

В. Н. Дмитриев, А. А. Сорокин, Чан Тоан Куок, Фам Хак Чонг

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В настоящее время в процессе управления информационными потоками в инфокоммуникационных системах возникают трудности при расчете критерия оптимальности маршрута передачи данных. Неопределенность связана с большим количеством возмущающих факторов, воздействующих на систему передачи информации. Средства структурных элементов систем телекоммуникаций позволяют осуществлять сбор информации о результатах подобных воздействий. Часто в процессе решения задач управления инфокоммуникационными системами подобная информация не используется в полной мере. Повысить эффективность управления трафиком в системах передачи информации можно за счет использования принципов межуровневого взаимодействия. При использовании протоколов маршрутизации, основанных на принципах межуровневого взаимодействия, во время расчета критерия оптимальности маршрута передачи информации учитывается информация, поступающая не только с сетевого, но и с других уровней. В общем виде информация может поступать с физического, канального, транспортного и прикладного уровней. На основе принципов межуровневой маршрутизации реализован протокол, использующий во время расчета критерия оптимальности при выборе маршрута информацию о состоянии канального и сетевого уровней. Протокол получил название OLSR-Cross Layer. Экспериментальная проверка эффективности практического использования протокола OLSR-Cross Layer методом имитационного моделирования проводилась в программном пакете Opnet Modeler. Выявлена большая эффективность использования протокола OLSR-Cross Layer по сравнению с протоколом OLSR, использующим классические принципы маршрутизации: вероятность потери пакета при использовании протокола OLSR-Cross Layer меньше в 3 раза, а задержка передачи пакета от отправителя к получателю меньше практически в 2 раза.

Ключевые слова: управление, информация, анализ, система, трафик, модель, маршрутизация, opnet, сеть, данные.

Введение

В настоящее время все большее распространение получают системы передачи данных с гетерогенной топологической структурой [1–4]. Под гетерогенностью топологической структуры понимается наличие в распределенной системе передачи и обработки информации проводной и беспроводной составляющей. Области использования распределенных систем передачи информации с гетерогенной топологической структурой различны – от обеспечения доступа к сети Internet обычным пользователям до создания распределенных вычислительных комплексов по хранению и обработке информации. Широкое использование беспроводных средств передачи и обработки информации приводит к усложнению топологических структур подобных систем. Усложнение топологии приводит к увеличению факторов, влияющих на эффективность определения и поддержания актуальности оптимальных, по заданным критериям, маршрутов передачи информации.

Управление структурой инфокоммуникационной сети реализуется при помощи совокупного использования программно-аппаратных средств, получивших название интерфейсов и протоколов. Главной целью управления является обеспечение доставки информационных пакетов от отправителя до получателя. В процессе доставки информации необходимо выполнение ряда требований, соблюдение которых обеспечит получение достоверной информации, что является положительной оценкой результата работы системы управления инфокоммуникационной сетью в целом [2, 4].

При использовании в качестве элементов системы инфокоммуникаций мобильных устройств задача по определению оптимального маршрута передачи информации усложняется введением большого количества неопределенностей, связанных с состоянием узла в заданный и последующий моменты времени. Причиной возникновения неопределенностей является большое количество случайных внешних и внутренних воздействий, оказываемых на узел связи в процессе его работы. В результате подобных воздействий изменяются свойства узла. Изменение свойств совокупности узлов приводит к изменениям свойств топологической структуры

в целом. Как известно, многие современные протоколы управления системами разрабатывались на основе моделей стеков протокола TCP/IP или семиуровневой модели взаимодействия открытых систем OSI 7. Особенностью подобных моделей является четкое распределение задач управления потоком информации последовательно по уровням, при этом взаимодействие осуществляется между соседними уровнями. Согласно [1, 4, 5], использование в системах передачи информации с гетерогенной топологической структурой протоколов, основанных на уровневом подходе, приводит к снижению эффективности управления процессом распределения информационных потоков и снижению качества работы системы ниже установленных норм.

Цель работы: исследование способов повышения эффективности управления информационными потоками в беспроводных системах передачи и обработки информации с распределенной топологической структурой.

Анализ концептуальных моделей управления инфокоммуникационными системами

Исторически для описания этапов решения задач по управлению процессом передачи информации использовались концептуальные модели. Наибольшее распространение среди концептуальных моделей инфокоммуникационных систем получили семиуровневая модель взаимодействия открытых систем OSI 7 (Open System Interconnection Model) и модель стека протоколов TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol). Согласно модели OSI 7 и модели стека протоколов TCP/IP, управление процессом передачи информации реализуется при помощи последовательного решения ряда задач. Обобщенной особенностью моделей OSI 7 и стека протоколов TCP/IP является то, что для решения задачи управления на вход последующего уровня от предыдущего поступает только результат. При этом считается, что сам процесс решения предыдущей задачи в целом не представляет интереса. Преимущество подобного (уровневого) подхода – это возможность совершенствования алгоритмов работы каждого из уровней без риска влияния подобной модернизации на ниже- или вышестоящие уровни. Практическое использование подхода в целом хорошо зарекомендовало себя во время решения задачи по управлению проводными системами передачи информации, особенно на ранних этапах развития. Одним из наиболее успешных результатов практического использования уровневого подхода является работа глобальной сети передачи данных Internet. Основное ограничение при использовании подхода, основанного на независимости работы уровней, – это отсутствие четко выраженных обратных связей между уровнями [6].

Отсутствие четко выраженной системы обратных связей между различными уровнями приводит к снижению эффективности работы сети передачи информации и, как следствие, отказам в обслуживании абонентов. Особенно остро снижается эффективность работы беспроводных систем передачи и обработки информации, имеющих распределенную топологическую структуру и высокую степень динамичности узлов (в зарубежной литературе подобные системы получили название ad-hoc-сети). Сложности использования классического (уровневого) подхода в системах инфокоммуникаций, имеющих беспроводную топологическую структурную составляющую, заключаются в том, что в процессе эксплуатации на мобильные узлы оказывает влияние большое количество возмущающих факторов внешней среды. Наличие большого количества возмущающих факторов внешней среды вызывает неопределенность в процессе принятия решения о выборе статуса узла сети при назначении ему веса, который используется для определения приоритета маршрута передачи информации.

Одной из причин возникновения неопределенности является, например, зависимость уровня выходной мощности сигнала от уровня напряжения батареи питания. В свою очередь, от уровня выходной мощности зависит дальность распространения сигнала и пропускная способность канала, а следовательно, и вес маршрута передачи информации, а уровень напряжения батареи зависит, например, от загруженности процессора мобильного устройства. В свою очередь, загрузка процессора зависит, например, от типа используемого приложения, например просмотра видео высокого разрешения или простого обмена сообщениями. Таким образом, состояние сетевого уровня зависит от состояния физического уровня, при этом состояние физического уровня зависит от типов используемых прикладных программ, т. е. от состояния уровня приложений. С учетом структуры моделей стека протоколов TCP/IP и модели OSI 7 на рис. 1 показан пример влияния процессов, происходящих на прикладном уровне, на функционирование физического, канального и сетевого уровней.

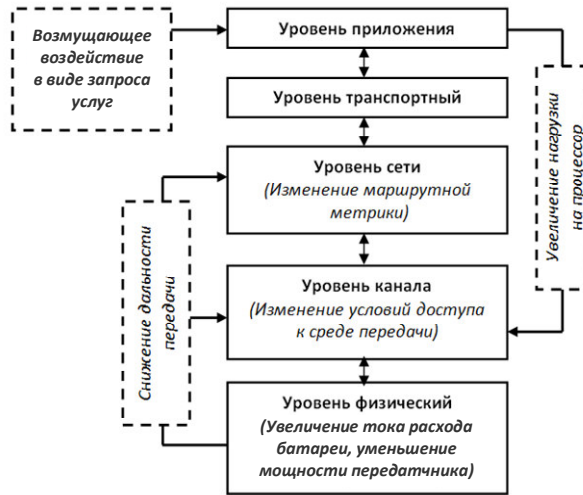


Рис. 1. Пример влияния процессов прикладного уровня на физический, канальный и сетевой уровни

Межуровневые взаимосвязи, аналогичные тем, которые показаны на рис. 1, и влияющие на работу системы в целом, можно описать, начиная от воздействий на систему на любом из уровней. При этом следует учитывать, что возмущающие факторы имеют случайный характер, величина и интенсивность их воздействия зависят от многих факторов, которые могут иметь техническую, социально-экономическую или климатическую первопричину.

Решение задач по управлению потоками информации с учетом процессов, происходящих в системе инфокоммуникаций на несмежных уровнях, возможно в рамках создания межуровневых протоколов.

Анализ принципов работы межуровневого управления трафиком в беспроводных системах передачи и обработки информации с распределенной топологической структурой

Основным преимуществом межуровневых протоколов является возможность обмена информацией между различными несмежными уровнями моделей OSI 7 или стека протоколов TCP/IP, при этом протоколы сохраняют свою основную функцию применительно к занимаемому уровню [5, 7–9, 10]. Например, если требуется уменьшить интенсивность разряда батареи, протокол физического уровня может отправить команду на вышестоящие уровни для уменьшения скорости передачи информации или изменения типа шифрования, а также повлиять на другие параметры качества обслуживания QoS (Quality of Service) заданного канала передачи информации. Отличия взаимодействия между уровнями в классической модели стека протоколов TCP/IP и при межуровневом подходе продемонстрированы на рис. 2.

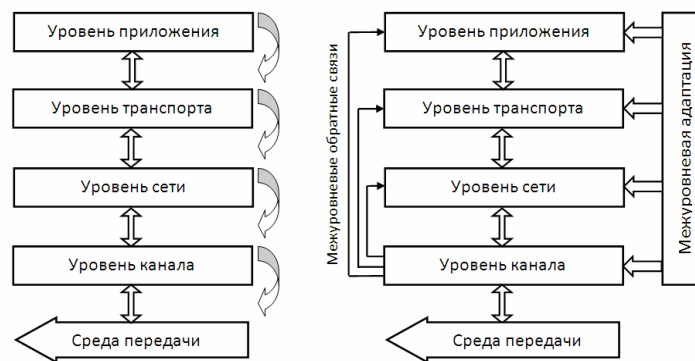


Рис. 2. Демонстрация различия взаимодействия уровней в классической модели стека протоколов TCP/IP и межуровневой модели

В сетях передачи информации, работающих по стеку протоколов TCP/IP, задача маршрутизации жестко привязана к сетевому уровню (уровень 3). Распространение подобных принципов на беспроводные сети приводит к определенным трудностям в плане обеспечения качества передачи QoS. В процессе разработки современных принципов межуровневой маршрутизации, с учетом необходимости обеспечения требований по соблюдению качественных характеристик работы QoS, наибольшее внимание уделяется следующим аспектам [8–10]:

- среда передачи информации в беспроводных сетях (радиосигнал). Как известно на качество приема сигнала сильное влияние оказывают такие факторы, как состояние атмосферы (дождь, снег, явления рефракции), особенности рельефа местности (холмы, равнина, горы), наличие препятствий в виде зданий или деревьев, зашумленность среды распространения другими источниками радиосигнала (другие беспроводные узлы, слабоэкранированные блоки питания и др.);
- особенности перемещения мобильных узлов, которое может являться случайным. Перемещение мобильных терминалов приводит к изменению расстояния между узлами, рассогласованности диаграмм направленности антенн приемного и передающего узлов;
- энергоотдача источников питания мобильных устройств, т. к. для повышения надежности каналы должны обладать более высокими энергетическими характеристиками, однако увеличение мощности передающего модуля приводит к быстрому разряду аккумулятора, что в результате делает узел неработоспособным на определенный интервал времени.

В отличие от сотовой мобильной связи, в которой процесс управления мобильным терминалом централизован и осуществляется, как правило, такими элементами сети, как центральный коммутатор, контроллер базовых станций и непосредственно базовая станция, в инфокоммуникационных системах с гетерогенной топологической структурой часто используются принципы распределенного и (или) децентрализованного управления процессом передачи информации и выбора оптимального по заданному критерию маршрута передачи данных. В результате использования принципов распределенного или децентрализованного управления на процесс передачи информации начинают оказывать сильное влияние описанные выше факторы, связанные с особенностями среды распространения, перемещения и энергообеспеченностью узлов сети. В процессе определения оптимального маршрута передачи информации в беспроводной сети, согласно требованиям QoS, в качестве наиболее важных критериев оптимальности выступают следующие характеристики [1, 10, 11]:

- пропускная способность (bandwidth) канала связи;
- сквозная задержка передачи пакета между отправителем и получателем информации (в ряде источников, например [3, 8, 11], обозначается как «задержка из конца в конец» (delay end-to-end));
- максимально допустимая разница во времени доставки двух соседних информационных пакетов – джиттер (jitter);
- максимально допустимая вероятность потери информационных пакетов.

Общий перечень характеристик различных уровней модели стека протоколов TCP/IP или OSI 7, влияющих на качество передачи информации в сетях, приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Общий перечень характеристик,
влияющих на качество передачи информации на различных уровнях**

Уровень	Параметр
Сетевой	Пропускная способность, задержка, джиттер, вероятность потери пакетов, размер буфера в узлах
Канальный	Задержка MAC, надежность канала и стабильность работы канала, показатель относительной подвижности узла (node relative mobility/stability)
Физический	Отношение сигнал/шум, частота появления битовых ошибок (BER – Bit error rate), средняя потребляемая мощность на передачу одного кадра

При создании управляющих протоколов для межуровневой маршрутизации, как показано в [7–12], следует исходить из следующих принципов:

- минимизация накладных расходов протокола (Protocol overhead), т. к. каждый протокол во время работы использует служебную информацию, на передачу и обработку которой затра-

чивается определенная полоса пропускания канала, процессорная мощность и энергия источника питания. Вследствие этого при создании протокола для повышения эффективности гетерогенной системы передачи данных необходимо минимизировать объем служебной информации, используемой в процессе оказания услуг пользователям;

- способность быстро адаптироваться к изменениям топологической структуры сети, вызываемой мобильностью узлов. Изменение места расположения узлов относительно друг друга может привести к разрыву маршрута передачи информации. Для обеспечения непрерывности передачи информации протоколу маршрутизации необходимо обеспечивать оперативный поиск нового маршрута при выполнении условия минимизации задержек по передаче информационных пакетов;

- предотвращение появления маршрутов, содержащих «петли», которые приводят к заклиниванию передачи информационного пакета между некоторой последовательностью маршрутизаторов.

В настоящее время при использовании межуровневой маршрутизации наибольшее распространение получили следующие комбинации взаимодействия сетевого, канального и физического уровней:

1. Сетевой и канальный уровни. Сочетание использования взаимодействия канального и сетевого уровня позволяет определять маршруты передачи информации с учетом возникающих коллизий между узлами сети на MAC-уровне в процессе доступа к среде передачи информации.

2. Сетевой и физический уровни. Сочетание использования взаимодействия физического и сетевого уровня позволяет определять маршрут передачи информации с учетом таких характеристик, как соотношение сигнал/шум, частота битовых ошибок BER, скорость передачи битов в канале и т. д. Как следствие, наблюдается увеличение качества передачи информации. Примерами практического использования подобного взаимодействия стали протокол AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) [13], который использует при расчете маршрутной метрики частоту битовых ошибок, BER, или протокол DSR (Dynamic Source Routing) [14], который при расчете маршрутной метрики учитывает соотношение сигнал/шум и пропускную способность канала.

3. Сетевой, канальный и физический уровни. При определении маршрутной метрики производится совместное использование характеристик всех трех уровней. В настоящее время находится на стадии разработки. Для исследования процесса трехуровневого взаимодействия используются модели топологии сети, модели узлов, модели каналов связи, модели передачи трафика.

Обобщенно возможные варианты взаимодействия между физическим, канальным сетевым и транспортным уровнями показаны на рис. 3.



Рис. 3. Пример взаимодействия уровней модели OSI 7

В качестве механизма обмена данными о состоянии узла между несмежными уровнями, как правило, применяются методы, основанные на непосредственном взаимодействии между уровнями для обмена данными о состоянии передачи информации, использовании протоколами различных уровней общих баз данных о состоянии передачи информации, разработки новых интерфейсов взаимодействия и обмена необходимой информацией между несмежными уровнями.

Проверка эффективности использования принципов межуровневой маршрутизации на практике может быть осуществлена методом имитационного моделирования в программном пакете Opnet Modeler.

Исследование эффективности использования межуровневого управления трафиком в беспроводных системах передачи и обработки информации с распределенной топологической структурой

Оценка эффективности использования принципов межуровневой маршрутизации проводилась экспериментально методом имитационного моделирования в программном пакете OPNET Modeler [15]. Во время эксперимента сравнивались качественные показатели двух инфокоммуникационных сетей с распределенной топологической структурой одинаковой размерности и при одинаковой трафиковой нагрузке. Процесс управления передачей трафика по сети осуществлялся протоколом OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), который основан на принципах классической динамической маршрутизации, и протоколом OLSR-CrossLayer, основанным на принципах межуровневой маршрутизации. Среда моделирования OPNET Modeler [15] имеет графический интерфейс, позволяет воспроизводить работу различных видов проводных и беспроводных сетей под управлением различных протоколов. Одним из результатов эксперимента в OPNET Modeler является построение графических зависимостей параметров качества передачи трафика, в том числе и требований QoS, от интенсивности трафика или других особенностей топологической структуры системы инфокоммуникаций.

Протокол маршрутизации OLSR в настоящее время наиболее часто используется в таком виде инфокоммуникационных систем с распределенной топологической структурой, как MANET (Mobile Ad hoc Network). Протокол OLSR относится к классу протоколов маршрутизации, который на каждом из мобильных узлов производит построение таблиц маршрутизации. Построение таблицы маршрутизации (база данных о состоянии маршрутов между заданными узлами сети) осуществляется при помощи обмена между узлами-участниками сети информации о наличии соседей, ранг пути до которых равен единице, и последующего построения графа сети и расчета оптимальных маршрутов на основании полученной информации. В качестве критерия оптимальности выбора маршрута передачи информации выбирается количество промежуточных ретрансляций между заданной парой узлов.

В алгоритме работы протокола маршрутизации OLSR-CrossLayer, основанном на использовании межуровневого взаимодействия, имеются два дополнительных модуля. Один из модулей отвечает за сбор информации о качестве канала связи между узлами – это модуль сбора параметров (Parameter Acquisition Module). Данный модуль собирает информацию о состоянии канального уровня, в том числе о доступности полосы пропускания, балансировке нагрузки, наличии коллизий. Второй модуль – модуль вызова параметров (Parameter called module), отвечает за предоставление собранной статистической информации о состоянии канального уровня протоколам сетевого уровня. Информация, переданная модулем вызова параметров, используется в процессе работы алгоритма расчета маршрутов передачи информации. Схема работы протокола маршрутизации OLSR-CrossLayer показана на рис. 4.

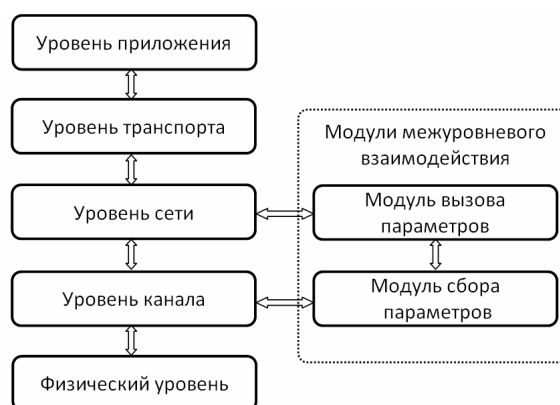


Рис. 4. Схема работы протокола маршрутизации OLSR-CrossLayer

В ходе эксперимента проводилась оценка качества работы сети по параметрам QoS, в качестве которых использовались:

- средняя задержка, мс;
- потеря пакетов, %.

Данные модели на момент начала эксперимента по исследованию эффективности использования протоколов OLSR и OLSR-Cross Layer в распределенной инфокоммуникационной системе приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Начальные параметры модели
для исследования эффективности использования
протоколов маршрутизации OLSR и OLSR-Cross Layer**

Параметр	Значение параметра
Среда моделирования	OPNET Modeler 14,5
Область моделирования	1000 × 1000 м
Дальность передачи	100 м
Стандарт беспроводной технологии	IEEE 802.11 b
Пропускная способность канала	11 Мбит/с
Размер информационного пакета	512 байт
Протокол транспортного уровня	TCP
Скорость передачи пакетов	От 2450 до 2500 пак/с
Размер буфера узла	2550 пак
Скорость передачи трафика	≈ 10 Мбит/с
Протокол маршрутизации	OLSR и OLSR-Cross Layer
Число узлов	7
Период HELLO-сообщения	2 с
Период TC-сообщения (Topology Control)	5 с
Время моделирования	60 с

Топологическая структура исследуемой сети, построенная средствами программы OPNET Modeler, показана на рис. 5.

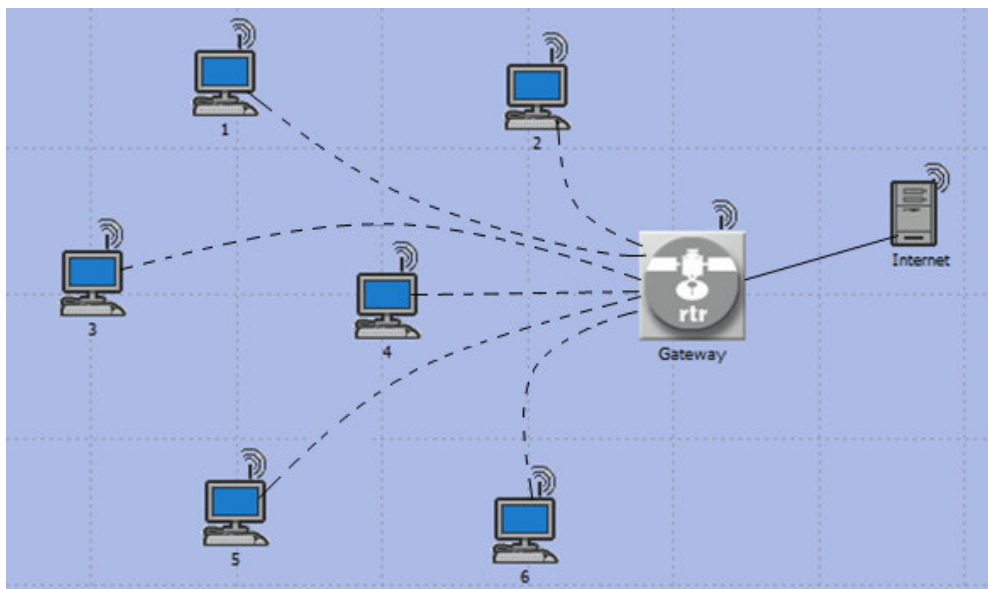


Рис. 5. Топологическая структура исследуемой сети

Результаты исследования эффективности использования протоколов OLSR и OLSR-CrossLayer приведены в табл. 3.

**Результаты исследования
эффективности использования протоколов OLSR и OLSR-CrossLayer
в инфокоммуникационной системе с распределенной топологической структурой**

Протокол	Скорость передачи пакетов, пак/с									
	2450	2455	2460	2465	2470	2475	2480	2485	2490	2500
Средняя задержка, мс										
OLSR-CrossLayer	30	50	115	140	167	172	186	215	238	255
OLSR	35	85	155	220	265	345	352	405	442	448
Потеря пакетов, %										
OLSR-CrossLayer	0,04	0,2	0,73	1,35	2,05	2,34	3,56	3,85	5,32	5,84
OLSR	1,54	2,42	3,26	5,5	6,9	9,65	12,8	15,75	16,45	18,7

На основании данных табл. 3 построены графические зависимости (рис. 6), которые демонстрируют эффективность использования протоколов маршрутизации при различных условиях работы исследуемой сети.

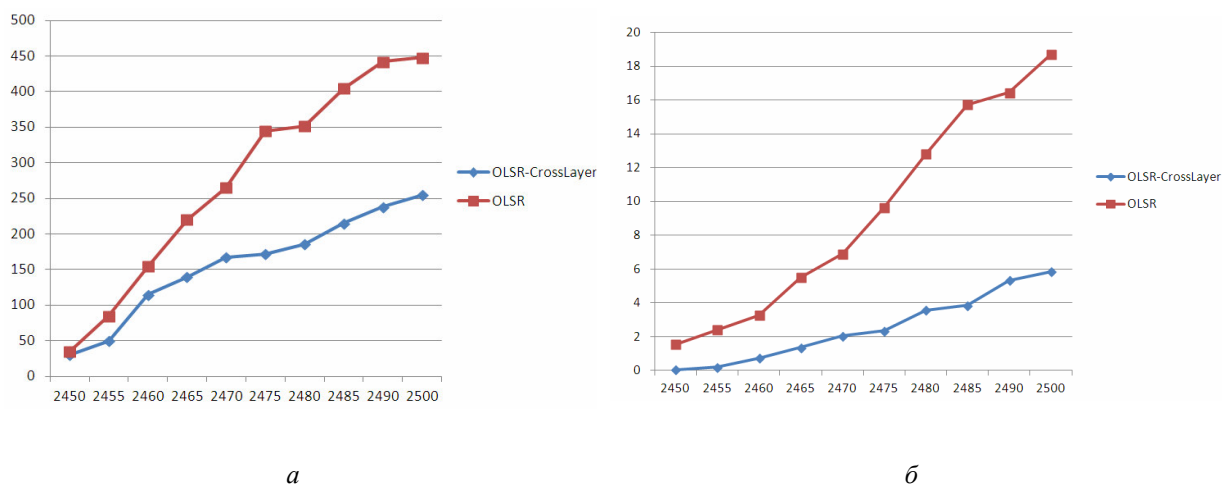


Рис. 6. Результаты моделирования сети
под управлением протоколов OLSR и OLSR-CrossLayer:
а – средняя задержка пакетов, мс; б – потеря пакетов, %

Анализ графиков на рис. 6 показывает, что при изменении скорости передачи от 2450 до 2500 пак/с эффективность применения протокола, не использующего принципы межуровневой маршрутизации, уменьшается быстрее, чем протокола, основанного на использовании принципов межуровневой маршрутизации, по следующим основным характеристикам:

- задержка пакета от отправителя к получателю при использовании протокола OLSR увеличивается от 50 мс (при скорости 2450 пак/с) до 450 мс (при скорости 2500 пак/с), тогда как при использовании протокола OLSR-CrossLayer – от 50 до 250 мс;

- потеря пакетов у протокола OLSR увеличилась с 5 до 20 %, тогда как при использовании протокола OLSR-CrossLayer не превышает 6 %.

Таким образом, результаты экспериментального исследования в программном пакете OPNET Modeler показывают, что применение принципов межуровневого взаимодействия в инфокоммуникационных системах с изменяемой топологической структурой в среднем в 2 раза повышает эффективность управления трафиком.

Выводы

В ходе исследований показано, что в настоящее время при решении задачи управления информационными потоками в сетях передачи данных возникает ряд неопределенностей в области определения критерия оптимальности во время расчета маршрута передачи трафика. Неопределенность связана с тем, что параметры оборудования и беспроводных каналов связи

между оборудованием изменяются вследствие воздействия возмущающих факторов внешней среды. Получать информацию о результатах воздействия на узел возможно при помощи различных датчиков и систем мониторинга. Однако, как показал обзор литературы, данная информация в процессе управления процессом обработки и передачи информации при применении классических протоколов, основанных на уровневом подходе, практически не используется.

Для повышения эффективности управления трафиком в системах передачи информации предлагается использовать протоколы, основанные на межуровневом взаимодействии. Во время использования протоколов, основанных на межуровневом взаимодействии, в процессе расчета критерия оптимальности маршрута передачи информации учитываются данные, поступающие не только от сетевого уровня, как это делается в классических протоколах, но и от других уровней. В число уровней, информация от которых учитывается во время определения критерия оптимальности, входят физический, канальный и транспортный, в некоторых случаях может использоваться и прикладной.

Примером практической реализации протокола, использующего во время расчета критерия оптимальности при выборе маршрута информацию о состоянии других уровней, стал протокол OLSR-Cross Layer. Эффективность использования протокола OLSR-Cross Layer в сравнении с таковой протокола OLSR, основанного на принципах классической маршрутизации, была проверена экспериментально. Эксперимент проводился методом имитационного моделирования в программном комплексе Opnet Modeler. Результаты эксперимента показали, что вероятность потери пакета при использовании протокола OLSR-Cross Layer меньше в 3 раза, а задержка передачи пакета от отправителя к получателю меньше практически в 2 раза.

Таким образом, результаты исследования выявили возможности повышения эффективности управления потоками информации в системах передачи данных с распределенной топологической структурой за счет использования во время расчета критерия оптимальности при выборе маршрута информации о состоянии физического, канального и транспортного уровней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриев В. Н.* Системы связи с динамической топологией сети / В. Н. Дмитриев, А. А. Сорокин, О. Н. Пищин // Инфокоммуникационные системы и технологии: проблемы и перспективы. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 592 с.
2. *Способ* мобильной связи между подвижными и стационарными объектами: пат. 2341896 Рос. Федерация / Дмитриев В. Н., Сорокин А. А.; опубл. 20.12.2008.
3. *Сорокин А. А.* Описание систем связи с динамической топологией сети при помощи модели «мерцающего» графа / А. А. Сорокин, В. Н. Дмитриев // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 2. С. 134–139.
4. *Бахтин А. А.* Эффективность реализации межуровневого взаимодействия для протокола быстрой маршрутизации в беспроводных ad-hoc-сетях / А. А. Бахтин, Л. А. Попов, А. В. Смирнов // Вестн. Моск. авиац. ин-та. 2009. Т. 16, № 5. С. 159–165.
5. *Samarth H. Shah.* Cross-layer design for data accessibility in mobile adhoc network. Department of Computer Science University of Illinois at Urbana-Champaign Champaign, IL 61820, U.S.A. / Samarth H. Shah, Kai Chen, Klara Nahrstedt // URL: <http://cairo.cs.illinois.edu/publications/papers/wpc2002.pdf> (accessed: 21.04.2015).
6. *Олифер В. Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. СПб.: Питер, 2010. 994 с.
7. *Marco Di Felice.* Cross-Layer Optimizations in Multi-Hop Ad Hoc Networks – Technical Report / Di Felice Marco // URL: http://amsdottorato.unibo.it/915/1/Tesi_Di_Felice_Marco.pdf (accessed: 25.04.2015).
8. *Vijay T. Raisinghani.* ECLAIR: An efficient cross layer architecture for wireless protocol stacks / Vijay T. Raisinghani, Sridhar Iyer // URL: <http://www.it.iitb.ac.in/~sri/papers/eclair-wwc04.pdf> (accessed: 26.04.2015).
9. *Frank Aune.* Cross-Layer Design Tutorial – Norwegian University of Science and Technology, Dept. of Electronics and Telecommunications, Trondheim, Norway. Published under Creative Commons License. 26.11.2004 / Frank Aune // URL: <http://www.iet.ntnu.no/projects/cuban/archive/1812041.pdf> (accessed: 27.04.2015).
10. *Рекомендация* МСЭ-R S.1897 (01/2012). Межуровневое обеспечение QoS в гибридных спутниково-наземных сетях, базирующихся на протоколе Интернет // URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1897-0-201201-I!!PDF-R.pdf (accessed: 27.04.2015).
11. *Jacquet P.* Optimized Link State Routing Protocol RFC 3626 / P. Jacquet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, A. Laouiti, L. Viennot, T. Clausen // Network Working Group Project Hipercom, INRIA, October, 2003 // URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt> (accessed: 15.04.2015).
12. *Протокол* маршрутизации OLSR // URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OLSR> (accessed: 18.04.2015).
13. *Ad hoc* On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. rfc3561 // URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> (accessed: 20.04.2015).

14. *The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4* // URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4728> (accessed: 17.04.2015).

15. *Тарасов В. Н.* Проектирование и моделирование сетей ЭВМ в системе OPNET Modeler. Лабораторный практикум / В. Н. Тарасов, Н. Ф. Бахарева, А. Л. Коннов, Ю. А. Ушаков. Оренбург, 2012. 258 с.

Статья поступила в редакцию 30.01.2015,
в окончательном варианте – 10.06.2015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитриев Вадим Николаевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; г-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Связь»; vndmitriev@yandex.ru.

Сорокин Александр Александрович – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры «Связь»; alsorokin2@list.ru.

Чан Тоан Куок – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Связь»; sviaz@astu.org.

Фам Хак Чонг – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Связь»; sviaz@astu.org.



V. N. Dmitriev, A. A. Sorokin, Tran Toan Quoc, Pham Khac Trong

INCREASE OF EFFICIENT MANAGEMENT OF TRAFFIC IN HETEROGENEOUS SYSTEMS OF DATA TRANSMISSION UNDER UNCERTAIN CONDITIONS

Abstract. Currently the process of information management in infocommunication systems has some difficulties in calculating the optimal criterion of the route of data transmission. The uncertainty is associated with many disturbing factors affecting the information transmission system. The instruments of the structural elements of telecommunication systems help collect the information on the results of such actions. In the process of the control tasks of the infocommunication systems such information is not often used. To improve the efficiency of the traffic management systems of information transmission is possible due to the use of the principles of cross-layer interaction. While using the route protocols based on the principles of inter-layer interaction, during the calculation of the optimal criterion of the route of information transmission not only the information coming from the network layer, but also from other levels is taken into account. In general, the information can come from the physical, data link, transport and application levels. On the basis of the principles of the cross-layer routing the protocol using the data on the status of the channel and network levels at the time of calculation of the optimality criterion in the selection of the route, is implemented. The protocol is called OLSR-Cross Layer. The experimental verification of the effectiveness of the practical use of the OLSR-Cross Layer protocol was carried out in the software package Opnet Modeler by means of the simulation method. It was proved that the use of the OLSR-Cross Layer protocol is more effective than the use of the OLSR protocol, which uses the classical principles of routing. The experimental results showed that the probability of the packet loss using the OLSR-Cross Layer protocol is less by 3 times, and the delay of the packet transmission from the sender to the recipient is almost twice less.

Key words: management, information, analysis, system, traffic, model, routing, opnet, network, data.

REFERENCES

1. Dmitriev V. N., Sorokin A. A., Pishchin O. N. *Sistemy svyazi s dinamicheskoi topologiei seti [Communication networks with dynamic network topology]. Infokommunikatsionnye sistemy i tekhnologii: problemy i perspektivy.* Saint-Petersburg, Izdate'l'stvo Politekhnicheskogo universiteta, 2007. 592 p.

2. Dmitriev V. N., Sorokin A. A. *Sposob mobil'noi svyazi mezhdu podvizhnymi i statsionarnymi ob"ektami* [The way of mobile communication between mobile and stationary objects]. Patent RF, no. 2341896, 2008.
3. Sorokin A. A., Dmitriev V. N. *Opisanie sistem svyazi s dinamicheskoi topologiei seti pri pomoshchi modeli «mertsaiushchego» grafa* [Description of communication systems with dynamic network topology by means of model flickering graph]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naia tekhnika i informatika*, 2009, no. 2, pp. 134–139.
4. Bakhtin A. A., Popov L. A., Smirnov A. V. *Effektivnost' realizatsii mezhurovnevnogo vzaimodeistviia dlia protokola bystrogo marshrutizatsii v besprovodnykh ad-hoc-setiakh* [Effective implementation of cross-level interaction for the protocol of fast routing in wireless ad-hoc-networks]. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2009, vol. 16, no. 5, pp. 159–165.
5. Samarth H. Shah, Kai Chen, Klara Nahrstedt. *Cross-layer design for data accessibility in mobile adhoc network*. Department of Computer Science University of Illinois at Urbana-Champaign Champaign, IL 61820, U.S.A. Available at: <http://cairo.cs.illinois.edu/publications/papers/wpc2002.pdf> (accessed: 21.04.2015).
6. Olifer V. G., Olifer N. A. *Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly* [Computer networks. Principles, technologies, protocols]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2010. 994 p.
7. Marco Di Felice. *Cross-Layer Optimizations in Multi-Hop Ad Hoc Networks – Technical Report*. Available at: http://amsdottorato.unibo.it/915/1/Tesi_Di_Felice_Marco.pdf (accessed: 25.04.2015).
8. Vijay T. Raisinghani, Sridhar Iyer. *ECLAIR: An efficient cross layer architecture for wireless protocol stacks*. Available at: <http://www.it.iitb.ac.in/~sri/papers/eclair-wwc04.pdf> (accessed: 26.04.2015).
9. Frank Aune. *Cross-Layer Design Tutorial – Norwegian University of Science and Technology*, Dept. of Electronics and Telecommunications, Trondheim, Norway. Published under Creative Commons License. 26.11.2004. Available at: <http://www.iet.ntnu.no/projects/cuban/archive/1812041.pdf> ((accessed: 27.04.2015).
10. *Rekomendatsiia MSE-R S.1897 (01/2012). Mezhurovnevoe obespechenie QoS v gibridnykh sputnikovo-nazemnykh setiakh, baziruiushchikhsia na protokole Internet* [Recommendations of MCT-R S. 1897 (01/2012). Cross-level maintenance of QoS in hybrid satellite and land networks based on the Internet protocol]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.1897-0-201201-1!!PDF-R.pdf (accessed: 27.04.2015).
11. Jacquet P., Muhlethaler P., Qayyum A., Laouiti A., Viennot L., Clausen T. *Optimized Link State Routing Protocol RFC 3626*. Network Working Group Project Hipercom, INRIA, October, 2003. Available at: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt> (accessed: 15.04.2015).
12. *Protokol marshrutizatsii OLSR* [OLSR protocol of routing]. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/OLSR> (accessed: 18.04.2015).
13. *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. rfc3561*. Available at: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> (accessed: 20.04.2015).
14. *The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4*. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc4728> (accessed: 17.04.2015).
15. Tarasov V. N., Bakhareva N. F., Konnov A. L., Ushakov Iu. A. *Proektirovanie i modelirovanie setei EVM v sisteme OPNET Modeler. Laboratornyi praktikum* [Designing and modeling of networks of IBM in OPNET Modeler system. Laboratory practical work]. Orenburg, 2012. 258 p.

The article submitted to the editors 30.01.2015,
in the final version – 10.06.2015

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitriev Vadim Nikolaevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "Communication"; vdmitriev@yandex.ru.

Sorokin Alexander Aleksandrovich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Communication"; alsorokin2@list.ru.

Tran Toan Quoc – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Communication"; sviaz@astu.org.

Pham Khac Trong – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Communication"; sviaz@astu.org.

