

교전급 수중운동체 DEVS-HLA 시뮬레이션을 위한 전술통제체계의 DEVS 기반 상세 구현 방법

손명조*, 차주환**, 김태완†**, 이규열*, 나영인***

서울대학교 대학원 조선해양공학과*, 서울대학교 해양시스템공학연구소**
국방과학연구소 제 6 기술연구본부****

The DEVS-based Detailed Implementation Method of the Command and Fire Control System for the Underwater Vehicle DEVS-HLA Simulation in the Engagement Level

Myeong-Jo Son*, Ju-Hwan Cha**, Tae-Wan Kim†**,
Kyu-Yeul Lee* and Young-In Nah***

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University*
Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University**
Agency for Defense Development***

Abstract

To perform the engagement level simulation between the underwater vehicle model and the surface model those are constituted with various systems/ sub-systems, we implemented four different federates as a federation according to the IEEE 1516 HLA (High Level Architecture) protocol that is the international standard in the distributed simulation. Those are CFCS (Command and Fire Control System) federate, motion federate, external entities (torpedos, countermeasure and surface ship) federate, and visualization federate that interacts with OSG (Open Scene Graph)-based visualization rendering module. In this paper, we present the detailed method about the model constitution for discrete event simulation in the distributed environment. For the sake of this purpose, we introduce the DEVS (Discrete Event System Specification)-HLA-based modeling method of the CFCS federate that reflects not only the interactions between models, but also commands from user and tactics manager that is separated from the model. The CFCS federate makes decisions in various missions such as the normal diving, the barrier mission, the target motion analysis, the torpedo launch, and the torpedo evasion. In the perspective of DEVS modeling, the CFCS federate is the coupled model that has the tactical data process

접수일: 2010년 5월 10일, 승인일: 2010년 6월 11일

†교신저자: taewan@snu.ac.kr, 02-880-1434

model, command model and fire control model as an atomic model. The message passing and time synchronization with other three federates are settled by the māk RTI (Runtime Infrastructure) that supports IEEE 1516. In this paper, we provides the detailed modeling method of the complicated model that has hierarchical relationship such as the CFCS system in the submarine and that satisfies both of DEVS modeling method for the discrete event simulation and HLA modeling method for the distributed simulation.

※ Keywords: DEVS-HLA; DEVS; HLA/RTI; Underwater Vehicle (수중운동체); Engagement Level (교전급); Command and Fire Control System (전술통제체계); Modeling and Simulation (모델링과 시뮬레이션); Tactics Manager (전술처리기)

1. 서론

M & S (Modeling and Simulation)는 그 대상 수준에 따라, 공학급, 교전급, 임무/전투급, 전역/전쟁급으로 구분된다 (Kim *et al.* 2007). 임무/전투급과 전역/전쟁급 시뮬레이션은 워게임 수준으로 각 개체의 특징과 성향이 축약되어 표현되고, 여러 모델간의 상호작용에 의한 결과가 의미있기 때문에, 모델 구현과 그 구조에 대해서는 큰 제한과 의의가 없다.

반면, 공학급은 대상 체계를 물리적, 수학적, 공학적 방법을 이용하여 모델링하여, 다양한 성능해석을 수행하기 때문에, 이산시간에 따른 수치해석적 모델링 기법과 이산시간시뮬레이션 진행이 적합하다 (Son *et al.* 2008). 물론, 정확한 해가 있는 경우는 연속시간기법을 이용한 직접적 해석도 가능하다.

본 논문에서 대상으로 하고자 하는 시뮬레이션은 교전급 시뮬레이션으로, 잠수함, 수상함, 어뢰와 같은 운동체가 모델이 되고, 그 운동체 간의 교전 활동이 시뮬레이션 대상이 되기 때문에, 이벤트 기반으로 묘사하는 것이 효과적이다. 반면, 각 운동체는 시간에 따라 움직이므로, 단위시간에 따라 지속적인 움직임 계산이 필요하며 이는 이산시간 기반으로 시뮬레이션하는 것이 적합하다.

본 논문에서는 교전급 시나리오에 따라, 시뮬레이션 모델을 구성하되, 각 모델은 개략화된 경험식을 사용하는 준 공학급 모델을 하위 모델로 가져, 계층관계를 표현하는 모델표현법이 필요하

다. 이는 이산사건 시뮬레이션에 표준과 같은 영향력을 미치는 DEVS (Discrete Event System Specification) (Zeigler 1990)를 사용하여 해결할 수 있다.

이처럼 공학급 모델과 연계된 교전급 모델은 개발에 많은 시간이 소요되어, 모델의 재사용성이 부각되고 있다. 기존에는 시뮬레이션에 참여하는 대상 모델이 동일할지라도, 교전 시나리오가 변경될 경우, 그에 맞는 교전급 시뮬레이션 전체를 새로 개발하는 경우가 많았다 (Lee 1996, Park 2004). 또한, 교전급 시뮬레이션에 새로운 모델만을 추가하여, 대상 무기체계의 효과도 분석을 할 경우에도, 마찬가지로이다. 이를 해결할 수 있는 방법이 분산시뮬레이션이다.

지리적, 논리적으로 분산된 환경에 흩어져있는 모델들이 미들웨어를 통해 시간동기화와 메시지의 상호 전달이 되어 하나의 시뮬레이션을 수행하는 것으로, 분산 시뮬레이션의 표준으로 IEEE 1516 HLA (High Level Architecture)/ RTI (Run-Time Infrastructure) (IEEE std 1516.1 2000, IEEE std 1516.2 2000, IEEE 2001)가 사용된다.

분산 시뮬레이션은 분산된 환경에 있는 모델간의 연계에 초점이 맞춰져있고, 모델의 재사용성은 보장하지 않는다. 즉, 내부 모델의 재사용성을 위해서는 체계적인 모델구조에 따라 모델을 표현하여야한다. 이에, 앞서 언급된 이산사건 모델 표현법인 DEVS와 HLA/RTI의 연동이 주목받을 수 있다. 즉, HLA/RTI 규약에 따라 전체 federation (분산 시뮬레이션에서 시뮬레이션 단위)을 구성하고,

그 하위 구성요소인 federate (분산 시뮬레이션의 모델 단위)의 내부모델 구조를 DEVS 로 표현하면, 재사용이 보장되고 유지/보수가 편리할 뿐더러, 분산환경에서 이산사건 시뮬레이션이 가능한 것이다.

1.1 DEVS

DEVS 는 모델링과 시뮬레이션을 위한 규약으로 이산사건 시뮬레이션 모델을 구성하고, 형식적으로 표현하는 필수 요소들에 대해 정의하고 있다 (Praehofer 1991). DEVS 모델은 atomic 모델과 coupled 모델로 나뉜다. Atomic 모델은 모든 모델을 구성하는 가장 하위단계의 기본 구성 모델이 되고, 이러한 atomic 모델을 조합하여 coupled 모델을 구성할 수 있다. 이러한 coupled 모델은 또다른 atomic 모델 또는 coupled 모델과 조합하여 새로운 coupled model 을 구성하는 계층적 관계를 지원한다 (Praehofer et al. 2001).

Atomic 모델은 다음과 같이 정의된다 (Zeigler et al. 2000).

$$M = \langle X, Y, S, \delta \text{ ext}, \delta \text{ int}, \lambda, \tau_a \rangle.$$

여기서,

X : 외부 입력 집합

Y : 외부 출력 집합

S : 상태변수 집합

$\delta \text{ int} : S \rightarrow S$: 내부사건 처리함수

$\delta \text{ ext} : Q \times X \rightarrow S$: 외부사건 처리함수

$\lambda : S \rightarrow Y$: 출력함수

$\tau_a : S \rightarrow \text{Real}$: 시간진행함수

$Q = \{(s,e) \mid s \in S, 0 \leq e \leq \tau_a(s)\}$: 모든 상태의 집합

여기서, e 는 마지막 상태전이 이후로 진행된 시간임.

Fig. 1 은 atomic 모델의 7 가지 요소를 도식화한 것이다. DEVS formalism 보다는 직관적으로 파악하기 쉬워, 본 논문에서는 이를 이용하여 DEVS 모델 구현법을 설명하고자 한다.

Coupled 모델은 하위 모델들을 이벤트, 외부입력, 외부출력등을 연결하여 계층적인 관계를 구성하고, 표현법은 다음과 같이 정의된다 (Fig. 2)

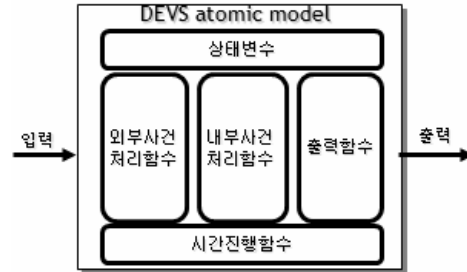


Fig. 1 DEVS atomic model representation

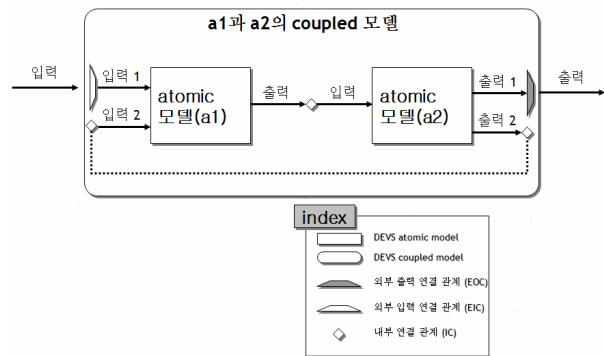


Fig. 2 DEVS coupled model representation

$$DN = \langle X, Y, M, EIC, EOC, IC, \text{SELECT} \rangle$$

여기서,

X : 외부 입력 집합

Y : 외부 출력 집합

M : 구성요소 이름 집합

EIC : 외부 입력 연결 관계

EOC : 외부 출력 연결 관계

IC : 내부 연결 관계

SELECT : 구성요소의 우선권

DEVS 모델을 활용하여, 수행된 교전급 시뮬레이션은 에이전트 기반으로 함정을 DEVS 모델링하여, 함정간의 교전을 수행한 Chi et al. (2008)과 워게임 수준으로 모델을 간략화하고 DEVS 로 해전에 대한 워게임 시뮬레이터를 구현한 Kim and Kim (2006), 잠수함과 수상함을 DEVS 로 구현하여, 잠수함의 표적기동분석 시뮬레이션을 한 Cho et al. (2007), 인간의 행동을 컴퓨터 생성 군에

DEVS 로 표현한 Seck *et al.* (2007) 등이 있다. 조선 분야의 이산사건 시뮬레이션에도 조선공정 계획 (Cha *et al.* 2008), 블록 탑재 시뮬레이션 (Cha *et al.* 2009), 3D CAD 를 이용한 시뮬레이션기반 생산 (Trong *et al.* 2010)에 DEVS 모델링이 적용되었다.

1.2 HLA/RTI

HLA 는 분산 시뮬레이션을 위한 전체적인 구조의 정의이다. 통일된 분산 시뮬레이션 시스템을 구축하기 위해서는 독립된 시뮬레이션 모듈 간의 자료구조 형식의 표준화가 필요하고, 시뮬레이션 모듈을 서로 연결시켜 주는 미들웨어 가 제공해야 할 기능에 대한 정의가 필요하다. 그리고 시뮬레이션 모듈들이 지켜야 하는 최소한의 규칙이 필요한데, HLA 는 바로 이러한 필수적인 요소들에 대한 구체적인 명세이다.

HLA 는 분산 시뮬레이션을 통한 이기종 시뮬레이션 간의 상호운용성, 시뮬레이션의 확장성, 재사용성을 제공하기 위하여 미 국방성 산하기관 DMSO (Defense Modeling and Simulation Office) 에서 만들어졌으며, 이후 SISO (Simulation Interoperability Standards Organization)로 이관하여 IEEE 표준으로 채택되었다.

HLA/RTI 는 federation, federate, RTI (Run-Time Infrastructure), FOM (Federation Object Model), SOM (Simulation Object Model), federation execution 등의 필수요소를 가진다. Federation 은 대상으로 하는 분산 시뮬레이션 전체를 의미하며, RTI, FOM, 그리고 여러 개의 federate 들로 구성된다. Federate 는 분산 시뮬레이션을 구성하는 단위 모델이며, federation 의 구성원이다. RTI 는 HLA 기반의 분산 시뮬레이션을 동작시키기 위하여 필요한 소프트웨어로 분산 시뮬레이션 미들웨어에 해당된다. FOM 은 federation 에 속한 federate 들 간에 공유해야 하는 자료의 집합이며, SOM 은 FOM 의 정보를 federate 단위로만 작성한 것이다.

HLA/RTI 를 활용하여, 수행된 교전급 분산 시뮬레이션은 무인항공기에 대해 에이전트 기반으로 모델링하여, 재구성이 가능한 시스템을 제안한

Cicirelli *et al.* (2009)와, HLA 기반 교전급 수상함의 표준 모델구조를 제안한 Best (2000), 수중운동체의 분산시뮬레이션을 위한 HLA 기반 모델 구조를 제안한 Lee *et al.* (2004) 등이 있다. 조선 분야의 분산 시뮬레이션으로는, 조선소의 공정과 비용에 대해서 분산시뮬레이션을 한 McLean and Shao (2001)가 있다.

1.3 DEVS-HLA

앞서 설명한, 이산사건의 대표적이며 영향력이 있는 DEVS 와 분산시뮬레이션을 연계하려는 연구가 다양하게 진행되었다. Zeigler *et al.* (1999)은 DEVS 규약을 HLA 규약에 1 대 1 로 매핑할 경우, 불일치가 일어나기 때문에, coordinator federate 에 시간 관리기능을 제거하는 방안을 제시하였다. Zeigler and Sarjoughian (1999)은 SES (System Entity Structure)를 이용하여, DEVS formalism 을 DEVS/HLA 환경에 맞게 계층적인 모듈화된 모델 구성이 가능한 방안을 제안하였다. Zacharewicz *et al.* (2006)은 DEVS 와 HLA 환경간의 시간동기화 문제 해결을 위하여, RTI 의 lookahead 계산법을 제시하였다. DEVS 와 HLA 를 연계하는 구현 단계의 연구로는 DEVS 버스를 이용한 중계기 개발 (Kim and Kim (2003)과 DEVS 의 atomic 모델을 인터페이스 모델의 형태로 복제해 번역기능을 추가한 어댑터를 구현한 Ha *et al.* (2009)의 연구가 있다. 본 논문에서는 DEVS 를 표현하는 상세한 기법을 제안하고자 하기 때문에, DEVS 에 추가적인 설정과 구현이 요구되지 않는 Ha *et al.* (2009)의 DEVS-HLA 환경을 도입하였다.

또한, DEVS-HLA 환경에서 다양한 응용 시뮬레이션이 개발되었다. 대표적으로, 지능형 운송시스템 (Lee *et al.* 2003), 가상전장 구현 (Kim *et al.* 2002), 항공교통관제 시뮬레이션 (Kim *et al.* 2009), 워크플로우 (Zacharewicz *et al.* 2008) 등에 적용되었으나, 조선분야에는 적용되지 않았다.

1.4 논문의 구성

본 논문은 수중운동체의 준 공학급 모델을 하위 모델로 가지는 교전급 모델을 이산사건 시뮬레이션이 가능하도록 DEVS 를 이용하여, 표현하고 구

현한다. 또한, 이러한 모델로 구현된 다양한 개체들이 참여하는 교전급 시뮬레이션을 분산환경에서 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 이를 위해, Ha *et al.* (2009)의 DEVS-HLA 어댑터를 이용한 DEVS-HLA 시뮬레이션을 진행하고, 전술통제체계 federate의 예를 들어 DEVS로 DEVS와 HLA 연동환경에서 동작하는 모델을 상세하게 구현하는 법을 제시하고자 한다.

2 장에서는 본 시뮬레이션의 교전급 수중운동체 시나리오에 대하여 설명한다. 3 장에서는 DEVS-HLA 어댑터와, 전체 시뮬레이션 HLA 구현을 설명하고, 전술통제체계 federate를 DEVS로 구현하는 내용을 제시한다. 4 장에서는 시뮬레이션 구현 결과를 제시하고, 마지막으로 5 장에서 결과 및 향후 연구계획을 제안한다.

2. 교전급 수중운동체 시뮬레이션 시나리오

대상체계를 공학/수학적으로 정교하게 모델링하

고, 다양한 외부변수에 따른 체계의 반응 또는 성능을 단위시간마다 계산하는 공학급 시뮬레이션과 대비하여, 교전급 시뮬레이션은 공학급 모델보다 간략화된 경험식/선형식 등을 이용하여 모델링된 모델이 사용된다. 교전급 시뮬레이션에서는 이러한 모델 간의 상호 작용을 위한 이산사건을 정의하고, 그 사건에 따른 모델의 대응을 구성하여, 교전 과정을 모사하는 것이 중요하다. 따라서, 교전급 시뮬레이션에서는 모델 구현을 위해, 시나리오가 모델링보다 선행되어 제시되어야 한다.

본 논문에서는 교전급 수중운동체 시뮬레이션 대상 시나리오로서, 잠항부상, 방책임무 기동, 표적 기동분석 기동, 어뢰회피 기동을 다룬다. 각 과정은 상호 독립적인 시나리오이나, 본 시뮬레이션에서는 각 시나리오를 순차적으로 연결하였다. 본 시나리오에는, 수중운동체로서 재래식 연안 잠수함, 잠수함으로부터 발사되는 무유도 음향감응 중어뢰, 적 수상함으로부터 발사되는 로켓형 경어뢰가 있으나, 전술통제체계를 갖춘 잠수함을 중심으로 표현한다. 전체 시뮬레이션 구성은 Fig. 3-4와 같다.

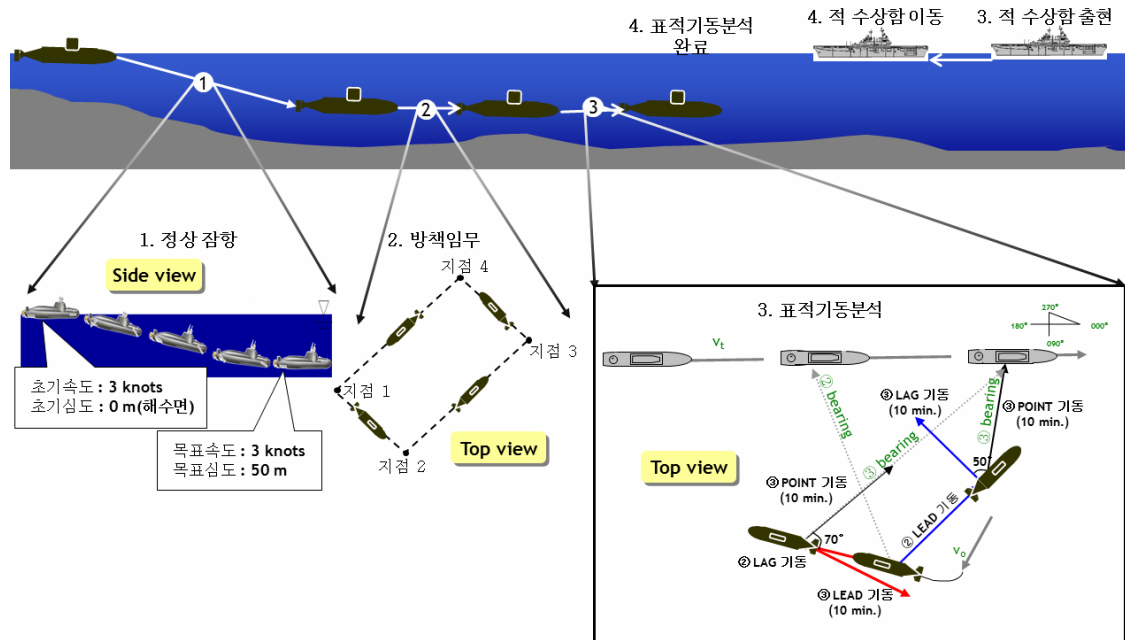


Fig. 3 The simulation scenario of normal diving – barrier mission – target motion analysis

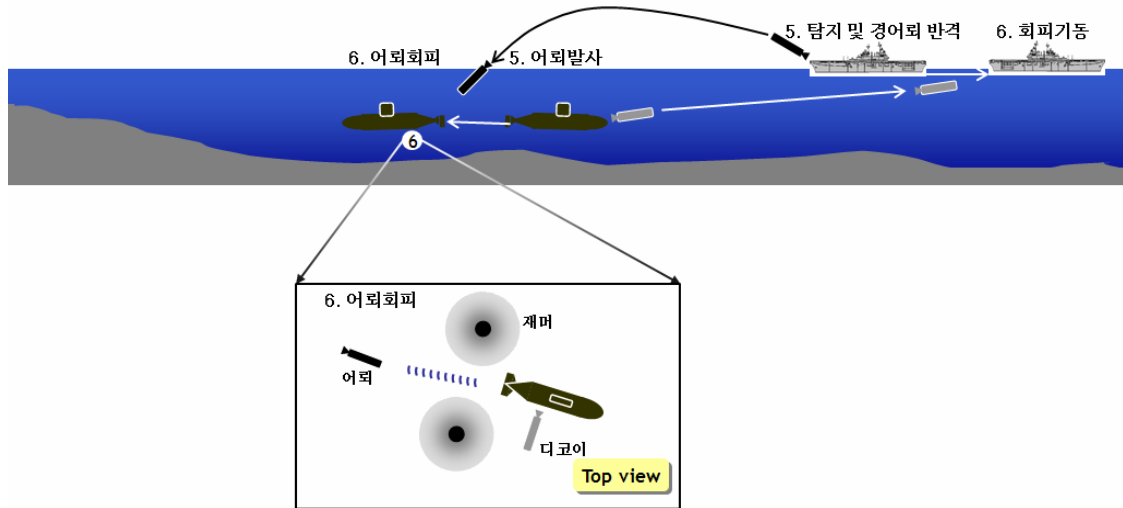


Fig. 4 The simulation scenario of torpedo launch – torpedo evasion

잠수함은 목표심도, 침로, 속도를 설정하고 정상 잠항을 실시한다 (Son. *et al.* 2008). 목표심도에 도달한 후에는, 네 개의 경유점을 순차적으로 지나며 경계 임무를 수행하는 방책임무 기동에 돌입한다. 적 수상함이 출현하게 되어, 방책임무 중에 수동소나를 이용하여 탐지한 잠수함은 적 수상함의 침로, 속도, 위치 등을 알기 위해, 표적기동분석을 실시한다 (Son. *et al.* 2007). 잠수함은 표적기동분석 결과로 추정하게된 적의 위치에 어뢰 공격을 실시하고, 회피기동에 돌입한다. 적 수상함은 어뢰를 탐지하고, 어뢰 발사추정위치로 로켓형 경어뢰를 발사한 후, 회피 기동을 실시한다. 어뢰는 발사추정위치를 순항 비행 후, 착수하여, 나선형 기동을 하며, 능동소나를 이용하여 잠수함을 탐색한다. 잠수함은 어뢰에 포착되면, 어뢰를 교란시키는 기만기로서, 제머와 디코이를 발사하고 회피기동을 한다 (Cho. *et al.* 2007).

3. DEVS-HLA 기반 전술통제체계 구현

3.1 DEVS-HLA Adaptor

이산사건 시뮬레이션을 위한 DEVS와 분산 시뮬레이션을 위한 HLA/RTI는 수준이 상이하며, 이기종의 시뮬레이션 모델 표현법이다. 분산시뮬레이

션을 위해 HLA/RTI 1516의 규칙을 따르면서, 실제 모델 구성은 DEVS 형식론에 맞춰 구현하여야 이산사건 시뮬레이션이 가능하다. 이러한 DEVS-HLA 시뮬레이션을 위해서, RTI의 함수 및 메시지와 DEVS의 함수 및 메시지/이벤트와의 연계가 필요하다. 이를 위해 DEVS-HLA adaptor가 고안되었다.

DEVS-HLA adaptor는 이산사건 모델과 같은 클래스를 상속받은 interface 모델을 포함하고 있다. 이산사건 모델이 속한 federate와 다른 federate와의 HLA/RTI를 통한 메시지 전송 및 시간동기화가 필요할 경우, 이산사건의 출력 함수의 명령과 변수를 DEVS-HLA adaptor의 interface 모델로 복사한다. 미리 정의된 규칙에 따라, 복사된 명령어를 분석하여, RTI 함수로 전환하여, RTI에 전달하게 된다. RTI는 내부적인 동작원리와 미리 정의된 federates간의 입출력변수 설정에 따라 RTI 입력 명령어를 작성하여, 해당되는 federate의 DEVS-HLA adaptor로 전달한다. 앞서 설명한 절차에 따라, DEVS 명령어로 변환하여, 이를 federate안 정의된 DEVS 모델로 시뮬레이션 엔진을 통해 전달한다. 즉, DEVS-HLA adaptor는 DEVS 입출력 명령어와 RTI의 입출력 명령어간의 변환 역할을 수행한다. 분산 시뮬레이션의 전체 시간 동기화는

RTI가 수행하고, federate 내에 정의된 DEVS 모델 내의 시간 진행은 DEVS 시뮬레이션 엔진이 맡는다. 분산 시뮬레이션 간의 각 federate간의 메시지 전달도 RTI가 수행하고, DEVS-HLA adaptor를 거쳐 변환된 메시지 전달은 DEVS 시뮬레이션 엔진이 처리한다.

참고로 한 federate내에는 하나의 DEVS atomic 모델 뿐만 아니라, 두개 이상의 atomic 모델이 조합된 DEVS coupled 모델도 지원가능하며, 본 논문에서도, 이러한 복잡도를 갖도록 구현을 하였다.

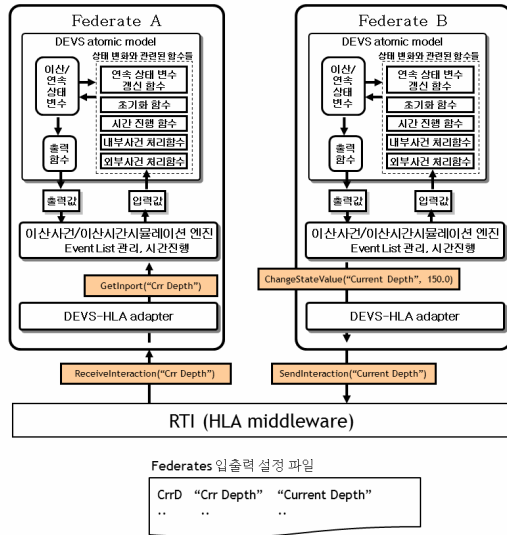


Fig. 5 DEVS-HLA model constitution

Fig. 5 는 DEVS-HLA 를 구조를 가지는 두 federate 가 연결된 모델 구성도를 나타낸다. 분산 시뮬레이션을 위해서는, 각 federate 간의 입출력 설정 (RTI IN/OUT port) 뿐만 아니라, FOM 파일, federation 정보 파일이 추가적으로 요구된다.

Federation 정보 파일은 참여 federate의 수와 각 federate의 이름이 포함된 파일이다. FOM 파일은 하나의 federation 단위로 작성되며, HLA에서 규약하는 모든 항목에 대한 정보를 FDD (FOM Document Data file: HLA 1516에 사용하는 파일로, xml 형식을 따름) 파일 형태로 표현하는 것이다. FDD 파일은 RTI가 실행된 후, mak RTI 함수 중 초기화 명령을 수행하는 `create Federation

Execution' 의 실행에 의해 RTI가 읽어들이는다. RTI가 지닌 FDD는 mak RTI 함수 중 생성된 federation에 federate를 참여시키는 함수인 `joinFederationExecution' 의 실행에 의해 참여 federate에 배포된다. 이와 같이, 한 federation에 참여하는 모든 federate가 다른 federate의 정보 및 전체 federation 정보를 공유하게 되어 보안 문제가 지적되고 있어, 이를 해결하기 위해, RTI Gateway/Bridge를 두는 방안 (Li et al. 2003) 과 hierarchical federation을 구성하는 방안 (Reholec and Siron 2003)이 제안되었다. 이러한 방법은 RTI 내부에 data에 대한 접근 제한으로 인한 HLA의 모든 서비스에 대한 적용은 안되는 한계가 있어, FDD 대신 SDD (SOM Document Data file)을 사용하는 방안 (Kim and Kim 2005)이 제안되었다. SOM (Simulation Object Model)은 HLA 규약에 따라 정보를 표현하는 것은 FOM과 같으나 federate 단위로 작성된다. 현재의 HLA/RTI 1516은 SDD의 사용을 허용하지 않고 있기 때문에, 본 연구의 DEVS-HLA adaptor는 FDD를 xml 형태로 작성하고, 모든 federate가 구성하는 방안을 채택하였다. 보안이 필요한 모델간의 분산에서는 앞서 소개한 방법들의 적용이 요구된다.

3.2 교전급 수중운동체 시뮬레이션 federation 구성

2장에서 설명한 교전급 수중운동체 시나리오를 구현하는데 있어, 4개의 federates를 하나의 federation으로 하는 분산 시뮬레이션을 구성하였다. 일반적으로 HLA/RTI를 활용하는 분산 시뮬레이션의 실시간에 가까운 처리속도 또는 성능을 보장하기 위하여는, 각 federate간의 메시지 교환은 이벤트 발생과 같이 빈도가 적어야 한다. 본 시뮬레이션 시나리오의 예를 들면, 잠수함과 수상함, 중어뢰, 경어뢰가 각각 하나의 federate가 되어야 한다는 뜻이다. 본 시뮬레이션에서는 수중운동체의 네트워크 표준 모델구조를 연구하는 연장선상에서, 상이한 수준의 federate를 구현, 적용하였다. 즉, 하나의 잠수함 모델을 기능적으로, 전술적 의사결정을 내리는 전술통제체계와 공학적인 6자유도 계산만을 수행하는 잠수함 motion체계로 나누

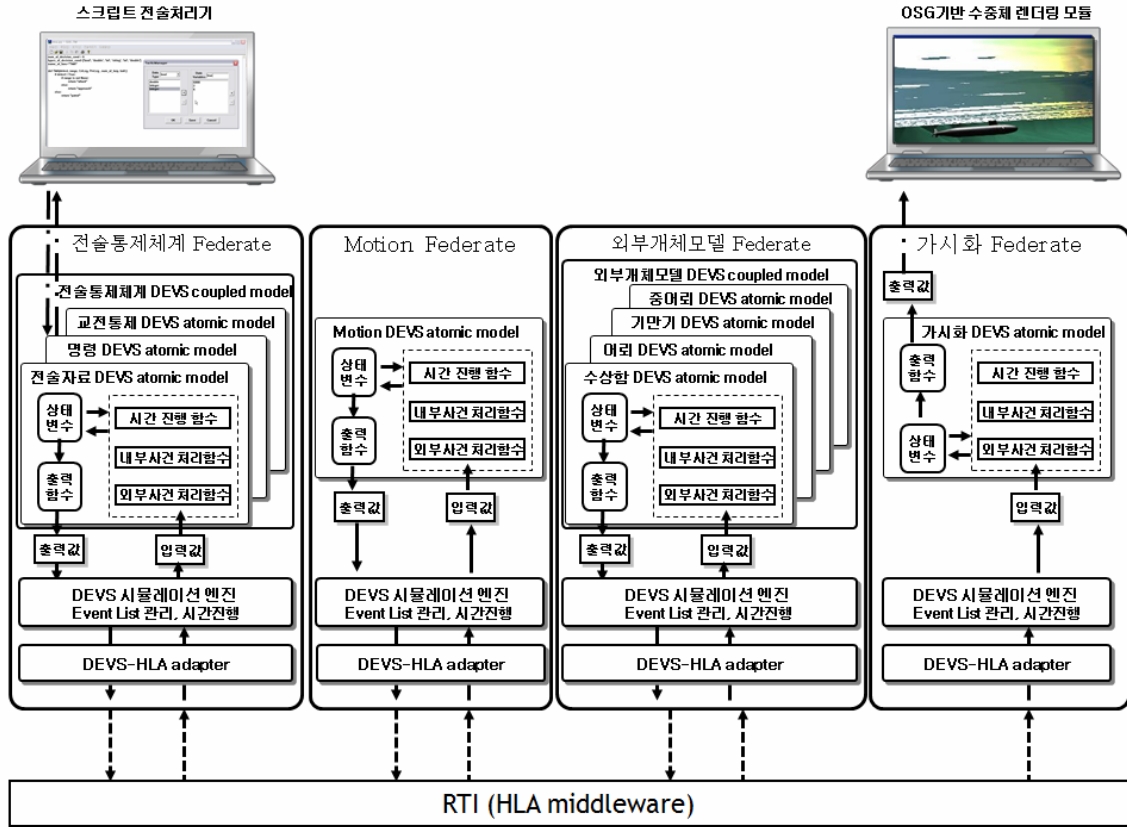


Fig. 6 DEVS-HLA constitution of the overall model

었다. 또 다른 federate로서, 시뮬레이션 결과의 실시간 가시화를 위해서, OSG (Open Scene Graph) 가시화 프로그램을 관장하는 가시화 federate를 구현하였다. 마지막으로, 수상함, 어뢰, 중어뢰, 기만기 등을 모두 포함하는 외부개체모델을 구현하고 이를 federate로 구성하였다. Fig. 6이 교전급 수중운동체 시뮬레이션 federation 구성도이다.

모든 federate 내부의 모델은 앞서 설명한 DEVS-HLA 기능 수행을 위해, DEVS formalism에 따라 구현되었다. 기능적으로 여러 모델로 구성된 전술통제체계 모델과 외부개체모델은 계층적인 DEVS 모델링 기법에 따라, 여러개의 DEVS atomic model을 하나의 DEVS coupled model로 구성하였다.

가시화 federate는 외부 federate로부터 가시화에 필요한 각 모델의 위치, 침로, 자세 등의 속성값을 전달받기만하고, 다른 federate로 출력을 하지 않는다. 실시간 3차원 시뮬레이션 결과 가시화를 위해, 공개용 3차원 가시화 라이브러리인 OSG (Open Scene Graph)기반 전용 렌더링 모듈과 UDP (User Datagram Protocol) 통신을 한다. 사전에 UDP에 적합한 서버 IP, 입출력 포트를 설정하고, 가시화에 필요한 개체의 CAD model과 그에 필요한 속성값을 사전에 정의한다. 이에 따라, 속성값을 매 시뮬레이션 진행 시간마다 UDP 통신으로 OSG 가시화 모듈로 전송한다.

본 논문은 위의 다양한 federates 중에서, 전형적인 DEVS-HLA 모델구조를 따르고 있는 전

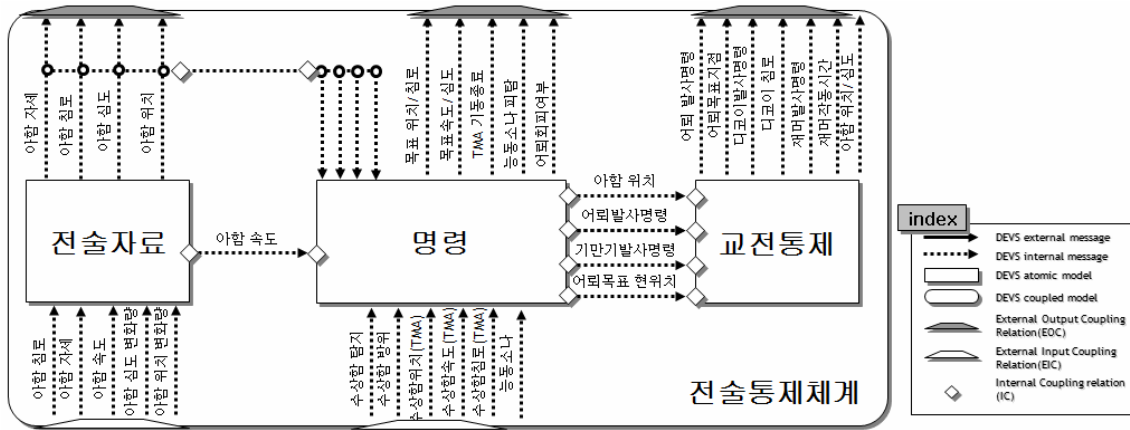


Fig. 7 The model constitution and messages coupling of the CFCS federate

술통제체계의 구현에 대해 상세하게 설명하고자 한다.

3.3 전술통제체계 DEVS 모델 구현

본 논문에서 다루는 교전급 수중운동체의 전술 통제체계는 사용자로부터 수중운동체의 조종 명령 (심도, 자세, 위치, 속도)를 입력받아 수행하고, 외부 교전 상황 발생에 따라, 현 전술자료를 분석하여 상황에 맞는 기동 종류와 전술을 판단하고, 그에 따른 무장을 운용한다. 전술통제체계는 그 하위 모델로 전술자료 모델, 명령 모델, 교전통제 모델로 구성된다. 전술자료 모델은 Motion federate와 연계하여, 아함의 침로, 자세, 속도, 위치를 계산하고 관리한다. 명령 모델은 사용자의 명령 또는 전술처리기 (Son *et al.* 2010)와 연동하여 기정의된 전술에 의한 명령을 처리한다. 마지막으로, 교전통제 모델은 전달받은 명령에 따라, 어뢰발사 자원 또는 기만기 발사 자원을 계산하고, 이를 외부개체 federate에 전달하여 실제 무장모델을 활성화시킨다. 전술통제 모델간의 DEVS 메시지 연계 및 구성도는 Fig. 7과 같다.

3.4 전술자료 DEVS 모델 구현

전술자료 atomic 모델은 외부로부터 아함의 운동학적 상태 (자세, 속도, 침로, 심도변화량, 위치

변화량)가 입력되면, 현재 위치와 현재 심도를 계산하여 외부로 전달하는 역할을 한다. 본 모델은 외부의 입력에 의해서만, 동작한 후 다시 대기하며, 스스로 시간을 진행하지 않는 외부 의존적인 atomic model의 전형으로서 의미가 있다. 자세한 DEVS 표현은 Fig. 8과 같다.

본 모델은 READY, DATA_PROCESS, DISTRIBUTION 세 상태로 전환될 수 있다. 즉, 항상 세 상태 중 한가지의 상태에만 머물게 되며, 상태의 전이는 외부 이벤트에 의한 외부사건 처리함수에 의하거나, 모델 내부에서 프로세스 종료 또는 시간 변화에 따른 내부사건 처리함수에 따라 일어나게 된다. 시뮬레이션이 시작되면, 시뮬레이션 엔진에 의해 상태변수로 등록된 각 상태값을 초기화하고, 초기 상태를 설정한다. 또한, 전술자료 모델 내부에 정의된 모든 클래스 멤버 함수와 그에 사용되는 지역 변수와 클래스 멤버 변수를 초기화한다. 본 모델의 초기 상태는 READY이다. 즉, 외부로부터 입력이 없을 경우, 본 모델 움직이지 않게 된다.

외부로부터 아함의 운동학적 상태가 입력되면, 외부사건 처리함수에서는 각 값을 모두 클래스 멤버 변수로 저장하고, DATA_PROCESS 상태로 전환하게 된다. DATA_PROCESS상태이면, 내부사건 처리함수에서는 현재 위치와 심도를 마지막 계산

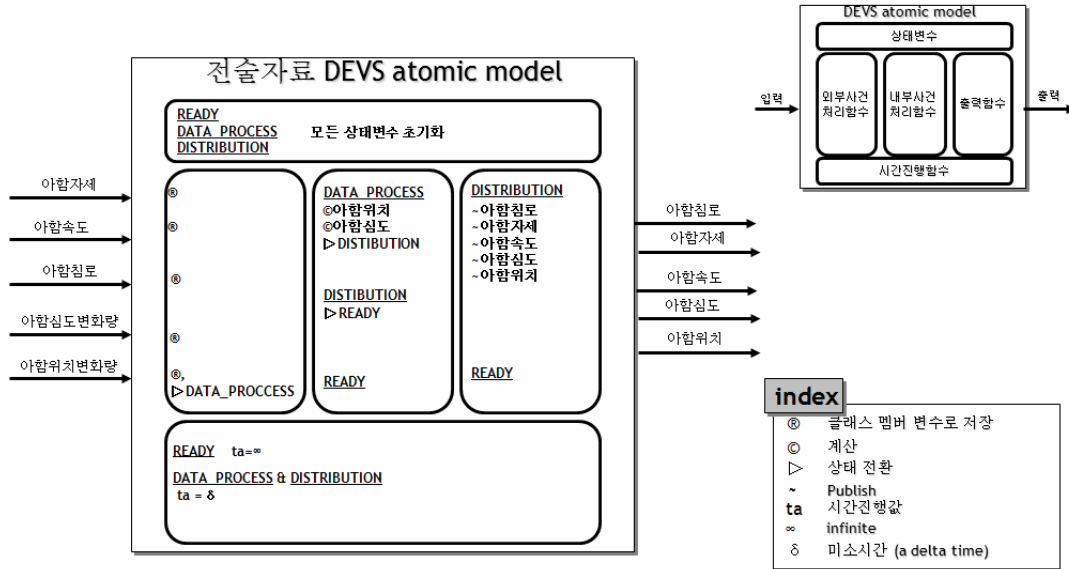


Fig. 8 DEVS atomic model representation of the Tactical data process model

시간과 현재시간, 그 간의 위치 변화량과 심도 변화량을 이용하여 간단하게 계산하고, DISTRIBUTION 상태로 전환하게 된다.

DISTRIBUTION 상태에서는 출력함수에 의해 아함의 침로, 자세, 속도, 심도, 위치를 외부에 출력(publish)하고 시간진행함수에서는 미소시간만큼 시간을 진행한다. 다시 내부사건 처리함수에서 DISTRIBUTION 상태에 정의된 프로세스에 따라, READY 상태로 전환되고, 외부 입력이 있을 경우 까지 계속 대기하는 상태가 된다.

3.5 명령 DEVS 모델 구현

명령 atomic model은 시뮬레이션 내부의 다른 모델에 입력에 의한 움직임뿐만 아니라, 시뮬레이션 사용자의 입력과 모델 외부의 전술처리기로부터의 명령을 받아 움직인다. 시뮬레이션 사용자의 입력은, console과 port의 입출력에 관계된 함수들을 정의하고 있는 MS Windows 기본 API "conio.h"에 포함되어 있는 "_knhit()" 함수를 사용하여 구현되었다. "_knhit()" 함수는 console에서 최근의 키보드 입력을 확인하여, 입력값이 없을 경우에는 0 (zero)을 반환하고, 그렇지 않을 경우에는 입력값을 반환한다. 이를 이용해

사용자가 시뮬레이션 진행중, 실시간으로 키보드의 어느 키라도 누르게 되면, 시뮬레이션이 일시 정지되고, 사용자가 수중운동체의 조종 명령을 새롭게 변경할 수 있다. 이는 Windows programming API를 이용하여 MFC 대화상자를 구성하여 실시간으로 사용자가 입력하도록 대체할 수도 있다. 모든 사용자 입력이 종료되면 시뮬레이션은 변경된 명령에 따라 계속 진행된다.

전술의 효과도 분석에 주로 사용되는 교전급 시뮬레이션의 특성에 따라, 전술만을 모델과 분리하여, 모델의 변경없이 전술만 변경하여 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 전술처리가 고안되었다 (Cho *et. al.* 2008). 표적기동분석 과정과 어뢰회피시, 상황에 맞는 전술이 결정될 필요가 있기 때문에, 스크립트 기반의 전술처리기를 통해, 실시간으로 전술을 전달받아 오고, 그에 따라 모델의 동작을 결정한다 (Son *et. al.* 2009).

외부로부터는 아함의 운동학적 정보와 수상함의 탐지 이벤트, 수상함의 방위, 표적기동분석 후에 수상함의 위치, 침로, 속도를 입력받고, 어뢰 회피시에, 능동소나를 입력받는다. 자세한 DEVS 표현은 Fig. 9와 같다.

본 모델은 READY, AUTO_SAIL, WAYPOINT_

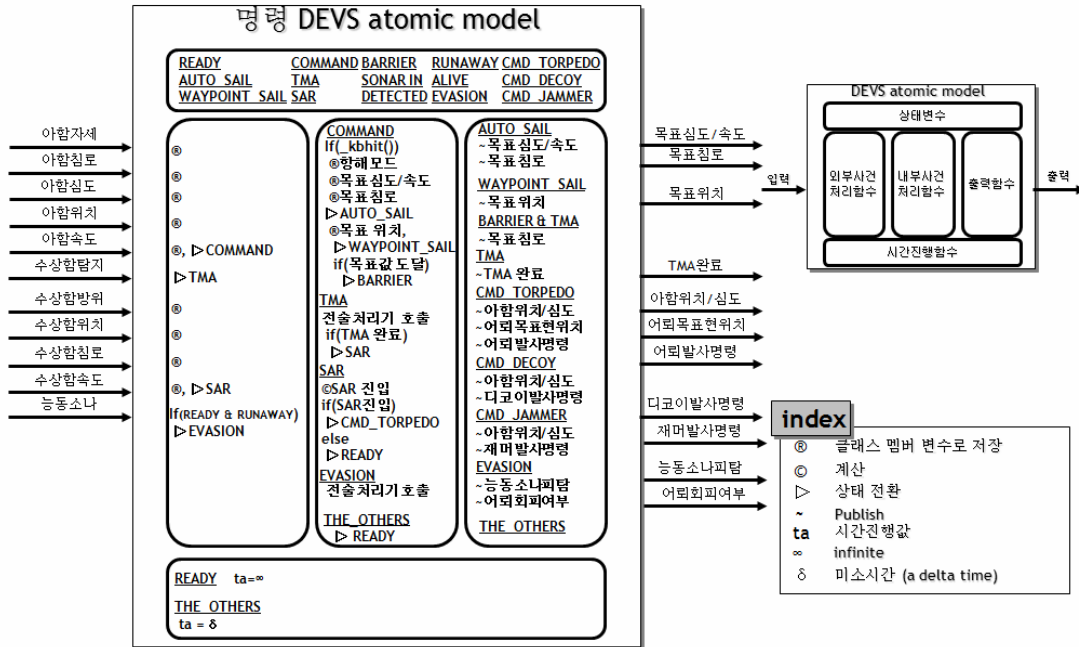


Fig. 9 DEVS atomic model representation of the command model

SAIL, COMMAND, TMA, SAR, BARRIER, SONAR_IN, DETECTED, RUNAWAY, ALIVE, EVASION, CMD_TORPEDO, CMD_DECOY, CMD_JAMMER 와 같이 여러 상태로 전환될 수 있으며, 초기 상태는 COMMAND이다. 시뮬레이션이 시작하면, 가장 먼저, 본 모델의 내부사건 처리함수에 의해, 사용자가 아함 조종명령을 입력할 수 있는 입력창이 뜰 수 있게끔 이와 같이 설정되었다. 본 모델도 READY를 초기 상태로 설정하게 되면, 시뮬레이션은 시작과 동시에 어떠한 동작도 하지 않고, 멈춰있는 상태가 된다.

사용자가 AUTO_SAIL, WAYPOINT_SAIL 중 선택하면, 각각에 해당되는 목표값을 입력받을 수 있는 창이 뜨게 된다. AUTO_SAIL 에서는 목표심도, 속도, 침로를 입력받고, WAYPOINT_SAIL 에서는 목표 위치를 입력받는다. AUTO_SAIL 이나 WAYPOINT_SAIL 일 경우, 외부함수에서 사용자로부터 입력받은 값을 출력 (publish)하고, 미소시간만큼 시간을 진행한다. 내부사건 처리함수에 의해 상태는 COMMAND 상태로 전이되고, 명령 모델은 사용자가 목표값으로 설정한

값에 도달하였는지 여부를 매 단위시간마다 확인하게 된다.

단위시간 진행은 motion federate 의 단위시간 계산 결과가 전술자료모델에 의해 가공되어 매 단위시간마다 명령모델에 전달되기 때문이며, 자체 시간진행은 하지 않는 외부의존적인 모델이다.

목표값에 도달하였으면, 내부사건처리함수에 의해 BARRIER 로 전환되고, 방책임무를 수행한다. 이 때는 AUTO_SAIL 과 같은 기제로 목표침로를 정해진 시간마다 출력하므로써, 직사각형 형태의 방책임무 기동을 수행할 수 있게 구현하였다.

외부로부터 수상함탐지 이벤트가 전달되면, 외부사건처리 함수에 의해, TMA 상태로 전환된다. 내부사건처리 함수에서는 상황판단을 위해 이미 설정된 상태변수값 (탐지여부, 목표물과의 거리, 현재기동방식, 이전기동방식, 어뢰 개수, 배터리 잔량)을 전술처리기로 전달하고, 실시간으로 전술 처리기에 의해 추론된 전술을 전달받아 TMA 를 수행한다. DEVS 에 따른 원활한 진행을 위해, 실제로는 TMA 는 TMA_1 (표적기동분석이 3 차례의 다른 기동으로 완성된다고 할 때, 첫번째 기동),

TMA_2 (표적기동분석의 두번째 기동), TMA_DONE (표적기동분석의 세번째 기동 및 완료)으로 구분되어 각 단계별로 전이되며, 표적기동분석이 진행되고, 그에 맞는 메시지를 출력함수를 통해 외부로 보내게된다. 즉, 표적기동분석이 완료되는 TMA_DONE 이 될 경우, 외부모델로 TMA 완료 이벤트를 출력하게되고, 이에 따라, 수상함 모델이 수상함의 운동학적 정보 (위치, 침로, 속도)를 전달하여 주게된다. 이러한 값이 입력되면, 외부사건 처리함수는 각 값을 클래스 멤버 변수로 저장하고, 상태를 SAR 로 전환하게 된다.

SAR 은 Submerged Approach Region 의 약자로 잠수함이 표적에 어뢰공격을 할 수 있는지 여부를 판단하는 구역이다 (Koopman 1980). 내부사건처리함수에 의해, SAR 진입여부를 적함의 위치, 속도와 아함의 위치, 속도 정보를 이용하여 계산한다. SAR 에 진입하였으면, CMD_TORPEDO 상태로 전환되고, 그렇지 않으면, READY 상태로 전환된다. CMD_TORPEDO 상태에서는 출력함수에 의해, 아함의 위치/속도와 어뢰목표의 현재 위치, 어뢰발사명령 이벤트를 외부로 출력하게되고, 미소시간의 시간진행 후, 다시 READY 상태로 전환되게 된다.

READY 상태는 외부로부터 입력이 없는 경우, 계속 대기하는 상태이다. 시뮬레이션 시나리오에 따라, 적함의 응사가 이뤄진 경우, 다시말해 적의 경어뢰가 일정거리를 비행하여, 잠수함의 추정위치에서 투하되어 탐색활동을 시작된 경우, 경어뢰의 능동소나가 명령모델로 입력된다. 이때, 외부사건 처리함수에서 EVASION 상태로 전환하여 어뢰 회피기동을 수행하게 된다.

내부사건 처리함수에서는 EVASION 상태에 따른 어뢰회피 전술을 전술처리기로부터 받아온다. 전술결정에 판단이 되는 상태변수는 어뢰와의 거리, 디코이 개수, 재머 개수이며, 이를 전술처리기로 전달하면, 실시간으로 회피전술이 결정되어 명령모델로 전달된다. EVASION상태에서는 출력함수가 능동소나의 피탐범위에 아함이 있는지를 계산한 결과를 외부로 출력하게 된다. 명령모델은 해당 전술에 따라, CMD_DECOY 또는 CMD_JAMMER 등의 상태로 전환되고, 각 상태에 맞는 값들이 출력함수에 의해 외부 모델로 출력되게 된다.

3.6 교전통제 DEVS 모델 구현

교전통제모델은 아함의 운동학적 정보와 각 무장체계의 발사 명령 이벤트에 따라, 정확한 무장의 발사 제원을 계산하는 atomic 모델이다. 앞서 설명한 다른 atomic 모델과의 차이점은 시간진행 함수에 있는데, 미소시간만큼 진행하는 다른 모델과 달리, 본 모델은 각 무장체계의 발사 준비시간만큼 진행한다. 자세한 DEVS 표현은 Fig. 10 과 같다.

본 모델은 READY, LAUNCH_TORPEDO, LAUNCH_DECOY, FIRE_JAMMER 의 네 가지 상태중 하나로 전이될 수 있다.

외부로부터 아함의 침로, 위치, 심도, 어뢰목표 현재위치, 어뢰발사명령이 입력되면, 외부사건 처리함수에서는 발사명령을 제외한 모든 값을 클래스 멤버 변수에 저장하고, LAUNCH_TORPEDO 상태로 전이된다.

내부사건 처리함수에 의해, 어뢰목표지점을 계산하고, 출력함수에 의해, 어뢰발사명령, 어뢰발사지점, 아함위치/심도가 출력된다. 이러한 출력값은 federation 에서 설정한 입출력 포트에 정의된 federate 로 전달된다. 하나의 메시지는 publish/subscribe 개념에 의해 1 대 1, 1 대 다로 전달가능하다. 어뢰 발사준비 시간만큼의 시간진행이 된 후에는 내부사건 처리함수에 의해 READY 상태로 전환된다. 디코이 발사와 재머 발사도 어뢰 발사와 유사한 과정으로 진행되므로, 생략한다.

4. 구현 결과

본 시뮬레이션은 Microsoft Windows XP Professional SP3, Microsoft Visual C++ 2005 version 8 기반으로 구현되었으며, 이산사건 시뮬레이션 엔진은 SNUSim library (Bang 2006)를 사용하였고, IEEE 1516 HLA/RTI를 지원하는 mak RTI를 사용하였다. 시뮬레이션은 console application 으로 동작하며, 네 개의 federate를 각각 실행시키면, federation 정보를 분석한 RTI가 모든 federate가 참여할 때까지 대기한다. 모든 federate가 참여하면, 시뮬레이션 시작되는데, 이때, 사용자가 Fig. 11과 같이, 아함의 조종 명령을 입력하게 된다.

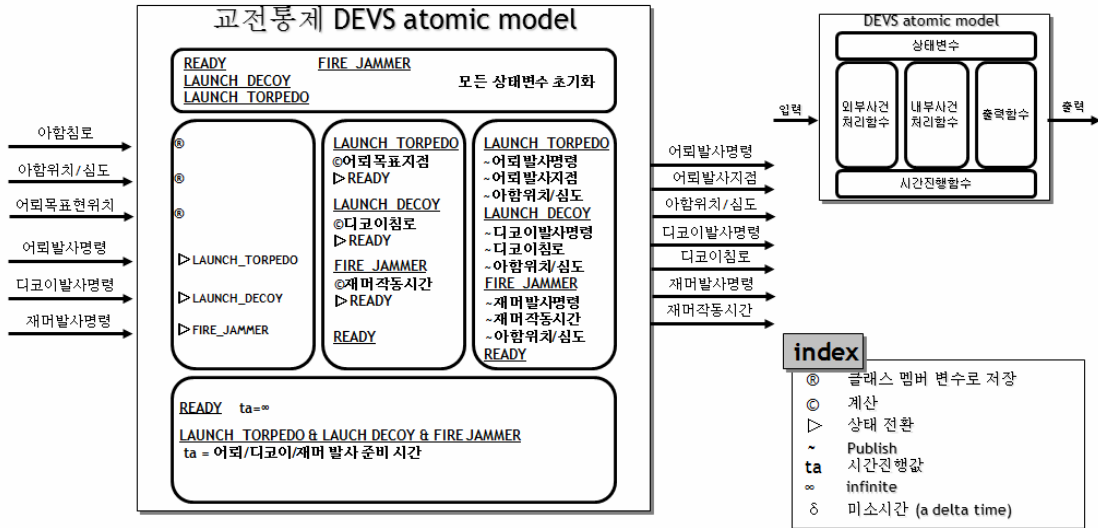


Fig. 10 DEVS atomic model representation of the fire control model

하나의 console 창이 각각 하나의 federate를 나타내고 있고, RTI에 의해 federation의 모든 입출력 포트가 맞추어진 후, 시뮬레이션이 시작된다. 시뮬레이션 시작과 동시에, 가시화 federation은 필요한 정보를 UDP 통신을 통해 화면에 보이는 OSG기반 3차원 랜더링 모듈에 전송하게 되고, 이에 따라 Fig. 12와 같이, 잠수함과 수상함이 각각 기동하는 것이 표현되게 된다.

전술통제체계 federate에서도 각 시간별 상태 전이를 확인하기 위해, 각 DEVS atomic 모델별로, 메시지를 출력하도록 하였다. 예를 들어, Fig. 12의 왼쪽 그림에서 확인할 수 있는 것과 같이, 명령모델(COMMANDER)에서 SAR를 분석하였고, 어뢰 목표 위치 계산 후, 발사를 교전통제모델 (FIRE CONTROL)에서 하였음을 확인할 수 있다. Fig. 12의 오른쪽 그림과 같이, 전술통제체계에서 발사한 어뢰는 외부개체 모델의 실제 어뢰 atomic 모델을 활성화시키게 되고, 잠수함에서 어뢰가 발사되어, 독자적으로 움직이고 이를 어뢰 CAD 모델을 통해 OSG기반 3차원 랜더링 모듈에 가시화된다.

잠수함 잠항과 같이 한 모델만을 확대하여, 가시화할 때와는 달리, 여러 개체간의 거리가 개체의

크기에 비해 상당히 클 경우, Fig. 12와 같이 개체를 식별하기 용이하지 않다. 이를 위해, 잠수함 확인을 위해 수중 환경의 투명도를 조정하여, 잠수함의 위치를 표현하였다.

가시화 정보를 실시간으로 전송한 결과, RTI에 의한 전체 시간 동기화 시 발생하는 시간 렉현상이 발생하였고, 빠른 재생 (x-배속)을 하지 않을 경우, 물체가 끊겨서 이동하는 것과 같은 문제가 일어났다. 이를 위해서는 가시화 프로그램에서 입력된 정보를 가공하여, 보관된 정보로 전송하여야 원활한 3차원 실시간 가시화가 가능하다.

DEVS와 HLA/RTI가 연계되고, 계층관계를 가지는 다양한 모델의 조합으로 구현한 본 시뮬레이션은 진행 결과, 시간 진행이 실시간에 가까웠다. 즉 시뮬레이션 시간 1초를 진행하는데, 실제 1초의 시간이 소요되었다. 반면, 같은 시뮬레이션 모델을 재활용하여 DEVS로만 구현하여, 하나의 PC에서 시뮬레이션한 경우에는 300초의 시뮬레이션 시간이 3초 이내에 진행되었다. 이는 DEVS-HLA 문제보다는 HLA federation 설계의 문제로, 단위시간에 전달되는 메시지 수와 그 federates간의 연결복잡도에 영향을 받는다.

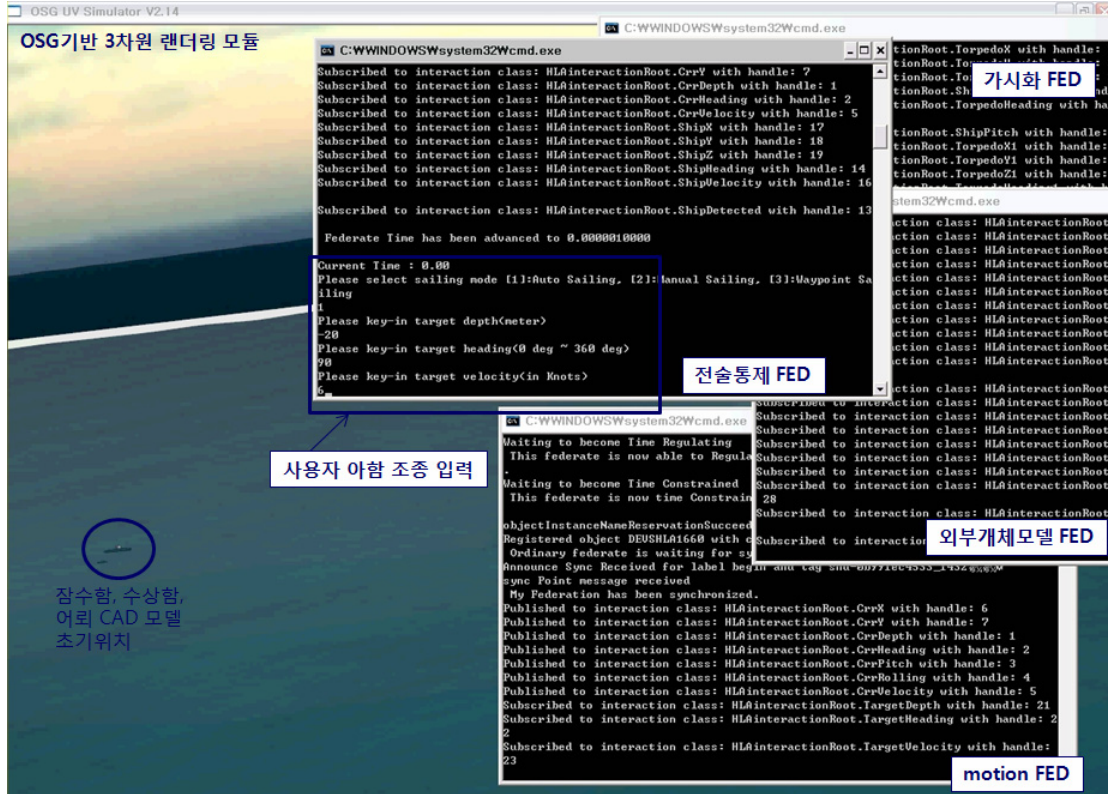


Fig. 11 Screen capture of 4 federates run and OSG visualization module

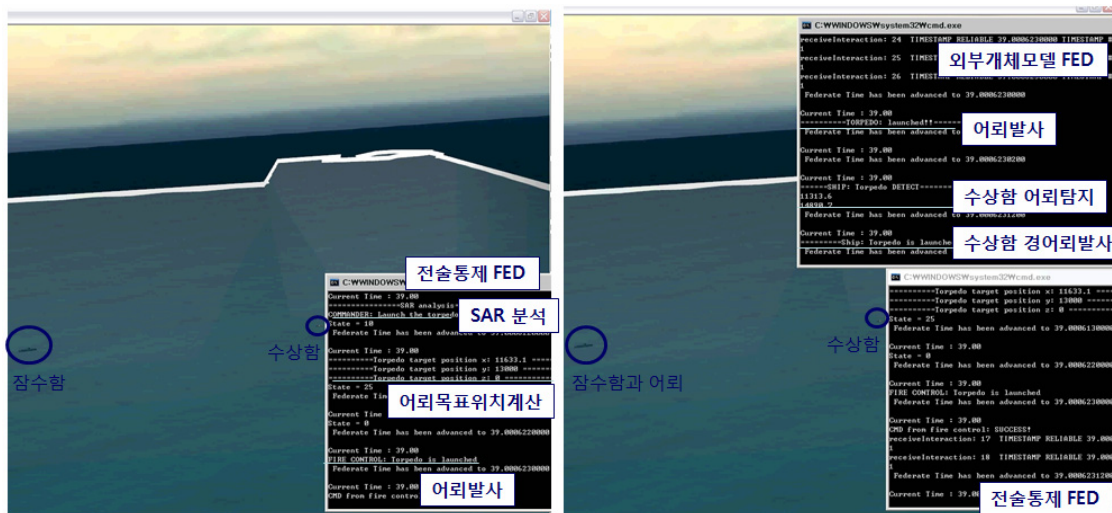


Fig. 12 Interaction between the CFCS federate and the external entities federate

5. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는, 교전급 수중운동체 시뮬레이션을 DEVS-HLA 환경에서 수행할 때의 DEVS 구현 기법에 대해서 제안하였고, 대표적인 예로 전술통제체계 federate 를 분석하였다.

교전급 시뮬레이션은 잠수함의 정상장항 시뮬레이션, 잠수함의 방책임무 시뮬레이션, 잠수함과 수상함 간의 표적기동분석 시뮬레이션, 잠수함의 어뢰회피 시뮬레이션 등의 다양한 시나리오를 포함하고 있다.

전체 시뮬레이션은 분산시뮬레이션 관점에서 IEEE 1516 HLA/RTI 를 이용하여 설계하였고, 이와 관련된 FOM 작성, federation 입출력 포트 설정 등을 분석하였다. Federate 내의 하나의 모델은 이산사건 시뮬레이션에 따라 설계하였고, DEVS formalism 에 기반하여, 이를 분석하고 설명하였다. 즉, 분산시뮬레이션을 위해서는 HLA/RTI 규약에 따른 federation 설계가 필요하고, 이산사건 시뮬레이션을 위해서는 각 federate 내에 모델 구현을 DEVS 에 기반하여 수행하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 시뮬레이션에 사용된 네 개의 federate 중 대표로 전술통제체계 federate 를 DEVS 로 구현하는 법에 대하여 상세하게 제시하였다. 특히, 전술통제체계는 모델간의 제어 뿐만 아니라, 사용자 제어, 모델 외부의 전술처리기에 의한 제어를 포함하고 있는 특징이 있다.

분산 시뮬레이션과 이산사건 시뮬레이션 동시에 진행되기 위해서는 두 이종 규약을 연결하고 번역하는 모듈이 추가적으로 필요하다. 본 논문에서는 DEVS-HLA adaptor 가 이에 해당된다.

구현하여, 실제 시뮬레이션을 한 결과, 교전급 시나리오의 DEVS-HLA 시뮬레이션은 실시간의 진행속도로 이루어졌고, OSG 기반 3 차원 실시간 렌더링 모듈은 단위시간마다 정보가 가시화되어, 모든 모델이 조금씩 끊어져서 가시화되는 현상이 발견되었다.

향후 연구로, DEVS-HLA 시뮬레이션 실행 속도 향상을 위한 조건을 다양한 실험을 통해 도출하고, 실행속도 제어기의 설계가 요구된다. 또한, DEVS

만으로도 이산사건 및 이산시간 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 구현하는 법을 연구하여, 이를 DEVS-HLA 로 확장 적용하게 되면, DEVS/DTSS (Discrete Time System Specification)-HLA 가 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 (a) 도약연구과제, “ 조선 PLM 의 BOM (Bills Of Material) 커널 개발에 관한 연구” , (b) 국방과학연구소 수중운동체기술특화센터 SM-11 과제 “ 수중 운동체의 체계/부체계 기능 및 성능 시뮬레이션을 위한 네트워크 기반의 가상 (Virtual) 복합 시스템 모델 구조(Architecture) 연구” , (c) 서울대학교 BK 21 해양기술인력양성사업단의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- Kyoung-Woon Bang, 2006, “ Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Framework for Shipbuilding Process Planning,” Master Thesis, Seoul National Univ., Seoul, Korea.
- John P. Best, 2000, “ Virtual Ship Architecture Description Document,” Defence Science and Technology Organisation (DSTO), Department of Defence, Australia.
- Ju-Hwan Cha, Myung-Il Roh, Kyung-Woon Bang, and Kyu-Yeul Lee, 2008, “ Combined discrete event and discrete time simulation framework for the improvement of shipbuilding process planning,” Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 4, pp. 71-80.
- Ju-Hwan Cha, Myung-Il Roh, Doo-Yeoun Cho, and Kyu-Yeul Lee, 2009, “ Block Erection Simulation Using the Integrated System of Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Kernel,” Journal of the Society of

- Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 3, pp. 303-312.
- Sung-do Chi, Yong-jun You, Chan-ho Jung, Jang-se Lee, and Jae-ick Kim, 2008, " Design of No-human-in-the-Loop Battleship Warfare M&S System applied to the Korea Yellow Sea Warfare Case using Agent-based Modeling," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 2, pp. 49-61.
 - Doo-Yeoun Cho, Myeong-Jo Son, Jung-Ho Kang, Sung-Jun Lee, Ju-Hwan Cha, Seong-Jin Yoo, Hyo-Kwang Lee, Kyu-Yeul Lee, Tae-Wan Kim, and Yong-Seog Ko, 2007, " Analysis of a submarine' s evasive capability against an antisubmarine warfare torpedo using DEVS modeling and simulation," In Spring Simulation Multiconference 2007.
 - Doo-Yeoun Cho, Myeong-Jo Son, Ju-Hwan Cha, Kyu-Yeul Lee, Tae-Wan Kim, and Yong-Seog Ko, 2008, " Implementation of a tactic manager for the target motion analysis simulation of a submarine," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 16, No. 3, pp. 65-74.
 - Franco Cicirelli, Angelo Furfaro, and Libero Nigroand, 2009, " An Agent Infrastructure over HLA for Distributed Simulation of Reconfigurable Systems and its Application to UAV Coordination," Simulation, Vol. 85, No. 1, pp. 17-32.
 - Sol Ha, Ju-Hwan Cha, and Kyu-Yeul Lee, 2009, " HLA Interface for Combined Discrete Event & Discrete Time Simulation Model in Distributed Environment," Asia Simulation Conference 2009.
 - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules," IEEE Std 1516, 2000.
 - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Federate Interface Specification," IEEE Std 1516.1-2000, 2000.
 - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Object Model Template (OMT) Specification," IEEE Std 1516.2-2000, 2001.
 - Dong-Hun Kim, Ji-hwan Shin, and Chan-Ki Kim, 2007, "On the Development of the Authoritative Representations of Submarine for Engagement Level Simulation," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 16, No. 1, pp. 1-12.
 - Jae-Hyun Kim, Tag Gon Kim, " Federate-level reusability: Joining a federation with SOM Document Data," Lecture Notes in Computer Science, Vol. LNAI 3397, pp. 128 - 137, 2005.
 - Ju Young Kim and Tag Gon Kim, 2006, "Methodology for Automatic Synthesis of Wargame Simulator using DEVS," in Proceeding of the Conference of Korea Society for Simulation, pp. 67-72.
 - Myung-Kyu Kim, Jung-Ho Kim, and Soo-Hoan Chae, 2009, "Object Management Method for Air Traffic Control Simulation Based on HLA/ RTI," Journal of Korea Navigation Institute, Vol. 13, No.2, pp. 165-171.
 - MyungHoon Kim, SangMin Lee, Yong Jun You, Soo Hwan Chae, and SungDo Chi, 2002, "DEVS/HLA-based Virtual Warfare Distributed Simulation," in Proceeding of the Conference of Korea Society for Simulation.
 - Yong Jae Kim and Tag Gon Kim, 1999, "DEVS-HLA: Distributed Heterogeneous Simulation Framewokr," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 8, No. 4, pp. 9-24.
 - B.O. Koopman, 1980, " Search and screening," Pergamon Press Inc., Elmsford, USA.
 - Jong-Keun Lee, Min-Woo Lee, and Sung-Do Chi, 2003, "DEVS/HLA-Based Modeling and

- Simulation for Intelligent Transportation Systems," *Simulation*, Vol. 79, No. 8, pp. 423-439.
- M.G. Li, W. Cai, B. Francis, M. L. Liu and D. S. Turner, "An Event Based Design of a Gateway Federate," *Proceedings of the 2003 Spring Simulation Interoperability Workshop*, 03S-SIW-046, 2003.
 - Dong-Hee Lee, 1996, "A Study on the submarine measure of effectiveness simulation software development," NWS-513-961371, Agency for Defense Development, Korea.
 - Sung-Jun Lee, 2006, "A Study on Model Structure Based on High Level Architecture for Distributed Simulation of Underwater Vehicles," Master Thesis, Seoul National Univ., Seoul, Korea.
 - Sung-Jun Lee, Doo Yeoun Cho, Jung-Ho Kang, Hyo-Gwang Lee, Kyu-Yeol Lee, Tae-wan Kim, Soonhung Han, and Hee-Seok Jung, 2006, "A study on the model structure based on the high level architecture for the distributed simulation of the underwater vehicles," In 2006 Korea CAD/CAM Conference, pp. 913-921.
 - Charles McLean and Guodong Shao, 2001, "Simulation in shipyards: simulation of ship-building operations," *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*, pp. 870-876.
 - Jun-Kyu Park, 2004, "A Study on the submarine operational effectiveness simulation model in the concept design phase," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 7, No.3, pp. 47-58.
 - H. Praehofer, 1991, "System Theoretic Foundations for Combined Discrete-Continuous System Simulation," PhD Thesis, Johannes KEPLER University, Linz, Austria.
 - H. Praehofer, J. Sametinger, A. Stritzinger, 2001, "Concepts and Architecture of a Simulation Framework based on the JavaBeans Component Model," *Journal of Future Generation on Computer Systems*, Vol.17, No.5, pp. 539-559.
 - B.Reholee and P.Siron, "design and Implementation of a HLA Inter-federation Bridge," *Proceedings of the 2003 Spring Simulation Interoperability Workshop*, 03E-SIW-054, 2003.
 - Mamadou Seck, Norbert Giambiasi, Claudia Frydman, and Lassaad Baati, 2007, "DEVS for Human Behavior Modeling in CGFs," *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, vol. 4, No. 3, pp. 196-228.
 - Myeong-jo Son, Doo Yeoun Cho, Ju-Hwan Cha, Tae-wan Kim, Kyu-Yeol Lee, and Jun-Kyu Park, 2007, "Implementation of a tactic manager for the simulation of a target motion analysis between a submarine and a surface ship warfare," *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 5, pp. 315-326.
 - Myeong-jo Son, Hyun-Jin Lee, Seung-Ho Ham, Hyo-Kwang Lee, Tae-Wan Kim, Kyu-Yeol Lee, Soon-Hung Han and Young-In Nah, 2008, "The Normal Diving Simulation of the Underwater Vehicle Using the Standard Model Architecture for the Combined Simulation of Discrete Event System and Discrete Time System," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 45, No. 6, pp. 523-529.
 - Myeong-jo Son, Tae-wan Kim, and Young-In Nah, 2009, "The Functional Extension of the Underwater Vehicle Modeling and Simulation Tactics Manager using the Script Embedding Method," *Journal of Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 12, No. 5, pp. 590-600.
 - Myeong-jo Son, Doo Yeoun Cho, Tae-wan Kim, Kyu-Yeol Lee, and Young-In Nah, 2010, "Modeling and Simulation of Target Motion Analysis for a Submarine Using a Script-based

Tactics Manager," *Advances in Engineering Software*, Vol. 41, No. 3, pp. 506–516.

- Cang Vo Trong, Dung Vo Anh, and Thien Doan Minh, 2010, "Using 3D-CAD For Simulation-Based Production In Shipbuilding," *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 (IMECS 2010)*, Vol. 3.
- Gregory Zacharewicz, Claudia Frydman, and Norbert Giambiasi, 2006, "Lookahead Computation in G-DEVS/HLA Environment," *Simulation News Europe Journal*, Vol. 16, No. 2, pp. 15–24.
- Gregory Zacharewicz, Claudia Frydman, and Norbert Giambiasi, 2008, "G-DEVS/HLA Environment for Distributed Simulations of Workflows," *Simulation*, Vol. 84, No. 5, pp. 197–213.
- B.P. Zeigler, G. Ball, H. Cho, J. Lee, and H. Sarjoughian, 1999, "Implementation of the DEVS Formalism over the HLA/RTI: Problems and Solutions 1," In *1999 Spring Simulation Interoperability Workshop*.
- B.P. Zeigler and H. Sarjoughian, 1999, "Support for Hierarchical Modular Component-based Model Construction in DEVS/HLA," In *1999 Spring Simulation Interoperability Workshop*.

- B.P. Zeigler, H. Praehofer and T.G. Kim, 2000, "Theory of Modeling and Simulation," 2nd ed., Academic press, Davis, USA.
- B.P. Zeigler, 1990, *Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models*, Academic press.



< 손명조 >



< 차주환 >



< 김태완 >



< 이규열 >



< 나영인 >