

- 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 US e nel sdr del sensore S i medesimi 3 punti appartenenti al fantoccio stesso. Dopodiché, è determinata la matrice di calibrazione ${}^S T_{US}$ tra detti sdr:

$${}^S T_{US} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sapendo che i baricentri delle suddette triplete di punti valgono:

$$B_S = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}; B_{US} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix};$$

quanto vale l'errore di registrazione sul baricentro?

Quesito 2 (Punti 6)

Il navigatore è impiegato per rimuovere delle schegge di metallo da una gamba. Poiché nell'immagine ecografica non è possibile identificare univocamente tutte le schegge, è utilizzata anche un'immagine preoperatoria TC. La registrazione tra le due immagini è effettuata localizzando le 3 schegge più grandi con entrambe le sorgenti d'immagine il cui baricentro in CT vale $P_{1CT}, P_{2CT}, P_{3CT}$. Poiché le 3 schegge non possono essere visualizzate nella stessa immagine ecografica, è necessario spostare la sonda. Sono note le coordinate dei suddetti baricentri in US e le pose corrispondenti del sensore rispetto al sistema di riferimento L del localizzatore: $P_{1US}, P_{2US}, P_{3US}$ e ${}^L T_{1S}, {}^L T_{2S}, {}^L T_{3S}$. Calcolare algebricamente utilizzando il metodo dei tre punti corrispondenti la matrice di registrazione ${}^L T_{CT}$. Non è necessario esplicitare i valori della matrice ${}^S T_{US}$. Non è necessario replicare calcoli già fatti e chiari.

Quesito 3 (Punti 6)

E' a disposizione un puntatore "ad ago" che può essere utilizzato come sonda per andare ad individuare i frammenti sotto la guida delle immagini CT e US del navigatore. In altre parole, nel navigatore è possibile riferire il puntatore rispetto all'immagine CT o all'immagine US e viceversa. Oltre a questa modalità di visualizzazione, al fine di permettere al chirurgo di orientarsi al meglio nella movimentazione della sonda ecografica, è possibile visualizzare nella scena virtuale US (visualizzata in direct volume rendering) il

modello 3D delle lesioni precedentemente ottenute dall'immagine CT. Descrivere algebricamente come ottenere la matrice di registrazione ${}^U S T_{CT}(t)$ in detta modalità dinamica (la sonda ecografica è in movimento) esplicitando quali matrici sono statiche e quali acquisite in tempo reale.

Quesito 4 (Punti 6)

Quest'ultima modalità di visualizzazione può essere considerata in realtà aumentata: l'immagine 3D fornisce l'informazione in tempo reale ed i modelli 3D delle schegge in CT sono l'informazione virtuale. In questo caso, al fine di rendere coerente l'immagine reale con quella virtuale, come deve essere impostata la camera virtuale in termini di posa e modello di proiezione?

Quesito 5 (Punti 6)

Un sensore elettromagnetico a 5 gradi di libertà è coassiale allo stelo del puntatore:



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 scheggia e la lettura del sensore nel sdr del localizzatore è:

$$b_L = \begin{bmatrix} 10 \\ 20 \\ 30 \end{bmatrix}; \hat{v}_L = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix};$$

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

$$P_L = \begin{bmatrix} 10 \\ 30 \\ 30 \end{bmatrix}$$

Sapendo che l'errore di registrazione su detto target vale 2 mm, quant'è la distanza tra il baricentro del sensore e la punta?