실시간 임베디드 소프트웨어 모델링을 위한 xUML 확장에 관한 연구

김우열*, 김영철
홍익대학교 컴퓨터정보통신 소프트웨어공학연구실
e-mail:john*@selab.hongik.ac.kr

A Study on Extension of Executable UML for Modeling Real-time Embedded Software

Woo-Yeol Kim*, R. Young-Chul Kim
Dept of Computer Information and Communication,
Hong-Ik University

요 약

현재까지는 실시간 임베디드 소프트웨어 개발을 위한 효율적인 소프트웨어 모델링 언어가 부족하다. 그런데 모델 자체가 코드처럼 수행 가능한 통합 모델링언어를 x*UML*(Executable UML)이라 한다[2,4,7]. 이는 기존의 UML x.x에 실행과 관련된 개념과 시간에 관련된 규칙을 더한 것이다. 다시 말해 xUML의 모델은 실행과 테스트, 디버깅이 가능하다[2,4]. 본 논문에서는 기존의 UML x.x버전들과 xUML이 실시간 임베디드 소프트웨어를 모델링 하는데 적합한지를 비교/분석한 후, 임베디드 소프트웨어 모델링에 xUML을 적용하고자 부족한 면을 보완 및 확장하였다. 확장된 xUML의 노테이션은 병렬과 실시간 처리까지도 표현이 가능하도록 제안하였다. 사례 연구로서 두개의 터치센서로 동작하는 실시간 임베디드 시스템의 모델링을 보여준다.

1. 서론

최근 실시간 임베디드 시스템의 소형화 및 고성능화가 진행됨에 따라 제품 핵심이 하드웨어 기술에서 소프트웨어 기술로 이동하고 있다. 초창기 임베디드 소프트웨어는 간단한 제어 프로그램만으로 산업용 기기를 제어하는데 그쳤으나, 최근에는 멀티미디어 처리나 항공 시스템등과 같은 복잡하고 커다란 기기를 제어하고 있다. 이렇듯 복잡한 기능을 제공하는 소프트웨어를 좀 더 효율적이며 안정적으로 개발하기 위해 임베디드 소프트웨어를 모델링 하는 연구가 활발히 진행 중이다[1].

보통 일반적인 소프트웨어를 모델링하기 위해서 UML을 사용한다. 기존의 UML x.x은 소프트웨어 시스템을 모델링하기 위한 언어로서 사용하며 소프트웨어 개발자들은 시스템에 대한 모델을 만들 수 있다[2]. 하지만 복잡하고 주위환경에 신속하게 대처해야 하는 실시간 임베디드 시스템은 서비스의 질(QoS or Quality of Service), Low-level 프로그래밍 그리고 안전성과 신뢰성에 대한 특별한 고려가 필요하다[3].

일반적인 소프트웨어의 모델링과는 달리 모델 자체가 코드처럼 수행 가능한 통합 모델링언어를 xUML(Executable UML)이라 한다[2,4,7]. xUML은 기존의 UML x.x에 실행과 관련된 개념(executable semantics)들과 시간에 관련된 규칙(timing rules)들을 더한 것이다. xUML의 모델은 실행과 테스트, 디버깅이 가능하며, 시스템 성능 측정까지 가능하다.

본 논문에서는 기존의 UML x.x버전들과 xUML이 실시간 임베디드 소프트웨어를 모델링 하는데 적합한지를 비교/분석한 후, 임베디드 소프트웨어 모델링에 xUML을 적용하고자 부족한 면을 보완 및 확장하였다. 확장된 xUML의 노테이션은 디지털 공학의 논리게이트 모양을 참고하였으며 Fork/Join, Concurrency 등 병렬과 실시간 처리까지 표현이 가능하다.

※ 본 연구는 정보통신연구진흥원 정보통신기초기술연구지원사업 (B1220-0501-0321) 지원으로 수행되었음.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련연구로서 Executable UML에 대해 알아보고 xUML과 각 버전별 UML을 비교/분석한다. 제3장에서는 제안한 xUML의 확장에 대해 설명한다. 제4장에서는 확장된 xUML 노테이션을 이용하여 실시간 임베디드 소프트웨어를 모델링 해본다. 마지막으로 제5장에서는 결론 및 향후연구를 언급한다.

2. 관련연구

Executable UML[2, 4]은 기호로 스펙을 설명하는 언어이다. Executable UML은 UML(Unified Modeling Language) 표기법에 "실행에 관련된 개념(executable semantics)들"과 "시간에 관련된 규칙(timing rules)들"을 더한 것이다. Executable UML을 이용하면, 클래스(class)와 상태(state)와 액션 모델(action model)로 이루어진, Executable 시스템 스펙을 만들 수 있다. Executable 시스템 스펙은 하나의 완전한 프로그램처럼 실행된다. 기존 스펙과 달리 Executable 스펙은 실행과 테스트, 디버깅이 가능하며, 시스템 성능 측정을 위해서도 이용할 수 있다. 스펙(모델)에 대한 테스트가 끝나면, 이를 타겟 코드(target code)로 변환(translate)할 수 있다.

타겟 코드는 단일 프로세서 환경에서 실행될 수도 있고, 여러 개의 프로세서들로 이루어진 프로세서 네트워크 환경에서 실행될 수도 있다. 기존의 모호한 모델과 달리, Executable 모델은 시간에 관련된 문제와 동기화에 관련된 문제, 그리고 자원의 획득과 이용에 관련된 문제들을 자세히 서술한다. 결론적으로, Executable UML은 복잡한 실시간(realtime) 분산(distributed) 임베디드(embedded) 시스템의 스펙을 서술하기에 적합하며 많이 이용된다.

<표 1>은 xUML의 장점을 파악하기 위해 각기 다른 버전의 UML들을 비교해 놓은 것이다. UML은 크게 분석 능력과 설계 능력, 구현 능력, 그리고 테스트/디버깅 능력으로 나누어 비교할 수 있다. 우선 xUML은 분석 능력에서 이벤트를 모델링하고 구현 전에 설계 변화를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 설계 능력으로는 동적 모델링에서 중요시 되는 동시 발생 문제를 표현하고 모델과 구현의 일관성이 유지된다는 장점이 있다. 또한 설계 변경이 용이하므로 여러 플랫폼(타겟)에서 재사용이 가능하고, 설계 도중 문제를 발견 및 수정할 수 있다. 구현 능력으로는 xUML은 기존의 스켈레톤 코드가 아닌 동적 요소를 포함한 완벽한 코드가 발생된다는 것이다. 마지막으로 테스트/디버깅 능력은 실행 모델이기 때문에 디자인 레벨에서의 디버깅이 가능하다.

<표 1> UML 버전별 비교[2]

능력 구분	UML 1.x	UML 2.0	Embedded UML	xUML
주요 시장	상업적/비즈니스 어플리케이션	상업적/비즈니스 어플리케이션/실시간 모델	SoC	임베디드/실시간 모델
분석 능력	×	○	○	○
이벤트 모델링	×	○	-	○
구현 전 설계 변화 분석	×	○	-	○
설계 능력	○	○		○
Fork/Join 기능	×	×	×	×
동적 모델링에서 Concurrency 모델링	×	○		○
설계와 구현 사이의 일관성이 유지	×	○	×	○
설계 변경이 용이	×	×	-	○
여러 타겟에서의 설계 재사용	×	○	-	○
설계 단계에서 문제를 발견 및 수정	×	○	-	○
구현 능력	×	×	×	○
코드 생성	스켈레톤코드	VM 기반 코드	VM 기반 코드	동적요소 포함한 완벽한 코드
모델과 코드의 연관	×	○	×	○
실시간/임베디드 시스템의 구현능력	×	○	-	○
테스트/디버그 능력	×	×	×	○
실행 모델	×	×	×	○
디자인 레벨에서의 디버깅	×	×	×	○

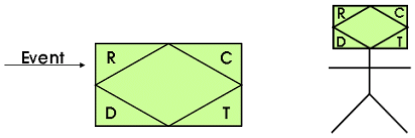
하지만 이러한 xUML 조차도 실시간 임베디드 소프트웨어를 모델링 하는데 한계점이 존재한다. 그래서 다음 장에서 확장된 xUML을 제안하였다.

3. 확장된 xUML 노테이션

기존의 상호작용 다이어그램들[2, 5]은 서로 유사한 기호들과 의미를 내포하고 있으나 병렬과 실시간에 대해 지원하지 않고 있다. 그러나 임베디드나 병렬/실시간 시스템은 모든 이벤트들이 순차적으로 발생하는 경우에만 존재하는 것은 아니다. 이런 문제를 해결하기 위해서 xUML의 확장과 관련된 아이디어가 필요하다.

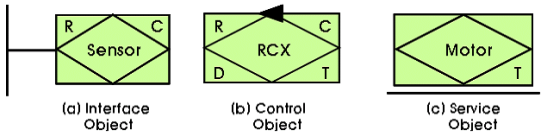
3.1. 객체의 역할

(그림 1)과 같이 확장된 xUML에서 객체는 ERCDT(Event/Recognition/Communication/Decision/Transaction)의 역할 구조를 가지고 있다. 이는 객체가 각자의 역할을 수행하는 것을 의미한다. 그리고 액터 역시 객체의 하나로서 역할을 가진다. 본 논문에서는 액터의 역할이 분명하도록 사각형으로 나타내었다.



(그림 1) 객체의 역할

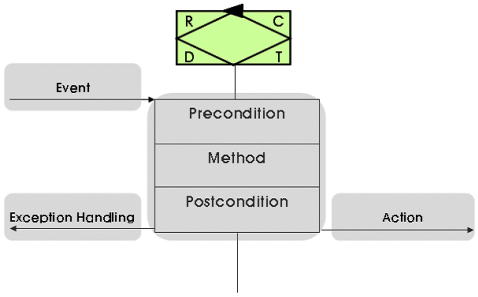
(그림 2)에서 (a)와 같이 인터페이스 오브젝트는 이벤트가 들어오면 인지해서 통신하는 ERC의 구조를 가지고 (b)와 같은 콘트롤 오브젝트는 인터페이스의 기능 외에도 결정을 내리고 수행하는 ERCDT의 모든 구조를 가질 수 있다. 또한 (c)에 해당하는 서비스 오브젝트는 이벤트가 들어오면 수행을 하게 되는 ET의 구조를 가지게 된다.



(그림 2) 객체의 역할 예

3.2. 객체의 규칙

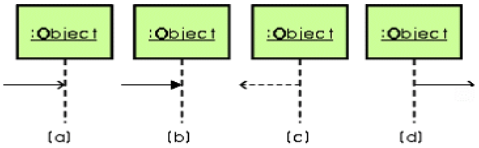
(그림 3)은 ECA(Event/Condition/Action) 규칙을 가진 객체의 내부 처리과정을 도식화 한 그림이다. 이벤트가 들어오면 객체 내부에서 조건에 맞는지 검사를 한 후, 조건에 맞으면 액션을 수행하게 되고 맞지 않으면 예외처리를 하게 된다.



(그림 3) 객체의 규칙

3.3. 메시지

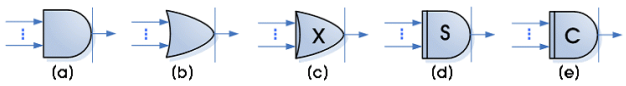
확장된 xUML의 메시지는 (그림 4)와 같이 4가지 타입으로 구성된다. (a)는 일반적인 Flat Message를 나타내며 (b)는 동기 메시지이고 (c)는 리턴 메시지 (d)는 비동기 메시지를 나타낸다.



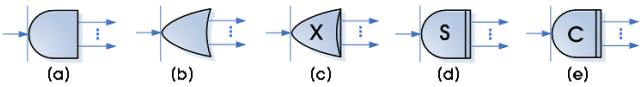
(그림 4) Messages

3.4. 이벤트

(그림 5, 6)은 Incoming Events와Outgoing Events로서 (a)는 AND 개념을 나타내는 것으로 이벤트가 모두 들어오면 실행이 된다. (b)는 OR 개념을 나타내며 이벤트 중에서 하나만 들어오게 되어도 다음 액션이 실행된다. (c)는 Exclusive OR을 나타내는데 이벤트 중 하나를 선택해서 액션이 실행되고, (d)는 Sequential 개념으로서 이벤트가 차례대로 들어온다. (e)는 Concurrent 개념으로 동시에 이벤트가 들어오고 다음 액션이 수행된다. 이벤트들은 다시 Binary Events와 Multiple Events로 나뉜다.



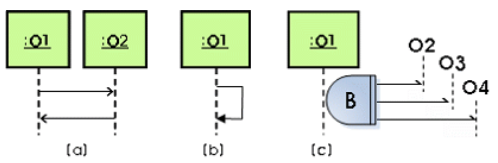
(그림 5) Incoming Events



(그림 6) Outgoing Events

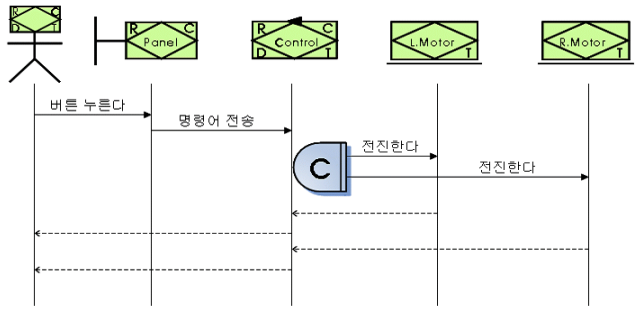
3.5. Communication

확장된 xUML은 3가지의 통신 방법이 있다. (그림 7)은 Communication의 그림이다. (a)는 객체 간 통신인 Peer-to-Peer를 나타내고, (b)는 자기 자신과의 통신인 Message to Self를 나타내며, (c)는 비동기 메시지를 보내기만 하는 Broadcasting을 나타내고 있다.



(그림 7) Communication

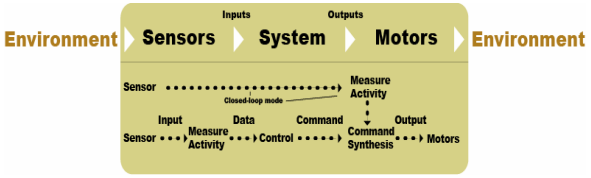
(그림 8)은 자동차가 두 개의 모터에 동시에 메시지를 전달하는 모습을 확장된 xUML을 이용하여 그려낸 것이다.



(그림 8) 자동차의 전진

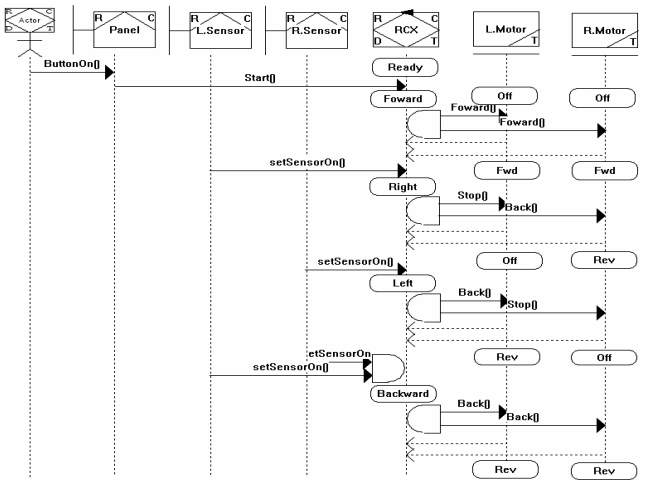
4. 확장된 xUML을 사용한 모델링 사례

본 논문에서는 임베디드 소프트웨어를 모델링 할 수 있는 확장된 xUML을 제안하였다. (그림 9)는 실시간 임베디드 소프트웨어 시스템의 구조를 나타낸다. 이는 센서에 값이 들어오면 시스템에 메시지를 보내고 시스템은 실시간으로 반응하여 모터에 움직임 값을 보내주는 것을 도식화 한 것이다.



(그림 9) 실시간 임베디드 S/W 시스템의 구조[6]

(그림 10)은 확장된 xUML을 사용하여 두개의 터치센서로 동작하는 실시간 임베디드 시스템의 동적 모델링을 나타낸 것이다.



(그림 10) 동적 모델링

이는 정상적인 주행 중에 왼쪽 터치 센서에 충격이 가해지면 RCX라 불리는 제어시스템이 왼쪽 모터에는 전진 메시지를 보내고 오른쪽 모터에는 멈춤 메시지를 동시에 보내 오른쪽으로 방향을 전환하게 된다. 오른쪽 센서에 충격이 가해지면 반대로 동작한다. 또한 두개의 터치센서에 동시에 충격이 가해지면 양쪽 모터 모두 후진 메시지를 보내게 된다. 또한 다이어그램에 각 객체의 상태 변화도를 포함시켜 한 장의 다이어그램만으로 임베디드 시스템의 동적 모델링을 표현할 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이 데이터 값을 포함하는 액티브 오브젝트만이 상태 변화도를 가진다.

5. 결론

본 논문에서는 확장된 xUML을 제안함으로써 임베디드 시스템의 동적 모델링을 향상시켰다. 이는 기존의 시퀀스 다이어그램에 AND/OR/XOR 등의 개념과 Concurrency와 Fork/Join등의 개념을 추가함으로써 임베디드 소프트웨어 시스템의 동시 발생 문제 등의 모델링이 가능하였다.

향후 연구과제로 xUML을 이용하여 개발한 모델을 검증하기 위한 연구와 시뮬레이션뿐만이 아닌 코드 생성까지 자동화 할 수 있는 도구가 필요하다. 최종적으로는 우리가 확장한 xUML을 간단한 로봇이 아닌 커다란 통신 시스템에도 적용되도록 연구를 진행 중이다.

참고문헌

[1] Axel Jantsch, Modeling Embedded System and SOCs, Mogan Kaufmann, 2004.

[2] 김우열, MDA 기반의 임베디드 소프트웨어 모델링에 관한 연구, 홍익대학교 석사학위논문, 2005.

[3] 이호수, 유비쿼터스의 핵심기술: 임베디드 시스템, IBM, 신기술 신경영, Vol.9, Spring, 2004.

[4] 김인기, UML 설계와 응용: 클래스 모델 만들기, 정보문화사, 2003.

[5] Rumbaugh, J., Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.

[6] Jean-Louis Houberdon, Jean-Philippe Babau, "MDA for embedded systems dedicated to process control," Workshop on MDA in SIVOEES, in conjunction with UML'2003, October 2003.

[7] Mellor, K. Scott, A. Uhl, D. Weise, "MDA Distilled", Addison-Wesley, 2004