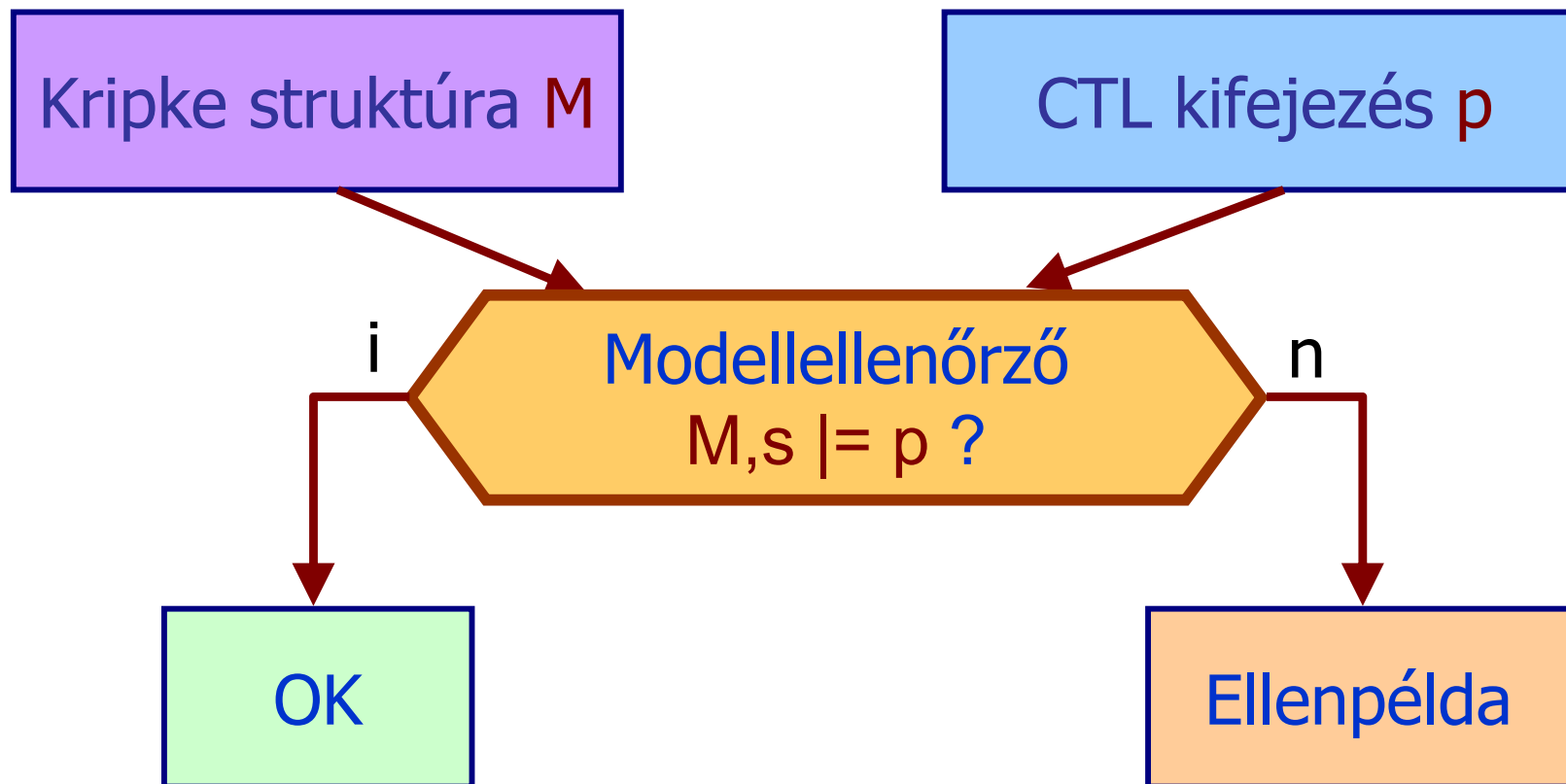


# Modellellenőrzés

dr. Majzik István

BME Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

# Itt tárgyaljuk: CTL modellellenőrzés

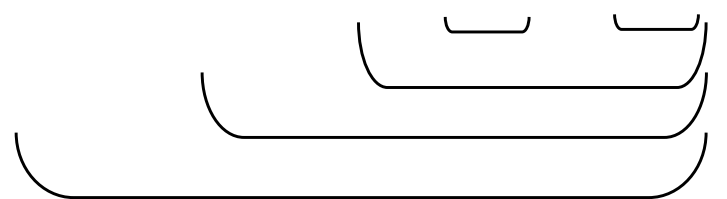


# Alapötlet: Állapotok címkézése

- **Globális modellellenőrzés:**
  - Jelölés:  $Sat(p)$  jelöli egy  $p$  CTL kifejezés esetén azoknak az állapotoknak a halmazát, ahol  $p$  igaz
  - Címkézés: Ezeket az állapotokat  $p$ -vel címkézzük
  - Ezután  $s \in Sat(p)$  egyszerűen vizsgálható egy adott  $s$  állapotra (pl. kezdőállapot is): Szerepel-e rajta a  $p$  címke?
- A címkézés (azaz  $Sat(p)$  számítása) inkrementálisan történik
  - Címkézett állapothalmazok bővítése
  - Az iteráció vége: Nem nő a címkézhető állapotok halmaza

# CTL modellellenőrzés állapot címkézéssel

- Állapotok címkézése: ahol igaz egy adott kifejezés
- Összetett kifejezés esetén hogyan történik a címkézés?
  - Kifejezések felbontása azok struktúrája alapján, és „belülről kifelé”  $\text{Sat}(\text{kifejezés})$  számítások:

$$\text{AF} ( P \wedge E ( Q \cup R ) )$$


- Algoritmus az összetett kifejezés felbontása alapján:
  - Kiindulás:  $\text{KS}$  címkézve van **atomi kijelentésekkel**
  - Tovább lépés: Címkézés az összetettebb kifejezésekkel
    - Ha  $p$  illetve  $q$  címkék már vannak, akkor megadható, hol lehet  $\neg p$ ,  $p \wedge q$ ,  $\text{EX } p$ ,  $\text{AX } p$ ,  $E(p \cup q)$ ,  $A(p \cup q)$  címke
    - Ehhez felhasználhatók a szemantika szabályai
    - Inkrementális címkézés történik

# Hol igaz egy adott kifejezés?

- $P$  (atomi kijelentés) azokban az  $s$  állapotokban igaz, ahol  $P \in L(s)$ 
  - Itt  $P$  címkeként már szerepel a KS-ba
- $\neg P$  azokban az  $s$  állapotokban igaz, ahol  $P \notin L(s)$ 
  - Ezek az állapotok  $\neg P$  kifejezéssel címkézhetők
- $p \wedge q$  azokban az  $s$  állapotokban igaz, ahol  $p$  és  $q$  is igaz
  - Egy állapot címkézése lehet  $p \wedge q$ , ha címkéi között már van  $p$  és  $q$
- Temporális operátorok:  $EX, AX, E(U), A(U)$ 
  - Bonyolultabb algoritmust igényel a címkézés!

# Az AX, EX alakú kifejezések

- **EX p** azokban az **s** állapotokban igaz, amelyeknek van olyan rákövetkező állapota, ahol **p** igaz
  - Egy állapot címkézése lehet **EX p**, ha van olyan rákövetkező állapota, ami **p**-vel címkézett



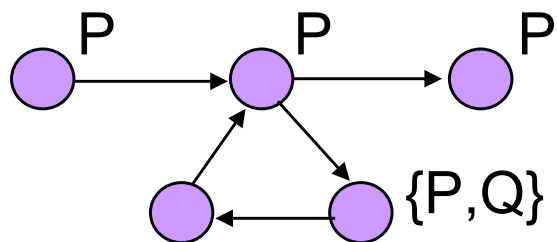
- **AX p** azokban az **s** állapotokban igaz, amelyeknek minden rákövetkező állapotában **p** igaz
  - Egy állapot címkézése lehet **AX p**, ha minden rákövetkező állapota **p**-vel címkézett



# Az $E(p \cup q)$ kifejezések

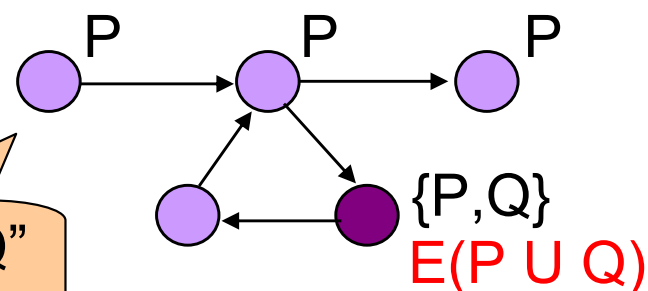
- Hol igaz  $E(p \cup q)$ ?
  - Felhasználható:  $E(p \cup q) = q \vee (p \wedge EX E(p \cup q))$
  - „Rekurzív” képlet...
- Tehát mely  $s$  állapotok címkézhetők  $E(p \cup q)$ -val?
  - Ha  $s$  címkézett  $q$ -val, vagy
  - ha  $s$  címkézett  $p$ -vel, és legalább egy rákövetkezője már címkézett  $E(p \cup q)$ -val
- Iteráció adódik:
  - $q$ -val már címkézett állapotok adják azokat az állapotokat, ahol először megjelenik az  $E(p \cup q)$  címke
  - Ezek megelőző állapotait kell végignézni:  
Ha szerepel ott a  $p$  címke, akkor rátehető az  $E(p \cup q)$  címke is!
  - Így visszafelé járjuk be azokat az útvonalakat, amik  $p$ -vel címkézett állapotokon keresztül visznek  $q$ -val címkézett állapotba

# Az $E(P \cup Q)$ címkézés iterációja

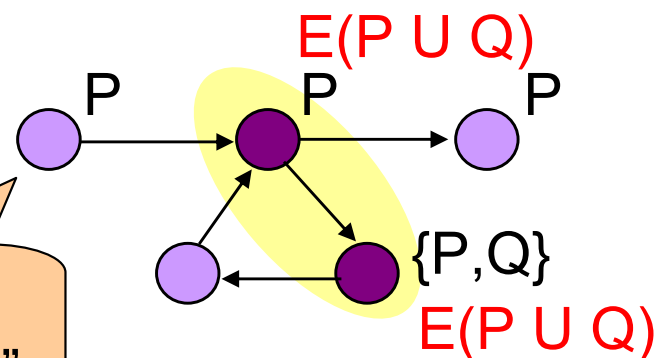


Kripke struktúra a kezdő címkézéssel

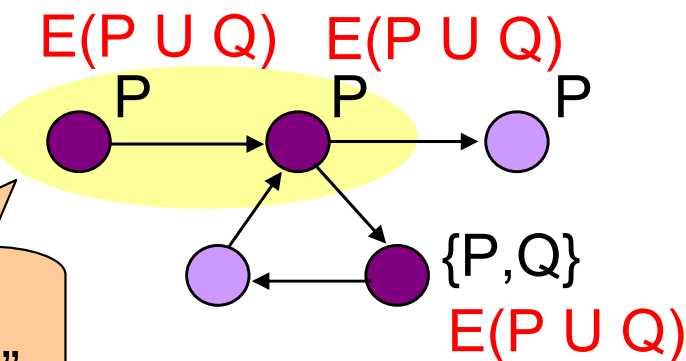
Első lépés: „Q”



Második lépés: „ $P \wedge EX$ ”



Harmadik lépés: „ $P \wedge EX$ ”



- Az iteráció addig tart, míg nő az állapothalmaz (fixpontot érünk el)



# Az $A(p \cup q)$ kifejezések

- Hol igaz  $A(p \cup q)$ ?
  - Felhasználható:  $A(p \cup q) = q \vee (p \wedge AX A(p \cup q))$
  - Ez is „rekurzív” képlet...
- Tehát mely  $s$  állapotok címkézhetők  $A(p \cup q)$ -val?
  - Ha  $s$  címkézett  $q$ -val, vagy
  - ha  $s$  címkézett  $p$ -vel, és minden rákövetkezője már címkézett  $A(p \cup q)$ -val
- Iteráció adódik:
  - $q$ -val már címkézett állapotok adják azokat az állapotokat, ahol először megjelenik az  $A(p \cup q)$  címke
  - Ezek megelőző állapotait kell végignézni:  
Ha szerepel ott a  $p$  címke, és minden rákövetkező állapotukon szerepel az  $A(p \cup q)$  címke, akkor ezekre is rátehető az  $A(p \cup q)$  címke

Ezzel a formális szintaxisban használt operátorokat lefedtük!

# Még egy példa az iterációra

- Hol igaz  $AF\ p$ ?
  - Felhasználható:  $AF\ p = p \vee AX\ AF\ p$
  - „Rekurzív” képlet...
- Tehát mely  $s$  állapotok címkézhetők  $AF\ p$ -vel?
  - Ha  $s$  címkézett  $p$ -vel, vagy
  - ha minden rákövetkezője már címkézett  $AF\ p$ -vel
- Iteráció adódik:
  - $p$ -vel már címkézett állapotok adják azokat a kiinduló állapotokat, ahol először megjelenik az  $AF\ p$  címke
  - Ezek megelőző állapotait kell végignézni:  
Ha minden rákövetkező állapotukon szerepel az  $AF\ p$  címke, akkor rátehető az  $AF\ p$  címke
  - Így visszafelé keressük azokat az állapotokat, amik minden útvonalon  $p$ -vel címkézett állapotokba vezetnek

# CTL modellellenőrzés: Összefoglalás

- Globális modellellenőrzés:
  - Állapotok címkézése azokkal a (rész)kifejezésekkel, amelyek igazak az adott állapotban
- Kifejezések felbontása (szintaxis szabályok alapján)
  - Atomi kijelentésekből indítva az összetettebb kifejezések felé („belülről kifelé”)
  - Az előző lépésben adott címkézés felhasználása
- **EX, AX** esetén: Megelőző állapot vizsgálata
- **E(p U q), A(p U q)** esetén: Inkrementális címkézés
  - Kezdőhalmaz:
    - A belső kifejezések (**p, q**) által meghatározott állapothalmazok alapján
  - Iteráció: A szemantika alapján (megelőző állapotokra lépegetve)
  - Iteráció vége: Nem nő a címkézett állapotok halmaza

# A bevezető példa kifejtése

- Kifejezések felbontása azok struktúrája alapján, és „belülről kifelé” címkézés:

$AF ( P \wedge E ( Q \cup R ) )$

Q és R címkék  
a KS-ban

Inkrementális címkézés:  $E ( U )$   
Az iteráció végén megjelenik  
az  $E(Q \cup R)$  címke

Itt  $P$ -vel és  $E(Q \cup R)$ -val címkézett  
állapothalmazok metszete  
(mintha az  $E(Q \cup R)$  címke egy  
„atomi kijelentés” lenne):  
Megjelenik a  $P \wedge E(Q \cup R)$  címke

Inkrementális címkézés:  $AF$  alapján  
(mintha a  $P \wedge E(Q \cup R)$  címke egy  
„atomi kijelentés” lenne):  
Megjelenik az  $AF(P \wedge E(Q \cup R))$  címke.  
Ez a kezdőállapotra ellenőrizhető.

# Összefoglalás

- CTL modellellenőrzés:  
Szemantika alapú módszer
  - Inkrementális címkézés bővülő rész kifejezésekkel (globális modellellenőrzés)
  - Halmazműveletekkel történik

Hogyan tehető hatékonyá ez az algoritmus?