

Использование несистематических кодов Рида–Соломона и эквивалентных кодов Голда в рамках гибридной орбитально-наземной сети связи

З. Д. Бабанов, Д. С. Кукунин, С. О. Максименко

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

zach.fadeev@yandex.com, kukunin.ds@sut.ru, mmickeys@bk.ru

Аннотация. В современных орбитально-наземных сетях связи ключевой проблемой является повышение надежности канала, обусловленное ограниченностью беспроводной спутниковой связи. Для решения данной проблемы применяют различные циклические коды, включая коды Рида–Соломона. Данная работа демонстрирует возможности комбинированного применения современных методов сжатия и восстановления данных на основе квантования. Используется кодирование Рида–Соломона с большим кодовым расстоянием, с целью улучшения защищенности передаваемой информации и повышения общей производительности.

Ключевые слова: коды Рида–Соломона, сжатие, упреждающая коррекция ошибок, FEC, видеосвязь, гибридные сети связи

I. ВВЕДЕНИЕ

С ускоренным развитием Интернета вещей и уменьшением издержек производства многих компонентов, спутниковые системы становятся все более доступными и приобретают массовый характер. Современные архитектуры сетей связи уже строятся с учетом возможностей будущего взаимодействия со спутниковыми системами. Малые, или же мобильные, спутники уже используются в качестве базовых станций некоторыми операторами связи [1]. Подобная тенденция прослеживается и в современных Fog-архитектурах [2].

В работе [3] уже были выдвинуты предположения о возможности построения коммерческой или пользовательской сети передачи данных на основе точек доступа и малых спутников, объединенных в одной гибридной системе. Подобная система предполагает использование новейших методов сжатия на основе диффузных моделей и квантования [4] для уменьшения общего размера передаваемой информации, что связано в первую очередь с ограниченностью спутникового канала связи. Исходя из потребности в гарантированной доставке уже сжатого пакета данных, система так же предполагает использование разработок в области упреждающего восстановления ошибок [5].

В предыдущих работах авторов [6] рассматривались современные стандарты спутниковых систем передачи данных CCSDS. В частности, стандарты в области каскадного кодирования и применимость кодов Рида–Соломона с большим кодовым расстоянием в рамках

заявленного стандарта. Нами были сделаны выводы о полностью подходящей для предложенных задач производительности и возможности к восстановлению последовательностей ошибок. Далее, говоря о системе восстановления данных на основе кодов Голда [5] мы так же подразумеваем возможность использования каскадного кодирования [6].

Далее мы более подробно рассмотрим аспекты описанной выше системы, в частности, главные отличительные особенности предложенной гибридной сети, а также роли методов сжатия и восстановления данных.

II. ГИБРИДНЫЕ ОРБИТАЛЬНО-НАЗЕМНЫЕ СЕТИ

Потребность в возникновении гибридной сети доступа обусловлена не только прогрессом технологий, но и потребностью в эффективных на дальних расстояниях решениях в различных отраслях промышленности.

Гибридная орбитально-наземная система представляет собой комбинированную сеть, состоящую из спутниковых и наземных компонентов, которые взаимодействуют, но функционируют независимо друг от друга. Эти системы имеют отдельные системы управления сетью и работают в отдельных частотных диапазонах. Общая схема орбитально-наземной гибридной сети представлена на рис. 1.

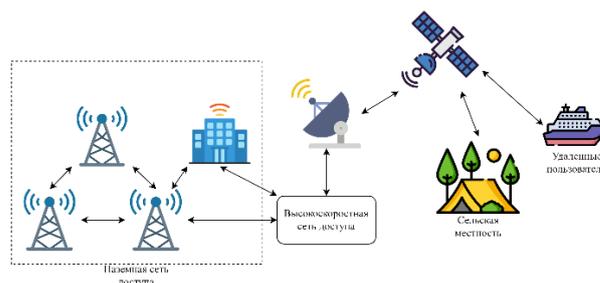


Рис. 1. Общая схема орбитально-наземной гибридной сети (выравнивание посередине, у других рисунков тоже)

Спутники, охватывающие различные орбиты, предоставляют широкий географический охват, особенно в удаленных регионах с ограниченной или отсутствующей наземной инфраструктурой. Кроме спутников, наземные сети включают базовые станции и шлюзы, причем особое внимание уделяется шлюзам в сельских районах или менее развитых областях. Шлюзы играют ключевую роль в оптимизации потока трафика, обеспечении эффективной связности и преодолении

Научная статья подготовлена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 1023031600087-9 в ЕГИСУ НИОКТР.

проблем, связанных с ограниченной традиционной инфраструктурой.

Гибридные сети являются эффективным решением для использования спутниковой связи не только для широкоэмитальных или многоадресных услуг, но также для мобильной связи. Зоны покрытия спутниковых сетей, их внедрение и возможности передачи множественных сигналов делают их предпочтительным выбором для обслуживания специфических областей, таких как покрытие самолетов, кораблей и агрессивных сред.

Основой для практической реализации подобной сети должны стать новые протоколы передачи данных, изначально заточенные для использования в спутниковых системах. Такие протоколы берут за основу UDP датаграммы и особенности используемых частот. Ярким примером является протокол LoRA.

Авторы так же заявляют эффективность применения подобных гибридных сетей в качестве системы информационного обмена для управления беспилотными комплексами [7].

III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ СЖАТИЯ

Исходя из особенностей описанной выше системы, нетрудно сделать вывод, что так называемым «бутылочным горлышком» будет являться канал спутниковой связи. В особенности, для применения подобной орбитально-наземной сети связи в качестве системы информационного обмена. Для обеспечения эффективной работы крайне важно минимизировать сетевые задержки. Одним из подходов уменьшения задержки является сжатие данных. Уменьшая размер данных видеопотока, передаваемого по сети, сжатие данных может помочь сократить время передачи и, следовательно, снизить задержку в системе управления в целом.

Следовательно, становится актуальной задача обоснования такой системы информационного, которая обеспечивала бы возможность сжатия передаваемого видеопотока с целью уменьшения задержки. Одним из элементов подобной системы являются алгоритмы сжатия без потерь.

Авторами заявляется алгоритм сжатия без потерь на основе нейронных сетей диффузных моделей, а также алгоритмы на основе квантования. Пример производительности такого алгоритма сжатия представлен на рис. 2.

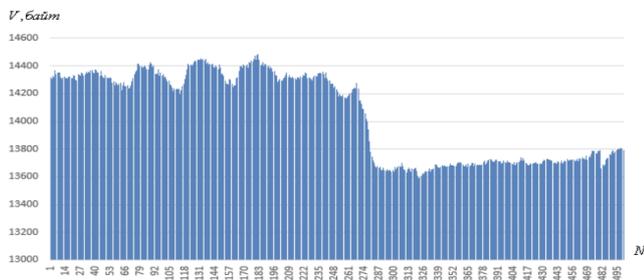


Рис. 2. Графическая интерпретация выборки объемов изображений, сжатых при помощи алгоритма сжатия без потерь

Однако, как заявляют авторы [4], при уменьшении задержек пропорционально увеличивается среднее количество ошибок на переданный бит информации (BER). Именно для устранения этого побочного эффекта и будут применены заявленные нами далее способы восстановления ошибок.

IV. РОЛЬ КОДОВ РИДА–СОЛОМОНА В ОПИСАННОЙ СИСТЕМЕ

В парадигме подобной системы значительное количество каналов является беспроводными, а значит, подвержены большому объему шумов и помех. Значимой особенностью так же является недопустимость ретрансляций, поскольку таковые в некоторых ситуациях могут многократно увеличивать общую задержку или же послужить причиной отбросить пакет. Поскольку заявленное авторами [4] решение направленно как раз на уменьшение общих задержек канала, подобные последствия недопустимы.

В качестве решения данной проблемы мы предлагаем использовать систему на основе кодов Рида-Соломона с большим кодовым расстоянием. Нами уже были рассмотрены возможности подобных кодов к восстановлению последовательностей ошибок, в процессе математического моделирования была установлена сравнительная производительность кодовых последовательностей с различным кодовым расстоянием.

На рис. 3 представлена производительность кодов с малым кодовым расстоянием. Оценка производится на основе доли восстановленных пакетов над их общим числом.

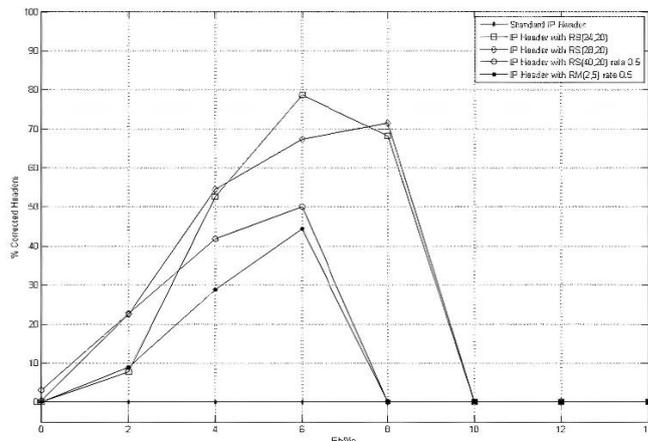


Рис. 3. Доля восстановленных пакетов над общим количеством поврежденных

Однако, исходя из представленных нами данных, мы делаем вывод о целесообразности использования кодовых последовательностей с большим кодовым расстоянием в составе каскадных кодов. По мимо этого, в будущем планируется дополнение этой системы за счет кодового уплотнения на основе эквивалентных последовательностей Голда. Производительность различных кодов большого кодового расстояния представлена на рис. 4.

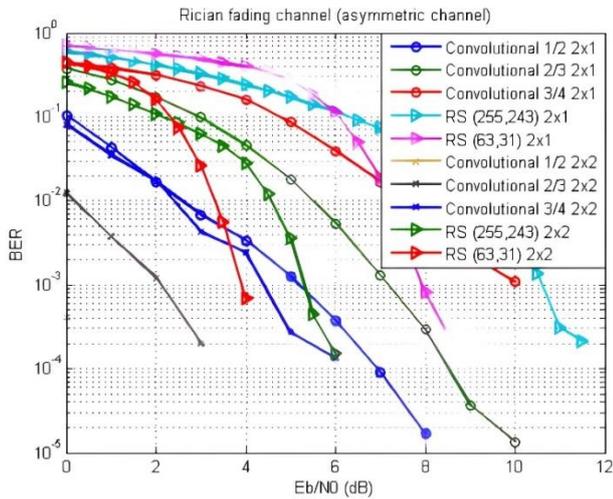


Рис. 4. Сравнение производительности по параметру величины битовой ошибки различных комбинаций кодов

V. ВЫВОДЫ

Современные системы передачи данных и информационного обмена все более склоняются в сторону гибридных орбитально-наземных сетей, однако в подобных сетях все еще существуют проблемы задержек и скорости доступного спутникового канала. Не смотря на предложенные решения данной проблемы на основе алгоритмов сжатия без потерь, эффективная работа подобных комплексных систем все еще невозможна без достаточно производительного кодировщика, рассчитанного на восстановление данных.

В данной работе было проведено математическое моделирование, которое показало, что наиболее подходящим решением будет система каскадного кодирования на основе кодов Рида–Соломона с большим кодовым расстоянием (255, 243).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yao-Nan Lien, Kuan-Chieh Huang and Jyh-Shyan Huang, "Cross Network Topology Design for Contingency Cellular Network," // 2014 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference - (IHTC), Montreal, QC, Canada, 2014, pp. 1-5.
- [2] M. Ilchenko, T. Narytnik, V. Prisyazhny, S. Kapshtyk and S. Matvienko, "The Solution of the Problem of the Delay Determination in the Information Transmission and Processing in the LEO Satellite Internet of Things System," // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 419-425.
- [3] Березкин А.А., Слепнев А.В., Суходоева А.В. Гибридные сети и их основные виды с учетом областей применения // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей: Сборник лучших докладов: в 2 т. Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 358-364.
- [4] Березкин А.А., Нагорнов М.Н., Савелов Д.Ю. Оптимизация нейросетевых диффузионных моделей для сжатия видеопотока в реальном времени // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023). Всероссийская научно-техническая и научно-методическая конференция магистрантов и их руководителей: Сборник лучших докладов: в 2 т. Т. 1. СПб.: СПбГУТ, 2023. С. 343-351.
- [5] Кукунин Д.С. Перспективы применения кодов Рида–Соломона и последовательностей Голда в задачах гарантированной доставки данных // Труды НИИР, 2023, №3, с. 9-21.
- [6] Бабанов З.Д., Кукунин Д.С., Максименко С.О. Каскадные коды на основе кодов Рида–Соломона с большим кодовым расстоянием // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2024. В печати
- [7] Кукунин Д.С. Модель управления роем БПЛА на основе ортогональных кодовых конструкций // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. XII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4 т. СПб.: СПбГУТ, 2024. В печати