

CIRCUITI QUANTISTICI PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVE TECNICHE DI IMAGING DIAGNOSTICO

Massimo Panella

Dipartimento INFO-COM, Università di Roma “La Sapienza”
Via Eudossiana 18, 00184, Roma

Tra le nanotecnologie applicate alla medicina e alla biologia molecolare, i quantum dots (QD) rivestono un ruolo di particolare interesse. Un QD è una nanoparticella di semiconduttore fra i 2 e i 10 nm che, a causa del confinamento quantistico, assorbe ed emette luce con grande efficienza e con un colore che dipende dalle sue dimensioni. I QD hanno diverse applicazioni nel campo della diagnostica molecolare (basata su cellule, DNA, etc.), miranti soprattutto alla realizzazione di nuove tecniche di imaging ottico basate sulla localizzazione di QD in corrispondenza di molecole di interesse, per es. tumori, per ottenerne il rilevamento attraverso semplice illuminazione piuttosto che attraverso la diagnostica nucleare o magnetica. Inoltre, nel futuro, la localizzazione di molecole attraverso QD potrà essere usata anche a fini terapeutici.

I sistemi basati sui QD devono essere progettati tenendo conto della dualità onda-particella della teoria quantistica. Ciò ha rilevanti implicazioni, soprattutto su hardware e software che elaborano l'enorme mole di informazioni proveniente da questi nanodispositivi. La presente attività di ricerca sviluppa in modo bilanciato i due aspetti dell'hardware e del software dei sistemi di calcolo quantistici. Nel primo caso il problema è costituito dall'entanglement, per cui la dimensione degli operatori computazionali è esponenziale nel numero di bit considerati. Bisogna quindi prevedere un hardware dedicato, in quanto la complessità del problema non è affrontabile utilizzando normali workstation di tipo commerciale. Si è dunque cercato di estendere al caso quantistico il linguaggio di simulazione dell'hardware classico HDL (Hardware Description Language), evitando il problema posto dall'entanglement mediante la tecnica del 'bubble-qubit' [1]. La simulazione dei circuiti quantistici attraverso tale software è avvenuta utilizzando schede FPGA, DSP e GP-GPU, le quali permettono il calcolo massivo e parallelo implicato nella simulazione del sistema quantistico. Per quanto riguarda il software, prendendo in considerazione i QD come particolari circuiti quantistici, il problema è quello di realizzare e validare dei modelli comportamentali che permettano di controllare, ai fini diagnostici e terapeutici, le interazioni tra nanodispositivi sintetici e tessuti biologici reali.

Nella presente ricerca si cerca di sviluppare modelli che descrivano l'evoluzione delle aggregazioni di QD quando interagenti con tessuti biologici reali. L'obiettivo principale è quindi valutare la possibilità di utilizzare in tale contesto tecniche ottimizzate di modellamento circuitale, considerando i QD come particolari gate quantistici e utilizzando paradigmi di calcolo evolutivo, in particolare gli algoritmi genetici. L'utilizzo del calcolo quantistico è in questo caso duplice: da un lato nel modello di QD; dall'altro nella possibilità di considerare contemporaneamente diverse soluzioni al problema proposto, ciascuna delle quali associata a un individuo della popolazione considerata, sfruttando anche in questo caso la proprietà del calcolo quantistico di usare una sovrapposizione di stati quantici in numero esponenziale. A tale proposito, la ricerca è stata indirizzata verso due tematiche principali:

- esistenza di un'analogia tra le procedure di ottimizzazione, basate sull'imitazione di fenomeni naturali sia fisici sia biologici, e quelle che possono essere sviluppate sulla base della teoria quantistica. La differenza tra i due casi sta nel livello dei fenomeni presi in considerazione e cioè un livello macroscopico nel primo caso e un livello microscopico nel secondo caso. In ambedue i casi si imita la natura con lo scopo di avvantaggiarsene per il raggiungimento di procedure efficaci di ottimizzazione;
- sviluppo di procedure di ottimizzazione basate sulle proprietà più caratteristiche del livello microscopico. Le suddette procedure si diversificano in base all'applicazione presa in considerazione.

La prima tematica è stata approfondita evidenziando la possibilità di sviluppare un procedimento di ottimizzazione capace d'individuare la soluzione ottima in modo esaustivo [2], [3]. Per quanto riguarda la seconda tematica, i problemi considerati hanno riguardato l'intelligenza artificiale, in particolare reti neurali, neurofuzzy e algoritmi evolutivi [4]–[8]. In tutti i casi l'oggetto d'interesse è stato rappresentato mediante una stringa di bit. Nel dominio quantistico quest'ultima diviene una stringa di qubit in grado di rappresentare simultaneamente tutte le versioni possibili dell'oggetto d'interesse.

Per quanto concerne ulteriori possibilità di sviluppo e innovazione, l'approccio proposto, basato sull'utilizzo di QD, potrebbe essere esteso e ampliato a una più ampia sensoristica su nanoscala. La miniaturizzazione di certi sensori, per ecografia e radiografia non distruttiva o non invasiva di vario genere, può infatti fornire diversi vantaggi. Si valuteranno, in particolare, antenne intelligenti e filtri digitali miniaturizzati per UWB a nanoscala, basati quindi su analisi radiometriche a piccolissima lunghezza d'onda e altissima risoluzione spaziale, nelle quali l'approccio innovativo basato sul calcolo quantistico dovrà fondersi con le tecniche più tradizionali di imaging e array processing.

Referimenti

- [1] M. Udrescu, L. Prodan e M. Vladutiu, "The bubble bit technique as improvement of HDL-based quantum circuits simulation", *IEEE 38-th Annual Simulation Symposium*, pp. 217-224, San Diego (USA), Apr. 2005.
- [2] M. Panella e G. Martinelli, "Binary Neuro-Fuzzy Classifiers Trained by Nonlinear Quantum Circuits", *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 4578, pp. 237-244, ISSN: 0302-9743, 2007.
- [3] M. Panella e G. Martinelli, "Neurofuzzy Networks With Nonlinear Quantum Learning", *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 698-710, ISSN: 1063-6706, 2009.
- [4] M. Panella, F. Barcellona e G. Orlandi, "Prediction of Biological Time Series by Genetic Embedding", *International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics (ISBB2009)*, pp. 41-44, ISBN: 978-0-9807314-0-8, Melbourne (Australia), Dic. 2009.
- [5] M. Panella e G. Martinelli, "Neural Networks with Quantum Architecture and Quantum Learning", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, ISSN: 0098-9886, in stampa (DOI: 10.1002/cta.619).
- [6] M. Panella, "Quantum Circuits and Algorithms for Computational Intelligence", capitolo invitato sul libro: *Quantum Entanglement*, Nova Publishers, U.S.A., in stampa.
- [7] G. Martinelli e M. Panella, "From Evolutionary to Quantum Optimization", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, sottomesso a procedura di revisione.
- [8] M. Panella, "Advances in Biological Time Series Prediction by Neural Networks", *Biomedical Signal Processing and Control*, sottomesso a procedura di revisione.