

Circuito Paramétrico Cuántico para la Evaluación de Riesgo de Carteras de Inversión con 110 Qubits en Hardware Cuántico Real

Ingeniería de Software

AUTORES

Juan Pablo Braña juan.brana@uai.edu.ar
Alejandra M.J. Litterio alejandra.litterio@uai.edu.ar
Alejandro Fernández alejandro.fernandez@uai.edu.ar
Lucas Jung lucasmanuel.jung@alumnos.uai.edu.ar
Rim Chebbaki rim@minerva.edu
Filiación: Universidad Abierta Interamericana

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Ingeniería de Software

PALABRAS CLAVE

Computación Cuántica, Hardware Cuántico Real, IBM Quantum, Riesgo Financiero, Compuertas Paramétricas, Entrelazamiento, Ventaja Cuántica, Estimación de Amplitud, Portafolios de Inversión

CONTEXTO

El presente proyecto está radicado en el Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), dependiente de la Facultad de Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana. El mismo se encuentra inserto en la línea de investigación "Ingeniería de Software". El financiamiento es otorgado por la Universidad Abierta Interamericana.

INTRODUCCIÓN Y PLANTEO DEL PROBLEMA

La gestión cuantitativa del riesgo en carteras de inversión exige modelar de manera integrada el riesgo individual de cada activo y su propagación sistémica a través de las correlaciones. Los enfoques clásicos, basados en matrices de covarianza, asumen una dinámica lineal que puede subestimar fenómenos de contagio no lineales, especialmente en contextos de crisis donde las correlaciones se intensifican de forma no proporcional [8]. En este marco, la computación cuántica introduce un paradigma alternativo al representar el riesgo en las amplitudes de probabilidad de los qubits y las dependencias entre activos mediante entrelazamiento, con potenciales ventajas teóricas en la estimación de métricas de riesgo como el valor en riesgo [16], así como aplicaciones en riesgo crediticio [5], valoración de derivados [14] y optimización de portafolios [10]. Diversos estudios han consolidado este campo emergente, tanto desde revisiones generales [7], [12] como desde comparaciones experimentales en optimización cuántica [17].

Proponemos un **circuito cuántico paramétrico de evaluación de riesgo** que codifica riesgo individual en compuertas RY y dependencias en compuertas controladas CRY. A diferencia de VQE/QAOA [1, 10], los parámetros se derivan de datos históricos, minimizando la profundidad del circuito para hardware con ruido [13]. Es importante precisar que se trata de un algoritmo cuántico paramétrico donde los parámetros se calculan clásicamente y la unidad cuántica realiza el muestreo del estado entrelazado resultante. No se demuestra ventaja cuántica computacional en esta fase, pero la arquitectura está diseñada como bloque extensible hacia protocolos con aceleración demostrable (Sección 3.B). La contribución es triple: (a) ejecución en hardware real a 110 qubits (22x la fase anterior); (b) **validación con modelo de referencia clásico**, métricas estadísticas, correlaciones conectadas entre qubits y prueba retrospectiva; y (c) **análisis del camino hacia la ventaja cuántica**.

Pregunta Problema:

Un circuito paramétrico cuántico ejecutado en hardware cuántico real podría modelar y evaluar el riesgo de carteras de inversión de manera diferencial respecto de un modelo clásico de propagación de riesgo, capturando dependencias no lineales entre activos a través de correlaciones cuánticas no triviales.

Objetivo General:

Diseñar, ejecutar y validar un circuito cuántico paramétrico original de evaluación de riesgo de carteras de inversión a escala de 110 qubits en un procesador IBM Quantum Eagle, comparando cuantitativamente el ordenamiento de riesgo resultante contra un modelo de referencia clásico mediante diferentes métricas estadísticas y un backtesting financiero con datos históricos, para evaluar su potencial como base para futuras ventajas cuánticas en finanzas.

RESULTADOS ESPERADOS

A. Resultados Obtenidos

Se ejecutó un circuito cuántico paramétrico de 110 qubits en hardware real de IBM Quantum Eagle utilizando datos históricos de mercado, obteniendo un índice de riesgo consistente con el comportamiento financiero esperado: activos altamente volátiles presentan mayor riesgo, mientras que activos defensivos muestran valores bajos. La comparación con un modelo clásico de propagación en grafos evidenció una alta correlación en los extremos del ranking, pero diferencias sistemáticas en la zona media. Estas divergencias se explican por la capacidad del circuito cuántico de modelar dependencias no lineales mediante compuertas CRY. Además, se observaron correlaciones conectadas entre qubits ($C_{ij} \neq 0$), lo que indica la presencia de comportamiento no trivial en la distribución de mediciones. En la prueba retrospectiva, la cartera construida con el ordenamiento cuántico mostró un desempeño competitivo frente a la clásica y al índice SPY, con estabilidad en múltiples ejecuciones pese al ruido del hardware.

B. Resultados Esperados

En próximas fases se espera: (a) implementar mitigación de errores cuánticos mediante extrapolación a ruido cero y cancelación probabilística de errores [15] para cuantificar el impacto del ruido en los resultados; (c) integrar el circuito como operador de carga dentro de un protocolo de estimación de amplitud cuántica para estimar el valor en riesgo con aceleración cuadrática; (d) incorporar optimización variacional de los ángulos; (e) integrar el módulo híbrido de computación cuántica con inteligencia artificial, incluyendo procesamiento de lenguaje natural y predicción con redes neuronales recurrentes; y (f) realizar una prueba retrospectiva rigurosa multianual comparando con estrategias de gestión activa profesional.

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El proyecto consta de un equipo multidisciplinario que incluye docentes de la Maestría en Tecnología Informática, lingüistas, y expertos en Finanzas Cuantitativas. Recibió más de 10 alumnos de la UAI que realizaron pasantías profesionales y participaron de programas de incentivos a la investigación, siendo su primer contacto con la Computación Cuántica. Además, participaron activamente alumnos de universidades del exterior del país como Minerva.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcazar, J., Leyton-Ortega, V. y Perdomo-Ortiz, A. (2020). "Classical versus Quantum Models in Machine Learning". Mach. Learn.: Sci. Technol., 1(3), 035003. DOI: 10.1088/2632-2153/ab9009.
- [2] Braña, J.P., Litterio, A.M.J. y Fernández, A. (2018). "FSAL: Lexicón financiero de sentimiento en español rioplatense". Rev. Abierta Inform. Aplicada, 2(1), pp. 23-38. ISSN: 2591-5320.
- [3] Braña, J.P., Litterio, A.M.J. y Fernández, A. (2020). "IA y Computación Cuántica en Finanzas". Actas del XXII WICC, UNPA, pp. 430-434.
- [4] Braña, J.P., Litterio, A.M.J. y Fernández, A. (2021). "Optimización de Carteras: Benchmark Clásico, QC e Híbrido AI/QC". Actas del XXIII WICC.
- [5] Egger, D. et al. (2021). "Credit Risk Analysis using Quantum Computers". IEEE Trans. Comput., 70(12), pp. 2136-2145. DOI: 10.1109/TC.2020.3038063.
- [6] Grover, L. (1996). "A fast quantum mechanical algorithm for database search". Actas 28^o STOC, pp. 212-219. DOI: 10.1145/237814.237866.
- [7] Herman, D. et al. (2023). "Quantum computing for finance". Nature Rev. Phys., 5, pp. 450-465. DOI: 10.1038/s42254-023-00603-1.
- [8] Jorion, P. (2007). Value at Risk. 3ra ed., McGraw-Hill. ISBN: 978-0071464956.
- [9] Markowitz, H. (1952). "Portfolio Selection". J. Finance, 7(1), pp. 77-91. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x.
- [10] Mugel, S. et al. (2022). "Dynamic Portfolio Optimization with Quantum Processors". Phys. Rev. Research, 4(1), 013006. DOI: 10.1103/PhysRevResearch.4.013006.
- [11] Page, L. et al. (1999). "The PageRank Citation Ranking". Informe Técnico, Stanford, 1999-66.
- [12] Orus, R. et al. (2019). "Quantum computing for finance: overview". Rev. in Phys., 4, 100028. DOI: 10.1016/j.revip.2019.100028.
- [13] Preskill, J. (2018). "Quantum Computing in the NISQ era". Quantum, 2, 79. DOI: 10.22331/q-2018-08-06-79.
- [14] Stamatopoulos, N. et al. (2020). "Option Pricing using Quantum Computers". Quantum, 4, 291. DOI: 10.22331/q-2020-07-06-291.
- [15] Temme, K. et al. (2017). "Error Mitigation for Short-Depth Circuits". Phys. Rev. Lett., 119(18), 180509. DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.180509.
- [16] Woerner, S. y Egger, D.J. (2019). "Quantum risk analysis". NPJ Quantum Inf., 5, art. 15. DOI: 10.1038/s41534-019-0130-6.
- [17] Grant, E. et al. (2021). "Benchmarking Quantum Annealing with Portfolio Opt.". Phys. Rev. Applied, 15(1), 014012. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.15.014012.
- [18] IBM Quantum (2024). IBM Quantum System Technology. <https://www.ibm.com/quantum/technology> [Consultado: feb. 2026].
- [19] Equipo de desarrollo de Qiskit (2024). "Qiskit: Open-Source Framework for QC". DOI: 10.5281/zenodo.2573505.



Ingeniería en
Sistemas Informáticos

```
Inicializando servicio IBM Quantum Runtime...
Buscando backend least busy con suficientes qubits...
Backend seleccionado: ibm_fez
Qubits físicos: 156, Jobs en cola: 0
Transpilando circuito para el backend (preset_pass_manager, opt_level=1)...
Creando SamplerV2 y enviando job al QPU...
Job ID: d763p7e8faus73f9phs8
Esperando resultados del QPU...

Muestra de bitstrings (hasta 10):
010111010110110100011101001001011001100110110111100100110111011100011111011001000100100111: 1
110110011001111001010111100110011011001101100110011011010101111110010011001001100000110: 1
01101100110000110110001011100101000100010110101111010110110111101110111101001100000010: 1
01110111010001011111110010000100101000010011111100100110001111110100110011011100101: 1
110111001100100100111111110110111111000000111001010010010011111101100100001100110011: 1
0101111011011011101111101101101111101111001111100101111001000100101010111100011: 1
010111011010101010101101101101101101000011110001100111100101111000011111000001111011010: 1
0101110011010110011001111110011001111001101111011011111110010100011111100100010010010001: 1
0110011101000101101000110011011100001010001011011011100010011110110011101100110101111: 1
011111111100110011001101110110110110110110110110110110110001011101101111011110011011: 1

Top 10 activos por riesgo cuántico (IBM Quantum):
Ticker QuantumRisk
71 ONON 0.917
84 SE 0.894
59 NEM 0.891
88 SMCI 0.885
21 CELH 0.867
40 INTC 0.859
80 REGN 0.859
108 Z 0.858
82 SBUX 0.857
79 RCL 0.856
```

Output de una ejecución en consola del circuito paramétrico propuesto corriendo en un hardware cuántico real de IBM, QPU de 156 qubits físicos y obteniendo los activos con mayor riesgo cuántico



Universidad Abierta Interamericana

El futuro sos vos.

www.uai.edu.ar



Reconocida Internacionalmente por la acreditadora CQAIE (Washington, USA)