

- 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

Ad un paziente che deve essere sottoposto ad intervento al fegato è stata acquisita un'immagine CT nella quale sono visibili i margini della metastasi da rimuovere. L'intervento è eseguito con il sistema robotico simile al da Vinci ed è disponibile un braccio speciale dotato di sonda ecografica 3D. Tale sonda ecografica 3D può essere utilizzata per visionare alcuni dettagli anatomici all'interno del parenchima epatico. La sonda è stata opportunamente calibrata rispetto al braccio su cui è montata ed è possibile conoscere la relazione ${}^R T_{US}$ tra il sistema di riferimento US nel quale sono acquisite le immagini ecografiche ed il sistema di riferimento R solidale alla base del robot.

Quesito 1 (Punti 6)

Per eseguire la registrazione delle immagini CT con il sistema di riferimento alla base del robot, la sonda ecografica è posizionata all'istante t_0 in modo da poter identificare contemporaneamente 3 punti fiduciali anatomici ben riconoscibili anche nell'immagine CT. Tali punti fiduciali acquisiti con la sonda ecografica e riferiti nel sistema di riferimento del robot hanno coordinate:

$$f'_{R1} = \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}; f'_{R2} = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \\ 100 \end{bmatrix}; f'_{R3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

I medesimi punti fiduciali identificati nel sistema di riferimento CT e già registrati nel sistema di riferimento R del robot tramite la matrice di trasformazione omogenea ${}^R T_{CT}$ (considerando il fegato come se fosse rigido) hanno coordinate:

$$f_{R1} = \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \\ 2 \end{bmatrix}; f_{R2} = \begin{bmatrix} 10 \\ 2 \\ 100 \end{bmatrix}; f_{R3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Determinare: 1) l'FRE in termini di scarto quadratico medio; 2) il modulo dell'errore massimo di registrazione sui punti fiduciali (il massimo degli FREi).

Quesito 2 (Punti 6)

I margini ed il baricentro della metastasi da rimuovere sono ben identificabili nell'immagine CT. Le coordinate del baricentro già registrate nel sistema di riferimento R valgono:

$$m_R = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 25 \end{bmatrix}$$

Il chirurgo, prima di procedere, esegue un controllo di ragionevolezza sulla posizione della metastasi ricavata dall'immagine CT e registrata in R. Per far ciò, senza muovere il fegato, nonostante che nell'immagine ecografica i margini della metastasi non siano ben definiti, identifica un punto nell'immagine ecografica che potrebbe esserne verosimilmente il baricentro con coordinate in US:

$$m_{US} = \begin{bmatrix} 4 \\ 11 \\ 34 \end{bmatrix}$$

In quell'istante la relazione ${}^R T_{US}$ tra il sistema di riferimento US nel quale sono acquisite le immagini ecografiche ed il sistema di riferimento R solidale alla base del robot vale:

$${}^R T_{US} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -10 \\ 0 & 0 & 1 & -10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Determinare quante vale l'errore di registrazione in modulo sul baricentro della metastasi.

Quesito 3 (Punti 6)

La metastasi si trova nel fegato in profondità e durante l'intervento si devono offrire funzionalità di realtà aumentata sovrapponendo la proiezione dei margini della metastasi ricavata dalla CT alle immagini acquisite dalla telecamera del robot. Per far ciò è necessario impostare l'angolo di vista verticale ed orizzontale della telecamera virtuale utilizzata per riprendere il modello virtuale 3D della metastasi. Considerando che la telecamera del robot ha un sensore di 3.6X1.8mm (orizzontaleXverticale) e che la distanza focale (distanza del centro di proiezione dal sensore) vale 10 mm, determinare l'angolo di vista verticale ed orizzontale da impostare nella telecamera virtuale affinché si possa avere coerenza tra la proiezione della lesione virtuale con l'immagine della telecamera reale.

Quesito 4 (Punti 6)

La metastasi ha una forma pressoché sferica con diametro approssimativamente di 20 mm. Calcolare la minima distanza rispetto al baricentro della metastasi alla quale si può porre il centro di proiezione della telecamera per vedere in realtà aumentata l'intero perimetro della proiezione della stessa metastasi.

Quesito 5 (Punti 6)

Durante l'incisione del fegato non è possibile lasciare in loco la sonda ecografica 3D. Inoltre il fegato può essere mosso per agevolare la procedura (e questo invalida la registrazione iniziale descritta dalla matrice ${}^R T_{CT}$). Per continuare a usufruire della realtà aumentata durante l'intera procedura: 1) prima di acquisire l'immagine ecografica utilizzata per la registrazione all'istante t_0 , è applicato sulla superficie del fegato un supporto S dotato di una griglia la cui posa può essere determinata istante per istante dalla telecamera C ottenendo ${}^C T_S(t)$; 2) si può considerare il fegato come se fosse rigido; 3) poiché la telecamera è solidale ad un braccio del robot, è possibile conoscere in tempo reale la trasformazione ${}^R T_C(t)$ tra il sistema di riferimento del robot e della telecamera. Quindi, oltre alla trasformazione statica ${}^R T_{CT}$ ottenuta in fase di registrazione, è possibile conoscere istante per istante le trasformazioni ${}^R T_C(t)$ e ${}^C T_S(t)$ riportate in figura. Descrivere la procedura da eseguire, corredata dalle opportune formule algebriche, per poter determinare istante per istante la relazione ${}^C T_{CT}(t)$ che permette di portare l'immagine CT nel sistema di riferimento C al fine di ottenere una corretta visualizzazione in realtà aumentata della lesione virtuale (ottenuta dall'immagine CT) rispetto a quella reale (solidale al fegato ed a S).

