

In alcune applicazioni è chiesto al robot non solo di posizionarsi in un dato punto dello spazio, ma anche di arrivare con un tipo di interazione predefinito.

Esempi di queste applicazioni sono la finitura, e l'assemblaggio con giunti meccanici e l'assemblaggio: in questi ad esempio, il movimento di un pezzo in un foro e la differenza fra la dimensione del foro e del pezzo è molto piccola, per effettuare questa operazione con il solo controllo di posizione servirebbe una precisione ed una accuratezza così elevate da rendere il costo del robot >proporzionale.

In caso contrario si forzerebbe l'inserimento in una configurazione che non lo permette, con la possibilità di rottura di uno dei due pezzi o con la manifestazione di fastidiose vibrazioni e risonanze nella struttura meccanica del manipolatore.

Per questo si solitamente è semplice e controllare la forza che l'end-effector incontra nel posizionare il pezzo: piuttosto si incontra una resistenza trascurabile si intuisce che si è raggiunta la posizione di inserimento.

Il controllo dell'interazione può avvenire in tre modi diversi:

- 1) diminuendo la rigidità del controllo di posizione, realizzando con un comportamento elastico che faccia da deflaminazione della forza di contatto all'interazione end-effector - ambiente (e il caso del sistema forza-forza).
- 2) controllando la forza attraverso la posizione, mediante il concetto di impedenza meccanica.
- 3) realizzando un controllo diretto di forza, attraverso degli opportuni sensori che chiudano esplicitamente un anello di retroazione rispetto alla forza desiderata;

Nei metodi 1) e 2) questa non avviene e infatti si parla di controllo indiretto della forza.

CONTROLLO DI CEDevolezza

Si ricorda che la matrice di rigidità del manipolatore $K = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ & \ddots \\ 0 & k_m \end{bmatrix}$ è quella matrice che pone in relazione le deflessioni dei giunti $\Delta Q = \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \vdots \\ \Delta q_m \end{bmatrix}$ prodotto questi devono vincere una coppia resistente τ : $\tau = K \Delta Q \Rightarrow \Delta Q = K^{-1} \tau = C \tau$

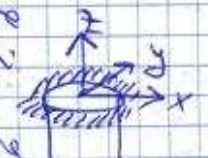
Esprimendo τ in termini della forza applicata al manipolatore $\tau = J^T F$ e Δq in termini delle deflessioni cartesiane Δx : $\Delta x = J \Delta q$ abbiamo che tale matrice, o meglio la sua inversa $K^{-1} = C$ (della matrice di cedevolezza) regola le deflessioni Δx sull'end-effector dovute a una forza F agente sull'end-effector stesso.

$$\Delta x = J \Delta q = J K^{-1} \tau = J K^{-1} J^T F$$

Ricordando che nella legge di controllo per la coppia da applicare al robot di tipo proporzionale-derivativo $\tau = K_p E + K_v \dot{E}$

K_p è detta proprio rigidità del sistema a ciclo chiuso, e l'idea del controllo di cedevolezza è di realizzare dei elementi sulla diagonale di K_p in modo che...

- nelle direzioni lungo le quali l'ambiente presenta una elevata rigidità (ad esempio le direzioni x ed y per il caso dell'uovo - mente del fuso) il sistema a ciclo chiuso presenta un'elevata precisione (bassa rigidità) in modo da far rispettare le relative finali della posizione in base alle interazioni con l'ambiente.



- nelle direzioni lungo le quali l'ambiente non impone particolari vincoli (ad esempio lungo z nel caso del fuso) il manipolatore presenta elevata rigidità in modo da fissare con precisione la posizione finale attraverso il riferimento.

CONTROLLO DI IMPEDENZA

Il controllo di impedenza si basa sul legame di impedenza meccanica generalizzata fra vettore degli spostamenti x nello spazio operativo e vettore delle forze risultanti F per l'end-effector.

Si cerca quindi attraverso un controllore a dinamica inversa nello spazio operativo di far obbedire il sistema a ciclo chiuso all'equazione dinamica

$$F = M^{\circ\circ} \ddot{e}_x + N^{\circ} \dot{e}_x + K^{\circ} e$$

dove $e_x = x_d(t) - x(t)$ è l'errore di posizione nello spazio cartesiano.

In questo la forza desiderata sull'end-effector F può essere imposta a partire dalle dinamiche desiderate $x_d(t)$.