
Zavod za telekomunikacije

Poslijediplomski studij
za stjecanje doktorata
znanosti

Konkurentni sustavi

1.
Modeli konkurentnosti

Studenj 2009.

AK.g. 2009./2010.

Sadržaj predavanja

- ◆ Kontekst istraživanja konkurentnosti
 - Konkurentnost, paralelizam, raspodijeljenost, pokretljivost
 - Konkurentnost u informacijskom svijetu
- ◆ Raspodijeljena paralelna obrada u mreži
 - Obrada usluga u mreži
- ◆ Formalni modeli
 - Klasifikacija
 - Opća teorija mreža

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 2 od 37

Kontekst istraživanja konkurentnosti

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 3 od 37

Konkurentnost, paralelizam, raspodijeljenost, pokretljivost

Konkurentnost

- ◆ mogućnost istodobnog odvijanja aktivnosti

Paralelizam

- ◆ istodobno odvijanje aktivnosti

Raspodijeljenost (distribuiranost)

- ◆ odvijanje aktivnosti na različitim mjestima

Pokretljivost

- ◆ entitet koji izvodi aktivnost mijenja mjesto

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 4 od 37

Informacijski svijet

Fizikalni svijet:

- ◆ fiksna struktura
- ◆ stalne veze
- ◆ fizički entiteti

Informacijski svijet:

- ◆ promjenjiva struktura
- ◆ virtualne, simboličke i promjenjive veze
- ◆ entiteti:
 - automat, proces, objekt, komponenta, agent, ...
 - promjenjiv broj entiteta
 - promjenjiv broj veza i promjena povezanosti

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 5 od 37

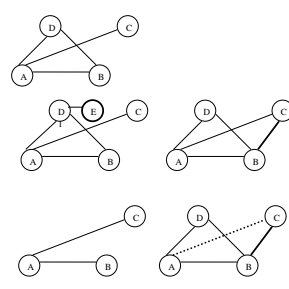
Entiteti u informacijskom svijetu

Evolucija

Promjenjiv broj entiteta:
 $(A, B, C, D) \rightarrow (A, B, C, D, E)$
 $(A, B, C, D) \rightarrow (A, B, C)$

Promjenjiv broj veza:
 4: A-B, A-C, A-D, B-D
 5: A-B, A-C, A-D, B-D, C-D

Promjena povezanosti:
 B-C umjesto A-C



Konkurentni sustavi Studeni 2009. 6 od 37

Ponašanje entiteta u informacijskom svijetu

- ♦ obradno (računalno) ponašanje
 - model: računanje (Turingov model, von Neumannov model)
 - paradigma: čitaj - piši
- ♦ interakcijsko ponašanje
 - model: komunikacija i sinkronizacija
 - paradigma: šalji - primi
- ♦ kretanje
 - model: položaj i povezanost
 - paradigma: promjena topologije

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 7 od 37

Kretanje entiteta

Primjer:
kretanje C: udaljava se od A i približava B

Promjena položaja Promjena povezanosti
C mijenja položaj C mijenja povezanost

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 8 od 37

Informacijski i komunikacijski sustavi i mreže

- ♦ konkurentnost u raspodijeljenim sustavima s pokretnim entitetima
 - konkurentni procesi
 - konkurentni objekti
 - konkurentni agenti
- ♦ konkurentnost u istraživanju i razvoju sustava
 - konkurentno inženjerstvo

Motivacija – iskoristiti konkurentnost

- ♦ povećanje kapaciteta – više!
- ♦ skraćanje vremena odgovora – brže!

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 9 od 37

Raspodijeljena paralelna obrada u mreži

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 10 od 37

Obrada usluga u mreži (1)

Okruženje Mreža

zahtjevi za uslugama

jedno ($P=1$) i više ($P=n$) višeprosorski sustavi

Obrada zahtjeva:

- jedan jednoprosorski čvor
- jedan višeprosorski čvor (paralelizam u čvoru)
- više jednoprosorskih čvorova (raspodijeljeno, paralelizam u mreži)
- više jedno ili više procesorskih čvorova (raspodijeljeno, paralelizam i u čvoru i u mreži)

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 11 od 37

Obrada usluga u mreži (2)

Model čvora s paralelnom obradom

- ♦ paralelizam zahtjeva
- ♦ paralelizam "unutar" zahtjeva

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 12 od 37

Konkurentnost obradnih zahtjeva



Zahtjev za uslugom:

- ♦ obradni zahtjev kojeg treba poslužiti u mreži i dati odgovor u stvarnom vremenu.

Zahtjevi se javljaju:

- ♦ pojedinačno ili
- ♦ više (mnogo) njih istodobno, pri čemu su međusobno nezavisni:
 - konkurentni zahtjevi, mogu se obraditi paralelno
 - **paralelizam pritom povećava obradni kapacitet**
- ♦ više (mnogo) njih istodobno, pri čemu su neki međuovisni:
 - konfliktni zahtjevi, obrada jednoga onemogućuje drugi

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

13 od 37

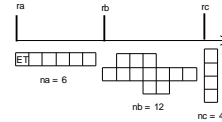
Struktura obradnog zahtjeva



- ♦ Zahtjev (r , *request*) može se razložiti na elementarne poslove (ET, *Elementary Task*) koji su:

- potpuno ovisni: nema konkurentnosti (ra)
- djelomično ovisni: ograničena konkurentnost (rb)
- neovisni jedan o drugome: potpuna konkurentnost (rc)

- ♦ **Paralelna obrada elementarnih poslova skraćuje pritom vrijeme obrade**



Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

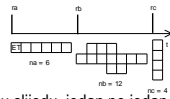
14 od 37

Uzorci elementarnih poslova (1)



- ♦ Uzorak elementarnog posla (*task pattern*) može biti:

- serijski (ra),
tako da se elementarni poslovi obrađuju u slijedu, jedan po jedan ($P = 1$),
- djelomično paralelan (rb),
tako se mogu obraditi serijski-paralelno ($P \leq 3$)
- maksimalno paralelan (rc),
tako da se uz dovoljno procesorskih resursa mogu obraditi svi istodobno ($P = nc = 4$).



Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

15 od 37

Uzorci elementarnih poslova (2)



- ♦ Serijsko-paralelni uzorak (rb) može se izvoditi tako da:

- obrada svakog elementarnog posla započne najranije moguće,
- obrada svakog elementarnog posla završi najkasnije moguće,
- optimizira trenutak izvođenja pojedinog elementarnog posla ("između" najranijeg i najkasnijeg mogućeg) da bi se upotrijebio **najmanji broj procesora**,

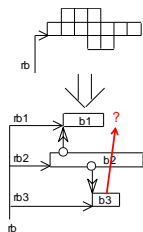
- ♦ i da se pritom postigne **najkraće vrijeme odgovora**.

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

16 od 37

Uzorci elementarnih poslova (3)



Primjer:

Optimizacija bi trebala odrediti najmanje obradnih resursa (procesora) koji daju odgovor u najkraćem mogućem vremenu:

Mogu li se poslovi b3 izvesti nakon b1 na istom procesoru, čime bi se broj potrebnih procesora smanjio s 3 na 2?

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

17 od 37

Literatura




- ♦ Sinkovic, V., I. Lovrek, G. Nemeth, "Load Balancing in Distributed Parallel Systems for Telecommunications", *Computing*, Vol. 63, No. 3, pp. 201-218, 1999.
- ♦ Nemeth, G., I. Lovrek, V. Sinkovic, "Scheduling Problems in Parallel Systems for Telecommunications", *Computing*, Vol. 58, No. 3, pp. 199-223, 1997.
- ♦ Sinkovic, V., I. Lovrek, "A Model of Massively Parallel Call and Service Processing in Telecommunications", *Journal of Systems Architecture*, Vol. 43, No. 6-7, pp. 479-490, 1997.

Konkurentni sustavi


Studeni 2009.

18 od 37



Formalni modeli


Konkurentni sustavi Studeni 2009. 19 od 37



Klasifikacija formalnih modela

- ◆ Automat
 - Primjer: Promela/Spin (Holzmann)
- ◆ Mreža (*net*)
 - Petrijeva mreža (*Petri net*)
 - **opća mreža (*general net*)**
- ◆ Procesna algebra
 - CSP – *Communicating Sequential Processes* (Hoare)
 - CCS – *Calculus of Communication Systems* (Milner)
 - **π -calculus - interakcija i kretanje (Milner)**
 - ***Ambient Calculus* - interakcija, komunikacija i kretanje (Cardelli&Gordon)**


Konkurentni sustavi Studeni 2009. 20 od 37



Ispitivanje formalnih modela

- ◆ verifikacija:
 - ponaša li se sustav ispravno?
- ◆ validacija:
 - ponaša li se sustav prema očekivanju?
- ◆ ekvivalencija:
 - da li se dva sustava ponašaju jednako?
 - kad se dva sustava ponašaju jednako?

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 21 od 37




Opća teorija mreža

- ◆ Temeljni koncepti: komunicirajući procesi, uvjeti i događaji
- ◆ Formalni model dinamičkog sustava
- ◆ Sustav uvjeta i događaja

Prema knjizi:
I. Lovrek, "Modeli telekomunikacijskih procesa – Teorija i primjena Petrijevih mreža", Školska knjiga, Zagreb, 1997.
(Poglavlje: 1.3 Osnovne postavke opće teorije mreža)

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 22 od 37



Komunicirajući procesi

- ◆ Sustav se opisuje skupom međusobno komunicirajućih procesa:


$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$$
- ◆ Svaki proces P_i opisuje se:
 - skupom događaja E_i ,
 - skupom uvjeta C_i ,
 - funkcijom odvijanja procesa Fs_i , koja opisuje ovisnost uvjeta i događaja:

$$P_i = Fs_i(E_i, C_i).$$

Primjer:

- Automat: događaj ~ prijelaz, uvjet ~ stanje

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 23 od 37



Sinkronizacija komunicirajućih procesa (1)

- ◆ Sinkronizacija (koordinacija) procesa definirana je funkcijom Fc koja određuje međuovisnost pojave događaja:
 - događaj $e_j \in E_j$ može nastupiti u konačnom vremenskom intervalu nakon trenutka t ako su ispunjeni uvjeti određeni i funkcijom odvijanja procesa i funkcijom koordinacije procesa.
 - logički uvjet:

$$F(e_j)_t = Fs_i(e_{ij})_t \cdot Fc(e_j)_t = 1.$$

Primjer:

- Proces P_i će primiti poruku ($e_j \in E_j$) ako je za to pripravan ($Fs_i(e_j)_t = 1$) i ako je neki drugi proces ranije odaslao poruku ($Fc(e_j)_t = 1$)

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 24 od 37

Sinkronizacija komunicirajućih procesa (2)



- ◆ Vremenska ograničenja pojave događaja su osnova za određivanje vrijednosti funkcije $F_c(e_{ij})_t$. Sinkronizacijom procesa uvode se ograničenja pojave događaja:

$$E = \cup E_i$$

$$E_i = E \times T_i$$

- pri čemu E označuje uniju svih događaja svih procesa, T_i uređeni skup vremenskih intervala do trenutka t , a E_i uređeni skup svih događaja izvedenih do trenutka t .
- ◆ Vrijeme:
 - logički takt C_p koji pridružuje događaju e_i broj $C_p(e_i)$, pri čemu za slijed $e_i e_j$ vrijedi $C_p(e_i) < C_p(e_j)$
 - fizikalni takt za koji $C_p(t)$ predstavlja očitavanje u trenutku t .

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

25 od 37

Događaji i komunikacija (1)



- ◆ Skup događaja razdijeliti na tri disjunktne podskupa i to:
 - X_i - skup događaja koji određuju predaju informacijske jedinice drugom procesu,
 - Y_i - skup događaja koji određuju prijam informacijske jedinice od drugog procesa,
 - Z_i - skup unutrašnjih događaja,
- ◆ a ako se razmatra samo "lokalno" i "mrežno" ponašanje na:
 - E_{iL} - skup lokalnih događaja,
 - E_{iM} - skup mrežnih događaja
- ◆ tako da je:
 - $E_i = X_i \cup Y_i \cup Z_i = E_{iL} \cup E_{iM}$.

Konkurentni sustavi

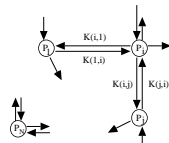
Studeni 2009.

26 od 37

Događaji i komunikacija (2)



- ◆ jednosmjerni komunikacijski kanal $K(i, j)$ za komunikaciju od P_i prema P_j koji je opisan stanjima $K_s(i, j)$.
- ◆ komunikacija kojom procesi P_i i P_j razmjenjuju informacijsku jedinicu p :
 1. događaj $x_{ij} \in X_i$
 2. informacijska jedinica na kanalu $K_s(i, j) = p$
 3. događaj $y_{ij} \in Y_j$.



Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

27 od 37

Formalni model dinamičkog sustava



Dinamički sustav: (B, C, E, r)

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

skup uvjeta

$$K = P(B)$$

skup konstelacija

(zamisive kombinacije uvjeta)

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_k) \leq K$$

skup slučajeva

(moguće kombinacije uvjeta)

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_m)$$

skup događaja

$$r = C \times E \times C$$

relacija dostupnosti pojavom događaja.

Skup istodobno ispunjenih uvjeta označuje (promatrani) slučaj, a promjena ispunjenosti uvjeta koja prevodi sustav iz jednog slučaja u drugi označuje elementarnu promjenu - događaj.

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

28 od 37

Načelo razdvajanja u dinamičkom sustavu



- ◆ Model (B, C, E, r) zadovoljava načelo razdvajanja ako postoje dvije funkcije:

$$\text{pre: } E \rightarrow K \text{ i post: } K \rightarrow E,$$

koje za svaki događaj $e \in E$ definiraju skup preduvjeta $\cdot e$ i skup postuvjeta $e \cdot$ tako da vrijedi:

- skup preduvjeta $\cdot e$ prestaje važiti, a skup postuvjeta $e \cdot$ počinje važiti pojavom događaja e
- pojava događaja e mora izazvati promjenu uvjeta
- mogućnost da događaj e nastane u slučaju c (e ima koncesiju u c) određena je samo prisutnošću $\cdot e$ i odsutnošću $e \cdot$ u c
- samo odsutnost $\cdot e$ i prisutnost $e \cdot$ u c određuje vodi li pojava e u c
- događaj je potpuno opisan promjenom uvjeta koja nastaje njegovom pojavom

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

29 od 37

Pretpostavke za dinamički sustav



- ◆ **Raspodijeljeni sustav:** promjene se izvode, a da se ne poznaje "globalno" stanje sustava, sve su one definitivne, nedjeljive i lokalne.
- ◆ **Događaji se mogu komponirati slijedno ili konkurentno:** primjena pravila promjene ne može ovisiti o univerzalnom vremenskom "taktu"
- ◆ **Otkrivanje pogrešaka, obnavljanje nakon pojave pogrešaka i kvarova:** skup slučajeva promatranja mora biti dovoljno velik da omogući otkrivanje budućega i razmatranje prijašnjega ponašanja sustava

Konkurentni sustavi

Studeni 2009.

30 od 37

Sustav uvjeta i događaja

Sustav uvjeta i događaja: $\Sigma = (B, E; F, C)$

$(B, E; F)$ jednostavna čista usmjerena mreža

U jednostavnoj mreži nije moguća višestruka definicija događaja (događaji sa zajedničkim preduvjetima ili postuvjetima), niti uvjeta (višestruki preduvjet i postuvjet). U čistoj mreži nisu moguće vlastite petlje, tj. neki uvjet ne može biti preduvjet i postuvjet za neki događaj.

B skup uvjeta
 E skup događaja
 $F \subseteq (B \times E) \cup (E \times B)$ relacija toka
 C skup slučajeva

CE-sustav (Condition-Event System)

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 31 od 37

Prikaz sustava uvjeta i događaja

Bipartitni usmjereni graf:

- uvjeti b predočuju se S elementima mreže; pridružen im je kružić kao grafički simbol
- događaji e predočuju se T elementima s kvadratićem ili crtom kao grafičkom oznakom
- relacija toka opisuju grane u grafu, i to od elementa x prema elementu y ako je $(x, y) \in F$. U grafu se $c \in C$ opisuju oznakama (\cdot) u simbolu uvjeta koji je ispunjen u c .

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 32 od 37

Rasprava: koncesija (1)

- Koncesija je određena prisutnošću preduvjeta i odsutnošću postuvjeta u slučaju promatranja.
- Situacije s kontaktom uvjeta, odnosno situacije u kojima bi realizacija događaja izazvala višestruko ispunjavanje uvjeta, ne omogućuju nastupanje događaja.
- Ako u jednom slučaju promatranja više događaja ima koncesiju te mogu nastati konkurentno, u sljedeći se slučaj promatranja prelazi parcijalno uređenim skupom događaja i promjena uvjeta.

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 33 od 37

Rasprava: koncesija (2)

- Uvedena definicija CE-sustava dopušta razradu srodnih modela, s oslabljenim ili ojačanim konceptima koncesije:
 - Petrijeva mreža: dopušten kontakt uvjeta

CE-sustav Petrijeva mreža

DA DA

NE

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 34 od 37

Rasprava: konflikt (sukob)

- Dva događaja koji imaju koncesiju, a najmanje jedan preduvjet ili postuvjet im je zajednički, su konfliktni
- Izvedba jednog događaja onemogućuje izvedbu drugoga. Informaciju potrebnu za rješavanje konflikta - sukoba može osigurati okruženje sustava.

CE-sustav Petrijeva mreža

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 35 od 37

Rasprava: konfuzija (zbrka)

- Ovisnost konkurentnosti i konflikta može izazvati konfuziju
- Konfuzija – zbrka odgovara situaciji u kojoj redoslijed izvedbe konkurentnih događaja izaziva konflikt.

Ako se $e1$ izvede prije $e2$, može se izvesti ili $e3$ ili $e4$ – konflikt!

Ako se $e2$ izvede prije $e1$, može se izvesti samo $e4$.

Konkurentni sustavi Studeni 2009. 36 od 37

Literatura



- ◆ Holzmann, G.J., "The SPIN Model Checker: Primer and Reference Manual", Addison-Wesley, 2004.
- ◆ Peterson, J. L., "Petri Net Theory and the Modeling of Systems", Prentice Hall, 1981.
- ◆ Genrich, H. J., K. Lautenbach, P. S. Tiagarajan, "Elements of General Net Theory", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 84, pp. 21-163, Springer-Verlag, 1980.
- ◆ Hoare, C.A.R., "Communicating Sequential Processes", Prentice-Hall International, 1985.
- ◆ Lovrek, I., "Modeli telekomunikacijskih procesa - Teorija i primjena Petrijeve mreže", Školska knjiga, Zagreb, 1997.