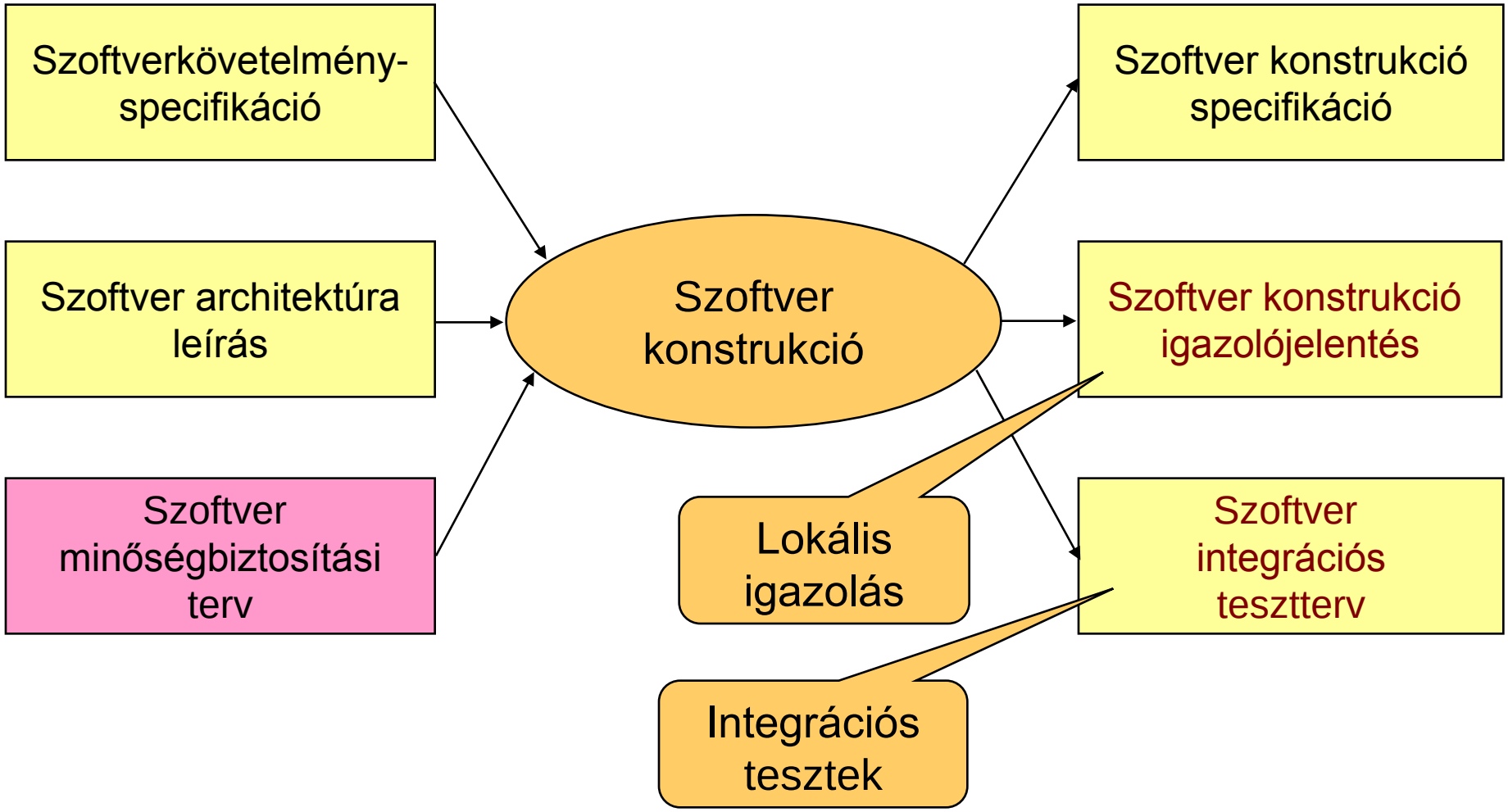
Részletes szoftver tervek ellenőrzése

Majzik István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék
http://www.mit.bme.hu/~majzik/

Tartalomjegyzék

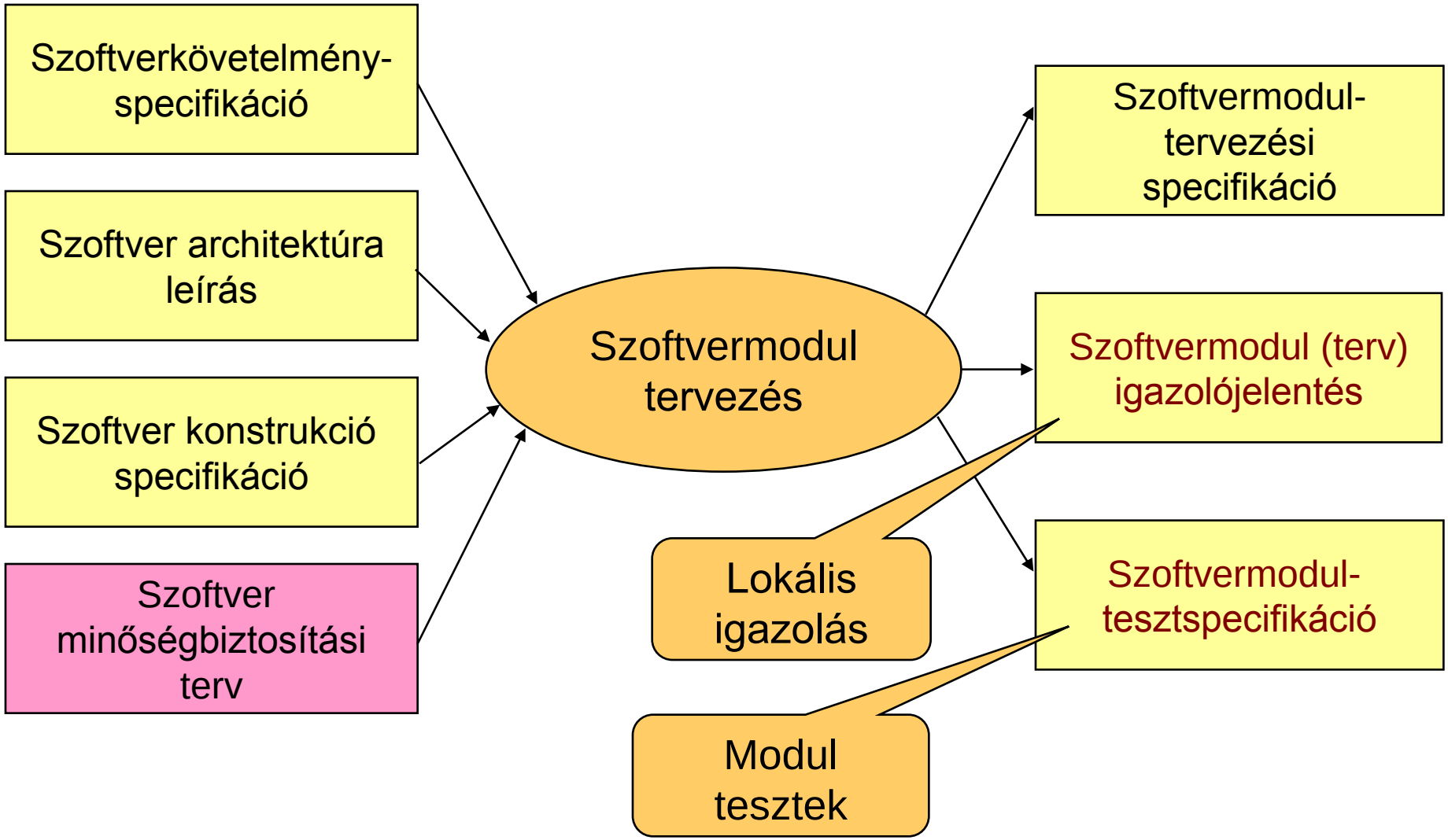
Szoftver konstrukció



Szoftver konstrukció

- Meghatározandó:
  - Modulok közötti interfészek, globális adatstruktúrák
  - Rendszerszintű algoritmusok (modulok együttműködése)
- Használt leíró nyelv:
  - Információáramlás leírása (sorrendiség, időbeliség)
  - Adatstruktúrák leírása
  - Absztrakció és modularitás, verifikálhatóság
- Választható módszerek:
  - Formális, félformális, strukturált módszerek
- Speciális előírások biztonságkritikus rendszerekben:
  - Teljesen meghatározott interfészek
  - Modulméret korlátozás, információrejtés
  - Paraméter mennyiségi korlátozás

Szoftvermodul tervezés



Szoftvermodul-tervezési specifikáció

- Modulok belső tervezése
  - Algoritmusok
  - Adatstruktúrák
- Használt leíró nyelv:
  - Implementációközeli nyelvek
    - Pl. pszeudo-kód is
  - Absztrakt(abb) nyelvek
    - Formális, félformális, strukturált metodika
    - Viselkedés leírás is hangsúlyos

Tartalomjegyzék

Verifikációs lépések

Ellenőrizendők az igazolási fázisokban:

- Lokális tulajdonságok és megfelelőségek
  - Teljesség, ellentmondás-mentesség, megvalósíthatóság, ellenőrizhetőség
  - Megfelelőségek: Előző fázisok alapján
- Teszt tervek teljessége

Verifikációs módszerek:

- Statikus elemzés
  - Ellenőrzőlisták, hibabecslés
  - Vezérlési folyam elemzés (pl. strukturáltság)
  - Adatáramlás elemzés (pl. hozzáférési sorrend)
  - Határérték elemzés
  - „Alattomos komponensek” elemzése (nemkívánatos információáramlás)
  - Szimbolikus végrehajtás
- Dinamikus elemzés
  - Prototípus készítés és animáció
  - Szimuláció
- Formális verifikáció

Formális verifikáció

- Matematikai eszközök használata
  - Diszkrét matematika, matematikai logika
  - Formális nyelv: Formális szintaxis és szemantika
    - Tulajdonság leírás (követelmények, specifikáció)
    - Viselkedés leírás (terv, implementáció)
  - Matematikai algoritmus: analízis (verifikáció), szintézis
- Algoritmusok a verifikációhoz
  - „Önmagában való” vizsgálat (pl. ellentmondás-mentesség)
  - „Változások” vizsgálata (pl. tervezői döntések)
  - Tulajdonság leírás és viselkedés leírás összevetése
- Kritikus pont: A valós probléma formalizálása
  - Nem automatizálható
  - Egyszerűsítés, absztrakció gyakran szükséges (ezt validálni kell)

Formális szintaxis (áttekintés)

- Matematikai definíciók:

$KS = (S, R, L)$ és AP, ahol

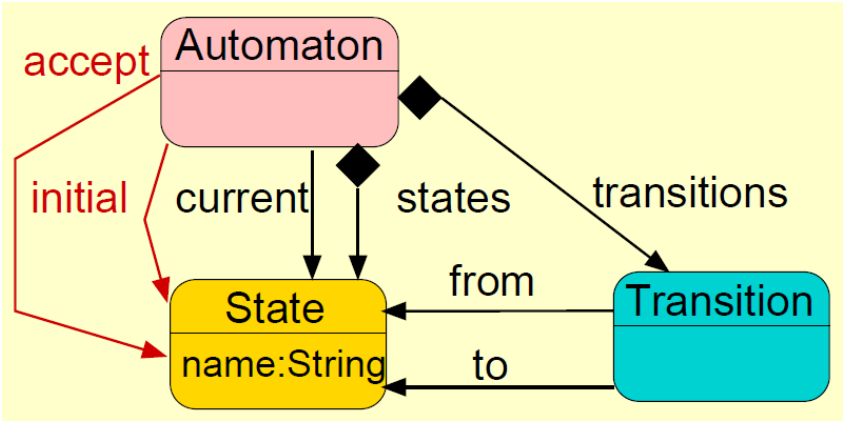
$AP = \{P, Q, R, \ldots\}$

$S = \{s_1, s_2, s_3, \ldots s_n\}$

$R \subseteq S \times S$

$L: S \rightarrow 2^{AP}$

- BNF: HML ::= true | false | p∧q | p∨q | [a]p | <a>p
- Metamodell:



- Absztrakt szintaxis (nyelvtani szabályok) és konkrét szintaxis (megjelenítés)

Formális szemantika (áttekintés)

- Műveleti (operációs) szemantika: „Programozóknak”
  - Megadja, mi történik a számítások során
  - Egyszerűbb formalizmusra épít: pl. állapotok, akciók
- Axiomatikus szemantika: „Helyességbizonyításhoz”
  - Állítás nyelv + axiómakészlet + következtetési szabályok
  - Elő- és utófeltételek adják meg a jelentést
  - Pl. automatikus tételbizonyító rendszerekhez
- Denotációs szemantika: „Fordítóprogramokhoz”
  - Szintaxis által meghatározott „jel −> jelölt dolog” leképzés
  - A „jelölt dolog” tipikusan mint matematikai domén adott
    - Számítási szekvencia, vezérlési gráf, állapothalmaz, …
      és ezeken definiált műveletek (összefűzés, unió, …)
  - A modellek vizsgálata a mögöttes matematikai objektum vizsgálatára vezethető le
  - Komponálható szemantika: |P op Q| = |op| (|P|,|Q|)

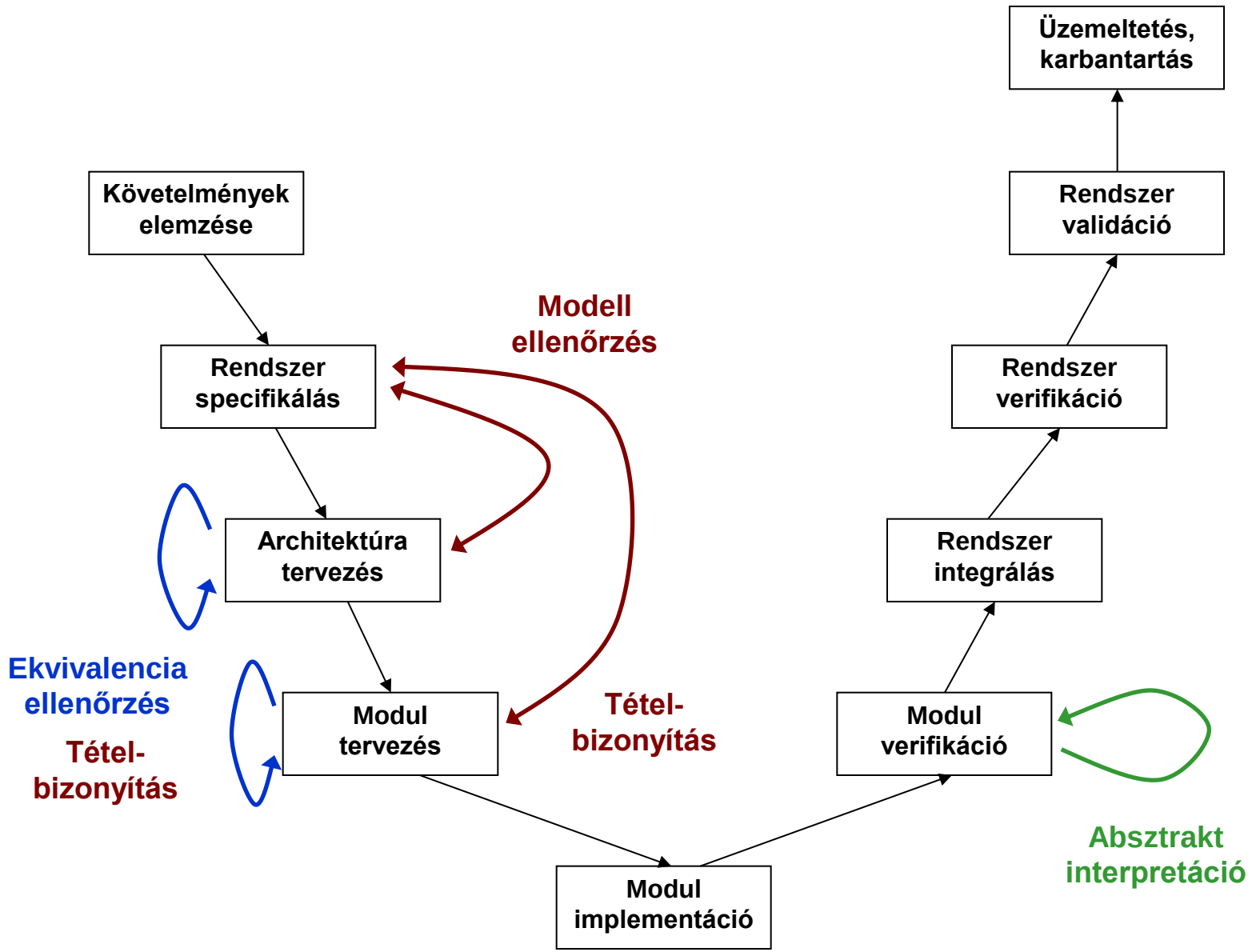
A legelterjedtebb formális verifikációs technikák

Modell / technika	**Viselkedés leírás (alapszintű)**	**Tulajdonság leírás (alapszintű)**
Modellellenőrzés	Kripke-struktúra	Temporális logika, elsőrendű logika
Ekvivalencia ellenőrzés	LTS (Labeled Transition System), automata	LTS, automata (mint referencia viselkedés)
Tételbizonyítás	Dedukciós rendszer	Elsőrendű logika (bizonyítandó tétel)
Statikus analízis (absztrakt interpretáció)	Kripke-struktúra (programból absztrakcióval)	Elsőrendű logika, assertion

A technikák előnyei és korlátai

- Modell ellenőrzés, ekvivalencia ellenőrzés
  - ☺ Teljesen automatikus, explicit kimerítő (teljes) vizsgálat
  - ☺ Ellenpélda generálás (debuggoláshoz)
  - ☹ Állapottér robbanás (részben kezelhető)
- Tételbizonyítás
  - ☺ Skálázható nagy rendszerekre (pl. indukció)
  - ☺ Nagy kifejezőerő
  - ☹ Interaktív (segítséget igényel, pl. ciklus invariánsok megtalálása, bizonyítási stratégia megadása)
  - ☹ Nincs ellenpélda
- Statikus analízis (absztrakt interpretáció)
  - ☺ Állapottér csökkentés
  - ☹ Absztrakció nehezen automatizálható

Verifikációs technikák szerepe



Tervek és modellek szerepe a formális verifikációban

- Viselkedés leírás (modell)
  - Alapszintű:
    - KS, LTS, KTS, automaták, Büchi automaták
  - Magasabb szintű:
    - Vezérlés orientált: Hierarchikus automata, Petri-háló
    - Adatfeldolgozás orientált: Adatfolyam háló
    - Kommunikáció orientált: Processz algebrák
  - Mérnöki modellek:
    - UML diagramok formális szemantikával
- Tulajdonság leírás (követelmény)
  - Alapszintű:
    - Elsőrendű logika, temporális logika, referencia automata
  - Magasabb szintű:
    - MSC, LSC, …

Tartalomjegyzék

- A részletes tervek elkészítése
  - Szoftver konstrukció
  - Modul tervezés
- Ellenőrzések
  - Verifikációs lépések
  - Formális verifikáció
- Alapszintű formalizmusok
  - KS, LTS, KTS
  - Automaták

Alapszintű formalizmusok (áttekintés)

- Kripke-struktúrák (KS)
  - Állapotok, állapotátmenetek
  - Állapotok lokális tulajdonságai mint címkék
- Címkézett tranzíciós rendszerek (LTS)
  - Állapotok, állapotátmenetek
  - Állapotok lokális tulajdonságai mint címkék
- Kripke tranzíciós rendszerek (KTS)
  - Állapotok, állapotátmenetek
  - Állapotok és lokális tulajdonságai mint címkék
- Automaták
  - (Elfogadó) automaták véges hosszúságú szavakon
  - Büchi automaták végtelen hosszúságú szavakon

1. Kripke-struktúra

KS, Kripke-structure:

- Állapotok tulajdonságait fejezzük ki: címkézés atomi kijelentésekkel
- Egy állapothoz sok címke rendelhető

Alkalmazás: Algoritmusok leírása

$KS = (S, R, L)$ és AP, ahol

$\mathrm{AP} = \{\mathrm{P},\mathrm{Q},\mathrm{R},...\}$ atomi kijelentések halmaza (specifikus)

$\mathrm{S} = \{\mathrm{s}_1, \mathrm{s}_2, \mathrm{s}_3, ...\mathrm{s}_n\}$ állapotok halmaza

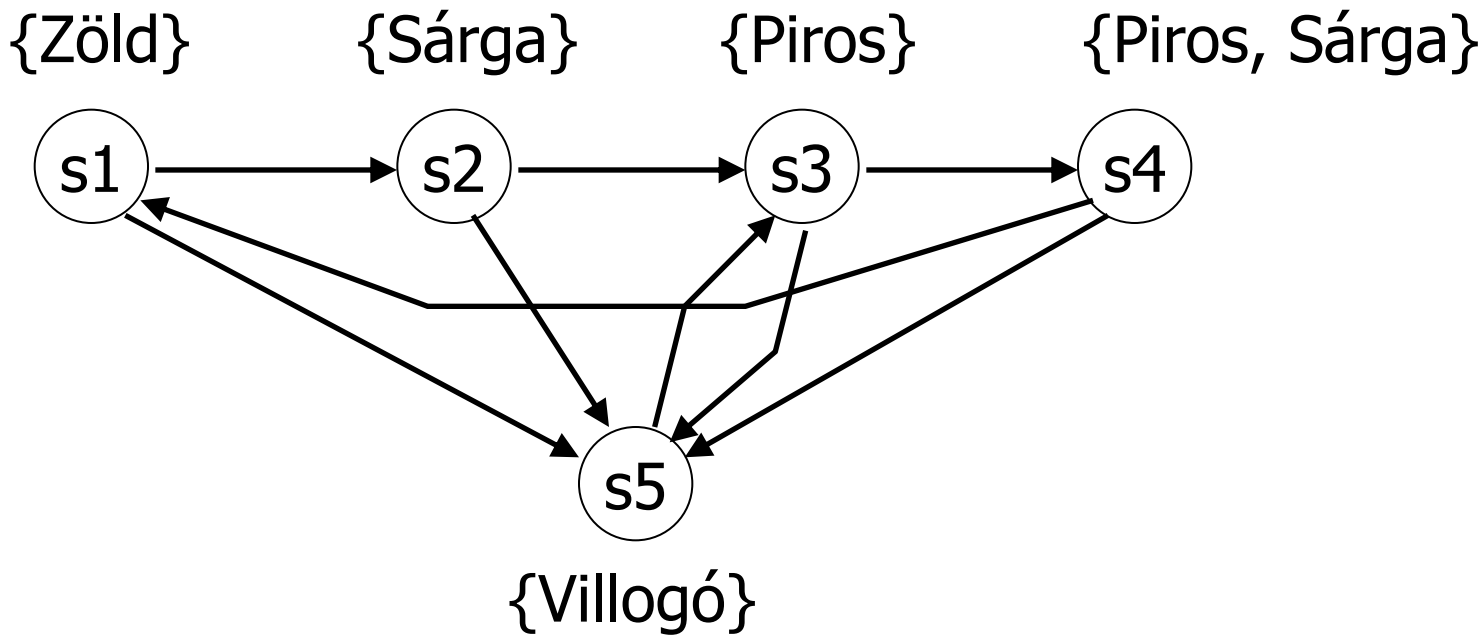
$\mathrm{R} \subseteq \mathrm{S} \times \mathrm{S}$: állapotátmeneti reláció

$\mathrm{L}: \mathrm{S} \to 2^{AP}$ állapotok címkézése atomi kijelentésekkel

Kripke-struktúra példa

Közlekedési lámpa vezérlője

- AP={Zöld, Sárga, Piros, Villogó}
- S = {s1, s2, s3, s4, s5}



2. Címkézett tranzíciós rendszer

LTS, Labeled Transition System:

- Állapotátmenetek tulajdonságait fejezzük ki: címkézés akciókkal
- Egy átmeneten csak egy akció szerepelhet

Alkalmazás: Kommunikáció, protokollok modellezése

$LTS = (S, Act, \rightarrow)$, ahol

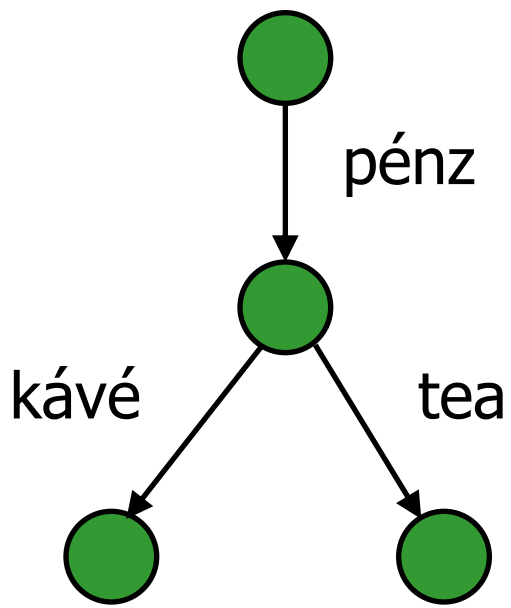
$S = \{s_1, s_2, \ldots s_n\}$ állapotok halmaza

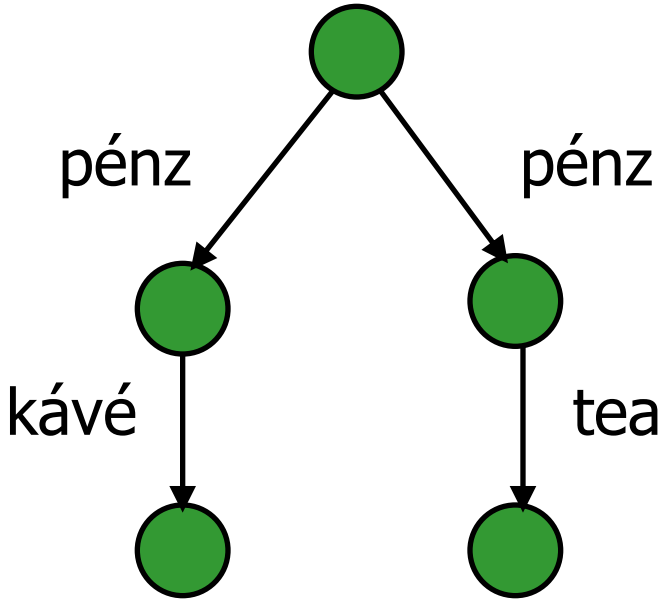
$Act = \{a, b, c, \ldots\}$ akciók (címkék) halmaza

$\rightarrow \subseteq S \times Act \times S$ címkézett tranzíciók.

Tranzíciók szokásos jelölése: $s_1 \xrightarrow{a} s_2$

LTS példák





3. Kripke tranzíciós rendszer

KTS, Kripke Transition System:

- Állapotok és átmenetek tulajdonságait is kifejezzük: címkézés atomi kijelentésekkel és akciókkal
- Egy állapothoz sok címke rendelhető, egy átmenethez egy címke rendelhető

$KTS = (S, \rightarrow, L)$ és AP, Act, ahol

$AP = \{P, Q, R, ...\}$ atomi kijelentések halmaza (specifikus)

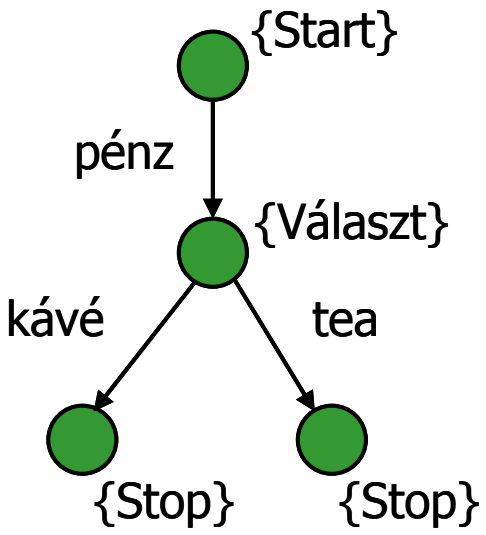
$Act = \{a, b, c, ...\}$ akciók halmaza

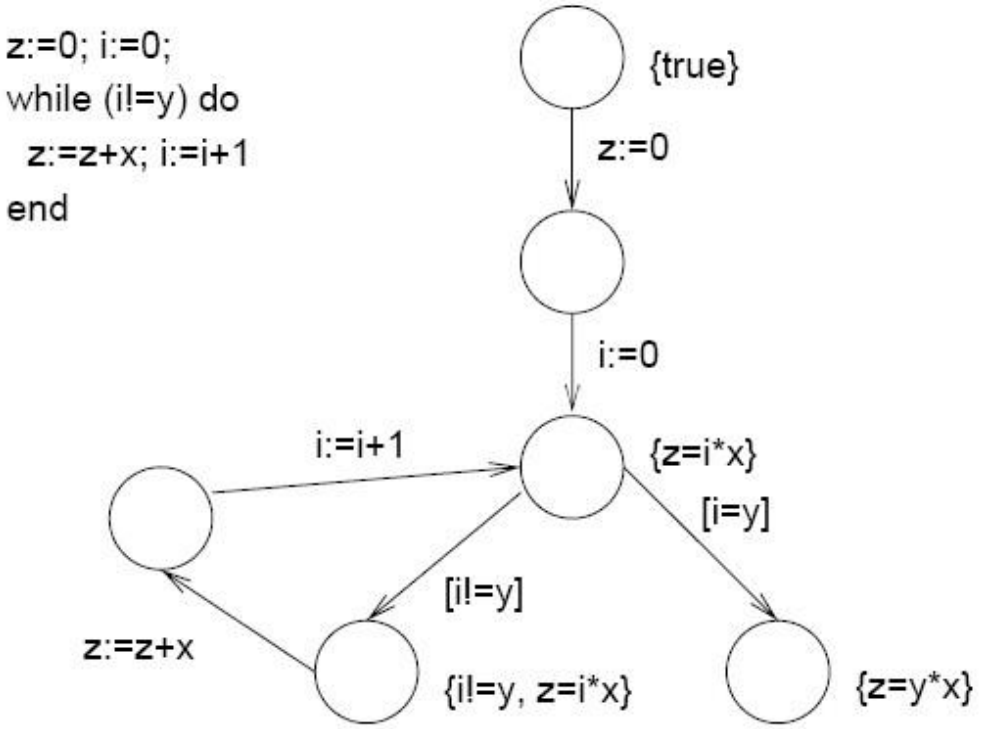
$S = \{s_1, s_2, s_3, ...s_n\}$ állapotok halmaza

$\rightarrow \subseteq S \times Act \times S$ tranzíció reláció

$L: S \rightarrow 2^{AP}$ állapotok címkézése atomi kijelentésekkel

KTS példák


{Start}
pénz
{Választ}
kávé
tea
{Stop}
{Stop}


z:=0; i:=0;
while (i!=y) do
z:=z+x; i:=i+1
end
{true}
z:=0
i:=0
{z=i*x}
i:=i+1
[i=y]
[i!=y]
z:=z+x
{i!=y, z=i*x}
{z=y*x}

4. Automaták véges szavakon

- $A=(\Sigma, S, S_0, \rho, F)$ ahol
  - Σ az ábécé, S állapotok, S_0 kezdőállapotok
  - ρ az állapotátmeneti reláció, $\rho: S \times \Sigma \rightarrow 2^S$
  - F az elfogadó állapotok halmaza.
- Az automata futása:
  - Egy beérkező $w=(a_0, a_1, a_2, \ldots a_n)$ betűsorozat hatására egy $r=(s_0, s_1, s_2, \ldots s_n)$ állapotsorozat
  - r elfogadó futás: $s_n \in F$
  - Egy w szót elfogad az automata, ha létezik rá elfogadó futás
- $L(A)=\{ w \in \Sigma^* \mid w \text{ elfogadott} \}$
  az automata által elfogadott nyelv

Automaták végtelen hosszúságú szavakon

- Nem ellenőrizhető, hogy a végállapot elfogadó-e
- Büchi elfogadási kritérium:
  - Egy beérkező $w=(a_0, a_1, a_2, \dots)$ betűsorozat hatására egy $r=(s_0, s_1, s_2, \dots)$ végtelen állapotsorozat
  - $\lim(r)=\{s \mid s$ előfordul végtelenül sokszor, azaz nincs olyan j, hogy $\forall k>j: s \neq s_k\}$
  - Elfogadó futás: $\lim(r) \cap F \neq 0$
  - Egy w szót elfogad az automata, ha létezik rá elfogadó futás (azaz végtelen sokszor érint elfogadó állapotot)
- $L(A)=\{w \in \Sigma^* \mid w$ elfogadott$\}$ az automata által elfogadott nyelv

Összefoglalás

- A részletes tervek elkészítése
  - Szoftver konstrukció
  - Modul tervezés
- Ellenőrzések
  - Verifikációs lépések
  - Formális verifikáció
- Alapszintű formalizmusok
  - KS, LTS, KTS
  - Automaták