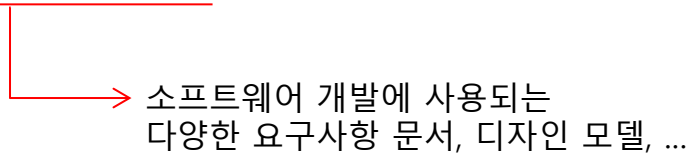
하이브리드 시스템 검증에 대한 소개

Dependable Software Laboratory
윤 상 현

2016. 05. 19

Software Verification

- Software verification (검증)
  - Software가 specification (명세)에 맞게 잘 개발 되었는지 확인하는 과정



- Software verification techniques
  - Testing
  - Simulation
  - Model checking
  - Theorem proving
  - ...

Software Testing

- (Functional) Software Testing
  - 다양한 목적에 따라 수행되는 대표적인 검증 기법
  - 실행 가능한 프로그램 또는 모델에 입력을 넣어 예상되는 출력이 나오는지 확인

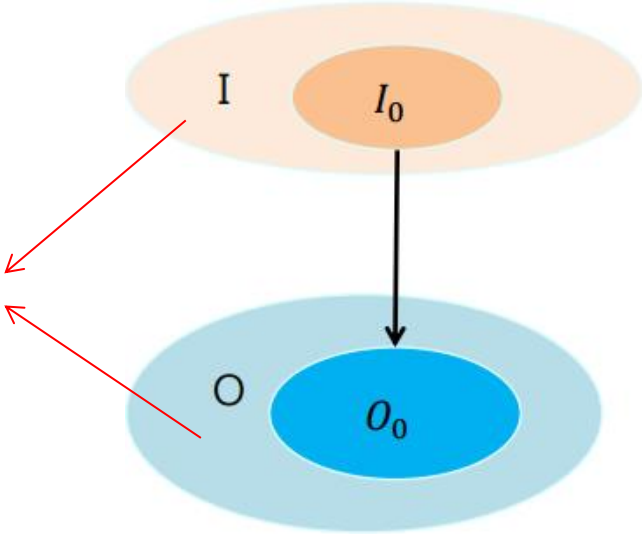
테스트 케이스

이를 생성하기 위한
많은 기법들이 있음

Why Testing Isn't Good Enough

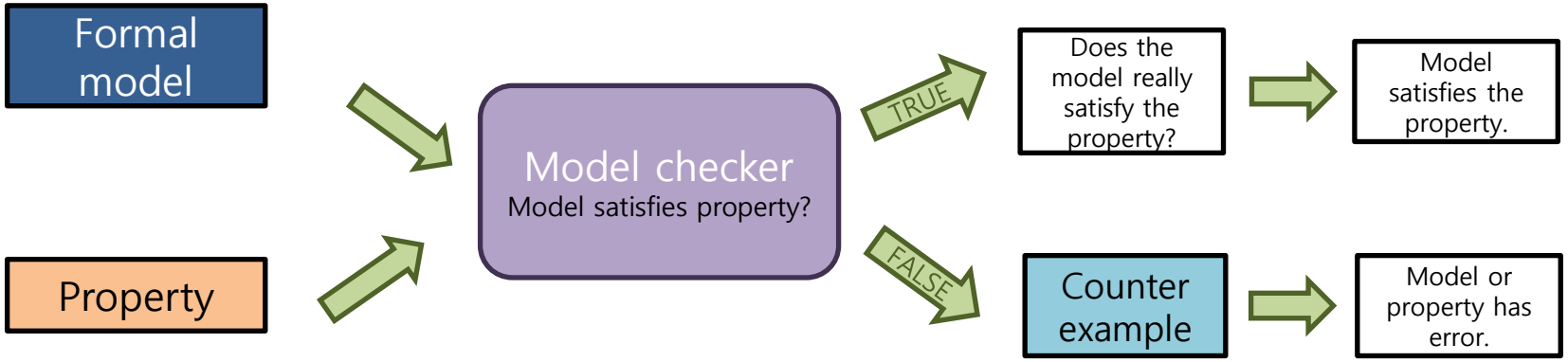
- Testing can be used to show the presence of errors but not their absence. (by Edsger Dijkstra)
  - Test result is all TRUE -> no error?
    - No errors about the input data

테스팅 해보지 않은 부분에
대해 확신을 가질 수 없으며
Full coverage를 달성하기 어렵다.



Model checking?

- 모델체킹이란?
  - 검증 도구가 가능한 모든 경우의 수를 계산하여 분석하기 때문에 예상하기 어려운 에러를 찾아낼 수 있음
  - 테스팅 보다 비용(시간+자원)이 많이 필요하게 되며 주로 safety-critical system과 같은 critical system의 검증에 활용된다.
    - ↳ 원자력 발전소, 철도, 항공,...
  - Formal Model + Verification Requirements (property) + Model checker (verification tool)
    - ↳ Formal definition + formal semantics를 가진 모델
      주로 오토마타의 형태로 구성되어 있음

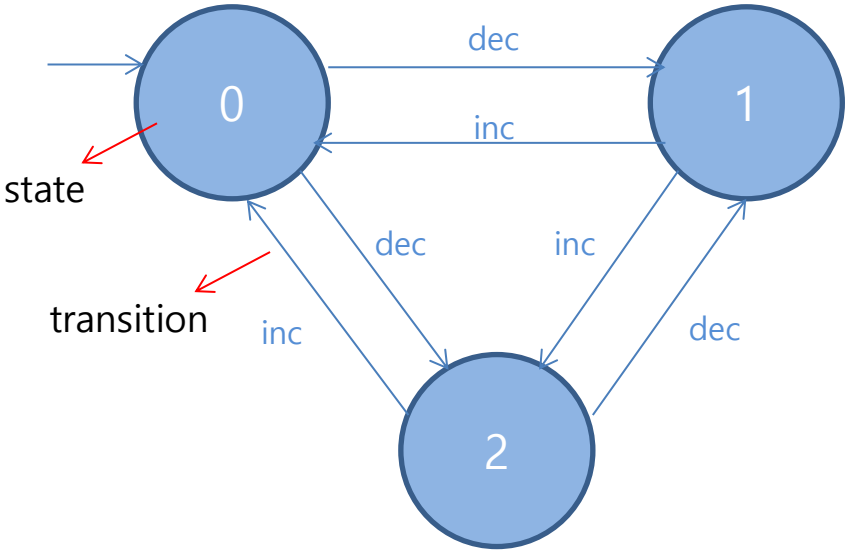


**Model checker는 전문가를 도와주는 도구일 뿐,
사람이 직접 분석 & 판단해야 하는 부분이 많다.**

Automata

- (Finite) Automata
  - A machine evolving from one state to another under action of transitions
    - State는 시스템의 내부적인 상태, transition은 상태의 변화를 나타낸다.

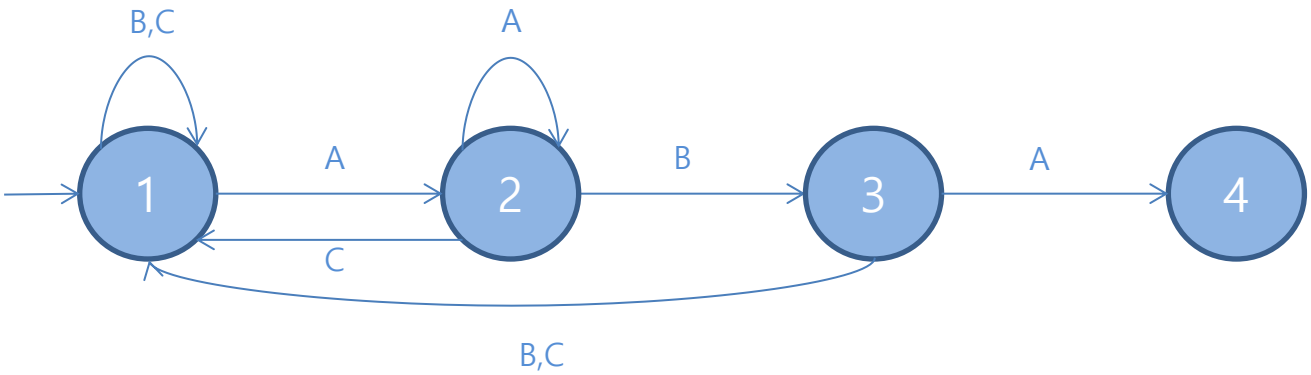
- 3 counter example
  - (0~2)까지 숫자를 세는 카운터
  - inc 와 dec 입력 (이벤트)를 가짐
    - 숫자 증가(inc), 숫자 감소(dec)



Door lock example

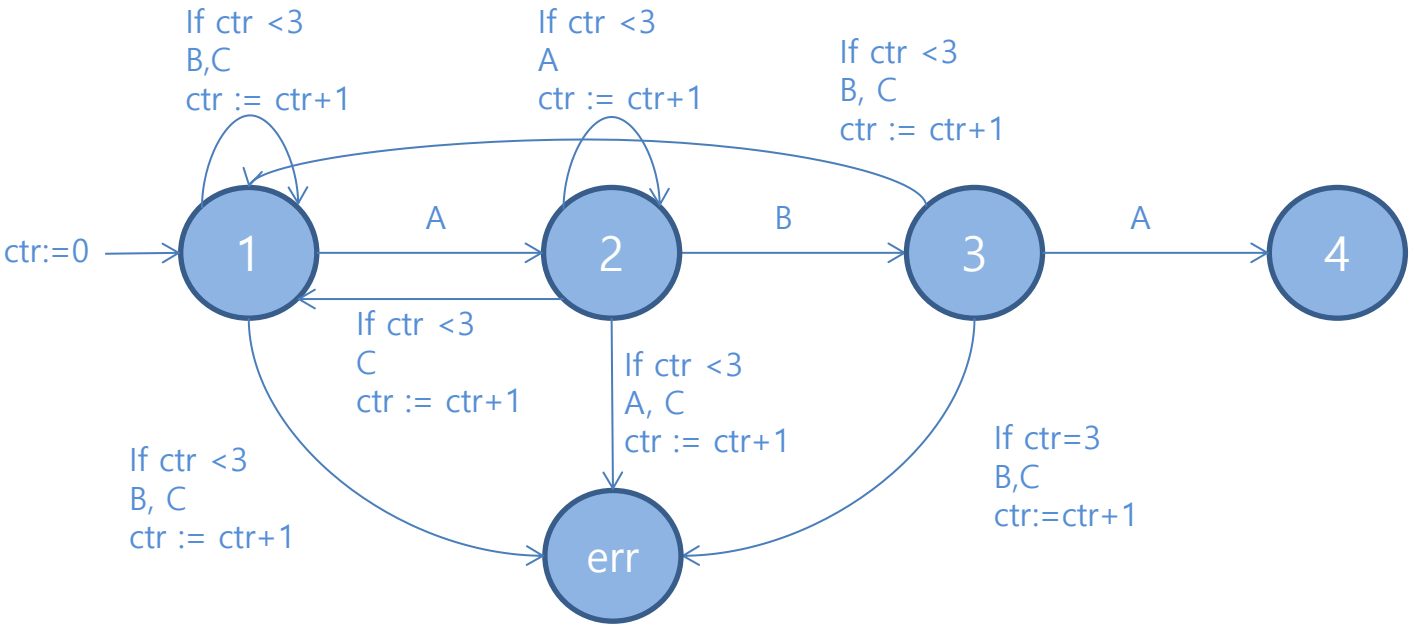
- A digicode door lock example
  - 사무실 문을 여는 것을 제어하는 시스템
  - 문을 열기 위해서 키를 정해진 순서 대로 입력해야 하며 잘못된 입력을 하면 다시 처음부터 입력해야 한다.
    - 3 keys (A, B, C)
    - Correct key sequence : ABA

요구사항



Door lock example

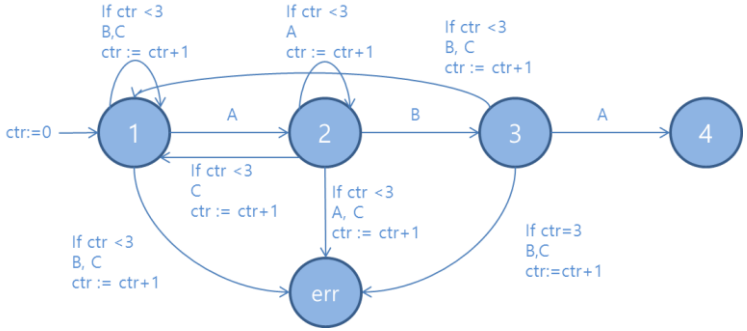
- A digicode door lock with counter
  - 사무실 문을 여는 것을 제어하는 시스템
  - 문을 열기 위해서 키를 정해진 순서 대로 입력해야 하며 잘못된 입력을 하면 다시 처음부터 입력해야 한다.
    - 3 keys (A, B, C)
    - Correct key sequence : ABA
  - **입력을 세 번 틀리면 시스템을 멈춘다.** ← 추가된 요구사항

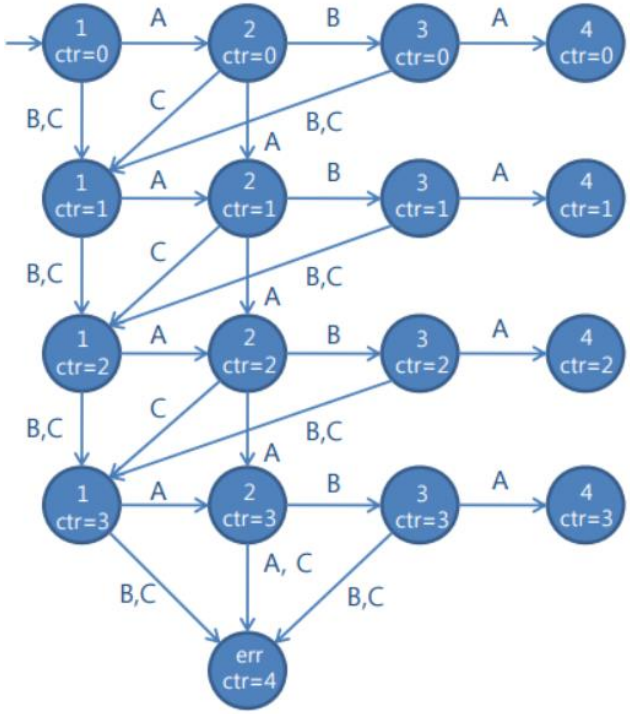


Door lock example

- 모델 체커는 내부적으로 입력 받은 모델을 unfolding하여 분석한다.
  - 실제 예제에서는 모델간의 message passing 등을 이용하여 가능한 state의 개수를 줄인다.

- State explosion problem
  - 분석 할 모델의 상태가 너무 많아져 분석을 할 수 없는 문제
  - 모델에서 사용하는 변수의 개수가 많고 범위가 클수록 특히 많이 발생하게 된다.

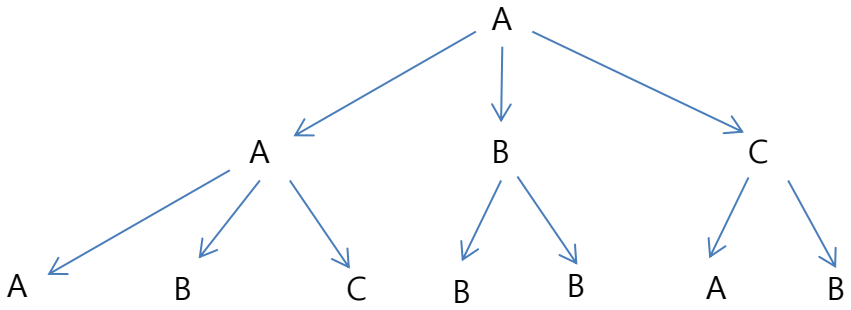




Door lock example

- Execution
  - A sequence of states describing one possible evolution of the system
  - e.g.) ABA, ABBA, AAAABA, …

- Execution tree
  - A set of all possible executions of the system in the form of a tree

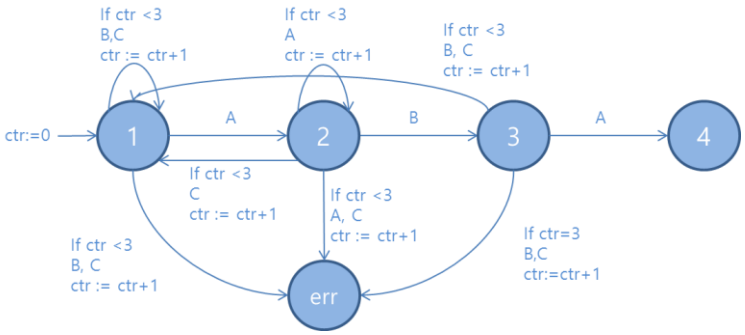


….

Door lock example

- Temporal Property
  - 대표적인 예 : CTL, LTL
  - 모델이 요구사항을 만족하는지 확인하기 위해 사용한다.
  - 모델의 execution을 고려하여 작성할 필요가 있다.

- Property를 이용한 검증 (CTL) 예제
  - 시스템은 데드락 상태에 빠지지 않는가?
    - FALSE => err state에서 연결되는 state가 없음
  - ABA의 순서로 입력을 넣었을 때 항상 문이 열리는가?
    - FALSE => ctr이 3 이상이면 문이 열리지 않음

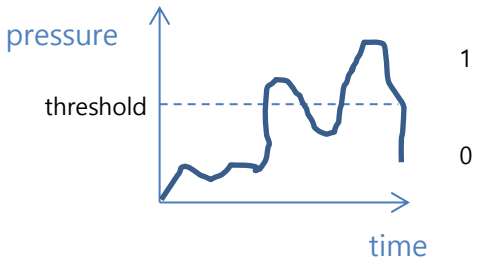


Hybrid System

Hybrid system

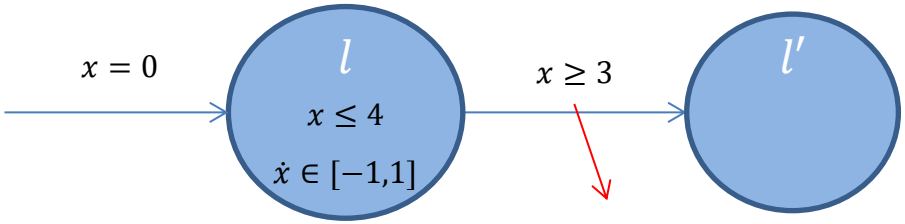
- Hybrid system
  - Discrete system + continuous system
  - 주로 continuous part는 물리적인 변화를, discrete part는 시스템의 내부적인 상태를 표현하는데 사용된다.
  - E.g.) 원자력 시스템, 차량 시스템, 에너지, …

- Analog signal
  - 일반적인 시스템은 센서로부터 받은 입력 값을 digitalize하여 처리
    - E.g.) 자판기의 버튼을 세게 누르든 약하게 누르든 일정 수준 이상(threshold)이면 동일하게 인식
  - Hybrid system은 analog signal 입력을 직접 받아 이에 대한 처리, 제어 수행을 한다.



Hybrid Automata

- Hybrid Automata
  - Hybrid system을 모델링하는데 사용되는 오토마타
  - Non-deterministic transition (jump)



x의 값이 3이 되더라도 jump가 발생하지 않을 수 있다

$HA = \langle X, V, flow, inv, init, E, jump, \Sigma, syn \rangle$

- X is a set of continuous, real-valued variables
- V is a set of control modes (locations)
- $flow$ is a labeling function that assigns a flow condition to each control mode $v \in V$. The flow condition $flow(v)$ is a predicate over the variables in $X \cup \dot{X}$, refers to the first derivative of $x_i \in \dot{X}$. While the control of the hybrid automaton A is in mode v, the values of the variables and their first derivatives satisfy the flow condition $flow(v)$.
- inv is a labeling function that assigns an invariant condition to each control mode $v \in V$. While the control of the hybrid automaton A is in mode v, the variables in X must satisfy the invariant condition $inv(v)$.
- $init$ is a labeling function that assigns initial condition to each control mode $v \in V$.
- E is a finite multiset of control switches. Each control switch $(v, v\prime)$ is a directed edge between a source mode $v \in V$ and a target mode $v' \in V$.
- $jump$ is a labeling function that assigns a jump condition to each control switch $e \in E$. The jump condition $jump(e)$ is a predicate over variables in $X \cup X'$.
- Σ is a finite set of events, and a labeling function syn that assigns an event in Σ to each control switch $e \in E$.

Hybrid system의 분석

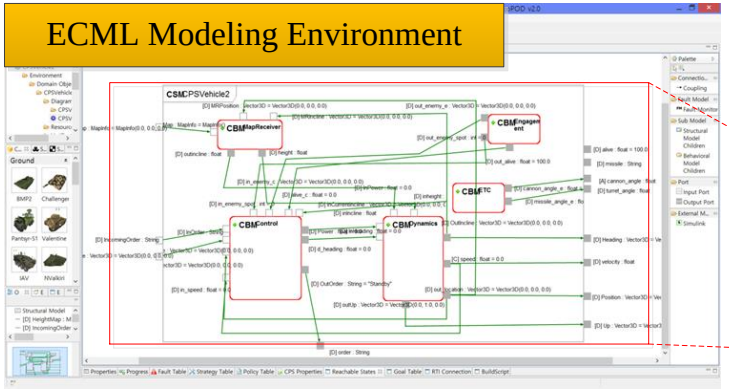
- 하이브리드 시스템은 연속 값을 갖는 변수를 사용하기 때문에 일반적인 모델체킹 기법을 사용하기 어렵다.
  - E.g.) 0과 1사이의 연속적인 변수 값을 셀 수 있는가?
  - Region (값의 범위)를 이용한 분석

- 대표적인 검증 도구
  - HyTech, SpaceEx, Flow*, d/dt, …

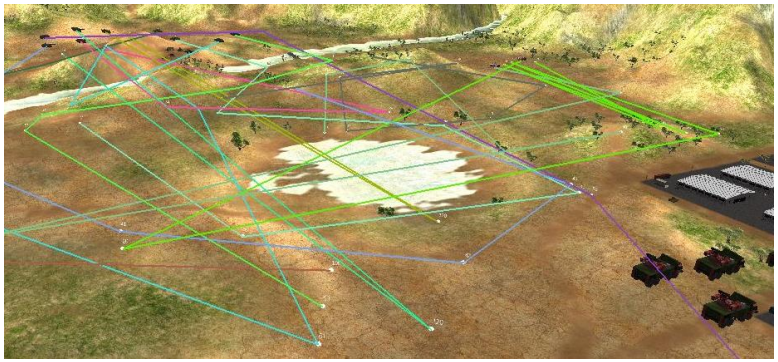
ECML (ETRI CPS Modeling Language)

- ECML
  - 하이브리드 시스템을 시뮬레이션 하기 위한 모델링 언어
  - 모델링 및 시뮬레이션 환경 제공

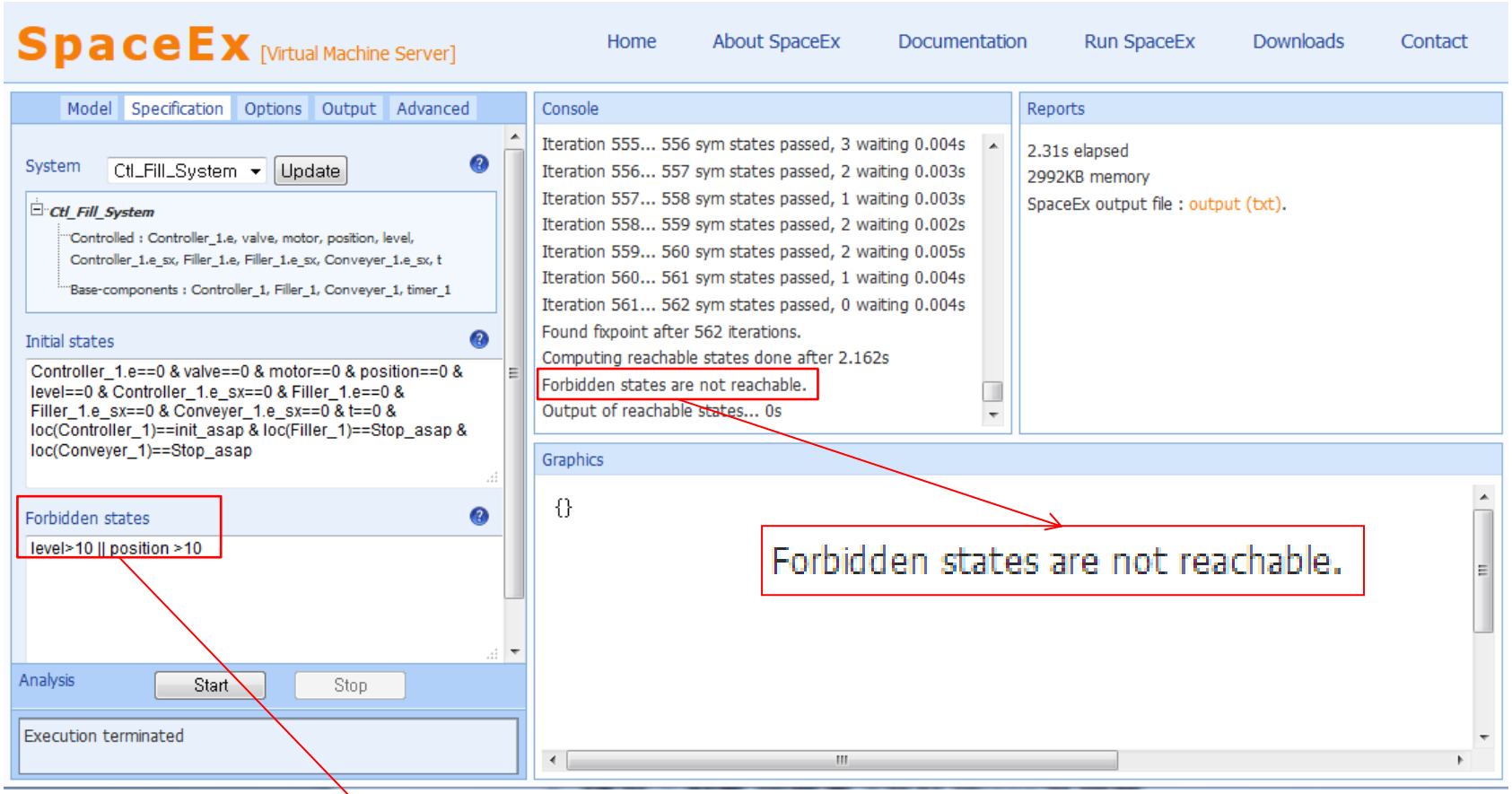
ECML Modeling Environment



Scenario based 3D Visualization



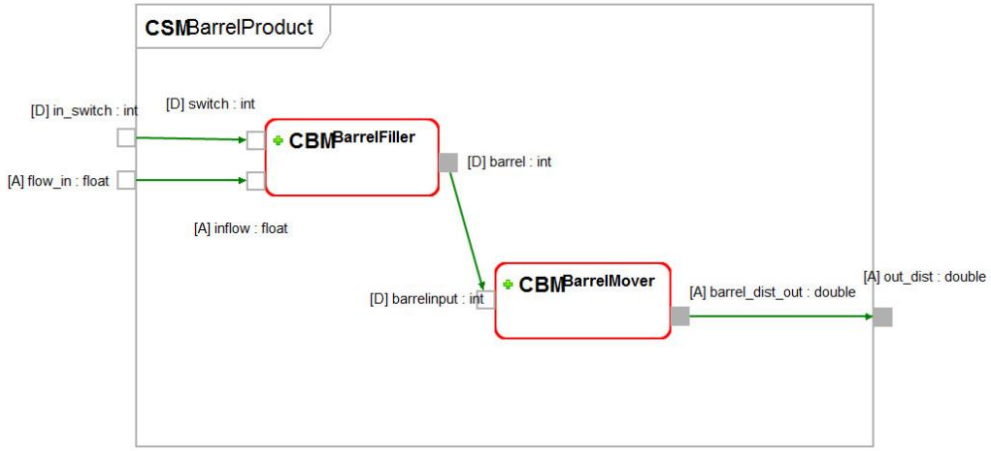
SpaceEx



Level 이나 Position 이 10을 초과하지 않음

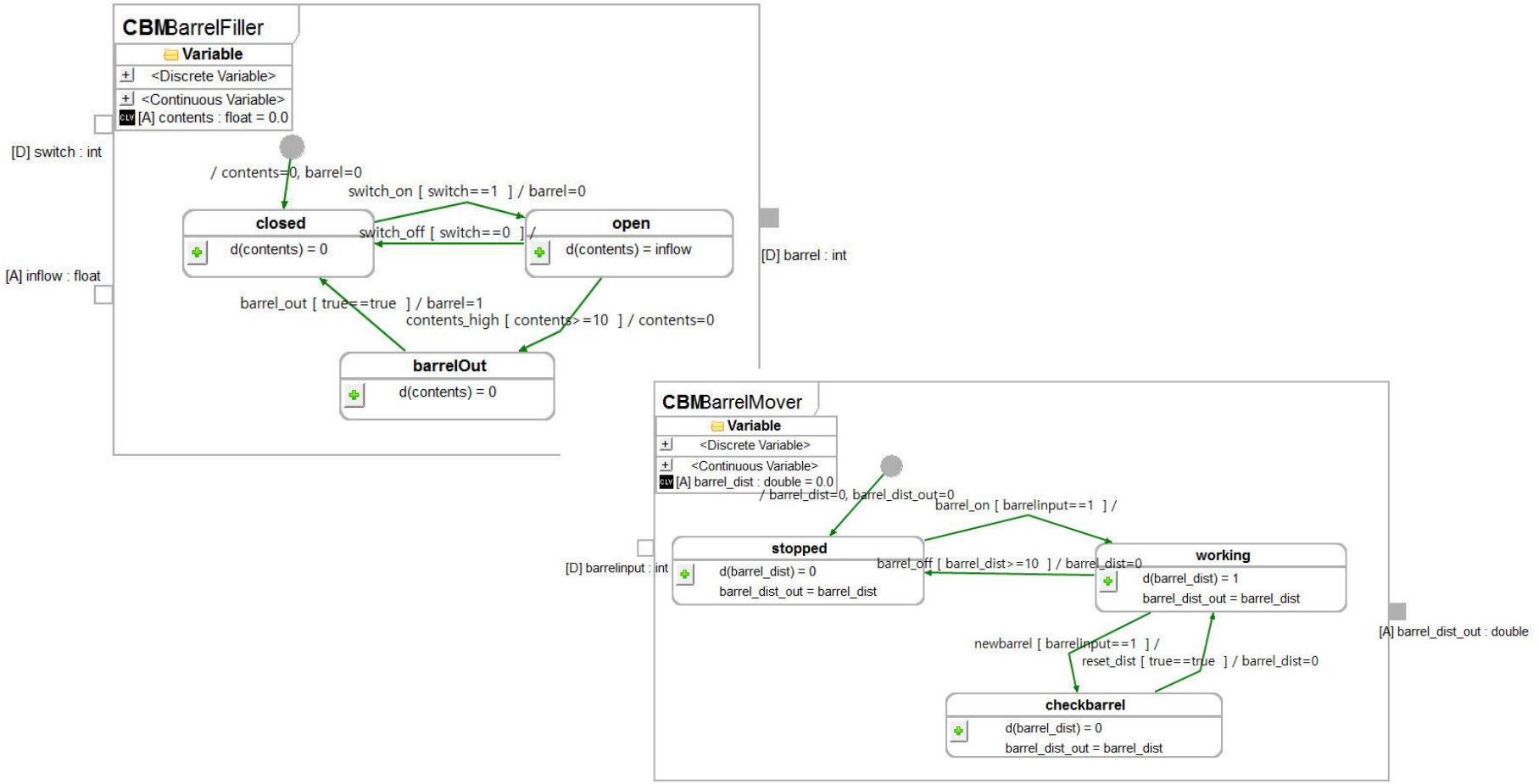
Barrel Product Example

- Barrel Product example
  - Barrel에 물을 채우고 물이 가득찬 barrel을 이동시키는 시스템
  - BarrelFiller와 BarrelMover의 subsystem으로 구성

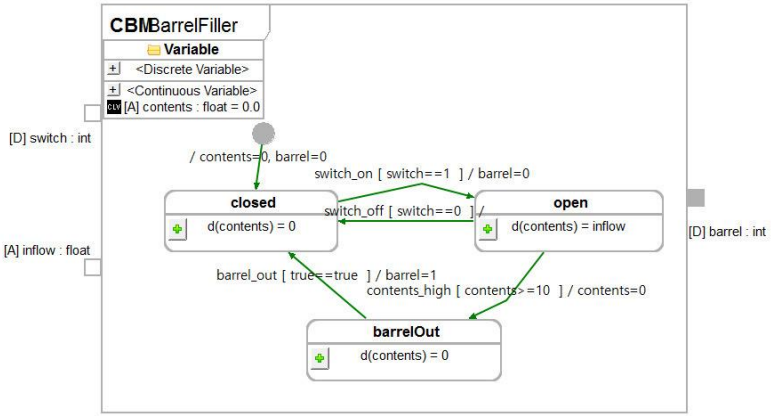


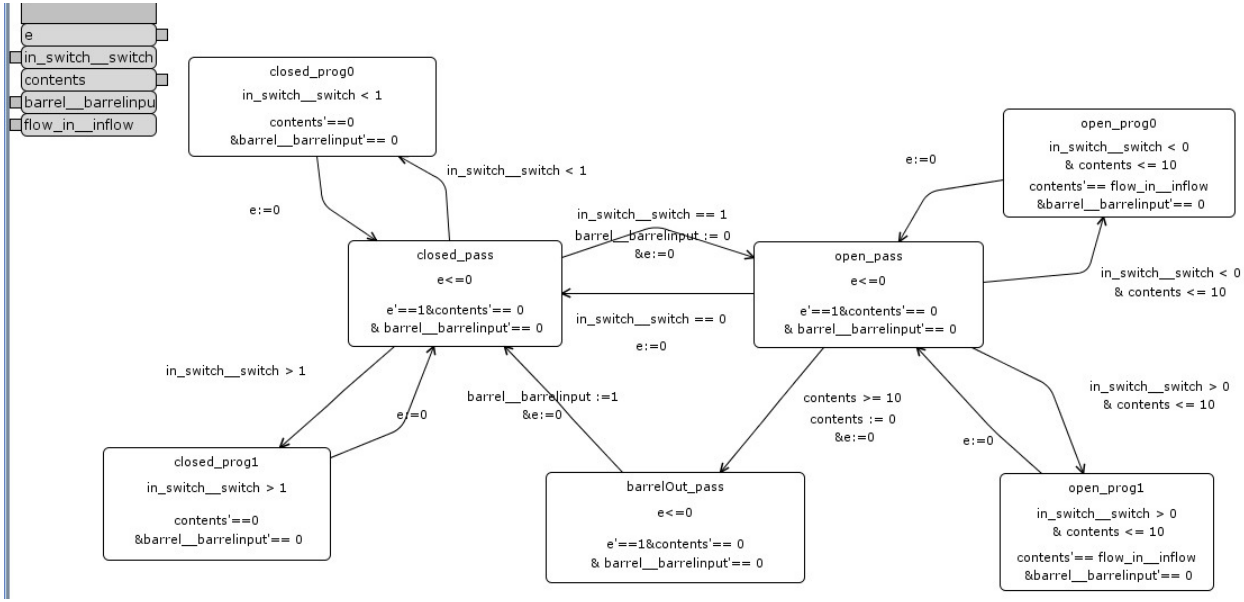
Barrel Product Example

- Sub-systems

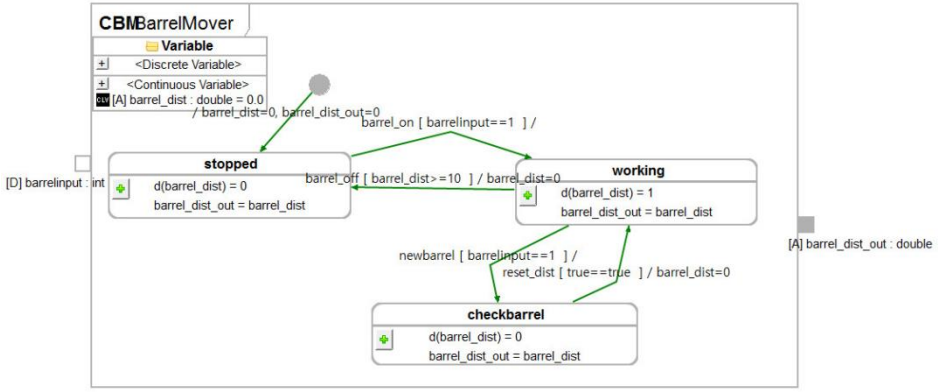


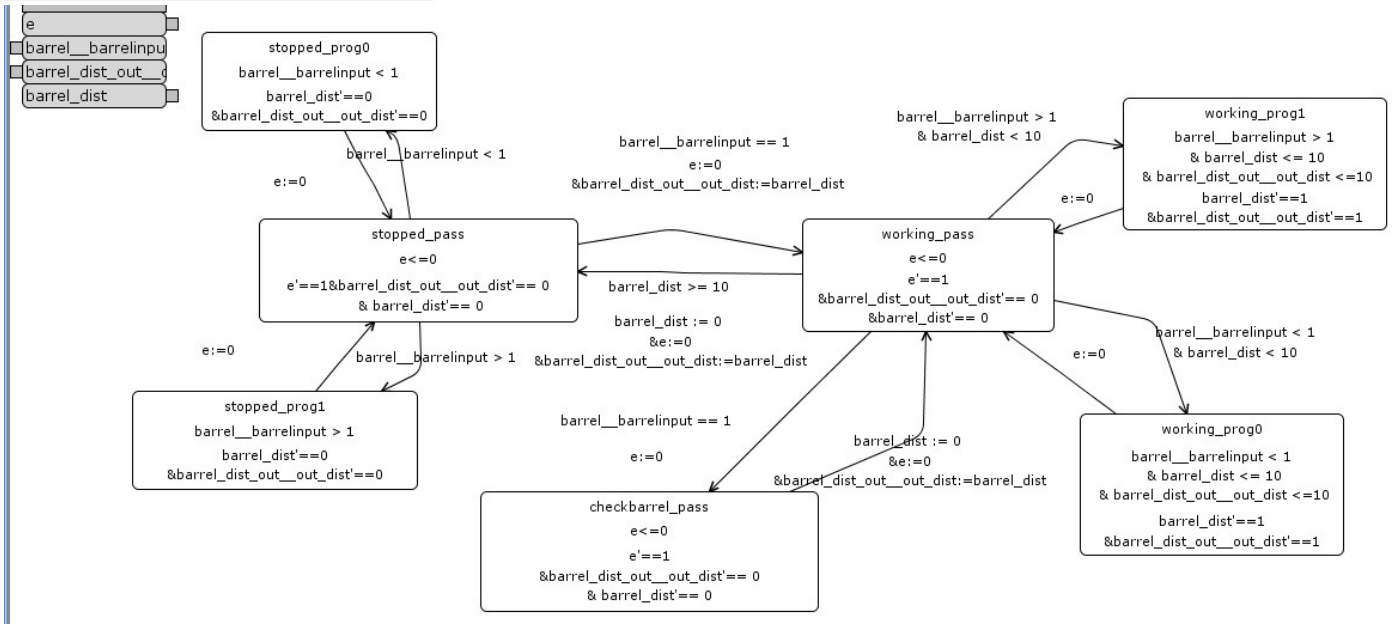
Barrel Product Example





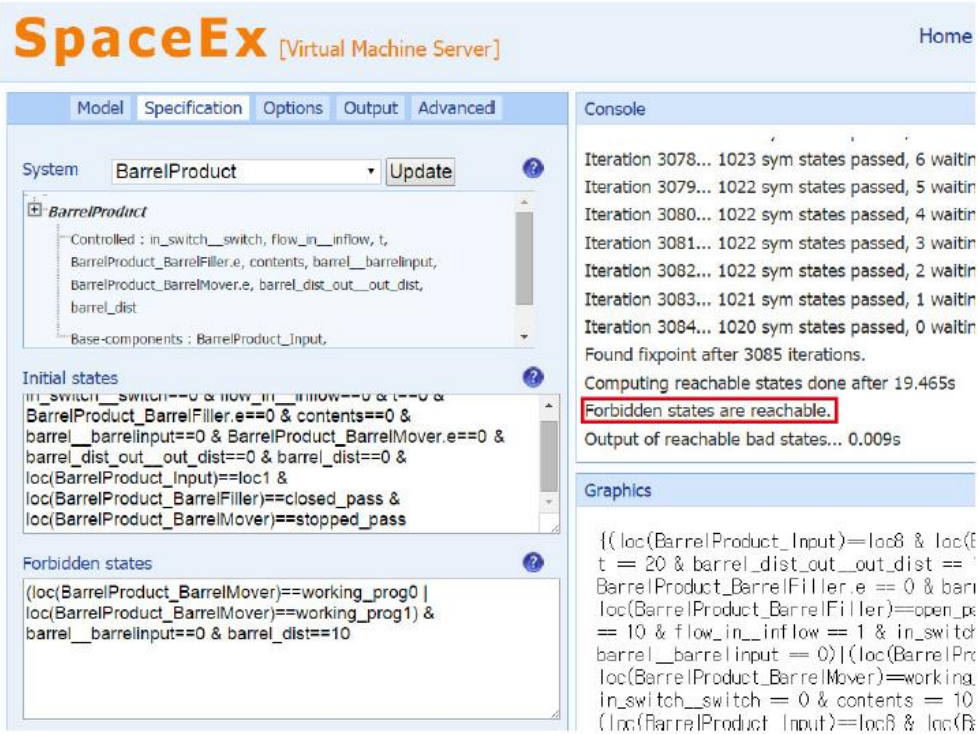
Barrel Product Example





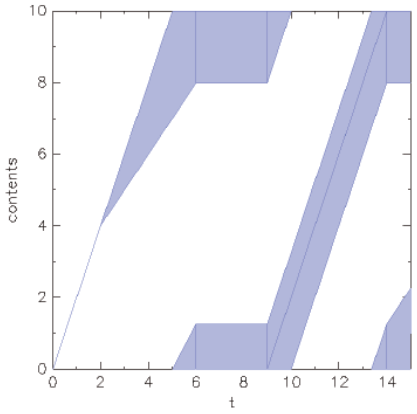
Barrel Product Example

- 물이 가득찬 barrel이 conveyor 벨트 끝까지 옮겨지는가?

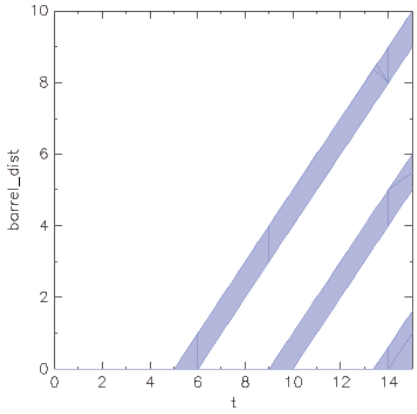


Barrel Product Example

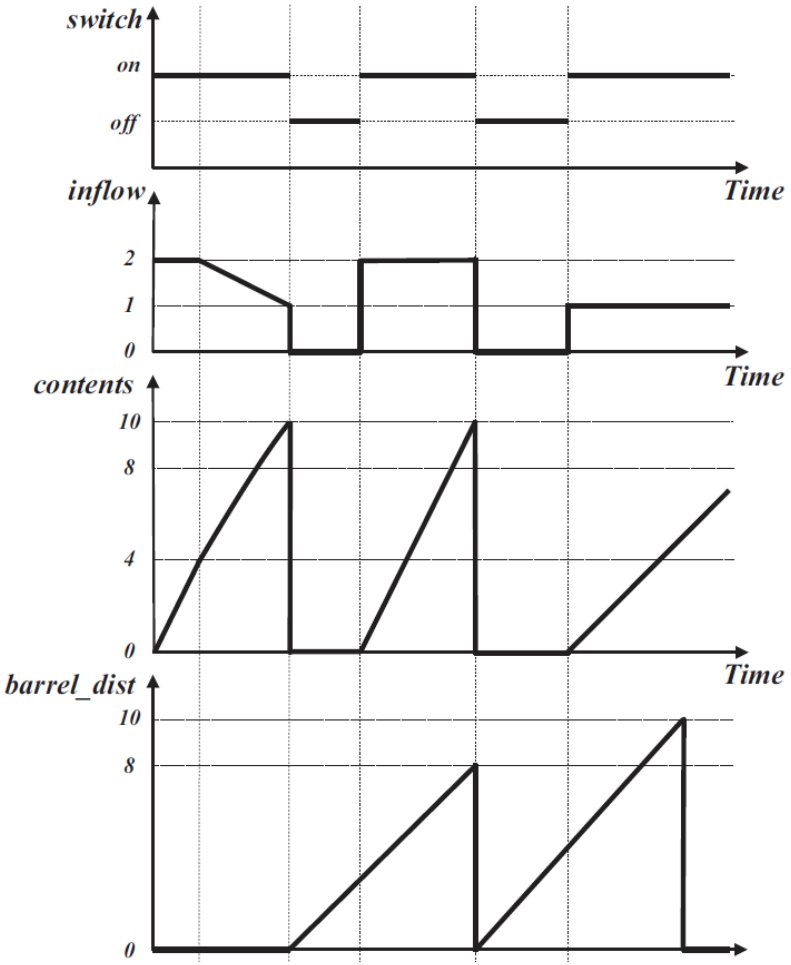
- Behavior



(a) Sequential change of *contents*



(b) Sequential change of *barrel_dist*



감사합니다.