

Livrabil

1 raport de testare și validare pentru sistemul robotic PProHep-LCT

Testarea în condiții de laborator a sistemului robotic PProHep-LCT s-a realizat utilizând un ficat realizat din gel balistic (Figura 1), dar și țesut porcine, Figura 2.

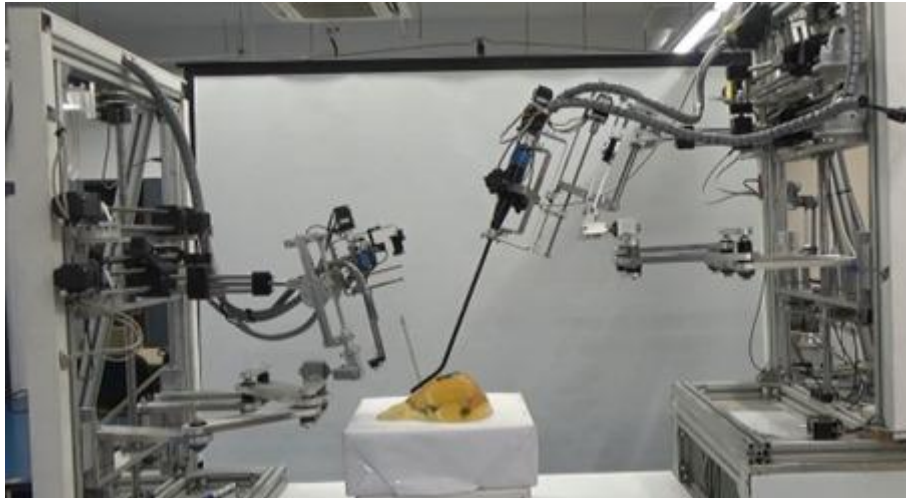


Figura 1. Testarea sistemului PProHep-LCT utilizând un mulaj realizat din gel balistic

În cadrul testelor de laborator s-a urmărit determinarea preciziei de poziționare a modului pentru ac, ca și ultim pas în implementarea sistemului robotic PProHep-LCT.

Precizia sistemului robotic PProHep-LCT a fost evaluată în condiții de laborator folosind sistemul OptiTrack Motion Capture. Sistemul OptiTrack a fost dezvoltat inițial pentru a capta mișcările corpului uman, folosind un set de markeri predefiniți și poziționați cu precizie pe obiectele care se doresc a fi urmărite. În acest caz, au fost utilizate markerile M3 cu diametrul de 6,4 mm (cu M3 Marker Base), care au fost plasate pe structura mecanică (conform Figurii 3). Figura 3 prezintă amplasarea markerelor pe platforma mobilă (unde sunt atașate instrumentele robotizate) și pe cadrul robotului, plasare a markerelor utilizată pentru o definire corectă a cadrului de referință.

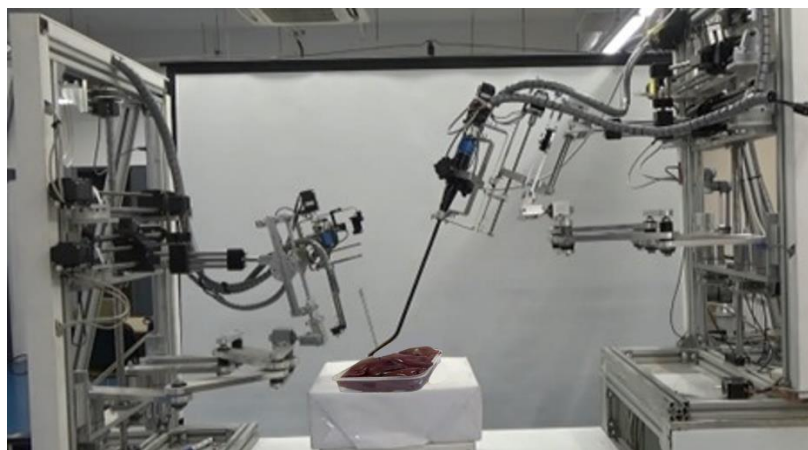


Figura 2. Testarea sistemului PProHep-LCT utilizând țesut porcine

În plus, calibrarea sistemului OptiTrack necesită utilizarea dispozitivului de calibrare CS-400 (Figura 22), dispozitiv cu ajutorul căruia a fost realizat definirea corectă a sistemului de coordonate OXYZ al robotului.

Pentru experiment au fost utilizate un set de șase camere cu infraroșu Prime 41 cu 170 de LED-uri (numărul de camere poate varia în funcție de spațiul de lucru monitorizat).

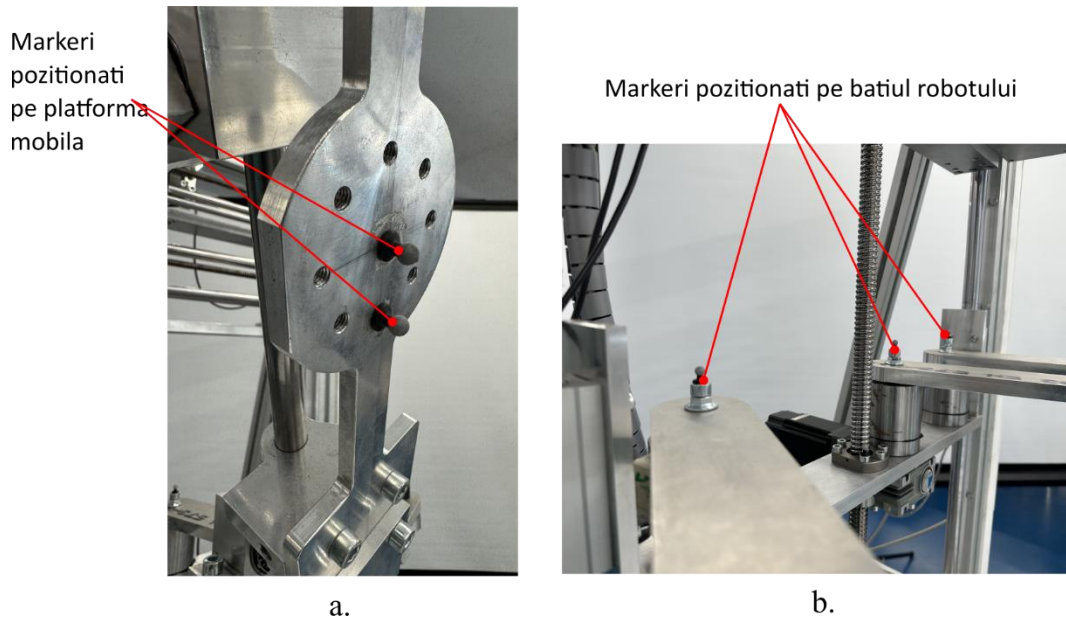


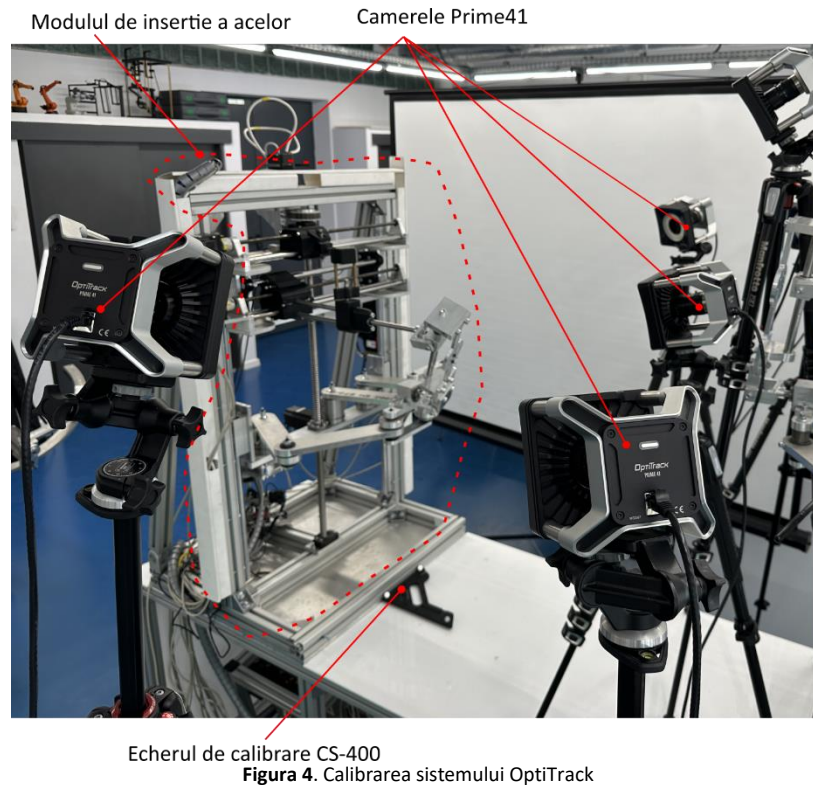
Figura 3. Poziționarea markerelor OptiTrack pe robotul PRoHep-LCT

Markerii au fost plasați cu precizie în urma unei proceduri de calibrare constând în 4 pași (pentru efectul final):

1. Aducerea robotului în poziția de origine, de unde urmează să se facă urmărirea markerelor pe traiectorie.
2. Poziționarea cât mai precisă a cele două marcaje pe efectorul final (Figura 1. a).
3. Efectuarea unui set inițial de măsurători utilizând sistemul OptiTrack și verificarea dacă unghiurile măsurate se potrivesc cu orientarea propusă (unghi obținut din modelul matematic și unghi obținut în urma realizării măsurătorilor). Verificarea orientării vârfului efectorului final (marker-ul inferior din Figura 1. a) în comparație cu valorile de intrare introduse în sistemul de control.
4. Dacă valorile măsurate se potrivesc cu modelul matematic, calibrarea a fost realizată cu succes, în caz contrar, poziția markerelor trebuie reajustată în funcție de măsurători.

Coordonatele efectului final al robotului sunt furnizate direct de software-ul Motive care este folosit pentru a procesa datele furnizate de camerele sistemului OptiTrack, după translația sistemului de coordonate OXYZ în poziția indicată în Figura 4, figură care prezintă o vedere de ansamblu a sistemului OptiTrack și a modului în care markeri au fost plasați pe robot.

Etichetarea markerilor a fost efectuată automat cu ajutorul software-ului Motive, rezultatul obținut în urma acestui proces este prezentat în Figura 5.



Determinarea orientării efectorului final a fost realizată după cum urmează:

1. Determinarea ecuațiilor celor două plane XOZ și YOZ folosind poziția markerilor furnizată de programul software Motive:

$$A_{XOZ} \cdot x + B_{XOZ} \cdot y + C_{XOZ} \cdot z + D_{XOZ} = 0 \quad (1)$$

$$A_{YOZ} \cdot x + B_{YOZ} \cdot y + C_{YOZ} \cdot z + D_{YOZ} = 0 \quad (2)$$

2. Determinarea ecuației liniei dintre markerelor montate pe end-effectorul (marker-ul 1126 și 1127 din Figura 23):

$$l = (x_{M1} - x_{M2}); m = (y_{M1} - y_{M2}); n = (z_{M1} - z_{M2}) \quad (3)$$

Rezultând:

$$\frac{x - x_{M2}}{l} = \frac{y - y_{M2}}{m} = \frac{z - z_{M2}}{n} \quad (4)$$

3. Determinarea unghiurilor:

$$\sin(\theta) = \frac{|A_{XOZ} \cdot l + B_{XOZ} \cdot m + C_{XOZ} \cdot n|}{\sqrt{A_{XOZ}^2 + B_{XOZ}^2 + C_{XOZ}^2} \cdot \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}} \quad (5)$$

$$\sin(\psi) = \frac{|A_{YOZ} \cdot l + B_{YOZ} \cdot m + C_{YOZ} \cdot n|}{\sqrt{A_{YOZ}^2 + B_{YOZ}^2 + C_{YOZ}^2} \cdot \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}} \quad (6)$$

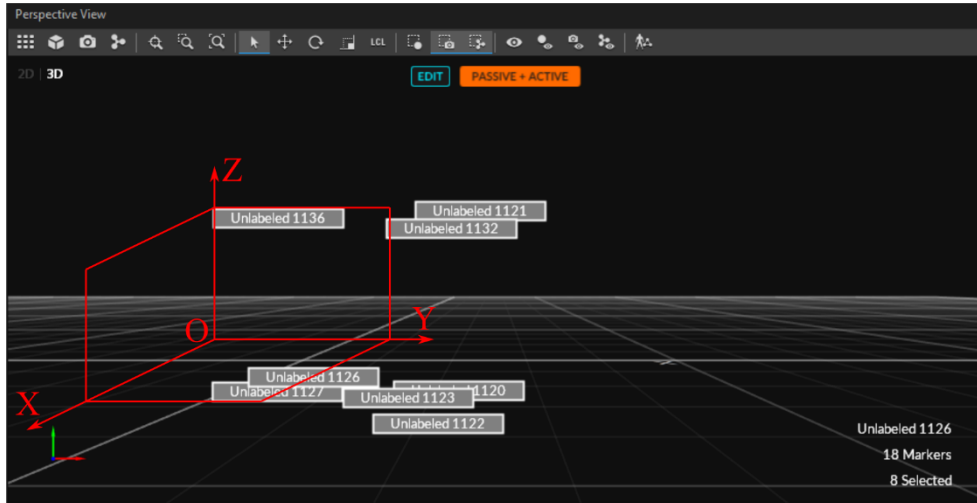


Figura 5. Robotul paralel PRoHep-LCT cu vizualizarea markerelor în soft-ul Motive al sistemului OptiTrack

Pentru evaluarea acurateții robotului PRoHep-LCT, a fost definită o traiectorie de mișcare prin utilizarea următoarelor date de intrare-ieșire:

$$X_{E_init} = 560mm; Y_{E_init} = 490mm; Z_{E_init} = 230mm; \psi_{init} = 40^\circ; \theta_{init} = 20^\circ \quad (7)$$

$$X_{E_fin} = 600mm; Y_{E_fin} = 530mm; Z_{E_fin} = 200mm; \psi_{fin} = -34^\circ; \theta_{fin} = 27.2^\circ \quad (8)$$

Figurile 6 – 10 prezintă rezultatele obținute în urma procesului de măsurare folosind sistemul OptiTrack, după aplicarea unei transformări Fast Fourier Transform (FFT) utilizată pentru eliminarea zgomotului semnalului măsurat.

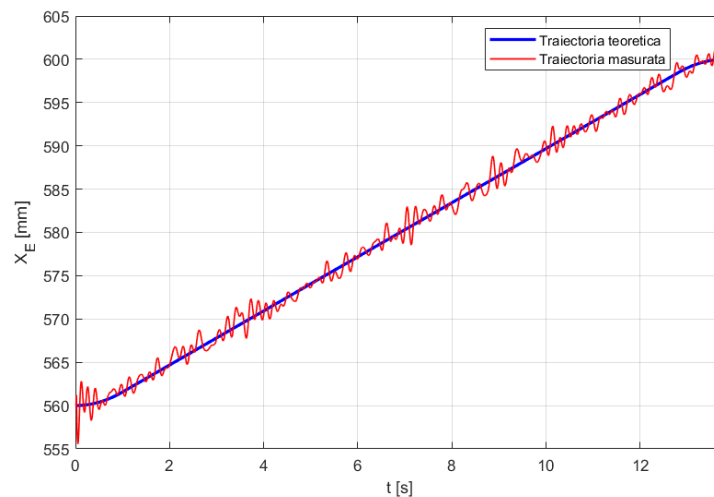


Figura 6. Diagrama comparativă a robotului ProHep-LCT timp-deplasare pentru coordonatele pe OX ale efortului final

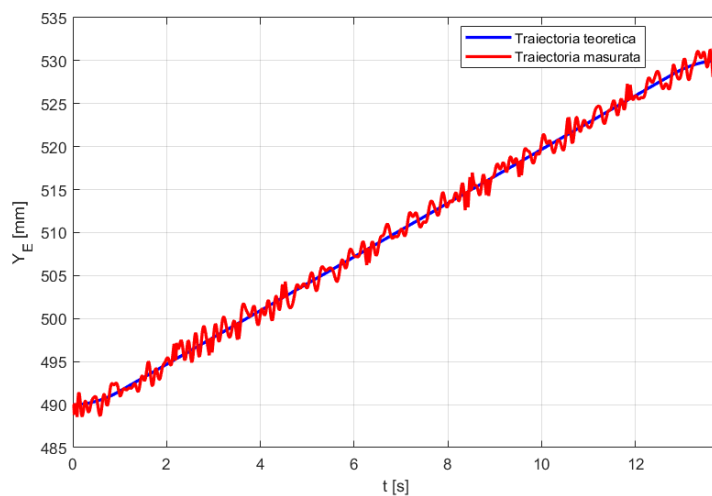


Figura 7. Diagrama comparativă a robotului ProHep-LCT timp-deplasare pentru coordonatele pe OY ale efectorului final

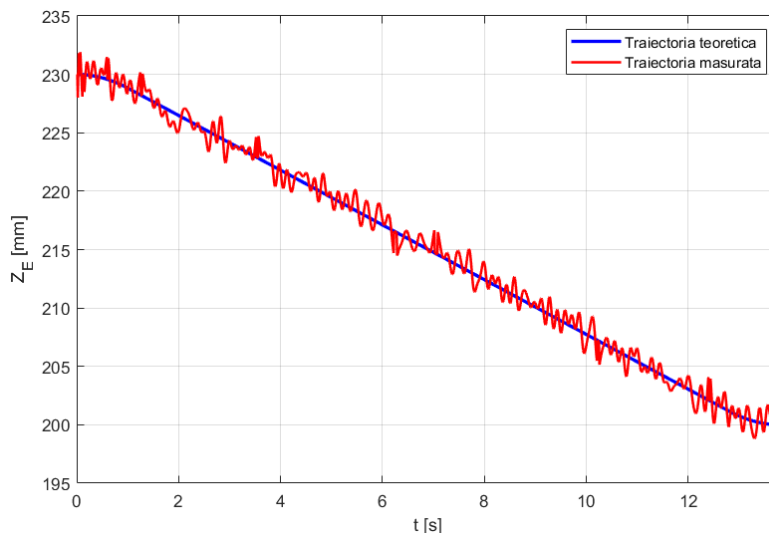


Figura 8. Diagrama comparativă a robotului ProHep-LCT timp-deplasare pentru coordonatele pe OZ ale efectorului final

Folosind această traiectorie de mișcare, au fost efectuate cinci măsurători pe baza cărora a fost determinată media pătratică a erorii (RMS error), rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 1. Datele obținute arată o corelație bună între traiectoria modelată teoretică și cea măsurată. Precizia medie de poziționare a efectorului final este de 0,883 mm, ceea ce poate fi considerat bună pentru prima iterație a modelului experimental. Precizia necesară pentru plasarea acului în procedurile de brahiterapie este de 1 mm, valoarea măsurată în aer. Cea mai problematică problemă constă în deformarea acului, care este foarte probabilă și greu de controlat. Cu toate acestea, în anumite limite, erorile de plasare a acului cauzate de deviația acului pot fi ajustate prin utilizarea semințelor radioactive mai puternice și păstrarea acestora pentru o perioadă mai lungă în interiorul tumorii. Principalele surse de eroare sunt acuratețea proprie a sistemului OptiTrack, acuratețe care este afectată de sursele de lumină din încăperea (în condiții ideale sistemul are o acuratețe de 0.1 mm), care are un impact negativ asupra urmării markerilor. Măsurătorile efectuate pot fi influențate și de jocul șuruburilor trapezoidale și jocurile prezente în articulațiile cuplelor de rotație.

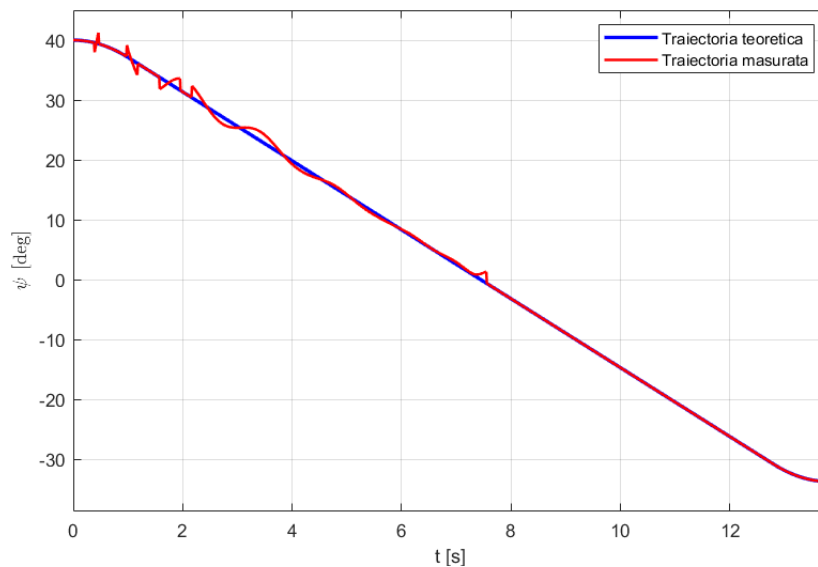


Figura 9. Diagrama comparativă a robotului ProHep-LCT timp-deplasare pentru coordonatele pe ψ ale efectorului final

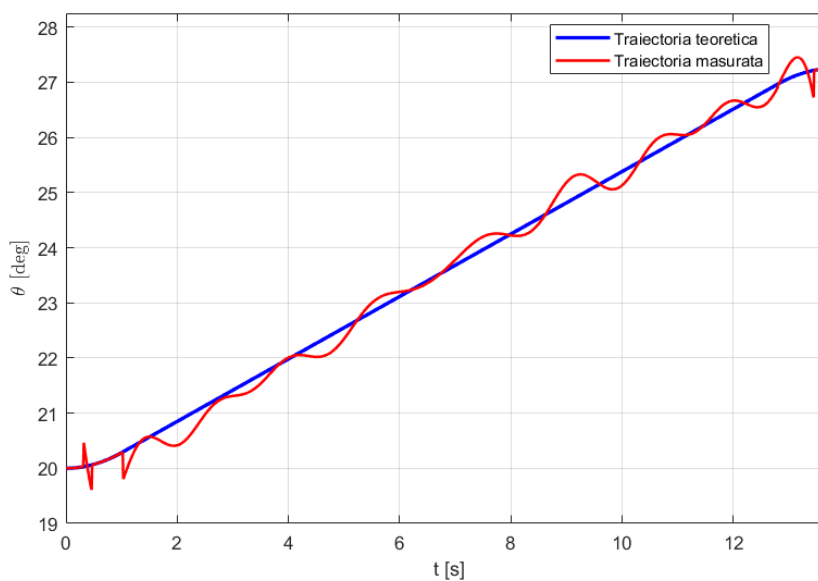


Figura 10. Diagrama comparativă a robotului ProHep-LCT timp-deplasare pentru coordonatele pe θ ale efectorului final

Tabelul 1. Determinarea erorii medii folosind RMS pentru datele măsurate cu sistemul OptiTrack

Coordonate efectorului final	Eroare (Root Mean Square)
X_E	0.6781
Y_E	0.7482
Z_E	0.5614
ψ	0.4754
θ	0.4229



 Prof. Doina Pîslă