

# 수중운동체 교전 시물레이션을 위한 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시물레이션 모델 구조 기반의 전투 공간 모델 개발

하 솔<sup>1</sup> · 구남국<sup>1†</sup> · 이규열<sup>1</sup> · 노명일<sup>2</sup>

## Development of Battle Space Model Based on Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Model Architecture for Underwater Warfare Simulation

Sol Ha · Namkug Ku · Kyu-Yeul Lee · Myung-Il Roh

### ABSTRACT

This paper presents the battle space model, which is capable of propagating various types of emissions from platforms in underwater warfare simulation, predicting interesting encounters between pairs of platforms, and managing environmental information. The battle space model has four components: the logger, spatial encounter predictor (SEP), propagator, and geographic information system (GIS) models. The logger model stores brief data on all the platforms in the simulation, and the GIS model stores and updates environmental factors such as temperature and current speed. The SEP model infers an encounter among the platforms in the simulation, and progresses the simulation to the time when this encounter will happen. The propagator model receives various emissions from platforms and propagates these to other “within-range” platforms by considering the propagation losses and delays. The battle space model is based on the discrete event system specification (DEVS) and the discrete time system specification (DTSS) formalisms. To verify the battle space model, simple underwater warfare between a battleship and a submarine was simulated. The simulation results with the model were the same as the simulation results without the model.

**Key words** : Battle Space Model, Combined Discrete Time and Discrete Event Simulation, Underwater Vehicle, Warfare Simulation

### 요약

본 논문에서는 전장 환경 요소 및 플랫폼 모델 간 상호 교환 정보를 통합하여 관리하는 전투 공간 모델(Battle Space Model)을 제안한다. 전투 공간 모델은 전장의 지형 정보와 환경 요소를 저장하는 Geographic Information System(GIS) Model, 플랫폼 모델 간 상호 교환 정보에 전장 환경 요소의 영향을 고려하는 Propagator Model, 플랫폼 모델 간 상호 교환 정보를 저장하는 Logger Model, 그리고 플랫폼 모델 간의 상호 작용(encounter) 시점을 예측하고 상호 작용 시점까지 시간을 건너뛰는 Spatial Encounter Predictor(SEP) Model로 구성된다. 또한 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시물레이션 모델 구조로 구성되어 있는 플랫폼 모델과 추가 작업 없이 직접 연결하기 위해, 전투 공간 모델 또한 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시물레이션 모델 구조로 구성하였다. 본 연구에서는 전투 공간 모델을 적용하여 수중운동체 교전 시물레이션을 수행하였다. 이를 통해 플랫폼 모델 각자가 반영하던 전장 환경 요소를 전투 공간 모델이 일괄적으로 반영함으로써 플랫폼 모델 개발을 단순화 할 수 있었다. 또한 각 플랫폼 모델은 다른 플랫폼 모델과의 정보 교환을 고려하지 않고 전투 공간 모델과의 정보 교환만을 고려하면 되므로, 플랫폼 모델을 중립적으로 구성할 수 있었다.

**주요어** : 전투 공간 모델, 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시물레이션, 수중운동체, 교전 시물레이션

접수일(2013년 3월 12일), 심사일(2013년 4월 23일),  
게재 확정일(2013년 6월 5일)

<sup>1)</sup> 서울대학교 공학연구소

<sup>2)</sup> 서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소

주 저자: 하 솔

교신저자: 구남국

E-mail; knk80@snu.ac.kr

## 1. 서론

잠수함, 수상함 등과 같은 함정들의 교전이 발생하는 전장 환경은 여러 가지 구성 요소를 포함하고 있다. 전장

환경은 기본적으로 공기와 해수라는 매질로 구성되어 있으며, 교전에 참가하는 잠수함, 수상함 들은 이들의 특성이나 움직임에 영향을 받는다. 예를 들어 잠수함이 적함의 위치를 파악하기 위해서는 적함에서 발생하는 소음을 중간 매개체인 해수를 통해 전달 받는다. 이때 전달 매개체인 해수의 특성에 따라 소음의 세기가 줄어들거나 또는 다른 전장 환경 요소에 의해 각종 교란 신호(noise)가 섞이기도 한다. 이렇듯 전장 환경 요소는 교전에 참가하는 잠수함, 수상함들 간의 상호 작용에 많은 영향을 끼친다. 한편, 수중운동체 교전 시뮬레이션에서 잠수함, 수상함 등과 같이 독립적으로 동작하고 임무를 수행할 수 있는 대상을 플랫폼 모델이라고 하는데, 교전 시뮬레이션을 수행하기 위해서 각각의 플랫폼 모델은 위치, 자세 등의 정보를 상호 교환해야 한다(하술 등, 2009).

즉, 수중운동체 교전 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 전장 환경 요소에 대한 정보를 저장할 수 있어야 하고, 전장 환경 요소가 각 플랫폼이 주고받는 음향 정보에 주는 영향을 계산할 수 있어야 하며, 각 플랫폼 모델들은 각각의 위치, 자세 정보 등을 알고 있어야 한다. 본 연구에서는 이러한 전장 환경 요소 및 플랫폼 모델 간 상호 교환 정보를 통합하여 관리하는 공간 모델(Space Model)을 구성하였다. 시뮬레이션 수행 시 공간 모델을 사용하면 다음과 같은 효과를 예상할 수 있다.

- 전장 환경 요소 정보를 통합하여 관리할 수 있다.
- 플랫폼의 모델 간에 상호 교환해야하는 위치, 자세 등의 정보를 환경 모델에서 통합 관리하므로 다수의 플랫폼 모델 사이의 데이터 교환을 효율적으로 관리할 수 있다(Figs. 1, 2).
- 전장 환경 요소가 음향 정보에 주는 영향을 플랫폼 모델에서 계산하는 대신, 공간 모델이 계산함으로써, 플랫폼 모델이 단순화되는 동시에 보다 현실성 있는 시뮬레이션을 수행할 수 있다.
- 공간 모델이 관리하는 전장 환경 요소 정보, 플랫폼 모델 정보 등을 이용하여 각 플랫폼 모델 사이의 상호 작용이 발생하지 않는 시간을 미리 계산하고, 해당 시간을 건너뛰므로써 시뮬레이션 시간을 단축시킬 수 있다(Sarjoughian 등, 2001).

본 연구의 2장에서는 공간 모델에 대한 관련 연구 현황에 대해 소개한다. 3장에서는 본 연구에서 개발한 공간 모델의 구조에 대해 설명한다. 4장에서는 개발한 공간 모델의 기능을 검증하기 위해 수행한 수중운동체 교전 시뮬

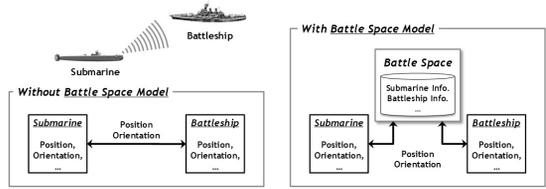


Fig. 1. Configuration of warfare simulation with two platform models

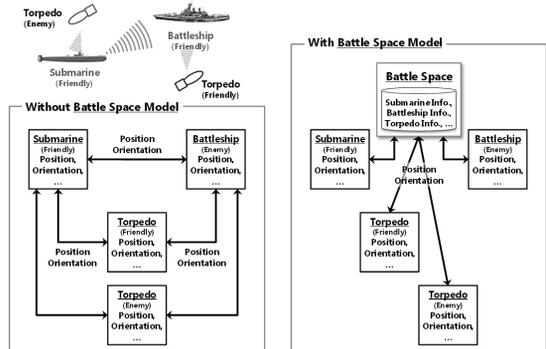


Fig. 2. Configuration of warfare simulation with four platform models

레이션에 대해 설명한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 계획을 기술한다.

## 2. 관련 연구 현황

전장 환경 요소를 묘사하기 위한 대표적인 방법으로는 SEDRIS (Synthetic Environmental Data Representation and Interchange Specification)가 있다(Foley 등, 1998). SEDRIS는 컴퓨터 안에서 현실 세계를 표현하기 위한 환경 데이터베이스의 구축을 위해 시작된 국제 표준화 활동인 동시에, 제정되고 있는 국제 표준 규격의 이름이다. SEDRIS는 같은 환경의 다른 관점(multiple view)에서의 표현을 지원, 데이터의 손실 없는 교환, 공통 데이터 표현 모델 구축, 설계와 구현 사이의 모순을 고려한 실제 관점의 표현, 정부, 산업계, 학교 사이의 협업 등을 목표로 현재 국제 표준을 제정하고 있다. 그러나 공학적 해석이 아닌 전술의 시험과 결정의 위한 다대다의 교전 시뮬레이션 측면에서 SEDRIS는 다소 방대한 양의 데이터를 제공하고 있다.

교전 시뮬레이션을 대상으로 하는 공간 모델로서 Ziegler 등(1999)과 Sarjoughian 등(2001)은 Fig. 3과 같이 Pro-

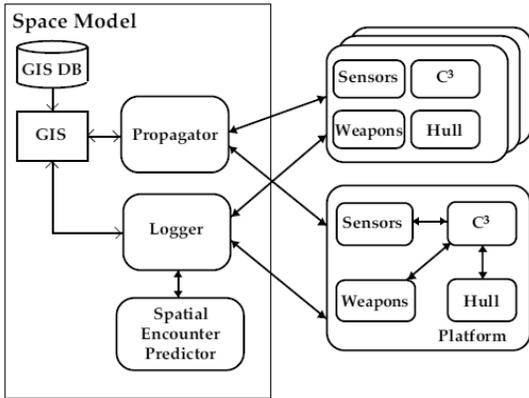


Fig. 3. Configuration of space model (Ziegler 등, 1999; Sarjoughian 등, 2001)

pagator, Logger, Spatial Encounter Predictor(SEP), Geographic Information System(GIS)의 4가지 모델로 구성된 공간 모델을 제안하였다. 각각의 모델은 다음과 같은 역할을 수행한다.

- Propagator: 각 플랫폼 모델의 공격과 발산하는 음향 신호를 영향 범위 내에 있는 다른 플랫폼 모델로 전달
- Logger: 각 플랫폼 모델의 위치 및 자세 정보 관리
- Spatial Encounter Predictor: 각 플랫폼 모델간의 상호 작용이 발생(encounter)하는 시점을 예측(predict)하여 상호 작용이 발생하지 않는 시뮬레이션 시간을 건너뛴
- Geographic Information System(GIS): 전장의 지형 정보를 관리

Ziegler 등과 Sarjoughian 등이 제안한 공간 모델은 플랫폼에서 발산하는 신호는 Propagator 모델이, 그리고 플랫폼의 현재 위치 정보는 Logger 모델이 담당한다. 그리고 이 둘 사이의 정보는 GIS 모델을 통해서 연계된다. 그러나 Propagator 모델에서 신호의 발산과 관련되는 연산을 수행하기 위해서는 Logger 모델에 저장하고 있는 플랫폼의 위치 정보를 필요로 하기에 두 모델을 직접 연결함으로써 효율을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

정찬호 등(2009)은 위 4가지 모델에 플랫폼 모델과의 데이터 교환 시 중개 역할을 담당하는 Selector 모델과 전장 환경 정보를 관리하는 Environment 모델을 추가하여 공간 모델을 Fig. 4와 같이 6개의 시뮬레이션 모델로 구성하였다. 그러나 추가한 Environment 모델은 GIS 모델

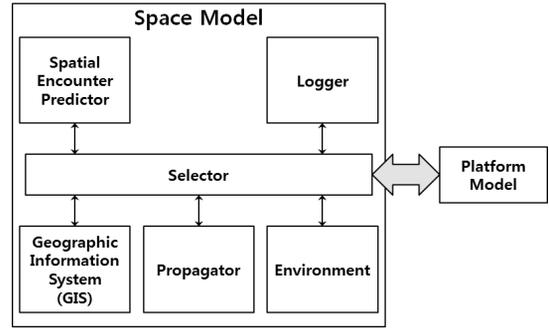


Fig. 4. Configuration of space model (정찬호 등, 2009)

과 다소 기능이 중첩되며, 실제로 플랫폼 모델과 연계가 필요한 기능을 가진 모델은 Propagator, Logger 모델이므로 추가한 Selector 모델의 기능이 두 모델에 다소 한정적이다.

한편, 사건에 따라 모델의 상태를 변경시키면서 시뮬레이션을 진행하는 것을 이산 시간 시뮬레이션, 모델이 특정 상태일 때는 단위 시간마다 상태 변수를 계산하여 시뮬레이션을 진행하는 것을 이산 시간 시뮬레이션이라고 하는데, Ziegler(2000)는 이산 시간/이산 사건 시뮬레이션을 효과적으로 구현할 수 있는 혼합형 시뮬레이션 모델 구조를 제안하였다. 방경운(2006)과 차주환 등(2008)은 Ziegler(2000)가 제안한 시뮬레이션 모델 구조를 참고하여 이산 사건과 이산 시간 시뮬레이션을 함께 처리할 수 있는 혼합형 시뮬레이션 커널을 개발하고, 조선 공정의 블록 탑재 시뮬레이션에 적용하였다.

본 연구에서는 방경운(2006)과 차주환 등(2008)이 개발한 시뮬레이션 커널을 사용하고, Zeigler 등(1999)과 Sarjoughian 등(2001)이 제안한 공간 모델의 구조를 적용하되 연결 관계를 일부 변경하였으며, 이를 이용하여 수중운동체 교전 시뮬레이션을 수행하였다.

### 3. 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조 기반 공간 모델 개발

#### 3.1 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조

Fig. 5는 방경운(2006)과 차주환 등(2008)이 개발한 시뮬레이션 커널의 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조를 나타내며, Table 1은 Fig. 5에서 표현된 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조의 구성 요소를 나타낸다.

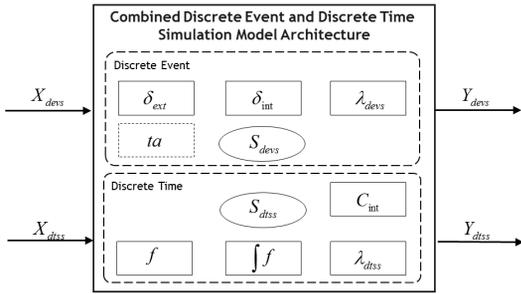


Fig. 5. Atomic model based on DEVS and DTSS formalism (방경운, 2006; 차주환 등, 2008)

Table 1. Component of atomic model based on DEVS and DTSS formalism (방경운, 2006; 차주환 등, 2008)

Content	Category	Description
$S_{devs}$	Discrete Event	States
$X_{devs}$	Discrete Event	Inputs
$Y_{devs}$	Discrete Event	Outputs
$\delta_{ext}$	Discrete Event	External transition function
$\delta_{int}$	Discrete Event	Internal transition function
$ta$	Discrete Event	Time advance function
$\lambda_{devs}$	Discrete Event	Output function
$S_{dtss}$	Discrete Time	States
$f$	Discrete Time	Integrand function
$\int f$	Discrete Time	Integral function
$\lambda_{dtss}$	Discrete Time	Output function
$C_{int}$	Discrete Time	State event function

이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조로 정의된 시뮬레이션 모델들은 시뮬레이션 엔진을 이용하여 함께 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 따라서 공간 모델을 플랫폼 모델과 동일하게 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조로 정의함으로써 기존 플랫폼 모델의 구조를 수정하지 않고 사용할 수 있다.

### 3.2 공간 모델의 구성 요소

공간 모델은 Fig. 6과 같이 Propagator Model, Logger Model, Geographic Information System(GIS) Model, Spatial Encounter Predictor(SEP) Model의 4개 모델로 구성된다. 공간 모델을 구성하는 4개의 모델은 모두 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조를 기반으로 정의되며, 각 모델이 수행하는 역할은 다음과 같다.

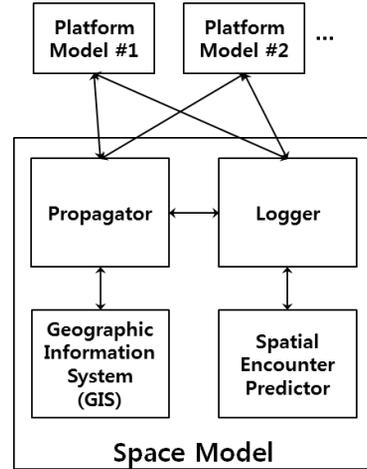


Fig. 6. Configuration of battle space model

#### 3.2.1 Logger Model

‘Logger Model’은 각 플랫폼 모델의 위치와 자세, 탐지 범위 등의 주요 정보를 관리하는 역할을 담당한다. Logger Model에서 관리하는 정보는 플랫폼 모델의 개략적인 상태를 나타내는 정보로써 매 단위 시간마다 플랫폼 모델로부터 해당 정보를 전달 받는다. 전달 받은 정보는 database에 저장되며 시뮬레이션 종료 후 시뮬레이션 재연(replay) 등에 사용될 수 있다. 또한 Logger Model은 Propagator Model과 SEP Model에서 요청하는 정보를 제공한다.

#### 3.2.2 Spatial Encounter Predictor(SEP) Model

수중운동체 교전 시뮬레이션이 시작되면 잠수함, 수상함 등의 플랫폼 모델은 초기 시작 위치에서 주어진 임무를 수행한다. 그러나 초기 상태에서부터 플랫폼 모델 간 상호 작용이 발생하기까지는 시뮬레이션 초기 입력 정보에 따라 많은 시간이 소요되기도 한다. SEP Model은 공간 모델 내에 존재하는 플랫폼 모델 간의 상호 작용(encounter)을 예측(predict)하고 시뮬레이션 시간을 상호 작용이 발생하는 시점까지 건너뛰는 역할을 담당한다. 현재 시뮬레이션 시간의 플랫폼 모델 간 상호 작용을 예측하기 위해 Logger Model에 저장되어 있는 각 플랫폼 모델의 상태 정보(위치, 자세, 센서 범위 등)를 활용한다. 효과도 분석과 같이 다수의 반복 시뮬레이션을 수행해야 하는 경우 SEP model을 이용하여 플랫폼 모델 간 상호 작용이 발생하지 않는 시뮬레이션 시간을 건너뛰면 보다 빠른 시간 내에 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다.

### 3.2.3 Geographic Information System(GIS) Model

GIS Model은 전장 내의 지형 정보와 환경 정보를 관리하는 모델이다. 전장의 지형 정보와 환경 정보는 사전에 정의되어 GIS database에 입력된다. GIS Model은 database에 저장된 전장 지형 정보와 전장 환경 정보를 가져와 Propagator Model과 각 플랫폼 모델로 해당 정보를 공급하는 역할을 담당한다.

### 3.2.4 Propagator Model

‘Propagator Model’은 각 플랫폼 모델의 공격에 의한 폭발과 플랫폼 모델이 발산한 소리에 대해 그 영향 범위 내에 있는 다른 플랫폼에게 해당 신호를 전달하는 역할을 한다. 예를 들어 잠수함의 경우 자체 소음이 수중 환경 내에서 방사되며, 이 소음을 근처에 위치한 수상함이 감지한다. 이 때 잠수함에서 발생한 자체 소음은 근처 수상함으로 전달되기까지 강도가 약해지고, 거리에 따른 시간차도 발생한다. 또한 수중 환경 내에 존재하는 교란 신호(noise)의 영향도 받는다.

Propagator Model은 각 플랫폼 모델에서 발산하거나 반사되는 소음(acoustic emission), 전자파(electromagnetic emission), 그리고 외부 공격에 의한 주변 폭발(explosion) 시 발생하는 압력파(pressure wave)를 근처의 플랫폼 모델로 전달하는 역할을 한다. 전달 시에는 중간 매개체에 해당하는 해수, 공기 등의 영향을 고려하여 전달 손실(propagation loss), 시간차(delay), 그리고 주변 환경에 의한 교란 신호 등을 반영한다. 여기서 전달 손실이란 소스 신호(source signal)가 대상까지 이동할 때 신호의 강도가 상쇄되는 것을, 시간차는 소스 신호가 발생한 지점에서 대상까지 이동하는데 걸리는 시간을 의미하며 두 항목은 전달 거리와 주변 환경의 특성에 따라 달라진다. Propagator Model 내에는 모델 내에 전달 손실, 시간차, 주변 환경에 의한 교란 신호 등을 반영하는 경험식 기반의 계산 모듈이 포함되어 있다.

### 3.3 공간 모델의 기능

수중운동체 교전 시물레이션 과정을 Fig. 7과 같이 설정하여 공간 모델을 구성하는 4개 모델의 기능을 개념적으로 설명하고자 한다.

시물레이션 시작 시 어뢰는 적함을 향해 어뢰를 발사하는 것으로 가정하였다. 발사된 어뢰는 어뢰의 탐지 반경 내에 적함이 위치할 때까지 직진하며, 어뢰의 탐지 반경 내에 적함이 위치한 이후부터는 탐색 작업을 수행한다.

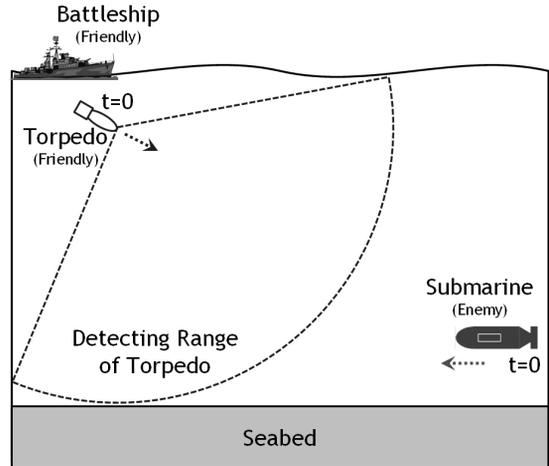


Fig. 7. Sequence of underwater warfare simulation using proposed model

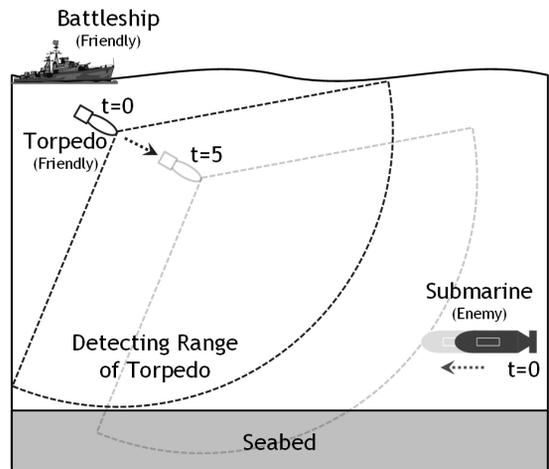


Fig. 8. Sequence of underwater warfare simulation using proposed model: before starting the simulation at t=0

#### 3.3.1 SEP Model을 이용하여 상호 작용이 발생하지 않는 시물레이션 시간을 건너뛸

시물레이션이 시작(t=0)되면 Logger Model은 각 플랫폼 모델들로부터 위치, 자세, 탐지 범위 등의 주요 정보를 전달 받아 database에 저장한다. SEP Model은 Logger Model에서 받은 각 플랫폼 모델의 주요 정보를 이용하여 플랫폼 모델 간에 상호 작용이 발생하는지 여부를 판단한다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 어뢰의 탐지 반경 내에 적함이 존재하지 않기 때문에 어뢰와 적함 간의 상호 작용이

발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서 SEP Model은 어뢰의 속도와 자세, 적함의 속도와 자세를 이용하여 적함이 어뢰의 탐지 반경 내에 들어오는 시간( $t=5$ )을 계산하고, 전체 시뮬레이션 시간을 상호 작용이 발생하는 시간으로 건너뛴다.

### 3.3.2 교전 시작 및 Propagator Model을 이용한 음향 신호의 교환

교전이 시작되면, Propagator Model은 플랫폼 모델에서 발생한 음향 신호가 다른 플랫폼 모델로 전달되기까지의 과정에 필요한 각종 계산을 수행한다(Fig. 9 참조).

예를 어뢰가 적함을 탐지하는 과정에서, Propagator Model은 적함(음원)이 발생시키는 음향 신호에 전달 손실, 자연 소음, 반향음을 반영하여 어뢰에 전달한다. 이때, 계산 시 필요한 각종 환경 정보는 GIS Model로부터, 플랫폼 모델 관련 정보는 Logger Model로부터 전달받는다. Fig. 9에서 표현한 어뢰의 탐지 과정 중 Propagator Model에서 계산되는 항목은 다음과 같다.

- 전달 손실(Propagation Loss): 음파가 수중에서 진행하는 과정에서 음파의 물리적 성질/환경적 요인에 의해 음파의 세기가 감소하는 것 (Fig. 9-②)
- 자연 소음(Ambient Noise): 해수의 흐름, 해상 교통, 해양 생물, 강우 등에 의해 발생하는 자연 수중 소음 (Fig. 9-③)
- 반향음(Reverberation): 경계면 또는 부유 물질에 의

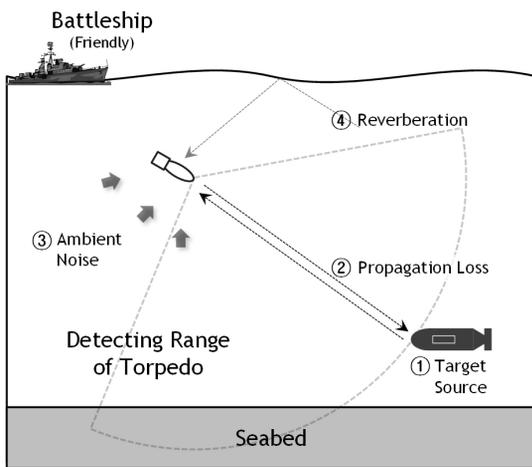


Fig. 9. Sequence of underwater warfare simulation using proposed model: exchange of signals using Propagator Model at  $t=5$

해 산란된 음파 중에서 입사 음파의 음원 방향으로 되 돌아오는 음파 (Fig. 9-④)

## 4. 공간 모델을 이용한 수중운동체 교전 시뮬레이션

하술 등(2009)은 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조와 엔진을 이용하여 어뢰의 표적 탐지 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구에서는 기존 연구에서 수행한 시뮬레이션을 동일하게 수행하되 아함 모델, 아어뢰 모델, 그리고 적함 모델로 구성되어 있던 기존의 시뮬레이션에 공간 모델을 추가하였다. 공간 모델을 포함하여 시뮬레이션을 수행한 후 그 결과를 기존 연구의 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

### 4.1 시뮬레이션 모델의 구성

어뢰의 표적 탐지 시뮬레이션은 아함, 아어뢰, 적함 모델과 공간 모델을 하위 모델로 가지고 있으며, 각각의 하위 모델은 이산 사건/이산 시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조로 정의하였다.

본 논문에서 제안한 공간 모델을 이용하면 각각의 플랫폼 모델을 다른 플랫폼 모델과는 상관없이 독립적으로 모델링할 수 있기에 전체 시뮬레이션 모델을 보다 효율적으로 구성할 수 있다. 기존 연구(하술 등, 2009)의 교전 시뮬레이션 모델 구성 시에는 아함의 주요 정보(위치/자세, 음향 신호, 방사 소음)들을 아어뢰와 적함에 모두 전달해야 했다. 그 결과 기존 연구에서는 아함, 아어뢰, 적함 간의 정보 전달을 위해 36( $6 \times 2 \times 3$ )개의 입출력 연결 관계

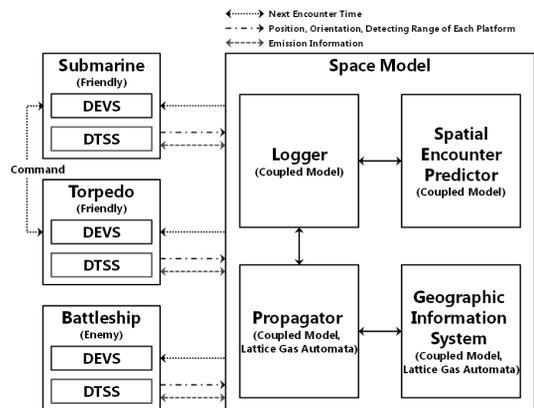


Fig. 10. Configuration of underwater warfare simulation using the battle space model proposed in this paper

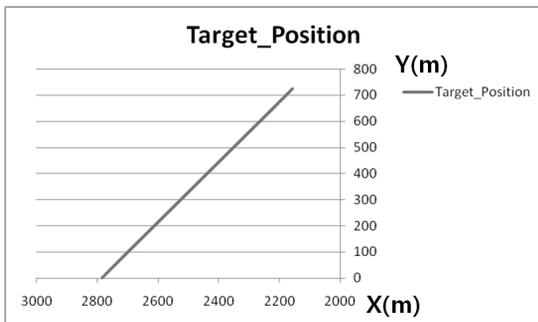
가 필요했다. 그러나 본 논문에서는 공간 모델을 이용함으로써 각각의 플랫폼은 오직 공간 모델과 정보를 교환하였으며, 그 결과 입출력 연결 관계는 18(6×3)개로 줄어들었다. 따라서 플랫폼 모델이 다수 포함되는 다대다 교전 시뮬레이션에 공간 모델을 이용한다면 효율이 더 증대될 것으로 기대된다.

#### 4.2 시뮬레이션 실행 및 결과 분석

앞서 구성한 시뮬레이션 모델을 이용하여 Table 2와 같이 초기 입력 값을 설정한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 실행 후 시뮬레이션 시 적용한 어뢰의 탐색 방법이나 표적의 위치 변화가 올바르게 적용되는가를 검증하기 위해 적합과 어뢰의 위치를 매 단위 시간마다 출력하여 그래프로 나타내었다.

**Table 2.** Initial values of underwater warfare simulation (하술 등, 2009)

Variables	Values
Torpedo speed	40 knots
Search pattern	Snake search
Detection range	1,500m
Ping repetition interval	2s
Beam width(transmission)	30°
Beam width (reception)	40°
Target speed	15 knots
Target dimension (Length×Breadth×Depth)	80 × 7 × 7m
Maximum attack range	3,000 m
Turn rate	6°/sec
Sweep angle	30°
Unit simulation time	0.05초



**Fig. 11.** Simulation result: change of target's position

#### 4.2.1 적합의 위치 변화

적합은 가정에 따라 속도와 진행 방향이 변하지 않기 때문에 초기 속도와 초기 공격각을 유지한 채 직진 운동을 한다. Fig. 11은 시뮬레이션 수행 과정에서 공간 모델 내 Logger Model을 이용하여 저장되는 적합의 위치 정보를 출력하여 그래프로 나타낸 것이다.

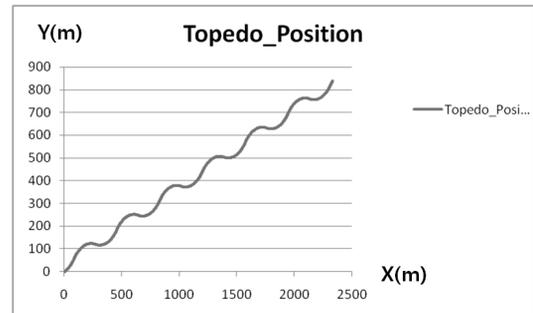
#### 4.2.2 아어뢰의 위치 변화

아어뢰는 Table 2에 나와 있는 기본 값을 바탕으로 특정 sweep 각(30°)과 선회 각속도(6°/sec)에 따라 선회 속도를 가지면서 운동한다. Fig. 12는 시뮬레이션 수행 과정에서 공간 모델 내 Logger Model을 이용하여 저장되는 아어뢰의 위치 정보를 출력하여 그래프로 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과를 통해 공간 모델을 적용하기 전의 시뮬레이션 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

#### 4.2.3 시뮬레이션 실행 시간의 비교

공간 모델과 공간 모델 내부의 SEP 모델에 대한 효율성을 검증하기 위해 기존 연구(하술 등, 2009)의 내용을 이용한 시뮬레이션 실행 시간과 본 논문에서 제안한 공간 모델을 이용한 시뮬레이션 실행 시간을 비교하였다. 시뮬레이션 반복 회수는 1,000회로 설정하였으며 공간 모델을 사용



**Fig. 12.** Simulation result: change of torpedo's position

**Table 3.** Comparison of execution time

Contents	Execution Time (s)	Ratio
Without Battle Space Model	15,932 s	1.00
With Battle Space Model (without SEP model)	13,318 s	0.84
With Battle Space Model (with SEP model)	12,581 s	0.79

하지 않을 때, SEP 모델이 포함되지 않은 공간 모델을 사용할 때, 그리고 SEP 모델이 포함된 공간 모델을 사용할 때의 실행 시간을 측정하였으며 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3에서 볼 수 있듯이 공간 모델을 사용할 때 총 시뮬레이션 소요 시간이 약 16% 정도 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 DEVS 모델의 입출력 연결 관계 감소로 인해 내부적으로 메시지의 입출력이 기존 연구에 비해 줄어들어 발생한 것으로 예상된다. SEP 모델을 활성화 하면 총 시뮬레이션 소요 시간이 약 5% 정도 추가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 초기 아함과 적함의 위치가 근거리에 위치하기에 감소의 정도가 다소 미미하였으나, 넓은 교전 환경에서 다대다 교전 상황을 시뮬레이션할 때는 효과가 더 클 것으로 예상된다.

## 5. 결론 및 향후 연구 계획

본 연구에서는 전장 환경 정보와 시뮬레이션에 참가하는 플랫폼 모델들의 상호 교환 정보를 통합하여 관리하는 공간 모델을 제안하였다. 공간 모델을 사용하여 시뮬레이션에 필요한 정보를 통합 관리함으로써 플랫폼 모델을 보다 간단하게 구성할 수 있었으며, 상호 작용이 발생하지 않는 시뮬레이션 시간을 건너뛰어 시뮬레이션의 효율성을 향상시킬 수 있었다. 또한 전장 환경 요소가 음향 정보에 주는 영향을 플랫폼 모델에서 계산하는 대신 공간 모델이 계산함으로써 보다 현실성 있는 시뮬레이션을 수행할 수 있었다. 공간 모델을 적용하여 수중운동체 교전 시뮬레이션을 수행하고 이를 통해 공간 모델의 기능을 검증하였다. 향후에는 공간 모델의 기능을 보다 세분화하여 수중운동체 교전 시뮬레이션에 필요한 수중 음향 관련 요소를 상세하게 반영할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 (a) 지식경제부 산업원천기술개발사업 (10035331, 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산 기술 개발), (b) 서울대학교 공학연구소, (c) 서울대학교 해양시스템공학 연구소의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부를 밝히며, 이에 감사드립니다.

## References

1. Bang, K.W. (2006), Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Framework for Shipbuilding Process Planning, Master Thesis, Seoul National University, Seoul, South Korea.
2. Jung, C.H., You, Y.J., Ryu, H.E., Lee, J.S., Chi, S.D., and Kim, J.I. (2009), "Multi-Platform Warship M&S System Using the Multi-Agent System", *Proceedings of 2009 Spring Conference of the Korea Society For Simulation*, pp. 271-281.
3. Chi, S.D., You, Y.J., Jung, C.H., Lee, J.S., and Kim, J.E. (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.
4. Cha, J.H., Roh, M.I., Bang, K.W., and Lee, K.Y. (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.
5. Ha, S., Lee, K.Y., Cha, J.H., and Lee, H.J. (2009), "Analysis of Detecting Effectiveness of a Homing Torpedo using Combined Discrete Event & Discrete Time Simulation Model Architecture", *Proceedings of 2009 Spring Conference of the Korea Society For Simulation*, pp. 179-191.
6. Chi, S.D., You, Y.J., Jung, C.H., Lee, J.S., and Kim, J.I. (2009), "FAMES - fully agent-based modeling & emergent simulation", *Proceedings of the 2009 Spring Simulation Multiconference*, pp. 1-8.
7. EDS Defence Limited (1993), *THOR - Torpedo Engagement Simulation Model Commercial Version E2: Functional Specification*, 1C07065/CE2/D1, EDS Defence Limited.
8. Foley, P. G., Mamaghani, F., and Birkel, P. A. (1998), The Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification (SEDRIS) Development Project, *Proceedings of the interservice/industry training, simulation, and education conference (IITSEC)*.
9. Sarjoughian, H.S., Zeigler, B.P., and Hall, S.B. (2001), "A layered modeling and simulation architecture for agent-based system development", *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, no. 2, pp. 201-213.
10. Urlick, R.J. (1996), *Principles of Underwater Sound*, 3rd Edition, Peninsula Pub.

11. Zeigler, B.P., Hall, S.B., and Sarjoughian, H.S. (1999), "Exploiting HLA and DEVS to promote interoperability and reuse in lockheed's corporate environment", *Simulation*, Vol. 73, No. 5, pp. 288-295.

12. Zeigler, B.P., Praehofer, H., and Kim, T.G. (2000), *Theory of Modeling and Simulation*, Academic Press New York, NY.



**하 솔** (hasol81@snu.ac.kr)

2003 서울대학교 조선해양공학과 학사  
2013 서울대학교 조선해양공학과 박사  
2013.3~현재 서울대학교 공학연구소 선임연구원

관심분야 : 해양 플랜트 설계 최적화, 모델링&시뮬레이션, 수중운동체(잠수함, 어뢰) 교전 시뮬레이션, 격자 기반 시뮬레이션(Cellular Automata, Lattice Gas Automata, Lattice Boltzmann Method)



**구 남 국** (knk80@snu.ac.kr)

2004 서울대학교 조선해양공학과 학사  
2012 서울대학교 조선해양공학과 박사  
2012~현재 서울대학교 해양기술인력양성사업단/공학연구소 선임연구원

관심분야 : 해양플랜트 설계 및 생산, 다물체계 동역학 및 제어, 용접/전처리 로봇



**이 규 열** (kylee@snu.ac.kr)

1971 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사  
1975 독일 하노버 공과대학 조선공학 석사(Dipl.-Ing.)  
1982 독일 하노버 공과대학 조선공학 박사(Dr.-Ing.)  
1975~1983 독일 하노버 공과대학 선박설계 및 이론연구소, 주정부 연구원  
1983~1994 한국기계연구원 선박해양공학연구센터, 선박설계, 생산자동화 연구사업(CSDP) 단장  
1994~2000 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 부교수  
2000~2013 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수  
2013.3~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 명예교수 및 공학연구소 책임연구원

관심분야 : 최적 선박 설계, 형상 모델링, Offshore structure, Dynamics & control



**노 명 일** (miroh@snu.ac.kr)

1998 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 학사  
2000 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 석사  
2005 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 박사  
2005~2007 서울대학교 공학연구소/해양시스템공학연구소 선임연구원  
2007~2012 울산대학교 조선해양공학과 조교수  
2013~현재 서울대학교 조선해양공학과 부교수

관심분야 : 전산선박설계 및 생산, 시뮬레이션 기반 설계 및 생산, 최적 설계, 해양구조물 설계