

H-DsM : 하이브리드 시스템 검증을 위한 HILS 지원 분산 시뮬레이션 미들웨어

H-DsM: Distributed Simulation Middleware with HILS for Hybrid System Verification

이 승 기*, 윤 성 진*, 김 한 진*, 김 원 태*[★]

Seung-Gi Lee*, Seong-jin Yun*, Han-jin Kim*, Won-Tae Kim*[★]

Abstract

As interest in the 4th Industrial Revolution increases, the CPS, in which things existing in the reality and things existing in the virtual interact with each other, is attracting attention as an important technology. Complex systems such as electric vehicles, autonomous driving, smart factories, and smart grid system are considered as core technology fields of the 4th Industrial Revolution, and many types of research have been conducted to develop it. The reliability of the system is directly related to the safety of people in case of the autonomous driving, and verification of the actual vehicle's hardware and software of ADAS is essential. In this paper, we proposed distributed simulation middleware supporting HILS for reliable verification of the complex hybrid systems.

요 약

4차 산업혁명에 대한 관심이 높아지면서, 현실에 존재하는 요소들과 가상에 존재하는 요소들이 상호작용 하는 CPS 라는 개념이 중요한 기술로 주목받고 있다. 전기자동차, 자율주행, 스마트 팩토리나 스마트 그리드 시스템과 같은 복잡한 구조를 가진 시스템들은 4차 산업혁명의 핵심 기술 분야로 간주되고 있으며, 이를 개발하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 시스템 구성요소들의 복잡한 연결은 개발을 어렵게 하고, 개발의 신뢰성을 보장하기 쉽지 않다. 시스템의 신뢰성은 자율주행자동차 경우 사람의 안전 직결되며 실제 자동차의 하드웨어와 ADAS의 소프트웨어의 연결된 검증이 필수적이다. 본 논문에서는 복잡한 하이브리드 시스템의 신뢰성 있는 검증을 위해 HILS를 지원하는 분산 시뮬레이션 미들웨어를 제안한다.

Key words : ADAS, CPS, HILS, DDS, FMI, SDN

* Dept. of Computer Science and Engineering, Koreatech University

★ Corresponding author

E-mail : wtkim@koreatech.ac.kr, Tel : +82-41-560-1485

※ Acknowledgment

This work was supported by the Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) (No. 2018-0-01456-001), and by the National Research Foundation of Korea (No. 2017010875) from the Korea government (MSIP).

Manuscript received Dec. 7, 2018; revised Dec. 18, 2018; accepted Dec. 19, 2018

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

1. 서론

최근 현실에 존재하는 요소와 가상에 존재하는 요소들이 복합적으로 통합되어 동시에 동작하는 CPS(Cyber-Physical System)라는 아키텍처가 제시되었고, 복잡한 구조를 가지는 전기자동차, 자율주행 등의 하이브리드 시스템의 개발에 적용되고 있는 추세이다[1]. 특히나 4차 산업혁명에서 전기자동차의 하이브리드 시스템이나 자율주행을 위한 ADAS(Advanced Driving Assistance System) 등의 중요성이 커지고 있다. 하지만, 이 시스템들을 이루는 구성 요소들은 거대하고 복잡하게 얽힌 관계를 가지고 있다. 이처럼 복합적인 시스템은 개발

을 하는 데 많은 시간과 비용을 소모해야 하고 시스템의 복잡한 구성은 개발을 한층 더 어렵게 하기 때문에 결과적으로 완성된 제품을 신뢰할 수 있는지에 대한 문제가 생긴다. 또한, 하이브리드 시스템이나 ADAS 등의 시스템은 계속적으로 발전이 되고 있으며, 자동차의 ECU(Electronic Control Unit) 같은 제어장치들의 복잡도가 더 증가 하고 있다.

다양한 모델링 환경을 가진 복잡한 시스템을 개발하기 위해선 시스템 성능의 정확한 검증을 위해 시스템의 구성요소 마다 동작하는 시뮬레이션 간의 신뢰성 있는 연동을 지원해야 한다. M&S(Modeling and Simulation) 기술은 전기자동차나 자율주행의 ADAS와 같은 기술 연구 및 개발에 널리 이용된다. M&S를 이용하면 복합적인 시스템 개발에 필요한 구성요소들을 실제로 구축할 필요 없이 시스템의 동작을 연구하는데 도움을 줄 수 있다. FMI는 이종 시뮬레이션 모델링 환경에서 만들어진 모델의 교환이나 모델 간 연결을 위한 인터페이스 표준이다[2-3]. 또한 시뮬레이션 모델의 재사용성을 높이고 이종 시뮬레이션 모델 간의 상호 호환성을 제공하여 모델 교환, 동시 시뮬레이션 기능을 제공한다. FMI 표준을 준수하여 만들어진 모델은 FMU라고 하며 FMI 인터페이스를 통해 FMU 모델을 읽어와 각각의 시뮬레이션 환경에서 사용할 수 있도록 하거나 FMU에 내장된 시뮬레이션 솔버(Solver)를 활용하여 여러 FMU들이 연결된 연동 시뮬레이션 환경을 구성할 수 있다. 또한 분산되어있는 이종 시뮬레이션들은 서로 상호작용 하기 위해 데이터 교환이 이루어져야 하며, 정확하고 빠른 데이터 교환을 위해서 DDS(Data Distribute System), HLA/RTI(High Level Architecture/Real Time Infrastructure)와 같은 기술을 사용할 수 있다[4]. 모델 연동 기술을 통해 서로 다른 환경에서 동작하는 시뮬레이션들을 연결시키고, 자동차의 ECU같은 실제 하드웨어를 HILS를 통해 시뮬레이션 가능하다면, 정확한 분산 시뮬레이션이 가능할 것이다. 본 연구에서는 HILS 검증을 지원하는 분산 시뮬레이션 미들웨어(H-DsM : Distributed Simulation Middleware with HILS for Hybrid System Verification)를 제안하여 다양한 환경에서 분산되어 동작하는 시뮬레이션을 지원하고 높은 신뢰도를 가지는 시스템 개발에 기여한다.

본 논문의 2장에서는 분산 시뮬레이션을 이용한

개발의 신뢰성을 검증한 기존 연구 사례와 실시간 연동을 위해 사용한 시뮬레이터들 간의 통신 방식에 대해서 조사한다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 미들웨어의 설계, 시스템 전체 아키텍처와 그 세부사항들을 설명한다. 4장에서는 검증 시나리오를 설정하여 실험을 진행하고 그 결과를 확인한다. 마지막 5장에서 본 연구의 결론을 내린다.

II. 관련 연구

*Yun*은 시뮬레이션을 이용해 이종 간 생산 시설들이 서로 상호작용 할 수 있도록 표준화를 수행하는 연구를 진행 하였다[5]. 또한 중앙 집중형 디지털 트윈의 자원과 에너지 낭비를 해결하기 위해 분산된 대 규모의 디지털 트윈 환경을 제안 하였으며, 이를 위해 분산된 트윈 간 데이터 통신 미들웨어 메커니즘을 설계 하였다. 제안한 플랫폼을 검증할 수 있는 시나리오를 제안하여, 그 적합성을 주장하였다. 하지만 HILS와의 구체적인 통신을 고려하지 않기 때문에 하드웨어 기반의 검증 시뮬레이션은 불가능 하다는 단점이 있다.

*Hong*은 CPS 기반으로 동작하는 LVC(Live Virtual Constructive)를 연구 하였다[6]. L, V, C는 각각 다른 시간도메인, 해상도와 동작방식을 갖는 특성상 연동 gateway를 통한 시뮬레이션 동기화가 매우 중요하다. LVC의 동기화를 위해 DDS 기반의 L과 HLA/RTI 기반의 V와 C를 연동하는 방안을 제안 하였고, 실제 응용을 개발하여 제안한 동기화 방식을 검증 하였다. 결과적으로는 더 신뢰성이 있는 L의 DDS에 V와 C의 HLA/RTI의 시간을 맞추므로써 동기화를 하였고, 실시간성에 있어서 DDS의 우수성을 입증 하였다.

III. 본론

3.1 시스템 개요

H-DsM을 설계하기 위한 전체적인 구조를 정의한다. 복합적인 시스템을 개발하기 위해 실제 존재하는 구성 요소들과 각각의 구성 요소들에 대응하는 시뮬레이션이 존재하여 대규모의 시스템을 여러 개로 분산된 시뮬레이션들로 나타낼 수 있다.

예를 들어 전기자동차의 구성 요소는 배터리 모듈이나 브레이크 모듈이 될 수 있으며, 이들은 서

로 연계되어 HILS를 통해 테스트 할 수 있다. 분산 시뮬레이션을 지원하기 위해 시뮬레이션 적응 계층이 필요하다. 시뮬레이션 적응 계층을 통하여 각 시뮬레이션 세션의 모델 및 파라미터를 설정할 수 있고, 시뮬레이션 간 상호작용을 위해 데이터 통신 제어 기능을 제공한다. 분산된 시뮬레이션들의 데이터 교환을 위해 DDS가 사용되고, DDS는 QoS를 만족시키기 위해 SDN(Software Defined Network)을 기반으로 동작한다. 또한 HILS를 수행하기 위해 이종 네트워크를 활용하고 있는 검증 타겟 하드웨어의 적응 계층이 포함된다. 전체적인 시스템의 구조는 그림 1과 같다.

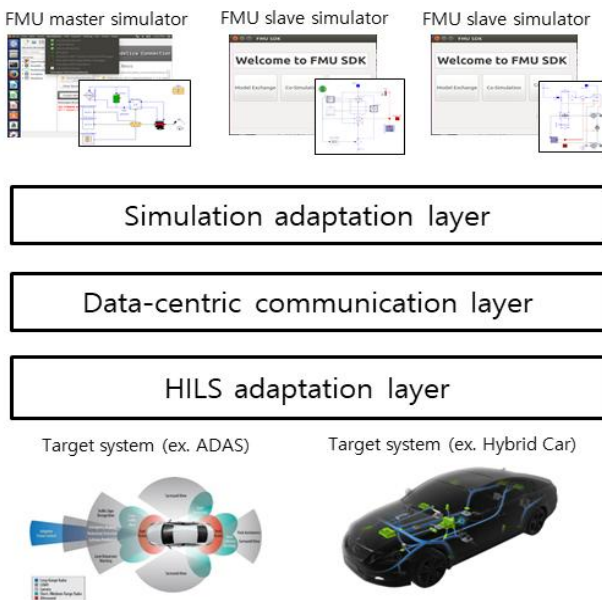


Fig. 1. The design of H-DsM.
그림 1. H-DsM의 설계

3.2 시뮬레이션 적응 계층

시뮬레이션 적응 계층(Simulation adaptation layer) 계층은 분산 시뮬레이션 진행을 위하여 시뮬레이션 세

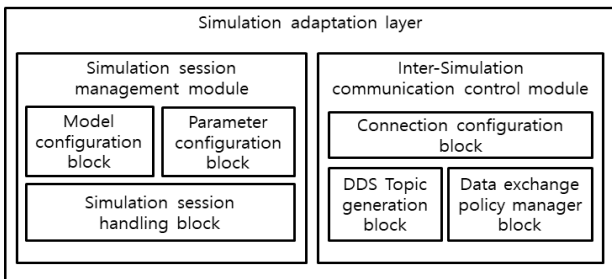


Fig. 2. Simulation adaptation layer.
그림 2. 시뮬레이션 적응 계층

션 관리 모듈(Simulation session manager)과 시뮬레이션 간 통신 제어 모듈(Simulation communication control module)을 가지고 있다. 시뮬레이션 적응 계층의 구성은 그림 2와 같다.

3.2.1 시뮬레이션 세션 관리 모듈

시뮬레이션 세션 관리 모듈은 검증하고자 하는 시스템을 분산 시뮬레이션 화 시켰을 때 생성되는 여러 시뮬레이션들의 관리를 위한 모듈 이다. 검증하고자 하는 시스템의 시뮬레이션 환경을 만들기 위해 모델 설정 블록(Model configuration block)에서는 사용자가 입력한 시뮬레이션 모델 정보들을 처리하여 시뮬레이션에 참여하게 될 시뮬레이션 모델들을 설정할 수 있도록 지원 한다. 또한, 각 시뮬레이션 모델들이 상호작용 할 수 있도록 파라미터 설정 블록(Parameter configuration block)에서는 각 모델별로 시뮬레이션 파라미터를 설정하는 기능을 제공해 준다(예, 시뮬레이션 스텝 사이즈, 시뮬레이션 시간). 마지막으로 시뮬레이션 세션 처리 블록(Simulation session handling block)에서는 모델 설정 블록, 파라미터 설정 블록과 데이터 교환 관리 모듈로부터 전달받은 시뮬레이션의 모델 정보, 시뮬레이션 파라미터, DDS 토픽, 데이터 교환 정책을 반영하여 각 시뮬레이션 모델들끼리의 의존성을 정하고 각각의 시뮬레이션 모델들의 수행 상태 관리 및 시뮬레이션 결과를 취합한다.

3.2.2 시뮬레이션 간 통신 제어 모듈

시뮬레이션 간 통신 제어 모듈은 시뮬레이션 세션에 참여하는 시뮬레이터 모델 간 데이터 교환 관리 및 데이터 전송 제어 기능을 제공한다. 연결 설정 블록(Connection configuration block)에서 시뮬레이션 세션에 참여하는 구성요소 간의 변수 연결 관계를 설정하여 상호작용을 시작하거나 연결을 해제하여 연관성을 없애는 작업을 한다. DDS 토픽 생성 블록(DDS Topic generation block)은 연결 설정 블록을 통해 사용자가 설정한 구성요소들의 변수 간 연결 관계를 통하여 각 시뮬레이션 모델들이 주고받을 데이터 형태인 DDS Topic을 IDL 형태로 정의하고, 이를 처리하여 시뮬레이션에서 사용할 수 있도록 한다. 데이터 교환 정책 관리 블록(Data exchange policy manager block)에서는 각 모델별 설정된 시뮬레이션 스텝 사이즈나 시뮬레

이선 입력 값의 분석을 통하여 각 시뮬레이션 모델 간 데이터 교환 주기를 제어하고 데이터 교환이 효과적으로 이루어질 수 있도록 지원 한다.

3.3 데이터 중심 통신 지원 계층

데이터 중심 통신 지원 계층(Data-centric communication layer)는 미들웨어를 통해 연결된 시뮬레이터, HILS 타겟 시스템과 같은 분산 시뮬레이션 환경의 개체들 사이의 통신 기능을 제공해 준다. DDS 기반의 데이터 중심 발간/구독 환경을 구성하여 시뮬레이션 적용 계층과 HILS 적용 계층을 통해 정의된 DDS 토픽 기반의 데이터 교환을 가능케 한다. DDS에서 제공하는 21종의 QoS 정책을 활용하여 HILS 지원 분산 시뮬레이션 데이터 교환을 위한 네트워크 요구사항을 정의한다. 하지만 DDS는 QoS 정책을 활용해 설정된 네트워크 요구사항의 만족 여부에 대해서는 보장하지 못하고 있다. HILS 지원 분산 시뮬레이션 환경을 위해서는 설정된 네트워크 요구사항들이 반드시 만족되어야 하는데, 이러한 한계점을 보완하기 위하여 소프트웨어 기반의 네트워크 제어 기술인 SDN을 적용한다[7]. 이를 활용하여 분산 시뮬레이션에 참여하는 개체들이 요구하는 DDS QoS 정보들을 수집해서 이를 만족시킬 수 있도록 네트워크 라우팅 설정을 수행한다. 그림 3.는 SDN 기반의 제안 미들웨어를 활용한 통신 환경 구조도이다.

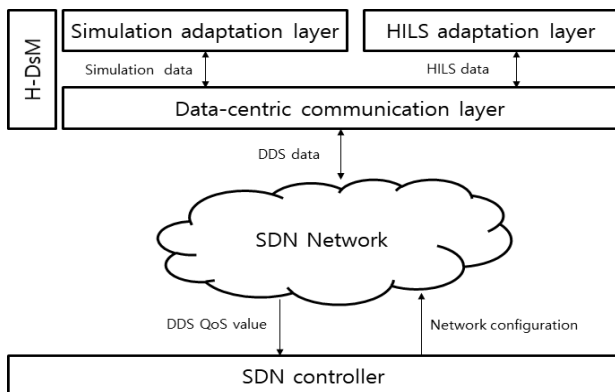


Fig. 3. SDN-based H-DsM.
그림 3. SDN 기반의 H-DsM

3.4 HILS 연동을 위한 하드웨어 적용 계층

HILS 연동을 위한 하드웨어 적용 계층(HILS Adaptation Layer)은 아래 그림 4와 같이 구성되며, 이종 네트워크를 사용하는 하드웨어와 데이터

중심 통신 미들웨어를 중심으로 구성되는 분산 시뮬레이션 검증 프레임워크와의 연동 기능을 제공한다. 발간/구독(Publish/Subscribe) 인터페이스와 이종 네트워크(CAN, Ethernet) 인터페이스를 통하여 각각 검증 프레임워크로부터의 데이터와 HILS 대상 하드웨어로부터 데이터를 받는다. 그 후 각각의 데이터는 HILS 메시지 처리 모듈(HILS message handler module)을 통하여 메시지 분석이 수행되고 전달 대상이 사용하고 있는 네트워크에 적합한 형태로 메시지를 가공하여 이종 네트워크 간 데이터 교환이 일어날 수 있도록 돕는다.

3.4.1 HILS 메시지 처리 모듈

HILS 메시지 처리 모듈은 시뮬레이션에서 전달된 DDS 데이터와, 검증 타겟 하드웨어로부터 전달된 데이터를 처리하여 핸들링 하는 기능을 제공한다. DDS 토픽 처리 블록(DDS Topic handling block)은 검증 프레임워크에서 사용하는 데이터 중심 통신 미들웨어의 데이터 구조체인 토픽을 처리하는 블록으로 전달된 데이터를 분석하고, 이종 네트워크 적용 계층으로부터 전달된 데이터를 DDS 토픽에 담아 Publish 할 수 있도록 지원 한다.

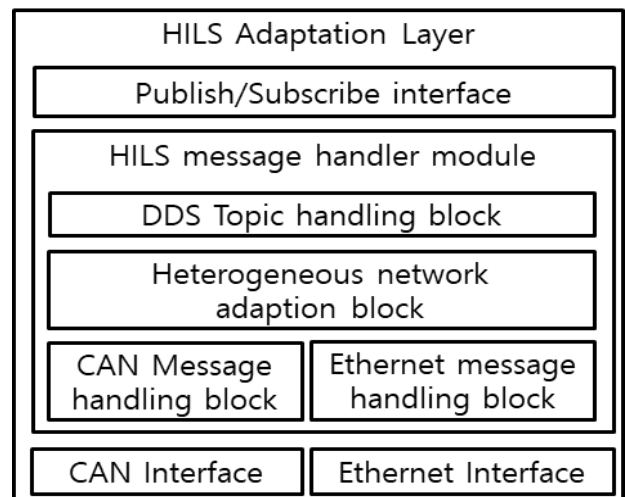


Fig. 4. Hardware adaptation layer for HILS interworking.
그림 4. HILS 연동을 위한 하드웨어 적용 계층

이종 네트워크 적용 블록(Heterogeneous network adaption block)에서는 연결된 하드웨어가 사용하는 네트워크 인터페이스를 인식하여 전달된 데이터를 적합한 메시지 형태로 변환하는 기능을 제공한다. CAN 메시지 처리 블록(CAN message handling

block)은 CANBUS 네트워크를 사용하는 검증 대상 하드웨어로부터 전달된 데이터 데이터 파싱과 CAN 인터페이스를 통하여 이종 네트워크 적응 블록에서 전달된 데이터의 전송 처리 기능을 제공한다. Ethernet 메시지 처리 블록(Ethernet message handling block)은 Ethernet 네트워크를 사용하는 검증 대상 하드웨어로부터 전달된 데이터를 파싱하는 기능과 Ethernet 인터페이스를 통하여 이종 네트워크 적응 블록에서 전달된 데이터의 전송 처리 기능을 제공한다.

IV. 구현

4.1 시뮬레이션 구성을 위한 유저 인터페이스

시뮬레이션 적응 계층에서 분산 시뮬레이션 진행을 위한 모델들의 구성 정보를 UI 환경을 통해 설정할 수 있다. 아래 그림 5와 같이 3가지의 UI 예시가 있으며, 모델 설정 블록, 파라미터 설정 블록과 연결 설정 블록에서 수행하는 작업들을 처리할 수 있다.

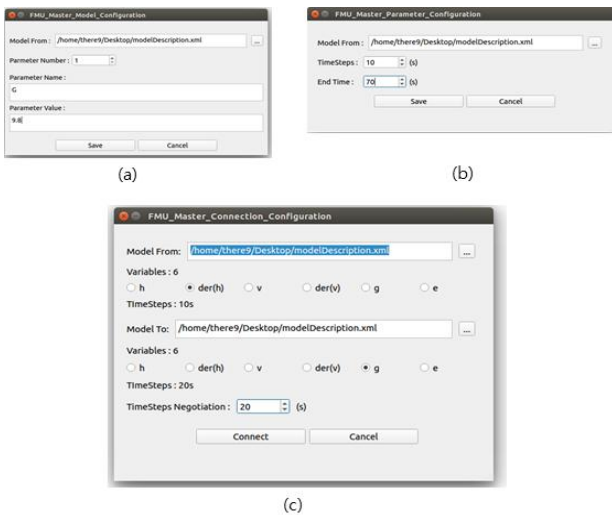


Fig. 5. (a) Parameter configuration block UI
 (b) Simulation session handling block UI
 (c) Connection configuration block UI.
 그림 5. (a) 모델 설정 블록 UI (b) 파라미터 설정 블록 UI
 (c) 연결 설정 블록 UI

4.2 구현 및 결과

본 연구에서 제안한 H-DsM의 실용성을 검증하기 위해 한 시뮬레이터의 파라미터 값을 다른 시뮬레이터에게 전달하는 간단한 분산 시뮬레이션을

구성하였다. 분산 시뮬레이션을 위하여 시뮬레이션을 수행하고자 하는 타겟 모델을 세 부분으로 나누어서 세 개의 FMU를 구성하였다. 각 FMU들의 분산 동시 시뮬레이션을 위하여 그림 5와같이 구성된 GUI를 통해 시뮬레이션 연결, 단위, 타임스텝 등의 시뮬레이션을 위한 파라미터들을 설정하였다. 이러한 구성 과정을 통하여 3개의 FMU들은 H-DsM을 활용하여 분산 동시-시뮬레이션을 수행할 수 있게 된다. H-DsM 기반의 분산 동시-시뮬레이션은 그림 6과같이 수행된다.

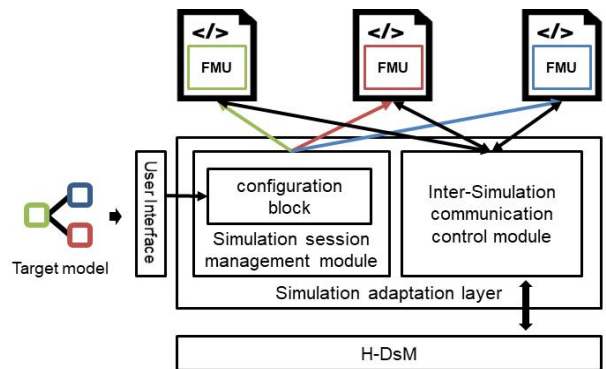


Fig. 6. Distributed real-time simulation testing example.
 그림 6. 분산 동시-시뮬레이션 테스트 예시

아래의 그림 7은 제안한 H-DsM을 활용하여 수행한 분산 동시-시뮬레이션의 구현을 보여준다. 3개의 FMU를 연동하기 위하여 하나의 시뮬레이션 마스터와 두개의 시뮬레이션 슬레이브를 구성하였다. 각 분산된 시뮬레이션은 0.1초의 시간 단위를 시뮬레이션 스텝으로 가지며 H-DsM을 통하여 스텝마다 지정된 시뮬레이션 파라미터의 데이터를 교환한다.

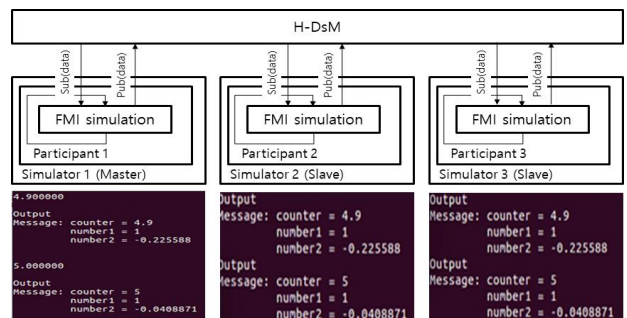


Fig. 7. Result of distributed simulation using H-DsM.
 그림 7. H-DsM를 이용한 분산 시뮬레이션 구현 결과

V. 결론

본 연구에서는 하이브리드 시스템 검증을 위한 HILS 지원 분산 시뮬레이션 미들웨어(H-DsM)을 제안하였다. 전기자동차와 자율주행의 ADAS와 같이 복합적인 시스템을 개발하는데 ECU들의 연동이 어렵고 완성된 시스템의 검증을 하는 것은 쉽지 않다. 제안한 H-DsM은 HILS 적용 계층을 이용하여 각 하드웨어의 소프트웨어적 시뮬레이션을 가능하게 하였고, 데이터 중심 통신 지원 계층을 통해 ECU들의 연동 시뮬레이션을 지원할 수 있다. 이러한 장점은 전기자동차, 자율주행 시스템, 스마트 팩토리 및 스마트 그리드 시스템과 같은 4차 산업혁명의 핵심 기술 분야의 개발에 적용되어 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] R. Baheti, and H. Gill, "Cyber-physical systems," *The impact of control technology*, vo 12, pp.161-166, 2011.
- [2] T. Blochwitz, et al, "The functional mockup interface for tool independent exchange of simulation models," *Proceedings of the 8th International Modelica Conference*, 2016. DOI:10.3384/ecp11063105}
- [3] J. Bastian, C. Clauß, S. Wolf and P. Schneider, "Master for co-simulation using FMI," *Proceedings of the 8th International Modelica Conference*, No. 63. 2011.
- [4] M. G. Valls, P. J. Domínguez and I. E. Touahria. "Using DDS middleware in distributed partitioned systems," *ACM SIGBED Review* vo 14, no.4, pp.14-20, 2018. DOI:10.1145/3177803.3177806
- [5] S. J. Yun, J. H. Park, and W. T. Kim. "Data-centric middleware based digital twin platform for dependable cyber-physical systems," *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2017 Ninth International Conference on. IEEE*, 2017. DOI:10.1109/ICUFN.2017.7993933
- [6] X. Luo, D. Zhang, L. T. Yang, J. Liu, X. Chang and H. Ning, "Time Synchronization Scheme of Cyber-Physical Systems for Military Training Systems," *KICS*, vo 41. no 12, pp.1814-1823, 2016.
- [7] L. Bertaux, A. Hakiri, S. Medjah, P. Berthou and S. Abdellatif, "A DDS/SDN based communication system for efficient support of dynamic distributed real-time applications," *Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), IEEE/ACM 18th International Symposium on. IEEE*, pp.77-84, 2014. DOI:10.1109/DS-RT.2014.18

BIOGRAPHY

Seunggi Lee (Student Member)



2012 : BS degree in Computer Engineering, Koreatech University
2018~ : Course of MS degree in Computer Science, Koreatech University

Seongjin Yun (Student Member)



2016 : BS degree in Computer Engineering, Koreatech University
2016~ : Course of MS degree in Computer Science, Koreatech University

Hanjin Kim (Student Member)



2017 : BS degree in Computer Engineering, Koreatech University
2017~ : Course of Under MS degree in Computer Science, Koreatech University

Won-Tae Kim (Member)



1994 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University
1996 : MS degree in Electronics Engineering, Hanyang University
2008 : PhD degree in Electronics Engineering, Hanyang University
2001~2005 : CTO, Rostic Technologies Inc.
2005~2015 : CPS Team Manager, ETRI
2015~ : Assistant professor, Koreatech University