

ИССЛЕДОВАНИЕ И ГЕНЕРАЦИЯ ТРАФИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Р.В. Киричек¹, В.А. Кулик^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,

Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: vslav.kulik@gmail.com

Информация о статье

УДК 654.027

Статья поступила в редакцию 10.07.2019

Ссылка для цитирования: Киричек Р.В., Кулик В.А. Исследование и генерация трафика промышленного Интернета Вещей // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 3. С. 27–36. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-3-27-36

Аннотация: Данная работа посвящена исследованию трафика промышленного Интернета Вещей и разработке алгоритма для его генерации. На основе проведенного анализа предметной области был построен ряд его классификаций, с помощью которых были выбраны различные типовые приложения, устройства и системы, и на их основе разработана модельная сеть, имитирующая работу сетевой инфраструктуры промышленного предприятия в интересах проведения экспериментальных исследований трафика промышленного Интернета Вещей. Аналитические модели, полученные в ходе исследования, использовались для разработки алгоритма его генерации, результаты работы которого были сопоставлены с исходными аналитическими моделями.

Ключевые слова: промышленный Интернет Вещей, классификация, модельная сеть, исследование трафика, генерация трафика.

Введение

Концепция Интернета Вещей, активно развивающаяся в последнее время, с каждым днем охватывает все большее число областей человеческой жизнедеятельности, таких как беспилотное управление транспортом [1–3], управление городской инфраструктурой [1, 4], контроль проведения медицинских операций [1, 5–6], автоматизация жилых помещений, офисов и др. С недавнего времени в рамках концепции Интернета Вещей развивается новое направление – промышленный Интернет Вещей (ПИВ) [7] – которое затрагивает вопросы создания гетерогенной интеллектуальной системы автоматизации работы промышленных предприятий.

В рамках ПИВ планируется провести автоматизацию работы промышленного оборудования, расчетов экономических показателей, обеспечения безопасности работников и пр. Основным отличием систем данного типа является их тесное взаимодействие с облачными и граничными технологиями и использование высокопроизводительных самообучающихся систем как для текущей оценки работы предприятия, так и для планирования его развития [8].

На основе вышесказанного, одной из актуальных проблем является интеграция решений ПИВ (далее

по тексту – ПИВ-решения) в сетевую инфраструктуру промышленных предприятий [9] – для этого потребуется провести ее предварительное исследование на устойчивость к трафику ПИВ (далее по тексту – ПИВ-трафик). Такое исследование можно провести с помощью систем нагрузочного тестирования, однако для ее реализации потребуется разработать алгоритм генерации ПИВ-трафика, который будет использоваться для имитации исходящего потока сетевых пакетов от различных устройств, систем и приложений.

Реализовать подобный алгоритм представляется возможным на основе аналитических моделей, полученных при предварительном исследовании свойств ПИВ-трафика на основе анализа перехваченного трафика от систем промышленной автоматизации. В связи с тем, что в настоящее время комплексные системы ПИВ (далее по тексту – ПИВ-системы), затрагивающие большинство сфер автоматизации промышленных предприятий, не получили широкого распространения, перехват и анализ трафика предлагается провести на базе модельной сети, включающей в свой состав различные виды ПИВ-решений. Эти решения можно подобрать на основе существующей нормативно-правовой базы, например, на основе международных и отраслевых рекомендаций.

Сегодня не существует каких-либо рекомендаций, описывающих различные типы ПИВ-решений и их свойства, но, тем не менее, можно воспользоваться рекомендациями по типовой архитектуре и технологиям ПИВ-систем [10–11]. На основе этих документов предлагается разработать классификации источников трафика, сценариев работы и типов обслуживания.

Классификация источников ПИВ-трафика

Для разработки модельной сети, которую предлагается использовать для исследования свойств ПИВ-трафика, необходимо определить возможные типы источников трафика. В качестве основных для ПИВ-решений можно выделить следующие:

– датчики и актуаторы – используются для автоматизации работы промышленного оборудования; могут подключаться как напрямую к промышленному оборудованию и управляться через специальные приложения (например, с помощью ЧПУ), так и через специальные системы контроля и управления работы промышленного оборудования (например, SCADA, SAP Hana, OPC UA и др.) [8, 10, 12–13];

– бизнес-приложения (CRM, ERM и др.) – одним из наиболее важных аспектов работы предприятия является автоматизация работы бизнес-процессов предприятия [10, 14–15];

– открытые веб-данные – информация из открытых источников или веб-страниц в сети может использоваться как для обеспечения функционирования различных бизнес-процессов, так и для целей оптимизации работы предприятия с помощью различных аналитических алгоритмов [16];

– мультимедийные системы – в качестве источников могут выступать видеокамеры и микрофоны, которые используются для систем обеспечения безопасности предприятия [10, 17–18];

– системы позиционирования – данные системы могут использоваться для позиционирования промышленного оборудования, людей и транспорта, как в рамках предприятия, так и глобально, в масштабах региона или даже планеты [10, 19].

Естественно предположить, что каждый из вышеперечисленных видов трафика будет иметь уникальные сетевые параметры, такие как характер поступления и размер сетевых пакетов, коэффициент самоподобия, тип протоколов сетевого, транспортного и прикладного уровней, наличие (отсутствие) криптографических протоколов для обеспечения безопасности при передаче данных и др.

Каждый из источников трафика может работать по собственному уникальному сценарию сетевого взаимодействия, поэтому в рамках данного исследования можно выделить следующие сценарии работы различных типов устройств ПИВ (далее по тексту – ПИВ-устройств) [20]:

– регулярный – оконечное ПИВ-устройство отправляет пакеты данных на удаленное устройство

хранения данных предприятия (например, сервер систем управления базами данных, системы промышленного управления и контроля работы предприятия и др.) с заранее заданной периодичностью;

– событийно-ориентированный – то же, по наступлению какого-либо события (запрос данных пользователем или другим устройством, отправка информации об изменении состояния и др.);

– по расписанию – следует из названия.

Также приложения и услуги ПИВ имеют собственные требования ко времени обслуживания. В частности, имеет смысл выделить следующие типы обслуживания:

– реального времени (приложения и услуги имеют жесткие ограничения по времени доставки сообщений, и поэтому данный тип сообщений доставляется за минимальное возможное время);

– толерантные к задержкам (жесткие ограничения по времени доставки отсутствуют, допустимы задержки).

Вышеприведенные классификации трафика были разработаны с учетом ряда требований к ПИВ-системам, определенных в международных отраслевых стандартах и рекомендациях [10–11].

Для разработки модельной сети на основе предложенной классификации предлагается рассмотреть существующие приложения, устройства и системы, которые можно отнести к одному из исследуемых источников ПИВ-трафика.

Модельная сеть для исследования свойств ПИВ-трафика

На соответствие предложенной классификации источников ПИВ-трафика был исследован ряд систем, применяемых в решениях промышленной автоматизации.

1) Системы, состоящие из промышленных устройств для аддитивного производства (см. тип «Датчики и актуаторы»):

– Trumpf TruPrint 1000 – промышленная система (ПС) аддитивной печати металлических изделий;

– 3D Systems ProJet 4500 – ПС аддитивной печати пластиковых изделий.

2) Система контроля ресурсов предприятия (СКРП) на основе системы 1С Битрикс (см. тип «Бизнес-приложения»).

3) Системы передачи информации для решения задач видеонаблюдения (см. тип «Мультимедийные системы»):

– система для организации видеомониторинга в режиме реального времени на основе программного обеспечения с открытым исходным кодом Open Broadcast Server (OBS);

– система видеомониторинга для хранения и предоставления видеоданных по запросу, основанная на облачном решении Ivideon, поставляемом вместе с IP-камерой OCo OP-2220F-MSD.

4) Открытые веб-приложения (см. тип «Открытые веб-данные»):

– Open Weather Maps (OWM) – используемое для определения текущего состояния окружающей среды (температура, атмосферное давление, уровень влажности и т. д.) на заданной территории;

– Open Street Maps (OSM) – используемое для определения местоположения различных объектов (техника, сотрудники, животные и т. д.) в глобальной системе координат.

5) Система локального позиционирования (СП) объектов на производстве Nanotron NanoPAN 5375 (см. тип «Системы позиционирования»).

В рамках проведенного авторами исследования, на базе лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ была разработана модельная сеть [21], структура которой представлена на рисунке 1, где подключение к сети связи общего пользования необходимо для проведения исследования систем, соответствующих источнику трафика типа «Открытые веб-данные», а тестируемая сеть представляет собой ЛВС, имитирующую архитектуру локальной сети промышленного предприятия. На базе разработанной модельной сети стало возможным провести исследование свойств трафика от приложений, устройств и систем, применяемых в рамках ПИВ.

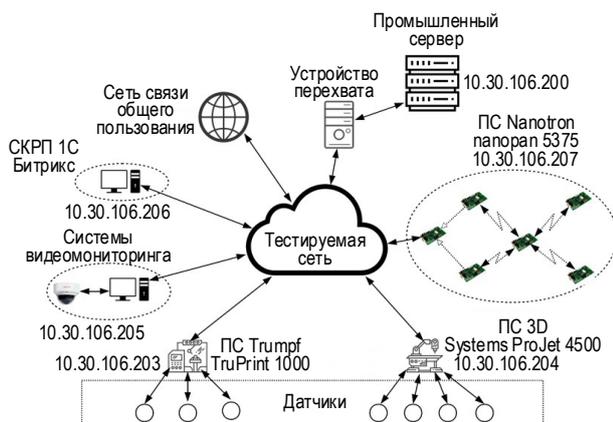


Рис. 1. Структура модельной сети для тестирования ПИВ-систем

Анализ ПИВ-трафика

В качестве основных свойств трафика, полученного от каждого из источников ПИВ-систем, имитируемых разработанной модельной сетью, были выбраны распределение интенсивности поступления и средний размер пакета, а также коэффициент Хёрста (самоподобия) для трафика. Для каждой из систем был произведен перехват трафика в количестве не менее 2000 пакетов.

Для анализа интенсивности поступления пакетов от источника использовались временные значения, представляющие собой интервалы времени между их поступлениями на сетевой интерфейс. Получившаяся выборка была разбита на 100 равноразмерных временных отрезков (между максимальным и

минимальным значением) и с их помощью была построена вероятностно-временная характеристика для исследуемого трафика. Для каждого из полученных распределений с помощью критерия согласия Колмогорова – Смирнова подбиралось наиболее подходящее вероятностное распределение. Затем с помощью метода наименьших квадратов и алгоритма обобщенного приведенного градиента была проведена аппроксимация исходных данных. В таблице 1 приведены выбранные вероятностные распределения и их коэффициенты для каждого из исследуемых типов трафика. Подобная процедура была проведена для анализа распределения размеров перехваченных сетевых пакетов. В таблице 2 приведены выбранные вероятностные распределения и их коэффициенты для каждого из исследуемых типов трафика, а также средние значения размера сетевых пакетов при доверительной вероятности 95 % [22].

Также на основе метода нормированного размаха (RS-анализа) был рассчитан коэффициент Хёрста для выборок [14, 20], ранее полученных и исследованных при анализе интенсивности поступления пакетов.

Ниже приведены полученные значения для каждого из исследуемых источников трафика: Trumpf TruPrint 1000 – 0,83; 3D Systems ProJet 4500 – 0,96; Система OBS – 0,62; Система Ivideon – 0,56; 1С Битрикс – 0,41; Веб-приложение OWM – 0,57; Веб-приложение OSM – 0,51; Nanotron NanoPAN 5375 – 0,54.

На основе результатов анализа трафика от систем, применяемых в ПИВ, могут быть сделаны следующие выводы:

1) трафик для систем Trumpf TruPrint 1000, 3D Systems ProJet 4500 и OBS, согласно полученному значению коэффициента Хёрста (см. таблицу 3), является самоподобным;

2) трафик для систем Ivideon, веб-приложение OWM, веб-приложение OSM и Nanotron NanoPAN 5375 является самоподобным, близким к абсолютно случайному потоку;

3) трафик для системы 1С Битрикс является антиперсистентным, близким к абсолютно случайному потоку;

4) полученные вероятностные распределения интервалов времени между поступлениями сетевых пакетов и их размера для каждого из источников трафика могут быть использованы для моделирования идентичного сетевого потока при тестировании сетевой инфраструктуры предприятий перед внедрением исследуемых решений, а также других подобных им систем;

5) для получения более точных данных о ВВХ работы ПИВ-систем необходимо составить классификацию конкретных сценариев работы систем для каждого из исследуемых типов.

ТАБЛИЦА 1. Вероятностные распределения, описывающие интенсивность поступления сетевых пакетов

Источник трафика	Исследуемые интервалы, мкс	Вероятность попадания в интервал, %	Выбранное вероятностное распределение	Коэффициенты распределения
Trumpf TruPrint 1000	295000–339000	87,18	Бета первого рода	$u = 64,53; v = 3089,15$
	4213000–4213442	2,92	Бета первого рода	$u = 6,56; v = 446,59$
	5218000–5218442	9,71	Бета первого рода	$u = 6,66; v = 422,41$
3D Systems ProJet 4500	50000–56300	49,62	Гамма	$\alpha = 92,86; \lambda = 50000$
	235000–288000	49,86	Гамма	$\alpha = 165,99; \lambda = 5882$
Система OBS	0–516158	99,93	Экспоненциальное	$\lambda = 169,50$
Система Ivideon	0–1926	66,46	Гамма	$\alpha = 8,99; \lambda = 11111$
	1926–16000	33,50	Эрланга	$m = 2; \lambda = 1886,79$
1С Битрикс	0–279	59,71	Вейбулла – Гнеденко	$\alpha = 36,85; c = 0,00019$
	279–500000	37,85	Экспоненциальное	$\lambda = 122,80$
Веб-приложение OWM	0–50408	96,61	Экспоненциальное	$\lambda = 1112,82$
Веб-приложение OSM	0–10806	98,75	Экспоненциальное	$\lambda = 5738,94$
Nanotron NanoPAN 5375	0–238057	99,30	Эрланга	$m = 3; \lambda = 40,00$

ТАБЛИЦА 2. Вероятностные распределения, описывающие характер распределения размера сетевых пакетов

Источник трафика	Среднее значение размера пакета, байт	Исследуемые интервалы, байт	Вероятность попадания в интервал, %	Выбранное вероятностное распределение	Коэффициенты распределения		
Trumpf TruPrint 1000	966±10	184	12,73	Эмпирическое дискретное	–		
		1080	87,27				
3D Systems ProJet 4500	573±7	67	49,99	Равномерное дискретное	–		
		1080	49,90				
Система OBS	1285±4	74–437	3,17	Равномерное непрерывное	–		
		437–703	10,05	Гамма	$\alpha = 5,80; \lambda = 17$		
		703–1433	5,86	Равномерное непрерывное	–		
		1434	80,92	Детерминированное	–		
Система Ivideon	1451±2	1458	78,99	Эмпирическое дискретное	–		
		1514	19,51				
1С Битрикс	1019±26	66	15,65	Эмпирическое дискретное	–		
		74	5,19				
		203	3,45				
		276	3,54				
		574	4,22				
		1079	2,70				
Веб-приложение OWM	945±22	1466	61,80	Детерминированное	–		
		66	20,98			Экспоненциальное	$\lambda = 0,015$
		67–302	8,32			Равномерное непрерывное	–
		302–990	8,11			Вейбулла – Гнеденко	$\alpha = 10,58; c = 276,27$
		990–1420	14,61			Детерминированное	–
Веб-приложение OSM	1326±6	1434	47,78	Детерминированное	–		
		66–1433	11,35	Равномерное непрерывное	–		
Nanotron NanoPAN 5375	366±3	1434	88,65	Детерминированное	–		
		74	11,87	Детерминированное	–		
		75–437	19,55	Гамма	$\alpha = 18,86; \lambda = 11$		
		438	68,53	Детерминированное	–		

На основе полученных аналитических моделей, представляющих собой аппроксимированные вероятностные распределения интервалов времени между поступлениями сетевых пакетов (см. таблицу 1) и их размера (см. таблицу 2) предлагается разработать алгоритм генерации ПИВ-трафика и сопоставить результаты его работы с вышеопределенными (исходными) распределениями.

Алгоритм генерации ПИВ-трафика

Для разработки алгоритма генерации ПИВ-трафика были выбраны следующие распределения случайных чисел:

- непрерывное равномерное (для генерации применяется алгоритм, описанный в [22, с. 211]);
- двухпараметрическое гамма (для случаев, когда параметр масштаба $\alpha < 1$ для генерации применяется алгоритм 1 описанный в [22, с. 140], для случаев, когда $\alpha > 1$ – описанный в [23, с. 112]);
- двухпараметрическое бета первого рода (для случаев, когда параметры формы $u > 1$ и $v > 1$ для генерации применяется алгоритм 2, в остальных случаях применяется алгоритм Йонка, описанные в [22, с. 216]);
- двухпараметрическое Вейбулла – Гнеденко (для генерации применяется алгоритм, описанный в [22, с. 158]);
- экспоненциальное (для генерации применяется алгоритм, описанный в [22, с. 136]);
- Эрланга m -го порядка (для генерации применяется алгоритм, описанный в [22, с. 147]).

Для генерации исходных псевдослучайных числовых значений согласно выбранным методам был использован метод генерации псевдослучайных чисел Фибоначчи с запаздыванием [24] с параметрами $\alpha = 55$ и $\beta = 24$. На основе выбранных алгоритмов был разработан общий алгоритм генерации псевдослучайных последовательностей согласно требующему закону распределения. Блок-схемы, описывающие алгоритм работы генератора ПИВ-трафика, изображены на рисунках 2 и 3, где используемые переменные обозначают: C – количество источников трафика; N – количество сетевых пакетов, отправляемых каждым из источников; D (Dt , Dm) – параметры вероятностных распределений для интервалов времени между отправкой сетевых пакетов (Dt) и их размером (Dm). В D входят следующие параметры: $DTarr$ – последовательность, содержащая типы вероятностных распределений, применяемых для генерации трафика; DN – количество типов вероятностных распределений; $Karr$ – последовательность коэффициентов для используемых типов вероятностных распределений; $Parr$ – вероятность попадания псевдослучайного значения в тот или иной тип вероятностного распределения; V_{\min} , V_{\max} – минимальное и максимальное значение для псевдослучайного числа.

Разработанное специальное программное обеспечение (СПО), реализующее алгоритм на языках программирования С и С++ [25], было включено в ранее разработанную модельную сеть в качестве источника трафика; затем было проведено тестирование модельной сети с его применением. Данное СПО генерирует поток сетевых пакетов, имитируя работу одного или более ранее исследованных источников ПИВ-трафика. В качестве исходных моделей для имитации трафика были выбраны аналитические модели интенсивности поступления трафика на сетевой интерфейс, определенные ранее (см. таблицу 1, «выбранное вероятностное распределение» и «коэффициенты распределения»).

В ходе тестирования был произведен перехват сетевых пакетов, генерируемых СПО, и проведено сравнение исходного вероятностного распределения с экспериментальным, полученным в ходе аппроксимации данных по интенсивности поступления сетевых пакетов перехваченного трафика. Экспериментальные данные по интенсивности поступления сетевых пакетов были аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов и оптимизационного алгоритма обобщенного приведенного градиента.

Полученная функция была сопоставлена с исходным вероятностным распределением, с помощью критерия согласия Колмогорова – Смирнова. Также в ходе исследования интервалов времени между поступлением сетевых пакетов было получено их среднее значение для экспериментальных данных (сокращенно – Эксп.), данных, полученных в результате аппроксимации (сокращенно – Аппр.), а также данных, полученных на основе аналитической модели (сокращенно – Мат.). Результаты сравнения при выбранном уровне доверительной вероятности 95 % приведены в таблице 3.

На рисунке 3 представлены результаты сравнения исходных и аппроксимированных экспериментальных распределений интервалов поступления сообщений (в миллисекундах), выбранных для описания характера трафика различных ПИВ-систем.

На основании графического анализа результатов тестирования разработанного алгоритма можно сделать вывод, что интервалы времени между поступлением пакетов для генерируемого трафика имеют высокую степень приближения к интервалам времени, соответствующих исходным аналитическим моделям. Тем не менее, при значениях интервалов менее 1 мс возникают проблемы, связанные с программными задержками отправки сетевых пакетов. Данная проблема связана с особенностями разработанного СПО и может быть решена путем оптимизации работы модуля программы, отвечающего за отправку пакетов.

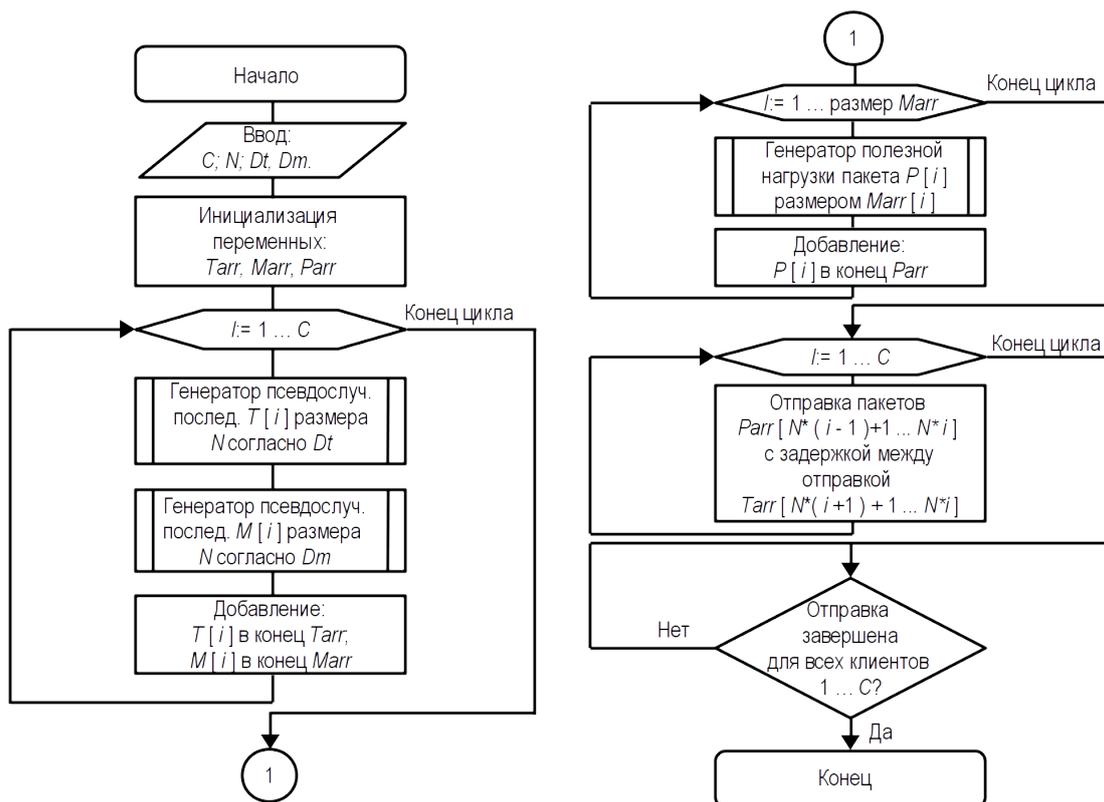


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы генератора ПИВ-трафика

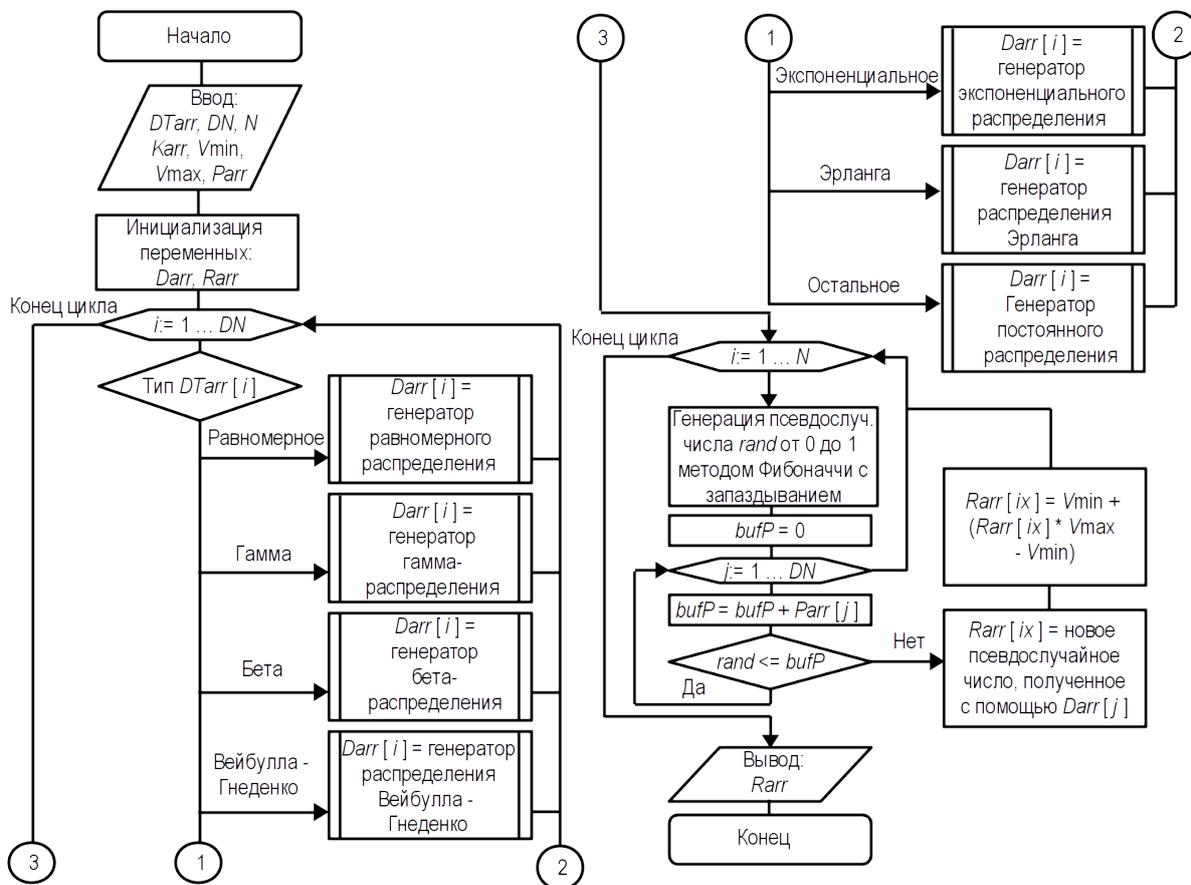


Рис. 3. Блок-схема алгоритм работы метода генерации псевдослучайных чисел по заданным распределениям

ТАБЛИЦА 3. Результаты сравнения исходной и экспериментальной интенсивности поступления сетевых пакетов

Промышленная система	Исходное распределение	Среднее значение интервалов времени между поступлениями пакетов, Эксп./Аппр./Мат. (мс)	Аппроксимация экспериментального распределения	Критерий согласия Колмогорова
Trumpf TruPrint 4500	Бета первого рода ($u = 64,53; v = 3089,15$)	18,01±0,943/18,09±0,521/17,81±0,516	$u = 68,64; v = 3286,33$	0,048 < 1,36
3D Systems Projet	Гамма ($\alpha = 92,86; \lambda = 50000$)	2,06±0,014/1,36±0,032/1,33±0,026	$\alpha = 87,41; \lambda = 50000$	0,061 < 1,36
Система OBS	Экспоненциальное ($\lambda = 169,50$)	6,22±0,122/7,27±0,143/6,13±0,117	$\lambda = 140,73$	0,086 < 1,36
Система Ivideon	Гамма ($\alpha = 8,99; \lambda = 50000$)	1,05±0,003/0,66±0,009/0,63±0,011	$\alpha = 8,37; \lambda = 11111$	0,038 < 1,36
1С Битрикс	Вейбулла – Гнеденко ($\alpha = 36,85; c = 0,00019$)	0,36±0,006/0,17±0,003/0,17±0,003	$\alpha = 12,42; c = 0,00019$	0,83 < 1,36
Веб-приложение OWM	Экспоненциальное ($\lambda = 1112,82$)	1,06±0,019/1,12±0,022/1,03±0,020	$\lambda = 1021,97$	0,068 < 1,36
Веб-приложение OSM	Экспоненциальное ($\lambda = 5738,94$)	0,31±0,006/0,31±0,006/0,28±0,005	$\lambda = 4922,05$	0,34 < 1,36
Nanotron NanoPAN 5375	Эрланга ($m = 3; \lambda = 40$)	75,04±0,839/75,29±1,458/74,91±1,452	$m = 3; \lambda = 39,80$	0,002 < 1,36

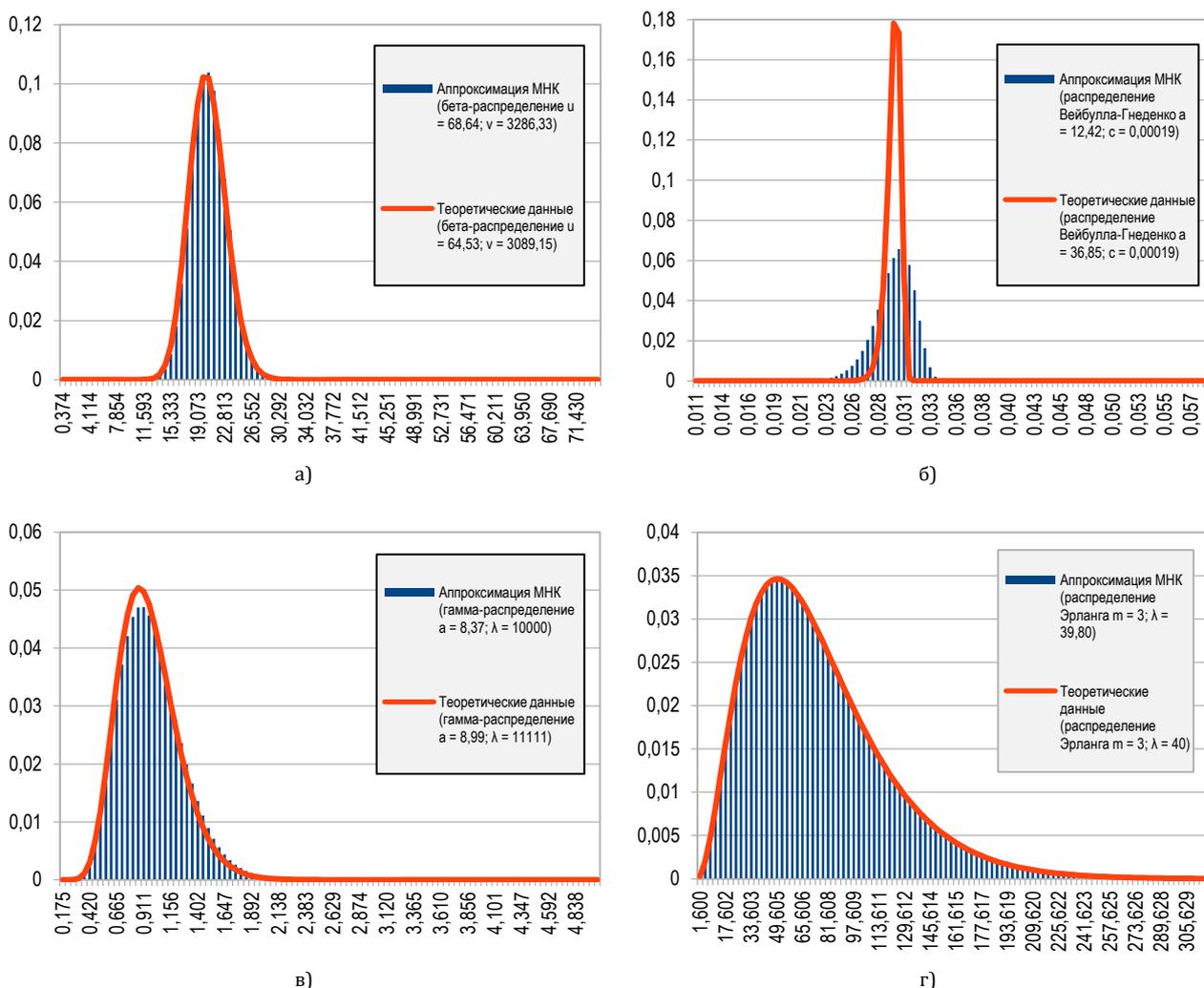


Рис. 4. Результаты сравнения вероятностных распределений трафика ПИВ-систем: а) Trumpf TruPrint 4500; б) 1С Битрикс; в) Ivideon; г) Nanotron NanoPAN 5375

Заключение

С помощью разработанной авторами классификации источников трафика промышленного Интернета Вещей и исследованных на базе модельной сети его типовых решений были получены аналитические модели, описывающие интенсивность поступления и распределения размера сетевых пакетов от каждого из исследованных источников трафика и позволяющие проводить моделирование потока сообщений от ПИВ-систем. Модельная сеть, созданная для исследования трафика типовых ПИВ-решений, также позволяет проводить натурные эксперименты по изучению влияния трафика на тестируемую сеть.

Практическая и научная значимость разработанного авторами алгоритма генерации ПИВ-трафика заключается в возможности исследования его свойств и влияния на сетевую инфраструктуру промышленных предприятий средствами имитационного и математического моделирования.

В дальнейшем, согласно полученным в данной статье аналитическим моделям, предполагается разработать имитационную модель для изучения работы высоконагруженных ПИВ-систем. Также на их основе предлагается разработать программно-аппаратный комплекс для проведения нагрузочного тестирования промышленных сетей.

Список используемых источников

1. Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И. и др. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf> (дата обращения 04.09.2019)
2. Makolkina M., Paramonov A., Vladuko A., Dunaytsev R., Kirichek R., Koucheryavy A. The Use of UAVs, SDN, and Augmented Reality for VANET Applications // Proceedings of the 3d International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering (AIIE, Shanghai, China, 26–27 November 2017). Lancaster: DEStech Publ., 2017. PP. 364–368. DOI:10.12783/dtcse/aiie2017/18244
3. Giyenko A., Cho Y.I. Intelligent UAV in smart cities using IoT // Proceedings of the 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCS, Gyeongju, South Korea, 16–19 October 2016). Piscataway, NJ: IEEE, 2016. PP. 207–210. DOI:10.1109/ICCS.2016.7832322
4. Rhee S. Catalyzing the Internet of Things and smart cities: Global City Teams Challenge // Proceedings of the 1st International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering in partnership with Global City Teams Challenge (SCOPE – GCTC, Vienna, Austria, 11 April 2016). Piscataway, NJ: IEEE, 2016. DOI:10.1109/SCOPE.2016.7515058
5. Volkov A., Muthanna A., Pirmagomedov R., Kirichek R. SDN Approach to Control Internet of Thing Medical Applications Traffic // Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks (DCCN, Moscow, Russia, 25–29 September 2017). Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer, 2017. Vol. 700. PP. 467–476. DOI:10.1007/978-3-319-66836-9_39
6. Pirmagomedov R., Blinnikov M., Glushakov R., Muthanna A., Kirichek R., Koucheryavy A. Dynamic Data Packaging Protocol for Real-Time Medical Applications of Nanonetworks // Proceedings of the 17th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), 10th Conference on Internet of Things and Smart Spaces (ruSMART), 3d International Workshop on Nano-scale Computing and Communications (NsCC), St. Petersburg, Russia, 28–30 August 2017. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2017. Vol. 10531. PP. 196–205. DOI:10.1007/978-3-319-67380-6_18
7. Geng H. Internet of Things and Data Analytics Handbook. New York: John Wiley, 2017.
8. Tom R.J., Sankaranarayanan S. IoT based SCADA integrated with Fog for power distribution automation // Proceedings of the 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI, Lisbon, Portugal, 21–24 June 2017). Piscataway, NJ: IEEE, 2017. DOI:10.23919/CISTI.2017.7975732
9. Kulik V., Kirichek R. The Heterogeneous Gateways in the Industrial Internet of Things // Proceedings of the 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT, Moscow, Russia, 5–9 November 2018). Piscataway, NJ: IEEE, 2018. PP. 210–215. DOI:10.1109/ICUMT.2018.8631232
10. Rec. ITU-T Y.4003 (06/2018) Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4003-201806-I/en> (дата обращения 09.09.2019)
11. Lin S.-W., Miller B., Durand J., Bleakley G., Chigani A., Martin R., et al. Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture. Industrial Internet Consortium. 2017. URL: https://iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf (дата обращения 09.09.2019)
12. Shahzad A., Kim Y.G., Elgamoudi A. Secure IoT Platform for Industrial Control Systems // Proceedings of the International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon, Busan, South Korea, 13–15 February 2017). Piscataway, NJ: IEEE, 2017. DOI:10.1109/PlatCon.2017.7883726
13. Cho H., Jeong J. Implementation and Performance Analysis of Power and Cost-Reduced OPC UA Gateway for Industrial IoT Platforms // Proceedings of the 28th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC, Sydney, Australia, 21–23 November 2018). Piscataway, NJ: IEEE, 2018. DOI:10.1109/ATNAC.2018.8615377
14. Маколкина М.А., Окунева Д.В., Кулик В.А., Тельтеская В.А., Щербак А.С., Киричек Р.В. Исследование взаимодействия приложений дополненной реальности с облачными сервисами 1С // Электросвязь. 2017. № 12. С. 49–53.
15. Chamekh M., Hamdi M., Asmi S.E., Kim T.H. Secured Distributed IoT Based Supply Chain Architecture // Proceedings of the 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE, Paris, France, 27–29 June 2018). Piscataway, NJ: IEEE, 2018. PP. 199–202. DOI:10.1109/WETICE.2018.00045
16. Smit H., Delamer I.M. Service-oriented Architectures in Industrial Automation // Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN, Singapore, Singapore, 16–18 August 2006). Piscataway, NJ: IEEE, 2006.

DOI:10.1109/INDIN.2006.275707

17. Kirichek R., Golubeva M., Kulik V., Koucheryavy A. The home network traffic models investigation // Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT, Pyeongchang, South Korea, 31 January – 3 February 2016). Piscataway, NJ: IEEE, 2016. PP. 97–100. DOI:10.1109/ICACT.2016.7423288

18. Escudero J.I., Gonzalo F., Mejias M., Parada M., Luque J. Multimedia in the operation of large industrial networks // Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE, Guimaraes, Portugal, 7–11 July 1997). Piscataway, NJ: IEEE, 1997. Vol. 3. PP. 1281–1285. DOI:10.1109/ISIE.1997.648929

19. Macagnano D., Destino G., Abreu G. Indoor positioning: A key enabling technology for IoT applications // Proceeding of the IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT, Seoul, South Korea, 6–8 March 2014). Piscataway, NJ: IEEE, 2014. DOI:10.1109/WF-IoT.2014.6803131

20. Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования. Автореферат дис. ... докт. техн. наук. СПб.: СПбГУТ, 2014.

21. Рекомендация МСЭ-Т Q.3900 (09/2006). Методы тестирования и архитектура модельных сетей для тестирования технических средств СПП, используемых в сетях электросвязи общего пользования. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.3900-200609-I/en> (дата обращения 09.09.2019)

22. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 295 с.

23. Емельянов А.А. Лаг-генераторы для моделирования рискованных ситуаций в системе Actor Pilgrim // Прикладная информатика. 2011. № 5(35). С. 98–117.

24. Bruce S. Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.

25. Кулик В. Генератор трафика Промышленного Интернета Вещей // Cloud Version Control System Bitbucket. URL: https://bitbucket.org/vslavk/generate_iiot_traffic/src/master (дата обращения 20.07.2019)

* * *

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS TRAFFIC RESEARCH AND GENERATION

R. Kirichek¹, V. Kulik¹

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

The article was received 10 July 2019

For citation: Kirichek R., Kulik V. Industrial Internet of Things Traffic Research and Generation. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(3):27–36. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-3-27-36>

Abstract: *In this research paper we can see the analysis of the application types, devices, and systems which are used to find the solutions in the industrial Internet of Things. On the basis of a research in a scientific field, we got the developed classification for problem solving in the industrial Internet of Things, including traffic from industrial equipment, traffic of business applications, traffic from open web sources, various types of multimedia traffic and traffic generated by positioning systems. Based on the developed classification, various typical applications, devices, and systems were selected and there was developed the Model network for their traffic analysis. With the help of the developed model network there was traffic analysis research of the industrial Internet of Things. Based on the obtained traffic properties, the algorithm of the traffic generator was described. The results of the traffic generator were compared with the initial probability distributions obtained at the traffic analysis from the different types of traffic sources.*

Keywords: *Internet of Things, industrial Internet of Things, traffic analysis, traffic generation.*

References

1. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R., Makolkina M., Paramonov A., Vybornova A., et al. The prospects for research in the field of communications networks on the 2017–2020 years. *Telecom IT*. 2016;4(3):1–14. (in Russ.) Available from: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf> [Accessed 4th September 2019]

2. Makolkina M., Paramonov A., Vladyko A., Dunaytsev R., Kirichek R., Koucheryavy A. The Use of UAVs, SDN, and Augmented Reality for VANET Applications. *Proceedings of the 3d International Conference on Artificial Intelligence and Industrial Engineering, AIIE, 26–27 November 2017, Shanghai, China*. Lancaster: DEStech Publ.; 2017. p.364–368. Available from: <https://doi.org/10.12783/dtcse/aiie2017/18244>

3. Giyenko A., Cho Y.I. Intelligent UAV in smart cities using IoT. *Proceedings of the 16th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS, 16–19 October 2016, Gyeongju, South Korea*. Piscataway, NJ: IEEE; 2016. p.207–210. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832322>
4. Rhee S. Catalyzing the Internet of Things and smart cities: Global City Teams Challenge. *Proceedings of the 1st International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering in partnership with Global City Teams Challenge, SCOPE – GCTC, 11 April 2016, Vienna, Austria*. Piscataway, NJ: IEEE; 2016. Available from: <https://doi.org/10.1109/SCOPE.2016.7515058>
5. Volkov A., Muthanna A., Pirmagomedov R., Kirichek R. SDN Approach to Control Internet of Thing Medical Applications Traffic. *Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks, DCCN, 25–29 September 2017, Moscow, Russia. Communications in Computer and Information Science*. Cham: Springer; 2017. vol.700. p.467–476. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66836-9_39
6. Pirmagomedov R., Blinnikov M., Glushakov R., Muthanna A., Kirichek R., Koucheryavy A. Dynamic Data Packaging Protocol for Real-Time Medical Applications of Nanonetworks. *Proceedings of the 17th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking, NEW2AN, 10th Conference on Internet of Things and Smart Spaces, ruSMART, 3d International Workshop on Nano-scale Computing and Communications, NsCC, 28–30 August 2017, St. Petersburg, Russia. Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer; 2017. vol.10531. p.196–205. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67380-6_18
7. Geng H. *Internet of Things and Data Analytics Handbook*. New York: John Wiley; 2017
8. Tom R.J., Sankaranarayanan S. IoT based SCADA integrated with Fog for power distribution automation. *Proceedings of the 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 21–24 June 2017, Lisbon, Portugal*. Piscataway, NJ: IEEE; 2017. Available from: <https://doi.org/10.23919/CISTI.2017.7975732>
9. Kulik V., Kirichek R. The Heterogeneous Gateways in the Industrial Internet of Things. *Proceedings of the 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT, 5–9 November 2018, Moscow, Russia*. Piscataway, NJ: IEEE; 2018. p.210–215. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2018.8631232>
10. Rec. ITU-T Y.4003 *Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things*. June 2018. Available from: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.4003-201806-I/en> [Accessed 09 September 2019]
11. Lin S.-W., Miller B., Durand J., Bleakley G., Chigani A., Martin R., et al. *Industrial Internet of Things. Volume G1: Reference Architecture*. Industrial Internet Consortium. 2017. Available from: https://iconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf [Accessed 09 September 2019]
12. Shahzad A., Kim Y.G., Elgamoudi A. Secure IoT Platform for Industrial Control Systems. *Proceedings of the International Conference on Platform Technology and Service, PlatCon, 13–15 February 2017, Busan, South Korea*. Piscataway, NJ: IEEE; 2017. Available from: <https://doi.org/10.1109/PlatCon.2017.7883726>
13. Cho H., Jeong J. Implementation and Performance Analysis of Power and Cost-Reduced OPC UA Gateway for Industrial IoT Platforms. *Proceedings of the 28th International Telecommunication Networks and Applications Conference, ITNAC, 21–23 November 2018, Sydney, Australia*. Piscataway, NJ: IEEE; 2018. Available from: <https://doi.org/10.1109/ATNAC.2018.8615377>
14. Makolkina M.A., Okuneva D.V., Kulik V.A., Teltevskeya V.A., Shcherbak A.S., Kirichek R.V. Research of interaction between augmented reality applications and 1C cloud services. *Elektrosvyaz*. 2017;12:31–35. (in Russ.)
15. Chamekh M., Hamdi M., Asmi S.E., Kim T.H. Secured Distributed IoT Based Supply Chain Architecture. *Proceedings of the 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WETICE, 27–29 June 2018, Paris, France*. Piscataway, NJ: IEEE; 2018. p.199–202. Available from: <https://doi.org/10.1109/WETICE.2018.00045>
16. Smit H., Delamer I.M. Service-oriented Architectures in Industrial Automation. *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN, 16–18 August 2006, Singapore, Singapore*. Piscataway, NJ: IEEE; 2006. Available from: <https://doi.org/10.1109/INDIN.2006.275707>
17. Kirichek R., Golubeva M., Kulik V., Koucheryavy A. The home network traffic models investigation. *Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 31 January – 3 February 2016, Pyeongchang, South Korea*. Piscataway, NJ: IEEE; 2016. p.97–100. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICACT.2016.7423288>
18. Escudero J.I., Gonzalo F., Mejias M., Parada M., Luque J. Multimedia in the operation of large industrial networks. *Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE, 7–11 July 1997, Guimaraes, Portugal*. Piscataway, NJ: IEEE; 1997. vol.3. p.1281–1285. Available from: <https://doi.org/10.1109/ISIE.1997.648929>
19. Macagnano D., Destino G., Abreu G. Indoor positioning: A key enabling technology for IoT applications. *Proceeding of the IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT, 6–8 March 2014, Seoul, South Korea*. Piscataway, NJ: IEEE; 2014. Available from: <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803131>
20. Paramonov A.I. *Razrabotka i issledovanie kompleksa modeley trafika dlya setey svyazi obshchego pol'zovaniya* [Development and Research of Complex Traffic Models for Public Communication Networks]. DSc Thesis. St. Petersburg: The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications Publ.; 2014. (in Russ.)
21. Rec. ITU-T Q.3900. *Methods of testing and model network architecture for NGN technical means testing as applied to public telecommunication networks*. September 2006. Available from: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.3900-200609-1/en> [Accessed 09 September 2019]
22. Vadzinskiy R.N. *Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam* [Probability Distribution Handbook]. St. Petersburg: Nauka Publ.; 2001. 295 p. (in Russ.)
23. Emelyanov A. Software lag-generators for simulation of risk situations in Actor Pilgrim Simulation System. *Applied informatics*. 2011;5(35):98–17. (in Russ.)
24. Bruce S. *Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C*. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1996.
25. Kulik V. *Generate IIOT Traffic*. Cloud Version Control System Bitbucket. Available from: https://bitbucket.org/vslavk/generate_iiot_traffic/src/master [Accessed 20 July 2019]