

Tecniche di simulazione innovative basate su interfacce aptiche per il training in chirurgia

Maurizio de Pascale

Robotics and Systems Lab
Università di Siena

Il presente progetto è rivolto allo sviluppo di tecniche di simulazione innovative per applicazioni mediche avanzate. In particolare si intende sviluppare alcune metodologie e tecniche di simulazione per l'impiego delle interfacce aptiche nel rendering cinestetico e tattile di immagini mediche 3D finalizzato al potenziamento della diagnostica ed all'addestramento alla chirurgia. Lo sviluppo di importanti innovazioni tecnologiche nei settori della robotica, elettronica ed information technology sta cambiando profondamente la professione del medico. Nel campo della robotica ad esempio sono stati sviluppati sistemi che stanno rivoluzionando la chirurgia laparoscopica, sistemi robotici in grado di sostituire quasi completamente le funzionalità di un arto in caso di amputazione, sistemi di realtà virtuale in grado di simulare interventi chirurgici per il training e così via. Il presente progetto è da inquadrarsi in questo ultimo ambito, che appare scientificamente molto stimolante e con un potenziale economico e sociale molto alto.

A causa della sua natura profondamente interdisciplinare, la ricerca in questa area è molto complessa e richiede una stretta collaborazione fra esperti appartenenti ad aree molto diverse, quali la medicina, la robotica, l'elettronica. Il presente progetto è parte di una ricerca in via di sviluppo presso l'Università di Siena (www.fetouch.org).

L'obiettivo del progetto proposto è duplice. Il **primo obiettivo** è quello di sviluppare metodologie ed algoritmi per un sistema visio-tattile prototipale basato sulle interfacce aptiche in grado di interagire con modelli tridimensionali di oggetti deformabili. Il **secondo obiettivo** è quello di dimostrare come tale sistema possa essere impiegato in vari settori della medicina.

Il training in chirurgia è essenziale sia per gli studenti di medicina che per i chirurghi che vantano anni di esperienza. Oggigiorno il training di un chirurgo è spesso basato sui pazienti delle corsie e quindi risulta essere di difficile programmazione anzi è spesso del tutto casuale. In altri termini è molto difficile poter pianificare l'addestramento dei chirurghi basandosi sui pazienti delle corsie di un ospedale. Spesso si ricorre al training in sala operatoria con cavie animali che è comunque poco efficace oltre che eticamente discutibile. Una soluzione sicura ed efficace è quella di sostituire i pazienti con simulazioni 'sacrificabili'. Recentemente molti centri di ricerca, come quello di Strasburgo, stanno cominciando a sviluppare simulatori in grado di riprodurre digitalmente i siti chirurgici e le varie procedure di intervento. Con questi nuovi strumenti di simulazione si aprono nuove prospettive al training in chirurgia che può così essere assistito da ambienti virtuali realistici per l'addestramento.

Lo sviluppo delle tecnologie informatiche ha reso possibile l'impiego di simulazioni virtuali in molte applicazioni mediche. Alcune centri di ricerca stanno investendo molte risorse nella realizzazione di prodotti di questo tipo, alcuni dei quali si sono già trasformati in prodotti ad alto contenuto tecnologico (ad esempio il *LapSim* di SurgicalScience).

Allo stato attuale però questi prodotti sono in grado di fornire soltanto un'esperienza sensoriale limitata. In particolare questi sistemi si limitano a simulare gli interventi chirurgici solo tramite le sensazioni visive. Essi sono molto efficienti e sono in grado di riprodurre con elevato realismo visivo il sito chirurgico. Il loro limite è che non sono in grado di fornire sensazioni tattili durante la simulazione. Si noti che l'interazione tattile è spesso indispensabile per una formazione realmente efficace del chirurgo.

La recente comparsa sul mercato di dispositivi aptici rende oggi possibile ovviare a questa mancanza. Un'interfaccia aptica è un complesso sistema elettromeccanico che, grazie ad una serie di sensori e di attuatori, è in grado non solo di leggere posizioni le posizioni della mano nell'ambiete virtuale, come un comune dispositivo di input, ma di esercitare delle forze e quindi simulare interazioni tattili (aptiche). In altri termini impugnando un dispositivo aptico è possibile percepire la presenza ed interagire con oggetti virtuali.



SensAble PHANToM Device



Deformable Demo 0.3

Le interfacce aptiche [1-2] più note sono il PHANToM prodotto dalla americana SensAble (www.sensable.com) e il Delta prodotto dall'elvetica ForceDimension (www.forcedimension.com).

L'utilizzo di interfacce aptiche, se da un lato aggiunge grande realismo alle simulazioni virtuali, dall'altro porta con se' una vasta serie di problematiche.

I modelli fisici approssimati, che in simulazioni puramente visive forniscono risultati grafici pienamente soddisfacenti ad un basso costo computazionale, non permettono infatti un corretto calcolo delle reazioni vincolari e delle forze di attrito necessarie per un corretto rendering aptico. Diviene pertanto obbligatorio l'uso di modelli realistici [3], inevitabilmente più complessi e difficili da stabilizzare.

La necessità di maggiore realismo si riflette, allo stesso modo, nella gestione delle collisioni, richiedendo una precisione di gran lunga maggiore a quanto considerato soddisfacente per una simulazione non aptica, e quindi l'uso di algoritmi computazionalmente più complessi.

A questo già cospicuo aumento di complessità si va ad aggiungere un enorme aumento nella frequenza di aggiornamento necessaria: se una simulazione visiva convincente gira tipicamente tra i 30 ed i 60Hz, la frequenza necessaria a rendere realistico il rendering aptico è di 1000Hz [4].

Da un punto di vista puramente computazionale una simulazione visio aptica è quindi enorme più complessa di una mera rappresentazione grafica, e a ciò si va ad aggiungere anche una mancanza di soluzioni: se in letteratura la rappresentazione grafica di oggetti deformabili e di liquidi è argomento abbondantemente affrontato, non si può dire altrettanto per il rendering aptico. La sola interazione con oggetti rigidi può infatti considerarsi pienamente trattata, mentre solo poco è stato fatto riguardo gli oggetti deformabili e quasi nulla per l'interazione con liquidi.

Questo progetto prevede la realizzazione di un simulatore visio aptico ad alto realismo sia grafico che tattile, in grado di simulare interazioni tattili con oggetti deformabili che simulino realisticamente il tatto con interi organi. Simulazioni di questo tipo sono intrinsecamente molto onerose. Per rendere possibile l'esecuzione di un tale tipo di simulazione su calcolatori di tipo commerciale si prevede di utilizzare le risorse fornite dalle GPU di ultime generazione, recentemente immesse sul mercato.

L'uso di GPU programmabili rende infatti possibile l'uso di grafica tridimensionale fotorealistica (con qualità fino a pochi mesi fa' ottenibile solo con computazioni off-line) non solo in tempo reale ma anche e soprattutto a costo computazionale quasi nullo per la CPU. E' previsto quindi l'utilizzo delle più moderne tecniche di rendering grafico per ottenere risultati visivi di qualità cinematografica come illuminazione ed ombreggiature realistiche o riflessi sugli strumenti e trasparenze o distorsioni da parte dei liquidi.

All'altissima fedeltà visiva verrà affiancato un altrettanto realistico rendering aptico: così come gli algoritmi grafici anche parte degli algoritmi aptici, fatto questo completamente originale ed innovativo, verranno eseguiti sulla GPU.

Gli algoritmi che verranno utilizzati per il rendering aptico saranno progettati esplicitamente per funzionare su comuni mesh triangolari e saranno affiancabili al normale rendering grafico permettendo quindi l'uso di qualsiasi tecnica ed addirittura l'utilizzo di qualsiasi shader grafico tramite semplici modifiche (soprattutto utilizzando linguaggi di alto livello come nVidia Cg [5] o Microsoft HLSL).

Per la simulazione degli oggetti deformabili verranno utilizzati algoritmi, totalmente originali, sviluppati negli ultimi mesi presso l'Università degli studi di Siena dal gruppo di ricerca di cui il candidato fa parte. L'utilizzo di queste tecnologie ha già reso possibile risultati di realismo visivo-aptico senza precedenti, mostrati alla comunità scientifica con la demo Deformable 0.3 presentata ad *EuroHaptics 2003*, che ha riscosso l'interesse dei produttori di interfacce aptiche e di gruppi di ricerca internazionali, ed i cui più recenti sviluppi saranno mostrati in anteprima nel corso dell'*Eleventh International Symposium of Robotics Research* che si terrà a Siena (Ottobre 2003).

Maurizio de Pascale

Robotics & Systems Lab
Università di Siena

Riferimenti

- [1] Sensable Technologies, "*The phantom system*" www.sensable.com
- [2] Force Dimension, "*The delta system*" www.forcedimension.com
- [3] R. Balaniuk, J.K. Salisbury "*Dynamic simulation of deformable objects using long elements method*" in Haptic Workshop at IEEE Virtual Reality 2002 May 2002
- [4] R. J. Adams, B. Hannaford "*Stable Haptic Interaction with Virtual Environments*" IEEE Trans. Rob. Autom., 15(3), June 1999
- [5] Bill Mark, Steve Glanville, Kurt Akeley, and Mark Kilgard "*Cg: A system for programming graphics hardware in a C-like language*" SIGGRAPH 2003