

Ю.П. Страшун**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК
СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

Современная парадигма промышленной автоматизации состоит в переходе от представления «технологический процесс – система управления» к укрупненному – «производственная система – супервизор». Парадигма опирается на превращение Интернета для людей в Интернет «вещей». Особое значение приобретают встраиваемые средства вычислительной, измерительной и коммуникационной техники «система на чипе», «система в одном корпусе», «система на модуле», «компьютер на модуле» и т.п. В докладе рассматривается специфика построения указанных средств. Ключевые слова: интернет «вещей», «система на чипе», «система в одном корпусе», «система на модуле», «компьютер на модуле», «система на модуле+ARM-процессор», стандарт CoM Express.

За последнее время кардинально изменилась парадигма сферы промышленной автоматизации [1–4]. Произошел переход от представления «технологический процесс – система управления» к укрупненному – «производственная система – супервизор» [5].

Производственная система помимо технологического процесса (ТП) включает: производственные и непроизводственные помещения; оборудование; средства мониторинга (проводного и беспроводного); потребляемых ресурсов и вырабатываемых продуктов.

Системы автоматизации и управления (САУ) характеризуются наличием инфраструктур на базе информационных и сетевых технологий, однотипных аппаратно-программных средств, в том числе встраиваемых, с возможностью манипулирования цифровыми данными, включая видеоизображение, голос и т.п.

Кроме этого акцент делается на технических средствах мониторинга с выдачей его результатов оператору и руководству корпорации (национального или транснационального уровня).

При анализе САУ целесообразно выделить три уровня функциональности супервизоров [1].

Супервизор локальный СЛ, супервизор диспетчеризации и управления производством СДУП и супервизор управления предприятием СУП.

При этом для взаимодействия упомянутых супервизоров целесообразно использовать стандартный механизм OPC [6].

Построение супервизора СЛ на основе ЛПС Industrial Ethernet при наличии в ней широкополосности и детерминизма позволяет обеспечить следующее:

1. дополнить методы доступа «мастер-раб» и «плавающий мастер», не позволяющие достичь равноправности коммуницирующих терминалов в сети, методами доступа «клиент-сервер», обеспечивающими эту возможность;

2. исключить необходимость одновременного использования сетевых структур «точка к точке» и «многоточка», затрудняющих программирование СЛ при совместном решении задач мониторинга и управления, т.е. перейти к «плоской» архитектуре.

Таким образом, при систематизации существующих технических средств (модулей) автоматизации и управления целесообразно учитывать много-

уровневый подход, принятый в [7] и сводящийся к следующему.

После представления исходной задачи в виде множества модулей эти модули группируют и упорядочивают по уровням, образуя иерархию. В соответствии с принципом иерархии для каждого промежуточного уровня можно указать непосредственно примыкающие к нему соседние вышележащий и нижележащий уровни.

Каждый вышестоящий уровень использует нижестоящий в качестве удобного инструмента для решения своих задач. Так, группа модулей, находящихся на верхнем уровне иерархии, может обращаться с запросами на выполнение тех или иных функций только к модулям непосредственно прилегающего нижнего уровня 2, а модули уровня 2, в свою очередь, могут обращаться за услугами к модулям уровня 1. В то же время результаты работы каждого из модулей, отнесенных к некоторому уровню, могут быть переданы только модулям соседнего вышележащего уровня. Такая иерархическая декомпозиция задачи предполагает четкое определение функций и интерфейсов не только отдельных модулей, но и каждого уровня.

В отличие от рассмотренного выше подхода, принятого при построении компьютерных сетей, в САУ, в общем случае создаваемой на основе сетей ЛПС (локальная промышленная сеть), ЛПДС (локальная производственно-диспетчерская сеть) и ЛАТС (локальная административно-техническая сеть) [8], не работает принцип: «результаты работы каждого из модулей, отнесенных к некоторому уровню, могут быть переданы только! модулем соседнего вышележащего уровня». Существо этого замечания состоит в том, что данные с выхода ЛПС могут быть переданы не только на вход ЛАТС (стратегический уровень иерархии САУ), но также и ЛПДС (тактический уровень иерархии САУ).

Важным достоинством СЛ является возможность обеспечения коммуникации между «полевыми» устройствами (FD), что позволяет решать задачи двух (трех)-позиционного регулирования, автоматического регулирования и современных задач «advanced control».

В связи с этим можно дать определение САУ как системы, осуществляющей:

1. комплексное решение задач локального и супервизорного управления технологическим процессом производства и функционированием производственного оборудования, а также задач обеспечения требуемого количества и качества продукции, рентабельности производства, связи с руководством компании (корпорации) и функционирования в качестве бизнес-системы с единым центром управления;

2. мониторинг (непрерывный и спорадический) с целью успешного решения задач по п. 1:

- вспомогательного производства и оборудования;
- состояния производственных и непроизводственных (склады, помещения административно-технического персонала) помещений и территории предприятия в целом;
- наличия требуемых ресурсов производства на складах, готовой продукции на них;
- уровня потребления таких ресурсов, как электричество, вода, тепло и т.д.

В настоящее время продолжается доработка и адаптация стандарта OPC под задачи реального времени [9]: ведущие мировые производители систем управления предприятием/корпорацией создают и успешно используют собственные OPC-серверы.

В ряде случаев возможно обойтись и без классической SCADA-системы за счет специального ПО, эмулирующего операторскую панель на компьютере и сохраняющего журнал событий

на сервере БД. Преимуществом этого подхода является более высокая надежность и уменьшение времени развертывания за счет отсутствия необходимости стыковать между собой аппаратные и программные средства нескольких производителей.

Естественным развитием сетевых технологий для автоматизации и управления является не только обеспечение выхода в Интернет людей (диспетчеров, операторов и т.п.), но и подключения к нему аппаратно-программных средств, т.е. использования его в качестве среды передачи по сетевым интерфейсам. Таким образом, Интернет для людей превращается в Интернет «вещей» (Internet of things).

К перечню основных однотипных технических и программных средств, данному в [5, 8], следует добавить:

- встраиваемые средства вычислительной и коммуникационной техники («системы на чипе (SoC), «системы в одном корпусе» (SiP-package), «системы на модуле» (SoM), «компьютеры на модуле» (CoM) и т.д.);
- средства межсетевого обмена (коммуникационные серверы, серверы доступа и т.д.) для комплексного решения проблем передачи данных не только в LAN, но и в связке LAN-MAN-WAN;
- современные средства для реализации интерфейса машина-машина machine to machine (M2M).

В результате эволюции сетевых технологий для САУ в последней большое распространение получили:

- «облачные»¹ вычисления;
- архитектура клиент-«облако»;
- объединение «облачных» и мобильных технологий воедино;
- конвергенция услуг телефонии и передачи данных.

Ниже подробно рассматривается применение однотипных и встраиваемых

средств (embedded) средств вычислительной и коммуникационной техники (SoC, SiP, SoM, CoM и т.п.)

Развитие микроэлектронной элементной базы в направлении существенного повышения степени интеграции позволило размещать в рамках модуля (на одной печатной плате) функционально законченный компонент инфраструктуры (информационной и сетевой) САУ, отвечающий требованиям встраиваемости (embedded), однородности используемых технических средств и универсальности проектных решений. Такой компонент на одной или в ряде случаев на нескольких печатных платах получил название «системы на модуле» (system on a module – SoM).

Ранее считалось, что «встраиваемая» система (модуль) – это микрокомпьютер специального назначения с учетом ряда ограничений по производительности и т.п. внутри электронного устройства, работой которого он управляет.

В последнее время под «встраиваемым» модулем понимается сочетание аппаратных и программных компонентов, элементов конструкции с четко определенными техническими характеристиками, выполняющими вычислительные, сетевые или интерфейсные функции, применяемыми в виде готовых изделий при проектировании САУ.

Некоторые встраиваемые системы включают операционную систему, но многие так специализированы, что полная логика управления может быть выполнена в виде одной программы.

Термин «встраиваемая» система (embedded system) впервые практически использован применительно к средствам вычислительной техники компанией Intel в 1979 г. В настоящее время

¹ Термин «облако» используется как метафора, основанная на изображении Интернета на диаграмме компьютерной сети.

в архитектурных решениях компании применяется трехуровневая иерархия технических средств: на верхнем (развитие процессоров серии 8086), на среднем – экосистема² и на нижнем (ARMы компании Intel).

Создание SoM нацелено не только на улучшение технических возможностей CAU, но и на повышение эффективности их разработки в целом.

Многофункциональные модули (System on Module, SoM), несмотря на какой интерфейс они выходят, представляют из себя компактные печатные платы с установленным процессором, оперативной и постоянной памятью, часами реального времени, контроллерами и другими микросхемами и компонентами, связанными процессорной шиной и обеспечивающими стандартный функционал ввода/вывода.

Применяя в разработках подход с использованием многофункциональных модулей, взятых «из коробки», обеспечиваются лучшие инженерные достижения, простота применения, сокращение сроков этапа проектирования и дополнительная гибкость по сравнению с использованием одноплатных компьютеров и собственных схемотехнических решений.

В отличие от одноплатных компьютеров (Single Board Computer, SBC), которые включают в себя набор стандартных разъемов (в том числе нестандартные периферийные разъемы и т.п.), многофункциональные модули требуют для работы подходящую разработанную или отдельно приобретенную плату-носитель (baseboard) в целях создания целостной законченной системы.

Разработка относительно простой, со схемотехнической точки зрения, платы-носителя для многофункционального модуля под конкретный про-

ект, обеспечивает высокую проектную гибкость.

Модули, как правило, устанавливаются на несущую плату через стандартный разъем типа SO-DIMM. Разработчику несущей платы доступны все ресурсы, интерфейсы и функции, предоставляемые процессором и периферией модуля. За счет pin2pin-совместимости модулей переход на другой модуль не требует переработки конечного изделия.

Многофункциональные модули большей частью основаны на компонентах ведущих зарубежных компаний, таких как Texas Instruments, Marvell, Freescale и т.д., а также отечественных компаний.

В частности, модуль SoM на современном высокопроизводительном двудерном процессоре ARM+DSP, дополненный графическим акселератором и коммуникационными интерфейсами является эффективным решением для приложений, требующих мультимедийных возможностей и обработки сигналов в реальном времени.

Сегодня очевидна тенденция к использованию данных элементов в качестве строительного материала независимо от области применения. Встраивание некоего универсального кубика обеспечивает интерес со стороны разработчиков изделий из разных областей применения.

Если компонент инфраструктуры удастся выполнить в виде одной большой интегральной схемы, то он именуется «система на чипе» (system on a chip – SoC).

Если разместить все необходимые цепи на одном полупроводниковом кристалле не удастся, применяется схема из нескольких кристаллов, помещенных в один корпус (System in a package, SiP). SoC считается более

² Экосистема Intel – динамическая экосистема организаций, которые ускоряют развитие «Интернета вещей – IoT» в различных отраслях и областях применения по всему миру.

выгодной конструкцией, так как позволяет увеличить процент годных устройств при изготовлении и упростить конструкцию корпуса.

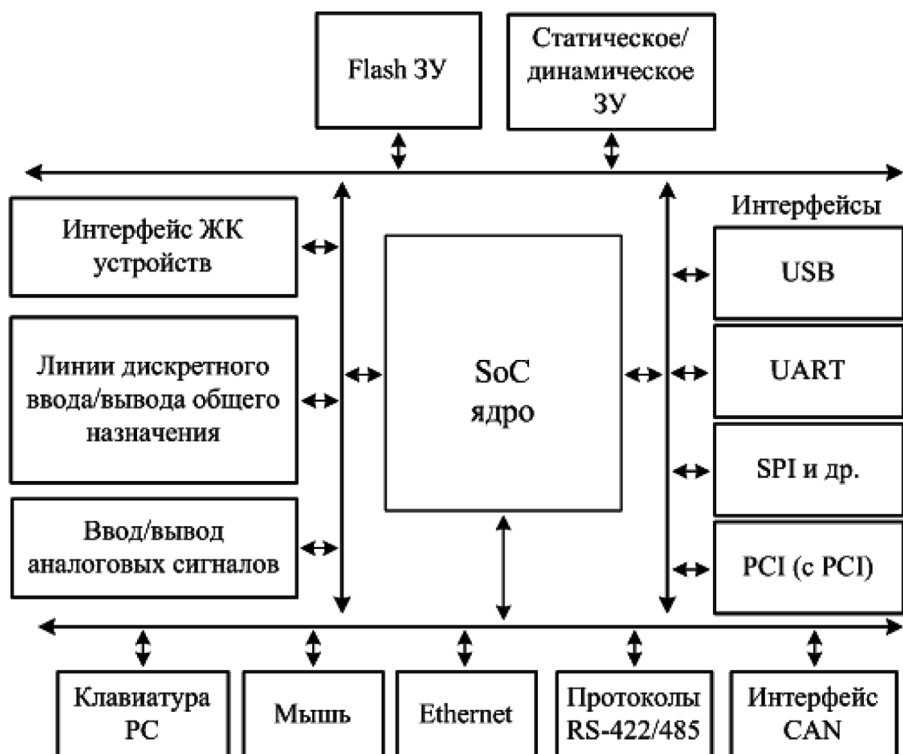
Типовая SoC может содержать:

- один или несколько микроконтроллеров, микропроцессоров или ядер цифровой обработки сигналов (DSP);
- банк памяти, состоящий из модулей ПЗУ, ОЗУ, ППЗУ или флеш;
- входы и выходы цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей;
- таймеры, счетчики, цепи задержки после включения;
- источники опорной частоты, например, кварцевые резонаторы и схемы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ);
- стандартные интерфейсы для внешних устройств: USB, FireWire, Ethernet, USART, SPI;

- регуляторы напряжения и стабилизаторы питания.

Системы на чипе потребляют меньше энергии, стоят дешевле и работают надежнее, чем наборы микросхем с той же функциональностью. Меньшее количество корпусов упрощает монтаж. Тем не менее, создание одной большой и сложной системы на кристалле оказывается более дорогим процессом, чем серии из маленьких, из-за сложности разработки и отладки и снижения процента выхода годных изделий.

В настоящее время в основном находят применение технические средства на основе технологии производства DSP. Однако эта технология не поспевает за требованиями пользователей. В этом отношении встраиваемая микропроцессорная система на базе SoC уже содержит необходимые для конечного устройства интерфейсы



(например USB, Ethernet, LCD (Liquid Crystal Display) и аналогична по своей функциональности одноплатному промышленному компьютеру, но при этом обладает минимальными размерами, расширенным температурным диапазоном и ценой в несколько раз меньше цены на промышленные компьютеры (см. рисунок).

Сегодня одной из важнейших тенденций является рост популярности микросхем типа систем-на-кристалле (SoC) и процессоров с архитектурой ARM при использовании их во встраиваемых приложениях. Благодаря высокой производительности и малому энергопотреблению систем на базе ARM-процессоров, эти чипы стали привлекательной альтернативой для процессоров других типов, традиционно используемых во встраиваемых платах малогабаритных форматов.

Решения на базе SoC и ARM-процессоров позволяют устойчивые позиции в производстве. Такие решения делают доступным построение чрезвычайно компактных безвентиляторных систем с ультранизким энергопотреблением.

Одним из направлений развития SoM являются компьютерные модули CoM.

Компьютерные модули (CoM, Computer on Module) предназначены для использования в качестве мезонинов, устанавливаемых на специализированных платах-носителях. Эти платы со-

держат остальные необходимые компоненты системы и выполнены в формфакторе, удовлетворяющем требованиям заказчика. На Computer on Module присутствуют центральный процессор, память, BIOS, контроллеры и вторичные источники питания. Все пользовательские интерфейсы, набор специализированных функций и первичные источники питания реализуются на плате-носителе.

Появление в 2005 г. стандарта CoM Express стало ключевым моментом в развитии технологии CoM. Конкурентоспособность встраиваемых решений и, в частности, модулей CoM Express, определяется в первую очередь поддержкой новейших поколений микропроцессоров.

Следует отметить, что хотя модули стандарта CoM Express изначально были оптимизированы для использования x86-совместимых процессоров, тем не менее, кроме x86-архитектуры в этом стандарте предусмотрено использование и других типов процессоров. В частности процессоров с архитектурой Power.

Размываются границы между разными процессорными архитектурами, интегрируя новые процессорные платформы в единую экосистему. В такой ситуации развитие открытых международных стандартов модульных систем дает возможность выбора стратегии создания решения на базе обширной экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А.В., Страшун Ю.П. Промышленные информационные системы и сети. Практическое руководство. – М.: Радио и связь, 2010.

2. Ким А.К., Фельдман В.М. и др. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус». Серия «Учебное пособие». – СПб.: Питер, 2013.

3. Прохоров Н.Л., Егоров Г.А., Красовский В.Е. и др. Управляющие вычислитель-

ные комплексы для промышленной автоматизации / Под ред. Н.Л. Прохорова, В.В. Сюзева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.

4. Страшун Ю.П. Установка всеобъемлющих информационных систем требует больших капитальных затрат // Босс. – 2012. – № 11.

5. Страшун Ю.П. О парадигме рынка промышленной автоматизации // Автомати-

зация в промышленности. www.avtprom.ru/news/2013/07/18.

6. Frank Iwanitz, Jurgen Lange. OPC. Fundamentals, implementation and application. 2nd rev, Ed. Heidelberg: Huthing, 2002.

7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Основы компьютерных сетей. – СПб.: Питер, 2009.

8. Страшун Ю.П. Основы сетевых технологий для автоматизации и управления. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2003.

9. OPC UA Part 1 – Concepts 1.00 Specification. **ПТБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Страшун Юрий Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, e-mail: y_strashun@inbox.ru, ПАО «ИНЭУМ им. И.С.Брука».

UDC 681.5

CONTEMPORARY DESIGN OF AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS

Strashun Yu.P., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, e-mail: y_strashun@inbox.ru, Bruk Institute of Electronic Controlling Machines, Moscow, Russia.

Contemporary paradigm of industrial automation takes place in transition from «technology process – control system» to strength «manufacturing system – supervisor». The paradigm leans against on turn Internet for people into Internet of things. Important role acquires embedded means of microprocessing, measurement and communication techniques SoC, SiP, SoM, CoM, etc. In this report specific models of mentioned means are discussed.

Key words: internet of things (IoT), SoC, SiP, SoM, CoM, SoM+ARM, CoMExpress.

REFERENCES

1. Grishin A.V., Strashun Yu.P. *Promyshlennyye informatsionnyye sistemy i seti. Prakticheskoe rukovodstvo* (Industrial information systems and networks. Practical guide), Moscow, Radio i svyaz', 2010.

2. Kim A.K., Fel'dman V.M. *Mikroprotsessory i vychislitel'nye komplekсы семеіства «El'brus»*. Seriya «Uchebnoe posobie» (Microprocessors and computer systems of the family «Elbrus». A series of «Tutorial»), Saint-Petersburg, Piter, 2013.

3. Prokhorov N.L., Egorov G.A., Krasovskii V.E. *Upravlyayushchie vychislitel'nye komplekсы dlya promyshlennoi avtomatizatsii*. Pod red. N.L. Prokhorova, V.V. Syuzeva (Managing computer systems for industrial automation, Prokhorov N.L., Syuzeva V.V.), Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2012.

4. Strashun Yu.P. Boss. 2012, no 11.

5. Strashun Yu.P. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. www.avtprom.ru/news/2013/07/18.

6. Frank Iwanitz, Jurgen Lange. OPC. Fundamentals, implementation and application. 2nd rev, Ed. Heidelberg: Huthing, 2002.

7. Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Osnovy komp'yuternykh setei* (Fundamentals of computer networks), Saint-Petersburg, Piter, 2009.

8. Strashun Yu.P. *Osnovy setevykh tekhnologii dlya avtomatizatsii i upravleniya*. Uchebnoe posobie (Fundamentals of network technology for automation and control, Educational aid), Moscow, Изд-во МГТУ, 2003.

9. OPC UA Part 1 Concepts 1.00 Specification.

