

NuSCRtoFBD 4.0: NuSCR 정형명세언어로부터 FPGA 개발용 FBD프로그램 자동생성 도구

김재엽⁰, 이동아, 서영주, 유준범
건국대학교 컴퓨터공학부

radic2510@gmail.com, {ldalove, syjsmk, jbyoo}@konkuk.ac.kr

NuSCRtoFBD 4.0: Automatic Generation of FBD Program for FPGA development from NuSCR Formal Specification

Jae-Yeob Kim⁰, Dong-Ah Lee, Young-Ju Seo, JunBeom Yoo
Division of Computer Science and Engineering, Konkuk University

요 약

원자력 발전소의 디지털 제어시스템에서 공통원인고장(Common Cause Failure)의 발생 가능성이 증가함에 따라 이를 방지하기 위해 기존의 PLC (Programmable Logic Controller) 대신 FPGA (Field-Programmable Gate Array) 기반 안전등급 다양성 제어기가 개발되어 원자력 연구소에서 활용되고 있다. 하지만 FPGA 기반의 제어기를 구현하기 위해서는 HDL (Hardware Description Language)을 사용한 제어로직 구현이 필수적이지만 기존 PLC 소프트웨어 개발자에게 친숙하지 않다. 따라서, 제어로직의 구현을 FBD (Function Block Diagram)를 활용하여 작성할 수 있도록 하기 위한 통합개발환경의 개발이 진행 중이다. 정형명세기법 NuSCR을 PLC 개발용 FBD로 자동 생성하는 도구인 NuSCRtoFBD 또한 통합개발환경의 일부로서 “통합개발 환경을 위한 FBD 기능 요건서”의 요구사항을 만족하도록 NuSCR을 FPGA 개발용 FBD로 변환하는 기능을 추가하였다. 본 논문에서는 NuSCRtoFBD 4.0에 추가된 기능을 중점적으로 소개하고 개선된 점을 덧붙여서 설명한다.

1. 서 론

NuSCR[1]은 안전성이 요구되는 원자력 발전소의 디지털 제어시스템 소프트웨어의 요구사항을 명세 하는데 적합하게 수정 보완된 정형명세기법[2]으로 인정받아 왔다. 원자력발전소의 디지털 제어시스템들은 하드웨어로서 PLC (Programmable Logic Controller) [3]를 사용하며, 설계 단계에서는 FBD (Function Block Diagram)[4]를 이용하여 프로그래밍을 수행한다. 하지만 공통원인고장(Common Cause Failures)의 발생 가능성이 증가함에 따라 이를 방지하기 위해 다양성 및 심층 방어(Diversity & Defense in Depth) 설계 개념이 도입되면서 기존의 PLC 대신에 FPGA (Field-Programmable Gate Array) 기반 안전등급 다양성 제어기가 개발되어 원자력 발전소에서 활용되고 있다.

FPGA 기반 제어기의 안전기능 구현을 위해서는 HDL (Hardware Description Language)을 사용한 제어 로직의 구현이 필수적이다. 이는 기존 PLC 소프트웨어 개발자들에게 친숙하지 않기 때문에 기존 지식과 경험을 포기하고 FPGA 개발 방법론을 익혀야 하는 어려움이 있다. 따라서, 제어로직의 구현을 FBD를 활용하여 작성할 수 있도록 하고, 이를 자동으로 HDL로 변환, 디버깅 및 합성을 해주는 통합개발환경의 개발이 진행 중이다.

NuSCRtoFBD[7]는 NuSCR 명세를 기준으로 이와 동일한 행위를 하는 PLC 개발용 FBD 프로그램을 자동 생성하는 도구이다. 본 논문에서는 NuSCR을 PLC 개발용 FBD로 변환하는 기능을 “통합개발 환경을 위한 FBD 기능 요건서”[6]의 요구 사항을 만족하도록 변환한 NuSCR을 FPGA 개발용 FBD로 변환하는 기능에 대해 설명하고 이를 구현한 도구인 NuSCRtoFBD 4.0을 소개한다. 이를 통하여 PLC 개발용 FBD 변환 과정에서 적용되었던 분석 및 검증 기법을 FPGA 개발용 FBD 변환에 그대로 적용하는 것이 가능하다는 장점을 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 지식으로서 NuSCR 정형명세언어와 FBD 프로그래밍, NuSCRtoFBD의 실행 과정에 대해 소개한다. 3장에서는 NuSCR 정형명세로부터 FPGA 개발용 FBD 프로그램을 생성하는 기능과 기존의 NuSCRtoFBD에서 개선된 사항을 설명한다. 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 논한다.

2. 배경 지식

NuSCR은 원자력발전소의 제어시스템 소프트웨어를 명세하도록 개발된 정형명세기법으로서 SCR (Software

Cost Reduction)을 원자력발전소 제어시스템에 적합하게 수정 및 보완한 것이다. NuSCR은 Parnas의 Four-Variable Mode에 기반을 두고 추가적으로 function variable, history variable, timed-history variable의 세 가지 모델을 사용한다. Function variable은 테이블 형태인 SDT (Structured Decision Table)에 의해 표현되며 History variable은 오토마타 형태인 FSM (Finite State Machine)으로 표현되며 상태의 흐름을 중심으로 명세할 때 사용된다. Timed-history variable은 FSM에 시간적 제약이 추가된 TTS (Timed Transition System)로 표현되며 시간적인 조건이 필요한 내용을 명세할 때 사용된다. 이러한 기능들의 표현은 데이터 흐름 다이어그램의 한 종류인 FOD (Function Overview Diagram)를 사용한다.

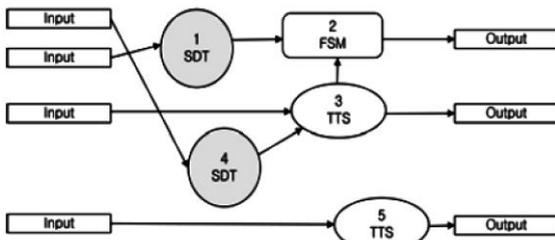


그림 1 NuSCR FOD의 예

FBD는 PLC를 구동하기 위한 소프트웨어 프로그램 작성에 사용되는 프로그래밍 언어 중 하나이다. FBD는 각각의 기능을 수행하는 FB (Function Block)들과 이들의 연결로 표현이 되며 이는 정보의 흐름을 표현하는 것이 된다. FB는 산술연산, 논리연산, 비교연산, 선택연산, 시간연산 등의 연산을 수행한다. FB에는 각각의 실행 순서가 부여되어 있고 각 FB는 선으로 연결되는 표현을 가지기 때문에 절차적인 흐름을 표현하게 된다.

NuSCRtoFBD는 완전성 및 일관성 분석, FSM과 TTS에 대한 2C-Table 생성, 기본 FBD 생성 그리고 FBD 실행 순서 결정의 4가지 과정을 거쳐 FBD를 생성하며 그 과정은 아래와 같다[5].

- 1) 완전성 및 일관성 분석: NuSCR 명세 상의 모든 변수들에 대해 문법상의 오류 없는 FBD를 생성하기 위해 하는 과정이다.
- 2) FSM과 TTS에 대한 2C-Table 생성: FSM과 TTS은 있는 그대로 사용할 수 없는 State Diagram의 형태이기 때문에 Table 형태로 변형하여 사용한다.
- 3) 기본 FBD 생성: SDT와 2C-Table을 가지고 FBD를 생성한다. 이 과정에서 function variable node 및 history variable node와 timed history variable node에 대한 개별적인 FBD가 완성된다
- 4) FBD의 실행 순서 결정: 마지막 단계로 실행 순서를 지정해주는 작업을 수행한다.

3. NuSCRtoFBD 4.0

3.1. FPGA 개발용 FBD 생성

“통합개발 환경을 위한 FBD 기능 요건서(ET-FBD-FR01)”에 따르면, FPGA용 HDL구현을 위한 FBD는 기존의 PLC 소프트웨어 구현용 FBD와 차이점이 존재한다. NuSCRtoFBD 4.0은 기존의 PLC 개발용 FBD의 FB들을 기능 요건서에서 요구하는 FPGA 개발용 FBD의 FB으로 변환 할 수 있도록 개발되었다.

FPGA 개발용 FBD에서 이용되는 FB 중에는 PLC 개발용 FBD에서 사용하는 FB에 기능을 추가했기 때문에 추가적인 Output Variable을 요구할 때가 있다. 대표적으로 사칙 연산에 사용되는 FPGA 개발용 FB의 경우 PLC 개발용 FB에 연산 결과의 범위를 확인하는 기능이 추가되어 또 다른 Output Variable인 ‘E’를 요구한다. ‘E’는 Output Variable의 범위를 확인하여 정수의 범위를 벗어나면 ‘1’, 그렇지 않으면 ‘0’을 출력한다.

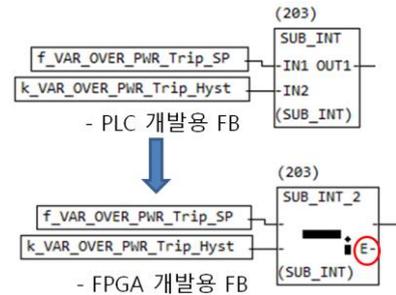


그림 2 PLC 개발용 FB를 FPGA 개발용 FB로 변환

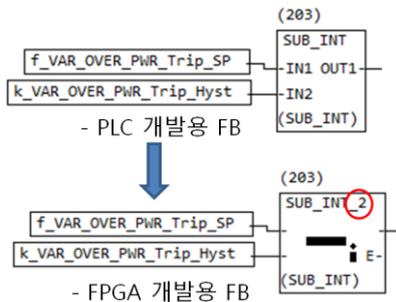


그림 3 PLC 개발용 FB의 이름을 FPGA 개발용 FB의 이름으로 변환

PLC 개발용 FB와 FPGA 개발용 FB는 이름에도 차이가 존재한다. FPGA 개발용 FBD는 추후 HDL로 변환되는데 변환 과정에서 FB의 이름을 이용하여 HDL Library를 참조한다. 때문에 FPGA 개발용 FB의 이름은 HDL Library에 정의된 FB의 이름과 같은 이름을 사용해야 한다. Library에 정의된 FB의 이름은 PLC 개발용 FB의 이름 뒤에 Input Variable의 개수를 명시하는 형태이다. 그러므로 PLC 개발용 FB의 이름 뒤에 ‘_N’(N은 Input Variable의 개수)을 붙여서 이름으로 사용하면 HDL Library에 정의된 FB의 이름과 같게 사용할 수 있다.

3.2. 개선사항

NuSCRtoFBD 4.0에서는 NuSCR이 지금 보다 크고 복잡하게 작성되더라도 그에 따른 영향을 받지 않도록 개선하였다. 예로 기존의 SDT를 이용하여 FBD를 생성하는 과정에서는 Condition의 개수를 기준으로 변환을 실행하게 되는데 그 개수가 일정 수를 넘어가게 될 경우 의도했던 결과를 얻지 못하는 경우가 있었다. 이 부분을 추가적으로 고려하여 FBD 생성이 Condition의 개수의 영향을 받지 않도록 개선하였다.

또한 SDT 부분을 변환한 FBD의 구조에도 변화를 주었다. 기존에는 그림 4와 같이 True/False 값을 먼저 찾고 그 값을 이용하여 Action을 찾는 구조였지만 NuSCRtoFBD 4.0에서는 그림 5와 같이 True/False 값과 Action을 같은 SEL Block에 넣어 구조를 단순화 하였다.

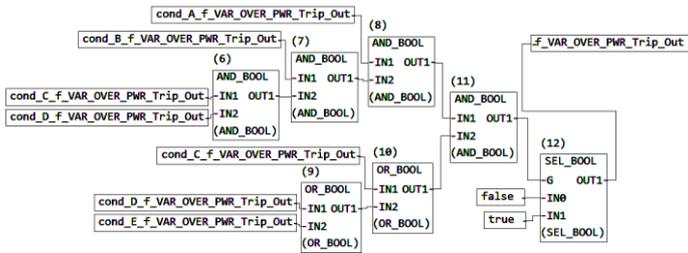


그림 4 기존 NuSCRtoFBD의 SDT 변환 결과

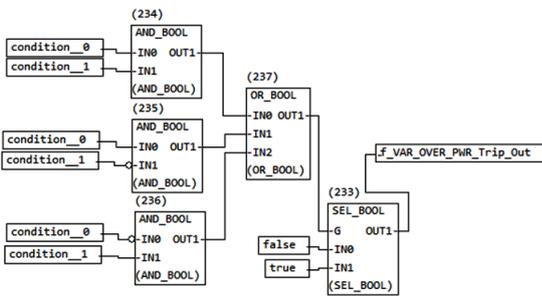


그림 5 NuSCRtoFBD 4.0의 SDT 변환 결과

마지막으로 이전 버전에서는 중간 값(cond)을 한 개만 생성하였으나 중간 값(condition)을 추가적으로 생성하도록 변화를 주어 두 개의 중간 값(condition)을 사용하여 블록 간의 연결을 간결하게 하였다. 또한 추가적으로 생성한 중간 값을 활용하여 중복 수행되던 연산들을 1회만 수행한 후 중간 값에 저장하고 중간 값을 이용하는 방식으로 개선하여 변환속도를 높였다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 원자력발전소의 NuSCR 정형명세로부터 PLC 개발용 FBD를 자동으로 생성하는 도구인 NuSCRtoFBD에 FPGA 개발용 FBD를 생성하는 기능을 추가한 NuSCRtoFBD 4.0을 소개하였다. 이 도구를 이용

하여 NuSCR로부터 FPGA 개발용 FBD 자동생성 결과를 얻고 명세 작업 중 발생한 오류들을 파악하는 것이 가능하다.

이 도구를 이용하여 얻은 FPGA 개발용 FBD는 FBDtoVerilog[7]와 같은 FPGA 개발용 FBD를 이용하는 프로그램의 입력 값으로서 이용될 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 “원자력계측제어 적합성평가, 감시 및 대응 체계 구축” 사업과 한국원자력연구원의 “FPGA-기반 제어기 통합개발환경을 위한 핵심 소프트웨어 기술 개발”의 지원으로 연구한 결과입니다.

참고 문헌

- [1] Jumbeom Yoo, Taihyo Kim, Sumgdeok Cha, Jangsu Lee, and Han Seong Son, "A Formal Software Requirements Specification Method for Digital Nuclear Plants Protection Systems," Journal of Systems and Software, Vol.74, No.1, pp. 73-83, 2005.
- [2] IEC, International standard for programmable controllers: Programming languages 61131- Part 3, 1993.
- [3] Junbeom Yoo, Sungdeok Cha, Chang Hwoi Kim, and Duck Yong Song, "Synthesis of FBD-based PLC design from NuSCR formal specification," Reliability Engineering and System Safety, Vol.87, No.2, pp. 287-294, 2005.
- [4] K.L. Heninger, "Specifying software requirements for complex systems: New techniques and their application," IEEE Trans. Software Engineering, SE-6(1):2-13, 1980.
- [5] 백형부, 유준범, 차성덕, “NuSCR 정형 요구사항 명세서로부터 FBD 프로그램 자동생성을 위한 CASE 도구”, 정보과학회논문지, 컴퓨팅의 실제 및 레터, 제15권 제4호, pp.265-269, 4월, 2009.
- [6] 한국원자력연구원, “통합개발환경을 위한 FBD 기능 요건서 ET-FBD-FR01 Rev.00”, 2013.
- [7] Junbeom Yoo, Jong-Hoon Lee, Sehun Jeong and Sungdeok Cha, "FBDtoVerilog: A Vendor-Independent Translation from FBDs into Verilog Programs," The Twenty-Third International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering(SEKE), pp.48-51, 2011.