

УДК 621.7.054

ПРОБЛЕМЫ АВИОНИКИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. Н. ЕФАНОВ

УГАТУ, факультет авиационного приборостроения
Тел: (3472) 23 77 33 E-mail: ap_ugatu@mail.rb.ru

Аннотация: В статье обсуждаются научные проблемы создания интегрированных систем бортового электронного оборудования. Основное внимание уделяется обеспечению оптимального человеко-машинного интерфейса и разработке интеллектуальных средств поддержки экипажа. Исследуется комплекс условий, влияющих на выбор средств и способов решения задач, возникающих при создании подобных систем.

Ключевые слова: авионика; интеллектуальная интеграция; оптимальный человеко-машинный интерфейс; электронный помощник экипажа; экспертная система; аппаратная организация бортовой информационно-вычислительной системы

ВВЕДЕНИЕ

Понятие авионика пятого поколения сформировалось в процессе разработки комплексов бортового электронного оборудования многофункциональных истребителей пятого поколения. Вместе с тем принципы, положенные в основу построения подобных комплексов, обусловили новую качественную определенность этого понятия, которая не только позволяет расширить сферу применения электронного оборудования данного класса на другие типы летательных аппаратов, но и выступает в качестве системообразующего фактора, наряду с такими атрибутами, как сверхманевренность и сверхзвуковой крейсерский полет. Главной отличительной особенностью средств авионики пятого поколения [1-3] является интеллектуальная интеграция на базе многопроцессорных структур с программируемой архитектурой, допускающей динамическое перераспределение вычислительной мощности в зависимости от приоритета решаемых задач на различных фазах полета.

В течение длительного времени логика развития авиационных бортовых систем базировалась на принципе децентрализации функциональных задач и их последующем распределении между специализированными подсистемами. При этом каждая из специализированных подсистем выполняла свою функциональную задачу в значительной сте-

пени автономно, обмениваясь при необходимости информацией с другими подсистемами по соответствующим информационным каналам. Однако по мере усложнения функциональных задач и увеличения их количества возникла необходимость объединения ресурсов отдельных устройств с целью повышения эффективности выполнения полетного задания. В процессе своего развития идея объединения возможностей и ресурсов бортового оборудования прошла этапы комплексирования, функциональной, аппаратной и системной интеграции. Сегодня на повестку дня выходит задача разработки симбиотических человеко-машинных бортовых комплексов. Данная задача включает два основных аспекта:

- создание оптимального человеко-машинного интерфейса;
- разработку интеллектуальных средств поддержки экипажа.

Первый аспект связан с созданием оптимальной схемы взаимодействия экипажа с управляющим и информационным полями кабины в целях максимальной его загрузки при решении задач навигации, наведения, пилотирования и обеспечения безопасности полета. Синтезированная информация от многочисленных источников, отображаемая в интуитивных форматах на активных матричных цветных жидкокристал-

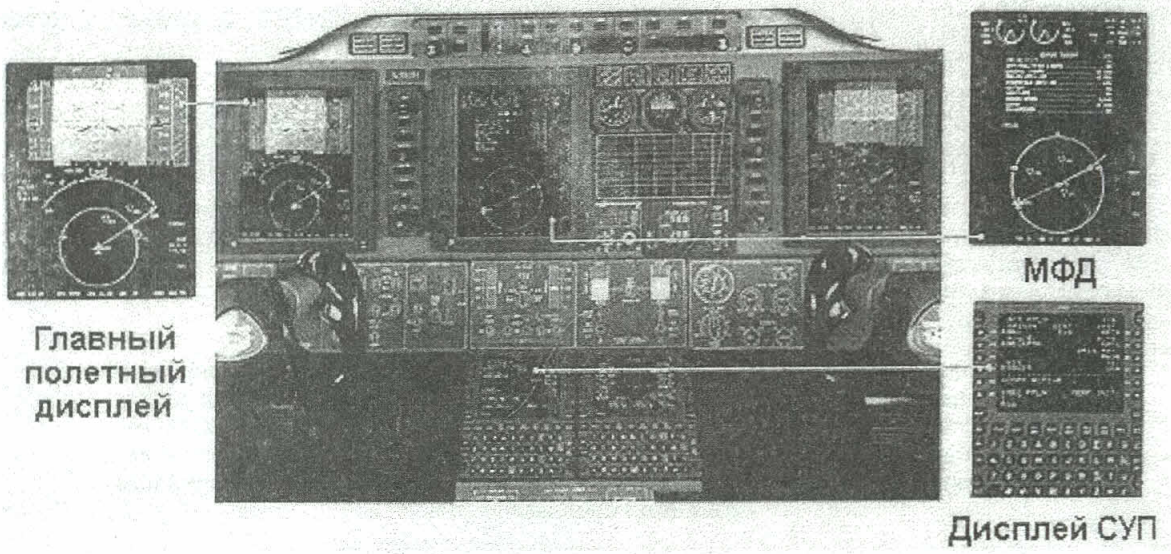


Рис. 1. Единая приборная панель интегрированных дисплеев

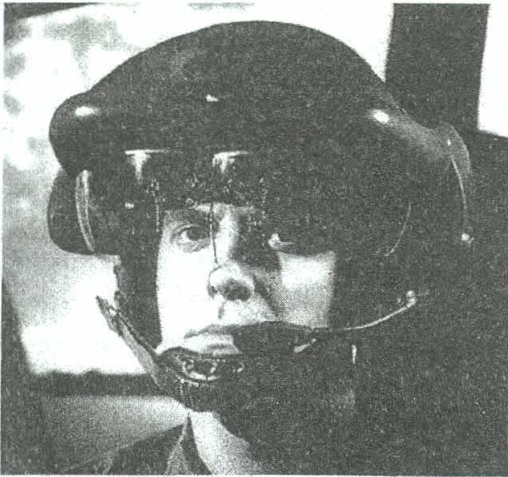


Рис. 2. Нашлемная система целеуказаний и индикации

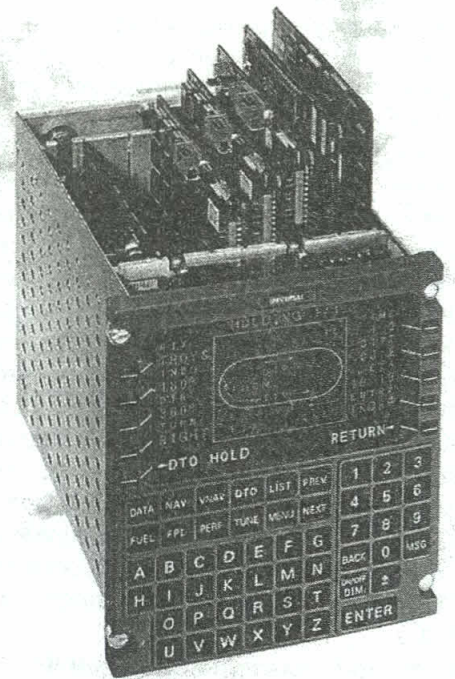


Рис. 3. Модульная конструкция многопроцессорной вычислительной системы самолета

лических адаптивных полетных дисплеях и управляющих дисплейных устройствах, обеспечивает экипажу высокий уровень ситуационной уверенности и увеличивает эффективность управления (рис. 1–3). Реализация концепции «стеклянной кабины экипажа» предусматривает объединение отдельных индикаторов в единую приборную панель интегрированных дисплеев, которая обеспечивает оптимизацию отображения комплекса специализированных данных за счет воспроизведения графики с высоким разрешением для детальной символики, а также за счет поддержки тепловизорных и видеоизображений. В состав стандартной конфигурации «стеклянной кабины» входят: главный полетный и навигационный дисплеи, которые отображают основные летные и навигационные данные; многофункциональный дисплей, отображающий выбираемые карты перемещения, радар погоды, карты погоды, расширенные данные о близости земли и воздушной обстановке, данные о состоянии двигателя; 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 визуального отображения каждым членом экипажа. При проектировании управляющего поля основное внимание уделяется эргономической группировке всех органов управления, что обеспечивает реализацию принципа управления без отрыва рук от рычагов. Объединение указанного принципа с системой прямого ввода речевой информации значительно уменьшает рабочую нагрузку пилота, особенно в нештатных ситуациях.

Что касается второго аспекта сформулированной задачи, то в тяжелой воздушной обстановке с многочисленными динамическими угрозами и изменяющимися требованиями к цели полета экипаж часто оказывается подавленным лавинообразным потоком поступающей информации и сложностью вычислений, необходимых для решения пространственно-временной задачи оптимизации траектории полета. В этих условиях все шире используются средства искусственного интеллекта в виде электронных помощников летчика и штурмана, экспертных систем, инфор-

мационно-справочных систем (электронных библиотек), которые объединяют данные, поступающие от различных внешних и бортовых информационных датчиков, осуществляют оценку текущей обстановки и разрабатывают тактику выполнения полетного задания. В настоящее время особое внимание уделяется проблеме гибкого перераспределения располагаемых расходуемых ресурсов летательного аппарата с целью эффективного выполнения задачи в условиях недостаточной априорной информации о возможных исходах основных этапов операции. В первую очередь это связано с разработкой оптимальных программ управления полетом применительно к типовым участкам траектории движения: к начальной фазе полета — взлету, набору высоты, которые характеризуются оптимальными законами изменения тяги для максимизации высоты или скорости полета при заданной массе расходуемого топлива либо для обеспечения заданных параметров полета при минимальном расходе топлива; крейсерскому полету на максимальную дальность при минимальном расходе топлива; фазе снижения с минимальным расходом топлива до высоты, определяемой задачами обнаружения и распознавания цели или заходом на посадку с выходом в точку визуального наблюдения полосы при заданной степени сложности метеословий; участкам выполнения индивидуальных и групповых пространственных маневров с минимальным временем разворотов при обеспечении минимального расхода топлива и участкам непосредственного воздействия, которые должны обеспечивать требуемую точность наведения летательного аппарата на цель с учетом минимизации расхода топлива, времени полета и риска поражения средствами защиты цели. Все эти данные используются интеллектуальной системой при формировании специфической адаптивной траектории, оптимальной с точки зрения топливной эффективности силовых установок летательных аппаратов. Избытки топлива в каждой конкретной ситуации могут расходоваться для повышения эффективности операции в целом. Это достигается, в частности, за счет гибкого изменения параметров движения летательного аппарата на всех этапах операции по мере уточнения информации о типе цели, ее фактических координатах, наличии и характеристиках средств защиты цели. Кроме того, избыток топлива позволяет реализовать такие мероприятия, как увеличение скорости полета в зоне действия средств защиты цели, выполнение групповых и ин-

дивидуальных маневров для обеспечения различных направлений подхода к цели. Изменение этих характеристик может проводиться как на основе априорной информации, содержащейся, например, в цифровой карте местности, так и информации, получаемой непосредственно на борту летательного аппарата, в том числе с использованием наземных и космических средств навигации и наведения. Как показывают исследования, наиболее экономичными по расходу топлива являются сингулярные, в частности сингулярные периодические, режимы управления тягой, на которых оптимальная величина последней меняется в широких пределах в функции от параметров движения летательного аппарата и внешних условий. Актуальность задачи реализации сингулярных режимов управления тягой определяется не только потребностями боевых машин пятого поколения, но и вновь возникшим в последнее время интересом к сверхзвуковым пассажирским самолетам.

Реализация интеллектуальных информационно-технологий планирования и управления выполнением полетных заданий требует использования высокопроизводительных вычислительных сред с программируемой архитектурой типа MIMD, допускающих динамическое перераспределение вычислительной мощности в зависимости от приоритета решаемых задач на различных фазах выполнения полетного задания. В рамках этой концепции основные существующие системы бортового оборудования, такие как вычислительные системы самолетовождения, управления полетом и тягой, обеспечения устойчивости и управляемости, предупреждения критических режимов, навигационные системы, системы воздушных сигналов и электронной индикации, представляют собой определенные конфигурации единой информационно-вычислительной системы (ИВС) летательного аппарата. Рассмотрим комплекс условий, влияющих на выбор средств и способов решения проблем, возникающих при создании подобной ИВС.

АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ БОРТОВОЙ ИВС ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Исследования основных тенденций в области создания интегрированных комплексов бортового оборудования позволили выявить следующий круг проблем, связанных с формализацией процедуры системного проектирования устройств данного класса:

- высокая размерность задачи проектирования, обусловленная существованием большого числа допустимых проектных альтернатив;
- неопределенность условий, в которых осуществляется процедура проектирования;
- необходимость использования принципов композиционного проектирования.

Проблема высокой размерности задачи проектирования относится ко всей совокупности проектных альтернатив: множеству целей, достижение которых решает задачу проектирования, множеству путей и средств достижения целей, совокупности технических, экономических и прочих ограничений, влияющих на выбор способов достижения целей, и совокупности наличных или потребных ресурсов.

Проблема неопределенности также охватывает все этапы жизненного цикла авиационного оборудования. При этом неопределенные факторы, связанные с разработкой бортовых комплексов, имеют преимущественно целевой характер. Их существование обусловлено отдаленностью во времени этапа непосредственного применения разрабатываемых устройств и неоднозначностью будущих условий их применения. В свою очередь, условия применения бортового авиационного оборудования характеризуются поведенческой и природной неопределенностью. Поведенческая неопределенность связана с отсутствием достаточной априорной информации о результатах отдельных этапов операции, выполняемой летательным аппаратом, а также о возможном целенаправленном противодействии. Природная неопределенность связана с недостаточной изученностью многообразных явлений, сопровождающих процесс функционирования устройств и систем бортового оборудования.

Суть проблемы, связанной с использованием принципов композиционного проектирования, состоит в том, что процедура создания сложных многофункциональных комплексов разбивается на ряд этапов, каждый из которых характеризуется определенным уровнем детализации оборудования. На каждом последующем этапе формируется новая совокупность возможных проектных решений, в результате чего по мере разработки изделия число возможных способов его реализации существенно возрастает. Вместе с тем исчерпывающая оценка свойств разра-

батываемого оборудования оказывается возможной лишь после окончания проектирования, поскольку полная область определения оценочных функций, устанавливающих степень соответствия проектируемого изделия требованиям технического задания, формируется на завершающем этапе его разработки. Для снижения трудоемкости процедуры проектирования происходит исключение неудовлетворительных решений, выявленных в ходе проектирования. Однако при этом необходимо оценивать возможные варианты на промежуточных этапах проектирования. Такая оценка производится с помощью локальных критериев, которые формируются на основе исходной совокупности оценочных функций и определяются на множестве вариантов, свойственных данному этапу проектирования. Множество локальных критериев выбирается с учетом предпочтений лица принимающего решение, сформировавшихся в ходе предыдущих разработок. Использование субъективных оценок является характерной особенностью внешнего и начальных этапов внутреннего проектирования систем бортового оборудования. При этом субъективные оценки рассматриваются как индивидуальный способ обработки тех аспектов неформализуемых данных, которые доступны индивидуальному суждению. С учетом субъективных факторов устанавливается также степень соответствия исследуемого варианта исходным требованиям к системе, выдвигаются предположения о мере правдоподобия возможных результатов функционирования изделия при учете различных случайных факторов. Поскольку индивидуальный опыт, интуиция, эрудиция и квалификация у разных людей различны, то и сформированные на этой основе субъективные оценки имеют значительный разброс. Неоднозначность суждений, основанных на субъективном анализе, обуславливает многие трудности, которые возникают при выборе оптимального облика систем бортового оборудования.

Перечисленные проблемы оказывают взаимное влияние друг на друга, в результате чего возникают специфические комбинированные проблемы. Так, в процессе композиционного проектирования сложная техническая система разбивается на ряд функционально обособленных подсистем. При этом искусственно разорванные связи между подсистемами выступают в качестве неопределенных факторов вплоть до завершения разработки подсистем и определения их характеристик. Еще один аспект процедуры проектирования

связан с невозможностью рассчитать поведение системы во всех условиях применения и для всех режимов работы. В связи с этим при проектировании учитывается лишь то множество вариантов условий применения и режимов работы, при которых система в целом способна с определенной эффективностью выполнить задачу. Остальные варианты образуют множество нерасчетных условий функционирования, для которых параметры внешней среды и характеристики системы являются неопределенными. Указанные обстоятельства увеличивают степень неопределенности условий, в которых создаются новые системы бортового оборудования. С другой стороны, достоверность выбора оптимального варианта, осуществляемого в условиях неопределенности, зависит от объема объективной информации относительно свойств разрабатываемой системы. Для уменьшения риска выбора неудовлетворительного варианта процедуре оценки должен предшествовать этап анализа свойств проектируемой системы. Причем объем проводимых исследований должен обеспечивать снижение неопределенности в оценке свойств системы до уровня, позволяющего осуществить обоснованный отбор. Таким образом, совокупность анализируемых проектных альтернатив расширяется за счет экспериментов, которые могут быть осуществлены для увеличения объема достоверной информации о проектируемой системе, а также за счет возможных результатов подобных экспериментов, что увеличивает и без того высокую размерность задачи проектирования.

Для комплексного решения сформулированных проблем рассмотрим общие формы и способы архитектурной организации бортовых интеллектуальных средств на функциональном и аппаратном уровнях.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БОРТОВЫХ ИВС

Обоснование концепции построения бортовой интеллектуальной ИВС пятого поколения и формирование на этой основе обобщенных показателей эффективности невозможно без определения ее внешнего дополнения, в рамках которого формулируется требуемый результат функционирования ИВС и оцениваются затраты, связанные с его достижением, а также устанавливаются ограничения, характерные как для деятельности самой системы, так и для ее взаимодействия с другими

субъектами окружающей среды. В качестве естественного внешнего дополнения ИВС могут выступать: конкретный тип летательного аппарата, на борту которого она устанавливается; группировка летательных аппаратов, во взаимодействии с которыми носитель выполняет полетное задание; совокупность наземных и космических средств поддержки воздушных операций, к числу которых можно отнести систему управления воздушным движением, глобальные спутниковые системы навигации и связи и т. д. Учитывая высокую сложность поведения метасистемы, объединяющей всю совокупность подсистем внешнего дополнения, обоснование концепции рационального поведения ИВС, функций соответствия реального результата требуемому и дисциплинирующих условий, вытекающих из особенностей функционирования метасистемы, возможно лишь на вербальном уровне. На этой основе формируется функциональная модель ИВС, имеющая целью подробное изучение стратегии и вариантов действия в соответствии с выбранной концепцией, определяется функциональный состав и информационная достаточность ИВС. Как отмечалось выше, при организации рационального поведения больших бортовых человеко-машинных систем со сложной иерархической структурой и нестабильными связями между подсистемами используется следующий функциональный набор средств искусственного интеллекта: электронные помощники летчика и штурмана, экспертные системы, информационно-справочные системы.

Электронный помощник экипажа является основной перспективной системой, обеспечивающей интеллектуальную интеграцию всего комплекса бортового оборудования с целью уменьшения рабочих нагрузок на экипаж, улучшения его ситуационной уверенности для быстрого и правильного принятия решения. Основными компонентами электронного помощника являются база знаний, интеллектуальный интерфейс и блок распознавания классов прецедентов, которые обеспечивают простую логику управления за счет приоритизации режимов выполнения рабочих операций в проблемных ситуациях, связанных с обработкой сложной навигационно-пилотажной информации, оценкой возможных угроз, управлением оружием, средствами связи и т. д. Электронный помощник осуществляет оценку воздушной обстановки, вырабатывает тактику выполнения полетного задания, контролирует рабочее состояние бортовых систем и планирует основные фазы по-

лета на основе объединения данных от различных внешних и бортовых информационных датчиков, что позволяет повысить эффективность применения летательного аппарата и увеличить безопасность выполнения полетов.

Электронный помощник экипажа является одной из разновидностей экспертных систем, которые служат основным средством интеграции в структуру бортовых ИВС интеллектуальных информационных технологий. В сложных условиях предполетная подготовка экипажа не дает ожидаемого эффекта. Поэтому для преобразования большого объема информации по анализу причин отклонения от нормальных режимов работы оборудования, по классификации данных, моделированию ситуаций и поддержке принятия адекватных решений используются экспертные системы, оперирующие определенным образом организованными знаниями. Базы знаний аккумулируют экспертную информацию о свойствах летательного аппарата и отдельных его агрегатов, в частности об особенностях пилотирования на нерасчетных режимах полета (на нелинейных послесрывных аэродинамических режимах, вблизи от метеорообразований, таких как сдвиг ветра и т. д.), а также о способах, методах и эвристических алгоритмах действий в проблемных ситуациях. Для формирования последовательности правил, направленных на решение возникшей проблемы, используется интерпретатор или механизм вывода. В свою очередь, для общения с экспертной системой создается интерфейс пользователя, обеспечивающий экипажу возможность в диалоговом режиме формулировать запросы к экспертной системе, вводить исходные данные, в том числе новые знания по интересующей проблемной ситуации, а также воспроизводить рекомендации экспертной системы с учетом полученных объяснений относительно использованных механизмов вывода в процессе решения задачи. Перечисленные функции возлагаются соответственно на диалоговый компонент, компонент обучения и объяснительный компонент экспертной системы.

Широкое внедрение электронных библиотек на борту летательного аппарата позволяет кардинально уменьшить число карт и распечаток, которые экипаж вынужден брать с собой в кабину. В состав подобной библиотечной системы включают контрольный перечень операций, маршрутные карты, данные о ландшафте (настольная книга летчика), а также схемы технического обслуживания,

организованные в гипертекстовых форматах. Информационно-справочная часть электронной библиотеки содержит данные о ее структуре, семантике выполняемых функций, ресурсах, формализованных в глоссариях и гипертекстовых определениях. При разработке концепции электронной библиотеки должны быть определены основные принципы формирования информационных массивов с точки зрения необходимости, безопасности, корректности, способы организации (разделение, защита, доступ) и представления информации с учетом правил просмотра, копирования и редактирования файлов.

Концепция создания встраиваемых интеллектуальных средств предусматривает выполнение следующих операций. Вначале формируется область интерпретации, объединяющая исчерпывающую совокупность основных сущностей предметной области. Далее устанавливается значимость функций элементов области интерпретации. В связи с тем, что экспертные системы, также как и другие интеллектуальные системы в составе бортовой ИВС, предназначаются, главным образом, для поддержки принятия решений, выделение этих функций в составе функциональной модели ИВС имеет приоритетное значение. Процедура создания функциональной модели существенно упрощается при использовании базиса типовых функций получения, передачи и обработки информации. Из типовых функций можно формировать различные схемы функционирования ИВС. В свою очередь, каждая типовая функция может быть разложена по базису более низкого иерархического уровня. Тем самым формируется иерархическая структура типовых блоков функциональной модели. Следующая операция направлена на выявление существующих значимых отношений между элементами области интерпретации и, следовательно, между соответствующими блоками функциональной модели. Синтаксическое оформление значимых отношений завершает процедуру создания функциональной модели ИВС. При этом составляющая данной модели, объединяющая блоки принятия решений, представляет собой концепцию проектирования базы знаний экспертной системы. Последовательности блоков, отражающих причинно-следственные связи процесса принятия решений, соответствуют правилам построения базы знаний, используемой для поддержки принятия решений. В зависимости от принятой модели представления знаний — логической, сетевой или продукционной, — разработанные

правила преобразуются в правила логического вывода, операций с фреймами и продукциями.

В последнее время при разработке динамических баз знаний предпочтение отдается семантическим сетям описания прецедентов [4]. Такие модели представления знаний позволяют реализовывать простые правила вывода для сложных проблемных ситуаций. В этом случае достаточно знать, как поступали прежде в подобных проблемных ситуациях; и принимать аналогичные решения. Формальное описание прецедентов включает характеристику проблемной ситуации для оценки состояния процесса, когда произошел прецедент, способ решения проблемы и результат, которым завершилась проблемная ситуация. Принятие решения, основанного на прецедентах, предполагает выполнение следующих операций: проведение классификации проблемных ситуаций по управляющим решениям; извлечение из базы знаний наиболее подходящего прецедента; если предлагаемый способ не обеспечивает решения проблемы, выработка нового решения; при многократном успешном использовании нового решения сохранение последнего в качестве нового прецедента. Дополнение базы знаний новым прецедентом производится путем определения его места в семантической сети с учетом механизма «наследования свойств» по мере накопления информации о проблемных ситуациях.

Следующим шагом в создании функциональной модели ИВС является разработка ее информационного интерфейса, устанавливающего архитектуру информационного обмена как между основными функциональными элементами системы, включая первичные измерительные преобразователи (датчики), так и между ИВС и системами внешнего дополнения. Наконец, для полного описания поведения ИВС необходимо построение динамической модели, которая отображает причинно-следственные связи, определяющие направление развития процессов в системе. Детальная проработка всего комплекса моделей ИВС представляет собой достаточно трудоемкую задачу. При ее решении могут быть использованы инструментальные средства системного проектирования информационно-управляющих систем, такие как SADT-, IDEF- и CASE-технологии.

Отображение иерархически упорядоченных функциональных, информационных и динамических моделей на архитектуру ИВС

приводит к многоуровневой организации ее аппаратной поддержки.

ОСОБЕННОСТИ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АРХИТЕКТУР БОРТОВЫХ ИВС ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

В составе аппаратной архитектуры ИВС можно выделить модульный или общесистемный уровень, микросхемный и микроэлектронные уровни. Реализация программ Pave Pillar, MASA, SEM привела к модульному построению систем авионики, в том числе в виде специализированных БЦВМ, процессоров, контроллеров и интерфейсных устройств с высокоскоростными каналами информационного обмена, в частности, с использованием ВОЛС. В настоящее время разработан ряд стандартов организации обмена по высокоскоростным информационным шинам, наиболее перспективным из которых является вариант линейной последовательной шины с эстафетной передачей маркера (LTDB) со скоростью передачи 50 Мбит/с. Перспективы создания высокопроизводительных параллельных вычислительных структур микросхемного уровня связаны с широким использованием транспьютерных и нейроподобных сетей с матричными коммутаторами и распределенной локальной памятью. Наконец, микроэлектронный уровень объединяет широкий спектр микропроцессорных СБИС, среди которых лидируют архитектуры Intel и RISC-архитектуры MIPS.

Отмеченные выше принципы аппаратной организации бортовых ИВС отражают специфику обрабатываемых данных и используемых операций, а также способы организации вычислительных процессов в интеллектуальных комплексах бортового оборудования. К числу наиболее типичных вычислительных задач интеллектуальных ИВС относятся:

- обработка символьной информации, которая характеризуется применением рекурсивных списковых структур при отображении данных, частым обращением к программным функциям и высоким динамизмом обращения к памяти;
- задачи логического вывода с использованием заданных систем правил, требующие перебора большого числа вариантов и частого выполнения операций сопоставления сложных структур данных;
- работа с базами знаний и базами данных со сложной структурой информационных связей, которые необходимо учиты-

вать при выполнении операций ассоциативного поиска, выборки и обновления информации;

- высокоскоростная обработка изображений и речи, требующая быстрого выполнения большого числа однотипных операций над исходными данными огромного объема.

Для повышения производительности программно-аппаратных комплексов интеллектуальных систем работы ведутся по следующим направлениям:

- учет специфики решаемых задач при выборе способа оптимального отображения и организации обрабатываемых данных, механизма доступа к переменным, специальных методов организации вычислительных процессов;
- разработка алгоритмов глубокого распараллеливания процессов выполнения программ на уровне как отдельных фрагментов, так и отдельных операторов;
- разработка архитектур параллельных вычислителей со слабой, средней и сильной специализацией, т. е. создание новых типовых вычислительных элементов, систем коммутации и систем распределенной памяти.

Параллельность архитектуры вычислительного комплекса предполагает, что принципы его функционирования базируются на параллелизме исполняемых алгоритмов, программ, структуры, данных, маршрутов передачи информации. Алгоритм функционирования считается параллельным, если он допускает расчленение на части, между которыми операции обмена информацией составляют незначительную долю от общего числа операций в каждой части. Различают алгоритмы с локальным и глобальным (крупноблочным) распараллеливанием. В первом случае в составе алгоритма выделяются отдельные операции, допускающие одновременное выполнение. Во втором случае предполагается, что весь алгоритм разбивается на несколько слабо связанных задач. Параллельным алгоритмам соответствуют параллельные программы. При этом алгоритмы с локальным распараллеливанием реализуются программно в виде конструкций, образующих поток заявок для исполнения арифметико-логическим устройством. В свою очередь алгоритмы с глобальным распараллеливанием требуют

программного распределения между процессорами крупных заданий на обработку информации. Параллельность структуры вычислительного комплекса означает, что он содержит несколько вычислительных модулей, обеспечивающих одновременное решение большого числа частей общей программы.

Важным преимуществом параллельных архитектур ИВС является их способность сохранять функционирование при возникновении аппаратных и программных отказов. Если принятый способ организации вычислительного процесса предусматривает распределение функциональных задач между определенными процессорами, то создается предпосылка для потери всей функциональной задачи при отказе соответствующего процессора. В результате наиболее ответственные бортовые системы, такие как системы управления полетом и тягой силовых установок, используют четырехкратное резервирование. Однако простое увеличение кратности резервирования не решает проблемы обеспечения требуемого уровня надежности. Во-первых, выигрыш в надежности убывает с ростом масштаба резервирования. Во-вторых, при использовании специфических способов резервирования применительно к конкретным уровням структурной организации комплексных бортовых систем удается, как правило, реализовать резервирование с дробной кратностью, в результате чего интенсивность отказов таких систем на определенных временных интервалах может оказаться выше, чем у систем без резервирования. Наконец, для цифровых систем характерно появление отказов, не связанных с физическим разрушением элементов аппаратуры. Подобные отказы возникают из-за стирания или искажения данных в оперативной и долговременной памяти БЦВМ, из-за нарушения кодов записи команд, вызванных шумами и сбоями в каналах телекодированных линий связи, устройств приема и передачи информации, из-за потерь или искажения сообщений в ограниченных буферных накопителях, а также из-за несоответствия между реальными исходными данными, подлежащими обработке, и программой, осуществляющей эту обработку. Во всех перечисленных случаях происходит прекращение выдачи информации или значительное искажение ее содержания и темпов выдачи. В наиболее неблагоприятных ситуациях возникают катастрофические последствия, такие как полный развал функционирования программ на длительное время и зависание операционных систем. При этом следует учесть,

что перечисленные сбои происходят на два-три порядка чаще, чем аппаратные отказы. Все это приводит к неоправданно большому проценту съема оборудования, к снижению экономической эффективности эксплуатации и уровня безопасности полетов. В то же время параллельные вычислительные комплексы допускают мягкую деградацию своих свойств при накоплении нарушений за счет организации последовательного перехода к новым целям функционирования с новыми приоритетными подмножествами функций: от выполнения всего исходного множества функций к выполнению хотя бы одной функции, предотвращающей катастрофическое развитие ситуации. Подобная концепция создания живучих структур требует углубленного анализа взаимодействия всех устройств в условиях меняющейся внешней и внутренней обстановки. По результатам анализа должно быть сформировано множество локальных целей функционирования, упорядоченное по убыванию жесткости требований к системе. На этой основе осуществляется разбиение множества возможных состояний системы на подмножества, каждому из которых ставится в соответствие реально выполнимая локальная цель. Реализация изложенных принципов повышения живучести требует выполнения следующих мероприятий:

- формирования исходного облика бортового оборудования, содержащего необходимую функциональную, информационную, временную избыточность для обеспечения заданного уровня отказоустойчивости и способности к реконфигурации алгоритма функционирования после накопления отказов сверх допустимого уровня;
- разработки стратегии перераспределения функций между оставшимися ресурсами системы, позволяющей оперативно компенсировать потерю вышедших из строя элементов за счет замены отказавшей функции элемента идентичной работоспособной функцией другого элемента, либо за счет замены отказавшей функции элемента операционно эквивалентной композицией функций;
- наконец, исключения отказавшей функции элемента, т. е. переход к новой цели функционирования с новым приоритетным подмножеством функций.

Таким образом, при разработке ИВС с параллельной архитектурой необходимо, что-

бы синтез вычислительных алгоритмов, планирование вычислительного процесса и выбор структурной организации аппаратной части осуществлялись в рамках единой процедуры, обеспечивающей направленное формирование облика ИВС с заданным набором свойств. При этом появляется возможность оценивать эффективность аппаратной реализации вычислительных блоков на этапе формирования алгоритмического обеспечения ИВС и выбирать такой вариант ее построения, который наиболее полно учитывает специфику решаемой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бодрунов С. Д., Ефанов В. Н.** Авионика пятого поколения и перспективы российского авиаприборостроения // *Материалы II Всероссийской НТК Национальной ассоциации авиаприборостроителей*. М., 1999. С. 14–35.
2. **Федосов Е. А.** Военная авиация в начале XXI века // *Мир авионики*. 1999. № 6. С. 6–8.
3. **Шаламов А. С., Буков В. Н., Кулабухов В. С., Гузенко В. Г.** Научные проблемы

комплексных исследований в области создания и эксплуатации бортового оборудования ЛА на базе информационно-вычислительных сетей // *Научный вестник МГТУ ГА. Сер. «Авионика»*. 1998. № 3. С. 3–21.

4. **Автоматизированное** проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования / **Куликов Г. Г., Набатов А. Н., Речкалов А. В.** и др. Уфа: УГАТУ, 1999. 223 с.

ОБ АВТОРЕ

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

