**Ануфриенко Александр Юрьевич. Исследование протоколов для беспроводных IoT устройств и методов обработки информации;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»], 2021**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Национальный исследовательский университет**

**«Высшая школа экономики»**

**На правах рукописи**

**Ануфриенко Александр Юрьевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛОВ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ IoT УСТРОЙСТВ И**

**МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

**Специальность 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства**

**телевидения**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научный руководитель: доктор технических наук, доцент Кучерявый Евгений Андреевич**

**Москва - 2022**

**2**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ 4**

**1. Анализ методов обработки информации в системах Интернета вещей 11**

**1.1 Обзор систем Интернета вещей 11**

**1.2. Анализ архитектур и проблем систем Интернета вещей 15**

**1.3 Анализ методов сокращения объемов, передаваемых данных в системах**

**Интернета вещей 25**

**1.4 Цели и задачи диссертационного исследования 38**

**1.5 Выводы к Главе 1 39**

**2. Разработка метода обработки информации на конечных устройствах, для**

**снижения объемов данных передаваемых и хранимых в системах Интернета вещей 41**

**2.1 Модель системы Интернета вещей 41**

**2.2 Анализ подходов корреляционной обработки сигналов 43**

**2.3 Разработка метода и алгоритма корреляционной обработки для конечного**

**устройства 51**

**2.4 Выводы к Главе 2 69**

**3. Исследование способов улучшения параметров корреляционного метода**

**обработки информации на конечном устройстве 71**

**3.1 Исследование характеристик корреляционного метода в зависимости от**

**параметров импульсной характеристики 71**

**3.2 Исследование влияния разрядности и длины импульсной характеристики на**

**требуемые аппаратные ресурсы 74**

**3**

**3.3 Исследование способов улучшения параметров корреляционного метода**

**обработки на конечном устройстве как части системы Интернета вещей 85**

**3.4 Выводы к Главе 3 97**

**4. Реализация обработки данных на конечном устройстве 100**

**4.1 Структура коррелятора 101**

**4.2 Параметры коррелятора 104**

**4.3 Реализация коррелятора 108**

**4.5 Выводы к Главе 4 119**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 120**

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 122**

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 124**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1 136**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**137**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, будут полезны при исследовании и реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов для конечных и промежуточных IoT-устройств различного назначения. В диссертационной работе решены следующие задачи:

* разработан метод обработки информации на конечных устройствах Интернета вещей, для снижения объемов данных передаваемых и хранимых в IoT-системах;
* разработана методика оценки характеристик метода обработки информации на конечных устройствах;
* исследованы способы улучшения параметров метода обработки информации на конечных устройствах, включая быстродействие (максимальная тактовая частота, задержка обработки данных). В рамках подхода была предложена архитектура конечного устройства, включающая процессорный модуль.

- исследовано влияние параметров метода обработки информации, включая порядок фильтра, разрядность входного потока, на требуемые аппаратные ресурсы; при увеличении порядка фильтра N в 2 раза (с N = 4 до N = 8), количество требуемых ресурсов увеличивается в 3,25 раза. А при увеличении N в 8 раз - в 14,3 раза. Максимальная тактовая частота *Fmах* (быстродействие системы) достигается при минимизации разрядности системы (8-бит) и минимизации порядка фильтра N (4-8). Причем данный факт можно использовать не для снижения динамического диапазона (диапазона входных данных), а для целенаправленного сужения рабочего диапазона вокруг среднего значения *х* последовательности входных данных.

* при проектировании IoT-системы целесообразно правильно определять баланс между требуемой точностью и потребностями в аппаратных ресурсах, нет необходимости стремиться увеличивать порядок фильтра N для повышения

точности.

**121**

* проведена оценка сокращения объема передаваемых данных для разработанного метода, достигающая 20-40%, в сравнении с другими методами, в частности прямым методом (bypass) и простым пороговым методом, при заданных начальных условиях. Методы, использующие для обработки промежуточные устройства (двойного предсказания и другие), в силу ограничений, не обеспечивают возможности работы с высокоскоростными потоками данных. Аналитически показано преимущество предлагаемого метода в сравнении с методом двойного предсказания в части задержки обработки данных.
* показано, что наилучший эффект по снижению объемов передаваемых данных будет достигаться при использовании комбинации корреляционной обработки на конечном устройстве и использовании пропиетарного протокола для IoT, позволяющего минимизировать объем служебных данных в передаваемом пакете.
* получено выражение для оценки границ работоспособности метода в зависимости от скорости входного потока, пропускной способности канала связи модем-гейт и разрядности входного потока данных.
* проведена оценка задержки обработки данных с учетом модели IoT-системы для корреляционного метода и метода двойного предсказания. При прочих равных задержка для корреляционного метода будет ниже за счет отсутствия обратной связи и необходимости реализации сложной обработки на уровне гейтов.
* реализация системы обработки информации на основе предлагаемого метода, на конечном устройстве позволяет для анализа высокоскоростных потоков данных использовать ресурсы сравнительно маломощных IoT-систем, построенных, например, на базе NB-IoT или BT (BT Low Energy), без замены сетевой инфраструктуры.