

지능형 교통시스템의 사이버물리 시스템을 위한 요구사항 추적 모델 및 지원 도구

김의섭, 김민우, 유준범

건국대학교

{atang34, bohemian, jbyoo}@konkuk.ac.kr

A Requirement Traceability Model and Tool for Cyber-Physical System in Intelligent Transport System

Eui-Sub Kim, Minwoo Kim, Junbeom Yoo

Konkuk University

요 약

최근 인더스트리 4.0을 포함하여 CPS(Cyber-Physical System)가 다양한 분야에서 각광받고 있고, 지능형 교통시스템 역시 새로운 CPS의 사용 및 기존 CPS와의 협력이 활발히 진행되고 있다. CPS는 사이버 프로세스와 물리 프로세스가 긴밀하게 상호작용하는 시스템으로써, 멀티 도메인의 요소가 복잡하게 상호작용하는 시스템이다 따라서, 다양한 프로세스 및 모델, 산출물들이 비 정형적으로 존재하여 요구사항을 관리 및 추적하는데 있어 기존 테이블 및 매트릭스 기반으로 하기에 어려움이 있다. 본 논문에서는 멀티 도메인으로 구성된 CPS의 요구사항을 추적하기 위한 요구사항 추적 모델과 이를 지원하는 도구를 제시한다. 또한 다양한 CPS 요소를 표현하기 위해 기능 기반 추상화 모델을 제시한다. 이를 통해 개발자는 요구사항의 구현 확인 및 변경에 의해 영향 받는 산출물의 식별이 가능해지고, 요구사항을 관리하는데 도움을 받을 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

지능형 교통시스템 (ITS - Intelligent Transport System)은 80년대 후반부터 미국, 유럽, 일본을 중심으로 각국의 정부 및 민간 기업에서 활발히 전개되고 있는 교통 시스템이다. 자동차의 증가에 따른 문제 (배기가스, 대기오염, 에너지소비촉진, 교통사고 증가, 자동차 도난사고 증가, 도로효율감소, 물류·수송비용증가 등)를 전자, 제어, 컴퓨터로 직·간접적으로 해결하고, 차량의 안전성(safety_ 편의성(convenience), 교통환경의 효율성(efficiency)을 극대화 시킬 수 있는 기술로 인식되고 있는 시스템이다 [1].

지능형 교통 시스템은 단일 도메인이 아닌, 다양한 멀티 도메인의 시스템이 상호 협력하여 동작하는 시스템이다. 다양한 이종 컴포넌트가 상호작용하며, 임베디드 시스템 및 물리 프로세스가 네트워크로 연결되어 커뮤니케이션 하고 있으며, 연속 제어 시스템 (continuous system)과 이산 제어 시스템(discrete system)이 혼용된 시스템이다. 따라서 다양한 도메인에 구성요소들이 복잡하게 상호작용 하기 때문에 요구사항이 제대로 구현되었는지 확인하기 쉽지 않으며 또한, 요구사항이나 세부기술의 발전으로 변경이 생겼을 경우 대처하기 어렵다.

본 논문에서는 멀티 도메인으로 구성된 지능형 교통시스템의 다양한 구성요소 중 특히 사이버 물리시스템 (CPS - Cyber-Physical System)의 요구사항을 추적하기 위한 추적성 모델과 이를

지원하는 도구를 제시한다. CPS는 사이버 프로세스와 물리 프로세스가 긴밀하게 상호작용하는 시스템으로서 다양한 도메인의 컴포넌트가 결합되어 동작하는 대표적인 멀티 도메인 시스템이다 [2]. 따라서 다양한 개발 산출물과 상이한 프로세스로 인해 요구사항의 추적 및 관리가 쉽지 않다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 추상화-기능 레벨의 추적성 모델을 제시한다. CPS의 요구사항 추적성을 바탕으로 지능형 교통시스템의 요구사항 역시 추적 할 수 있을 것이라 기대한다.

제시하는 추적성 모델은 요구사항부터 안전성 분석, 디자인, 개발, 테스트에 이르기까지 소프트웨어 개발 생명 주기(SDLC: Software Development Life Cycle)내의 산출물들간의 관계를 정의하고 추적할 수 있게 하는 모델로써, 멀티 도메인에 사용된 다양한 프로세스와 요구사항, 디자인 모델, 구현 코드, 검증 및 안전성 분석 들을 추적 가능하도록 지원하는 추상화된 모델이다. 이를 통해 멀티 도메인 시스템의 변화에 대해 개발자가 능동적으로 대처할 수 있고, 시스템 및 개발의 일관성을 유지할 수 있게 될 것이다.

요구사항 추적 모델 및 도구는 기존 대표적인 요구사항 추적 도구인 IBM의 DOORS를[3]을 비롯해 다양한 모델 및 지원 도구가 제시되어 왔다. 하지만, 대부분 기존 소프트웨어 및 임베디드 소프트웨어/시스템 개발을 타겟으로 하고 있으며, 테이블 형식 및 스프레드시트 형태의 요구사항 추적성 매트릭스 (Requirement Traceability Matrix, RTM)과

하이퍼 링크를 통해 추적성을 지원하고 있다. 하지만, CPS의 경우 다양한 도메인으로 구성되어 있어, 각기 다른 프로세스 및 모델, 산출물들이 존재하기 때문에 단순 테이블 형식 또는 매트릭스 형식으로는 추적성을 관리하기에 어려운 점이 있다. 또한 각 산출물들의 형식은 단순 텍스트 기반 파일부터, xml, UML, SysML 등 비정형적이어서 이들을 추적하는 것이 쉽지 않다.

본 논문에서는 CPS 개발의 다양한 산출물들을 추적할 수 있는 추적성 모델을 제시하며 이를 가시화한 도구를 보여준다. CPS 내 각 산출물은 새로 제시한 추적 모델에 매핑되며, 매핑된 각 모델을 통해 다양한 산출물들의 추적이 가능하게 한다. 매핑을 하기 위한 산출물의 정해진 형식이 없어 유연성이 있으며, 구성된 추적 모델을 바탕으로 요구사항이 추적되지 않는 부분 및 다중 매핑된 의존성이 높은 산출물을 식별하여 사용자에게 피드백을 제공하는 장점을 가지고 있다.

2. CPS의 기능 및 안전 요구사항 추적을 위한 요구사항 추적 모델

요구사항 추적(Requirements traceability)이란, 요구사항부터 디자인, 개발, 테스트에 이르기까지 소프트웨어 개발과정 내에서 생산되는 산출물들의 관계를 정의하는 것을 의미한다[4]. 이를 통해 요구사항이 디자인으로 잘 구현되었는지, 개발된 시스템이 요구사항에 잘 부합하는지 확인해 볼 수 있다. 또한 요구사항이 변경되었거나, 기술이 변경되었을 경우 어떤 산출물이 변경에 영향을 받았는지 식별할 수 있게 되며, 시스템 및 개발의 일관성을 유지할 수 있게 된다.

CPS는 멀티 도메인이 혼용되어 있는 시스템으로, 사이버 파트 및 피지컬 파트, 이산 제어 시스템, 연속 제어 시스템, 네트워크 등 다양한 도메인의 컴포넌트가 구성될 수 있다, 따라서 다양한 프로세스와 모델이 존재하고 산출물 또한 다양한 형태로 존재한다. 이런 다양한 산출물들을 기존 테이블 형태나 매트릭스 형태로 관리하는 것은 효율성 측면과 가독성 측면에서 어려운 점이 있어, 본 논문에서는 다양한 산출물들을 상위 수준의 모델로 매핑시켜 요구사항을 추적하고 관리할 수 있는 방법을 제시한다.

제시한 요구사항 추적 모델의 메타모델은 아래 그림 1과 같다. <Traceability Container>는 산출물을 담을 수 있는 컨테이너 역할을 한다. <Traceability Container>에는 5개의 속성으로 구성되어 있다. ID는 컨테이너를 식별할 수 있는 유일한 키 속성이다. Type은 컨테이너에 담길 산출물을 타입을 정의 한다. 컨테이너에 담길 수 있는 산출물에는 정해진 것이 없다. CSP 개발 내 생성되는 모든 산출물 중 추적이 필요한 모든 산출물이 담길 수 있다. Format은 컨테이너에 담긴 산출물의 형태를 의미한다. 예를 들어 텍스트 형태로 작성 되어 문서로 저장되어 있다면 <파일>로 작성될 수 있다. Description은 해당 산출물의

간략한 설명이다. Real-Link는 실제 산출물을 위치를 의미한다. 예를 들어 코드면 <xxx 파일 xxx 메소드> 와 같이 저장된다.

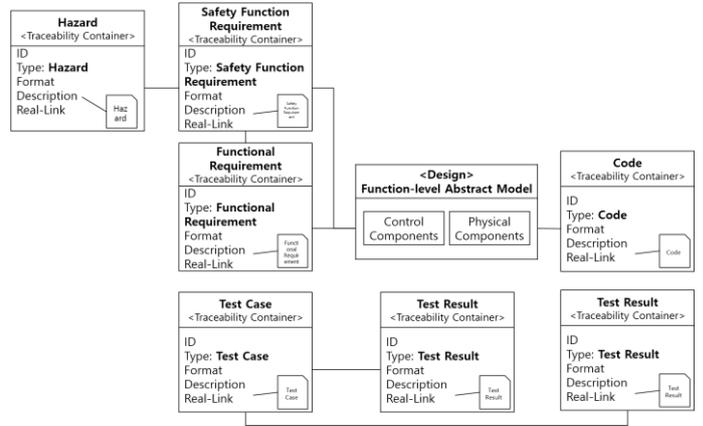


그림 1. 요구사항 추적 모델의 메타 모델

3. 요구사항 추적 모델을 위한 기능 기반 추상화 모델

CPS에는 다양한 산출물 및 다양한 디자인 모델 등이 작성될 수 있다. 이런 다양한 모델을 추적하기 위해서는 이들을 일관된 방법으로 표현할 필요가 있다. 이를 위해 기능 기반 추상화 모델(그림2)을 제시한다.

기능 기반 추상화 모델은 다음과 같이 10의 속성으로 구성되어 있다. {F, C, P, T, E, L(A), L(C), L(P), L(T), L(E)} 여기서, F는 Function-level Abstract Model이고, C는 Component, P는 Physical asset, T는 Trace, E는 Environment 이다. L(A)과 L(C), L(P), L(T), L(E) 는 A와 C, P, T, E의 이름을 의미하며, 각 이름은 식별 가능한 고유한 이름을 가져야 한다.

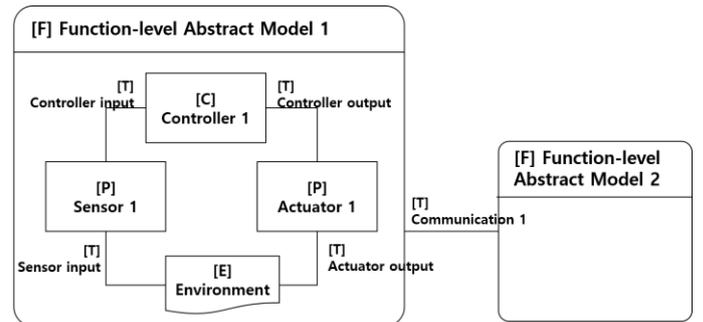


그림 2. 기능 기반 추상화 모델의 예

Function-level Abstract Model(F)는 일종의 컨테이너라고 정의할 수 있다. 하나의 F는 Controller(C)와 Physical component(P), Trace(T)의 조합으로 구성되며, 다른 F를 내부 구성 요소로 가질 수 있다. 두 개 이상의 CPS가 협업하는 환경일 경우 하나의 F가 다른 F와 커뮤니케이션 할 수 있다. C는 CPS에서 사이버 세계의 computation logic을 담당하는 부분을 의미하며, P는 physical asset을 의미한다. C의 내부 로직은 다양한 모델 (예를 들면, State Transition Diagram, Function Block Diagram)이 사용 가능 하며,

P 역시 다양한 모델이 사용 가능하다.

Physical asset의 행위를 정확하게 명세 및 디자인 하는 것은 쉽지 않다. 따라서 physical asset의 행위는 추상적으로 명세할 수 있지만, 차후 simulation 및 operation을 통해 해당 component가 update 가능하도록 유연하게 작성되어야 한다.

T는 오로지 추적성만을 위한 것으로 일반 디자인 모델의 데이터 플로우의 표현과 같이 방향성이 존재하는 것은 아니다. T는 방향성 없이 연결되고 이를 식별하기 위해 연결에 이름이 명시되는 것이 특징이다. CPS는 실제 환경과 같이 동작하게 되므로 환경에 대한 명세가 필요하다. 환경에 대한 명세는 Environment(E)를 통해 할 수 있으며, P와 동일하게 추후 update 가능하도록 유연하게 작성되어야 한다. E는 입력 값의 조합 및 입력 값의 변화 형태 등을 명세하며, 환경의 변화를 로직으로 명세하는 것을 지양한다.

4. 기능 및 안전 요구사항 추적 가시화 도구

CPS-RT(Cyber-Physical System Requirement Traceability)는 CPS 개발 내 산출물들을 시각적으로 볼 수 있게 하는 지원 도구이다. 해당 도구는 제시한 요구사항 추적 모델과 기능 기반의 추상화 모델을 바탕으로 하고 있으며, 그래픽 요소들 통해 산출물들 간의 추적성을 보여 주는 도구이다. 해당 도구는 추적성을 보여주는 것 외, 다음과 같은 자동화된 추적성 기반 분석 기능을 제공한다. 1) 디자인간 연결 누락 분석, 2) 다중 요소와 복잡하게 연결된 부분 분석, 3) 변경이 수반되는 요소로부터 연결되어 있는 요소 분석.

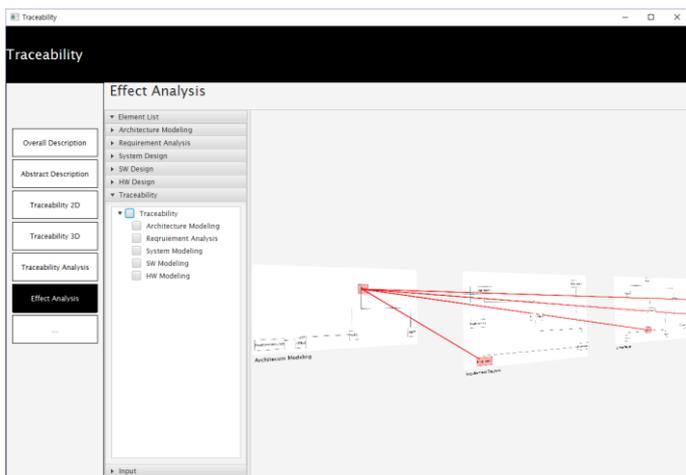


그림 3. 추적성 도구 스크린 샷

첫째로, 디자인 간 연결이 누락된 부분 분석은 추적 모델 요소가 다른 요소와 연결 되지 않는 부분을 개발자에게 알려준다. 일반적으로 연결이 누락된 요소는 시스템에서 동작되지 않는 부분이거나, 사용자의 부주의로 남아있는 dead code 일 경우가 많다. 안전한 시스템을 개발하기 위해 해당 부분에 대한 분석 및

처리가 필요하다. 해당 기능은 이런 부분을 사용자에게 피드백 해주는 역할을 하게 된다. 둘째로, 다중 요소와 복잡하게 연결된 부분을 알려준다. 일반적으로 다중 요소에 연결될 경우, 기능이 보다 세부적으로 쪼개질 필요가 있는 경우이다. 이런 다중 연결이 존재하면, 추후 변경이 생겼을 때 시스템 수정의 복잡도가 증가되고, 개발자의 실수를 유발 할 가능성이 있다. 따라서 이런 내용을 개발자에게 피드백 해줄 필요가 있다. 마지막으로 변경 요소로부터 영향을 받는 요소들을 개발자에게 알려주는 기능이 있다. 해당 기능은 영향을 받는 요소를 개발자에게 알려주어 개발자가 어떤 요소를 주의 깊게 살펴보아야 하는지 알려주는 기능을 한다. 개발된 도구는 그림 3과 같다.

5. 결론

본 논문은 지능형 교통시스템의 CPS를 위한 요구사항 추적 모델과 지원도구를 제시한다. CPS는 다양한 도메인의 컴포넌트로 구성되어 있어 프로세스와 디자인 모델이 정형적이지 않으며, 산출물들 또한 프로젝트에 따라 가변적이다. 따라서 비정형적 산출물들의 요구사항을 추적하기 위해서 새로운 요구사항 추적 모델을 제시하였으며 다양한 기능을 포함하는 지원 도구를 제시하였다.

제안하는 요구사항 추적 모델과 지원도구는 사용자 하여금 요구사항이 잘 구현되었는지 확인 가능하게 할 것이며, 요구사항이나 세부 기술이 변경되었을 때 어떤 산출물이 변경에 영향을 받았는지 쉽게 식별 가능하게 될 것이다. 앞으로 해당 모델과 도구를 바탕으로 다양한 모델의 모델링 및 테스트, 시뮬레이션, 코드 생성과 같은 다양한 소프트웨어 공학 기술을 사용할 수 있는 통합 프레임워크로 확장할 계획을 가지고 있다.

사 사

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅기술개발사업 (NRF-2017M3C4A7066479)의 지원을 받아 수행한 연구임.

참고 문헌

- [1] 이준웅, “지능형교통시스템의 동향과 전망”, 한국자동차공학회 지회 학술대회 논문집, pp.21-28, 2000.
- [2] Seshia, Sanjit A., et al. “Design automation of cyber-physical systems: Challenges, advances, and opportunities.” IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Vol.36, No.9, pp.1421-1434, 2017.
- [3] IBM Rational, Rational DOORS, 2018.
- [4] O. C. Z. Gotel and C. W. Finkelstein “An analysis of the requirements traceability problem.” Requirements Engineering, 1994., Proceedings of the First International Conference on. IEEE, pp.94-101, 1994.