

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 3128/2
ДАТУМ: 11.12.2014.

На основу захтева др Бојана Бабића, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду, бр. 3128/1 од 03.12.2014. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 11.12.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Да се за рецензенте Техничког решења под насловом: „ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ТЕРМИНИРАЊЕ ОПТИМАЛНИХ ФЛЕКСИБИЛНИХ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА БАЗИРАНО НА МУЛТИАГЕНТНИМ СИСТЕМИМА И ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“ чији су аутори: асист. Милица Петровић, дипл.инж.маш., асист. Јелена Петронијевић, дипл.инж.маш., др Најдан Вуковић, научни сарадник, др Марко Митић, истраживач сарадник, проф. др Зоран Миљковић и проф. др Бојан Бабић, именују:

- др Мирко Ђапић, ванр. проф., Универзитет у Крагујевцу – Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
- доц. др Живана Јаковљевић, Универзитет у Београду Машински факултет

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



2 ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић

Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције

Милица Петровић¹, Јелена Петронијевић², Најдан Вуковић³, Марко Митић⁴,
Зоран Миљковић⁵, Бојан Бабић⁶

1. ОБЛАСТ НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ

Техничко решење (нова метода) припада области машинства и директно се односи на један од домена истраживања у оквиру пројекта технолошког развоја под називом „Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима” (евиденциони број *TP-35004*) - домен интегрисаног пројектовања и терминирања оптималних флексибилних технолошких процеса. Сходно томе, метода решава проблем генерисања оптималних планова терминирања применом мултиагентних система и техника вештачке интелигенције, конкретно биолошки инспирисаног алгорита на бази интелигенције роја честица (енгл. *PSO – Particle Swarm Optimization*) и вештачких неуронских мрежа (енгл. *ANN – Artificial Neural Networks*). Предложена мултиагентна архитектура се састоји од шест агената: агент за оптимизацију, агент за учење, агент за делове, агент за машине, агент за алате и агент за транспорт. Агент за учење заједно са агентом за оптимизацију врши генерисање оптималних флексибилних технолошких процеса, док преостала четири агента учествују у њиховом терминирању. Дакле, након генерисања оптималних и приближно оптималних алтернативних технолошких процеса обраде делова, у *AnyLogic* софтверском пакету је извршено терминирање применом развијених агената. Симулациони резултати оптимизације планова терминирања за одабране „*benchmark*“ делове из литературе показују оправданост примене предложене методологије у симулираном моделу технолошког окружења.

2. ТЕХНИЧКИ ПРОБЛЕМ

Током последњих година, интеграција производних функција као што су пројектовање и терминирање технолошких процеса привлачи све већу пажњу истраживача. Иако су ове области традиционално најчешће разматране и истраживане независно, што је обезбеђивало декупловане моделе за решавање проблема оптимизације ових функција, захтеви за смањењем производних трошкова, повећањем ефикасности производних система, као и бољим искоришћењем производних ресурса доводе до формирања интегрисаних модела за ове функције.

Проблем интегрисаног пројектовања и терминирања флексибилних технолошких процеса се може дефинисати на следећи начин: за сваки од n делова, који се добијају алтернативним технолошким процесима обраде на m машина алатки и k алата, уз поштовање задатих технолошких ограничења, потребно је наћи одговарајуће оптималне или приближно оптималне технолошке процесе обраде делова, као и редоследе обраде датих делова на датим алтернативним машинама и коришћењем датих алтернативних алата, тако да су задовољена технолошка ограничења, а добијени редоследи операција оптимални према задатим критеријумима перформанси.

С обзиром на алтернативна решења за производне ресурсе (машине алатке, алати, помоћни прибори) за сваку од операција, као и варијантност технолошких операција, интегрисано пројектовање и терминирање оптималних технолошких процеса припада класи недетерминистичких полиномних проблема тзв. *NP-hard* оптимизационих проблема (енгл. *non deterministic polynomial optimization*

¹ Асистент, Универзитет у Београду-Машински факултет. mmpetrovic@mac.bg.ac.rs

² Асистент, Универзитет у Београду-Машински факултет. jpetronijevic@mac.bg.ac.rs

³ Научни сарадник, Иновациони центар, Универзитет у Београду-Машински факултет. nvukovic@mac.bg.ac.rs

⁴ Истраживач сарадник, Универзитет у Београду-Машински факултет. mmitic@mac.bg.ac.rs

⁵ Редовни професор, Универзитет у Београду-Машински факултет. zmiljkovic@mac.bg.ac.rs

⁶ Редовни професор, Универзитет у Београду-Машински факултет. bbabic@mac.bg.ac.rs

problems). Конвенционалне нехеуристичке методе нису у стању да ефикасно реше овај тип комбинаторног проблема па зато овакви проблеми „траже“ интелигентне оптимизационе алгоритме, као што су генетички алгоритми (енгл. GA - *Genetic Algorithms*), генетичко програмирање (енгл. GP - *Genetic Programming*), симулирано каљење (енгл. SA - *Simulated Annealing*), табу претраге (енгл. TS - *Tabu Search*), алгоритми базирани на теорији ројева, као што су мравље колоније (енгл. ACO - *Ant Colony Optimization*), или рој честица (енгл. PSO - *Particle Swarm Optimization*) и други хибридни алгоритми.

3. ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ У СВЕТУ

Највише објављених радова за решавање проблема интегрисаног оптималног пројектовања и терминирања технолошких процеса IPPS (енгл. *Integrated process planning and scheduling*) у литератури је базирано на примени GA алгоритама. Модификован GA приступ за интегрисано пројектовање технолошких процеса и терминирање описан је у литератури [1]. Најпре су генерисана по три оптимална технолошка процеса за сваки део, а онда су ти процеси коришћени за терминирање. Критеријум оптимизације технолошких процеса је минимално производно време, које укључује и време обраде дела на машини алатки и време транспорта дела од машине до машине, а критеријум за оптимизацију планова терминирања је минимизација укупног времена потребног да се изврши обрада свих делова (енгл. *makespan*) и уравнотежено искоришћење машина. Нови метод за иницијални одабир технолошких процеса, као и нови начин представљања плана терминирања у комбинацији са технолошким процесима представљен је у референци [2]. Критеријуми за оптимизацију су минимизација *makespan*-а и минимизација средњег времена транспорта материјала.

Даље, приступ базиран на методологији SA [3] коришћен је за оптимизацију при интегрисаном пројектовању технолошких процеса и терминирању производње. Три стратегије су предложене за ефикасно претраживање простора решења: (1) флексибилност обраде, која подразумева могућност извршавања операција обраде на алтернативним машинама и коришћењем алтернативних прибора, (2) флексибилност одређивања редоследа операција подразумева могућност генерисања различитих редоследа операција и (3) флексибилност терминирања подразумева да се за групу делова формирају различити (алтернативни) планови терминирања. Алгоритам користи један или више критеријума перформанси (*makespan*, уравнотежен ниво искоришћења машина алатки, кашњење, цена обраде) у циљу задовољења различитих практичних захтева. У поређењу са GA и PSO, SA има следеће компаративне предности: SA за краће време налази „добра“ решења, при чему треба бити опрезан при иницијалном подешавању параметара. Такође, SA је окарактерисан као погоднији за локалну претрагу.

У радовима [4] и [5], проблем IPPS је разматран као комбинаторно оптимизациони, а модификовани PSO алгоритам је коришћен за његово ефикасно решавање. Неколико оператора као што су укрштање, мутација и померање су примењени у циљу избегавања „заробљавања“ решења у локални оптимум. Критеријуми за оптимизацију су *makespan*, кашњење и ниво уравнотеженог искоришћења машина. У поређењу са резултатима добијеним коришћењем GA и SA, модификовани PSO алгоритам даје боље резултате. Снага PSO алгоритма огледа се у бржем раду због коришћења математичких операција при добијању нових честица које представљају решења за разлику од GA и SA алгоритама код којих се нове јединке добијају променама стрингова коришћењем неких од поменутих генетичких оператора. Поновно планирање (енгл. *replanning*) у случају квара машине алатке или у случају доспећа нове наруџбине детаљно је дато у [5].

Хибридни алгоритми базирани на мултиагентном систему (енгл. *multi agent -MA*) коришћени су за решавање проблема IPPS у литератури [6]. Предложени су локални агенти (машине алатке и делови) и супервизорски (надзорни) агент, који координира све процесе и врши мониторинг поновног терминирања (енгл. *rescheduling*). Локални и надзорни агент комуницирају преко „on-line“ хибридног протокола. Приступ ретерминирања (енгл. *rescheduling*) је предвиђен да реши два типа „поремећаја“: квар машине алатке и долазак новог дела у систем. Приступ базиран на агентима, а предложен у раду [7], олакшава оптимизацију и интеграцију проблема IPPS. Развијену МА архитектуру чине три агента, агент за делове (представља све делове који се обрађују у систему), агент за машине алатке (представља машине) и агент за оптимизацију (врши оптимизацију применом GA).

Проблем IPPS је решаван и применом теорије игара [8], граматичке оптимизације [9], империјалистичког алгоритма [10], као и бројних хибридних алгоритама Agent-ACO [11] и ACO-PSO [12].

4. СУШТИНА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Флексибилност технолошких процеса

У оквиру ове методе, коришћена су четири типа флексибилности технолошких процеса: (1) флексибилност редоследа операција, (2) флексибилност процеса, (3) флексибилност машина алатки и (4) флексибилност алата. Флексибилност редоследа операција (енгл. *sequence flexibility*) представља могућност замене редоследа операција при оптимизацији технолошких процеса. Флексибилност процеса (енгл. *process flexibility*) се односи на могућност обраде истог дела на различите начине, користећи алтернативне технолошке процесе. Флексибилност машина (енгл. *machine flexibility*) подразумева могућност извођења једне операције на више алтернативних машина алатки, при чему су време трајања операције и цена те операције за сваку од машина различити. Флексибилност алата (енгл. *tool flexibility*) обезбеђује могућност извођења исте операције коришћењем различитих алтернативних алата.

Представљање и квантификовање флексибилности технолошких процеса

У литератури је познато неколико метода представљања флексибилности технолошког процеса обраде дела: представљање путем Петријевих мрежа, представљање помоћу AND/OR графова, представљање AND/OR мрежама, итд. За потребе реализације овог техничког решења одабран је метод представљања технолошког процеса путем AND/OR мрежа, који је описан у референцама [1,13].

Квантификовање сваког од четири типа флексибилности извршено је на следећи начин [14]: *PF* је број могућих алтернатива (алтернативних OR-линк грана у мрежи технолошког процеса) да се део обради, *MF* је просечан број алтернативних машина алатки по операцији, *TF* је просечан број алтернативних алата по операцији, док се *SF* добија као што је приказано једначином 1:

$$SF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s}{\left(\frac{n \cdot (n-1)}{2} \right) \cdot or}, \quad (1)$$

где је *s* сума свих операција којима претходи операција *i*, *n* максималан број операција технолошког процеса неопходних да се део обради, а *or* је број OR линкова технолошког процеса. Сваки од четири типа флексибилности се може класификовати у три категорије према нивоу флексибилности (l - ниска флексибилност, m - средња флексибилност и h - висока флексибилност) и то l (1-3), m (3-6), h (6+) за флексибилност процеса PF; l (1-2), m (2-3.5), h (3.5+) за флексибилност машина MF; l (1-2), m (2-3.5), h (3.5+) за флексибилност алата TF; l (0-0.4), m (0.4-0.7), h (0.7-1) за флексибилност секвенци SF. За 14 „benchmark“ делова различитог нивоа флексибилности усвојених из [15], у табели 1 су приказане карактеристике делова по нивоу флексибилности.

Табела 1: Карактеристике делова по питању нивоа флексибилности

део	n	PF	SF	MF	TF	флексибилност
1	10	4	0.5	3.94	1.94	mmhl
2	9	8	0.75	3.5	3.05	hhhm
3	5	5	0.5	3.78	2.22	mmhm
4	6	6	0.67	4.65	2.35	hmhm
5	5	6	0.5	3.33	3.40	hmmm
6	7	8	0.67	2.86	4.54	hmmh
7	7	3	0.5	4.91	2.18	mmhm
8	8	4	0.5	3.58	4.58	mmhh
9	11	10	0.75	5.57	2.86	hhhm
10	6	4	0.5	5	4.86	mmhh
11	6	6	0.67	5.85	4	hmhh
14	9	6	0.75	6.5	3.33	hhhm
15	8	4	0.67	6.17	2.06	mmhm
16	5	5	0.67	5.87	1.93	mmhl

Математички модел за оптимизацију флексибилног технолошког процеса

У оквиру ове методе се разматрају два критеријума оптимизације технолошких процеса: минимизација укупног производног времена и минимизација укупних трошкова. Производно време (PT) је један од најчешће коришћених критеријума при оптимизацији флексибилних технолошких процеса и представља збир времена обраде, времена транспорта, и помоћних времена неопходних за измену алата (погледати једначине (2)-(6)).

- Главно време обраде (TW) је представљено једначином (2):

$$TW = \sum_{i=1}^n TWI(i, j, k) \quad (2)$$

где је n укупан број операција технолошког процеса, $TWI(i, j, k)$ време трајања операције i на алтернативној машини j коришћењем алтернативног алата k .

- Време транспорта (TT) представљено је једначином (3):

$$TT = \sum_{i=1}^{n-1} TTI((i, j_1), (i+1, j_2)) \quad (3)$$

где је $TTI(i, j_1), (i+1, j_2)$ време транспорта између алтернативних машина j_1 и j_2 .

- Време измене алата (TCT) приказано је једначином (4):

$$TCT = TCTI \sum_{i=1}^{n-1} \Omega_2(\Omega_1(M_i - M_{i+1}) - \Omega_1(T_i - T_{i+1})) \quad (4)$$

$$\Omega_1(X - Y) = \begin{cases} 1 & \text{if } X \neq Y \\ 0 & \text{if } X = Y \end{cases}, \quad \Omega_2(X - Y) = \begin{cases} 0 & \text{if } X = Y = 0 \\ 1 & \text{у супротном} \end{cases} \quad (5)$$

где је T_i алат коришћен за операцију i , а $TCTI_i$ временски индекс измене алата.

Коначно, укупно производно време (PT) добија се према једначини (6):

$$PT = TW + TT + TCT \quad (6)$$

Производни трошкови су други критеријум коришћен при оптимизацији технолошких процеса и обухватају (i) трошкове машина, (ii) трошкове алата, (iii) трошкове промене машине и (iv) трошкове измене алата (погледати једначине (7)-(12)).

- Трошкови машина (MC) се одређују према једначини (7):

$$MC = \sum_{i=1}^n MCI_i \quad (7)$$

где је n укупан број операција, а MCI_i индекс трошкова машине i .

- Трошкови алата (TC) се одређују према једначини (8):

$$TC = \sum_{i=1}^n TCI_i \quad (8)$$

где је TCI_i индекс трошкова алата i .

- Трошкови промене машине (MCC) се одређују према једначини (9):

$$MCC = MCCI \times \sum_{i=1}^n \Omega(M_{i+1} - M_i) \quad (9)$$

где је $MCCI$ индекс трошкова промене машине.

- Трошкови промене алата (TCC) се одређују према једначини (10):

$$TCC = TCCI \times \sum_{i=1}^{n-1} \Omega_2(\Omega_1(M_i - M_{i+1}) - \Omega_1(T_i - T_{i+1})) \quad (10)$$

$$\Omega_1(X - Y) = \begin{cases} 1 & \text{if } X \neq Y \\ 0 & \text{if } X \equiv Y \end{cases}, \quad \Omega_2(X - Y) = \begin{cases} 0 & \text{ако је } X = Y = 0 \\ 1 & \text{у супротном} \end{cases} \quad (11)$$

где је $TCCI$ индекс трошкова промене алата.

Укупни трошкови (TC) се добијају сходно једначини (12):

$$TC = MC + TC + MCC + TCC \quad (12)$$

Оптимизација технолошких процеса применом теорије ројева

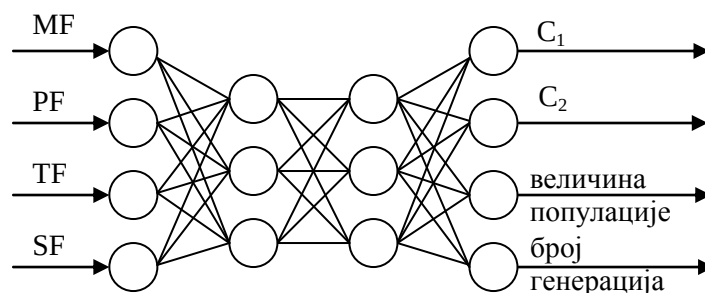
Метод оптимизације ројем честица PSO припада групи биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције [16]. Основна идеја ове методе инспирисана је колективном интелигенцијом јединки јата (на пример јата птица, или риба) у потрази за храном. Аналогно са тим, свака јединка PSO алгоритма се креће кроз простор могућих решења у потрази за глобалним оптималним технолошким процесом. Током потраге за оптималним решењем, свака јединка мења своју брзину и свој положај на начин на који је то приказано псеудокодом који следи.

Табела 2: Псеудокод алгоритма базираног на интелигенцији роја

Почетак
Корак 1. Иницијализација параметара: W , W_{max} , W_{min} (параметар инерције), C_1 и C_2 (когнитивни и социјални коефицијент учења), број генерација, величина популације;
Корак 2. $gen = 1$; $W = W_{max} - \frac{W_{max} - W_{min}}{iter_{max}} \cdot gen$ Иницијализација положаја и брзина за јединке роја; $V_{id}^{t+1} = W \cdot V_{id}^t + C_1 \cdot rand() \cdot (P_{id}^t - X_{id}^t) + C_2 \cdot Rand() \cdot (P_{gd}^t - X_{id}^t)$, $X_{id}^{t+1} = X_{id}^t + V_{id}^{t+1}$ Одређивање функције циља за јединке роја ($f_1=1/PT$ и $f_2=1/TC$); Иницијализација најбољег локалног положаја сваке јединке P_{id}^t и глобалног најбољег положаја свих јединки P_{gd}^t ; Понови $gen = gen + 1$; израчунати брзину и положај свих јединки; одредити функцију циља за сваку јединку; одредити глобални и локални најбољи положај јединки; ажурирати глобални и локални најбољи положај јединки; Све док се не достигне максималан број генерација.
Корак 3. Резултати оптимизације - оптимални технолошки процес обраде дела
Крај

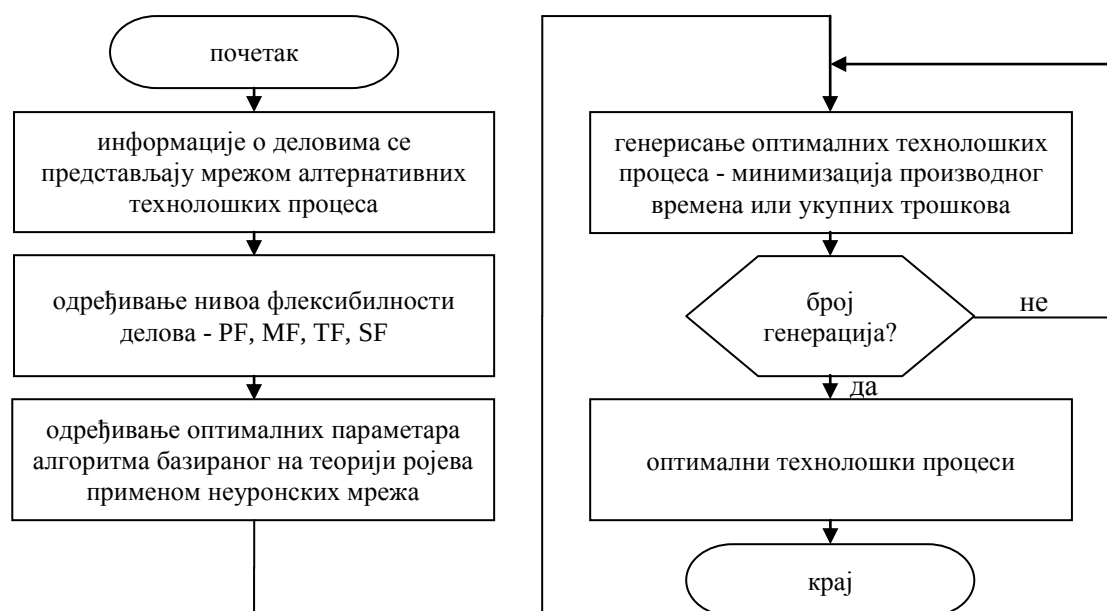
Учење оптималних параметара алгоритма базираног на интелигенцији роја

Вештачке неуронске мреже представљају универзалне апроксиматоре, који захваљујући учењу пресликавања између улазног и излазног простора, имају способност адаптивног понашања према променама [17]. У конкретном случају, након серије иницијалних експеримената, долази се до закључка да параметри алгоритма базираног на интелигенцији ројева, као што су величина популације, број генерација и коефицијенти учења зависе од нивоа флексибилности сваког од четири типа дела. Из тог разлога је за учење оптималних параметара PSO алгоритма развијен модел на бази вештачких неуронских мрежа, слика 1. Скуп обучавајућих парова чине карактеристике делова по питању нивоа флексибилности, као улазне величине и параметри PSO алгоритма, као излазне величине. Најбоље резултате након процеса обучавања показала је мрежа са по три неурона у два скривена слоја и параметром учења $\eta = 0,2$. Грешка учења износила је $4,35 \cdot 10^{-10}$.



Слика 1: Архитектура вештачке неуронске мреже за учење оптималних параметара PSO алгоритма

Алгоритам за учење и генерисање оптималних флексибилних технолошких процеса приказан је на слици 2. Информације о ресурсима неопходним за извршавање операције (машинама алаткама, алатима), као и временима обраде дати су мрежом алтернативних технолошких процеса. Након одређивања нивоа флексибилности дела, применом вештачких неуронских мрежа врши се учење оптималних параметара PSO алгоритма. Алтернативни технолошки процеси, који су оптимални по питању производног времена, или укупних трошкова, генеришу се након потребног броја генерација.



Слика 2: Алгоритам за учење и генерисање оптималних технолошких процеса

Терминирање технолошких процеса применом агената

Терминирање претходно одређених оптималних технолошких процеса извршено је помоћу четири агента: агента за делове, агента за машине, агента за алате и агента за транспорт. С обзиром на то да се агент дефинише као компјутерски систем способан за аутономно деловање ради испуњења задатих циљева у окружењу у ком је смештен, истиче се да сваки агент поседује само делимичне информације о окружењу у ком се налази. Међусобном сарадњом и комуникацијом агенти бивају способни да решавају проблеме изван могућности решавања индивидуе. Одлуке и акције агената у мултиагентним системима су резултат међусобне интеракције и представљају условљено понашање које не може бити изведено на основу понашања појединачних компоненти система. У мултиагентним системима индивидуа мора координисати своје акције са осталим појединцима, а доношење одлуке зависи од акција других агената. Мултиагентни систем, иако представља децентрализован систем, карактерише и одређени скуп правила дефинисаних ради остварења заједничких циљева [18,19].

Агент за делове одређен је дијаграмом стања који се, за сваки од n делова, састоји из операција и захвата са дефинисаним машинама, алатима и временима обраде, узимајући у обзир и алтернативне технолошке поступке. У ком ће се стању део наћи зависи, локално, од претходно изведених захвата у оквиру технолошког поступка и, на нивоу система, од доступности машина и алата. Након извршеног захвата, део позива систем за транспорт. Позив дела који је завршио обраду на машини има приоритет у односу на делове који позив за транспорт врше из неког од магацина. Транспорт се врши до машине из технолошког поступка водећи рачуна и о доступност алата. У случају да машина и алат на којој је потребно извршити обраду нису тренутно доступни, део ће обраду сачекати у неком од магацина.

Агент за машине и агент за алате састоји се из два стања, активног и неактивног. Активним стањем подразумева се да машина, односно алат, учествује у обради. У неактивном стању машина и алат ће се наћи када не врше обраду. Прелазак из стања у стање одређен је комуникацијом са агентом за делове и агентом за транспорт. Транспорт до машине врши се једино у случају да машина, заједно са алатом који према технолошком поступку за дати део треба користити у обради, нису у активном стању. Доласком дела до машине врши се прелаз у активно стање у којем машина и алат остају све док не добију информацију од дела да је обрада завршена.

Агент за транспорт има улогу у транспорту делова. Агент за транспорт је у сталној комуникацији са агентом за делове од кога прима позиве за транспорт. Такође, он врши сталну координацију између агента за машине и агента за алате с обзиром на то да је транспорт једино могућ уколико се ова два агента налазе у неактивном стању. У случају да се сви агенти за машине и агенти за алате, који према технолошком поступку могу учествовати у захвату, налазе у активном стању агент за транспорт ће део отпремити у магацин.

5. ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА ПРИМЕНЕ

Генерисање оптималних технолошких процеса

У циљу верификације предложеног концепта, коришћени су „*benchmark*“ делови различитих нивоа флексибилности (флексибилност процеса, флексибилност машина, флексибилност редоследа операција и флексибилност алата). Подаци о алтернативним машинама алаткама и алатима, као и временима сваке операције усвојени су из [15], уз следећу модификацију: сваки линк у мрежи алтернативних технолошких процеса је *OR* линк. Делови се обрађују на 10 машина алатки, док је број операција од 11 до 22. Време транспорта делова између машина алатки приказано је у табели 3, а списак машина алатки са трошковима дат је у табели 4. Циљ при оптимизацији флексибилних технолошких процеса је минимизација производног времена (табела 5) и укупних трошкова (табела 6). По три алтернативна технолошка процеса за четири репрезентативна дела приказана су у табели 7.

Табела 3: Време транспорта између машина алатки										
Машина	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	4	8	10	12	5	6	14	13	18
2	4	0	3	7	11	5	4	6	10	13
3	8	3	0	5	7	9	8	4	6	10
4	10	7	5	0	4	14	12	6	5	6
5	12	11	7	4	0	18	12	10	6	4
6	5	5	9	14	18	0	6	8	12	15
7	6	4	8	12	12	6	0	3	7	10
8	14	6	4	6	10	8	3	0	4	8
9	13	10	6	5	6	12	7	4	0	4
10	18	13	10	6	4	15	10	8	4	0

Табела 4: Подаци о трошковима					
машина	трошкови	алат	трошкови	алат	трошкови
M1	70	T1	10	T11	2
M2	30	T2	12	T12	5
M3	15	T3	10	T13	10
M4	40	T4	8	T14	6
M5	85	T5	16	T15	3
M6	10	T6	3	T16	6
M7	25	T7	4	T17	3
M8	60	T8	4	T18	16
M9	20	T9	8	T19	4
M10	35	T10	10	T20	10
Индекс трошкова промене: MCCI = 200; TCTI = 70;					

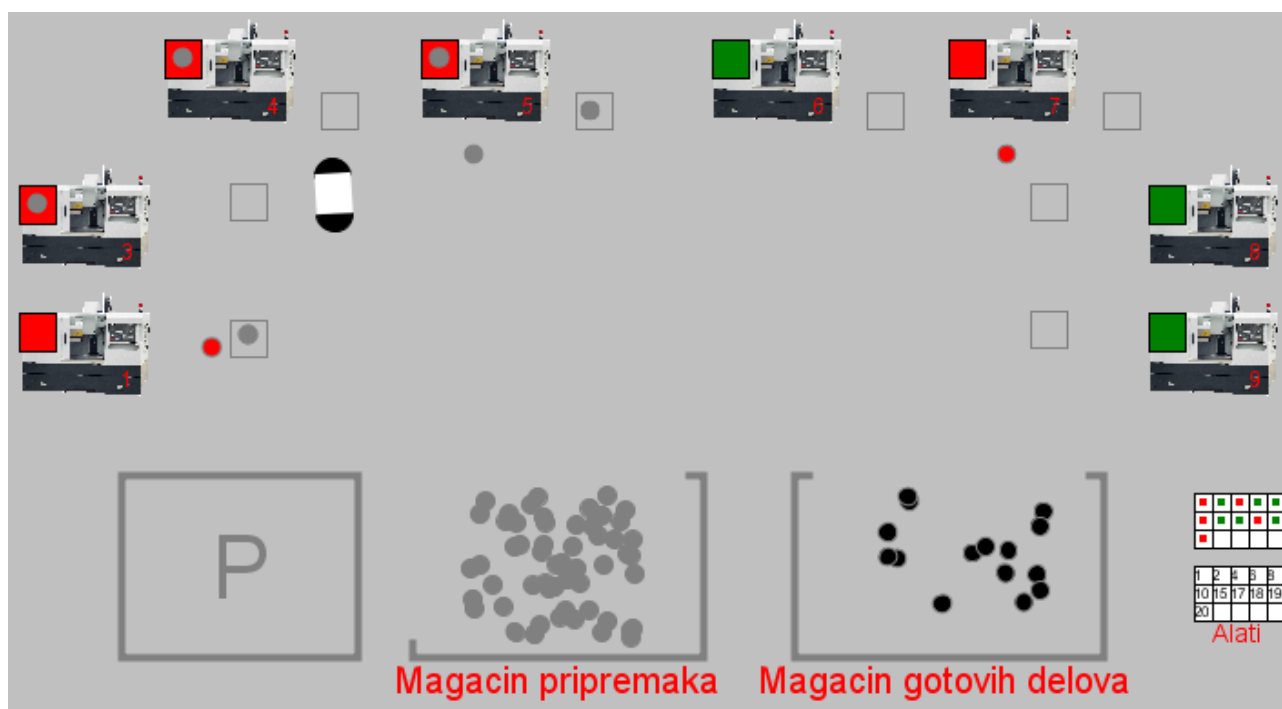
Табела 5: Резултати оптимизације флексибилних технолошких процеса ($f_1=1/PT$)												
део	Најбољи резултат				Средњи најбољи резултат				Најлошији резултат			
	GA	SA	GA-SA	mPSO	GA	SA	GA-SA	mPSO	GA	SA	GA-SA	mPSO
1	0.0046	0.0042	0.0046	0.0046	0.0045	0.0042	0.0045	0.0046	0.0043	0.0010	0.0042	0.0043
2	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0061	0.0055	0.0057	0.0061	0.0049	0.0012	0.0044	0.0048
3	0.0046	0.0046	0.0046	0.0047	0.0042	0.0037	0.0038	0.0044	0.0033	0.0022	0.0032	0.0033
4	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0041	0.0037	0.0042	0.0042	0.0034	0.0022	0.0030	0.0034
5	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0061	0.0054	0.0056	0.0061	0.0051	0.0040	0.0045	0.0049
6	0.0058	0.0058	0.0058	0.0068	0.0056	0.0051	0.0058	0.0058	0.0047	0.0030	0.0043	0.0047
7	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0066	0.0089	0.0091
8	0.0016	0.0017	0.0017	0.0020	0.0016	0.0015	0.0016	0.0017	0.0014	0.0013	0.0014	0.0014
9	0.0073	0.0077	0.0079	0.0082	0.0061	0.0053	0.0074	0.0076	0.0047	0.0009	0.0043	0.0050
10	0.0050	0.0048	0.0061	0.0068	0.0043	0.0036	0.0046	0.0053	0.0034	0.0023	0.0032	0.0034
11	0.0079	0.0079	0.0080	0.0082	0.0071	0.0055	0.0063	0.0074	0.0049	0.0019	0.0045	0.0053
14	0.0270	0.0303	0.0303	0.0303	0.0145	0.0134	0.0147	0.0242	0.0093	0.0013	0.0084	0.0098
15	0.0030	0.0030	0.0030	0.0031	0.0028	0.0027	0.0027	0.0028	0.0025	0.0014	0.0024	0.0024
16	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.0090	0.0093	0.0093	0.0083	0.0022	0.0081	0.0082

Табела 6: Резултати оптимизације флексибилних технолошких процеса ($f_2=1/TC$)												
део	Најбољи резултат				Средњи најбољи резултат				Најлошији резултат			
	GA	SA	GA-SA	mPSO	GA	SA	GA-SA	mPSO	GA	SA	GA-SA	mPSO
1	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0025	0.0023	0.0025	0.0025	0.0021	0.0005	0.0017	0.0017
2	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0032	0.0027	0.0032	0.0032	0.0024	0.0009	0.0019	0.0022
3	0.0026	0.0026	0.0026	0.0027	0.0023	0.0018	0.0022	0.0021	0.0015	0.0008	0.0012	0.0013
4	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0023	0.0020	0.0024	0.0021	0.0015	0.0010	0.0013	0.0012
5	0.0072	0.0076	0.0076	0.0076	0.0063	0.0047	0.0056	0.0059	0.0025	0.0016	0.0021	0.0017
6	0.0028	0.0026	0.0027	0.0029	0.0026	0.0022	0.0026	0.0026	0.0018	0.0011	0.0017	0.0017
7	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0024	0.0008	0.0026	0.0024
8	0.0010	0.0010	0.0009	0.0011	0.0009	0.0007	0.0008	0.0008	0.0006	0.0005	0.0006	0.0006
9	0.0102	0.0102	0.0100	0.0104	0.0042	0.0043	0.0051	0.0052	0.0021	0.0004	0.0017	0.0020
10	0.0029	0.0029	0.0028	0.0031	0.0025	0.0019	0.0024	0.0025	0.0017	0.0010	0.0014	0.0012
11	0.0100	0.0097	0.0090	0.0102	0.0057	0.0034	0.0048	0.0057	0.0024	0.0009	0.0018	0.0017
14	0.0135	0.0135	0.0135	0.0135	0.0103	0.0075	0.0112	0.0075	0.0053	0.0027	0.0034	0.0029
15	0.0041	0.0042	0.0032	0.0043	0.0019	0.0016	0.0018	0.0019	0.0012	0.0007	0.0011	0.0012
16	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0143	0.0137	0.0139	0.0140	0.0098	0.0009	0.0037	0.0033

Табела 7: Алтернативни технолошки процеси за четири репрезентативна дела						
део	технолошки процеси	операције	машине	алати	функција циља f_1	производно време PT
3	1	1-5-6-7	5-5-8-7	10-10-18-4	0.00469483	213
	2	1-5-7-7	5-5-7-7	10-10-15-4	0.00467289	214
	3	1-5-6-7	5-5-9-7	10-10-18-4	0.00465116	215
9	1	19-20-21	1-1-6	18-18-8	0.00819672	122
	2	19-20-21	1-1-5	18-18-8	0.00793651	126
	3	19-20-21	1-1-5	18-18-8	0.00769231	130
10	1	1-4-5-6	5-5-8-8	20-20-19-19	0.00680272	147
	2	1-4-5-6	4-4-8-8	20-20-19-19	0.00581395	172
	3	1-4-5-6	5-5-1-1	20-20-19-19	0.00571428	175
11	1	9-12-13	3-3-3	1-1-2	0.00819672	122
	2	9-12-13	8-3-3	1-1-2	0.00793650	126
	3	9-12-13	3-3-6	1-1-17	0.00769231	130

Терминирање применом агената развијених у *AnyLogic* софтверском пакету

Симулација процеса обраде и терминирање извршено је у *AnyLogic* софтверском пакету [20]. Креирана су четири агента која учествују у терминирању за четири репрезентативна дела са по три алтернативна технолошка поступка, према табели 7. Коришћен је критеријум минимизације укупног производног времена. Дијаграми стања агената и главни екран симулације приказани су на слици 3. Симулација је показала да за дефинисане оптималне и алтернативне технолошке процесе агенти могу креирати план терминирања у зависности од доступности машина и алата.



Слика 3: Главни екран симулације

6. ЗАКЉУЧАК

Приказана нова метода припада области машинства и односи се на проблем интегрисаног пројектовања и терминирања оптималних технолошких процеса обраде делова. Основна идеја ове

методе је да се поменуте производне функције не посматрају декупловано, као што је то био случај код традиционалних система, већ да се, кроз пажљиву декомпозицију применом мултиагентне методологије и техника вештачке интелигенције, обезбеде технолошки системи код којих ће ресурси бити боље искоришћени, а укупни трошкови смањени.

Дакле, предложена мултиагентна структура састоји се од шест агената: агент за оптимизацију, агент за учење, агент за делове, агент за машине, агент за алате и агент за транспорт. Агент за оптимизацију користи алгоритам базиран на интелигенцији роја, при чему су оптимални флексибилни технолошки процеси добијени на основу два оптимизациона критеријума: критеријум минималног производног времена и минималних укупних трошкова. Будући да параметри алгоритма оптимизације зависе од карактеристика делова по питању нивоа флексибилности, агент за учење је примењен у циљу одређивања оптималних параметара оптимизационог алгоритма. Агент за делове дефинисао је оптималан и алтернативне технолошке процесе израде дела. Агент за машине користио се за одређивање доступности машина. Агент за алате одређивао је доступност алата. Агент за транспорт вршио је транспорт делова до машина у зависности од операција и доступности ресурса.

За одабране „benchmark“ делове из литературе најпре је извршена оптимизација флексибилних технолошких процеса (табела 5 и табела 6). За одабрана четири репрезентативна дела генерисана су по три алтернативна технолошка процеса (табела 7) и на основу њих је извршено терминирање. Експериментални резултати добијени симулацијом у *AnyLogic* софтверском пакету показују да агенти могу у реалном времену да генеришу планове терминирања и да, у зависности од доступности машина и алата, одређују који од алтернативних технолошких процеса је адекватан са аспекта искоришћења ресурса.

Правци будућих истраживања на пројекту TP-35004 усмерени су ка креирању мултиагентне структуре која би укључивала правила претхођења у оквиру агента за оптимизацију у проблему интегрисаног пројектовања и терминирања флексибилних технолошких процеса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shao, X., Li, X., Gao, L., Zhang, C., Integration of process planning and scheduling - a modified genetic algorithm-based approach, *Computers & Operations Research*, 36(6), pp. 2082-2096, 2009.
- [2] Lihong, Q., Shengping, L., An improved genetic algorithm for integrated process planning and scheduling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(5-8), pp. 727-740, 2012.
- [3] Li, W. D., McMahon, C. A., A simulated annealing-based optimization approach for integrated process planning and scheduling, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(1), pp. 80-95, 2007.
- [4] Guo, Y. W., Li, W. D., Mileham, A. R., Owen, G. W., Applications of particle swarm optimisation in integrated process planning and scheduling, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(2), pp. 280-288, 2009.
- [5] Guo, Y. W., Li, W. D., Mileham, A. R., Owen, G. W., Optimisation of integrated process planning and scheduling using a particle swarm optimisation approach, *International Journal of Production Research*, 47(14), pp. 3775-3796, 2009.
- [6] Wong, T. N., Leung, C. W., Mak, K. L., Fung, R. Y. K., Integrated process planning and scheduling/rescheduling - an agent-based approach, *International Journal of Production Research*, 44(18-19), pp. 3627-3655, 2006.
- [7] Li, X., Zhang, C., Gao, L., Li, W., Shao, X., An agent-based approach for integrated process planning and scheduling, *Expert Systems with Applications*, 37(2), pp. 1256-1264, 2010.
- [8] Li, X., Gao, L., Li, W., Application of game theory based hybrid algorithm for multi-objective integrated process planning and scheduling, *Expert Systems with Applications*, 39(1), pp. 288-297, 2012.
- [9] Baykasoğlu, A., Özbakır, L., A grammatical optimization approach for integrated process planning and scheduling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(2), pp. 211-221, 2009.
- [10] Lian, K., Zhang, C., Gao, L., Li, X., Integrated process planning and scheduling using an imperialist competitive algorithm, *International Journal of Production Research*, 50(15), pp. 4326-4343, 2012.

- [11] Leung, C. W., Wong, T. N., Mak, K. L., Fung, R. Y. K., Integrated process planning and scheduling by an agent-based ant colony optimization, *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), pp. 166-180, 2010.
- [12] Srinivas, P. S., Raju, V. R., Rao, C. S. P., Optimization of Process Planning and Scheduling using ACO and PSO Algorithms, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Volume 2, Issue 10, pp. 343-354, 2012.
- [13] Li, X. Y., Shao, X. Y., Gao, L., Optimization of flexible process planning by genetic programming, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38(1-2), 143–153, 2008.
- [14] Kim, Y.K, Park, K., Ko, J., A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling. *Comput Oper Res* 2003; 30(8): 1151–1171.
- [15] Shin, K. S., Park, J-O, Kim, Y. K., Test-bed problems for multi-objective FMS process planning using multi-objective symbiotic evolutionary algorithm, 2010, Available at: http://syslab.chonnam.ac.kr/links/MO_FMS_PP_MOSEA.doc
- [16] Kennedy, J., Eberhart, R.C., *Particle swarm optimization*, Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Network, Perth, Australia, 1942–1948, 1995.
- [17] Миљковић З., Системи вештачких неуронских мрежа у производним технологијама, Серија монографских дела - ИТС, Књига 8, Универзитет у Београду – Машински факултет, 2003.
- [18] Shen, W., Hao, L., Yoon, H.J., Norrie, D.H., *Applications of agent-based system in intelligent manufacturing: An updated review*, *Advanced Engineering Informatics*, 20, 415-431, 2006.
- [19] Monostori, L., Váncza, J., Kumara, S. R.: *Agent-based systems for manufacturing*, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 55(2), 697-720, 2006.
- [20] <http://www.anylogic.com/>

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 3128/2 од 11.12.2014. године именовани смо за рецензенте нове методе под називом „**Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције**” чији су аутори: асистент Милица Петровић, дипл.инж.маш.-мастер, асистент Јелена Петронијевић, дипл.инж.маш.-мастер, др Најдан Вуковић, научни сарадник, др Марко Митић, истраживач сарадник, проф. др Зоран Миљковић, проф. др Бојан Бабић. На основу предлога и након анализе методе подносимо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

Нова метода (M85) под називом „**Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције**” представљена је на 11 страница А4 формата, коришћењем Times New Roman фонта величине 11pt, једнострочног прореда. Опис методе садржи дванаест једначина, три слике и седам табеларних приказа резултата примене нове методе, који су уз списак коришћене литературе представљени у следећих шест тематских целина:

1. Област на коју се техничко решење односи,
2. Технички проблем,
3. Постојеће стање у свету,
4. Суштина техничког решења,
5. Приказ резултата примене,
6. Закључак.

Техничко решење (нова метода) припада области машинства и директно се односи на један од домена истраживања у оквиру пројекта технолошког развоја под називом „*Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима*” (евиденциони број TP-35004) - домен интегрисаног пројектовања и терминирања оптималних флексибилних технолошких процеса. Сходно томе, метода решава проблем генерисања оптималних планова терминирања применом мултиагентних система и техника вештачке интелигенције, конкретно биолошки инспирисаног алгоритма на бази интелигенције роја честица (енгл. *PSO – Particle Swarm Optimization*) и вештачких неуронских мрежа (енгл. *ANN – Artificial Neural Networks*).

У другом поглављу техничког решења је уведен проблем интегрисаног пројектовања и терминирања флексибилних технолошких процеса, који се директно решава применом предложене нове методе. С обзиром на алтернативна решења за производне ресурсе (машине алатке, алате, помоћне приборе) за сваку од операција, као и варијантност технолошких операција, интегрисано пројектовање и терминирање оптималних технолошких процеса припада класи недетерминистичких полиномних проблема тзв. *NP-hard* оптимизационих проблема (енгл. *non deterministic polynomial optimization problems*). Конвенционалне нехеуристичке методе нису у стању да ефикасно реше овај тип комбинаторног проблема па се зато овакви проблеми решавају применом интелигентних оптимизационих алгоритама, као што су и алгоритми базирани на интелигенцији роја честица.

У трећем поглављу је наведен преглед стања у области истраживања интегрисаног оптималног пројектовања и терминирања технолошких процеса IPPS (енгл. *Integrated process planning and scheduling*). Дванаест референтних научних публикација је издвојено, а након њихове анализе може се закључити да су решења поменутог проблема базирана превасходно на примени генетичких алгоритама, алгоритма симулираног каљења, теорије ројева, теорије игара, као и многих хибридних алгоритама и модификованих приступа.

Четврто поглавље приказује суштину техничког решења. У том смислу, аутори предлажу мултиагентну архитектуру, која се састоји од шест агената: агент за оптимизацију, агент за учење, агент за делове, агент за машине, агент за алате и агент за транспорт. У оквиру агента за оптимизацију најпре се разматра представљање и квантификовање четири типа флексибилности технолошких процеса: (i) флексибилност редоследа операција, (ii) флексибилност процеса, (iii)

флексибилност машина алатки и (iv) флексибилност алата. Након разматрања типова флексибилности, аутори представљају два математичка модела за оптимизацију флексибилних технолошких процеса: модел за минимизацију укупног производног времена и модел за минимизацију укупних трошкова. Генерисање оптималних технолошких процеса извршено је применом биолошки инспирисаног алгорита PSO - агент за оптимизацију, док је за учење оптималних параметара PSO алгорита развијен модел на бази вештачких неуронских мрежа - агент за учење. Преостала четири агента учествују у терминирању флексибилних технолошких процеса на следећи начин. Агент за делове обухвата технолошке процесе за израду делова, са посебним акцентом на алтернативне процесе. Агент за машине и агент за алате имају улогу у представљању доступности машина, односно алата. Агент за транспорт врши транспорт делова у зависности од захвата, односно операције, машине и алата. Између сва четири агента врши се стална комуникација ради остварења координисаног рада и израде дела.

У петом поглављу су представљени експериментални резултати остварени применом нове методе на проблем интегрисаног пројектовања и терминирања технолошких процеса обраде делова различитог нивоа флексибилности. Предложени алгоритам оптимизације ројем честица PSO је тестиран на 14 „benchmark“ делова, а резултати оптимизације су упоређени са приступима базираним на GA, SA и хибридном GA-SA алгоритму. Алтернативни технолошки процеси, који су оптимални по питању производног времена, или укупних трошкова коришћени су даље у процесу терминирања. Симулациони резултати оптимизације планова терминирања за четири репрезентативна дела добијени су у *AnyLogic* софтверском пакету. Остварени резултати спровдених експеримената показују да је за дате делове и алтернативне технолошке поступке могуће креирати планове терминирања применом агената.

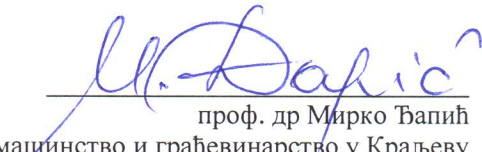
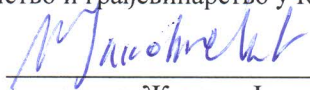
У оквиру закључка укратко је дата основна идеја нове методе која се заснива на посматрању пројектовања и терминирања технолошких процеса интегрисано. Приказане су предности примене алгоритма оптимизације ројем честица PSO у поређењу са досадашњим приступима у решавању оптимизације флексибилних технолошких процеса обраде делова. Примена система на бази агената у терминирању технолошких процеса указује да се планови терминирања могу добити у реалном времену уз могућност адаптације у зависности од доступности ресурса. Такође, представљени су и правци будућих истраживања на актуелном пројекту технолошког развоја (евид. бр. TP35004).

У складу са анализом предлога техничког решења и оствареним резултатима, као именовани рецензенти дајемо следеће

М И Ш Љ Е Њ Е

Аутори нове методе (M85) под називом „**Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције**” су на јасан начин описали предности примене развијене мултиагентне структуре и биолошки инспирисаних техника вештачке интелигенције у оптимизацији технолошких процеса и планова терминирања. Резултати остварени применом ове нове методе указују на то да постоји евидентан допринос постојећем стању у области интегрисаног пројектовања наведених производних функција, који се огледа како кроз боље искоришћење ресурса, тако и кроз смањење укупних трошкова.

На основу увида у предлог нове методе и остварене резултате предлажемо Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се нова метода под називом „**Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције**” прихвати као ново техничко решење.


проф. др Мирко Тапић
Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву

доц. др Живана Јаковљевић
Универзитет у Београду-Машински факултет



Београд, 19.01.2015. године

Предмет: Мишљење о реализацији пројекта „Иновативни приступ у примени интелигентних технолошких система за производњу делова од лима заснован на еколошким принципима“ (ТР-35004) у периоду 01.01.2014.-31.12.2014. (четврта година финансирања)

Пројектом су обухваћена два основна циља истраживања: одређивање параметара производње делова од лима и управљање унутрашњим транспортом материјала са акцентом на примени еколошких принципа који подразумевају уштеду енергије, материјала и средстава за подмазивање.

У овој истраживачкој години настала су два техничка решења – нове методе. Прва метода под називом „**Репродукција комплексних трајекторија мобилног робота на бази биолошки инспирисаних алгоритама**“ се односи на решавање комплексног проблема управљања интелигентног мобилног робота применом емпиријске управљачке теорије на бази биолошки инспирисаних алгоритама оптимизације и машинског учења демонстрацијом, и то тако да се управљачке команде мобилног робота користе за репродукцију више трајекторија жељеног облика у оквиру модула за демонстрацију, док се у модулу машинског учења врши имплементација метода оптимизације у циљу одређивања оптималне трајекторије робота.

У оквиру друге методе под називом „**Интегрисано пројектовање и терминирање оптималних флексибилних технолошких процеса базирано на мултиагентним системима и техникама вештачке интелигенције**“ решава се проблем генерисања оптималних планова терминирања применом мултиагентних система и техника вештачке интелигенције, конкретно биолошки инспирисаног алгорита на бази интелигенције роја честица и вештачких неуронских мрежа. Резултати остварени применом ове нове методе (генерисани оптимални планови терминирања) указују на то да постоји евидентан допринос у области интегрисаног пројектовања наведених производних функција, који се огледа како кроз боље искоришћење ресурса, тако и кроз смањење укупних трошкова.

Након увида у примењивост нових техничких решења (нових метода), која су проистекла као резултати истраживања у оквиру пројекта ТР35004, и на основу досадашње сарадње са реализаторима, компанија ФМП д.о.о. изражава задовољство спроведеним истраживањима и оствареним резултатима.

Генерални директор ФМП д.о.о.



Небојша Стојановић, дипл. маш. инж.

11000 Beograd, Jugoslovenska br. 2; Tel: 011 655 75 33, Fax: 011 655 75 73

www.fmp.co.rs

office@fmp.co.rs

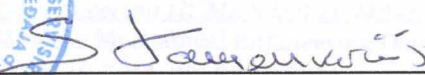
Београд, 19. 01. 2015. године

Предмет: Мишљење о реализацији пројекта
„ИНОВАТИВНИ ПРИСТУП У ПРИМЕНИ ИНТЕЛИГЕНТНИХ
ТЕХНОЛОШКИХ СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ДЕЛОВА ОД
ЛИМА ЗАСНОВАН НА ЕКОЛОШКИМ ПРИНЦИПИМА“
Евиденциони број TP-35004

Након увида у резултате истраживања који су објављени и представљени на научним скуповима домаћег и међународног значаја, као и у примењивост новог техничког решења, и на основу досадашње сарадње са реализаторима, компанија OPTIX д.о.о. изражава задовољство спроведеним истраживањима и оствареним резултатима.



Генерални директор OPTIX д.о.о.



Др доц Драгомир Стаменковић, дипл. маш. инж.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
БРОЈ: 3128/3
ДАТУМ: 26.12.2014.

На основу захтева др Бојана Бабића, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду, бр. 3128/1 од 03.12.2014. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 25.12.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се Техничко решење (М85) под насловом: „ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ТЕРМИНИРАЊЕ ОПТИМАЛНИХ ФЛЕКСИБИЛНИХ ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА БАЗИРАНО НА МУЛТИАГЕНТНИМ СИСТЕМИМА И ТЕХНИКАМА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“ чији су аутори: асист. Милица Петровић, дипл.инж.маш., асист. Јелена Петронијевић, дипл.инж.маш., др Најдан Вуковић, научни сарадник, др Марко Митић, истраживач сарадник, проф. др Зоран Миљковић и проф. др Бојан Бабић.

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



2 Д Е К А Н
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић