

Uomo in area pericolosa!

Per poter valutare il grado di sicurezza di dispositivi che controllano la presenza di una persona nell'ambiente dei robot, è necessario analizzare i possibili incidenti derivanti da urti involontari tra il robot e l'operatore

MATTEO MALTOSIO*

L'

uso dei robot in ambito industriale è regolamentato da specifiche normative che ne regolano l'installazione e l'utilizzo.

All'operatore e al robot non è

attualmente consentito condividere lo stesso volume di lavoro durante il funzionamento della macchina in modalità automatica; l'intromissione di una persona nello spazio operativo del robot deve essere impedita da opportune barriere fisiche, o rilevata da sensori di sicurezza in grado di comandare l'arresto del robot. Tuttavia le attuali norme dovranno, con ogni probabilità, essere riviste e aggiornate, per tenere conto delle continue innovazioni nel campo della sensoristica e della controllistica per robot.

Le ultime ricerche in ambito industriale si stanno sempre più indirizzando verso il concetto di robot collaborativi, in grado di poter condividere con l'operatore gli stessi volumi di movimento.

Per ottenere ciò sono necessari sistemi di controllo e robot in grado di reagire alla presenza di una persona nell'ambiente, modificando la legge di moto, e, per quanto possibile, di limitare l'energia di impatto nel caso di collisione con un corpo esterno.

Per poter valutare il grado di sicurezza di questi nuovi dispositivi è necessario poter analizzare i possibili incidenti derivanti da urti involontari tra il robot e l'operatore. Lo schema qui proposto non vuole entrare nel merito

degli algoritmi e dei sensori per la rilevazione di forze esterne, ma piuttosto presentare un approccio generico per effettuare questo tipo di simulazioni attraverso la tecnologia Virtual Product Development di MSC.Software.

Descrizione delle simulazioni

La simulazione e la stima dei danni causati a una persona in seguito a una collisione trova le sue basi nelle ricerche effettuate negli ultimi decenni in ambito automobilistico, dove i crash-test sono diventati ormai un mezzo normalmente utilizzato per la valutazione della sicurezza degli autoveicoli.

Un gran numero di studi ha portato alla creazione di manichini, sempre più raffinati, impiegati nella simulazione della dinamica del corpo umano in seguito a urti. Inoltre, le sempre maggiori capacità di calcolo disponibili all'utente grazie ai calcolatori hanno permesso la creazione di modelli virtuali, prima multibody a corpi rigidi e in seguito a elementi finiti (FEM), da impiegarsi per eseguire simulazioni virtuali, con l'ovvio vantaggio di ridurre drasticamente i costi di set-up e di test permettendo analisi sempre più precise e complete.

L'analisi delle conseguenze sulla persona in seguito a impatti viene effettuata tramite la valutazione di indici, calcolati sulla base di dati cinetodinamici raccolti durante gli esperimenti, il cui fine è fornire un valore quantitativo da valutare tramite opportuni valori di riferimento. A titolo di esempio viene qui riportata la formulazione

$$HIC = \max \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} (t_2 - t_1)$$

dell'HIC (Head Injury Criterion).

dove:

$a(t)$ è l'accelerazione della testa della persona nel centro di gravità;

t_1, t_2 sono due istanti di tempo distinti ($t_1 < t_2$).

Esiste però una sostanziale differenza tra un crash-test automobilistico e la simulazione di un contatto/collisione

tra robot e operatore. Considerando l'impatto di un veicolo è fondamentale simulare la deformazione della carrozzeria: l'energia di deformazione assorbita dalla scocca durante l'urto determina l'energia 'risparmiata' agli occupanti e, quindi, le conseguenze finali su di essi. Per questo motivo è necessario l'uso di tecniche FEM (o ad elementi finiti) in grado di effettuare analisi per grandi deformazioni. Diversamente, l'energia assorbibile da un robot a seguito di un impatto (evitando quindi che questa si trasferisca sul malcapitato operatore) può essere in gran parte determinata dalla dinamica imposta ai giunti attuati dal sistema di controllo. Proprio per la necessità di garantire

sufficiente rigidezza al TCP durante il normale funzionamento del robot, le cedevolezza intrinseche della struttura e delle trasmissioni meccaniche sono da considerarsi trascurabili. L'integrazione degli algoritmi di controllo nella simulazione di un urto può quindi costituire un fattore importante. Lo schema di simulazione proposto per effettuare questo tipo di analisi è rappresentato in figura 1. I principali elementi che lo compongono sono qui di seguito descritti. All'interno dell'ambiente Adams/View di MSC.Software viene creato o importato il modello dinamico del robot. Il modello dinamico del manichino viene creato tramite LifeMOD, plugin di Adams, dedicato alla modellazione, alla sensorizzazione e all'analisi di un modello multibody del corpo

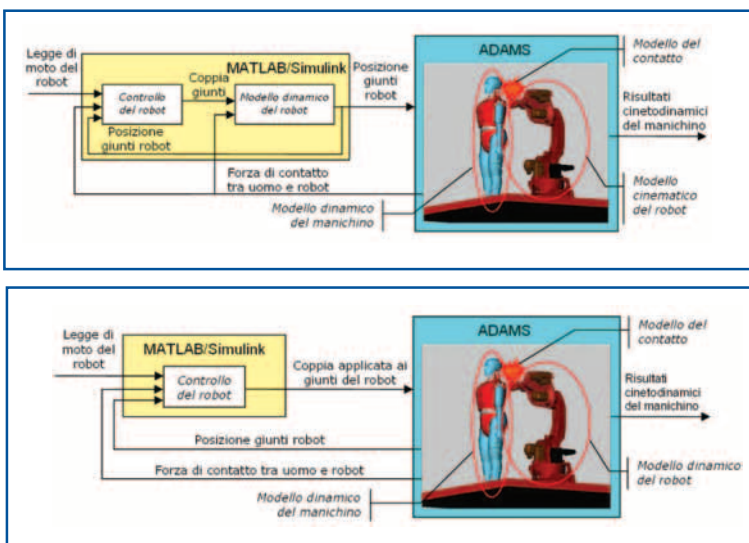


Fig. 1 - Lo schema di simulazione proposto per effettuare l'analisi

Fig. 2 - La forza di reazione viene posta in relazione alla deformazione (componente elastica) e alla velocità di deformazione (componente viscosa)

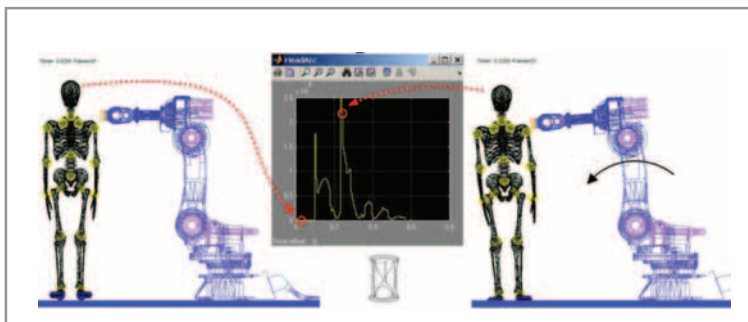
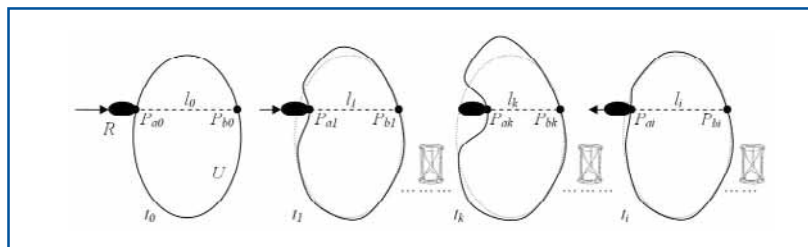


Fig. 3 - E' possibile sostituire il modello dinamico all'interno di Adams con uno schema Simulink, spesso utilizzato per modellare fenomeni quali giochi, non linearità, fenomeni d'isteresi, ecc.

umano. I giunti del modello creato per questo tipo di analisi sono caratterizzati da una risposta cinetodinamica tale da simulare quella delle articolazioni di una persona.

Tramite l'uso di Adams/Controls il modello dinamico del robot in Adams/View viene comandato in forza/coppia tramite gli opportuni algoritmi di controllo, spesso sviluppati nell'ambiente di simulazione Matlab/Simulink. Il contatto deve essere modellato in modo tale da descrivere con sufficiente dettaglio la

forza che il robot e l'operatore si scambiano durante la fase d'urto. La forza di contatto viene generalmente descritta tramite formulazioni matematiche che tengono conto del comportamento del materiale intorno alla zona d'impatto. I modelli FEM sono utili, a tal proposito, per simulare i cambiamenti della caratteristica meccanica in funzione della deformazione del materiale. Questa considerazione è tanto più vera quanto più il corpo studiato è complesso e quanto più la sua deformazione può essere ampia, quale appunto il caso di un corpo umano (tessuti dalle caratteristiche meccaniche diverse con una rigidità notevolmente inferiore e quella di un braccio robotizzato).

Nello specifico, si è scelto di schematizzare il fenomeno tramite una forza di contatto con caratteristica viscoelastica. A questo scopo vengono effettuate alcune prove di impatto a diverse velocità tramite il software LS-Dyna su un modello FEM di un manichino commercialmente disponibile, nei punti che si desidera caratterizzare; la forza di reazione, con riferimento alla figura 2, viene posta in relazione alla deformazione l_0-l_k (componente elastica) e alla velocità di deformazione $d(l_0-l_k)/dt$ (componente viscosa). Durante le simulazioni in Adams, il valore della forza di contatto viene stimato interpolando i valori ottenuti durante la campagna di test eseguita tramite LS-Dyna. Come stima della deformazione del manichino, non essendo questa misurabile in un modello a corpi rigidi, viene valutata la compenetrazione dei solidi che rappresentano le parti in contatto tra il modello del robot e del manichino, potendosi normalmente considerare rigida la struttura meccanica del robot. Una variante dello schema proposto viene riportata in figura 3: è possibile sostituire il modello dinamico all'interno di Adams con uno schema Simulink, spesso utilizzato per modellare fenomeni quali giochi, non linearità, fenomeni d'isteresi, ecc. In questo caso la geometria del robot viene controllata in posizione tramite le coordinate dei giunti calcolate in Simulink, mentre il solutore di Adams viene utilizzato per stimare la forza di contatto e per risolvere la dinamica del manichino.

Sviluppi futuri

Ulteriori applicazioni dello schema di simulazione proposto possono essere trovate, ad esempio, in ambito biomedicale: attuando, tramite tecnologia MOCAP (MOtion CAPture), il modello virtuale umano generato da LifeMOD, è possibile simulare il funzionamento di macchine per la riabilitazione controllate attivamente. La macchina e il controllo possono quindi essere sviluppati sulla base delle risposte dinamiche del manichino. ■

Note

*Matteo Maltosio, Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milano.

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dal VI Programma Quadro della Commissione Europea, nell'ambito del progetto integrato SMERobot (contratto n° 011838).