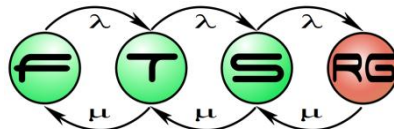


Rendszermodellezés

Modellellenőrzés, programverifikáció



Ismétlés: Mire használunk modelleket?

- Kommunikáció, dokumentáció
- Gondolkodás, tervezés támogatása
- Analízis
- Származtatás
- Szimuláció
- ...belefér egy számítógépbe / emberi agyba

Ismétlés: Felhasználás - Analízis

- Emberi erővel vagy (részben) automatizáltan
- Módszer
 - Felületes, statikus elemzés – végrehajtás nélkül
 - Formális állítások bizonyításával
 - Dinamikus (végrehajtva)
 - Szimuláció / teszt (szűrőpróba jelleg)
 - Kimerítő állapottér-bejárás, modellellenőrzés
- Cél
 - Ellenőrzés, hibák keresése (best effort)
 - Szolgáltatásbiztonsági kritériumok igazolása (erősebb!)
 - Jellemzők számítása, tervezése (pl. ütemezés)

MODELLENŐRZÉS

Modellek kimerítő dinamikus analízise

Modellellenőrzés

- Adott egy (nemdeterminisztikus) viselkedésmodell
 - Diszkrét állapotátmenetek („tranzíciós rendszer”)
- Adottak formális követelmények
 - Deadlockmentesség
 - Biztonsági kritériumok
 - Vezérelhetőség
 - ...
- A modell kielégíti-e a követelményeket?

Motiváció

- Biztonságkritikus beágyazott rendszerek
 - Pl. repülőgép/autó fedélzeti elektronika
 - Hibák előzetes felderítése létfontosságú
- Modell alapú fejlesztés és kódgenerálás
 - pl. SCADE – adatfolyam alapú fejlesztőeszköz
- Rockwell Collins esettanulmány
 - ADGS-2100 Adaptive Display & Guidance System WM
 - Lockheed Martin Aero robotrepülő vezérlő
 - *komponensenként* akár 10^{13} méretű állapottér
 - 0 hibát találtak teszteléssel, 12-t modellellenőrzéssel

Motiváció

- Miért nem használ mindenki modellellenőrzést?
 - Nehéz, lassú folyamat
 - Magas képzettséget igényel
- Mikor használják mégis?
 - Biztonságkritikus rendszerek tervezése
 - Protokollhibák keresése
 - Programverifikáció
- Trend
 - Egyre jobb eszközök
 - Egyre több célra éri meg

Mit ellenőrzünk?

- Modellezés validálása
 - Valóban jól modelleztük a rendszert?
 - Azt modelleztük, amit akartunk?
 - Szimuláció
 - Ellenőrző kritériumok igazolása
- Modell verifikációja
 - Az eredeti rendszer követelményei alapján
 - Ez a cél, a validálás csak feltétel

Hogyan ellenőrizzünk?

- Naiv módszer: **állapottér-bejárás**
- Minden elérhető állapotra igazak a kritériumok?
- Ha igen: **siker**
- Ha nem: **ellenpélda**
 - Rossz állapot az odavezető úttal együtt
 - Segít megtalálni a hibát
 - Elhárítása után új ellenőrzés

csak biztonsági kritériumok (invariánsok)

Problémák

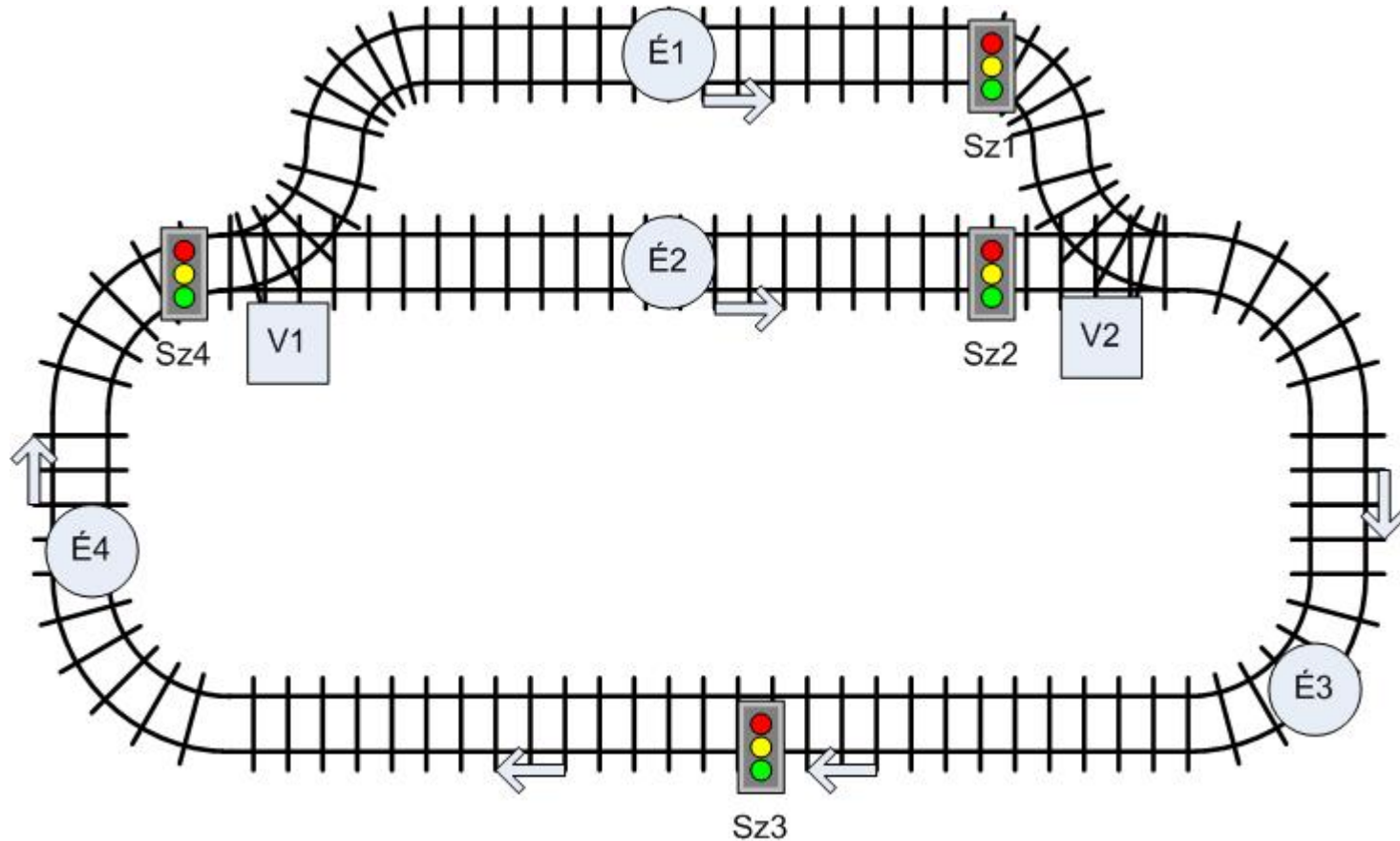
- Exponenciálisan nagy lehet az állapottér!
 - Állapotváltozók értékkészletének Descartes-szorzata...
 - Ne kézzel, hanem szoftverrel...
 - ...és ügyes algoritmusokkal, heurisztikákkal
- Mit kezdünk a nem állapotra felírt kritériumokkal?
 - „Ha A állapotba lép, később elkerülhetetlenül B lesz”
 - Ügyes algoritmus, vagy megkötött nyelv kell
- Ezért kellene: MC (Model Checker) eszközök

Kritériumok leírása

- Egy gyakori formalizmus: *temporális logikák*
- Állapotokra vonatkozó állítások
- Logikai operátorok ($\neg \wedge \vee$)
- Útvonalkvantorok
 - \forall (néha A) - minden lehetséges esetben
 - \exists (néha E) - legalább egyféle lefutásban
- Temporális operátorok
 - \square (néha G) – végig, állandóan
 - \diamond (néha F) - legalább egyszer

Példa

- Vezérlőrendszert fejlesztünk egy modellvasúthoz



- Modell építése
 - Automaták aszinkron kompozíciója
 - (csatornákkal lehetne szinkronizálni)
- Kritériumok megfogalmazása
 - Leegyszerűsített temporális logika
- Kritériumok ellenőrzése
 - Kritérium be nem tartása esetén:
 - Ellenpélda vizsgálata
 - Modell kijavítása

- Validáció: vonatok száma megmarad
 - $A[]$ vonatok_szama == foglaltsag[0] + foglaltsag[1] + ...
- Vonat nem siklik ki
 - $A[]$ not Thomas.kisiklott
- Nincs karambol
 - $A[]$ forall(sz: szakasz) foglaltsag[sz] < 2
- Mindenhova elérhet a vonat
 - $E \leftrightarrow$ Thomas.s1, stb.

UPPAAL specialitás

- *Időzített* automata (timed automaton)
 - Stopperszerű órák definiálhatóak
 - Állapotátmenetek indíthatják
 - Óraintervallum megszabható őrfeltételként
 - Óralimit megszabható állapot-invariánsként
 - Vannak azonnali állapotátmenetek is
- Vizsgálható: időzítések, real-time kényszerek
 - Elég gyorsan vált-e a szemafor pirosra, hogy a vonat mindig meg tudjon állni a következő sínszakasz előtt?
- Szorgalmi feladat

Formális módszerek

- Formális módszerek
 - Matematikailag szabatos eszközök
 - Mérnöki rendszerek, hardverek és szoftverek
 - Specifikációjára
 - Tervezésére, fejlesztésére
 - Verifikációjára, analízisére
- BMEVIMIM100 Formális módszerek
 - Elsőéves MSc tárgy
 - 3/0/0/f
 - 4 kredit

PROGRAMVERIFIKÁCIÓ

Dinamikus programverifikáció

- Mi a legfontosabb viselkedésmodell?
- Informatikusként: a **program!**
 - Szűrőpróbaszerű analízis: szoftvertesztelés
 - Kimerítő analízis
 - Hagyományos ellenőrzés: modell absztrahálása
 - Ellenőrizhető-e közvetlenül?
- NASA Java Pathfinder (JPF)
 - Különleges Java VM, bájt-kódot futtat
 - Teljes állapottér-bejárásra képes
 - Szálak ütemezése
 - Random
 - Input, GUI események

Statikus programverifikáció

- Típusellenőrzés, stb: legtöbb modern nyelvben
- „Design by contract”: programkód annotálása állításokkal (*Hoare logika*)
 - Prekondíció: aminek a művelet előtt teljesülnie kell
 - pl. lep(): Csak arról a szakaszból lépünk el, ahol voltunk
 - Posztkondíció: ami a művelet után garantált
 - pl. lep(): Be lesz jegyezve, hogy az új szakaszra ért a vonat
 - Invariáns: állandóan teljesülnie kell
 - pl. foglaltságok összege a vonatok száma
 - Ciklusinvariáns: \cong indukciós feltevés
 - pl. minimumkiválasztásos rendezés: a következő index előtti rész már rendezve van

Statikus programverifikáció

- „Design by contract” → **statikus** verifikálás
- Nyelvek
 - Eiffel
 - ADA → SPARK
 - Java + JML (Java Modeling Language)
 - .NET Code Contracts, C# → Spec#
- Verifikáció a megfelelő eszközökkel
 - pl. ESC/Java2 a JML-hez

Statikus programverifikáció

- Előny, ha utólag is bármikor ellenőrizhető
 - pl. Java bájtkód: type safety betöltéskor verifikálva
- Proof-carrying code: viszi magával a bizonyítást
- Microsoft Research: **Singularity** OS koncepció
 - Spec# \rightarrow Sing# kommunikációs csatorna protokollokkal
 - Processzek csak deklarált csatornákon beszélhetnek
 - Telepítéskor statikusan verifikált programok
 - Minden program mehet egyetlen memóriaterbe
 - Context switch olcsóbb lesz, teljesítménynövekedés