

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

**Разработка моделей и методов идентификации
устройств и приложений интернета вещей на
базе архитектуры цифровых объектов**

доктор технических наук, доцент

Киричёк Р. В.

Актуальность темы исследования

- Архитектура цифровых объектов (АЦО) – представляет новый подход идентификации цифровых объектов в сетях Интернет, поддерживаемый Международным союзом электросвязи. Обладает иерархической и распределенной архитектурой, что повышает её стабильность работы.
- Основной проблематикой идентификации устройств интернета вещей и виртуальных сущностей интернета вещей является отсутствие единого механизма идентификации с учетом существующих физических и логических адресов, а также уникальных метаданных, которые характеризуют вещь.
- Для обеспечения корректной и быстрой работы всех элементов АЦО с огромным потоком информации от устройств и приложений интернета вещей требуется разработать модели и методы, которые позволят улучшить количественные и качественные показатели АЦО.
- На сегодняшний день отсутствуют исследования, посвящённые модернизации архитектуры АЦО и возможностей ее использования для идентификации устройств интернета вещей, осуществляющих прием и передачу данных как по проводным, так и беспроводным технологиям передачи данных.
- В сентябре 2018 года Российская Федерация стала одной из 9 стран, подключенных к домену глобальной иерархии. На базе ПАО «Ростелеком» был создан МРА, что позволяет выдавать идентификаторы АЦО на территории России. Это открывает огромные возможности по внедрению АЦО для идентификации устройств и приложений интернета вещей.

Метод построения сетевой архитектуры цифровых объектов за счет введения промежуточного уровня взаимодействия.

Состояние и проблемы:

Взаимодействие элементов АЦО предполагает коммуникации между распределенными LHR-серверами, расположенными в разных странах. Однако удаленность серверов друг от друга приводит к увеличению сетевой задержки, величина которой может оказаться неприемлемой для сервисов и приложений, требующих ультрамалых задержек.

Научная новизна:

Разработана модель, позволяющая верифицировать предлагаемые изменения в архитектуре цифровых объектов, за счет введения промежуточного уровня взаимодействия

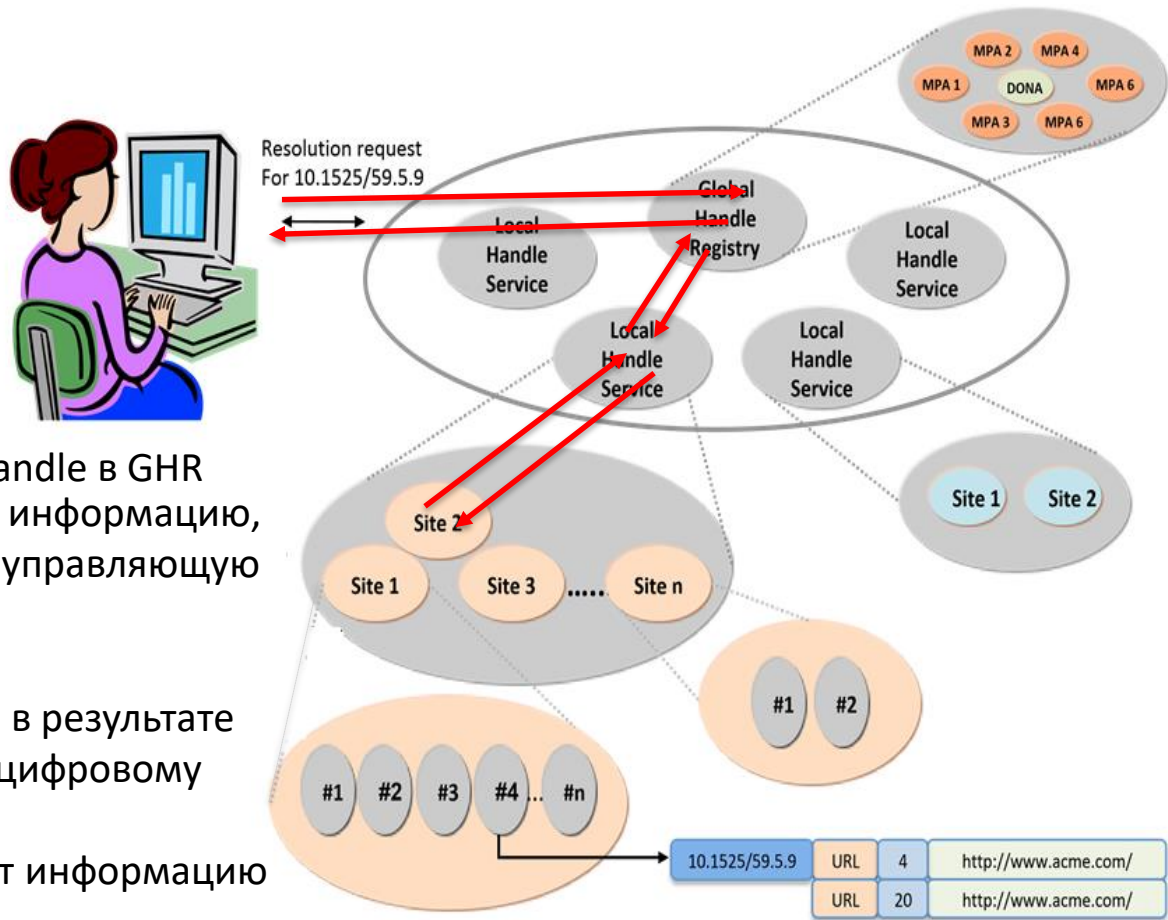
Теоретическая значимость:

Предлагаемая модель позволяет построить маршрут близкий к оптимальному при обращении к серверам LHR и GHR.

Практическая значимость:

предлагаемая модель обеспечивает более низкую сетевую задержку за счет уменьшения расстояния между серверами.

Взаимодействие элементов Архитектуры цифровых объектов

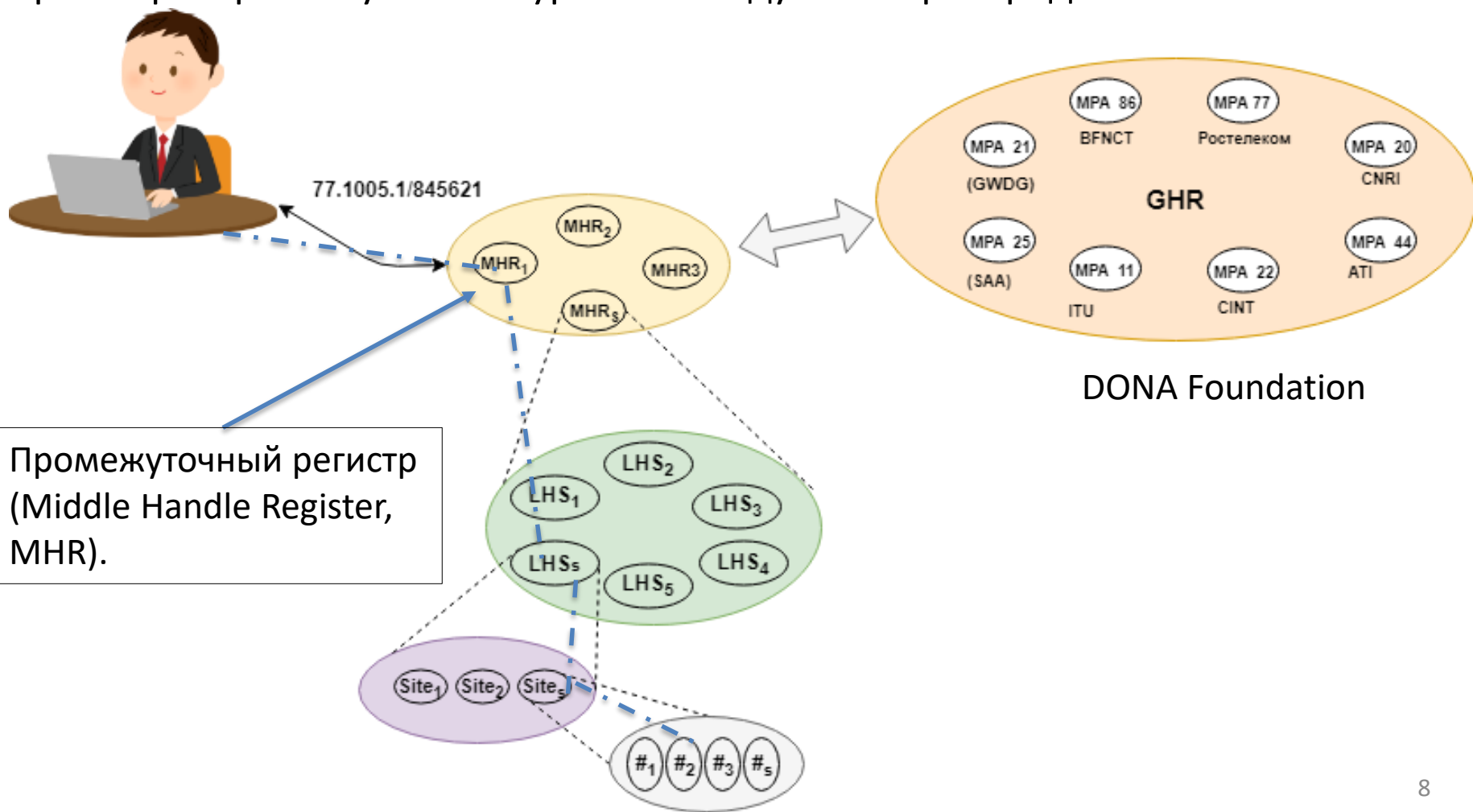


- 1- клиент отправляет запрос Handle в GHR
- 2- GHR возвращает служебную информацию, указывающую на систему LHR, управляющую префиксом идентификатора
- 3- клиент запрашивает LHR
- 4- LHR идентифицирует сервер, в результате чего происходит обращение к цифровому объекту
- 4- После этого клиент получает информацию об объекте

Таким образом, реализуется двухуровневый резолвинг (GHR и LHR), что позволяет повысить достоверность получаемой информации, а также хранить информацию на территории страны.

Системный уровень модифицированной архитектуры АЦО

Для минимизации сетевой задержки системы идентификации цифровых и физических объектов предлагается разделить систему резолюций, введя регистры промежуточного уровня между GHR и распределенными LHR.



Параметры моделирования

Рассматриваемая система MHR содержит $N = 10$ промежуточных регистров, которые расположены в разных странах и работают со всеми группами локальных регистров LHR по всему миру.

j	Страна	Город	Координата		Ориентировочные расстояния D_i^{GHR}
			Долгота φ_j	Ширина λ_j	
1	Россия	Санкт-Петербург	59.9343°N	30.3351°E	2,786.7 km
2	Египет	Каир	30.0444°N	31.2357°E	4,070.0 km
3	Великобритания	Лондон	51.5074°N	0.1278°W	992.5 km
4	Испания	Мадрид	40.4168°N	3.7038°W	1,384.1 km
5	США	Вашингтон	47.7511°N	120.7401°W	8,365 km
6	Китай	Гуанчжоу	23.1291°N	113.2644° E	9,388 km
7	Италия	Рим	41.9028°N	12.4964°E	887.2 km
8	Бразилия	Бразилия	14.2350°S	51.9253°W	8,866 km
9	Канада	Онтарио	51.2538°N	85.3232°W	6,279 km
10	Австралия	Сидней	33.8688°S	151.2093°E	16,764 km

Расположение промежуточных регистров MHR

Математическая модель

Сетевая задержка для системы без MHR может быть рассчитана на основе следующего уравнения :

$$L_i^j \propto D_i^j$$
$$D_i^j = \sqrt{\left(l_i^j - l_j\right)^2 + \left(h_i^j - h_j\right)^2} \quad (1)$$

Сетевую задержку для системы без MHR можно рассчитать на основе следующего уравнения:

$$L_i^{GHR} \propto D_i^{GHR}$$
$$D_i^{GHR} = \sqrt{\left(l_i^j - l\right)^2 + \left(h_i^j - h\right)^2} \quad (2)$$

Для сравнения между системой без MHR и новой структурой с MHR уравнения (2) и (1) представляются следующим образом:

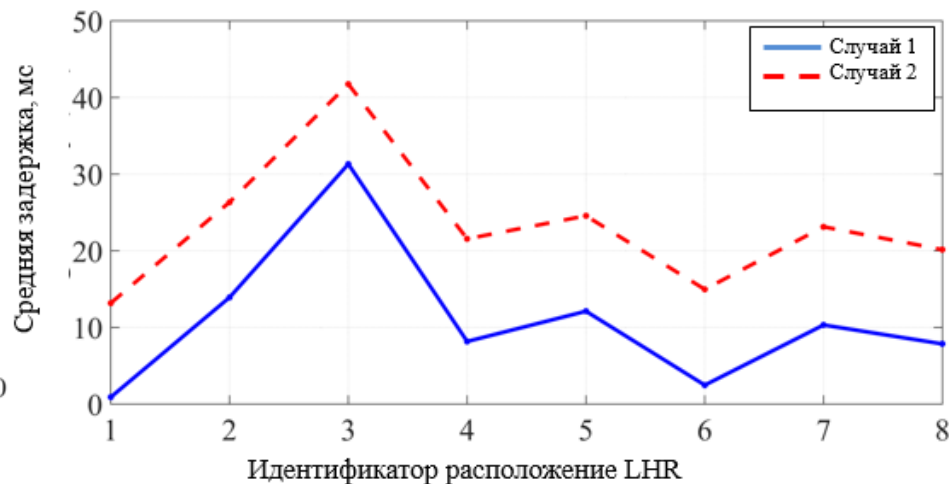
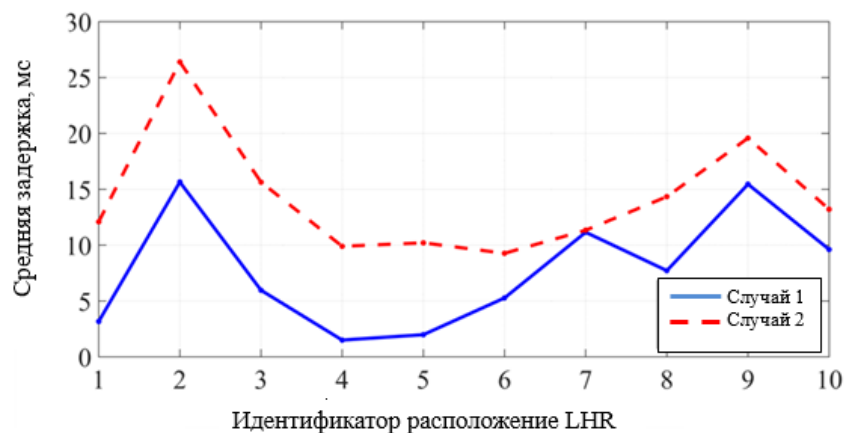
$$\frac{L_i^{GHR}}{L_i^j} \propto \frac{D_i^{GHR}}{D_i^j} \quad , \quad \text{Тогда} \quad \frac{L_i^{GHR}}{L_i^j} \propto \frac{\sqrt{\left(l_i^j - l\right)^2 + \left(h_i^j - h\right)^2}}{\sqrt{\left(l_i^j - l_j\right)^2 + \left(h_i^j - h_j\right)^2}} \quad (3)$$

Анализ результатов моделирования (1)

Для моделирования был использован пакет Matlab.

Параметр	Приложение	Значение
Скорость распространения	v	200 м/мкс
Приблизительное местоположение GHR	$\Phi_{\text{GHR}}, \lambda_{\text{GHR}}$	46.2044° N, 6.1432° E
N		10

Исходные параметры для моделирования



Средняя сетевая задержка для модифицированной (Случай 1) и традиционной (Случай 2) архитектуры системы указателей (Handle System) для всех MHR

Анализ результатов моделирования (2)

Процентное значение уменьшения сетевой задержки каждого LHR с использованием модифицированной системы регистров по сравнению с существующей системой регистров представлен в таблице

	Уменьшение сетевой задержки LHR _i , %										Среднее значение уменьшения сетевой задержки t , %
MHR _i	LHR ₁	LHR ₂	LHR ₃	LHR ₄	LHR ₅	LHR ₆	LHR ₇	LHR ₈	LHR ₉	LHR ₁₀	
MHR ₁	73,82	40,70	61,86	84,82	80,55	43,09	1,59	46,16	26,19	27,19	48,60
MHR ₂	93,17	47,18	24,97	62,11	50,68	83,48	55,38	61,04	-	-	59,75
MHR ₃	27,24	48,23	25,74	61,11	13,67	16,15	-	-	-	-	32,02
MHR ₄	61,52	66,53	54,21	33,94	-	-	-	-	-	-	54,05
MHR ₅	39,75	74,39	66,94	62,12	85,03	88,06	44,33	59,54	-	-	67,54
MHR ₆	76,98	86,87	76,96	70,36	98,75	74,97	81,23	92,70	37,43	42,62	73,89
MHR ₇	45,25	78,69	38,50	28,35	1,29	-	-	-	-	-	38,42
MHR ₈	79,57	75,66	85,57	82,75	-	-	-	-	-	-	80,89
MHR ₉	84,09	72,33	74,40	85,06	64,88	-	-	-	-	-	76,15
MHR ₁₀	76,41	95,68	76,93	88,25	-	-	-	-	-	-	84,32
Уменьшение средней сетевой задержки всех MHR											61,56%

Выводы

- Введение промежуточного уровня регистров MNR позволит снизить сетевую задержку на 60% по сравнению с существующей архитектурой АЦО.
- Предлагаемая модификация системы указателей обеспечивает более лучшие взаимодействия элементов АЦО при роуминге идентификаторов (экспорт).

- **Модель повышения производительности архитектуры цифровых объектов.**

Состояние и проблемы: По приблизительным оценкам, число устройств ИВ составляет порядка 28 миллиардов и это число с каждым годом растет. Миллиарды устройств Интернета Вещей взаимодействуют друг с другом ежедневно. Очевидно, что для обеспечения корректной и быстрой работы с огромным потоком информации от таких устройств требуется наличие надежной системы адресации и идентификации

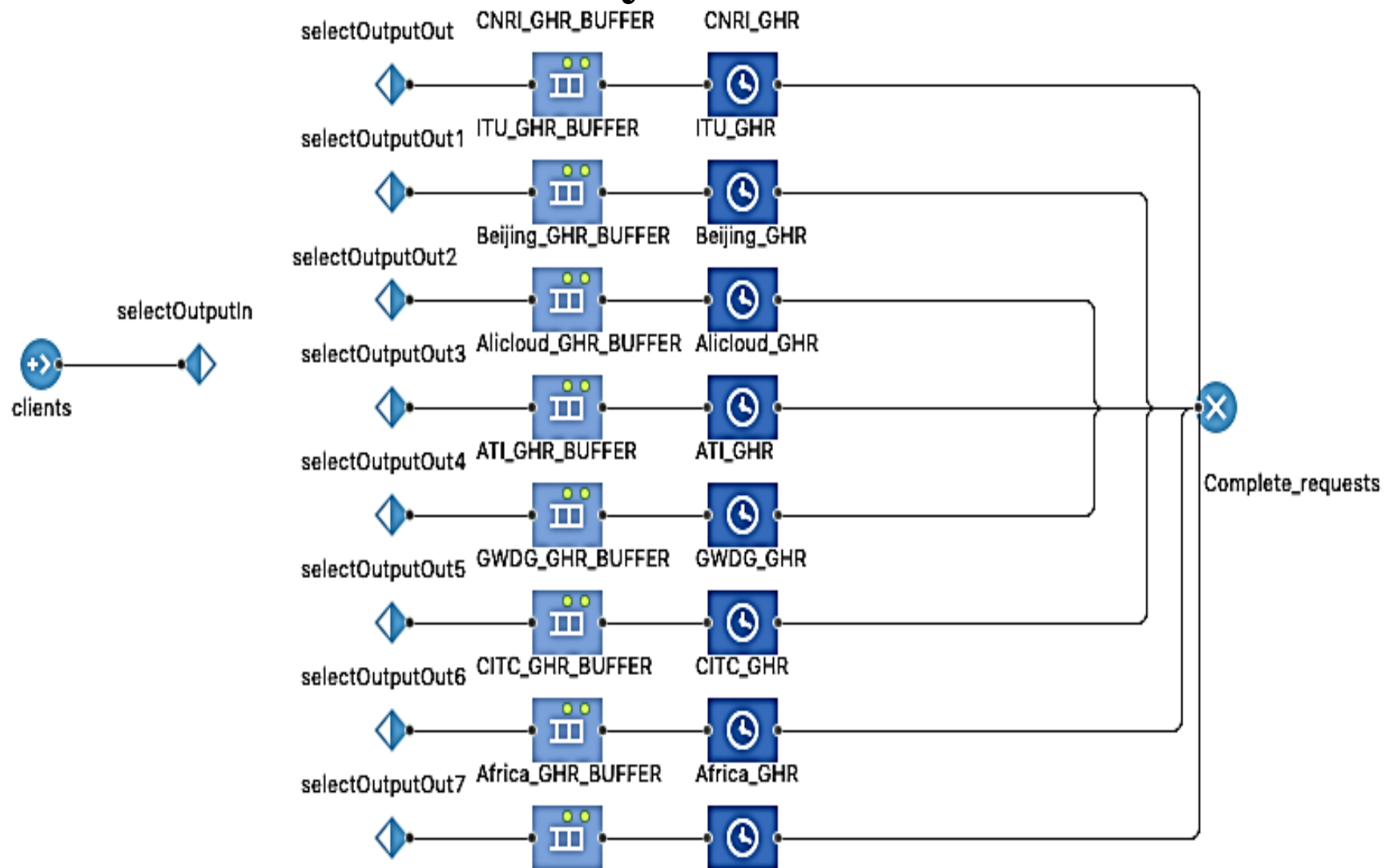
Научная новизна: Разработана модель обслуживания заявок на сервере GHR, отличающаяся от известных тем, что для представления этого процесса используется система массового обслуживания типа $M/M/n/m$. Это позволяет оценить производительность системы с произвольным распределением входных и выходных потоков и временем обслуживания на GHR и тем самым увеличить производительность (обслуживание заявок) в 15 раз при максимальной интенсивности нагрузки.

Теоретическая значимость: Предложенный подход учитывает особенности поступления заявок на сервер GHR.

Практическая значимость: Разработанная математическая модель позволяет оценить производительность системы с произвольным распределением входных и выходных потоков и временем обслуживания при описании процессов в АЦО;

Пункты паспорта специальности: п.14 паспорта специальности.

Система указателей идентификаторов как система массового обслуживания



Модель процесса разрешения идентификатора

Модель системы для модифицированной системы управления

Среднее время ожидания T_j реестра M_j равно сумме времени в очереди и времени обработки, и может быть вычислено при помощи формулы Эрланга С, которая является функцией частоты поступления λ_j и частоты обслуживания μ .

$$T_{\text{GHR}}(\lambda) = \frac{f\left(s, \frac{\lambda_G}{\mu}\right)}{s\mu_G - \lambda_G} + \frac{1}{\mu}$$

Функция $f(s, \lambda/\mu)$ определяет вероятность того, что все серверы в системе используются и любая из поступивших заявок попадёт в очередь

$$f\left(s, \frac{\lambda}{\mu}\right) = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{1-\gamma}\right) \left(\frac{s!}{(s\gamma)^c}\right) \sum_{k=0}^{s-1} \frac{(s\gamma)^k}{k!}}$$

$$\gamma = \frac{\lambda_G}{s \cdot \mu}$$

Функция γ показывает использование системы, что отражает также её стабильность. Система стабильно распределена только если показатель использования системы γ меньше единицы;

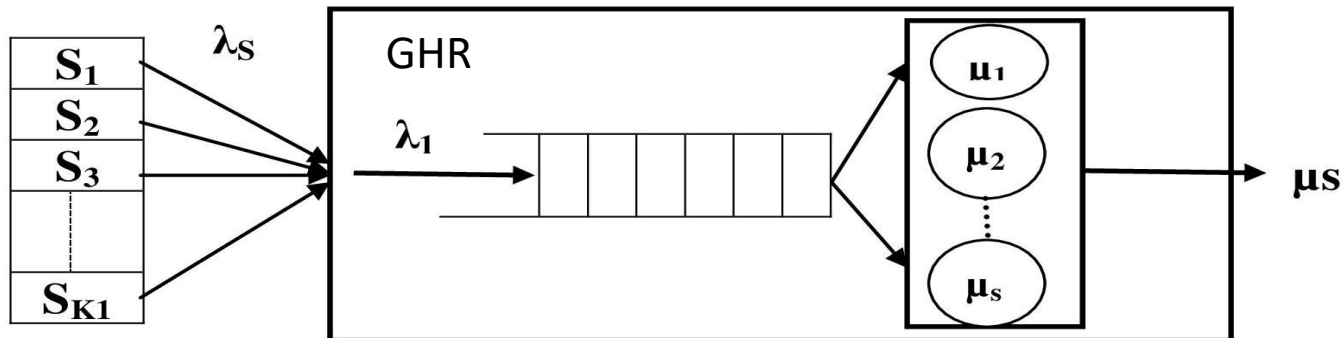
В случае, когда число заявок в очереди больше, чем на сервере контроллера, обработка будет происходить с той же частотой μ , при этом контроллер будет предельно заполнен.

Представление обработки запросов на GHR сервере в виде СМО

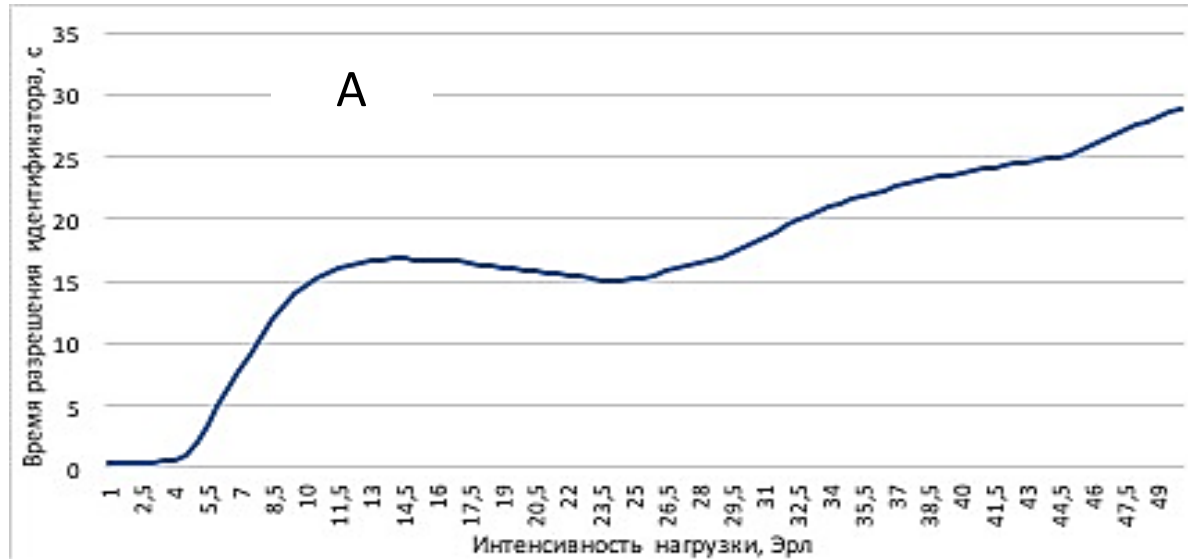
Средняя нагрузка на сервер M_j рассчитывается как среднее число поступивших и обработанных запросов.

При помощи формулы Эрланга С рассчитывается средняя нагрузка L_j на реестрах

$$L_{\text{GHR}}(\lambda) = s\gamma + \frac{\gamma}{1-\gamma} f\left(s, \frac{\lambda_{\text{GHR}}}{\mu}\right)$$

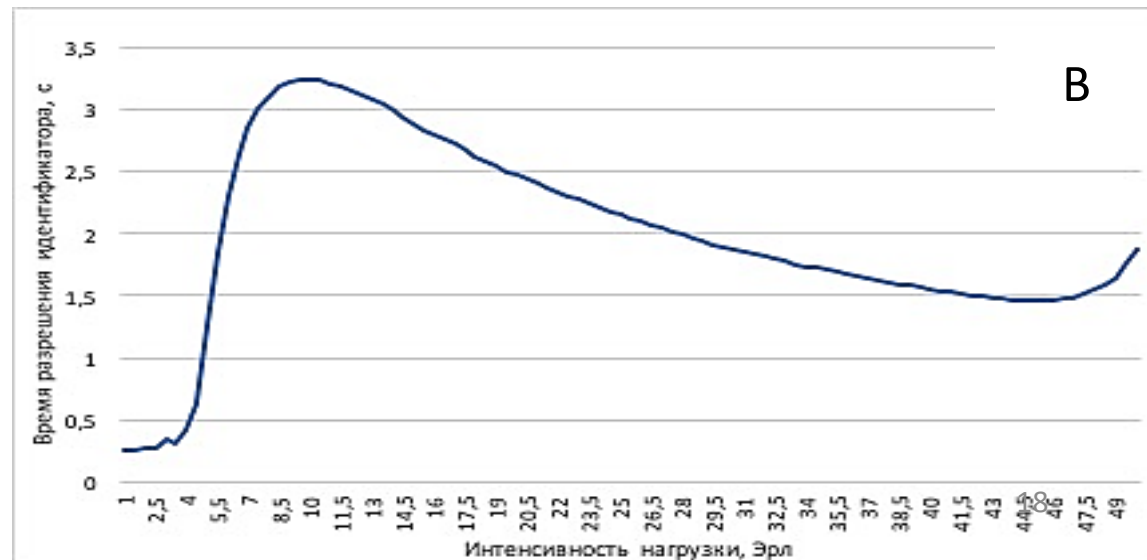


Зависимость времени разрешения запроса от интенсивности нагрузки



Зависимость среднего времени разрешения идентификатора от интенсивности поступающих запросов при текущей конфигурации системы

Время разрешения запроса от интенсивности нагрузки при оптимальной конфигурации



Выводы

- Текущая инфраструктура системы указателей требует дальнейшего масштабирования и распределения для того, чтобы быть способной справляться с обработкой большого количества запросов и минимизировать время разрешения идентификаторов.
- Число устройств Интернета Вещей по текущим оценкам достигает 28 миллиардов, соответственно, интенсивность запросов в системе указателей при этом может быть очень большим.
- Предложенная модель конфигурации серверов GNR позволяет увеличить производительность (обслуживание заявок) в 15 раз при максимальной интенсивности нагрузки.

Метод идентификации устройств и приложений интернета вещей в гетерогенных сетях связи на базе архитектуры цифровых объектов.

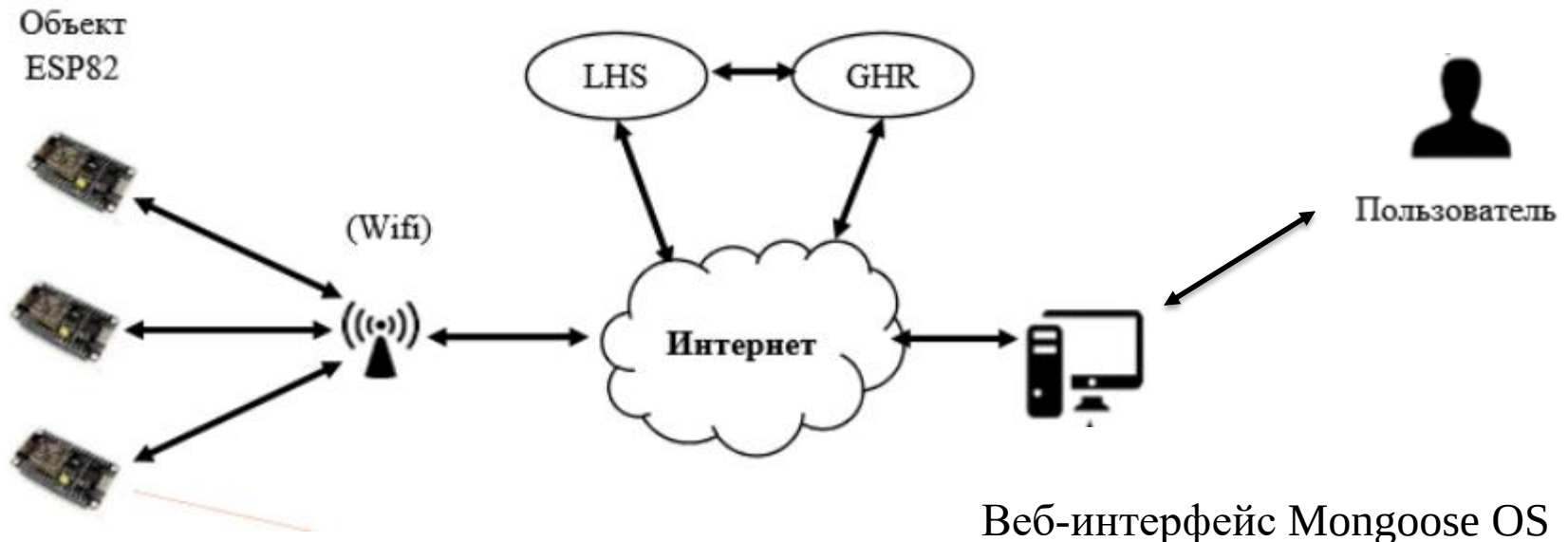
Состояние и проблемы: Современные механизмы для идентификации и предполагаемое огромное число устройств интернета вещей, подключенных к Интернету, показывают, что можно создать эффективную схему присвоения уникальных идентификаторов только для очень малого количества устройств. Кроме того, эти методы не поддерживают динамические устройства, постоянно появляющиеся и исчезающие из сети и перемещающиеся между различными публичными и закрытыми сетями.

Научная новизна: Предложен метод идентификации устройств и приложений Интернета вещей на базе архитектуры цифровых объектов, отличающаяся от известных тем, что для идентификации устройств и приложений интернета вещей предложено использовать архитектуру цифровых объектов, что позволяет интегрировать все уникальные параметры устройств, существующие идентификаторы и другие метаданные.

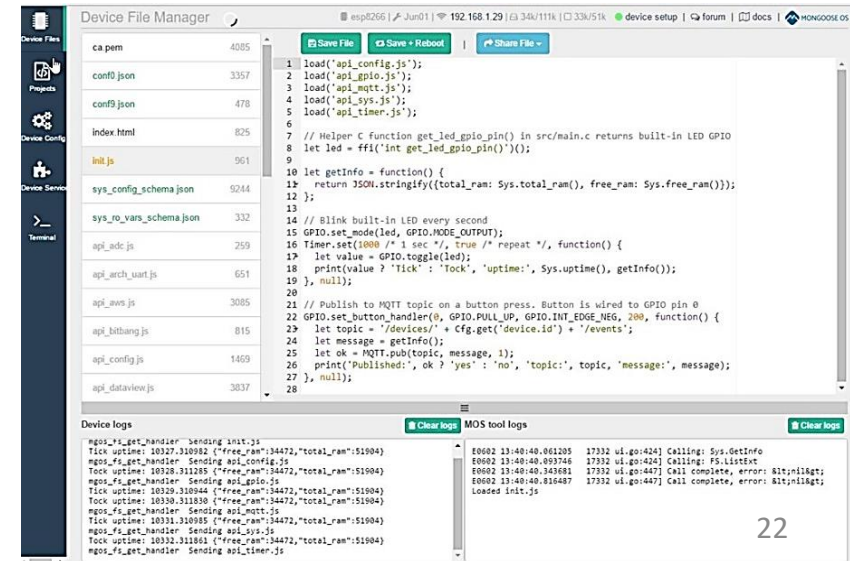
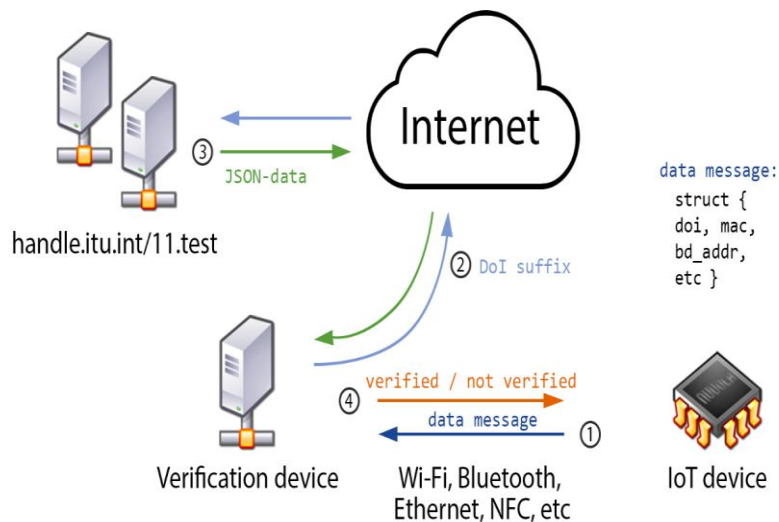
Теоретическая значимость: Предложенный метод идентификации устройств на базе архитектуры цифровых объектов позволяет учитывать все существующие идентификаторы и использовать как для проводных, так и беспроводных технологий передачи данных.

Практическая значимость: предлагаемая система идентификации исключает подмену идентификатора ввиду использования двухуровневого резолвинга на базе распределенных реестров.

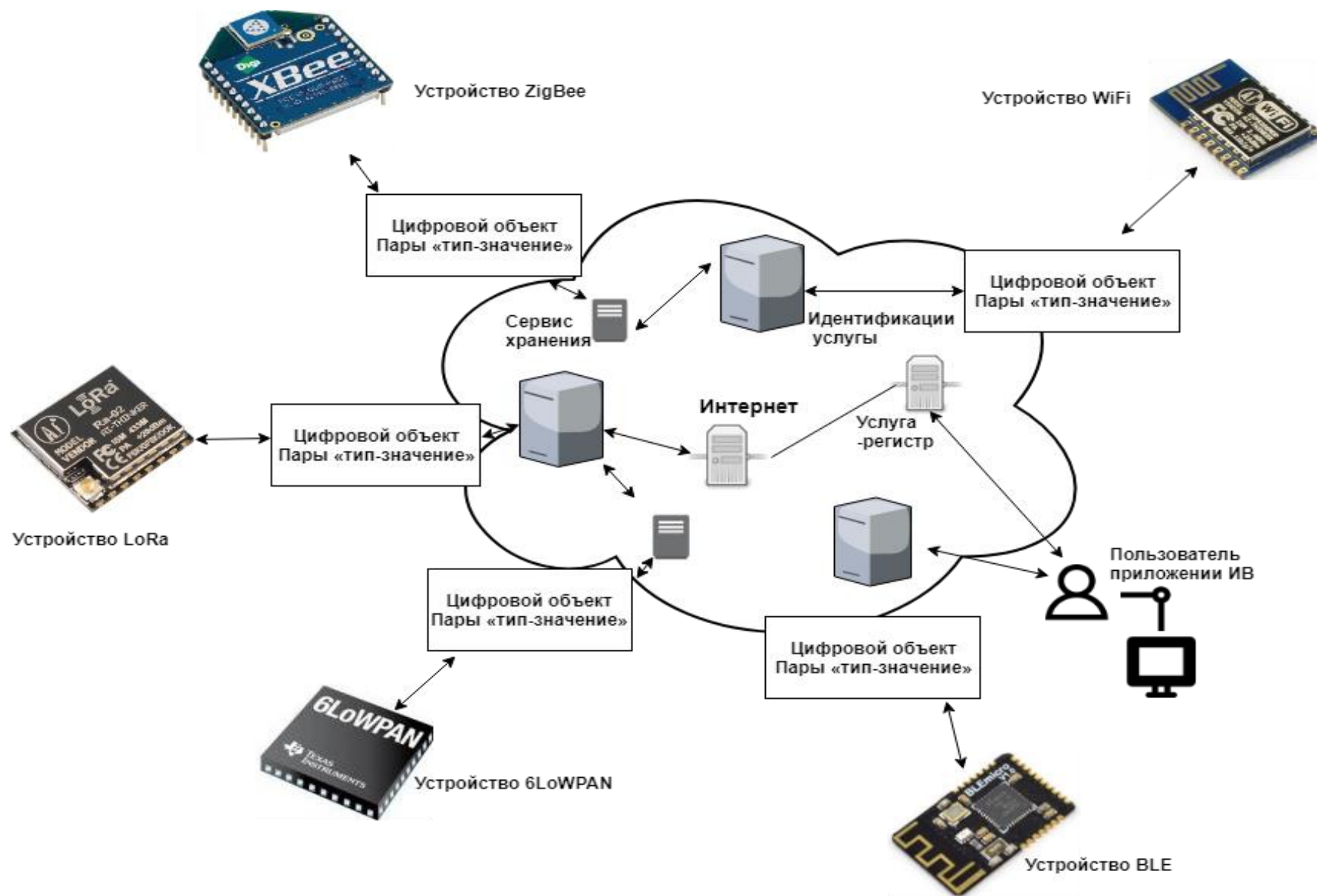
Модельная сеть для проведения натурных экспериментов



Веб-интерфейс Mongoose OS

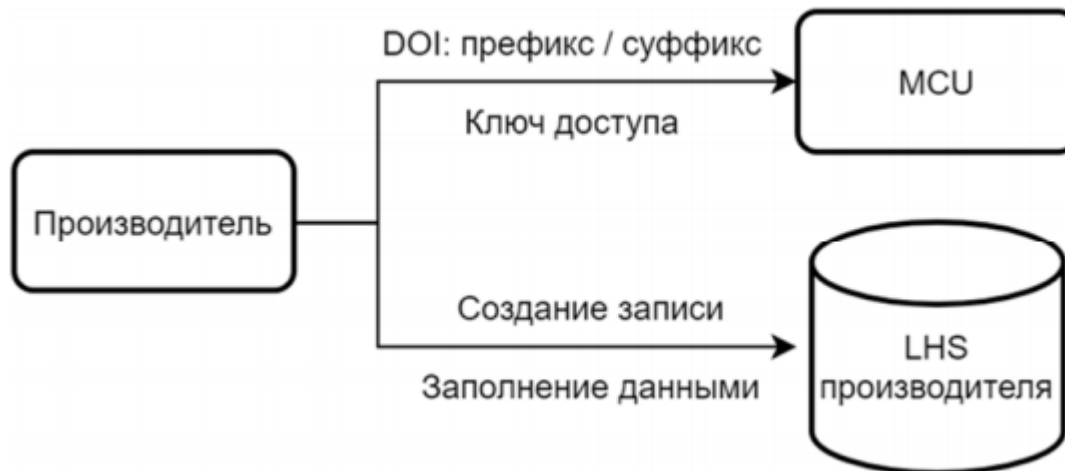
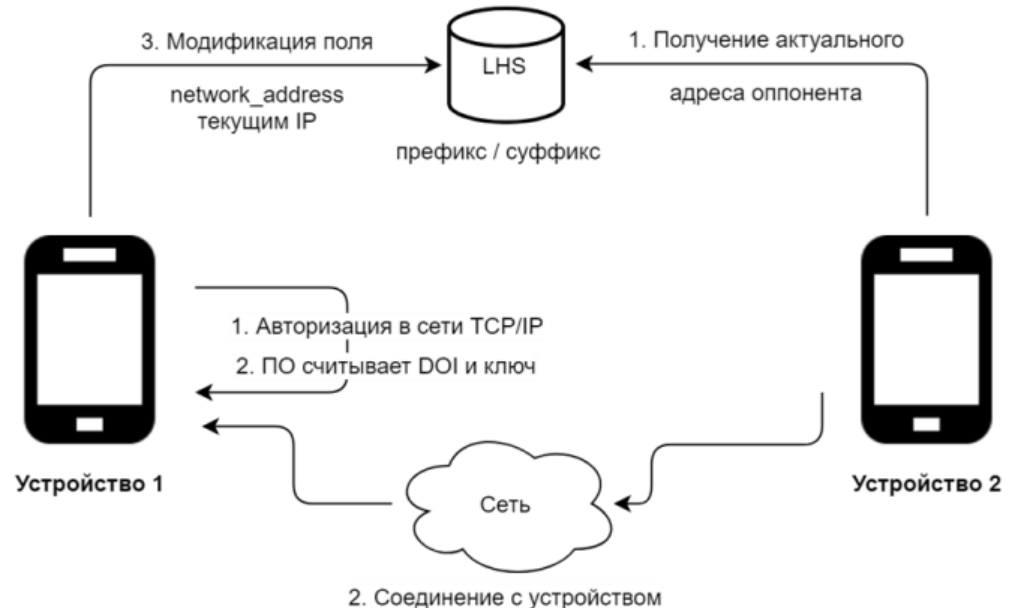


Процесс создания цифрового объекта и присвоения атрибутов



Взаимодействие устройств интернета вещей с архитектурой цифровых объектов

Реализация полей цифрового объекта для хранения сетевого адреса устройства



Внесение базовой информации в устройство на микроконтроллере на этапе производства

Спасибо за внимание!