Računarski sistemi u eksploataciji — sakupljanje podataka o otkazima i predviđanje pokazatelja pouzdanosti

U radu se izlažu metode za procenu osnovnih pokazatelja pouzdanosti računarskih sistema na osnovu podataka iz eksploatacije. Na osnovu pomenutih podataka razvijaju se modeli za analizu pouzdanosti u eksploataciji, kako računarskog sistema u celini, tako i pojedinih njegovih sastavnih delova. Razvijeni modeli mogu poslužiti za predviđanje otkaza sistema i za racionalno planiranje potrebnog broja i intervala obezbeđenja rezervnih delova. Izložene metode i postupci primenjeni su na računarski sistem Sajber 170/720, koji se nalazi u eksploataciji. U radu se prikazuju karakteristični rezultati do kojih se došlo u izvedenim analizama.

Podaci o otkazima u toku eksploatacije

Izvor podataka

Izvor podataka bio je Dnevnik računarskog sistema Sajber 170/720 (u daljem tekstu SISTEM. Dnevnik je namenjen svakodnevnom zapisivanju događaja vezanih za operativnost računarskog sistema i upravljanje resursima, poruka sistema i izvršenih aktivnosti operatora.

Posmatrani su zapisi u toku eksploatacije sistema od 1. januara 1986. do 30. juna 1990. Za potrebe analize pouzdanosti, iz posmatranih zapisa mogli su se izdvojiti sledeći podaci:

— intervali vremena kada je sistem bio ispravan i kada je bio u otkazu,

— naziv podsistema ili uređaja u sistemu koji je uzrok zastoja sistema i trajanje njegovog otkaza;

— naziv uređaja koji je otkazao i trajanje otkaza, za koje vreme funkcija sistema nije bila narušena.

Rezultati analize podataka

Iz zapisa o hronologiji događaja na sistemu u praćenom periodu, izdvojeni su zapisi o otkazima. Izvršena je analiza zapisa o otkazima na sledeći način:

— hronološki zapisi pretvoreni su u odsečke vremena između otkaza i odsečke vremena trajanja otkaza koji su slučajne veličine za statističku obradu;

— izvršena je izvesna filtracija podataka o otkazima (na primer, neoperativnost računara zbog backupa, preventivnog održavanja ili planskog isključenja, značajna u analizi raspoloživosti, nije stanje otkaza sistema u analizi pouzdanosti, pa nije tako ni uzeta),

— odbačene su vrednosti u nizu podataka koje se odnose na isti sistem, a mnogo odstupaju od svih ostalih, smatrajući ih greškom u zapisivanju;

— zapisi o otkazima sistema bez podataka o uzročniku, uzeti su u obzir za analizu pouzdanosti SISTEMA, ali nisu mogli biti korišćeni u analizi pouzdanosti sastavnih delova SISTEMA;

— manji broj zapisa o vrlo kratkom vremenu između dva uzastopna otkaza istog sistema, uzet je u obzir za analizu. Tome je moglo da se pristupi na dva načina: 1) da se odbaci, smatrajući da je drugi otkaz nepotpuno otklonjeni prvi otkaz, 2) da se uzme u obzir, što je učinjeno, zato što odražava realno stanje održavanja uređaja u eksploataciji;

— uzeto je da je SISTEM počeo da radi na početku perioda praćenja, 1.

januara 1986, što ne odgovara stvarnosti. Time je za SISTEM i sve njegove sastavne delove vreme do prvog otkaza posle 1. januara 1986. kraće od realnog. Učinjenom pretpostavkom, u proračune je uneta neznatna greška, koja je na strani sigurnosti.

Određivanje pokazatelja pouzdanosti

Izračunavanje funkcija gustine otkaza, intenziteta otkaza i pouzdanosti iz eksploatacionih podataka o otkazima sistema

Funkcije gustine otkaza, intenziteta otkaza i pouzdanosti iz podataka sakupljenih u toku eksploatacije računarskog sistema računaju se pomoću obrazaca za izračunavanje odgovarajućih empirijskih funkcija [1]. Obrasci se primenjuju kada se za više praćenih sistema znaju podaci o vremenu do prvog otkaza.

Empirijska funkcija gustine otkaza je:

$$f_e(t) = \frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{n \Delta t_i} \quad (1.1)$$

U (1.1) je: $n_1(t_i)$ — broj sistema koji nisu otkazali do trenutka t_i , n — ukupni broj ispitivanih sistema a Δt_i — intervali vremena, različite ili iste dužine.

Empirijska funkcija intenziteta otkaza je:

$$\lambda_e(t) = \frac{n_1(t_i) - n_1(t_i + \Delta t_i)}{n_1(t_i) \Delta t_i} \quad (1.2)$$

Empirijska funkcija pouzdanosti je:

$$R_e(t) = \frac{n_1(t_i + \Delta t_i)}{n} \quad (1.3)$$

Navedeni obrasci se u ovom radu primenjuju na izračunavanje empirijskih funkcija za jedan sistem koji otkazuje više puta. Koriste se pod pretpostavkom da se posle svakog otkaza

sistem u potpunosti obnavlja i počinje ponovo da radi. Tako se jedan sistem sa n otkaza može posmatrati kao n sistema sa registrovanim vremenom do prvog otkaza i mogu se primenjivati pomenuti obrasci.

Kada je broj otkaza dovoljno veliki, vreme do n -tog otkaza, t_{max} , deli se na konstantne intervale Δt , čiji se broj k određuje iz

$$k = 1 + 3,3 \log n, \text{ gde je } n \text{ broj otkaza} \quad (1.4)$$

Dužina intervala Δt tada je

$$\Delta t = \frac{t_{max}}{k} \quad (1.5)$$

Test statističke hipoteze o eksponencijalnoj raspodeli vremena do otkaza sistema u eksploataciji

Iz podataka o otkazima u eksploataciji dobijeno je srednje vreme između otkaza:

$$m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n m_i \quad (1.6)$$

gde je sa n označen broj otkaza, a sa m_i trajanje — ispravnog rada između $i-1$ i i -tog otkaza.

Pretpostavljajući da je raspodela vremena do otkaza dobijena iz eksploatacionih podataka eksponencijalna, mogu se dobiti srednji intenzitet otkaza λ_{sr} sistema i funkcija pouzdanosti $R(t)$ u praćenom intervalu kao

$$\lambda_{sr} = \frac{1}{m} \quad (1.7)$$

$$R(t) = e^{-\lambda_{sr} t} \quad (1.8)$$

Hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli se ne odbacuje, sa nivoom rizika α , ako je apsolutna vrednost najvećeg međusobnog odstupanja funkcija teorijske i empirijske pouzdanosti u posmatranom intervalu vremena

$$D = \max |R(t) - R_e(t)| \quad (1.9)$$

manja od koeficijenta poverenja Kolmogorova-Smirnova $\frac{da}{\sqrt{n}}$

Vrednosti pomenutog koeficijenta za razno n i α date su tabelarno u [2].

Verovatnoća događanja k otkaza sistema u intervalu vremena T

Ako sistem otkazuje po eksponencijalnoj raspodeli, broj otkaza X u određenom vremenskom periodu slučajna je veličina, koja se povinuje Poasovoj raspodeli. Verovatnoća da će se dogoditi k otkaza u vremenskom intervalu T jednaka je [1]:

$$p(k) = P(X = k) = e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \quad (1.10)$$

U (1.10) je sa λ označen intenzitet otkaza sistema.

Matematičko očekivanje broja otkaza u intervalu T je

$$E(X) = \lambda T \quad (1.11)$$

Verovatnoća događanja ne više od r intervalu T može se izračunati pomoću kumulativne funkcije raspodele

$$F(r) = P(X \leq r) = \sum_{k=0}^r P(X=k) = \sum_{k=0}^r e^{-\lambda T} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \quad (1.12)$$

Primena izraza (1.10) i (1.11) u određivanju broja otkaza i potrebnog broja rezervnih delova, da bi se postigla zahtevana operativna raspoloživost, prikazana je u [3].

Definicija sistema: Sastav, vreme i uslovi rada

Sastav složenog sistema SISTEM

SISTEM se sastoji od više sastavnih delova — podsistema. To su:

— CPU — centralni procesor. Čine ga: sam centralni procesor CP, centralna memorija sa upravljačkom elek-

tronikom CM, podsistem perifernih procesora sa ulazno-izlaznim kanalima PPS i jedinica za hlađenje centralnog procesora CU. Hardver i upravljački softver posmatraju se kao celina;

— NPU — čeon, komunikacioni procesor i upravljački softver, služi za komunikaciju računarske mreže sa delovima SISTEMA;

— DSS — podsistem diskova. Čine ga: upravljač DK i 4 jedinice za rad sa diskovima DS1, ..., DS4;

— MTSS — podsistem magnetnih traka. Čine ga: upravljač MK i 2 jedinice za rad sa trakama MT1, MT2;

— LP — štampač redova;

— NAP — podsistem napajanja. Čine ga: sistem besprekidnog napajanja sa produženim napajanjem do 30 minuta u slučaju prekida u gradskoj mreži SBN i pripralni rezervni izvor — mreža M, koji se uključuje kada otkaze SBN;

— KLM — koji čine: sistem za klimatizaciju prostora u kome je smešten i radi SISTEM — KLM1 i sistem za hlađenje sistema CPU freonom — KLM2.

Tronivojska hijerarhijska šema SISTEMA sa delovima koji ga čine, prikazana je na slici 1.

Vreme i uslovi rada sistema

SISTEM sa svim sastavnim delovima sa slike 2, izuzev NAP i KLM2, nalazi se u jednoj prostoriji u kojoj se neprekidno obezbeđuje temperatura u dozvoljenom opsegu $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sa brzinom promene $0,1^{\circ}\text{C}$ unutar dozvoljenog opsega, kao i relativna vlažnost $40\% - 70\%$ i temperatura tačke orošnja 11°C . NAP i KLM2 nalaze se u prostorijama sa blažim, ali stalno održavanim uslovima ambijenta.

Napajanje: svi delovi SISTEMA, koji se napajaju sa 50 Hz ne smeju imati prekide u napajanju 10 ms i duže; svi delovi SISTEMA koji se napajaju sa 400 Hz ne smeju imati prekide u napajanju 2,5 s i duže.

Sl. 1 — Hijerarhijska šema SISTEMA

SISTEM je instaliran sredinom 1982. i od tada je stalno uključen i radi ili je raspoloživ za rad. Svi sastavni delovi nivoa II sa slike 1 neprekidno su uključeni i rade, izuzev dva i to:

— MTSS: jedinice MT1 i MT2 pod naponom su i mogu da rade samo uz asistenciju operatora, u radno vreme operatora. U ostalo vreme MT1 i MT2 su isključene;

— LP: pod naponom je i radi samo u radno vreme operatora. U ostalo vreme je isključen.

Način rada sistema i analiza pouzdanosti

SISTEM je projektovan da u njegovoj funkciji učestvuju svi sastavni delovi drugog nivoa sa slike 2. On tako i radi. Stoga je šema pouzdanosti SISTEMA redna veza svih podsistema drugog nivoa, prikazana na slici 2. Do pre-

kida funkcije, tj. otkaza SISTEMA, dolazi kada dođe do prekida funkcije bilo kog člana redne veze.

SISTEM je kao celina praćen na opisan način, tokom eksploatacije, u periodu od 1. januara 1986. do 30. juna 1990. U tom periodu hronološki je registrovano nastupanje $n_{SIST} = 224$ prekida funkcije ili otkaza. Sračunati su odsecci vremena između susednih otkaza, izraženi u satima i dobijena empirijska raspodela vremena do otkaza. Primenom metoda iz odeljka 2.1 izračunate su vrednosti empirijskih funkcija gustine verovatnoće otkaza $f_e(t)$, intenziteta otkaza $\lambda_e(t)$ i pouzdanosti $R_e(t)$ i prikazane su u tablici 1. Uz hipotezu o eksponencijalnoj raspodeli vremena do otkaza, srednji intenzitet otkaza SISTEMA, na osnovu raspoloživih podataka, izračunat prema (1.7), iznosi $\lambda_{SIST} = 0,006085674$ otkaza/h. Za tako uzeto λ_{SIST} , prema (1.8) izračunate

Sl. 2 — Blok-dijagram pouzdanosti SISTEMA

su vrednosti teorijske funkcije pouzdanosti $R(t)$, a prema (1.9) apsolutna vrednost odstupanja D . Maksimalna vrednost pomenutog odstupanja D_{max} , uokvirena je u tabeli 1. Statistički test

Kolmogorova-Smirnova pokazuje da se hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli ne odbacuje sa nivoom poverenja 0,90. Slike 3 i 4 prikazuju izgled funkcija $f_e(t)$, $\lambda_e(t)$, $R_e(t)$ i $R(t)$.

Tabela 1

i	t_i	$t_i + \Delta t$	$n_i(t_i)$	$n_i(t_i + \Delta t)$	4—5	$f_e(t) \cdot 10^3$	$\lambda_e(t) \cdot 10^3$	$R_e(t)$	$R(t)$	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	90	223	127	96	4,78	4,78	0,569	0,567	0,002
2	90	180	127	65	62	3,09	5,42	0,291	0,321	0,030
3	180	270	65	35	30	1,49	5,13	0,157	0,182	0,025
4	270	360	35	27	8	0,40	2,54	0,121	0,103	0,018
5	360	450	27	21	6	0,30	2,5	0,094	0,059	0,035
6	450	540	21	12	9	0,45	4,76	0,054	0,033	0,021
7	540	630	12	6	6	0,30	5,55	0,027	0,019	0,008
8	630	720	6	4	2	0,10	3,3	0,018	0,011	0,007
9	720	810	4	0	4	0,20	11,11	0	0,006	0,006

Redni broj	Naziv dela	λ_i otk/1000 h	n_i	$\frac{n_i}{nsist}$	E(X) otk/god	r
1	2	3	4	5	6	7
1	DSS	1,964	75	0,3348	16 ili 17	≤ 23
2	NPU	1,324	50	0,2232	11 ili 12	≤ 18
3	CPU	0,880	34	0,1518	7 ili 8	≤ 11
4	NAP	0,729	27	0,1205	6	≤ 10
5	KLM	0,564	19	0,0848	4 ili 5	≤ 8
6	NEIDENT	0,228	9	0,0402	1 ili 2	≤ 4
7	MTSS	0,189	7	0,0313	1	≤ 3
8	LP	0,081	3	0,0134	0	≤ 1
9	SISTEM	6,086	224	1	52	≤ 62

Značenje oznaka u zaglavlju tablice 2:

λ_i — srednji intenzitet otkaza dela i u periodu praćenja;

n_i — broj otkaza sastavnog dela i u periodu praćenja;

$nsist$ — broj otkaza SISTEMA u periodu praćenja;

$E(X)$ — očekivani broj otkaza u jednogodišnjem periodu;

r — najveći mogući broj otkaza u toku jedne godine utvrđen sa verovatnoćom 0,9, prema odeljku 2.3.

Slika 4. Empirijska i teorijska pouzdanost SISTEMA

Slika 3. Gustina i intenzitet otkaza SISTEMA

Slika 4. Empirijska i teorijska pouzdanost SISTEMA

Tablica 2 prikazuje vrednosti λ za sastavne delove SISTEMA sa slike 2 i SISTEM kao celinu, izračunate primenom metoda iz odeljka 2.1.

U periodu praćenja bilo je 9 zastoja SISTEMA bez podataka o uzročniku. Oni su svrstani u grupu NEIDENT i izračunate su vrednosti pokazatelja pouzdanosti. NEIDENT se u ovoj analizi smatra članom redne veze.

Sastavni delovi SISTEMA rangirani su po kritičnosti otkazivanja (kolona 5). Vidi se da su najkritičniji delovi DSS i NPU.

Za sastavne delove i SISTEM izračunat je očekivani broj otkaza i predviđen najveći broj otkaza, sa verovatnoćom 0,90, u jednogodišnjem periodu.

Analiza pouzdanosti na bazi eksploatacionih podataka izvedena je i za sastavne delove trećeg nivoa SISTEMA i određen broj potrebnih rezervnih delova za jednogodišnji period [4].

Zaključak

U ovom radu prikazane su metode i rezultati analize pouzdanosti složenog računarskog sistema opšte namene u dužem periodu eksploatacije:

— definisana je funkcija i otkazno stanje sistema i njegovih delova;

— sakupljeni hronološki podaci o događajima na računarskom sistemu u toku 4,5 godine eksploatacije pretvoreni su u podatke o broju otkaza, vremenima do otkaza i vremenima trajanja otkaza. To je učinjeno za sistem kao celinu, njegove podsisteme i sastavne delove onih podsistema za koje su postojali podaci o otkazivanju;

— analizom vremena između otkaza dobijeni su pokazatelji pouzdanosti za sistem kao celinu i za njegove sastavne delove i formirani analitički modeli za predviđanje pouzdanosti;

— ustanovljena je rang-lista kritičnosti sastavnih delova SISTEMA.

Dobijeni rezultati mogu praktično da se primene za:

— tehničko i finansijsko planiranje održavanja računarskog sistema;

— identifikaciju kritičnih sastavnih delova i komponenti sistema i nedostataka u održavanju;

— poređenje sa sistemima iste vrste radi procene kvaliteta eksploatacije i održavanja.

Sačinjeni modeli i primenjena metodologija analize složenih računarskih sistema i njihovih delova u eksploataciji, prikazani sažeto u ovom radu i detaljno u [4], mogu se primeniti za analizu pouzdanosti drugih računarskih i elektronskih sistema u JNA.

Literatura:

- [1] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, 1987.
- [2] Ivanović, G., Stanković, D.: Pouzdanost, analiza i projektovanje, TU SSNO, 1988.
- [3] Obrovački, R.: Metoda za izračunavanje broja rezervnih delova potrebnih za održavanje uređaja zahtevane operativne raspoloživosti, NTP, vol. XL, 1990, br. 10.
- [4] Obrovački, R.: Analiza pouzdanosti računarskog sistema Sajber 170/720 na osnovu eksploatacijskih podataka, elaborat, VTI, 1991.