

### Задание №3 Параллельная программа на MPI, которая реализует однокубитное квантовое преобразование с шумами.

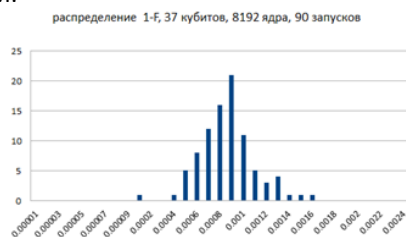
Срок сдачи задания 6.11.2013

#### Задание

1. Реализовать параллельную программу на C++ с использованием MPI, которая выполняет квантовое преобразование  $n$ -Адамар с зашумленными вентилями над вектором состояний длины  $2^n$ , где  $n$  – количество кубитов. Описание преобразования дано в разделе методические рекомендации [1]. Описание модели зашумления дано в разделе методические рекомендации [2].
2. Протестировать программу на системе Ломоносов. Точность  $\epsilon=0.01$ . Использовать 64-битную адресацию. Заполнить таблицу:

Количество кубитов	Количество вычислительных узлов	Количество используемых ядер в узле	Время работы программы (сек)
28	1	1	
		2	
		4	
		8	
	2	1	
		2	
		4	
		8	
	4	1	
		2	
		4	
		8	

3. Построить график распределения потерь точности 1-F [3] при фиксированной точности  $\epsilon=0.01$  для количества кубитов 24, 25, 26, 27, 28. Для построения каждого распределения использовать не менее 60 экспериментов. Входной вектор в экспериментах должен генерироваться случайным образом. (Всего должно быть пять распределений, соответствующие разному количеству кубитов). Пример графика распределения:



Заполнить таблицу и построить график среднего значения потерь точности:

Количество кубитов	Среднее значение потерь точности
24	
25	
26	
27	
28	

4. Построить график распределения потерь точности 1-F при фиксированном количестве кубитов  $n=26$  и различных значениях точности:  $\epsilon=0.1$ ,  $\epsilon=0.01$ ,  $\epsilon=0.001$ . Для построения каждого распределения использовать не менее 60 экспериментов. Входной вектор в экспериментах должен генерироваться случайным образом. (Всего должно быть три распределения, соответствующие разному значению точности, для  $\epsilon=0.01$  повторно выполнять эксперименты не требуется).

Заполнить таблицу:

$\epsilon$	Среднее значение потерь точности
0.1	
0.01	
0.001	

5. Написать отчет, который будет содержать результаты выполнения пунктов 1-4. В отчете должно быть указано, в какой папке хранятся результаты экспериментов, по которым написан отчет (путь к папке в домашней директории на Ломоносове с out-файлами). Так же сдается исходный код программы.

### Методические рекомендации

[1] Преобразование n-Адамар – это преобразование Адамара, выполненное последовательно n раз над вектором состояний, при этом кубит, по которому проводится преобразование изменяется от 1 до n.

[2] Для зашумления вентилей реализовать следующую модель, описанную в работе (4). Зашумленный вентиль Адамара  $H_\epsilon$  определяется следующими формулами:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}, H_\epsilon = HU(\theta), U(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, \theta = e\xi, \xi \sim N(0,1),$$

где  $\epsilon$  – это уровень шума.

Для генерации нормальной случайной величины использовать подход, описанный в (5). Код преобразования случайной величины с равномерным распределением к нормальному распределению:

```
double normal_dis_gen()
{
    double S = 0.;
    for (int i = 0; i < 12; ++i) { S += (double)rand()/RAND_MAX; }
    return S-6.;
}
```

[3] В качестве меры точности выбрать вероятность совпадения F(Fidelity) между идеальным  $|c_{ideal}\rangle$  и зашумленным  $|c_{noise}\rangle$  векторами состояний. Эта величина может быть вычислена как квадрат модуля скалярного произведения соответствующих векторов:  $F = |\langle c_{noise} | c_{ideal} \rangle|^2$ . В качестве меры потери точности использовать 1-F.

### Рекомендуемая литература

1. Антонов А.С. "Параллельное программирование с использованием технологии MPI: Учебное пособие". - М.: Изд-во МГУ, 2004. - 71 с.
2. Инструкция по работе с системой Ломоносов  
[http://www.parallel.ru/cluster/lomonosov\\_howto](http://www.parallel.ru/cluster/lomonosov_howto)
3. Кронберг Д.А, Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю. «Квантовый компьютер и квантовая информатика».  
[http://sqi.cs.msu.su/store/storage/th25kzi\\_quantum\\_computer.pdf](http://sqi.cs.msu.su/store/storage/th25kzi_quantum_computer.pdf)
4. Ю.И. Богданов, Н.А. Богданова, В.Ф. Лукичев, А.А. Орликовский, И.А. Семенихин, А.С. Холево, А.Ю. Чернявский, Математическое моделирование влияния квантовых шумов на точность реализации квантовых алгоритмов // International Conference "Parallel and Distributed Computing Systems" PDCS 2013 (Ukraine, Kharkiv, March 13-14, 2013), сс. 50-57
5. Дональд Кнут. Искусство программирования. Глава 3.3. Спектральный критерий