

Си Си Ву

## Как сделать встраиваемый накопитель данных отказоустойчивым

В статье описаны проблемы создания отказоустойчивой системы хранения данных для встраиваемых систем с ограниченными размерами и низким энергопотреблением. Предложены решения этой задачи с использованием RAID-контроллеров и накопителей компании Innodisk.

Отказоустойчивость — это святой Грааль для встраиваемых систем, особенно для ответственных применений, требующих работы в реальном времени, простои которых приводят к дополнительным затратам. Сказать о необходимости сокращения времени простоя гораздо проще, чем сделать это, особенно когда речь идёт о системах хранения данных.

Технология резервированных массивов независимых дисков (RAID — Redundant Array of Independent Disks) широко применяется на корпоративном уровне уже десятки лет. Но её применение во встраиваемых системах затруднительно из-за ограничений по размеру, массе и вычислительных особенностей. Широкое распространение в последнее время малоформатных твердотельных накопителей высокой плотности сделало возможным создать резервированную систему хранения данных даже в компактных встраиваемых системах. С ультракомпактными RAID-контроллерами мы входим в новую эру, где понятие компактной встраиваемой системы хранения данных высокой доступности перестаёт быть оксимороном.

Резервирование — это ключевой фактор при создании надёжных накопителей. С 1990 года обычной практикой является зеркалирование дисков с использованием RAID. Стандартизированная RAID-система для зеркалирования всех данных на дисках позволяет построить

отказоустойчивую систему хранения даже с использованием относительно недорогих компонентов. Если диск вышел из строя, то нагрузку принимала на себя резервная копия, позволяя минимизировать время простоя или избежать его в хорошо реализованной системе.

RAID-системы широко распространены в серверных приложениях, но их применение на встраиваемом уровне было проблемой. Изначально твердотельные накопители были довольно дорогими, и высокая стоимость встраиваемой отказоустойчивой системы в большинстве случаев служила препятствием. Размер также был проблемой даже для твердотельных накопителей, так как первые накопители зачастую были не меньше, чем жёсткие диски, которые они заменяли.

Вычислительные мощности, необходимые для управления RAID, традиционно требовали либо громоздкого аппаратного RAID-контроллера, что нецелесообразно для систем с ограниченным пространством, либо программного контроллера. Несмотря на то что программный RAID-контроллер экономит пространство, это не всегда правильный выбор. Встраиваемые системы часто имеют ограничения по энергопотреблению и размеру системы теплоотвода и не могут позволить себе перегрузку центрального процессора и ОЗУ при работе программного обеспечения RAID.

### Надёжность против отказоустойчивости

Из-за различных трудностей в реализации резервированной системы хранения данных во встраиваемых системах для снижения времени простоя традиционно больше внимания уделяется надёжности, а не устойчивости к сбоям. Срок эксплуатации и продолжительность работы могут быть увеличены за счёт применения высококачественных компонентов и надёжной конструкции системы с высоким показателем средней наработки на отказ (MTTF — Mean Time To Failure).

Механические жёсткие диски подвержены отказам по различным причинам. Удары, вибрация и физический износ обязательно приведут к выходу диска из строя. Вопрос только в том, когда это случится. Создание надёжных жёстких дисков означает использование более качественных компонентов и надёжной механической конструкции для лучшей устойчивости к ударам и вибрации.

Сегодняшние твердотельные накопители с конструкцией без движущихся частей исключают механические проблемы как фактор выхода устройств из строя, но остаётся возможность сбоев в контроллере диска или на уровне запоминающего устройства. Также ячейки флэш-памяти имеют ограниченное число циклов записи. Таким образом, флэш-память устойчива к ударам и виб-



Рис. 1. Твердотельный накопитель  
Innodisk M.2 3SE3 32 Гбайт  
с размерами 22x42x3,5 мм

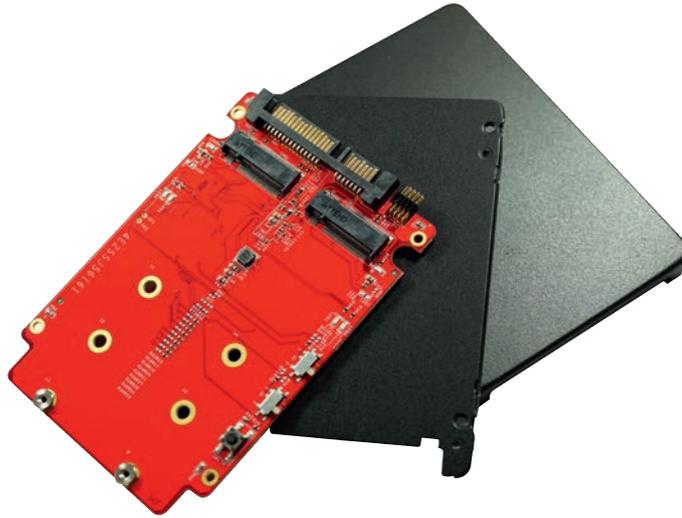


Рис. 2. RAID-контроллер E2SS-32R2  
в корпусе 2,5"

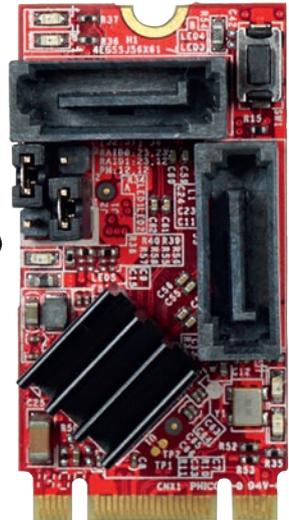


Рис. 3. Компактный RAID-контроллер  
EG5S-32R1 в формате M.2  
с размерами 22x42x11 мм

рации, но требует постоянного контроля её износа. Поэтому улучшение надёжности твердотельных накопителей влечёт за собой применение промышленных дисков, контроллеры которых оптимизированы для надёжной и длительной работы, а не только для увеличения производительности, и которые используют компоненты более высокого уровня. В промышленных системах чаще применяется память типа SLC (Single Level Cell) с одноуровневыми ячейками или альтернативные варианты, например iSLC, в то время как в потребительских устройствах используется память типа MLC (Multi Level Cell) с многоуровневыми ячейками. Флэш-память высокого уровня позволяет осуществить в несколько раз большее количество циклов записи, чем память MLC, что значительно увеличивает срок эксплуатации накопителя.

Повышение надёжности всегда является основной целью для промышленных систем, но для общего улучшения жизнеспособности системы требуется также и повышение отказоустойчивости. Для понимания того, как создать отказоустойчивую систему, мы просто можем взглянуть на корпоративные центры обработки данных, где простой может стоить тысячи и миллионы долларов. В таких ответственных применениях надёжные компоненты комбинируются с отказоустойчивой конструкцией для создания систем высокой готовности.

Готовность системы, которая может характеризоваться как минимизация времени простоя, достигается двумя путями. Первый подход увеличивает время эксплуатации системы за счёт повы-

шения надёжности. Второй подход уменьшает время восстановления системы, повышая отказоустойчивость.

### ВСТРАИВАЕМЫЙ ОТКАЗУСТОЙЧИВЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ДАННЫХ

Отказоустойчивый накопитель требует резервирования, и здесь нет альтернатив. К счастью, в наши дни и твердотельные накопители и RAID-контроллеры значительно уменьшились в размерах, в то время как первоначальные твердотельные диски имели размер, аналогичный механическим жёстким дискам, которые они заменяли, современные накопители форматов mSATA и M.2 несравнимо меньше даже 2,5" дисков для ноутбуков, выглядящих в сравнении с mSATA и M.2 как раздувшиеся бегемоты.

Компактные накопители имеют размер меньше половины игровой карты, а их толщина измеряется в миллиметрах (рис. 1).

Размеры RAID-контроллеров также подверглись серьёзному уменьшению. То, что раньше требовало полноразмерной платы расширения, теперь может быть реализовано на одной микросхеме. При правильном выборе встроенного программного обеспечения новое поколение RAID-контроллеров успешно работает с твердотельными накопителями, не ухудшая их характеристик.

Сегодня на рынке существует множество вариантов накопителей различных форматов, предназначенных для разработки встраиваемых систем. Для крупных систем, уже имеющих отсек для дисков 2,5", есть RAID-контроллер, эмулирующий такой диск. Он содержит

аппаратный RAID-контроллер и два слота mSATA или M.2 для резервирования накопителей. Сконфигурированный в режиме RAID 1 или RAID 0, он распознаётся системой как стандартный диск формата 2,5", при этом обеспечивая резервирование и отказоустойчивость или более высокую производительность в случае RAID 0 (рис. 2).

Для компактных систем интерфейсы mSATA или M.2 могут обеспечить наиболее компактную конфигурацию RAID, доступную на сегодняшний момент. Также как и в случае замены 2,5" диска, RAID-контроллер формата mSATA или M.2 подключается в соответствующий интерфейс и определяется системой как одиночный диск. Фактически он обеспечивает резервирование накопителей через физическое соединение с двумя SATA-накопителями (рис. 3).

Эти накопители могут быть SATA-дисками обычного размера, соединёнными гибкими кабелями, или модулями SATA DOM, являющимися компактными накопителями, подключаемыми непосредственно в разъём SATA. Диски SATA DOM компании Innodisk представлены в различных конфигурациях, как вертикальной, так и горизонтальной установки, что позволяет разместить их в различных встраиваемых системах (рис. 4).

В высокопроизводительных встраиваемых системах с жёсткими ограничениями по размеру может рассматриваться использование двух накопителей совместно с программным RAID-контроллером, что невозможно в большинстве встраиваемых систем с низким энергопотреблением. Небольшие размеры на-



Рис. 4. Накопитель SATA DOM Innodisk SH 3E3 для установки во встраиваемые системы

копителей форматов mSATA, M.2 и SATA DOM делают конфигурацию RAID максимально компактной, но использование ресурсов процессора и оперативной памяти для поддержания работы такой конфигурации приводит к тому, что её применение целесообразно только для встраиваемых систем верхнего уровня.

### РЕАЛИЗАЦИЯ ВСТРАИВАЕМЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ДАННЫХ ВЫСОКОЙ ГОТОВНОСТИ

Комбинация отказоустойчивой системы RAID с надёжными твердотельными накопителями промышленного уровня с памятью SLC или iSLC позволяет встраиваемым системам получить реальную высокую готовность. Оба фактора: надёжность — время до отказа и отказоустойчивость — время восстановления — обеспечивают минимизацию времени

простоя подсистемы хранения данных. Отказоустойчивость также может рассматриваться как позитивный фактор для имеющихся дисков с памятью MLC. Для приложений с ограничением по количеству циклов записи она может служить доступным и эффективным способом снижения времени простоя.

Длинный и сложный путь развития твердотельных накопителей и RAID-контроллеров позволил современным встраиваемым системам в итоге получить настоящую отказоустойчивую систему хранения данных. ●

**Автор – вице-президент компании Innodisk  
Перевод Александра Барона, сотрудника фирмы ПРОСОФТ  
Телефон: (495) 234-0636  
E-mail: info@prosoft.ru**

## НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

### MobileHMI™ от ICONICS – передовые технологии для мобильной автоматизации

Программный продукт **ICONICS MobileHMI™** стал победителем в номинации «Лучшее мобильное приложение 2018 года для управления и автоматизации» по результатам опроса читателей журнала *“Control Engineering”*.

В приложении **MobileHMI** объединены самые современные тенденции мобильной автоматизации. Инновационные возможности 3D-графики позволяют представить любые технологические данные из среды **GENESIS64 SCADA** без дополнительных временных затрат на трансформацию экранных форм.

Также доступен просмотр и анализ ключевых показателей эффективности (KPI), таких как OEE, время простоя, индекс Срк, энер-

гопотребление, отказы и качество продукции, с использованием интуитивно понятных по бизнес-ролям интерактивных диаграмм и аналитик. **MobileHMI** является первым в мире приложением, объединившим 3D HMI с устройствами **Microsoft HoloLens**, а также технологиями дополненной реальности (NFC, GPS, RFID, чтение штрих-кода и QR-кода). ●

### Испытания пройдены: компьютер AdvantiX совместим с операционной системой реального времени QNX 6.5

Специалисты компании «СВД Встраиваемые Системы» провели успешное тестирование компактной станции технологического управления **AdvantiX IPC-SYS4-A9** с поддержкой операционной системы реального времени **QNX 6.5**.

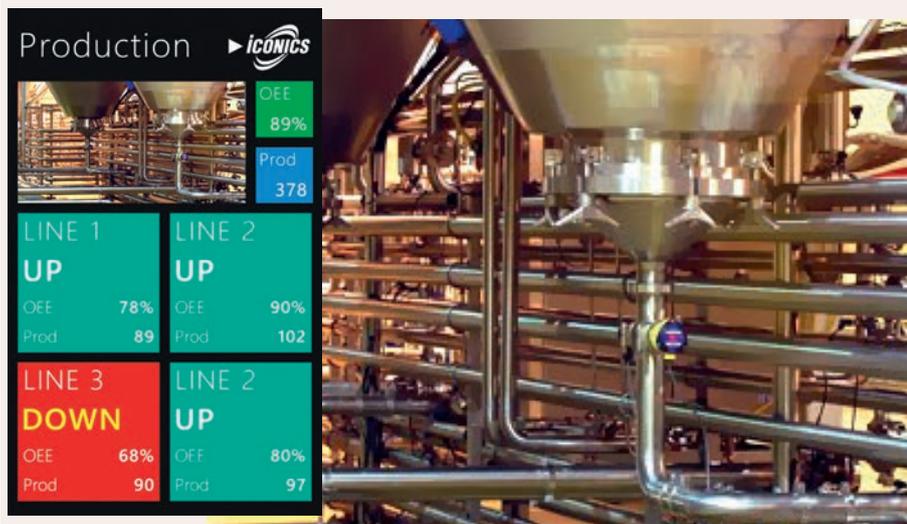


Тестовый компьютер состоит из системного блока на базе платы **iBase IB990AF** с набором системной логики **Intel C236**, процессора **Pentium G4400**, оперативной памяти **Kingston** объёмом 8 Гбайт и жёсткого диска объёмом 1 Тбайт. Тестирование проходило на базе операционной системы реального времени (OC PB) **QNX 6.5.0 SP1 BIOS American Megatrends** версии 2.18.1256.

Испытания показали, что установка операционной системы, загрузка информации с флэш-накопителя и сетевая загрузка проходят без проблем. Также успешно установились и заработали драйверы гигабитного **Ethernet**, графического контроллера **HD Graphics 510** и подсистемы ввода-вывода.

Не менее благополучно прошли тесты **USB-накопителя** в форматах **Flash** и **CD/DVD** и последовательные порты **RS-232**.

Общий итог испытаний таков: компактная станция технологического управления **AdvantiX IPC-SYS4-A9** совместима с **OC PB QNX 6.5.0 SP1**. ●



## Новости ISA

14 ноября в Демонстрационном зале НИТ ГУАП профессор университета штата Индиана (США), президент ISA 2009 года, почётный доктор ГУАП Gerald Cockrell провёл первое занятие 14-го потока Интернет-семинара «Управление проектами». За эти годы более 350 студентов, аспирантов, преподавателей ГУАП и членов регулярной и студенческой секций ISA приняли в нём участие.

Национальный межвузовский чемпионат «Молодые профессионалы» (WorldSkills Russia) для студентов вузов впервые прошёл в Москве с 28 ноября по 1 декабря 2017 года на площадке 75-го павильона ВДНХ. В соревнованиях по профессиональному мастерству приняли участие свыше 400 конкурсантов – бакалавры и специалисты из 77 вузов страны, показавшие в ходе отборочных этапов наиболее высокие результаты в составе своих сборных. Отборочные вузовские чемпионаты стартовали 1 сентября 2017 года. Их провели более 60 высших учебных заведений по всей России, в том числе и Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. ГУАП принял участие в национальных соревнованиях по трём компетенциям: «Интернет вещей», «Инженерия космических систем» и «Программные решения для бизнеса».

Команда студентов ГУАП по компетенции «Интернет вещей» в составе Максима Устюжина и Анастасии Котовой заняла первое место и была награждена золотыми медалями чемпионата. Компетенция «Интернет вещей» относится к категории Future Skills (профессии будущего) и направлена на подготовку специалистов по комплексной автоматизации и роботизации производства с использованием самых передовых промышленных технологий. Компетенция создана в 2016 году при поддержке компаний РТС и Fanuc. Команда ГУАП по «Инженерии космических систем» в составе Вадима Афанасьева, Михаила Матвеева и Анастасии Уколовой заняла третье место.

Большой объём работы по подготовке к чемпионату команд и экспертов взяли на себя лаборатория Интернета вещей Инженерной школы ГУАП (руководитель – активный член Российской секции ISA А.В. Сергеев), институт информационных систем и защиты информации ГУАП (директор А.М. Тюрликов) и факультет среднего профессионального обучения ГУАП (декан Н.А. Чернова). Успех в чемпионате – это закономерный итог современной модели обучения, построенной на реальных задачах



Команда ГУАП на чемпионате WorldSkills Russia

индустрии с использованием современного оборудования и технологий.

В канун Нового года в адрес Российской секции ISA поступили многочисленные приветствия и поздравления от коллег из России, Великобритании, Ирландии, Италии, Бельгии, Испании, США, Австралии, Бразилии, Канады, Голландии, Саудовской Аравии. Среди поздравивших российскую секцию ISA традиционно такие известные университетские центры, как MIT и университеты штата Индиана (США), Катании и Коге Еппа (Италия), Вальядолида (Испания).

Господин Brian Curtis (Ирландия) вступил в должность Президента ISA 1 января 2018 года. Господин Paul Gruhn (США) был избран президентом-секретарём ISA на ежегодном собрании делегатов ISA в октябре 2017 года. Он сменил господина Curtis на высшем посту ISA 1 января 2019 года. Господин Ugo Vaggi (Италия) вступил в должность вице-президента ISA округа 12 января 2018 года. Он будет руководить округом 12 в течение двух лет до 31 декабря 2019 года.

5 февраля 2018 года в штаб-квартире ISA в Российской Федерации прошло ежегодное заседание Президиума ISA РФ. На заседании, которое вели ректор ГУАП, президент Российской секции ISA 2014 года Юлия Анатольевна Антохина и Глава представительства ISA в РФ, президент ГУАП Анатолий Аркадьевич Оводенко, с отчётом о проделанной в 2017 году работе выступил президент секции 2017 года, директор института аэрокосмических приборов и систем ГУАП, доктор технических наук, профессор Владимир Андреевич Фетисов. Его деятельность на посту президента была одобрена членами Президиума. Затем с планом работы на 2018 год выступил президент Российской секции

ISA 2018 года, директор института технологий предпринимательства ГУАП, доктор экономических наук Артур Суменович Будагов. От имени Исполкома ISA Глава представительства ISA в РФ профессор А.А. Оводенко вручил В.А. Фетисову специальный знак президента секции 2017 года. На заседании Президиума объявлены итоги выборов на пост президента-секретаря Российской секции ISA. Им стал директор института непрерывного и дистанционного образования ГУАП, доктор технических наук Сергей Владимирович Мичурин, который вступит в должность президента секции 1 января 2019 года.

В День российской науки 8 февраля в культурно-досуговом центре «Московский» собрались представители научных центров, учебных заведений, а также высокотехнологичных предприятий промышленности, имеющих прямое отношение к Московскому району Санкт-Петербурга. Большая группа сотрудников и преподавателей ГУАП приняла участие в этом событии. Программа торжественного собрания научного сообщества включала в себя выступления представителей промышленности и администрации города, поздравления от творческих коллективов КДЦ «Московский», а также награждение лучших представителей науки и образования, работающих на территории Московского района. Специальными наградами администрации Московского района были отмечены активные члены Российской секции ISA: Владислав Фёдорович Шишлаков (директор института инновационных технологий в электромеханике и робототехнике ГУАП) и Елена Георгиевна Семёнова (директор института инноватики и базовой магистерской подготовки ГУАП). ●