

Modelagem da Tomografia Quântica via VPE-qGM

por

Julio Machado, Lucas Agostini, Anderson Avila e Murilo schmalfuss

Orientadora: Profa. Dra. Renata Hax Sander Reiser
Universidade Federal de Pelotas
CDTEC - CC e EC
ERAD 2015

Abril - 2015 - Gramado/RS

Sumário

- 1 **Introdução**
- 2 **Computação Quântica**
- 3 **Esfera de Bloch**
- 4 **Tomografia Quântica**
- 5 **Algoritmo Pais-Filho**
- 6 **Considerações Finais**

Computação Quântica

Vantagens

- Prevê computadores quânticos com melhor desempenho que computadores clássicos;
- Origem do desempenho: fenômenos da mecânica quântica;
- Aplicações: algoritmos quânticos de busca, fatoração, criptografia, etc.

Dificuldades

- Complexidade de interpretação dos fenômenos quânticos;
- Indisponibilidade de *hardware* quântico;
- Ineficiência da simulação de sistemas quânticos em computadores clássicos;
 - Custo computacional associado à transformações quânticas.

Computação Quântica

Áreas de Aplicações

- Visa o desenvolvimento de novas tecnologias para armazenamento, transporte e melhor desempenho no processamento de informações;
- Desenvolvimento de novos algoritmos pela aplicação:
 - superposição de estados → paralelismo quântico;
- Integração com outras áreas para modelagem da incerteza:
 - IA - modelagem de (emoções) agentes que compõem sistemas computacionais (Raghuvanshi, A. and Perkowski (2010))

Objetivos

Objetivo Geral

- Apresentar exemplos de como o espaço de estados quânticos pode representar emoções (agentes) e de como visualizá-las geometricamente.

Objetivo Específico

- Representar geometricamente estados quânticos na esfera de Bloch.
- Estudar a modelagem de emoções pela aplicação de propriedades (emaranhamento e superposição) de estados quânticos.
- Desenvolver estudo de caso:
 - Algoritmo: modelagem do comportamento entre os dois agentes pelo emaranhamento de estados quânticos;

Conceitos Básicos

Vetor de Estado

- *Qubit* - Amplitudes / Estados da Base - $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$;
- Vetor de Estado: $(\alpha, \beta)^t$;
- Normalização do Vetor de Estado: $\alpha^2 + \beta^2 = 1$.

Evolução do Sistema Quântico

- Transformações unitárias $|\psi\rangle \Rightarrow U|\varphi\rangle$;
- Preservação da normalização do vetor de estado $|\psi\rangle$;
- $U^t U = 1$ (U^t) transposta conjugada de U .

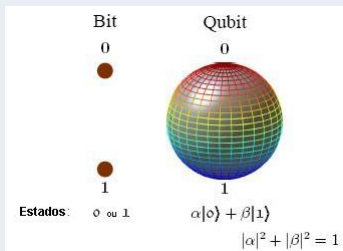
Sistemas Compostos

- Sistemas quânticos *multi-qubit*;
- $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ e $|\varphi\rangle = \gamma|0\rangle + \delta|1\rangle$:
 - $|\psi\rangle \times |\varphi\rangle = \alpha\gamma|00\rangle + \alpha\delta|01\rangle + \beta\gamma|10\rangle + \beta\delta|11\rangle$;
- Crescimento exponencial do espaço de estados.

Bit Quântico

Representação da Informação

- Computação Clássica x Computação Quântica;



Esfera Quântica de Emoções

Roda de emoções

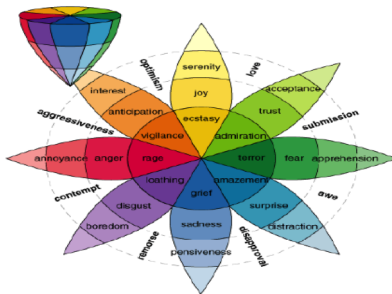
- Combina o paralelismo quântico com a propriedade de emaranhamento.



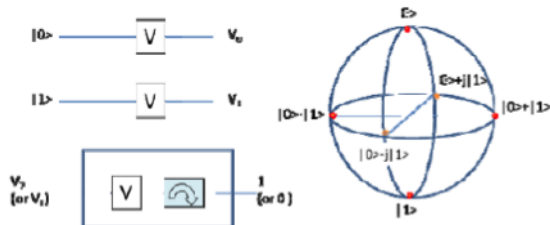
Planificação do Espaço Tridimensional Associado à Esfera de Bloch

Roda de emoções: Combina emoções de acordo com [Plutchik08]

- Estende a interpretação de apenas uma emoção e sua intensidade às interpretações simultâneas de múltiplas emoções.



Tomografia Quântica



Representação Emoção $\times$ Intensidade - Roda de Emoções

- o tipo de emoção como uma fase
- a intensidade da emoção como um ponto

Tomografia Quântica

Representação do cálculo de V_0 :

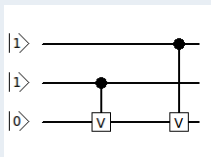
$$V_0 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} j+1 & j-1 \\ j-1 & j+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} j+1 \\ j-1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} (j+1)|0\rangle + \frac{1}{2} (j-1)|1\rangle$$

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} j+1 \\ j-1 \end{bmatrix} * (j-1) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} j^2 - 1 \\ j^2 - 2j + 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 - 1 \\ -1 - 2j + 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -2 \\ -2j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} j+1 \\ j-1 \end{bmatrix} * (j+1) = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} j^2 + 2j + 1 \\ j^2 - 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 + 2j + 1 \\ -1 - 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2j \\ -2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j \\ 1 \end{bmatrix}$$

Algoritmo Pais-Filho: Descrição

Algoritmo Pais-Filho: Representação no QCedit



- Verifica em uma única medida se o filho está feliz ou não;
- Cada agente é modelado por um qubit;
- Comunicação entre agentes é modelada pelo emaranhamento e sobreposição de três estados quânticos;
- Operações: porta V e controlada CV;
- Modelagem de emoções: **felicidade**
 - Estado Clássico $|0\rangle$ -- > estado **inativo**
 - Estado Clássico $|1\rangle$ -- > estado **ativo**

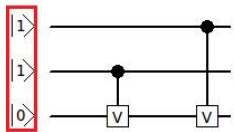
Algoritmo Pais-Filho: Descrição

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} j+1 & j-1 \\ j-1 & j+1 \end{bmatrix} & Id_2 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} & O_2 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\
 C_{1,2} V \otimes Id &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(j+1) & \frac{1}{2}(j-1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(j-1) & \frac{1}{2}(j+1) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j+1) & \frac{1}{2}(j-1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j-1) & \frac{1}{2}(j+1) \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Algoritmo Pais-Filho: Descrição

$$C_{0,2} V \otimes Id = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j+1) & \frac{1}{2}(j-1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j-1) & \frac{1}{2}(j+1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j+1) & \frac{1}{2}(j-1) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}(j-1) & \frac{1}{2}(j+1) \end{pmatrix}$$

Algoritmo Pais-Filho: Evolução



Notação de Dirac

$$|S_0\rangle = |110\rangle$$

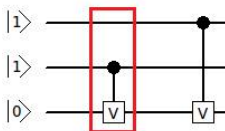
Notação Matricial

$$|110\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|S_1\rangle = (CV_{1,2} \otimes Id)|S_0\rangle$$

$$|S_1\rangle = ?$$

Algoritmo Pais-Filho: Evolução



Notação de Dirac

Notação Matricial

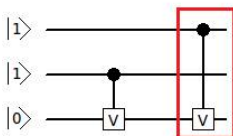
$$|S_1\rangle = (CV_{1,2} \otimes Id)|S_0\rangle$$

$$\begin{pmatrix} Id_2 & 0_2 & 0_2 & 0_2 \\ 0_2 & V & 0_2 & 0_2 \\ 0_2 & 0_2 & Id_2 & 0_2 \\ 0_2 & 0_2 & 0_2 & V \end{pmatrix} \cdot |S_0\rangle =$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{2}[j+1] \\ \frac{1}{2}[j-1] \end{pmatrix}$$

$$|S_2\rangle=?$$

Algoritmo Pais-Filho: Evolução



Notação de Dirac

$$|S_2\rangle = (CV_{0,2} |S_1\rangle)$$

Notação Matricial

$$\begin{pmatrix} Id_2 & 0_2 & 0_2 & 0_2 \\ 0_2 & Id_2 & 0_2 & 0_2 \\ 0_2 & 0_2 & V & 0_2 \\ 0_2 & 0_2 & 0_2 & V \end{pmatrix} \cdot |S_1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Algoritmo Pais-Filho: Interpretação

- O Filho tem o seu estado alterado:

$$\begin{array}{ccc}
 |S_0\rangle & & |S_2\rangle \\
 |110\rangle & \longrightarrow & -|111\rangle \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{O Filho torna-se } \text{ativo} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Resultado da Medida

- O filho fica em "cat state":

$$\begin{array}{ccc}
 |S_0\rangle & & |S_2\rangle \\
 |101\rangle & \longrightarrow & \frac{1}{2}((1+j)|100\rangle + (-1+j)|101\rangle) \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} |100\rangle, p = \frac{1}{2} \text{ O permanece } \text{inativo} \\ |101\rangle, p = \frac{1}{2} \text{ O filho torna-se } \text{ativo} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Resultado da Medida

Conclusões

Resultados Parciais Alcançados

- O trabalho introduziu a definição de métodos para descrição dos circuitos quânticos a partir dos padrões estabelecidos para os circuitos clássicos.
- Apresentou-se uma estudo para modelagem de emoções baseada em estudo de caso: Algoritmo Pais-Filho .
- Considerou-se conceitos da CQ (emaranhamento, superposição e tomografia quântica) como área estratégica para o desenvolvimento científico e tecnológico.

Continuidade

- Estudo de como representar conceitos da Logica Fuzzy usando registradores e estados da CQ.

Agradecimentos

- Grupo de Pesquisa: LUPS
- FAPERGS (PqG 002/2014, processo 309533/2013-9,)
- MCTI/CNPQ (Universal processo 448766/2014-0)

Mais informações:

E-mail: julio.mds.neto@gmail.com