

- 1) Scrivere su ciascun foglio protocollo consegnato dal docente: data, nome, cognome e numero di matricola. Riconsegnare tutti i fogli consegnati dal docente indicando quali sono i fogli di bella che saranno gli unici a essere valutati. Non sarà valutato quanto sarà scritto su questo foglio.
- 2) E' consentito l'utilizzo solo di: fogli forniti, penna, righello, calcolatrice (che non offra la possibilità di memorizzare formule). A chi fosse trovato altro materiale sarà annullata la prova automaticamente e inderogabilmente.
- 3) La prova sarà istantaneamente e inderogabilmente annullata anche a chi fosse colto a parlare con gli altri candidati. E' consentito parlare solo col docente.

## TESTO DELLA PROVA

Un sistema di navigazione chirurgica è dotato di localizzatore elettromagnetico ed ecografo con sonda ecografica 3D sulla quale è posizionato un sensore a 6 gradi di libertà.

### Quesito 1 (Punti 6)

Periodicamente è necessario ricalibrare il sensore montato sulla sonda al fine di determinare la posa del sistema di riferimento (sdr) di detto sensore rispetto a quello dell'immagine 3D dell'ecografo. Per far questo, una volta fissata la sonda ad un fantoccio, sono acquisiti nel sdr della sonda e nel sdr del sensore i medesimi 3 punti appartenenti al fantoccio stesso. Dopodiché, è determinata la matrice di calibrazione  ${}^{\text{sensore}}T_{\text{sonda}}$  tra detti sdr utilizzando il metodo ai minimi quadrati. In questo caso particolare caso è noto il baricentro B dei 3 punti nei due sdr:

$$B_{\text{sensore}} = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}; B_{\text{sonda}} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix};$$

e le sole componenti di rotazione della matrice di calibrazione:

$${}^{\text{sensore}}T_{\text{sonda}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 0 & -1 & Y \\ 0 & 1 & 0 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Determinare le componenti X, Y e Z della traslazione motivando i calcoli effettuati.

### Quesito 2 (Punti 6)

Il navigatore è impiegato su una mano traumatizzata con varie fratture. E' a disposizione anche uno scanner CT intraoperatorio ad elevata risoluzione che deve essere utilizzato poco prima dell'intervento per pianificare in modo ottimale la procedura chirurgica. Nella fase di pianificazione, il chirurgo dovrebbe poter individuare i frammenti fratturati e provare a riposizionarli virtualmente al fine di ripristinare quanto più possibile la loro morfologia di partenza.

Per far questo, si dovrebbe ricorrere ad algoritmi di visualizzazione con tecniche di direct volume rendering o di surface rendering? Rispondere motivando e descrivendo i passaggi che il chirurgo dovrebbe compiere col software a disposizione.

### Quesito 3 (Punti 6)

Durante la procedura chirurgica, i frammenti ossei possono muoversi gli uni rispetto agli altri e per verificare la corrispondenza tra i frammenti reali con quelli dell'immagine CT può essere utilizzata la sonda ecografica 3D. In particolare, in prima battuta, la corrispondenza è verificata andando ad individuare

nell'immagine CT il frammento più vicino. A tal fine, dato un punto  $P_{\text{sonda}}$  acquisito nel sdr della sonda, indicare la catena delle trasformazioni necessarie per determinare lo stesso punto nel sdr CT  $P_{\text{CT}}$  corredando la formula con l'opportuno grafico con le trasformazioni in gioco e tutti i sensori e le matrici di registrazione e calibrazione necessarie.

Quesito 4 (Punti 6)

Come ulteriore verifica della corrispondenza si vuol confrontare la superficie del frammento reale visibile nell'immagine ecografica 3D con quella dell'immagine CT. Descrivere un algoritmo corredato dagli opportuni calcoli algebrici che permetta di ottenere un indicatore quantitativo della corrispondenza.

Quesito 5 (Punti 6)

Un sensore elettromagnetico a 5 gradi di libertà è coassiale allo stelo di un puntatore ed il baricentro  $b$  del sensore dista 10 mm dalla punta



Il sistema di localizzazione fornisce la posizione del baricentro del sensore  $b$  ed il versore  $\hat{v}$  che rappresenta l'orientamento dell'asse principale del sensore. La punta è posizionata in corrispondenza di una salienza su un determinato frammento e la lettura del sensore nel sdr del localizzatore è:

$$b_L = \begin{bmatrix} 5.76 \\ 20.00 \\ 34.24 \end{bmatrix}; \hat{v}_L = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 \\ -\frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix};$$

La posizione della stessa salienza è stata identificata nell'immagine CT ed è stata registrata nel sdr L:

$$P_L = \begin{bmatrix} 12 \\ 20 \\ 28 \end{bmatrix}$$

Determinare l'errore di registrazione su detto punto target.