

Rilevamento quantistico dei bordi

Manuel Di Agostino *Università degli studi di Parma*
Parma, Italia

manuel.diagostino@studenti.unipr.it

Leonardo Ongari *Università degli studi di Parma*
Cremona, Italia

leonardo.ongari@studenti.unipr.it

Sommario—Il rilevamento dei bordi è un processo fondamentale nell'estrazione delle caratteristiche di un'immagine ed è ampiamente utilizzato per analizzare la struttura degli oggetti rappresentati. Tuttavia, con l'aumento della risoluzione delle immagini, i metodi classici affrontano significative sfide computazionali a causa delle operazioni pixel-per-pixel necessarie. Il *Quantum Image Processing* (QIP), offre il potenziale per accelerazioni esponenziali in determinati scenari, sfruttando algoritmi e rappresentazioni quantistici. Questo articolo esplora l'applicazione dell'algoritmo *Quantum Hadamard Edge Detection* (QHED), implementato utilizzando la rappresentazione *Quantum Probability Image Encoding* (QPIE). Utilizzando i principi quantistici e il framework Qiskit, si analizzano i vantaggi e le prospettive di questo nuovo approccio per il rilevamento dei bordi.

Keywords—Rilevamento dei bordi, Quantum computing, Sobel.

I. INTRODUZIONE

L'identificazione dei bordi è una tecnica fondamentale nell'elaborazione delle immagini, utilizzata per individuare i contorni degli oggetti e le variazioni di intensità in una scena. Questa metodologia rappresenta una componente cruciale in numerosi ambiti, dalla computer vision alla robotica, fino all'analisi medica delle immagini. Nonostante i progressi significativi nell'elaborazione classica delle immagini, l'aumento della risoluzione e della complessità dei dati visivi ha portato a sfide computazionali sempre maggiori, rendendo spesso i metodi tradizionali onerosi in termini di tempo e risorse.

Nei primi anni '60, i filtri di Sobel [1] e Prewitt furono introdotti come i primi metodi strutturati per il rilevamento dei bordi. Entrambi basati su operatori convolutivi, questi algoritmi utilizzano maschere discrete per approssimare il gradiente di intensità in un'immagine, rilevando così variazioni significative nei livelli di grigio. Sebbene semplici ed efficienti, essi risultano sensibili al rumore e con conseguente difficoltà nel gestire bordi sfumati. Negli anni '80, l'algoritmo di Canny [2] rappresentò una svolta significativa grazie all'introduzione di un approccio più sofisticato al rilevamento dei bordi; ancora oggi, rimane uno tra i metodi più utilizzati. Con l'avanzare della tecnologia e l'aumento della potenza computazionale, il rilevamento dei bordi ha beneficiato dell'utilizzo di tecniche basate sull'intelligenza artificiale, come le *reti neurali convoluzionali* (CNN). Soltanto recentemente l'elaborazione quantistica delle immagini ha iniziato a emergere come un campo innovativo e promettente, aprendo la strada a potenziali accelerazioni esponenziali.

In questo progetto sarà presentata un'applicazione del *Quantum Hadamard Edge Detection* (QHED) [3]. La Sez. II offre una panoramica sulle attuali tecniche di rappresentazione quantistica delle immagini e una disamina delle tecniche utilizzate nell'esperimento. La Sez. III è invece dedicata all'implementazione della soluzione proposta, utilizzando la libreria Qiskit [4]. In ultimo, sono analizzati i risultati (Sez. IV).

II. BACKGROUND

III. IMPLEMENTAZIONE

IV. IMPLEMENTAZIONE

V. IMPLEMENTAZIONE

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] I. Sobel and G. Feldman, "An isotropic 3x3 image gradient operator," 1968, presented at the Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL). [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/281104656_An_Isotropic_3x3_Image_Gradient_Operator
- [2] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679–698, 1986.
- [3] X.-W. Yao, H. Wang, Z. Liao, M.-C. Chen, J. Pan, J. Li, K. Zhang, X. Lin, Z. Wang, Z. Luo, W. Zheng, J. Li, M. Zhao, X. Peng, and D. Suter, "Quantum image processing and its application to edge detection: Theory and experiment," *Physical Review X*, vol. 7, no. 3, Sep. 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevX.7.031041>
- [4] Qiskit Development Team, "Qiskit: An open-source framework for quantum computing," <https://qiskit.org/>, 2021, accessed: 2025-01-17. [Online]. Available: <https://qiskit.org/>