Finomítási relációk és kapcsolatuk a teszteléssel

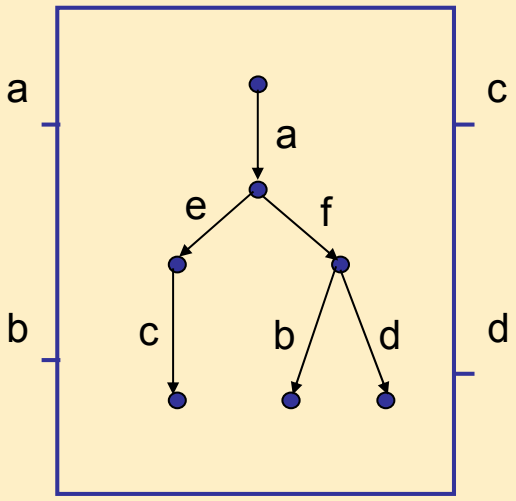
Majzik István
BME Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

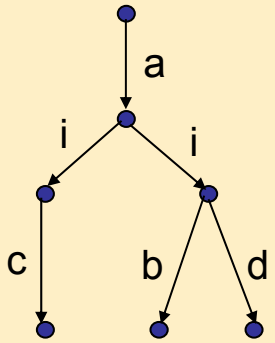
Motiváció (ismétlés)

- Relációk modellek (LTS-ek) között:
  - Megfelelőség (ekvivalencia)
  - Finomítás (rendezés)
- Példák finomításra modellek között:
  - Viselkedés bővül
  - Nemdeterminizmus csökken
  - Lehetséges holtpontok száma csökken
- Finomítási (rendezési) reláció (preorder) $\leq$
  - Reflexív, tranzitív, antiszimmetrikus

  Prekongruencia reláció (precongruence) $\leq$
  - Ha $T1 \leq T2$, akkor minden C[ ] környezetre $C[T1] \leq C[T2]$
  - A beágyazás megőrzi a relációt

Belső akciók és megfigyelhetőség (ismétlés)





Komponens
belső viselkedés

Megfigyelhető
viselkedés

„Tesztelés” és „holtpont” értelmezése (ismétlés)

- Tesztelés értelmezése LTS-eken:
  - Rendszer mint fekete doboz, interfésszel (portok)
  - Interakció a környezettel: Akciók értelmezése mint szinkron kommunikáció egy-egy porton keresztül, pl.
    - Üzenet küldése és fogadása
    - Esemény és annak feldolgozása
- Deadlock (holtpont) értelmezése a tesztelésben:
  - A környezet egy interakciót indít,
    de arra a rendszer nem reagál (interakció nem jön létre)
    - Üzenet küldése vagy fogadása nem történik meg
    - Eseményre nincs reakció
  - Teszt „hibázik”: A kívánt interakció nem lehetséges
  - Analógia: Zongora reteszelhető billentyűkkel
    - Sikeres teszt: Lejátszható dallam

May preorder - lehetséges viselkedés: Jelölések

- Jelölések:

  $\beta \in (Act - \tau)^*$ megfigyelhető akciószekvencia (τ törlése)

  $s \overset{\beta}{\Rightarrow} s'$ ha $\exists \alpha \in Act^*: s \overset{\alpha}{\rightarrow} s'$ és $\beta = \hat{\alpha}$

  $\Delta(s)$ az s-ből induló megfigyelhető akciósorozatok halmaza:

  $$\Delta(s) = \left\{ \beta \mid \exists s' : s \overset{\beta}{\Rightarrow} s' \right\}$$

- Rendezési reláció:

  $T_1 \leq_\Delta T_2$ a.cs.a. $\Delta(s_1) \subseteq \Delta(s_2)$

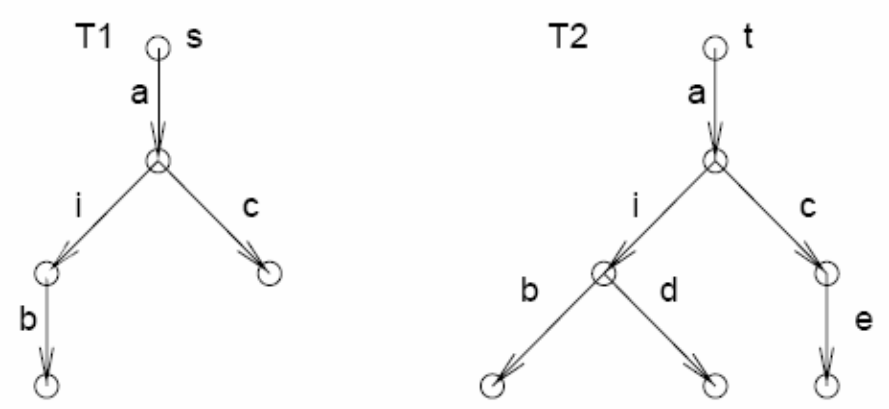
  itt T_2-ben több a megfigyelhető akciósorozat

- Indukált ekvivalencia:

  $T_1 \approx_\Delta T_2$ a.cs.a. $T_1 \leq_\Delta T_2$ és $T_2 \leq_\Delta T_1$

May preorder - lehetséges viselkedés: Példa

- LTS-ek lehetséges megfigyelhető akciósorozatai:



$\Delta(s) = \{a, ab, ac\}$ $\Delta(t) = \{a, ab, ac, ad, ace\}$

May preorder - lehetséges viselkedés: Tesztelés

- Kapcsolat a teszteléssel: $T_1 \leq_\Delta T_2$ esetén:
  - Minden teszt, ami T_1 esetén sikeres lehet, T_2 esetén is sikeres lehet
    - De nem feltétlenül: nemdeterminisztikus viselkedés, illetve belső akciók miatt előfordulhat, hogy sikertelen
  - Azaz T_1 lehetséges sikeres tesztjei T_2 lehetséges sikeres tesztjei között vannak
- A may preorder által definiált finomítás:
  - Nem „veszik el” lehetséges megfigyelhető viselkedés
- Ennek „párjaként” definiálható finomítás:
  - Nem „veszik el” a szükséges megfigyelhető viselkedés
  - Megkötést ad a mindig sikeres tesztekre

Must preorder - szükséges viselkedés: Jelölések

- Jelölések:

s elutasítja $E \subseteq Act - \{\tau\}$ akciókat, ha $\forall e \in E$: nincs $s \overset{e}{\Rightarrow} s'$

s divergens ($s \Uparrow$),

ha $\exists s_0 s_1 \ldots$ végtelen szekvencia, ahol $s = s_0$ és $s_i \overset{\tau}{\rightarrow} s_{i+1}$

s divergál β akciósorozaton ($s \Uparrow \beta$),

ha $\exists \beta'$ prefixe β-nak, hogy $s \overset{\beta'}{\Rightarrow} s'$ és $s' \Uparrow$

$\langle \beta, E \rangle$ egy hibázása s-nek, ha

vagy $s \Uparrow \beta$

vagy $\exists s' : s \overset{\beta}{\Rightarrow} s'$ és s' elutasítja E elemeit

(azaz β közben divergál, vagy β után E-t elutasítja).

$F(s)$ az s-hez tartozó összes hibázás halmaza.

Must preorder - szükséges viselkedés: Definíció

Rendezési reláció: Hibázások rendezése

$T_1 \leq_F T_2$ a.cs.a. $F(s_1) \supseteq F(s_2)$

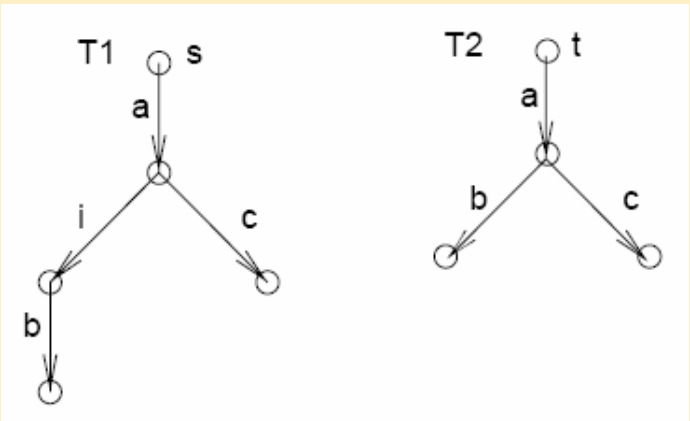
azaz T_2-ben kevesebb a hibázás, mint T_1-ben.

Hibázások szempontjából vett példák:

- Absztrakt LTS:
  - Több nemdeterminizmus, több belső akció
  - Hajlamosabb divergenciára és elutasításra
- Finomított LTS:
  - Kevesebb belső akció, kevesebb divergencia
  - Bővíti a viselkedést (ezért kevesebb akciót utasít el)

Must preorder - szükséges viselkedés: Példa

- Példa:



T1 mindig sikeres tesztjei: {a,ab}

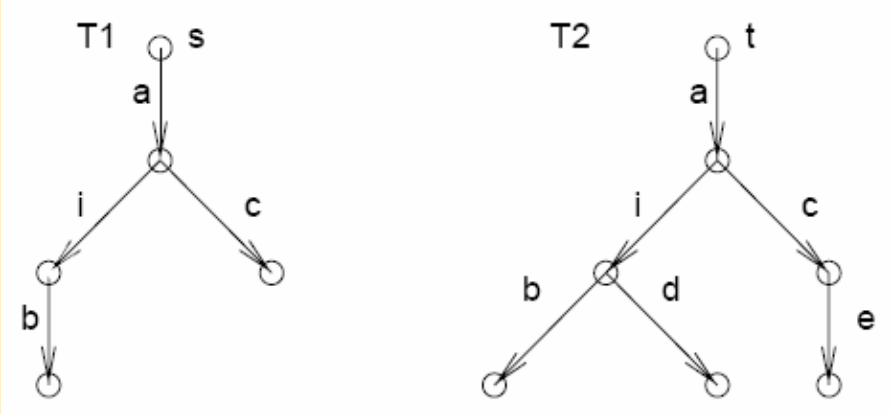
itt <a,{c}> egy hibázás

T2 mindig sikeres tesztjei: {a,ab,ac} bővebb halmaz

itt <a,{c}> nem hibázás

Must preorder - szükséges viselkedés: Példa

- Példa:



T1 mindig sikeres tesztjei: {a,ab}

T2 mindig sikeres tesztjei: {a,ab,ad} bővebb halmaz

hibázások halmaza csökken

Must preorder - szükséges viselkedés: Tesztelés

- Kapcsolat a teszteléssel: $T_1 \leq_F T_2$ esetén:
  - Minden teszt, ami T_1 esetén sikeres, T_2 esetén is sikeres
    - Belső, láthatatlan akciók miatt sem lehet sikertelen
  - Azaz T_1 sikeres tesztjei T_2 sikeres tesztjei között vannak
    - T_2-nek kevesebb a hibázása, nem utasíthat el többet
- A must preorder jellegzetessége:
  - A finomított LTS-ben nem „veszhet el” olyan megfigyelhető viselkedés, ami az absztrakt LTS-ben szerepelt
- Kapcsolat a deadlock lehetőséggel:
  - Deadlockra érzékeny rendezés

Konformancia reláció teszteléshez

Motiváció

- Konformancia reláció elvárásai: „Trace” alapú
  - Cél a teszt során tapasztalt viselkedés és a specifikáció szerinti viselkedés összevetése (hibás viselkedés azonosítása)
  - Fekete doboz teszteléshez: Bemenetek és kimenetek, valamint belső (láthatatlan) akciók megkülönböztetése
  - Bemenetek és kimenetek átlapolódása ne legyen megkötött
  - Kimeneti akció hiánya jelentsen különbségtételt (ha nem engedi meg a specifikáció a hiányt, akkor hibát jelent)
  - Nemdeterminisztikus viselkedés legyen kezelhető
- Az LTS-nél finomabb matematikai modell kell
  - Akciótípusok megkülönböztetése
    - Bemeneti akciók: Teszt vezérli
    - Kimeneti akciók: Megfigyelhető kívülről
    - Belső (láthatatlan) akció: A környezet (teszt) nincs rá hatással
  - Tétlen (quiescent) állapot:
    - Nincs kimeneti vagy belső akcióval címkézett átmenet belőle

    → Csak bemeneti akcióval címkézett átmenet indulhat belőle

Az IOLTS formalizmus

- Input-Output Labelled Transition System (IOLTS):

$$IOLTS = (S, Act, \rightarrow, s_0)$$

S az állapotok halmaza, s_0 kezdőállapot

Act az akciók halmaza: $Act = Act_{in} \cup Act_{out} \cup \{\tau\}$

$\rightarrow \subseteq S \times Act \times S$ az állapotátmeneti reláció

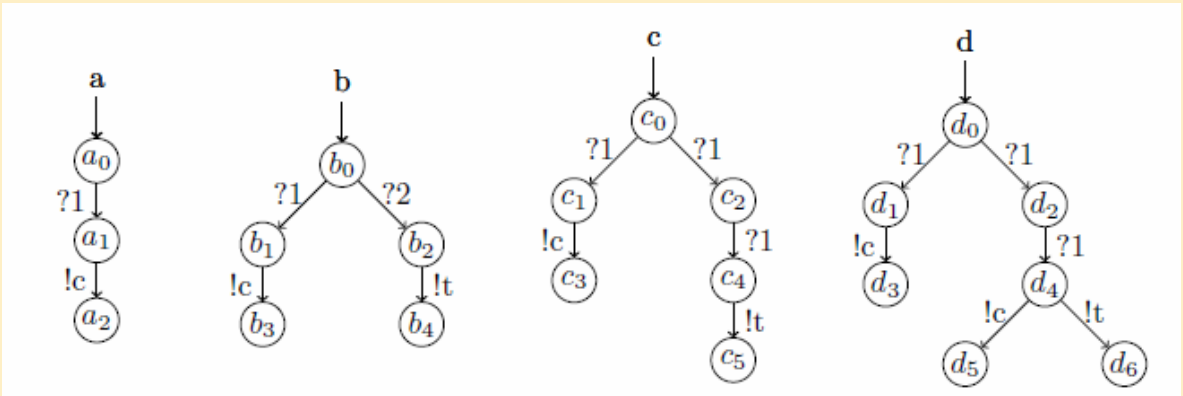
Act_{in} bemeneti, Act_{out} kimeneti akciók, τ belső akció

- IOLTS jellemzők definíciói:
  - Teljes, ha minden állapotban minden akcióval van átmenet
  - Bemenetre teljes (weakly input enabled), ha minden állapotban minden bemenettel van átmenet, esetleg τ^* után
    - Implementáció jellemzője: minden bemenetet kezel valahogy
  - Determinisztikus, ha minden megfigyelhető akciósorozat esetén csakis egy elérhető állapot van

IOLTS példák

Italautomata IOLTS-ek:

- Act_{in}={1,2} bemenetek (pénzbedobás)
  - Jelölés: ? prefix
- Act_{out}={c,t} kimenetek (kávé vagy tea)
  - Jelölés: ! prefix



További jelölések és átalakítások

- Jelölések:
  - β megfigyelhető akciósorozata a T modellnek
  - Δ(T) egy T modell megfigyelhető akciósorozatai
  - In(s) az s állapotból induló bemeneti akciók halmaza
  - Out(s) az s állapotból induló megfigyelhető kimeneti akciók halmaza (állapothalmazra kiterjeszthető)
  - Elérhető állapotok: „after” operátor

$$s \text{ after } \beta = \left\{ s' \mid s \overset{\beta}{\Rightarrow} s' \right\} \qquad S \text{ after } \beta = \bigcup_{s \in S} (s \text{ after } \beta)$$

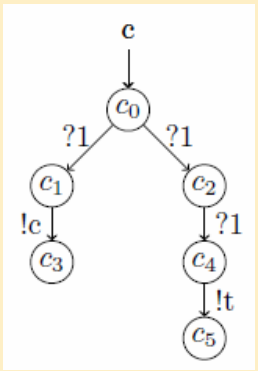
- A tétlenség „megfigyelhetővé” tétele:
  - A tétlen állapotok (csak bemenetre vár) kapnak egy hurokátmenetet a speciális δ akcióval címkézve
  - Így előáll egy módosított automata T_δ

Módosított IOLTS példa

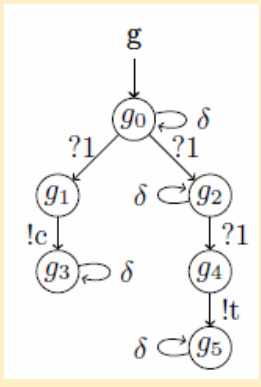
Ital automata IOLTS:

- Act_{in}={1,2} bemenetek (pénzbedobás), ? prefix
- Act_{out}={c,t} kimenetek (kávé vagy tea), ! prefix

Ha nincs kimenet, δ hurokátmenet van:



módosítása:

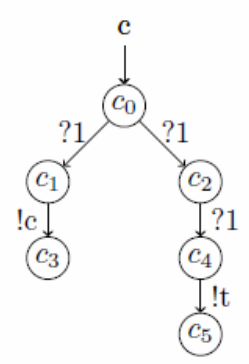


Bemenetre teljes módosított IOLTS

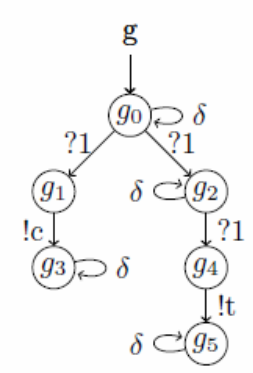
Ital automata IOLTS:

- Act_{in}={1,2} bemenetek (pénzbedobás), ? prefix
- Act_{out}={c,t} kimenetek (kávé/tea), ! prefix

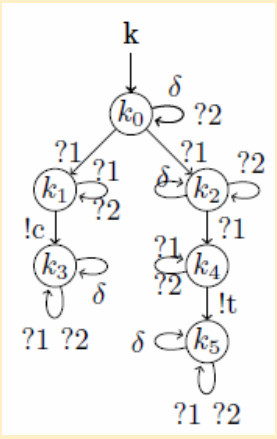
Hurokátmenet van a kimaradó bemenetekre:

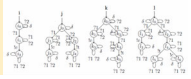


módosítása:



bemenetre teljessé tétele:





A k-ekvivalencia reláció

- Elemek:
  - T_δ IOLTS mint „specifikáció”
  - M_δ IOLTS mint „implementáció”
  - Bemenetekre következő kimenetek (~ Mealy reprezentáció)
- Definíció:
  - A specifikációban és az implementációban azonos bemeneti sorozat mellett azonos kimenetek az első k lépésre
- Jellegzetességek
  - Egyszerű reláció
  - Szigorú a teszteléshez (a k lépésszám keretén belül)
    - Szűkítés, bővítés nem megengedett

Az IOCO konformancia reláció

- Elemek:
  - T_δ IOLTS mint „specifikáció” (elvárt viselkedés)
  - M_δ IOLTS mint „implementáció”, ami bemenetre teljes
  - Akciók halmazai azonosak
- Definíció: M ioco T

  M_δ és T_δ esetén minden, a specifikációban felvehető megfigyelhető akciószekvenciára igaz: Az így elérhető állapotokban az implementáció által nyújtott kimeneti akciók részhalmazát képezik a specifikáció által nyújtott kimeneti akcióknak

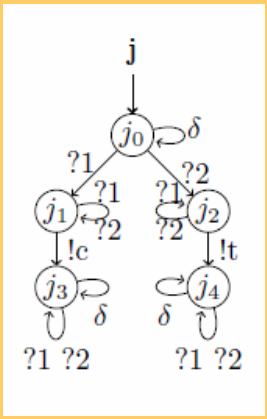
$$\forall \beta \in \Delta(T_\delta) \; : \; \mathrm{Out}(s_{0,M_\delta} \text{ after } \beta) \subseteq \mathrm{Out}(s_{0,T_\delta} \text{ after } \beta)$$

Megfigyelhető β akció-szekvencia a specifikációban	Az implementáció megfigyelhető kimeneti akciói β után	A specifikáció megfigyelhető kimeneti akciói β után

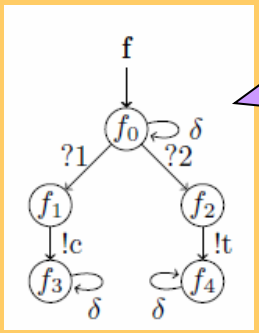
Az IOCO jellegzetességei

- Definíció:
  - Formálisan (ld. előző oldal): Minden, a specifikációban felvehető megfigyelhető akciószekvenciára igaz: Az így elérhető állapotokban az implementáció által nyújtott kimeneti akciók részhalmazát képezik a specifikáció által nyújtott kimeneti akcióknak
  - Informálisan: Az implementáció „befér” a specifikáció keretei közé
    - A specifikáció a megengedhető viselkedés kereteit rögzíti
- Mit enged meg?
  - Szűkített viselkedés: Az implementációban a specifikációhoz képest kevesebb kimeneti akció jelenhet meg
    - Pl. részleges implementáció, vagy nemdeterminizmus egyféle feloldása
  - Bővített viselkedés: A specifikációban nem szereplő akciószekvenciára megjelenhet az implementációban plusz kimenet
    - Pl. nem teljes a specifikáció (bizonyos akciószekvenciákra)
- Mit nem enged meg?
  - A specifikációban rögzített akciószekvenciára nem bővíthető a viselkedés (kimenetek halmaza)

Példák IOCO konformanciára



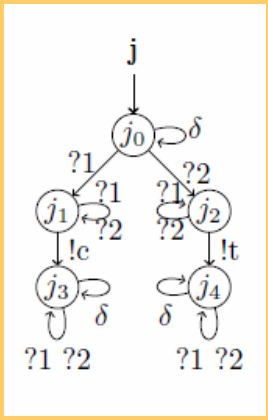
ioco



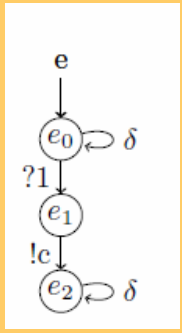
specifikáció

A megfigyelhető kimeneti akciókat kell nézni minden megfigyelhető akció-szekvencia után

Az implementáció új szekvenciákat is megenged, de a specifikációban lévő szekvenciákra itt megőrzi a viselkedést



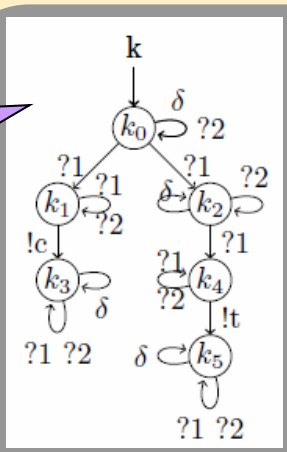
ioco



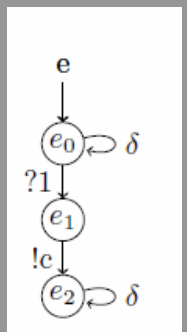
specifikáció

Példák nem IOCO konformanciára

Az implementáció azokra a szekvenciákra bővíti a viselkedést, amik a specifikációban vannak



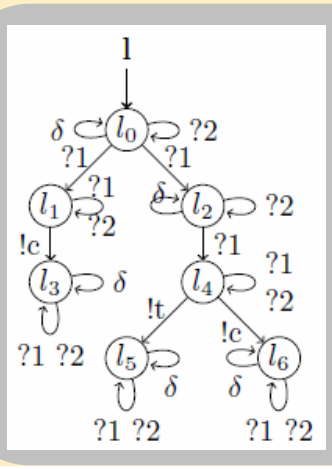
not ioco



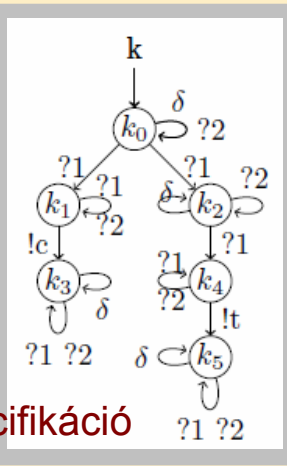
specifikáció

k_0 after ?1 = {!c,δ}

e_0 after ?1 = {!c}



not ioco



specifikáció

l_0 after <?1, δ, ?1>

k_0 after <?1, δ, ?1>

Összefoglalás

- Ekvivalenciák: Verifikációhoz
  - Trace: $T \approx_{\Lambda} T'$ a.cs.a. $\Lambda(s)=\Lambda(s')$
  - Erős biszimuláció: $T \sim T'$ a.cs.a. $\exists B : (s, s') \in B$
  - Megfigyelési ekvivalencia: $T \approx T'$ a.cs.a. $\exists WB : (s, s') \in WB$
- Rendezések: Modellfinomításhoz
  - May (lehetséges viselkedés):
  - Must (szükséges viselkedés): $T \leq_{\Delta} T'$ a.cs.a. $\Delta(s) \subseteq \Delta(s')$
    $T \leq_{F} T'$ a.cs.a. $F(s) \supseteq F(s')$
- Konformancia reláció: Teszteléshez
  - k-ekvivalencia
  - Input-output konformancia (IOCO)