



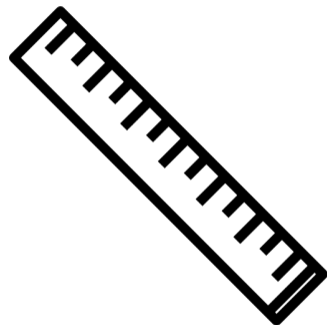
Evaluando el rendimiento de un computador cuántico

Diego Andrade Canosa

October 24, 2023



- La compra de un computador cuántico supone una inversión importante
- Son necesarios criterios objetivos que permitan evaluar las opciones candidatas
- La utilización de *benchmarks* ha sido la opción preferida en computación clásica



Benchmarking en Computación Clásica

- **Linpack** es un benchmark utilizado para elaborar la lista TOP500 que reúne a los 500 supercomputadores más potentes del mundo
- **SPEC CPU** es utilizado por los principales fabricantes de CPUs para mostrar las capacidades de sus nuevos modelos de procesadores
- **Rodinia** o **SHOC** han intentado estandarizar el benchmarking de GPGPU

Evolución del benchmarking clásico

Benchmark	SPEC 89	CINT 92	CFP 92	CINT 95	CFP 95
sc		●			
espresso	●	●			
eqntott	●	●			
li	●	●		●	
gcc	●	●		●	
compress		●		●	
go				●	
m88ksim				●	
jpeg				●	
perl				●	
vortex				●	
mdljsp2			●		
mdljdp2			●		
ora			●		
alvinn			●		
ear			●		
swm256			●		

Fuente: EVOLUTION AND EVALUATION OF SPEC BENCHMARKS

Evolución del benchmarking clásico (2023)

SPECrate@2017 Integer	SPECspeed@2017 Integer	Language ^[1]	KLOC ^[2]	Application Area
500.perlbench_r	600.perlbench_s	C	362	Perl interpreter
502.gcc_r	602.gcc_s	C	1,304	GNU C compiler
505.mcf_r	605.mcf_s	C	3	Route planning
520.omnetpp_r	620.omnetpp_s	C++	134	Discrete Event simulation - computer network
523.xalanchmk_r	623.xalanchmk_s	C++	520	XML to HTML conversion via XSLT
525.x264_r	625.x264_s	C	96	Video compression
531.deepsjeng_r	631.deepsjeng_s	C++	10	Artificial Intelligence: alpha-beta tree search (Chess)
541.leela_r	641.leela_s	C++	21	Artificial Intelligence: Monte Carlo tree search (Go)
548.exchange2_r	648.exchange2_s	Fortran	1	Artificial Intelligence: recursive solution generator (Sudoku)
557.xz_r	657.xz_s	C	33	General data compression

SPECrate@2017 Floating Point	SPECspeed@2017 Floating Point	Language ^[1]	KLOC ^[2]	Application Area
503.lwaves_r	603.lwaves_s	Fortran	1	Explosion modeling
507.cactuBSSN_r	607.cactuBSSN_s	C++, C, Fortran	257	Physics: relativity
508.namd_r		C++	8	Molecular dynamics
510.parest_r		C++	427	Biomedical imaging: optical tomography with finite elements
511.povray_r		C++, C	170	Ray tracing
519.lbm_r	619.lbm_s	C	1	Fluid dynamics
521.wrf_r	621.wrf_s	Fortran, C	991	Weather forecasting
526.blender_r		C++, C	1,577	3D rendering and animation
527.cam4_r	627.cam4_s	Fortran, C	407	Atmosphere modeling
	628.pop2_s	Fortran, C	338	Wide-scale ocean modeling (climate level)
538.imagick_r	638.imagick_s	C	259	Image manipulation
544.nab_r	644.nab_s	C	24	Molecular dynamics
549.fotonik3d_r	649.fotonik3d_s	Fortran	14	Computational Electromagnetics
554.roms_r	654.roms_s	Fortran	210	Regional ocean modeling

[1] For multi-language benchmarks, the first one listed determines library and link options ([details](#))

Fuente: Web del SPEC CPU 2017

Clasificación:

- Benchmarks que miden las características físicas del hardware
- Benchmarks que evalúan el desempeño del compilador
- Benchmarks que evalúan el rendimiento de la pila (stack) hardware/software completa
- Centrados en la aplicación

The NEASQC Benchmark Suite (TNBS)

- La suite benchmarking TNBS es fruto de la colaboración entre el CESGA y el CITIC-UDC
- Centrada en la aplicación
- Compuesta de varios benchmarks individuales
- Definición matemática (o procedural de cada benchmark)
 - Se proporciona una implementación de referencia en myQLM
- Casos destilados de las aplicaciones más comunes de la computación cuántica

- Escalables a nivel de qubits
- Cada benchmark está compuesto de:

Kernel

- Tarea común a varias aplicaciones de la computación cuántica
- Definición matemática o procedural

Test-case

- Aplicación que implica el uso repetido del kernel
- Salida es verificable clásicamente

Caso 1: Estimación de la amplitud

Aplicaciones

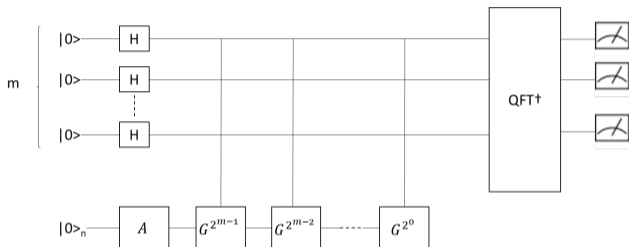
Finanzas, química computacional, integración numérica

Kernel

Definición de un operador unitario A para la estimación de la amplitud, a

Test-case

Integración de la integración de una función seno



$$|\Psi\rangle = \mathbf{A}|0\rangle_n = \sqrt{a}|\Psi_0\rangle + \sqrt{1-a}|\Psi_1\rangle$$

$$\mathbf{F} = \int_a^b \sin(x) dx = -\cos x \Big|_a^b = \cos(a) - \cos(b)$$

Caso 2: Estimación de la fase

Aplicaciones

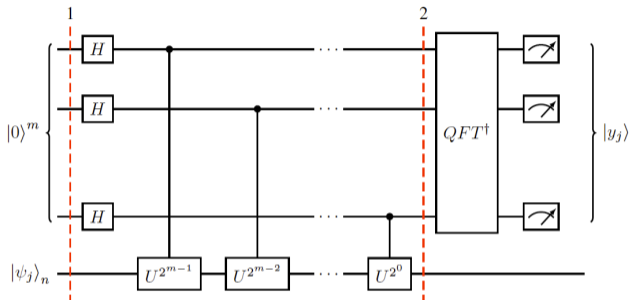
Cualquier aplicación basada en el algoritmo de Shor

Kernel

Dado un operador unitario U , sus eigenvalues pueden ser estimados como fases con la forma $e^{2i\pi\lambda_j}$

Test-case

Cálculo de los eigenvalues para un operador unitario de n qubits
 $R_z^n(\vec{\theta}) = \otimes_{i=1}^n R_z(\theta_i)$, para un vector de n ángulos



$$U\psi_j = e^{2i\pi\lambda_j}\psi_j$$

$$\lambda_j = \frac{\sum_k^n (-1)^{i_k} \theta_k}{4\pi}$$

Aplicaciones

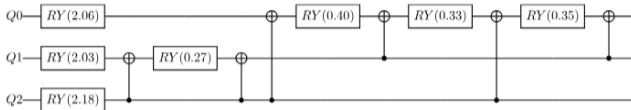
HHL, PCA, QAE

Kernel

Definición de un operador unitario U para la carga de una función de distribución de probabilidad

Test-case

Carga de una probabilidad Gaussiana en forma de estado cuántico.



$$U|0\rangle_n = \sum_{i=0}^{2^n-1} v_i |i\rangle_n$$

$$U|0\rangle_n = \sum_{i=0}^{2^n-1} \sqrt{P_{norm}(x_i)} |i\rangle_n$$

Aplicaciones

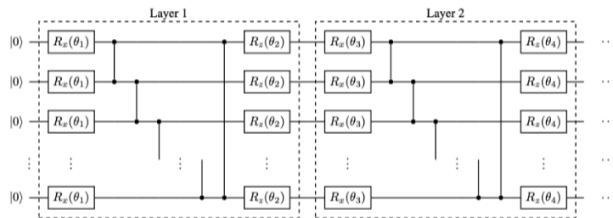
VQE y cualquier algoritmo variacional con sus múltiples aplicaciones

Kernel

Sea $\Psi(\vec{\theta})$ el estado de un *ansatz* dado. El kernel de **PH**, busca encontrar un Parent Hamiltonian (H^{PH}) tal que el ansatz es su ground state con energía 0

Test-case

El cálculo de la energía asociada al Ansatz usado para calcular el PH. La salida tiene que ser 0.



- Cada test-case tiene un procedimiento de ejecución detallada
- Este procedimiento incluye métricas que permiten valorar el rendimiento de la plataforma cuántica evaluada
 - Métricas de tiempo (cuántica + clásica)
 - Otras métricas ad-hoc para valorar la calidad de la salida (ej. KS diff entre probabilidad obtenida y teórica)

Próximos pasos

- Publicar el repositorio de TNBS
 - Contiene toda la información de la suite (incluidas implementaciones de referencia)
 - Permite informar de resultados y visualizarlos
- Añadir nuevos casos



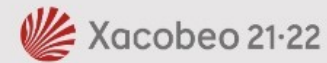
Gracias

Contacto: diego.andrade@udc.es



A iniciativa do Polo de Tecnoloxías Cuánticas de Galicia conta con financiamento de:

Fondos REACT EU



Despregamento dunha infraestrutura baseada en tecnoloxías cuánticas da información que permita impulsar a I+D+i en Galicia.

Apoiar a transición cara a unha economía dixital.

Operación financiada pola Unión Europea, a través do FONDO EUROPEO DE DESENVOLVEMENTO REXIONAL (FEDER), como parte da resposta da Unión á pandemia da COVID-19.

PROGRAMA OPERATIVO
FEDER GALICIA
2014-2020

Unha maneira de facer Europa