

Квантовая коммуникация как новый подход в области навигации группы объектов

Ж. Б. Нгуа Ндонг Авеле

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

avelejacques@yahoo.fr

В. К. Орлов

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

vkorlov@etu.ru

Аннотация. Квантовая коммуникация – это революционная технология, основанная на принципах квантовой физики, которая открывает новые подходы или горизонты в передаче информации. Эта новая технология использует уникальные свойства квантовых частиц, например, как суперпозиции и запутанность, что позволяет создавать надежные и защищенные каналы связи. В рамках нашего исследования были подробно проанализированы ключевые аспекты квантовой коммуникации. Одним из наиболее интересных моментов является использование квантовых состояний для передачи информации между объектами. Вообще, к примеру, благодаря запутанности два объекта могут обмениваться данными мгновенно, независимо от расстояния между ними. Во-вторых, мы обсудили различные технологии, которые позволяют реализовать принципы квантовой коммуникации в режиме реального времени. К ним относятся квантовые сенсоры, которые могут обнаруживать изменения в окружающей среде с высокой точностью, а также алгоритмы обработки данных, которые обеспечивают быструю и эффективную интерпретацию полученной информации. В результате анализа было понято, что квантовая коммуникация представляется собой идеальный подход в области навигации группы объектов, обеспечивая безопасность, точность и скорость передачи данных.

Ключевые слова: квантовая физика; квантовая коммуникация; навигации группы объектов; квантовые сенсоры; квантовая запутанность

I. ВЕДЕНИЕ

Квантовая связь – это совершенно новый способ или новый подход передачи информации, основанный на законах квантовой механики или квантовой физики. Эта технология обещает невероятно высокую безопасность и надёжность, превосходящую возможности традиционных методов. В последнее время квантовые технологии привлекают всё больше внимания, особенно в области групповой навигации, который использует обычно как системы коммуникации – радиокommunikации. Дело в том, что привычные системы навигации имеют свои недостатки. Например, они легко подвержены помехам и хакерским атакам, а кроме того, часто требуют очень высокой скорости передачи данных [1]. При этом, квантовая криптография играет важную роль против атак в системах коммуникациях при управлении навигации группы объектов.

Квантовая связь предлагает решение этих проблем. По поводу традиционных систем навигации для управления группой объектов, например, GPS,

полагаются на радиосигналы, которые могут быть перехвачены или искажены. Это создаёт возможность для злоумышленников, способных подделывать сигналы или создавать ложные данные о местоположении. Кроме того, обработка и передача большого объёма данных, необходимого для точной навигации множества объектов одновременно, может быть затруднена и замедлена. При этом, квантовая связь использует принципы квантовой механики, такие как квантовая запутанность или квантовая криптография, для создания принципиально более защищённых каналов связи. Любая попытка перехвата информации в квантовой системе неизбежно приводит к её искажению, что сразу же обнаруживается отправителем и получателем. Это обеспечивает невиданный ранее уровень безопасности [1].

Более того, некоторые квантовые технологии могут обеспечивать более высокую скорость и точность передачи данных, чем классические методы, что особенно важно для координации движения множества объектов в режиме реального времени [1].

Таким образом, квантовая связь или квантовая коммуникация предлагает перспективное решение для задач групповой навигации, где требуется высокая безопасность и надёжность, а также высокая скорость передачи данных. Она позволяет создавать системы навигации, которые устойчивы к внешним воздействиям и атакам, обеспечивая более точное и безопасное управление группами объектов [1].

II. АНАЛИЗ КЛЮЧЕВЫХ АСПЕКТОВ КВАНТОВОЙ КОММУНИКАЦИИ

В эпоху постоянно растущих киберугроз, скажем, что надежная связь имеет первостепенное значение. Квантовая связь предлагает решение этих всех проблем. Одно из важных преимуществ это беспрецедентный уровень безопасности [2].

Квантовая связь использует свойства квантовых частиц, таких как фотоны, для кодирования информации. В отличие от классических методов, где информация передается в виде электрических или радиоволн, которые относительно легко перехватить, квантовая связь основана на фундаментальных принципах квантовой механики, таких как принцип неопределенности Гейзенберга и квантовая запутанность. Любая попытка перехвата информации неизбежно приводит к ее искажению, что позволяет отправителю и получателю обнаружить несанкционированный доступ. Это достигается за счет

использования квантовых ключей, генерируемых случайным образом и передаваемых с использованием квантовых состояний фотонов. Эти ключи используются для шифрования и расшифровки сообщений, обеспечивая практически абсолютную конфиденциальность [2].

Ключевыми аспектами квантовой связи являются: принцип работы квантовой связи, безопасность передачи данных, эффективность и скорость передачи информации.

А. Принцип работы квантовой связи

Вспоминаем заново, что квантовая связь, используемая для группового управления объектами, представляет собой революционный подход, основанный на фундаментальных принципах квантовой механики. В отличие от классической связи, в которой используется биты информации 0 или 1, квантовая связь основана на кубитах. Например, пары 00, 01, 10, 11. Кубиты, благодаря явлению квантовой суперпозиции, могут находиться в состояниях 0 и 1 одновременно, что существенно увеличивает объём передаваемой информации и скорость обработки данных. Кроме этого, скажем, что ключевую роль в обеспечении надежной связи между объектами в системе управления играет квантовая запутанность. Это явление, при котором два или более кубитов неразрывно связаны между собой, независимо от расстояния между ними. Представляем группу беспилотных летательных аппаратов, выполняющих сложную миссию. В типичной системе управления каждый дрон отправляет свое местоположение и статус на центральный сервер, который обрабатывает все информации и возвращает все команды. Этот процесс медленный, подвержен задержкам и потенциально уязвим для перехвата данных. Но квантовая коммуникация радикально другая

и лучше. Благодаря перепутыванию, информация о состоянии каждого беспилотного летательного аппарата передается мгновенно и безопасно. Поэтому изменение состояния одного запутанного кубита мгновенно примерно отражается на состоянии другого независимо от расстояния [3]. На рис. 1 показан пример иллюстрации использования квантовой связи для группы объектов.

Например, если один объект обнаруживает препятствие, информация о нем мгновенно передается всем остальными, что позволяет им мгновенно маневрировать и избежать столкновений. Центральный сервер перестает быть узким местом, поскольку обработка всей информации происходит распределено параллельно благодаря квантовым алгоритмам, способным решать все сложные вычислительные задачи гораздо быстрее, чем их классические аналоги. В контексте управления ресурсами, скажем, что квантовая коммуникация может оптимизировать распределение энергии, топлива или других ресурсов между объектами в режиме реального времени [3]. Эта система сможет анализировать состояние каждого объекта и автоматически распределять ресурсы наиболее эффективным способом, минимизируя отходы и повышая общую производительность [3]. Например, группа роботов, выполняющих строительные работы, могла бы автоматически перераспределять энергию между собой в зависимости от сложности выполняемой задачи, обеспечивая максимальную эффективность и предотвращая преждевременный разряд батареи. Благодаря свойствам квантовой механики, квантовая связь позволяет создавать системы управления с непревзойденной эффективностью, скоростью и надежностью, открывая новые горизонты в различных областях.

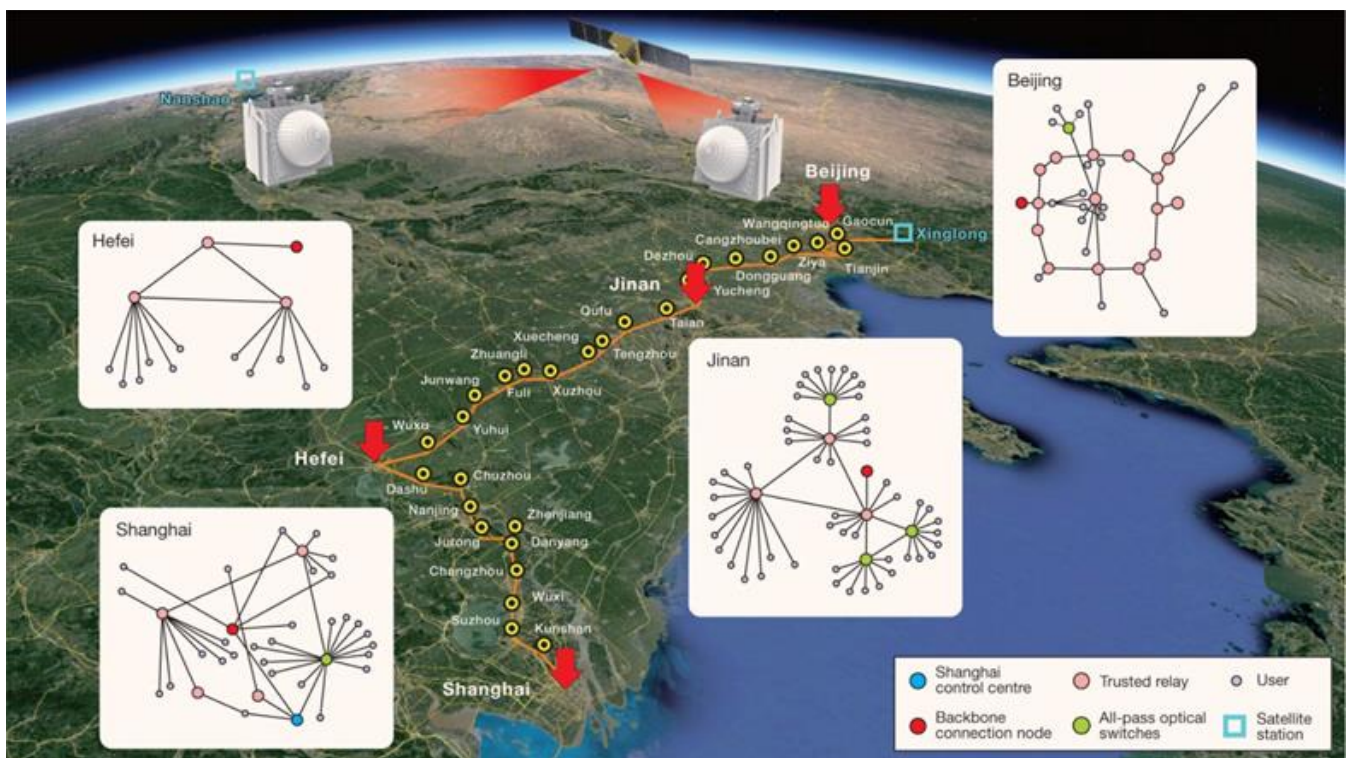


Рис. 1. Интегрированная квантовая коммуникационная сеть «космос-земля», объединяющая крупномасштабную волоконно-оптическую сеть из более чем 700 волоконно-оптических линий связи и две высокоскоростные линии связи «спутник-земля» в свободном космосе

В. Безопасность передачи данных

Проведение анализа безопасности передачи данных включает в себя высокую стойкость и автоматические проверки [4].

В современном мире, где кибербезопасность становится все более важной, мы все больше полагаемся на системы шифрования, унаследованные от классической криптографии. Однако, несмотря на кажущуюся надежность, они уязвимы для достаточно мощных компьютерных систем. Вообще достижения в области компьютерных технологий постоянно угрожают их долгосрочной безопасности. Скажем что, хорошим примером является алгоритм Шора, который позволяет вообще эффективно факторизовать большие числа, операция, которая лежит в основе многих широко используемых криптографических систем, таких как RSA. Этот алгоритм, реализованный на квантовых компьютерах, потенциально может взломать существующие системы шифрования, создавая серьезную угрозу конфиденциальности данных. Напротив, квантовая криптография предлагает революционный подход к информационной безопасности, основанный не на вычислительной сложности, а на основах квантовой механики [4].

Это фундаментальная смена парадигмы: безопасность больше не зависит от сложности математических задач, которые можно точно решить с помощью достаточных вычислительных ресурсов, основана на незыблемых законах физики. Но даже гипотетические квантовые компьютеры будущего не смогут, наверное, взломать системы, защищенные квантовой криптографией, используя, наверное, те же методы, что и классические системы шифрования [4]. Суть квантовой криптографии заключается в использовании уникальных свойств квантовых систем, таких как принцип суперпозиции и квантовой запутанности. Скажем что, передача зашифрованных данных осуществляется с помощью квантовых битов. Вообще эти кубиты, которые, в отличие от классических битов, могут находиться в суперпозиции в нескольких состояниях одновременно [4].

Вообще любая попытка перехватить информацию неизбежно приводит к изменению квантового состояния кубитов, что мгновенно обнаруживается законным получателем. Это физически идентифицируемое свойство является ключевым элементом безопасности квантовой криптографии.

В основе работы квантовой криптографии, любое вмешательство в квантовый канал передачи данных неизбежно оставляет следы. Вспоминаем, что протоколы квантового распределения ключей позволяют отправителю и получателю совместно генерировать секретный ключ для шифрования. Процесс происходит следующим образом: передатчик и приёмник обмениваются квантовыми состояниями. Например, фотонами с определенной поляризацией. Затем они примерно измеряют эти состояния и выдают результаты в виде случайных битов. Но после завершения обмена сторонам надо сравнивать часть своих результатов, но не весь ключ, чтобы проверить целостность канала. Но что важное при этом этапе. Если результаты совпадают, то ошибки подслушивания или передачи нет. А расхождение результатов свидетельствует о том, что кто-

то пытался перехватить информацию или же в канале возникли ошибки.

В этом случае, параллельный канал связи традиционными методами может обнаружить помехи. Но при обнаружении взлома весь сгенерированный ключ удаляется, и генерация ключа запускается заново, обеспечивая высокую степень безопасности. Таким образом, важно отметить, что сама передача зашифрованной информации осуществляется классическими методами, но с использованием надежно сгенерированного квантового ключа.

С. Скорость передачи информации

Кубиты обладают уникальным свойством суперпозиции, позволяющим им представлять не только 0 или 1, как обычные биты, но и комбинацию этих состояний одновременно. Это значительно увеличивает объем информации, передаваемой за цикл. Для управления группами объектов, таких как рой беспилотных летательных аппаратов или группа автономных транспортных средств, это означает, что обмен информацией между всеми участниками может осуществляться практически мгновенно. Вообще такая высокая скорость передачи данных необходима для координации в режиме реального времени, быстрого реагирования на изменяющиеся условия и эффективного командного сотрудничества. Например, в контексте навигации быстрая передача данных о местоположении и траекториях каждого объекта позволит избежать столкновений, оптимизировать маршруты и повысить общую эффективность всей группы объектов. Таким образом, в результате квантовые сети предлагают беспрецедентные возможности для управления распределенными системами, где скорость и надежность обмена информацией являются определяющими факторами успеха [5].

Для эффективности управления группами роботов, такими как рой беспилотных летательных аппаратов или колонна беспилотных автомобилей, необходима практически мгновенная связь между всеми участниками. Такая высокая скорость передачи данных вообще необходима для нескольких ключевых аспектов. Например, быстрая передача информации каждому роботу в группе позволяет мгновенно получать информацию о местоположении и действиях других, обеспечивая согласованность их действий и избегая столкновений или других ошибок. Без такой мгновенной связи координация становится невозможной или очень неэффективной. И в динамических условиях, Для летающих в ветреную погоду, или автомобилей, движущихся в городском потоке, необходима немедленная реакция на непредвиденные обстоятельства. Но вообще быстрый обмен информацией позволяет группе реорганизоваться и быстро адаптироваться к изменениям, например, объехать препятствие или изменить маршрут. Вообще, быстрая связь обеспечивает тоже эффективное сотрудничество между роботами. Они могут мгновенно делиться информацией о своих задачах, прогрессе и проблемах, позволяя всей команде оптимизировать свою работу и повысить общую эффективность. Без этого каждый объект работает изолированно, что снижает общую производительность. Таким образом, в результате практически мгновенно передача данных является не только желательным, но и необходимым условием

успешного управления большими группами автономных объектов. Это гарантирует безопасность, эффективность и адаптируемость всей системы [5]. В таблице 1 показано несколько свойств квантовой коммуникации.

ТАБЛИЦА 1. СВОЙСТВА КВАНТОВОЙ КОММУНИКАЦИИ

СВОЙСТВА	ОПИСАНИЯ
Суперпозиция	Квантовые биты могут существовать в нескольких состояниях одновременно, пока не будут измерены, что обеспечивает большую информационную емкость
Запутывание	Кубиты могут быть коррелированы, таким образом, что состояние одного кубита мгновенно влияет на состояние другого, независимо от расстояния
Теорема о запрете клонирования	Невозможно создать идентичную копию произвольного неизвестного квантового состояния, обеспечив безопасность от подслушивания.
Проблема измерения	Сам процесс измерения квантовой системы влияет на ее состояние, превращая его в один из возможных результатов.
Квантовое распределение ключей	Оно использует квантовую механику для безопасного распределения ключей шифрования между сторонами, что позволяет обнаружить перехват
Квантовые каналы	Квантовая коммуникация опирается на специализированные каналы, которые могут эффективно передавать кубиты и запутанные состояния.
Телепортация	Позволяет передавать квантовую информацию из одного места в другое без перемещения самих физических частиц
Декорегенция	Взаимодействие с окружающей средой может привести к потере квантовых свойств, что создаст проблемы для поддержания целостности кубита на расстоянии.

III. АНАЛИЗ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Рассмотрим основные технологии, позволяющие реализовать квантовую связь в реальном времени. Например, квантовые спутники играют ключевую роль в обеспечении квантовой связи на большие расстояния. Они способны передавать зашифрованные сообщения на большие расстояния между наземными станциями, используя атмосферный канал связи. Примером успешного использования этой технологии является китайский спутник «Мо Цзы», продемонстрировавший способность передавать запутанные фотоны на расстояние более 1200 километров [5].

Но квантовые гироскопы, разработанные на основе NV-центрированного алмаза, способны существенно повысить точность навигации дронов. Эти устройства обладают высокой чувствительностью к угловым перемещениям и могут работать в условиях экстремальных температур и радиации [4]. Это делает их идеальными для использования в суровых условиях [5].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, квантовая связь представляет собой перспективное направление для группового управления объектами благодаря своей способности обеспечить высокую безопасность данных и повысить эффективность процессов. Эта технология потенциально может значительно повысить безопасность и эффективность передачи данных, что делает ее особенно актуальной для управления групповыми объектами.

С развитием этой технологии можно ожидать существенных изменений в подходах к управлению различными системами и ресурсами.

БЛАГОРДАНОСТЬ

Благодарю кандидата технических наук, доцента кафедры Фотоники Виктора Сергеевича Горяинова, кандидата технических наук и руководителя отдела набора и сопровождения студентов англоязычных программ и руководителя иностранных аспирантов Анастасию Александровну Агейчик за помощь участия в различных научных проектах в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rakonjac J. et al. Entanglement between a telecom photon and an on-demand multimode solid-state quantum memory. Phys. Rev. Lett. 127, 210502 (2021).
- [2] Pirandola, S. et al. Advances in quantum cryptography. Adv. Opt. Photon. 12, 1012–1236 (2020).
- [3] Picchi R., Chiti F., Fantacci R. & Pierucci L. Towards quantum satellite internetworking: a software-defined networking perspective. IEEE Access, 8, 210370–210381 (2020).
- [4] Chiti F., Fantacci R., Picchi R. & Pierucci L. Towards the quantum internet: satellite control plane architectures and protocol design. Future Internet, 13, 196 (2021).
- [5] Belenchia A. et al. Quantum physics in space. Phys. Rep. 951, 1 (2022).