

УДК 681.518.5

С.С. Батыр, А.В. Хорхордин (канд. техн. наук, доц.)
ГВУЗ Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра «Автоматика и телекоммуникации»
E-mail: sbatyr@gmail.com, khav@dgtu.donetsk.ua

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЬЮ МАРШРУТИЗАТОРА

Предложена методика оценки и сравнения эффективности работы методов управления очередями маршрутизатора, как средства управления трафиком в сетевом узле. Представленные результаты позволяют наглядно оценить эффективность использования различных методов в изменяющихся условиях. Исследование проводилось на базе ранее разработанной модели сегмента сети в пространстве состояний. Проведенное сравнение подтвердило эффективность разработанного метода управления с адаптацией к текущей нагрузке.

Ключевые слова: *параметры качества обслуживания, маршрутизатор, очередь, управление очередью, пространство состояний, метод управления, адаптация.*

Общая постановка проблемы

Сети с пакетной коммутацией данных прочно заняли свое место, доказав свою эффективность при передаче данных. Они используются в самых разных областях. Это сети общего пользования (Интернет, метронеты), корпоративные(офисные, кампусные), промышленные (верхние уровни системы АСУ ТП) и др.

Наиболее популярны в мире сети пакетной коммутации на базе стека протоколов ТСР/ІР. Протоколы данного стека поддерживаются практически любыми устройствами: от интеллектуальных датчиков до систем управления промышленными установками, от мобильных телефонов до спутников связи. Сейчас происходит формирование так называемого «Интернета вещей», когда все устройства и предметы вокруг человека будут подключены к единой глобальной сети.

Вне зависимости от конечных устройств, процесс передачи данных происходит примерно одинаково. Данные, подлежащие передаче, разделяются на сегменты, сегменты упаковываются в пакеты и дальше передаются на канальный уровень, который отвечает за организацию канала связи. Для стека протоколов ТСР/ІР требуется, чтобы источники и приемник поддерживали прямую и обратную передачу данных. При этом один и тот же канал связи могут использовать сразу несколько источников, разделяя между собой его сетевые ресурсы. Естественно, при этом возникнет ситуация взаимного влияния источников друг на друга.

Дополнительным преимуществом протоколов ІР считается независимость путей доставки – пакеты данных для одной и той же пары «источник-приемник» могут доставляться различными путями. С одной стороны, это позволяет распределять нагрузку между каналами связи, но с другой – усложняет оценку взаимного перекрестного влияния между источниками.

Таким образом можно подытожить, что передача данных по сети с пакетной коммутацией данных представляет собой сложный процесс, который существенно зависит от структуры сети, ее размерности, потоков данных, создаваемых источниками и др. Его результативность зависит от распределения ресурсов сети между источниками передачи

данных. Для улучшения работы сети необходимо управлять распределением ее ресурсов между источниками.

Для определения уровня эффективности управления необходимо установить критерий эффективности, который должен учитывать показатели, относящиеся как к сети в целом, так и показатели, учитывающие на сколько эффективна сеть относительно конечных абонентов.

Основные показатели эффективности работы сегмента сети.

К основным показателям эффективности работы сегмента сети относят [1]:

- среднюю загрузку канала за интервал времени $\bar{\lambda}$;
- среднюю задержку доставки данных за интервал времени \bar{T}_{RTT} ;
- вариацию средней задержки данных за интервал времени $\sigma_{T_{RTT}}$;
- вероятность потери пакета данных \bar{p}_{lost} ;

Дополнительные показатели, которые играют роль при распределении/разделении ресурсов сети между источниками данных:

- справедливость разделения пропускной полосы канала связи между источниками $fair_x$;

- справедливость разделения потерь пакетов данных между источниками $fair_{lost}$.

Для эффективной работы сети необходимо, чтобы все показатели находились в определенных диапазонах. Причем выход любого из показателей за допустимый диапазон ухудшает качество работы сети с точки зрения конечных абонентов. Колебания показателей внутри заданного диапазона для конечного абонента незаметны.

Выбор критерия оценки эффективности управления

Выбор наиболее эффективного метода управления системой в общем виде можно разделить на несколько этапов: сначала решается задача структурного синтеза – производится выбор метода регулирования в зависимости от структуры объекта, если объект позволяет сделать это однозначно, либо определяются несколько возможных методов. При этом определяется лишь структура регулятора без указания числовых значений параметров элементов. После этого нужно задать или рассчитать значения этих параметров, т.е. выполнить параметрический синтез.

Задача параметрического синтеза в общем виде может быть представлена так: заданы условия работоспособности на выходные параметры \mathbf{Y} и нужно найти номинальные значения проектных параметров \mathbf{X} , к которым относятся параметры проектируемой СУ.

Базовая задача оптимизации ставится как задача математического программирования

$$\begin{aligned} & \underset{\mathbf{X} \in \mathbf{D}_x}{\text{extr}} && F(\mathbf{X}), \\ & \mathbf{D}_x = \{\mathbf{X} | \varphi(\mathbf{X}) > 0, \psi(\mathbf{X}) = 0\}, \end{aligned} \quad (1)$$

Разработано несколько методик решения данной задачи как задачи оптимизации:

- частный критерий (область Парето);
- аддитивный и мультипликативный;
- максиминный.

Парето применяют когда можно выделить область желаемых значений, аддитивный и мультипликативный предполагают взвешенную сумму/произведение показателей, но при этом возникает сложный вопрос обоснования значений взвешивающих коэффициентов. Поэтому остановимся детальнее на максиминном критерии оценки эффективности.

Минимаксный (максиминный) критерий предназначен для случаев, когда невозможно установить аналитическую взаимосвязь между переменными управления. Для определения минимума переменные нормируются и в качестве критерия выбирается максимум из минимальных значений переменных. В качестве переменных управления следует взять: $\bar{\lambda}$,

\bar{T}_{RTT} , \bar{p}_{lost} , $fair_{\chi}$ и $fair_{lost}$. Таким образом, для оценки эффективности управления по максиминному критерию набор переменных будет иметь вид:

$$\mathbf{X} = (\bar{\lambda}, \bar{T}_{RTT}, \bar{p}_{lost}, fair_{\chi}, fair_{lost}). \quad (2)$$

Для их нормализации определяется их допустимый диапазон следующим образом:

- средняя загрузка канала за интервал времени $\bar{\lambda}$ - ограничена сверху максимальной пропускной способностью канала связи C и должна стремиться к ней: $\bar{\lambda} \rightarrow C$. В нормированной форме переменная примет вид:

$$f_1(\mathbf{X}) = \frac{C - \bar{\lambda}}{C}. \quad (3)$$

Для достижения максимума $\bar{\lambda}$ введенное выражение (3) должно минимизироваться: $f_1(\mathbf{X}) \rightarrow 0$;

- средняя задержка доставки данных за интервал времени \bar{T}_{RTT} - значение ограничено сверху максимальным временем ожидания подтверждения доставки $T_{RTT \max}$. Если это время превышено, то это означает разрыв связи. Эта величина ограничена снизу минимальным временем доставки $T_{RTT \min}$. Параметр должен быть минимизирован ко времени доставки, для нормализации и минимизации вводится переменная:

$$f_2(\mathbf{X}) = \frac{T_{RTT} - T_{RTT \min}}{T_{RTT \max} - T_{RTT \min}}; \quad (4)$$

- вероятность потери пакета данных \bar{p}_{lost} - для нормальной работы сетей пакетной коммутации значение не должно превышать $10^{-6} \div 10^{-8}$, нормализация не нужна, переменная физически ограничена диапазоном $[0 \div 1]$:

$$f_3(\mathbf{X}) = \bar{p}_{lost}; \quad (5)$$

- справедливость разделения пропускной полосы канала связи между источниками $fair_{\chi}$ - функция справедливости разделения ресурса физически ограничена диапазоном $[0 \div 1]$. Максимальная справедливость достигается при $fair_{\chi} \rightarrow 1$, поэтому вводится эквивалентное выражение:

$$f_4(\mathbf{X}) = (1 - fair_{\chi}) \quad (6)$$

- справедливость разделения потерь пакетов данных между источниками $fair_{lost}$ - аналогично $fair_{\chi}$, вводится выражением:

$$f_5(\mathbf{X}) = (1 - fair_{lost}) \quad (7)$$

Тогда значение критерия эффективности будет определяться выражением:

$$F(\mathbf{X}) = \max_{\mathbf{X}} \min_i f_i(\mathbf{X}), \quad i = \overline{1,5} \quad (8)$$

Таким образом, с помощью выражения (8) можно провести оценку эффективности и взаимное сравнение методов управления работой сегмента сети с пакетной коммутацией. Рассмотрим структуру сегмента сети детальнее и определим эффективность каких методов необходимо определить.

Структура сегмента сети

На сетевом уровне сеть состоит из хостов, каналов связи и маршрутизаторов[3]. Произведем их анализ как элементов системы управления.

Как правило, двухпортовый маршрутизатор представляет собой аппаратное устройство с двумя сетевыми интерфейсами. Один интерфейс предназначен для подключения локальной сети (LAN), а второй – для подключения к внешней сети (WAN). Интерфейсы двунаправленные, интерфейс LAN высокоскоростной, совместимый с используемой в локальной сети технологией. Интерфейс WAN зависит от используемой технологии канала связи. Современное оборудование использует технологию WAN-интерфейса, аналогичную LAN для унификации и снижения общей стоимости оборудования.

Выходами маршрутизатора будут:

- текущая длина очереди пакетов в выходном буфере $q(t)$ [в дискретной форме $q(k)$];
- вектор сигналов об отбрасывании пакета u_{lost} .

Возмущающим воздействием на маршрутизатор является интенсивность поступающего на вход маршрутизатора потока трафика от каждого источника χ_i .

При переполнении очереди и при работе некоторых методов управления очередью необходимо выбирать случайным образом, какие из пакетов будут отброшены. Для этого введем как возмущающее воздействие вектор случайных равномерно распределенных чисел ω_i , которые будут определять вероятность отбрасывания пакета для каждого из источников.

Таким образом, внутри маршрутизатора можно выделить три блока. Первый производит пакетирование входящей нагрузки, превращая загрузку канала связи в набор пакетов, второй отвечает за моделирование работы очереди маршрутизатора, третий – за генерацию сигналов об отбрасывании пакета при переполнении очереди с выдачей сигнала об этом на соответствующий источник.

Методы управления очередью маршрутизатора. На сегодняшний день разработано порядка десятка различных методов управления очередью. Однако большая часть из них требуют настройки под параметры поступающего в очередь потока данных. Неправильная настройка ведет к избыточным потерям и уменьшению реальной пропускной способности маршрутизатора. Поэтому системные администраторы зачастую отключают управление очередью, оставляя борьбу с перегрузкой противоперегрузочным алгоритмам источников. Эта мера снижает нагрузку на процессор маршрутизатора и уменьшает время, затрачиваемое на обработку пакета. При этом остается лишь базовое управление очередью: пакеты помещаются в неё, пока есть свободное место, очередь переполнилась – пакеты отбрасываются.

Метод Drop-Tail (DT) или метод “отсечения хвоста” крайне прост и работает следующим образом: если пакет в буфер можно поместить – он добавляется, нет – отбрасывается. Drop-Tail представляет собой простейший релейный регулятор. Применение релейного регулятора может вызывать колебательные процессы в системе, что и наблюдается на практике.

Неэффективность метода DT стала существенной проблемой уже к началу 90-ых годов XX в. Существенная разгрузка очереди следом за перегрузкой вела к синхронизации источников и дополнительно ухудшала ситуацию. Для борьбы с синхронизацией и наступлением состояния перегрузки очереди был предложен метод случайного раннего обнаружения (с англ. Random Early Detection – RED).

Идея метода заключалась в том, чтобы по средней длине очереди определять уровень вероятности наступления состояния перегрузки и принимать меры по её предотвращению. Фильтрация коротких импульсов нагрузки позволила бы отсечь ложные срабатывания, а схема случайного выбора источников, пакеты от которых будут сброшены, ведет к дополнительной рассинхронизации источников и повышению равномерности нагрузки на сеть.

Метод BLUE был разработан как альтернатива метода RED. Метод использует в качестве входной информации не текущую занятость очереди, а интенсивность потерь пакетов и утилизацию выходного канала. Если из-за переполнения очереди пакеты продолжительное время отбрасываются, то метод увеличивает вероятность сброса/маркирования пакета P_m , что ведет к увеличению интенсивности сброса пакетов при постановке и уменьшению загрузки очереди. И наоборот, если очередь опустошается или канал связи простаивает, метод BLUE уменьшает вероятность сброса/маркирования. Это позволяет найти наиболее эффективное значение P_m при стабильном потоке данных.

Для решения проблемы долгой реакции метода RED в работе **Ошибка! Источник ссылки не найден.** было предложено использовать пропорционально-интегральный регулятор. Метод назвали "PI controller" Синтез ПИ-регулятора производится на базе нелинейной гидродинамической модели потоков данных на участке сети. Регулятор должен стабилизировать длину очереди маршрутизатора на заданной величине q_0 . Однако метод популярности не получил, так как для хороших результатов требуется подстройка параметров под уровень нагрузки на сеть.

В работах [5] и [6] предложена усовершенствованный регулятор с переменной структурой коорый базируется на пропорционально-интегральном регуляторе. При малой и большой нагрузке включается релейный регулятор, при средней – ПИ-регулятор. Уровень нагрузки, а точнее состояние сегмента сети, определяется при помощи нечеткой логики.

Влияние маршрутизатора на качество обслуживания.

Маршрутизатор является технологическим узлом, который пропускает через себя весь поток трафика. С учетом принятых допущений для источников данных значительную роль в обеспечении эффективности работы сегмента сети играет именно он. Допущения для маршрутизатора свели его до очереди на выходном интерфейсе, то можно сделать вывод о том, что определять эффективность работы сегмента сети будет именно очередь маршрутизатора. Рассмотрим детальнее её влияние на каждую из переменных.

В выбранной для исследования топологии ("бутылочное горлышко") загрузка канала $\bar{\lambda}$ зависит от наличия пакетов данных в очереди, если очередь пуста, то и данных к передаче нет, канал связи простаивает, что и ведет к уменьшению $\bar{\lambda}$. Так что можно заявить, что: $\bar{\lambda} = g_1(q)$.

Задержка доставки для выбранной топологии определяется технологической минимальной задержкой доставки $T_{RTT \min}$ и временем стояния пакета в очереди: $T_{queue} = g_2(q)$. Тогда $T_{RTT} = g_2(q) + T_{RTT \min}$.

Переполнение очереди приводит к отбрасыванию пакетов, что ведет к увеличению \bar{p}_{lost} . Тогда можно сделать вывод, что: $\bar{p}_{lost} = g_3(q)$.

Переменные управления $fair_x$ и $fair_{lost}$ связаны с переменными источников χ_i и $u_{lost i}$. Переменная потерь пакетов $u_{lost i}$ непосредственно зависит от очереди, так как потери происходят именно там, а, следовательно, и от длины очереди и тогда можно сделать вывод, что имеет место функциональная зависимость вида $fair_{lost} = g_4(q)$. Представить её в аналитическом виде, скорее всего, крайне затруднительно, но произвести вычисление по результатам моделирования вполне возможно. Аналогично и для $fair_x$ – переменная состояния источника χ_i определяется поступившими сигналами $u_{RTT i}$ и $u_{lost i}$. В свою очередь интервалы времени между поступлениями $u_{RTT i}$ зависят от задержки доставки пакетов, а, следовательно, и от времени стояния в очереди. В таком случае можно сделать вывод, что $fair_x = g_5(q)$.

Приняв во внимание все вышесказанное, набор переменных для критерия эффективности (8) примет вид:

$$\mathbf{X} = (g_1(q), g_2(q), g_3(q), g_4(q), g_5(q)). \quad (9)$$

Выражение (9) позволяет сделать вывод, что эффективность работы участка сети зависит от длины очереди маршрутизатора. В этом случае за счет совершенствования системы управления очередью можно повысить эффективность работы сети в целом.

Для проведения оценки эффективности произведем моделирование работы регуляторов на сегменте сети при различных уровнях нагрузки. Моделирование производилось при помощи математической модели, приведенной в [5] и [6].

Таблица 1 – Результаты расчета максиминного критерия

№	Ntcp	C	Trtt	Reg	F(X)
1	10	10Mb	35ms	DT	0.018250
2	10	10Mb	35ms	RED	0.018167
3	10	10Mb	35ms	BLUE	0.015168
4	10	10Mb	35ms	PI	0.017518
5	10	10Mb	50ms	DT	0.021028
6	10	10Mb	50ms	RED	0.020782
7	10	10Mb	50ms	BLUE	0.021028
9	10	10Mb	50ms	PI	0.014299
10	100	10Mb	35ms	DT	0.040494
11	100	10Mb	35ms	RED	0.021410
12	100	10Mb	35ms	BLUE	0.042091
13	100	10Mb	35ms	PI	0.021010
14	100	10Mb	100ms	DT	0.021099
15	100	10Mb	100ms	RED	0.021012
16	100	10Mb	100ms	BLUE	0.021112
17	100	10Mb	100ms	PI	0.021011
18	200	10Mb	50ms	DT	0.042999
19	200	10Mb	50ms	RED	0.042789
20	200	10Mb	50ms	BLUE	0.042987
21	200	10Mb	50ms	PI	0.042699
22	200	10Mb	100ms	DT	0.042303
23	200	10Mb	100ms	RED	0.042104
24	200	10Mb	100ms	BLUE	0.042273
25	200	10Mb	100ms	PI	0.042107

В таблице 1 толстыми линиями объединены в блок результаты моделирования с одинаковыми входными параметрами и разным регуляторами, лучший результат в блоке выделен жирным шрифтом, худший – курсивом.

Проведенный расчет значений максиминного критерия показал, что по данному критерию худшим регулятором будет DropTail, лучшими – RED и PI. Оценки, данные для этих регуляторов, в других источниках совпадают с полученными результатами.

Выводы

В представленной статье рассмотрена методика оценки эффективности работы методов управления очередями маршрутизатора. Данная методика позволяет учесть целый комплекс параметров отвечающих за качество обслуживания в сетях с пакетной коммутацией. Полученные для различных методов управления оценки позволят произвести сравнение методов по уровню их эффективности.

Для примера рассмотрены наиболее популярные методы управления: DropTail; RED и BLUE и предложенный автором PI. Проведены исследования на основе ранее разработанной математической модели, по результатам которых произведена оценка эффективности. Исследования производились при различных уровнях нагрузки на сегмент сети. Анализ показал, что существующие методы менее эффективны чем предложенный регулятор с переменной структурой и адаптацией к уровню нагрузки на сеть.

В статье впервые предложена методика оценки эффективности работы метода управления очередью маршрутизатора, которая базируется на максиминном критерии. Данная методика позволяет наглядно в численной форме производить оценку эффективности, при этом учитывая целый набор рекомендованных параметров.

Список использованной литературы

1. ITU-T E.800 (09/2008). Определение терминов, относящихся к качеству обслуживания. [Электронный ресурс] / ITU-T. – Режим доступа: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/9524>
2. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 336 с.: ил.
3. Hollot C.V. On Designing Improved Controllers for AQM Routers Supporting TCP Flows [Электронный ресурс] / C.V. Hollot, Vishal Misra, Don Towsley and Wei-Bo Gong TO APPEARIN IEEE INFOCOM 2001,1. - Режим доступа: <ftp://ftp.cs.umass.edu/pub/net/pub/MisraInfocom01-AQM-Controller.pdf>
4. Adan Ivo, Queueing Theory [Электронный ресурс] / Ivo Adan, Jacques Resing. - Режим доступа: <http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf>
5. Батыр С.С. Эмпирическая математическая модель участка сети Интернет/ С.С. Батыр, А.В, Хорхордин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 23 (201). - Донецьк, ДонНТУ, 2012. С - 70-76
6. Батыр С.С. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ AQM / С.С. Батыр, А.В, Хорхордин // Сборник научных трудов ДонИЖТ Выпуск:28 .- Донецк, 2011 С.108-116
7. Лозинская В.Н. Математические модели компонентов телекоммуникационных систем / В.Н. Лозинская // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 1 (24). - Донецьк, ДонНТУ, 2013. С - 121-126

References

1. International Telecommunication Union (2008), “ITU-T E.800 (09/2008): Quality of telecommunication services: concepts, models, objectives and dependability planning – Terms and definitions related to the quality of telecommunication services”, available at: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/9524> (Accessed 29 April 2014).
2. Kutcherjavii, E.A. (2004), *Upravlenie trafikom i kachestvo obslugivaniya v seti Internet* [Traffic management and quality of service at Internet], Nauka i tehnika, Saint-Petersburb, Russia.
3. C.V. Hollot, Vishal Misra, Don Towsley and Wei-Bo Gong On Designing Improved Controllers for AQM Routers Supporting TCP Flows /TO APPEARIN IEEE INFOCOM 2001,1. –available at: <ftp://ftp.cs.umass.edu/pub/net/pub/MisraInfocom01-AQM-Controller.pdf>
4. Adan Ivo and Jacques Resing (2002), “Queueing Theory”, available at: <http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf> (Accessed 29 April 2014).
5. Batyr S.S. Khorkhordin A.V.(2012) “An Empirical Mathematical Model for Part of the Internet”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo univercitety. Ser.:Obchysljuvalna tehnika ta avtomatyzatsija*, vol.1, no. 23, pp. 70-76.

6. Batyr S.S. Khorkhordin A.V.(2011) "Build model of data network for AQM research",. *Sbornik nauchnyh trudov DonIzT, vol.28, pp.108-116*
7. Lozinskaya, V.N. (2013), "Mathematical models of telecommunication network components", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo univercitety. Ser.:Obchysljuvalna tehnika ta avtomatyzatsija, vol.1, no. 24, pp. 121-126.*

Надійшла до редакції:
30.04.2014 р.

Рецензент:
докт. техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

С.С. Батыр, О.В. Хорхордин

ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет»

Особенности оценивания эффективности методов управления очередью маршрутизатора. Запропоновано методику оцінки та порівняння ефективності роботи методів управління чергами маршрутизатора, як засобу управління трафіком в мережевому вузлі. Представлені результати дозволяють наочно оцінити ефективність використання різних методів у змінюються умовах. Дослідження проводилося на базі раніше розробленої моделі сегмента мережі в просторі станів. Проведене порівняння підтвердило ефективність розробленого методу управління з адаптацією до поточної навантаженні.
Ключові слова: параметри якості обслуговування, маршрутизатор, чергу, управління чергою, простір станів, метод управління, адаптація.

S.S. Batyr, A.V. Khorkhordin

Donetsk National Technical University

Features of effectiveness evaluation methods for queue management router . In the article was proposed a method for evaluating and comparing the effectiveness of the methods of the router queue management as a means of managing traffic in a network node. The presented results are allowed a visual assessment of the effectiveness of different methods in a changing environment. The study was conducted on the basis of previously developed model network segment in the state space. The comparison confirmed the effectiveness of the developed control method of adapting to the current load.

Keywords: quality of service parameters, the router queue, queue management, state space, control method, adaptation.



Батыр Семён Сергеевич, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, ассистент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – микропроцессорные системы управления, методы управления передачей данных в телекоммуникационных сетях.



Хорхордин Александр Владимирович, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – цифровые системы управления, современная теория управления