

## 통합 교전 시뮬레이터 환경에서 다기능 레이더 탐지/추적 성능 모의를 위한 고해상도 레이더 모델

### High Resolution Radar Model to Simulate Detection/Tracking Performance of Multi-Function Radar in War Game Simulator

임 재 원 · 오 수 현 · 고 일 석

Jae-Won Rim · Suhyun Oh · Il-Suek Koh

#### 요 약

본 논문에서 통합 전장 시뮬레이터 환경인 AddSIM에서 레이더 동작을 모의하기 위한 고해상도 다기능 레이더의 모델링을 제안한다. 다기능 레이더 모델을 AddSIM에 연동하기 위해, 모델링은 물리부, 논리부, 정보부로 구성된 컴포넌트 기반의 구조를 가져야 한다. 이를 위해, 레이더의 RF 하드웨어부를 물리부로, 제어부를 논리부로, 레이더의 RF 제원을 정보부로 각각 분리한다. 레이더의 물리부/논리부에 대한 세부 모델링 방법을 기술하며, 공학급 레벨의 시뮬레이션을 위한 데이터 구조 또한 제시한다. 다중 표적이 교전하는 시나리오에서 다기능 레이더의 성능이 수치적으로 분석하며 제안된 모델에 대한 타당성을 검증한다.

#### Abstract

In this paper, modeling of a high-resolution multi-function radar is proposed to simulate radar performance in a war game simulator, called AddSIM. To incorporate the multi-function radar model into the AddSIM, the modeling must comprise a component-based structure consisting of physics, logics, and information blocks. Therefore, we assign the RF hardware of a RADAR as the physic block, a controller as the logics block, and the RF specifications of the RADAR as the information block. Detailed modeling of the physics and logics blocks are addressed, and data structure is also presented on an engineering level. On a multi-target engaged scenario, the performance of the multi-function radar is numerically analyzed and its validation is examined.

Key words: Multi-Function Radar, AddSIM, Synthetic War Game Simulator, High Resolution Radar Model

#### I. 서 론

국방 M&S(Modeling & Simulation)는 단일 시스템 요소 설계에서부터 다대다 시스템 운용 결과 예측까지 폭 넓은 연구를 수행하기 위해 국방 분야에서 매우 크고 중요

한 역할을 맡고 있다<sup>[1]</sup>.

국방 M&S 모델은 해상도(resolution)에 따라 크게 전구(theater)급, 임무(mission)급, 교전(engagement)급, 공학(engineering)급 모델로 분류된다<sup>[2]</sup>. 국내에서 저해상도의 모델에 해당되는 전구 및 임무급이 대한민국 공군과 JCS(Joint

「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 “무기체계 컴포넌트 모델 라이브러리 연구(과제번호 UD160072BD)”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.  
인하대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Inha University)

· Manuscript received November 19, 2018 ; Revised December 18, 2018 ; Accepted December 20, 2018. (ID No. 20181119-117)

· Corresponding Author: Il-Suek Koh (e-mail: ikoh@inha.ac.kr)

Chiefs of Staff)에 의해 워게임(war game) 시뮬레이션에 사용되었다<sup>[3][4]</sup>. 그러나 대한민국 국방 M&S 및 미래 전장 상황을 고려할 때, 공학급 수준의 무기체계 모델을 반영한 고해상도 워게임 시뮬레이션은 매우 중요하다. 이를 위해 최근 국방과학연구소의 주도하에 공학급 이상의 고해상도 모델 컴포넌트를 개발하고, 이를 기반으로 무기 체계 교전 모의실험 환경을 구축하기 위해 AddSIM(advanced distributed simulation environment) 환경 개발계획이 수립되었다<sup>[5]</sup>. 이를 위해 AddSIM 환경에서 플랫폼, 센서, 명령/제어 시스템 등의 모델을 통합하는 기술적인 로드 맵이 세워졌으며, 2016~2019년까지 지상/공중/해양 분야의 다양한 군용 무기체계에 대해 공학급 수준의 고해상도 모델 개발이 진행 중이다. AddSIM 환경에서 통합 교전을 위한 무기 체계 중 다기능 레이더(multi-function radar) 모델은 지상 유도 무기 및 수상함 등 여러 플랫폼에 탑재되어 실시간으로 적군에 대한 탐지/추적/식별 등의 임무를 수행하며<sup>[6]</sup>, 타 무기 체계와 연동하여 교전 임무를 수행하기 때문에 통합 교전 결과에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 모델이다. 레이더의 탐지 모델은 국외 교전 시뮬레이션 도구인 JMASS, OneSAF, EADSIM 등 국외의 여러 통합 교전 시뮬레이터 체계에서 개발 및 사용되었다. 하지만 이들은 레이더의 운용 및 신호 처리 모듈, 일부 기능 및 동작을 간략하게 모델링하였으며, 보안상 대중에 공개된 정보가 매우 제한적이다.

본 논문에서는 통합 교전 시뮬레이터인 AddSIM 환경에서 워게임 시뮬레이션 수행을 위한 공학급 이상의 고해상도 다기능 레이더 모델 설계를 제안한다. 제안하는 다기능 레이더는 AddSIM 환경에서 동작을 위해 컴포넌트 기반으로 구현되며, 핵심 기능을 모사한 물리부와 논리부 컴포넌트로 구성된다. 각 컴포넌트는 다기능 레이더의 탐색/확인/추적 등 중요한 임무 수행을 고려하여 모델링하며, AddSIM 커널(Kernel)과의 연동을 위한 데이터 구조 등을 자세히 기술한다. 이는 제안된 다기능 레이더 모델을 기반으로 레이더의 교전 임무 확장 가능성을 가능하게 하며, 타 플랫폼과의 연동하여 통합 교전 시나리오에서 교전 효과 분석에 효과적으로 사용하기 위함이다. 2절에서는 다기능 레이더의 모델링 및 데이터 구조 등에 대해 기술한다. 3절에서는 교전 시나리오에서 시뮬레이션 결과를 제시하여 공학급 다기능 레이더 임무 성능을 분석

하며, 4절에서는 결론을 제시한다.

## II. 본 론

### 2-1 통합 교전 시뮬레이터: AddSIM

AddSIM은 통합 M&S 시스템을 위한 컴포넌트 기반의 시뮬레이션 환경이며, 고해상도 무기체계 모델을 변경하고 구성하는 plug-and-play 방식으로 동작한다<sup>[5]</sup>. AddSIM은 각 무기체계를 컴포넌트 기반으로 개발하고, 통합 교전 환경에서 시뮬레이션을 수행하며, 다른 무기체계와 연계되어 통합 교전의 효과에 대한 분석이 가능하다. 그림 1은 AddSIM의 동작 개념도를 나타내며, ‘시뮬레이션 엔진(커널)’, ‘유저 인터페이스’, ‘자원 저장소’, ‘환경 서비스’, ‘외부 인터페이스’ 등으로 구성된다. GUI(Graphic User Interface)를 통해 사용자는 AddSIM 환경에서 시뮬레이션을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 외부 인터페이스를 통해 MATLAB, C/C++, HLA/RTI, DIS 등과 호환이 가능하다. 커널(Kernel)은 컴포넌트 개발, 설정, 실행, 출력을 수행하며, 출력된 결과는 txt 파일 형태로 저장되어 시각화(visualization)가 가능하다. 자원 저장소(repository)는 개발된 무기체계가 저장되어 있는 공간이며, 커널은 자원 저장소에 저장된 무기체계들을 선택/통합하여 교전 시뮬레이션을 수행하게 하는 핵심 역할을 수행한다. 본 논문에서는 저장소의 많은 무기체계 중 다기능 레이더 모델 설계를 제안한다.

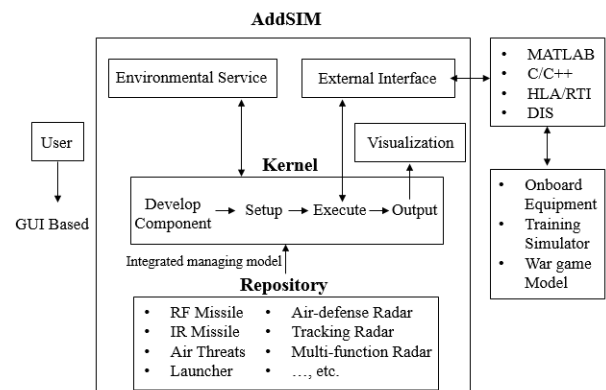


그림 1. 간략한 AddSIM의 동작 개념

Fig. 1. Simplified operation concept of AddSIM.

## 2-2 공학급 다기능 레이더 모델링

그림 2는 운용 환경에서 다기능 레이더의 동작을 간략화한 그림이다. 공중 위협체(air threat)가 시간에 따라서 움직이는 환경에서 다기능 레이더는 일반적으로 제어부(controller)에서 시간 자원(time resource)을 할당하여 주어진 시간 프레임 안에서 표적에 대한 탐색(search), 확인(confirm), 추적(track) 등의 임무를 수행한다<sup>[6]</sup>. 레이더는 매 펄스반복시간(pulse repetition time: PRT)마다 펄스를 송신하며, 표적으로부터 시영역(time-domain) 반향(echo) 신호를 수신한다. 공학급 수준에서 표적의 반사 신호를 계산하기 위해서는 표적의 기하학(geometry)를 고려하여 계산된 2D 편광(polarimetric) RCS(Radar Cross Section) 데이터가 요구된다. 수신 신호를 기반으로 레이더의 RF 하드웨어 블록에서는 레이더 신호 처리를 통해 매 PRT마다 표적 정보를 추정한다. 그림 2의 시나리오에서 레이더의 안테나 주엽(mainlobe) 빔은 공중 표적을 향하며, 지표면 반사에 의해 부엽으로 수신되는 신호의 크기는 매우 작으므로 무시가 가능하다. 따라서 자유공간(free space) Friis 전송 방정식<sup>[7]</sup>을 사용하여 표적으로부터 수신되는 시영역 신호를 계산한다.

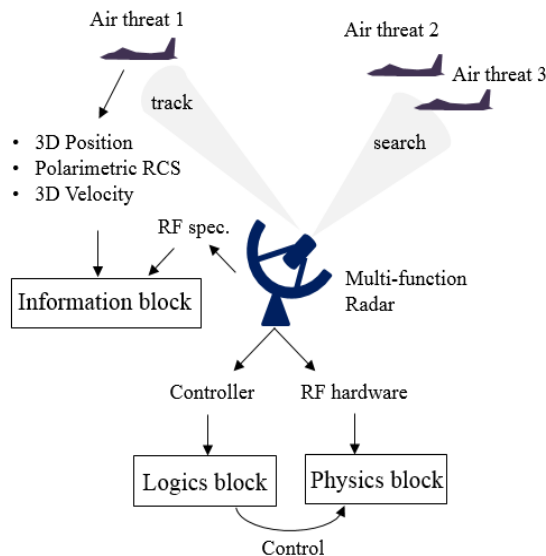
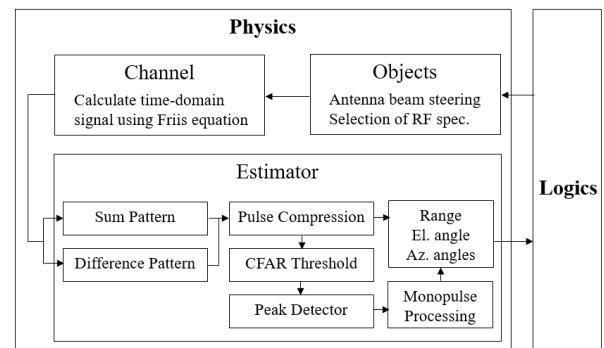
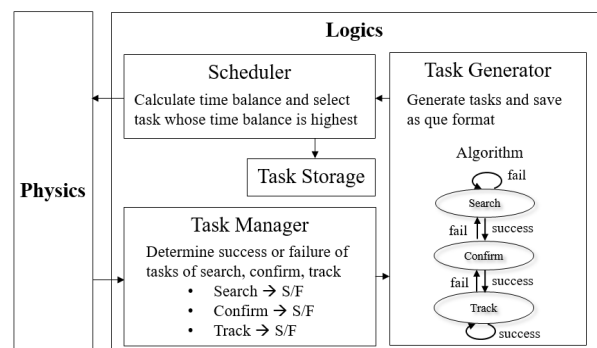


그림 2. 다중표적 교전환경에서 다기능 레이더 운용  
Fig. 2. Operation of multi-function radar on multi-target engagement configuration.

AddSIM 환경은 컴포넌트화된 무기체계를 요구하며, 크게 정보(information), 물리(physics), 논리(logics) 컴포넌트로 구성된다. 이를 위해 본 논문에서 제안하는 다기능 레이더의 RF 하드웨어는 물리부에 해당하며, 제어부는 논리부에 해당한다. 또한 표적의 시간에 따른 실제 위치, 속도 정보 그리고 레이더의 RF 제원은 정보부에 해당된다. 본 논문에서 제안하는 공학급 수준의 다기능 레이더의 물리/논리부 아키텍처는 그림 3과 같다. 레이더의 물리부는 크게 object, channel, estimator로 구성된다. Object는 논리부로부터 전달된 임무 데이터를 기반으로 안테나의 빔폭, 빔 조향각, PRT, 펄스 폭 등의 정보를 저장한다. Channel 블록은 시영역 수신신호를 계산하여 estimator로 전달한다. 수신 신호는 펄스 압축(pulse compression)<sup>[8]</sup> 후 CFAR



(a) 물리부  
(a) Physics block



(b) 논리부  
(b) Logics block

그림 3. 공학급 다기능 레이더의 물리부 및 논리부 블록도  
Fig. 3. Physics and logics component blocks of multi-function radar model in engineering level.

(Constant False Alarm Rate) 처리<sup>[9]</sup>를 거쳐 탐지 여부를 결정하고, 표적의 거리(range)를 추정한다. 또한 합(sum)/차(difference) 신호를 사용하여 모노펄스(monopulse) 처리<sup>[10]</sup>를 통해 고각(elevation angle), 방위각(azimuth angle) 등의 3D 위치 정보를 추정한다. 물리부에서 표적의 탐지 여부, 추정 정보는 논리부로 전달된다. 논리부는 Task Manager, Task Generator, Task Storage, Scheduler로 구성된다. Task Manager는 물리부에서 전달된 표적의 탐지 여부를 기반으로 탐색/확인/추적 임무 중 수행된 임무의 성공/실패 여부를 판별하여 정보를 Task Generator에 전달한다. Task Generator는 탐색, 확인, 추적 임무 시퀀스(sequence)를 큐(queue)의 형태로 저장하며, 상태 천이도(state transition diagram)는 그림 3(b)에 나타난 그림과 같다. 탐색 빔을 통해 레이더는 3D 전역을 스캔하여 탐색 임무에 의해 표적이 탐지된 경우, 더 좁은 HPBW(Half Power Beam Width)를 갖는 확인 빔을 통해 표적 탐지 여부를 재확인한다. 마지막으로 매우 좁은 HPBW를 갖는 추적 빔을 통해 지속적으로 표적을 추적하며 추적 실패 시 확인 여부를 통해 표적을 재확인한다. 임무 시퀀스는 scheduler로 전달되며 시간인자(time balance)를 계산하여 가장 높은 시간인자를 갖는 임무를 선택한다<sup>[6]</sup>. Scheduler에 의해 선택된 임무는 task storage에 저장되며, 동시에 물리부로 전달된다. 본 논문에서 고려하는 시간인자 기반의 임무 선택에 대한 순서도는 그림 4와 같다. 탐색/확인/추적 임무 중 시간인자가 양수를 갖는 임무를 선택하며, 선택된 임무의 시간인자는 갱신 시간(update time)만큼 감소하며, 선택되지 않은 임무의 시간인자는 임무 시간(task time)만큼 증가한다. 만약 모든 임무의 시간인자가 음수라면 한 임무의 시간인자가 양수가 될 때까지 시뮬레이션 시간을 계속 증가하며, 이 순차를 반복한다. 여기서 임무 시간은 임무의 탐지 영역에 해당되는 PRT를 나타내며, 갱신 시간은 유휴 시간을 포함하여 실제 펄스를 다시 보내기까지의 시간을 의미한다. 그림 3의 다기능 레이더 아키텍처에서 논리부에서 물리부로 전달되는 임무 데이터의 구조는 그림 5와 같다. 일반적으로 탐색 임무는 탐지 거리에 따라 안테나 이득, 빔폭, PRT, 대역폭, 펄스 폭등의 RF 제원을 다르게 사용한다<sup>[11]</sup>.

본 논문에서 탐색 임무는 근거리(R1)/중거리(R2)/장거리(R3)에 따라 분할된 세 가지 탐색 임무를 고려한다. 확

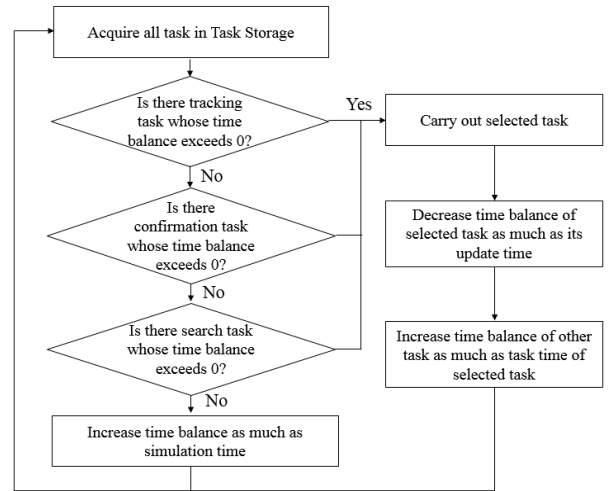


그림 4. 시간 인자 기반 탐색/확인/추적 임무선택 흐름도  
Fig. 4. Flow chart for search, confirm, track task selection based on time balance.

Tasks: Search (R1, R2, R3), Confirm, Track

Task type	Minimum detection range	Maximum detection range	Chirp rate	Range resolution
Pulse width	Bandwidth h	HPBW	Antenna gain	PRT

그림 5. 물리부/논리부 상호연동 임무 데이터 구조  
Fig. 5. Task data structure used for inter-operation of physics and logics blocks.

인/추적 임무에 요구되는 RF 제원 역시 탐지된 표적의 거리에 종속된다. 이에 따라서 논리부 최종단 Scheduler에서 물리부로 전달되는 임무 데이터는 그림 5에 나타난 구조를 갖는다. 그림 6은 AddSIM Kernel과 공중 위협체, 다기능 레이더의 시뮬레이션 연동 구조를 나타낸 그림이다. AddSIM 커널은 Spatial DB와 Journaling DB에 접근하여 필요한 정보를 불러온다. Spatial DB는 교전 시나리오에 존재하는 모든 플랫폼의 공간 정보(3D 위치 등)를 포함한다. 다기능 레이더는 사용자에 의해 정의된 RF 제원을 저장하여 물리부/논리부의 동작에 필요한 정보에 접근한다.

공학급의 고해상도 교전 시뮬레이션을 위해서는 표적의 기하학 구조를 반영한 2D 편광 RCS DB인  $S_{hh}$ ,  $S_{vh}$ ,  $S_{hv}$ ,

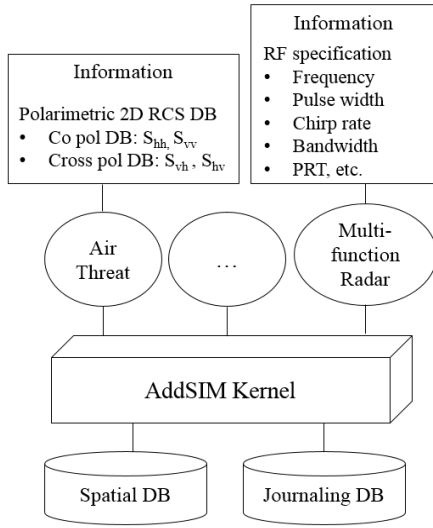


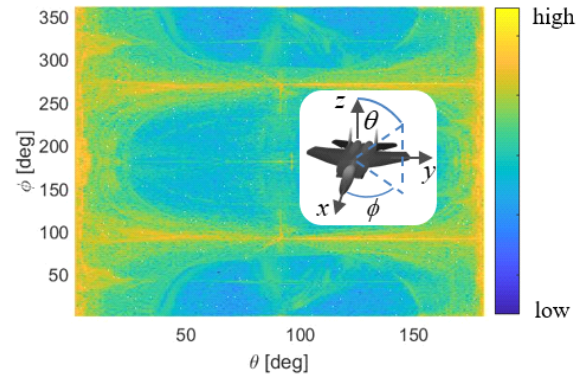
그림 6. AddSIM 커널, 공중 위협체, 다기능 레이더의 상호 연동 체계

Fig. 6. Inter-operation among AddSIM kernel, air threat, and multi-function radar.

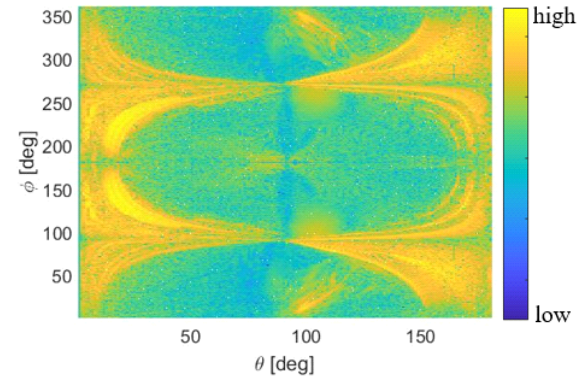
$S_v$ 가 요구되며, 여기서  $h$ 와  $v$ 는 각각 수평(horizontal) 및 수직(vertical) 편파를 나타낸다<sup>[7]</sup>. 2D 편광 RCS DB는 레이더 물리부의 Channel에서 시 영역 반향 신호를 계산에 사용된다<sup>[12]</sup>. 그림 7은 본 논문에서 고려하는 공중 위협체의 기하학 구조를 반영한  $S_{hh}$ ,  $S_{vh}$  DB를 나타낸다. 공중 위협체의 물리적 크기는  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 축으로 각각 19.1 m, 13.2 m, 4.2 m이다. S-band에서 SBR(Shooting and Bouncing Ray) 방법<sup>[13]</sup>을 기반으로 고각/방위각 1도 샘플링 간격의 2D 편광 RCS DB를 구축하였다.

### III. 시뮬레이션 결과

교전 시나리오에서 제안된 다기능 레이더의 성능 분석을 위해 고려하는 레이더 파라미터는 표 1과 같으며, 탐색 임무의 파라미터는 표 2와 같다. 표 2에서 탐색 임무는 거리에 따라 (R1, R2, R3) 세 가지 임무로 세분화되며, 레이더의 확인/추적 임무 파라미터는 탐지된 표적의 위치 (R1, R2, R3)에 의해 결정된다. 예를 들어 표적의 탐지 거리가 R1이면 확인 및 추적 임무는 표 2에서 Search (R1)에 해당되는 임무 데이터 구조를 갖는다. 레이더 임무의 자원 할당률,  $Occ$ 는 다음과 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.



(a) Co-pol  $S_{hh}$



(b) Cross-pol  $S_{vh}$

그림 7. 공중 위협체의 2D 편광 RCS

Fig. 7. 2D polarimetric RCS DB of air threat.

표 1. 레이더 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Radar simulation parameters.

Parameter	Value
Frequency	2 GHz
Transmit power	20 kW
FOV (azimuth angle)	0~360 deg
FOV (elevation angle)	30~90 deg
Position	[0, 0, 0] m
Minimum detectable signal (MDS) level	-120 dBW

$$Occ [\%] = t_{task}/t_{update} \times 100$$

여기서  $t_{task}$ 와  $t_{update}$ 는 임무 시간과 갱신 시간을 나타낸다.  $t_{task}$ 는 주어진 임무의 PRT와 같으며,  $t_{update}$ 는 유

표 2. 레이더 탐색 임무 파라미터

Table 2. Radar search task parameters.

	Search (R1)	Search (R2)	Search (R3)
Minimum detection range	150 m	3 km	9km
Maximum detection range	5.2 km	20.8 km	83.5 km
Chirp rate	$10^{13}$ Hz/sec	$2.5 \times 10^{11}$ Hz/sec	$42 \times 10^{13}$ Hz/sec
Range resolution	15 m	30 m	60 m
Pulse width	1 usec	20 usec	60 usec
Bandwidth	10 MHz	5 MHz	2.5 MHz
HPBW	32.76 deg	16.19 deg	8.05 deg
Antenna gain	12 dBi	24 dBi	36 dBi
PRT	0.1 msec	0.2 msec	0.7 msec

휴시 시간을 포함한 임무의 갱신 시간이다. 본 논문에서는 탐색/확인/추적 임무의 자원 할당률(occupancy)은 50 %, 20 %, 30 %로 설정하였다. 탐색 임무의 세부 임무는 탐지 거리 R1, R2, R3에 대해 5 %, 10 %, 35 %로 할당되었다.

레이더의 FOV(Field Of View) 각도는 방위각으로 0~360 deg, 고각으로 30~90 deg이며(표 1), 탐색 임무의 HPBW에 따라 표 2부터 탐색 빔의 개수가 정해진다.

일반적인 레이더 탐색 설계를 따라서 단일 탐색 빔은 주변의 탐색 빔과 HPBW의 20 % 겹쳐지게 설정하였으며<sup>[14]</sup>, 탐지 거리 R1, R2, R3 각각에 대해 42개, 140개, 560개의 탐색 빔으로 분할되었다. 그림 8은 전역 좌표계에서 분할된 레이더 탐색 빔을 나타낸다. 다중 공중 위협체가 기동하는 시나리오에서 표적에 대한 다기능 레이더 임무 분석 시뮬레이션을 수행하기 위해 표 3의 표적의 초기 위치, 속도, 기동 방향 등의 파라미터를 고려한다. 레이더 시뮬레이션 시간은 5초를 가정한다.

그림 9는 전역좌표계에서 시간에 따른 표적의 기동 및 레이더 추적 히스토리를 나타낸다. 기동하는 공중 위협체에 대해 레이더가 탐색/확인/추적 임무를 통해 정확한 표적 추정이 이루어지는 것을 알 수 있다. 탐색에 의한 표적 탐지는 일정 주기를 가지며, 이는 그림 8의 탐색 영역을 스캔하는 동안 표적이 스캔 빔에 의해 탐지되는 주기이다. 확인 임무는 탐색 임무를 통한 표적 식별 이후에 수행

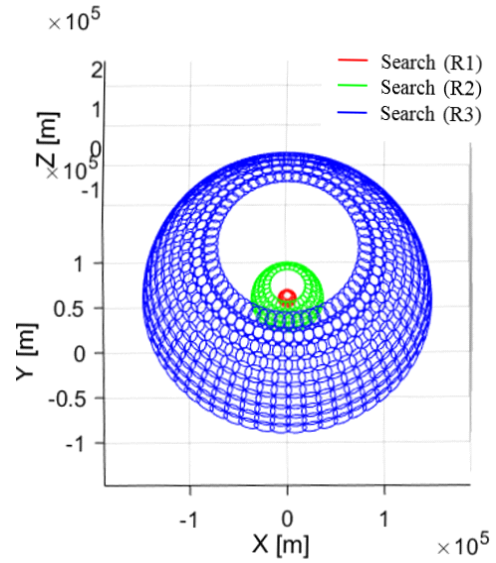


그림 8. 3D 전역 좌표계 영역에서 분할된 레이더 탐색 (R1, R2, R3) 빔

Fig. 8. Segmented radar search (R1, R2, and R3) beams in 3D global coordinate system.

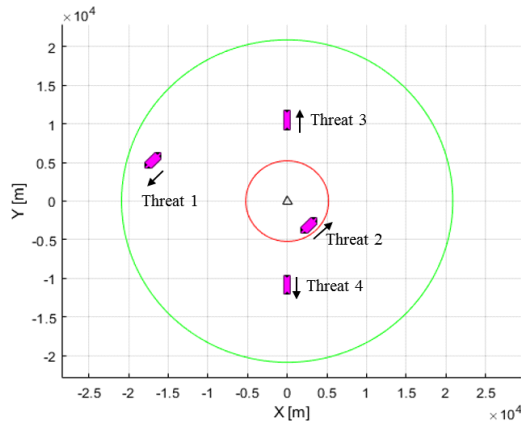
표 3. 공중 위협체 시뮬레이션 파라미터

Table 3. Air threat simulation parameters.

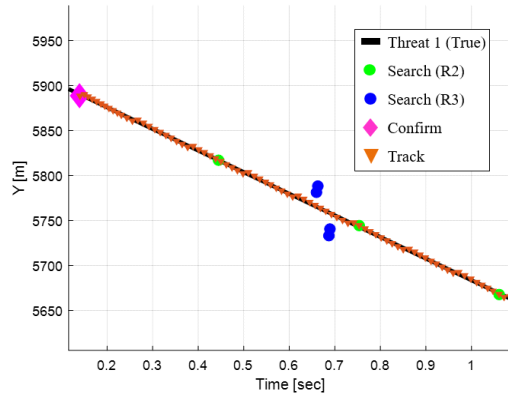
	Air threat 1	Air threat 2	Air threat 3	Air threat 4
Initial range	20 km	5 km	10 km	10 km
Initial elevation angle	60 deg	60 deg	75 deg	85 deg
Initial azimuth angle	160 deg	300 deg	90 deg	270 deg
Moving direction (azimuth angle)	225 deg	45 deg	90 deg	270 deg
Velocity	340 m/s			
Maneuvering	Level flight			

되며, 확인 임무 후 표적 재탐지가 성공하여 지속적인 추적 임무가 수행되는 것을 알 수 있다. 추적 임무의 경우, 이전 탐색/확인 임무를 통해 추정된 표적의 위치로 빔을 바로 방사한다. 따라서 추적 주기가 탐색 주기보다 훨씬 짧으며, 매우 빠르게 표적의 위치를 갱신한다. 그림 10에 위협체 1과 위협체 3으로부터 수신되는 전력 히스토리를 보면 지속적으로 최소 탐지 신호 레벨(MDS)인 -120 dBW 이상의 전력을 수신되는 것을 알 수 있다. 특정 시간에 치





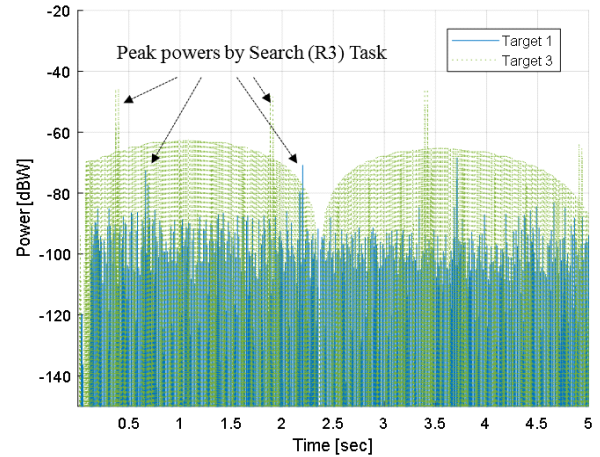
(a) 2D 좌표계  
(a) 2D coordinate



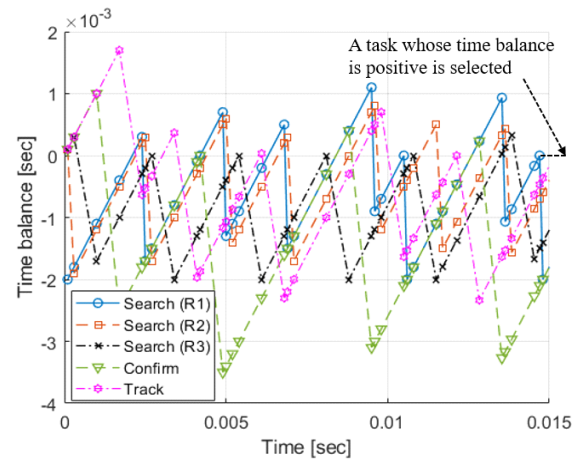
(b) y축 궤적(위협체 1)  
(b) y axis trajectory(Threat 1)

그림 9. 공중 위협체 및 추적 히스토리 3D 궤적  
Fig. 9. 3D trajectories of air threats and radar estimate history.

쫓는 수신 전력을 발견할 수 있는데, 이는 Search (R3) 임무의 높은 안테나 이득에 의해 발생하며, 그림 9(b)의 Search (R3)의 임무 성공 시간과 일치하는 것을 확인할 수 있다. 탐색/확인/추적 임무의 시간인자의 변화는 모의시간 동안 매우 빠르게 변하며 양수의 시간인자를 갖는 임무가 수행된다. 탐색/추적/확인 임무의 시간 인자가 비주기적으로 양수가 되는 것을 확인할 수 있다. 그림 10의 시간인자를 기반으로 각 임무의 수행 빈도수(frequency)와 임무 시간을 고려하여 모의시간동안 수행된 임무의 자원 할당률을 설정된 값과 비교하면 표 4와 같으며, 두 결과가



(a) 레이더 수신 전력 히스토리  
(a) Received power history by radar



(b) 레이더 임무 시간인자  
(b) Time balance of radar tasks

그림 10. 전력 히스토리 및 시간인자  
Fig. 10. Power history and time balance.

표 4. 레이더 임무 자원할당률 비교

Table 4. Comparison for occupancy of radar tasks.

Tasks	Occupancy	
	Simulation	Setting
Search (R1)	6.9 %	5 %
Search (R2)	12.4 %	10 %
Search (R3)	31.8 %	35 %
Confirm	18.0 %	20 %
Task	30.9 %	30 %

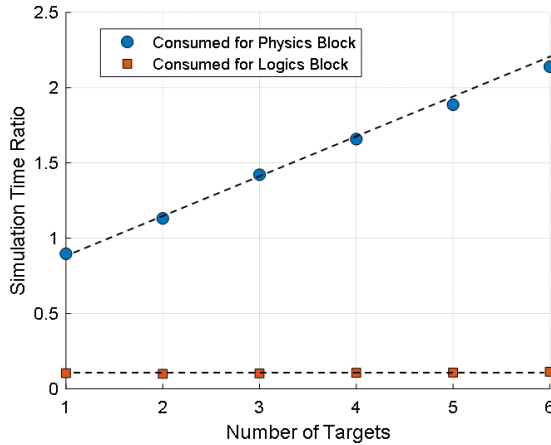


그림 11. 교전 시나리오에서 표적 수 증가에 따른 시뮬레이션 시간 비

Fig. 11. Simulation time ratio with respect to number of targets on engagement scenario.

잘 일치하는 것을 알 수 있다.

그림 11은 교전 시나리오에서 표적 수의 증가에 따른 시뮬레이션 시간의 비를 나타낸 그림이다. 물리부와 논리부 각각에 대해 소요된 시뮬레이션 시간을 단일 표적 시나리오에 소요된 시간으로 나눈 비를 계산하였다. 물리부에 소요되는 시뮬레이션 시간은 표적의 개수가 증가함에 따라 시뮬레이션 소요 시간이 선형적으로 증가하는 반면에 논리부의 경우는 표적의 개수와 무관하게 일정한 시뮬레이션 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. 이는 물리부에서 표적으로부터 반사되는 신호를 계산하고 시영역에서 합치는 물리부의 Channel부에서 소요되는 계산 시간이 표적의 개수에 비례하기 때문이다. 반면에 논리부의 경우 임무 데이터를 생성하고 할당하는데 소요되는 계산 시간은 표적의 개수와 무관하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 통합 교전 시뮬레이터 AddSIM 환경에서 위게임 시뮬레이션을 수행하기 위해 공학급 수준의 고해상도 다기능 레이더 모델을 제안하였다. AddSIM은 개발하는 무기체계 모델의 확장 용이성을 위해 컴포넌트화된 모델을 요구하며, 이를 위해 제안된 다기능 레이더 아키텍처는 RF 하드웨어를 물리부로 제어부를 논리부로

할당하였으며, 레이더의 RF 제원과 표적의 RCS DB는 정보부로 모델링하였다. 다기능 레이더의 임무로는 탐색/확인/추적 임무를 구성하였고, 시간인자를 기반으로 임무를 선택하는 알고리즘을 구현하였다. 공학급 수준의 시뮬레이션을 위한 논리부/물리부 모델링과 더불어 임무 구조, 요구되는 표적의 RCS DB 구조를 제시하였다.

다중 표적 기동 시나리오에서 실제 표적에 대한 수신 전력 및 추정 성능을 분석하였으며, 탐색/확인/추적 임무의 동작을 수치적으로 검증하였다. 또한 시나리오에 사용된 표적의 개수 증가에 따른 시뮬레이션 시간을 계산하였으며, 레이더의 물리부에 소요되는 시뮬레이션 시간은 표적의 개수에 선형적으로 비례하며, 논리부는 이와 무관한 것을 확인하였다. 따라서 다중 표적 시나리오에서 분산 시뮬레이션을 수행할 경우, 물리부에 많은 계산 자원을 할당하여 수치적 효율을 향상시킬 수 있다.

제안된 컴포넌트 기반의 다기능 레이더 모델링을 기반으로 통합 교전 시뮬레이터 환경인 AddSIM에서 공학급 수준의 타 무기체계 모델과 연동이 가능하며, 미래 전장 상황을 반영한 통합 교전 시뮬레이션이 가능하다.

#### References

- [1] L. K. Piplani, *Systems Acquisition Manager's Guide for the use of Models and Simulations*, Defense Systems Management Coll Fort Belvoir Va, 1994.
- [2] N. S. Board, National Research Council, *Technology for the United States Navy and Marine Corps, 2000 ~2035 becoming a 21st Century Force*, Washington DC, National Academies, 1997.
- [3] M. A. Stoler, *Allies and Adversaries: The Joint Chiefs of Staff, the Grand Alliance, and US Strategy in World War II*, Chapel Hill, NC, UNC Press Books, 2003.
- [4] J. F. Schnabel, R. J. Watson, and K. W. Condit, *History of the Joint Chiefs of Staff: The Joint Chiefs of Staff and National Policy*, vol. 8, Historical Division, Joint Chiefs of Staff, 2011.
- [5] H. S. Oh, S. Park, H. J. Kim, T. Lee, S. Lee, and D. Kim, et al., "AddSIM: A new Korean engagement simulation environment using high resolution models," in *Pro-*



- ceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, Savannah, GA, 2014, pp. 2942-2953.
- [6] J. M. Butler, "Tracking and Control in Multi-function Radar," Ph.D. dissertation, University of London, 1998.
- [7] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New Delhi, John Wiley & Sons, 2012.
- [8] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, 3rd ed. Boca Raton, FL, CRC Press, 2013.
- [9] M. Kolawole, *Radar Systems, Peak Detection and Tracking*, Burlington, Elsevier, 2003.
- [10] S. M. Sherman, D. K. Barton, *Monopulse Principles and Techniques*, Boston, Artech House, 2013.
- [11] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, New York, John Wiley & Sons, 2007.
- [12] J. W. Rim, K. H. Jung, I. S. Koh, C. Baek, S. Lee, and S. H. Choi, "Simulation of dynamic EADs jamming performance against tracking radar in presence of airborne platform," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 16, no. 3, pp. 475-483, 2015.
- [13] C. H. Teh, B. K. Chung, and E. H. Lim, "An accurate and efficient 3D shooting-and-bouncing-polygon ray tracer for radio propagation modeling," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 12, pp. 7244-7254, 2018.
- [14] T. Jeffrey, *Phased-array Radar Design: Application of Radar Fundamentals*, Raleigh, NC, SciTech Publishing, 2009.

#### 임 재 원 [인하대학교/박사과정]



2014년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 2016년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2016년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] Electronic Warfare, Radar

M&S, Numerical Analysis

#### 고 일 석 [인하대학교/교수]



1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 4월: LG 전자 연구원  
 2002년 8월: The University of Michigan at Ann Arbor 전기 및 전산과 (공학박사)

2004년 3월~2010년 8월: 인하대학교 정보통신대학원 교수  
 2010년 9월~현재: 인하대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] Theoretical Electromagnetics, Numerical Analysis, Wave Propagation through Complex Media

#### 오 수 현 [인하대학교/박사과정]



2009년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 2013년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2013년 4월~2016년 8월: 에이스 안테나 전문연구요원  
 2017년 2월~현재: 인하대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] Radar M&S, Numerical Analysis