

Model optimizacije procesa testiranja softvera

Ljubomir Lazić

Sadržaj — Ovaj rad sugerše da je moguće postići Integralni i Optimalni Proces Testiranja Softvera (IOPTS) na bazi kompjuterske simulacije, modelovanja i inženjerske discipline planiranog eksperimenta. Primenjeno je integrisano planiranje tokom čitavog procesa razvoja i testiranja softvera koje obezbeđuje da plan PTS generiše maksimalno pouzdane i korisne informacije o testiranom softveru uz maksimalno iskorišćenje raspoloživih resursa sa kojima projekat raspolaže. To je bio razlog da se pri izradi generičkog rešenja IOPTS, na samom početku, postavi optimizacioni model jednog adaptivnog procesa testiranja softvera/sistema na bazi upravljanja rizicima koji je kombinovan sa metodologijom upravljanja ekonomskim parametrima realizacije projekta razvoja softverskog proizvoda.

Ključne reči — Testiranje softvera, model optimizacije, upravljanje rizikom.

I. UVOD

TESTIRANJE softvera je sigurno najvrednija aktivnost u Procesu Razvoja Softvera (PRS) koja menadžeru projekta daje značajne i sigurne informacije za donošenje upravljačkih odluka koje vode projekt ka uspehu. Mali broj menadžera adekvatno tretira vredne informacije dobijene tokom Procesu Testiranja Softvera (PTS). Ovakvo gledanje na PTS zamagljuje sve pozitivne efekte koje neminovno aktivnost testiranja softvera/sistema (SUT) pruža. Efikasna realizacija PTS sa povratnim mehanizmom na PRS koja će otkrivati i eliminisati greške u ranim fazama procesa projektovanja softvera doprineće poboljšanju samog PRS-PTS. Značajna dobit od PTS može se očekivati ako se na nivou projekta, Testiranje Softvera (TS) shvati kao svaki drugi projekat sa jasnom strukturom, izvrši planirano, rigorozno i disciplinovano. To onda znači da treba postaviti jasne ciljeve, odabrati najbolju strategiju, precizno procenjivati potrebne resurse i pratiti ostvarivanje rezultata. Pošto je poznato [1], da je za iole ozbiljnu aplikaciju, nemoguće do kraja tj. iscrpno (totalno) izvršiti TS za sve moguće test slučajeve i sve moguće putanje (sekvence) izvršavanja programa i u svakom okruženju. Zato je važno primeniti postupak uzorkovanja [3] na osnovu nivoa poverenja, odnosno dozvoljenog rizika da neke greške u softveru ne budu otkrivene u PRS-PTS. U tom pogledu veoma je važno napraviti inteligentni izbor malog broja test slučajeva [2,5]

na osnovu kojeg se može izvršiti procena kvaliteta softvera, odnosno kompletnog SUT tako da je TS samo reprezentativni snimak stanja i ponašanja softverskog proizvoda. Zato i sama aktivnost TS mora da se proverava i ocenjuje kako bi se greške u samom PTS otkrile i otklonile. Projekt menadžeri i oni koji implementiraju Integralni i Optimalni Proces Testiranja Softvera (IOPTS) [3], treba da od početka PRS-PTS planiraju, obezbede sredstva i integrišu M&S u procesu projektovanja, razvoja, testiranja i logističke podrške polazeći od postojeće infrastrukture i raspoloživih modela i simulatora. To znači da optimizacioni model (OM) PTS treba da integriše aktivnosti simuliranja i testiranja, identifikacije, procene i kontrole rizika koji treba da su u sprezi tj. u interakciji, doprinoseći poboljšanju efikasnosti i efektivnosti PTS.

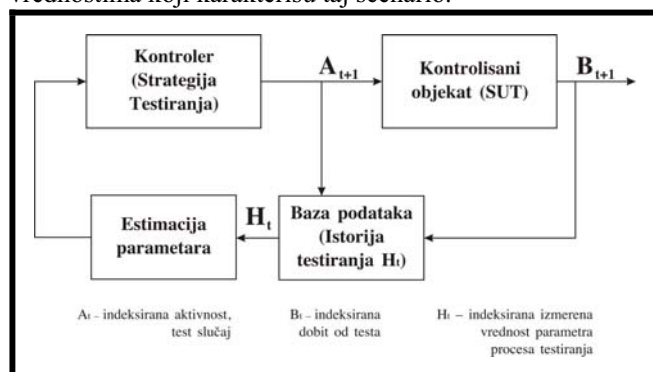
II. OGRANIČENJA U PRS-PTS I MODEL OPTIMIZACIJE

Aktivnost integrisanog mehanizma planiranja tokom čitavog PRS-PTS zahteva modelovanje i prikupljanje potrebnih podataka koji obezbeđuju da se napravi plan PTS koji generiše maksimalno pouzdane i korisne informacije o SUT uz maksimalno iskorišćenje raspoloživih resursa sa kojima projekat raspolaže. Planiranje počinje na makro nivou i postepeno treba da se spusti na mikro nivo projekta. To je bio razlog da se pri izradi generičkog rešenja IOPTS [3,4], na samom početku, postavi optimizacioni model jednog adaptivnog procesa testiranja softvera/sistema koji je dat na sl. 1. Pri izradi optimizacionog modela u generičkom rešenju IOPTS pošlo se od ocene troškova i efikasnosti više alternativnih testova sa realnim objektima, sa simulacijama i sa njihovim kombinacijama uz ocenu kompletne strategije PTS. Tako se došlo do adaptivne strategije, odnosno izbora test scenarija ispitivanja SUT po modelu dinamičkog sistema upravljanja sa povratnom petljom prikazanog na sl. 1. Ona je rezultat jednostavne činjenice da su znanja pojedinih članova projektnog tima o SUT koji se projektuje na početku PTS veoma ograničena i neravnomerna. Kako PTS SUT napreduje sve više vrednih informacija se dobija u vezi KVS- kvaliteta softvera (broj i tip grešaka koji se otkrivaju, troškovi PRS-PTS i dr.) o čemu svi članovi projektnog tima bivaju upoznati čime se ujednačuje i podiže nivo znanja o SUT. Estimirani parametri o uspešnoj realizaciji PRS-PTS se proveravaju i ažuriraju, a prema postignutim dobitcima i kontroli rizika se u realnom vremenu PRS-PTS podešavaju.

Za ocenjivanje vrednosti parametara u procesu odlučivanja optimalne strategije TS koristi se model

Ljubomir Lazić, Fakultet Tehničkih Nauka, Univerzitet u Novom Pazaru, Vuka Karadžića bb, 36300 Novi Pazar, (telefon: 381-65-6666706; e-mail: llazic@vets.edu.yu).

upravljanja sistemom sa povratnom petljom. Adaptivno upravljanje u PTS znači da kontroler procesa TS menja svoje parametre (strategiju, tehniku detekcije grešaka, test slučajeve) u periodu aktivnosti u kojima dolazi do promena u odnosu na planirani scenario i sa procenjenim vrednostima koji karakterišu taj scenario.



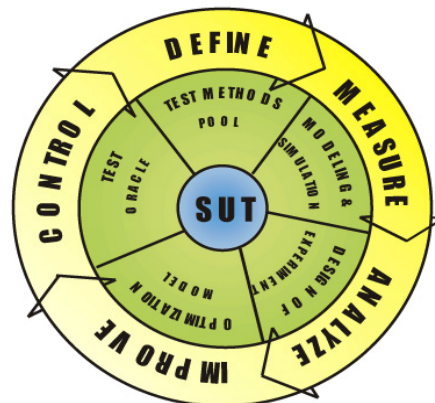
Sl. 1. Dijagram adaptivnog modela procesa testiranja softvera

Generičko rešenje IOPTS, koji je prikazan na slici 2, karakteriše agilnost tj. aktivni pristup koji integriše tehnike analize uzroka nastajanja grešaka u PRS i tehnike sprečavanja tj. prevencije generisanja grešaka, kontinualnog praćenja i ocenjivanja kvaliteta PTS kroz:

- Integraciju aktivnosti TS kroz ceo PRS kao nezavisan i komplementaran proces
- Implementaciju aktivnosti planiranja, na samom početku PRS, potrebnih resursa za pronalaženje optimalnog PTS na osnovu simulacija mogućih scenarija testiranja SUT na svim nivoima apstrakcije
- Automatizaciju PTS gde je to praktično izvodljivo radi povećanja efikasnosti PTS
- Merenje i upravljanje PTS kojim se minimizira rizik koji dovodi do uspeha projekta
- Primenu tehnika planiranog eksperimenta (optimalni planovi, ortogonalni vektori i dr.)
- Primenu modelovanja i simulacija kombinovanih sa demonstracijom SUT na maketama i prototipovima
- Kontinualno unapređenje PTS primenom aktivnih tehnika analize korena nastanka grešaka, prevencije njihovog generisanja (engl. root-cause and failure mode analysis) po modelu šest sigma (6σ) engl. Six Sigma DMAIC/DFSS model
- Kontinualno praćenje troškova (ekonomskih parametara) i rizika tj. optimalnosti PTS.

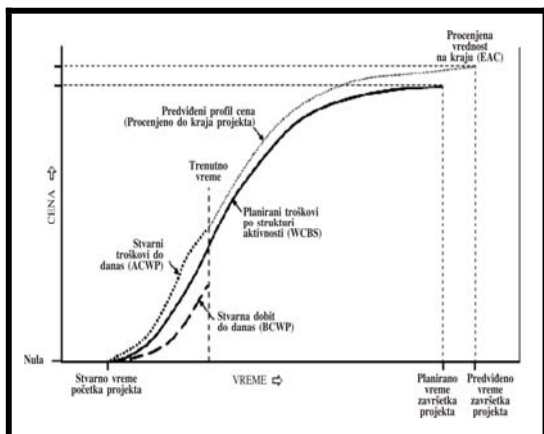
Da bi se obezbedio stabilan i optimiziran PTS u okviru generičkog rešenja IOPTS, već u ranim fazama PRS-PTS se vrši procena kritičnosti karakteristika SUT tj. rizik da se greške u softveru PTS ne otkriju, kao i procena svih troškova na nivou aktivnosti u PTS. Zbog toga je u generičkom rešenju IOPTS, model optimizacije u potpunosti integrisan, a zasnovan na tehnici upravljanja rizikom i ekonomskim parametrima PRS-PTS [2,6,7] sa ciljem da se maksimalno poveća efikasnost i efektivnost PTS pri minimalnom riziku neuspeha projekta u okviru budžetskog i vremenskog ograničenja realizacije projekta. U radovima [6,7] je detaljno opisan postupak

implementacije modela optimizacije (MO) kombinovanjem tehnika upravljanja rizikom PTS (RM) i ekonomskim parametrima PTS (EVM) tj. EVM&RM putem simulacije mogućih scenarija testiranja SUT na raznim nivoima apstrakcije kako bi se odredila optimalna oblast scenarija testiranja pri zadatom nivou poverenja u oceni KvS i prihvatljivim troškovima i trajanju aktivnosti PTS kao ograničenjima.



Slika 2. Integralni i optimizirani proces testiranja softvera (IOPTS) [3]

Obe metodologije, EVM i RM teže da predvide buduće odzive PRS-PTS što tačnije na bazi do tada, na samom početku realizacije novog projekta, poznatih informacija iz istorije sličnih projekata. Jaka strana EVM se ogleda u rigoroznom utvrđivanju dosadašnjih rezultata, koristeći kvantitativne mere ocene performansi uspešnosti projekta do momenta ocenjivanja performansi projekta. Sve što se u prošlosti realizacije projekta događalo od malog značaja je za proces upravljanja rizikom, pošto nema neizvesnosti u događajima koji su se desili. Upravo kombinovanjem jakih strana EVM&RM tehnika, koje su kompatibilne, jer im se slabe i jake strane ne poklapaju, mogu se postići značajni rezultati kao što je pokazano u generičkom rešenju IOPTS [2,6,7]. Bazični EVM proračun se zasniva na osnovnom planu očekivanih troškova u toku realizacije projekta, praveći profil aktivnosti (engl. "Budgeted Cost of Work Scheduled" (BCWS) ili "Planned Value" (PV)) na osnovu kojih se mere performanse uspešnosti realizacije projekta. Ovaj osnovni plan troškova se izvodi iz projektnih planova za potrebe u resursima i njihovim troškovima, uključujući i fiksne i varijabilne troškove usled rasta troškova na tržištu roba i ljudskih resursa. Jedan od prvih doprinosa koje RM aktivnost može učiniti u aktivnostima EVM je da eksplicitno izrazi neizvesnost i rizike u toku pravljenja osnovnog plana BCWS, koji treba da izvrši na osnovu formula za ocenu ekonomskih parametara njihove vrednosti u momentu završetka projekta (engl. Estimate at Completion (EAC)), a na bazi izračunatih indikacija realizacije performansi SUT, kao na sl. 3. Uzimajući u obzir potpunu ocenu rizika u projektnim planovima pre nego realizacija projekta počne, uključujući neizvesnost i po pitanju trajanja pojedinih aktivnosti PRS-PTS i po pitanju njihovih troškova, moguće je veoma precizno sa zadatim nivoom poverenja oceniti stepen rizika u osnovnom planu projekta.

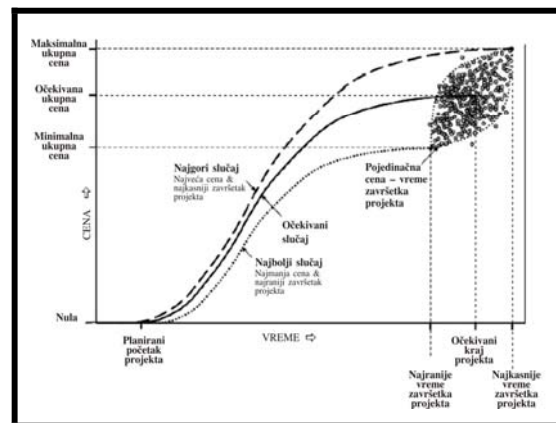


Sl. 3. Kumulativne S-krive performansi za preostali deo realizacije projekta [7]

Kvantitativne tehnike analize rizika su jako korisne i primenjive u Monte Carlo simulacijama integrisanog modela optimizacije (MO) u IOPTS koje uključuju neizvesnost po pitanju trajanja pojedinih aktivnosti PRS-PTS i po pitanju njihovih troškova. Ovaj MO uključuje varijacije planiranih vrednosti, zvane „ocenjena neizvesnost“ (na primer, zamenom planirane tačkaste vrednosti trajanja ili troškova date aktivnosti sa ocenom u tri tačke ili još preciznije preko funkcije raspodele verovatnoće), kao i model diskretnih rizika koji utiču na ocenu verovatnoće dešavanja i kasnijeg uticaja na trajanje i/ili troškove aktivnosti PRS-PTS preko uslovnih stohastičkih konstrukcija bilo po verovatnoći događanja ili ispunjenja nekog uslova. Kao rezultat primene kombinovanih tehnika EVM&RM preko analize na bazi Monte Carlo simulacija scenarija PTS može se odrediti domen ili jedna trajektorija najboljeg scenarija koji predstavlja najbrži i najjeftiniji PTS tj. optimalnog scenarija realizacije projekta PRS-PTS. Takođe, kao izlaz MO na bazi simulacije pre početka realizacije projekta, može se odrediti „najgori scenario“ sa najvećim troškovima i najdužim trajanjem. Svi ostali mogući odzivi se izračunavaju kao „očekivani odzivi“ u opsegu. Oni se prikazuju kao skup tri zavisne S-krive, kao na slici 4 [7], koje uzimaju u obzir ocenjenu neizvesnost (varijacije u planiranim događajima) i diskretne rizike (kako pozitivne mogućnosti tako i negativne pretnje). Elipsa na kraju krivih predstavlja sve moguće izračunate odzive (intervale vrednosti sa 90% nivoom poverenja), gde gornja desna vrednost predstavlja najgori slučaj (najveći trošak, najduže trajanje projekta), a donja leva vrednost predstavlja najbolji slučaj (najkraći i najjeftiniji). Centar elipse predstavlja očekivani odziv tj. najverovatniji scenario trajanja i troškova realizacije projekta. Ova elipsa u stvari predstavlja „prostor neizvesnosti“ koji je ekstrapolacija iz aktuelnih troškova i ostvarenih ušteda na bazi proračuna definisanih rizika koji su preračunati u iste monetarne jedinice kao i EVM (£, \$, € i dr.) ili kao resursni troškovi (čovjek – sat, dan, nedelja, meseci i sl.).

III. OPTIMIZACIONI MODEL NA BAZI IZBORA OPTIMALNOG TEST SCENARIJA PRS-PTS SA MINIMIZIRANIM RIZIKOM

Optimizacioni Model je razvijen da bi se u fazi planiranja omogućio izbor onih kombinacija M&S i/ili testova sa fizičkim objektima koji daju najvažnije informacije o ponašanju i performansama SUT. Model je razvijen sa ciljem da se ceo PTS posmatra kao složen dinamički sistem aktivnosti TS koje su ograničene vremenski, sa raspoloživim i odobrenim troškovima i ostalim potrebnim resursima u ljudstvu, opremi, alatima i slično, radi maksimiziranja dobiti i kredibiliteta obavljenih testova. Stoga se kvalitet ulaznih veličina modela optimizacije ocenjuje prema faktorima: kredibilitet, dobit i ograničenja.



Slika 4. Kumulativne S-krive troškova realizacije projekta na bazi rizika (BCWS or PV) [7]

Optimalna strategija TS se određuje na bazi upravljanja rizicima (RM) i njihove minimizacije u PRS-PTS kombinovana sa ekonomskim parametrima PTS (EVM) tj. RBOSTP putem simulacije mogućih scenarija testiranja SUT na raznim nivoima apstrakcije Sistema/Softvera. RBOSTP model je nastao od skraćenice (engl. Risk Based Optimization Software Testing Process) [6,7]. Da bi se obezbedio stabilan i optimiziran PTS u okviru generičkog rešenja IOPTS, već u ranim fazama PRS-PTS se vrši procena kritičnosti karakteristika SUT tj. rizik da se greške u softveru PTS ne otkriju, kao i procena svih troškova na nivou aktivnosti u PTS. Razvijeni su alati za M&S i DOE koji su upotrebljeni za modelovanje, simulaciju, minimizaciju broja testova, ocenu troškova i rizika pre početka realizacije PTS kako bi se PTS učinio kontrolabilan i prediktabilan tj. stabilan. Da bi odredio najbolji izvor informacija za potrebe ocene i analize KvS, IOPTS sa ugrađenim RBOSTP modelom optimizacije razmatra kredibilitet i troškove svake opcije testiranja SUT. Potrebni resursi za simulacije i za testiranje sa fizičkim SUT rangiraju se u odnosu na zahtevani nivo poverenja i ograničenja za njihovu realizaciju i raspoloživost analitičkih metoda. Centralni deo IOPTS sa RBOSTP optimizacionim modelom sastoji se od: akvizicije kredibilnih informacija izbegavajući redundanciju aktivnosti u celom PRS-PTS, koristeći već zabeležene (istorijske) potrebne informacije, postojeće alate i infrastrukturu testiranja SUT. U početku procesa testiranja SUT postavljaju se ciljevi, zadaci, parametri ili faktori (indeksirani sa j) u matrici specifikacije karakteristika SUT koja opisuje ponašanje SUT na nivou sistema ili niže npr. pod-sistema. Ovaj dokument predstavlja skup nezavisnih ulaznih promenljivih u RBOSTP optimizacionom modelu. Ocena ovih karakteristika SUT ili pribavljanje važnih informacija o SUT za projektni tim određuje skup uslova ili scenarija u planu PTS. Informacije se mogu dobiti bilo izvođenjem serije eksperimenata (E): primenom softverskih tehnika detekcije grešaka, terenskim ispitivanjem SUT, putem niza simulacija na kompjuteru ili njihovom kombinacijom koja predstavlja test scenario indeksiran sa i tj. sekvenca test aktivnosti i . Ciljevi testova ili parametri iz matrice specifikacije se razlikuju po važnosti α_j ili katastrofalnosti defekta ako se ne otkrije testiranjem SUT. Svaka opcija testiranja parametra j se indeksira sa l , s tim da je potrebno razmotriti k opcija (bilo kroz M&S ili u eksperimentu sa fizičkim objektom) koje se nazivaju test modovi sa različitim nivoom kredibiliteta ili verovatnoćom detekcije grešaka β_{ijk} doprinoseći dobiti B_{ijkl} za uspešno izvršavanje testa svake opcije u ćeliji (i,j) , moda k za opciju l . Dobit B_{ijkl} od dobijene informacije o kvalitetu SUT iz parametra specifikacije ili o nepoznatoj vrednosti parametra u projektnom rešenju, a na osnovu izvedenog testa može se jednostavno izraziti preko kriterijuma ROI. Trošak C_{ijkl} , svake eksperimentalne opcije koja odgovara (i,j,k,l) kombinaciji mora

se proceniti u fazi planiranja testova na osnovu poznatih tehnika i modela troškova [2-7]. Takođe, za svaki izvodljivi test, tester mora da procene trajanje T_{ijkl} testa koji uključuje vreme pripreme i izvršavanje eksperimenta. Za svaki mogući test mora se uvesti binarna (0 ili 1) vrednost E_{ijkl} koja označava da se taj test može realizovati u datoj test sekvenci tj. scenariju testova. Tada se uvodi funkcija cilja optimizacije, a to je maksimalna vrednost dobiti datog test scenarija iz investicije u testiranje najvažnijih parametara SUT ili informacija važnih za PRS i opcija testova sa najvećim kredibilitetom. Ovaj optimizacioni model održava troškove u okviru plana budžeta, vremena i redosleda test aktivnosti uz maksimizaciju dobijenih informacija za najvažnije zahtevane i specificirane karakteristike SUT tj. *Benefit Index* prema jednačini:

$$B_{enefit} I_{ndex} = \max_{i,j,k,l} \sum_j \sum_i \sum_k \sum_l \alpha_j \beta_{ijk} B_{ijkl} E_{ijkl} \quad (1)$$

Uz ograničenja:

$$\sum_j \sum_i \sum_k \sum_l C_{ijkl} E_{ijkl} \leq BUDGET \text{ (budžetska}$$

ograničenja);

$$\sum_j \sum_i \sum_k \sum_l T_{ijkl} E_{ijkl} \leq TIMESCHEDULE \text{ (ograničenja}$$

vremena i redosleda test aktivnosti), $\sum_l E_{ijkl} \leq 1$, za sve

i,j,k (najviše jedna opcija se bira iz ćelije i, j, k test moda) i

$\sum_k \sum_l E_{ijkl} \geq 1$ za sve i,j (najmanje jedna opcija testa se

predlaže iz ćelije i, j).

Glavni zadatak u primeni IOPTS sa ugrađenim RBOSTP optimizacionim modelom jeste da se uradi *štaka i analiza osetljivosti* za svaki fizibilni test scenario u fazi planiranja na početku realizacije projekta. Tradicionalne procedure planiranja PTS su primenljive za statičke procese dok se u praksi radi o dinamičkom procesu koji zahteva da se: (a) *Formuliše osnovna struktura PTS tako da se:*

– ostvari dinamička povratna petlja jer se planovi često modifikuju (iterativno), ponavljajući procene parametara na bazi međurezultata

– parametri procesa podese zbog unutrašnjih i spoljašnjih poremećaja

(b) *Pronađe realniji plan testiranja i evaluacije SUT* na osnovu trenutnog posmatranja parametara PTS, kriterijuma nestabilnosti, osetljivosti i korelacije sa dinamički postavljenim parametrima dobijenim putem M&S mogućih test scenarija na početku realizacije projekta (aktivan pristup TS). Ostali tradicionalni pristupi TS nisu adaptibilni, jer se statički odredi skup testova iz koga se nasumice bira sledeći test slučaj kao u poznatoj tehnici detekcije grešaka (TDG) zasnovanoj na slučajnom izboru podataka za test iz velikog broja elemenata ulaznog domena. Kod adaptibilne strategije TS određuje se nova TDG, na osnovu rezultata predhodnih testova, a time i novi test slučajevi ili čak ceo skup testova kako bi se sa novom TDG postigla maksimalna vrednost dobiti na osnovu jednačine (1), koja je po svojoj prirodi neizvesna

što se rezultata tiče tj. uključuje u sebi parametar rizika. U toku trogodišnje primene IOPTS na primeru testiranja softvera jednog radara, koji predstavlja SUT sa kritičnom misijom u vojnoj oblasti, dostignuto je povećanje ukupne produktivnosti više od 100 puta za svaku uloženu novčanu jedinicu tj. ROI od 100:1 u poređenju sa prethodnim konvencionalnim pristupom TS bez primene najboljih rešenja iz prakse koja su integrisana u IOPTS [3,4].

IV. ZAKLJUČAK

Postoji, iz prethodnog izlaganja, potreba za ocenjivanjem jakih i slabih strana svih TDG u softveru u pogledu efikasnosti, efektivnosti, robusnosti i primenjivosti u cilju pronalazjenja one kombinacije TDG koja dovodi do optimiziranog scenarija testiranja SUT koji treba da iskoristi jake a izbegne slabe strane. Optimalna strategija TS se određuje na bazi upravljanja rizicima (RM) i njihove minimizacije u PRS-PTS kombinovana sa ekonomskim parametrima PTS (EVM) tj. RBOSTP putem simulacije mogućih scenarija testiranja SUT na raznim nivoima apstrakcije Sistema/Softvera. Ovaj pristup PTS primenjen je u svakoj fazi PRS. On je omogućio eksperimentisanje sa više scenarija testiranja SUT u pogledu efikasnosti i efektivnosti otkrivanja grešaka, izradi test Oracle mehanizma u svim fazama PRS-PTS kao i praćenje parametara uspešnog sprovođenja projekta, a uz osiguranje minimalnog rizika.

LITERATURA

- [1] K. Le, M. Phongpaibul, B. Boehm, „Value-Based Verification and Validation Guidelines“, CSE University Southern California, TR UC-CSE-05-502, February 2005.
- [2] Boehm, B., Software Risk Management, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos California, 1989.
- [3] Lj. Lazić, „Integralni i optimizirani process testiranja softvera“, disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Januar 2007.
- [4] Lj. Lazić, D. Velašević, „Applying simulation to the embedded software testing process“, *Software Testing, Verification and Reliability*, Volume 14, Issue 4, 257-282, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.
- [5] Lj. Lazić, N. Mastorakis, „Techniques to Reduce a Set of Test Cases“, *WSEAS Transactions on Computers*, Issue 11, Volume 5, p2813-2826, ISSN 1109-2750, November 2006.
- [6] Lj. Lazić, N. Mastorakis, „RBOSTP: Risk-based optimization of software testing process Part 2“, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, Issue 7, Volume 2, p 902-916, July 2005, ISSN 1790-0832.
- [7] Lj. Lazić, N. Mastorakis, „The use of Modeling & Simulation-based Analysis & Optimization of Software Testing“, *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, Issue 11, Volume 2, p 1918-1933, November 2005.

ABSTRACT

In this article, the optimization model is described which combines Earned (Economic) Value Management (EVM) and Risk Management (RM) methodology through simulation-based software testing scenarios at various abstraction levels of the system/software under test activities to manage stable (predictable and controllable) software testing process at lowest risk, at an affordable price and time.

THE OPTIMIZATION MODEL OF SOFTWARE TESTING PROCESS

Ljubomir Lazić