

OTIMIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES QUÂNTICAS NO VPE-QGM

GIOVANI DE QUADROS RODRIGUES^{1*}; RENATA HAX SANDER REISER²

¹Universidade Federal de Pelotas – gdqrodrigues@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – reiser@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Os estudos acerca da computação quântica foram aprofundados com a proposição de um algoritmo quântico para fatoração de números extensos pelo matemático Peter Shor (SHOR, 1994). Devido ao seu paralelismo inerente, a Computação Quântica é capaz de obter desempenhos superiores à computação clássica na execução de algoritmos. No entanto, a indisponibilidade de hardware quântico na atualidade faz com que sejam necessárias simulações de processos quânticos em computadores clássicos.

1.1. Bits Quânticos

Na computação clássica, os bits devem assumir, deterministicamente, o valor lógico 0 ou 1. De forma análoga, os bits quânticos (qubits) possuem uma probabilidade α de apresentarem o valor 0 e uma probabilidade β de apresentarem o valor 1, apresentando assim um estado de superposição. α e β são coeficientes complexos onde $\alpha^2 + \beta^2 = 1$. Na notação de Dirac, o estado de um qubit $|\psi\rangle$ é representado por $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Os estados $|0\rangle$ e $|1\rangle$ são estados especiais que formam uma base ortonormal do estado $|\psi\rangle$. Na representação matricial, $\psi = (\alpha, \beta)$

Na formação um sistema com n qubits, existem 2^n estados básicos possíveis. Para formar, então, um sistema de 2 qubits, dados por $\psi = (\alpha, \beta)$ e $\phi = (\gamma, \delta)$, é necessário realizar o produto tensorial, denotado por \otimes onde $\psi \otimes \phi = (\alpha\gamma, \alpha\delta, \beta\gamma, \beta\delta)$.

1.2. Portas Quânticas

Assim como as portas clássicas, as portas quânticas são responsáveis por realizar as transformações sobre bits. Matricialmente, as portas quânticas, em um estado quântico de n qubits, possuem 2^n linhas e 2^n colunas. A transformação é dada a partir da multiplicação entre a matriz e o vetor.

1.3. VPE-qGM

O ambiente VPE-qGM (REISER; AMARAL, 2010)(MARON; REISER; PILLA, 2013)(MARON; PINHEIRO; REISER; PILLA, 2011), em desenvolvimento junto ao LUPS/PPGC/UFPEL, provê suporte à modelagem e simulação gráfica de algoritmos da CQ. Nesse contexto, este trabalho considera uma abordagem fundamentada no modelo de processos para simulação de processos quânticos, os quais viabilizam a interpretação de conjuntos de linhas/colunas da matriz associada a uma transformação quântica multi-qubits.

O ambiente, implementado na linguagem Python, oferece suporte para a modelagem e simulação de processos quânticos sincronizando processos elementares (PEs). Devido ao crescimento exponencial do tamanho dos circuitos em função ao número de qubits, o desempenho das simulações de processos quânticos obtêm uma complexidade assintótica $O(4^n)$, o que nos incentiva a buscar melhorias.

2. METODOLOGIA

2.1. Adaptações de estados quânticos para cálculos em baixo nível

A fim de reduzir o uso de memória, os dados que representam qubits e transformações podem ser armazenados de maneira mais eficiente. Para isso, atalhos são possíveis para armazenar vetores. Caso um vetor possua apenas um elemento não nulo, ou seja, seja proveniente apenas de estados quânticos básicos, é armazenada na memória a posição do elemento. Assim, o estado $|101\rangle = (0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)^t$ é armazenado como 5 (101 em binário). Se o vetor possuir mais elementos, todos equiprováveis, então cada elemento é convertido para um bit em uma palavra binária. Dessa forma, o vetor $1/\sqrt{2}(0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0)^t$ é armazenado como 001000010. O mesmo processo ocorre para fatores adicionais, como o sinal dos elementos e sua parte imaginária.

2.2. Otimizações na simulação de processos quânticos

A principal otimização consiste em aplicar o produto tensorial apenas no último estado quântico, fazendo com que, em um circuito quântico de n qubits, uma transformação não precise criar uma única matriz ($2^n \times 2^n$) para ser aplicada em um único vetor (2^n), uma vez que tais operações são altamente custosas para sistemas com muitos qubits. Em vez disso, cada qubit recebe individualmente a sua transformação correspondente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudanças estruturais propostas visam alcançar uma significativa redução no tempo de execução das simulações realizadas no ambiente VPE-qGM, uma vez que conquistam ambos objetivos:

- (i) redução de memória através da alteração na representação de dados, e
- (ii) redução na complexidade temporal do algoritmo, atingindo, a partir da redução de memória, a notação assintótica $O(2^n)$ em análise de pior caso, para estados com n qubits.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de redução temporal envolvendo simulações de circuitos quânticos para o ambiente VPE-qGM, possibilitando desta forma que tais simulações ocorram de maneira mais eficiente. Posteriormente, tais otimizações poderão ser estudadas na medição de estados quânticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SHOR, P.W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. **Foundations of Computer Science, 1994 Proceedings., 35th Annual Symposium on** , p. 124-134, 1994.

REISER, R.; AMARAL, R. The quantum states space in the qgm model. In: **WECIQ** , 3., Petrópolis, 2010, Anais... Petrópolis: Editora do LNCC, 2010. p. 92-101.

MARON, A.; REISER, R.; PILLA, M. High-performance quantum computing simulation for the quantum geometric machine model. In: **CLUSTER, CLOUD AND GRID COMPUTING (CCGRID), 2013 13TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON**. 2013, p. 474–481.

MARON, A.; PINHEIRO, A.; REISER, R.; PILLA, M. Consolidando uma infraestrutura para simulação quântica distribuída. In: **XI ERAD-RS**, 2011. p. 213–216.