

Интеллектуальные датчики, сети датчиков и цифровые интерфейсы

В. А. ВАСИЛЬЕВ, П. С. ЧЕРНОВ

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия, e-mail:opto@bk.ru

Проведен анализ понятий и определений интеллектуального датчика, уточнена его минимальная структура и выполняемые им функции. Дан обзор существующих стандартов, направленных на унификацию цифровых интерфейсов датчиков, упрощение создания сети датчиков, включения интеллектуального датчика в сеть, сетевого доступа к ресурсам датчика.

Ключевые слова: интеллектуальный датчик, цифровой интерфейс датчика, сеть датчиков.

The terms and definitions of smart sensor, its minimal structure and functions are examined. The review of existing standards for unification of digital sensor interfaces, simplification of sensor network creation, inclusion of smart sensor into existing network, and the network access to sensor resources is given.

Key words: smart sensor, digital sensor interface, sensor network.

Датчики физических величин становятся все более точными, быстродействующими, энергосберегающими, дешевыми, малогабаритными и интеллектуальными. В чем же заключается «интеллектуальность» датчика? Согласно стандарту [1] под интеллектуальным датчиком понимается адаптивный датчик с функцией метрологического самоконтроля. Адаптивный датчик в свою очередь должен содержать параметры и алгоритмы работы, способные изменяться в зависимости от внешних сигналов. Неотъемлемой частью интеллектуального датчика согласно [1] является возможность самообучения и самовосстановления при возникновении единичного сбоя.

В зарубежной литературе аналогом термина «интеллектуальный датчик» является термин «smart sensor», закрепившийся в середине 1980-х, и в настоящее время под ним обычно подразумевают датчик с интегрированной электроникой (аналого-цифровым преобразователем (АЦП), микропроцессором, цифровым сигнальным процессором, системой на кристалле и т. п.), а также с реализацией цифрового интерфейса и сетевых коммуникационных протоколов. Таким образом, неотъемлемой функцией интеллектуального датчика считается возможность включения его в сеть датчиков (проводную или беспроводную). Соответственно, помимо наличия функций самодиагностики и самообучения, такой датчик должен обладать функцией самоидентификации, требующейся для его однозначного опознания в сети среди других датчиков. Кроме возможности включения датчика в сеть, наличие сетевого интерфейса позволяет проводить действия по конфигурации, выбору режима работы и диагностике датчиков с удаленного рабочего места, что дает преимущества как в эксплуатации, так и в стоимости их обслуживания.

Широкое распространение получают интеллектуальные датчики, имеющие сразу несколько первичных преобразователей и осуществляющие измерение нескольких физических величин одновременно. Несколько преобразователей могут использоваться и в датчике одной величины для измерения факторов, влияющих на основную величину, последующей корректировки результата измерения встроенным микропроцессором.

На рис. 1 представлена структурная схема, иллюстрирующая минимальный набор необходимых функциональных блоков любого интеллектуального датчика согласно рассмотренным критериям. Аналоговые сигналы, поступающие с первичных преобразователей, усиливаются и преобразуются в цифровую форму. На основании этих сигналов и сохраненных в постоянном запоминающем устройстве данных калибровки микропроцессор корректирует полученные от первичного преобразователя значения измеряемой (или связанной с ней) величины и переводит их в требуемые единицы измерения. Таким образом, компенсируется погрешность, вызванная влиянием температуры, дрейфом нуля и т. п. Кроме того, микропроцессор контролирует состояние элементов первичного преобразователя и оценивает достоверность результата измерения. Обработанная цифровая

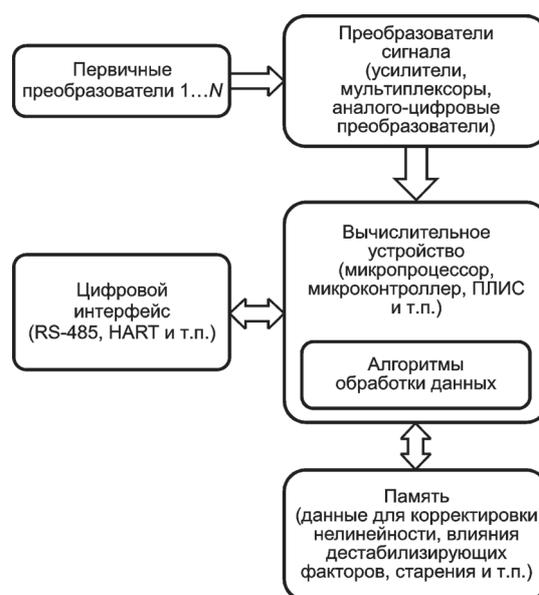


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального датчика



Рис. 2. Включение интеллектуального датчика в сеть согласно [2]

информация передается посредством цифрового интерфейса и реализованных коммуникационных протоколов пользователя, который, в свою очередь, имеет возможность настраивать параметры датчика (пределы измерения и т. п.) и запрашивать дополнительную информацию о состоянии датчика и результатах измерений.

Развитие технологий микроэлектроники и использование нано- и микроэлектромеханических систем (НимЭМС) в качестве первичных преобразователей многих типов датчиков позволили уменьшить их размеры и объединить схемы аналоговой обработки сигналов, АЦП и даже логические интегральные схемы на одном кристалле.

Широкое распространение получают так называемые «системы на кристалле», представляющие собой интегральную схему, содержащую помимо микроконтроллера также встроенную память и множество периферийных устройств, среди которых могут быть прецизионные АЦП и цифроаналоговые преобразователи, таймеры, контроллеры последовательного порта, USB и Ethernet. Примерами могут служить микросхемы AT91RM9200 производства Atmel, ADuC8xx фирмы Analog Devices, MSC12xx компании Texas Instruments.

Стоимость интеллектуальных датчиков продолжает уменьшаться, что связано с массовым серийным производством НимЭМС и «систем на кристалле», совершенствованием смежных технологий, таких как производство элементов памяти, радиопередатчиков, элементов питания, и все возрастающим потребительским спросом. В настоящее время относительно недорогие портативные устройства, такие как телефон или планшет, содержат сразу несколько интеллектуальных датчиков, среди которых акселерометр, гироскоп, датчик освещенности, компас. Производимые сегодня автомобили включают в себя десятки датчиков, что в свою очередь требует объединения их в сеть.

Однако следует отметить, что не во всех случаях целесообразно интегрировать электронику с чувствительными элементами датчиков на одном кристалле. Многие датчики физических величин (например, датчик давления для ракетной и авиационной техники) работают в жестких условиях окружающей среды при воздействии множества дестаби-

лизирующих факторов, таких как температура, вибрация, ускорения и др. В связи с этим снижается устойчивость функционирования электрических схем и требуется дополнительная изоляция функциональных узлов интеллектуального датчика. Более сложная конструкция и наличие нескольких функциональных элементов может привести к увеличению себестоимости датчика при уменьшении его надежности.

Для управления сложными технологическими процессами с динамично изменяющимся состоянием широкое распространение получают распределенные сети датчиков, открывающие новые возможности мониторинга и контроля параметров в режиме реального времени.

Значительным препятствием в развитии проводных и беспроводных сетей интеллектуальных датчиков является отсутствие единого сетевого стандарта. В настоящее время широко используются десятки типов различных интерфейсов (RS-485, HART, USB, 4—20 мА, IEEE-488) и промышленных сетей (Profibus, Fieldbus, DeviceNet, Interbus, CANbus, Modbus, LIN). В сложившейся ситуации перед производителями датчиков возникает непростой выбор типа цифрового интерфейса и коммуникационного протокола, поскольку производство однотипных интеллектуальных датчиков для каждой из популярных в настоящее время сетей экономически невыгодно. С появлением группы стандартов [2] ситуация стала меняться в лучшую сторону благодаря унификации интерфейса между интеллектуальным датчиком и сетью. Эти стандарты, призванные ускорить процесс перехода с использования отдельных датчиков на применение сетей датчиков, делится на несколько подгрупп, определяющих аппаратные и программные методы включения интеллектуального датчика в сеть.

В [2] описаны два класса устройств: STIM и NCAP (рис. 2). Стандарт IEEE 1451.1 определяет единый интерфейс для подключаемых к сети интеллектуальных датчиков и содержит спецификации модуля NCAP, представляющего собой мост между внешней сетью и модулем STIM интеллектуального датчика.

В стандарте IEEE 1451.2 определен цифровой интерфейс для подключения модуля интеллектуального преобразователя (STIM) к сетевому адаптеру. Кроме того, там же вводится концепция TEDS — электронный паспорт датчика или электронная спецификация датчика, обеспечивающая самоидентификацию устройства в сети. Паспорт TEDS получил широкое распространение и содержит такие данные, как код модели, серийный номер, дата выпуска, калибровочные данные, единицы измерения, дата калибровки. Спецификация TEDS позволяет реализовать автоматическое конфигурирование датчика, аналогичное технологии Plug and Play, используемой для идентификации и самонастройки устройств персонального компьютера. При этом отпадает необходимость создания и поддержки базы данных с информацией о каждом датчике, что облегчает их эксплуатацию и замену.

Все большее число производителей измерительных преобразователей переходят на производство датчиков, поддерживающих стандарты [2], среди которых PCB Piezotronics, Esensors Inc. и др.

Одна из основных целей объединения датчиков в сеть — доступ к предоставляемой ими информации через программное обеспечение пользовательского уровня (приложения), не привязанного к конкретным типам датчиков и способам

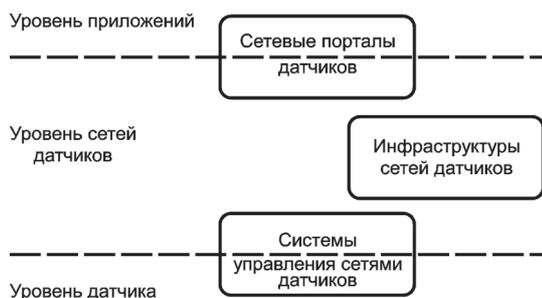


Рис. 3. Абстрактные уровни интеллектуальных измерительных систем

организации сети [3]. Следовательно, сеть датчиков можно рассматривать как промежуточный уровень между самими датчиками и решаемыми при их помощи прикладными задачами. Можно выделить три абстрактных уровня интеллектуальных измерительных систем (рис. 3). Уровень датчика подразумевает физическое устройство датчика и реализацию коммуникационных протоколов (RS-485, HART, IEEE 1451). Уровень сети датчиков является промежуточным звеном между ресурсами, предоставляемыми датчиками, и решаемыми при их использовании прикладными задачами. Уровень приложений предполагает непосредственное взаимодействие с пользователями. Его программное обеспечение не привязано к цифровому интерфейсу самих датчиков, протоколам внутрисетевого взаимодействия и может выполняться на различных аппаратных и программных платформах. Представленные уровни также могут делиться на различные подуровни в зависимости от конкретной реализации входящих в их состав подсистем.

На нижнем уровне представленной иерархии (см. рис. 3) находятся системы управления сетями датчиков, основной задачей которых является обеспечение коммуникации датчиков внутри сети. Активными направлениями исследований в данной области являются беспроводные сети датчиков и связанные с ними задачи разработки протоколов маршрутизации [4], оптимизации внутрисетевого взаимодействия, нахождения оптимальных траекторий сбора данных в пространственно-распределенных сетях, локализации датчиков внутри сети [5], уменьшения энергопотребления. Примерами конкретной реализации систем управления сетями датчиков могут служить проекты MundoCore, Mires, MiLAN [6, 7]. В рамках предложенных данными системами подходов основное внимание уделяется проблеме управления сетями датчиков и их функциональностью, а не облегчению доступа к ним средствами пользовательского уровня, поэтому их можно отнести к нижнему уровню рассмотренной иерархии. Однако данные решения могут служить основой для организации инфраструктуры сетей датчиков.

Инфраструктуры сетей датчиков — это решения, направленные на обеспечение доступа к датчикам через общедоступную сеть (например Internet) программам и пользователям, решающим конкретные прикладные задачи. Системы, относящиеся к инфраструктурам сетей датчиков, не зависят от физической реализации датчика или топологии сети и не направлены на решение задач уровня систем управления сетями датчиков, таких как внутрисетевое взаимодействие, энергосбережение и т. п. Реализация этих систем подразумевает организацию интерфейса с техническими и программными средствами прикладного уровня, который может представлять собой собственную разработку или один из известных стандартов. Наиболее распространенными спецификациями данного уровня являются стандарты SWE [3]. На рис. 4 показаны типичные задачи для интеллектуально-го датчика и наименование спецификаций сервисов, описывающих их решения в рамках SWE. Примером реализации сервисов SWE может служить сеть датчиков 52° North Sensor Web, в рамках которой разработан промежуточный уровень Sensor Bus, через него происходит взаимодействие датчиков и подсистем SWE. Другими примерами реализаций инфраструктуры сетей датчиков, основанных на стандартах SWE, являются GeoSWIFT, PULSENet, Sensor Web 2.0 [8, 9].

Сетевые порталы датчиков, относящиеся к уровню приложений (см. рис. 3), можно рассматривать как новый класс

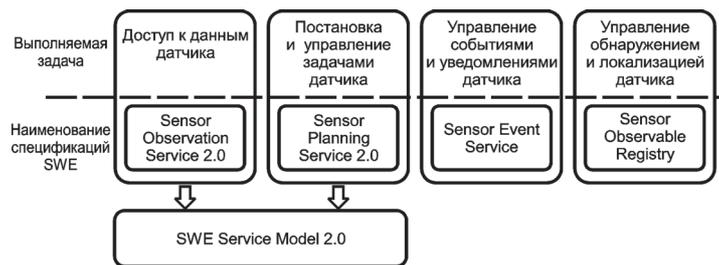


Рис. 4. Иерархия протоколов семейства Sensor Web Enablement (SWE)

систем, предоставляющих доступ к ресурсам датчика непосредственно с этого уровня. Такие порталы предназначены для сбора и обмена информацией с датчиков, в частности, определенных типов датчиков в конкретных областях применения. Примерами таких систем могут служить Sensor Map, Sensor Web, Sensor Base, Pachube, Sensorpedia [10, 11]. Особенностью сетевых порталов датчиков является централизованный подход в решении поставленных задач в отличие от инфраструктуры сетей датчиков на основе принципа разделения сервисов и компонентов.

Несмотря на уже достигнутые результаты в области создания интеллектуальных датчиков и измерительных систем, а также проделанную работу по стандартизации интерфейсов и протоколов взаимодействия на различных уровнях, данная область исследований является весьма актуальной и все еще находится в начальной стадии развития. Отсутствие четкой связи между физической реализацией сети датчиков и системами более высокого уровня приводит к проблеме передачи данных по сетям общего пользования и доступа к ним непосредственно с уровня приложений. Важными и до конца нерешенными остаются задачи самодиагностики и самовосстановления многих типов интеллектуальных датчиков, а также создания единого цифрового интерфейса.

Л и т е р а т у р а

1. **ГОСТ Р ГСИ 8.673—2009.** ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Термины и определения.
2. **IEEE 1451.** Smart Transducer Interface Standards [электрон. ресурс]. <http://ieee1451.nist.gov> (дата обращения 24.05.2012).
3. **Bröring A. e. a.** New Generation Sensor Web Enablement // *Sensors*. 2011. N 11. P. 2652—2699.
4. **Liu M. e. a.** An Energy-Aware Routing Protocol in Wireless Sensor Networks // *Sensors*. 2009. N 9. P. 445—462.
5. **Cheng K., Lui K., Tam V.** Localization in Sensor Networks with Adverse Anchor Placement // *Ibid*. P. 253—280.
6. **Aitenbichler E., Kangasharju J., Muehlhaeuser M.** A Lightweight Infrastructure for Pervasive Computing // *Pervasive Mob. Comput.* 2007. N 3. P. 332—361.
7. **Souto E. e. a.** Subscribe Middleware for Sensor Networks // *Pers. Ubiquitous Comput.* 2006. N 10. P. 37—44.
8. **Liang S.** A New Peer-to-Peer-based Interoperable Spatial Sensor Web Architecture // *Proc. ISPRS Congr. Beijing*. 2008. V. 37. P. 1009—1014.

9. Fairgrieve S., Makuch J., Falke S. An Implementation of Sensor Web Standards // Proc. Int. Symp. Collaborative Technologies and Systems. N.Y.: IEEE, 2009. P. 64—75.

10. Kansal A. e. a. An Infrastructure for Shared Sensing // IEEE MultiMedia. 2007. N 14. P. 8—13.

11. Gorman B.L., Resseguie D.R., Tomkins-Tinch C. Information Sharing across Incompatible Sensor Systems // Proc. Int. Symp. Collaborative Technologies and Systems. N. Y.: IEEE, 2009. P. 448—454.

Дата принятия 18.07.2012 г.

621.39

Двустороннее помехоустойчивое стрип-преобразование и его корневые изображения

Л. А. МИРОНОВСКИЙ*, В. А. СЛАЕВ**

* С.-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, С.-Петербург, Россия, e-mail: miron@aanet.ru

** Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия, e-mail: V.A.Slaev@vniim.ru

Исследованы корневые изображения двустороннего помехоустойчивого стрип-преобразования, рассмотрена задача выбора преобразующих матриц, приведен пример для конкретного изображения.

Ключевые слова: стрип-преобразование изображений, оптимальные матрицы, корневые изображения двустороннего стрип-преобразования.

The root images of double-sided noise immune strip-transformation were studied. The problem of transforming matrices choice was considered and an example of particular image strip-transformation was given.

Key words: strip-transformation of images, optimal transforming matrices, root images of double-sided strip-transformation.

Многие задачи преобразования информации и анализа данных связаны с обработкой и передачей изображений. От их качества зависит точность получаемых результатов. В [1, 2] был описан метод хранения и помехоустойчивой передачи изображений, названный стрип-методом. В нем использованы матричные преобразования исходного изображения перед передачей, в процессе которых фрагменты изображения перемешиваются и накладываются друг на друга. Преобразованное изображение передается по каналу связи, где оно искажается импульсной помехой, действие которой может приводить, например, к полной потере отдельных фрагментов изображения. При получении сигнала на приемном конце выполняется обратное преобразование, в результате которого изображение восстанавливается. Если обеспечить равномерное распределение импульсной помехи по всей площади изображения (без изменения

ее энергии), то произойдет заметное ослабление ее амплитуды и будет достигнуто приемлемое качество всех участков восстановленного изображения.

Цель настоящей работы — рассмотрение вариантов двустороннего помехоустойчивого стрип-преобразования изображений, исследование его корневых изображений при различных ограничениях на преобразующие матрицы и иллюстрация полученных результатов на конкретных примерах.

Двустороннее стрип-преобразование. Схема передачи изображения с использованием двустороннего стрип-преобразования показана на рис. 1, где P, P' — исходное и восстановленное изображения. Первый этап стрип-преобразования состоит в разбиении исходного изображения P на N одинаковых по размеру прямоугольных фрагментов. Обозначим m, n число горизонтальных и вертикальных полосок, на которые условно «разрезается» изображение, тогда $N = mn$. Оператор S осуществляет указанную фрагментацию изображения. На втором этапе выполняется линейное комбинирование фрагментов. При этом исходное изображение, разбитое на фрагменты, рассматривается как блочная матрица X размером $m \times n$. Для изометрического преобразования этой матрицы с целью «перемешивания» ее фрагментов умножим ее на матрицу B слева и на матрицу A справа (двустороннее матричное преобразование). Таким образом, двустороннее стрип-преобразование

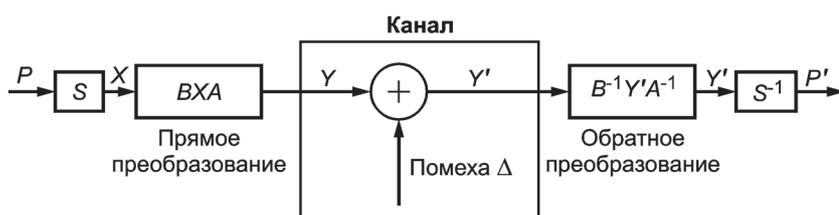


Рис. 1. Схема передачи изображений с использованием двустороннего стрип-преобразования