

Metoda za procenu degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema

elaborat tehničkog rešenja

kategorija M85 – nova metoda
projekat MPNTR TR32043 - Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih,
višeprocorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage

Strahinja Janković, Ivan Popović, Dragomir El Mezeni, Ilija Radovanović, Lazar Saranovac
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

Sažetak

U tehničkom rešenju je opisana nova metoda za procenu degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema. U okviru metode uvedeni su modeli različitih taskova u zavisnosti od vremenske kritičnosti izvršavanja. Za svaki od modela taskova dodeljene su odgovarajuće funkcije degradacije. Za razliku od postojećih modela koji degradaciju performansi posmatraju samo u kontekstu vremenski kritičnih taskova, predložena metoda omogućava razvoj novih metoda za optimizaciju potrošnje energije gde bi se u obzir uzimala i degradacija performansi vremenski nekritičnih taskova. Metoda je verifikovana u Laboratoriji za integrisane računarske sisteme Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.

1. Uvod

Tehničko rešenje koje je predstavljeno u ovom elaboratu odnosi se na oblast elektrotehnike, a njime se rešava problem procene degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema. Informacija o degradaciji performansi je potrebna prilikom dizajna i ocene kvaliteta tehnike za optimizaciju potrošnje kao i prilikom razvoja algoritama za raspoređivanje taskova.

Priloženom metodom se svakom tasku dodeljuje odgovarajuća funkcija degradacije performansi u skladu sa vremenskom kritičnosti taska. Na taj način, u toku rada sistema moguće je dobiti informaciju o degradaciji performansi pojedinačnih taskova kao i cele aplikacije.

2. Stanje rešenosti problema u svetu:

Degradacija performansi aplikacije se često uzima kao subjektivni parametar koji zavisi od percepcije korisnika. Uglavnom se određuje statistički na osnovu određenog uzorka korisnika. Problem sa takvom predstavom degradacije performansi je što je nije moguće meriti, kao i što ne postoji univerzalna metrika.

Prilikom razvoja i ocene tehnika za optimizaciju potrošnje, neophodna je i informacija o degradaciji performansi usled optimizacije. Međutim, pošto objektivna mera za procenu degradacije performansi nije dostupna, onda je u različitim istraživanjima postavljeno ograničenje da kao posledica primene tehnike ili algoritma ne sme da dođe do probijanja vremenskog ograničenja taska [1-6]. Time su svi taskovi koji se izvršavaju na sistemu klasifikovani kao vremenski kritični taskovi.

Na primeru dinamičkog skaliranja napona i učestanosti (Dynamic Voltage and Frequency Scaling, DVFS), sva razmatranja skaliranja učestanosti su ograničena na to da se nakon skaliranja učestanosti ne probije vremensko ograničenje za izvršavanje bilo kog taska [1-3]. Isto, prilikom razvijanja algoritama za raspoređivanje taskova, opet je glavni kriterijum da ne dođe do probijanja vremenskog ograničenja taskova [4-6].

Međutim, nisu svi taskovi vremenski kritični. Postoje aplikacije, poput multimedijalnih aplikacija [7] ili aplikacija približnog izračunavanja (approximate/imprecise computation) [8-9], gde čak i ako neki task probije vremensko ograničenje, degradacija performansi ne dovodi do otkaza.

Reference:

- [1] H. Aydin, R. Melhem, D. Mosse, and P. Mejia-Alvarez, "Power-aware scheduling for periodic real-time tasks," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 53, no. 5, pp. 584–600, May 2004.
- [2] X. Zhong and C. z Xu, "Energy-Aware Modeling and Scheduling for Dynamic Voltage Scaling with Statistical Real-Time Guarantee," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 56, no. 3, pp. 358–372, Mar. 2007.
- [3] S. Liu, Q. Qiu, and Q. Wu, "Energy Aware Dynamic Voltage and Frequency Selection for Real-time Systems with Energy Harvesting," in *Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe*, New York, NY, USA, 2008, pp. 236–241.
- [4] V. Swaminathan and K. Chakrabarty, "Real-time task scheduling for energy-aware embedded systems," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 338, no. 6, pp. 729–750, Sep. 2001.
- [5] Y.-H. Lu, L. Benini, and G. De Micheli, "Low-power task scheduling for multiple devices," 2000, pp. 39–43.
- [6] X. S. Hu and G. Quan, "Fundamentals of Power-Aware Scheduling," in *Designing Embedded Processors*, J. Henkel and S. Parameswaran, Eds. Springer Netherlands, 2007, pp. 219–229.
- [7] S. Hua, G. Qu, and S. S. Bhattacharyya, "An energy reduction technique for multimedia application with tolerance to deadline misses," in *Proceedings 2003. Design Automation Conference (IEEE Cat. No.03CH37451)*, 2003, pp. 131–136.
- [8] S. Mittal, "A Survey of Techniques for Approximate Computing," *ACM Comput. Surv.*, vol. 48, no. 4, p. 62:1–62:33, Mar. 2016.
- [9] G. R. Wiedenhof and A. A. Fröhlich, "Using Imprecise Computation Techniques for Power Management in Real-Time Embedded Systems," in *Distributed Embedded Systems: Design, Middleware and Resources*, Springer, Boston, MA, 2008, pp. 121–130.

3. Opis rešenja

Postmatrajmo programski posao koji predstavlja skup n periodičnih taskova $\Gamma = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n\}$. Neka je indeksiranje taskova određeno prema dodeljenim prioritetima taskova, tako da je τ_1 tasko najvećeg prioriteta dok je τ_n task najnižeg prioriteta. Svako pojavljivanje taska predstavlja posebnu instancu i uzeto je da se k -ta instanca taska τ_1 obeležava kao $\tau_{i,k}$.

Uvodi se klasifikacija taskova prema vremenskoj kritičnosti posla na:

- vremenski kritične taskove (hard real-time) – taskovi koji ne smeju da probiju vremenska ograničenja
- uslovno vremenski kritične taskove (firm real-time) – taskovi koji ne smeju više od određenog broja puta uzastopno da probiju vremenska ograničenja
- vremenski nekritične takove (soft real-time) – taskovi kod kojih se toleriše, ali ne sme da se zanemari, probijanje vremenskih ograničenja

Primeri taskova ovih klasa dati su u tabeli 1.

Tabela 1 – Primeri taskova različitih vremenskih kritičnosti

<i>hard</i>	<i>firm</i>	<i>soft</i>
održavanje pejsmejera	uzimanje odbiraka signala	osvežavanje displeja
upravljanje motorom automobila	predikcija vrednosti	skaniranje tastature
upravljanje procesom u industriji	otvaranje elektronske brave	prenos video podataka

Od interesa za metodu su sledeće karakteristike taskova:

- period pojavljivanja taska, T_i
- vreme izvršavanja taska, e_i
- doprinos taska opterećenju procesora, odnosno utilizacija taska, U_i
- klasa taska
- prioritet taska, pr_i
- vremensko ograničenje taska, D_i

Merenjem karakteristika izvršavanja tokom vremenskog intervala $T = nzs(T_1, T_2, T_3, \dots, T_n)$ moguće je odrediti vreme izvršavanja svakog taska e_i i doprinos svakog taska opterećenju procesora U_i . Klasu taska i prioritet taska pr_i , kao i vremensko ograničenje D_i zadaje korisnik prilikom kreiranja taska.

Na osnovu ulaznih podataka metoda kao izlaz daje vrednost degradacije pojedinačnih taskova, DEG_i , kao i degradaciju cele aplikacije, $DEG = f(DEG_i)$. Vrednost degradacije se kreće u intervalu $[0,1]$, gde vrednost 0 znači da nema degradacije, dok vrednost 1 znači da su performanse maskimalno degradirane. Jedan od mogućih načina za predstavljanje degradacije aplikacije je

$$DEG = \sum k_i DEG_i, \quad (1)$$

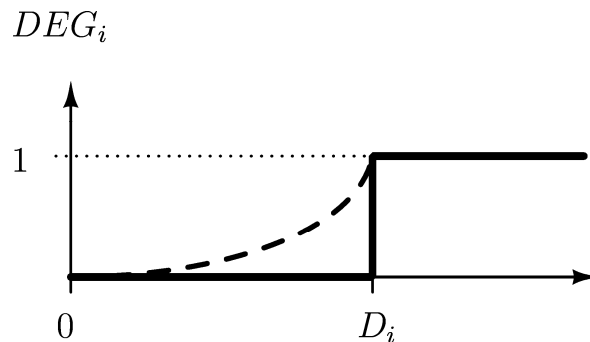
gde je k_i koeficijent kojim se bliže određuje uticaj degradacije performansi taska i na degradaciju performansi aplikacije. Odabirom vrednosti koeficijenta k_i moguće je smanjiti ili povećati uticaj degradacije performansi nekih taskova na degradaciju performansi aplikacije, pa čak i zanemariti uticaj ($k_i = 0$).

Za svaku klasu taska postoji model degradacije performansi dat u vidu funkcije. Funkcija je pridružena Task Control Block-u u formi ekstenzije i može biti jednostavna, ali i predstavljati složeni izraz u zavisnosti od potreba. U nastavku su prikazani modeli degradacije performansi za svaku klasu taskova pojedinačno.

Za svaku klasu data su po dva modela. Prvi model, dat punom linijom, ne uzima u obzir tačan trenutak završetka taska već samo da li je ili nije probijeno vremensko ograničenje. Drugi model, dat isprekidanom linijom, uzima u obzir i tačan trenutak završetka obrade taska i taj model je praktičiji ako se pored degradacije performansi želi odrediti i degradacija kvaliteta usluge (Quality of Service, QoS).

3.1. Vremenski kritični taskovi (*hard real-time*)

Kod vremenski kritičnih taskova svako probijanje vremenskog ograničenja dovodi do maksimalne degradacije performansi i otkaza. Funkcija koja je odabrana za modelovanje degradacije performansi taska prikazana je na slici 1.

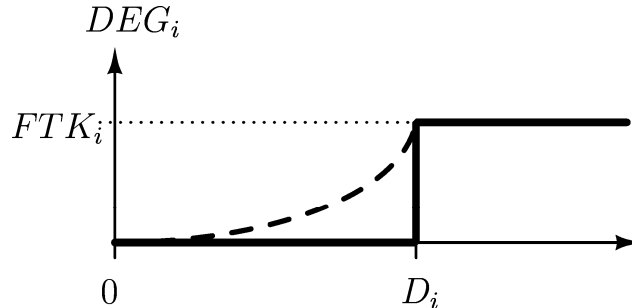


Slika 1 – Model degradacije performansi kod vremenski kritičnih taskova

Degradacija svih vremenski kritičnih taskova u određenom intervalu je 1 ako je bilo koja instanca probila vremensko ograničenje.

3.2. Uslovno vremenski kritični taskovi (*firm real-time*)

Kod uslovno vremenski kritičnih taskova uzastopno probijanje vremenskog ograničenja dovodi do maksimalne degradacije performansi i otkaza. Funkcija koja je odabrana za modelovanje degradacije performansi taska prikazana je na slici 2.

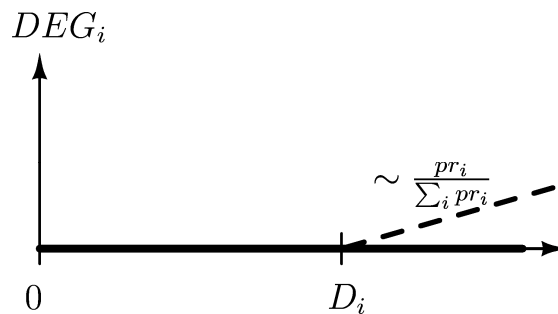


Slika 2 – Model degradacije performansi kod uslovno vremenski kritičnih taskova

Na slici 2, FTK_i predstavlja konstantu degradacije za uslovno vremenski kritičan task i važi $FTK_i < 1$. Svaki put kada se probije vremensko ograničenje taska degradacija taska se inkrementira za FTK_i . Nakon $1/FTK_i$ probijanja vremenskog ograničenja degradacija taska postaje jednaka 1.

3.3. Vremenski nekritični taskovi (*soft real-time*)

Kod vremenski nekritičnih taskova probijanje vremenskog ograničenja ne dovodi do otkaza, ali može doći do određene degradacije performansi.



Slika 3 – Model degradacije performansi kod vremenski nekritičnih taskova

Pošto vremenski nekritični taskovi ne mogu dovesti do otkaza, onda je degradacija usled probijanja vremenskog ograničenja postavljena na 0, ali degradacija kvaliteta usluga počinje da se povećava i srazmerna je relativnom prioritetu datog taska.

4. Verifikacija rešenja

Prikazana metoda verifikovana je u simuliranom okruženju. Zadat je set taskova sa sledećim parametrima

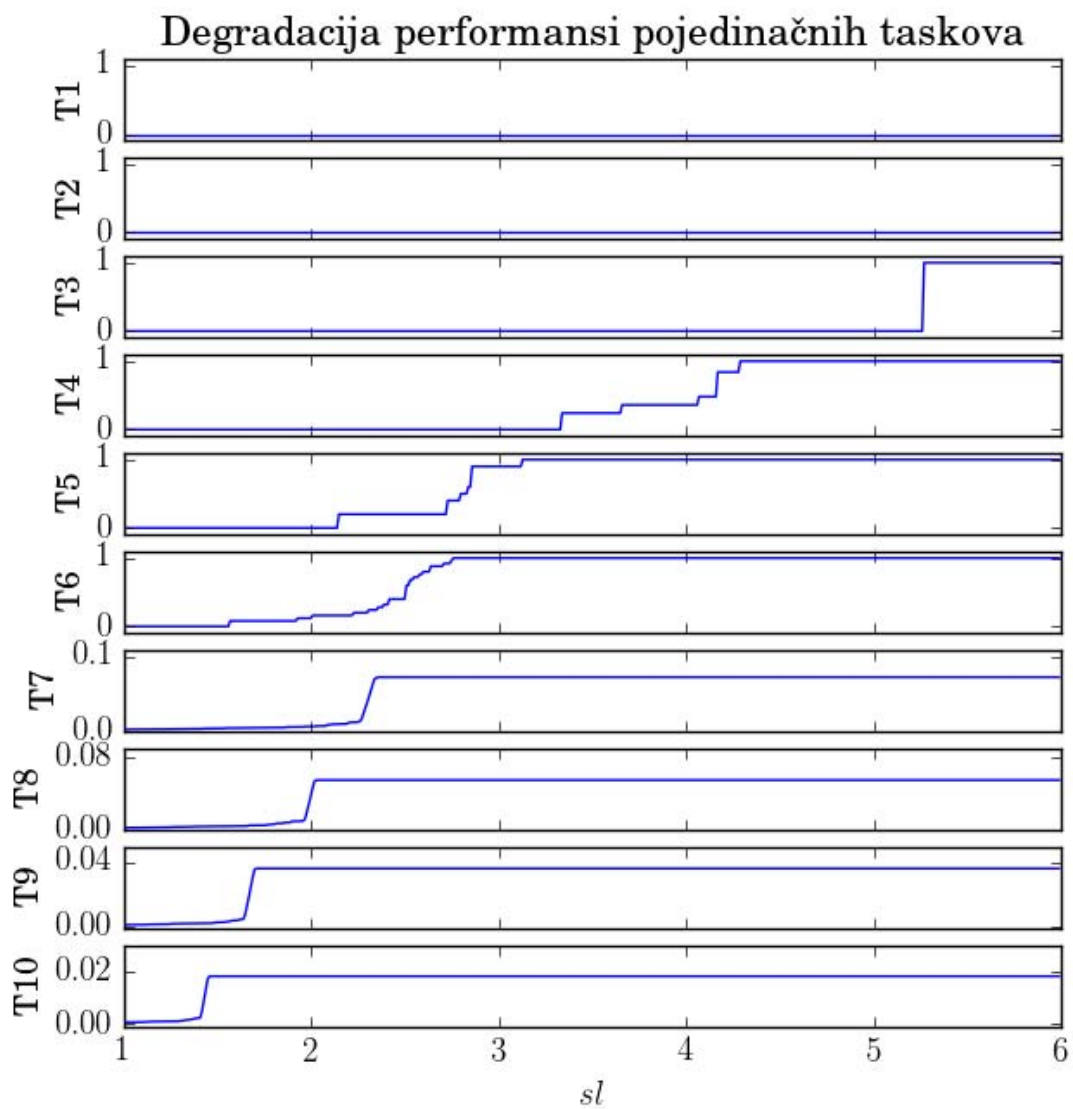
Tabela 2 – Odrabrani parametri seta taskova

<i>task</i>	<i>klasa</i>	pr_i	$T_i = D_i$	e_i
τ_1	<i>hard</i>	10	150	7
τ_2	<i>hard</i>	20	120	6
τ_3	<i>hard</i>	30	100	6
τ_4	<i>firm</i>	40	80	5
τ_5	<i>firm</i>	50	60	4
τ_6	<i>firm</i>	60	50	4
τ_7	<i>soft</i>	70	40	3
τ_8	<i>soft</i>	80	30	2
τ_9	<i>soft</i>	90	20	2
τ_{10}	<i>soft</i>	100	10	1

Za modele degradacije performansi vremenski kritičnih i uslovno vrmeenski kritičnih taskova uzeti su jednostavniji modeli, opisani punom linijom na slikama 1-2. Za model degradacije performansi vremenski nekritičnih taskova uzet je model prikazan isprekidanom linijom na slici 3. Radi jednostavnosti, uzeto je da je vremensko ograničenje jednako periodu pojavljivanja taska. Za uslovno vremenski kritične taskove odabrano je FTK_i srazmerno broju pojavljivanja taskova.

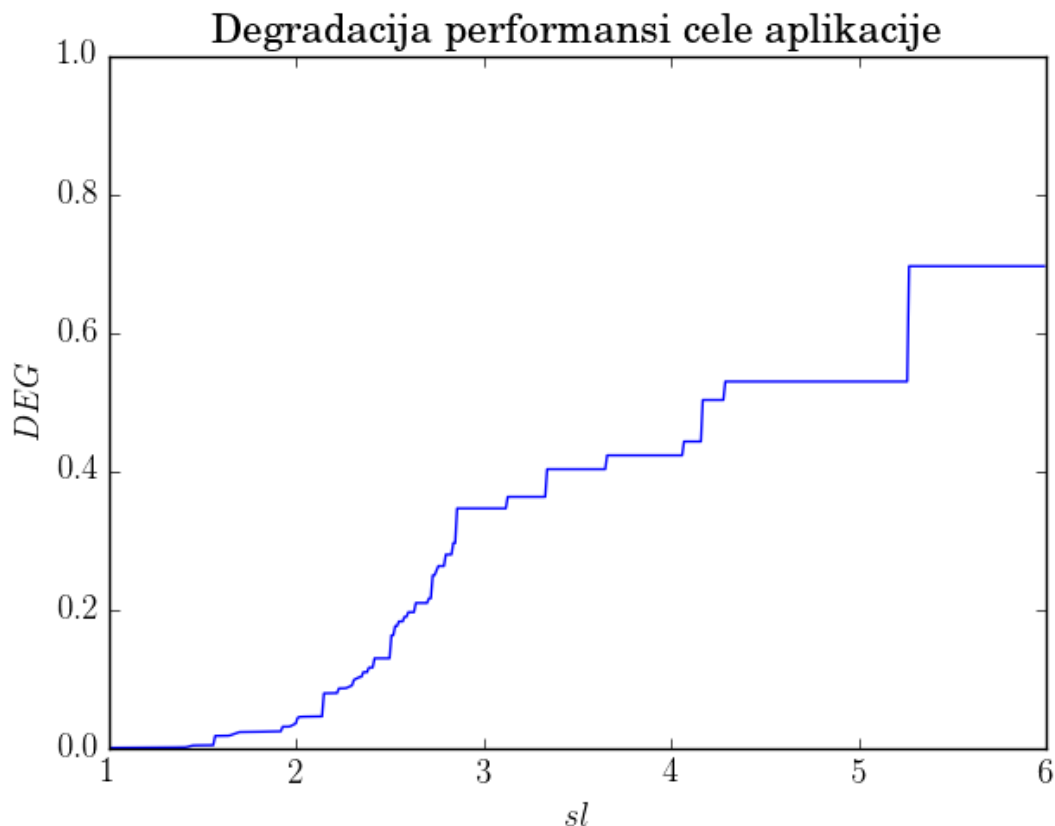
Da bi se verifikovala metoda set taskova je izvršavan više puta gde je smanjivana učestanost procesora. Pošto se sa smanjenjem učestanosti procesora produžava trajanje izvršavanja taskova, očekivano je da se povećava i degradacija pojedinačnih aplikacija kao i cele aplikacije. Učestanost je menjana u opsegu od f_0 , što je polazna učestanost za koju važe parametri taskova iz tabele 2, do učestanosti $f = f_0/6$, gde se svaki task izvršava 6 puta duže.

Na slici 4 prikazana je zavisnost funkcije degradacije pojedinačnih taskova od usporenja učestanosti sl , gde važi $f = f_0/sl$. U obzir su uzeri samo vremenski kritični i uslovno vremenski kritični taskovi pošto je za njih definisana degradacija performansi. Sa slike se vidi da kako se ukupna utilizacija svih taskova povećava, tako neki taskovi ne stižu da se izvršavaju i povećava se njihova degradacija.



Slika 4 – Degradacija performansi taskova iz tabele 2 za $sl = [1,6]$

Kako se menja degradacija performansi pojedinačnih taskova, tako se menja i degradacija performansi aplikacije. Ako se uzme da su koeficijenti k_i jednaki i iznose $1/10$, dobija se grafik na slici 5.



Slika 5 – Degradacija performansi aplikacije za set taskova iz tabele 2 za $sl = [1,6]$

5. Zaključak

Predloženim tehničkim rešenjem uvodi se nova metoda za određivanje degradacije performansi aplikacije u namenskim računarskim sistemima. Metoda omogućava jednostavno određivanje degradacije performansi na osnovu modela degradacije pojedinačnih taskova i može se implementirati u okviru postojećih sistema i koristiti u toku izvršavanja sistema. Rezultat prikazane metode može da se koristi za dizajn i verifikaciju različitih tehnika optimizacije potrošnje i performansi.

Рецензија техничког решења

1. Подаци о техничком решењу

- Назив техничког решења: Метода за процену деградације перформанси апликације код наменских рачунарских система
- Категорија техничког решења: M85 – нова метода
- Назив пројекта: Развој и моделовање енергетски ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских електронских система мале снаге
- Ознака пројекта: TP-32043
- Руководилац пројекта: др Горан Димић
- Организација: Институт Михајло Пупин
- Одговорно лице: Страхиња Јанковић, e-mail: jankovics@etf.bg.ac.rs
- Аутори: Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић, Лазар Сарановац, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

2. Евалуација техничког решења

1. **Проблем који се решава:** Решава се проблем одређивања деградације перформанси апликације код наменских рачунарских система. Решење треба да омогући процену деградације перформанси различитих програмских послова ради евалуације техника за оптимизацију потрошње и перформанси као и за конструисање критеријума за оптимизацију.
2. **Стање решености истог проблема у свету:** У тренутним решењима деградација се посматра као субјективни параметар, где се одређује статистички на основу одређеног узорка корисника, што је непрактично. Са друге стране, разне технике за оптимизацију потрошње, као и различити алгоритми за распоређивање таскова постављају ограничење да као последица примене технике или алгоритма не сме да дође до побијања временског ограничења таска, чиме у суштини класификују све таскове као временски критичне таскове. То није ситуација у реалним системима и постоји доста области где се толерише пробијање временских ограничења одређених таскова.
3. **Сажетак описа техничког решења:** Метода за процену деградације перформанси апликације класификује таскове према временској критичности на временски критичне, средње временски критичне и временски некритичне таскове. За сваку од класа постоји одговарајући модел деградације перформанси. Модели су описани функцијама и зависе од временских ограничења таскова. Комбинацијом ових модела могуће је проценити деградацију перформанси целе апликације. Решење је верификовано у симулацији на сетовима таскова различитих временских критичности.
4. **Квалитет објашњења и описа решења:** Могућности техничког решења су детаљно објашњене као и начин његове примене.
5. **Применљивост резултата рада:** Ово техничко решење се може користити за конструисање различитих критеријума оптимизације потрошње и перформанси, као и за евалуацију различитих техника за оптимизацију потрошње.

ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА РАДА: Решење је урађено квалитетно и пружа могућност даљег интегрисања у конкретне системе.

Да ли се техничко решење прихвата (Да или Не): Да.

3. Квалитети техничког решења

Квалитети техничког решења се огледају у могућности једноставног одређивања деградације перформанси апликације, што је погодно за интеграцију у различите алгоритме оптимизације, као и у моделовању таскова различите временске критичности, чиме је могуће проширити опсег примене критеријума оптимизације.

4. Примедбе на техничко решење

Немам суштинских примедби на ово техничко решење.

Београд, 17.01.2018.

Рецензент:


др Борис Лончар, редовни професор
Технолошко-металуршки факултет
Универзитет у Београду

RECENZIJAZ TEHNIČKOG REŠENJA

Metoda za procenu degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema

Urađeno u okviru projekta MPNTR TR32043 – Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih, višeprocorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage

Odgovorno lice: Strahinja Janković, e-mail: jankovics@etf.bg.ac.rs

Autori: Strahinja Janković, Ivan Popović, Dragomir El Mezeni, Ilija Radovanović, Lazar Saranovac, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Predmet tehničkog rešenja se odnosi na metodu za procenu degradacije performansi aplikacije kod namenskih računarskih sistema. Razvijena metoda omogućava procenu degradacije performansi aplikacije za različite oblike poslova izvršavanja i sa programskim poslovima različite vremenske kritičnosti u cilju razvoja i ocene algoritama za optimizaciju potrošnje. Postojeća rešenja koja se bave teorijom raspoređivanja poslova ili optimizacijom potrošnje računaju degradaciju kao da se aplikacija sastoji samo od vremenski kritičnih taskova što ograničava potencijalni opseg primene optimizacije.

Realizacija: Metoda se zasniva na modelima degradacije performansi taskova sa različitom vremenskom kritičnosti. Taskovi mogu da se podele na vremenski kritične (hard real-time), srednje vremenski kritične (firm real-time) i vremenski nekritične taskove (soft real-time). U zavisnosti od vremenske kritičnosti, računanje degradacija performansi značajno se razlikuje. Kod vremenski kritičnih taskova probijanje vremenskog ograničenja podrazumeva maksimalnu degradaciju performansi taska. Za srednje vremenski kritične taskove uzastopno probijanje vremenskog ograničenja dovodi do maksimalne degradacije performansi. Za vremenski nekritične taskove svako probijanje vremenskog ograničenja uzrokuje određenu degradaciju performansi. Opisani su modeli degradacije performansi svih vrsta taskova. Pomoću ovih modela degradacije performansi taskova moguće je odrediti degradaciju performansi cele aplikacije.

Doprinos: Opisano rešenje je verifikovano na različitim setovima taskova sa različitom vremenskom kritičnosti. Prikazanu metodu je moguće integrisati u različite kriterijume optimizacije potrošnje i performansi i time proširiti opseg primene optimizacije.

Mišljenje: Na osnovu dostupne dokumentacije i uvidom u stanje u oblasti dajem mišljenje da je predmetno tehničko rešenje kategorije **M85 – nova metoda**.

Beograd, 19.01.2018. godine

Recenzent



Prof. dr Zoran Stević
Tehnički fakultet u Boru
Univerzitet u Beogradu

ОБРАЗАЦ ЗА ПРИЈАВУ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

У складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008) достављам следеће податке:

Аутор/аутори техничког решења: Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић, Лазар Сарановац

Назив техничког решења: Метода за процену деградације перформанси апликације код наменских рачунарских система

Врста техничког решења: Нова метода

М фактор техничког решења (M81-M86): M85

За кога је техничко решење рађено: За интерне потребе ЕТФ, у оквиру пројекта ТР 32043 – Развој и моделовање енергетски ефикасних, адаптивних, вишепроцесорских и вишесензорских електронских система мале снаге

Ко користи техничко решење: Електротехнички факултет у Београду

Када је техничко решење рађено: јануар 2017 – новембар 2017.

Ко је прихватио – примењује техничко решење: Електротехнички факултет

Како су резултати верификовани (од стране ког тела):
Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду

На који начин се резултати користе: као метода за добијање параметара који могу даље да се користе за алгоритме оптимизације

Област на коју се техничко решење односи: електротехника, електроника

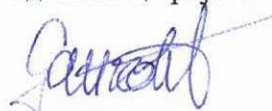
Проблем који се техничким решењем решава: објективна процена деградације апликације у наменским рачунарским системима

Стање решености тог проблема у свету: видети приложени елаборат

Објашњење суштине техничког решења и детаљан опис са карактеристикама укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже: видети приложени елаборат

Како је техничко решење реализовано и где се примењује, односно које су могућности примене: видети приложени елаборат

Подносилац пријаве



Ас. Страхиња Јанковић, маг. инж. ел.
Електротехнички факултет у Београду



ИЦЕФ

Иновациони центар
Електротехничког факултета у Београду д.о.о.

Булевар краља Александра 73
11120 Београд
Тел.: 011 3218 455
Тел./факс.: 011 3370 123
icef@etf.rs
www.icef.etf.rs

Изјава

Иновациони центар Електротехничког факултета у Београду је пратио развој техничког решења под насловом “Метода за процену деградације апликације код наменских рачунарских система“ чији су аутори Страхиња Јанковић, Иван Поповић, Драгомир Ел Мезени, Илија Радовановић и Лазар Сарановац у периоду од јануара 2017. до новембра 2017. године. Узимајући у обзир могућности примене овог техничког решења у дизајну критеријума за оптимизацију потрошње и перформанси наменских рачунарских система, Иновациони центар планира коришћење овог техничког решења.

У Београду, 20.01.2018. године

в.д. директора

др Милица Ђурић-Јовичић