

ВИШЕ-КРИТЕРИЈУМСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА ОДРЖАВАЊА ПРИМЕНОМ НАПРЕДНИХ ЕВОЛУТИВНИХ МЕТОДА

мр Горан Петровић, асистент
Проф. др Жарко Ђојбашић,
Проф. др Драган Маринковић,
Проф. др Зоран Маринковић,
дипл. маш. инж. Данијел Марковић

Универзитет у Нишу
Машински факултет у Нишу

Резиме

Рад разматра могућност коришћења напредних еволутивних метода – реално кодираних генетског алгоритма у области више-критеријумске оптимизације проблема поузданости, расположивости, погодности одржавања, безбедности и укупних трошкова животног циклуса техничких система. Више-критеријумски оптимизациони проблем дефинисан је у општем смислу након чега су представљена три алтернативна приступа за његово решавање. Презентоване су теоријске основе генетских алгоритама при чему су истакнуте предности реално кодираних генетских алгоритама у односу на класичне.

Кључне речи: *оптимизација, одржавање, генетски алгоритама.*

1. УВОД

Веома битан сегмент у животном циклусу једног система представља процес његовог одржавања. Теорија одржавања техничких система као дисциплина широко је прихваћена у смислу објективне основе за решавање проблема отказа система. Задатак очувања исправности радне опреме у предузећима представља одржавање њене радне функције и способности остварења захтеваног учинка [1]. Данас није довољно само очување што је могуће веће расположивости техничког система тиме што се они поправљају након отказа, већ је неопходно да се правовременим планирањем превентивних мера избегну откази и

ризици по сигурност система и околине са јене стране а и смање трошкови одржавања са друге стране. Посматрано генерално повећање поузданости¹ (*Reliability*), расположивости² (*Availability*) и погодности одржавања³ (*Maintability*) система као и смањење трошкова одржавања⁴ (*Costs*) *RAM&C* представљају приоритетне задатке савремених стратегија одржавања техничких система. За потенцијално опасне и ризичне техничке системе, какве су нпр. хемијске и нуклеарне технологије, неопходно је у разматрање укључити и безбедност⁵ (*Safety*) односно њену мерљиву карактеристику, ризик као атрибуте од којих значајно зависе одлуке у процесу одржавања.

Оптимизација процеса одржавања мора бити разматрана као више-критеријумски проблем при чему *RAMS&C* атрибути представљају међусобно конфликтне критеријуме одлучивања, на основу којих оптимизациони процес даје релевантне параметре одржавања (интензитета отказа, периодичност замена, фреквенцију превентивних прегледа стања итд.).

RAMS&C концепт је широко истраживан протеклих година [5 - 8], при чему се са појавом нових (бржих и једноставнијих) оптимизационих метода отварају нове могућности за даља истраживања ове области. Реални оптимизациони проблеми често разматрају већи број различитих карактеристика као што су нелинеарност, међусобно конфликтни критеријуми, постојање већег броја оптимума итд., што их чини веома сложеним за решавање. Група метода заснована на еволуцији представља веома добар оптимизациони алат нарочито у случајевима када традиционалне оптимизационе методе не дају задовољавајуће резултате [5 - 7]. У овом раду анализирана је могућност примене реално кодираних генетских алгоритама у више-критеријумској оптимизацији процеса одржавања.

2. *RAMS&C* АТРИБУТИ У ПРОЦЕСУ ОДРЖАВАЊА

У најширем смислу одржавање може бити класификовано у две основне категорије: корективно и превентивно. Корективно одржавање је одржавање које се предузима након појаве отказа. У литератури врло често уместо термина корективно одржавање употребљава се термин не планирано одржавање или поправка. Према [2] (превод [3]) корективно одржавање се спроводи након настанка отказа, са циљем да се елемент врати у стање у коме може

¹ Поузданост представља спремност система да обавља предвиђену функцију под датим условима, током утврђеног временског периода*.

² Распоживост је спремност система да ступи у функцију под утврђеним условима у одређено време, или да је обавља током одређеног временског периода, под претпоставком да су сви екстерни ресурси обезбеђени*.

³ Погодност одржавања представља способност система да под било којим условима рада може бити одржаван у стању у којем може обављати предвиђену функцију или доведен у такво стање – применом предвиђених поступака одржавања, под одређеним условима, уз коришћење наведених процедура и ресурса*.

⁴ Трошкови одржавања јесу део укупних трошкова насталих током животног века производа (система)*.

⁵ Безбедност односно њена мерљива карактеристика ризик представља производ фреквенције, или вероватноће, настанка и последица одређеног опасног догађаја, IEC60300-3-9, 1995 [4]

*Термини 1,2,3,4 су преузети из стандарда CEN: EN 13306:2002, *Maintenance Terminology – превод Б. Васић и др.* [3].

да извршава захтевану функцију. Очигледно корективно одржавање се изводи као непредвидиви временски догађај зато што је време отказа компоненте непознато. Превентивно одржавање је одржавање које се одвија док је систем у стању у ком још увек извршава захтевану функцију. Према [2, 3] превентивно одржавање је одржавање које се спроводи у претходно одређеним интервалима, или у односу на прописане критеријуме, са циљем да се умањи вероватноћа појаве отказа или умањења учинка елемента.

Потпуно је јасно да превише честа примена мера превентивног одржавања сигурно одржава захтевану поузданост и расположивост система али и производи знатне трошкове одржавања. Са друге стране ако је фреквенција превентивног одржавања мала то свакако значи и ниже трошкове одржавања али доводи и до смањења расположивости система и повећања ризика за појаву отказа система. Веома је важно да се у распону поља економичност-сигурност-расположивост донесу праве одлуке у циљу постизања што повољније стратегије одржавања. Другим речима, неопходно је пронаћи оптимални баланс између конфликтних критеријума (RAMS&C) у виду скупа променљивих параметара x (величина која дефинише стратегију одржавања) који обезбеђује максималну поузданост, расположивост и погодност одржавања уз минималне трошкове и минимални ризик.

Не улазећи дубље у начин математичког представљања дефинисаних критеријума у овом раду RAMS&C критеријуми биће разматрани у виду функција оптимизационих параметара x чију је вредност потребно одредити:

$R(x)$ – поузданост,

$A(x)$ – расположивост система,

$U(x) = I - A(x)$ – нерасположивост,

$M(x)$ – погодност одржавања,

$S(x)$ – безбедност система (мера прихватљивог ризика),

$Risk(x)$ – ризик система,

$C(x)$ – трошкови примене одговарајуће стратегије.

3. ФОРМУЛАЦИЈА ВИШЕ-КРИТЕРИЈУМСКОГ ОПТИМИЗАЦИОНОГ ПРОБЛЕМА

Проблеми налажења оптималног решења, задаци оптимизације, срећу се и решавају у свакодневном животу, како у техничким и економским тако и у било којим другим системима. Неопходне претпоставке за остварење задатка оптимизације су [8]:

1) *Објекат оптимизације.*

2) *Критеријум оптималности*, односно функција циља.

3) *Управљивост објектом оптимизације* - објекат оптимизације мора бити управљив, односно да има извршен степен слободе.

4) *Метод оптимизације.*

Теорија оптимизације се бави развојем модела и метода којима се налазе оптимална решења математички формулисаних проблема. У случају оптимизације одржавања, односно налажења оптималне стратегије одржавања на бази RAMS&C критеријума, решење проблема је представљено у виду вектора x . Компоненте решења x_j , ($j=1 \div n$), представљају

управљачке променљиве или променљиве одлуке. У том случају оптимално решење би било $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$. Да би се за неко решење рекло да је оптимално (најбоље), потребно је имати меру којом се одређује његов квалитет и која омогућава његово поређење са другим могућим решењима. У математичком смислу неопходно је дефинисати *функција циља* $f(x)$ којом се сваком решењу придружује одговарајућа вредност која представља његову меру квалитета. Не може сваки низ величина x бити решење оптимизационог проблема. У том смислу потребно је дефинисати и скуп ограничења која одређују услове под којима величина x може бити тзв. допустиво решење.

Прихватањем овако дефинисаних категорија, више-критеријумска оптимизација процеса одржавања могла би математички да се изрази на следећи начин [9]:

$$y = (\min/\max) f(x) = f(R(x), A(x), M(x), Risk(x), C(x)), \quad (1)$$

уз ограничења:

$$g(x) = (R(x) \geq R_G, A(x) \geq A_G, M(x) \geq M_G, Risk(x) \leq Risk_G, C(x) \leq C_G). \quad (2)$$

При томе, величине R_G , A_G , M_G , $Risk_G$ и C_G представљају граничне (прихватљиве) вредности за поузданост, расположивост, погодност одржавања, ризик, трошкове (буџет). У научној литератури могуће је наћи велики број радова који разматрају претходно дефинисан више-критеријумски оптимизациони проблем. Постоји велики број метода посебно развијених за решавање RAMS&C оптимизације. Заједничка особина свих развијених метода јесте активна улога менаџера одржавања у доношењу коначне одлуке о стратегији одржавања на бази значајности појединачних критеријума. У овом раду су кратко описана три најчешће коришћена приступа.

а) Одлучивање пре оптимизације, при чему се сви оптимизациони критеријуми трансформишу у један критеријум. На овај начин се више-критеријумски оптимизациони проблем (eng. **Multi-objective Optimization Problem** – MOP) трансформише у једно-критеријумски (eng. **Single-objective Optimization Problem** – SOP). Овај приступ се у литератури често означава као традиционални. Најчешће методе базиране на овом приступу јесу: *метода тежинских коефицијената* (где се функција циља генерише у виду линеарне комбинације појединачних критеријума) и *метода ограничења* (код које се критеријум највећег значаја задржава као функција циља а остали критеријуми се трансформишу у додатна ограничења).

б) Одлучивање након оптимизације, при чему се оптимизациони процес одвија без претходно дефинисаних нивоа значајности појединачних критеријума. Резултат овако дефинисаног процеса оптимизације јесте Парето⁶ оптимални низ могућих решења. За неко решење се каже да представља Парето оптимум ако не постоји неко друго допустиво решење у које „доминоира“ над допустивим решењем x . Ако су сви критеријуми за минимизацију допустиво решење x доминира над другим допустивим решењем y , ($x \succ y$), ако и само ако, $f_m(x) \leq f_m(y)$ по свим

⁶ Vilfredo Pareto (1848-1923) – *The Pareto optimum theory*

критеријумима $m=1\div 5$ и $f_r(x) < f_r(y)$ бар по једном критеријуму оптимизације r . Другим речима, допустиво решење је Парето оптимум ако би побољшање вредности било ког критеријума проузруковало погоршање вредности неког другог критеријума. Након издвајања свих Парето оптималних решења менаџер одржавања мора извршити избор на основу субјективних преференција о нивоу значајности појединачних оптимизационих критеријума.

ц) Одлучивање у току оптимизације, при чему доносилац одлука (менаџер одржавања) активно води оптимизациони процес у сталној комуникацији са рачунаром. Овај приступ подразумева примену експерних система и система заснованих на знању [8].

4. ГЕНЕТСКИ АЛГОРИТМИ ЗА RAMS&C ОПТИМИЗАЦИЈУ

Како је већ напоменуто, у многим реалним проблемима оптимизациони критеријуми су међусобно конфликтни при чему добијање најбољег решења по једном критеријуму може да доведе до појаве потпуно неприхватљивих решења по осталим критеријумима. Насупрот традиционалном приступу у оптимизацији у другој половини двадесетог века појављује се читава лепеза метода и алгоритама који значајно отклањају ограничења у погледу разнородности критеријума, нелинеарности итд. Еволутивни алгоритми засновани на Дарвиновој теорији еволуције („*Постанак врста путем природног одабирања*“) представљају веома моћне оптимизационе технике. Поред генетских алгоритама, који су најчешће заступљени развијени су и други, доста слични, приступи за решавање различитих проблема – еволутивно програмирање, еволутивне стратегије, генетско програмирање...

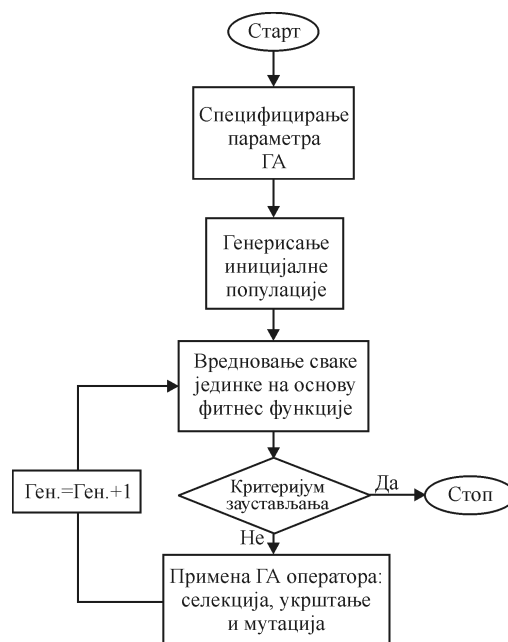
Генетски алгоритми (ГА), оптимизациони алат најчешће примењиван у различитим студијама случаја, засновани су на принципима приподне селекције и еволуције врсте [10]. ГА су базирани на два основна еволутивна концепта [11]:

1. Дарвинова дефиниција функције прилагођености (eng. fitness function), која описује способност јединке да преживи.
 2. Генетски оператори, који одређују генетски састав следећих генерација на основу тренутне генерације.
- Способност ГА да истовремено претражују различите области допустивих решења чини их веома применљивим на различите неконвексне, прекидне и вишекритеријумске проблеме [12], какав је оптимизација стратегије одржавања на бази RAMS&C критеријума.

ГА доводе до решења оптимизационог проблема помоћу случајно генерисаних низова података (хромозома) тражењем оних хромозома које имају највећу могућност да преживе. Податак о стању неке променљиве се назива *геном*, а скуп гена које дефинишу једно решење се назива *хромозомом* (или јединком). Скуп могућих решења проблема, назива се *популацијом*. Одабрана решења из популације се међусобно комбинују како би формирала нову генерацију решења која би потенцијално садржала боље потомке. Оцена квалитета могућих решења у једној популацији врши се њиховим вредновањем помоћу фитнес функције. Боље јединке у свакој

генерацији имају већу вероватноћу преживљавања и репродукције. На овај начин формира се следећа генерација при чему најлошије јединке уступају своје место новонасталим. Свака следећа генерација садржи јединке које боље задовољавају фитнес функцију него јединке из предходне генерације.

Имплементација овако дефинисаног алгоритма подразумева разматрање шест основних питања: репрезентација хромозома, функција селекције, генетски оператори, иницијализација, завршетак рада алгоритма и функција евалуације [13]. Дијаграм тока ГА приказан је на слици 1.



Сл. 1. Дијаграм тока генетског алгоритма

ГА се примарно деле на бинарне и реално кодирание. Основна разлика између ова два типа ГА је то што хромозом бинарног ГА чини низ битова, док је он код реално кодираних низ реалних вредности. У овом раду приказан је концепт реално кодираних генетских алгоритама (eng. **Real-Coded Genetic Algorithms** - RCGA) у којима се решење директно представља као низ реалних параметра оптимизационе променљиве. Оваква репрезентација решења је врло блиска са формулације многих проблема. Такође, реално кодирање је ефикасније у смислу времена рада и нуди већу прецизност са већом конзистентности решења [13].

Функција селекције има веома важну улогу у ГА у смислу избора јединке које ће чинити наредну генерацију. Процес селекције се изводи на начин да већу вероватноћу преживљавају и прелаза у наредну генерацију имају оне јединке које боље задовољавају фитнес функцију. На тај начин се *добар генетски материјал* чува и преносе на следећу популацију, а *лош* одумире. Најчешће примењивани поступци селекције су: једноставна - рулет селекција, турнирска селекција, елитизам итд.

Механизам ГА се остварује кроз репродукцију (примену генетских оператора) у циљу добијања нових хромозома (решења). Два основна типа генетских оператора су: укрштање (eng. crossover) и мутација (eng. mutation). У процес укрштања учествују две

јединке (родитељи) које укрштају свој генетски материјал производећи једну или две нове јединке (деца). Са друге стране мутација представља процес случајне промене једног или више гена.

Процес иницијализације представља процес генерисања почетне популације. Почетна популација може бити изабрана помоћу случајних бројева или дефинисана на бази постојећих решења добијених неком другом методом. Генетски алгоритам се непрекидно понавља до задовољења неког унапред задатог услова: максимални број генерација, услов конвергенције решења, достизање циљне вредности фитнес функције итд.

Функција евалуације (фитнес функција) је функција на основу које се оцењује квалитет сваке јединке. Ова функција може имати различиту форму (што је раније детаљно разматрано).

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је разматрана могућност примене реално кодираног генетског алгоритма у области више-критеријумске оптимизације проблема поузданости, расположивости, погодности одржавања, безбедности и укупних трошкова животног циклуса техничких система. Презентована су три различита приступа решавању више-критеријумских оптимизационих проблема при чему све три технике (идеје) презентоване у овом раду могу бити веома корисне инжењерима и менаџерима одржавања приликом креирања годишњих планова одржавања.

Даља истраживања у овој области воде ка имплементацији предложене методологије на практичне проблеме у индустрији, који ће савкако одредити и нове задатке и правце развоја.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] MATYAS, K, *Taschenbuch Instandhaltungs logistik Qualität und Produktivität steigern*, Hanser, 2005.
- [2] CEN: EN 13306:2002, *Maintenance Terminology*, Brisel.
- [3] VASIĆ, B, TODOROVIĆ J, CUROVIĆ D, POPOVIĆ V, STANOJEVIĆ N, CUROVIĆ N, *Održavanje tehničkih sistema istraživanja i projektovanja za privredu*, Institut za istraživanja i projektovanja u privredi – iipp, 1997.
- [4] IEC 60300-3-9 Ed. 2.0: *Dependability management – Part 3-9: Application guide – Risk analysis of technological systems*, first edition, Geneva, 2006.
- [5] GEN, M, YUN, YS, *Soft computing approach for reliability optimization: state-of-the-art survey*, Reliability engin. and system safety, 91, 2006., стр. 1008-1026.
- [6] TSAI, YT, WANG, KS, TENG, HY, *Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms*, Reliability engin. and system safety, 74, 2001., стр. 89-97.
- [7] YANG, F, CHANG, CS, *Optimisation of maintenance schedules and extents for composite power systems using multi-objective evolutionary algorithm*, IET Generation, transmission & distribution, 3.10, 2009., стр. 930-940.
- [8] VUJOSEVIC, M, *Uvod u optimizaciju*, Операциона истраживања: изабрана поглавља, Факултет организационих наука, Београд, 1999.

[9] MARSEGUERRA, M, ZIO, E, MARTORELL, S, *Basic of genetic algorithms optimization for RAMS applications*. Reliability Engineering and System Safety 91, 2006., стр. 997-991.

[10] HOLLAND, JH, *Adaptation in natural and artificial system*. Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1975.

[11] DE JONG, K, *Learning with Genetic Algorithms: an overview*. Machine Learning, 3, 1988. стр. 121-138.

[12] MOGHADDAM, KS, *Preventive maintenance and replacement scheduling: models and algorithms*, PhD Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Kentucky, USA, 2008.

[13] ČOJBAŠIĆ, Ž, NIKOLIĆ, V, ĆIRIĆ, I, GRIGORESCU, S, *Advanced evolutionary optimization for intelligent modeling and control of FBC process*, The Scientific journal FACTA UNIVERSITATIS, Series Mechanical Engineering, 8.1, 2010., стр. 47-56

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF MAINTENANCE PROCESS USING ADVANCED EVOLUTIONARY METHODS

*Goran Petrović, MSc
Prof. Dr. Žarko Čojbašić
Prof. Dr. Dragan Marinković
Prof. Dr. Zoran Marinković
M. Sc Danijel Marković*

*University of Niš, Serbia
Mechanical Engineering Faculty Niš*

Summary

In this paper discusses the possibility of using advanced evolutionary methods, real-coded genetic algorithms in multi-objective optimization problems of reliability, availability, maintainability, security and total cost of the life cycle of technical systems. Multi-objective optimization problems are defined in general terms after which they were presented two alternative approaches for its solution. It presented the theoretical foundations of genetic algorithms with the advantages of real-coded genetic algorithms over classical GA.

Key words: *optimization, maintenance, genetic algorithm*

Адреса за контакт:

мр Горан Петровић
Универзитет у Нишу
Машински факултет у Нишу
Катедра за транспортну технику и логистику
18000 НИШ
А. Медведева 14
E-mail: pgoran@masfak.ni.ac.rs