

PRT 자동화 제어시스템의 체계적인 테스트 접근에 관한 연구

A Study on Systemic Test Approach of Automated Control of the Personal Rapid Transit System

정승환* 김종기* 이금석**
Jeong, Seung-Hwan Kim, Jong-ki Lee, kum-seok

ABSTRACT

The PRT(Personal Rapid Transit) system has been being researched and examined to efficiently provide high quality services to passengers against the traffic congestion of the capital region. With concept that PRT differentiated from GRT(Group Rapid Transit), PRT generally is a tracked vehicle system operating with unmanned. The embedded software of PRT Automated Control system generally is comprised of the central software, stations software and vehicle software. The controllers of these software interface to each other using its RF communication antennas. In this paper, each embedded software of the PRT system should be applied to an incremental and systematic test approach technique in the design and implementation phase, because the reliability and safety of the PRT system should be assured

1. 서 론

임베디드 소프트웨어를 포함하고 있는 PRT시스템의 개발은 개발 프로세스 상의 서로 다른 단계에서 다양한 테스트 활동이 요구된다. 이 논문에서는 PRT 시스템을 구성하는 차량, 중앙통제실, 스테이션, 레일 등이 어떤 종류의 테스트환경에 적용되고 그것들의 테스트 활동과 목적의 관계를 보이고자 한다. 이들 테스트환경에서의 차이는 PRT 임베디드 시스템의 일반 레이아웃을 사용하여 설명한다. 이 논문에서 보이는 테스트 환경에서의 접근은 임베디드 시스템이 단계별로 개발되는 모든 프로젝트에 적용될 수 있다. 우선 첫 번째로 시스템의 구성요소들에 대해서 시뮬레이션하고(시뮬레이션단계) 그리고 나서 시뮬레이션 부분을 하나씩 실제 대상으로 교체한다(프로토타입단계). 최종적으로 실제 실제시스템이 실제환경에서 작동될 때까지(생산준비단계) 프로토타입단계를 계속 반복한다. 개발 이후에 최종단계에서는 생산 과정의 테스트와 모니터링이 이루어진다. 이들 단계는 다단계-V-수명주기에

* 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 학연과정, 정회원

** 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 책임연구원, 정회원

*** 동국대학교 컴퓨터공학과 교수, 비회원

적용된다. 테스트 환경의 세부사항은 다단계-V-모델에 따르나 이 모델을 적용하는 모든 프로젝트에 정확히 제한되지 않는다.

시스템을 시뮬레이션하기 위해 개발된 초기의 모델이 “모델 테스트(MT)”와 “모델-인-루프(MiL)” 단계에서 테스트 된다. 이것은 시뮬레이션 단계에 속한다. “고속 프로토타이핑(RP)” 단계에서 시험 모델이 시스템이 요구사항에 부합하는지에 관해 점검하기 위해 실제 환경에서 시험된다. 이것도 또한 시뮬레이션 단계에 속한다. “소프트웨어-인-루프” 테스트 단계에서 실제 소프트웨어가 시뮬레이션 환경 또는 시험 하드웨어와 함께 테스트된다. “하드웨어-인-루프” 테스트 단계에서 실제 하드웨어가 시뮬레이션 환경에서 사용되고 테스트 된다. “SiL”과 “HiL” 모두 프로토타이핑 단계에 속한다. “시스템 테스트” 단계에서는 실제 시스템이 실제환경에서 테스트된다. 이것은 생산준비 단계에 속한다.

이 논문에서는 임베디드 시스템상의 테스트를 실행하는데 필요한 테스트 레벨에서의 접근방법에 초점을 맞추고 있다. 이에 테스트 접근방법은 테스트 프로세스를 지원하는데 사용될 수도 있다.

2. PRT 임베디드 시스템의 일반적인 테스트접근방법

2.1 첫 번째 단계 : 시뮬레이션

모델기반의 임베디드 시스템 개발에 있어서 요구사항과 개념적 디자인의 검증 후에 시뮬레이션을 설계한다. 임베디드 시스템의 개발자는 시뮬레이션 모델을 사용해서 초기의 디자인을 지원하고, 개념을 증명하고, 다음 개발단계를 위한 세부 요구사항을 개발하고 검증한다. 이 단계는 “모델 테스트”와 “모델 인 루프”의 세부 테스트 단계가 속하는데 이 테스트 단계에서의 주요 목적은 임베디드 시스템 개념에 대한 타당성에 대한 검증과 디자인에 대한 최적화를 보이는 것이다. 시뮬레이션된 모델을 실행하고 그것의 동작에 대한 테스트는 특정 테스트환경이나 테스트 베드가 필요하다. 여기에서 전용 테스트 도구를 이용해서 시뮬레이션 모델을 만들고 실행하고 입력신호를 생성하며 응답결과를 분석한다. 여기에서는 시뮬레이션 모델을 테스트하는 다양한 방법과 그것들에 대해 요구되는 테스트환경에 대해 다를것이다. 이를 위해 임베디드 시스템의 일반적인 모형을 단순화시켜 임베디드 시스템과 시스템이 운영되는 환경과 플랜트로 보이게 한다. 일반적으로 시뮬레이션 단계에서의 테스트는 다음과 같다.

2.1.1 단 방향 시뮬레이션

임베디드 시스템의 모델을 독립적으로 테스트하는 방법이다. 한번에 하나의 입력신호가 시뮬레이션 시스템에 입력되고 그 결과를 분석한다. 여기에서는 시스템 환경과의 동적 인터랙션을 고려하지 않는다. 임베디드 시스템이 실행가능한 모델로 시뮬레이션되고 임베디드 시스템의 환경과의 인터랙션은 무시한다. 입력신호가 생성되고 임베디드 시스템의 모델로 입력되고 출력신호가 모니터 되고 기록되고 분석된다. 시뮬레이션은 “단방향”이다. 임베디드 시스템과 인터랙션하는 환경의 구성요소의 동적행위가 모델속에 포함되지 않는다.

테스트 도구를 통해 입력신호가 생성되고 출력결과를 기록한다. 예상되는 결과와 기록된 신호를 비교함으로써 시스템을 검증한다. 입력신호 생성도구는 디자인의 가능한 결함을 발견하기 쉽게하도록 예상되는 결과에 기반해서 입력신호를 생성해야한다. 시뮬레이션환경에 의존할 때 입력신호의 생성과 출력신호의 기록은 다양한 방법으로 수행될 수 있다.

단방향 시뮬레이션은 임베디드 시스템의 모델의 시뮬레이션과 마찬가지로 환경의 구성요소

들의 모델에 대한 시뮬레이션에도 사용된다.

2.1.2 피드백 시뮬레이션

시뮬레이션된 임베디드 시스템과 시스템 환경 사이의 인터랙션이 테스트 된다. 여기에서는 임베디드 시스템에 입력될 입력신호를 시스템 환경의 특정구성요소에서 생성한다. 출력 결과는 다시 구성요소로 피드백되고 이것은 다시 임베디드 시스템의 새로운 입력신호로 들어가게 된다. 피드백 시뮬레이션은 검증된 테스트 구성요소의 모델이 필요하다. 그 모델은 가능하면 실제 환경의 구성요소의 동작과 근접해서 개발되어야 한다. 이 모델은 실제환경의 구성요소의 실제동작과 비교해서 검증될 수 있다. 구성요소의 모델은 단방향 시뮬레이션을 통해 검증된다. 모델기반의 시스템의 개발시에는 임베디드 시스템의 모델자체를 개발하기 앞서 그 환경의 구성요소에 대한 모델을 개발하고 검증하는 것이 일반적이다. 구성요소는 그리고나서 임베디드 시스템에 구현되어야하는 요구사항을 유도하기위해 사용된다. 이 요구사항은 단방향 시뮬레이션, 피드백 시뮬레이션, 고속 프로토타이핑을 사용해서 검증된다.

2.1.3. 고속 프로토타이핑

시뮬레이션된 임베디드 시스템이 실제 구동되는 환경하에서 테스트된다. 이것은 시뮬레이션 모델의 타당성 검증의 최종구현 방법이라고 할 수 있다. 임베디드 시스템 환경의 구성요소의 시뮬레이션 모델을 실제의 것으로 교체함으로써 추가적으로 시스템을 검증할 수 있다.

임베디드 시스템과 그것과 인터랙션하는 환경 모두 하나의 실행가능한 동적 모델안에 시뮬레이션된다. 설계될 시스템이 PRT 제어 시스템일때 시스템의 환경은 PRT 차량, 선로, 스테이션, 승객 등이 될 수 있다. 피드백 시뮬레이션은 복잡한 설계 과정이나 임베디드 시스템 그자체와 환경구성요소의 단방향 시뮬레이션 이후에 수행된다. 디자인에대한 검증은 모델의 행위에 대해 정확하게 구현하고있는 수많은 테스트 케이스를 실행해봄으로써 획득될 수 있다. 모델에 대한 반응이 모니터되고 기록되고 차후에 분석된다.

모델을 위한 테스트 베드는 임베디드 시스템의 모델의 특성을 잘 포함하고 있어야하고 환경 구성요소와의 인터랙션을 유도할 수 있어야한다.

2.2 두 번째 단계: 프로토타이핑

위에서 언급한 것처럼 모델기반의 개발의 경우에는 프로토타이핑 단계는 시뮬레이션 단계에서 충분한 검증이 이루어진 다음에 들어간다. 이 단계에서는 이전 단계로부터 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증과 시스템의 요구사항과 일치하는지 증명이 이루어진다. 프로토타이핑 단계에서는 실제 시스템 하드웨어, 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 시험 또는 실제 버전이 시뮬레이션된 구성요소들을 점진적으로 대신한다. 시뮬레이션 모델과 하드웨어 사이의 인터랙션에 대한 요구가 증가한다. 이물레이션 프로세서가 사용될 수 있다. 시뮬레이션 모델에서 쉽게 이용가능했던 신호들은 실제하드웨어 상에서는 접근할 수 없는것도 있을 수 있다. 그래서 특정신호의 생성기와 변환기가 신호 기록 및 분석 장치와 마찬가지로 설치되어야한다. 시뮬레이션된 구성요소의 점진적인 교체를 명확하게 설명하기위해 PRT 임베디드 시스템의 일반적인 구조를 4가지의 주요부분으로 나누었다.

임베디드 소프트웨어, 프로세서, 임베디드 시스템, 환경 구성요소

임베디드 소프트웨어에 의해 구현되는 동작들은 호스트 컴퓨터상의 임베디드 소프트웨어를 실행함으로써 시뮬레이션될 수 있다.

호스트 컴퓨터 상에 실행되는 타겟 프로세서의 이물레이터 상의 임베디드 소프트웨어를 실행함으로써 시뮬레이션 된다. 임베디드 소프트웨어의 실행은 실제의 환경과 같다고 할 수

있다. 그것은 목적 프로세서에 맞게 컴파일 되었기 때문이다. 초기의 개발단계에서 고성능의 프로세서가 개발환경에서 사용되고, 최종프로세서의 이몰레이터는 개발환경의 타겟 프로세서에 맞게 컴파일된 실제 소프트웨어를 테스트 하기위해 사용된다. 임베디드 시스템의 나머지부분은 호스트 컴퓨터상의 디자인된 테스트 베드안의 시스템을 시뮬레이션하여 테스트 되고, 시험 하드웨어 구성을 조직함으로써 시뮬레이션되고, 구성요소의 모든부분의 인쇄회로기판을 구성하여 시뮬레이션된다. 임베디드 시스템과 인터랙션하는 환경구성요소는 생성된 신호를 사용해서 정적으로 시뮬레이션된다. 또는 시뮬레이션 컴퓨터를 통해 동적으로 시뮬레이션된다.

프로토타이핑 단계에서 다음의 테스트 레벨이 적용가능하다.

소프트웨어 단위 테스트

소프트웨어 통합 테스트

하드웨어/소프트웨어 통합 테스트

시스템 통합 테스트

환경 테스트

위의 각각의 테스트 레벨은 특정 테스트 환경이 필요하다.

2.2.1 소프트웨어 단위 테스트와 소프트웨어 통합 테스트

소프트웨어 단위테스트와 소프트웨어 통합테스트를 위해 테스트베드가 시뮬레이션 모델을 위한 테스트환경과 일치하게 구현된다. 프로토타이핑 단계에서의 테스트 객체는 디자인에 기초해서 개발되거나 시뮬레이션 모델로부터 생성된 실행가능한 소프트웨어 단위, 통합된 소프트웨어 단위들의 집합이다.

첫 번째 단계는 호스트 컴퓨터상에서 실행하기위해 소프트웨어를 컴파일하는 것이다. 이 호스트환경은 자원이나 성능상의 제약이 없고, 강력한 상업용 도구로 이용가능하다. 이것은 개발과 테스트를 타겟 프로세서에서 보다 훨씬 쉽게 할 수 있게 해준다. 이와 같은 종류를 호스트/타겟 테스트라고 한다. 호스트 프로세서에 맞게 컴파일된 소프트웨어 단위와 통합된 소프트웨어 단위들상의 테스트의 목적은 이전 단계에서 사용된 시뮬레이션 모델의 타당성 검증과 기술적인 디자인에따라 소프트웨어의 기능을 검증하는 것에 있다.

소프트웨어 단위 및 소프트웨어 통합테스트에서 두 번째 단계는 임베디드 시스템의 타겟프로세서에 맞게 컴파일해서 실행할 수 있게 하는 것이다. 타겟하드웨어 상에 이 소프트웨어를 실제로 실행해보기전에 컴파일 버전을 타겟 프로세서의 이몰레이터를 통해 실행한다. 이 이몰레이터는 개발시스템 상에서 실행될 수 있거나 다른 호스트 컴퓨터상에서 실행될 수 있다. 여기에서의 테스트의 주요 목적은 실제 소프트웨어가 타겟 프로세서 상에서 올바르게 실행되는지 검증하는 것이다. 테스트베드는 테스트 객체에 입력에 대한 자극을 제공해야하고 테스트 객체를 동작을 모니터링하고 반응신호를 기록하는 추가적인 기능을 제공한다.

2.2.2 하드웨어 / 소프트웨어 통합테스트

하드웨어/소프트웨어 통합테스트에서 테스트 객체는 통합된 소프트웨어가 적재된 하드웨어 일부분이다. 소프트웨어는 하드웨어의 메모리(EPROM)상에 적재된다. 하드웨어의 일부분이 시험 구성요소가 될 수 있다. 하드웨어 소프트웨어 통합테스트의 목적은 주변하드웨어와 적합하게 타겟프로세서 상의 임베디드 소프트웨어가 실행하는지 검증하는 것이다. 하드웨어의 행위가 이 테스트의 중요한 부분이기 때문에 이것을 보통 “하드웨어-인-루프”라고 한다.

하드웨어 소프트웨어 통합테스트를 위한 테스트환경은 하드웨어와 인터페이스 해야만 한다. 테스트 객체와 그것의 완성도에 의존해서 다음과 같은 가능성이 존재한다.

신호 생성기와 함께 입력 자극을 제공

데이터 저장장치와 결합된 오실로스코프 또는 로직 분석기와 함께 출력을 모니터링
출력과 다른 관점에서의 시스템 행위를 모니터링 하기위한 내부순환 테스트 장치
실시간의 시뮬레이터상의 테스트 객체의 환경을 시뮬레이션

2.2.3 시스템 통합테스트

임베디드 시스템을 포함하는 모든 하드웨어의 부분은 시스템 통합 테스트를 초래한다.

시스템 통합테스트에 앞서 소프트웨어 단위테스트, 소프트웨어 통합테스트, 하드웨어/소프트웨어 통합테스트가 성공적으로 수행되어야하고 모든 시스템 소프트웨어가 적절하게 적재되어야한다. 시스템 통합테스트의 목적은 완전한 임베디드 시스템의 올바른 동작을 검증하기 위한 것이다. 시스템 통합테스트를 위한 테스트 환경은 소프트웨어/하드웨어 통합테스트것과 매우 유사하다. 결국 완전한 임베디드 시스템은 소프트웨어를 포함한 하드웨어의 하나의 일부분이다. 완전한 시스템의 인쇄회로기판 프로토타입이 그것의 최종 입출력과 전원공급장치가 제공된다는 점에서 차이가 있다.

2.2.4 환경 테스트

이 단계에서 환경테스트의 목적은 임베디드 시스템이 적용되는 환경에서의 문제를 가능한한 초기의 단계에 감지하고 수정하기위한 것이다. 이것은 적합성을 검증하기위한 생산준비 단계에서의 환경테스트와는 구별이된다. 환경테스트는 충분한 성숙도에 도달한 프로토타입을 우선 대신한다. 환경테스트는 매우 특별한 테스트 환경이 요구된다. 대부분의 경우에 환경테스트는 요구사항과 일치하는 구성요소들을 조립하거나 구입해서 구현될 수 있다. 특정한 타입의 환경 테스트가 매우 가끔 수행되는 것이라면 필요한 테스트 장비는 렌트하거나 테스트를 테스트 전문업체에 의뢰해야할 필요가 있다.

3. 세 번째 단계 : 생산준비 단계

임베디드 시스템에대한 최종결과물을 생산하기위해 정부나 사회환경을 포함한 모든종류의 요구사항을 만족하는지에 대한 최종검증을 하는 단계인 생산준비단계는 생산준비의 단위의 구축으로 이루어진다. 이 단계에서의 테스트의 목적은 다음과 같다.

- 모든 요구사항 조건을 최종적으로 검증
 - 환경적, 산업적인 요소, ISO표준, 정부와의 관계 등 모든 조건들과의 적합성에 대한 증명
 - 계획된 노력과 함께 계획된 기간 내에 시스템이 생산환경 내에서 만들어질수 있다는 것을 증명
- 생산준비단계에서의 테스트 단위는 실제 환경에서 테스트되는 실제 시스템이며 이전단계들의 모든 시험에 대한 최종시험 단계가 된다. 생산준비단계에서 단위는 실제 최종 산출물과 동등하거나 최소한 그것들을 대신하는 것들이다.

생산 준비단계에서는 실제시스템이 실제환경 내에서 하나 또는 그이상의 테스트 시나리오에 따른 실제 환경에서 테스트 된다.

이 단계에서 적용될 수있는 테스트 형태는 다음과 같다.

시스템 인수 테스트

품질 테스트

안전성 실행 테스트

생산과정 테스트와 테스트 장비의 유지보수

인스펙션과 정부기관에 의한 테스트

이 단계에서 적용될수 있는 테스트 기술은 실제환경 테스트와 랜덤 테스트 결합 삽입테스트

등이 있다.

Table1.1 전체 테스트 레벨에서의 시뮬레이션 구성요소과 실제 모델

Test level	Embedded software	Processor	Rest of embedded system	Plant
One-way simulation	Simulated	-	-	-
Feed back simulation	Simulated	-	-	Simulated
Rapid Prototyping	Experimental	Experimental	Experimental	Real
SW/U, SW/I(1)	Experimental (Host)	Host	Simulated	Simulated
SW/U, SW/I(2)	Real(target)	Emulator	Simulated	Simulated
HW/SW/I	Real(target)	Real(target)	Experimental	Simulated
System integration	Real(target)	Real(target)	Prototype	Simulated
Environmental	Real(target)	Real(target)	Real	Simulated
Pre-production	Real(target)	Real(target)	Real	Real

3. 결 론

PRT 시스템을 개발하고 그 시스템에 대한 안전성과 신뢰성을 확보하고 검증하는 작업은 너무 방대하고 복잡한 작업이기 때문에 그 테스트 프로세스들을 테스트 레벨에 맞게 분리해서 점진적으로 검증해야한다. 시스템의 개발초기 단계에서는 최종 완성된 소프트웨어나 하드웨어를 가지고 테스트할 수가 없기 때문에 그 소프트웨어나 하드웨어를 기능을 대신하는 모델을 테스트 도구를 이용해 시뮬레이션해야 한다. 시뮬레이션을 통해 시스템이 충분히 실현가능성이 있는지, 실용적인지, 경제적인지 볼 수 있다. 이러한 정보를 통해 실제 개발될 시스템에 적용해서 충분한 모델의 검증이 이루어진 다음에 다음단계로 진행하게 된다. PRT 시스템의 각 구성요소인 PRT차량, 중앙통제시스템, 스테이션, 선로 등을 각각의 하나의 독립된 시스템으로 보고 각각에 대하여 시뮬레이션을 통해 검증이 이루어진 이후에 점증적으로 통합해서 최종 완성된 시스템으로 접근하게 된다.

4. 참고문헌

1. Bart Broekman, and Edwin Notenboom (2003년), "Testing Embedded Software", Addison Wesley
2. J. Edward Anderson "Simulation of the Operation of Personal Rapid Transit Systems" 5164 Rainier Pass NE, Rridley, MN
3. Martin R. Batten and Edward C. Francis(1997년), "Automated Control of the Raytheon Personal Rapid Transit System", Principal Engineers, Raytheon Company
4. J. Edward Anderson, "Safe Design of Personal Rapid Transit Systems"