

Zavod za telekomunikacije


Poslijediplomski studij  
za stjecanje doktorata  
znanosti

# Konkurentni sustavi

5.  
Algebra komunicirajućih procesa i  
 $\pi$ -calculus

Ak.g. 2009./2010.


25.1.2010



## Sadržaj predavanja

- ◆ Konkurentnost i komunicirajući procesi
- ◆ Procesne algebre
- ◆ CCS
  - Specifikacija uspostave poziva
- ◆  $\pi$ -calculus
  - Izvođenje kretanja
  - Formalna specifikacija GSM protokola
  - Specifikacija komunikacije pokretnih agenata
- ◆  $\pi$ -calculus proširenja
  - Spi-calculus


Konkurentni sustavi 25.1.2010 2 od 70



## Konkurentnost

- ◆ Distribuirani procesi
  - Izvođenje programa na različitim mjestima
- ◆ Proces i niti
  - Izvođenje programa na istom čvoru
- ◆ Paralelno izvođenje
  - Izvođenje simultanih operacija nad višestrukim podacima


Konkurentni sustavi 25.1.2010 3 od 70



## Konkurentni procesi

- ◆ Slijedni procesi
- ◆ Komunicirajući procesi
- ◆ Kada su dva procesa ekvivalentna?
- ◆ Ponašanje procesa (izvana, iznutra)
- ◆ Kreiranje procesa
  - Fork/wait, cobegin/coend, paralelno izvođenje
- ◆ Komunikacija procesa
  - Zajednički podaci, **izmjena poruka**
- ◆ Sinkronizacija procesa
  - Monitori, semafori


Konkurentni sustavi 25.1.2010 4 od 70



## Komunikacija procesa

- ◆ **Komunikacija** – osnovno načelo
  - Zajednički podaci (*shared data*)
    - Raspodijeljeni sustavi
    - Niti
  - **Izmjena poruka** (*message passing*)
    - Sinkrona ili asinkrona
    - Statička ili dinamička topologija

Konkurentni sustavi 25.1.2010 5 od 70



## Formalni jezici

- ◆ Algebre za specifikaciju stacionarnih procesa
  - CSP (*Communicating Sequential Processes*) – Hoare, 1978.
  - Occam (Jones)
  - lambda calculus, LOTOS
  - CCS (*Calculus of Communicating Systems*) – Milner, 1980.
- ◆ Algebre za specifikaciju pokretnih procesa
  - $\pi$ -calculus - Milner, 1989.
  - Spi calculus – 1998.
  - Applied  $\pi$ -calculus – 2001.
  - ambient calculus
  - <http://move.to/mobility>

Konkurentni sustavi 25.1.2010 6 od 70

## Procesne algebre



- ◆ Matematički izrazi koji omogućuju strogu definiciju procesa
- ◆ Detektirati pogreške u dizajnu u što ranijoj fazi
- ◆ Verifikacija sustava
  
- ◆ *Mobile computing*
- ◆ *Mobile computation*

Konkurentni sustavi

25.1.2010

7 od 70

## Algebra komunicirajućih procesa



Konkurentni sustavi

25.1.2010

8 od 70

## CCS



- ◆ Calculus of Communicating Systems - CCS
- ◆ Algebra komunicirajućih procesa
- ◆ Skup termina, aksioma i operatora
  - matematički izrazi koji definiraju ponašanje sustava
- ◆ Sustav
  - procesi: stanja, prijelazi
  - akcije: ulazne, izlazne, vidljive, nevidljive -  $\tau$
- ◆ Nevidljive akcije
  - komunikacija procesa
  - sinkronizacija izvođenja

Konkurentni sustavi

25.1.2010

9 od 70

## CCS operatori (1/2)



- ◆ **Operator akcije:** definira ponašanje procesa kao slijed događaja ili akcija
  - $\text{Spremnik} = \text{ulaz}.\text{izlaz}.\text{Spremnik}$
- ◆ **Operator preimenovanja:** promjena imena pojedinih akcija
  - $\text{Spremnik1} = \text{Spremnik} [\text{primi}/\text{ulaz}, \text{šalji}/\text{izlaz}]$
- ◆ **Operator zbroja ili selekcije:** izvođenje jedne od nekoliko alternativnih akcija
  - $\text{Spremnik} = \text{ulaz}.\text{Spremnik1} + \text{izlaz}.\text{Spremnik2}$

Konkurentni sustavi

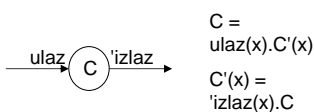
25.1.2010

10 od 70

## CCS operatori (2/2)



- ◆ **Operator paralelne kompozicije:** ponašanje procesa je određeno paralelnom kompozicijom više procesa
  - $\text{Spremnik} = A \mid B$
- ◆ **Operator ograničenja:** ograničenje vidljivosti - interne  $\tau$  akcije, sinkronizacija
  - $\text{Spremnik} = A \mid B \setminus \{\text{out}\}$

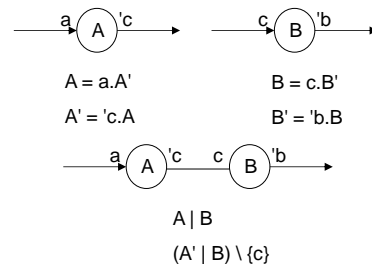


Konkurentni sustavi

25.1.2010

11 od 70

## Sinkrono izvođenje



Konkurentni sustavi

25.1.2010

12 od 70

### Primjer 1: kritični odsječak



#### Definicija sustava:

Lock = lock.Locked

Locked = unlock.Lock

Process = 'lock.enter.exit.'unlock.Process

Process1 = Process [enter1/enter, exit1/exit]

Process2 = Process [enter2/enter, exit2/exit]

System = (Process1 | Process2 | Lock) \ {lock, unlock}

#### Specifikacija sustava:

Spec = enter1.exit1.Spec + enter2.exit2.Spec

Konkurentni sustavi

25.1.2010

13 od 70

### Provjera sustava



◆ **Ekvivalentnost:** procesi su ekvivalentni ako imaju isto ponašanje

◆ **Razine/vrste ekvivalentnosti:**

- Jaka ekvivalentnost
  - niti jedna  $\tau$  akcija se ne zanemaruje
- Slaba ekvivalentnost
  - sve  $\tau$  akcije se zanemaruju
- Vidljiva ekvivalentnost
  - neke  $\tau$  akcije se zanemaruju
  - između jake i slabe ekvivalentnosti

Konkurentni sustavi

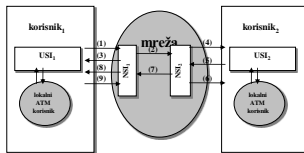
25.1.2010

14 od 70

### Primjer 2: Protokol za uspostavu poziva



◆ Slijed poruka za uspješnu uspostavu osnovnog poziva



- SETUP (1) (2) (4)
- CALL PROCEEDING (3)
- CONNECT (5) (7) (8)
- CONNECT ACKNOWLEDGE (6) (9)

Konkurentni sustavi

25.1.2010

15 od 70

### Primjer 2: Formalna specifikacija



```
PocKor1 =
  'setup_req1.setup_request1.(setup_conf_USI1.PocKorOdlDod1
    +
  setup_err_USI1.setup_error1.PocKor1)
  + setup_ind_USI1.(setup_resp1.setup_response1.AktKor1
    + 'setup_err1.setup_error1.PocKor1)

AktKor1 =
  rel_ind_USI1.'rel_resp1.PocKor1
PocKorOdlDod1 =
  'rel_req1.release_request1.rel_conf_USI1.PocKor1
```

Konkurentni sustavi

25.1.2010

16 od 70

### Primjer 2: Provjera ispitivanjem modela



```
liveness_setup =
  AG ([setup_request1] A(<setup_response2>tt W
    ([setup_error1]ff
      ∧ [setup_error2][setup_error1]ff))
```

```
liveness_release =
  AG([setup_response2] A([setup_request1]ff ∧
    [setup_request2]ff) W <release_request1>tt))
```

Konkurentni sustavi

25.1.2010

17 od 70

### Literatura




- ◆ Milner, R., "Communication and Concurrency", Prentice Hall, 1989.
- ◆ Ježić, G., I. Lovrek, G. Bhat, "Verifying Multiparty Call in ATM UNI Signalling Protocol", Recent Advances in Signal Processing and Communication, Atena, Grčka, World Scientific and Engineering Society Press, 1999. pp. 324-329.
- ◆ Ježić, G., "Formal Specification and Verification of the Multiparty Call in ATM Signalling Protocol", 6th International Conference on Telecommunications, ConTel 99, pp. 307-315, Zagreb, 1999.
- ◆ Ježić, G., "Modeling Multiparty Call in ATM UNI Signalling Protocol" Proceedings of the Conference Computers in Telecommunications, MIPRO 2000, Rijeka, 2000, pp. 89-92.

Konkurentni sustavi


25.1.2010

18 od 70



## Algebra pokretnih procesa


Konkurentni sustavi
25.1.2010
19 od 70



## $\pi$ -calculus

- ◆ "Sve je proces"
- ◆ Komunikacija temeljena na kanalima
- ◆ Kanali prvog reda (first class)
  - Kanali se šalju kanalima
- ◆ Ograničenost pristupa kanalima (restrictions)

Konkurentni sustavi
25.1.2010
20 od 70



## Sintaksa $\pi$ -calculusa

- ◆ CCS + svojstvo pokretljivosti
- ◆ Kanali i procesi
- ◆ Rukovanje kanalima (privatni, javni)

• Operatori:

$P ::= 0$

$| P_1 + P_2$

$| x.P$

$| y(x).P$

$| \tau.P$


$| P_1 | P_2$

$| (x)P$

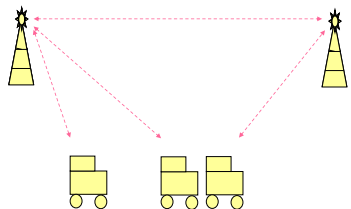
$| [x = y]P$

$| A(y_1, \dots, y_n)$


Konkurentni sustavi
25.1.2010
21 od 70



## Modeliranje pokretljivosti




Konkurentni sustavi
25.1.2010
22 od 70



## Komunikacija u $\pi$ -calculusu (1)

- ◆ Pomoću kanala
  - $k \langle P \rangle$  - poruka  $P$  šalje se na kanal  $k$
  - $k(x)$  - prima  $x$  sa kanala  $k$
- ◆ Slijedno izvođenje
  - $k \langle P \rangle . m$  - pošalji  $P$  na kanal  $k$  te izvrši  $m$
  - $k(x).m$  primi  $x$  sa kanala  $k$  te izvrši  $m$  sa  $x$  ( $m$  je u granicama od  $x$ )

Konkurentni sustavi
25.1.2010
23 od 70



## Komunikacija u $\pi$ -calculusu (2)

- ◆ Konkurentnost
  - $a | b$  - paralelna kompozicija  $a$  i  $b$
- ◆ Rekurzija
  - $!a$  - kreira beskonačan broj kopija od  $a$
- ◆ Ograničenje
  - $(\nu x)p$

Konkurentni sustavi
25.1.2010
24 od 70

### Primjeri izvođenja



- ◆ Šalje poruku M na kanal c
  - $c \langle M \rangle$
- ◆ Prima x i šalje x+1
  - $c(x).C \langle x+1 \rangle$
- ◆ Računa n faktoriijela
  - $c(n,1) \mid [c(x,y), \text{if } x>0 \text{ then } c \langle x-1,y \rangle \text{ else } d \langle y \rangle]$

Konkurentni sustavi

25.1.2010

25 od 70

### Primjer 3: Komunikacija procesa



- ◆ Predajnik =  $\text{medij1} \langle P \rangle$
- ◆ Prijamnik1 =  $\text{medij1}(x).\text{medij2} \langle x \rangle$
- ◆ Prijamnik2 =  $\text{medij2}(x).\text{medij3} \langle x \rangle$
- ◆ Sustav = Predajnik | Prijamnik1 | Prijamnik2
- ◆ **Komunikacija procesa**
- ◆ Predajnik | Prijamnik1  $\rightarrow$   $\text{medij2} \langle P \rangle$
- ◆  $\text{medij2} \langle P \rangle$  | Prijamnik2  $\rightarrow$   $\text{medij3} \langle P \rangle$
- ◆ **Kompozicija izvođenja**
- ◆ Predajnik | Prijamnik1 | Prijamnik2  $\rightarrow$   $\text{medij3} \langle P \rangle$

Konkurentni sustavi

25.1.2010

26 od 70

### Izvođenje bez ograničenja



- ◆ Kopija =  $\text{medij2}(x).\text{medij2} \langle x \rangle.CP \langle x \rangle$ 
  - Kopira poruku sa *medij2* i sprema u CP
  - *medij2* je globalni kanal
- ◆ Kopija |  $\text{medij2} \langle P \rangle$  | Prijamnik2  $\rightarrow$
- ◆  $\text{medij2} \langle x \rangle.CP \langle x \rangle$  | Prijamnik2  $\rightarrow$
- ◆  $CP \langle x \rangle$  |  $\text{medij3} \langle x \rangle$  !!!

Konkurentni sustavi

25.1.2010

27 od 70

### Izvođenje uz ograničenje



- ◆ Operator ograničenja “(vc)p”
  - C je ograničen samo unutar procesa p (lokalan)
- ◆ Ograničeni kanali ne mogu biti promatrani izvana
- ◆ Kopija | (v  $\text{medij2}$ )( $\text{medij2}$  | Prijamnik2)
- ◆ Kopija |  $\text{medij3} \langle x \rangle$
- ◆ Vidokrug kanala *medij2* je ograničen
- ◆ **Kontrola izvođenja**
- ◆ **Nema konflikta s globalnim kanalom medij2 u Kopija**

Konkurentni sustavi

25.1.2010

28 od 70

### Ograničenje i vidokrug



- ◆ Operator ograničenja “(vc)p”
  - Slično kao u CCS-u
- ◆ “(vc)p” znači
  - $c = \text{new Kanal}() \text{ u } p$
- ◆ **Vidokrug** – novi pojam u  $\pi$ -calculusu
- ◆ **C može djelovati izvan vidokruga ali samo ako proces p to želi !**

Konkurentni sustavi

25.1.2010

29 od 70

### Kanali prvog reda



- ◆ *First-Class Channels*
- ◆ Kanal c može napustiti (proširiti) svoj vidokrug u kojem je deklariran
- ◆ Dopušta slanje kanala kao poruka
  - Dinamičnost, pokretljivost
  - Ako se kanali ne kreću – stacionarni sustavi

Konkurentni sustavi

25.1.2010

30 od 70

### Primjer kanala prvog reda

- ◆  $Mob = zrak(x).celija<x>$
- ◆  $Centrala1 = medij1<celija>$
- ◆  $Centrala2 = medij1(y).y(x).medij2<x>$

$$(v\ celija)(Mob \mid Centrala1) \mid Centrala2$$

- ◆ Što se može izvesti?

### Proširenje vidokruga

- ◆ Kanali prvog reda se mogu prenositi izvan svog vidokruga
- ◆ Proširenje ograničenja i vidokruga
- ◆  $((v\ c)p) \mid q = (v\ c)(p \mid q)$  ako c nije free u q
- ◆ U pravilu je potrebno preimenovanje
- ◆  $((v\ c)p) \mid q = ((v\ d) [d/c]p) \mid q = (v\ d)([d/c] p \mid q)$

### Nastavak primjera kanala prvog reda

- ◆  $(v\ celija)(Mob \mid Centrala1) \mid Centrala2$
- ◆  $= (v\ celija)(Mob \mid Centrala1 \mid Centrala2) \rightarrow$
- ◆  $(v\ celija)(Mob \mid celija(x).medij2<x>)$
- ◆ **Proširenje vidokruga** – osnovna značajka u pi-calculusu

### Kretanje u $\pi$ -calculusu

Izvođenje prijelaza:

$$bm.A' \mid b(x).B' \mid M \rightarrow (\tau) \rightarrow A' \mid B' \{m/x\} \mid M$$

### Ulazak u vidokrug

Ako su  $A = m.A'$  i  $B = b(x).B'$ , prijelaz je:

$$m.A' \mid M \mid (m)(b(x).B' \mid S) \rightarrow (\tau) \rightarrow A' \mid M \mid (m)B'\{m'/m\}\{m'/z\} \mid S\{m'/m\}$$

$B'$  i  $S'$  na slici su  $B'\{m'/m\}\{m'/z\}$  i  $S\{m'/m\}$  s tim da je  $m'$  novi kanal.

### Proširenje vidokruga (1)

Ako su  $A = m.A'$  i  $B = b(x).B'$ , prijelaz je:

$$(m)(m.A \mid M) \mid b(z).Q' \rightarrow (\tau) \rightarrow (m)(A' \mid M \mid B'\{m/z\})$$

$B''$  je  $B'\{m/z\}$ .

### Proširenje vidokruga (2)

Konkurentni sustavi 25.1.2010 37 od 70

### Primjer 4: formalna specifikacija GSM protokola

Konkurentni sustavi 25.1.2010 38 od 70

### Protokol za prebacivanje poziva (handover)

- ◆ Pokretna postaja MS se kreće
- ◆ Bazna stanica BS (aktivna, pasivna)
- ◆ Pokretni komutacijski centar MSC - inicira prebacivanje poziva
- ◆ Lokacijski registri (HLR i VLR)

Konkurentni sustavi 25.1.2010 39 od 70

### Procedura prebacivanja poziva

- ◆ Smjer komunikacije od MSC prema MS
- ◆ MSC šalje *handover request* i prekida komunikaciju sa starom lokacijom
- ◆ MS prihvaća i šalje *handover access* te nakon uspješnog prebacivanja vraća *handover complete*
- ◆ MS odbija s *handover failure*
- ◆ BS proslijeđuje poruke od MSC prema MS i obratno
- ◆ Sustav se ponaša kao spremnik - sve što primi MSC (in) prosljedi se preko BS na MS (out)

Konkurentni sustavi 25.1.2010 40 od 70

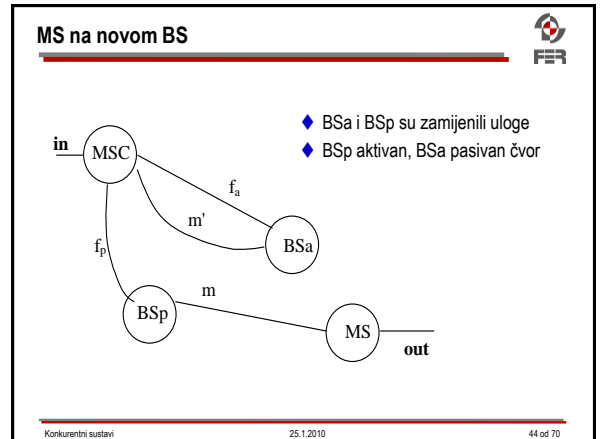
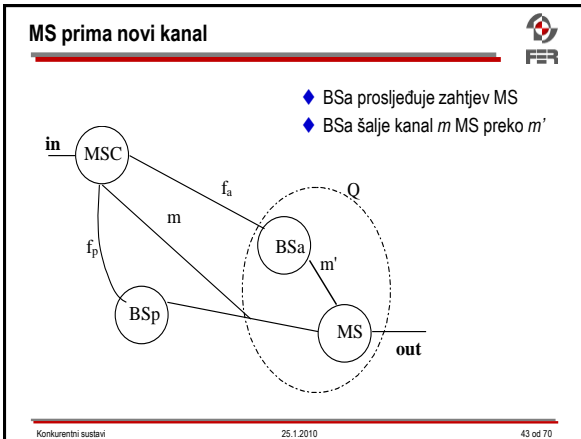
### Formalna specifikacija protokola

Konkurentni sustavi 25.1.2010 41 od 70

### BSa prima novi kanal

- m se šalje preko fa prema BSa
- m proširuje svoje djelovanje (proširenje vidokruga) na BSa

Konkurentni sustavi 25.1.2010 42 od 70



### Specifikacija MS

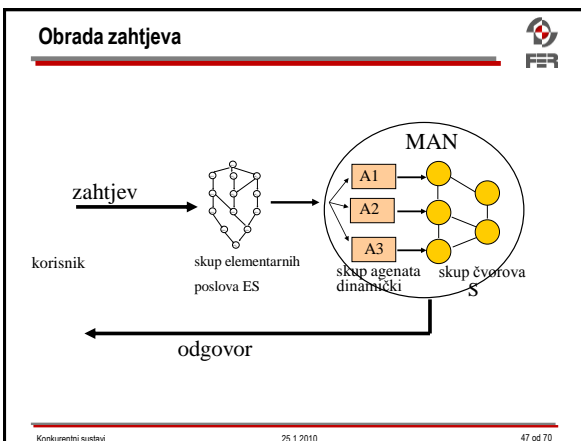
MS(m) = m: [data  $\rightarrow$  m(v).outv.MS(m),  
 ho\_cmd  $\rightarrow$  m(mnew).  
 ('mnewho\_acc.MS(mnew)  
 + 'mho\_fail.MS(m))]

Konkurentni sustavi 25.1.2010 45 od 70

### Primjer 5: formalna specifikacija MAN

- ◆ **MAN (Mobile Agent Network)** - predočuje formalizam koji opisuje višeagentski sustav s pokretnim agentima koji se kreću skupom čvorova povezanih u komunikacijsku mrežu
- ◆ **Pokretni agent:** sposobnost kretanja i komunikacije s drugim agentima u sustavu, obavljajući pritom zadane poslove
- ◆ **Mreža pokretnih agenata**  $\{A, S, N\}$   
 $A = \{agent_1, \dots, agent_k, \dots, agent_n\}$ , višeagentski sustav  
 $S = \{S_1, \dots, S_p, S_j, \dots, S_{nc}\}$ , skup čvorova  
 $N$  - mreža koja povezuje čvorove i omogućava kretanje agenata

Konkurentni sustavi 25.1.2010 46 od 70

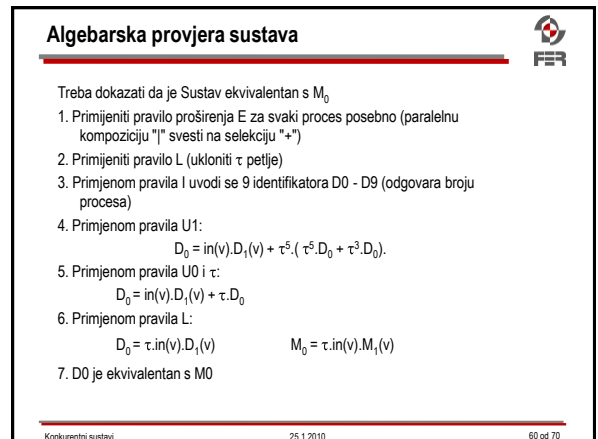
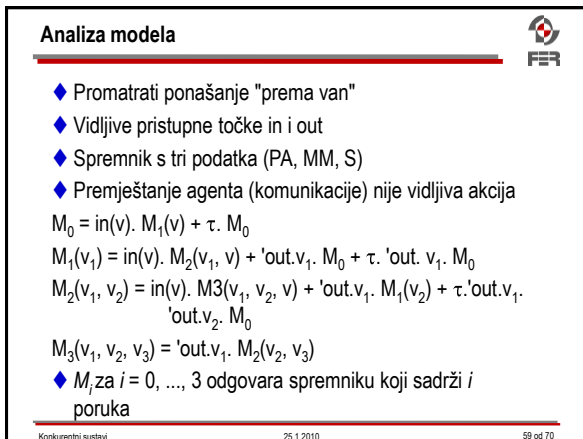
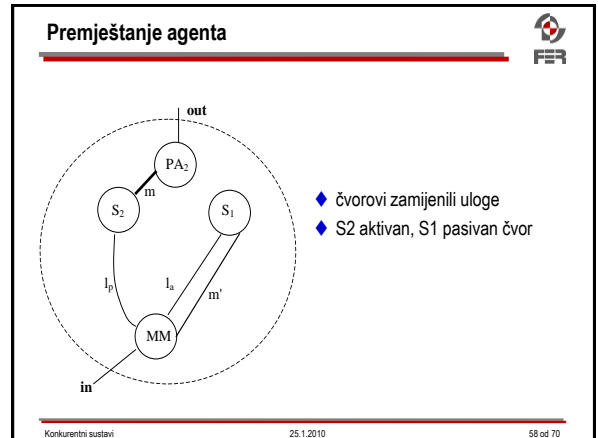
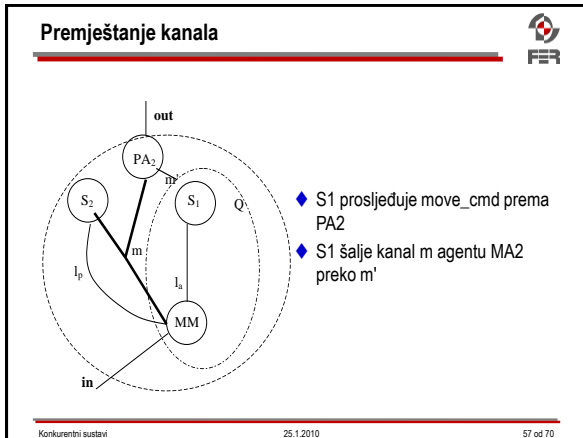
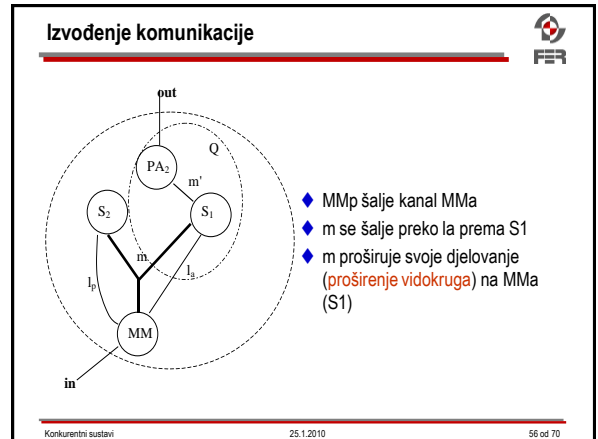
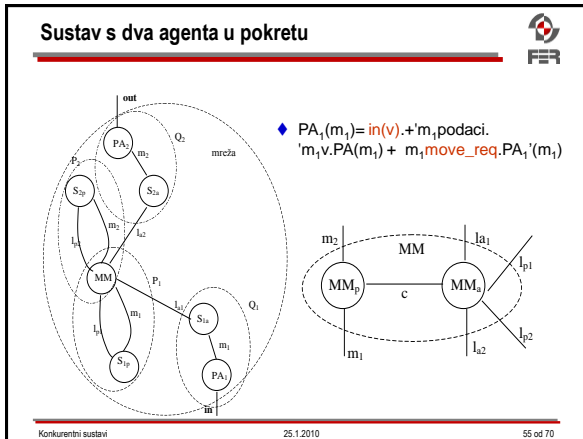


### Uvođenje komunikacije i suradnje

- ◆  $agent_k = \{name_k, address_k, service_k\}$ ,  $address_k = S_i$ ,  $service_k \in S_i$
- ◆  $agent_k$  se sastoji od  $n_k$  elementarnih poslova,  $es_{ki}$   
 $ES_k = \{es_{k1}, es_{k2}, \dots, es_{ki}, \dots, es_{k(n_k)}\}$
- ◆  $S_i$  podržava skup tipova poslova  $s(S_i)$   
 $s(S_i) = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_{n_i}\}$
- ◆ agent izvodi posao na čvoru gdje vrijedi  $es_{ki} \in s(S_i)$
- ◆ grupiranje u domene:  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_n\}$ ,  $agent_k \in d_j$ 
  - obavljaju slične poslove: istog tipa, s istim ulaznim parametrima te međusobno zavisni poslovi
  - agenti unutar iste domene  $agent_{i_1}, agent_{i_2} \in d_j$  međusobno surađuju:
    - obavljaju jednake poslove ( $es_{i_1} = es_{i_2}$ )
    - obavljaju zavisne poslove ( $es_{i_1} > es_{i_2}$ )
    - kreira i pokreće novog agenta koji prenosi rezultat

Konkurentni sustavi 25.1.2010 48 od 70





## Automatizirana provjera sustava



- ◆ Verifikacijski sustav MWB
- ◆ MM je podijeljen na komunikacijski dio MMC i kontrolni dio MMK
- ◆ Spremnik s najviše 6 poruka  
 $\text{agent M10}(in, out1, ul) = in(v).M11(v, in, out1, ul) + ul(req).t.M0(in, out1, ul)$

weqd  $(i, o, u)$  Spec $(i, o, u)$  Sys $(i, o, u)$ .  
 are related  
 Relation size = 728

Konkurentni sustavi

25.1.2010

61 od 70

## Literatura



- ◆ Milner, R., "Communicating and Mobile systems: the  $\pi$ -calculus", Cambridge University Press, 1999.
- ◆ Sangiorgi, D., Walker, D., "The  $\lambda$ -calculus: A Theory of Mobile Processes", Cambridge University Press, 2001.
- ◆ Zilio, S. D., "Mobile Processes: a Commented Bibliography", Proc. Modelling and Verification of Parallel Processes, F. Cassez, C. Jard, B. Rozoy, M. Ryan (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2067, Springer-Verlag., pp. 207-223, April 2001.
- ◆ Ježić, G., I. Lovrek, Using Pi-Calculus for Specification of Mobile Agent Communication, Proceedings of the Eighth IASTED International Conference on Software Engineering and Applications, M.H. Hamza (ur.). Cambridge : ACTA Press, 2004. pp. 436-202.

Konkurentni sustavi

25.1.2010

62 od 70

Proširenja algebre pokretnih procesa

Konkurentni sustavi

25.1.2010

63 od 70

## $\pi$ -calculus proširenja i primjene



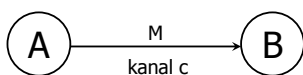
- ◆ Spi calculus (s $\pi$ -calculus, secure  $\pi$ -calculus)
  - Sigurnost
  - Dodaje elemente autentičnosti i integriteta u  $\pi$ -calculus
  - Operator ograničenja osigurava svojstvo povjerljivosti

Konkurentni sustavi

25.1.2010

64 od 70

## Modeliranje sigurnosti



$A(M) = c(M)$   
 $B = c(x).nil$   
 $P(M) = (\nu c)(A(M) | B)$

- ◆ Operator ograničenja  $\nu c$  osigurava da je kanal c "nevidljiv" za sve procese osim za A i B

Konkurentni sustavi

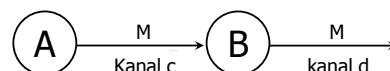
25.1.2010

65 od 70

## Povjerljivi (privatni) i javni kanal



- ◆ Proces A šalje poruku M procesu B preko sigurnog kanala c
- ◆ B objavljuje poruku na javni kanal d



$A(M) = c(M)$   
 $B = c(x).d(x)$   
 $P(M) = (\nu c)(A(M) | B)$

Konkurentni sustavi

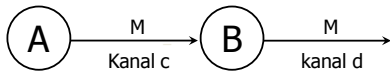
25.1.2010

66 od 70

### Primjer 6: Sigurnost



- ◆ Za bilo koju vrijednost  $M$  koju proces  $B$  pošalje na javni kanal  $d$ , vrijedi da je došla od procesa  $A$  preko sigurnog kanala  $c$



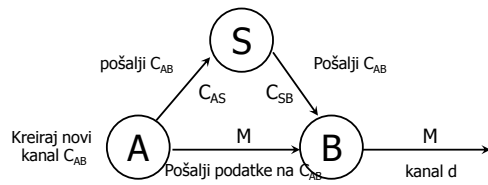
$$\begin{aligned} \mathbf{A}(M) &= c\langle M \rangle \\ \mathbf{B} &= c(x) \cdot \bar{d}\langle x \rangle \\ \mathbf{P}(M) &= (\nu c)(\mathbf{A}(M) \mid \mathbf{B}) \end{aligned}$$

Konkurentni sustavi

25.1.2010

67 od 70

### Modeliranje sigurne komunikacije



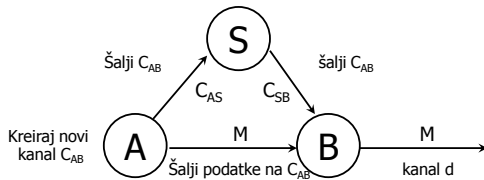
1.  $A$  i  $B$  su klijenti
  - ◆ Ključevi se modeliraju kao kanali (pre-definirani)
2.  $A$  kreira novi ključ kojeg šalje poslužitelju  $S$ , a on ga prosljeđuje klijentu  $B$ 
  - ◆ Kreiranje novog kanala (privatnog)
3.  $A$  šalje poruku  $M$  procesu  $B$  šifriranu novim ključem,  $B$  šalje poruku na javni kanal

Konkurentni sustavi

25.1.2010

68 od 70

### Formalna specifikacija u $\pi$ -calculusu



$$\begin{aligned} \mathbf{A}(M) &= (\nu c_{AB})c_{AS}\langle c_{AB} \rangle \cdot c_{AB}\langle M \rangle \\ \mathbf{S} &= c_{AS}(x) \cdot c_{SB}\langle x \rangle \\ \mathbf{B} &= c_{SB}(x) \cdot x\langle y \rangle \cdot \bar{d}\langle y \rangle \\ \mathbf{P}(M) &= (\nu c_{AS})(\nu c_{SB})(\mathbf{A}(M) \mid \mathbf{B} \mid \mathbf{S}) \end{aligned}$$

Konkurentni sustavi

25.1.2010

69 od 70

### Literatura



- ◆ Abadi M., A. Gordon. "A calculus for cryptographic protocols: the spi-calculus". Information and Computation 148(1), 1999.
- ◆ Hennessy, M., Riely, J., "Resource Access Control in Systems of Mobile Agents", Proc. of HLCL, Electronic Notes in Theoretical Computer Science 16(3), 1998.
- ◆ Sewel, P., "Applied Pi – A Brief Tutorial", Technical Report 498, University of Cambridge, 2000.
- ◆ Hennessy, M., Riely, J., "Resource Access Control in Systems of Mobile Agents", Proc. of HLCL, Electronic Notes in Theoretical Computer Science 16(3), 1998.

Konkurentni sustavi

25.1.2010

70 od 70