

EXTENSÃO DO AMBIENTE VIRD-GM PARA SUPORTE À PROCESSOS PARCIAIS PARA PORTAS CONTROLADAS

Murilo Schmalfuss Anderson Avila Renata Reiser Maurício Pilla

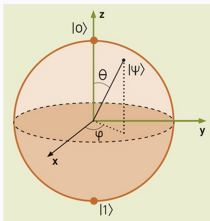
Universidade Federal de Pelotas

INTRODUÇÃO

QUBIT

Qubit é a unidade básica de informação na Computação Quântica.

$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$



Esfera de Bloch

- Descrição genérica do qubit:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

- Condição de normalização:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$CNOT = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Semântica das Portas Quânticas

- A Hadamard é responsável pela superposição de estados.
- A Pauli X é um operador **NOT**, inverte o estado do qubit a qual é aplicada;
- A CNOT é semelhante a porta XOR clássica, porém os qubits de entrada podem estar em um estado de superposição.

- Evolução temporal:

$$|\psi_2\rangle = U|\psi_1\rangle$$
$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

- Produto tensorial de estados:

$$|0\rangle \otimes |0\rangle = |00\rangle$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- O produto tensorial causa o aumento exponencial da memória.

VIRD-GM

- *VirD-Loader*: interpreta os arquivos descritores que contêm o algoritmo quântico a ser simulado e também o seu vetor de estado inicial;
- *VirD-Launcher*: gerencia o escalonamento e o controle de fluxo;
- *VirD-Exec*: controla a comunicação e a transferência de dados entre clientes.

Funcionalidades Atuais

Atualmente suporta paralelismo massivo utilizando GPUs e utilização de processos parciais com portas não controladas.

METODOLOGIA

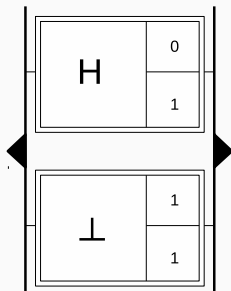
MODELAGEM DE TRANSFORMAÇÕES UNITÁRIAS VIA QPPs

- Uma interpretação para QPPs é obtida no modelo qGM pela sincronização entre processos clássicos com diferentes posições de escrita e pelo menos um operados $\perp$;
- A transformação Hadamard de 1-qubit, por exemplo, pode ser interpretada como tendo dois caminhos de execução independentes:

MODELAGEM DE TRANSFORMAÇÕES UNITÁRIAS VIA QPPs

- 1: Calcula a amplitude do estado $|0\rangle$. Genericamente, isso pode ser definido como

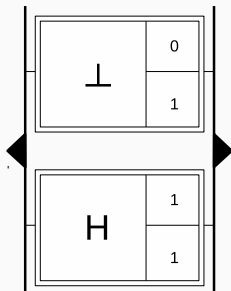
$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \perp & \perp \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \alpha + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \beta \\ \perp \end{bmatrix}$$



MODELAGEM DE TRANSFORMAÇÕES UNITÁRIAS VIA QPPs

- 2: Calcula a amplitude do estado $|1\rangle$. Genericamente, isso pode ser definido como

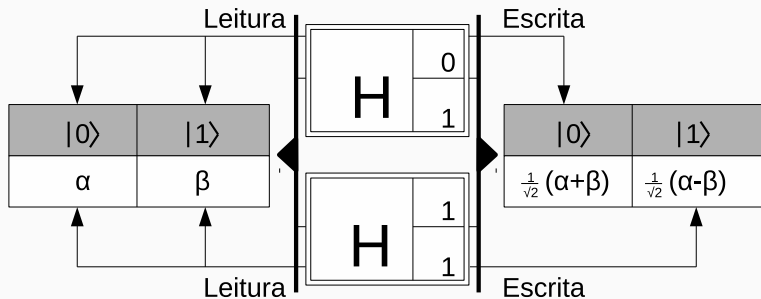
$$\begin{bmatrix} \perp & \perp \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \perp \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \alpha - \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \beta \end{bmatrix}$$



QUANTUM PROCESS (QP)

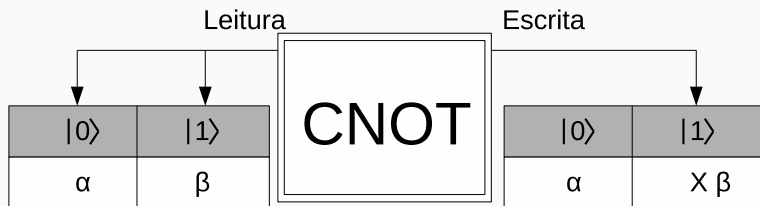
- O QP pode ser construído pela sincronização de dois ou mais QPPs, contanto que eles não alterem o mesmo conjunto de amplitudes;
- Dois ou mais QPPs podem ser sincronizados para gerar um QP;
- Pode-se modelar o paralelismo entre transformações unitárias.

QPPs ASSOCIADOS À TRANSFORMAÇÃO HADAMARD (H)



QP ASSOCIADO À TRANSFORMAÇÃO CNOT

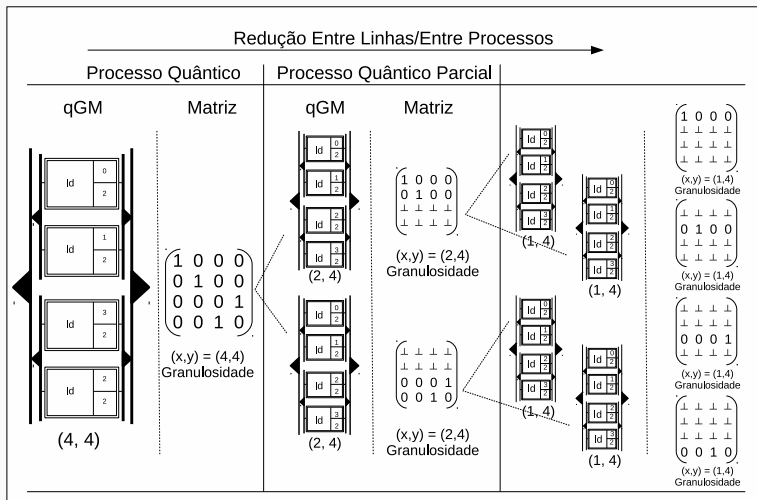
- Seguindo a mesma metodologia podemos modelar transformações controladas na abordagem de QPPs e MPPs;
- Operações quânticas controladas são construídas de quatro ou mais QPPs, contanto que os alvos não alterem o mesmo conjunto de amplitudes.



MODELAGEM DE TRANSFORMAÇÕES CONTROLADAS VIA QPPs

- Na distribuição do fluxo de dados para cálculo de uma transformação, o QP é particionado em dois ou mais QPPs;
- O calculo será realizado de forma independente para cada conjunto de amplitudes do estado corrente da transformação que satisfazem a condição de controle.

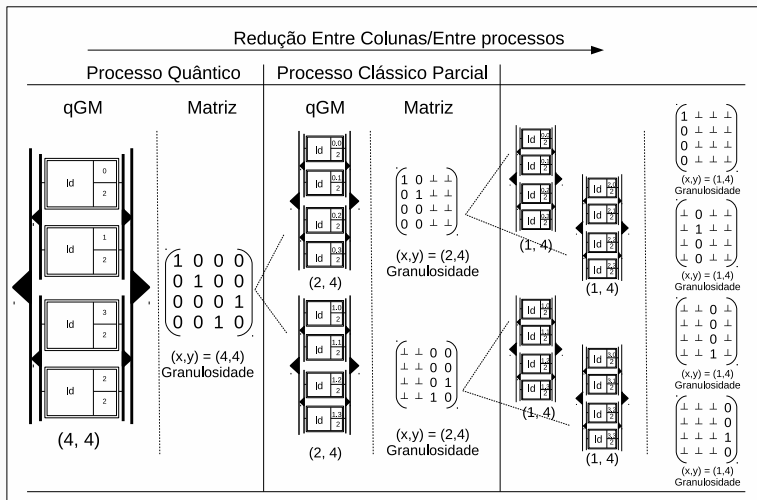
DISTRIBUIÇÃO DA COMPUTAÇÃO DE UMA HADAMARD VIA QPPS



MODELAGEM DE TRANSFORMAÇÕES CONTROLADAS VIA MPPs

- Na distribuição de transformações quânticas integrando MPPs, considera-se uma modelagem que contempla ambos os desafios, o consumo de memória e a sobrecarga da rede;
- Tal abordagem provê maior controle sobre a expansão da memória e dos cálculos durante a evolução da computação, considerando os recursos disponíveis;

DISTRIBUIÇÃO DA COMPUTAÇÃO DE UMA CNOT VIA MPPS



SIMULAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DE MPPs

- A simulação distribuída de um algoritmo quântico a partir de MPPs consiste no envio de cada MPP para um VirD-Client pela aplicação do método *send*;
- Ao passar os parâmetros do MPP e a porção necessária da memória atual, o VirD-Client realiza a computação e gera uma lista com os valores parciais calculados, a qual é enviada para o *VirDServer* através do método *updateMemory*;
- Este processo é feito para todos os arquivos temporários gerados na simulação, sendo necessário um arquivo para cada passo da simulação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A extensão do ambiente VirD-GM para suporte a portas controladas proporcionará a utilização do mesmo para simulação de algoritmos quânticos mais complexos;
- Os resultados obtidos em otimizações anteriores, focadas nas portas não controladas, obtiveram desempenho significativo em relação a versão distribuída inicial, motivando a futura implementação do suporte à portas controladas.;

AGRADECIMENTOS

MCTI/CNPq (Universal processo 448766/2014-0)
FAPERGS (PqG 002/2014, processo 309533/2013-9)

DÚVIDAS?

MFSCHMALFUSS@INF.UFPEL.EDU.BR