

가상전장환경하에서 항공전자전 ECM 파드의 전자전 교전모델 시뮬레이션 개발

Simulating Engagement Model of Avionic ECM Pod on the Virtual Battle Field

김형균* 이행호* 조성찬* 홍장의* 변재정*
Hyung-Gyoon Kim Haeng-Ho Lee Sung-Chan Cho Jang-Eui Hong Jae-Jung Pyun

ABSTRACT

When simulating the mission flight of a fighter equipped with the avionic ECM pod, it is massively required to provide the correct information of threats, to depict the real environment of mission area, and to precisely model the capability of the ECM system. Also, in order to get the reliable results of those simulation, it should be supported the flexible changes of threat environments and the examination of multiple flight paths.

This paper presents a software system which is possible to flexible and interactive ECM simulation. This system has capable of the 2D or 3D visualization of virtual battle field, the management of electronic threat data, and the simulation of engagement model.

주요기술용어 : ECM(Electronic Counter Measure), Simulation, Engagement Model

1. 서론

최근 다양한 고성능 레이더 위협들이 출현함에 따라, 항공용 외장형 전자방해책 파드를 장착한 임무비행 수행 시, 비행사는 사전에 조우할 위협들에 대한 정보를 인지하고 재밍 효과도를 분석하여 임무의 성공률을 제고할 필요가 있다. 이를 위해 가상의 전장환경에서 전자전 교전모델을 개발하고, 시뮬레이션 및

분석하기 위한 소프트웨어의 필요성이 증가하고 있다.

기존의 시뮬레이션 대부분은 HILS(Hardware-In-The-Loop)를 기반으로 한 공학모델 수준의 시뮬레이션으로서 체계나 부 체계, 구성품의 성능 모의를 주요 목적으로 하여 개발되었으나, 항공 전자전과 같이 단일 무기체계가 아닌 서로 다른 여러 무기체계가 존재하는 상황에서 연동 운용되거나 또는 상호작용하는 것을 시뮬레이션하기 위해서는 그림 1에서와 같이 효과도 분석이나 임무계획 및 훈련 등을 지원할 수 있는 교전모델 수준에서의 시뮬레이션이 필요하다.

* 국방과학연구소

ALQ-X 임무지원장비는 이러한 전자전 교전을 모의하기 위한 소프트웨어로서 ALQ-X 전자방해책 파드를 장착하고 임무비행을 수행하기 전에, 가상 임무 시나리오에 따라 ALQ-X 파드의 위협탐지 및 대응능력을 통합 모의, 분석하므로써, 장비 운용능력 과 항공 전자전 수행 능력을 검증해 볼 수 있는 체계이다. 개발된 체계는 군의 전자전 임무 수행 시, ECM 장비의 운용 및 활용성을 높일 수 있을 것이며, 조종사가 보다 최적의 전자전 활동을 수행하도록 위협에 대한 사전 인지도를 제고할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 항공용 전자전 장비에 대한 임무를

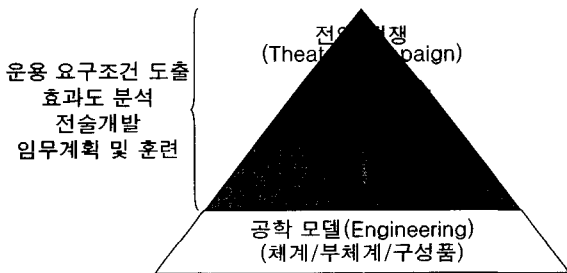
지원하기 위한 전자전 교전모델 시뮬레이션 소프트웨어인 임무지원장비에 대해 소개하도록 한다. 임무지원장비는 그림 2와 같은 구조를 지니며 기능에 따라 다음과 같이 4가지 부분으로 나누어진다.

- 가상 3차원 공역 전장환경 모델링
- 전자 위협 데이터베이스 구축 및 모델링
- 전자전 교전 모델링 및 모의
- 임무 시나리오 편집 및 작성

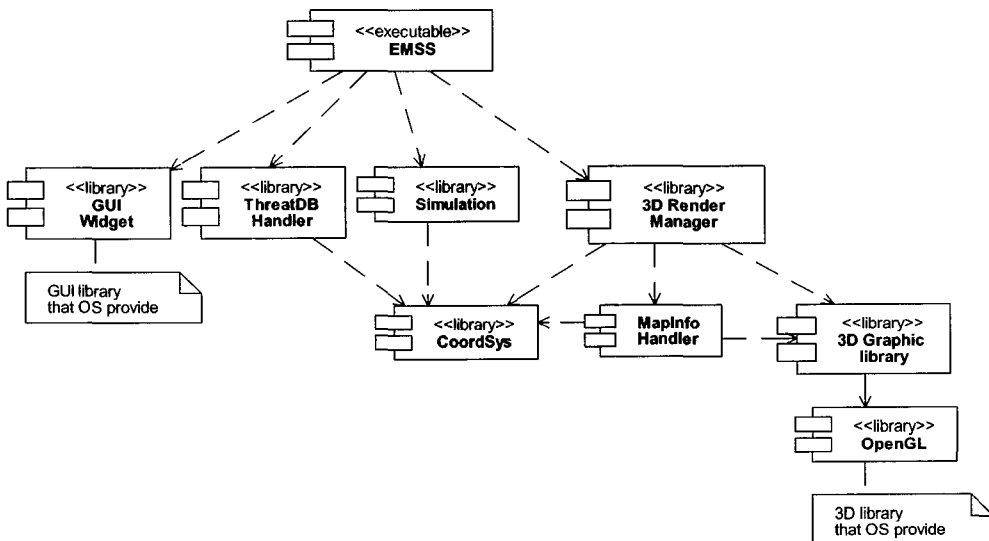
2. 가상전장환경

전자전 교전 모델을 운용하기 위한 가상전장환경은 지형과 좌표체계로 구성된다.

가상 3차원 공역 전장환경을 이루는 지형의 구축은 항공기와 조우 위협과의 거리 및 방위각, 고각 및 자유공간상의 가시선 등을 구하기 위한 정확한 지구모델을 구축하는 것이 목적이다. 이를 위해서, WGS84 회전타원체와 수치표고모델을 사용하여 3차원 지형을



[그림 1] 모델링/시뮬레이션 계층도



[그림 2] 임무지원장비 컴포넌트 다이어그램

생성하였다. 이와 같은 방법으로 생성된 3차원 지형 위에 그림 4와 같이 조종사가 임무 계획시에 사용하는 JNC, ONC, TPC, JOG 의 4가지 공도와 TLM의 육도를 텍스처링 함으로써 조종사로 하여금 지형에 대한 인지도를 높일 수 있도록 지형을 전시하였다.

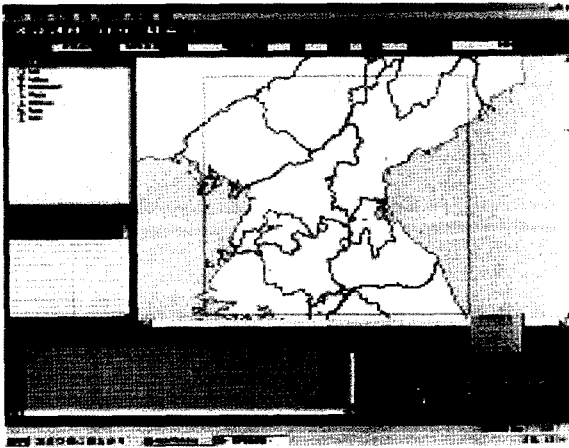
가상전장환경에서 시뮬레이션 객체들 간의 상대적인 위치를 구하기 위해서 각각의 좌표를 계산하기 위한 좌표체계는 지구 중심을 원점으로 하는 3차원 직교좌표를 사용하였다. 다양한 자료들이 다양한 좌표

체계를 사용하는 문제로 인해 발생하는 빈번한 좌표 변환을 줄이기 위해 지구중심좌표로 변환하여 단일 좌표체계로 관리하도록 함으로써 좌표변환으로 인한 계산량을 최소화하였다.

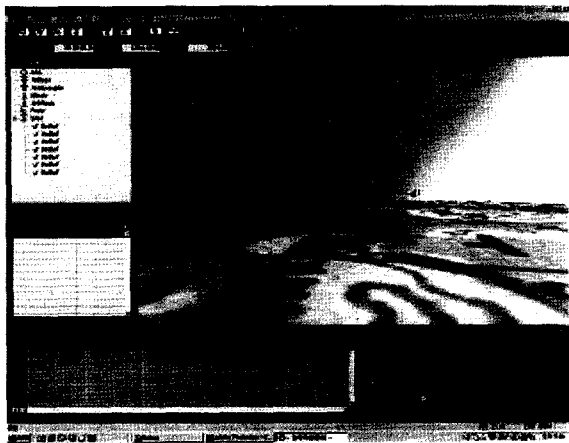
가상전장환경의 3차원 객체들을 표준 그래픽 기술 포맷인 VRML97으로 기술함으로써 분산환경 및 웹 기반 환경으로의 확장성, 재사용성을 높일 수 있도록 하였다. 3차원 그래픽 라이브러리에서는 3차원 환경을 구성하기 위해 scene-graph 트리를 생성 및 도시하도록 구현하였다. 또한, visitor 설계 패턴을 사용하여 scene-graph에 대해 상호작용 및 그래픽 처리를 할 수 있도록 하였다. 제한된 메모리에서 대용량의 지형 자료를 실시간으로 전시하기 위해, 지형자료를 LOD 별로 생성/관리하였으며, 멀티 쓰레드를 사용하여 임무비행경로에 따라 미리 예측하여 지형자료를 메모리에 적재하도록 하였다.

3. 전자 위협 데이터베이스

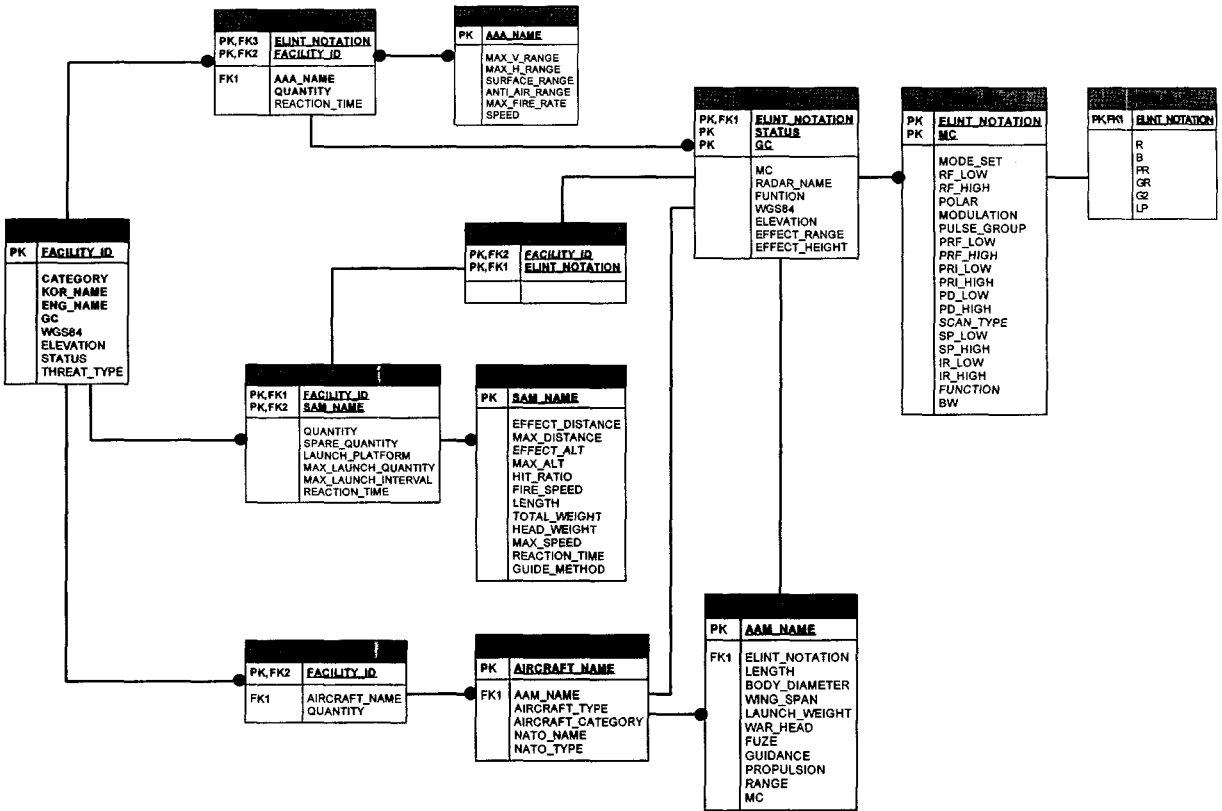
ALQ-X 파드를 장착한 아군 항공기가 자신의 임무 비행경로를 비행하면서 조우하는 각종 위협들을 식별하고 전자전에 필요한 특성을 검색하기 위해서 대상 위협의 전자전 전투서열(EOB : Electronic Order of Battle), EPL(ELINT Parameter List)과 모의 논리에서 사용되는 유효 사거리, 발사속도 등의 상수들을 그림 5와 같은 구조로 구축하였다. 사용자가 화면에 도시된 위협을 선택하면 위협에 대한 상세 제원 정보 및 EPL 정보를 제공하도록 하였다. EPL 특성별, 위협 종류별 검색을 지원하며, 이를 통해 사용자는 다양한 검색 조건을 이용하여 특정 위협에 대한 정보를 얻게 된다.



[그림 3] 임무지원장비 사용자 인터페이스 화면



[그림 4] 임무지원장비 실행 화면

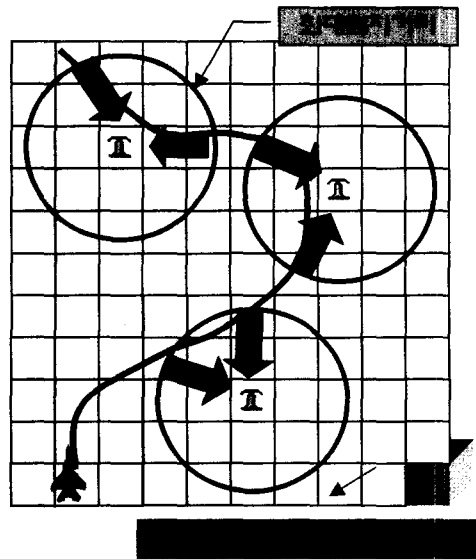


[그림 5] 전자전 위협 데이터베이스

4. 전자전 교전 모델링 및 모의

임무지원장비는 전자전 교전 모델을 실시간으로 모의할 수 있도록 사전 기반의 모의 엔진을 구축하여 사용하였다. 그리고, 많은 수의 조우 위협들을 효율적으로 모의하기 위해서 그림 6과 같이 시물레이션에 참여하는 객체들을 가시범위에 따라 육면체 단위로 관리하여 아군기와 조우하고 있는 위협들만 모의 엔진에서 모의될 수 있도록 하였다. 이러한 기법을 사용함으로써 불필요한 위협객체들과 파드객체 사이의 메시지 양을 줄여 시물레이션 중에 계산량을 줄일 수 있도록 하였다.

임무지원장비에서의 전자전 교전 모델링은 모의하



[그림 6] 조우위협 작동 조건

여야 하는 대상을 크게 비행기, 위협, 파드 세 가지로 구분하고 각각에 대해서 다음과 같이 모의 논리를 정의하고 있다.

4.1 비행기 모의

비행기 모의에는 전자전 교전에 참여하는 아군기, 적기 및 미사일의 이동을 모의하고 있다.

아군기의 이동은 시뮬레이션 전에 사용자로부터 입력된 경유점의 속도 및 가속도 벡터를 계산하여 얻어진 값을 이용하여 비행궤적을 예측하는 방법으로 이동을 모의한다. 아군기의 비행궤적의 예측은 경유점 간의 이동 위치를 구하기 위해 일정시간간격에 대한 5차방정식을 사용하였다. 방정식의 계수는 경유점의 속도, 가속도, 시간에 의해 선택되도록 하였다. 사용자로부터 입력된 일련의 경유점의 열이 있을 때, 방정식에서 t_n 는 현재 위치의 시간을, t_i 는 i 번째 경유점에 도달했을 때의 시간을 나타낸다. $T_i=(t_{i+1}-t_i)$ 는 두 경유점간의 이동시간을, $\tau=(t-t_i)/T_i$ ($t_i \leq \tau < t_{i+1}$)는 $i+1$ 번째 경위점과 i 번째 경위점 구간에서 이동한 시간이다. (C는 상수행렬)

$$\begin{aligned} \vec{r}_\tau &= [x_\tau, y_\tau, z_\tau]^T = \vec{r}_i + BC[\tau\tau^2\tau^3\tau^4\tau^5]^T \\ \vec{v}_\tau &= [u_\tau, v_\tau, w_\tau]^T = BC[12\tau, 3\tau^2, 4\tau^3, 5\tau^4]^T / T_i \\ \vec{a}_\tau &= [a_\tau, b_\tau, c_\tau]^T = BC[0, 26\tau, 12\tau^2, 20\tau^3]^T / T_i^2 \end{aligned}$$

$$B = \begin{bmatrix} (x_{i+1}-x_i) T_i u_i & T_i (u_{i+1}+u_i) & T_i^2 a_i / 2 & T_i^2 (a_{i+1}-a_i) / 2 \\ (y_{i+1}-y_i) T_i v_i & T_i (v_{i+1}+v_i) & T_i^2 b_i / 2 & T_i^2 (b_{i+1}-b_i) / 2 \\ (z_{i+1}-z_i) T_i w_i & T_i (w_{i+1}+w_i) & T_i^2 c_i / 2 & T_i^2 (c_{i+1}-c_i) / 2 \end{bmatrix}$$

입의의 경유점(WP_i)의 속도 및 가속도 벡터를 계산하기 위해서 이전 경위점(WP_{i-1})의 벡터값을 이용하여 계산한다.

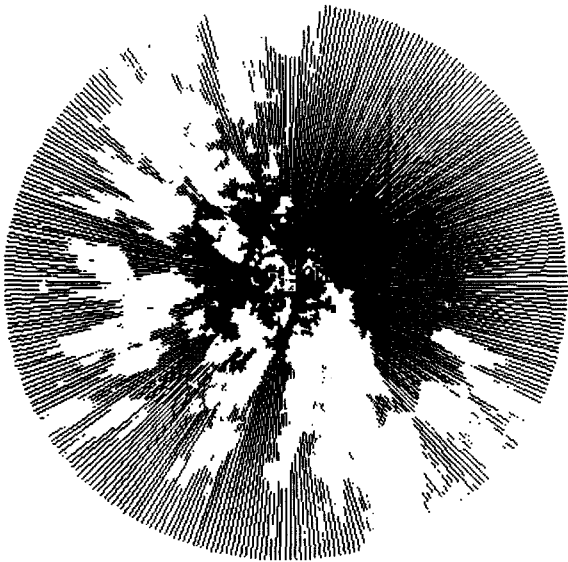
$$\begin{aligned} WP_i &\cong \{ \langle \vec{r}_i, \vec{v}_i, \vec{a}_i, T_i \rangle | i \geq 0 \} \\ T_i &= (t_{i+1} - t_i), t_i \cong WP_i \text{에 도달 시간} \\ \vec{g}_i &\cong WP_i \text{의 중력벡터} \\ \text{loop } (\exists WP_i) \\ \{ \\ &1. \vec{q}_i = \vec{g}_i \times ((\vec{r}_i - \vec{r}_{i-1}) \times \vec{g}_i) + \vec{g}_i \times ((\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i) \times \vec{g}_i) \\ &2. \vec{v}_i = \frac{\vec{q}_i}{\|\vec{q}_i\|} \cdot \text{속도} \\ &3. \vec{a}_{i-1} = \frac{\vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}}{T_{i-1}} \\ \} \end{aligned}$$

4.2 위협 모의

임무지원장비에서는 아군기를 탐지할 수 있는 레이더를 보유하고 있는 위협들인 탐색 레이더 기지, 지대공 미사일 기지, 대공포 기지, 적 전투기를 ALQ-X 파드의 대상 위협으로 정의하고 있다. 이 대상 위협들이 가지는 레이더들은 수행하는 기능에 따라 크게 원거리 위협에 대한 탐색을 하는 EW(Early Warning), 탐색된 목표를 지속적으로 추적하는 TT(Target Tracking), 미사일을 목표까지 유도하는 MG(Missile Guidance)의 세 가지 유형의 에미터(Emitter)로 분류된다. 이와 같이 각기 다른 기능을 가지는 에미터들로 구성되는 위협들과 아군기간의 교전을 모의하기 위해서 위협이 가지고 있는 각 에미터의 기능을 단계적 작동 및 교전 모의할 수 있도록 개발하였다.

에미터가 파드의 재밍 신호에 의해 재밍되는 것은 파드가 재밍 조건을 검사하여 조건을 만족시키는 경우에만 재밍 메시지를 에미터에게 전송하도록 개발하였다.

또한, 파드의 대상 위협 이외에도 에미터를 가지고 있지 않은 적 비행장, 지령 유도 미사일들을 모의할 수 있도록 이들에 대한 교전 모의 논리를 개발하여 적용하고 있다.



[그림 7] 가시선 분석(상단면)



[그림 8] 가시선 분석(측단면)

각 위협들에 대해서 유효 사거리나 발사 속도와 같은 상수 값들은 위협 모의 논리 상수로 정의하여 간단히 이 값들을 수정하는 것으로 다양한 모의 상황을 구성할 수 있도록 개발하였다

이러한 모의 논리 이외에도 임무지원장비에서는 각 위협들에 대해서 지구의 회전타원체에 근거하여 구한 최소가시고도를 이용해 그림 7, 그림 8과 같은 가시선 분석 기능을 제공한다. 가시선 분석 알고리즘으로는

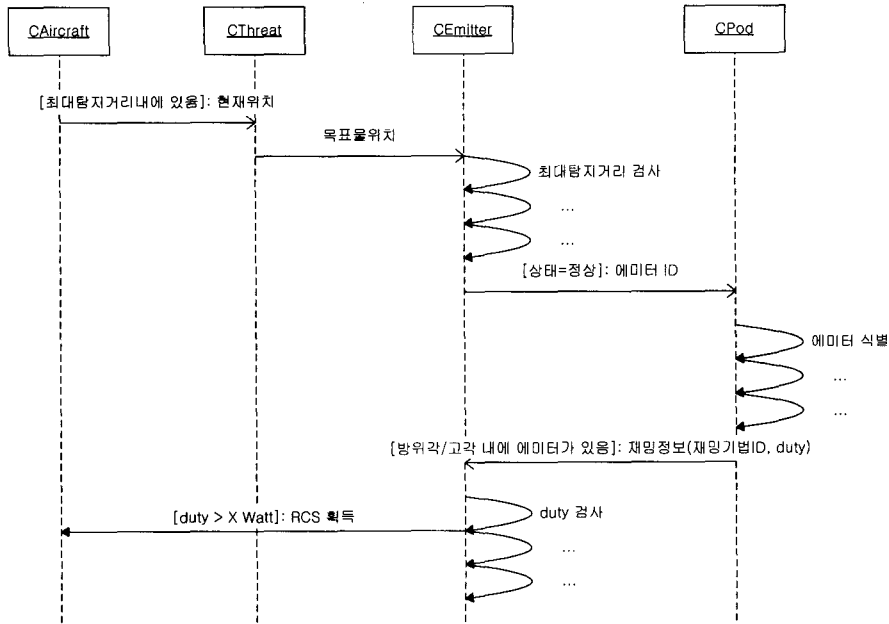
사전에 위협에 대한 최소가시고도를 구한 후에 위협의 위치 고도 및 항공기의 비행 고도를 상호 비교하여 구하도록 하였다. 이와 같이 고도 데이터를 비교하는 방식은 각도 차이를 비교하는 방식에 비해 계산량이 적어서 위협 반경 포함 여부를 효율적인 시간 내에 확인함으로써 실시간 모의를 원활히 수행할 수 있다. 가시선 분석 기능을 이용하여 조종사는 임무 비행 중에 조우할 수 있는 위협들에 대한 정보를 사전에 인식할 수 있다.

4.3 파드 모의

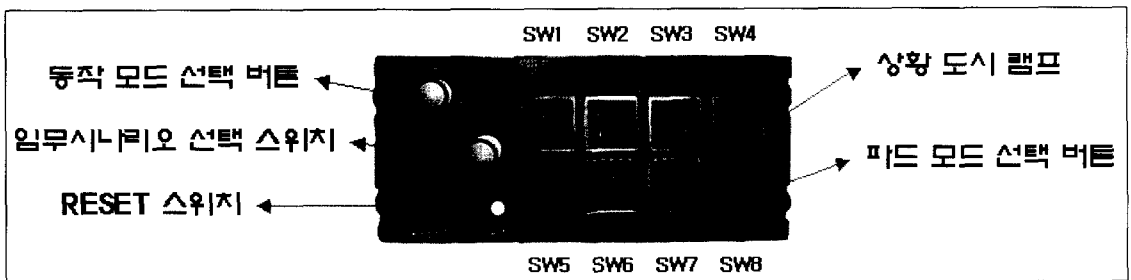
ALQ-X 파드는 조우 위협 에미터들의 식별 및 위협 에미터의 위협 우선 순위와 대응 재밍 기법, 기법에 따른 재밍 자원 할당 등이 이루어지도록 그림 9와 같이 모의 논리를 개발하였다.

파드는 아군기가 위협을 구성하는 에미터의 탐지 범위 내로 진입하게 되면 해당 에미터가 파드에게 자신의 id를 보내는 방법으로 신호 수신은 모의한다.

파드가 위협의 에미터로부터 신호를 수신하게 되면, 수신한 에미터 id를 이용하여 임무데이터파일(MDF : Mission Data File)로부터 에미터를 식별한다. 에미터의 정보가 MDF 내에 존재하지 않는 경우에는 이 에미터에 대한 재밍 기법이 존재하지 않기 때문에 에미터 식별이 이루어지지 않고, 결과적으로 자원 할당이 이루어지지 않게 된다. 에미터가 식별되면 AET (Active Emitter Table)를 생성하고, 위협도에 따라 위협도가 높은 에미터부터 이를 재밍하기 위한 기법을 MDF로부터 가져온다. 기법이 선택되면 재밍에 필요한 파드의 자원이 충분한지 검사하여 충분한 경우, 파드의 전후방 재밍 송신 방위각 및 고각을 계산하여 위협이 파드의 재밍 범위 내에 포함되는지 판단한다. 이 모든 조건을 만족시키는 경우, 파드가 위협의 에미



[그림 9] 파드와 에미터간의 조우 모의 논리



[그림 10] 제어지시기 사용자 인터페이스

터블 재밍하기 위해 에미터에게 재밍 메시지를 전송하는 것으로 재밍 신호 방사를 모의한다.

재밍 메시지를 수신한 위협 에미터는 파드에서 방사된 재밍 시그널이 대상 위협을 재밍 시킬 수 있을 만큼 충분한지를 판단하기 위해 위협의 burn-thru range와 재밍 대 신호비(J/S ratio : Jamming-to-Signal ratio)를 이용한다. 아군기가 위협의 burn-thru range 밖에 존재하고 재밍 대 신호비가 특정 값 이상인 경우에는 재밍 신호가 유효한 것이므로 위협

에미터는 반응시간 동안 동작을 중지하는 것으로 재밍 신호 효과를 모의하게 된다.

파드의 제어는 사용자에게 의해서 이루어지게 되며 이를 위해 임무지원장비에서는 그림 10과 같이 ALQ-X 파드의 제어기인 제어지시기를 그래픽 사용자 인터페이스로서 제공하고 있다. 조종사는 이를 이용하여 실제 임무 비행을 수행하기에 앞서 제어지시기 조작 방법을 습득할 수 있다. 제어지시기의 동작은 모의엔진에서 관리하는 우선순위에 따른 사건 큐(Priority

Event Queue) 에서 최우선 순위로 처리되도록 하여 사용자 입력이 최우선적으로 처리될 수 있도록 구현 되어 있다.

5. 시나리오 편집 및 작성

시나리오 편집 및 작성은 항공전자전 교전모의를 수행하기 전에 사용자의 입력에 의해서 위협의 배치 나 아군기의 비행 경로 설정 등 임무를 수행할 가상 전장환경을 구축하는 것이다.

시나리오 작성은 우선 사용자가 임무영역을 선택하고, 데이터베이스에 저장되어 있는 위협들 중에서 위협의 종류 및 속성 별로 선택/질의하여 임무영역 상에 배치시키는 것으로 시작한다. 이 때, 기존의 위협이 아닌 신규 가상 위협을 정의하여 원하는 위치 상에 배치시킬 수도 있다. 또한 배치된 위협들의 속성을 편집할 수 있으며, 활성/비활성화 할 수 있다. 그리고 사용자는 연속적으로 경유점을 선택하고 각각의 경유점에 대하여 3차원 위치와 속도를 정의하는 것으로 임무를 수행할 비행 경로를 결정할 수 있다. 또한, 경유점을 추가, 삭제, 편집하는 기능을 이용하여 비행 경로를 수정할 수 있다. 이외에도 시나리오 편집에서는 임무에 사용할 아군기의 기종 및 임무데이터파일을 선택할 수 있는 기능을 제공한다.

6. 결 론

ALQ-X 임무지원장비는 ALQ-X 전자방해책 파드를 장착하고 임무비행을 수행하기 전에, 가상 임무시

나리오에 따라 ALQ-X 파드의 위협탐지 및 대응능력을 통합 모의/분석함으로써 장비 운용능력과 항공 전자전 수행 능력을 검증해 볼 수 있는 체계이다.

이를 위해 기존에는 HILS 중심의 공학모델을 주로 개발하였던 것과는 달리, ALQ-X 항공 전자전 교전 모델 개발하였으며, 임무수행을 위한 전자전 전술 시험 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.

또한, 가상전장환경 구축하여 임무영역의 지형 인지도를 향상시키고, 위협정보의 관리를 통해 조종사는 임무 비행 중에 조우할 수 있는 위협들에 대한 정보를 사전에 인식할 수 있다.

ALQ-X 파드의 능력과 적군의 대공방어 능력 및 무기체계에 관한 모의논리 상수를 사용하여 다양한 모의상황을 구성할 수 있도록 개발하였으며, ALQ-X 파드 제어기인 제어지시기의 시뮬레이션을 제공함으로써 포드의 동작을 시뮬레이션할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Bernard P. Zeigler 외 2명, Theory Modeling and Simulation 2nd Ed. Academic Press.
- [2] S.A.Hovanessian, Radar System Design and Analysis, Artech House, 1984.
- [3] 김용운 외 4명, 전자전 시스템, 청문각, 1994.
- [4] 이행호, 김형균, 홍장의, 변재정, 하이브리드 모델링 기법을 이용한 전자전 임무지원 시스템 모델링. 전자통신학술대회, 2001. 9.
- [5] 홍장의, 이행호 전자전 임무지원 시스템의 모델링 기법 연구, 국방과학연구소, 2001.