

УДК 681.324

В. Н. ЕФАНОВ

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АВИАНИКИ: КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

Рассматривается концепция создания бортовых вычислительных комплексов с открытой архитектурой на базе масштабируемых и переносимых компонентов высокой степени готовности. Исследуются особенности построения развивающихся интерфейсов для различных классов бортовой аппаратуры. Обсуждаются принципы формирования программной архитектуры открытых систем на платформах, обеспечивающих максимальную независимость аппаратных средств от используемых программных продуктов. Бортовой вычислительный комплекс; открытая архитектура; многофункциональный дисплей; жидкокристаллический индикатор; контроллер канала; развивающийся интерфейс; компоненты высокой степени готовности; системы массового параллелизма; искусственные нейронные сети; перцептрон

Повышение эффективности применения воздушного транспорта во многом зависит от качества используемого бортового оборудования, наземных и космических средств навигации, связи и управления воздушным движением. В связи с этим наблюдается постоянный рост стоимости авиационного оборудования, которая в ряде случаев достигает 40% от общей цены самолета. Наиболее радикальным на сегодняшний день средством сокращения затрат на вновь создаваемые и модернизируемые приборные комплексы считается разработка бортовых систем с открытой архитектурой. В данной статье излагаются основные положения этой концепции [1–3].

Обычно архитектуру вычислительного комплекса определяют как полную и детальную спецификацию интерфейса «пользователь–вычислительный комплекс (ВК)». При этом в качестве пользователя понимается все то, что имеет доступ к программно-аппаратным средствам ВК с целью обеспечения переработки информации. Применительно к бортовым вычислительным комплексам (БВК) можно выделить три основных вида пользователей: экипаж, другие БВК и системы, внебортовые источники информации. Что касается особенностей открытых архитектур БВК, то не только их программно-аппаратные средства, но и принципы управления развитием последних должны минимизировать воздействия вероятных изменений в технологии. Иными словами, открытые интерфейсы должны обеспечивать программно-аппаратную совместимость с последующими

поколениями бортового оборудования, принципы функционирования которого отвечают существующим тенденциям развития вычислительной техники. Рассмотрим более подробно, как сегодня реализуются принципы разработки открытых систем в рамках указанных трех типов пользовательских интерфейсов БВК.

1. «СТЕКЛЯННАЯ» КАБИНА ЭКИПАЖА КАК СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ ОТКРЫТОГО ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА

Существовавший длительное время принцип конструирования приборного оборудования, при котором каждый прибор оснащался собственным индикатором и пультом управления, привел к тому, что задействованными оказались не только многочисленные приборные доски пилотов, но в кабине пришлось устанавливать пульта бортинженеров, штурманов и других членов неизбежно увеличивающегося экипажа. При этом любая модернизация неизбежно приводила к изменению вида приборных панелей. Выходом из этого положения стало совмещение функций различных приборов в рамках многофункциональных индикаторов: индикатора обстановки в вертикальной плоскости (ИВО); индикатора обстановки в горизонтальной плоскости (ИГО); командно-пилотажного индикатора (КПИ) для отображения пилотажной информации; комплексного индикатора навигационной обстановки (КИНО) для отображения навигационной информации и ин-

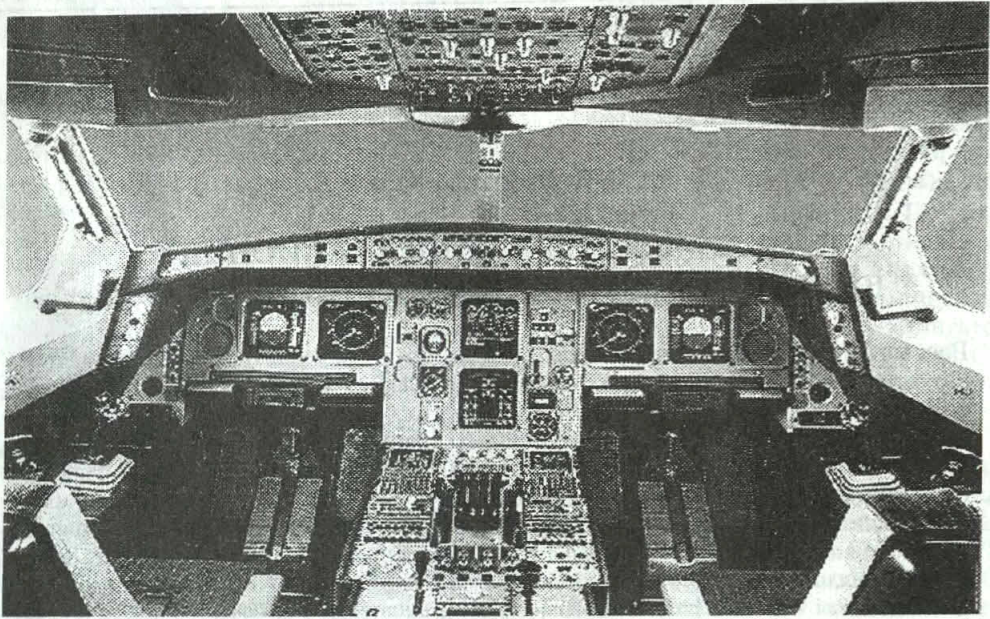


Рис. 1. Размещение панели МФИ в кабине аэробуса А 340

дикатора комплексной информационной системы сигнализации (КИСС) для отображения параметров двигателей, самолетных систем и предупреждающей сигнализации. Однако более революционным оказалось использование полностью интегрированной панели цветных многофункциональных индикаторов на базе широкоформатных активных жидкокристаллических матриц. Кабина экипажа, оснащенная такими индикаторами, получила название «стеклянной» (glass cockpit) [4].

Стандартная конфигурация интегрированной панели (рис. 1) включает: главный полетный дисплей (PFD), навигационный дисплей (ND), которые отображают основные летные и навигационные данные; многофункциональный дисплей (MFD), отображающий выбираемые карты перемещения, радар погоды, карты погоды, расширенные данные о близости земли (EGPWS) и TCAS, данные о состоянии двигателя и так далее; реверсивную тестовую панель, которая обеспечивает обратный контроль, тестирование системы ориентации и радиовысотомера, а также множество других проверочных процедур; устройства системы управления полетом — контроллер дисплея курса, обеспечивающий выбор курса, источника информации, формата отображения и диапазона отображаемых величин; курсовую панель; совмещенный контроллер курса и дисплея, позволяющий осуществлять независимый выбор ви-

зуального отображения каждым членом экипажа. Унифицированность панели дает возможность совмещать и объединять несколько функций в одном дисплее, уменьшая число приборов на панели и создавая более удобную среду кабины экипажа.

Дальнейшие перспективы создания новых средств электронной индикации связываются с концепцией универсального «общего интерфейса дисплея» (Common Display Interface) или CDI-методики, суть которой состоит в полном отказе от предметной ориентации на какую бы то ни было конкретную подсистему бортового оборудования (рис. 2). Аппаратную основу CDI-методики составляют два стандартных блока — модуль дисплея и блок управления, обладающие максимальной суммарной унифицированностью частей и предназначенные для замены всей гаммы применяемых в настоящее время дисплеев и других устройств отображения информации. Универсальные функциональные возможности этих устройств поддерживаются специальным программным обеспечением. Объединенный объект дисплей/управление рассматривается как единственное средство управления всеми приборными комплексами и как единственное устройство отображения всех возникающих в результате данных. Последнее обстоятельство делает весьма ответственным выбор физической среды для реализации унифицированного дисплея при наличии большого числа альтернативных вариантов.

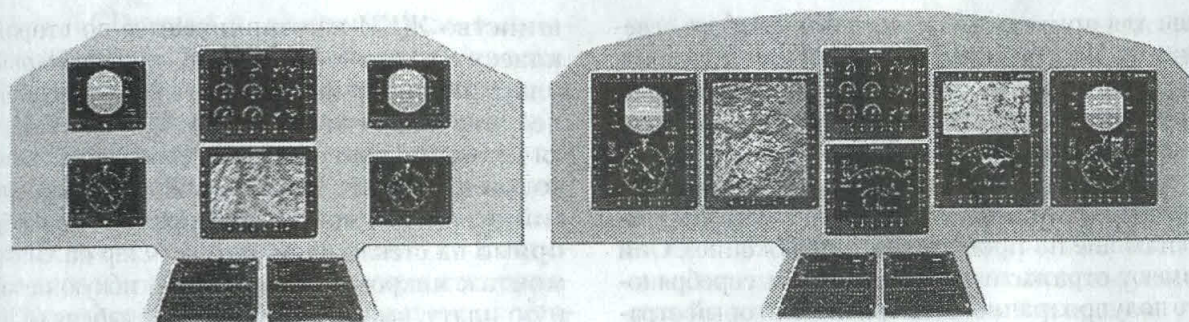


Рис. 2. Размещение дисплеев на приборной панели CDI

Дисплей на жидкокристаллических (ЖК) панелях LCD (Liquid Crystall Display) основаны на изменении оптической поляризации отраженного или проходящего света под действием электрического поля. Молекулы ЖК упорядочены послойно таким образом, что ориентация каждого слоя плавно изменяется сверху вниз, формируя спираль, которая «скручивает» поляризацию света по мере его прохождения через дисплей. ЖК помещают между двумя стеклянными пластинами со специальным покрытием, в результате чего направленность молекул в двух крайних слоях перпендикулярна. Под действием электрического поля молекулы ЖК переориентируются параллельно полю. Этот процесс называется твист-нематическим полевым эффектом (Twisted Nematic Field Effect, TNFE). При такой ориентации поляризация света не скручивается при прохождении через слой ЖК. Если верхний поляризатор ориентирован перпендикулярно нижнему, свет пройдет через включенный дисплей, но заблокируется задним поляризатором. В этом случае ЖКИ действует как заслонка свету. Панель представляет собой матрицу ячеек, каждая из которых находится на пересечении вертикальных и горизонтальных координатных проводников. В пассивной матрице (Passive Matrix) на жидкие кристаллы воздействуют поля самих координатных проводников. В активной матрице (Active Matrix) каждая ячейка управляется транзистором, которым, в свою очередь, управляют через координатные шины. Активные матрицы обеспечивают более высокую контрастность изображения. Соединение координатных шин с внешними устройствами может осуществляться с помощью жесткого крепления, резинового соединителя и гибкого шлейфа. В первом случае используется двухрядное расположение выводов (Dual-In-Line, DIL), которое обеспечивает быструю, ровную установку индикатора и его надеж-

ную работу при ударах и вибрации. Выводы могут быть впаяны в печатную плату или вставлены в разъем. При втором варианте крепления специальная металлическая рамка фиксирует стекло и прижимает токопроводящую резину к плате и стеклу. Тем самым достигается быстрый монтаж-демонтаж без паянных соединений, самовыравнивание панели, а также ее стойкость к ударам и вибрациям. Гибкий соединитель (Flex, Heat Seal Connector) используется в подвижных устройствах, где смещения могут вызвать поломку жестких выводов, или в случаях, когда требуется отдельная установка платы контроллера.

В зависимости от того, как индикатор управляет светом для создания изображения, различают рефлективные (работающие на отражение) и трансмиссивные (работающие на пропускание) индикаторы. Рефлективные индикаторы отличаются ярким, контрастным изображением и имеют широкий угол обзора. Они хорошо работают при прямой солнечной засветке и достаточном внешнем освещении. Кроме того, такие индикаторы характеризуются малыми токами потребления, поскольку не используют искусственной подсветки. Трансмиссивные ЖКИ не отражают свет, они создают изображение, управляя светом искусственного источника освещения, расположенного либо позади (Back Light) индикатора, либо сбоку (Side Light) от него. Светодиодная подсветка долговечна, не требует дополнительного источника питания и работает при отрицательных температурах. Электролюминесцентная подсветка запитывается напряжением 100–150 В, отличается малыми габаритами, весом, относительно низким потреблением при сильной светотдаче. Реже используется лампа с холодным катодом, которая хотя и отличается высокой светоотдачей, но требует для своего питания переменного напряжения амплитудой до 1000 В. Трансмиссивные индикаторы хоро-

ши для применения в условиях слабого освещения, но прямые солнечные лучи подсветка не может преодолевать, и изображение становится незаметным. Чтобы устранить негативные особенности этих двух способов управления светом, были разработаны комбинированные трансрефлективные индикаторы (работающие на пропускание и отражение). Они имеют отражатель из белого или серебристого полупрозрачного материала, который отражает часть внешнего света, пропуская в то же время свет задней подсветки. Такие индикаторы могут использоваться в широком диапазоне яркостей освещения, но при этом характеризуются более низкой контрастностью по сравнению с рефлективными приборами, так как часть света проходит сквозь отражатель.

При создании электронных средств индикации на базе ЖК-дисплеев необходимо учитывать ряд присущих им недостатков, таких как ограниченный температурный диапазон, низкая контрастность, зависимость качества изображения от угла наблюдения, инерционность ячеек. Диапазон рабочих температур ограничен сверху температурой нематическо-изотропического (N-I) перехода, а снизу — температурой кристаллическо-нематического (C-N) перехода. Выше (N-I) перехода молекулы ЖК принимают произвольную ориентацию, вследствие чего изображение исчезает. При температурах ниже (C-N) предела ЖК вещество переходит в твердое или кристаллическое состояние и время срабатывания индикатора становится недопустимо большим. Индикаторы с температурно-управляемыми интегральными нагревателями могут работать при температурах до -55°C . В этом случае время отклика индикатора при низких температурах остается таким же, как и при 0°C . Увеличение мощности нагревателя уменьшает время нагрева. Обычно требуется мощность в 2–3 Вт/кв. дюйм поверхности индикатора. Контрастность главным образом определяется условиями внешнего освещения и правильностью выбора подсветки. Эффективность поляризатора и ЖК жидкости также способствуют лучшей контрастности. Максимальную контрастность имеют модули на ферроэлектрических супертивист-нематических кристаллах (FSTN — Ferroelectric Super Twisted Nematic). Для повышения контрастности применяют также двойное сканирование: экран разбивается на две части, в которых сканирование происходит одновременно. Таким образом повышается частота обращения к каждой ячейке. Угол обзора зависит, прежде всего, от толщины слоя ЖК. Боль-

шинство ЖКИ изготавливаются по второму классу с толщиной от 6 до 8 микрон. Первый класс имеет толщину от 3 до 4 микрон. Наиболее широкий угол обзора (до 165°) достигается при 4-микронной технологии монтажа высокой плотности. К числу подобных технологий относятся: монтаж микросхемы драйвера прямо на стекло индикатора (Chip on Glass), монтаж микрокомпонентов на гибкую печатную плату, выполненную в виде кабеля (Chip on Flex), что позволяет резко сократить количество контактов между ЖКИ и микроконтроллером за счет использования контроллера с последовательным интерфейсом, а также монтаж компонентов на малогабаритную сверхтонкую печатную плату (Chip on Board).

Большие надежды возлагаются на катодлюминесцентные индикаторы с эффектом автоэлектронной эмиссии, получившие в последнее время общеупотребительное название полевых эмиссионных дисплеев (Field Emission Display — FED). FED — технология основана на свечении люминофора при его бомбардировке потоком электронов. Дисплей состоит из матрицы микроминиатюрных катодных узлов и люминофорного экрана, размещенных в герметичном плоском корпусе при давлении не более 10^{-7} мм рт. ст. Каждый пиксел обслуживает группа из нескольких сотен микропушек, управляемых общим транзистором (как и в активной LCD-матрице). Вместо отклоняющих систем и генераторов развертки применяется коммутация транзисторов матрицы. FED-панели имеют следующие технические характеристики: яркость свечения порядка $600\text{--}800$ кд/м²; высокую разрешающую способность (вплоть до 100 лин/мм); высокое быстродействие (практически определяется лишь параметрами применяемых люминофоров, так как время отклика катодов на управляющее напряжение порядка 10^{-12} с); высокую вибропрочность; диапазон рабочих температур от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$; низкие управляющие напряжения (менее 30 В); возможность воспроизведения стереоизображения; отсутствие вредных излучений. Все это позволяет считать полевые эмиссионные дисплеи наиболее перспективными из всех типов индикаторов.

Существенный прогресс в последнее время достигнут в области низкотемпературных полисиликоновых (p-Si) технологий, позволяющих изготавливать более тонкие дисплеи с большей плотностью размещения транзисторов, а также интегрировать в них различные устройства, например, управляющие элементы, модули памяти и функциональные

блоки. LCD-экран в данном случае выполняется вместе с периферийными микросхемами на одной подложке в едином технологическом цикле с использованием поликристаллического кремния. Транзисторы, полученные с помощью полисиликоновой технологии, имеют меньшие размеры, что приводит к увеличению разрешающей способности дисплея. Кроме того, при этом становится возможной интеграция управляющих элементов строк и столбцов, в результате чего сокращается стоимость изготовления дисплея в целом.

Перспективной представляется технология пластиковых ЖКИ, поскольку полимерные материалы могут быть использованы в таких условиях, где нельзя применять стекло. Недавно компания Samsung продемонстрировала свой пластиковый дисплей на супертвистовой нематической матрице размером 320×240 пикселей. Несомненными достоинствами таких устройств являются малые вес, толщина (около 0,1 мм) и высокая износостойкость. Пластиковые панели можно изгибать по форме приборной доски, в них можно прорезать отверстия для расположения дополнительных элементов, что позволяет сделать конечное изделие более компактным и легким.

Что касается газоплазменных панелей (Gas Plasma), принцип действия которых основан на свечении газа под действием электрического поля, и электролюминесцентных панелей (Electro-Luminescent), то они пока не получили широкого распространения из-за технологических трудностей создания долговечных элементов и значительного энергопотребления. Светодиодные матрицы (LED — Light Emitted Diode), казалось бы, могли бы стать решением многих проблем плоских индикаторов. Однако светодиоды имеют настолько высокую потребляемую мощность по сравнению с другими типами индикаторов, что возникает проблема безопасности их группового применения. Прогресс в этом направлении связывают с выпуском нового поколения низкотемпературных «белых» светодиодов. Принцип действия этих светодиодов основан на преобразовании длины волны за счет флюоресценции, что дает широкий спектр излучения, подлинный белый свет. Их последние модели характеризуются существенно более низкой потребляемой мощностью и, следовательно, выделяемой теплотой, в результате чего снимается проблема безопасности при освещении любых твердых поверхностей панелей приборов. При этом допускается выбор самых раз-

нообразных световых оттенков, в частности, прохладного голубого освещения, которое является оптимальным для кабины экипажа и дисплеев. Дополнительное преимущество светодиодов нового поколения заключается в оптическом улучшении конструкции за счет формирования сферической излучающей поверхности. Это позволяет им просто и быстро заменить десятки тысяч ламп, используемых сегодня для освещения панелей и кромки.

2. ИНТЕГРАЦИЯ СРЕДСТВ АВИОНИКИ НА БАЗЕ МАТРИЦЫ КЛЮЧЕВЫХ ОТКРЫТЫХ СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Вопрос о рациональных способах интеграции всей совокупности бортовых систем и комплексов остается в среде специалистов наиболее дискуссионным. Этому вопросу были посвящены специальные исследования, которые проводились в рамках программ OSDI, OSCAR, AMC&D, субсидированных Министерством обороны США в интересах авиации ВВС и ВМС. В качестве базового принципа создания развивающихся интерфейсов открытых систем авторами указанных исследований предлагается использовать матрицу ключевых открытых стандартных интерфейсов, так называемую KOSI-матрицу. В настоящее время в состав этой матрицы включается порядка двадцати программно и аппаратно совместимых стандартных интерфейсов, способных поддерживать связь между масштабируемыми и переносимыми компонентами иерархически упорядоченных бортовых информационно-вычислительных систем. Охарактеризуем наиболее важные из этого семейства стандартных интерфейсов.

Протокол MIL-STD 1553 стал основой военной авиационной электронной системы связи, начиная с его введения в 1975 году. Стандарт распространяется на бортовую мультиплексную шину передачи данных с временным разделением каналов, работающую в режиме «команда-ответ». Передача данных осуществляется последовательным способом со скоростью 1 Мбит/с. Стандартом определяются три типа терминалов: контроллер канала, монитор и оконечное устройство (удаленный терминал). Контроллер канала инициирует передачу данных и осуществляет управление работой шины. Монитор является пассивным устройством, предназначенным для выборочной записи блоков данных. Он работает либо в режиме записи данных для последующего анализа в интересах технического обслуживания, либо в

качестве резервного контроллера при выходе из строя основного контроллера. Оконечное устройство собирает информацию с датчиков самолета и преобразует ее в форматы канала. Оно обеспечивает также прием информации, поступающей по шине, и преобразует ее в формат бортовой системы. Всего к шине может быть подсоединено до 32 терминалов. Стандарт регламентирует три основных вида обмена: контроллер–оконечное устройство, оконечное устройство–контроллер, оконечное устройство–оконечное устройство и, кроме того, два вида группового обмена. Передача осуществляется в виде сообщений. Каждое сообщение может содержать от двух до 32 слов. Используются три типа слов: командное слово, слово состояния и информационное слово. Командное слово передается только контроллером канала. Оно указывает оконечному устройству, в каком режиме ему работать – приема или передачи. Слово состояния передается только оконечным устройством. Это слово содержит информацию об общем состоянии терминала или о наличии ошибок в уже принятой терминалом информации. Информационное слово передается или контроллером, или оконечным устройством и содержит информацию, передаваемую от одной бортовой системы к другой. Все слова передаются с использованием самосинхронизирующегося фазоманипулированного кода Манчестер II и проверяются на четность. Существующая на сегодняшний день спецификация оборудования обеспечивает совместимость каналов MIL-STD-1553 (A, B, F-16, McAir) со всеми распространенными вариантами платформ: PC (ISA/EISA), PCMCIA, PC/104, PCI, VME/VXI, STD-32, IPAC.

Спецификация MIL-STD-1760 существует уже двенадцать лет, но в последнее время стала широко использоваться при создании нового поколения ракетных систем и систем вооружений. Она обеспечивает расширенный MIL-STD-1553 цифровой интерфейс для передачи цифровых сообщений на удаленный терминал из подключенного набора. Расширенные возможности включают дополнительное обнаружение ошибок в виде проверки контрольной суммы и слов заголовка. Контрольная сумма передается в течение установленного временного интервала перед остальной частью передачи. Первым словом в сообщении будет шестнадцатиразрядное слово заголовка (Hex-код), шестнадцатый бит которого сравнивается с подадресом командного слова для гарантии того, что данные относятся к передаче этого сообщения. Выполне-

ние такого уровня обнаружения ошибок гарантирует более высокую степень целостности данных, чем только проведение проверки на четность.

STANAG 3910 регламентирует обмен данными по оптико-волоконной шине с частотой 20 МГц, которая располагается над 1 мегагерцовой шиной STANAG 3838. Низкоскоростная шина отвечает за очередность всех сообщений, передаваемых по каналу, а также за передачу и прием низкоскоростных данных. Когда требуется передать большой объем данных, низкоскоростная шина сигнализирует интерфейсу STANAG 3910, и соответствующие высокоскоростные данные посылаются в сообщениях длиной до 4096 слов. Эта архитектура позволяет низкоскоростным и высокоскоростным терминалам сосуществовать на одной и той же шине. Кроме того, это снижает технологический риск для высокоскоростной шины, ограничивая новую технологию по передаче данных и сохраняя функции управления шиной в области хорошо проверенного низкоскоростного интерфейса.

Протокол ARINC-429 объединяет несколько различных спецификаций, разработанных авиационно-транспортными компаниями и фирмами-изготовителями самолетов для цифровой системы передачи информации (DITS). Физической средой канала обмена служит витая пара проводников, соединяющая одиночный передатчик с одним или более приемниками. Спецификация определяет уровни напряжения, форму сигнала, размер слова и скорость передачи. Данные определены в виде 32-битных слов. Каждое слово состоит из 24 разрядов, содержащих фактическую информацию, и 8-битовой метки. Каждое 24-разрядное поле кодируется в одном из следующих форматов: двоично-десятичном (BCD), BNR, дискретном и других. Каждая 8-битовая метка указывает характер данных, таких как угол крена, магнитный курс или количество топлива, и определяет соответствующий метод для идентификации данного формата.

С точки зрения систем связи все устройства, согласующиеся со стандартом ARINC-429, стали взаимозаменяемыми. Одним из результатов такого модульного построения было появление стандартных подсистем авионики. Другим результатом стало введение стандартного контрольно-испытательного и моделирующего оборудования для подсистем авиационной электроники. ARINC 429 послужил основой для разработки целой серии сходных по логическому функциониро-

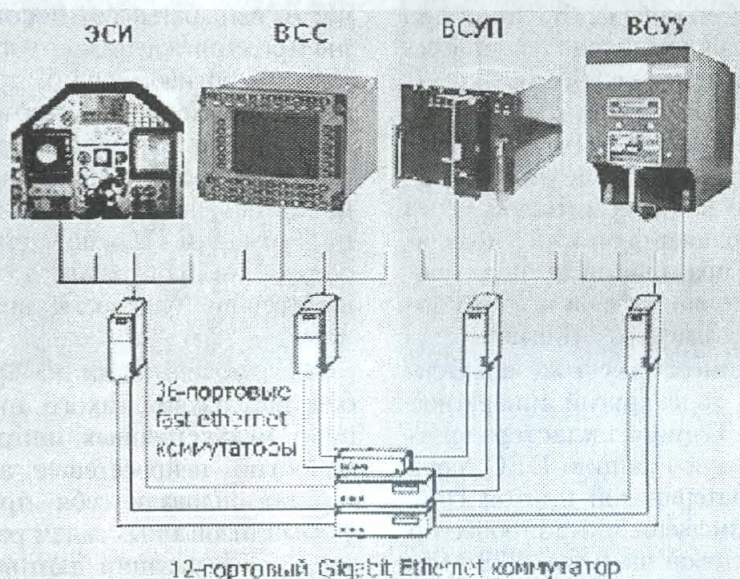


Рис. 3. Функциональная схема бортовой вычислительной системы на базе кластера Avalon

ванию протоколов — ARINC 561, 575 и 582. Одним из последних в этой серии является ARINC-629 — новейший гражданский протокол связи, разработанный для применений, в которых ARINC-429 не был достаточно мощным. ARINC-629 отказался от архитектуры «точка-точка» (Point to Point Architectures) протокола ARINC-429 в пользу архитектуры с центральной шиной. Шина ARINC-629 составлена из одиночной витой пары, к которой может быть присоединено до 120 терминалов. ARINC-629 пропускает строки сообщений длиной до 256 16-разрядных слов и позволяет терминалу передавать до 31 строки за один сеанс. Частота шины в 2 МГц обеспечивает достаточную скорость для быстрой передачи этого большого объема данных. Возможно, наиболее передовой особенностью, введенной ARINC-629, был протокол Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA). Он позволяет 120 терминалам совместно использовать одну и ту же двухпроводную шину, причем в одно и то же время может передавать только один терминал. Внутри каждого терминала эта особенность реализована через комплект из трех таймеров, называемых TI, TG и SG. TI отсчитывает время, прошедшее с момента последней передачи терминала, TG отсчитывает время, прошедшее с момента последней передачи любого другого терминала и SG контролирует, имела ли шина спокойный период определенной длительности, отсчитываемый с момента последней передачи терминала. С мо-

мента окончания передачи данных терминалом он не может передавать снова, пока время на всех трех таймерах не истечет. Каждому терминалу назначается уникальное значение TG, в то время как значения TI и SG являются общими для всех терминалов.

Следующим шагом в направлении создания развивающихся интерфейсов открытых систем станет разработка стандартной программируемой коммутационной среды, объединяющей все интерфейсы KOSI-матрицы. Что касается аппаратных средств такой среды, то здесь предпочтение все чаще отдается компонентам высокой степени готовности со свойствами plug-and-play, которые получили название COTS-продуктов из-за возможности их применения без значительных переделок как в гражданских, так и в военных изделиях. Использование идеологии открытых систем массового параллелизма (MPP) позволяет значительно увеличить производительность бортового вычислительного комплекса за счет объединения мощностей процессоров вычислительных систем самолетоуправления, управления полетом и тягой, предупреждения критических режимов, устойчивости и управляемости, а также других подобных систем в рамках организации единой вычислительной структуры с параллельной архитектурой [5]. Примерами таких архитектурных решений могут служить кластерные коммуникационные среды с распределяемой памятью типа Beowulf и Avalon.

Кластер *Beowulf* способен объединять до 17 терминалов, базирующихся на процессорах типа *Pentium Pro*, с помощью 17-портового *Ethernet* коммутатора, 17 адаптеров сети *Ethernet*, а также коммутаторов мониторов и клавиатуры, которые могут подключаться к любому из 17 терминалов. Один из терминалов выполняет функции управляющего компьютера при инициализации программного обеспечения кластера и имеет дополнительную плату адаптера *Ethernet*.

Кластер *Avalon* имеет такую же архитектуру, что и *Beowulf*, но на другой аппаратной платформе (рис. 3). Терминал кластера представляет собой рабочую станцию *DEC Alpha* в *ATX* корпусе с материнской платой *DEC 164LX*. На плате размещены микропроцессор *Alpha 21164A* с тактовой частотой 533 МГц и 128 Мбайт оперативной памяти *SDRAM*. Каждый терминал оснащен дисковым накопителем, объемом 3 Гбайт, сетевым *Ethernet* адаптером, а также адаптерами многопортовых плат *Cyclad* для образования независимой от *Ethernet* управляющей сети. Коммуникационная среда кластера *Avalon* образуется четырьмя 36-портовыми *Fast Ethernet* коммутаторами *3Com Super StackII 3900*, с добавленными к каждому коммутатору двумя модулями *Gigabit Ethernet*. Таким образом, каждый из четырех коммутаторов имеет по три *Gigabit Ethernet* канала, подключенных к 12-портовому *Gigabit Ethernet* коммутатору *3Com Super StackII 9300*. Образованный подобным способом двухуровневый коммутатор имеет 144 *Fast Ethernet* порта и обеспечивает производительность кластера в 10 Гфлопс.

3. НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИНТЕРФЕЙС СВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ДАННЫХ ВНЕБОРТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

Для повышения ситуационной уверенности экипажа и обеспечения безопасности полета бортовая аппаратура взаимодействует с наземными и космическими средствами поддержки воздушных операций, к числу которых относятся глобальные спутниковые системы навигации и связи, система управления воздушным движением, системы автоматического зависящего наблюдения (*ADS*), предупреждения столкновений самолетов в воздухе (*TCAS*), сигнализации опасной скорости сближения с землей (*GPWS*, *EGPWS*) и множество других систем. Поскольку перечисленные системы работают независимо друг от друга, то в сложных полетных ситуациях они

часто вырабатывают несогласованные сигналы предупреждения, которые требуют выполнения противоречащих друг другу действий по управлению самолетом. Задача интеллектуального интерфейса сведения информационных потоков состоит в объединении данных, поступающих от различных источников информации. На основе синтезированной информации производится обоснованная оценка степени опасности возникающих ситуаций.

Рассмотрим один из эффективных способов реализации такого интерфейса с помощью искусственных нейронных сетей. Как известно, нейросетевые алгоритмы хорошо зарекомендовали себя при решении плохо формализованных задач распознавания образов, кластеризации данных, дискретной оптимизации и т.д. Учитывая специфику задачи оценки воздушной обстановки, нейропарадигма нейросетевой интерфейса должна включать комбинацию эвристических алгоритмов конструирования графа межнейронных связей и многозвенного обучения сети.

Формирование графа сети осуществляется в следующей последовательности. Топология графа задается его матрицей смежности. Начальные значения элементов этой матрицы формируются на основе случайной выборки с равномерным законом распределения. Механизм последующего случайного выбора вариантов построения графа предусматривает моделирование многомерного нормального закона распределения вероятности изменения значений элементов матрицы смежности, математическое ожидание которого соответствует наилучшей из найденных топологий. При этом дисперсия распределения меняется в зависимости от предыстории поиска. Если на очередном этапе поиска произошла смена наилучшей топологии, то дисперсия принимает максимальное значение, расширяя тем самым диапазон поиска. Если на протяжении нескольких случайных испытаний более предпочтительная топология не находится, то дисперсия уменьшается, в простейшем случае — пропорционально числу произведенных испытаний. Тем самым формируются предпосылки для сохранения наилучшей из найденных топологий. Поиск прекращается, если дисперсия уменьшается до некоторого порогового значения. В качестве критерия отбора топологий графа используются результаты обучения нейросети с соответствующей структурой.

Обучение осуществляется путем предъявления примеров, состоящих из наборов вход-

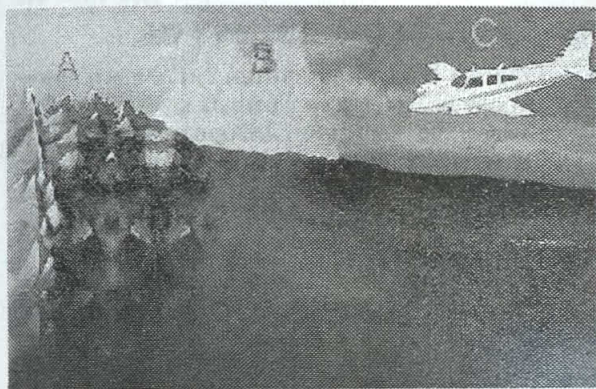


Рис. 4. Сценарий оценки текущего состояния воздушной обстановки

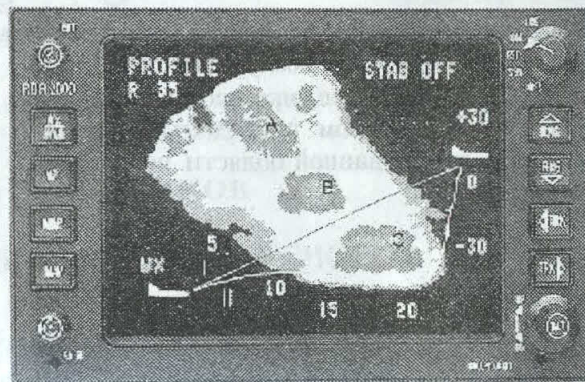


Рис. 5. Результаты зонирования воздушного пространства

ных данных в совокупности с соответствующими им результатами. При этом каждому входному параметру, характеризующему состояние воздушной обстановки, сопоставляется измерение многомерного пространства, размерность которого равна числу диагностических параметров. Для каждого такого параметра вводится некоторая шкала, задающая его возможные значения. Тем самым задача обучения сводится к определению свойств точек гиперпространства при известных свойствах точек, принадлежащих примерам, использованным при обучении. В процессе обучения формируются связные области точек, обладающих одним и тем же уровнем опасности, даже если они относятся к несвязанным между собой причинам возникновения опасных ситуаций. В итоге нейронные сети запоминают подобные области, а не отдельные точки, представляющие предъявленные при обучении примеры.

Предлагаемый алгоритм зонирования использует способ запоминания областей, выделенных с помощью гиперплоскостей в процессе формирования нейронной сети и при расчете весов входов нейронов. При построении гиперплоскостей каждый нейрон с пороговой функцией активации задает соответствующую гиперплоскость значениями весов своих входов. Изменение параметров функции активации, весов входов, числа нейронов, графа межнейронных связей меняет набор и положение разделяющих гиперплоскостей, разбивающих многомерное пространство на области. Используя многоуровневые перцептронные сети с числом уровней, превышающим два, можно задать произвольную конфигурацию области в гиперпространстве. Сходящийся алгоритм обучения многоуровневых перцептронных сетей, получивший название

алгоритма обратного распространения, предусматривает выполнение следующих операций. Вначале весам и порогу нейрона присваиваются случайные малые значения. Далее последовательно подаются обучающие примеры, для каждого из которых определяются значения выходов нейронов. Если максимальное отклонение этих величин от соответствующих значений предложенных примеров превышает заданную величину ошибки, то производится коррекция весов. При этом коррекция весов каждого нейрона выходного слоя осуществляется в зависимости от величины его ошибки и значений, которые принимают функции состояния этого нейрона и связанных с ним нейронов внутренних слоев. В свою очередь коррекция весов нейронов внутренних слоев выполняется послойно с учетом функций состояния последующих и предыдущих слоев. Процедура обучения продолжается до тех пор, пока ошибка на всех обучающих примерах не станет допустимой.

В результате конструирования и обучения сети реализуется принцип распределенного коллективного запоминания нейронами предъявленных примеров. В ходе функционирования сеть относит поступающий на ее входы набор значений к той или иной области, даже если такой набор значений в ходе обучения не предъявлялся. Тем самым осуществляется зонирование окружающего воздушного пространства по степени его опасности для воздушного судна, на борту которого установлена соответствующая аппаратура. Описанный принцип функционирования этой системы иллюстрируется рис. 4 и 5. На рис. 4, отражающем сценарий оценки текущего состояния воздушной обстановки, показаны три возможные угрозы: А — гористый уча-

сток поверхности; В — обнаруженный опасный сдвиг ветра; С — воздушное судно.

На следующем рисунке изображен экран дисплея, на котором приведены результаты зонирования данной области воздушного пространства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование новейших достижений в области вычислительной и информационной техники обеспечивает радикальное повышение эффективности применения воздушного транспорта. При этом вся совокупность систем и комплексов бортового оборудования рассматривается в качестве определенных конфигураций единой развивающейся информационно-вычислительной системы летательного аппарата.

Реализация данного подхода предусматривает систематизацию и оптимальную композицию программно-аппаратных средств такой обобщенной системы. Ученые и специалисты кафедры авиационного приборостроения УГАТУ вносят значительный вклад в разработку принципов аппаратной реализации интегрированных бортовых систем летательных аппаратов на платформе массово-параллельных вычислительных комплексов.

Результаты этих исследований получили одобрение на ряде крупных международных форумов. Опыт нашего участия в деятельности Национальной ассоциации авиаприборостроителей России свидетельствует о том, что выбранное направление исследований отвечает основным тенденциям развития мировой авионики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ефанов В. Н.** Концепция системного проектирования интегрированных комплексов бортового оборудования: алгоритмы и информационные технологии // Взгляд на авиацию будущего: Тр. междунар. конф. Берлин, 1998. С. 32–37. (На англ. яз.)
2. **Бодрунов С. Д., Ефанов В. Н.** Авионика пятого поколения и перспективы российского авиаприборостроения // Сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. Национальн. ассоц. авиаприборостроителей. М., 1999. С. 14–35.
3. **Бодрунов С. Д., Ефанов В. Н.** Концепция системной интеграции БРЭО на базе интеллектуальных информационных технологий // Тез. докл. III Всерос. науч.-техн. конф. Национальн. ассоц. авиаприборостроителей. СПб., 2000. С. 11–15.
4. **Ефанов В. Н.** Стеклопанельная кабина экипажа: тенденции и перспективы // Мир авионики: Ежекварт. журн. корпорации «Аэрокосмическое оборудование». 2001. № 1. С. 20–26.
5. **Ефанов В. Н., Старцев С. А., Шевяков Е. Н.** Синтез архитектуры параллельных вычислительных комплексов на основе мобильного генетического алгоритма // Вычислительная техника и новые информационные технологии: Межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2001. С. 42–49.

ОБ АВТОРЕ

Ефанов Владимир Николаевич, профессор, зав. кафедрой авиационного приборостроения УГАТУ. Дипл. инженер по промышленной электронике (УАИ, 1973), д-р техн. наук по управлению в технических системах (УГАТУ, 1995). Исследования в области создания интеллектуализированных комплексов бортового оборудования.

