Modelagem da Tomografia Quantica via VPE-qGM

Julio Machado[1], **Lucas Agostini**[1], **Anderson Avila**[1], **Murilo Schmalfuss**[1], **Renata Reiser**[1] **e Maurício Pilla**[1]

[1]Centro de Desenvolvimento Tecnológico – Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)
Caixa Postal 96.010-610 – Pelotas – RS – Brazil

{jmdsneto,lbagostini,abdavila,mfschmalfuss,reiser,pilla}@inf.ufpel.edu.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho é utilizar as potencialidades do simulador quântico VPE-qGM para interpretação do comportamento emocional associado a agentes, já incluindo um estudo introdutório da intensidade destas emoções via aplicação da técnica simplificada de tomografia quântica.Por ser uma ferramenta que utiliza o paralelismo, a VPE-qGM se torna ideal para simular as aplicações propostas neste trabalho.*

1. Introdução

A Lógica Fuzzy (LF) e a Computação Quântica (CQ) são importantes áreas de pesquisa que buscam colaborar na descrição de duas formas de incerteza. A primeira, refere-se à modelagem e expressão do nosso raciocínio, enquanto que a segunda se reporta aos fenômenos do mundo real de acordo com as leis da Mecânica Quântica (MQ)[Nielsen and Chuang 2000].

O uso de propriedades da MQ na computação introduz uma mudança de paradigma para noções, métodos e dispositivos computacionais. A CQ consolida-se como uma opção na solução de problemas específicos em Matemática e Ciência da Computação (como fatorização de inteiros e sistemas de resolução de equações lineares) desde que algoritmos quânticos (AQs), nestes e em tantos outros específicos casos, mostram-se exponencialmente mais rápidos do que correspondentes algoritmos clássicos. Tais problemas incluem na área de IA da Computação e em especial a modelagem do comportamento emocial de agentes, como potencial alternativa para resolver problemas complexos.

Desta proposta comum da LF e CQ, surgem similaridades e correlações ressaltadas em diversos trabalhos científicos. A CQ prevê que AQs podem ser mais eficientes do que seus análogos clássicos. Considerando essa afirmação e a possibilidade de representação de operações sobre conjuntos fuzzy a partir de operadores quânticos, este estudo está inserido na proposta de investigar sistemas fuzzy modelados via CQ. Assim, a estruturação lógica que descreve a incerteza associada à teoria dos conjuntos fuzzy pode ser modelada a partir de transformações e estados quânticos [Maron et al. 2013b] [Maron et al. 2013a] [Raghuvanshi and Perkowski 2010] [Nielsen and Chuang 2000].

Em [Maron et al. 2013a], as principais portas fuzzy vem sendo simuladas por processos e estados no VPE-qGM (*Visual Programming Environment for the Quantum Geometric Machine Model*) [Maron et al. 2013a, Maron et al. 2013b] enquanto que os resultados apresentados em [Maron et al. 2013b], são obtidos considerando o tradicional modelo de Circuitos Quânticos (CQ) [Nielsen and Chuang 2000].

O objetivo deste trabalho é utilizar as potencialidades do simulador quântico VPE-qGM para interpretação de emoções associadas a agentes, já incluindo um estudo introdutório da intensidade destas emoções via aplicação da técnica simplificada de tomografia quântica a qual esta definida a partir da aplicação do operador V, denominado raiz quadrada do NOT ($V^2 = NOT$) ou raiz quadrada não-hermitiana.

2. Fundamentação Teórica

A *CQ* considera o *qubit* (*quantum bit*) como unidade básica de informação, constituindo um sistema quântico básico, com espaço de estados bidimensional, definindo por um estado genérico, o qual, na notação de Dirac, é representado pela expressão: $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$. Os coeficientes α e β são números complexos correspondentes às probabilidades dos respectivos estados, respeitando a condição de normalização $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, e garantindo que o vetor de estado do sistema, representado por $(\alpha, \beta)^\dagger$, seja unitário. As probabilidades associadas aos estados permitem que o sistema represente simultaneamente vários estados, configurando um estado de superposição quântica, característica que origina o fenômeno do paralelismo quântico explorado neste trabalho.

A mudança de estado em um sistema quântico pode ser descrita por uma transformação unitária (incluindo portas controladas), manipulando as probabilidades associadas aos estados. Neste caso, seja $j = \sqrt{-1}$ a unidade imaginária, a transformação associada a porta quântica básica (V) é dada pela expressão matricial:

$$V = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1+j & -1+j \\ -1+j & 1+j \end{pmatrix} \tag{1}$$

Assim, pela Eq. (1) aplicada a $|\psi\rangle$, obtém-se que:

$$\begin{aligned} V|\psi\rangle &= \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1+j & -1+j \\ -1+j & 1+j \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} \alpha+\beta \\ \alpha-\beta \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{2}\left((\alpha-\beta)+(\alpha+\beta)j\right)|0\rangle + \left((-\alpha+\beta)+(\alpha+\beta)j\right)|1\rangle). \end{aligned}$$

Assim, $V|0\rangle = \frac{1}{2}(1+j)|0\rangle + \frac{1}{2}(-1+j)|1\rangle)$ e $V|1\rangle = \frac{1}{2}(-1+j)|0\rangle + \frac{1}{2}(1+j)|1\rangle)$.

As aplicações quânticas são obtidas por sincronizações e composições de um conjunto universal de portas quânticas (H, S, T, CNOT) aplicadas sobre o espaço de estados.

3. Estudo de Caso: Modelagem do Algoritmo Pais/Filho no VPE-qGM

O algoritmo Pais/Filho modela a mudança de humor de um filho a partir do nível de atividade de seus pais. Se ambos foram ativos o filho também será, mas caso apenas um dos pais for ativo, o filho estará no estado "meio feliz e meio infeliz", modelado pelo qubit $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$. Neste caso, o tipo de emoção é modelado pelo ângulo de fase do qubit e está representado geometricamente por meridianos, e a intensidade da emoção como uma projeção, representada por um ponto entre os polos norte e sul, $|0\rangle$ e $|1\rangle$ respectivamente, na Esfera de Bloch. Na Figura 3, das oito tipos de emoções as nuances da cor amarelo, indicando um tipo de humor em diferentes intensidades: serenidade, alegria ou êxtase.

O algoritmo Pais/Filhos foi introduzido em [Raghuvanshi and Perkowski 2010] baseado no modelo CQ e consistindo na composição sequencial entre os operadores:

- (i) $Control(V)_{2,3}$, que executa o operador V no terceiro qubit quando o segundo qubit estiver no estado clássico $|1\rangle$;
- $Control(V)_{1,3}$, executando o operador V no terceiro quando o segundo qubit estiver no estado clássico $|1\rangle$;

Ambos operadores determinando uma forma trivial de modelagem da tomografia quântica [Nielsen and Chuang 2000]. Visualise o correspondente circuito, obtido pela interface do QCEdit, editor de circuitos quânticos integrado ao VPE-qGM:

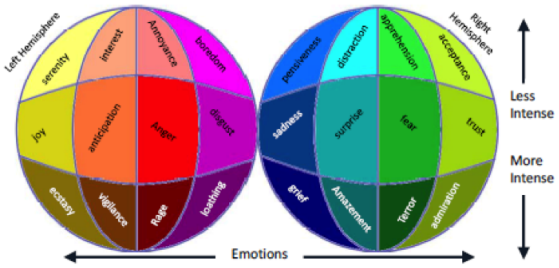

Figura 1. Meridianos da Esfera de Bloch.

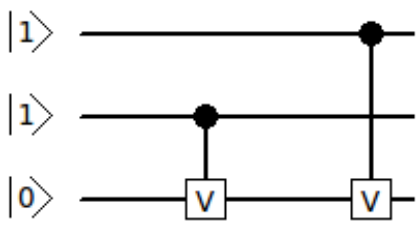

Figura 2. Visualização no QCEdit.

Neste caso, considerando que a atividade emocional esta ativa em $|1\rangle$, tem-se que:

$$Control(V)_{1,3}\,(Control(V)_{2,3}|000\rangle) = |000\rangle; \quad (2)$$
$$Control(V)_{1,3}\,(Control(V)_{2,3}|001\rangle) = |001\rangle; \quad (3)$$
$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|111\rangle) = -|111\rangle; \quad (4)$$
$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|010\rangle) = \frac{1}{2}(1+j)|001\rangle + \frac{1}{2}(-1+j)|011\rangle; \quad (5)$$
$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|011\rangle) = \frac{1}{2}(-1+j)|001\rangle + \frac{1}{2}(1+j)|011\rangle; \quad (6)$$
$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|100\rangle) = \frac{1}{2}(1+j)|100\rangle + \frac{1}{2}(-1+j)|101\rangle; \quad (7)$$
$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|101\rangle) = \frac{1}{2}(-1+j)|100\rangle + \frac{1}{2}(1+j)|101\rangle; \quad (8)$$

Assim, nas Eqs.(2), (3) e (4) a medida do terceiro qubit retorna o mesmo estado inicial, com propabilidade $p = 1$. Nestes casos, o humor do filho não se altera também. Nas Eqs. de (4) a (8) a medida do terceiro qubit (em $|0\rangle$ ou $|1\rangle$) retorna sempre um estado em superposição com probabilidade $p = 0.5$.

E ainda, verifica-se facilmente que na Eq.(9) dada a seguir, a atitude ativa dos pais resulta numa troca de comportamento emocional do filho, passando de uma atitude inativa para ativa.

$$Control(V)_{1,3}(Control(V)_{2,3}|110\rangle) =$$
$$Control(V)_{1,3}\left(\frac{(1+j)}{2}|110\rangle + \frac{(-1+j)}{2}|111\rangle\right) = -|111\rangle \quad (9)$$

4. Implementação no VPE-qGM

O ambiente *VPE-qGM* provê suporte a modelagem e simulação gráfica de algoritmos da *CQ*. Esse ambiente considera as abstrações do modelo *qGM* como semântica para interpretação de operações quânticas, diferenciando-o dos simuladores gráfico fundamentados no modelo de CQs. As três principais interfaces gráficas são: (i) Editor de Processos Quânticos (*qPE*) para modelagem das aplicações quânticas; (ii) Editor de Memórias Quânticas (*qME*): para configuração de estruturas de memória a partir de dados de entrada; e (iii) o Simulador Quântico (*qS*).

Na Figura 3, apresentam-se as representações gráficas dos processo $Control(V)_{2,3}$ e $Control(V)_{1,3}$ obtidas no *qPE*. E, ao lado os correspondentes estados resultantes da execução da simulação de cada processo, inclindo o estado final após operação de medida, obtidos no *qME*. Observe que estes estados correspondem às expressões nas Eq.(8) e (9).

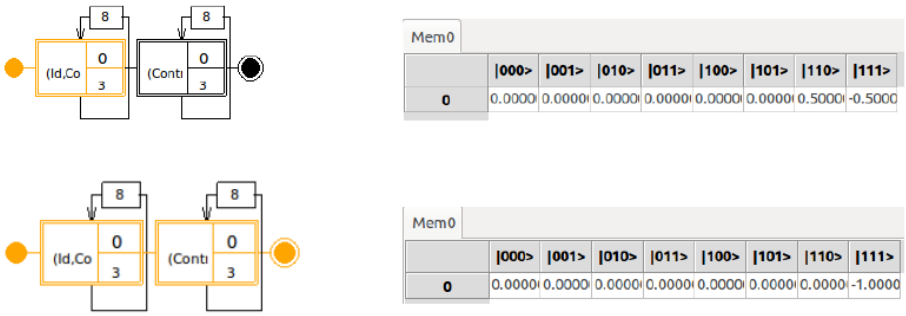

Figura 3. Resultados na modelagem e implementação no VPE-qGM do AQ Pais/Filho.

5. Consideracoes Finais

A próxima etapa prevê o uso de conectivos fuzzy na modelagem do comportamento emocional de agentes e o desenvolvimento de aplicações multidimensionais, usando o editor VPE-qGM.

Referências

Maron, A., Reiser, R., Pilla, M., and Yamin, A. (2013a). Expanding the vpe-qgm environment towards a parallel quantum simulation of quantum processes using gpus. *CLEI Electronic Journal*, 16:1–19.

Maron, A., Visintin, L., Reiser, R., and Abeijon, A. (2013b). Fuzzy computing from quantum computing - case study in reichenbach implication class. *Mathware & Soft Computing*, 20:86–114.

Nielsen, M. A. and Chuang, I. L. (2000). *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press.

Raghuvanshi, A. and Perkowski, M. (2010). Fuzzy quantum circuits to model emotional behaviors of humanoid robots. In *Evolutionary Computation (CEC), 2010 IEEE Congress on*, pages 1–8. IEEE.