Analiza podataka o zastoja računarskog sistema u eksploataciji i pokazatelji raspoloživosti

Na osnovu izvornih podataka, sakupljenih u toku eksploatacije računarskog sistema, dobijaju se podaci o komponentama vremena zastoja zbog preventivnog održavanja i zbog otkaza: vremenu aktivne popravke, logističkom i administrativnom vremenu, kao i o verovatnoćama nastanka pomenutih zastoja. Sa dobijenim podacima mogu se naći empirijske funkcije trajanja zastoja, intenziteta popravke i popravljenosti za sve komponente vremena zastoja zbog otkaza i izračunati odstupanja dobijene empirijske raspodele vremena od eksponencijalne. Pokazano je kako se sa dobijenim podacima izračunavaju pokazatelji održavanja i raspoloživosti sistema i sastavnih delova.

Prikazani su karakteristični rezultati analize vremena trajanja zastoja računarskog sistema Cyber 170/720, praćenog u toku neprekidne eksploatacije koja je trajala od 4—5 godina.

Uvod

U dostupnoj literaturi mogu se naći razmatranja o vremenu aktivne popravke sistema u eksploataciji. Postupci za analizu tog vremena dati su u [1]. Analiza trenda vremena aktivne popravke radi ispitivanja da li se intenzitet popravke menja u toku eksploatacije uređaja prikazana je u [2].

Kod sistema namenjenih dugoj eksploataciji, osim vremena popravke dolaze do izražaja i druge dve komponente vremena zastoja — logističko i administrativno vreme [3]. U ovom radu analizira se vreme zastoja zbog kvara složenog računarskog sistema u eksploataciji, nalaze komponente tog vremena i izračunavaju njihove empirijske funkcije raspodele verovatnoće. Na osnovu rezultata analize vremena zastoja nalaze se i karakteristični pokazatelji održavanja.

Podaci dobijeni sakupljanjem u toku eksploatacije sistema

Razmatra se višekorisnički složeni računarski sistem namenjen za dugogodišnju eksploataciju, koji radi neprekidno. Sistem se posmatra kao redna veza onih sastavnih delova-podistema koji učestvuju u obavljanju njegove funkcije. Podsystemi mogu biti samostalni uređaji ili redne veze fizičkih ili

ekvivalentnih uređaja. Ekvivalentni uređaj po funkciji zamenjuje stvarnu vezu sastavnih delova jednog podistema koja može biti redna, paralelna, sa rezervom, sa više stanja raspoloživosti. Sistem, kao i podsystemi, može da obavi zadatu funkciju samo ako su svi članovi redne veze, koji ga čine, ispravni i raspoloživi.

Računarski sistem može se nalaziti u stanju kada je ispravan i raspoloživ za obavljanje zadate funkcije ili u stanju zastoja zbog preventivnog održavanja ili zastoja prouzrokovanog otkazom. Ova stanja se smenjuju u toku perioda eksploatacije. U stanju zastoja zbog otkaza obavlja se otklanjanje otkaza. Vreme zastoja zbog otkaza, pored vremena aktivne popravke koje uvek sadrži, nekada može da sadrži i vreme čekanja na početak rada osoblja (administrativno vreme) ili vreme čekanja na rezervni deo koji nije na raspolaganju (logističko vreme).

Za analize predložene u ovom radu, koje se odnose na izabrani period posmatranja rada sistema T, potrebni su sledeći podaci za svaki podsystem — član redne veze složenog sistema:

— broj otkaza u posmatranom periodu rada — n ;

— broj zastoja u posmatranom periodu zbog čekanja na rezervni deo — h , gde je $h \leq n$;

— broj zastoja u posmatranom periodu zbog čekanja na osoblje — s , gde je $s \leq n$;

— broj aktivnosti preventivnog održavanja u posmatranom periodu — k ;

— vreme raspoloživosti između i -tog i $i+1$ -vog otkaza — m_i ;

— vreme aktivne popravke i -tog kvara — d_{akti} ;

— vreme čekanja na deo kod i -tog čekanja, logističko vreme — d_{logi} ;

— vreme čekanja na osoblje kod i -tog čekanja, administrativno vreme — d_{admi} ;

— vreme trajanja i -te aktivnosti preventivnog održavanja — M_{pi} .

Osim za podsisteme, sa dobro organizovanim sakupljanjem sirovih podataka, ovi podaci mogu se dobiti i za sastavne delove podsistema — pojedinačne uređaje.

Pomenuti potrebni podaci dobijaju se transformacijom sirovih podataka koji se mogu sakupiti iz sledećih izvora:

— dnevnik operacija računarskog sistema u koji operatori, po ustanovljenom postupku, hronološki zapisuju sve događaje u sistemu i njegovom okruženju,

— arhive podataka na disku o svim komandama i porukama u sistemu i o greškama u sistemu, automatski punjene od strane sistemskih rutina u toku rada računarskog sistema,

— dnevnik održavanja, gde se hronološki zapisuju indikacije otkaza, trajanje zastoja, trajanje vremena čekanja na deo, opis otkaza, naziv otkazalog sastavnog dela i naziv utrošenog rezervnog dela,

— intervju sa operatorom, sistem-inženjerom održavaocem.

Empirijske funkcije gustine trajanja zastoja, intenziteta popravke i popravljivosti

Funkcije gustine trajanja zastoja, intenziteta popravke i pogodnosti za

održavanje ili popravljivosti na osnovu podataka o trajanju zastoja sakupljenih u toku eksploatacije računarskog sistema, računaju se pomoću obrazaca za izračunavanje empirijskih funkcija gustine i intenziteta otkaza više nepopravljivih sistema, opisanih u [4]. Način primene tih obrazaca na popravljivi sistem, koji otkazuje više puta, kada se znaju vremena između otkaza, obrazložen je u [5].

Ovde se ti obrasci primenjuju za izračunavanje vrednosti funkcija gustine trajanja kvara $f_e(t)$, intenziteta popravke $\mu_e(t)$ i popravljivosti $M_e(t)$, za jedan popravljivi sistem koji je otkazao više puta i čija su trajanja zastoja slučajne veličine, poznatih vrednosti. Pomenute funkcije izračunavaju se posebno za trajanje aktivne popravke, za trajanje logističkog zastoja i trajanje administrativnog zastoja.

Empirijska funkcija gustine trajanja zastoja je

$$f_e(t) = \frac{u_1(t_i) - u_1(t_i + \Delta t_i)}{u \Delta t_i}$$

gde je:

$u_1(t_i)$	— broj kvarova koji nisu otklonjeni do trenutka t_i ,
$u_1(t_i + \Delta t_i)$	— broj kvarova koji nisu otklonjeni do trenutka $t_i + \Delta t_i$,
Δt_i	— interval vremena između otklanjanja dva kvara,
u	— ukupni broj kvarova, koji može biti jednak n , h ili s , zavisno od toga da li je promenljiva veličina vreme aktivne popravke, logističko ili administrativno vreme.

Empirijska funkcija intenziteta popravke je

$$\mu_e(t) = \frac{u_1(t_i) - u_1(t_i + \Delta t_i)}{u_1(t_i) \Delta t_i}$$

je Empirijska funkcija popravljivosti

$$M_e(t) = 1 - \frac{n_i(t_i + \Delta t_i)}{u}$$

Hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli vremena trajanja zastoja i test saglasnosti

Iz podataka o trajanjima zastoja određene vrste (aktivna popravka, logistički zastoj, administrativni zastoj) u toku eksploatacije sistema, dobija se srednje trajanje zastoja ove vrste

$$\bar{d}_x = \frac{1}{u} \cdot \sum_{i=1}^u d_{xi}$$

gde je:

u — broj registrovanih zastoja razmatrane vrste,

d_{xi} — trajanje i -tog zastoja razmatrane vrste; indeks x je opšta oznaka za indekse akt, adm i log.

Pretpostavljajući da je raspodela vremena trajanja zastoja dobijena na osnovu podataka iz eksploatacije eksponencijalna, sa nivoom rizika α ne većim od zadatog, mogu se dobiti srednji intenzitet popravke sistema kod zastoja razmatrane vrste μ_{sr} i funkcija popravljivosti $M(t)$ u praćenom intervalu vremena kao

$$\mu_{sr} = \frac{1}{\bar{d}_x}$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu_{sr} t}$$

Hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli se ne odbacuje ako je apsolutna vrednost najvećeg međusobnog odstupanja teorijske i empirijske funkcije popravljivosti

$$D = |M(t) - M_e(t)|$$

manja od koeficijenta poverenja Kolmogorova-Smirnova $\frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$ [4],

$$D_{\max} \leq \frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$$

gde je:

$D_{\max}$ — najveća vrednost D u posmatranom vremenskom intervalu;

$M(t)$ — teorijska funkcija popravljivosti, prema (6);

$M_e(t)$ — empirijska funkcija popravljivosti, prema (3);

$\frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$ — koeficijent poverenja Kolmogorova-Smirnova;

α — nivo rizika; $\alpha = 1 - p$, gde je p nivo poverenja;

μ — broj zastoja razmatrane vrste.

Pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti sistema

Pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti j -tog podsistema nekog sistema (sa r podsistema), koji se izračunavaju na osnovu podataka definisanih u odeljcima 2 i 4, jesu sledeći:

— srednje vreme između otkaza

$$MTBF_j = \bar{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} m_{ji}}{n_j} |h|;$$

— intenzitet otkaza $\lambda_j = \frac{1}{\bar{m}_j}$

$|1/h|$, što je pokazano u [5];

— srednje vreme aktivne popravke

$$MTTR_j = \bar{M}_{oj} = P_{aktj} \cdot \bar{d}_{aktj} |h|, \text{ gde je}$$

$$P_{aktj} = \frac{n_j}{n_j} = 1 \text{ verovatnoća zastoja zbog}$$

aktivne popravke a $\bar{d}_{aktj}$ dobijeno je prema (4);

— srednje administrativno vreme
 $\bar{M}_{adm} = P_{adm} \cdot \bar{d}_{adm} |h|$, gde je $P_{adm} = \frac{s_j}{n_j}$
 verovatnoća pojave administrativnog
 zastoja a $\bar{d}_{adm}$ dobijeno je prema (4);

— srednje logističko vreme $\bar{M}_{log j} =$
 $= P_{log j} \cdot \bar{d}_{log j} |h|$, gde je $P_{log j} = \frac{h_j}{n_j}$ ve-
 rovatnoća pojave logističkog zastoja a
 $\bar{d}_{log j}$ dobijeno je saglasno (4);

— učestanost preventivnog održa-
 vanja $f_j = \frac{k_j}{T} |1/h|$;

— srednje vreme preventivnog o-
 državanja $\bar{M}_{pj} = \frac{\sum_{j=1}^k M_{pj}}{k_j} |h|$.

Za složeni sistem, koji se sastoji od
 redne veze r sastavnih delova — pod-
 sistema, razmatrani pokazatelji izraču-
 navaju se pomoću izraza:

$$\lambda = \sum_{j=1}^r \lambda_j$$

$$f = \sum_{j=1}^k f_j$$

$$\bar{M}_{akt} = MTTR = \bar{M}_c = \frac{\sum_{j=1}^r \lambda_j \cdot \bar{M}_{cj}}{\sum_{j=1}^r \lambda_j}$$

$$\bar{M}_{adm} = \frac{\sum_{j=1}^r \lambda_j \cdot \bar{M}_{admj}}{\sum_{j=1}^r \lambda_j}$$

$$\bar{M}_{log} = \frac{\sum_{j=1}^r \lambda_j \cdot \bar{M}_{log j}}{\sum_{j=1}^r \lambda_j}$$

$$\bar{M}_p = \frac{\sum_{j=1}^k f_j \cdot \bar{M}_{pj}}{\sum_{j=1}^k f_j}$$

Iz prethodno navedenih pokazate-
 lja mogu se odrediti i:

— srednje trajanje zastoja zbog ko-
 rektivnog održavanja:

$$\bar{M}_{corr} = \bar{M}_c + \bar{M}_{adm} + \bar{M}_{log};$$

— srednje trajanje aktivnog korek-
 tivnog i preventivnog održavanja:

$$\bar{M} = \frac{\lambda \cdot \bar{M}_c + f \cdot \bar{M}_p}{\lambda + f};$$

— srednje vreme između održava-
 nja:

$$MTBM = \frac{1}{\lambda + f};$$

— srednje trajanje ukupnog zasto-
 ja zbog održavanja:

$$MDT = \frac{\lambda}{\lambda + f} \cdot \bar{M}_{corr} + \frac{f}{\lambda + f} \cdot \bar{M}_p = \bar{M} +$$

$$+ \frac{\lambda}{\lambda + f} \cdot (\bar{M}_{adm} + \bar{M}_{log});$$

— sopstvena raspoloživost

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

— dostignuta raspoloživost

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

— operativna raspoloživost

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

Prema prethodnoj definiciji poka-
 zatelj A_a predstavlja raspoloživost koja
 bi se imala kada bi se raspolagalo svim
 rezervnim delovima na mestu instalaci-
 je sistema i kada bi osoblje radilo ne-
 prekidno. Pokazatelj A_o , međutim, po-
 kazuje raspoloživost pri postojećoj or-
 ganizaciji održavanja. Parametar A_a ,
 prema tome, predstavlja graničnu vre-
 dnost za A_o koja se može postići. Mogu-

će povećanje raspoloživosti može se izraziti procentualno:

$$a = \frac{A_a - A_0}{A_0} \cdot 100[\%].$$

Primena metoda analize podataka o trajanju zastoja zbog otkaza

Posmatran je računarski sistem CYBER 170/720 (SISTEM), sa stanovišta pouzdanosti predstavljen kao redna veza sastavnih delova (sl. 1), koji učestvuju u ostvarenju funkcije SISTE-

CPU — centralni procesor sa memorijom, periferijskim procesorima i kompresorom za hlađenje, NPU — komunikacioni procesor, DSS — četiri jedinice diska sa kontrolerom, MTSS — dve jedinice magnetnih traka sa kontrolerom, LP — štampač redova, NAP — sistem za napajanje SISTEMA i KLM — sistem za klimatizaciju i vođeno hlađenje.

Sl. 1 — Blok-dijagram pouzdanosti SISTEMA

MA [5]. Prekid funkcije bilo kog sastavnog dela dovodi do prekida funkcije SISTEMA. SISTEM radi neprekidno. Nadzor od strane operatora obezbeđen je radnih dana u jednoj smeni. U ostalo vreme SISTEM radi bez nadzora. Aktivnosti perspektivnog i korektivnog održavanja izvodi jedan održavalac, koji se nalazi na lokaciji SISTEMA, radi u jednoj smeni i raspolaže određenom količinom rezervnih delova. Kada se otkaz SISTEMA dogodi u radno vreme osoblja, a rezervni deo je na raspolaganju ili nije potreban, otkaz se otklanja odmah. Ako je rezervni deo potreban, a nije raspoloživ, naručuje se od proizvođača u inostranstvu i čeka da stigne. SISTEM je tada u stanju zastoja i teče logističko vreme. Ako SISTEM otkáže van radnog vremena osoblja, čeka se početak sledećeg radnog dana osoblja i teče administrativno vreme. Preventivno održavanje SISTEMA obavlja jedan održavalac dva puta nedeljno po 2 sata.

Sakupljeni su podaci o trajanjima aktivne popravke, administrativnog i lo-

gističkog zastoja svih podсистema sa sl. 1 koji čine SISTEM, kao i njihovih sastavnih delova u toku neprekidnog rada SISTEMA ($T=39408$ h) u trajanju od 4 do 5 godina. Za sve podсистeme je pokazano da se ne odbacuje pretpostavka o eksponencijalnoj raspodeli vremena aktivne popravke, administrativnog i logističkog vremena, prema (8). Tako su dobijeni srednji intenziteti aktivne, administrativne i logističke popravke kao konstantne veličine [6], sa kojima se mogu graditi Markovljevi modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti pojedinih podсистema.

Radi ilustracije, na slikama 2, ..., 6, prikazan je izgled empirijskih funkcija $f_e(t)$, $\mu_e(t)$ i $M_e(t)$ vremena aktivne popravke, administrativnog i logističkog vremena za podсистem DSS, izračunatih na osnovu (1), (2) i (3). Podсистem DSS redna je veza kontrolera i ekvivalentne jedinice diska. Kod razmatranog računarskog sistema, ekviva-

Sl. 2 — Gustina trajanja aktivne popravke DSS

lentna jedinica diska je veza 4 fizičke jedinice diska DS, u kojoj je ekvivalentna jedinica raspoloživa onda kada su

Sl. 3 — Intenzitet aktivne popravke DSS

Sl. 4 — Aktivna popravljivost DSS

Sl. 5 — Administrativna popravljivost DSS

sve 4 jedinice DS raspoložive ili kada su 3 od 4 jedinice DS raspoložive.

Sl. 6 — Logistička popravljivost DSS

Statistički uzrok administrativnog i logističkog vremena bio je relativno mali, tako da su dijagrami na slikama 5 i 6 nacrtani sa malim brojem ulaznih podataka. Drugi primeri analognih dijagrama za pojedinačne jedinice i pod-sisteme nalaze se u [6].

U tabeli 1 prikazane su vrednosti karakterističnih pokazatelja održavanja i raspoloživosti, izračunate prema napred datim izrazima. Izračunate su vrednosti pokazatelja za SISTEM kao celinu, za sve pod sisteme SISTEMA, kao i za jedinicu DS koja je sastavni deo DSS.

Intenzitet otkaza i broj otkaza pojedinih pod sistema rangirani su i o njima je diskutovano u [5]. Ovde će se načiniti osvrt na pojedina vremena zastoja, koja treba da budu predmet praćenja i korekcije u toku perioda eksploatacije sistema. Srednje vreme aktivne popravke M_{akt} i srednje vreme preventivnog održavanja M_p mogu se smanjivati u toku eksploatacionog veka, ali ne znatno.

Trajanje administrativnog zastoja zavisi od vremena koje sistem radi bez nadzora osoblja. Očekivano trajanje zastoja u zavisnosti od broja radnih smena osoblja može se izračunati [6]. Vrednosti M_{adm} u tabeli 1 izračunate su za slučaj rada osoblja u jednoj smeni [6].

Vrednosti pokazatelja održavanja i raspoloživosti za SISTEM i njegove sastavne delove

Naziv sistema-podsystema	Pokazatelji održavanja i raspoloživosti									
	λ $\frac{1}{10^6 \text{ h}}$	$\overline{M}_{akt}$ [h]	$\overline{M}_{adm}$ [h]	$\overline{M}_{log}$ [h]	$\overline{M}_p$ [h]	$\overline{M}$ [h]	MDT [h]	A_i	A_a	A_u
SISTEM	6,086	1,08	3,54	8,24	2	1,69	5,63	0,9938	0,9705	0,9073
CPU	0,880	0,43	8,32	2,63	0,25	0,26	1,02	0,9996	0,9967	0,9872
NPU	1,324	0,18	0,49	4,43	0,25	0,24	0,74	0,9997	0,9968	0,9904
DSS	1,964	1,37	4,05	7,17	0,5	0,62	2,22	0,9973	0,9914	0,9702
MTSS	0,189	2,43	—	36	0,5	0,53	1,09	0,9995	0,9936	0,9870
LP	0,081	1,82	—	2,2	0,5	0,75	1,16	0,9950	0,9891	0,9832
NAP	0,729	2,45	2,63	21,89	0,5	0,61	2,03	0,9983	0,9923	0,9754
KLM	0,564	1,53	5,79	6,32	1	1,02	1,57	0,9991	0,9874	0,9808
DS	0,534	1,26	3,33	31,36	0,125	0,17	1,67	0,9993	0,9978	0,9797

Ovo vreme može se skratiti povećanjem broja radnih smena osoblja, što može biti opravdano ako je verovatnoća nastanka administrativnih zastoja velika.

Vrednosti za M_{log} u tabeli 1, veće su u odnosu na ostale komponente vremena zastoja, ukazujući da najduži zastoj nastaje zbog čekanja na rezervni deo. Srednje logističko vreme utiče na trajanje ukupnog zastoja, prema (25). U tabeli 1, najduže srednje logističko vreme, u periodu posmatranja, imali su podsystemi MTSS i NAP. To vreme bi moglo da se skрати povećanjem broja rezervnih delova dostupnih održavaocu. Zapaža se da podsystem DSS ima znatno kraće M_{log} od svog sastavnog dela DS, što je posledica dobre konfiguracije DSS.

Kako se iz tabele 1 vidi, relativno povećanje raspoloživosti a_s za SISTEM iznosi:

$$a_s = \frac{0,9705 - 0,9073}{0,9073} \cdot 100 = 6,97\%$$

što znači da bi se idealnom organizacijom održavanja operativna raspoloživost

SISTEMA mogla povećati za 6,97%. Zapaža se da najnižu operativnu raspoloživost ima podsystem DSS, pa, s obzirom na rednu vezu podsystema, DSS predstavlja najkritičniju komponentu SISTEMA. Poređenjem vrednosti za A_a i A_u za podsystem DSS, zaključuje se da bi se odgovarajućom organizacijom odražavanja DSS mogla osetno popraviti operativna raspoloživost SISTEMA. Isto se, u nešto manjoj meri, odnosi i na podsystem NAP.

Zaključak

U radu se prikazuje model i definišu potrebni parametri za analizu raspoloživosti računarskog sistema na osnovu podataka iz eksploatacije. Opisana metodologija može poslužiti za analize i drugih složenih tehničkih sistema i uređaja.

Sakupljanjem određenih podataka u toku eksploatacije računarskih sistema mogu se izračunati karakteristični pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti praćenog sistema i njego-

vih sastavnih delova u posmatranom intervalu vremena. Na osnovu istih podataka mogu se izračunati vrednosti empirijskih funkcija gustine trajanja vremena zastoja zbog aktivne popravke, logističkog i administrativnog vremena zastoja, kao i funkcije popravljivosti za svaku od ovih komponenata vremena zastoja.

Pokazatelji dobijeni na prikazani način mogu da se koriste za predviđanje broja otkaza, vremena trajanja za-

stoja i operativne raspoloživosti u nekom izabranom intervalu vremena, kao i za analizu uticaja načina organizacije održavanja i snabdevenosti rezervnim delovima na operativnu raspoloživost pojedinih komponenti i celog sistema.

Izračunati pokazatelji i grafici funkcija mogu da služe kao referentna baza podataka za globalne inženjerske analize sličnih računarskih sistema, pošto se teško nalaze u dostupnoj literaturi.

Literatura:

- [1] Maintainability Prediction, MIL-HDBK-472, 1966.
- [2] Elis, K. E. Gibson, G.J.: Trend Analysis of Repair Times, IEEE 1991. Proceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium.
- [3] Blanchard, B.: Logistics Engineering and Management, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1979.
- [4] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Beograd, VINC, 1990.
- [5] Obrovački, R.: Računarski sistemi u eksploataciji — sakupljanje podataka o otkazima i predviđanje pokazatelja pouzdanosti., VTG, XL, 1992, 3, 292—298.
- [6] Obrovački, R.: Analiza raspoloživosti računarskog sistema CYBER 170/720 na osnovu podataka iz eksploatacije, elaborat VTI, 1992, 101 str.