

## СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 004.032.26

### Анализ процессов обучения и использования квантовых нейронных сетей

**С.М. Гушанский<sup>1</sup>, В.Е. Буглов<sup>1\*</sup>, Е.А. Подорога<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

<sup>2</sup> Таганрогский институт имени А. П. Чехова (филиал) РГЭУ (РИНХ), Таганрог, Россия

\* E-mail: buglov@sfnedu.ru

**Аннотация.** В данной статье проводится исследование процессов обучения и использования квантовых нейронных сетей для решения разнообразных задач, среди которых выделяется прогнозирование, кластеризация, распознавание образов и их классификация и т. п. Также выполнен сравнительный анализ классических и квантовых искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** искусственные нейронные сети, Квантовые нейронные сети, Кубит, Суперпозиция, Квантовый нейрон

### Analysis of learning processes and the use of quantum neural networks

**S.M. Gushansky<sup>1</sup>, V.E. Buglov<sup>1\*</sup>, E.A. Podoroga<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Southern Federal University, Taganrog, Russia

<sup>2</sup> Taganrog Institute named after A. P. Chekhov, Taganrog, Russia

\* E-mail: buglov@sfnedu.ru

**Abstract.** This article studies the learning processes and the use of quantum neural networks for solving various problems, including forecasting, clustering, pattern recognition and classification, etc. A comparative analysis of classical and quantum artificial neural networks is also performed.

**Keywords:** artificial neural networks, quantum neural networks, qubit, superposition, quantum neuron

## 1. Введение

В области машинного и искусственного интеллекта существует острая необходимость в осуществлении квантового обучения для улучшения качества работы имеющихся систем [1]. К настоящему моменту разработаны различные варианты моделей квантовых нейронных сетей. При этом ни один из прототипов не является общепринятым [2].

Искусственным нейронным сетям (ИНС) присущи следующие свойства [3]:

- параллельная распределённая обработка,
- устойчивость к ошибкам,
- обобщение выявленных знаний.

Обобщение выявленных знаний представляет собой процесс генерации верных выходов входных сигналов. Данные сигналы не применяются в процессе обучения ИНС.

При использовании ИНС могут возникнуть сложности, связанные с [4]:

- отсутствием правил для детерминированных архитектур,
- ограниченным объёмом памяти,
- длительным временем, затрачиваемым на процесс обучения.

Нейронная система, осуществляющая квантовые вычисления, именуется квантовой системой. Квантовые нейронные сети (КНС) – это сочетание ИНС и квантовых вычислений.

КНС присущи следующие особенности [5]:

- экспоненциальная ёмкость памяти,
- высокая скорость обучения,
- стабильность и надёжность функционирования,
- высокая скорость обработки данных.

## 2. Компоненты, формирующие КНС

Решётки, точки и стандартное прямое распространение являются популярными моделями КНС [6].

Далее в таблице 1 представлено соотношение между квантовой механикой и ИНС:

**Таблица 1.** Связь между квантовой механикой и ИНС.

ИНС		КНС	
Состояние искусственного нейрона	$x_j \in \{0,1\}$	Кубиты	$ x\rangle = a 0\rangle + b 1\rangle$
Связь	$\{w_{i,j}\}_{i,j=1}^{p-1}$	Запутанность	$ x_0, x_1, \dots, x_{p-1}\rangle$
Обучающее правило	$\sum_{s=1}^p x_i^s x_j^s$	Суперпозиция	$\sum_{s=1}^p a_s  x_0^s, \dots, x_{p-1}^s\rangle$
Поиск победителя	$n = \max \arg(f_i)$	Интерференция	$U: \Psi \rightarrow \Psi'$
Выходной результат	$N$	Декогеренция	$\sum_s a_s  x^s\rangle \rightarrow  x^k\rangle$

Степень эффективности от применения нейронных сетей обуславливается возможностью параллельной распределённой обработкой информации. В свою очередь квантовым системам свойственен квантовый параллелизм, который выражается на основе принципа суперпозиции [7].

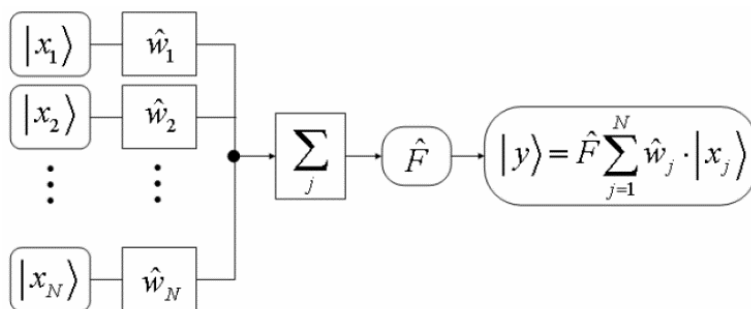
Для построения КНС необходимо использовать:

- квантовые алгоритмы,
- инструменты измерения весов нейронов.

Благодаря этому возможно осуществлять моделирование КНС среднего размера, обладающих высокой точностью работы и быстрым временем функционирования.

Основной принцип функционирования КНС заключается в следующем: через входные каналы квантовому нейрону поступают входные сигналы. На маршруте передвижения входного сигнала располагается соединение с определённым весом, отражающим синаптическую активность нейрона. Квантовому нейрону ставится в соответствие пороговое значение, вычитаемое из взвешенной суммы входов. Таким способом можно получить величину активации нейрона.

На рисунке 1 продемонстрирована математическая модель квантового нейрона:



**Рисунок 1.** Математическая модель квантового нейрона.

где  $|y\rangle = \hat{F} \sum_{j=1}^N \hat{w}_j \times |x_j\rangle$  – математическая модель квантового нейрона,  $\hat{w}_j$  – матрица вида  $2 \times 2$  на основе кубитов  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ ,  $\hat{F}$  – оператор функционирования сети квантовых ячеек.

На рисунке 2 представлена КНС, деятельность которой направлена на осуществление вычисления функции XOR. Входному узлу  $i$  соответствует регистр  $|\alpha\rangle_i$ . Два скрытых узла вычисляют взвешенную сумму входов  $|\psi\rangle_{i1}$  и  $|\psi\rangle_{i2}$  с последующим сравнением полученного результата с пороговым значением  $|\psi\rangle_{i0}$ . В том случае, если значение взвешенной суммы превышает пороговое значение, то сигнал передаётся дальше.  $|\beta\rangle_k$  – значения вычислений, происходящих внутри узлов. Функционирование выходного слоя осуществляется по аналогии: т. е. значения взвешенной суммы скрытых узлов сравниваются с пороговым значением. Затем КНС выполняет проверку полученных значений выходов с последующим их сравнением с целевым выходом  $|\Omega\rangle_j$ . В том случае, если значения равны, то  $|\varphi\rangle_j$  передаётся на следующий уровень.  $|p\rangle$  – производительность сети.

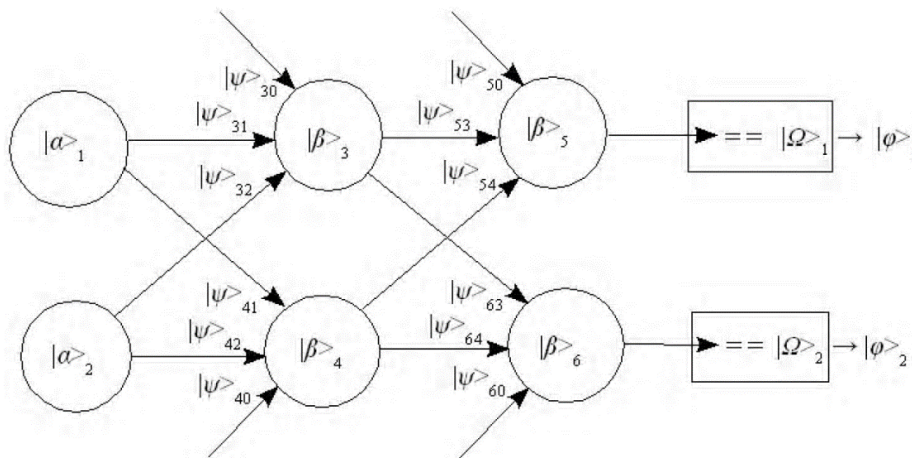
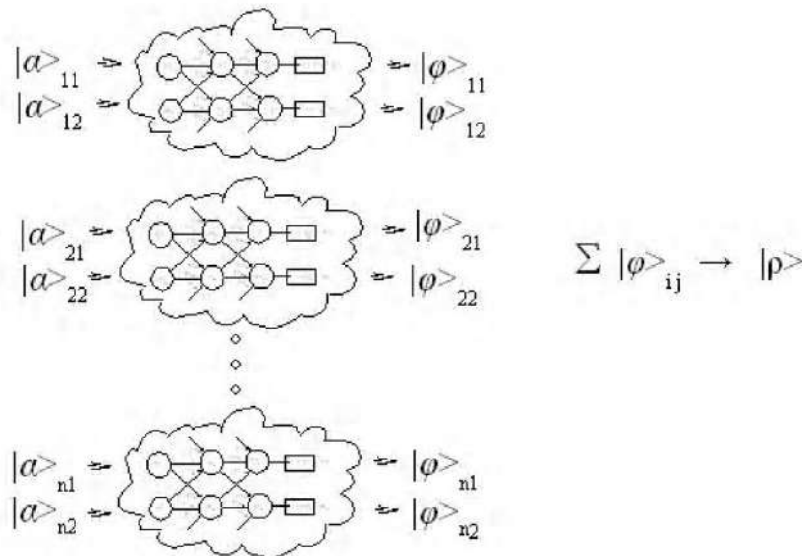


Рисунок 2. Модель КНС для вычисления XOR функции.

### 3. Квантовый поиск, применяемый для выполнения обучения квантовой сети

КНС обладает двумя входными параметрами. Каждому обучающему примеру  $n$  соответствуют два входных регистра вида  $|\alpha\rangle_{11}, \dots, |\alpha\rangle_{n2}$ . Целевые ответы сохраняются в данных регистрах в виде  $|\Omega\rangle_{11}, \dots, |\Omega\rangle_{n2}$ . Скрытые и выходные узлы имеют вектор веса  $|\psi\rangle_i$ . После выполнения классификации входного примера регистры  $|\psi\rangle_1$  и  $|\psi\rangle_2$  отражают способность сети классифицировать этот пример. На рисунке 3 представлен пример обучения квантовой нейронной сети.



**Рисунок 3.** Обучение квантовой сети.

С целью обучения квантовой сети необходимо выявить весовой вектор, который согласовывается с обучающими данными. Необходимо выявить способ, при помощи которого процесс классификации обучающих примеров будет осуществляться с высокой точностью. Формализовав задачу, имеем, что  $|p\rangle = n \times t$ , где  $n$  – число обучающих примеров, а  $t$  – число выходных узлов. Необходимо применять квантовый алгоритм поиска [8] вследствие того, что количество весовых векторов, необходимых для решения поставленной задачи, неизвестно.

Регистры, за исключением входных и целевых выходов, инициализируются с состоянием  $|0\rangle$ . Согласно принципу суперпозиции, классификация обучающего примера выполняется с учётом каждого возможного весового вектора одновременно. Таким образом,  $|p\rangle = n \times t$ , что соответствует искомому вектору классификации. Количество времени, требуемого для поиска вектора, имеет экспоненциальную сложность  $O(\sqrt{2^b/t})$ .

### 5. Вывод

Был рассмотрен процесс построения КНС, имеющей четыре входных узла, три скрытых узла, а также три выходных узла. В качестве весов выступали целочисленные кубиты. После проведения 74 обучающих эпох, точность работы КНС на обучающем наборе данных достигла 95%.

### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-07-01082.

### Список литературы

1. Булавин, Д.А. Анализ организации, обучения и применения квантовых нейронных сетей / Д.А. Булавин // XIV Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение». – Москва. – С.89-93.
2. Гушанский, С.М. Квантовые нейронные сети / С.М. Гушанский, В.А. Чурсин // «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности». – Таганрог. – №2 – С.90-93.
3. Гушанский, С.М. Влияние запутанного квантового состояния на вычисления в квантовой нейронной сети / С.М. Гушанский, В.А. Чурсин // «Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2016)». – Таганрог. – С.280-285.
4. Гушанский, С.М. Использование квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для обучения квантовой нейронной сети / С.М. Гушанский, В.А. Чурсин, В.Ф. Гузик // «Информатизация и связь». – Москва. – С.9-12.
5. Гушанский, С.М. Декогерентность в квантовой нейронной сети / С.М. Гушанский, Н.М. Коробейникова // «Технологии разработки информационных систем ТРИС-2019». – Геленджик. – С.175-181.
6. Гушанский, С.М. Применимость квантовых нейронных сетей для задач распознавания и обнаружения образов / С.М. Гушанский, А.В. Горбунов, В.А. Переверзев // «Вестник Адыгейского государственного университета». – Майкоп. – С.59-68.
7. Гушанский, С.М. Алгоритм обучения квантовой нейронной сети на основе суперпозиции / С.М. Гушанский, В.А. Чурсин // «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности». – Таганрог. – №3 – С.291-293.
8. Гушанский, С.М. Обзор методов распознавания образов с использованием нейронных сетей / С.М. Гушанский, М.В. Онищенко // «Вестник молодёжной науки России». – Новочеркасск. – №5 – С.4.