

# PROCEDURI DE EVALUARE EXPERIMENTALĂ CU LASER TRAKER A PARAMETRILOR DE PERFORMANȚA PENTRU RI KAWASAKI FS10E

Macovei Ionuț Cristian <sup>1</sup>

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. Adrian NICOLESCU

**REZUMAT:** În cadrul acestei teme de cercetare am avut ca obiectiv studiul teoretic ce va fi urmat de cercetarea experimentală privind elaborarea unor proceduri de evaluare parametrilor de performanță (precizie de poziționare, repetabilitate în poziție și precizie de generare a traiectoriei) pentru RI de tip braț articulat Kawasaki FS10E utilizând tehnici de măsurare cu sisteme de urmărire cu laser (laser tracker API Radian). Robotul se afla amplasat în cadrul facultății IMST și este folosit în scopuri de cercetare.

**CUVINTE CHEIE:** LaserTracker, Precizie, Parametri, Repetabilitate, Robot

## 1 INTRODUCERE

Lucrarea va conține studiul teoretic privind elaborarea unei proceduri de evaluare parametrilor de performanță (precizie de poziționare, repetabilitate în poziție și precizie de generare a traiectoriei) pentru RI de tip braț articulat Kawasaki FS10E (fig. 2) utilizând tehnici de măsurare cu sisteme de urmărire cu laser (laser tracker) API Radian (fig. 1) urmând să fie făcută cercetarea experimentală.

Această lucrare reprezintă o parte din lucrarea de dizertație pe care o voi susține la sfârșitul ciclului de master cu specializarea Robotica din cadrul facultății IMST (Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice), catedra MSP (Mașini și Sisteme de Producție).



Fig. 1. LaserTracker API Radian [1]



Fig. 2. Robotul Industrial Kawasaki FS10E [2]

## 2 STADIUL ACTUAL

Nivelul actual al lucrării conține studiile teoretice realizate în vederea desfășurării lucrării pentru evaluarea parametrilor de performanță reprezentați de: precizia de poziționare, precizia de repetabilitate în poziție și precizia de generare a traiectoriilor; pentru robotul industrial de tip braț articulată Kawasaki FS10E (fig. 2).



Fig. 3. LaserTraker API Radian în timp ce parcurge o procedură de calibrare

<sup>1</sup> Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: [cristi.macovei91@gmail.com](mailto:cristi.macovei91@gmail.com)

## 3 PREZENTAREA ECHIPAMENTELOR

### 3.1 Robotul Kawasaki FS10E [2]

Robotul utilizat în această lucrare este Kawasaki FS10E aflat în laboratorul facultății IMST, catedra MSP. Acesta este un robot folosit în scopuri de cercetare experimentală, are o sarcină portantă de 10 Kg și o precizie de  $\pm 0.1$ mm.

Conform preciziei acest robot poate fi folosit în aplicații după cum urmează:

- Sudare cu arc electric
- Aplicare adezivi pe contur
- Debavurare
- Prelucrare prin aschiere materiale moi
- Asamblare montaj
- Inspecție video
- Manipulare și poziționare piese

Acest robot este acționat de 6 axe comandate numeric, putând fi echipat cu încă o axa opțional.

**Tabelul 1. Caracteristici funcționale robot**

Tip robot:	Articulat
Axe comandate numeric:	6 axe
Sarcina portantă:	10 Kg
Cursa pe direcția orizontală:	1 451 mm
Cursa pe direcția verticală:	1 351 mm
Repetabilitate	$\pm 0.1$ mm
Viteza maximă de lucru:	6 200 mm/s

**Tabelul 2. Curse pentru axele comandate numeric ale robotului robot**

Axa	Cursa
JT1	$\pm 160^\circ$
JT2	$+140^\circ \sim -105^\circ$
JT3	$+120^\circ \sim -155^\circ$
JT4	$\pm 270^\circ$
JT5	$\pm 145^\circ$
JT6	$\pm 360^\circ$
JT7 (optional)	2000mm

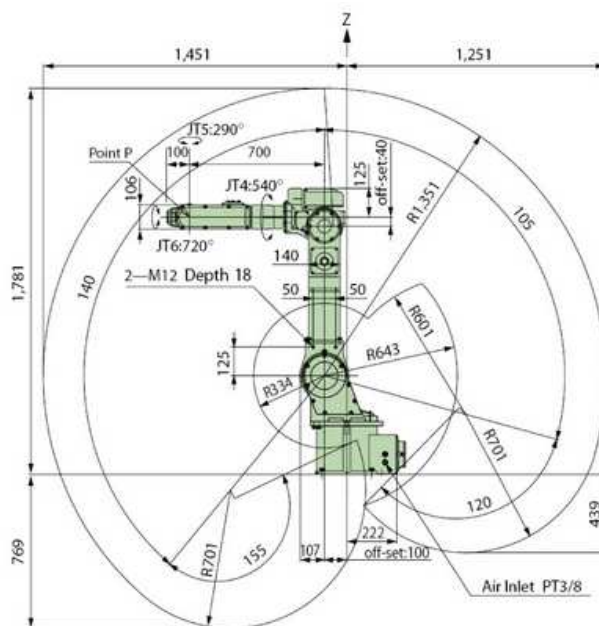


Fig. 4. Spațiu de lucru robot Kawasaki FS10E

Acest robot este foarte versatil și are un gabarit redus corelat cu performanțele oferite. Montajul pe acest robot poate fi: direct pe podea, pe perete (întors cu  $90^\circ$ ) și chiar suspendat (întors cu  $180^\circ$ ).

### 3.2 Echipamentul LaserTraker

#### 3.2.1 Ce este un Laser Traker?

Fundamental, un Laser Tracker este un sistem de măsurare în coordonate polar ce poate face măsuratori pe direcții orizontale și verticale la o anumită distanță față de acesta (raza). Pentru a efectua măsuratori se folosește un reflector (fig. 5) format dintr-un sistem de oglinzi ce întoarce raza laser înapoi la laser tracker.



Fig. 5. Reflector LaserTraker

Aceste sisteme sunt foarte precise deoarece folosesc tehnologia laser ce au integrat un interferometru, chiar dacă precizia nu este comparabilă cu a unui interferometru fix acestea au avantajul efectuării măsurărilor 3D. Cu o precizie foarte ridicată în funcție de tipul măsurătorii (plana, liniară sau volumetrică).

După cum este specificat în figura 6, lasertraker-ul are în componență: o sursă laser, senzorul de urmărire a razei laser, sistemul de măsurare ADM (Absolute Distance Meter) și sistemul de măsurare IFM (Interferometrul cu laser).

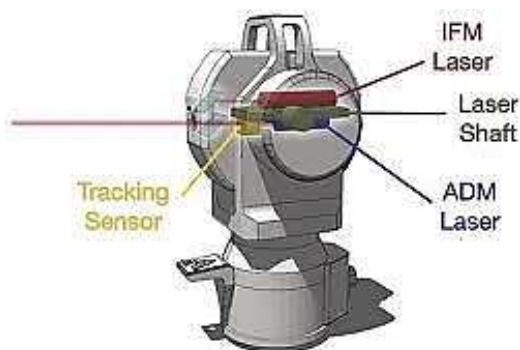


Fig. 6. Structura laser traker

[3] Un sistem de măsurare IFM poate determina distanțele relative (de exemplu, schimbarea distanței de la un punct la altul) cu o precizie la nivel nanometric. Un fascicul laser este proiectat de la sistem către un reflector, fiind monitorizate atât

fasciculele care pleacă, cât și cele care se întorc la sistem.

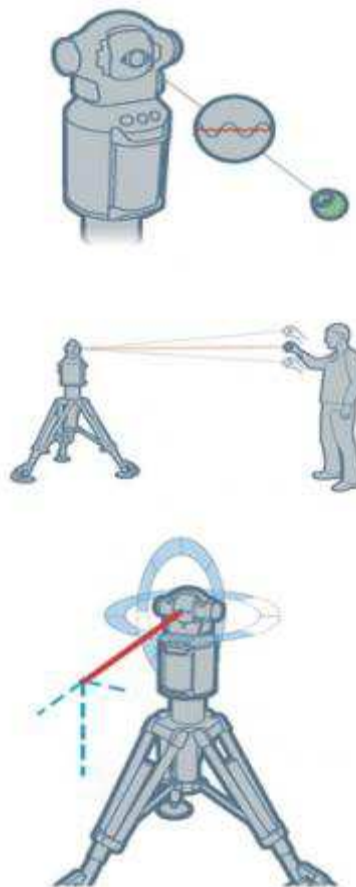


Fig. 7. Mod de funcționare laser traker

Rata de actualizare a rezultatelor depinde de viteza cu care poate fi deplasat reflectorul. Datorită acestei caracteristici, interferometrele cu laser sunt ideale pentru măsurări dinamice, pentru că, oricât de repede ar accelera ținta, modificarea locației este cunoscută, aproape instantaneu, la nivel sub-micronic.

Un IFM nu poate să determine o poziție absolută 3D fără a avea un punct de origine cunoscut. Pe de altă parte, un sistem ADM măsoară distanțe absolute (de exemplu distanța până la un punct cunoscut într-un sistem de coordonate 3D) cu o precizie foarte ridicată, dar nici cel mai rapid sistem ADM nu va fi capabil să atingă viteza unui IFM pentru măsurări dinamice.

Prin urmare folosirea acestor două sisteme ADM și IFM permit laser traker-ului să fie un echipament foarte precis pentru măsurare volumetrică.

PROCEDURI DE EVALUARE EXPERIMENTALA PARAMETRIILOR DE PERFORMANȚĂ PENTRU RI KAWASAKI FS10E

3.2.2 LaserTraker-ul API Radian

Echipamentul utilizat pentru efectuarea masuratorilor privind precizia robotului Kawasaki FS10E este LaserTraker-ul API RADIAN 40.

Acest echipament poate masura volumetric pe o distanta de 40 m, acesta fiind disponibil și în variantele de 80m respectiv 160m.



Fig. 8. LaserTraker API Radian

Acesta este echipat și cu o camera video ce permite identificarea reflectorului și restabilirea razei laser cu acesta în cazul în care aceasta a fost intrerupta.

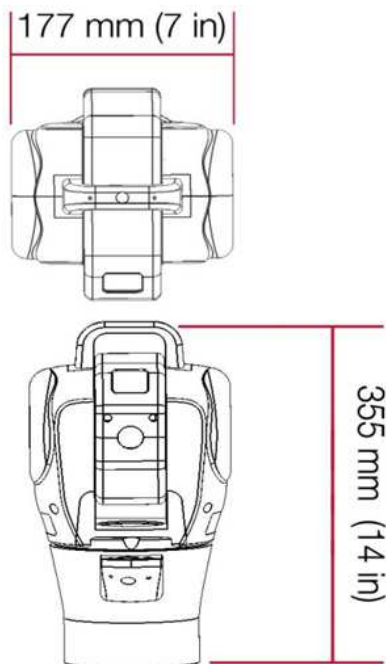


Fig. 8. Dimensiuni de gabarit laser traker

Tabelul 3. Domeniul de masurare

Parametri	Specificatii
Masurare liniara (Diametru):	40m
Alte versiuni disponibile:	100m, 160 m+

Tabelul 4. Performantele sistemului

Parametri	Specificatii
Rotatie la baza:	$\pm 320^\circ$
Rotatie pe verticala:	$+ 79^\circ / -60^\circ$
Rezolutie unghiulara:	$\pm 0.018$ arc sec
Precizie unghiulara:	$3.5\mu\text{m/m}$
Rezolutia sistemului:	$0.1 \mu\text{m}$
Viteza maxima premisa de deplasare a reflectorului:	6 m/sec
Accelerare maxima:	$> 2 \text{ g}$

Tabelul 5. Precizie

Parametri	Specificatii
Masurare statica (IFM):	$\pm 10 \mu\text{m}$ sau 5 ppm

Tabelul 6. Laser

Parametri	Specificatii
Laser HeNe (IFM):	Clasa II (eye safe)
Rezolutie:	$0.08 \mu\text{m}$
Precizie:	$< \pm 0.5$ ppm
IR Laser (ADM-Maxx™)	Clasa I (eye safe)
Rezolutie:	$0.1 \mu\text{m}$
Precizie:	$\pm 10 \mu\text{m}$ sau 1 ppm

Acest echipament dispune de o gama larga de reflectori (SMR-uri) ce pot fi folositi în functie de aplicatie, chiar și reflectori motorizati ce au 3 axe comandate independent.



Fig. 9. Reflectori LaserTraker API

#### 4 PREZENTAREA PROCEDURILOR

##### 4.1 Procedura de determinare a preciziei de poziționare

Pentru determinarea preciziei de poziționare pentru acest robot se va folosi un cub imaginar cu centrul de coordonate în mijlocul acestuia ce are dimensiunile 600x600x600 mm cu puncte intermediare din 150mm în 150mm.

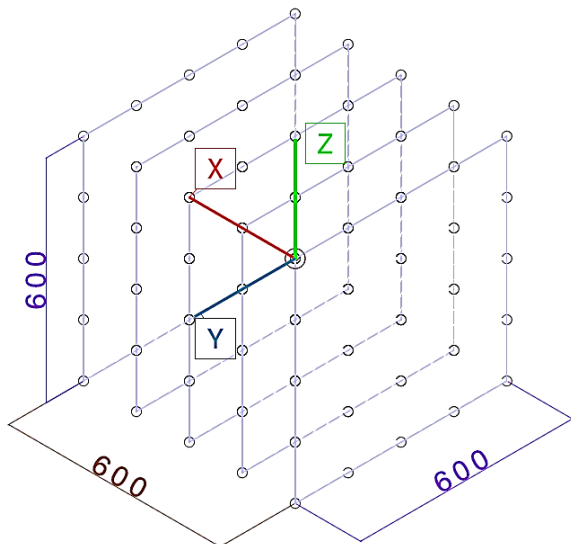


Fig. 10. Spațiul cartezian de achiziție a punctelor

Procedura constă în achiziționarea datelor de către laser tracker în timp ce robotul parcurge conform unui program toate punctele dispuse în acest cub imaginar. Punctele sunt organizate pe straturi dispuse paralele cu planul ZY. Centrul de coordonate a cubului imaginar se afla la intersecția diagonalelor cubului (în centru).

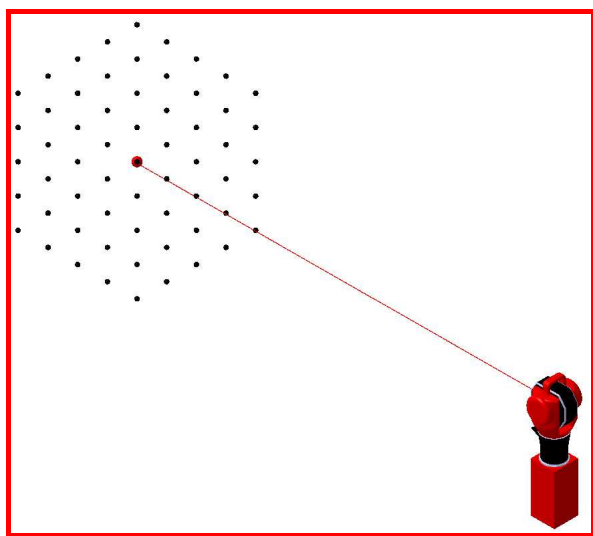


Fig. 11. Poziționare laser tracker

Distanța dintre centrul cubului și LaserTracker va fi de 2m. Iar acesta va măsura cu o abatere de:

- 5  $\mu\text{m}/\text{m}$  pe direcția X
- 3.5  $\mu\text{m}/\text{m}$  pe direcția Y și Z
- $\pm 10 \mu\text{m}$  abaterea sistemului

Robotul va executa măsurători pe cubul imaginar atât în fața cât și în lateralele acestuia conform figurilor 12 și 13 unde se poate observa amplasarea sistemului de măsură cât și a punctelor ce urmează a fi achiziționate.

Robotul va fi programat să execute poziționări incrementale în spațiul propus iar la fiecare punct acesta va staționa două secunde. La fiecare staționare a robotului laser tracker-ul va achiziționa un punct relativ la sistemul de coordonate al cubului.

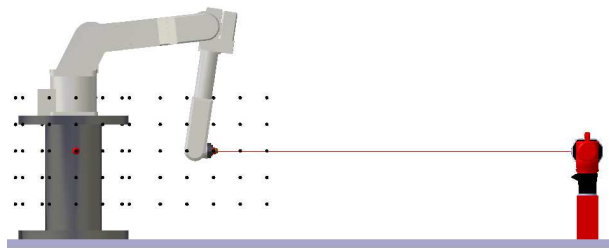


Fig. 12. Vedere din lateral

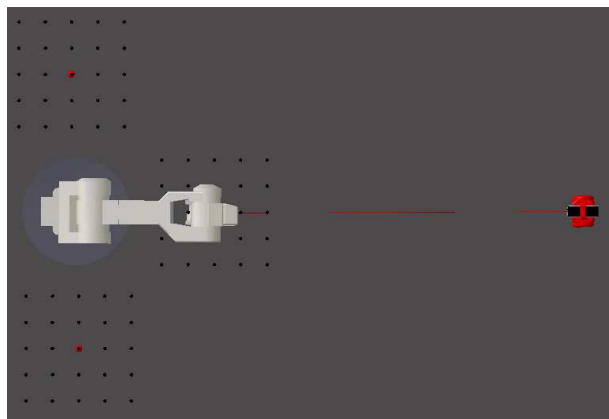


Fig. 13. Vedere de sus

După ce vor fi achiziționate datele experimentale conform acestei proceduri, acestea se vor compara cu coordonatele teoretice ale punctelor. Pentru a evidenția precizia de poziționare a robotului în volumul cubului vor fi suprapuse punctele achiziționate cu cele teoretice rezultând o hartă de culori pentru a putea fi interpretată cu ușurință. Procedura se va repeta de 10 ori pentru fiecare cub.

#### 4.2 Procedura de determinare a preciziei de repetabilitate în pozitie

Pentru determinarea preciziei de repetabilitate în pozitie vom lua un punct fictiv de coordonate 0.0.0 (fig. 14), dupa care robotul va executa o miscare complexa ce va utiliza toate cuplele acestuia (fig. 15) dupa care va reveni în punctul initial (fig. 16). Coordonatele vor fi citite de laser tracker relativ la sistemul de coordonate ales, astfel determinand eroarea cu care acesta revine în punctul de start.

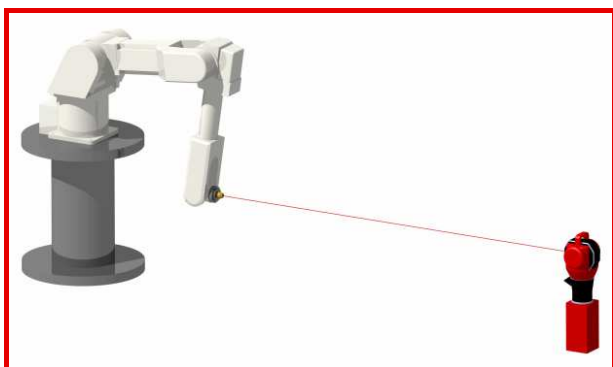


Fig. 14. Plecare din punctul de start (0.0.0)

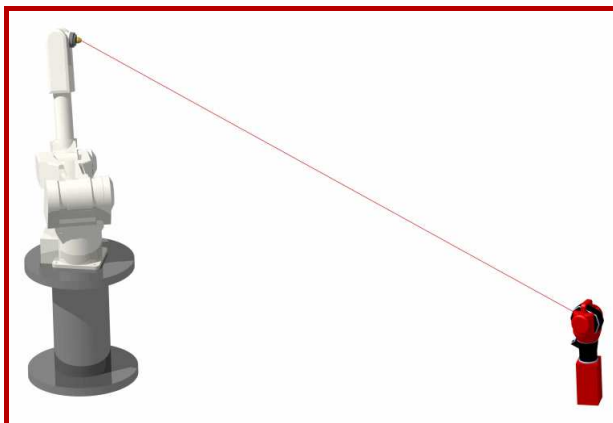


Fig. 15. Executare miscare complexa



Fig. 16. Revenire în punctul initial (0.0.0)

Aceasta procedura va fi repetata de 10 ori și se va realiza un grafic cu valorile obtinute.

#### 4.3 Procedura de determinare a preciziei de generare a traiectoriei

Pentru determinarea preciziei de generare a traiectoriei se vor executa în fiecare plan doua tipuri de traiectorii: traiectorii circulare și traiectorii de tip patrat.

Laser tracker-ul va pastra tot timpul pozitia reflectorului (SMR-ului) ce va fi prins de flansa robotului (fig. 17).

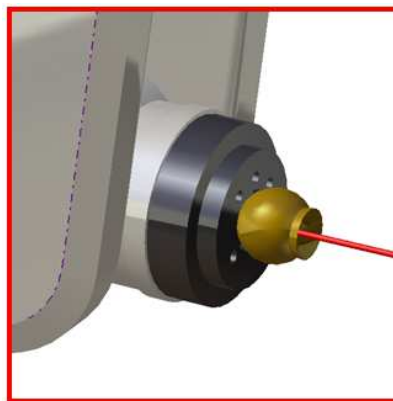


Fig. 17. Reflector fixat pe flansa robotului

##### 4.3.1 Interpolare pentru traiectorie de tip patrat

LaserTracker-ul va scana traiectoria generata de robot și va fi comaparata cu o traiectorie teoretica perfect patrata (fig. 18). Patraturul va avea latura de 600 mm și va fi executata atat în planul YZ cat și în planul XY (fig. 19).

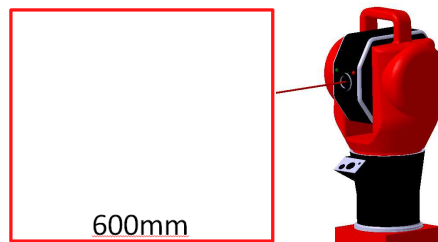


Fig. 18. Traiectorie 600x600mm

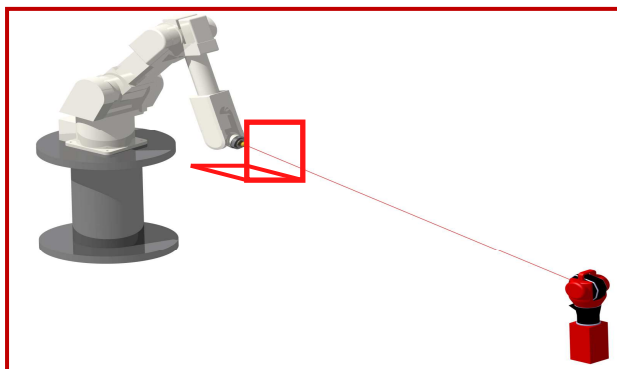


Fig. 19. Executare traiectorie de tip patrat (XY/YZ)

#### 4.3.2 Interpolare pentru traiectorie circulara

LaserTracker-ul va scana traiectoria generata de robot și va fi comparata cu o traiectorie teoretică perfect circulară (fig. 20). Cercul va avea diametrul de 600 mm și va fi executată atât în planul YZ cât și în planul XY (fig. 21).

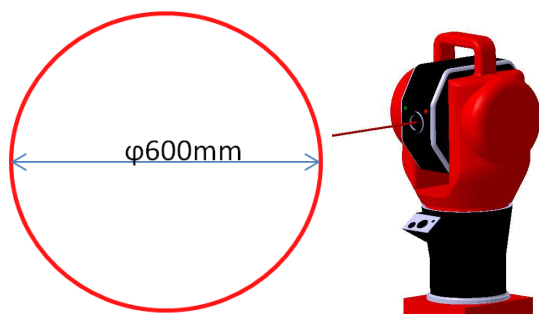


Fig. 20. Traiectorie circulara cu diametrul  $\varnothing 600\text{mm}$

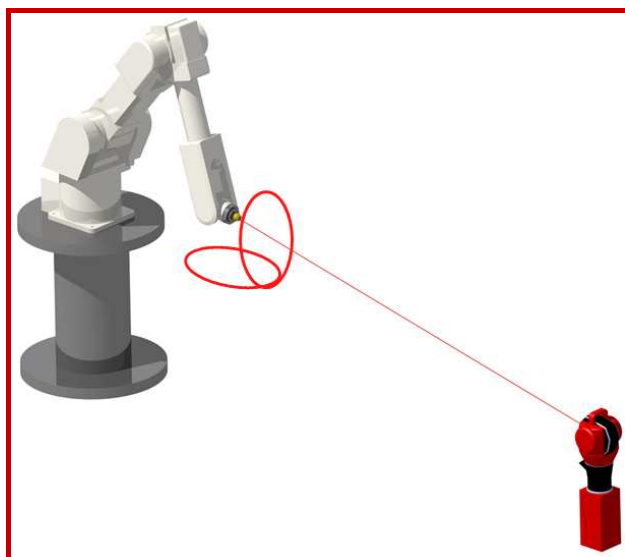


Fig. 19. Executare traiectorie circulara (XY/YZ)

Ambele seturi de traiectorii (patrat respectiv cerc) vor fi executate de 10 ori, toate datele obținute fiind suprapuse peste un grafic circular respectiv patrat. După ce vor fi suprapuse traiectoriile se vor analiza abaterile minime și maxime.

## 6 CONCLUZII

Au fost elaborate procedurile:

1. Procedura de determinare a preciziei de poziționare
2. Procedura de determinare a preciziei la repetabilitate
3. Procedura de determinare a preciziei de generare a traiectoriilor

În cadrul programului de lucru a activității de cercetare din acest semestru privind tema de dizertație, urmează a fi puse în practică procedurile menționate mai sus.

În semestrul 3 urmând a fi efectuate măsurătorile pe încă un robot și anume robotul ABB IRB 160 și voi realiza prelucrarea datelor pentru ambii roboți.

Iar în ultimul semestru va fi finalizată tema de dizertație prin analizarea rezultatelor și compararea acestora cu rezultatele obținute prin alte metode de determinare a preciziei la roboți industriali.

## 7 MULTUMIRI

Prof. Dr. Ing. Adrian NICOLESCU  
as. Dr. Ing. Cezara AVRAM

## 8 BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.apisensor.com/>
- [2] <http://www.robital.ro/>
- [3] <http://www.ttonline.ro/sectiuni/calitate-control/articole/12558-interferometrul-absolut>
- [4] NICOLESCU ADRIAN, IVAN MARIO, AVRAM CEZARA, DOBRESCU TIBERIU, Volumetric accuracy experimental evaluation and 3D error map generation for a Kawasaki FS 10 E articulated arm industrial robot, Bucuresti, ISBN: 978-1-61804-185-2