

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Федоров А.А., Полторак А.В., Трохаченкова Н.Н.

МИРЭА - Российский технологический университет, 119454, Россия, г. Москва, проспект Вернадского, 78, e-mail: leksgo1997@mail.ru, alpo11@yandex.ru, trohachenkova@mail.ru

Рассмотрена концепция систем промышленного Интернета Вещей. Отмечена актуальность исследований автоматизации выбора устройств, образующих архитектуру системы промышленного Интернета Вещей. Построена математическая модель системы промышленного Интернета Вещей для задачи оптимального набора устройств.

Ключевые слова: системы промышленного Интернета Вещей, ПоТ, Интернет-вещей, IoT, датчик.

DETERMINING THE OPTIMAL SET OF DEVICES FOR THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

Fedorov A.A., Poltorak A.V., Trohachenkova N.N.

MIREA - Russian Technological University, 119454, Moscow, 78 Vernadskogo Avenue, Russia, e-mail: leksgo1997@mail.ru, alpo11@yandex.ru, trohachenkova@mail.ru

The concept of industrial Internet of Things systems is considered. The relevance of research into the automation of the selection of devices that form the architecture of the industrial Internet of Things system is noted. A mathematical model of the industrial Internet of Things system for the problem of an optimal set of devices has been built.

Keywords: industrial Internet of Things systems, PoT, Internet of things, IoT, sensor.

Введение

Современные средства обработки данных становятся доступными и обладают большей вычислительной мощностью, пропускная способность сетей растет, а датчики интернета вещей уменьшаются в размерах, стоимости и увеличивают точность и скорость обработки данных. Всё это создает предпосылки к широкому внедрению систем Промышленного Интернета вещей (Industrial Internet of Things (IIoT)). Системы промышленного интернета вещей (ПОТ-системы) образуют специализированные компьютеризированные индустриальные сети, лежащие в основе цифровой трансформации бизнеса.

Промышленный Интернет вещей — это подкатегория Интернета вещей, включающая приложения, ориентированные на потребителя (носимые устройства, технологии «умного дома»). Отличительной чертой обеих концепций являются устройства со встроенными датчиками, станки и инфраструктура, которые передают данные через Интернет и управляются с помощью программного обеспечения [1].

Технология ПоТ состоит из подключенного к Интернету оборудования и платформ расширенной аналитики, выполняющих обработку данных, получаемых от подключенных устройств: от различных датчиков до сложных промышленных роботов. Технологии ПоТ имеют большой потенциал использования в самых различных отраслях, включая сельское хозяйство, здравоохранение, финансовые услуги, розничную торговлю и рекламу.

Для более полного раскрытия всего объема потенциала ПоТ-систем необходимо решить такие задачи, как снижение сложности внедрения и использования компьютеризированных промышленных систем, обеспечить безопасность и устранить сложности связи устройств Интернет-вещей в гетерогенных вычислительных средах.

Актуальным направлением исследований является автоматизация выбора устройств, образующих архитектуру системы ПоТ на основе формализованных проектных описания (спецификаций) с учётом требований заказчика.

Концепция промышленного Интернета Вещей

Основная часть Интернета Вещей (Internet of Things, IoT) - встроенная электромеханическая система, предназначенная для выполнения определенной функции, представляющая собой комбинацию аппаратного и программного обеспечения (рис. 1).

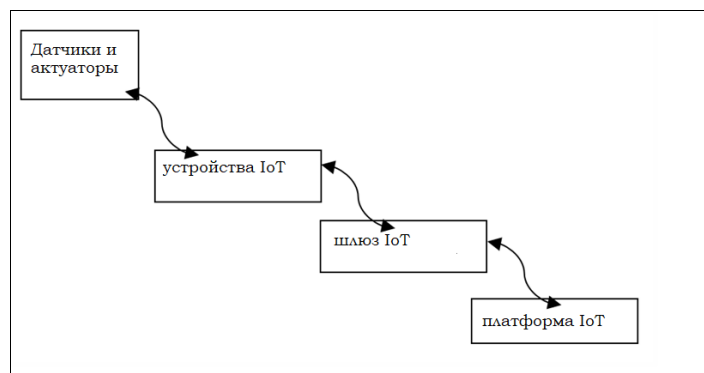


Рис. 1. Структура Интернета Вещей

В основе Интернета вещей лежат средства: идентификации, измерения, передачи данных, обработки данных, исполнительные устройства. Датчики (рис. 2) распознают изменения, т.е. принимают входные данные, могут находиться в различных устройствах и работать в разных областях [2].

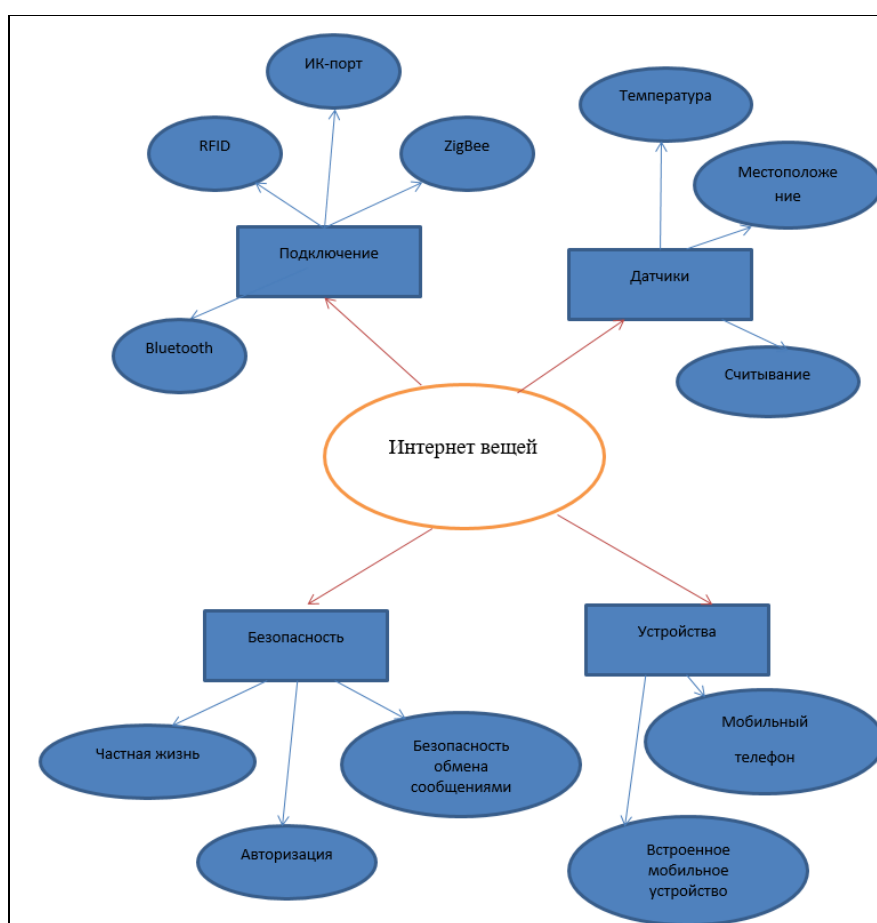


Рис. 2. Устройство Интернета-вещей

Шлюз IoT выполняет различные функции, такие как: обработка и фильтрация данных, обеспечение безопасности, возможности подключения к устройствам, обновление и многое другое. Он не только выполняет вышеупомянутые важные функции, но также работает как платформа для прикладной ПК-программы, которая обрабатывает данные и становится интеллектуальной системой устройства. Каждое из устройств использует различные протоколы, такие как: MQTT, стандарт ZigBee, 6LoWPAN, CoApp и другие.

Каждый из этих протоколов связан с разными средами управления и имеет разные модели безопасности и управления. Чаще всего в IoT используется MQTT – небольшой по размеру общедоступный протокол для обмена сообщениями с функцией публикации и подписки, разработанный компанией IBM. Это модель «клиент/сервер», где «клиент» — это датчик, который подключен к серверу, через TCP.

Иными словами, функцию шлюза IoT можно обозначить как сбор данных с датчика, перевод между протоколами датчиков, обработка данных датчика перед отправкой и прочее.

Платформа IoT заполняет промежуток между сетями передачи данных и датчиками устройства. В последнее время многие платформы IoT с различными корпоративными предложениями расширяют возможности подключения устройств как в частном, так и в общественном облаке. Для успешного функционирования IoT оперативная совместимость между устройствами должна быть отказоустойчивой, платформа и оболочки, построенные на ее основе, должны быть надежными.

Промышленный Интернет Вещей является ключевой технологией Интернета-вещей, объединяющей в единую систему компьютерные сети и подключенные к ним промышленные (производственные) объекты со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными и возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме.

Архитектура промышленного Интернета Вещей представлена на рис. 3.

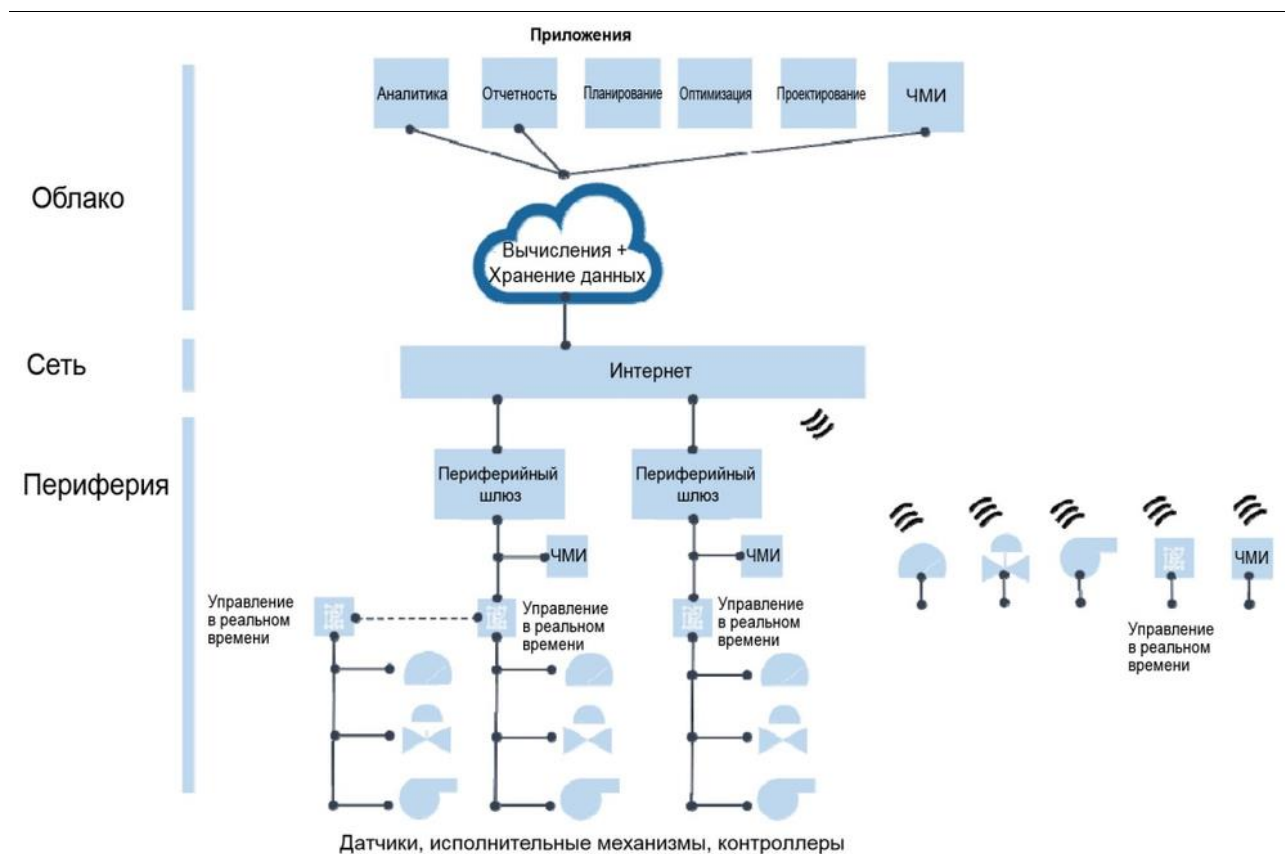


Рис. 3 – Архитектура промышленного IoT [3]

Жесткое подключение устройств или оборудования IoT к Интернету имеет свои преимущества: надежное подключение, большой радиус действия, а иногда и более высокие скорости. Есть огромное количество вариантов подключения, когда аппаратное подключение невозможно, предпочтительны портативные устройства или беспроводные подключения. В беспроводной технологии передача данных осуществляется и доставляется по воздуху с помощью электромагнитных волн, например, радиочастот, инфракрасного излучения и спутников, а не по кабелям и проводам. При выборе правильного типа решения для подключения следует учитывать диапазон, энергопотребление и приложения.

Пограничные устройства позволяют нам собирать данные, чтобы принимать более разумные решения. Это самые передовые устройства любой системы Интернета вещей. В основном они работают либо как сенсорное устройство для сбора информации о физической среде, либо как исполнительный механизм для управления внешним миром с помощью выходных данных. В некоторых случаях периферийные устройства выполняют двойную роль, действуя как сенсорное и исполнительное устройство для сбора и управления физической средой.

Датчики: температуры, влажности, давления, газа, света, звука, RFID, NFC, ультразвука, расходомера, жидкости, камеры и т. д.

Приводы: переключатели, реле, ПЛК, двигатели и т. д.

Все данные, которые собираются с оборудования и устройств, должны где-то храниться. Данные безопасно передаются на шлюз с помощью ПЛК, которые организуют данные, и сетевых коммутаторов, которые подключают оборудование по всему объекту. Для этого процесса передачи используется один из нескольких доступных протоколов: I / O Link, ModBus, Ethernet, SmartBUS, CAN (EU).

Устройство шлюза Промышленного Интернета вещей устраняет разрыв связи между пограничными системами, такими как устройства Интернета вещей, датчики, оборудование, системы и облако. Шлюзы выполняют такие функции, как трансляция протоколов, обработка / хранение / фильтрация данных и безопасность устройств, а также возможность автономного управления полевыми устройствами на основе данных, вводимых датчиками.

Облако - комбинация промежуточного программного обеспечения и программных сервисов, предлагаемых для выполнения сложных вычислений, обработки и аналитики, а также для предоставления хранилища, сети баз данных и многого другого через Интернет.

Датчики и устройства собирают данные и выполняют действия, но обработка обычно происходит в облаке. Cloud for IoT - это набор полностью управляемых и интегрированных сервисов, которые позволяют легко и безопасно подключать, управлять и принимать данные IoT с глобально рассредоточенных устройств посредством крупномасштабного процесса, анализировать / визуализировать эти данные в режиме реального времени, вносить операционные изменения и предпринять необходимые действия.

Типы облачных сервисов:

- Инфраструктура как услуга (IaaS);
- Платформа как услуга (PaaS);
- Программное обеспечение как услуга (SaaS).

Некоторые из популярных решений облачной платформы Промышленного Интернета вещей включают Artik Cloud, Autodesk Fusion Connect, AWS IOT, GE Predix, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT Suite, IBM Watson IoT, ThingWorx, Intel IoT Platform, Salesforce IoT Cloud, Telit DeviceWise, Zebra Zatar. Cloud, macchina.io, ThingSpeak и Particle Cloud.

Теперь, когда все данные собираются, передаются и хранятся в облаке, можно использовать программное обеспечение для управления ими, анализа и действий с ними. Триггеры могут быть такими простыми, как отправка предупреждений при достижении пороговых значений, или такими сложными, как изменение основных или подсистемных инструкций, задач или процессов на основе нескольких точек данных. Действия могут быть ручными или автоматизированными, которые помогают повысить эффективность и производительность или помогают избежать простоев или поломок оборудования.

Преимущество IoT - анализ данных в реальном времени и реакции, которые могут запускаться практически без участия человека. Автоматизированные системы, использующие алгоритмы машинного обучения, позволяют оборудованию принимать децентрализованные решения, которые помогают вам экономить деньги, время и ресурсы.

С помощью облака можно получить удаленный доступ и управлять своим оборудованием и устройствами при возникновении проблем. Это особенно полезно в ситуациях, когда оборудование находится в разных местах или, когда персонал не может безопасно получить доступ к нему.

Математическая модель системы IoT и постановка задачи оптимального набора устройств

Для разработки общей математической модели выбора оптимальной спецификации решения разных типов составлена структурная схема взаимодействия всех элементов, которые могут входить в их состав (рис. 4), общая схема привязки математических выражений и уравнений модели к функциональным элементам приведена на рис. 5. Для составления уравнений взаимодействия надо перейти от функциональных элементов к объектам с фиксированными, в определенном диапазоне времени, параметрами [4].

Для описания в виде уравнений взаимодействия представим систему IoT как систему, которая имеет N входов и M выходов, всего $N + M = P$ функциональных выводов.

При этом в отличие от обычных систем, в которых состояние на выходах зависит только от состояния на входах, есть еще зависимость состояния на выходах от набора команд программы в памяти инструкций.

При этом N и M являются переменными параметрами, в математическом виде их можно записать как выражения:

$$N_t = f(S_{Rt}, P_{Rt}) \leq P, \quad M_t = f(S_{Rt}, P_{Rt}, N_t) \leq P,$$

где N_t - число входов системы в определенный момент времени;

M_t - число выходов в определенный момент времени;

P - общее количество выводов (оборудования);

SR_i - текущие значения массива;
 PR_i - текущая инструкция системы.

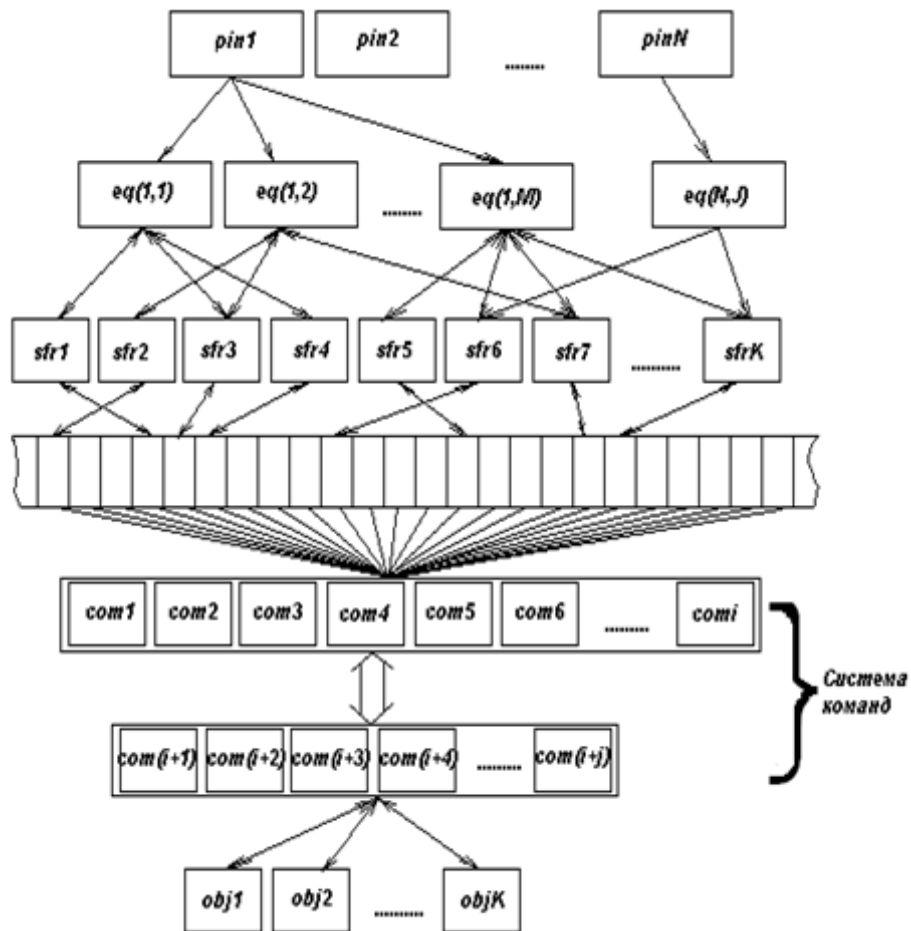


Рис. 4. Структурная схема взаимодействия всех элементов, входящих в систему

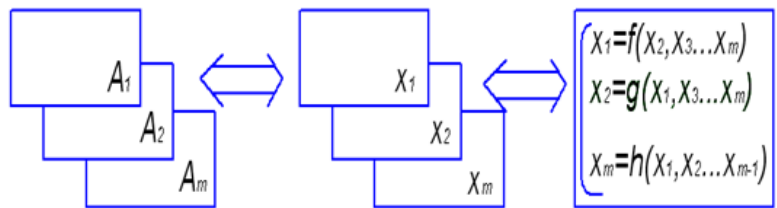


Рис. 5. Взаимодействие математических выражений и уравнений модели с функциональными элементами

Функции (2.1) и (2.2) можно описать для каждого отдельного устройства ПоТ, указав, какие состояния может принимать отдельный вывод, в зависимости от значений определенного набора регистров:

$$P_{ru} = \{\text{Только вход, только выход, двунаправленный}\}$$

где P_{ru} – возможный режим работы i-го устройства;

P_{ku} = {K_{i1}, K_{i2}, K_{i3} ... K_{iS}}, где P_{ki} - возможный набор функций i-го устройства ПоТ;

K_j (J = 1,2,3, ... S) - набор устройств подключенных к i-му выводу;

S - общее количество объединенных устройств, подключенных к i-му выводу;

P_{ri} = f(SR1, SR2, SR3 ... SRA, где P_{ri} - возможное состояние i-го вывода системы

SR_j (J = 1,2,3, ... A) - состояние битов j-го регистра, обслуживающего устройство, которые подключены к i-му выводу; A - общее количество регистров, обслуживающих устройств, которые подключены к i-му выводу.

Графически математическая модель системы проиллюстрирована на рис. 6.

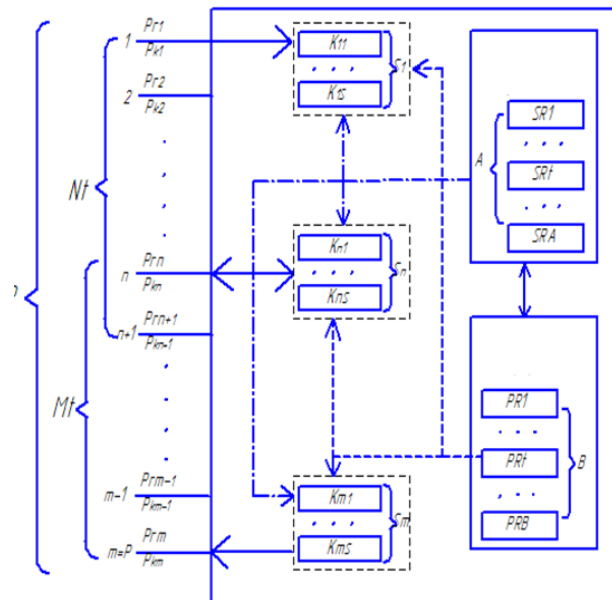


Рис. 6. Математическая модель системы IIoT

При эксплуатации систем промышленного Интернета Вещей возникает необходимость выбора оптимального набора оборудования на этапе проектирования. В соответствии с нормативными документами (ИСО/МЭК 30141:2018, ГОСТ 32144—2013), регламентирующими указанный вид работ, необходимо выполнить сведение материального и энергетического балансов как для отдельных устройств, так и систем в целом.

В общем виде систему уравнений можно свести к виду:

$$A * x = b$$

Фактические измерения \dot{x} имеют погрешность. Коэффициенты матрицы A допускают наличие погрешности ввиду неточности модели, на основании которой выполняется их расчёт.

На основании фактических измерений \dot{x} необходимо найти наиболее близкое к началу координат решение системы линейных уравнений в случае, когда значения элементов матрицы A и столбца свободных членов b заданы лишь приближённо.

Данный класс задач решается методом регуляризации [5].

Величина небаланса neb составит:

$$A * \dot{x} - b = neb$$

Чтобы минимизировать небаланс, для каждой исходной величины вводим переменную Δx , характеризующую допустимую вариацию параметра x

$$x = \dot{x} + \Delta x$$

Вводим величину y – величина остаточного небаланса системы уравнений после введения поправки Δx :

$$\begin{aligned} A * (\dot{x} + \Delta x) - b &= y \\ (A * \dot{x} - b) + A * \Delta x &= y \\ y &= neb + A\Delta x \end{aligned}$$

Наиболее распространенным методом решения этой задачи является метод наименьших квадратов (МНК). Математическая формулировка задачи:

Целевая функция оптимального выбора набора инструментов – минимум небалансов y_i при условии минимума отклонений Δx_i

$$\sum_i w_{yi}(y_i)^2 + \sum_i w_{xi}(\Delta x_i)^2 \rightarrow \min$$

При выполнении ограничений:

$$y = neb + A\Delta x$$

И заданных ограничениях на Δx и y :

$$\begin{aligned} lb_{\Delta x} &\leq \Delta x \leq ub_{\Delta x} \\ lb_y &\leq y \leq ub_y \end{aligned}$$

Данный подход хорошо зарекомендовал себя и хорошо изучен. В данной работе предлагается рассмотреть ещё один вариант решения задачи в терминах минимизации абсолютных отклонений. Для этого необходимо

ввести неотрицательные переменные y_i^+ и y_i^- . Вопрос устойчивости решения не рассматривается, а предлагается к рассмотрению конструкция, альтернативная традиционному подходу.

$$\sum_i w_{yi} * (y_i^+ + y_i^-) + \sum_j w_{xj} * (\Delta x_j^+ + \Delta x_j^-) \rightarrow \min$$

$$lb \leq (\Delta x^+ - \Delta x^-) \leq ub$$

$$lb_y \leq (y_i^+ - y_i^-) \leq ub_y$$

$$y^+ - y^- = neb + A * (\Delta x^+ - \Delta x^-)$$

$$y_i^+, y_i^-, \Delta x^+, \Delta x^- > 0$$

Сведение задачи выбора оптимального набора инструментов промышленного интернета вещей к задаче линейного программирования позволяет воспользоваться всеми возможностями конструкций смешенного целочисленного линейного программирования.

В качестве примера, определим интервал «допустимых небалансов»

Определим функцию штрафа за отклонение только в случае, когда превышен допустимый интервал (рис. 6).

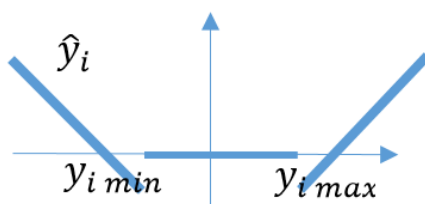


Рис. 6. Определение функции штрафа

В общем виде «параметризация» функции линейной функции от одной переменной $F(X)$ для 3-х интервалов определяется в следующем виде (рис. 7).

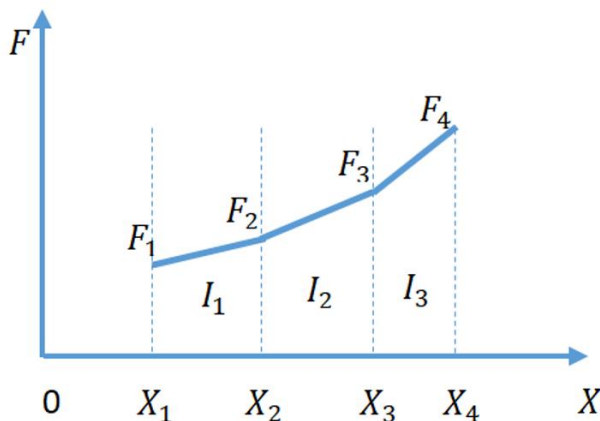


Рис. 7. Параметризация функции от переменной

Координаты точек по оси y: F_1, F_2, F_3

I_i — индексы интервалов (бинарная переменная)

$I_i = 1$ Если точка лежит внутри интервала,

0 — в противном случае.

Так как точка принадлежит одному из интервалов, то $I = \sum_1^3 I_i$

α_i — переменная, характеризующая близость точки к правой границе интервала.

$\alpha_i = 0$, если точка решения лежит на левой границе интервала и $\alpha_i = 1$ если на правой.

Если точка не принадлежит интервалу, то $\alpha_i = 0$

Математическая формулировка:

$$0 \leq \alpha_i \leq I_i$$

$$X = I_1 X_1 + \alpha_1 (X_2 - X_1) + I_2 X_2 + \alpha_2 (X_3 - X_2) + I_3 X_3 + \alpha_3 (X_4 - X_3)$$

$$F = I_1 F_1 + \alpha_1 (F_2 - F_1) + I_2 F_2 + \alpha_2 (F_3 - F_2) + I_3 F_3 + \alpha_3 (F_4 - F_3)$$

$$I = \sum_1^3 I_i$$

Возвращаясь к исходной задаче получаем:

$$X_1 = y_{min} - 1, X_2 = y_{min}, X_3 = y_{max}, X_4 = y_{max} + 1$$

$$F_1 = 1, F_2 = 0, F_3 = 0, F_4 = 1$$

$$0 \leq \alpha_i \leq I_i$$

$$Y = I_1 (y_{min} - 1) - \alpha_1 + I_2 y_{min} + \alpha_2 (y_{max} - y_{min}) + I_3 y_{max} + \alpha_3$$

$$\hat{Y}_i = I_1 - \alpha_1 + \alpha_3$$

$$I = \sum_1^3 I_i$$

Чтобы иметь возможность выходить за границы функции «справа» и «слева», необходимо изменить ограничение, например, по потреблению электроэнергии конечными устройствами IoT:

$$-1000 * I_1 \leq \alpha_1 \leq I_1, 0 \leq \alpha_2 \leq I_2, \quad 0 \leq \alpha_3 \leq 1000 * I_3$$

В результате сформирована система уравнений, позволяющая решать задачу сведения небалансов с учётом допустимых ограничений на диапазоны изменения как самих переменных, так и величин небалансов для выбора спецификации устройств IoT.

Заключение

Для ускорения проектирования систем промышленного Интернета Вещей предложена модель системы промышленного интернета Вещей, на основе которой можно построить методику оптимального набора устройств для системы промышленного интернета вещей. Далее необходимо создать спецификации решений IoT, учитывающие адаптацию соответствующих проектных моделей под конкретные виды и модели оборудования IoT. Например, с учетом потребления электроэнергии конечными устройствами IoT. Затем необходимо решить вопросы автоматизации данного процесса проектирования системы IoT, позволяющие генерировать структуры целевых систем IoT.

Список литературы

1. Marcin Bajer. IoT for Smart Buildings - Long Awaited Revolution or Lean Evolution // Conference: FiCloud 2018 The IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud At: Barcelona, Spain, Spain August 2018, DOI: 10.1109/FiCloud.2018.00029
2. Андрианова Е.Г., Головин О.Л. Концептуальные аспекты построения доверенных неоднородных блокчейн-сред нового технологического уклада // ИТ-Стандарт. - 2017. - № 3 (12). - С. 1-6.
3. Андрианова Е.Г., Сачков В.Е., Жуков Д.О. Повышение производительности обработки специальных задач с использованием модели асинхронных акторов // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. - 2020. - Т. 4. - № 1. - С. 24-31.
4. Hamirahanim Abdul Rahmana, Jinsoo Park, Jihae Suh Use of Software Agent Technology in Management Information System: A Literature Review and Classification // Asia Pacific Journal of Information Systems Vol. 29 No. 1 (March 2019), pp. 65-82, DOI: 10.14329/apjis.2019.29.1.65
5. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 442-453. DOI:10.1007/978-3-319-51917-3_39.

References

1. Marcin Bajer. IoT for Smart Buildings - Long Awaited Revolution or Lean Evolution // Conference: FiCloud 2018 The IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud At: Barcelona, Spain, Spain August 2018, DOI: 10.1109/FiCloud.2018.00029
2. Andrianova E.G., Golovin O.L. Konceptual'nye aspekty postroeniya doverennyh neodnorodnyh blokchejn-sred novogo tekhnologicheskogo uklada // IT-Standart. - 2017. - № 3 (12). - S. 1-6.
3. Andrianova E.G., Sachkov V.E., Zhukov D.O. Povyshenie proizvoditel'nosti obrabotki special'nyh zadach s

ispol'zovaniem modeli asinhronnyh aktorov // Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii. - 2020. - T. 4. - № 1. - S. 24-31.

4. Hamirahanim Abdul Rahmana, Jinsoo Park, Jihae Suh Use of Software Agent Technology in Management Information System: A Literature Review and Classification //Asia Pacific Journal of Information Systems Vol. 29 No. 1 (March 2019), pp. 65-82, DOI: 10.14329/apjis.2019.29.1.65

5. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // Communications in Computer and Information Science. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI:10.1007/978-3-319-51917-3_39.