

УДК 535.37.3

ПРИНЦИП ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Қансейтова Б.З., Жанасбаева А.С.

kanseit.b@gmail.com, janasbaeva@inbox.ru

Преподаватели кафедры РЭТ ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Кабылбекова У.М.

Квантовые основы передачи и защиты информации. Главным свойством системы связи является точное или приближенное воспроизведение некоторого сообщения в определенной точке пространства и времени, выбранное в другой точке. Сообщение выбирается из некоторого семейства возможных сообщений. С другой стороны, согласно физическому принципу неопределенности Гейзенберга – нельзя одновременно точно знать и положение x частицы, и ее импульс p . Фактически $xp \geq h = 6,626 \times 10^{-34}$ Дж с, тогда, с помощью уравнения Эйнштейна – $E = mc^2$, этот же принцип можно перенести в область обработки сигналов, где он будет формулироваться следующим образом: нельзя одновременно с любой точностью определить время и частоту, следовательно

$$\Delta f T \geq 1$$

где Δf и T описывают разрешение по частоте и по времени. Если разрешение по времени высокое, то частота будет определяться менее точно, и наоборот.

Следовательно, может оказаться, что достаточно сложно одновременно измерить с необходимой степенью точности частоту компонента сигнала и время его появления или разделить во времени различные частотные компоненты. Это может произойти, если сигнал содержит кратковременные высокочастотные компоненты, расположенные слишком близко к более продолжительным компонентам во временной области, которые также близко расположены в частотной области и возникают в различные моменты времени. Такие сигналы не периодичны.

Квантовые эффекты. Свойство квантовых точек. В свое время один из осноположников квантовой механики Эрвин Шредингер, говорил об электроны, «размазанном» по пространству. Тем не менее можно говорить о вероятности нахождения электрона в той или иной точке пространства. На основании способности элементарных частиц (электрон, фотон) находиться в суперпозиции (одновременно существовать во всех возможных состояниях и находиться во всех возможных местах), встречающиеся в квантовой теории электронных пульсаторов, их можно использовать как один из эффективных методов обработки нестационарных сигналов (не периодичные) с различными частотными компонентами, распложенными в различных промежутках времени.

Важнейшей для нас характеристикой квантовых объектов является квантово-размерный эффект, который играет существенную роль для крупниц вещества, размер которых сопоставим с длиной волны де-Бройля для электрона в них. Этот эффект заключается в следующем: если «запереть» электрон в достаточно маленькой области пространства, не давая ему «убежать», то энергия сможет принимать лишь некоторые допустимые значения. Другими словами, спектр значений энергии электрона станет дискретным. Роль такой ловушки для электрона и играют микроскопические частицы полупроводников, получившие название квантовых точек. Отметим, что для свободно движущихся электронов энергия может принимать любые значение, её спектр значений – непрерывен.

Типичный размер квантовых точек – от одного до нескольких десятков нанометров, что сравнимо с размером вируса (1 нанометр равен 10^{-9} м). Они содержат от 1000 до 100 000 атомов, хотя в некоторых случаях их количество может быть и больше. Дискретный спектр энергий делает поведение квантовой точки, состоящей из большого числа атомов, похожим на поведение одиночного атома. Возбуждая её с помощью электричества или света, можно, так же как в атоме, перевести электрон в состояние с большей энергией. А при переходе электрона обратно в состояние с меньшей энергией излучается фотон. Поэтому часто квантовую точку так и называют – искусственным атомом, правда, не имеющим ядра.

Квантовые точки «выросли» в результате исследований так называемой квантовой ямы – систем, в которых движение электронов было ограничено только в одном направлении.

Свойство квантовых точек вытекает из энергетического характера квантовой ямы, стенками которой служат энергетические барьеры. Управлять размером квантовой ямы, а значит, и спектром излучения можно, воздействуя на квантовую точку электрическим и магнитным полем.

По данным [5], квантово-размерный эффект играет существенную роль для крупниц вещества, размер которых сопоставим с длиной волны де-Бройля для электронов в них. Этот эффект заключается в том, что если «запереть» электрон в достаточно маленькой области пространства с длиной L (ширина ямы) не давая ему «убежать», то его энергия сможет принимать лишь некоторые допустимые значения, т.е. спектр значений энергии станет дискретным для чего рассмотрим условие образования стоячих волн на длине L , где укладывается целое число полуволен:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$ Эта формула определяет возможные значения длины волны де Бройля λ для электрона.

Поскольку γ она связана с импульсом электрона p соотношением $\lambda = h/p$, где h – постоянная Планка, а для полной энергии электрона массой m в нерелятивистском случае справедливо соотношение $E = p^2/2m$, и после некоторых арифметических преобразований получим формулу для возможных значений энергий

$$E_n = \frac{h^2}{8mL^2} n^2 \quad (2)$$

Откуда видно, что спектр энергии дискретен, а допустимые значения зависят от числа n а Расстояние между энергетическими уровнями равно

$$\Delta E_n = E_{n+1} - E_n \approx \frac{h^2}{4mL^2} n. \quad (3)$$

Из формулы следует, что расстояние между энергетическими уровнями быстро уменьшается при увеличении размера квантовой точки L . При достаточно малом ΔE_n мы просто перестанем различать отдельные уровни, настолько близко друг к другу они будут располагаться. При этом спектр энергии не будет отличаться от непрерывного. Кроме того, на основании соотношения де-Бройля, расстояние между энергетическими уровнями, ΔE_n равно энергии $E = h\nu$ излучаемого кванта при переходе электрона между этими уровнями (ν – частота излучения). Поэтому, изменяя размер квантовой точки, можно регулировать частоту её излучения. При увеличении L частота излучения падает, свет смещается в красную сторону спектра (для отнесения ИК-спектра). В этом и заключается основное достоинство квантовых точек – для данного химического состава и формы кристалла спектр излучения зависит только от его размера. Управлять размером квантовой ямы, а значит, и спектром излучения можно, воздействуя на квантовую точку электрическим и магнитным полем. Таким образом, свойство квантовых точек вытекает из энергетического характера квантовой ямы, стенками которой служат энергетические барьеры.

Вычислительная эффективность использования квантовых пульсаторов в цифровой обработке сигналов.

Бит классического компьютера может находиться лишь в двух состояниях: 0 и 1. Состояние квантового бита (кубита) – это все точки между 0 и 1, причем в суперпозиции (то есть одновременно во всех этих состояниях). На этом ссоснован принцип квантового параллелизма – один из двух столпов квантовых вычислений.

При большом количестве символов в последовательности применяется бинарный поиск или алгоритм, оперирующий двоичными дробями.

Бинарный поиск состоит в том, что ключ (определяется в процессе кодирования диапазонов появления символов) сравнивается со средним элементом списка. Если эти значения окажутся равными, то искомый элемент найден, в противном случае поиск продолжается в одной из половин списка. Нахождение элемента бинарным поиском осуществляется очень быстро. Максимум бинарного поиска равен $\log_2(N)$. Недостаток бинарного поиска заключается в необходимости последовательного сохранения списка, что усложняет операции добавления и исключения элементов. Но используя таблицу истинности логических функций можно представить алгоритм определенной комбинации взаимодействия кубитов, обеспечивающие параллельные вычисления, а в качестве алгоритма оперирующем двоичными дробями используется частота квантовых пульсаций электрона составляет около 1.24×10^{20} Гц (рисунок 1).

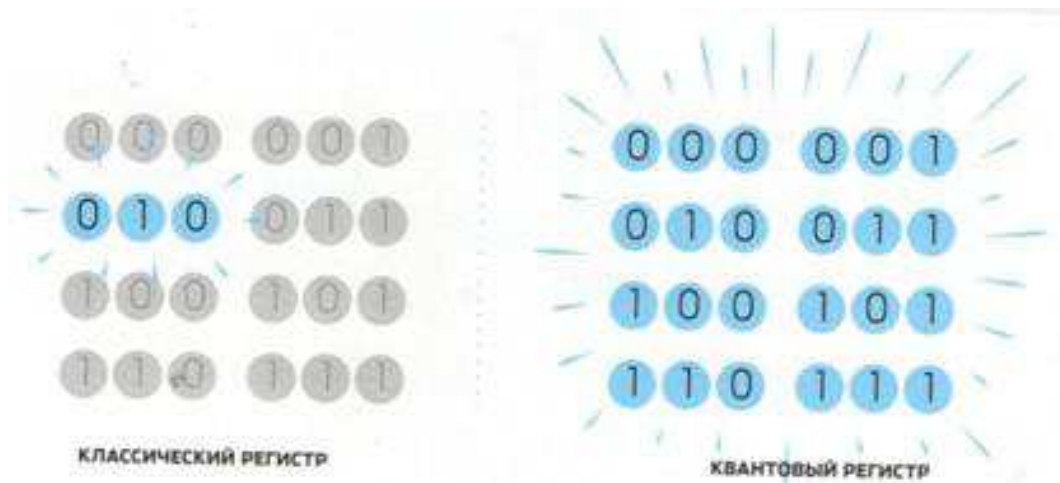


Рисунок 1 – Таблица слева показывают состояние регистра из трех классических битов, а таблица справа - состояние регистра из трех кубитов

Однако при вычислениях мы общаемся с кубитом на обычном двоичном языке, задавая ему начальное состояние в виде одного из двух энергетических уровней. Преимущества начинают проявляться при взаимодействии двух и более кубитов. В игру вступает второй «столп», квантовая запутанность – явление, при котором квантовые состояния двух или более объектов оказываются взаимосвязаны.

Задавая начальные состояния для нескольких кубитов и заставляя их взаимодействовать, мы получаем смешанное состояние кубитов, и наше преимущество перед классическим компьютером начинает расти экспоненциально. К примеру, если регистр из двух классических битов за один такт побывает лишь в одном состоянии, то регистр из двух кубитов – в четырех. Из трех – в восьми, из четырех – в 16. 64-битный регистр даст 2^{64} состояния за один такт.

Работа квантового алгоритма выглядит примерно так: мы задаем двоичные начальные состояния для группы кубитов, заставляем их взаимодействовать между собой в определенных комбинациях, производим над ними логические операции (вполне классические), а по окончании действия алгоритма считываем с них двоичные значения. Что происходит при взаимодействии кубитов друг с другом – вопрос, едва ли постижимый для нашего макроскопического мозга. Но именно этот этап дает квантовому компьютеру экспоненциальное преимущество в скорости.

Работа квантового алгоритма выглядит примерно так: мы задаем двоичные начальные состояния для группы кубитов, заставляем их взаимодействовать между собой в определенных комбинациях, производим над ними логические операции (вполне классические), а по окончании действия алгоритма считываем с них двоичные значения. Кроме того, взаимодействия определенных комбинаций в некоторые моменты времени показывают сигнал (стационарно в широком смысле) случайного процесса $X(t)$. Известно, что сигнал представляет собой случайную двоичную последовательность с положительными и отрицательными (биполярными) импульсами единичной амплитуды и они появляются с равной вероятностью. Длительность каждого импульса (двоичные цифры) равна T секунд, а среднее, или величина постоянной составляющей случайной последовательности, равна нулю. Далее представим, что та же последовательность, смещенная во времени на τ_1 секунд, т.е. эта последовательность будет обозначаться $X(t - \tau_1)$. Если процесс $X(t)$ является эргодическим по отношению к автокорреляционной функции, то для нахождения $R_x(\tau)$ мы можем использовать усреднение по времени вместо усреднения по ансамблю. Значение $R_x(\tau)$ получается при перемножения двух последовательностей $X(t)$ и $X(t - \tau_1)$ с последующим определением среднего с помощью уравнения

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} X(t)X(t + \tau)dt,$$

которое справедливо для эргодических процессов только в пределе [8,9]. Таким образом, все указанные сложные процессы происходят при взаимодействии кубитов друг с другом

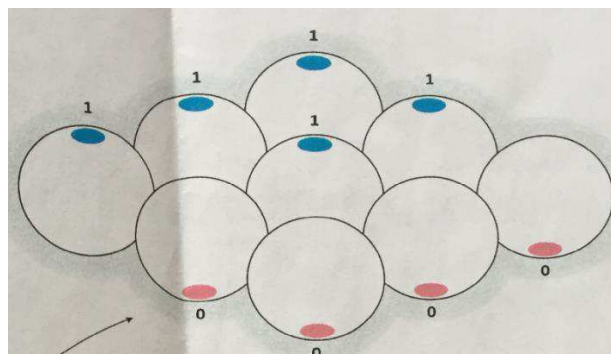
Для пояснения в работе предложен способ описания случайных сигналов в виде среднего случайного процесса $X(t_k)$, представляющего распределения плотности вероятности в диапазонах появления символов, с использованием квантомеханических процессов переноса (одновременно существовать во всех возможных местах), т.е, вероятности нахождения электрона в той или иной точке пространства. Восстановление сообщений из них важным является вопрос о распределении энергии сложного периодического сигнала $U(t)$ по его спектральным составляющим [7,9]. Кроме того, использован арифметическое сжатие информации, в основу которого лежит идея представления кодируемого текста (последовательности) в виде дроби таким образом, чтобы текст был представлен как можно компактнее [1]. По мере арифметическом кодировании текста, интервал, отображающий значение символа, уменьшается, а количество битов для представления символа растет а для вычисления предложен квантовый компьютер, который может обработать множество значений за один такт, так как параллельные вычисления заложены в самой природе квантового мира.

Преимущества параллельности.

Алгоритм для квантовых компьютеров принципиально отличается от тех, которые используются в классических. Квантовые алгоритмы имеют преимущество параллельности. Его проще всего объяснить на следующем примере: Перед Вами стопка карточек, из которых нужно найти одну с нужным именем. Классический компьютер читает карточки по очереди; квантовый оценивает вероятность каждой из них оказаться той самой, которая нужна криптоаналитику, (искемой). Даже если придется оценить вероятность несколько раз, чтобы уточнить результат, это все равно будет быстрее, чем перебирать по одной.

Важно отметить, что, согласно постулатам квантовой механики, мы не можем измерить состояние квантового объекта, не разрушив это состояние. В момент измерения все взаимодействия теряют смысл (говорят о коллапсе волновой функции), а результат носит вероятностный характер. Поэтому квантовые вычисления по природе своей вероятностны. Тем не менее точность можно повысить до приемлемых значений, совершенствуя алгоритмы и увеличивая количество измерений [12,15].

1. Предложение и рекомендации:



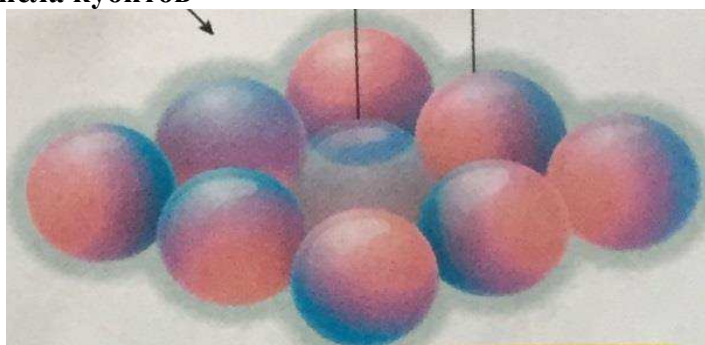
Чтобы построить универсальный квантовый компьютер, ученым предстоит решить несколько сложных проблем, которые, огрубляя, можно свести к трем главным: борьбе с потерей когерентности, сложностям с увеличением числа кубитов и исправлению ошибок.

2. Потеря когерентности



Суперпозиция квантовых состояний позволяет квантовому компьютеру выполнять параллельные вычисления, но поддерживать состояние суперпозиции – сложная инженерная задача; для этого нужно все время контролировать состояние кубитов и защищать их от внешних воздействий.

3. Увеличение числа кубитов



Каждый новый кубит должен быть способен прийти в состояние суперпозиции с остальным. Но чем больше кубитов, тем менее стабильна система. Ученые работают над увеличением времени, за которое система теряет когерентность (за которое распадается суперпозиция) [13].

Поиск и исправление ошибок. Ошибки в вычислениях квантового компьютера возникают из-за декогеренции квантовой системы. В некоторых вариантах отслеживание и исправление ошибок осуществляется за счет особого расположения кубитов в пространстве; как правило, контрольные кубиты располагаются вокруг тех, которые выполняют вычисления. Это приводит к уменьшению числа ошибок, но увеличивает общее число кубитов и поэтому усложняет управление системой. Например в основном при помехоустойчивом кодировании и т.д.

Принцип получения квантовых точек. Следует отметить, что как было отмечено выше, основное достоинство квантовых точек, это получение спектра излучения, который зависит от химического состава, формы кристалла и его размера. Таким образом, для получения спектра излучения заданной частоты, надо просто вырастить кристаллы нужного размера.

На основании открытия процесса самоорганизации квантовых точек, еще в 1990-е годы, то есть самопроизвольное возникновение упорядоченной макроскопической структуры на подложке при определенных условиях, привело образованию упругих напряжений, которые возникают в подложке, когда в ней осаждаются атомы или молекулы другого вещества. Эти упругие напряжения заставляют осаждаемое вещество собираться в островки, которые могут повторять и не повторять, тем самым реализуется свойство физических

систем переходить в равновесное состояние, при котором энергия системы минимальна соответствующая нулевому уровню составляет $h\omega/2$ [11,13,15].

По данным [4, 5], для создания квантовых точек подходят разные полупроводниковые материалы: кремний (Si), селенид кадмия (CdSe), теллурид кадмия (CdTe), селенид свинца (PbSe), фосфид индия (InP), сульфид цинка (ZnS), селенид цинка (ZnSe), арсенид галлия-индия (InGaAs) и другие. Варьируя эти вещества и условия технологических процессов, удается создавать частицы, различающиеся не только размерами и формой, но и физико-химическими свойствами в частности, получение квантовой ямы с шириной, соответствующей длине де-Бройля [3-5]. Кроме того, Технологии их получения условно можно разделить на физические и химические. Физические методы обеспечивают более полный контроль над процессом, но требуют сложного оборудования. Химические методы проще и позволяют получить за цикл огромное количество квантовых точек (до 10^{20}) [4,12].

Следует отметить, что широкое распространение современных информационных технологий требует непрерывного совершенствования вычислительной техники. Например, развитие сетевых технологий (до 100 млн новых пользователей в мире ежегодно) приводит к значительному росту объема передаваемой и обрабатываемой информации. До сих пор продолжает выполняться закон Матклафа – интенсивность использования ресурсов любой сети (в частности, сети Интернет) пропорциональна квадрату числа пользователей, что во многом определяет необходимость дальнейшего развития информационных технологий (ИТ). Нужно отметить и научную важность усовершенствования ИТ: так, ВТ, обладающая большими скоростями обработки и объемом обрабатываемых данных, позволяет значительно расширить круг задач, решаемых методами математического моделирования. В частности быстродействие ВТ увеличивалось за счет совершенствования транзисторов [13,14].

Проявление квантовых эффектов. Постоянное уменьшение размеров транзистора постоянно приводит к необходимости создания частей транзистора, характерные размеры которых (например, длины канала) имеют толщину в несколько атомарных слоев. Поскольку при последовательном уменьшении размера элементов все сильнее проявляются квантовые эффекты, возникает проблема переноса заряда путем туннелирования электрона через потенциальный барьер («закрытый» канал) Кроме того. При уменьшении размера канала уменьшается количество основных носителей заряда, что также накладывает ограничения на развитие полупроводниковой вычислительной техники. Если длина канала еще может быть уменьшена. То для диэлектрика затвора возможности уменьшения уже сейчас фактически исчерпаны Так в 90 нм технологии толщина диэлектрика составляет всего 1,2 нм, что приводит утечке за счет туннелирования и, как следствие, увеличению потерь энергии и тепловыделению [5,14].

Список использованных источников

1. Сергеев В.С, Барин В.В. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах. – Москва: Издательское предприятие РадиоСофт, 2014, С.35-85.
2. Гришаев А.А. Масса, как мера собственной энергии квантовых осцилляторов. Институт метрологии времени и пространства, ГП ВНИИФТРИ.141570 Московская обл., Менделеево, 2012, С. 37-60.
3. Гришаев А.А. Автономные превращения энергии квантовых пульсаторов – фундамент закона сохранения энергии. Государственный эталон времени-частоты, ФГУП «ВНИИФТРИ» 141570 Москва., Менделеево, 2013, С.67-92.
4. Глушков Е, Шульга К. Лаборатория сверхпроводящих метаматериалов НИТУ «МИС и С. Ж-л. Популярная механика, – М. №3. 2014, С.34-37.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Москва, Санкт-Петербург, Киев. 2007, С.800-826.

6. Аифичер Э., Джервис Б.(Москва.Санкт-Петербург.Киев 2004) Цифровая обработка сигналов., Практический подход. 2007, С. 173-182
- 7.Дмитриев В.И. Теория информации. – М.: Высшая школа, 1989, С.185.
8. Игнатов В.А.Теория информации и передачи сигналов. – М.: Радио и связь, 1991.
9. Костров Б.В. Основы цифровой передачи и кодирования информации – М.: «ТехБук», 2007, С.43-110.
10. Ричард Л.. Цифровая обработка сигналов. Издательство Бином. Пер с англ., – М.: 000 Бином – Пресс», 2013, С. 156.
11. Конопелько В.К., Борискевич А.А, Цветков В.Ю. Многомерные технологии сжатия,защиты и коммутации изображений. Минск «Бестпринт», 2008, С.7-20.
12. Понятов А. Квантовые точки прогресса. // «Наука и жизнь» №6, 2016.
- 13.Технологии / Квантовые технологии. Квантовая связь. //Популярная механика, М. №12. – 2018. с.75-78.
14. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника. – Москва, 2004. с.388 – 510.
15. Скотт Э. Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур. – Москва.: «ФИЗМАТЛИТ», с.50 -200 – 510.