

Применение комбинированных методов повышения надёжности бортовых информационных систем

Алексей Ушаков, Михаил Землянов, Алексей Мамин,
Александр Пименов, Михаил Ананьев, Сергей Чихляев (Москва)

Одной из приоритетных задач, возникающих при проектировании бортовых систем сбора данных и требующих особого внимания разработчиков, является обеспечение крайне высокого уровня надёжности таких систем. В статье рассматривается комбинированный аппаратно-программный метод повышения надёжности электронной аппаратуры, использованный при создании многоканального комплекса сбора данных системы наземных измерений новейшего космического ракетного комплекса «Ангара».

Важнейшей проблемой, стоящей перед разработчиками современных информационных систем специального назначения, является обеспечение высокого уровня их надёжности. Это особенно актуально в отношении различных бортовых систем, прежде всего, из-за отсутствия возможности ремонта либо замены отказавшего блока после его монтажа на объекте. Традиционным решением является двухканальное резервирование всей аппаратуры, что зачастую не даёт желаемого результата. Тройирование, широко применяемое в авиакосмической технике, значительно усложняет аппаратуру, повышает её стоимость, а также увеличивает энергопотребление и ухудшает массогабаритные характеристики.

В связи с широким распространением микросхем программируемой логики с высокой степенью интеграции у разработчиков появилась возможность повышения надёжности интеллектуальной радиоэлектронной аппаратуры благодаря использованию методов, которые основаны преимущественно на программных решениях, оптимизированных под конкретную задачу. Главными достоинствами такого подхода являются упрощение электронной части аппаратуры за счёт переноса основной массы функций обработки информации на программное обеспечение, а также удобство отладки проекта и его дальнейшей модернизации, связанное с использованием перепрограммируемых устройств.

Комбинированный метод повышения надёжности, основанный на применении как аппаратного резервирования, так и программных решений, был использован при создании многоканального комплекса сбора данных системы наземных измерений новейшего космического ракетного комплекса «Ангара» (далее – комплекс). Комплекс обеспечивает непрерывный контроль состояния бортовых датчиков системы наземных измерений и отображение значений параметров, контролируемых этими датчиками, на дисплее оператора в реальном масштабе времени в период стендовых испытаний, транспортировки, заправки и предстартовой подготовки ракеты-носителя. Значения

всех параметров, дополненные временной привязкой, сохраняются в резервированном дисковом массиве и передаются в смежные системы по дублированному каналу связи для дальнейшей обработки. Комплекс позволяет производить опрос до 960 аналоговых датчиков температуры, давления, пульсаций давления и влажности с частотой до 600 Гц.

Структурная схема комплекса представлена на рисунке 1. Комплекс состоит из наземной и бортовой частей, которые соединены с помощью резервированной волоконно-оптической магистральной линии связи (далее – магистраль) длиной 1500 м.

Бортовая часть включает в себя бортовой маршрутизатор пакетов (далее – маршрутизатор) и до пяти кольцевых волоконно-оптических линий связи (КЛС), каждая из которых может содержать до шести преобразователей сигналов датчиков (далее – преобразователь). Преобразователи предназначены для оцифровки аналоговых сигналов, поступающих от внешних датчиков, и выдачи результатов преобразования в КЛС по внешнему запросу. Маршрутизатор служит для организации эффективного обмена данными между магистралью и несколькими КЛС.

Наземная часть комплекса включает в себя интеллектуальный магистральный шлюз (далее – шлюз) и регистрирующее устройство (далее – регистратор). Шлюз осуществляет формирование и выдачу в магистраль запросов на считывание данных с преобразователей, накопление этих данных и их передачу регистратору по шине USB. Регистратор служит для математической обработки результатов опроса датчиков и отображения измеренных значений бортовых параметров на дисплее. Регистратор предусматривает возможность передачи обработанных данных в смежные системы путём его подключения

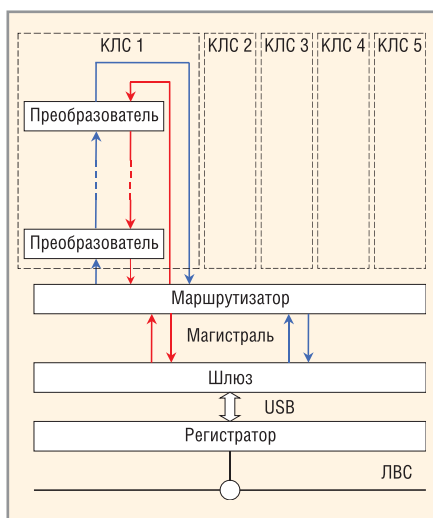


Рис. 1. Структурная схема комплекса

к существующей локальной вычислительной сети (ЛВС) на основе интерфейсов RS-485 или Ethernet 10/100.

Использование оптоволокна для организации линий связи позволило повысить электромагнитную совместимость бортовой аппаратуры комплекса с радиоэлектронной аппаратурой ракеты-носителя, снизить вес бортовых кабелей и повысить пожаробезопасность комплекса.

Рассмотрим обобщённую схему комплекса в его минимальной конфигурации (см. рис. 2), которая включает в себя источник данных (датчики), преобразователь, шлюз и регистратор. Данные о состоянии датчиков поступают на регистратор по двум *информационным каналам* (сплошные стрелки на рис. 2), каждый из которых поделен на сегменты, соответствующие этапам преобразования данных (A1 – D1 и A2 – D2). Достоверность данных, получаемых по каждому каналу, оценивается регистратором благодаря применению избыточного кодирования информации. Запросы на выдачу данных и команды управления поступают на преобразователь по двум *каналам управления* (пунктирные стрелки на рис. 2), которые делятся на сегменты аналогично информационным каналам. Информационные и управляющие каналы могут включать в себя одни и те же сегменты в случае, если последние способны выполнять необходимые функции.

Группа сегментов, выполняющая законченный набор операций по преобразованию входных данных в формат, пригодный для их представления или передачи по внешнему каналу связи для дальнейшей обработки, образует функциональный блок (ФБ). Входными данными сегмента являются результаты предшествующего этапа преобразования, получаемые от соответствующих сегментов первого и второго каналов либо от внешнего источника данных, в случае если сегмент является первым в цепочке преобразования ФБ. Выходные данные сегмента являются продуктом преобразования всего объёма его входных данных и составляют половину исходной информации для следующих сегментов цепочки преобразования ФБ при наличии таковых. Для иллюстрации сказанного обратимся к рис. 2. Сегменты A1 – B1 и A2 – B2 образуют две законченные цепочки преобразования данных ФБ

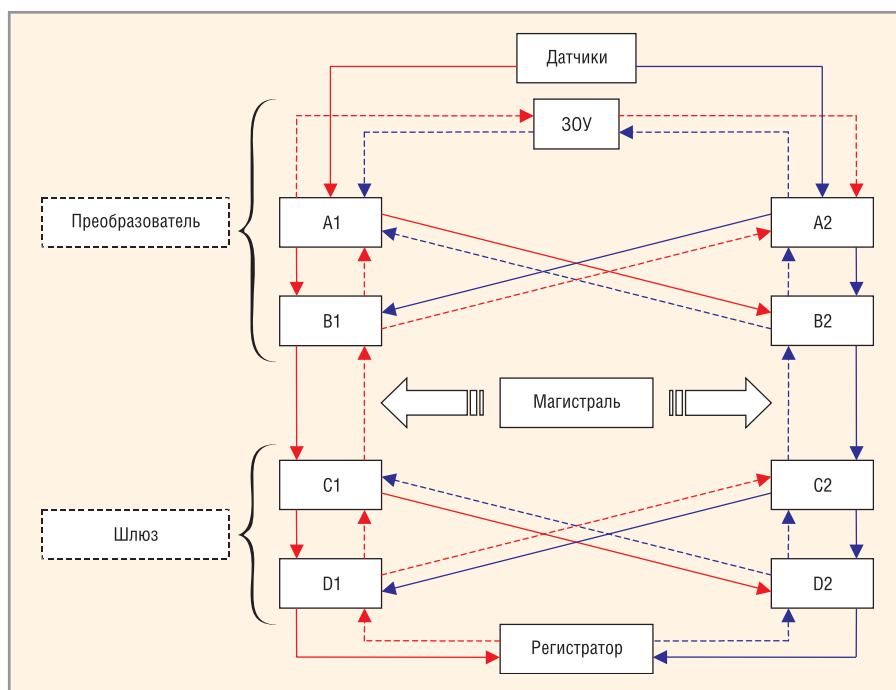


Рис. 2. Упрощённая схема комплекса в минимальной конфигурации

и являются элементами как информационных, так и управляющих каналов ФБ. Так, например, сегмент A1 является первым в цепочке преобразования информационного канала и последним в цепочке преобразования канала управления.

Важным требованием, позволяющим существенно повысить отказоустойчивость ФБ, является исключение из него таких управляющих связей, которые могут привести к блокированию работоспособных сегментов его каналов вследствие получения ими некорректных управляющих сигналов. Однако, полный отказ от подобных связей исключит возможность восстановления работоспособности функционального блока в случае сбоя путём воздействия внешними управляющими сигналами на отдельные сегменты его каналов. Для уменьшения вероятности нежелательного взаимовлияния сегментов внутри функционального блока при наличии между ними потенциально опасных управляющих связей служат защитно-ограничительные устройства (ЗОУ), которые являются промежуточным звеном между источником управляющего сигнала и его потребителем. Важной особенностью применяемых ЗОУ является их способность не блокировать управляемые устройства при получении некорректной команды, а также при полных или частичных отказах самих ЗОУ. Поясним сказанное, обратившись к рис. 2.

Предположим, что сегмент A2 вышел из строя в связи с программным сбоем его управляющего устройства, разорвав цепочку преобразования второго информационного канала. Решением проблемы является выдача регистратором управляющей команды на преобразователь, в соответствии с которой сегмент A1 должен выдать сигнал «сброса» на управляющее устройство сегмента A2. Однако, в случае отказа сегмента A1 он может вывести из строя работоспособный сегмент A2, выдав сигнал «сброса» без внешней команды. В этой связи функции выдачи потенциально опасных управляющих сигналов переложены на ЗОУ, а сегмент A1 выдаёт лишь последовательность кодов, полученную от регистратора и однозначно определяющую тип управляющего сигнала для A2.

Сегменты информационных каналов, завершающие цепочку преобразования функционального блока (мониторы), осуществляют наблюдение за остальными сегментами этого функционального блока, в том числе, друг за другом, анализируя кодовые посылки, выдаваемые каждым сегментом на шину диагностики (на рисунке не показана) через определённые интервалы времени. Результаты наблюдения выдаются в линию связи по внешнему запросу и обрабатываются регистратором, после чего принимается решение о работоспособности того или иного сегмента и, как

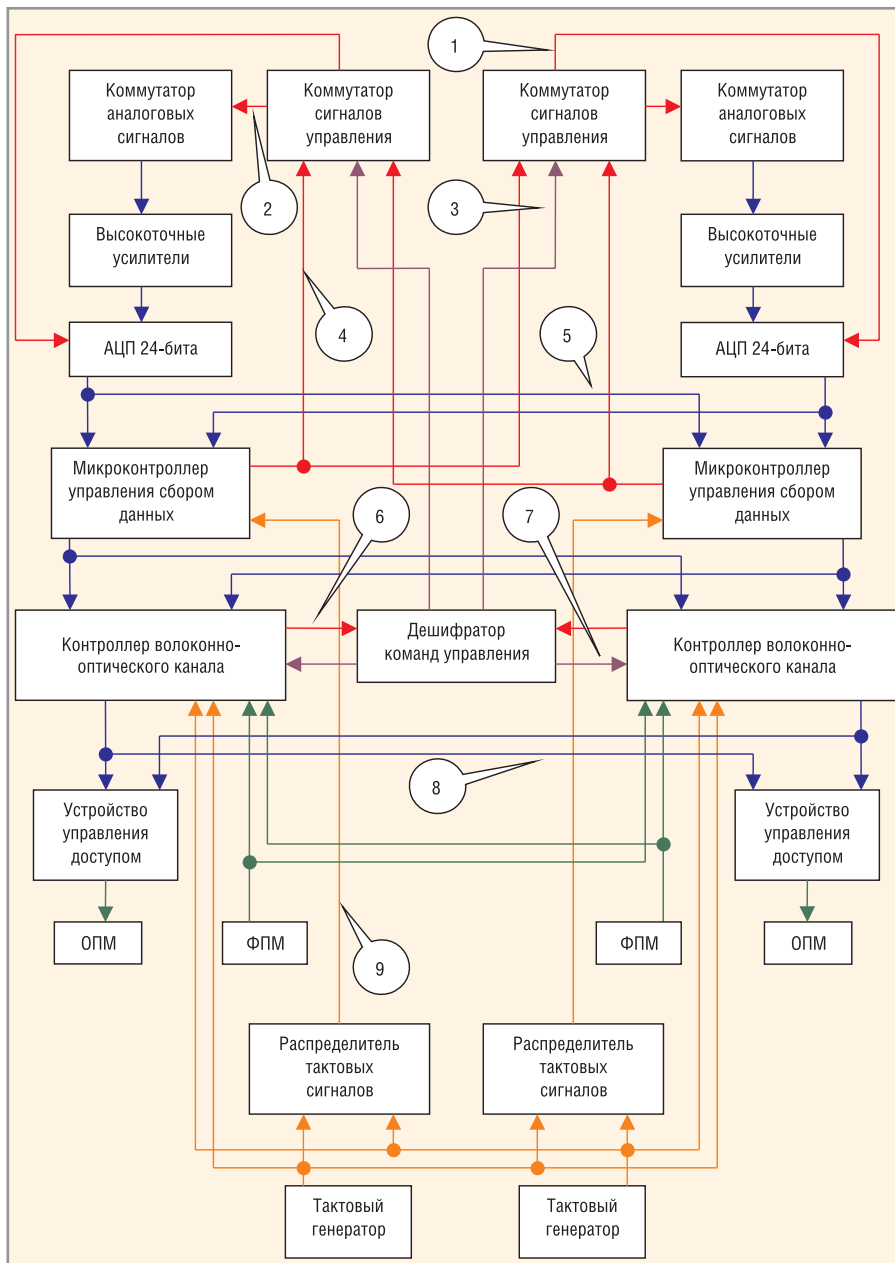


Рис. 3. Функциональная схема ПСД

1 – команды управления АЦП, 2 – команды управления коммутатором аналоговых сигналов, 3 – команда на переключение коммутатора управляющих сигналов, 4 – шина управления АЦП и коммутатором аналоговых сигналов, 5 – данные с АЦП, 6 – код команды управления, 7 – сигнал «сброса» контроллера волоконно-оптического канала связи, 8 – шина управления и данных между устройством управления доступом к ОПМ и контроллером волоконно-оптического канала связи, 9 – тактовый сигнал

следствие, достоверности его выходных данных. В процессе принятия решения оценивается диагностическая информация сегмента за определённый период времени, полученная от мониторов каждого канала, учитывается состояние самих мониторов, а также адекватность выходных данных сегмента при наличии известной информации на его входах.

Программные методы повышения надёжности комплекса представлены специализированными алгоритмами самодиагностики всех функциональ-

ных блоков комплекса, позволяющих распознать и классифицировать до 97,7% аппаратных и 99,4% программных сбоев. Стоит отметить также ряд программных средств повышения эффективности работы отдельных электронных узлов, что, в свою очередь, также ведёт к повышению надёжности. Так, например, уменьшение вероятности отказа оптических передающих модулей (ОПМ) обеспечивается сокращением времени их работы до минимума за счёт выбора оптимальных путей для передачи ин-

формационных пакетов. Передаваемые данные преобразуются с помощью специализированного кода, позволяющего не только сократить время нахождения ОПМ в активном состоянии (режиме излучения), но и внести избыточность, необходимую для распознавания и коррекции ошибок. Кроме того, такой режим работы ОПМ позволяет снизить энергопотребление бортовой аппаратуры, уменьшить тепловыделение и, как следствие, температуру внешней поверхности корпусов, что повышает пожаробезопасность комплекса.

Реализация вышеперечисленных подходов к повышению надёжности аппаратуры комплекса может быть более подробно рассмотрена на примере отдельного функционального блока (преобразователя).

Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 3. Преобразователь включает в себя два информационных канала и два канала управления. Составными частями информационного канала являются: коммутатор управляющих сигналов, коммутатор аналоговых сигналов, высокоточные аналоговые усилители, пятиканальный 24-битный АЦП с частотой преобразования до 1000 Гц, микроконтроллер управления сбором данных, контроллер волоконно-оптического канала связи, оптический передающий модуль (ОПМ) и устройство управления доступом к ОПМ. Составными частями канала управления являются оптический приёмный модуль и контроллер волоконно-оптического канала связи. Кроме того, преобразователь содержит дешифратор команд управления, два независимых термокомпенсированных генератора тактовых сигналов, два распределителя тактовых сигналов и резервированный трёхканальный вторичный источник питания (на рис. 3 не показан).

Отметим функциональное назначение каждого из перечисленных устройств.

Коммутатор аналоговых сигналов служит для коммутации сигналов датчиков на входы АЦП, подачи питания на датчики, а также подключения к ним различных схем управления.

Микроконтроллер управления сбором данных осуществляет выдачу управляющих сигналов на коммутатор аналоговых сигналов и АЦП, считывание результатов преобразования с АЦП и их запись во встроенную па-

Датчики для любых Ваших Решений

датчики расхода газа

датчики контраста

датчики угла

датчики давления

датчики усилия

датчики положения объекта

датчики влажности

датчики температуры

датчики магнитного поля

датчики цвета

www.sensorica.ru



Москва 1-й Щемилковский пер., д. 16, стр. 2
Тел./факс: 495 223 0038
E-mail: info@sensorica.ru

Реклама

**Обратный звонок:
оставьте на сайте ваши
координаты
и мы вам перезвоним
www.sensorica.ru/contact.html**

мья контроллеров волоконно-оптического канала связи.

Контроллер волоконно-оптического канала связи обеспечивает предварительную обработку накопленных данных, информационный обмен по КЛС с другими устройствами бортовой части комплекса и выдачу командных кодов на дешифратор команд управления при получении соответствующего внешнего запроса. Основой контроллера является программируемая матрица семейства Cyclone II фирмы Altera.

Коммутатор управляющих сигналов позволяет организовать режим перекрестного управления между сегментами первого этапа преобразования информационных каналов по внешней команде.

Устройство управления доступом (УУД) осуществляет распределение доступа к сопряжённому оптическому передающему модулю (ОПМ) между несколькими контроллерами волоконно-оптического канала связи (ККС). В нормальном состоянии УУД замыкает выход приёмного модуля на вход передающего модуля, чем обеспечивает сквозную передачу данных по оптическому каналу связи. При необходимости передачи данных ККС проверяет доступность ОПМ, используя обратную связь, и посылает запрос на УУД в виде последовательности управляющих кодов. В случае корректности управляющих кодов УУД выдаёт сигнал подтверждения и подключает выход данных ККС, инициировавшего передачу, к входу ОПМ на фиксированный период времени, в течение которого доступ к ОПМ других устройств запрещён. По истечении выделенного для передачи времени происходит принудительное отключение ККС от ОПМ. Такое решение позволяет избежать монопольного занятия линии связи неисправным ККС, а также сохранить целостность КЛС при одновременном отказе ККС обоих каналов.

Дешифратор команд управления (ДКУ) относится к защитно-ограничительным устройствам и служит для декодирования управляющих команд, получаемых от ККС, и выдачи соответствующих им управляющих сигналов на те или иные сегменты. ДКУ построен по трёхканальной схеме, на выходе которой расположен

токовый сумматор, обеспечивающий мажоритирование по схеме «два из трёх». Неисправный канал ДКУ автоматически отключается и в дальнейшем не участвует в операции мажоритирования. Для контроля правильности выдаваемых команд предусмотрена обратная связь на ККС (на рис. 2 не показана).

РТС служит для обеспечения МКУ тактовой частотой и осуществляет автоматическое переключение с основного тактового генератора на резервный в случае его отказа либо снижения тактовой частоты более чем на 10%.

Основываясь на упрощённой схеме комплекса (рис. 2), можно объединить некоторые вышеперечисленные устройства в сегменты согласно этапам преобразования данных следующим образом:

- коммутатор аналоговых сигналов + АЦП + микроконтроллер управления сбором данных – сегмент первого этапа преобразования информационного канала;
- оптический приёмный модуль – сегмент первого этапа преобразования канала управления;
- контроллер волоконно-оптического канала связи – сегмент второго этапа преобразования информационного канала и канала управления;
- устройство управления доступом к ОПМ + ОПМ – сегмент третьего этапа преобразования информационного канала.

Запросы, поступающие по КЛС, обрабатываются ККС обоих каналов, однако отвечает на запрос лишь ККС того канала, код которого содержится в специальном поле пакета запроса. Ответ преобразователя представляет собой результаты опроса датчиков, полученные от микроконтроллеров управления сбором данных первого и второго каналов. Сравнение данных и принятие решения об их достоверности осуществляется в наземной части комплекса. В зависимости от служебных флагов в пакете запроса ответный пакет может быть послан далее по тому же кольцу либо возвращён по дублирующему каналу, что позволяет получить доступ к преобразователю при двойных обрывах КЛС. В случае отказа ККС, приводящего к неконтролируемым изменениям состояния его выходов, работоспособность преобразователя поддерживается с помощью УУД,

которое не допускает подключения ОПМ к неисправному ККС. Выдача ложных команд, способных привести к изоляции других устройств канала, блокируется с помощью дешифратора команд управления (ДКУ), который требует посылки управляющих кодов в определённой последовательности и соблюдения некоторых других условий для генерации управляющих сигналов. В связи с тем, что отказоустойчивость ККС в значительной степени определяется долей ошибок в программном обеспечении ПЛИС, а также уязвимостью статической памяти ПЛИС к внешним воздействиям, ДКУ предусматривает команду повторной загрузки содержимого памяти конфигулятора в статическую память ПЛИС, что позволяет в большинстве случаев восстановить работоспособность ККС при наличии программных сбоев. Запрос на реконфигурацию ПЛИС поступает извне и содержит необходимую кодовую последовательность, которая транслируется на ДКУ одним из ККС.

Проблема программных сбоев микроконтроллера управления сбором данных (МКУ) решается с помощью встроенного сторожевого таймера, который выдаёт сигнал «сброса» микроконтроллера при закливании программы либо выполнении ошибочных инструкций вследствие сбоя в статической памяти или регистрах МКУ. При возникновении отказа МКУ, который приводит к блокированию связанного с ним сегмента канала, имеется возможность передачи управления этим сегментом исправному МКУ смежного канала. Команда передачи управления поступает извне и выполняется аналогично команде реконфигурации ККС.

Таким образом, преобразователь сохраняет работоспособность при наличии двух и более последовательных отказов, при перекрестных отказах, а также при программных сбоях при условии сохранения работоспособности одного из ККС.

В результате применения комбинированного метода повышения надёжности, основанного на использовании комплексного резервирования электронной аппаратуры и специализированных программных решений, прогнозируемая оценка вероятности безотказной работы комплекса¹ составила 0,998 за 240 ч, что подтверждает

¹ Под отказом комплекса подразумевается невозможность передачи данных о параметрах, контролируемых бортовыми датчиками.

эффективность предложенного подхода. Расчет надёжности, проведённый с помощью программного комплекса «АСОНИКА-К», был подтверждён результатами испытаний технологического макета комплекса с использованием специально разработанной оснастки, позволяющей имитировать наиболее вероятные отказы тех или иных электронных узлов функциональных блоков комплекса.

Благодаря своей универсальности, комплекс может быть эффективно использован для решения задач телеметрии в различных областях народного хозяйства: в машиностроении,

энергетике, на транспорте, – там, где необходимы высокие эксплуатационные показатели, такие как отказоустойчивость аппаратуры, её стойкость к внешним воздействиям, электромагнитная совместимость, вероятность идентификации недостоверных данных. Одним из возможных применений комплекса является контроль технических параметров магистральных нефте- и газопроводов, где в полной мере проявятся основные достоинства комплекса – высокий уровень пожаробезопасности, развитая подсистема самодиагностики, возможность дистанционного

устранения сбоев, большое количество подключаемых датчиков, длительное время работы бортовой части в автономном режиме (без подачи внешнего питания). Широкие возможности комплекса объясняются возможностью адаптации его бортовой части под конкретную задачу. Так, например, использование различных модификаций преобразователей позволяет обеспечить сбор данных с аналоговых и цифровых датчиков различных типов и управление исполнительными устройствами, например, электромагнитными реле, клапанами и т.п. Э

Новости мира News of the World Новости мира

Экологически чистые флюоресцентные лампы не перспективны?

Вторая в мировом рейтинге производителей жидкокристаллических панелей для телевизоров и мониторов тайваньская компания Chi Mei Optoelectronics (CMO), похоже, начинает терять уверенность в перспективности модулей задней подсветки на основе экологически чистых плоских флюоресцентных ламп (FFL).

Согласно заявлению президента CMO Чао Янг Хо (Chao-yang Ho), из-за высокой стоимости и небольшого объёма производства технология всё ещё находится в стадии разработки. Руководство компании продолжит изучать возможность ввода FFL в массовое производство в будущем году. Производством модулей, лишённых ртутьсодержащих соединений, должна заниматься компания NuLight Technology – совместное детище CMO и Delta Electronics, основанное в марте 2006 г.

Главным фактором, препятствующим быстрому появлению на рынке FFL-модулей, является их неконкурентоспособность по отношению к традиционным модулям на основе ламп с холодным катодом (CCFL), – утверждает технический директор NuLight Technology Джун Хой Цай (Junhui Tsai). Однако, процитировав недавний отчёт компании Samsung Electronics, отработавшей о серьёзных успехах в разработке FFL, Джун Хой Цай заявил, что убеждён в перспективности дальнейшего развития данной технологии.

digimes.com

Шина с пропускной способностью 1 Тбайт/с от Rambus

Компания Rambus, специализирующаяся на разработке высокоскоростных ин-

терфейсов передачи данных, сообщает об очередном проекте Terabyte Bandwidth Initiative (TBI), в рамках которого перед инженерами поставлена задача разработки шины с пропускной способностью свыше одного терабайта/с. Такое решение должно найти широкое применение в качестве интерфейса передачи данных в многоядерной процессорной архитектуре. На данный момент «теоретическая» составляющая уже готова, и дело за созданием рабочего образца интегральной микросхемы.

Новый высокоскоростной интерфейс представляет собой объединённые в единую систему 16 DRAM-каналов передачи данных, общая пропускная способность которых составляет 1024 Гб/с. Таким образом, каждый канал способен передавать до 64 Гб данных за секунду.

Для достижения таких высоких скоростей разработчикам пришлось использовать систему тактирования FlexLink, которая повышала входящую частоту в 500 МГц в 32 раза. При этом было решено использовать архитектуру памяти Fully Differential Memory Architecture (FDMA) и технологию FlexPhase, обеспечивающую невысокий уровень ошибок при столь высокой скорости передачи данных.

Планируется, что технология TBI найдёт своё применение в вычислительных системах в 2010 – 2011 гг., когда заметно возрастёт потребность в высокоскоростных шинах для передачи данных между памятью и многоядерным процессором. Однако пока разработчики не имеют не только готового продукта, с которым можно выйти на мировой рынок, но и рабочего прототипа для иллюстрации возможностей своей технологии.

tgdaily.com

Учёные создают колонию мини-роботов

Разнообразие роботов, уже созданных или ещё только находящихся на стадии разработки, впечатляет, однако и среди них выделяются очень интересные варианты – израильская команда учёных ведёт работу над проектом I-SWARM (Intelligent Small World Autonomous Robots for Micro-manipulation), в ходе которого планируется создание организованного «коллектива» миниатюрных аппаратов. Размеры каждого робота всего $2 \times 2 \times 1$ мм, при этом планируется, что одновременно поставленную задачу будут решать сразу тысяча подобных аппаратов, каждый из которых обладает собственным набором сенсоров и инструментов. За питание каждого робота отвечает интегрированные солнечные батареи, мощности которых вполне хватит для таких миниатюрных устройств.

Идея организации группы микророботов, организующих свои действия для достижения общей цели, явно подсказана поведением насекомых, и у такого решения есть существенные достоинства. Это не только возможность решения очень широкого круга задач, но и высочайшая «живучесть» всего «коллектива», когда потеря одного мини-робота практически никак не скажется на работоспособности остальных составляющих элементов, а значит, и всей системы в целом.

Сроки окончания работы исследователей над проектом I-SWARM пока точно не определены, при этом учёные пока подготовили только отдельные части каждого робота – пьезокерамический модуль движения, оптический модуль. Проведено и математическое моделирование поведения группы роботов, однако говорить о завершении проекта ещё слишком преждевременно.

eetimes.com