

무인전투기를 위한 가상 추적점 기반 자율 공중 교전 유도 법칙에 관한 연구

A Study on Virtual Pursuit Point based Autonomous Air Combat Guidance Law for UCAV

1. 연구 배경

미래의 무인항공기 운용 환경은 무인전투기의 도입으로 임무 수행 범위가 확장되고 다양해지면서 기존의 정찰 임무위주에서 공대공 임무 등으로 그 영역이 확대 될 것으로 판단된다. 최근의 공중 교전 양상은 탐지 센서 및 유도 무기의 발달에 따라 과거 근접 교전 방식에서 가시거리 밖 장거리 유도 무기 발사를 통한 교전 방식으로 바뀌었다. 그러나 최근 개발된 많은 유인/무인항공기에 적용된 스텔스(Stealth)기능의 발달과 확산으로 전투의 복잡도가 크게 증가하였고 최신의 유인전투기(F-22, F-35 등)의 개발에서 보듯이 근접 교전 임무를 여전히 필수적으로 고려해야 하는 실정이다. 근접 교전 상황은 교전 상태가 교전 동안 빠르고 지속적으로 변화하고 즉각적인 정확한 상황 판단 및 기동 결정이 요구된다. 현재의 대다수 무인항공기는 핵심 임무를 외부 조종사에 의해 원격으로 수행되고 있어 시간 지연과 제한된 시야각과 그에 따른 정보량 제한 등으로 교전 상황을 빠르고 정확하게 인식하기 어려워 근접 교전에 적합하지 않다. 따라서 근접 교전과 같은 전투 상황에서는 외부 조종사에 의한 교전은 거의 불가능하며 무인전투기의 성능을 극대화하는 동시에 교전 임무를 효과적으로 수행하기 위해서는 자율 교전 기술이 필수적으로 요구된다고 할 수 있다.

2. 기존 연구의 문제점 및 연구의 독창성

기존의 자율 교전 연구는 크게 이론적인 접근 방식과 휴리스틱(Heuristic) 방식으로 구분되는데 전자의 경우 미분 게임 이론과 최적 제어를 기반으로 하고 있으며 후자는 규칙 기반 방식이나 강화 학습 기법 등을 기반으로 하고 있다. 기존의 많은 연구들은 대체적으로 성공적인 연구 결과를 도출하였지만 여전히 실질적인 무인전투기로의 적용을 위해 개선되어야 할 제한점들이 존재하고 있다. 이론적인 방식에서는 공통적으로 문제의 복잡성을 낮추기 위해 운동 모델을 고정된 속도나 2차원 평면 운동 등으로 간단화하거나 행동 가능 집합을 최대/최소/유지 등의 아주 간략하게 선정함으로써 교전 문제를 접근하였다. 또한, 적기의 반음각이나 추력, 후보 기동 집합 등에 대한 정보를 사용하여 최적 기동을 결정하는 방식은 현실적으로 측정 또는 추정 불가능한 상태 변수를 사용하는 것이므로 시뮬레이션을 제외한 실제 교전으로의 적용이 불가능할 것으로 판단된다. 휴리스틱 방식의 연구들은 가장 현실적인 교전 시뮬레이션 결과를 보였지만 교전 상황 전반에 대한 규칙을 세부적으로 정의해야 하거나 전술 기동을 위한 규칙을 생성해 내기 위해 바이너리 형태의 교전 상태 정의와 행동 규칙 출력 등으로 인해 기동 전술의 직관성이 떨어지고 규칙 갱신이나 수정 및 분석에 많은 시간이 소모되는 단점이 있다.

이와 함께, 교전 문제를 접근할 때 필수적으로 동반되는 기동의 최적성 문제는 대상 시스템과 환경 모델을 정확하게 알고 있는 경우를 제외하고 이를 보장하거나 정의하는 것은 상당히 어려운 문제이다. 최적성은 측정 및 가용 변수의 부족 또는 예측 구간의 길이에 따라 쉽게 악화될 수 있는 특성이 있으므로 실질적인 구현을 고려할 경우 이를 위한 준최적성을 보장할 수

있도록 해야 한다. 본 연구에서는 최적성 문제를 해결하기 위해 BFM을 활용하여 준최적성을 확보하도록 하였다. BFM은 조종사의 축적된 경험과 지식을 바탕으로 특정 상황에 대한 최적으로 간주되는 대표적인 기동들을 포함하고 있다. 따라서 이는 교전 기동의 최적성 문제를 보완할 수 있는 하나의 방식으로 활용이 가능하다. BFM에서의 에너지 관리 기동은 대부분의 최신 전투기에 적용되는 방식으로 이는 John R. Boyd에 의해 제안된 Energy-Maneuverability(E-M)이론을 기반으로 하고 있다. 이는 최대 선회능력을 갖는 비행 영역 산출을 가능하여 기동의 준최적성을 확보하는 데 활용이 가능하다. 본 연구에서는 앞서 언급한 기존 연구의 문제점을 보완하고 극복하기 위해 가상 추적점(VPP: Virtual Pursuit Point)을 도입하여 BFM의 최적 기동이 가능한 무인전투기의 자율 근접 교전 유도 법칙을 제안하였다. 제안한 교전 유도 법칙은 기존의 연구와 달리 시선각 기반의 추적 유도(Pursuit Guidance)를 기반으로 하여 행동 가능 집합의 제한이 없으며 연속적인 기동이 가능하고 급격한 기동에서 정밀 조준 기동까지 넓은 영역을 다룰 수 있을 뿐만 아니라 간단한 구조로 계산량이 적어 실시간 구현이 가능한 장점이 있다..

3. 주요 연구 결과

본 연구에서는 무인전투기의 자율 공중 교전을 구현하기 위해 기존 유인전투기의 기본 전투 기동(Basic Fighter Maneuver, BFM)분석을 통해 VPP를 설계하고 이를 기반으로 교전 유도 법칙을 설계하였다. VPP 은 Figure 1과 같이 현재의 목표 위치 주변에 생성되는 특정한 지점을 의미하는데 이는 지연(Lag) VPP 와 선도(Lead) VPP 로 구성된다.

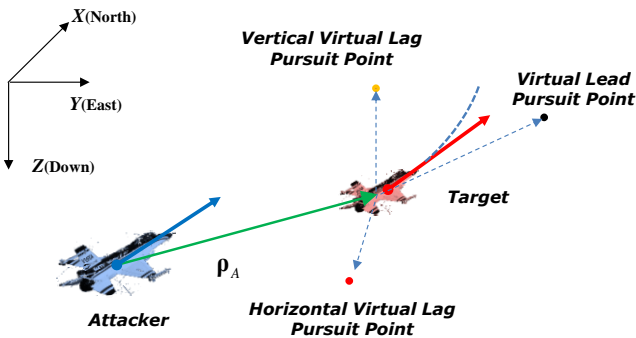


Figure 1. Virtual Pursuit Point Concept in Geometry



Figure 2. X-Plane Based Combat Simulator

각각의 가상 VPP는 Figure 3와 같이 무인전투기의 공기역학적 특성과 BFM의 핵심 개념인 선회원과 그 중심점, 총 에너지, 무기 거동 특성 등을 고려하여 생성된다.

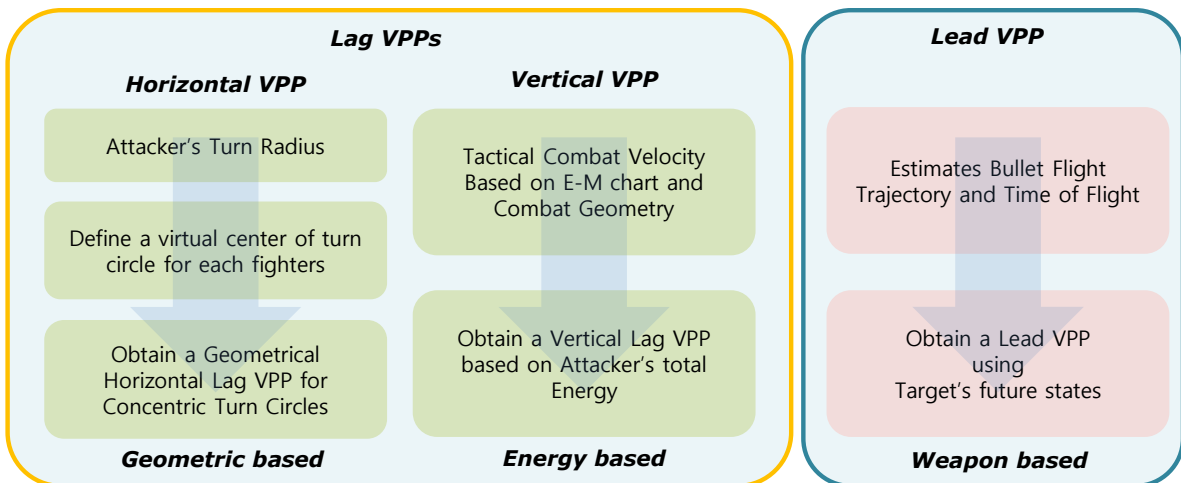


Figure 3. Schematic Design Process of Virtual Pursuit Point

제 11회 KAI 항공우주논문상 공모전 요약본

일반적인 추적 유도 방식은 단일의 목표 추적점을 요구하게 되므로 이를 위해 교전 상태 변수를 기반으로 한 확률 함수를 이용하여 현재의 교전 상황에 적합한 하나의 VPP 을 생성하고 이를 추적하면서 교전 기동을 수행한다. 제안된 기법은 Figure 2에서 보이는 바와 같이 상용 시뮬레이터인 X-Plane과 상용 F-16 모델을 이용해 비선형 6자유도 교전 시뮬레이션을 수행하여 성능을 검증하였다. Figure 4는 본 연구에서 구축한 MATLAB/Simulink 기반의 실시간 일대일 교전 시뮬레이션 환경을 보이고 있다.

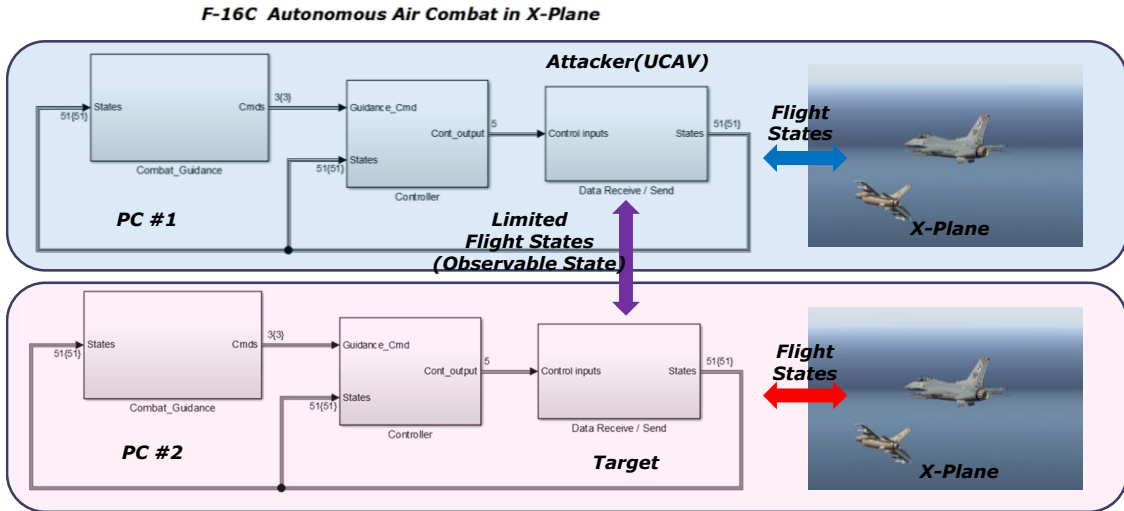


Figure 4. X-Plane and MATLAB/Simulink based Combat Simulator

제안된 교전 유도 법칙은 BFM의 대표적인 기동인 High-Yoyo 나 Low-Yoyo와 같은 기동이 가능하며 공격, 방어, 정면 상황 등의 다양한 상황에서 직관적이면서 선회 성능을 극대화하는 적절한 기동 결정 능력을 확인하였다. 각 Figure의 녹색 점실선은 본 교전 유도 법칙에서 생성된 VPP로 이를 이용해 공격기가 교전 기동을 수행하는 것을 확인할 수 있다.

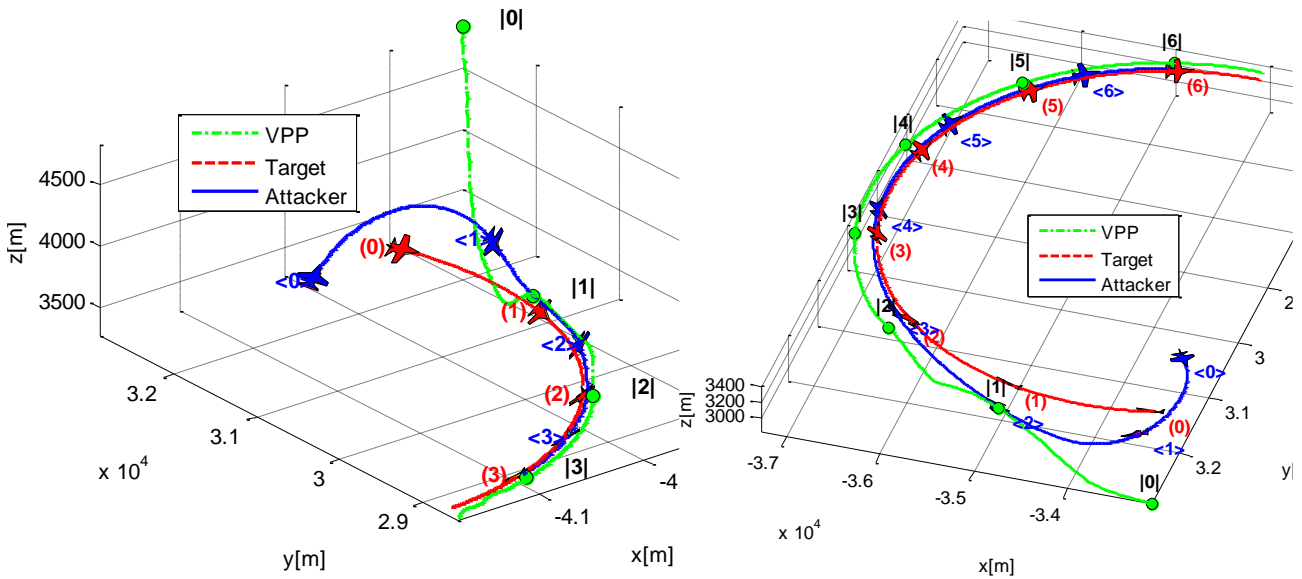


Figure 5. High(Left) and Low(Right) Yo-yo Maneuver Trajectories

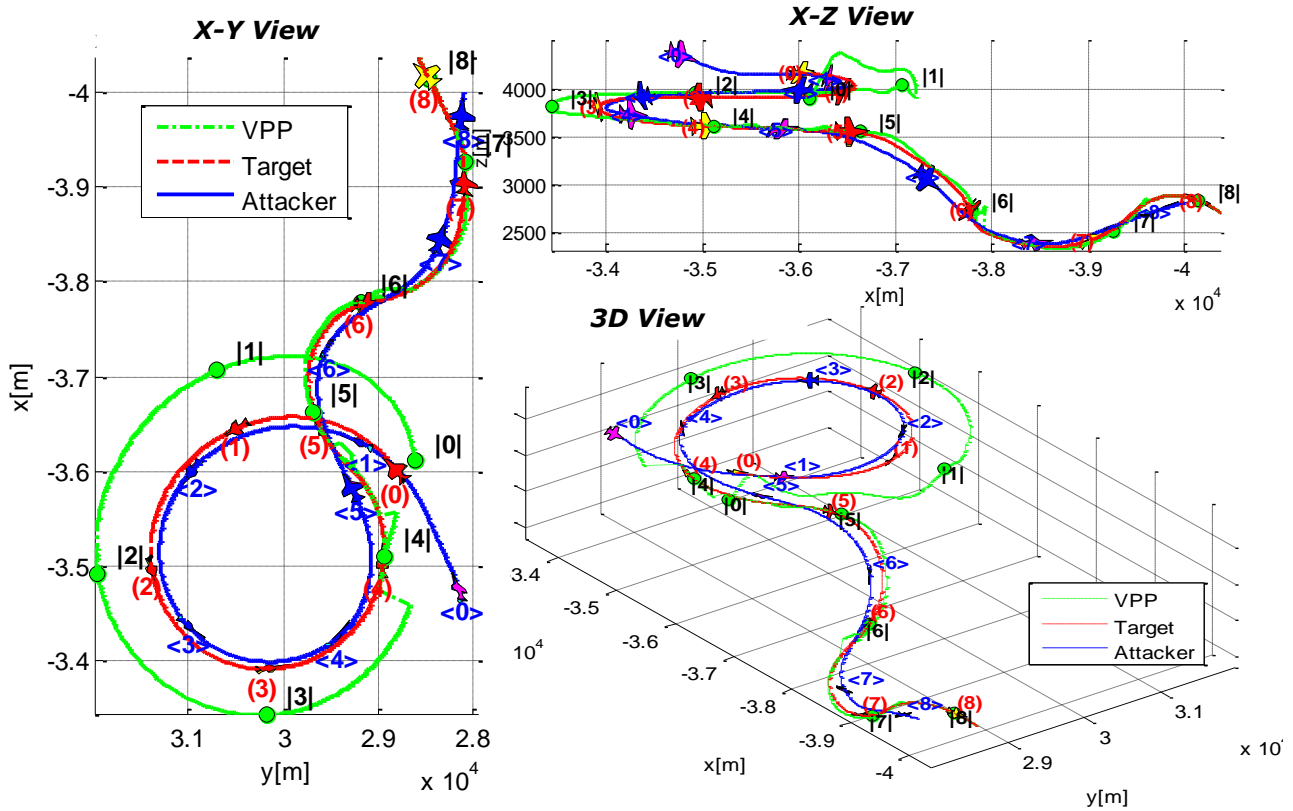


Figure 6. Simulation Case 1 : Combat Trajectories

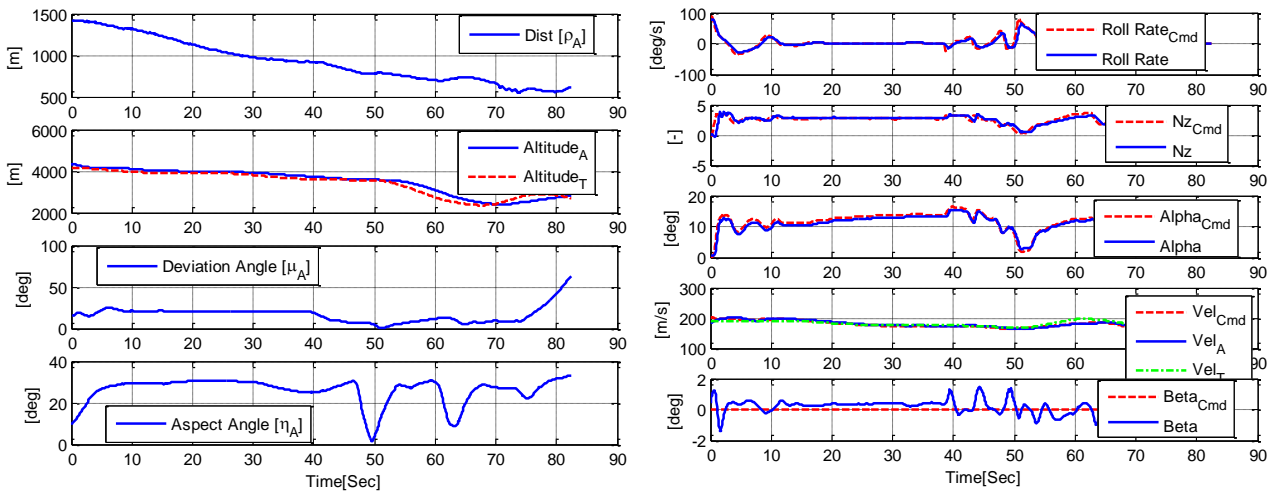


Figure 7. Simulation Case 1 : State History

시뮬레이션 Case1은 초기 동일한 고도와 속도에서 공격기가 적기 후방에 위치하여 교전을 시작한다. Figure 6에서 보듯이 교전 시작 후 적기는 방어 기동을 위해 좌측으로 선회 기동을 하고 선회 기동을 하는 적기에 대해 '10' 지점에 지연 VPP를 생성하여 선회원을 일치시키도록 추적을 시작하는 것을 보이고 있으며 Figure 7의 좌측에서 보듯이 일정한 상대 거리와 작은 측면 각 및 편차각을 가지므로 적절한 추적이 이뤄지고 있음을 알 수 있다. Figure 7의 우측은 교전 동안 생성된 롤 각속도, 받음각 및 속도 명령과 추종 상태값을 보이고 있다.