

Function Block Diagram을 이용한 PLC 입출력 장치 테스트 방안

장승연^o, 최병주, 성아영*

이화여자대학교 컴퓨터학과

Dept. of Computer Science and Engg., Univ. of Nebraska-Lincoln*
jangdana@ewhain.net, bjchoi@ewha.ac.kr, aysung@cse.unl.edu*

A Test Method for PLC Input and Output Devices Using Function Block Diagrams

Seung-yeun Jnag^o, Byoungju Choi, Ahyoung Sung*

Dept. of Computer Science and Engg., Ewha womans University
Dept. of Computer Science and Engg., Univ. of Nebraska-Lincoln*

요 약

PLC는 실시간 운영체제와 어플리케이션을 이용하여 하드웨어 장치들을 관리하고 제어한다. 하지만 하드웨어 장치를 관리하는 핵심인 실시간 운영체제가 블랙박스화 된 경우 어플리케이션 만을 이용 한 입출력 장치의 테스트 방안이 고려되어야 한다. 본 논문에서는, PLC의 어플리케이션 프로그램인 FBD를 이용한 입출력 장치의 테스트 방안과 원자력 발전소 PLC에 적용한 사례에 대해 기술 한다.

1. 서론

PLC(Programmable Logic Controller)는 각종 기계나 마이크로 프로세서의 제어를 위하여 로직, 시퀀싱, 타이밍, 연산기능을 내장하고 있는 임베디드 시스템으로 [1], 원자력 발전소의 디지털 보호 계통 시스템 (Digital Reactor Protection System)과 같이, 하드웨어 입출력 (Input and Output) 장치를 실시간으로 제어하기 위한 제어 시스템에 많이 사용된다. 특히 최근 발전소의 디지털화 및 소프트웨어 기능 요구사항 증가에 따라, 소프트웨어를 이용하여 다양한 하드웨어 입출력 장치 (Input and Output Devices)들을 관리한다.

본 논문에서는 원자력 발전소 디지털 보호계통 시스템에 탑재될 PLC를 대상으로 한다. PLC는 기본적으로 전체 시스템을 제어하기 위한 실행 프로그램을 다운로드 하는 메인 타겟 보드와, 다양한 종류의 입출력 장치들로 구성된다. 때문에 하드웨어로부터의 입출력 신호를 제어하고 처리하는 임베디드 소프트웨어에 대한 테스트는 매우 중요하다.

특히 발전소용으로 개발되는 PLC는 일반 산업용 PLC에 비해 높은 신뢰도를 요구하며, 그 중에서도 핵심 소프트웨어라고 할 수 있는 실시간 운영체제는 임베디드 시스템의 모든 기능을 담당한다. 그러나, 실제 임베디드 소프트웨어 분야에서는, 실시간 운영체제는 소스코드에 대한 접근이 제한적인 바이너리 코드와 같이 실행 코드로 주어지기도 한다. 이는 임베디드 시스템의 경우 하드웨어, 운영체제, 어플리케이션을 각각

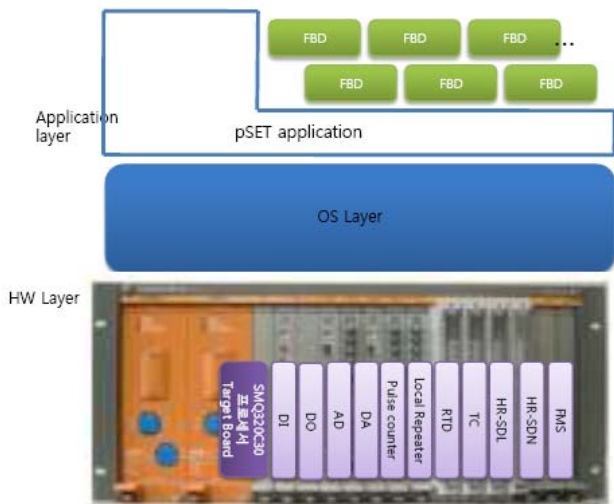
개발하는 벤더(Vendor)가 다를 수 있기 때문이며, 때로는 벤더 측에서 핵심 소프트웨어 부분을 공개하지 않는 경우도 있기 때문이다. 이와 같이, 시스템 전체를 제어하는 운영체제가 블랙박스화 된 경우, 임베디드 시스템에 대한 시스템 테스트를 수행하려고 할 경우, 대상 플랫폼에서 실행 가능한 어플리케이션 프로그램을 이용하여, 시스템에 부착된 하드웨어 입출력 장치들을 테스트 할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 실시간 운영체제를 블랙박스화 하고, 이 운영 체제를 기반으로 실행되는 어플리케이션 프로그램을 이용하여, PLC에 부착된 하드웨어 입출력 장치를 테스트 하기 위한 방안에 대해 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 PLC의 전체 구조에 대해 기술하고, 3장에서는 어플리케이션을 이용한 하드웨어 입출력 장치를 위한 테스트 방안에 대해 기술하고, 4장에서는 테스트를 수행한 실제 사례에 대해 기술하고, 5장에서는 결론 및 향후 과제를 기술한다.

2. PLC의 구조

그림 1은 PLC의 계층화된 구조를 보여준다. PLC는 크게 하드웨어, 운영체제, 어플리케이션 계층으로 구성한다.



[그림 1] PLC의 구조

하드웨어 계층: 그림 1에서 보는 것과 같이, 타겟보드와 AD (Analog to Digital) 모듈, DA (Digital to Analog) 모듈, DI (Digital Input) 모듈, DO (Digital Output) 모듈, Pulse Counter, Local Repeater, HR_SDL통신 모듈, HR-SDN 통신 모듈, FMS 통신 모듈, 주전원, 보조전원과 같은 장치로 구성된다. 이때 모듈이란 각 하드웨어 입출력 장치를 표현하는 물리적인 단위이다.

운영체제 계층: 하드웨어 입출력 장치를 실시간으로 제어하는 PLC와 같은 임베디드 시스템의 경우 실시간 운영체제를 사용한다. PLC와 같은 제어 시스템이 실시간 운영체제를 도입한 이유는 특정 시간 내에 내/외부적으로 발생한 이벤트에 즉각적으로 반응하기 위해서이다 [4].

어플리케이션 계층: pSET(POSAFE-Q Software Engineering Tool) [2] 은 어플리케이션의 개발, 실행 파일 생성, 타겟보드로 다운로드, 타겟보드에서의 실행 파일의 제어를 수행하는 통합 개발환경이다. FBD(Function Block Diagram)[3]는 PLC용 어플리케이션을 개발하기 위해 널리 사용되는 언어이다. 이는 FBD가 전자회로 다이어그램과 유사한 형태의 도식화된 언어로 표현되어 있어서, 각 하드웨어 장치들을 함수 블록 간의 정보 흐름 형태로 쉽게 표현 할 수 있기 때문이다. 따라서, pSET을 통해 작성되고, 컴파일되고, 다운로드된 실행가능한 FBD들은 PLC 하드웨어 입출력 장치에 접근하기 위한 진입점이 된다.

3. Function Block Diagram을 이용한 하드웨어 입출력 장치 테스트 방안

명시된 요구사항에 의해 테스트 되어야 할 입력과 출력의 쌍을 식별하는 과정은 기본적인 테스트 케이스 설계에 해당하는 부분으로, 테스트 케이스의 선정 과정은 테스트 방안에 있어 핵심이다. 하드웨어 입출력 장치를 테스트하기 위한 세부 단계는 다음과 같다.

[입력 선정 과정]

(1) 하드웨어 입출력 장치를 위한 FBD의 설계

[출력 위치 선정]

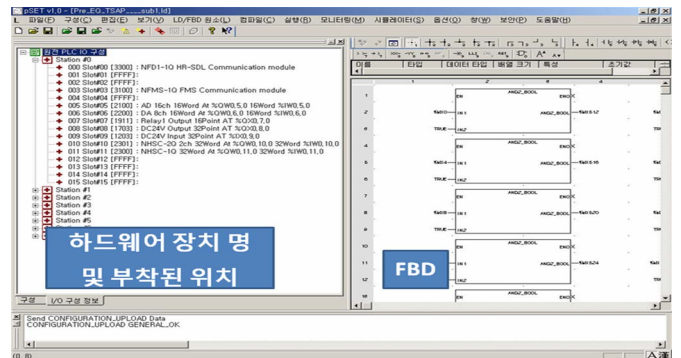
(2) 하드웨어 입출력 장치 및 해당 메모리 번지 식별

[테스트 결과 모니터링]

(3) (2)에 해당하는 하드웨어 장치에 대한 테스트 결과 모니터링

(1) 하드웨어 입출력 장치를 위한 FBD의 설계

하드웨어 입출력 장치를 제어하기 위한 FBD 기반의 어플리케이션을 작성한다. 그림 2는 입출력 장치에 접근하기 위한 pSET에서 작성한 FBD의 예를 보여준다.



[그림 2] 입출력 장치에 접근하기 위한 FBD 작성 예

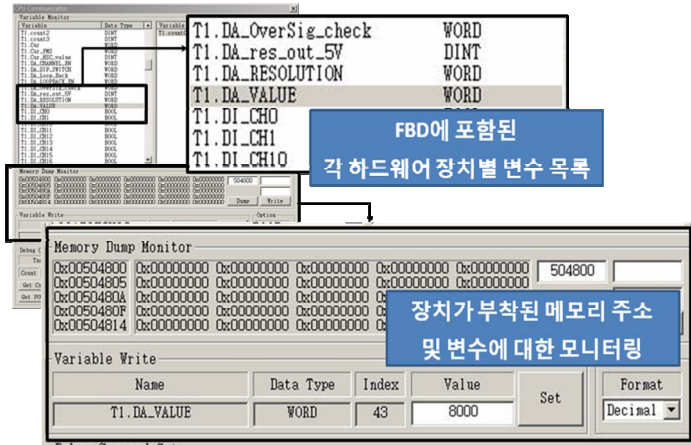
그림 2에서 보는것과 같이, FBD는 하드웨어 입출력 장치를 테스트 하기 위한 진입점으로, 각 장치에 접근하기 데이터를 읽고/쓸수 있다. 이때, 메인 타겟 보드는 전체 시스템을 관리하는 핵심 보드이기 때문에, 모든 하드웨어 입출력 장치들의 메모리 주소 정보를 가지고 있다. 따라서 입력 장치의 경우 FBD가 해당 메모리 주소에서 정의된 데이터를 읽어들이 수만 있으며, 출력 장치의 경우 FBD가 해당 출력 장치 주소에 직접 데이터 값을 정의하고 쓸 수 있다.

(2) 하드웨어 입출력 장치 및 해당 메모리 번지 식별

운영체제는 'PLC 몇번째 슬롯(slot)에 어떤 하드웨어 장치가 부착되어있는지'에 대한 정보를 메모리 주소로 관리하며, 해당 하드웨어 장치에 오류가 발생했을 경우, 메모리 주소를 0x00000001로 설정한다. 예를 들어, 그림 3에서 보는 것과 같이 DA 장치의 경우 0x00504800 번지에 부착이 되고, 운영체제 역시 이 주소를 DA 장치를 관리하기 위한 주소로 식별한다.

(3)에 해당하는 하드웨어 장치에 대한 테스트 결과 모니터링

테스트 결과를 모니터링 하기 위해서는, 실행 환경에서 하드웨어 장치를 모니터링하였다. 기본적으로 해당 하드웨어 장치에 대한 메모리 주소를 모니터링 할 수 있다. 그림 3은 DA 장치에 대한 메모리 모니터링한 화면의 예이다. 즉 DA 장치가 부착된 0x00504800 번지가 정상 상태인 0x00000000인 값을 가지는지 모니터링 한다. 이때, 'T1.DA_VALUE'와 같이, DA 장치의 값을 읽고/쓰는 변수가 있다면, 해당 변수도 함께 모니터링 한다.

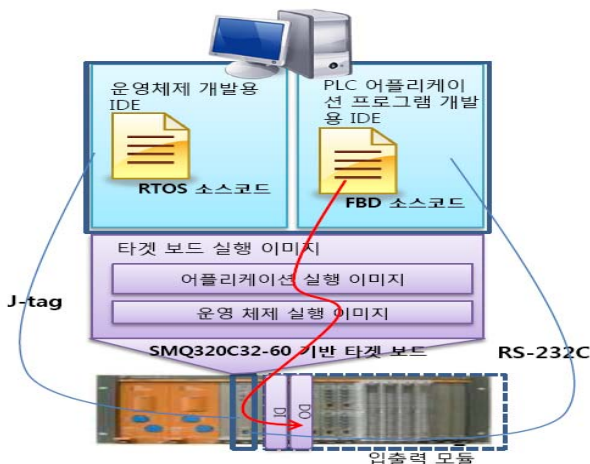


[그림 3] 메모리를 이용한 하드웨어 장치 모니터링

모든 장치가 DA와 같이 변수의 형태로 모니터링할 수 있지는 않다. 즉, 결과를 'T1.DA_VALUE'와 같이 FBD로 작성 가능한 변수의 형태가 아닌, 하드웨어 신호로만 발생시킬 수 있는 장치도 존재하기 때문이다. 장치의 결과가 전압을 모니터링 하는 DO 모듈과 같은 장치의 경우, 오실로스코프와 같이 해당 하드웨어 출력을 읽을 수 있는 장치를 이용한다.

4. 사례 수행

우리는 제안한 방법을 발전소 보호계통 시스템용으로 개발된 PLC에 적용한 사례 및 결과에 대해 기술한다.



[그림 4] 테스트 환경

그림 4 에서 보는 것과 같이, 호스트 컴퓨터에서는 TI(Texas Instrument)사에서 개발된 Code Composer 라 불리는 운영체제용 통합 개발환경(Integrated Development Environment)을 이용하여, 운영체제를 다운로드 하였다. 또한 PLC 어플리케이션용 통합 개발환경인 pSET 을 이용하여 FBD 로 작성된 소스 코드들을 개발, 컴파일, 링크, 다운로드, 모니터링을 수행하였다. 그림 4 의 환경 하에서 수행한 테스트 절차는 아래와 같다.

(1) 입출력 장치에 접근하는 FBD 작성 및 컴파일 후, RS-232C를 이용하여 타겟보드로 실행 이미지 다

운로드

- (2) J-tag을 이용하여 타겟보드로 운영체제 실행 이미지를 다운로드
- (3) (1)에서 작성한 어플리케이션이 제어하는 하드웨어 입출력 장치 및 해당 메모리 번지 식별
- (4) 하드웨어 장치에 대한 테스트 결과를 메모리, 변수, 혹은 오실로스코프를 이용하여 모니터링 수행.

본 사례에서는 PLC 의 각 입출력 장치를 직접적으로 제어하는 FBD 를 작성한 후, pSET 을 이용한 FBD 의 실행, 정지, 삭제와 같이 세 종류의 입력을 통해, AD, DA, DI, DO, Relay, Pulse Counter, FDL 통신 장치와 같은 총 7 종류의 하드웨어 입출력 장치에 대해, 테스트를 수행하였으며, 총 테스트 케이스의 수는 21 개가 된다. 표 1 에서는 각 하드웨어 장치별로, FBD 가 실행 일 경우, 각 하드웨어 장치를 모니터링 한 위치 및 테스트 결과에 대해 기술한다.

[표 1] FBD가 실행 일 경우, 각 장치별 테스트 결과

하드웨어 입출력 장치	출력위치 (메모리 주소/장치)	결과
AD	0x00502845 ~ 0x0050284C	0x00001F31~ 0x00001F4F
DA	DA*	5V
DI	0x00504800	0x00000001
DO	DO*	24V
Relay	Relay*	출력 확인
Pulse counter	0x00505044	1초 간격으로 증가 확인
FDL	0x00603120 ~ 0x006020D	0x00603120스캔타임을 주기로 변화

*오실로스코프에 연결하여 결과값 모니터링

제안하는 방안은 입출력 장치 자체에 대한 하드웨어 테스트가 아니며, 오히려 어플리케이션에 대한 테스트, 실시간 운영체제에 대한 테스트, 하드웨어 테스트가 독립적으로 이루어진 후, 각 계층을 포괄하는 전체 시스템 레벨의 테스트이다. 즉, 전체 시스템 레벨에서의 PLC 동작을 제어하는 입출력을 식별함으로써, 하드웨어 장치에 대한 입출력 테스트를 수행하였으며 그 결과 오류는 발견되지 않았다.

5. 결론 및 향후 연구

PLC는 실시간 운영체제와 어플리케이션을 이용하여 하드웨어 장치들을 관리하고 제어한다. 때문에 하드웨어로부터의 입출력 신호를 제어하고 처리하는 임베디드 소프트웨어에 대한 테스트는 매우 중요하다. 시스템 테스트란, 시스템의 입력과 출력에 대한 요구사항 명세를 토대로 테스트 케이스를 선정하여 테스트를 수행하는 방법이다. 많은 임베디드 시스템 분야에서 시스템의 제어와 관리를 담당하는 핵심 소프트웨어인 실시간 운영체제가 블랙박스화 되어 제공되는 경우, 시스템의 입출력 장치를 직접적으로 제어하는 어플리케이션 프로그램을 이용하여 하드웨어 입출력 장치에 대

한 테스트를 수행 할 수 밖에 없다.

이에 본 논문에서는 PLC용 어플리케이션 프로그램을 작성하는 FBD를 기반으로 한, 하드웨어 입출력 장치 테스트 방안에 대해 제안하였다. FBD가 전자회로 다이어그램과 유사한 형태의 도식화된 언어로, 각 하드웨어 장치 및 장치간의 하드웨어 정보 흐름을 쉽게 표현 할 수 있다는 장점 때문에, FBD는 하드웨어 입출력 장치를 테스트 하는데 있어, 입력으로 사용 될 수 있었다.

제안한 방법을 실제 PLC에 적용하였으나, 본 사례의 경우 단일 어플리케이션에 대해서만 적용한 결과를 기술하였다. 향후, 입력이 될 수 있는 'FBD 크기의 다양화 및 FBD의 실행 설정 다양화'와 같이 어플리케이션의 조작에 의한 입출력 장치 테스트, 오류 기반의 입출력 장치 테스트와 같이, 신뢰성 있는 입출력 장치에 대한 개발을 지원하기 위해 본 방안을 확장할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] A, Mader, A Classification of PLC Models and Applications, *Discrete Event Systems Analysis and Control*, Kluwer Academic Publishers, pp.239-247, 2000.
- [2] KNICS-PLC-SDS331-01, "Software Design Specification for PLC Processor Module, Korea Atomic Energy Research Institute," 2006.
- [3] IEC, *International Standard for Programmable Controllers: Programming Languages*, Technical Report IEC 1131 part 3, IEC (International Electro technical Commission), 1993.
- [4] Qung Li and Caroline Yao, *Real-Time Concepts for Embedded Systems*, CMP Books, 2003.