

Uma Proposta Para Diminuir a Complexidade Espacial no Ambiente VPE-qGM*

Daniel Retzlaff¹€, Adriano Maron¹, Renata Reiser¹, Maurício Pilla¹

¹CDTEC – UFPEL - Caixa Postal 354 - 96010-610 - Pelotas – RS - Brasil

{dkretzlaff,akmaron,reiser,pilla}@inf.ufpel.edu.br

Resumo. A simulação de algoritmos quânticos em computadores clássicos é uma tarefa que requer processamento e armazenamento de alta capacidade, limitando o tamanho dos sistemas quânticos suportado pelos simuladores. No entanto, otimizações que reduzem a complexidade espacial são promissoras, aumentando a capacidade de alguns simuladores. A principal contribuição deste trabalho está em explorar um pacote MTBDD, chamado JINC, para armazenar as amplitudes do vetor de estados de sistemas quânticos.

1. Introdução

Os avanços na Computação Quântica (CQ) estão viabilizando a construção de *hardware* quântico, os quais exploram fenômenos da Mecânica Quântica para solução de problemas complexos, intratáveis para os supercomputadores atuais [Knill 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 2009, Monz 2011]. Nesse contexto, modelos e simuladores quânticos, sequenciais ou paralelos, introduzem novas abordagens para estudo e desenvolvimento de aplicações baseadas neste novo paradigma [Quantiki 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 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/CDET/UFPEL, para suporte à modelagem e simulação distribuída de algoritmos da CQ. Considerando uma fundamentação matemática baseada nas abstrações do modelo qGM (*Quantum Geometric Machine*) [Reiser 2011] o ambiente VPE-qGM viabiliza a simulação sequencial e distribuída de algoritmos quânticos com até 24 *qubits*

* Edital FAPERGS Processo 11/1520-1 Edital PqG 02/2011

€ Bolsista PROBITI/FAPERGS

[MARON 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 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. Binary Decision Diagrams(BDDs)

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 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 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. JINC

O projeto se encontra em fase de estudos da biblioteca JINC. Para tal, também consideramos a utilização e instalação da biblioteca Boost [Boost 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 referência 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/function.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 à limitação atual na quantidade de *qubits* utilizada 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 multidimensionais. Assim, utilizando dos recursos que a biblioteca JINC proporciona, uma biblioteca pronta para trabalhar com a execução de BDDs, torna-se possível contornar este problema tendo em vista o desenvolvimento aprimorado do ambiente VPE-qGM. Futuramente, pensando em uma melhoria na forma de execução do ambiente, a implementação da JINC ainda nos propicia o processamento paralelo de suas funções, tendendo ao melhor uso do *hardware* disponível.

5. Referências

- Monz, Thomas., Schindler, P., Barreiro, J., Chwalla, M., Nigg, D., Coish, W., Harlander, M., Hänsel, Wolfgang, H., Markus and 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. and Wineland, D. J. "Realizations of a Programmable Two-Qubit Quantum Processor". *Nature Physics* v.6, p. 13-16, 2009.
- Quantiki. "Quantum Information Wiki and Portal", Singapore: Centre for Quantum Technology of the National University of Singapore, 2011.
- Reiser, R. and 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.

- Knill,Emanuel and Michael,Nielsen. “Theory of quantum computation”. 2002.
- Maron, A., Reiser, R. and 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. and 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.