

ОТЗЫВ
официального оппонента

доктора технических наук, доцента Карцана Игоря Николаевича, ведущего научного сотрудника лаборатории гидрофизических подспутниковых исследований Черноморского гидрофизического подспутникового полигона ФГБУН ФИЦ «Морского гидрофизического института РАН», на диссертацию Терентьева Максима Николаевича, выполненную на тему: «Беспроводные сенсорные сети для космических систем» и представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Актуальность темы диссертации.

Внедрение специально разработанной категории беспроводных сенсорных сетей космического класса имеет важное значение, поскольку позволяет расширить эксплуатационные возможности космических систем. Можно перечислить несколько направлений расширения функциональных возможностей космических систем. Во-первых, это создание компактных орбитальных группировок. Использование современного класса беспроводных сенсорных сетей позволяет существенно снизить энергопотребление при обмене данными. Во-вторых, это эффективная организация контроля оборудования и экипажа на борту космических аппаратов. Космические беспроводные сенсорные сети позволяют осуществлять непрерывный долговременный мониторинг, минимизируя потерю данных без ущерба для оборудования космических аппаратов и необходимости создания дополнительной инфраструктуры мониторинга. В-третьих, это разработка производных информационных продуктов на основе спутниковых данных дистанционного зондирования Земли в сочетании с данными наземных беспроводных сенсорных сетей. Эти производные продукты служат основой для интеграции интеллектуальных функций в социальные, промышленные и

Отдел документационного
обеспечения МАИ

30.08.2023

экономические объекты, такие как "умные города", "умные предприятия", "умные поля".

Снижение энергопотребления при организации связи достигается за счет внедрения беспроводных сенсорных сетей, использующих маломощную передачу сигналов. Такая чувствительность к помехам и изменениям конфигурации космической системы может приводить к потерям данных, снижая надежность их передачи. Поэтому актуальной является разработка специализированной категории беспроводных сенсорных сетей, называемых в данной работе беспроводными сенсорными сетями для космических систем, которые обеспечивают низкое энергопотребление связи и эффективно предотвращают потерю данных при изменении конфигурации космической системы.

Новизна полученных результатов.

Научная новизна данного исследования заключается в предложении и теоретическом обосновании новой категории беспроводных сенсорных сетей. Отличительной особенностью этого класса является включение двух активных фаз в каждом сеансе передачи и приема информации. Такая конфигурация обеспечивает соответствие жестким требованиям космических систем, в частности, достижение высокой надежности передачи информации и минимизацию энергопотребления при недоступности узлов сети для обслуживания.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных результатов обеспечивается тщательностью изложения, точным использованием математического инструментария, подтвержденного имитационным моделированием и статистическим анализом. Кроме того, полученные результаты не противоречат фундаментальным принципам теории и реальной практике в области исследований. Основные теоретические

положения подтверждены успешной практической реализацией результатов исследования.

Теоретическая значимость работы.

Значимость данной работы заключается в теоретическом обосновании и практической проверке новой категории беспроводных сенсорных сетей. Эти сети специализированы для решения важнейшей научно-технической задачи - расширения функциональных возможностей космических систем за счет решения проблем связи в орбитальных группировках космических аппаратов и обеспечения мониторинга как на борту космических аппаратов, так и в наземном сегменте космических систем.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость исследования заключается в создании инновационных технических решений, необходимых для расширения функциональных возможностей космических систем. Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы в дальнейшем для развития как наземного, так и космического сегментов, а их практическая значимость заключается:

- в исследовании впервые предложен и исследован класс беспроводных сенсорных сетей, специально разработанных для космических систем с учетом требований, диктуемых природой космических систем. Такие сети обеспечивают заданный уровень надежности при одновременном снижении энергопотребления;
- разработана комплексная программно-методическая база для проектирования беспроводных сенсорных сетей для космических систем. Эта основа позволяет синтезировать и анализировать такие беспроводные сенсорные сети, предоставляя инструменты для их практической реализации;
- проведена проверка эффективности беспроводных сенсорных сетей нового класса, что позволило подтвердить возможность снижения энергопотребления в

коммуникациях космических систем. Это достижение может иметь серьезные последствия для повышения общей эффективности космических полетов.

Оценка содержания и завершенности диссертации.

Работа построена на основе задач, направленных на достижение поставленной цели.

В первом главе работы рассматривается научное обоснование применения беспроводных сенсорных сетей в космических системах и необходимость разработки особого класса беспроводных сенсорных сетей для космических систем. При этом учитываются специфические требования, такие как поддержание определенного уровня надежности при снижении энергопотребления. Рассмотрены характерные особенности беспроводных сенсорных сетей и космических систем, проанализированы обуславливаемые ими проблемы, показатели работы беспроводных сенсорных сетей и известные подходы к созданию беспроводных сенсорных сетей. На основе проведенного анализа сделан обоснованный вывод о необходимости разработки класса беспроводных сенсорных сетей, предназначенных для космических систем и решающих выявленные проблемы с учетом уникальных характеристик космических систем. Это предполагает обеспечение требуемых уровней надежности и энергопотребления, разработку модели и алгоритмов поддержки данного класса беспроводных сенсорных сетей, а также создание методики структурно-параметрического синтеза для этих беспроводных сенсорных сетей.

Следующая глава посвящена теоретическому обоснованию принципов, лежащих в основе класса беспроводных сенсорных сетей для космических систем. На основе проведенного в первой главе анализа, эти принципы включают древовидную структуру взаимодействия узлов, использование физических адресов, обновление родительских адресов, дискретный режим работы, синхронизацию узлов по фактическим задержкам, две активные фазы, адаптивное определение

параметров второй активной фазы, предотвращение передачи дублирующих сообщений, случайную задержку при передаче результатов, буферизацию сообщений, управляемую качеством связи. Среди этих принципов наиболее значимым является новая концепция двух активных фаз для дискретного режима работы беспроводных сенсорных сетей.

Третья глава посвящена разработке модели беспроводных сенсорных сетей, адаптированной для космических систем, связывающей характеристики обслуживаемого объекта с топологическими и функциональными параметрами беспроводных сенсорных сетей через показатели ее эффективности. Данная модель включает в себя модель радиоканала и модель функционирования узла беспроводных сенсорных сетей, реализующие разработанные алгоритмы из предыдущего раздела. Результатами имитационного моделирования являются зависящая от времени функция надежности беспроводных сенсорных сетей, диагностическая информация, определяющая причины потери данных, данные о потреблении энергии отдельными узлами, а также общая долговечность беспроводных сенсорных сетей.

В главе 4 представлен симулятор беспроводных сенсорных сетей для космических систем, использующий подходы дискретно-событийного и агентного моделирования, основанные на принципах и модели, изложенных в предыдущих главах.

В главе 5 представлена итерационная методология структурного и параметрического синтеза беспроводных сенсорных сетей для космических систем с использованием симулятора, описанного в предыдущей главе. Методика включает в себя несколько этапов, таких как подготовка модели объекта обслуживания, создание сети связи, выбор типа питания узла, определение значений параметров работы беспроводных сенсорных сетей и оценка показателей работы беспроводных сенсорных сетей с помощью симулятора. Представленные симулятор и методика в

совокупности образуют комплексную программно-методическую базу для проектирования беспроводных сенсорных сетей космических систем, позволяющую создавать беспроводных сенсорных сетей с заданными показателями эффективности.

В шестой, заключительной, главе показано практическое использование полученных результатов на примере решения реальной задачи - проектирования системы связи в составе орбитальной группировки наноспутников. Представлено, что разработанная система беспроводных сенсорных сетей имеет значительно меньшие энергозатраты по сравнению с существующими решениями, что подтверждает эффективность нового класса беспроводных сенсорных сетей.

Структура и содержание диссертации обладают внутренней логикой и соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Автореферат отражает основное содержание и результаты диссертации. Оформление автореферата и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Замечания по диссертации.

1. Положение класса беспроводных сенсорных сетей для космических систем о буферизации сообщений, управляемой качеством связи с родителем, опирается на использование информации о качестве связи, предоставляемой трансивером. Однако эта информация измеряется при получении данных, а используется при передаче данных. Качество связи в различных направлениях может различаться.

2. Не рассматривается возможность сжатия пересылаемых беспроводных сенсорных сетей данных. Снижение размера пересылаемых данных, обеспечиваемое сжатием, позволяет дополнительно снизить нагрузку на канал передачи, повысив значения показателей работы беспроводных сенсорных сетей

3. Изложение известных моделей распространения радиоволн представляется излишне подробным.

Необходимо отметить, что приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации.

Опубликованность основных результатов диссертации.

Основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в 13 публикациях в рецензируемых изданиях из перечня Министерства науки и высшего образования, соответствующих специальности 2.3.1, и двух публикациях в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus. Заимствованные материалы представлены в диссертации со ссылкой на их источник.

Заключение.

Несмотря на имеющиеся замечания, диссертация ТЕРЕНТЬЕВА Максима Николаевича является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, обладающей смысловым и содержательным единством формулировок темы, цели, поставленных задач, результатов и выводов, теоретические положения которой можно охарактеризовать как крупное научное достижение в космической области. В работе представлены обоснования поставленных научно-исследовательских задач, методы их решения также подробно описаны и обоснованы, выполнен анализ полученных научных и практических результатов, сформулированы выводы и сделаны обобщения.

Изложение материала ясное, стилистика соответствует уровню докторского исследования, используется терминология и методика описания результатов, принятая в областях информатики, вычислительной техники, системного анализа, управления и обработки информации.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Диссертация соответствует критериям, изложенным в п.9 абзаца 1 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842). Автор работы ТЕРЕНТЬЕВ Максим Николаевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по указанной специальности.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Ведущий научный сотрудник лаборатории гидрофизических подспутниковых исследований Черноморского гидрофизического подспутникового полигона ФГБУН ФИЦ «Морского гидрофизического института РАН»

доктор технических наук, доцент



КАРЦАН Игорь Николаевич

« 17 » августа 2023 года.

Подпись официального оппонента Карцана Игоря Николаевича заверяю.

Ученый секретарь ФГБУН ФИЦ МГИ РАН



АЛЕКСЕЕВ Дмитрий Владимирович

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»

299011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

Тел. +7 (8692) 54 52 41, e-mail: secretary@mhi-ras.ru

С отзывом оформлен

 30.08.23