의 의식과 판단의 흐름을 따른다. 각 구성 요소들은 모듈화 구조로 구성되어 부분적인 수정과 개선, 검증이 가능하다.

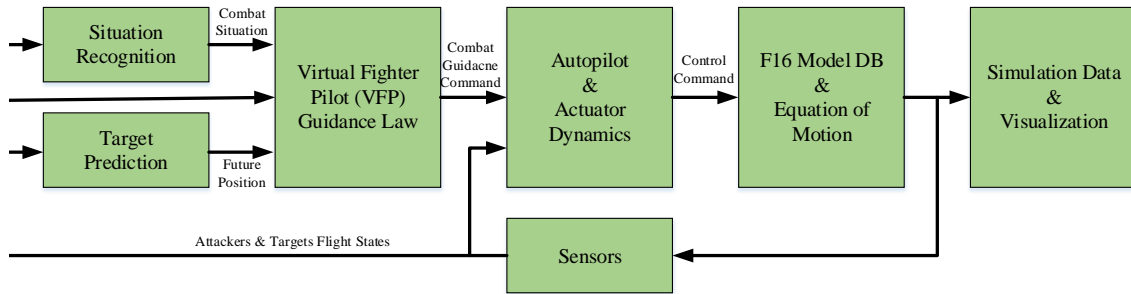


그림 1. 가상 전투 파일럿의 구성 요소 구조도

A. 상황 인식 (Situation Recognition)

상황 인식은 현재 교전에 가담 중인 전투기의 상태와 기하 관계를 바탕으로 교전 상황을 인식하고 평가하는 역할을 한다. 공격기와 타겟간의 시선각 벡터로부터의 편차각(deviation angle)을 λ 로 정의 하고 아래 식(1)를 통해 얻을 수 있다.

$$\lambda_A = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{V}_A \cdot \mathbf{p}_A}{|\mathbf{V}_A| |\mathbf{p}_A|} \right] \quad (1)$$

이는 물리적 의미로 적기를 얼마나 정확히 지향하는지에 대한 척도로, 이를 바탕으로 식 (2)와 같은 스코어 함수를 구성하여 교전 상황을 정량화하여 평가한다. 또한, 다대다 상황에서 각 공격기가 타겟에 대해 가지는 스코어로 구성된 식(2)와 같은 행렬을 설계하여 전략 기동 수행을 위한 공격 타겟 선정과 역할 할당의 기준으로 한다.

$$0 \leq \text{Score} = \frac{k|\pi - \lambda_A| + (1-k)|\lambda_T|}{\pi} \leq 1, \quad \text{Score Matrix} = \begin{matrix} & T_1 & T_2 \\ A_1 & S_{11} & S_{12} \\ A_2 & S_{21} & S_{22} \end{matrix} \quad (2)$$

B. 속도 추정 기반 적기 예측 (Target Prediction using Velocity Estimation)

타겟의 현재 위치와 정보만을 바탕으로 교전 수행 할 경우, 최적의 유리한 교전을 수행 할 수 없다. 타겟의 미래에 대한 정보를 정확하고 타당하게 예측 하는 것은 적의 기동에 대한 선제적인 대응을 가능하게 하여 유리한 교전 수행을 위해 필수적이다. 이를 위해 기존의 가우시안 과정 회기(Gaussian Process Regression; GPR)기법과 4 차 커브 피팅 기법을 분석하고, 연속적이고 실시간 적용이 가능한 속도 추정 기반 적기 예측 기법을 설계하고 적용한다.

C. 모델 기반 공중 교전 수행 유도 법칙 (Aerial Combat Guidance Law)

기존의 자율 공중 교전을 위한 연구들은 문제를 간략화 하기 위한 가정과 최적화로 인한 계산량 문제, 혹은 규칙 기반의 수정과 추가가 어려운 한계점들을 가졌다. 본 연구에서는 유인 조종술의 기본 전투 기동(Basic Fighter Maneuver; BFM)을 기반으로 준최적성을 가지는 교전 유도 법칙을 설계한다. 특히 교전을 수행하는 모델에 대해 속도-하중계수 다이어그램(V-n Diagram)과 에너지-기동성 차트(EM Chart)를 설계하여 비행 가능 영역과 코너 속도, 그리고 최대 선회율 등의 모델 분석을 수행하고 이를 유도 법칙에 반영한다.

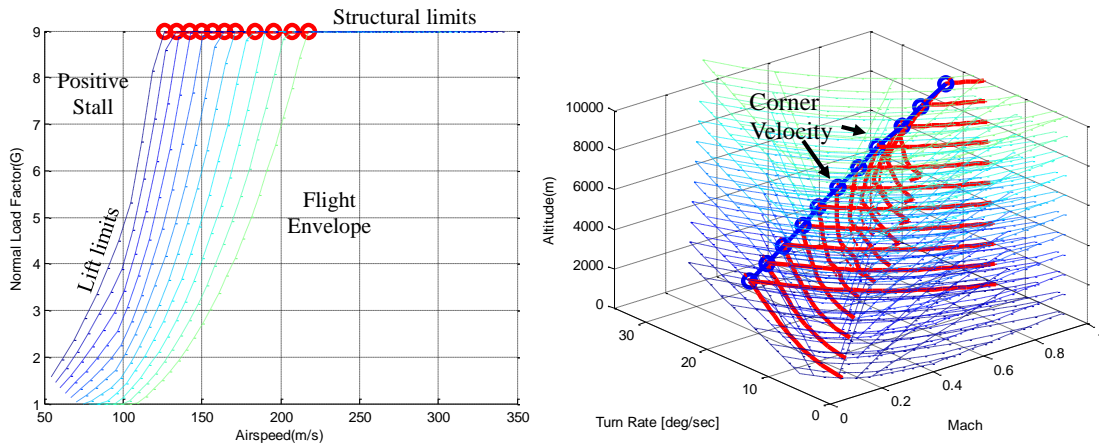
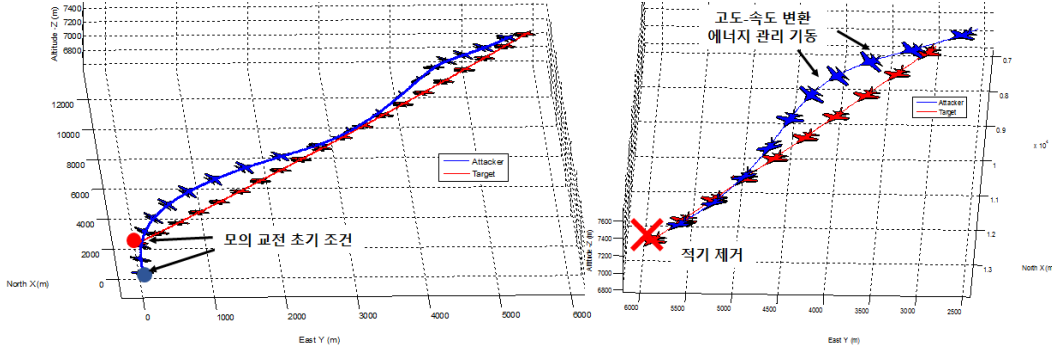


그림 2. F-16 공개 모델에 대한 속도-하중계수 다이어그램(좌)과 에너지-기동 차트(우)

III. 모의 교전 수행 결과

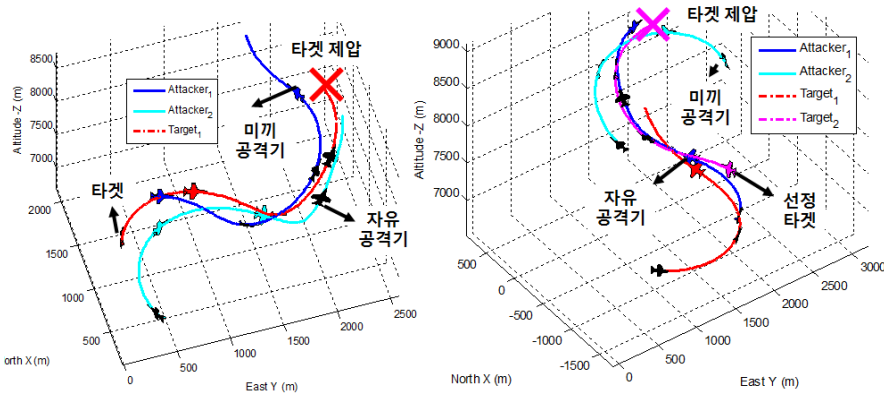
무인 전투기가 유인 조종사를 대체하여 복잡도가 높은 다대다 공중 교전을 자율로 수행하기 위한 가상 전투 파일럿을 설계하고, 그 성능을 검증하기 위한 모의 전투 환경을 MATLAB/Simulink 기반으로 구성한다. 설계된 가상 전투 파일럿의 교전 성능 및 전략 기동 능력을 확인하기 위해 세 가지 모의 교전 시나리오를 설계하고 그 결과를 분석한다.

첫 번째로 기본 전투 기동의 에너지 관리 기동을 확인 하기 위해 타겟을 후미에서 빠르게 추종 하는 상황에서 하이 요요 기동을 확인한다. 그 결과 그림 3 과 같이 속도-고도 변환의 에너지 관리 기동을 통해 오버슈트를 방지하고 적기의 후미를 추정하며 성공적으로 제압함을 확인할 수 있다.



a) 하이요요 에너지관리 기동 비행 궤적 b) 고도-속도 변환 에너지 관리 기동
 그림 3. 기본 전투 기동 기반 하이요요 에너지-속도 변환 에너지 관리 기동 궤적

또한, 이대일의 수적 우위를 가진 상황과 이대일의 복잡성이 높은 모의 교전 시나리오에 대해서도 설계된 가상 전투 과일럿은 스코어 함수와 행렬 기반으로 공격 타겟을 선정하고 미끼와 자유 공격기의 역할을 할당 할 뿐 아니라, Defensive Split 과 The Bracket 과 같은 유인 조종술 기반의 최적의 전술 기동을 통해 적기를 제압함을 확인할 수 있다.



a) 2:1 수적 우위 모의 공중 교전의 비행 궤적 b) 2:2 공중 교전의 비행 궤적
 그림 4. 다대다 모의 공중 교전의 전술 기동 및 비행 궤적

IV. 결론

본 연구는 차세대 무인 전투기가 다대다 공중 교전을 효과적으로 수행하기 위한 가상 전투 과일럿을 설계한다. 유인 조종술의 기본 전투 기동을 기반으로 준최적성을 보장함과 동시에 실시간 적용이 가능하도록 한다. 이를 위해 속도-하중계수 다이어그램과 에너지-기동성 차트의 모델 분석을 통해 기동 극대점을 해석하고 교전 유도 법칙에 반영한다. 교전 상황 인식과 판단을 위해 스코어 함수와 행렬을 설계하여 교전 상황을 정량화 하였으며 다대다 상황에서의 타겟 선정과 역할 할당의 기준으로 한다. 속도 추정 기반 적기 예측을 수행하며 적의 기동에 대해 선제적으로 대응하여 우위점을 선점 할 수 있다. 설계된 가상 전투 과일럿은 하이요요의 에너지 관리 기동뿐 아니라 다대다 교전 상황에서도 효율적인 전략 기동을 수행하며 적기를 제압함을 확인할 수 있다.