

Ispitivanje pouzdanosti programske podrške TV prijemnika korišćenjem operativnog profila

Dušica Marijan, Nikola Teslić, Miroslav Popović, Ištvan Papp

Sadržaj — Jedan od važnih koraka u procesu razvoja programske podrške složenih sistema je ispitivanje kvaliteta proizvoda. Poseban aspekt kvaliteta kojim se detaljnije bavi ovo istraživanje je pouzdanost programske podrške proizvoda. U radu su izloženi osnovni principi metodologije ispitivanja pouzdanosti TV prijemnika na osnovu statistike njegovog korišćenja. Pouzdanost je procenjena statističkim ispitivanjem uz korišćenje specifikacije operativnog profila. Razvijen je statistički model ponašanja korisnika TV prijemnika na osnovu kog je generisan skup ispitnih primera. Automatsko ispitivanje i procena pouzdanosti je sprovedena na TV uređaju korišćenjem BBT Test alata za funkcionalno ispitivanje multimedijalnih uređaja.

Ključne reči — Ispitivanje kvaliteta, pouzdanost programske podrške, statističko ispitivanje, funkcionalno ispitivanje, automatsko ispitivanje, BBT, operativni profil, proces Markova.

I. UVOD

USLED naglog razvoja tehnologije poslednjih godina, na tržištu su prisutna kompleksna rešenja, naročito u oblasti računarske industrije. Kako se od ovakvih sistema očekuje pouzdanost, funkcionalnost, sigurnost, efikasnost i upotrebljivost, nužan korak u procesu njihovog razvoja predstavlja kontrola kvaliteta. Cilj proizvođača je optimizacija procesa kontrole kvaliteta, što dovodi do ideje o automatizaciji procesa verifikacije proizvoda. Automatska verifikacija predstavlja danas nezaobilazan korak u proizvodnji složenih namenskih uređaja [1].

Kao specifična oblast istraživanja u okviru namenske industrije, u ovom radu je detaljno analizirana metodologija automatske verifikacije TV uređaja.

Savremeni TV prijemnici podržavaju mnoštvo različitih sprega, funkcija i radnih režima kao što su slika u slici (PiP), slika i slika (PaP), slika i tekst (PaT), slika i grafika (PaG), itd. Kako je većina ovih funkcionalnosti realizovana programski, pored kontrole kvaliteta komponenti fizičke arhitekture, potrebno je kontrolisati i kvalitet programske podrške proizvoda.

Ovaj rad se bavi analizom kontrole kvaliteta programske podrške proizvoda, dok kontrola kvaliteta komponenti fizičke arhitekture izlazi iz opsega istraživanja.

Ispitivanje programske podrške ima za cilj da otkrije greške u ponašanju sistema, bilo poznavanjem unutrašnje strukture, bilo na osnovu specifikacije proizvoda. Metoda ispitivanja kvaliteta programske podrške korišćenjem specifikacije (funkcionalno ispitivanje, ispitivanje ponašanja ili ispitivanje metodom crne kutije) pronalazi greške u sistemu na osnovu analize odziva sistema na

određene pobude. Zbog postojanja grešaka, podaci iz ulaznog skupa I_e će izazivati neispravno ponašanje koje se prepoznaje po podacima iz izlaznog skupa O_e . Na Sl. 1 je šematski prikazana metoda funkcionalnog ispitivanja.



Sl. 1. Šematski prikaz funkcionalnog ispitivanja.

Kod statističkog ispitivanja se elementi ulaznog skupa I_e (ispitni podaci) odabiraju tako da odražavaju stvarno ponašanje korisnika. Ispitni primeri se generišu sa ciljem da simuliraju normalnu upotrebu proizvoda, a ne da otkrivaju greške. Obično se radi o velikom broju ispitnih primera, što omogućuje statističku procenu kvaliteta sistema.

Jedan od aspekata kvaliteta na koji je usmereno ovo istraživanje je pouzdanost programske podrške proizvoda. Pouzdanost određuje skup osobina koje predstavljaju mogućnost programa da održi svoj nivo performansi pod određenim uslovima i u određenom vremenskom intervalu. Zahtev za pouzdanošću se ogleda u mogućnosti izračunavanja, ili bar procene, numeričke vrednosti pouzdanosti [2].

Statističko ispitivanje se danas koristi kao standard za procenu pouzdanosti programske podrške u oblasti namenskih sistema [3]. Zasniva se na specifikaciji operativnog profila, Markovljevom procesu sistema koji se ispituje. Statističko ispitivanje podrazumeva automatsko generisanje ispitnih primera na slučajan način u skladu sa operativnim profilom sistema [4] i [5]. Kvalitet procene pouzdanosti uveliko zavisi od tačnosti operativnog profila, tj. od stepena usaglašenosti operativnog profila sa prirodom korišćenja proizvoda.

Veliki doprinos u oblasti specifikiranja operativnih profila, modela za procenu pouzdanosti sistema i tehnika generisanja ispitnih primera predstavlja istraživanje Denise M. Woith. Iako je njen rad u ranijim fazama usmeren na pojedinačne module sistema, moguća je primena i na višem nivou [2].

Koncept statističkog ispitivanja sistema pomoću operativnog profila je proučavao i Musa. Metodologija definisanja operativnog profila i značaj primene prilikom ispitivanja pouzdanosti je detaljno opisan u [6].

Takođe, doprinos ovoj oblasti su dali Whittaker i Thomason. Bavili su se statističkim proračunima

pouzdanosti sistema koristeći lance Markova za modelovanje ulaznih događaja [7].

Među metodologijama za ispitivanje kvaliteta programske podrške poznat je Cleanroom koncept kompanije IBM, koji se prilikom procene pouzdanosti oslanja na statističko ispitivanje i specifikaciju operativnih profila. Nakon formalne verifikacije potvrđuje se kvalitet (pouzdanost) proizvoda, pri čemu je isključena mogućnost modularnog (unit) ispitivanja. Ako pouzdanost nije zadovoljavajuća, proces razvoja proizvoda se ponavlja iz početka.

II. SPECIFIKACIJA OPERATIVNOG PROFILA

Statističko ispitivanje se zasniva na specifikaciji operativnog profila. Operativni profil opisuje raspodelu verovatnoća ulaznih događaja koja se očekuje prilikom izvršavanja programskog modula (u daljem tekstu modul). Drugim rečima, operativni profil predstavlja opis očekivanog korišćenja sistema [8]. Modul se definiše kao funkcionalan deo sistema i predstavlja se automatom sa konačnim brojem stanja (FSM), čime se omogućuje automatska verifikacija ispitnih primera. Moduli mogu da menjaju stanja samo putem skupa ulaznih događaja

$$\{E_1, E_2, \dots, E_n\}. \quad (1)$$

Događaj se definiše kao

$$E = \begin{cases} A & \text{if } \arg(A) = 0 \\ A(x_1, x_2, \dots, x_{\arg(A)}) & \text{if } \arg(A) > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Operativni profil se definiše kao vektor

$$\langle P[E_1], P[E_2], \dots, P[E_n] \rangle. \quad (3)$$

$P[E_i]$ predstavlja verovatnoću ulaznog događaja E_i .

Izvršavanje modula se opisuje kao niz ulaznih događaja, od iniciranja modula do kraja rada (t) ili ponovnog iniciranja:

$$_E_1.E_2.\dots.E_{t_i} \quad (4)$$

gde $_$ predstavlja inicijalizaciju modula, a t_i događaj neposredno pre kraja rada modula. Ovakav niz događaja predstavlja ispitni primer:

$$E_1.E_2.\dots.E_{t_i}. \quad (5)$$

Proizvoljan podskup izvršavanja modula (niz ulaznih događaja) čini prefiks izvršavanja modula:

$$E_1.E_2.\dots.E_j, i \leq j \leq t_i. \quad (6)$$

Ako je bar jedan od događaja iz niza neuspešan, izvršavanje modula (ispitni primer) se smatra neuspešnim. Stepen neuspešnosti modula (θ) se definiše kao verovatnoća da će izvršavanje modula, odabrano na slučajan način na osnovu operativnog profila, biti neuspešno. Operativna pouzdanost modula (r) predstavlja verovatnoću da će izvršavanje modula, odabrano na slučajan način na osnovu operativnog profila, biti uspešno. Prema tome, pouzdanost se definiše:

$$r = 1 - \theta. \quad (7)$$

Šablon operativnog profila je prikazan u tabeli 1.

Vrste tabele predstavljaju stanja sistema. Kolonama su predstavljene klase ulaznih događaja (IC). Elementi tabele su verovatnoće ulaznih događaja. Zbir verovatnoća u svakoj vrsti mora biti = 1.

TABELA 1: ŠABLON OPERATIVNOG PROFILA.

SKUP ULAZNIH DOGAĐAJA				
PRETHODNI ULAZNI DOGAĐAJI	ULAZNI DOGAĐAJI			
	IC ₁	IC ₂	...	IC _n
	P[E _{1h}]	P[E _{2h}]	...	P[E _{nh}]
	P[E _{1l}]	P[E _{2l}]	...	P[E _{nl}]
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	P[E _{1m}]	P[E _{2m}]	...	P[E _{nm}]

Razne metodologije za procenu pouzdanosti programske podrške se zasnivaju na konceptu bezuslovnih prelaza između stanja, tj. bezuslovnog dešavanja događaja, ne uzimajući u obzir prethodne ulaze kao ni trenutno stanje sistema. Ovakve metodologije procene pouzdanosti ne mogu biti primenjene na složene sisteme. Preciznost operativnog profila se direktno odražava na sam smisao i upotrebljivost rezultata procene pouzdanosti. Jedna od važnih osobina prilikom specifikiranja operativnog profila je mogućnost definisanja verovatnoće ulaznih događaja u zavisnosti od skupa prethodnih ulaznih događaja (prefiks izvršavanja modula, (6)).

III. ISPITIVANJE POUZDANOSTI PROGRAMSKE PODRŠKE TV PRIJEMNIKA

Kvalitet programske podrške TV prijemnika je analiziran metodom statističkog ispitivanja, korišćenjem specifikacije operativnog profila. Iz odabrane metode ispitivanja proističe zahtev za upotrebom ispitnih podataka koji simuliraju stvarno korišćenje uređaja. U skladu sa tim, potrebno je razviti statistički model uređaja koji se ispituje.

A. Modelovanje ponašanja korisnika TV prijemnika

Apstraktni model TV prijemnika je definisan pomoću pet stanja (ON, OFF, MENU, TTX, A/V) i deset klasa ulaznih događaja koje omogućuju prelaze između stanja (on_off_but, enter_but, exit_but, channel_but, volume_but, prev_next_but, menu_but, ttx_but, channel_select_but, AV_input_but). Takođe, mora se imati u vidu i nepreciznost koja se javlja prilikom određivanja parametara modela. Iz ovih razloga, parametri se zadaju sa određenim intervalima poverenja (opseg vrednosti u kome se sa određenom verovatnoćom očekuje da se parametar nalazi). Verovatnoće pojedinih događaja u pojedinim stanjima su dobijene eksperimentalnim putem, praćenjem upotrebe TV prijemnika.

Korišćenjem podataka iz modela, a prema šablonu prikazanom u tabeli 1, napravljen je operativni profil TV prijemnika sa pedeset elemenata.

B. Modelovanje operativnog profila TV prijemnika

Operativni profil TV prijemnika je modelovan i interpretiran pomoću GME (Generic Modeling Environment) alata razvijenog na Vanderbilt univerzitetu iz Nešvila (Tenesi). Alat omogućuje stvaranje okruženja za modelovanje specijalizovanih sistema kao i interpretiranje tih modela. Zasniva se na opštim i apstraktnim principima, čime se omogućuje primena na širok skup funkcionalno i konceptualno različitih sistema. Prilikom modelovanja potrebno je prilagoditi okruženje specifičnom domenu [9].

Neophodan korak prilikom modelovanja je stvaranje

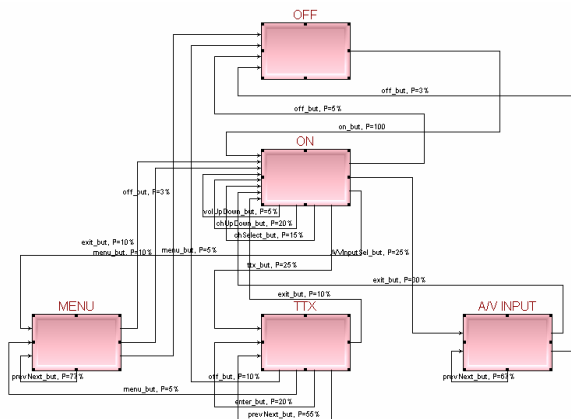
metamodela koji specificira jezik za modelovanje datog sistema. Jezik za modelovanje sadrži pravila koja se moraju poštovati prilikom korišćenja alata za modelovanje. Metamodeli se zatim koriste za stvaranje specifičnih ciljnih okruženja. Ovakva okruženja omogućuju modelovanje specijalizovanih sistema. Modeli se koriste za automatsko generisanje skupa ulaznih podataka za razne alate.

Model operativnog profila TV prijemnika je predstavljen grafom sa pet čvorova i lukovima koji ih povezuju, prikazano na Sl. 2. Čvorovima grafa su predstavljena moguća stanja sistema, a lukovi predstavljaju parove klasa ulaznih događaja i njihovih verovatnoća. Klasa događaja se definiše kao

$$E(x, y, z...); \quad (8)$$

$$x := u_1 / u_2...; y := v_1 / v_2...; z := w_1 / w_2...$$

Klasa događaja $E(x, y, z, \dots)$ se sastoji od proizvoljnog broja parametara x, y, z, \dots , gde svaki od parametara predstavlja vrednost odabranu na slučajan način iz definisanog skupa $u_1/u_2, \dots, v_1/v_2, \dots, w_1/w_2, \dots$. Na primer, parametri klase događaja $channel_select_but(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$ predstavljaju ulazne događaje selekcije kanala TV prijemnika. Klasa događaja omogućuje grupisanje sličnih ulaznih događaja i pojednostavljuje modelovanje sistema.



Sl. 2. Model operativnog profila TV prijemnika

C. Interpretacija modela TV prijemnika

Na osnovu grafa operativnog profila, interpreter modela generiše informacije o stanjima, klasama ulaznih događaja i verovatnoćama prelaza između stanja modelovanog sistema. Ove informacije su neophodne za generisanje skupa ispitnih primera. Generator ispitnih primera kreće iz početnog stanja grafa i na osnovu raspodele verovatnoća pojedinih događaja na slučajan način bira događaj i prevodi sistem u odgovarajuće stanje. Broj prelaza sistema iz jednog u drugo stanje u okviru jednog ispitnog ciklusa odgovara broju koraka ispitnog primera. Broj ispitnih ciklusa odgovara broju ispitnih primera.

Broj ispitnih primera se računa na osnovu formule (9) [10].

$$M = r^N \quad (9)$$

gde je:

M – gornja granica poverenja, N – broj ispitnih primera, r – pouzdanost programske podrške.

Na primer, da bi se postigla pouzdanost programske podrške od 99.9%, uz gornju granicu poverenja od 0.7%, potrebno je približno 5000 uspešno izvršenih ispitnih primera [3].

Da bi se postigao maksimalni kvalitet skupa ispitnih primera, optimalna vrednost broja ispitnih koraka svakog pojedinačnog ispitnog primera iznosi 20 [3].

Primer ispitnog primera je prikazan u tabeli 2.

TABELA 2: OPIS ISPITNOG PRIMERA.

<i>on_off_but(0);</i>	<i>prev_next_but(1);</i>
<i>menu_but</i>	<i>exit_but</i>
<i>channel_select_but(0);</i>	<i>prev_next_but(2);</i>
<i>on_off_but(1);</i>	<i>prev_next_but(4);</i>
<i>on_off_but(0);</i>	<i>prev_next_but(2);</i>
<i>A/V_input_but</i>	<i>on_off_but(1);</i>
<i>exit_but</i>	<i>on_off_but(0);</i>
<i>A/V_input_but</i>	<i>volume_but(0);</i>
<i>exit_but</i>	<i>channel_but(1);</i>
<i>tx_but</i>	<i>A/V_input_but</i>

Početno stanje TV prijemnika je OFF. Događaj *on* prevodi sistem u stanje ON. Događajem *menu_but* sistem prelazi u stanje MENU. Događaj *channel_select_but* ne menja stanje sistema. Nakon *off* događaja sistem prelazi u stanje OFF i odmah se zatim događajem *on* vraća u stanje ON. Događajem *A/V_input_but* sistem prelazi u stanje A/V, odakle ga događaj *exit_but* vraća u stanje ON. Niz prethodna dva prelaza se ponavlja, nakon čega sistem usled događaja *tx* prelazi u stanje TTX. Događaj *prev_next_but* ne menja stanje sistema. Nakon *exit_but* događaja sistem prelazi u stanje ON. Sledeća tri događaja ne menjaju stanje sistema, nakon čega događajem *off* sistem prelazi u stanje OFF. Nakon toga, pobuđen događajem *on* prelazi u stanje ON. Događaji *volume_but* i *channel_but* ne utiču na promenu stanja sistema. Poslednji ulazni događaj za ovaj ispitni primer je *A/V_input_but* po čijem izvršavanju sistem završava u stanju AV.

Nakon generisanja ispitnih primera, ocenjen je kvalitet dobijenog skupa. Skup je dobar ako je usklađen sa operativnim profilom TV prijemnika. Iako su generisani na osnovu definisane raspodele verovatnoća, za pojedine ispitne primere je moguće odstupanje od raspodele. Odstupanje je obrnuto proporcionalno broju ispitnih primera. Mera ovog odstupanja predstavlja nivo usaglašenosti ispitnog skupa (SL). Ako je nivo usaglašenosti veći od 20%, skup ispitnih primera se smatra dovoljno dobrim [3]. U suprotnom, potrebno je generisati novi skup ispitnih primera.

Za operativni profil TV prijemnika nivo usaglašenosti generisanog ispitnog skupa iznosi 44%. Vrednost je dobijena na osnovu matematičkih proračuna čija analiza izlazi iz opsega ovog rada.

D. Automatsko izvršavanje ispitnih primera

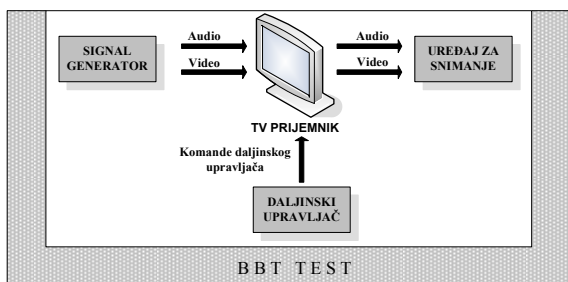
Skup generisanih ispitnih primera je prilagođen za izvršavanje na odgovarajućoj TV platformi (VCT Premium ploča). Pri tome je korišćen alat za funkcionalno ispitivanje programske podrške multimedijalnih uređaja, BBT Test [11]. Alat omogućuje automatsko izvršavanje niza ispitnih koraka na ciljnoj platformi kao i automatsku

verifikaciju rezultata. Izvršavanje ispitnih koraka podrazumeva:

- upravljanje uređajem za generisanje signala;
- upravljanje uređajem za zadavanje komandi;
- upravljanje uređajem za snimanje slike;
- poređenje rezultata izvršavanja korišćenjem nekog od algoritama za poređenje izlaza uređaja koji se ispituje sa referentnim uzorkom.

Svakom od uređaja se pristupa preko unapred definisane korisničke sprege. Uređaj za generisanje signala generiše video ili teletekst signal koji se dovodi na ulaz TV prijemnika. Uređaj za zadavanje komandi TV prijemniku predstavlja emulator daljinskog upravljača. Komande se zadaju putem IR (Infrared) veze. Uređaj za snimanje slike (BBT Acquisition Board) posmatra odziv na daljinsku komandu, snima sliku sa video izlaza TV prijemnika i prenosi je na PC računar. Prva dva uređaja su povezana preko serijske RS-232 veze, dok se za komunikaciju sa uređajem za snimanje slike koristi Ethernet veza sa TCP/IP protokolom [11].

Na Sl. 3 je dat šematski prikaz BBT Test alata.



Sl. 3. Šematski prikaz BBT Test alata

Rezultati su verifikovani poređenjem ispitne slike TV prijemnika dobijene izvršavanjem niza koraka definisanih ispitnim primerom, sa referentnom slikom. Kvalitet slike je meren parametrom PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) koji predstavlja odnos signala i šuma posmatranog između referentne i ispitne slike.

Nakon izvršavanja skupa ispitnih primera, rezultati se radi lakše analize organizuju i prikazuju u odgovarajućem formatu. BBT Test alat pruža funkcionalnost generisanja izveštaja o rezultatima u obliku tekstualne datoteke (TXT), Excel dokumenta (XLS), Internet stranice (HTML) i baze podataka (DBF).

Prethodno opisana upravljačka/kontrolna logika za automatsko ispitivanje uređaja je grafičkom spregom povezana sa korisnikom, što doprinosi fleksibilnosti i jednostavnosti upotrebe alata.

U okviru istraživanja za broj ispitnih primera je korišćena vrednost iz odeljka III.C. Ceo skup od 5000 ispitnih primera je uspešno prošao ispitivanje na VCT Premium ploči, na osnovu čega je moguće tvrditi pouzdanost ispitivane programske podrške od 99.9%. Kako broj ciklusa ispitnog skupa iznosi 5000, broj ispitnih koraka svakog ciklusa 20, a vreme izvršavanja svakog koraka 1.5 sec, za izvršavanje datog ispitnog skupa bilo je potrebno 42h.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je izložen koncept ispitivanja pouzdanosti programske podrške TV prijemnika korišćenjem specifikacije operativnog profila. TV prijemnik je modelovan kao automat sa konačnim brojem stanja, oslanjajući se na statistiku njegovog korišćenja. Interpretacijom statističkog modela dobijen je skup ispitnih primera koji su prilagođeni za automatsko izvršavanje na TV uređaju. Rezultati izvršavanja ispitnog skupa su korišćeni za proračun pouzdanosti.

LITERATURA

- [1] G. Carrozza, D. Cotroneo, S. Russo, "Software faults diagnosis in complex OTS based safety critical systems", IEEE European Dependable Computing Conference, 7-9 May 2008, Page(s): 25-34.
- [2] Denise M. Voit, "Operational profile specification, test case generation, and reliability estimation for modules", Ph.D. Thesis, Queen's University Kingstone, Ontario, Canada, February 1994.
- [3] M. Popovic; I. Velikic, "A generic model-based test case generator", Engineering of Computer-Based Systems, 12th IEEE International Conference and Workshops, 4-7 April 2005.
- [4] M. Popovic; J. Kovacevic;, "A statistical approach to model-based robustness testing", Proceedings of the 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems, 2007, Page(s): 485-494.
- [5] M. Popovic; Z. Jurca; V. Kovacevic; "An operational profile based framework for reliability estimation", University of Novi Sad, 2004
- [6] H. Koziolok, S. Becker; "Transforming operational profiles of software components for quality of service predictions", 10th Workshop on Component Oriented Programming, 2005.
- [7] I. K. El-Far, J. A. Whittaker; "Model-Based software testing", Encyclopedia on Software Engineering, Wiley, 2001.
- [8] Denise Voit, "Conditional-event usage testing", Proceedings of the 1998 conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative research, Toronto, Ontario, Canada, 1998.
- [9] A. Ledeczki; M. Maroti; A. Bakay; G. Karsai; J. Garrett; C. Thomason; G. Nordstrom; J. Sprinkle; P. Volgyesi, "The generic modeling environment", Proceedings of IEEE WISP'2001, Budapest, Hungary, May, 2001.
- [10] M. Popovic, I. Basicic, I. Velikic, J. Tatic; "A model-based statistical usage testing of communication protocols", Engineering of Computer Based Systems, 13th Annual IEEE International Symposium and Workshop, 27-30 March 2006.
- [11] J. Zloh, N. Teslic, V. Pekovic; "Jedno rešenje programske podrške za automatsko testiranje TV prijemnika", XIV Telecommunications forum TELFOR, Belgrade, Serbia, 2006.

ABSTRACT

One of the important factors in large-scale embedded system software development process is the measurement of product quality. Particular aspect of quality this research specially pays attention to is the software reliability. This paper details the main principles of reliability estimation methodology that employes statistical usage information. Reliability estimation uses statistical testing based on operational profile specification. An abstract TV set model was used to generate a set of test cases. Automated testing and software reliability calculation was performed using set-top-box.

TV SOFTWARE RELIABILITY ESTIMATION BASED ON OPERATIONAL PROFILE

Dušica Marijan, Nikola Teslić, Miroslav Popović, Ištvan Papp