



Стојадиновић, М. С.¹⁾, Мајсторовић, Д. В.¹⁾, Durakbasa, M. Numan²⁾

АУТОМАТСКО ПЛАНИРАЊЕ ПУТАЊЕ МЕРНОГ СЕНЗОРА ПРИ ИНСПЕКЦИЈИ ПРИЗМАТИЧНИХ ДЕЛОВА НА МЕРНОЈ МАШИНИ

Резиме

У раду је представљен модел аутоматског генерисања путање мерног сензора нумерички управљане мерне машине (НУММ). Модел се састоји из анализе расподеле мерних тачака и анализе избегавања колизије између мерног сензора и призматичног дела. Геометријске информације потребне за планирање путање преузете су из интерних записа САД модела призматичног дела (IGES и STL), док се улазни подаци о толеранција уносе на основу већ креиране базе знања. Представљени метод је нов приступ аутоматској инспекцији чија предност се огледа у смањењу укупног времена мерења кроз смањење времена потребног за припрему мерења услед аутоматског генерисања путање мерног сензора и остављене могућности за њену оптимизацију.

Кључне речи: НУММ, мерни сензор, призматични делови, планирање путање

1. УВОД

НУММ су благо потиснуте за поједине класе метролошких задатака, међутим када је реч о инспекцији призматичних делова (ПДА) оне су незаобилазан фактор у индустрији. Аутоматско генерисање путање мерног сензора је императив за смањење укупног времена мерења на НУММ.

Анализом литературе из ове области, може се закључити да је се последње три деценије планирање инспекције на НУММ развијало кроз следеће прилазе: мануелни план, потом план генерисан САИ софтвером који се задржао до данас, затим план заснован на експертним системима и интелигентни концепт планирања инспекције. Заједнички елемент који је остао исти кроз све ове етапе развоја је објекат додира или објекат мерења. Према третирању објекта мерења разликују се три приступа: толеранцијски, геометријски и комбиновани.

Као што је познато, процес инспекције се састоји из неколико кључних елемената као што су планирање путање, избегавање колизије, анализа постављања дела, анализа приступачности, као и конфигурисање мерних пипака. Ниво развоја и имплементације до сада развијених метода генерисања плана инспекције дефинише заступљеност ових елемената у њему. Комплетан систем за планирање инспекције садржи све наведене елементе. У раду [1] заступљени су елементи као што су постављање дела и конфигурисање мерних пипака. У [2-6] дати су приступи за планирање путање. У [7,8] се разматрају решења за избегавање колизије, а у [9,10] анализа приступачности мерног сензора. Планирање инспекције се може разматрати и кроз поделу на локални и глобални план инспекције [11].

Пример екстракције геометријских информација из САД модела и формирање улазних података дат је у [12].

Аутоматско планирање инспекције на НУММ представљено у [13] базирано је на В-репрезентацији солид модела у SAT формату. На излазу даје НУММ програм у DMIS формату.

У овом раду путања мерног сензора се упрошћава и посматра као скуп тачака који се састоји из три подскупа. Први подскуп су мерне тачке и оне се могу добити на основу геометријских информација.

¹⁾ Славенко М. Стојадиновић, асистент, Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, 011/3302-438 (sstojadinovic@mas.bg.ac.rs)

Проф. др Видосав Д. Мајсторовић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за производно машинство, 011/3302-407 (vmajstorovic@mas.bg.ac.rs)

²⁾ Prof. Dr. Numan M. Durakbasa, Full professor, Vienna University of Technology, Institute for Production Engineering and Laser Technology (durakbasa@ift.tuwien.ac.at)

Други скуп су преостале тачке кроз које сензор прође при инспекцији једног геометријског примитива, такође се могу добити на основу геометријских информација. Трећи скуп тачака омогућава путању без колизије.

Рад се састоји из модела за аутоматско планирање путање сензора на НУММ и симулације путање засноване на њему. Главна идеја представљеног модела је генерисање путање мерног сензора на основу САД модела ПД и његових (задатих) толеранција. Модел се састоји из расподеле мерних тачака и принципа избегавања колизије.

2. МОДЕЛ АУТОМАТСКОГ ГЕНЕРИСАЊА ПУТАЊЕ МЕРНОГ СЕНЗОРА

Елементи модела аутоматског генерисања путање мерног сензора су метролошко препознавање мерног дела, локални и глобални план инспекције. Модул за метролошко препознавање је базирано на САД моделу ПДА у екстерном запису (IGES датотека) и дефинисању геометријских примитива преко параметара погодних за екстракцију из IGES датотеке [14]. Веза између толеранција и геометријски примитива је дефинисана метролошким примитивима [15,16]. Локални план инспекције представља расподелу мерних тачака по геометријским примитивима. Глобални план инспекције је план путање сензора и представљен је уз помоћ локалног плана и алгоритма за избегавања колизије. Шема модела аутоматског генерисања путање мерног сензора је дата на слици 1.



Слика 1. Планирање путање мерног сензора

- Раван (под б):

$$s_i = \frac{i}{N} \cdot a \quad (1)$$

$$t_i = \left(\sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right) \cdot b \quad (2)$$

где су: a [mm] - вредност ограничења равни по x - оси; b [mm] - вредност ограничења равни по y - оси.

- Круг (под в):

$$s_i = s'_i \cos(t'_i) \quad (3)$$

$$t_i = s'_i \sin(t'_i) \quad (4)$$

При чему је: $s'_i = R$, $t'_i = \frac{i}{N} \cdot 360^\circ$.

У оба претходна случаја важи да је $w_i = 0$.

- Полусфера (под г):

2.1 Расподела мерних тачака

Модел расподеле мерних тачака је базиран на *Hammersly* - овој секвенци [17], за израчунавање координата дуж две осе примитива: $s_i = \frac{i}{N}$ и $t_i = \sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)}$

где је: $k = \log_2 N$ и као што је речено, N - жељени број тачака, $i = 0, 1, 2, \dots, (N-1)$.

Модификовањем *Hammersly* - ове секвенце, у овом поглављу, изведена је расподела мерних тачака за основне геометријске примитиве који учествују у креирању толеранција ПДА. За дефинисање расподеле мерних тачака за један примитив користи се Декартов КС O_F, X_F, Y_F, Z_F и поларно-цилиндарски КС O'_F, X'_F, Y'_F, Z'_F . Координате у Декартовом КС су обележене са $P_i(s_i, t_i, w_i)$, а у поларно-цилиндарском КС $P_i(s'_i, t'_i, w'_i)$.

Обрасци за израчунавање координата тачака су следећи:

$$s_i = \sqrt{R^2 - \left(\left(\sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right) \cdot R \right)^2} \cdot \cos \left(\frac{i}{N} \cdot 360^\circ \right) \quad (5)$$

$$t_i = \sqrt{R^2 - \left(\left(\sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right) \cdot R \right)^2} \cdot \sin \left(\frac{i}{N} \cdot 360^\circ \right) \quad (6)$$

$$w_i = \left(\sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right) \cdot R \quad (7)$$

где је: R [mm] - полупречник полусфере.

– Цилиндар (под д):

$$s_i = R \cos \left(-\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{N} \cdot i \right) \quad (8)$$

$$t_i = R \sin \left(-\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{N} \cdot i \right) \quad (9)$$

$$w_i = \left(\sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right) \cdot h \quad (10)$$

где је: h [mm] - висина цилиндра.

– Купа (под ђ). У поларно-цилиндарским координатама:

$$s'_i = \left(1 - \sum_{j=0}^{k-1} \left(\left[\frac{i}{2^j} \right] \text{Mod} 2 \right) \cdot 2^{-(j+1)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot R \quad (11)$$

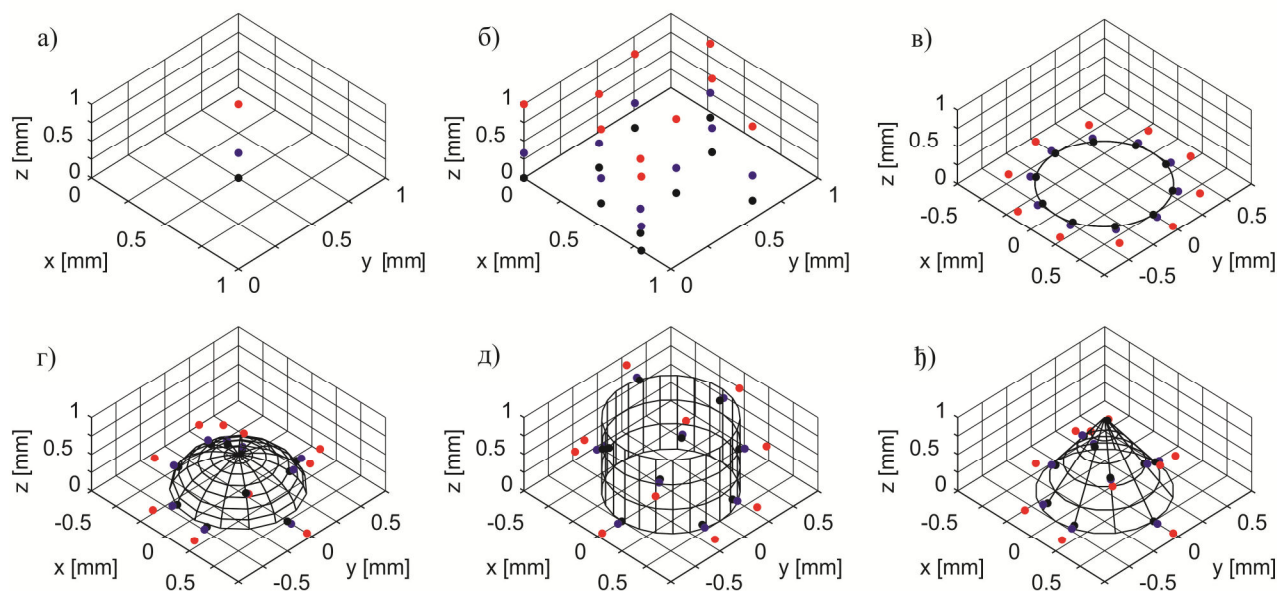
$$t'_i = \frac{i}{N} \cdot 360^\circ \quad (12)$$

$$w'_i = (R - s'_i) \cdot \frac{h}{R} \quad (13)$$

где је: R [mm] - полупречник основе купе; h [mm] - висина купе.

У Декартовим координатама: $s_i = s'_i \cos(t'_i)$; $t_i = s'_i \sin(t'_i)$; $w_i = w'_i$.

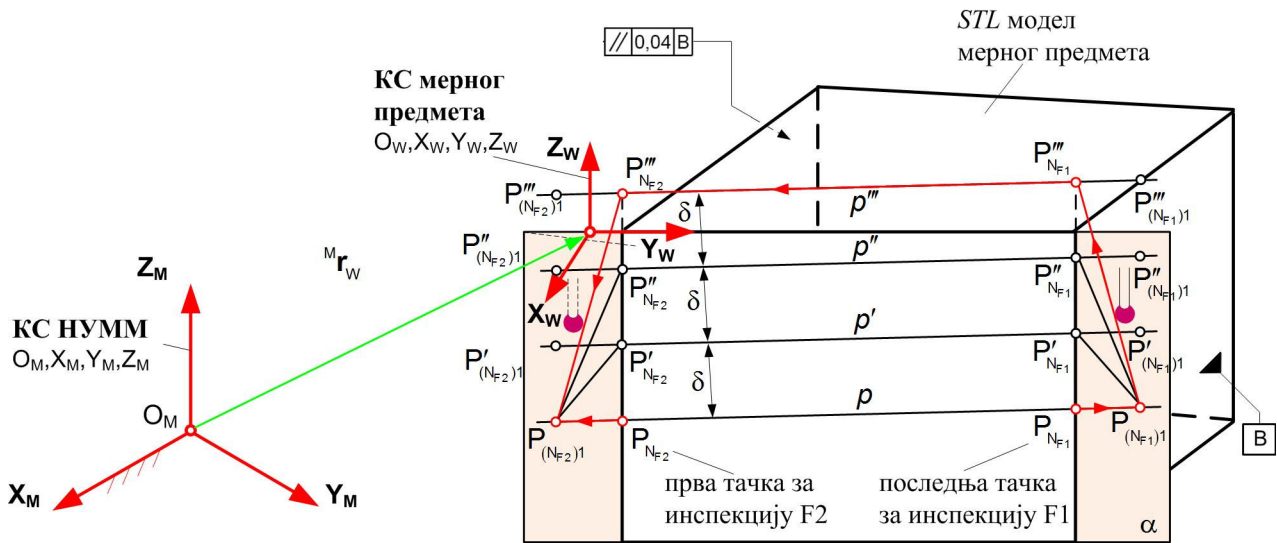
Координате мерних тачака на бази овог модела приказане су на слици 2.



Слика 2. Распореда мерних тачака: а) мерење у тачки; б) раван; в) круг; г) полусфера; д) цилиндар; ж) купа.

2.2 Избегавање колизије

На основу STL модела представљања геометрије ПДА, толеранција ПДА, координата последње тачке $P_{(N_{F1})l}$ за инспекцију предходног примитива и координата прве тачке $P_{(N_{F2})l}$ за инспекцију наредног примитива, на слици 3 представљен је принцип избегавања колизије.



Слика 3. Принцип избегавања колизије

За сваки троугао из STL датотеке формира се једначина равни којој припада. Ако су темена троугла T_1, T_2, T_3 процедура формирања равни:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (14)$$

започиње формирањем вектора нормале као: $\vec{n} = \overline{T_1T_2} \times \overline{T_1T_3} = A\vec{i} + B\vec{j} + C\vec{k}$, из кога произилазе константе A, B и C . Константа D израчунава се уз помоћ скаларног производа: $D = -\vec{n} \cdot \vec{r}_1$, где је $\vec{r}_1 = \overline{OT_1}$. Затим следи формирање једначине праве p кроз две тачке $P_{(N_{F1})l}$ и $P_{(N_{F2})l}$ на основу векторског облика једначине праве:

$$\vec{M} = \vec{P} + t \cdot \vec{p} \quad (15)$$

где је: $\vec{p} = \overline{P_1P_2}$, $\vec{P} = \overline{OP_1}$. Пројектовањем једначине (15) на $Oxuz$ следи једначина праве p у параметарском облику:

$$x = x_0 + t \cdot p_x, \quad y = y_0 + t \cdot p_y, \quad z = z_0 + t \cdot p_z. \quad (16)$$

Уколико постоји пресек праве и равни то је тачка $P_j(x_j, y_j, z_j)$, где је j - број пресечних тачака. Њене координате се добијају решавањем система једначина коју образују (14) и (16).

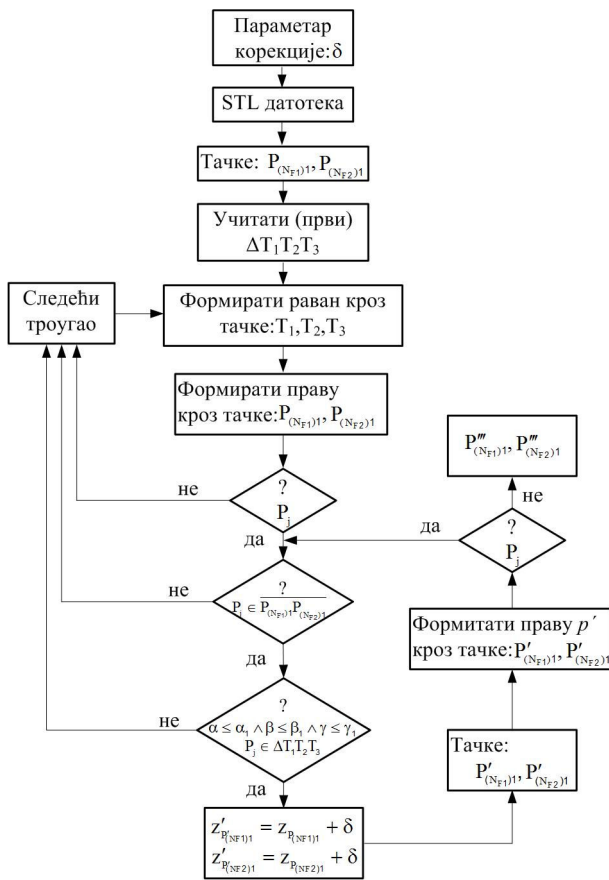
Обзиром да је $\Delta T_1T_2T_3$ представљен са равни и да је дуж $\overline{P_{(N_{F1})l}P_{(N_{F2})l}}$ представљена као део праве p , потребно је проверити да ли се пресечна тачка P_j налази на дужи $\overline{P_{(N_{F1})l}P_{(N_{F2})l}}$ и да ли припада делу равни ограниченом $\Delta T_1T_2T_3$. Овај услов је испуњен уколико је параметар $t \in (0,1)$ и уколико се пресечна тачка налази унутар $\Delta T_1T_2T_3$.

Ако постоји пресек праве p и било ког троугла STL модела ПД итеративним поступком се одређују тачке: $P_{N_{F1}}, P_{N_{F2}}; P'_{N_{F1}}, P'_{N_{F2}}; P''_{N_{F1}}, P''_{N_{F2}}; \dots; P^i_{N_{F1}}, P^i_{N_{F2}}$. Разлика између наредне $P'_{N_{F1}}$ и предходне тачке $P_{N_{F1}}$ је у вредности z - координате. Оне се разликују за вредност параметра корекције δ [mm]. Параметар корекције је константа за један ПД. Поступак се понавља све док не буде пресека између праве и свих троуглова STL модела. Последње формиране тачке итеративног поступка $P'''_{N_{F1}}$ и $P'''_{N_{F2}}$ представљају тачке у којима при инспекцији неће доћи до колизије између мерног сензора и ПД.

Са смањењем броја троуглова унутар STL датотеке овај принцип даје бржи одзив тј. координате тачака без колизије, а готово да не утиче на повећање времена просеса мерења.

3. СИМУЛАЦИЈА ПУТАЊЕ МЕРНОГ СЕНЗОРА

Симулација путање мерног сензора је заснована на моделу расподеле мерних тачака и принципу избегавања колизије при преласку сензора са једног на други примитив у процесу инспекције. Алгоритам за избегавање колизије је показан на слици 4.



Слика 4. Алгоритам за избегавање колизије

праву p' која их садржи. Проверити да ли постоји нова пресечна тачка P_j између p' и уčitане равни. Ако постоји поновити предходно описани поступак провере да ли се налази на дужи и површини ограниченој троуглом. Ако не постоји кориговане тачке $P'_{(NF1)l}$ и $P'_{(NF2)l}$ усвојити као тачке у којима неће доћи до колизије при преласку са једног на други фичер при инспекцији једног облика толеранције. За пример показан на слици 4, алгоритам три пута коригује z -координату и усваја тачке $P''_{(NF1)l}$ и $P''_{(NF2)l}$.

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

Експеримент обухвата мерење два ПДА наменски произведена за ове потребе. Тестирање напред наведеног модела је најпре извршено на првом, геометријски и метролошки простијем делу датом на слици 5 (под г). Овај део се састоји из свих геометријских примитива обухваћених моделом. Након успешно спроведеног експеримента над првим ПД извршено је тестирање модела над другим ПД. У односу на први, други ПД дат на слици 5 (под д), проширен је новим облицима толеранција, који су тестирани.

Улазни параметри алгоритма су вредност параметра корекције по z -оси δ [mm], STL датотека експортиран на основу CAD модела ПД и координате $P_{(NF1)l}$ и $P_{(NF2)l}$.

Учитавањем координата темена првог троугла T_1, T_2, T_3 формира се једначина равни кроз те три тачке. Истовремено се формира једначина праве p кроз уčitане тачке $P_{(NF1)l}$ и $P_{(NF2)l}$. Потом се проверава да ли постоји пресечна тачка P_j између формиране равни и праве и да ли она припада дужи $\overline{P_{(NF1)l} P_{(NF2)l}}$. Уколико не постоји P_j или постоји али не припада дужи $\overline{P_{(NF1)l} P_{(NF2)l}}$ учитавају се темена следећег троугла. Ако постоји P_j и припада дужи проверава се да ли је пресечна тачка у делу површине равни која је ограничена троуглом. Даље се проверавају услови: $\alpha \leq \alpha_1$, $\beta \leq \beta_1$ и $\gamma \leq \gamma_1$. Ако нису испуњена сва три наведена услова тачка не припада делу равни ограниченом троуглом. Тада се учитава нови троугао. Ако је испуњен услов то значи да се тачка налази у површини ограниченој троуглом ($P_j \in \Delta T_1 T_2 T_3$) и да је потребно извршити корекцију z -координата уčitаних тачака по обрасцима: $z'_{R(NF1)l} = z_{R(NF1)l} + \delta$, $z'_{R(NF2)l} = z_{R(NF2)l} + \delta$, како не би дошло до колизије између ПД и мерног сензора. После описане корекције формирати тачке $P'_{(NF1)l}(x_{P_{(NF1)l}}, y_{P_{(NF1)l}}, z'_{R(NF1)l})$ и $P'_{(NF2)l}(x_{P_{(NF2)l}}, y_{P_{(NF2)l}}, z'_{R(NF2)l})$ као и



Слика 5. Експериментална инсталација за мерење два призматична мерна предмета

Мерењу је предходила калибрација НУММ уз помоћ артефакта домаће (слика 5 под а)). Мерење је извршено у једном стежању и конфигурацији пипака показаној на слици 5 под б)). Помоћни прибор коришћен за причвршћавање ПДА је машинска стега. Помоћни прибор коришћен да се радни предмети доведу у радни простор машине без колизије сензора са радним столом НУММ и помоћним прибором је раван мерни сталак ослоњен на сто машине у три тачке.

Експеримент је извршен на мерној машини ZEISS UMM 500 са основним техничким карактеристикама, такође датим на слици 5. Изглед дела мерног протокола у коришћеном софтверу (ZEISS UMESH) је показан на слици 5 под в)).

Процес инспекције у нашем експерименту се састоји из припремног процеса и процеса мерење. Припремни процес обухвата: 1) постављање мерног дела са анализом помоћног прибора; 2) конфигурисање мерних пипака; 3) калибрација мерних пипака уз помоћ мерне кугле; 4) уравнивање ПД. Процес мерења је заснован на мерном протоколу добијеном као излаз из процеса симулације. На основу генерисаном мерног протокола извршено је програмирање НУММ.

У табели 1 и 2 дати су резултати мерења за оба ПД. Као што се то може видети у табелама мерење је поновљено пет пута и израчуната је стандардна девијација.

Табела 1 Резултати мерења првог мерног предмета

РБ	Толеранције			Резултати мерења					Станд. дев. у μm
	Назив	Ознака	Вред. у mm	1.	2.	3.	4.	5.	
1	Равност	$\square_{0,02}$	0,02	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	0,1
2	Равност	$\square_{0,02}$	0,02	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0
3	Пречник	$R25 \pm 0,05$	$\pm 0,1$	50,0851	50,0855	50,0852	50,0856	50,0855	0,2
4	X – позиција	47,5	$\pm 0,05$	47,4611	47,461	47,4607	47,4611	47,4611	0,2
5	Z – позиција	45	$\pm 0,02$	45,0148	45,0148	45,0146	45,0145	45,0146	0,1
6	Управност	$\perp_{0,03A}$	0,03	0,0014	0,0024	0,0023	0,0022	0,0023	0,4
7	Цилиндричност	$\text{C}_{0,04}$	0,04	0,009	0,0089	0,0091	0,009	0,009	0,1
8	Коаксијалност	$\text{C}_{0,05C}$	0,05	0,0474	0,0458	0,0456	0,0455	0,0462	0,8
9	Угао	Конус: 39°	$\pm 0,5^\circ$	39,2991	39,2991	39,2995	39,2982	39,2991	0,5
10	Паралелност	$\parallel_{0,04B}$	0,04	0,035	0,0346	0,035	0,0348	0,035	0,2

Табела 2 Резултати мерења другог мерног предмета

РБ	Толеранције			Резултати мерења					Станд. дев. у μm
	Назив	Ознака	Вред. у mm	1.	2.	3.	4.	5.	
1	Растојање	70	$\pm 0,02$	70,0111	70,0111	70,0112	70,0111	70,0106	0,2
2	Равност	$\square_{0,02}$	0,02	0,0072	0,0069	0,0071	0,0071	0,0072	0,1
3	Управност	$\perp_{0,025A}$	0,025	0,0143	0,0142	0,0142	0,0143	0,0148	0,3
4	Угао	$\leq_{0,2A}$	0,2	15	15	15	15	15	0
5	Угао	$\leq_{0,2A}$	0,2	15	15	15	15	15	0
6	Пречник	$R25 \pm 0,05$	$\pm 0,1$	40,093	40,0936	40,0934	40,0936	40,0928	0,4
7	X – позиција	47,5	$\pm 0,05$	47,5022	47,5026	47,5025	47,5021	47,501	0,6
8	Z – позиција	50	$\pm 0,3$	49,7926	49,7926	49,7927	49,7925	49,7927	0,1
9	Паралелност	$\parallel_{0,2B}$	0,2	0,1366	0,1369	0,136	0,1361	0,1369	0,4
10	Цилиндричност	$\text{C}_{0,02}$	0,02	0,0042	0,0043	0,0041	0,004	0,0041	0,1
11	Угао	Конус: 39°	$\pm 0,5$	39,2986	39,2985	39,2983	39,2991	39,2992	0,4
12	Кружност	$\text{C}_{0,03}$	0,03	0,0094	0,0092	0,0092	0,0101	0,0096	0,4
13	Позиција	$\text{C}_{0,75C}$	0,75	0,6175	0,6277	0,6332	0,6201	0,6125	8,2
14	Позиција	$\text{C}_{0,75C}$	0,75	0,5067	0,5021	0,5219	0,5073	0,5032	8
15	Позиција	$\text{C}_{0,75C}$	0,75	0,6471	0,6483	0,6416	0,6481	0,6424	3,2
16	Коаксијалност	$\text{C}_{0,02D}$	0,02	0,0068	0,008	0,008	0,0091	0,0092	1
17	Коаксијалност	$\text{C}_{0,05D}$	0,05	0,0409	0,041	0,0408	0,0406	0,053	5,4

Резултати аутоматске инспекције два тест ПДА показују да су све толеранције дела у цртежом прописаним границама. Ово потврђује да је изложени модел још један успешан приступ аутоматској инспекцији ПДА и добра основа за развој интелигентног приступа планирању инспекције ПДА. Комплексна геометрија ПД се мења скупом тачака чији редослед дефише путању сензора машине без колизије. Представљање путање мерног сензора скупом тачака са дефинисаним редоследом оставља могућност њене оптимизације тј. смањења времена процеса мерења.

5. ЗАКЉУЧАК

Спроведена истраживања у овом раду дају основ за даљи развој аутоматског планирања инспекције ПДА. То се посебно огледа у смањењу времена припреме мерења на основу аутоматског генерисања протокола мерења и остављеној могућности за оптимизацију путање мерног пипка тј. смањења времена мерења, као и аутоматском конфигурисању мерних пипака на основу анализе приступачности геометријским примитивима.

Резултати експеримента показују да је развијени модел један успешан приступ аутоматској инспекцији и добар основ за примену алата AI и развој интелигентног концепта планирања инспекције ПДА на НУММ. Модел обједињава анализе расподеле мерних тачака и избегавања колизије, док симулација омогућава визуелну проверу путање мерног пипка и генерисање мерног протокола.

Примена и корист од модела је јако изражена у случају инспекције геометријски комплексних ПДс делова са великим бројем толеранција у појединачној производњи.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hwang Y. C., Tsai Y. C., Chang A. C.: *Efficient inspection planning for coordinate measuring machines*, Int J Adv Manuf Technol, 23:732-742, 2004.
- [2] Albuquerque, A., V., Liou, W. F., Mitchell, R. O.: *Inspection point placement and path planning algorithms for automatic CMM inspection*, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis Ltd., 13/2:107-120, 2000.
- [3] Lee J. W., Kim M.K., Kim K.: *Optimal Probe Path Generation and New Guide Point Selection Methods*, Engng Applic. Artif. Intell. Elsevier Science Ltd. 7/4:439-445, 1994.
- [4] Gu P., Chan K.: *Generative Inspection Process and Probe Path Planning for Coordinate Measuring Machines*, Journal of Manufacturing Systems, 15/4:240-255, 1996.
- [5] Prieto, F., Redarce, T., Lepage, R., Boulanger, P.: *An Automated Inspection System*, Int J Adv Manuf Technol, Springer-Verlag London, 19:917–925, 2002.
- [6] Lin, J.-Y., Mahabaleshwarakar, R., Massina, E.: *CAD-based CMM dimensional inspection path planning – a generic algorithm*, Robotica, Cambridge University Press, 19:137–148, 2001.
- [7] Lin Y. J., Murugappan P.: *A new algorithm for determining a collision-free path for a CMM probe*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Elsevier Science Ltd., 39:1397–1408, 1999.
- [8] Lin, C.-Z., Chen, C.-C.: *Collision-free path planning for coordinate measurement machine probe*, International Journal of Production Research, Taylor & Francis Ltd., 39/9:1969–1992, 2001.
- [9] Lim, P.C., Menq, H. C.: *CMM feature accessibility path generation*, International Journal of Production Research, Taylor & Francis Ltd., 32/3:597–618, 1994.
- [10] Стојадиновић, С., Мајсторовић, В.: *Одређивање редоследа инспекције основних геометријских примитива на НУММ*, 38. ЈУПИТЕР Конференција, 5.25-5.30, Београд, 15 – 16 мај, 2012.
- [11] Zhao F., Xu X., Xie Q. S.: *Computer – Aided Inspection Planning – The state of the art*, Computer in Industry, 60/7:453-466, 2009.
- [12] Wong, Y.S.F., Chuah, B.K., Venuvinod, K.P.: *Automated extraction of dimensional inspection features from part computer-aided design models*, International Journal of Production Research, Taylor & Francis Ltd., 43/12:2377–2396, 2005.
- [13] Hesham, A. H., Youssef, M.A., Shoukry, K.M.: *Automated Inspection Planning system for CMMs*, International Conference on Engineering and Technology, pp. 1-6, 2012.
- [14] Stojadinovic S., Majstorović V.: *Towards the Development of Feature – Based Ontology for Inspection Planning System on CMM*, Journal of Machine Engineering, Editorial Institution of the Wroclaw Board of Scientific Technical Societies Federation NOT, Wroclaw, Poland, 12/1:89-98, 2012.
- [15] Majstorovic, D. V., Stojadinovic, M. S.: *Research and Development of Knowledge Base for Inspection Planning Prismatic Parts on CMM*, 11th International Symposium on Measurement and Quality Control, Cracow-Kielce, Poland, September 11-13, 2013.
- [16] Stojadinovic S., Majstorović, V.: *Metrological primitives in production metrology–ontological approach*, Proceedings of the 34th International Conference on Production Engineering, pp. 29-30, Nis, Serbia, 28– 30th September, 2011.
- [17] Lee G., Mou J., Shen Y.: *Sampling strategy design for dimensional measurement of geometric features using coordinate measuring machine*, Int. J. Mach. Tools Manufact., Great Britain, 37/7:917-934, 1997.

Stojadinovic, M. S., Majstorovic, D. V. Durakbasa, M. Numan

AUTOMATED PROBE PATH PLANNING FOR INSPECTION PRISMATIC PARTS ON CMM

Abstract: This paper presents a model for automated probe path generation for CMM. The method consists from sampling strategy and collision-free generation between probe and prismatic part. Needed geometrical information for path planning are taken from internal file of CAD model prismatic part (IGES and STL), while input data about tolerance entries on the base already created knowledge base. Presented model is a new approach automated inspection, whose advantage is in reduction the total measurement time by reducing the time needed for the preparation of the measurements due automated generation of probe path and allowed opportunities for its optimization.

Key words: CMM, measurement sensor, prismatic parts, path planning