

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Иванова Валерия Игоревича «Методы многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки и обработки информации о местоположении абонентских терминалов в низкоорбитальных спутниковых системах связи с межспутниковыми линиями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Актуальность темы диссертационной работы

Современный этап развития инфокоммуникаций характеризуется не только широким спектром предоставляемых услуг, но и стремлением к обеспечению поддержки глобальной мобильности пользователей. Формирование глобальной зоны обслуживания возможно только при использовании спутниковых сетей связи. Вопросам построения спутниковых сетей и исследования процессов, происходящих в этих сетях, посвящено большое количество работ. Однако, современные инфокоммуникации (мультимедиа-поток, сети с малыми задержками и др.) требуют решения новых задач, например, таких, как: увеличение пропускной способности, уменьшение времени задержки, снижение вероятности потерь и т.д.

Использование низкоорбитальных систем позволяет снизить временные задержки, что для развития сетей с особо малыми задержками, является необходимым условием. Но, малая зона покрытия одной низкоорбитальной системой приводит к значительному росту спутниковой группировки, что, в свою очередь приводит к необходимости решения новых задач маршрутизации в такой динамически изменяющейся сети, в том числе и с точки зрения распределения трафика.

Межспутниковые линии связи также используются для снижения задержек при передаче информации через спутниковые системы, но при этом

Вход. № 32/20
« 01 » 09 2020.
подпись

происходит повышение сложности задач распределения трафика при ограниченном ресурсе пропускной способности в данного типа сетях.

Естественно, что при предоставлении мобильных услуг необходимо обеспечить и решение задач о получении и обработки информации о местоположении абонентов. С учетом роста масштабов сети, изменения используемых технологий, увеличения количества систем и числа абонентов задачи обработки информации о местоположении абонентского оборудования требуют дополнительного исследования.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что тема диссертационной работы является актуальной.

Характеристика содержания диссертационной работы

Текст диссертации изложен на 194 страницах и включает введение, четыре раздела, заключение и приложение.

В первом разделе рассмотрены варианты построения низкоорбитальных спутниковых сетей связи и задачи, решаемые межспутниковыми линиями связи в данных сетях. Далее, в разделе представлены результаты классификации и анализа методов обработки информации о местоположении абонентских терминалов, и подробно описаны процедуры обработки информации о местоположении абонентских терминалов в исследуемых спутниковых сетях.

Также, в первом разделе представлена классификация, проведен анализ и описаны существующие методы маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи: сделаны выводы и сформулированы задачи по использованию в исследуемых сетях централизованной маршрутизации; для распределенной маршрутизации представлены результаты анализа существующих методов. Основные выводы по анализу методов маршрутизации, приведенные в первом разделе: для спутниковых сетей связи хорошо проработаны вопросы распределенной однопутевой маршрутизации; методы с балансировкой нагрузки практически не рассматриваются.

Второй раздел посвящен методу распределенной обработки информации о местоположении абонентских терминалов для низкоорбитальных спутниковых сетей связи. Одной из особенностей метода является обработка данной информации только в спутниковом сегменте. Метод, предложенный автором диссертации, использует несколько субметодов (алгоритмов), определяемых в работе, как отдельные методы: метод рассылки информации о местоположении, метод запроса информации о местоположении, метод проверки по времени существования записи о местоположении, метод проверки правильности местоположения, метод выбора оптимального значения N (количество скачков от видимых спутников) и др.

Для оценки характеристик предложенного метода произведено имитационное моделирование спутниковой системы "Iridium" как разработанного метода, так и некоторых других. При сравнении предложенного метода обработки информации о местоположении абонентских терминалов в низкоорбитальных спутниковых сетях связи с другими методами сделан вывод о том, что предлагаемый автором диссертации подход позволяет снизить задержку ответа на запрос и уменьшить число служебных пакетов при передаче информации о местоположении терминалов.

В третьем разделе диссертации представлены результаты разработки метода централизованной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки для низкоорбитальных спутниковых сетей связи с межспутниковыми линиями. В рамках метода сформулирована задача оптимизации по минимуму потерь пакетов по всей сети в целом. С точки зрения теории массового обслуживания системы исследуемой сети рассматриваются, как системы с ограниченным буфером (конечной очередью). Решение поставленной задачи основано на использовании генетического алгоритма эвристической оптимизации. Для этого вводятся следующие функции: функция случайного создания решения (определения пропорций распределения трафика по

маршрутам), функция случайного изменения решения, функция оценки решения. В алгоритме расчета маршрутов использован алгоритм имитации отжига. Для исследования характеристик предложенного подхода используется имитационное моделирование системы "Iridium", результаты которого, при сравнении разработанного метода централизованной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи с другими методами, демонстрируют при заданных условиях (распределение терминалов по территории обслуживания, постоянная скорость передачи, Парето-распределение периодов включения/выключения терминалов и др.) снижение вероятности потерь, повышение пропускной способности и снижение среднего времени задержки (при определенных условиях). В заключении по разделу представлены выводы о перспективах использования предложенного в диссертации метода.

В четвертом разделе рассматривается метод распределенной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи. С целью определения маршрутов данным методом в состав служебного пакета введена информация о задержке и потерях на маршруте. При описании процессов возникновения задержек и потерь в исследуемых сетях рассмотрены возможные виды организации очередей (на входе и на выходе) для спутниковых систем с маршрутизацией на борту. Алгоритм формирования таблицы маршрутизации предусматривает устранение петлевых маршрутов и удаление маршрутов с большой задержкой.

В составе метода используются субметоды-алгоритмы (с целью снижения вероятности потерь путем моделирования выбран определенный набор методов): метод оценки текущей задержки очереди по числу пакетов в очереди; метод выбора множества линий-кандидатов из всех линий спутника; метод случайного выбора следующей линии по вероятности потерь; метод определения пропорций по вероятности потери пакетов. С помощью эвристических методов многопараметрической оптимизации определены оптимальные значения для шести параметров предложенного метода

распределенной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки. По результатам имитационного моделирования системы “Iridium” сделан вывод о том, что предложенный метод распределенной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях, в сравнении с другими методами показывает уменьшение вероятности потерь, повышение пропускной способности и, при определенных условиях, снижение задержки.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

В приложении представлен акт МТУСИ об использовании результатов диссертационной работы в научно-исследовательских работах.

Новизна исследования и полученных результатов

Научной новизной диссертационной работы являются, во-первых, метод распределенной обработки информации о местоположении абонентских терминалов в низкоорбитальных спутниковых сетях связи; и, во-вторых, методы многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи.

Метод распределенной обработки информации о местоположении абонентских терминалов использует набор новых методов и алгоритмов, позволяющих снизить использование фидерных линий для передачи служебной информации и уменьшить время задержки на запросы о местоположении. В отличие от существующих методов обработки информации о местоположении абонентских терминалов в низкоорбитальных спутниковых сетях связи, разработанный метод использует для обработки/передачи данной информации спутниковый сегмент без использования ресурсов земных станций.

Разработанные методы многопутевой маршрутизации (для централизованного и распределенного способов) с балансировкой нагрузки, в отличие от существующих методов для низкоорбитальных спутниковых сетей связи, рассматривают в качестве цели оптимизации вероятность потерь при

ограниченности буфера отдельных спутниковых систем. Для решения поставленных задач используются методы эвристической оптимизации, в том числе и многопараметрической оптимизации. В результате сравнения путем имитационного моделирования с другими методами, представленный в диссертационной работе подход позволяет снизить вероятность потерь, уменьшить задержки и повысить пропускную способность исследуемых сетей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность подтверждается: корректным использованием математического аппарата теории графов, теории оптимизации и теории алгоритмов; непротиворечивостью результатов основным положениям теории телетрафика и теории массового обслуживания; результатами компьютерного имитационного моделирования; достаточным числом публикаций в научных рецензируемых журналах, обсуждением результатов на научных конференциях различного уровня.

Теоретическая значимость работы

Диссертация развивает научные направления, связанные с разработкой методов обработки информации о местоположении абонентских терминалов в низкоорбитальных спутниковых сетях связи и разработкой методов многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки и повышением качества обслуживания в данных спутниковых сетях.

Практическая значимость работы

Представленные в диссертационной работе результаты при практической реализации позволяют повысить качество обслуживания в спутниковых сетях, обладающих особенностями построения, связанными с использованием низких орбит; и увеличить пропускную способность рассматриваемых спутниковых сетей. В условиях развития глобального инфокоммуникационного пространства, полученные автором исследования

результаты. повышают возможности практического использования спутниковых сетей на низких орбитах, как сегмента современных инфокоммуникаций (*IoT, 5G, low-latency networks*). Практическая значимость диссертации подтверждается актом об использовании результатов диссертационной работы в научно-исследовательских работах МТУСИ.

Замечания

1. В тексте диссертационной работы не нашли отражение вопросы построения имитационной модели спутниковой системы, используемой для исследования характеристик разработанных методов и сравнения с существующими (среда моделирования, архитектура системы моделирования, адекватность программных средств; в некоторых случаях количество испытаний; влияние нестационарности параметров системы на поведение модели).
2. При построении модели спутниковой системы (стр. 126 и далее) рассматривается передача постоянного объема данных (8192 бита) с постоянной скоростью. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в представленной модели не учтено влияние переменных и динамически изменяющихся значений скоростей (*VBR*). При этом не указано, насколько быстро будет получено решение разработанным методом и как повлияет длительность периода балансировки на результат?
3. При разработке метода централизованной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи не учитывается то, что, в общем случае, топология сети не является постоянной и динамически изменяется, что будет приводить к необходимости динамической перестройки маршрутов на достаточно малых масштабах времени.
4. При рассмотрении метода распределенной многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки в низкоорбитальных спутниковых сетях связи (стр. 149-150) не указано: с чем связано то, что

выходные очереди сформированы отдельно для каждого направления, а входная очередь общая для всех?

5. На стр. 156 диссертации приведена формула для определения задержки, как критерия выбора маршрута и отбрасывания маршрутов с большой задержкой: $b = d_{\min} + (d_{\max} - d_{\min})a$, где «параметр a выбирается опытным путём». Учитывая выбранный критерий оптимальности, рассматривался ли вопрос о том, что могут отбрасываться маршруты с большой задержкой, но возможно обеспечивающие малые потери?
6. В подразделе 4.2.2 диссертации не рассмотрены аналитически обоснования оптимальности значений параметров, которые получены путем моделирования. Поэтому возникает вопрос о взаимном влиянии этих параметров друг на друга и как совместные изменения рассмотренных параметров повлияют на характеристики разработанного метода?
7. В тексте диссертации указана ошибочно таблица 49: стр. 84, стр. 88.

Заключение

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают научно-практическую ценность диссертационной работы. Автореферат полностью отражает содержание работы. По результатам работы опубликовано 13 статей, из них 8 опубликовано в журналах списка ВАК.

В диссертации решены актуальные для науки и техники задачи по разработке методов определения местоположения абонентских терминалов и многопутевой маршрутизации в низкоорбитальных спутниковых сетях связи. Полученные результаты обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость для развития инфокоммуникационных сетей и систем. Разработанные методы позволяют повысить качество обслуживания в низкоорбитальных спутниковых сетях и обеспечить повышение пропускной способности данного типа сетей. Также, полученные результаты можно применять и для спутниковых сетей другого вида.

Диссертация Иванова В.И. является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и на высоком научном уровне.

Представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года (№ 842), предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата наук.

Считаю, что автор диссертации, Иванов Валерий Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Ведущий научный сотрудник

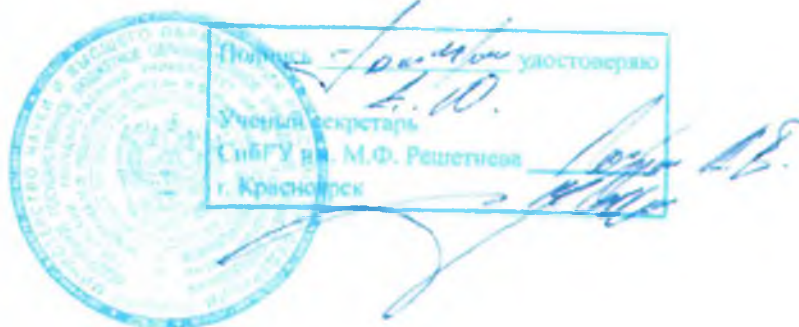
НИЛ Института информатики и телекоммуникаций

СибГУ науки и технологий

им. акад. М.Ф. Решетнева,

д-р техн. наук, доцент

Пономарев Д.Ю.



Сведения об оппоненте.

Пономарев Дмитрий Юрьевич, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИЛ ИИТК. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 660037, Российская Федерация, Красноярский край, город Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, а/я 1075; тел. +79232715310, e-mail: ponomarevdu@yandex.ru