

Имитационное моделирование услуги передачи данных мультисервисной сети СВЯЗИ

Е.П.Журавель, к.т.н., доцент СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича / eshur2003@mail.ru,
М.В.Соболев, аспирант СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича / hardmstizlov@gmail.com

УДК 004.772, DOI: 10.22184/2070-8963.2024.121.5.60.66

Рассмотрены аспекты натурального моделирования услуги передачи данных мультисервисной сети связи с коммутацией пакетов, приведены рекомендации по получению практических результатов и получено значение максимальной пропускной способности среды передачи для стека протоколов HTTP/TCPv4/IPv4, составляющее порядка 90% от максимальной пропускной способности сетевых интерфейсов 100 Мбит/с и 1 Гбит/с. На основе результатов моделирования сформирована имитационная модель услуги передачи данных в среде моделирования дискретных событий OMNeT++ с использованием модуля INET на дескриптивном языке описания топологии сети NED, для которой выполнены многофакторные вычислительные эксперименты и получена верхняя оценка точности получаемых результатов, составляющая $\pm 6\%$. Предлагаемая модель услуги передачи данных может быть использована для оценки качества предоставления этой услуги в мультисервисной сети связи с обязательным выполнением контроля соответствия модельных значений основных характеристик услуг величинам, полученным в ходе моделирования.

Введение

Непрерывное развитие и повышение производительности и скорости обработки и передачи данных телекоммуникационного оборудования (ТКО) и средств вычислительной техники (СВТ), их ПО, являющихся ресурсами мультисервисной сети связи (МССС) [1], наряду с предоставляемыми услугами межмашинного взаимодействия Интернета вещей, мониторинга и управления ресурсами и имуществом умных городов (облачные вычисления) позволяет прогнозировать появление в ближайшем будущем новых услуг, например, таких как голографическая связь и тактильный Интернет,

реализуемых с использованием концепции мобильных граничных вычислений (туманных вычислений) и межчипового взаимодействия [2]. Вместе с тем, так называемые базовые услуги, к которым относится услуга передачи данных, будут предоставляться и в дальнейшем, в связи с чем целесообразно рассмотреть и уточнить различные практические аспекты ее предоставления и моделирования.

В статье предложен подход к моделированию услуг МССС на основе использования совокупности существенных значений параметров, характеризующих соответствующую услугу, приведенных в [3] и/или, при

необходимости, выявляемых непосредственно в ходе сбора и анализа передаваемых и принимаемых при предоставлении услуги данных, последующего учета характеризующих услугу выявленных основных значений параметров в имитационной модели и верификации получаемых модельных статистических данных по отношению к собранным ранее данным натурального моделирования соответствующей услуги.

Натурное моделирование процессов предоставления услуги передачи данных

В [3] были рассмотрены практически важные значения параметров услуг мультисервисной сети связи (МССС) с коммутацией пакетов и, на их основе, с коммутацией сообщений. Непосредственное использование приведенных в [3] свойств теоретико-множественных моделей услуг зачастую вызывает затруднения даже у искушенных в предметной области моделирования процессов функционирования сетей связи специалистов. В связи с этим далее выполняется рассмотрение и уточнение этих положений применительно к услуге передачи данных МССС, основными характеристиками которой являются время поступления запроса, минимально необходимая и максимально возможная пропускная способность среды передачи данных, фактически используемая для предоставления услуги, порты абонентского оконечного оборудования и сервера, на котором предоставляется телематическая услуга, а также приоритет услуги.

Для осуществления натурального моделирования услуги передачи данных использован стенд, сформированный на основе рекомендаций, изложенных в приложениях Б и Г ГОСТ Р53632-2009 [4]. Структурная схема стенда приведена на рис.1.

Для выполнения требований по импортозамещению [5], в соответствии с [6], сервер и клиент должны функционировать под управлением отечественных операционных систем (ОС). Вместе с тем, анализ [7] позволяет утверждать, что большинство отечественных ОС, за некоторым и весьма редким исключением (например, ОС KasperskyOS), по сути, являются доработками каких-либо ОС с открытым исходным кодом, например ОС Debian или CentOS или FreeBSD. В связи с этим, чтобы не отдавать предпочтение какому-либо отечественному разработчику, натурное моделирование услуги передачи данных выполнено с использованием свободно распространяемой ОС Debian, установленной и на клиенте, и на сервере.

Настройки сервера выполнены для ПО веб-сервера Nginx и заключались во внесении исправлений в три

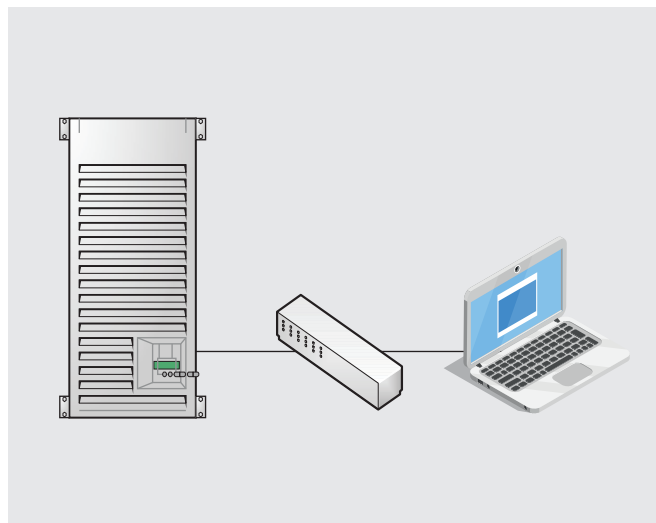


Рис.1. Схема стенда натурального моделирования услуги передачи данных

строки конфигурационного файла в соответствии с [8]. Отдельно следует рассмотреть требования к тестовому файлу, который использован при натурном моделировании услуги передачи данных. В соответствии с [4] содержимое данного файла должно быть таким, чтобы алгоритмы транспортного протокола TCP не могли сжать каждый соответствующий участок передаваемого тестового файла, например, в соответствии с алгоритмами, приведенными в [9]. Размер передаваемого участка определяется параметром Maximum Transmission Unit (MTU) и, в большинстве случаев, составляет 1500 байт (∓ 20 байт для учета особенностей передачи данных с использованием технологии Virtual Local Area Network во взаимодействующих сетях связи, осуществляющих перенос трафика через свою сеть). Совокупный размер файла также имеет существенное значение, поскольку необходимо выполнить измерение скорости передачи и следует получить так называемое максимальное установившееся значение скорости передачи данных. Сам размер файла измеряется в байтах, в связи с чем, оставив без рассмотрения отсутствие эталона байта в Международном бюро мер и весов (г. Севр, Франция), при расчетах использованы приведенные в [10] значения 1 байт = 8 бит. Для выполнения требования несжимаемости файла в общем случае необходимо использовать программно-технические датчики случайных чисел, имеющие соответствующие сертификат или положительное заключение регулятора [11]. Вместе с тем для практического выполнения требования несжимаемости файла

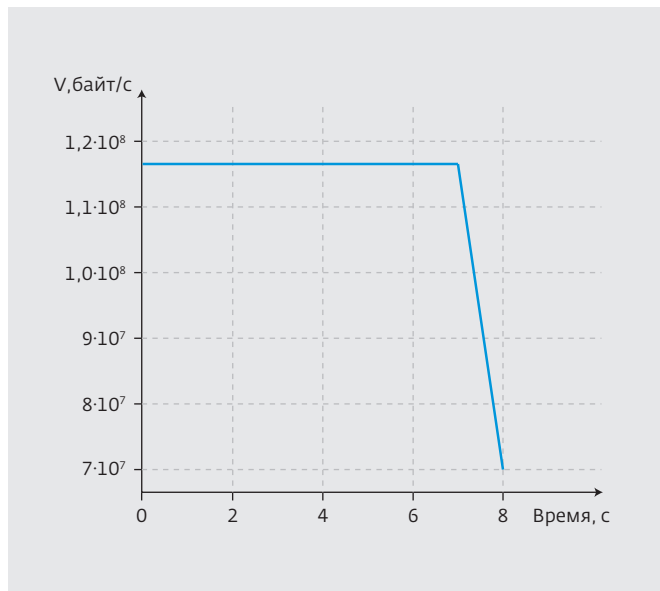


Рис.2. Статистика натурального моделирования передачи файла со скоростью 1 Гбит/с

на каждом соответствующем передаваемом участке достаточно использовать встроенный в ОС Debian генератор псевдослучайной последовательности `/dev/urandom`, с использованием которого был получен тестовый файл с помощью команды:

```
dd if=/dev/urandom of=/opt/file1.bin count=1000000 bs=1000
```

и с результатом:

```
1000000 records in
1000000 records out
1000000000 bytes (1.0 GB, 954 MiB) copied, 14.4081 s, 69.4 MB/s.
```

Настройки клиента выполнены установкой ПО анализатора трафика для компьютерных сетей Wireshark в соответствии с [12]. Для натурального моделирования услуги передачи данных на клиенте выполнен запуск ПО Wireshark, а затем выполнена команда:

```
wget http://192.168.100.238/file1.bin -O /dev/null
```

и получен следующий результат:

```
Connecting to 192.168.100.238:80... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 1000000000 (954M) [application/octet-stream]
Saving to: '/dev/null'
/dev/null 100% [==>] 953.67M 112MB/s in 8.5s
```

При выполнении натурального моделирования услуги передачи данных следует учесть, что первые два-три выполнения команды `wget` могут не показать приведенного выше результата по различным причинам, основными из которых могут являться особенности работы ПО веб-сервера Nginx (выполнение кэширования файла в оперативной памяти), особенности работы дисковой подсистемы сервера (скорость чтения файла с диска и записи в кэш), особенности работы ТКО (время и количество пакетов для сохранения mac-адресов клиента и сервера в таблице соответствия соответствующих портов и mac-адресов ТКО, время жизни записей в таблице соответствия и др.). В связи с этим, запись дампа натурального моделирования услуги передачи данных выполнялась на клиенте, принимаемый на клиенте файл не записывался на диск, а перенаправлялся в так называемое виртуальное устройство `/dev/null`, что позволило частично снизить нагрузку на дисковую подсистему клиента.

В идеальном случае, при передаче несжимаемого файла размером 1 Гбайт со скоростью 1 Гбит/с скорость передачи составит 125 Мбайт/с, а время передачи – 8 с. Фактически скорость передачи составила 112 Мбайт/с и время передачи – 8,5 с, что соответствует приведенному на рис.2 результату, полученному в соответствии с описанным в [12] подходом к анализу дампа трафика с использованием ПО Wireshark (Capture – Options – Import, Analyse – Decode As..., Statistics – IO Graphs: Tick Interval, Unit=Bytes/Tick, Scale и др.).

Таким образом можно вычислить фактическую эффективную скорость передачи данных в 896 Мбит/с и отнести 104 Мбит/с, составляющих порядка 10% от максимальной пропускной способности порта в 1 Гбит/с на суммарные совокупные накладные расходы, приходящиеся на временные задержки непосредственной передачи информации с использованием протоколов Ethernet, IPv4, TCPv4 и HTTP, а также их микропрограммных и программных реализаций на клиенте и на сервере.

В ходе натурального моделирования услуги передачи данных оно было выполнено для скорости передачи портов ТКО 100 Мбит/с с использованием приведенной выше команды `wget` и получен следующий результат:

```
Connecting to 192.168.100.238:80... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 1000000000 (954M) [application/octet-stream]
Saving to: '/dev/null'
/dev/null 100% [==>] 953.67M 11.2MB/s in 85s
```

который коррелирует с рассмотренным ранее результатом для скорости передачи в 1 Гбит/с (см. рис.3).

Следует отметить, что полученные результаты являются так называемыми "синтетическими" и соответствуют фактической программно-технической реализации приведенных выше протоколов, техническому и программному обеспечению сервера и клиента, техническому и микропрограммному обеспечению ТКО, в связи с чем они могут отличаться при натурном моделировании, например, с использованием различных ОС на клиенте и на сервере, при использовании различного микропрограммного обеспечения ТКО и по другим причинам. Вместе с тем данные результаты были получены ранее в [3] для иных программно-технических реализаций ТКО и СВТ, в связи с чем можно утверждать, что при фиксации настроек и ПО сервера и клиента, получении со второго-третьего испытания приведенных выше фактических скоростей передачи данных (112 Мбайт/с для 1 Гбит/с и 11,2 Мбайт/с для 100 Мбит/с) схема, приведенная на рис.1 и изложенный выше подход могут быть использованы для проведения непосредственных испытаний (тестирования) максимальной производительности телекоммуникационного оборудования и средств вычислительной техники при предоставлении услуги передачи данных заменой только какого-либо одного элемента схемы и фиксации остальных элементов и их настроек.

Модель услуги передачи данных в среде имитационного моделирования OMNeT++

Предоставление услуг связи осуществляется с использованием активного и пассивного ТКО и СВТ, являющихся ресурсами МССС, теоретико-множественные модели которых рассмотрены в [13].

Для моделирования процессов предоставления услуги передачи данных целесообразно использовать метод имитационного моделирования, достоинства которого является возможность учета основных факторов, определяющих время предоставления услуги в МССС, возможность получения экспериментальных данных о загрузке каждого элемента модели ресурсов МССС и комплексный учет большинства процессов МССС, происходящих при предоставлении услуг [13].

Вместе с тем, имитационное моделирование имеет ряд недостатков, основными из которых являются трудоемкость разработки модели и достаточно существенные временные затраты на проведение

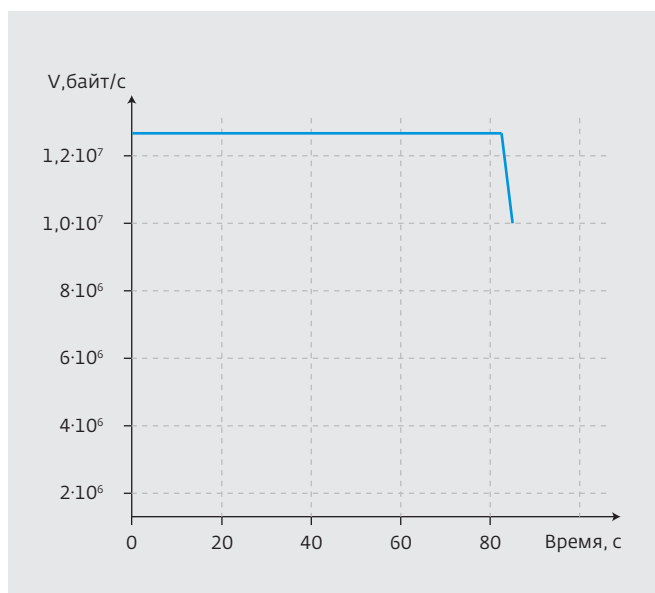


Рис.3. Статистика натурного моделирования передачи файла со скоростью 100 Мбит/с

серий экспериментов [13]. Влияние перечисленных недостатков компенсируется использованием высокопроизводительных СВТ, а также программных систем имитационного моделирования и (или) алгоритмических языков программирования высокого уровня, одной из которых является используемая далее среда моделирования дискретных событий OMNeT++ [14]. Процесс и результаты выбора среды имитационного моделирования требуют отдельного сравнительного исследования, например, для программных продуктов, приведенных в [15], и выходят за рамки данной работы. Достоинствами системы OMNeT++ являются открытый исходный код, свободное распространение, реализация моделей на алгоритмическом языке программирования высокого уровня C++ и на дескриптивном языке описания топологии сети Network Description (NED), наличие графических интерфейсов разработчика и пользователя, широкий диапазон применений, в том числе в телекоммуникационной отрасли ввиду наличия специализированного модуля INET для моделирования процессов функционирования сетей связи различных технологий и протоколов, подробная документация, приведенная в [14, 16, 17]. К плюсам надо отнести также регулярные выпуски обновлений.

Для моделирования услуги передачи данных в МССС в системе имитационного моделирования OMNeT++ сформирована структурная модель МССС,

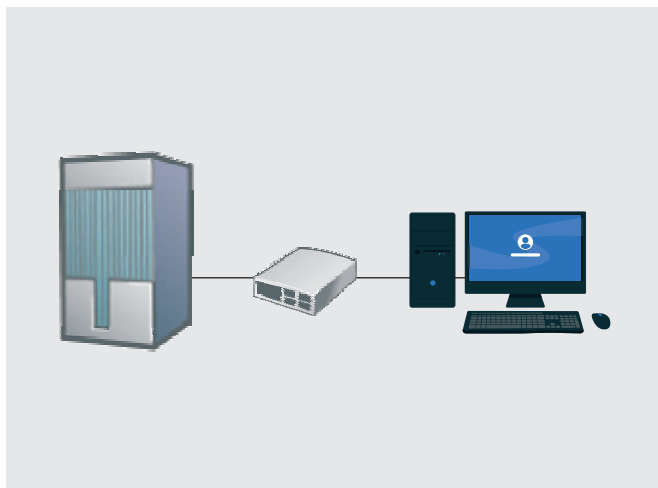


Рис.4. Схема модели сети связи в OMNeT++

учитывающая особенности предоставления услуги передачи данных, выявленные ранее при натурном моделировании (см. рис.4).

Моделирование процессов предоставления услуги передачи данных с использованием модуля INET системы имитационного моделирования OMNeT++, соответствующих рассмотренной ранее натурной модели, реализовано в виде кода имитационной модели, описывающего передачу данных от сервера:

```

**server.numApps = 1
**server.app[*].typename = "TcpSessionApp"
**server.app[*].sendBytes = 1GiB
**server.app[*].active = true
**server.app[*].localPort = 80
**server.app[*].connectAddress = "client"
**server.app[*].connectPort = 10020
**server.app[*].tOpen = 0s
**server.app[*].tSend = 0s
**server.app[*].tClose = 0s
**server.app[*].sendScript = ""
    
```

к клиенту:

```

**client.numApps = 1
**client.app[*].typename = "TcpSinkApp"
**client.app[*].localPort = 10020
**client.numPcapRecorders = 1
**client.pcapRecorder[*].pcapFile = "results/client.pcap"
    
```

с использованием связей между сервером, ТКО и клиентом:

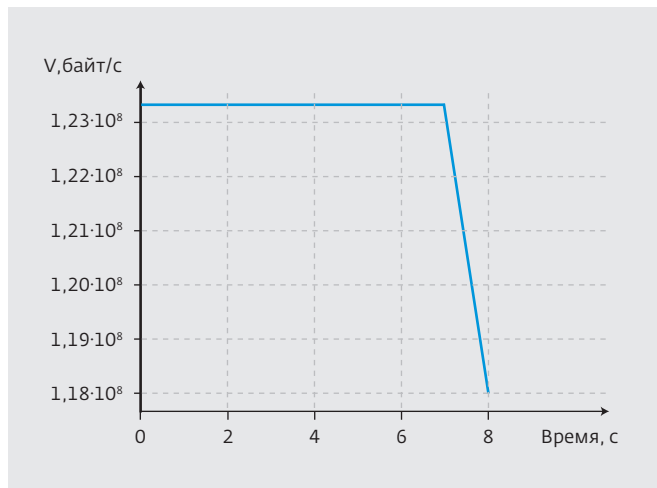


Рис.5. Статистика имитационного моделирования передачи файла со скоростью 1 Гбит/с

```

types:
channel ethernet extends DatarateChannel
{ datarate = 1Gbps; } // 100Mbps;
    
```

```

connections:
server.ethg[0] <-> ethernet <-> switch.ethg[0];
switch.ethg[1] <-> ethernet <-> client.ethg[0];
    
```

В имитационной модели, показанной на рис.4, все порты ТКО и СВТ обладают пропускной способностью только 1 Гбит/с или только 100 Мбит/с. МССС предоставляет только одну услугу передачи данных и, в терминах [1], осуществляется моделирование предоставления только одного экземпляра услуги. Результаты имитационного моделирования приведены на рис.5 и 6.

Исходя из сравнительного анализа рис.2 и 5, а также рис.3 и 6, можно сделать вывод о соответствии результатов, полученных в натурной модели, и с использованием системы имитационного моделирования OMNeT++. При этом максимальный модуль разности полученных из дампов информационного обмена точечных значений фактической и модельной максимальной установившейся скорости передачи данных по отношению к фактической максимальной установившейся скорости передачи данных составляет порядка 4,8 %, а максимальная разница в значениях фактического и модельного времени передачи данных по отношению к фактическому времени передачи данных – порядка 5,9%.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о соответствии значений основных параметров натурной и имитационной модели процессам, протекающим в МССС при предоставлении услуги передачи

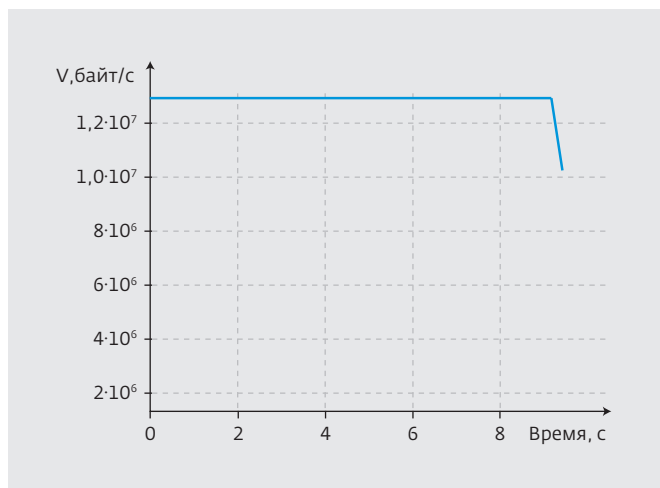


Рис.6. Статистика имитационного моделирования передачи файла со скоростью 100 Мбит/с

данных с верхней оценкой точности результатов $\pm 6\%$. Незначительные отклонения в результатах обусловлены особенностями программной реализации алгоритмов среды имитационного моделирования, а также трудно устанавливаемыми зависимостями в сложных

динамических процессах функционирования множества протоколов, используемых при передаче данных в МССС.

Заключение

Для повышения адекватности и достоверности модели услуги передачи данных МССС при оценке результатов моделирования следует выполнять контроль соответствия получаемых количественных значений основных характеристик услуги значениям, приведенным в [3], таких как среднее значение, максимальное значение и дисперсия с использованием подхода, изложенного, например в [18]. Контроль соответствия значений основных характеристик услуг следует выполнять с учетом как суммарной загрузки МССС, так и загрузки отдельных соответствующих составляющих ее элементов ТКО и СВТ.

В случае предоставления двух и более одинаковых или различных услуг, а также в случае различного времени начала предоставления этих услуг максимальные различия точечных значений соответствующих фактического и модельного дампов трафика могут весьма существенно различаться в связи с тем, что при фактическом предоставлении услуг осуществляется динамическая



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Шалимов А.С.

Случайные процессы

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024. – 142 с.

ISBN 978-5-94836-685-2

Цена 840 руб.

Учебное пособие посвящено изучению теоретических и практических вопросов в области теории случайных процессов. Рассмотрены теоретические аспекты законов распределения и моментных функций, преобразования Фурье, корреляционных функций и спектральной плотности случайных процессов, а также линейных и нелинейных преобразований случайных величин. Каждая глава сопровождается примерами решения типовых задач, большая часть которых сосредоточена в последней главе – «Линейные и нелинейные преобразования случайных величин».

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 01.03.04 «Прикладная математика» и 11.03.01 «Радиотехника», а также для аспирантов и инженеров, занимающихся исследованиями в области разработки цифровых фильтров.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosphere.ru; sales@technosphere.ru

работа протокольных механизмов управления потоками передачи данных, таких как TCP Window Size, TCP Window Scale Option и др. [19]. Детальный и полный учет различных аспектов и особенностей работы протокольных механизмов управления потоками передачи данных при моделировании МССС нецелесообразен, поскольку приведет к утрате состава отношения "быть моделью", то есть упрощенным отображением оригинала.

Предлагаемая имитационная модель услуги передачи данных может быть использована для оценки качества предоставления этой услуги в МССС при многофакторном вычислительном эксперименте, поскольку обладает достаточной точностью получаемых значений.

В соответствии с предлагаемым в настоящей статье подходом целесообразно формирование имитационных моделей для ранее рассмотренных в [3] теоретико-множественных моделей услуг МССС, а также для новых услуг 6G по мере их появления в МССС.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 53633.25-2019. Расширенная схема деятельности организации связи (eTOM). Управление и эксплуатация услуг. Начисление стоимости по услугам и экземплярам услуг. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
- Tataria H., Shafi M., Molisch A.F., Dohler M., Sjöland H., Tufvesson F.** 6G Wireless Systems: Vision, Requirements, Challenges, Insights, and Opportunities [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/jelaam/5/9460558/9390169-aam.pdf> (дата обращения: 19.12.2023).
- Журавель Е.П.** Модели услуг мультисервисной сети связи // Технологии и средства связи. 2016. № 5. С. 41–46.
- ГОСТ Р 53632-2009. Показатели качества услуг доступа в Интернет. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.
- Указ Президента РФ от 01.05.2022 № 250 "О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации".
- Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций России от 31.05.2023 № 496 "Об утверждении Перечня участников эксперимента по предоставлению права использования программ для электронных вычислительных машин, алгоритмов, баз данных и документации к ним, в том числе исключительное право на которые принадлежит Российской Федерации, на условиях открытой лицензии и созданию условий для использования открытого программного обеспечения".
- Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных [Электронный ресурс]. URL: <https://reestr.digital.gov.ru/reestr> (дата обращения: 16.01.2024).
- ngx_http_autoindex_module [Электронный ресурс]. URL: https://nginx.org/ru/docs/http/ngx_http_autoindex_module.html (дата обращения: 18.01.2024).
- Sandlund K., Pelletier G., Jonsson L-E.** Request of comments No. 5795. The Robust Header Compression Framework [Электронный ресурс]. URL: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc_5795.txt (дата обращения: 19.01.2024).
- ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М.: Стандартинформ, 2002. 28 с.
- Центр по лицензированию, сертификации и защите государственной тайны. Выписка из перечня средств защиты информации, сертифицированных Федеральной службой безопасности России [Электронный ресурс]. URL: http://clsz.fsb.ru/files/download/svedeniya_po_sertifikatam_100124.doc (дата обращения: 20.01.2024).
- Бобровский В.И.** и др. Расширенное администрирование сетевой операционной системы GNU/Linux. Администрирование сетевых служб: учебное пособие. СПб: СПбГУ. Т. 2022. 111 с.
- Журавель Е.П.** Модели ресурсов мультисервисной сети связи // Технологии и средства связи. 2017. № 2/3. С. 23–29.
- OMNeT++ Discrete Event Simulator: [Электронный ресурс]. URL: <https://omnetpp.org> (дата обращения: 23.01.2024).
- Некоммерческое партнерство Национальное общество имитационного моделирования. Программные продукты имитационного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://simulation.su/static/ru-soft.html> (дата обращения: 31.01.2024).
- Chamberlain T.** Learning OMNeT++. Packt Publishing Ltd., 2013. 91 p.
- Virdis A., Kirsche M.** Recent Advances in Network Simulation. The OMNeT++ Environment and its Ecosystem. Springer, 2019. 472 p.
- Журавель Е.П., Копчак Я.М., Осадчий А.И., Парашук И.Б., Хасан Талал Мухсин.** Устройство для параметрической оценки закона распределения потоков сообщений. Патент на изобретение № 2281548 от 14.12.2004.
- Southwick P., Marschke D., Reynolds H.** Junos enterprise routing. 2nd edition. Sebastopol (CA, USA): O'Reilly, 2011. 768 p.

XXVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

INTERPOLITEX



СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

19–21 НОЯБРЯ 2024

МОСКВА • ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР «ТИМИРЯЗЕВ»

ОРГАНИЗАТОР



INTERPOLITEX.RU