

UMA PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO PARA A ESTRUTURA DE MEMÓRIA DO AMBIENTE VPE-qGM ATRAVÉS DE DIAGRAMAS DE DECISÃO BINÁRIA

RETZLAFF, Daniel¹; MARON, Adriano; ²REISER, Renata; ²PILLA, Maurício

¹Ciência da Computação; ²Universidade Federal de pelotas,
Centro de Desenvolvimento Tecnológico CDTEC.
Email: {dkretzlaff, akmaron, reiser, pilla}@inf.ufpel.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços na Computação Quântica (CQ) estão viabilizando a construção de hardwares quânticos, os quais exploram fenômenos da Mecânica Quântica para solução de problemas complexos, intratáveis para os supercomputadores atuais (KNILL AT EL. 2011). Algoritmos quânticos estão sendo estudados e novas propostas de aplicações vem sendo desenvolvidas, porém poucas plataformas estão disponíveis para interpretações e testes, visto a simplicidade do hardware quântico atual (HANNEKE at. el. 2009, MONZ at. el. 2011). Nesse contexto, modelos e simuladores quânticos, sequenciais ou paralelos, introduzem novas abordagens para estudo e desenvolvimento de aplicações baseadas neste nova paradigma (QUANTIKI at. el. 2011). Entretanto, ou ainda são abordagens ineficientes, no sentido de prover suporte a sistemas quânticos complexos, ou pouco intuitivas, para interação com usuários não familiarizados com a Mecânica Quântica.

Conceitualmente, o *qubit* consiste na unidade básica de informação quântica, sendo matematicamente definido por um vetor de estado, unitário e bidimensional, genericamente descrito na notação de Dirac (QUANTIKI at. el. 2011) pela expressão $|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, onde os coeficientes α e β são números complexos, associados às amplitudes dos respectivos estados normalizados.

O ambiente VPE-qGM (Visual Programming Environment for the qGM Model) está em desenvolvimento pelos grupos LUPS/UFPEL (*Laboratory of Ubiquitous and Parallel Systems*) e MFFM-CC/UFPEL (Métodos Formais e Fundamentos Matemáticos da Ciência da Computação) junto ao Mestrado em Ciência da Computação do PPGC/CDTE/UFPEL, para suporte a modelagem e simulação distribuída de algoritmos da CQ. Considerando uma fundamentação matemática baseada nas abstrações do modelo qGM (*Quantum Geometric Machine*) (REISER at. el. 2011) o ambiente VPE-qGM viabiliza a simulação sequencial e distribuída de algoritmos quânticos com até 24 *qubits* (MARON at. el. 2011).

Como componentes principais do VPE-qGM, destacam-se três interfaces gráficas: (a) Editor de Processos Quânticos (qPE), onde são desenvolvidas as aplicações quânticas modelados por construtores; (b) Editor de Memórias Quânticas (qME), onde são configuradas as estruturas de memória a partir de dados de entrada, abstraindo conceitos complexos associados ao espaço de estados das aplicações quânticas; (c) Simulador Quântico (qS), onde ocorrem as simulações a partir dos arquivos descritores de processos e memória, gerados em suas respectivas interfaces de modelagem, disponibilizando controle da evolução temporal das aplicações.

Um dos problemas motivadores desta pesquisa considera o aumento exponencial na complexidade (temporal e espacial) quando da simulação de algoritmos quânticos em computadores clássicos. O elevado tempo de simulação e

o alto consumo de memória justificam a necessidade por otimizações na biblioteca de execução do VPE-qGM.

A proposta visa a otimização qME no VPE-qGM, incrementando o módulo de representação da memória no ambiente VPE-qGM através da utilização de reduções aplicadas aos Diagramas de Decisão Binária (BDDs), os denominados Multi-Terminais BDDs (MTBDDs). Mais especificamente, esta etapa inicial do trabalho tem por objetivo o estudo de MTBDDs para reestruturação da representação dos estados quânticos no módulo qME.

2 METODOLOGIA

A metodologia para concepção da reestruturação do módulo qME propõe a utilização de Diagramas de Decisão Binária (BDDs). Os BDDs são estruturas de dados que representam uma função booleana $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ através de um grafo acíclico, direcionado e rotulado. Esta forma de representação foi apresentada em (LEE at. el. 1959) no contexto de um circuito lógico clássico.

A ordem de complexidade do BDD é $\Theta(2^n)$, onde n é o número de variáveis booleanas da função lógica. Assim, torna-se inviável a utilização desta representação para circuitos quânticos, pois estes utilizam uma grande quantidade de dados e o aumento exponencial de memória acaba limitante para aplicações de sistema n -dimensionais.

Para contornar este problema considera-se a forma reduzida na representação do BDD, os Diagramas Multi-Terminais de Decisão Binária, de acordo com o apresentado por Fujita em 1997 (FUJITA At. el. 1997). Tais estruturas são capazes de representar operações algébricas lineares em tempo quadrático ao tamanho dos operandos no MTBDD e portanto, não exponencial como ocorre no caso da metodologia baseada em BDDs.

Para a implementação da reestruturação do módulo qME baseado nos MTBDDs, considera-se a biblioteca de orientação a objetos JINC, escrita em C++, que oferece uma grande quantidade de recursos para trabalhar com BDDs e suas formas reduzidas de representação, MTBDDs.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto se encontra em fase inicial (três meses) ainda centrado nos estudos da biblioteca JINC. Para tal, também consideramos a utilização e instalação da biblioteca Boost (BOOST at el. 2012).

JINC possui uma forma fácil de criar variáveis para cada BDD, apenas incluindo no programa a diretiva aplicada é: `#include<add/addvarorder.hpp>`. Para a direta manipulação das variáveis dentro do BDD, através do comando `ADDVarOrder::addVariable("x")` será criada a variável de nome x , cada variável referêcia um valor dentro da função do BDD.

Salienta-se que as funções são as estruturas de dados mais básicas dentro da linguagem JINC. Para utilização e manipulação de variáveis e funções é necessária a declaração no escopo do código da diretivas: `#include<add/addvarorder.hpp>` e `#include <add/addfunction.hpp>`, respectivamente.

Tomando como exemplo a função projeção, utiliza-se o comando `x=ADDFunction::projection("x", true);` onde x é uma variável que recebe sua

projeção positiva.

JINC ainda proporciona a utilização de processamento paralelo para o cálculo de suas funções visando o melhor uso do *hardware*, o que auxilia a execução dos processos quânticos.

4 CONCLUSÃO

Devido a limitação atual na quantidade de qubits utilizado pelo ambiente VPE-qGM a implementação do Diagrama Multi-Terminal de Decisão Binária se torna relevante, tendo em vista o melhor aproveitamento e diminuição do espaço de estados de memória utilizado por uma aplicação baseada em sistemas quânticos multi-dimensionais.

5 REFERÊNCIAS

KNILL, Emanuel; Michael, NIELSEN. **Theory of quantum computation**. 2002.

MONZ, Thomas; SCHINDLER, P.; BARREIRO, Julio; CHWALLA, Michael; NIGG, Daniel; COISH, Willian; HARLENDER, Maximilian; HÄNSEL, Wolfgang; HENRICH, Markus; BLATT, Rainer. 14-Qubit Entanglement: Creation and Coherence. **Physical Review Letters**. v. 106, 2011.

HANNEKE, D; HOME, J. P.; JOST, J.D.; AMIMI, J. M.; LEIBFRIED, D.; WINELAND, D. J. Realizations of a Programmable Two-Qubit Quantum Processor. **Nature Physics** v. 6, p. 13 - 16, 2009.

QUANTI KI. **Quantum Information Wiki and Portal**, Singapore: Centre for Quantum Technology of the National University of Singapore, 2011.

REISER, R.; AMARAL, R. The quantum states space in the qGM Model. In: **ANAIS WORKSHOP ESCOLA DE COMP. E INF. QUÂNTICA**, Petrópolis/RJ, p. 92-101, 2011.

MARON, A.; REISER, R.; PILLA, M. Distributed Quantum Simulation on the VPE-qGM. In: Anais **DINCON 2011**, p. 1-6, 2011.

LEE, C.Y. Representation of switching circuits by binary decision diagrams. **Bell System Tech.**v. 38, p. 985-999, 1959

FUJITA, M.; MCGEER, P.C., YANG, J.C.-Y.: Multi-terminal binary decision diagrams: An efficient data structure for matrix representation. **Form. Methods Syst. Des.** 10(2-3), p. 149-169, 1997.

JINC, <http://www.jossowski.de/projects/jinc/jinc.html>, 2012. Acessado em 15 de julho de 2012.

BOOST, <http://www.boost.org> , 2012. Acessado em 19 de julho de 2012.