



ВЕЛИКОЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МИРА

Е.В. Деревяго (Компания «Флекс Инжиниринг»)

Люди вправе полагать себя живущими в прекраснейшем из миров: непрерывном в математическом смысле и глубоко аналоговом во всех своих проявлениях. Отображение этого разноцветного мира в цифре считается мерой вынужденной текущими информационными потребностями и технологическими возможностями. Меж тем философский смысл происходящего сегодня в сфере ИТ – всего лишь отражение интуитивно-математического прозрения великих физиков первой половины XX века. Корпускулярно-волновой дуализм, непостижимая абстракция для большинства из нас. Но это и есть первая цифровая модель всего сущего, где роль классического двоичного бита играет квант, а загадочный бозон Хиггса – частица Бога, лишь прообраз цифро-аналогового преобразователя квантов в материю. Развитие технологий ИТ возвращает нас к первородному пониманию мира, столь же дискретного корпускулярного, сколь и аналогового волнового. Технологии ИТ уверенно стремятся к квантовым измерениям, следуя гиперболическому росту информационных потребностей. В прошлом веке люди мечтали лишь об автоматизации производства, ныне общепризнанна роль ИТ в автоматизации межчеловеческих отношений, управлении людьми, обслуживании человеческих потребностей вплоть до воздействия на общественные процессы.

На нижнем уровне этих процессов обязательно присутствуют дискретные ИТ устройства, ответственные в самом общем понимании за аналого-цифровой интерфейс между явлениями и людьми. И эти устройства – обычные компьютеры, ЭВМ, инструментарий великого отображения. Нижеследующий обзор целиком посвящен тому, чем мы располагаем сегодня для решения текущих и перспективных задач информатизации.

Ключевые слова: аналого-цифровое преобразование, встраиваемые системы, ИТ, интерфейс, плата, цифровая модель, одноплатные компьютеры.

Глобально о малом

Самим своим названием «встраивание» подразумевает малые размеры, интегрируемые в большие. В самом общем понимании процесс этот мало связан с линейными измерениями чего бы то ни было и носит глобальный характер. Во избежание несогласия и призывов к диспутам ограничим тему информатизацией, компьютеризацией или автоматизацией (кому какой термин ближе, сути это не меняет).

Информационные сервисы, обслуживаемые вычислительными логическими устройствами, проникают повсеместно во все сферы жизни и деятельности, отображая в глобальное цифровое киберпространство любые объекты в самом непосредственном понимании объектного программирования: не просто картинкой или текстом, а активной сущностью — программой-функцией-процедурой, имеющей точки входа внешних воздействий и выхода текущих параметров. Логическая интерактивная анимация отображенной сущности принимает различные модные названия Internet вещей, Internet автомобилей, в конце концов, Internet людей, чем являются все известные сетевые «токовища», современные воплощения и цифровые симуляции ярмарочных площадей, бурных митингов и любых других подобных сборищ по интересам вплоть до простого времяпровождения.

Вопрос функционирования Internet людей поколения on-line решен встраиванием в карманы

многофункциональных мобильных компьютерных устройств. Сравнительно недавно они воспринимались просто радиомобилизацией телефона, а сейчас рудиментарная телефонная связь осталась лишь одной из множества интерфейсных функций мобильного устройства, которая непременно скоро отправиться на свалку истории вместе с другими аналоговыми бронтозаврами: радио и телевидением.

Встраивание как процесс улучшения касается только существующих и действующих объектов, а не того, что

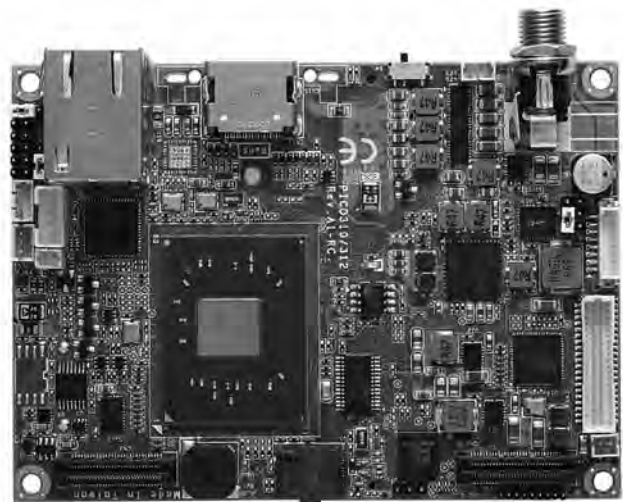


Рис. 1. Плата PIC0312

строится с нуля. Объекты встраивания ничем не обязаны прогрессу и обычно индифферентны в отношении своей модернизации. Встраиваемому компьютеру надо довольствоваться малым: местом, питанием, комфортом и не возмущать своим присутствием ни тепловой, ни электромагнитной картинкой в интерьере. В этом заключается основной канон встраивания, и изделие, отвечающее ему, не вызывает сомнения в целесообразности самой идеи. Подтверждением тому являются всевозможные публикации на эту тему [1–7].

RISC — CISC примирение Монтекки с Капулетти

Далее возникает вопрос функционального соответствия задаче и традициям. Давно отшумели идеологические споры о преимуществах и недостатках различных архитектурных вычислительных подходов. Есть древняя компьютерная традиция «ПК» x86 — x64, DOS, Windows, есть модерн ARM, Raspberry PI, Android и примиряющий оба подхода Linux. Принципиальная разница стерлась до величин, описывающих современную полупроводниковую технологию 12...14 нМ. ОС Windows комфортно работает на процессорах ARM и Android, легко изменяет породившей его архитектуре, функционируя на x86. Счастливые в своем неведении рядовые пользователи могут даже и не знать тип «мотора», оживляющего их смартфон. Но все-таки, при прочих равных условиях, язык ПК x86 — x64 — это пока тот язык, на котором думает большинство ИТ специалистов в мировом масштабе, фактически вычислительный эсперанто. Эта же архитектура стандартно рассматривается мерилем, эталоном, «Р-рейтингом», то есть теми самыми «попугаями», в которых измеряются потребности очередной задачи информатизации.

Аппаратное воплощение Портала Отображения объекта в сеть

Компания Intel давно и слишком прозрачно намекнула на роль дискретного элемента информатизации названием новой серии — процессором Атом. Минимальным исполнением как промышленного встраиваемого устройства, так и обычного компьютера была и остается системная плата, печатный монтаж, холст, на котором конструктор-системотехник рисует требуемую вычислительную и периферийную функциональность. Видимое отличие «встраиваемых» плат от материнских — меньшие габариты во всех трех измерениях. Второе — простота организации питания, обычно один часто используемый номинал постоянного тока, в основном 12 В. Трудно требовать по месту встраивания всю палитру напряжений стандартной материнской платы ATX. Третье характерное отличие — наличие последовательных портов COM (RS-232C), часто переключаемых из обычного режима в балансные RS-485/422. И портов таких обычно 4...6 ед. на одну плату. Простые в обращении, достаточно медленные, но жестко детерминированные они до сих пор остались основой всех технологи-

ческих (полевых) шин и неотъемлемой функцией любого контроллера или современного измерительного инструмента. Последнее отличие — сторожевой таймер, учитывающий автономное, одинокое существование встраиваемого компьютера. Простая возможность восстановиться и перегрузиться при временной потере питания или «зависании» компьютера.

В давнюю эпоху больших печатных плат техника мезонинов (навесных монтажей) позволяла расширить функциональность в пределах площади платы. Рыночная эволюция отобрала самые популярные схемы, такие как PMC и IndustryPack, которые до сих пор встречаются на модулях VME, cPCI, AdTCA, PICMG благодаря обширному ассортименту функциональных мезонинов. Переосмысление базового принципа строительства любых больших промышленных систем, заключающегося в наличии пассивного интерфейсного объединителя и конструктивного равенства системных (компьютерных) и периферийных плат для встраиваемого использования, породило революционную технологию PC/104, знаменитых функциональных многоярусных этажерок. Благодаря удобству и простоте реализации процессорные модули PC/104 начали использоваться в качестве сменного компьютера на целевых печатных платах. Решение оказалось крайне эффективным, и направление компьютеров-мезонинов выделилось в технологию модулей-компьютеров (CoM), то есть компьютеров, встраиваемых в печатную плату.

Баланс технологических и экономических параметров развел модули и одноплатные компьютеры в разные рыночные категории. Первые: модули для разработок с критическими эксплуатационными требованиями и значительными объемами, оправдывающими долгое и затратное создание целевых плат под модуль-компьютеры. Вторые: единичные и мелкосерийные задачи остались сферой приложения сил одноплатных компьютеров, с которыми по формальным признакам остался и идейный прототип модуль-

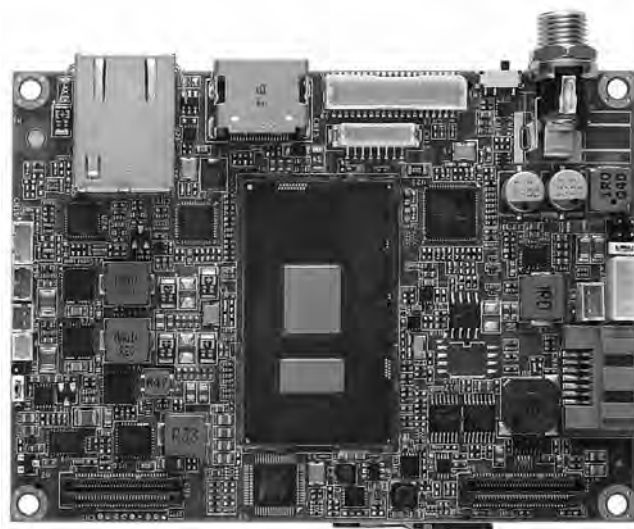


Рис.2. Плата PICO500

компьютеров — одноплатный форм-фактор PC/104. В отличие от своих производных, любой компьютер PC/104 легко монтируется на любую поверхность и готов к работе сразу после подключения питания постоянного тока 5 В.

Других принципиальных отличий модули и одноплатные компьютеры не имеют, у них близкие форм-факторы, одинаковый состав и идентичная эксплуатационная среда.

Минимальным размерным фактором встраиваемого одноплатного компьютера ПК сегодня является PICO-ITX. Это платы размера 100x70 мм стандартной компоновки и регулярных измерений, соотносимых с юнитами (U=1,75 дюйма = 45 мм). Платы регулярных размеров гораздо популярнее исполнений, к ним не привязанных, поскольку хорошо ложатся в привычные конструктивные элементы ИТ: рамы, отсеки накопителей. Плата PICO-ITX ровно вдвое меньше следующего популярного размера 3,5 дюйма (140 x 100 мм или 3U), которая, в свою очередь, половина следующего форм-фактор 5,25 дюймов (140x200 мм или 6U). Техника одноплатных встраиваемых плат гарантирует минимальное время и стоимость внедрения идеи автоматизации в жизнь, что всегда крайне ценно именно для единично-мелкосерийных задач автоматизации.

Два представленных ниже изделия PICO-ITX объединены производителем Axiomtek и самой современной полупроводниковой литографией 14 нм, хотя представляют очень разные категории производительности.

Микромотор IOT

Плата PICO312 (рис. 1) не потратит больше 5 Вт электрической мощности по месту своего пребывания, не говоря о крайне скромных претензиях к «жил-площади»: ровная поверхность 100x70 мм и вверх до 30 мм. На эти несколько ватт задача обеспечена очень солидными вычислительными ресурсами четырех ядерного 64-разрядного процессора с тактовой скоростью до 2,5 ГГц и ОЗУ до 8 Гб. Не выделяясь на фоне самой платы, на ней может стоять накопитель SSD до 1 Тб в слоте mSATA. Невзирая на малые габариты, периферийное оснащение отвечает джентльменскому минимуму: гигабитная сеть, пять портов USB, видеовыход на выбор HDMI или VGA, высококачественный HD звук, простое питание одним напряжением 12 В.

Турбо-версия

Плата PICO500 (рис. 2) внешне неотличима от PICO312. Качественно отличается математический «движок» компьютера — 6-е поколение SkyLake U. Это могучий процессор Core i7-6600U со скоростью до 3,4 ГГц, ОЗУ до 16 Гб и мощной интегрированной графикой. Периферийная оснастка копирует предыдущее изделие. Эффективная система саморегулирования по вычислительной нагрузке способна

удерживать компьютер в рамках 7,5 Вт потребления, легко рассеиваемых средним радиатором. При средней нагрузке — потребление до 15 Вт, в пике вычислительной отдачи — до 25 Вт. Такому мотору посильны задачи многомерного анализа, спектральных измерений, поточной обработки видеоконтента и управления в реальном времени даже в варианте пассивного охлаждения.

Современный компьютер в размерах накопителя «винчестер»

Предельно тяжелой математической нагрузке отвечает следующее в размерном и повествовательном порядке изделие CAPA500 (рис. 3) — одноплатный компьютер размера 3,5 дюйма (140x100 мм, 3U), компоновочной спецификации ECX. Платы размера 3,5 дюймов в разряде встраиваемых заняли место самых больших и многофункциональных. Платы 5,2 дюйма выпали из автономного встраивания и остались лишь в рамных конструктивах AdTCA, VME, cPCI. CAPA500 сегодня — чемпион производительности в своей габаритно-весовой категории. Плата построена под процессоры 6-и 7-го поколений LGA1151 полной архитектуры, не оптимизированной в угоду экономичности. Самый внушительный потенциальный вычислитель Core i7-7700 работает на гиперскоростях до 4,5 ГГц восемью одновременными потоками инструкций. Встраивание такого изделия в тесные конструктивы проблематично и не может обойтись без некоторых компромиссных конструктивных решений. Плата может выдать наружу до 100 Вт тепла, но если такая производительность действительно востребована, решение найдется всегда. Изделие комплектуется низкопрофильным центробежным кулером, сохраняющим привычные для таких плат габариты встраивания.

Индустрия встраиваемых промышленных ПК консервативна и преемственна. Внешняя вычислительно-коммуникационная среда, в которую интегрирована одноплатная система, постоянно меняется, а объект внедрения может жить очень долго, сколько

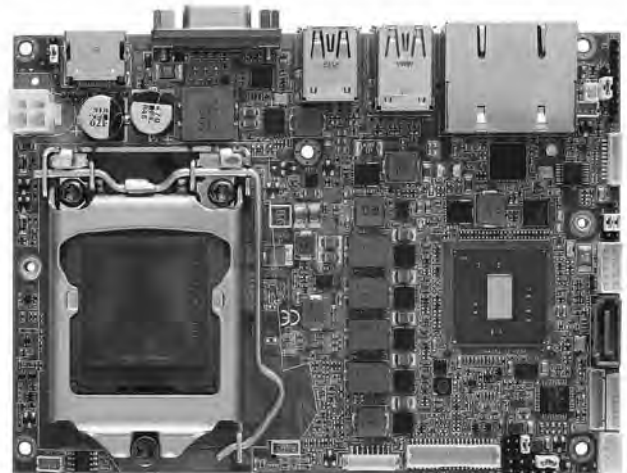


Рис. 3. CAPA500

не живут никакие электронные платы. Когда встанет вопрос поколенческого несоответствия, на место прошлой разработки, на те же опоры и кабели встанет современный исполнитель, готовый ответить вызовам своего времени.

Технология PC/104, уникальные проходные мезонины и этажерки существуют благодаря огромному ассортименту специфических интерфейсов УСО, реализованных на платах этой спецификации. Это нижний уровень производственной автоматики, ответственный за аналоговое восприятие и цифровое преобразование. Почти 30 лет тому назад с помощью PC/104 сложная промышленная техника эпохи аналоговой автоматизации была впервые принудительно отображена в цифровом пространстве во всем многообразии своих параметров. Популярны процессорные модули PC/104 и сами по себе, у них минимальные габариты 90x96 мм в плане, до 10 плат в этажерке, несущественные потребления электроэнергии, развитые коммуникации, один номинал питания (хотя и не совсем удобный) — 5 В, и никаких забот с охлаждением. Периодическая модернизация системных и процессорных модулей — необходимое и достаточное условие поддержания актуальности любой сложной сборки или одинокого исполнителя на все время жизни оцифрованного объекта встраивания.

Встраиваемая традиция

Плата Em104-i230F (рис. 4) — канонический пример по исполнению PC/104 в размерах исходной спецификации, но с современным компьютерным содержанием. 64-разрядный Атом, два или четыре ядра, частота 1,3...1,9 ГГц, ОЗУ до 8 Гб — все это отвечает самой ресурсоемкой современной ОС и задачам. На борту три порта USB 2,0...3,0 и пара гигабитных сетей. Быстрый и незаметный, но очень емкий накопитель mSATA расположен прямо на плате. Потребление электроэнергии не превышает 10 Вт, а гибкий механизм саморегулирования и настройки может снизить потребление до номинального уровня в несколько ватт. Таким образом, при замене отслужившего процессора 486DX 133 МГц типа AMD Elan SC520 на Em104-i230F пользователь будет больше удивлен слегка теплomu радиатору, нежели 30-кратному превосходству в производительности. Безо всяких дополнительных условий i230F работает в диапазоне температур -40...85°C и не реагирует на жестокие многократные перегрузки при использовании на транспортных средствах вплоть до летательных аппаратов. Просто, эффективно, утилитарно.

Малые встраиваемые одноплатные компьютеры активно используются в производных проблемно ориентированных изделиях, в частности, тех, которые в терминологии ИТ называются



Рис. 4. Плата Em104-i230F

терминалами. В самом общем смысле — это комплект оконечного оборудования, граничащий с человеком.

Как-то малозаметно самой актуальной темой автоматизации, если судить по объемам используемого в этой области оборудования, стала автоматизация обслуживания людей как индивидуального, так и группового. Когда это касается индивидуального обслуживания, название этому явлению PoS — Point of Service (пункт сервиса).

Современники прогрессивно забывают одну из самых тоскливых примет прошлого: длинные и безнадежные очереди в магазинах — отдельно в кассу, отдельно к прилавку. Слегка перефразируем О'Генри: «Если вы хотите поощрять ремесло человекоубийства — дайте людям постоять в очереди».

Все мы видим, как это выглядит сейчас: на тесном пятачке денежного ящика кассы маленький системный блок и малый монитор, чаще и современнее — один моноблок, специализированная функциональная клавиатура, там же маленький принтер для чеков. Пара штрих-сканеров, ручных и встроенных, карточный терминал и маленький контрольный дисплей для покупателя. Классический пример «обитаемого» торгового терминала PoS (Point-of-Sale) — это точки продажи, непременный атрибут современного большого магазина. Есть примеры совершенно автономных «безлюдных» исполнений терминалов PoS, роботов самообслуживания. Терминалы PoS несколько другой ориентации стоят на складах того же супермаркета, обеспечивая подготовку товаров для торгового зала, обработку, маркировку и все, что необходимо, и это тоже PoS терминалы как стационарные, так и мобильные.

Терминалы индивидуального сервиса PoS с операторами и без встречают людей в банках, госучреждениях, поликлиниках, больницах, ресторанах и в зависимости от задачи могут нести очень разный набор периферийного оборудования, но есть и общие черты, присущие всем. Функционально они все являются классическими клиентскими терминалами, взаимодействующими с серверами. Габариты устройств ограничены, эксплуатационные требования, напротив, могут быть самыми жесткими. Простаивающий PoS терминал в торговом зале сразу начинает приносить убыток, уменьшая проходимость и собирая очереди. Этим простым критериям непрерывной работы привычно отвечают промышленные и встраиваемые терминалы, так как очень много точек обслуживания может себе позволить обычный настольный компьютер во главе PoS терминала.

Этим простым критериям непрерывной работы привычно отвечают промышленные и встраиваемые терминалы, так как очень много точек обслуживания может себе позволить обычный настольный компьютер во главе PoS терминала.

Цифровое обслуживание населения

Gladius G0830 (рис. 5) — единственный в двух лицах универсальный терминал PoS, мобильный или

полумобильный, компактный и быстро разворачиваемый на минимальной опорной поверхности 20x20 см, а то и просто установленный на вертикальной стойке навеса. Удачная компоновка устройства отмечена наградой «наилучшего выбора 2017» среди избранных ИТ продуктов, представленных на последней выставке Computex. Самостоятельным ядром композиции терминала является 8-дюймовый полукилограммовый планшет с четырехядерным процессором Atom x5-Z8350, успешно работающим под ОС Windows 10 или Android v5.x. В основе многофункциональная ДОК-станция и подставка, при этом полный вес в сборе — всего 3 кг. Терминал способен ориентироваться на местности по GPS, легко входит в эфирное соединение с сетями и компьютерами через Wi-Fi, поддерживает 3...4G, Bluetooth. Он читает любую маркировочную и идентификационную информацию, штрих-коды, QR-коды, скрытые радиометки RFID, пластик карты нового поколения по NFC, традиционные магнитные полосы MSR и смарт-карты. Исполнение устройства — полууличное IP54, оно не боится мороза до -20°C и может отработать полный день на батарее 4000 мАЧ. Для полноты PoS-конфигурации устройство может комплектоваться компактным термопринтером, набором монтажных приспособлений, позволяющих обойтись без стола, а также дополнительной батареей 8000 мАЧ.

Терминалы PoS обычно строго ориентированы на конкретную задачу текущего рабочего поста. Автономные исполнения, банкоматы и киоски при этом часто перекликаются со смежной, также крайне актуальной категорией, исполняя попутно основному назначению задачу информационного обеспечения клиента. Когда информационное обеспечение остается единственной задачей, терминал начинает относиться к устройствам автоматизации информационного обеспечения Digital Signage.

Малопонятный термин указывает на системы индивидуального и группового информационного обеспечения, давно выделившиеся в специфический класс оборудования DS. Внизу иерархии DS — интерактивные терминалы информационно-справочного обеспечения, удовлетворяющие информационные потребности человека в диалоге. Обычно это киоски с тактильно чувствительными экранами средних размеров. Терминалы DS, работающие «по площадям», отличаются от киосков, как установка «Град» от пистолета Макарова. Это висящие под потолками и на стенах огромные экранные табло, панно, собранные из нескольких экранов и целые видеостены с очень разнообразным смешанным мультимедийным информационным содержанием, отвечающим



Рис. 5. Микротерминал PoS Gladius 0830

назначению данного места, потребностям рекламодателей и любым сопутствующим целям. Таким образом, задачей компьютера-терминала DS становится логическая компоновка множества информационных источников в хорошо различимую композицию, где может присутствовать алфавитно-цифровая статика, анимированная графика и даже живое видео со звуковым сопровождением, любая рекламная фантазия. Сопутствующая запросу вычислительная задача может требовать изрядных ресурсов и напряжения как центрального, так

и графического процессоров компьютера, учитывая современный изобразительный уровень высочайшей четкости новых экранов 2К-4К. Уровень ответственности безотказного функционирования таких информационно-справочных систем крайне высок. Достаточно представить себе отказ такого табло в аэропорту или на вокзале, лишаящий массы людей ориентации во времени и способный спровоцировать панику и давку. Состав терминалов DS знаком всем, кто удосужился присмотреться к висящим под потолком устройствам. Обычно это стандартный монитор с большим экраном, на «спине» которого смонтирован небольшой корпус собственно управляющего компьютера, традиционно даже для этой новой технологии называемого «проигрыватель DS» (DS-Player). Проигрыватель соединен с экранным табло обычными видеокабелями, питание монитора и компьютера-проигрывателя — отдельное, кабельное хозяйство в лучшем случае собрано жгутами. Легко представить себе мороку экстренной замены либо экрана, либо проигрывателя в таком терминале, эквилибристику на высоких лестницах среди безмятежных толп народа, распутывание кабелей и демонтаж оборудования.

Изобретательные конструкторы Intel предложили рынку свое видение технологичного решения терминала DS высокой готовности в виде спецификации OPS (в смысловом переводе — открытая спецификация вставных модулей). OPS предусматривает специализацию монитора: в нем появляется слот с интерфейсом для легко съемной кассеты проигрывателя. Монитор или табло принимает от кассеты два цифро-



Рис. 6. Проигрыватель Digital Signage OPS500-501

вых видеоинтерфейса, а также сервисные порты COM и USB для использования, например, сенсорными экранами интерактивного терминала DS. Табло OPS отвечает за питание кассеты в объеме до 100 Вт. Если кассету это не удовлетворяет, она питается от своего входа питания, но в пересчете на самые современные компьютеры 6-го поколения 100 Вт означает производительность процессора Core i7. Технологичность терминалов DS спецификации OPS по сравнению с собранными из «чего попало» бесспорна, целесообразность применения очень зависит от поддержки спецификации производителями систем отображения. Пока в этом перечне не много компаний, известных имен всего два: Nec и ViewSonic. Чуть больше компаний производителей компьютеров-кассет OPS, одна из самых известных — Axiomtek.

Оружие массового информационного покрытия

Кассета OPS500-501 (рис. 6) — проигрыватель высшего класса для отображения графики реального времени предельной четкости UltraHD 4K сразу на двух или трех панелях, составляющих единое информационное панно DS, или на трех независимых панелях, несущих различный контент. OPS500-501 — это представитель той же семьи встраиваемых продуктов индекса 500, 6-го поколения, отличающийся очень высокой производительностью, доста-

точной для самых сложных мультимедийных композиций.

В заключение можно заметить, что системы DS вполне отвечают всем задачам, характерным для промышленных систем НМИ стандартного оборудования пультовых помещений предприятий любого профиля и способны повысить качество отображения технологической информации не только экранами высокой четкости, но и возможностями анимации и комбинирования с реальным видеопродуктом систем машинного зрения.

Список литературы

1. Аристова Н.И. Встраиваемые компьютерные технологии: подрывные инновации или как достичь успеха // Автоматизация в промышленности. 2013. №3.
2. Деревяго Е.В. Встраиваемый синтетический разум как основа современной цифровой цивилизации // Автоматизация в промышленности. 2013. №3.
3. Деревяго Е.В. Встраиваемые, мобильные и терминальные устройства каждый день // Автоматизация в промышленности. 2012. №3.
4. Деревяго Е.В. Встраиваемые компьютерные технологии рубежа десятилетий // Автоматизация в промышленности. 2010. №3.
5. Bindal A. Electronics for Embedded Systems. Springer. 2017.
6. Gu C. Building Embedded Systems. Springer. 2017.
7. Torquati M., Bertels K., Karlsson S., Pacull F. Smart Multicore Embedded Systems. Springer. 2014.

*Деревяго Евгений Валентинович — ген. директор компании "Флекс Инжиниринг".
Контактный телефон (495) 781-42-91.
E-mail: edereviago@flexen.ru*

ПАНЕЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ: КАКИЕ, ГДЕ, КОГДА

Л.М. Бабушкина, А.Ю. Барон (Компания Прософт)

Отмечено, что на отечественном рынке представлен широкий ассортимент промышленных панельных компьютеров от целого ряда производителей. Представлены основные технические характеристики панельных компьютеров, которые необходимо учитывать при выборе оборудования для систем автоматизации.

Ключевые слова: панельные компьютеры, ЧМИ, дисплей, сенсорная панель, процессор, конструктив, степень защиты.

В современных системах автоматизации панельные компьютеры можно рассматривать как отдельный класс промышленных компьютеров или оценивать по принадлежности к ряду аппаратных средств человеко-машинного интерфейса. С точки зрения применения панельных компьютеров, их можно считать находящимися на пересечении этих двух «множеств».

Первые панельные компьютеры появились на рынке почти 20 лет назад, благодаря развитию производства одноплатных компьютеров и цветных жидкокристаллических дисплеев. Основными отличиями нового класса устройств от широко распространенных в то время промышленных рабочих станций стали малая глубина корпуса, отсутствие большого числа слотов расширения и полноразмерной мембранной клавиатуры. При этом панельные ПК сохранили главные достоинства предшественни-

ков — совмещение в едином корпусе системного блока, дисплея и сенсорной панели в качестве устройства ввода, а также способность надежно работать в жестких промышленных условиях. Вскоре к этим достоинствам добавились реализованное во многих моделях пассивное охлаждение, использование твердотельных накопителей, а также все те возможности, которые появились благодаря прогрессу электроники в целом. Рост производительности и функциональности компактных вычислительных модулей (материнских плат малых форм-факторов, одноплатных компьютеров и нестандартных плат) привел к тому, что возможностей панельных компьютеров стало вполне достаточно для широкого круга задач в рамках АСУТП. Очевидно, что значительная часть этих задач связана с реализацией человеко-машинного интерфейса.