

НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

Керп А.С., Лукоткин А.С.,

научный руководитель: доктор физико-математических наук Цих А.К.,

*Физико-математическая школа при
Сибирском Федеральном Университете*

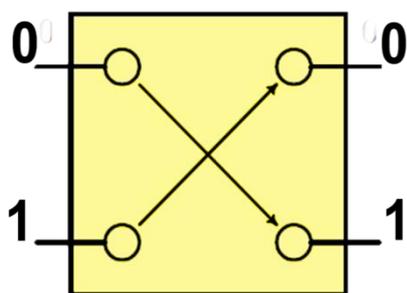
Квантовая информатика — новый раздел науки, возникший на стыке квантовой механики, алгоритмов и теории информации. В квантовой информатике изучаются общие принципы и законы, управляющие динамикой сложных квантовых систем. Моделью таких систем является Квантовый компьютер. Квантовый компьютер — вычислительное устройство, работающее на основе квантовой механики. Квантовый компьютер принципиально отличается от классических компьютеров, работающих на основе классической механики. Полномасштабный квантовый компьютер является пока гипотетическим устройством, сама возможность построения которого связана с серьёзным развитием квантовой теории в области многих частиц и сложных экспериментов. Ограниченные квантовые компьютеры уже построены; элементы квантовых компьютеров могут применяться для повышения эффективности вычислений уже на существующей приборной базе.

Идея построения квантового компьютера была предложена в 1980 году советским математиком Ю. И. Маниным, который во введении к книге «Вычислимое и невычислимое» выдвинул идею квантовых автоматов. Эту идею поддержали физики, в частности, П. Бениоф и Нобелевский лауреат Р. Фейнман.

Необходимость в квантовом компьютере возникает тогда, когда мы пытаемся исследовать методами физики сложные многочастичные системы, подобные биологическим. Пространство квантовых состояний таких систем растет как экспонента от числа n составляющих их реальных частиц, что делает невозможным моделирование их поведения на классических компьютерах уже для $n=10$. Поэтому Фейнман и предложил построение квантового компьютера. Квантовый компьютер использует для вычисления неклассические алгоритмы.

Согласно фон Нейману (1946) ЭВМ состоит из следующих основных блоков:

1. Устройство ввода/вывода информации.
2. Память компьютера.
3. Процессор, состоящий из устройства управления (УУ) и арифметико-логического устройства (АЛУ).



Логический элемент «НЕ»

Среди общих принципов работы ЭВМ есть Принцип двоичного кодирования: вся информация кодируется с помощью двоичных символов, т.е. имеющих только два состояния — 0 и 1.

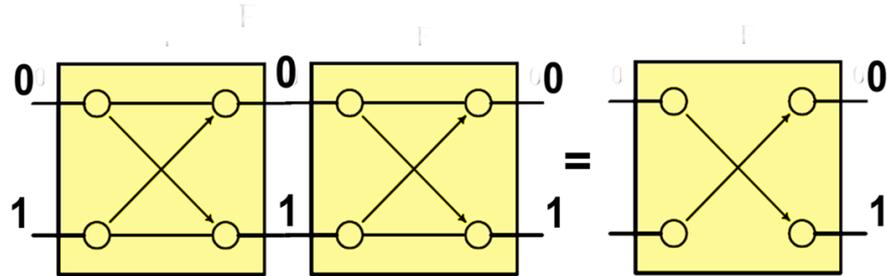
Процессор состоит из набора схем, собранных из логических элементов.

Логический элемент — устройство ЭВМ, выполняющее одну определенную операцию над

входными сигналами согласно правилам алгебры логики (восходящим к Аристотелю). Например, логический элемент, отражающий переход к отрицанию, изображается следующей схемой:

В рамках действительного анализа нельзя построить логический элемент $\sqrt{НЕ}$, т.е такой, для которого $\sqrt{НЕ} \times \sqrt{НЕ} = НЕ$

Отражающая это равенство техническая схема такая:

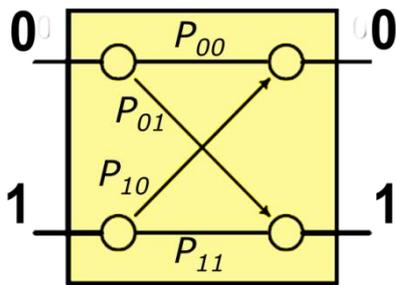


Для большей общности предполагается, что переходы $0 \rightarrow 0, 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0, 1 \rightarrow 1$ происходят с вероятностями $P_{00}, P_{01}, P_{10}, P_{11}$.

Для элемента «НЕ» имеем:

$$P_{00}=P_{11}=0$$

$$P_{01}=P_{10}=1$$



Вероятностная схема преобразования двух сигналов

Для схемы $\sqrt{НЕ} \times \sqrt{НЕ}$

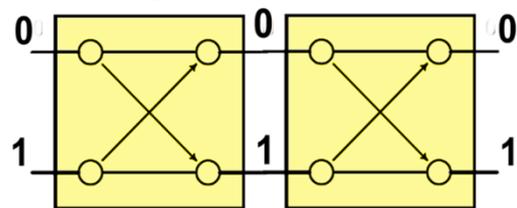
имеем:

$$P_{00}P_{00}+P_{01}P_{10}=0$$

$$P_{00}P_{01}+P_{01}P_{11}=1$$

$$P_{10}P_{00}+P_{11}P_{10}=1$$

$$P_{11}P_{11}+P_{10}P_{01}=0$$



Поскольку $P_{ij} \geq 0$, получаем $P_{00}=P_{11}=0$, тем самым $P_{00}P_{01}+P_{01}P_{11}=1$ или $P_{10}P_{00}+P_{11}P_{10}=1$ сводится к $0=1$. Таким образом, данная схема нереализуема для вещественных неотрицательных чисел.

Путь к реализации равенства подсказывает квантовая механика, в которой под амплитудой вероятности перехода $i \rightarrow j$ подразумевает комплексное число c_{ij} , для которого $p_{ij} = |c_{ij}|^2$. Таким образом, если в данном неравенстве заменить p_{ij} на комплексные числа c_{ij} , то тогда следует рассмотреть уравнения

$$P(0 \rightarrow 0) = |c_{00}c_{00} + c_{01}c_{10}|^2$$

$$P(0 \rightarrow 1) = |c_{00}c_{01} + c_{01}c_{11}|^2$$

$$P(1 \rightarrow 0) = |c_{10}c_{00} + c_{11}c_{10}|^2$$

$$P(1 \rightarrow 1) = |c_{11}c_{11} + c_{10}c_{01}|^2$$

Данная система уравнений имеет множество решений, некоторые из которых уже были вычислены. Например: $c_{00} = c_{11} = i/\sqrt{2}$, $c_{01} = c_{10} = 1/\sqrt{2}$

В ходе работы с данной системой нам удалось выяснить, что решениями системы на множестве \mathbb{C} составляют векторы, параметрированные тремя переменными $\alpha, \beta, \varphi \in [0; 2\pi]$.

$$c_{00} = c_{11} = e^{i\alpha}\sqrt{2}, c_{01} = e^{i\beta}/\sqrt{2}, c_{10} = e^{i\varphi}/\sqrt{2}.$$

Но нам удалось данные решения свести к двум параметрам:

$$c_{00} = c_{11} = e^{i\alpha}\sqrt{2}, c_{01} = e^{i\beta}/\sqrt{2}, c_{10} = e^{i(\pi+2\alpha-\beta)}/\sqrt{2}.$$

Итак, цели нашей работы заключаются в следующем:

1. Найти другие корни данной системы уравнений, либо доказать, что их больше нет.
2. Построить квантовый компьютер с использованием неклассических логических элементов.
3. Найти другие неклассические логические элементы.