

Моделирование информационного обмена групп робототехнических средств в составе робототехнического комплекса

Modeling of information exchange of groups of robotic tools as part of a robotic complex

Присяжнюк / Prisyazhnyuk S.

Сергей Прокофьевич
(office@itain.ru)

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
генеральный директор.
г. Санкт-Петербург

Канаев / Kanaev A.

Андрей Константинович
(KanaevAK@mail.ru)

доктор технических наук, профессор.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
заместитель генерального директора по специальным
проектам.
г. Санкт-Петербург

Сахарова / Sakharova M.

Мария Александровна
(saharova@itain.ru)

кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
начальник отдела разработки систем связи.
г. Санкт-Петербург

Вахрушев / Vakhrushev M.

Михаил Юрьевич
(vakhrushev@itain.ru)

ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
ведущий специалист отдела разработки систем связи.
г. Санкт-Петербург

Захаров / Zakharov I.

Иван Вячеславович
(zakharov-ivan-v@yandex.ru)

ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
ведущий программист отдела разработки
систем связи.
г. Санкт-Петербург

Опарин / Oparin E.

Евгений Валерьевич
(OparinH@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
ведущий специалист отдела разработки систем связи.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: робототехнический комплекс – robotics complex; робототехническое средство – a robotic tool; модуль обмена информацией – information exchange module; имитационное моделирование – simulation modeling.

В статье отражены результаты моделирования информационного взаимодействия робототехнических средств в составе робототехнического комплекса при использовании различных типов каналов передачи. Получены зависимости, отражающие взаимосвязь качества информационного обмена от используемых типов каналов, а также размеров информационных сообщений. Полученные результаты могут найти отражение при построении и проектировании робототехнических комплексов различного назначения для организации эффективного информационного обмена. Коллектив ЗАО «Институт телекоммуникаций» обладает полным набором компетенций и средств для проектирования и разработки средств информационного обмена робототехнических комплексов различного назначения.

The article reflects the results of modeling the information interaction of robotic tools as part of a robotic complex using various types of transmission channels. Dependences reflecting the relationship between the quality of information exchange and the types of channels used, as well as the size of information messages, are obtained. The results obtained can be reflected in the construction and design of robotic complexes for various purposes for the organization of effective information exchange. The staff of the Institute of Telecommunications CJSC has a full set of competencies and tools for the design and development of information exchange tools for robotic complexes for various purposes.

Введение

В настоящий момент существуют и промышленно выпускаются отдельные элементы для информационного обмена между автономными робототехническими средствами (РТС). Однако большинство из них не адаптированы для применения в условиях ограничений по массогабаритным показателям, энергопотреблению, режимам работы, типам интерфейсов и алгоритмам взаимодействия. Также, несмотря на ряд теоретических работ и наличие алгоритмических и программных разработок в области построения сетей с мобильными автономными узлами, нет законченных решений для построения сетей связи, совмещающих различные среды распространения сигналов.

С учетом указанных факторов актуальными в настоящее время считаются вопросы разработки комплекса «сетевых» технологий, которые бы обеспечивали обмен информацией между автономными РТС, находящимися как в однородной среде, так и в различных средах, в непрерывном движении и, как следствие, с изменением структуры и состава сети и расстояния между элементами сети, а также функционирующих в различных режимах работы при обеспечении высокой длительности автономной работы [1–3].

В результате проведенного анализа современных отечественных и зарубежных работ в области применения комплексов РТС выявлено, что существующие средства связи, применяемые при построении РТС, используются в конфигурации преимущественно «точка-точка», а также с ограниченным набором средств взаимодействия между системами управления автономных РТС. Тем не менее стоит отметить, что разработка протоколов и средств связи в области применения комплексов РТС является на сегодняшний день быстроразвивающимся, перспективным и востребованным направлением.

Основными недостатками большинства разработок в области построения средств связи для существующих комплексов РТС можно считать [4–7]:

- отсутствие законченных решений для гетерогенных сетей с разнородными сетевыми технологиями и направляющими системами;
- отсутствие решений для многоуровневых сетей связи с подвижными узлами и изменяющимися характеристиками среды передачи;
- отсутствие свойств адаптации для учета характеристик среды распространения и положения РТС для обеспечения требований к своевременности и достоверности доставки информации;
- отсутствие учета требований для применения по массогабаритным показателям, энергопотреблению, режимам работы, типам интерфейсов и алгоритмам взаимодействия.

Для построения моделей взаимодействия РТС различного уровня в составе робототехнических

комплексов будем рассматривать трехуровневую структуру организации робототехнического комплекса (РТК):

- робототехнические средства уровня 1 (РТС1);
- робототехнические средства уровня 2 (РТС2);
- робототехнические средства уровня 3 (РТС3).

Трехуровневая структура организации РТК состоит из подсети связи РТС1 с РТС2 и подсети связи РТС2 с РТС3. Один РТС2 поддерживает связь и управляет одновременно несколькими РТС1, находящимися в данный момент в зоне его «видимости». РТС3 обеспечивает обмен информацией одновременно с несколькими РТС2. Подсеть РТС1-РТС2 должна обеспечивать двухсторонний командный канал РТС1 с РТС2 для обмена информацией телеметрии и управления. Также возможна реализация высокоскоростного канала связи для передачи информации с модулем полезной нагрузки РТС1 в РТС2 виде файлов. РТС3 имеют наивысший уровень иерархии в системе РТК и объединяют информационный поток со всех элементов системы, при этом РТС3 может иметь функции транзитного узла (для передачи информации на более высоких уровнях). РТС2 является как конечным устройством, так и транзитным узлом передачи информации. РТС1 являются конечными устройствами. Однако в процессе развития комплекса возможны варианты организации транзитных маршрутов в сети с использованием РТС1 как транзитного узла [8, 9].

В современных условиях взаимодействие РТС в составе РТК возможно с применением различных каналов связи: КВ- и УКВ-радиосвязь, спутниковые и проводные системы связи. Для взаимодействия между собой РТС включают в свой состав модуль обмена информацией (МОИ), предполагающий наличие следующих элементов [10–13]:

- маршрутизатор, реализующий сетевой режим взаимодействия РТС между собой в различных средах и диапазонах;
- конвертер интерфейсов;
- приемо-передающее устройство для различных типов каналов;
- программное изделие системы мониторинга элементов МОИ.

В общем случае МОИ должен обеспечивать:

- функционирование по заданной программе и обеспечение обмена информацией между РТС;
- обмен информацией о местоположении с указанием места и времени нахождения и дополнительной служебной информацией.

При последующем моделировании информационного обмена групп робототехнических средств будем рассматривать каналы передачи информации следующих типов:

- канал типа 1, характеризуемый средней скоростью передачи информации и малой дальностью;
- канал типа 2, характеризуемый малой скоростью передачи информации и большой дальностью;

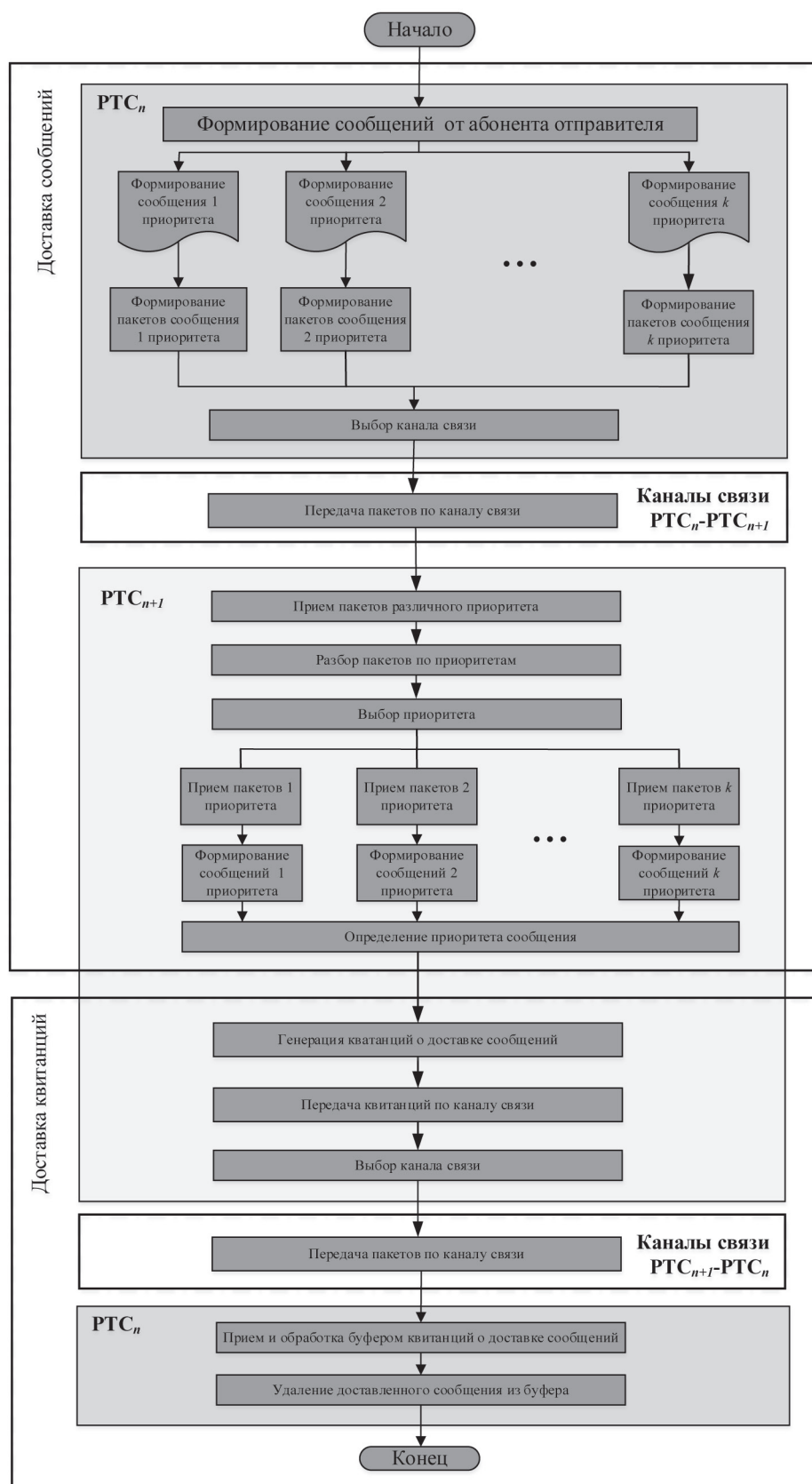


Рис. 1. Алгоритм передачи данных между робототехническими средствами в составе робототехнического комплекса

– канал типа 3, характеризуемый средней скоростью передачи информации и неограниченной дальностью.

Алгоритм передачи данных между робототехническими средствами в составе робототехнического комплекса

Для постановки задачи моделирования процесса передачи данных от МОИ различных РТС на рис. 1 изображен алгоритм функционирования системы связи группы РТС_n–РТС_{n+1} при передаче данных. В общем случае указанные на рис. 1 РТС могут быть одного уровня иерархии или смежных уровней иерархии. Различие также может выражаться в применяемых каналах связи [1–5].

По результатам моделирования требуется определить временные характеристики процесса передачи информации различных приоритетов от источника до потребителя и квитанций в обратном направлении, подтверждающих доставку/недоставку сообщений при применении различных каналов связи, а также при различных значениях интенсивности сообщений.

При построении моделей в качестве ограничений и допущений примем следующее:

- каналы связи являются надежными, следовательно, имитация их отказов не моделируется;
- канал всегда готов к передаче пакета;
- МОИ не учитывает характеристики приемопередатчиков и антенн;
- неограниченный объем буферной памяти.

В процессе моделирования предполагается иссле-

довать процесс функционирования РТС на следующих уровнях:

- функционирование групп робототехнических средств на уровне РТС1–РТС2–РТС3;
- функционирование групп робототехнических средств на уровне РТС3–РТС2–РТС1.

В качестве исходных данных при последующем моделировании использовались различные значения интенсивности генерации сообщений, размеры пакетов, приоритеты сообщений, типы применяемых каналов связи, а также размеры квитанций.

Предлагаемые к рассмотрению модели функционирования групп робототехнических средств включают в себя полную цепочку процесса обмена информацией при взаимодействии РТС.

Модель функционирования групп робототехнических средств на уровне РТС1–РТС2–РТС3

Обмен информацией между МОИ РТС1 и МОИ РТС3 происходит через промежуточное звено – МОИ РТС2. Дискретно-событийная модель, отражающая процесс функционирования групп робототехнических средств на уровне РТС1–РТС2–РТС3 представлена на рис. 2. Данная модель имитирует передачу информации от МОИ РТС1 к МОИ РТС3 через МОИ РТС2 и квитанций в обратном направлении и состоит из следующих блоков [1, 2, 14, 15]:

- МОИ РТС1;
- канал связи РТС1–РТС2 (РТС2–РТС1);
- МОИ РТС2;

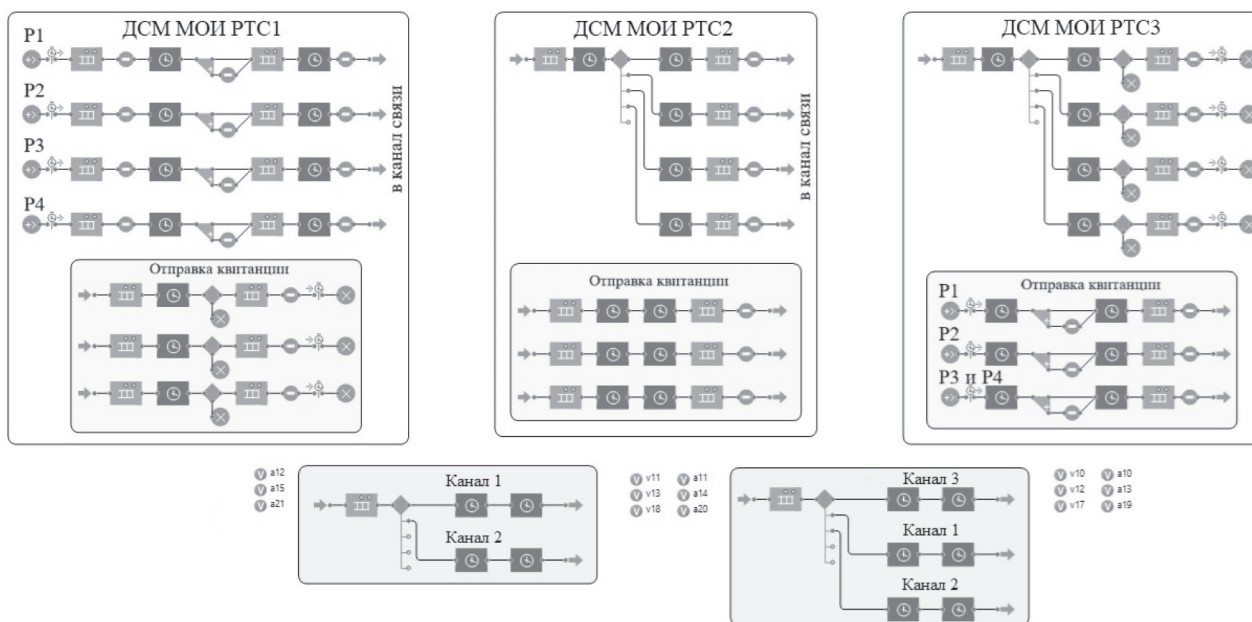


Рис. 2. Дискретно-событийная модель на уровне РТС1–РТС2–РТС3

- канал связи РТС2–РТС3 (РТС3–РТС2);
- МОИ РТС3.

От источника сообщений (МОИ РТС1), изображенного на рис. 2, происходит генерирование сообщений различного приоритета K_j размера R_{mean_pac} с заданной интенсивностью λ_j . Для передачи сообщения от МОИ РТС1 в МОИ РТС2 необходимо осуществить выбор канала связи. Между МОИ РТС1 и МОИ РТС2 каналами связи являются каналы связи типа 1 и типа 2.

На входе МОИ РТС2 осуществляется прием и обработка сообщений различного приоритета для передачи далее по каналу связи.

Между МОИ РТС2 и МОИ РТС3 каналами связи являются каналы типа 1, типа 2 и типа 3, но наиболее целесообразным является применение каналов типа 2 и типа 3, поскольку величина дальности связи каналов типа 1 незначительна. МОИ РТС3 получает пакеты различного приоритета для формирования единого сообщения и его передачи получателю.

После получения сообщения абонентом в МОИ РТС3 генерируются квитанции о доставке/недоставке пакетов. При моделировании считаем, что приоритет квитанции совпадает с приоритетом доставленного сообщения. После осуществляется выбор одного из трех каналов связи РТС3–РТС2, а именно: тип 1, тип 2, тип 3. Так же, как и при передаче пакетов от МОИ РТС2 к МОИ РТС3, наиболее целесообразным является применение каналов типа 2 и типа 3.

Далее квитанции передаются от МОИ РТС2 к МОИ РТС1 по одному из двух каналов связи (типа 1 или типа 2). Квитанции, полученные МОИ РТС1, свидетельствуют о доставке/недоставке сообщения абоненту без ошибок. Буфер МОИ РТС1 осуществляет анализ полученной квитанции и при условии,

что она положительная, удаляет сохраненную копию сообщения из памяти.

На рис. 3–5 представлены результаты имитационного моделирования при заданных параметрах.

Полученные результаты моделирования функционирования группы РТС1–РТС2–РТС3 в различных условиях позволяют сделать следующие выводы:

- при одинаковых интенсивностях сообщений 1, 2, 3 и 4 приоритетов (1 сообщение/ч) время передачи сообщений увеличивается при снижении приоритета. Среднее время передачи сообщения 1 приоритета составляет $\sim 0,33$ мин, 2 приоритета – $\sim 1,82$ мин, 3 приоритета – $\sim 18,5$ мин, 4 приоритета – 23 мин (при канале 1 типа РТС1–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС3, рис. 3);

- при снижении приоритета квитанции длительность времени передачи возрастает. Среднее время передачи квитанции 1 приоритета составляет $\sim 0,23$ мин, 2 приоритета – $\sim 0,25$ мин, 3 и 4 приоритета – ~ 6 мин (при канале связи 1 типа РТС1–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС3, рис. 4);

- увеличение интенсивности сообщения 2 приоритета ведет к увеличению времени на передачу сообщения 2 приоритета (рис. 3–5). Также при моделировании замечено, что при значениях интенсивности от 1 до 50 сообщений/ч зависимость времени передачи от данной интенсивности близка к линейной, при значениях интенсивности выше 50 сообщений/ч наблюдается резкий рост времени передачи при увеличении интенсивности (при канале связи 1 типа РТС1–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС3);

- при интенсивности сообщений 2 приоритета более 50 сообщений/ч наблюдается повышенная занятость каналов связи, что не дает возможности доставить сообщения/квитанции 3 и 4 приоритетов;

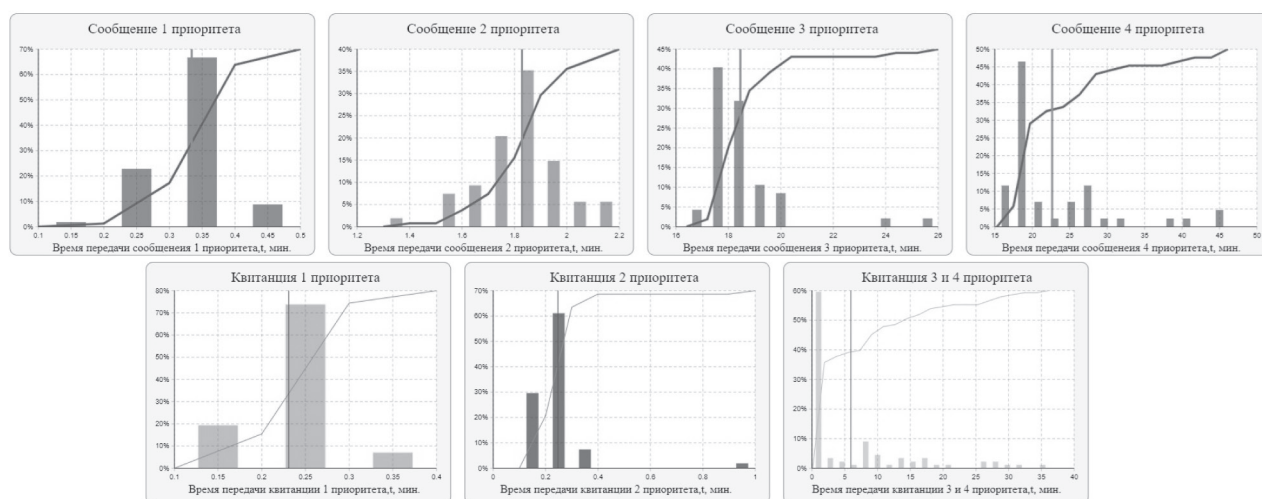


Рис. 3. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda_2=1$ сообщение/ч

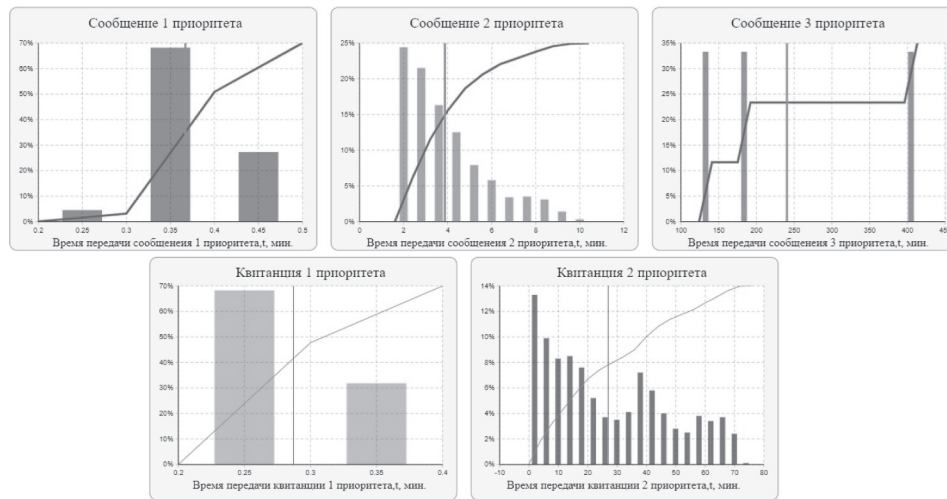


Рис. 4. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda_2=60$ сообщений/ч

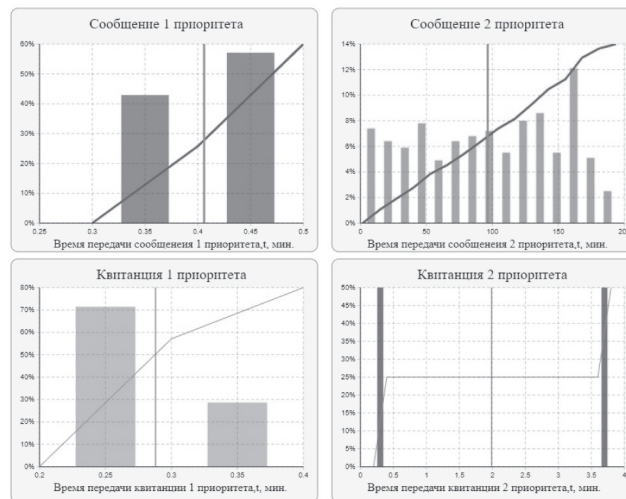


Рис. 5. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda_2=120$ сообщений/ч

– анализ применения наиболее реальных комбинаций каналов связи при одинаковых интенсивностях сообщений показывает, что наименьшее время на передачу сообщений 1/2/3/4 приоритета наблюдается при канале связи 1 типа РТС1–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС3, далее – при канале связи 2 типа РТС1–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС3.

При изменении канала связи РТС1–РТС2 время передачи сообщений каждого приоритета увеличивается на ~ 5–20 %, среднее время передачи сообщения 1 приоритета на 0,002 мин, 2 приоритета – на 0,1 мин, 3 приоритета – на 4 мин, 4 приоритета – на 8 мин. При канале связи 1 типа РТС1–РТС2 и канале связи 3 типа РТС2–РТС3 время передачи сообщений 1 приоритета составляет 100 мин.

Из-за длительной обработки при передаче данных через канал связи 3 типа происходит повышенная занятость канала, что не дает возможности доставить сообщения/квитанции 2, 3 и 4 приоритетов.

Модель функционирования групп робототехнических средств на уровне РТС3–РТС2–РТС1

Обмен информацией между МОИ РТС3 и МОИ РТС1 происходит через промежуточное звено – МОИ РТС2. Дискретно-событийная модель, отражающая процесс функционирования групп робототехнических средств на уровне РТС3–РТС2–РТС1, представлена на рис. 6. Данная модель имитирует передачу информации от МОИ РТС3 к МОИ РТС1 через МОИ РТС2 и состоит из следующих блоков [1, 2, 14, 15]:

- МОИ РТС3;

- канал связи РТС3–РТС2 (РТС2–РТС3);
- МОИ РТС2;
- канал связи РТС2–РТС1 (РТС1–РТС2);
- МОИ РТС1.

От источника сообщений происходит генерирование сообщений различного приоритета K_j и размера R_{mean_pacj} с заданной интенсивностью λ_j .

Для передачи сообщений от МОИ РТС3 к МОИ РТС2 необходимо осуществить выбор канала связи. Между МОИ РТС3 и МОИ РТС2 каналами связи являются каналы типа 1, типа 2 и типа 3, но наиболее целесообразным является выбор каналов типа 2 и типа 3, так как дальность канала связи типа 1 незначительна.

На входе МОИ РТС2 осуществляется прием и обработка сообщений различного приоритета для передачи далее по каналу связи, а также выбор канала связи. Между МОИ РТС2 и МОИ РТС1 каналами связи являются каналы типа 1 и типа 2.

При получении сообщения в МОИ РТС1 генерируются квитанции о доставке/недоставке пакетов. При моделировании считаем, что приоритет квитанции совпадает с приоритетом доставленного сообщения. После осуществляется выбор одного из двух каналов связи РТС1–РТС2.

Далее квитанции передаются от МОИ РТС2 к МОИ РТС3 по одному из трех каналов связи: типа 1, типа 2, типа 3. Также, как и при передаче, наиболее целесообразным является применение каналов типа 2 и типа 3.

На рис. 7–9 представлены результаты имитационного моделирования при заданных параметрах.

Полученные результаты моделирования функционирования группы РТС3–РТС2–РТС1 в различных условиях позволяют сделать следующие выводы:

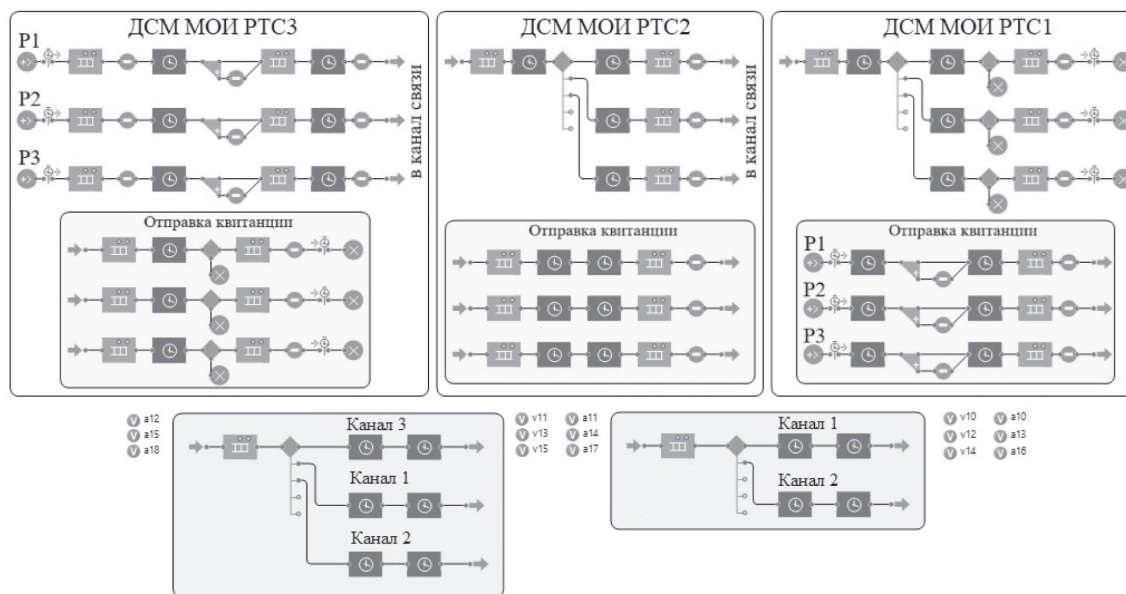


Рис. 6. Дискретно-событийная модель на уровне РТС3–РТС2–РТС1

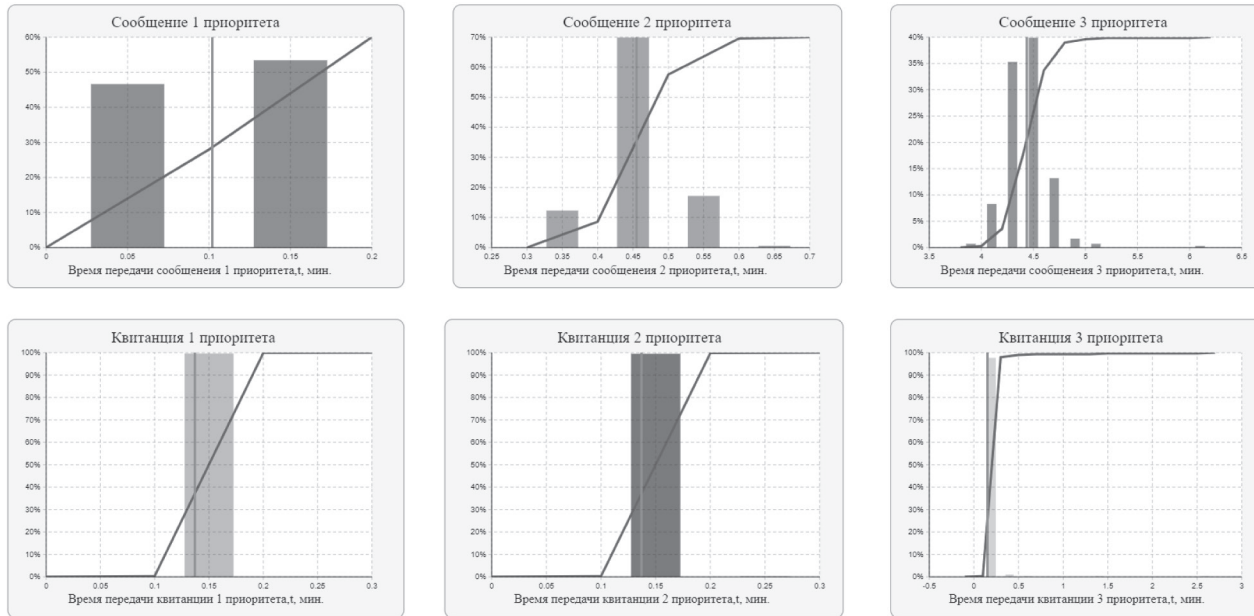


Рис. 7. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda^2=1$ сообщение/ч

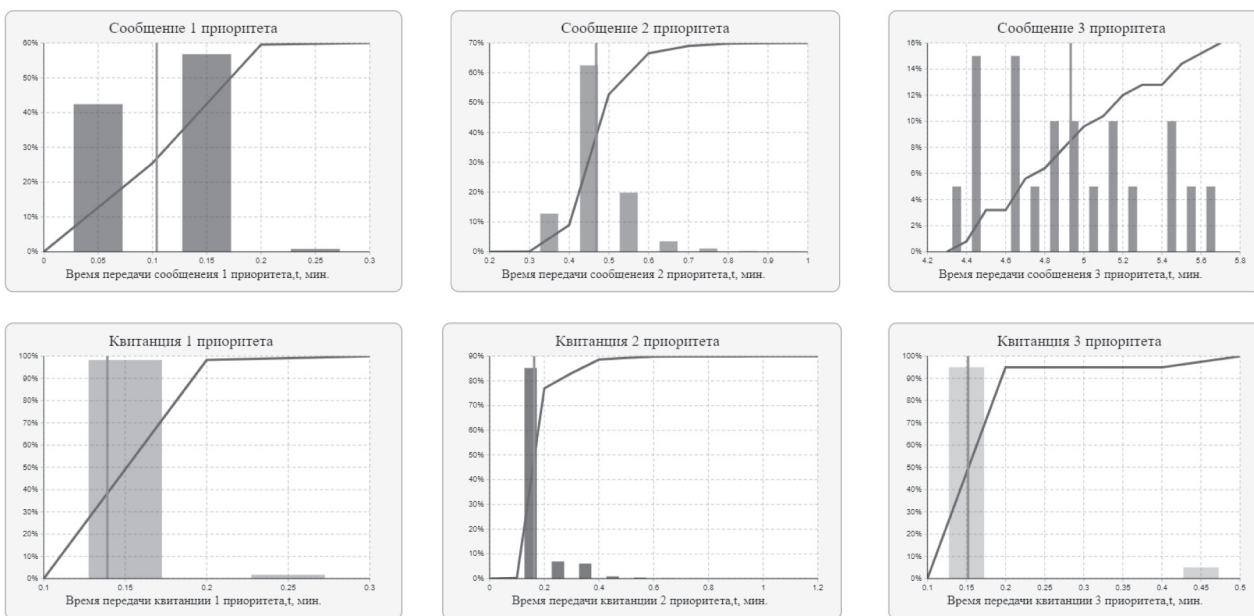


Рис. 8. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda^2=60$ сообщений/ч

– при одинаковых интенсивностях сообщений 1, 2, 3 и 4 приоритетов (1 сообщение/ч) время передачи сообщений увеличивается при снижении приоритета. Среднее время передачи сообщения 1 приоритета составляет ~ 0,1 мин, 2 приоритета – ~ 0,45 мин, 3 приоритета – ~ 4,5 мин (при канале связи 2 типа РТС3–РТС2 и канале связи 1 типа РТС2–РТС1, рис. 7);

– при снижении приоритета квитанции длительность времени передачи возрастает. Среднее время передачи квитанции 1 приоритета составляет ~ 0,17 мин, 2 приоритета – ~ 0,8 мин, 3 приоритета – ~ 0,12 мин (при канале связи 2 типа РТС3–РТС2 и канале связи 1 типа РТС2–РТС1, рис. 7);

– увеличение интенсивности сообщения 2 приоритета введет к увеличению времени на передачу сообщения 2 приоритета (рис. 7–9). Также замечено, что при значениях интенсивности от 1 до 550 сообщений/ч зависимость времени передачи от данной интенсивности близка к линейной, при значениях интенсивности выше 550 сообщений/ч наблюдается резкий рост времени передачи при увеличении интенсивности (при канале связи 2 типа РТС3–РТС2 и канале связи 1 типа РТС2–РТС1);

– при интенсивности сообщений 2 приоритета более 360 сообщений/ч наблюдается повышенная занятость каналов связи, что не дает возможности доставить сообщения/квитанции 3 приоритета;

– анализ применения наиболее реальных комбинаций каналов связи при одинаковых интенсивностях сообщений показывает, что наименьшее время

на передачу сообщений 1/2/3 приоритета наблюдается при канале связи 2 типа РТС3–РТС2 и канале связи 1 типа РТС2–РТС1, далее – при канале связи 2 типа РТС3–РТС2 и канале связи 2 типа РТС2–РТС1.

При изменении типа канала связи РТС2–РТС1 в среднем наблюдается, что время передачи сообщений каждого приоритета увеличивается на ~ 20%, среднее время передачи сообщения 1 приоритета 0,1–0,12 мин, 2 приоритета – 0,45–0,52 мин, 3 приоритета – 4,5–5,5 мин. При канале связи 3 типа РТС3–РТС2 и канале связи 1 типа РТС2–РТС1 время передачи сообщений 1 приоритета составляет 120 мин, 2 приоритета – 2000 мин.

Из-за длительной обработки при передаче данных через канал связи 3 типа происходит повышенная занятость канала, что не дает возможности доставить квитанции 2 приоритета и сообщения/квитанции 3 приоритета.

Заключение

В данной статье разработан комплекс алгоритмов и имитационных моделей функционирования МОИ в составе комплексов робототехнических систем. Данные модели позволяют оценивать информационный обмен в комплексе в сложных режимах работы, которые невозможно воспроизвести в реальных условиях. Моделирование позволяет оценить потенциальные ограничения при информационном обмене в комплексе, оценить достигаемые вероятностно-временные характеристики обмена и убедиться в реализуемости или

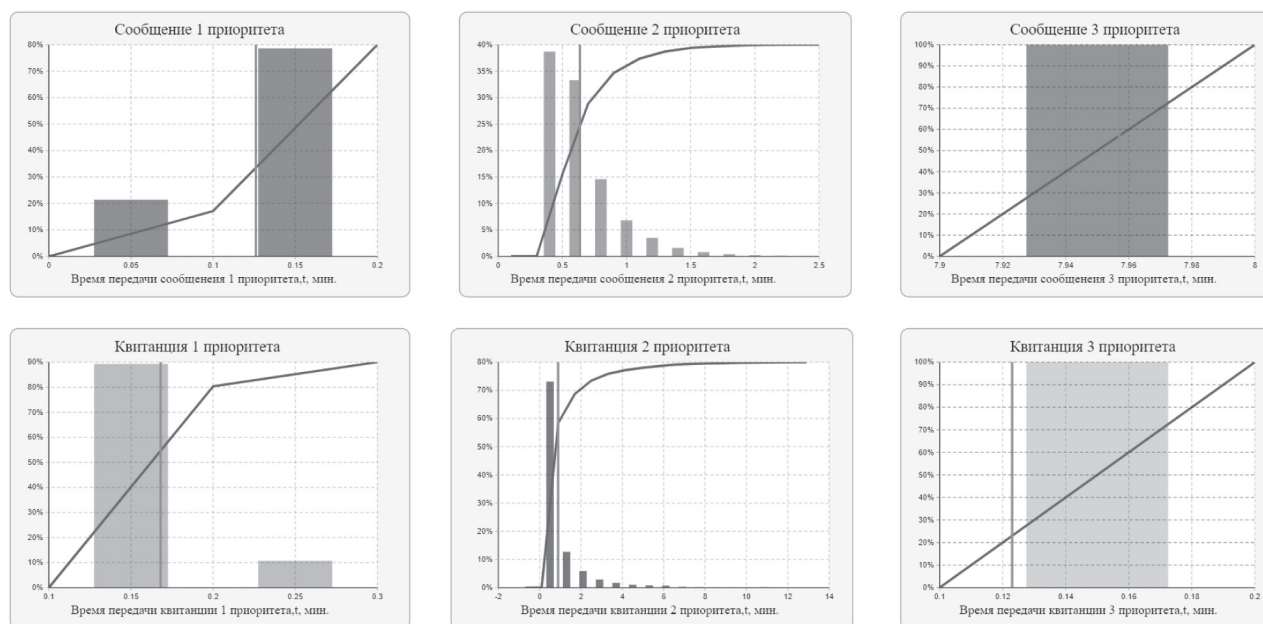


Рис. 9. Гистограммы времени передачи сообщений и квитанций различного приоритета при $\lambda^2=360$ сообщений/ч

не реализуемости заданных требований при проектировании РТС.

Также разработанные модели являются инструментом оценки и прогнозирования параметров информационного обмена, которые могут быть использованы для реализации функций системы поддержки принятия решений в составе СУ РТК.

При моделировании функционирования групп РТС1–РТС1 выявлено: при одинаковых интенсивностях сообщений 1, 2, 3 и 4 приоритетов время передачи сообщений растет с уменьшением приоритетности информации; длительность передачи квитанций различного приоритета также растет с уменьшением приоритетности информации, которую он квитирует; увеличение интенсивности сообщения 2 приоритета (данные об актуальных событиях) введет к увеличению времени на передачу сообщения и при интенсивности сообщений более 240 сообщений/ч наблюдается повышенная занятость каналов связи, что не дает возможности доставить сообщения/квитанции 3 и 4 приоритетов.

Результаты моделирования обмена в группе РТС2–РТС3 близки к результатам РТС1–РТС1 с той лишь разницей, что увеличивается среднее время обмена за счет возможной загруженности РТС3 приемом сообщений от других элементов комплекса и высокой длительности передачи сообщений по каналам связи 3 типа.

Результаты моделирования информационного обмена и в прямом, и обратном направлениях РТС1–РТС2–РТС3 (РТС3–РТС2–РТС1) показали:

– при равных интенсивностях сообщений 1, 2 и 3 приоритетов время передачи сообщений растет с уменьшением приоритета. Среднее время передачи сообщения 1 приоритета составляет ~ 0,1 мин, 2 приоритета – ~ 0,45 мин, 3 приоритета – ~ 4,5 мин (увеличение интенсивности сообщения 2 приоритета ведет к увеличению времени на передачу сообщения 2 приоритета;

– при значениях интенсивности от 1 до 550 сообщений/ч зависимость времени передачи от данной интенсивности близка к линейной, при значениях интенсивности выше 550 сообщений/час наблюдается резкий рост времени передачи при увеличении интенсивности при интенсивности сообщений 2 приоритета более 360 сообщений/час наблюдается повышенная занятость каналов связи, что не дает возможности доставить сообщения/квитанции 3 приоритета;

– при изменении типа канала связи РТС2–РТС1 в среднем наблюдается, что время передачи сообщений каждого приоритета увеличивается на ~ 20 %, среднее время передачи сообщения 1 приоритета 0,1–0,12 мин, 2 приоритета – 0,45–0,52 мин, 3 приоритета – 4,5–5,5 мин; при использовании канала связи 3 типа РТС3–РТС2 и канала связи 1 типа РТС2–РТС1 время передачи сообщений 1 приоритета составляет 120 мин, 2 приоритета – 2000 мин;

– из-за длительной обработки при передаче данных через канал связи 3 типа происходит повышенная занятость канала, что не дает возможности доставить квитанции 2 приоритета и сообщения/квитанции 3 приоритета.

Литература

1. Авсиевич, А. В. Аппаратно-программный комплекс для управления робототехническими комплексами / А.В. Авсиевич, Д.С. Колтыгин, И.А. Седелников // Вестник СамГУПС. – 2021. – № 1 (51). – С. 91–97.
2. Будко, П. А. Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удалениях от пункта управления / П.А. Будко, Г.А. Жуков // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт. – 2017. – Т. 11, № 9. – С. 4–14.
3. Интеллектуальные подводные робототехнические комплексы для выполнения осмотровых и технологических операций на морских газопроводах и добычных комплексах / В.Ф. Филаретов, А.С. Климчик, Д.А. Юхимец [и др.] // Газовая промышленность. – 2020. – № 8 (804). – С. 30–38.
4. Чертова, О. Г. Возможные способы организации связи при построении сети морских робототехнических комплексов / О.Г. Чертова, К.В. Новак // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 54–61.
5. Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга / П.А. Будко, А.М. Винограденко, Г.А. Жуков, А.И. Литвинов // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 18–41.
6. Быканова, А. Ю. Варианты применения поплавок модуля связи и навигации в составе подводных робототехнических комплексов / А.Ю. Быканова, В.В. Костенко, О.Ю. Львов // Технические проблемы освоения мирового океана. – 2017. – Т. 7. – С. 112–118.
7. Родионов, В. В. Унифицированная система управления робототехническими комплексами / В.В. Родионов, С.И. Филиппов, Д.А. Варабин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2018. – № 1 (195). – С. 128–140.
8. Структура интеллектуальной системы управления наземного робототехнического комплекса для формирования маршрута движения / В.В. Варганов, А.В. Гривачев, А.Г. Курочкин, Е.А. Титенко // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 78–86.
9. Рубцов, И. В. Внедрение технологий группового применения военных робототехнических комплексов для нужд народного хозяйства / И.В. Рубцов, О.Г. Русанова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 3. – С. 44–53.
10. Горский, А. С. Анализ требований к разработке системы передачи данных наземных робототехнических комплексов военного назначения / А.С. Горский // Вестник современных исследований. – 2020. – № 8-2 (38). – С. 25–33.

11. Яшин, А. И. Интеллектуальный контроль технического состояния морского робототехнического комплекса / А.И. Яшин, П.А. Будко, А.М. Винограденко // Морская радиоэлектроника. – 2020. – № 1 (71). – С. 46–51.

12. Иванов, С. В. Организация защиты информации в системах управления интеллектуальными робототехническими комплексами двойного назначения / С.В. Иванов, А.П. Нечепуренко, С.А. Беседин // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2020. – № 5-6 (143-144). – С. 52–57.

13. Моделирование процессов организации оценки технического состояния средств связи и автоматизированных средств управления робототехнических систем / П.Ю. Белов, А.М. Попов, В.Н. Ружейников, В.И. Филатов // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2017. – № 1. – С. 41–49.

14. Рындин, А. В. Имитационное моделирование мультипоточковой передачи данных в среде AnyLogic / А.В. Рындин, Е.А. Пакулова // Информатизация и связь. – 2022. – № 2. – С. 21–24.

15. Яблокова, М. М. Исследование сети передачи данных средствами имитационного моделирования в среде AnyLogic / М.М. Яблокова, А.А. Попов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. – 2015. – № 5-2. – С. 319–323.