전투 시스템 생존성 분석을 위한 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션

황훈규* · 김헌기** · 이장세***

An Agent based Modeling and Simulation for Survivability Analysis of Combat System

Hun-Gyu Hwang* · Hun-Ki Kim** · Jang-Se Lee***

이 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD100004KD).

요 약

전투 시스템의 생존성은 전투 환경의 여러 요인에 따라 변화한다. 기존의 전투 시스템 생존성 분석 시뮬레이션 프로그램은 전투 환경에 따라 변화하는 생존성의 분석에는 한계를 가진다. 이 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 이용한 전투 시스템의 동적 생존성 분석 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 위해 DEVS 형식론, SES/MB 프레임워크, 에이전트 기술을 이용하여 전투 시스템을 구성하는 여러 요소를 모델링하고, 전투 시스템에 탑승하는 승무원을 각 역할에 따른 에이전트로 모델링한다. 제안하는 기법을 적용하면, 전투 환경에서의 전투 시스템 정적 생존성을 비롯하여 전투 시스템에 탑승하고 있는 승무원의 대응에 따라 변화하는 생존성을 분석할 수 있다.

ABSTRACT

Survivability of combat system is changed by various facts in dynamic battle field. Existing survivability analysis programs for a combat system analyze statically survivability for combat system in spite of dynamic battle environment. To overcome this limitation, we propose an agent-based modeling and simulation method for dynamic survivability analysis of the combat system. To do this, we have adopted DEVS formalism, SES/MB framework and agent technology for modeling components of the combat system and crews. The proposed method has advantages of being able to analyze not only a static survivability of the combat system but also a dynamic survivability of combat system by applying responses of crews in battle field.

키워드

전투 시스템, 생존성, 에이전트, 모델링, 시뮬레이션

Key word

Combat System, Survivability, Agent, Modeling, Simulation

* 정회원 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과(hungyu@hhu.ac.kr)
** 준회원 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과
*** 정회원 : 한국해양대학교 IT공학부(교신저자)

접수일자 : 2012. 10. 17
심사완료일자 : 2012. 11. 06

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.12.2581

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ⅰ. 서 론

전투 시스템이란, 육상, 해상, 공중, 수중에서 국방과 관련된 임무 수행 능력을 지닌 시스템을 의미한다. 전투 시스템의 생존성은 외부 위협에 의한 피격이나 폭발 등에 대한 피해를 최소화함으로써 향상된다. 생존성이란, 전투 시스템이 전투 환경에서 위협을 회피하거나 감내하여 임무를 수행할 수 있는 능력을 의미한다[1].

현재, 여러 분야에서 생존성 향상을 위한 연구가 진행되고 있으나, 국방 과학기술 분야의 특성상 학계나 민간 연구소의 참여가 제한되어있어 연구 기반이 매우 미비한 실정이다. 특히, 외부 위협에 대한 전투 시스템의 취약성 및 생존성을 분석 및 시뮬레이션 하는 프로그램은 외국산이 주를 이루고 있어 이러한 프로그램의 국산화가 시급하다. 대표적인 예로, 독일 CONDAT사에서 개발한 CAD 기반의 전투 시스템 취약성 분석 시뮬레이션 프로그램인 GSS(Gesamt Schutz Simulation)가 있다[2]. 이는 고정된 전투 시스템의 정적 취약성 및 생존성만을 분석하는 것에 최적화 되어있어 전투 시스템 운용에 따른 동적 취약성 및 생존성을 분석하는 것에는 한계가 있다.

이 논문에서는 다양한 변수가 존재하는 전투 환경에서의 동적인 전투 시스템 생존성을 분석하기 위한 에이전트(agent) 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 제안한다.

전투 환경에서 외부 위협에 대한 전투 시스템의 생존성은 탑승하고 있는 여러 승무원의 대응에 따라 변화한다. 이 논문에서는 승무원의 대응에 따라 변화하는 생존성을 분석하기 위하여, 여러 승무원을 각각의 역할에 따라 자율적인 의사결정을 하는 에이전트로 모델링한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모델링 및 시뮬레이션의 기본 개념 및 에이전트 기술에 관해 설명하고, 3장에서는 에이전트 기반 전투 시스템의 모델링에 관한 내용을 다룬다. 또한 4장에서는 모델링한 에이전트 기반 전투 시스템의 생존성을 분석하기 위한 시뮬레이션에 관해 기술하고, 그 유용성을 검증한 후 5장의 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

이 논문에서는 SES/MB(System Entity Structure/Model Base) 프레임워크[3]와 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론[3]을 이용하여 전투 시스템을 구성하는 여러 요소 및 에이전트를 모델링한다.

2.1. SES/MB 프레임워크

Zeigler에 의해 제안된 SES/MB 프레임워크는 시스템 구성 요소의 구조를 나타내는 SES와 시스템의 행위적 특성을 나타내는 MB로 구성되며, 계층 구조적이고 모듈화된 모델링 및 시뮬레이션 환경을 제공한다. SES는 선언적인 특징을 가지고, 엔티티의 구조적인 지식을 트리 형태로 나타내며, 엔티티는 특정 역할을 수행하는 모델에 해당한다. 또한 SES로 표현된 구조에서 가지치기(pruning) 과정을 통해 시뮬레이션에서 필요한 구조인 PES(Pruned Entity Structure)를 선택할 수 있다. MB는 절차적인 특징을 가지며, 동역학적 행위를 표현한다. 앞서 언급한 SES의 말단 엔티티로 구성된 모델의 집합으로 구성되어 있으며, PES와의 결합(coupling) 관계에 의해 상호 결합되어 시뮬레이션 환경을 구성한다.

2.2. DEVS 형식론

이 논문에서는 MB를 구성하는 모델의 동역학적 행위의 표현을 위해 DEVS 형식론을 이용하였다. Zeigler에 의해 제안된 DEVS 형식론은 연속적인 시간상에서 이산적으로 발생하는 사건에 대한 모델의 행위를 표현한다. DEVS 형식론에서 모델은 다음과 같은 7개의 요소로 구성된다.

$$M = < X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta >$$

여기서, X는 입력 집합, S는 상태 집합, Y는 출력 집합을 의미하며, δ_{int}는 외부에서 사건이 발생하지 않을 경우 시간 진행에 의해 모델의 상태 전이를 나타내는 함수, δ_{ext}는 외부에서 발생한 사건에 의해 모델의 상태 전이를 나타내는 함수, λ는 출력 함수, ta는 시간 진행 함수를 의미한다.

2.3. 에이전트 기술

에이전트는 지식베이스(Knowledge Base)를 기반으로 추론, 정보 교환, 학습 등을 통해 자율적인 의사결정을 지원하기 위한 지능을 가진 요소를 의미한다[4]. 국방 M&S 분야에서의 에이전트는 전장 환경에 존재하는 특정한 개체나 자산이 된다.

이 논문에서는 에이전트 모델링을 위하여 Zeigler와 Chi가 제안한 Endomorphism 개념을 따르는 엔진기반 모델링 기법을 이용한다. 그림 1과 같이, Endomorphism 개념은 에이전트가 제어 대상에 대한 추상화된 모델을 가져야 한다는 개념이며, 엔진기반 모델링 기법은 지식베이스 모델과 지식베이스 모델로부터 최적해를 찾는 추론엔진(Inference Engine) 모델이 분리된 구조를 가지도록 모델링하는 기법이다[5-9].

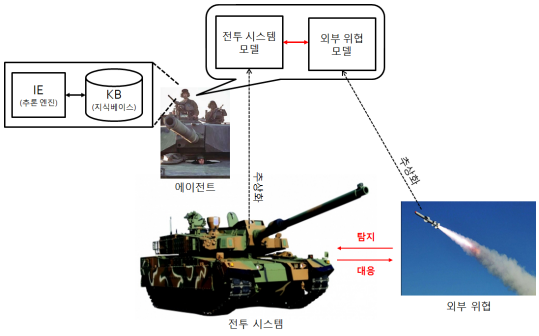

그림 1. Endomorphism 및 엔진기반 모델링 개념
Fig. 1 Concept of Endomorphism and engine-based modeling

Ⅲ. 에이전트 기반 전투 시스템 모델링

3.1. 계층구조적 전투 시스템 모델링

전투 시스템이란, 육상, 해상, 공중, 수중에서의 국방과 관련된 임무 수행 능력을 지닌 시스템을 의미한다. 예를 들어, 육상에서는 전차, 해상에서는 함정, 공중에서는 전투기 등을 대표적으로 꼽을 수 있다. 이 논문에서는 여러 전투 시스템 중 전차를 선택하여 모델링한다. 전차는 크게 몸체, 무한궤도, 포로 구성되어 있고, 몸체는 장갑, 전자장비, 연료 탱크, 적재 포탄을 포함하는 것으로 추상화한다. 전차에는 일반적으로 전차장을 비롯하여 조종수, 포수, 탄약수가 탑승하는데, 전차의 종류에 따라 탄약수의 탑승 여부가 결정되기 때문에 총 탑승 인원은 3명 혹은 4명이 될 수 있다. 이 논문에서는 3명, 즉 전차장, 조종수, 포수가 탑승하는 경우라고 가정하였으며, 각 승무원을 각각의 역할을 수행하는 에이전트로 모델링한다. 이 논문에서는 전투 시스템의 외부 위협을 운동 에너지탄이라고 가정하며, 운동 에너지탄의 공기 저항은 무시한다.

전차를 구성하는 요소 및 에이전트 모델의 계층구조를 나타내기 위하여 SES를 생성하였으며, 가지치기 과정을 통해 그림 2와 같은 PES를 도출하였다. PES는 EF(Experiment Frame) 모델, 에이전트를 포함하는 전차 모델, 분석기 모델로 구성된다. 여기서, EF 모델은 시뮬레이션을 위한 틀로써 외부 위협을 생성하는 Generator 모델과 시뮬레이션 결과를 출력하는 Transducer 모델로 구성되며, 전차 및 분석기 모델에 관해서는 다음절에서 자세히 설명한다.

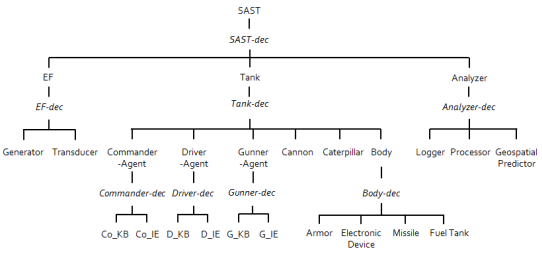

그림 2. 에이전트 기반 전투 시스템의 PES
Fig. 2 PES of agent-based combat system

3.2. 에이전트 기반 전투 시스템 모델 구축

전차를 구성하는 여러 구성 요소 및 승무원 에이전트, 그리고 분석기를 모델링하였으며, 생존성 분석을 위한 시뮬레이션 구조도는 그림 3과 같다.

- 전차(Tank) 모델

전차 모델은 다음과 같은 여러 모델 및 승무원 에이전트 모델로 구성된다.

Caterpillar 모델 : 무한궤도. Driver 에이전트의 제어에 따라 이동과 관련된 기능을 수행하며, 치명도와 관련되어 있다.

Cannon 모델 : 포. Gunner 에이전트의 제어에 따라 포탄 발사 등 화력과 관련된 기능을 수행하며, 치명도와 관

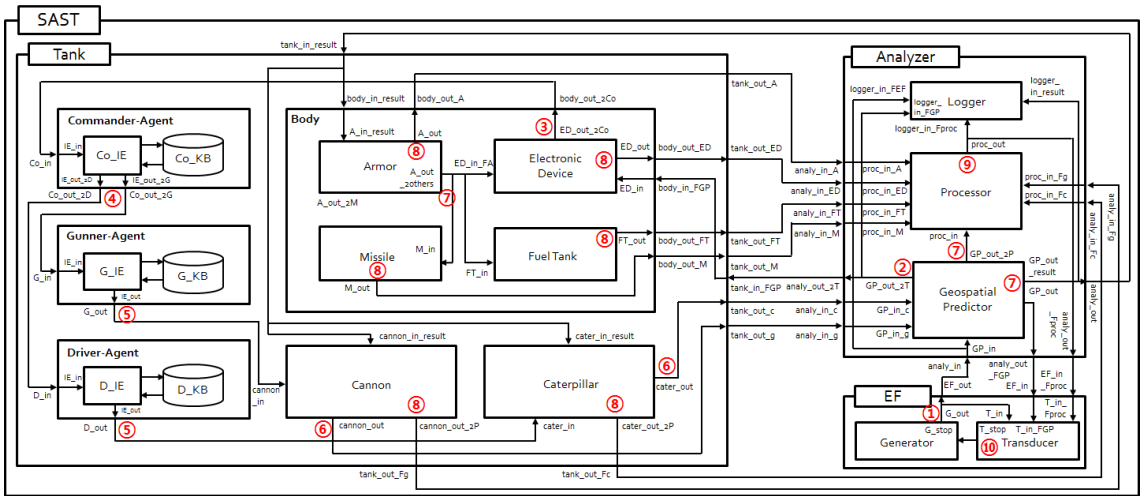

그림 3. 생존성 분석을 위한 시뮬레이션 구조
Fig. 3 Simulation architecture for survivability analysis

련되어 있다.

Electronic Devices(ED) 모델 : 전자 장비. 외부 위협을 탐지하고, 탐지된 정보를 Commander 에이전트에 전달해 주는 기능을 수행하며, 치명도와 관련되어 있다.

Armor 모델 : 장갑. ED 모델, Missile 모델, FT 모델을 감싸고 있으며, 치명도와 관련되어 있다.

Missile 모델 : 적재 포탄. 화력 및 치명도와 관련되어 있다.

Fuel Tank(FT) 모델 : 연료 탱크. 이동 및 치명도와 관련되어 있다.

Commander 에이전트 : 전차장. Electronic Device 모델로부터 받은 탐지된 외부 위협 정보를 분석하고, 대응을 하기 위한 명령을 내린다.

Driver 에이전트 : 조종수. Command 에이전트로부터 받은 명령에 따라 Caterpillar 모델을 제어한다.

Gunner 에이전트 : 포수. Command 에이전트로부터 받은 명령에 따라 Cannon 모델을 제어한다.

승무원 에이전트인 Commander 에이전트, Driver 에이전트, Gunner 에이전트는 각자의 역할을 수행하기 위한 지식베이스와 추론 엔진을 가진다. 지식베이스는 규칙 기반으로 표현되어 있으며, 표 1은 Commander 에이전트의 대응 명령 규칙의 예를 나타낸다. 표 1에서 대응 시간은 도달 시간에서 추론 시간을 뺀 나머지 시간이며, 대응 시간을 이용하여 추론 엔진은 지식베이스에 있는 각 규칙을 선택한다.

표 1. Commander 에이전트의 대응 명령 규칙 예
Table. 1 Example response rules of Commander agent

규칙	대응 기준(초)	명령
R1	15 ≤ 대응 시간	이동 및 대응탄 발사
R2	10 ≤ 대응 시간 < 15	이동
R3	5 ≤ 대응 시간 < 10	대응탄 발사
R4	0 ≤ 대응 시간 < 5	없음

- 분석기(Analyzer) 모델

분석기 모델은 외부 위협에 대한 전투 시스템의 생존성을 분석하기 위한 피해 예측, 결과 계산, 기록 등을 수행하는 모델이며, 다음과 같은 3개의 모델로 구성된다.

Geospatial Predictor(GP) 모델 : 지리-공간 예측기. 외부 위협의 운동에너지 및 전투 시스템까지의 도달 시간을 예측하며, 에이전트의 대응 명령에 따른 외부 위협 및 전투 시스템의 변화를 계산하는 기능을 한다.

Processor 모델 : 처리기. 외부 위협에 의한 전차의 구성 요소별 손상 정보를 수집 및 처리하여 피해 기준에 따

라 전투 시스템의 생존성을 분석하는 기능을 한다.
Logger 모델 : 기록기. 분석기 모델 내에서 발생되는 모든 정보를 기록하는 기능을 한다.

표 2는 Geospatial Predictor 모델이 에이전트의 대응으로 인해 감소되는 피해를 예측하는데 사용되는 기준을 나타낸다. 만약, 대응 전의 예측 피해량이 100이고, 그 대응으로 0.5km를 이동했다면, 감소된 피해량은 *"기존 피해량 × (100% - 감소치)"*로 계산한다. 즉, *"100 × (100% - 50%) = 50"*이 된다.

표 2. Geospatial Predictor 모델의 평가 기준
Table. 2 Evaluation criteria of Geospatial Predictor model

평가 기준(km)	감소치(%)
1.0 ≤ 이동 거리	90
0.7 ≤ 이동 거리 < 1.0	70
0.4 ≤ 이동 거리 < 0.7	50
0.2 ≤ 이동 거리 < 0.4	30
0.1 ≤ 이동 거리 < 0.2	20
0.0 ≤ 이동 거리 < 0.1	10
연막탄 발사	10

3.3. 각 모델의 동작 순서

시뮬레이션에서 각 모델은 다음과 같은 순서로 동작한다(그림 3 참조).

① Generator 모델 : 외부 위협을 생성
② GP 모델 : ED 모델에 외부 위협 정보를 전달
③ ED 모델 : Commander 에이전트에 외부 위협의 탐지를 알림
④ Commander 에이전트 : Gunner 및 Driver 에이전트에게 대응 명령을 전달
⑤ Gunner 에이전트 및 Driver 에이전트 : Cannon 및 Caterpillar 모델을 제어
⑥ Cannon 및 Caterpillar 모델 : 제어에 따라 변화된 대응 정보를 GP 모델에 전달
⑦ GP 모델 : 대응 결과를 Processor 모델에 전달 및 Body(ED, Missile, FT), Cannon, Caterpillar 모델에 예측된 외부 위협의 운동 에너지를 전달
⑧ Body, Cannon, Caterpillar 모델 : Processor 모델에 외부 위협에 따른 피해 정보를 전달
⑨ Processor 모델 : 대응에 따라 변화한 피해 정도를 처리 및 Transducer 모델에 처리된 정보를 전달
⑩ Transducer 모델 : 종료 메시지를 Generator 모델에 전달하면서 시뮬레이션 종료

Ⅳ. 생존성 분석 시뮬레이션

4.1. 전차의 피해 기준 및 분석 기법 정의

외부 위협에 의한 전투 시스템의 피해 기준은 여러 가지가 존재할 수 있다[11]. 여러 피해 기준 중, 전차의 생존성 평가에 적합한 4가지의 피해 기준을 선택하였으며, 선택된 피해 기준은 표 3과 같다. 각각 이동 불가, 공격 불가, 탐지 불가, 완파에 해당하는 피해 기준인 M-Kill, F-Kill, S-Kill, K-Kill에 따라 전차의 생존성이 결정된다.

표 3. 전차 모델의 피해 기준
Table. 3 Damage criteria of tank model

영향	피해 기준
이동 불가	M-Kill (mobility-kill)
공격 불가	F-Kill (firepower-kill)
탐지 불가	S-Kill (sensor-kill)
완파	K-Kill (catastrophic-kill)

전차가 피격되면, 전차를 구성하는 각 요소의 손상 정도 및 손상 영향에 따라 피해 기준이 결정된다. 이때, FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)와 FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis) 기법[10]을 이용한다. FMEA는 특정 시스템 요소의 손상이 시스템 전체에 미치는 영향을 예측하는 해석 방법이고, FMECA는 FMEA를 기반으로 치명도와 관련된 내용도 함께 고려하는 해석 방법이다. 외부 위협에 대하여 전차 모델을 구성하는 각 요소의 FMECA는 표 4와 같다.

표 4. 전차 모델의 구성 요소별 FMECA
Table. 4 FMECA for components of tank model

구성 요소	손상 유형	영향	피해 기준	치명도
장갑	관통	-	-	없음
전자 장비	파손	탐지 불가	S-Kill	없음
연료 탱크	화재	이동 불가	M-Kill	있음
	폭발	완파	K-Kill	
적재 포탄	파손	공격 불가	F-Kill	있음
	폭발	완파	K-Kill	
무한궤도	고장	이동 불가	M-Kill	있음
	파손			
포	고장	공격 불가	F-Kill	있음
	파손			

4.2. 시뮬레이션 조건

외부 위협이 전투 시스템에 도달하는 순간의 운동에너지를 통해 피격 시 전투 시스템의 손상 요소와 손상 유형이 결정되며, 전차의 각 구성 요소는 표 5와 같은 임계값을 가진다고 가정한다. 예를 들어, 외부 위협의 운동에너지가 140이고, 전투 시스템의 몸체가 피격된다고 가정하면, "*운동에너지 - 임계값 = 잔여 운동에너지*"로 계산한다. 즉, "*140 - 100 = 40*"이며, 표 4 및 표 5에 따라 장갑은 "관통", 전자 장비는 "파손(S-Kill)", 연료 탱크는 "폭발(K-Kill)", 적재 포탄은 "파손(F-Kill)", 무한궤도는 "고장(M-Kill)", 포는 "파손(F-Kill)"이 된다.

표 5. 전차 모델의 구성 요소별 임계값
Table. 5 Critical value for components of tank model

대분류	소분류	손상 유형	임계값
몸체*	장갑	관통	100
	전자 장비	파손	20
	연료 탱크	화재	20
		폭발	30
	적재 포탄	파손	30
		폭발	50
무한궤도		고장	100
		파손	150
포		고장	50
		파손	100

* 몸체의 경우, 장갑이 관통되어야만 전자 장비, 연료 탱크, 적재 포탄으로 잔여 운동에너지가 전달된다.

그림 4. 생존성 분석 결과 비교
(a) 승무원 에이전트가 대응을 한 경우(시나리오 1) (b) 승무원 에이전트가 대응을 하지 않은 경우(시나리오 2)
Fig. 4 Comparison of survivability analysis results
(a) Results with response(scenario 1) (b) Results without response(scenario 2)

4.3. 시뮬레이션 시나리오 설정

전투 시스템의 동적 생존성 분석을 위하여 동일한 위협 조건에서 승무원 에이전트가 대응을 한 경우와 대응을 하지 않은 경우로 나누어 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다.

위협 조건 : 외부 위협으로 20km의 거리에서 질량 200kg, 탄속 1km/s인 운동 에너지탄(KE)이 생성된다고 가정하고, 지리-공간 예측기에 의해 예측된 운동에너지의 피해량은 200이며, 전투 시스템까지 도달 시간은 20초이다.

시나리오 1 : 에이전트의 대응이 고려된 경우(동적 생존성 분석). 전차장 에이전트는 5초의 추론 시간을 고려하여 대응 가능한 시간이 15초라고 판단하며, 지식베이스(표 1 참조)에서 적합한 규칙(R1)을 추론하여 조종수 에이전트와 포수 에이전트에게 각각 이동과 대응탄 발사를 명령하였다. 명령에 따라 조종수 에이전트는 15초 동안 시속 60km(초당 약 16.67m)의 속력으로 0.25km 이동하였으며, 포수 에이전트는 연막탄(SMOKE)을 발사하였다.

시나리오 2 : 에이전트의 대응이 고려되지 않은 경우(정적 생존성 분석).

시나리오 1의 결과 : 예측된 200의 피해가 이동 거리 및 연막탄 발사에 따라 120으로 감소(표 2 참조)하고, 장갑 "관통", 전자 장비 "파손(S-Kill)", 연료 탱크 "화재(M-Kill)", 무한궤도 "고장(M-Kill)", 포 "파손(F-Kill)"이 된다.

시나리오 2의 결과 : 예측된 운동에너지의 피해량인 200에 의해, 장갑 "관통", 전자 장비 "파손(S-Kill)", 연료 탱크 "폭발(K-Kill)", 적재 포탄 "폭발(K-Kill)", 무한궤도는 "파손(M-Kill)", 포는 "파손(F-Kill)"이 된다.

4.4. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 수행 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 (a)는 에이전트가 대응을 한 경우이고, 그림 4의 (b)는 에이전트가 대응을 하지 않은 경우이다. 그림 4의 (a)에서는 대응을 통해 피해가 감소된 것을 확인할 수 있으며, 그림 4의 (b)에서는 대응을 하지 않아 피해가 감소되지 않은 것을 확인할 수 있다. 그 결과로 연료 탱크 및 적재 포탄의 피해 기준이 "K-Kill(완파)"로 변화하여 승무원의 대응 유무에 따라 생존성이 달라지는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 전투 시스템 생존성 분석을 위한 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 제안하고 그 유용성을 검증하였다. 전투 환경에서는 다양한 변수에 따라 전투 시스템의 생존성이 변화한다. 하지만 기존의 정적 생존성 분석 프로그램은 전투 시스템의 생존성만을 분석하는데 그쳐 전투 환경의 다양한 요인에 따라 변화하는 생존성 분석에는 한계를 지닌다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 전투 시스템 생존성 분석에 에이전트 기술을 도입하였다. 이를 통해 전투 환경에서 전투 시스템에 탑승한 승무원의 대응을 고려한 동적 생존성 분석이 가능함을 보였다.

향후에는 이 논문에서 가정하여 적용하였던 대응 규칙, 피해 기준, 평가 기준, FMECA 등을 보다 효과적인 생존성 분석을 위해 높은 수준으로 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 또한, 실제 전차 모델과 가깝게 모델링하여 신뢰성이 있는 생존성 분석 결과를 얻기 위한 연구가 필요하며, 나아가 전차뿐만 아니라 국방과 관련된 임무를 수행하는 여러 전투 시스템에 관한 생존성 분석 기법의 연구가 필요하다.

감사의 글

이 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD100004KD).

참고문헌

[1] Michael O. Said, "Theory and Practice of Total Ship Survivability for Ship Design", Naval Engineers Journal, Volume 107, Issue 4, pp.191-203, 1995.

[2] CONDAT GSS, http://www.condat-scheyern.de/

[3] Jennings N. R., Sycara K. and Wooldridge M., “A Roadmap of Agent Research and Development”, Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 1, pp.7-38. 1998.
[4] Bernard P. Zeigler, T.G. Kim, and H. Praehofer, *Theory of Modeling and Simulation, 2nd Ed.*, Academic Press, Inc., 2000.
[5] B.P. Zeigler, Object-oriented Simulation with Hierarchical Modular Models: Intelligent Agent and Endomorphic Systems, Academic Press, 1990.
[6] Bernard P. Zeigler, “High Autonomy System: Concept and Models”, AI, Simulaton and Planning in High Autonomy Systems, IEEE, 1990.
[7] Bernard P. Zeigler, S. D. Chi et al, “Model-based Architecture Concepts for Autonomous System Design and Simulation”, Introduction to Intelligent and Autonomous Control, Kluwer, 1992.
[8] Bernard P. Zeigler and S. D. Chi, “DEVS-based Intelligent Control: Space-adapted Mixing System Example”,Cybernetics and Systems: An International Journal, vol. 25, no. 3, pp. 471-510, 1994.
[9] Chi S. D. and Bernard P. Zeigler, “Hierarchical Model-based Designs for High Autonomy Systems”, Intelligent and Robotic Systems, vol. 9, pp. 193-203, 1994.
[10] International Electrotechnical Commission, *IEC 60812 : Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*, International Electrotechnical Commission, 1985.
[11] Michael V. Carras Jr, “BDA Enhancement Methodology Using Situational Parameter Adjustments”, Air Force Institute of Technology, 2006.

저자소개

황훈규(Hun-Gyu Hwang)

2009년 2월 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학 전공 (공학사)
2011년 2월 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
2011년 3월～현재 한국해양대학교 대학원 컴퓨터 공학과 박사과정
※관심분야 : 정보보안, 모델링 및 시뮬레이션, 해양정보시스템, 네트워크

김헌기(Hun-Ki Kim)

2012년 8월 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학 전공 (공학사)
2012년 9월～현재 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정
※관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 정보보안, 국방 생존성

이장세(Jang-Se Lee)

1997년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1999년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2003년 한국항공대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
2004년 3월～현재 한국해양대학교 IT공학부(부교수)
※관심분야 : 컴퓨터보안, 지능시스템, 모델링 및 시뮬레이션