Ткаченко Антон Валерьевич

магистрант

Пекинский химико-технологический университет

г. Пекин, Китайская Народная Республика

DOI 10.21661/r-117528

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

***Аннотация**: данная статья посвящена анализу возможности реализации вероятностных вычислений на основе аппарата квантовой механики. В работе рассмотрена троичная логика как частный случай логики множества переменных, реализуемая за счет расширения Гильбертова пространства. Проанализированы состояние Гринберга-Хорна-Зилингера и возможность его применения в вероятностных вычислениях. Сделан вывод о возможности создания вероятностной вычислительной машины за счет возникающих асимметричностей в ГХЗ состояниях.*

***Ключевые слова**: вероятностные вычисления, состояние Гринберга-Хорна-Зилингера, разноуровневые квантовые взаимодействия, квантовый компьютер, кубит, кутрит, кудит.*

Вычисления играют важнейшую роль во всех областях современной науки, однако, возрастающая сложность вычислительных задач приводит к нелинейному усложнению компьютерных систем. Одна из самых больших проблем является прогнозирование процессов, которые представляют собой совокупность множества вероятностных задач. Именно по этой причине стоит рассмотреть возможность создания системы, построенной на вероятностных процессах, а именно на физических принципах квантовой механики.

Целью данной работы является анализ возможный путей создания архитектуры системы, которая позволила бы решать вероятностные задачи на аппаратном уровне. Основная задача подобной системы, это попытка отказа от «экспертного мнения», которое на нынешнем этапе развития вычислительной техники, является наиболее слабым звеном, требующим применения ресурсозатратного аппарата математической статистики. Кроме того, проблема такой системы состоит в том, что она опирается на человеческий фактор, что приводит к погрешностям или ошибкам. Для решения данной проблемы предлагается изменить концепцию вычислений, что позволяет предположить возможность создания вероятностной модели вычислений, основанной на постулатах квантовой механики. В рамках теории квантовых вычислений рассматривается кубит, как композиция двух запутанных частиц. При переходе к более широкому представлению компьютерной логики, то есть троичной логики (как частного случая 2+n, где $n \geq 1$), потребуется решение данной задачи относительно существующих физических моделей, или же представление другой математической модели. Математический метод описания, который применён в данной работе, для стандартной модели двух запутанных частиц – кубита, представляет собой набор генераторов группы SU(2) (матриц Паули(1)).

$$\lambda_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \lambda_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \lambda_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \lambda_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

Чистое состояние единичного кубита может быть записано матрицей плотности (2).

$$\hat{\rho}_2 = \frac{1}{2}\sum_{3}^{j=0} r_j \lambda_j, r_j \in Re\,,\; \hat{\rho}_2 = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1+\langle\lambda_z\rangle & \langle\lambda_x\rangle - i\langle\lambda_y\rangle \\ \langle\lambda_x\rangle + i\langle\lambda_y\rangle & 1-\langle\lambda_z\rangle \end{pmatrix} \tag{2}$$

В свою очередь построенный на двух запутанных частицах, кутрит описывается генератором группы SU(3)(матрицы Гелл-Манна(3)) и представлен матрицей плотности (4).

$$\begin{gathered} \lambda_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \lambda_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \lambda_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix} \lambda_8 = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix} \end{gathered} \tag{3}$$

$$\hat{\rho}_3 = \frac{1}{3}\sum_{j=0}^{8} r_j \lambda_j \,,\, \hat{\rho}_3 = \frac{1}{3}\begin{pmatrix} 1+\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\langle\lambda_8\rangle+\sqrt{3}\langle\lambda_3\rangle\right) & \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_1\rangle-i\langle\lambda_2\rangle\right) & \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_4\rangle-i\langle\lambda_5\rangle\right) \\ \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_1\rangle+i\langle\lambda_2\rangle\right) & 1+\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\langle\lambda_8\rangle-\sqrt{3}\langle\lambda_3\rangle\right) & \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_6\rangle-i\langle\lambda_7\rangle\right) \\ \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_4\rangle+i\langle\lambda_5\rangle\right) & \frac{3}{2}\left(\langle\lambda_6\rangle+i\langle\lambda_7\rangle\right) & 1-\sqrt{3}\langle\lambda_8\rangle \end{pmatrix} \quad (4)$$

Описанный выше подход представляет собой математический формализм, по причине того, что результат достигается за счет расширения базиса Гильбертова пространства, смысл которого достаточно сложно интерпретировать с точки зрения физических измерений. Существует еще один метод, который позволяет рассмотреть проблему с другой стороны, а именно добавление в систему еще одной частицы, и учет мультивзаимодействий между ними. В этом случае картина изменения взаимодействий описывается состоянием Гринберга-Хорна-Зилингера (5).

$$GHZ_3 = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|HHH\rangle + |VVV\rangle\right), \quad (5)$$

где:

$$|HHH\rangle = |H\rangle|H\rangle|H\rangle = |1\rangle_H^a |0\rangle_V^a |1\rangle_H^b |0\rangle_V^b |1\rangle_H^c |0\rangle_V^c$$

$$|VVV\rangle = |V\rangle|V\rangle|V\rangle = |0\rangle_H^a |1\rangle_V^a |0\rangle_H^b |1\rangle_V^b |0\rangle_H^c |1\rangle_V^c$$

Данное состояние позволяет говорить о более сложных корреляциях внутри системы при наличии многих частиц, находящихся в общей запутанной группе, чем попарно запутанных. Так на примере вероятностного парадокса Бернштейна рассматривается пространство состояний Гринберга-Хорна-Зилингера. Рассматривая ГХЗ состояния, стоит отдельно отметить, возникающую аномалию, которая приводит к асимметричности: при проведении измерений на 3 фотонах, одно из состояний вообще не возникает.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что существуют два пути решения поставленной проблемы, первый – расширение существующих моделей кубита, как это было показано на примере представления троичной логики квантового компьютера посредствам использования Гильбертовых пространств большей размерности. Второй путь, это получение нужных распределений путем создания асимметричных каскадов частиц, с последующим их измерениям. В качестве примера для второго метода, можно привести взаимодействие кубитов, кутритов, кудитов как представление для разноуровневых взаимодействий. Однако, стоит отметить, что наибольший интерес в данном случае представляют запутанные пары, состоящие из разноуровневых систем, такие как кутрит-кубит, кутрит-кудит. На основе таких взаимодействий и рассматривается возможность построения вероятностной логики системы.

Таким образом, помимо прямого использования квантовой запутанности, существует намного более сложный вероятностный механизм внутреннего поведения частиц в каскадах. Анализ данного механизма позволяет предположить, что при правильной настройке таких взаимодействий можно получить вычислительную машину основой, которой будут являться вероятность в «чистом виде», что позволит производить намного более сложные вычисления при использовании намного меньших ресурсов.