

# 동특성 알고리즘 Plug-In 이 가능한 DEVS 기반 수중 운동체의 시뮬레이션 환경 구축

## DEVS Based Simulation Environment of Underwater Vehicles Enable to Plug-In of Dynamic Algorithms

서경민 유민욱 권세중 김탁곤\* 나영인\*\*

Kyung Min Seo Min Wook Yu Se Jung Kwon Tag Gon Kim Young In Na

\*한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학과, 대전 305-701

\*\*국방과학연구소 제 6 기술연구본부

(발표자 연락처: 042-350-5454, kmseo@smslab.kaist.ac.kr)

**ABSTRACT**

Modeling and Simulation (M&S) have been widely employed for requirement analysis; development; test and evaluation; and, weapon systems training. The DEVS(Discrete Event Systems Specification) formalism supports specification of discrete event models in a hierarchical and modular manner. In many military applications, the dynamic algorithm in a model is exchanged frequently. In this case, we need the modeling method that exchanges the algorithm with other models without any modification. This paper proposes a DEVS based simulation environment of underwater vehicles. We design the environment to support the reusability of dynamic algorithms by adopting a Plug-In method. This framework enables dynamically change various dynamic algorithms in a same model. To demonstrate the effectiveness of this environment, we applied the environment in an anti-torpedo combat system.

**1. 서론**

무기 체계를 효과적으로 개발하기 위해서는 체계 개발 초기 단계부터 군요구나 무기체계 효과도를 분석하여 군 요구의 적절성 검토와 더불어 무기체계의 사양이나 부체계 사양의 도출하고 이에 대한 적절성 검토가 지속적으로 수행되어야 한다. 이러한 무기체계의 소요 분석, 개발, 시험평가, 훈련 등의 획득에 있어 모델링 및 시뮬레이션(M&S)을 활용하는 것이 일반적인 접근법이다[1].

수중 운동체로 표현되는 무기 체계 중 음향 탐지나 항적 탐지 등을 이용하여 표적을 추적하는 유도 어뢰의 경우 어뢰의 표적 탐지 능력을 최대화하는 것이 요구되며, 이는 어뢰 발사대에서 입력한 표적 정보의 정확도를 비롯해서 어뢰의 기동 및 탐색 패턴, 어뢰의 음향 탐지 능력 등의 영향을 고려하여야 한다. 그러나 어뢰의 개념 설계 단계에서는 상세한 어뢰의 기술 변수를 알 수 없는 상황에서 개략적인 어뢰의 사양이 결정되어야 하며, 이를 위해 어뢰의 체계/부체계 사양 간의 개략적인 성능 비교가 이루어져야 한다.

본 논문은 개념 설계 단계에서 필요한 수중 운동체의 모델링 방법론과 DEVS 기반의 시뮬레이션 환경 구축을 제안한다. 이를 위해서는 수중 운동체에 대한 표준 모델 구조를 정립할 필요가 있는데, 표준 모델을 통해 모델 수준의 재사용성(Reusability)과 더불어 상호운용성(Interoperability)을 달성할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 동특성 알고리즘 Plug-In 이 가능한 구조를 가진다. 군사 응용 분야에서 M&S 를

활용하다 보면 특정 모델에서 알고리즘의 교체가 빈번한 경우가 발생한다. 이러한 경우 모델은 수정하지 않고 알고리즘만 교체할 수 있는 기법이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 방법론은 Plug-In 구조를 통해 특정 모델에 필요한 알고리즘을 자유롭게 교체할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 동특성 알고리즘 측면에서는 알고리즘 수준의 재사용성이 가능하고, 모델 측면에서는 표준 모델로 인한 모델 수준의 재사용성 역시 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 DEVS 형식론에 대한 간단한 소개를 한 다음, 본 논문의 목적인 수중 운동체 모델링 방법론과 시뮬레이션 환경에 대해 3 장과 4 장에서 설명한다. 5 장에서는 사례 연구를 통해 본 논문의 효용성을 입증하고, 6 장에서 결론을 맺는다.

**2. DEVS 형식론**

DEVS 형식론은 이산 사건 시스템을 객체 단위로 모델화 하여 계층적으로 결합하여 표현하는 집합론에 근거한 수학적인 틀이다. DEVS 형식론에는 시스템 기본적인 구성 요소를 나타내는 원자 모델과 여러 모델을 합쳐서 새로운 모델을 구성할 수 있는 결합 모델이 있다 [2].

**2.1 원자 모델**

원자 모델(Atomic Model)은 DEVS 형식론을 구성하는 가장 기본적인 모듈로서 시스템의 행동을 기술하는 모델이다. 원자 모델 M의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$M = \langle X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta \rangle$$

X: 이산사건 입력 집합

Y: 이산사건 출력 집합

S: 일련의 이산사건 상태의 집합

$\delta_{ext}: Q \times X \rightarrow S$ : 외부 상태 천이 함수

$Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$ : total state of M

$\delta_{int}: Q \rightarrow Q$ : 내부 상태 천이 함수

$\lambda: Q \rightarrow Y$ : 출력 함수

$ta: S \rightarrow R_{0, \infty}^+$ : 시간 진행 함수

### 2.1 결합 모델 표현

결합 모델(Coupled Model)은 여러 모델을 내부적으로 연결하여 만든 모델이다. 내부 구성요소가 되는 모델은 원자 모델과 결합 모델이 모두 가능한데, 이러한 내부 모델들을 계속 합쳐서 더욱 큰 시스템을 표현할 수 있다. 다음은 결합 모델의 수학적 명세이다.

$$CM = \langle X, Y, \{M_i\}, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

X: 이산사건 입력 집합

Y: 이산사건 출력 집합

$\{M_i\}$ : 모든 이산사건 컴포넌트 모델들의 집합

EIC: 외부 입력 연결 관계

EOC: 외부 출력 연결 관계

IC: 내부 연결 관계

SELECT:  $2^{\{M_i\}} - \emptyset \rightarrow M_i$ : 같은 시각에 존재하는 사건을 발생하는 모델들에 대한 선택 함수

### 3. 수중 운동체 모델링

수중 운동체와 같은 Wargame 모델에 사용되는 많은 모델링 방법이 존재하지만 본 논문에서는 수중운동체를 크게 명령과 제어를 수행하는 제어부, 수중 운동체의 기동을 위한 추진부, 표적 탐지를 위한 센서부로 나누는 모델링 방법론을 제안한다.

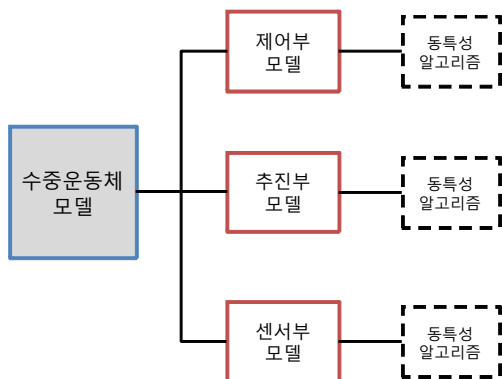


그림 1 수중 운동체 모델

그림 1은 수중 운동체 모델 구조를 나타낸다. 제어부, 추진부, 센서부 모델은 각각에 해당하는 알고리즘 모델을 세부 모델로 포함한다. 시뮬레이터의 개발이 끝난 후 새로운 사용자 요구사항이 생긴 경우를 생각해 보자.

파라미터 값에 해당되지 않고 모델의 알고리즘에 해당된다면, 도메인 전문가가 자신이 맡은 부분인 알고리즘 모델을 다시 정의함으로써 새로운 알고리즘에 따르는 모델을 설계해야 한다. 이와 같은 작업을 도메인 전문가가 쉽게 하기 위해서 실제 모델 부분과 알고리즘부분의 분리가 필요하다. 도메인 전문가는 객체의 새로운 알고리즘을 정의된 API에 따라 구현한다. 그 알고리즘은 동적 라이브러리 형태로 컴파일되어 이전에 개발되었던 DEVS 모델과 런타임에 더해져 새로운 시뮬레이터가 만들어지게 된다.

### 3.1 제어부

수중 운동체 모델의 제어부 모델은 C2(Command & Control) 시스템에 해당한다. 추진부 모델과 센서부 모델과 연결되어 추진부에는 속도명령, 심도명령, 종동요/수평 동요각 명령, 각속도 명령 등을 전달한다. 그리고 센서부 모델에는 음향탐지 활성/비활성 명령, 음향 탐지 형태(능동, 수동) 명령 등을 전달한다.

### 3.2 추진부

추진부는 기동 모델을 담당한다. 수중 운동체의 추진부에서 사용하는 다양한 운동방정식은 다음과 같다.

$$V_M = \text{const.}$$

$$\theta_M(t+\delta t) = \theta_M(t) + q_M \cdot \delta t$$

$$\psi_M(t+\delta t) = \psi_M(t) + r_M \cdot \delta t$$

$$X_M(t+\delta t) = X_M(t) + V \cos(\theta_M(t)) \cos(\psi_M(t)) \cdot \delta t$$

$$Y_M(t+\delta t) = Y_M(t) + V \sin(\psi_M(t)) \cdot \delta t$$

$$Z_M(t+\delta t) = Z_M(t) - V \sin(\theta_M(t)) \cdot \delta t$$

여기서  $V_M, \theta_M, \psi_M, q_M, r_M$ 은 각각 수중 운동체 고정좌표계에서 속도, 종동요각, 선수동요각, 종동요 각속도, 선수동요 각속도이며,  $X_M, Y_M, Z_M$ 은 공간 고정좌표계에서의 위치이며,  $t$ 는 주어진 시간이고,  $\delta t$ 는 계산 시간 간격이다. 또한,  $r_M$ 은 선회 반경에 따라 정해지는 입력이고,  $q_M$ 은 이동하고자 하는 심도 변화나 명령 종동요각에 의해 결정되는 값이다.

### 3.3 센서부

센서부는 주로 음향탐지를 담당하는데 모델에 기술될 소나 방정식은 여러 가지 적용이 가능하다. 능동탐지 방식의 소나 방정식은 다음과 같이 기술된다[3].

$$EL = SL + TS - (TL_t + TL_r) + (BL_t + BL_r)$$

$$RL = SL - (TL_t + TL_r) - DI + S_v + 10 \log(\text{cr} \cdot r^2 / 2)$$

$$NL = \text{Noise} + 10 \log(BW)$$

$$TNL = 10 \log(10^{RL/10} + 10^{NL/10})$$

여기서, EL은 표적 반향 준위, RL은 복반사음 준위, NL은 음향탐지부에서의 주변소음준위, TNL은 음향탐

지부가 느끼는 복반사음과 주변소음이 합쳐진 전체 소음준위를 의미하며 단위는 dB 이다. SL 은 음원 준위, TS 는 표적의 세기, TL 는 전달 손실, BL 은 빔 손실, DI 는 방향성지수, Sv 는 산란 체적, c 는 음파속도(1,500m/sec),  $\tau$  는 펄스의 길이, r 은 표적과 어뢰 사이의 거리, Noise 는 환경에 따른 소음준위를 나타내고, BW 는 대역폭을 나타낸다. 또한 하첨자 t 는 송신 순간을 의미하며 r 은 수신 순간을 의미한다.

4. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 그림 2 와 같다. 시뮬레이션 엔진은 본 연구실에서 개발한 DEVSsim++을 기반으로 한다. DEVSsim++는 DEVS 형식론을 시뮬레이션하기 위해 개발된 시뮬레이션 도구로 C++ 언어 기반으로 개발되었다[4].

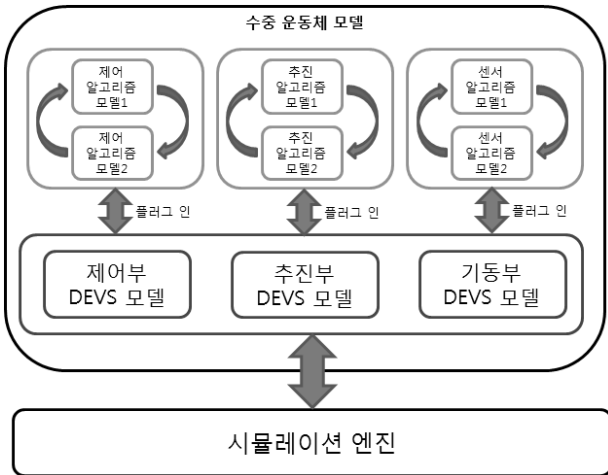


그림 2 수중 운동체 시뮬레이션 환경

본 연구에서는 시뮬레이터 개발을 위해 협동 모델링 방법론을 사용한다[5]. 협동 모델링 방법론은 계층적인 모델 개발 방법에 그 근간을 두고 있다. 협동 모델링 방법론은 사용자 요구사항을 바탕으로 시뮬레이터 아키텍처를 디자인하고, M&S 전문가에 의해 기술될 모델 부분과 분야 전문가에 의해 기술될 모델 부분으로 나누어지게 된다.

알고리즘 모델은 객체 모델의 세부적인 기능으로 정의되고, DEVS 모델은 모델의 큰 흐름만을 DEVS 형식론에 따라 기술한다. 따라서 M&S 전문가는 DEVS 모델을, 각 분야 전문가는 알고리즘 모델을 담당함으로써 동시 공학적 모델링이 가능하다. 본 논문에서는 DEVS 모델과 알고리즘 모델 사이의 인터페이스는 동적 라이브러리를 이용하여 설계하였다.

5. 사례 연구

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경을 이용하여수

중 운동체 모델 중 어뢰 모델을 개발하였다. 개발한 어뢰 모델의 효용성을 입증하기 위해 대어뢰전 효과도 분석 모델을 개발하였다. 다음 그림은 개발 완료한 대어뢰전 효과도 분석 모델 구조이다.

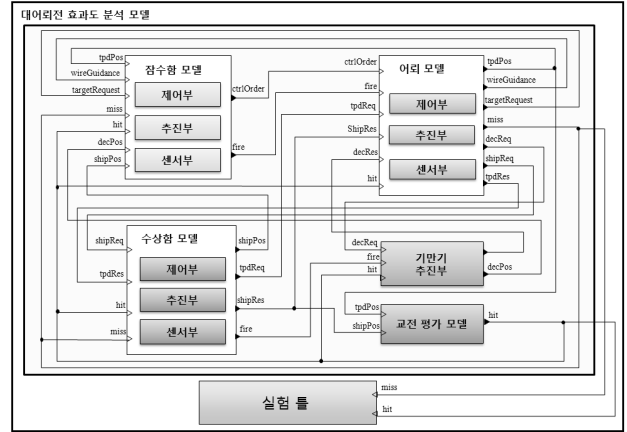


그림 3 대어뢰전 효과도 분석 모델 구성도

대어뢰전 효과도 분석 모델은 크게 어뢰 모델, 잠수함 모델, 수상함 모델, 기만기 모델 그리고 교전 평가 모델로 구성되어 있다. 여기서 어뢰는 중어뢰 기능을 가진다. 개발된 어뢰 모델은 대어뢰전 효과도 분석 모델의 한 부분을 담당할 수 있으며 이를 통해 특정 시나리오에 따른 수상함의 회피율을 MOE 로 측정할 수 있는 효과도 분석 모델에 사용될 수 있다. 다음 그림은 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

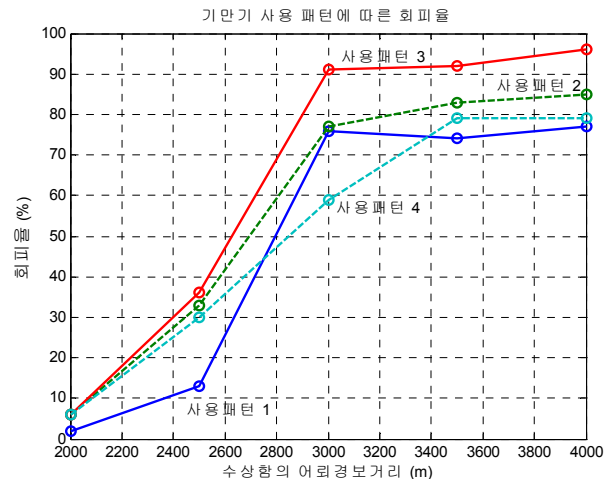


그림 4 시뮬레이션 결과

그림 4 는 기만기 사용 패턴에 따른 수상함의 회피율을 나타낸다. 본 실험에서는 두 가지 기만기 유형을 이용하여 사용 패턴을 총 4 가지로 분류하였다. 사용패턴 1 은 부유식 기만기만 4 발 사용한 경우이고, 사용패턴 2 는 자항식 기만기만 4 발 사용한 경우이다. 사용패턴 3 과 4 는 부유식 기만기와 자항식 기만기를 각 2 발씩 혼용하여 사용한 경우인데, 사용패턴 3 의 경우 어뢰경

보방위  $\pm 10$  도에 부유식 기만기 2 발, 어뢰경보반대방위  $\pm 20$  도에 자항식 기만기 2 발을 발사한 경우이며, 사용패턴 4 는 3 과 반대로 어뢰경보반대방위  $\pm 10$  도에 자항식 기만기 2 발, 어뢰경보반대방위  $\pm 20$  도에 부유식 기만기 2 발을 발사한 경우이다.

실험 결과를 살펴보면 사용패턴 3 이 수상함의 어뢰경보거리에 관계없이 가장 좋은 회피율을 나타낸다. 사용패턴 3 과 4 를 비교할 필요가 있는데, 사용패턴 3 과 4 는 사용하는 자항식 기만기와 고정식(부유식) 기만기의 수가 동일하지만 투하 방향을 반대이다. 사용패턴 3 과 4 를 통해 동일한 수의 자항식 기만기와 고정식 기만기를 사용하더라도 어떻게 사용하느냐에 따라 다른 회피율을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 또한 사용패턴 2 와 3 을 통해서도 무조건 자항식 기만기를 많이 사용하는 것보다 고정식 기만기와 혼용하여 사용하는 경우가 회피율이 좋다는 것을 알 수 있다. 현실적으로 자항식 기만기의 개발 비용이 고정식인 경우보다 월등히 높다는 것을 감안할 때 본 실험은 보다 적은 비용으로 높은 효과를 낼 수 있는 방안을 제시하는 지표가 된다.

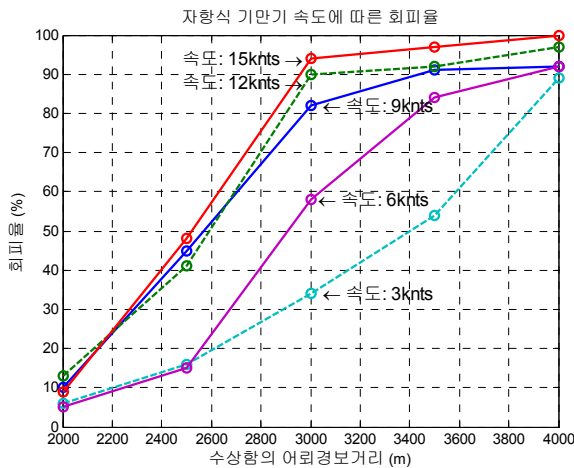


그림 5 시뮬레이션 결과

그림 5 는 자항식 기만기의 속도에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯이 자항식 기만기의 속도가 빠를수록 수상함의 회피율은 올라갈 것으로 파악된다. 본 실험을 통해 효과도 분석 모델을 만드는 데 있어 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경을 통해 효과도 분석 모델을 시뮬레이션 수행하고 그에 따른 효과도를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문은 개념 설계 단계에서 필요한 수중 운동체의 모델링 방법론과 DEVS 기반의 시뮬레이션 환경 구축을 제안한다. 또한 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 동특성 알고리즘 Plug-In 이 가능한 구조를 가진다.

본 논문에서 제안하는 방법론은 Plug-In 구조를 통해 특정 모델에 필요한 알고리즘을 자유롭게 교체할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 동특성 알고리즘 측면에서는 알고리즘 수준의 재사용성이 가능하고, 모델 측면에서는 표준 모델로 인한 모델 수준의 재사용성이 가능하다. 추후에는 이러한 수중 운동체 모델들 사이에 연동이 가능한 시뮬레이션 환경을 구축하는 것을 목표로 한다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 자항식 기만기 탐색개발 위탁연구과제 “대어뢰전 복합 운용 전술 효과도 분석”의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

[1] 신지환, “교전수준 어뢰체계 표준모델 개발 방안연구,” *한국시뮬레이션학회지*, Vol.16, No.3, pp.19-28, 2007.  
 [2] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer and Tag Gon Kim, *Theory of Modeling and Simulation*. ACADEMIC PRESS, 2001.  
 [3] Robert J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, Mcgraw-Hill Book Company, 1983.  
 [4] Tag Gon Kim and Sung B. Park, “The DEVS Formalism: Hierarchical Modular Systems Specification in C++,” *Proceedings of the European Simulation Multiconference*, pp. 152-156, 1992.  
 [5] Chang Ho Sung, Su-Youn Hong and Tag Gon Kim, “Layered Structure to Development of OO War Game Models Using DEVS Framework,” *SCSC2005*, Philadelphia, USA, pp.65-70, July 2005.