

Simulazione di Esami Radiologici mediante Applicazione della Tecnologia CUDA

*N. Balossino, D. Cavagnino, M. Lucenteforte, S. Rabellino, S. Vaglianti
Dipartimento di Informatica
Università degli Studi di Torino
nello.balossino@di.unito.it*

Un sistema di addestramento come quello per gli operatori sanitari radiologici acquisisce maggior valenza quando vengano impiegate, a diversi livelli di sofisticazione, le tecnologie della programmazione parallela. Scopo del lavoro svolto è stato la trasformazione del sistema ViRiS (Virtual Radiologic Image Simulator è un simulatore di un'apparecchiatura radiologica [1]), nato per la simulazione di un atto radiologico, in un ambiente interattivo in grado di offrire all'operatore la sensazione di agire in tempo reale in una sala radiologica, riducendo significativamente i tempi di esecuzione. L'aumento delle prestazioni è stato ottenuto sfruttando i nuovi hardware multicore graphics processing units (GPU) e l'ambiente di programmazione Compute Unified Device Architecture (CUDA [2]). La validità del sistema consiste nella possibilità per gli operatori di perfezionare la tecnica radiologica, evitando di esporre il paziente a dosi di radiazioni inutili ai fini dell'esame diagnostico.

1. Introduzione

Sarà illustrata l'architettura di funzionamento di un'applicazione fortemente parallelizzata utilizzando l'ambiente CUDA ed indirizzata alla simulazione interattiva 3D di una unità operativa di radiologia virtuale. Lo scopo è di fornire agli operatori sanitari che lavorano in tale ambito un raffinato strumento di addestramento. Il documento radiografico virtuale è ottenuto simulando l'evento reale in cui il paziente è rappresentato da un modello tridimensionale densitometrico, realizzato mediante l'acquisizione di un insieme di tomografie computerizzate (TC) di soggetti tipo, a cui viene affiancato un modello del sistema sorgente-sensore radiografico. In una precedente fase di ricerca, alcuni degli autori hanno collaborato alla realizzazione di un simulatore di apparecchiatura radiologica denominata ViRiS, illustrato in convegni e riportato su riviste del settore. In entrambe le occasioni sono state messe in luce le limitazioni delle prestazioni e in particolare non solo il limitato livello di interattività ma principalmente i lunghi tempi di creazione dell'immagine radiologica. Le negatività suddette rendono il sistema ViRiS inutilizzabile in tempo reale come richiesto da un'applicazione che si ponga l'obiettivo di essere

uno strumento didattico. Fermo restando il contenuto prettamente medico-radiologico che non è di competenza degli autori, il sistema ViRiS è stato reingegnerizzato al fine di sfruttare la possibilità di parallelizzazione delle operazioni di rendering, vale a dire della ricostruzione e visualizzazione del risultato di un atto radiologico, in modo da fornire un ambiente che presenti le caratteristiche del tempo reale per quanto riguarda le elaborazioni, di un discreto senso di immersione e di interattività, così come avverrebbe trovandosi di fronte a una apparecchiatura radiologica reale.

L'ambiente CUDA permette di sfruttare il parallelismo insito in schede grafiche di ultima generazione (GPU), la cui struttura si basa sulla presenza di un elevato numero di unità di elaborazione (core) e di una adeguata quantità di memoria ad alta velocità (RAM): questa caratteristica permette di ridurre i tempi di rendering tridimensionale dello spazio di interesse, cioè della sala radiologica e del posizionamento del blocco sorgente-rilevatore, coerentemente al tipo di acquisizione che si voglia realizzare.

2.L'architettura del sistema

L'architettura del sistema dal punto di vista del funzionamento è riportato nel Data Flow Diagram di figura 1. Nel diagramma è evidenziata la separazione tra la parte di esecuzione seriale all'interno della CPU del calcolatore, rispetto all'esecuzione parallela sulle GPU presenti nel sistema e che consentono lo sfruttamento della parallelizzazione dell'algoritmo di rendering della radiografia.

Analizziamo ora le unità di elaborazione:

- l'Engine 3D ha lo scopo di rappresentare la scena 3D; questa consiste nel posizionamento del paziente di fronte all'apparecchiatura radiogena in una postura che deve ricalcare quella definita dagli esperti del dominio come opportuna per il segmento anatomico che si vuole sottoporre ad indagine. L'unità deve disporre in input dei parametri che caratterizzano la scena 3D (fantoccio antropomorfo) nonché del modello dell'esame radiologico (tessuti interni del fantoccio);
- l'Engine 2D svolge il compito di visualizzazione dell'istogramma dei livelli di luminanza, della LUT di modifica della distribuzione, dell'anteprima dell'immagine in bassa risoluzione, che anticipa il risultato radiologico, nonché della stessa quando sia stata sottoposta all'applicazione di una LUT;
- il Controllo della Simulazione svolge il compito di acquisire ed interpretare i dati di input immessi dall'utente e pilotare di conseguenza la simulazione, aggiornando le visualizzazioni 2D e 3D; queste informazioni vengono inserite mediante l'utilizzo di una tastiera e di un joypad.

Simulazione di Esami Radiologici mediante Applicazione della Tecnologia CUDA

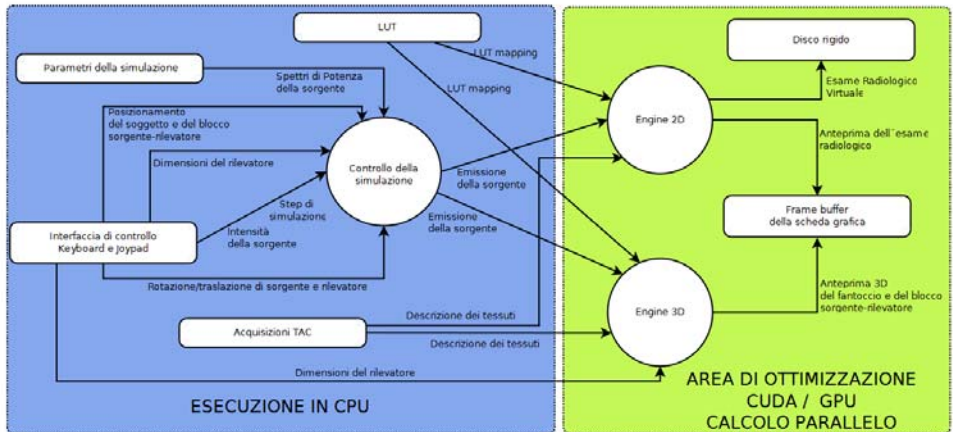


Figura 1 - Data Flow Diagram del sistema

L'aspetto dell'immagine radiografica usata per scopi diagnostici dipenderà sia dalle caratteristiche del paziente, cioè dalle iterazioni tra i raggi X e i diversi tessuti del paziente, sia dalle caratteristiche dei sistemi di rilevazione dei raggi X utilizzati.

Occorre ricordare alcune regole pratiche nell'acquisizione di un'immagine radiografica:

- per ottenere la minima dose al paziente e una buona qualità dell'immagine occorre usare il più piccolo valore di mA (diminuisce così la dose al paziente) e il più alto valore possibile keV (influisce sulla produzione di immagini con maggior dettaglio);
- si dovrebbe utilizzare la più stretta collimazione possibile, al fine di ridurre la radiazione diffusa ed evidenziare soltanto le parti rilevanti del paziente esposte ai raggi.

Da quanto detto è evidente che l'interazione all'interno del sistema virtuale che simuli un'apparecchiatura radiologica deve tener conto delle indicazioni di cui sopra e disporre di un fantoccio virtuale che fornisca i dati relativi ai tessuti oggetto della analisi; essi possono provenire da fonti quali immagini TAC di pazienti reali, da immagini di un fantoccio antropomorfo oppure da immagini che rappresentino un oggetto fisico le cui caratteristiche siano utili ai fini diagnostici.

L'utente del sistema di simulazione può variare a piacimento la posizione del blocco sorgente-rivelatore rispetto al paziente secondo i tre assi di rotazione, la distanza tra emettitore e lastra virtuale ed infine la distanza tra emettitore e paziente.

Anche i parametri di emissione della sorgente radiogena, quali lo spettro di radiazione ed i valori di controllo dell'esposizione, sono direttamente sotto il controllo dell'utente che può sperimentare diverse configurazioni dell'esame radiologico e verificarne l'efficacia in pochi istanti. Proprio questa immediatezza di risultati è l'aspetto più importante nell'esperienza proposta all'operatore di radiologia, che può estendere le sue capacità di analisi delle situazioni

diagnostiche senza coinvolgere soggetti reali. L'estrema velocità nella produzione dei risultati simulati consente di effettuare un numero di prove elevato, facilitando il convergere del percorso di affinamento alla ricerca dei parametri ottimali di esposizione del paziente.

3.La tecnologia CUDA

CUDA è un ambiente di sviluppo e programmazione che consente la scrittura e l'esecuzione di algoritmi che presentano un elevato livello di parallelismo. CUDA è stato sviluppato da NVIDIA [3] per essere eseguito sulle GPU (Graphics Processing Unit) delle sue schede video. Supporta alcuni dei principali linguaggi di programmazione come ad esempio C e MATLAB.

Una GPU è costituita da un elevato numero di core (unità di elaborazione in grado di effettuare operazioni semplici) con associata una memoria RAM ad alte prestazioni. Nel caso di problemi aventi una struttura Single Instruction Multiple Data (SIMD), in cui molti dati devono essere sottoposti alla stessa elaborazione, questi possono essere risolti utilizzando in parallelo le risorse di calcolo delle GPU al fine di ridurre drasticamente i tempi di calcolo.

4.L'applicazione

Seguendo il paradigma di calcolo parallelo suggerito da CUDA, l'applicazione inizialmente provvede a leggere il set di immagini provenienti dalla TAC, in cui ogni pixel fornisce l'indicazione della densità del voxel e quindi del tessuto rappresentato, e provvede a caricare la matrice tridimensionale del fantoccio all'interno della memoria della scheda video.

Il processo parte da una configurazione iniziale standard di posizionamento del blocco sorgente-rivelatore ed inizia a fornire all'operatore una anteprima della radiografia, utilizzando un numero ridotto di passi di scansione, al fine di ottenere una estrema velocità di visualizzazione (maggiore di 25 fotogrammi al secondo) per consentire una reale interattività con il sistema di posizionamento dello strumento radiografico. Per questa anteprima ci si avvale del calcolo attraverso la GPU, in cui ogni singolo pixel dell'anteprima viene calcolato autonomamente secondo lo schema di calcolo, detto kernel, inserito nella GPU. Il kernel sarà eseguito per ogni pixel e, sulla base del numero di core disponibili, ogni pixel sarà calcolato in autonomia da un core.

L'algoritmo all'interno del kernel consente di valutare la luminosità risultante di ogni pixel calcolata sulla retta che lo congiunge con la sorgente radiogena (ipotizzata puntiforme per semplicità). La retta viene suddivisa in K segmenti (step) e per ciascun segmento viene valutata l'intersezione con i voxel del modello tridimensionale, ciascuno dei quali determinerà una attenuazione del segnale in base alla densità; questa modalità di calcolo dell'immagine risultante richiama il metodo di ray-casting noto dalla computer graphics.

Una volta determinati dall'operatore tutti i parametri dell'esame, è possibile ottenere la radiografia simulata, alla risoluzione scelta che, data l'elevata risoluzione, sarà salvata all'interno di un file su disco per una successiva analisi con strumenti di lettura idonei (monitor ad alta risoluzione e dinamica estesa). Il

Simulazione di Esami Radiologici mediante Applicazione della Tecnologia CUDA
procedimento di calcolo della radiografia avverrà in modo simile a quanto descritto per l'anteprima, ma il numero di pixel sarà molto più elevato.

A seguire, a titolo di esempio, due screenshot dell'applicazione:

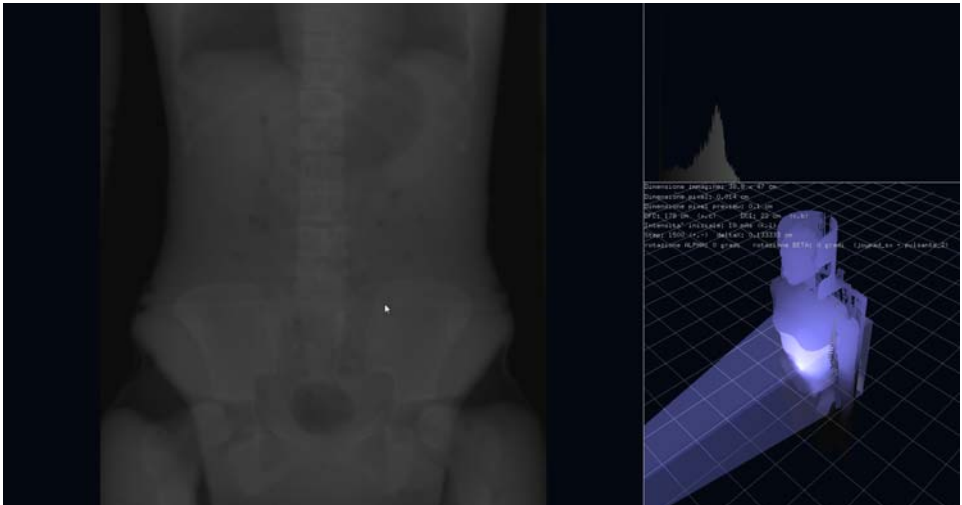


Figura 2 - Immagine frontale

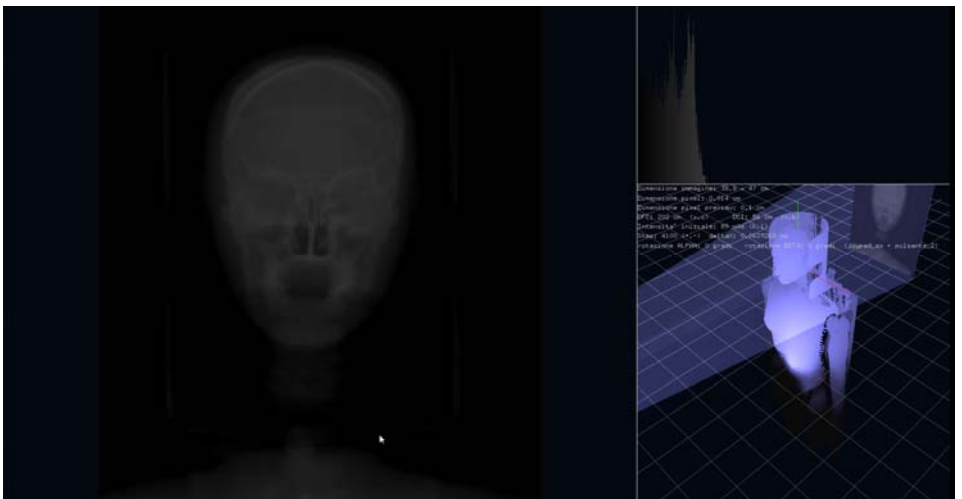


Figura 3 - Spostamento del blocco sorgente-rilevatore

L'applicazione è stata utilizzata su un computer avente la seguente configurazione:

- NVIDIA GTX 460 (architettura Fermi 2.1) con 336 core CUDA
- Clock del bus della scheda grafica: 800 MHz
- Clock processori grafici 1600 MHz
- Memoria RAM scheda grafica 1024 Mbyte DDR5 con bus a 256 bit

- Processore di sistema: CPU Intel CoreDUO a 3600 MHz
- Memoria RAM sistema DDR2 con bus a 400 MHz

Le prestazioni sono state misurate caricando un fantoccio costituito da 400 immagini TC ad alta risoluzione (512x512 con dimensione del voxel di 0.001 cm³) ed impostando la simulazione con i seguenti parametri:

- dimensione pixel anteprima = 0.1 cm
- dimensione pixel radiografia = 0.014 cm
- dimensione rivelatore 38.8x47 cm
- numero step anteprima = 1500 passi
- numero step radiografia = 5000 passi

si ottengono i seguenti risultati:

- tempo elaborazione anteprima: 0.058 secondi
- tempo di elaborazione radiografia GPU: 7.5 secondi
- tempo elaborazione CPU: 2110 secondi (circa 35 minuti)

5. Conclusioni

Come i risultati analitici evidenziano, l'utilizzo delle architetture parallele basate su GPU consente di ottenere dei reali benefici nei tempi di esecuzione. Il modello fisico adottato è semplificato rispetto al caso reale al fine di rendere l'algoritmo di generazione dell'immagine radiografica facilmente parallelizzabile. L'evoluzione del modello dovrà considerare che nella realtà l'interazione dei raggi X con la materia è più complessa e passare dall'attuale paradigma deterministico ad una visione integrata con paradigmi di tipo probabilistico [4].

6. Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il dott. Osvaldo Rampado per la collaborazione prestata durante lo sviluppo dell'applicazione.

7. Bibliografia e Sitografia

[1] Balossino N., Bianchi S. D., Lucenteforte M., Rabellino S., Rampado O., Ropolo R., Scapola G., "A software tool for the simulation of a digital X-ray imaging system", INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED RADIOLOGY AND SURGERY, Volume 3, Supplement 1, 2008, pages 351-352.

[2] <http://www.nvidia.com/cuda>, 2011.

[3] <http://www.nvidia.com>, 2011.

[4] Badal A., Badano A., "Fast Simulation of Radiographic Images Using a Monte Carlo X-Ray Transport Algorithm Implemented in CUDA", GPU Computing Gems Emerald Edition By Wen-mei W. Hwu, Elsevier 2011, pages 813-829.