

## **ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ В УСЛОВИЯХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ**

Рассматриваются процессы управления подвижными динамическими объектами в условиях использования распределенной навигационной системы на примере организации управления воздушным движением с учетом современных концепций развития авиации, изменения состава бортовых и наземных технических средств, перспективных требований к надежности и эффективности управления. Выделены наиболее типичные и существенные задержки передачи информации в распределенных мультисервисных сетях. Предлагается использовать разрабатываемые авторами инвариантные системы управления, позволяющие достигать выполнения большинства полетных заданий в реальном масштабе времени при наличии типичных задержек передачи информации.

Бурный рост коммуникационных возможностей использования различных источников информации и новая техническая база создают предпосылки для расширения состава задач, решаемых системами управления подвижными динамическими объектами. Особенно это существенно для систем удаленного управления воздушным движением и космических аппаратов. Рассмотрим закономерности функционирования современных компьютерных сетей и возможности их использования для управления летательными аппаратами (ЛА) в условиях распределенных навигационных ресурсов.

В основе функционирования современных вычислительных сетей лежат методы пакетной передачи и коммутации, которые реализованы на основе преобразования любого вида информации в цифровые последовательности с разделением этой последовательности на пакеты, снабженные всей необходимой информацией для их идентификации, маршрутизации, коррекции ошибок. Такой подход позволяет в едином информационном русле передавать все виды информации, используя различные пути и различные средства, применять универсальные средства коммутации, инвариантные относительно всех видов информации. В основе такого объединения лежит возможность использования вычислительных средств не только в виде инструмента для обработки информации, но и как средств для ее передачи и коммутации. В этом контексте вычислительная среда может рассматриваться как некоторая универсальная среда для распространения информации. Создание единой системы передачи информации в авиационных комплексах позволило бы не только существенно повысить их технические, эксплуатационные и, как следствие, экономические характеристики, но и перейти на новый уровень обработки, передачи информации и предоставления услуг.

При проектировании мультисервисных сетей возникает множество проблем: учет влияния трафика от различных видов услуг, оценка готовности и качества предоставляемого обслуживания, целостность данных и задержка

их при передаче. Для расчета вероятностно-временных характеристик мультисервисных сетей удобно разделить генерируемый различными услугами трафик на два типа:

а) синхронный, требующий передачи данных между абонентами в реальном времени (например, телеметрия, информационные и управляющие сигналы, телефония, видео- и радиолокационная информация);

б) асинхронный, не требующий реального времени (электронная почта, передача файлов).

Асинхронный и синхронный виды трафика существенно отличаются чувствительностью к потере пакетов. Асинхронный трафик очень чувствителен к таким потерям, поскольку потеря даже небольшой части файла делает всю операцию передачи файла по сети бессмысленной — файл или его потерянную часть обязательно нужно передавать заново. Потеря же одного замера данных не очень заметно сказывается на качестве воспроизводимого сигнала, так как инерционный характер физических процессов приводит к тому, что два последовательных замера незначительно отличаются один от другого, поэтому воспроизводящему устройству не составляет труда восстановить, хотя и приблизительно, потерянную информацию.

При передаче синхронных данных в обычных пакетах и кадрах локальной сети такие пакеты будут встречаться во внутренних очередях коммутаторов и маршрутизаторов с пакетами обычного асинхронного компьютерного трафика. Если коммутатор или маршрутизатор не делает различий между пакетами синхронного и асинхронного трафика, то задержки могут быть очень большими и очень неравномерными, особенно при загрузке коммуникационного устройства, близкой к его максимальным возможностям обработки пакетов. Естественным выходом из этой ситуации является приоритетная обработка пакетов синхронного трафика, и это очень распространенный прием, применяемый многими производителями коммутаторов, маршрутизаторов, а также разработчиками новых протоколов локальных сетей, например протокола 100VG-AnyLAN, в котором существует два уровня приоритетов.

Однако даже при приоритетной обработке пакеты синхронного трафика могут задерживаться в коммуникационных устройствах, так как в них можно реализовать только алгоритмы обработки с относительными приоритетами, а не с абсолютными. Это значит, что если низкоприоритетный пакет уже начал передаваться в сеть, то устройство не может прервать его передачу при поступлении в это время высокоприоритетного пакета. Поэтому максимальное время ожидания синхронного пакета всегда равно времени передачи пакета максимальной длины, которую допускает тот или иной протокол или действующая конфигурация сети.

Если в процессе передачи синхронных пакетов через сеть равномерность их поступления нарушается, то для восстановления равномерности на приемной стороне используется компенсирующий буфер.

Компенсирующий буфер — это область временного хранения дейтаграмм на шлюзе принимающей стороны. Он реализует механизм компенса-

ции случайных вариаций задержки во времени прибытия дейтаграмм. Большинство шлюзов предоставляет возможность задавать размер буфера для хранения данных в дейтаграммах от 0 (буфер отключен) до 225 мс.

В сети IP (Internet Protocol) дейтаграмма маршрутизируется через один или несколько маршрутизаторов до точки выхода из сети. Этот процесс вносит непредсказуемую задержку, которая составляет 20–200 мс. Величина задержки будет зависеть от числа маршрутизаторов на пути от точки входа до точки выхода, вычислительных ресурсов каждого маршрутизатора и текущей нагрузки на каждый из них. Аналогичные задержки имеют место и при прохождении дейтаграммы через локальную сеть и добавляются к задержкам при путешествии дейтаграммы через глобальную сеть IP. В сети IP на поток дейтаграмм влияет множество переменных, которые включают: трафик, поступающий на каждый маршрутизатор на пути передачи дейтаграмм данных; вычислительные ресурсы каждого маршрутизатора; пропускную способность каналов между маршрутизаторами и число маршрутизаторов между точками входа и выхода из сети.

Необходимые меры защиты вносят дополнительную задержку при буферизации прибывающих дейтаграмм и проверку значений ее полей по списку доступа до нахождения совпадений. Общая задержка процессов при выходе из сети составляет 15–25 мс.

Задержка декодирования пакетов данных практически одинакова для всех алгоритмов кодирования. Таким образом, смена метода кодирования исходных данных обычно минимально влияет на время декодирования, которое составляет примерно 15 мс.

В таблице приведены описанные выше задержки и их диапазон вследствие влияния каждого из перечисленных факторов.

Таблица

Фактор задержки	Диапазон значений
Кодирование	20–45 мс
Задержка процессов при входе в сеть	15–25 мс
Доступ к сети	1–8 мс
Задержка на передачу по сети	20–200 мс
Выход из сети	1–8 мс
Задержка процессов при выходе из сети	15–25 мс
Компенсирующий буфер	20–225 мс
Декомпрессия	15 мс
Всего	107–546 мс

Показаны основные оставляющие задержки, которые необходимо контролировать для уменьшения общей задержки при передаче по сети данных реального времени от отправителя к получателю. Системный анализ различных составляющих задержки позволяет определить, насколько качественным будет передача данных в распределенной системе связи, навигации, наблюдения.

Существующие в настоящее время системы организации воздушного движения (ОВД), несмотря на большие поля распределенных источников радионавигационной информации связи и наблюдения, имеют локальную зону действия. Они ограничены при повышении требований к безопасности и эффективности использования авиации в отдельных зонах воздушного пространства земного шара (особенно над океанами, пустынями, горными районами и другими местами, где размещение локальных наземных средств или невозможно, или экономически невыгодно). Именно по этой причине перспективным средством дальнейшего расширения использования воздушного пространства и обеспечения безопасности полетов в зонах земного шара, недоступных для оснащения традиционными средствами, является внедрение спутниковых систем связи, навигации и наблюдения.

Потребность в кардинальном усовершенствовании систем связи (Communication), навигации (Navigation), наблюдения (Surveillance), управления (Air Traffic Control) и организации воздушного движения (Air Traffic Management) — CNS/ATC/ATM многократно рассматривалась Международной организацией гражданской авиации (ICAO), на межгосударственном уровне — органами, ответственными за определение порядка использования воздушного пространства, воздушных трасс и аэродромов.

Для координации решения задач обеспечения безопасности полетов гражданской авиации ICAO создала специальный Комитет по будущим аэронавигационным системам (Future Air Navigation Systems — FANS). FANS выработал концепцию, предусматривающую, что в будущем спутниковые системы связи, навигации и наблюдения должны стать единственными и главными средствами, обеспечивающими безопасное ВС и организацию воздушного движения (ВД) в глобальном масштабе. Основное понятие CNS/ATM, которым оперирует концепция, регламентирует системы управления ВС и ВД в разрезе устанавливаемого оборудования, программного обеспечения, эксплуатационных инструкций, регулирующих правил и т.п. [1].

Переход к CNS/ATM будет происходить через развитие нынешних навигационных систем локального действия. Целесообразным считаются следующие направления действия государств-членов ICAO:

- внедрение новой единой международной системы посадки в микроволновом диапазоне волн, которая по своим характеристикам значительно превосходит существующие системы посадки в метровом диапазоне;

- создание и внедрение многорежимного приемника системы посадки (Multy Mode Receiver — MMR), обеспечивающего посадку по различным системам;

- модернизация вторичных обзорных радиолокаторов для аэродромных и трассовых центров ОВД на основе внедрения моноимпульсного приема и адресного режима (режим «S»), обеспечивающих повышение точности определения координат, пропускной способности, использование в перспективных моноимпульсных вторичных радиолокаторах совершенной цифровой линии передачи данных для реализации автоматического зависящего наблюдения, в том числе без использования связных спутников;

— создание цифровых линий передачи данных борт–земля и земля–борт в различных диапазонах частот связных систем;

— внедрение систем предупреждения столкновений самолетов в воздухе, предусматривающих использование как бортовой, так и наземной аппаратуры;

— дальнейшее повышение точности определения навигационных параметров локальными навигационными системами, в том числе путем реализации в системах ближней навигации режима точных навигационных определений по двум и более дальномерам с использованием азимутальных данных;

— дальнейшее совершенствование характеристик наземного и бортового оборудования систем дальней навигации длинноволнового и сверхдлинноволнового диапазонов волн типа Loran и Omega;

— использование комплексных автоматизированных систем сбора и обработки данных краткосрочного метеопрогноза от различных источников метеоинформации, включая сеть наземных и бортовых метеорадиолокаторов, спутников для обеспечения диспетчеров ОВД и летного персонала данными о сдвиге ветра, турбулентности, слоях облачности и др.;

— развитие систем единого времени и решение задачи геодезической привязки всех средств CNS/ATM, без которых невозможно дальнейшее повышение точности и пропускной способности средств радионавигации и информационного обмена;

— построение авиационных комплексов бортового и наземного оборудования для сетевой передачи данных на основе технологии CNS/ATM.

Авиационные комплексы бортового и наземного оборудования на основе технологии CNS/ATM должны обладать высоким вычислительным потенциалом, который обеспечивается принципиально новой сетевой, пространственно-распределенной вычислительной структурой. Создание такой среды невозможно без использования современных информационных технологий. Одной из составляющих этой среды являются сети передачи данных. От них зависит работа всех комплексов оборудования в целом, поэтому им уделяется особое внимание и предъявляются жесткие требования, формулируемые из условий эксплуатации, необходимого качества обслуживания абонентов при заданных условиях работы (нагрузка на средства передачи данных, топология сети и т.п.), концепции построения комплексов оборудования и возлагаемых на него задач, требований смежных систем и комплексов [2].

Принципы построения перспективных комплексов оборудования следующие:

— переход к цифровым методам обработки и передачи сигналов и информации;

— использование единой цифровой сети передачи данных для интеграции всех видов передаваемой информации;

— применение при разработке аппаратуры и программного обеспечения соответствующих стандартов взаимосвязи открытых систем.

Функционально система навигации на основе технологии CNS/ATM состоит из трех подсетей (рис. 1): бортовой; «воздух–земля»; наземной, которые предназначены для обмена сообщениями между бортовыми системами и наземными службами ОВД, а также для функционирования в единых сетях наземной связи.

Бортовое оборудование системы будет устанавливаться на существующие и перспективные воздушные суда, а наземное оборудование — по основным трассам пролета воздушных судов и в аэропортах.

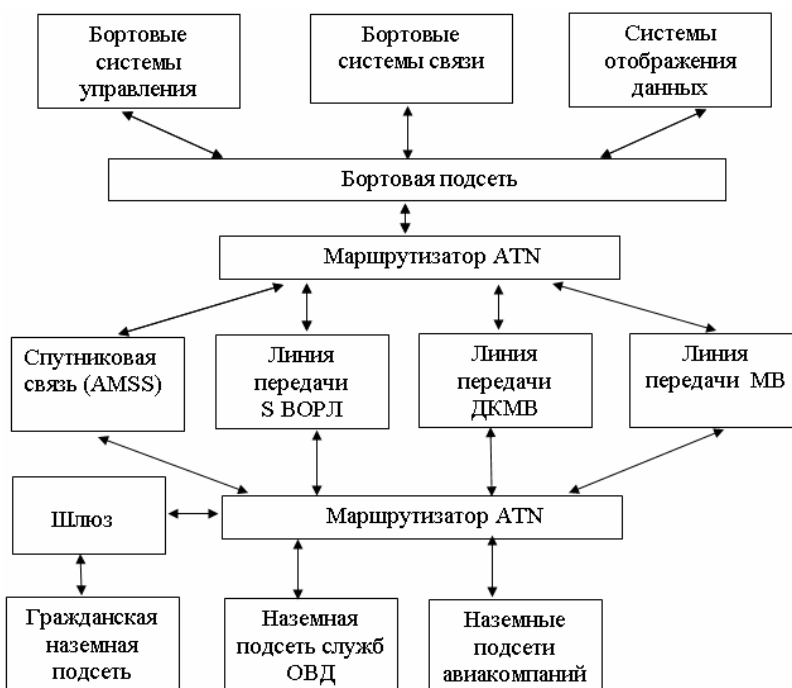


Рис. 1. Структура сети интегрированной навигационной системы CNS/ATM

Подсеть «воздух–земля» использует различные каналы передачи данных, но все они должны иметь одинаковый протокол сетевого доступа в соответствии с базовой моделью и рекомендациями ИКАО. Это обеспечит их взаимосвязь с другими наземными сетями таким образом, что бортовой терминал любой из этих линий передачи данных может быть соединен с любой наземной системой для принятия общих услуг и протоколов интерфейса, также основанных на базовой модели. Система связи, которая позволяет наземным подсетям передачи данных, подсетям передачи данных «воздух–земля» и бортовым подсетям передачи данных взаимодействовать, обеспечивая конкретные авиационные прикладные процессы, представляет собой сеть авиационной электросвязи (АТН). В структуре АТН подсети соединяются между собой с помощью маршрутизаторов АТН, которые выбирают «наилучший» маршрут передачи каждого информационного сообщения.

АТН объединяет спутниковую сеть, подсети радиодиапазонов обмена данными, а также подсети передачи данных режима S вторичной радиолокации и шлюзов наземной сети.

Кроме связи в диапазонах АКМВ и МВ, спутниковая связь (AMSS) обеспечивает глобальную зону действия для высококачественной речевой связи и передачи данных. Использование AMSS имеет особое практическое значение для воздушных судов, выполняющих полеты в океанических и/или отдаленных районах континентального воздушного пространства.

Линия передачи данных в режиме S BOPЛ представляет собой линию передачи данных «воздух–земля», которая специально рассчитана для передачи ограниченных данных в районах с высокой плотностью воздушного движения. Она может также использоваться в смешанных условиях, для которых характерны различные уровни применения линии передачи данных бортовыми приемопередатчиками.

Поскольку нормальное распространение радиосигналов характерно не для всего диапазона и не для всех географических точек, продуманное размещение системы хорошо связанных между собой наземных станций и наличие подходящего пула частот позволит найти «наилучшую» частоту для передачи пакетов данных в любом месте и в любое время. Линия радиодиапазонов может дополнять AMSS в океанических отдаленных районах и обеспечивать основную возможность связи в полярных районах.

Гармоничное сочетание возможностей радиодиапазонов и спутниковой связи, основанное на некоррелированности их механизмов распространения, используется аэронавигационной сетью телекоммуникаций ATN для обеспечения глобального перекрытия полетного пространства связью «воздух–земля» с высокой надежностью в соответствии с требованиями интегрированной системы связи, навигации, наблюдения.

В настоящее время становится очевидным, что традиционный подход, при котором для каждого типа услуг строится отдельная сеть, исчерпал себя. Альтернативой ему является построение интеллектуальных мультисервисных сетей. Мультисервисной сетью называется телекоммуникационная структура, которая позволяет оказывать пользователям разнообразные услуги связи, различающиеся как качественными, так и количественными характеристиками. Именно такое решение позволит отказаться от многочисленных дублирующих друг друга сетей.

Важными задачами, которые следует выделить в первую очередь для реализации концепции распределенных в пространстве структур систем интеллектуального управления летательными аппаратами на основе использования мультисервисных сетей интегрированной навигационной системы CNS/ATM, являются:

— управление и пилотирование воздушными судами с недостаточным обеспечением его современным оборудованием и современной авионикой, в частности, для осуществления виртуальными системами режимов микроволновой посадки реального судна;

— реализация на борту судна виртуальных интерфейсов экипажа (при их удаленной реализации и трансляции на борт судна);

— гибкое перераспределение ролей в виртуальной эргатической системе с реального пилота и экипажа воздушного судна на виртуального уда-

ленного пилота и экипажа и, наоборот, при одновременном гибком включении в состав виртуальной системы различных подсистем наземно-воздушного комплекса для решения возникающих новых задач;

— гибкая реконфигурация архитектуры системы и воздушного судна в зависимости от решаемой задачи и состояния системы при конструкционных, аппаратных и программных отказах;

— реализация принудительного или заказного режима ДПЛА (дистанционно пилотируемого летательного аппарата) для обслуживаемого судна;

— реализация в особых условиях полета режима «виртуальный автопилот»;

— осуществление взлета и посадки в сложных метеоусловиях в режиме соответствующих «виртуальных систем»;

— осуществление сверхманевренности как на дозвуковых, так и на сверхзвуковых режимах полета;

— осуществление информационного предупреждения и предотвращения маневром столкновений как исправных, так и неисправных воздушных судов с другими судами и с землей;

— осуществление группового маневрирования воздушных судов.

Управление движением ЛА в условиях реальных навигационных конфликтов принадлежит к одному из наиболее сложных видов операторской деятельности человека. Основой синтеза устройств управления для систем такого класса служит обобщенная математическая модель конфликтных систем [3]. Задача разрешения навигационных конфликтов в данном общем случае определена как задача выбора оптимальных стратегий поведения конфликтующей системы на основе имеющейся субъективной апостериорной информации о состояниях системы и среды и представляет по своей сути итерационную схему разрешения конфликтов.

Поскольку в контуре управления ЛА участвует пилот, то в качестве основы для разрешения навигационных конфликтов целесообразно использовать теорию технических эргатических организмов [3, 4].

В общем случае движение ЛА описывается векторным дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, u, v_0), \quad (1)$$

где  $x \in X$  — вектор фазовых координат объекта ЛА;  $u \in U$  — управляющий вектор;  $v_0 \in V_0$  — вектор возмущений среды;  $t$  — время.

Движение каждого  $i$ -го динамического препятствия  $P_i$  (встречные ЛА, грозовые фронты и т.п.), описывается векторным дифференциальным уравнением

$$\frac{dy_i}{dt} = f_{pi}(t, y_i, u, v_i), \quad (2)$$

где  $y_i \in Y_i$  — вектор фазовых координат объекта  $P_i$ ;  $v_i \in V_i$  — вектор управления объекта  $P_i$  совместно с влиянием среды на этот объект.



Движение ЛА относительно объекта  $P_i$  можно записать в виде векторного дифференциального уравнения

$$\frac{dz_i}{dt} = F_i(t, z_i, u, v_i, v_0), \quad (3)$$

где  $z_i = y_i - x$ .

Во время движения ЛА имеется цель движения

$$S_i = [z_i : z_i \in R_i], \quad (4)$$

где  $R_i$  — область, которую должен достичь ЛА.

Для синтеза эргатической системы управления движением ЛА используем метод нелинейной интегральной инвариантности [4], так как он обеспечивает наибольшие возможности для проявления свойств активности и функционального гомеостаза.

Разделим внешние возмущения на две составляющие:  $v_0$  — вектор, характеризующий состояние среды, и  $v_i$  — параметр движения объекта  $P_i$ . Такое разделение возмущений на два типа приводит к необходимости создания в структуре системы управления некоторой подсистемы, противодействующей возмущению среды  $v_0$  и обеспечивающей возможность решения задачи движения ЛА по маршруту с произвольной формой функционального поведения.

Последнее положение по аналогии с живыми организмами означает, что данная подсистема образует уровень управления, который вырабатывает реакцию всей эргатической системы на возмущение среды  $v_0$ , относящуюся к классу безусловных рефлексов.

Этот уровень управляющего устройства в общей системе управления называется уровнем безусловного рефлекторного управления [3].

Кроме того, в эргатической системе управления совместным движением необходим второй уровень управляющего устройства, который организует реакцию системы управления на возмущения  $v_i$ , связанные с решением задачи совместного движения динамических объектов. Эта реакция должна быть такой, чтобы эргатическая система обладала свойствами функционального гомеостаза при решении задачи совместного движения, т.е. второй уровень управляющего устройства эргатической системы относится к условному рефлекторному управлению [3].

Рассматривая возмущение среды  $v_0$  как параметр, участвующий в формировании одного из видов функционального поведения эргатической системы, синтезируем безусловный рефлекторный уровень управления.

Пределную систему уравнений, задающую требуемый тип динамики движения ЛА и обеспечивающую стационарность состава операторской деятельности, запишем в виде

$$\frac{dx}{dt} = \varphi(x, q), \quad (5)$$

где  $q$  — новое управляющее воздействие.

Функциональное уравнение абсолютной инвариантности, из решения которого находится управление  $u = u(t, x, q, v_0)$ , а следовательно, и структура системы управления этого уровня, имеет вид

$$\varphi(x, q) = f(t, x, u, v_0). \quad (6)$$

Выбор управляющего параметра  $q$  должен удовлетворять условию существования инвариантного управления, найденного из (6):

$$q \in \bigcap_{v_0} Q^{xv_0} = Q^{XV}, \quad (7)$$

где  $Q^{XV} = Q^{XV}(t, x, u, v_0)$  — образ множества управлений  $u \in U$ , полученный из (6).

На безусловном уровне управления ЛА и регулятор выступают совместно в виде объединенной системы, описываемой предельной системой соотношений (5). Изменение динамики движения ЛА согласно предельной системе (5) приводит к следующим уравнениям относительного движения:

$$\frac{dz_i}{dt} = F_i(t, z_i, q, v_i). \quad (8)$$

Синтез условного рефлекторного уровня управления проводим так, чтобы управление  $q$ , направленное на решение задачи совместного движения, обладало свойством функционального гомеостаза по отношению ко всему множеству возможных способов их решения.

Для этого предельную систему уравнений, описывающих динамику движения ЛА относительно объекта  $P_i$ , запишем в виде

$$\begin{aligned} \frac{dz_i}{dt} &= p_i, \\ p_i &\in \bigcap_{v_i} Q_{pi}^{zvi} = Q_{pi}, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $p_i$  — новое управляющее воздействие;  $Q_{pi} = Q_{pi}(z_i, q, v_i, t)$  — образ множества управлений  $q$ .

Функциональное уравнение абсолютной инвариантности для условного рефлекторного уровня управления имеет вид

$$p_i = F_i(z_i, q, v_i, t). \quad (10)$$

Структура условного рефлекторного уровня управления находится из решения уравнения абсолютной инвариантности (10)

$$q = q(z_i, p_i, v_i, t). \quad (11)$$

Синтез управляющего воздействия  $p_i$ , направленного на достижение цели (5), может производиться любым из методов, применяемых в теории

управления. Пусть алгоритм, по которому формируются управляющие воздействия  $p_i$ , имеет вид

$$p_i = A_i(z_i). \quad (12)$$

На основе принципа функциональной совместимости с помощью обобщенных рабочих характеристик [4] можно определить, какую часть алгоритма (12) поручить выполнять человеку-оператору, а какую реализовывать средствами автоматики:

$$A_i(z_i) = B_i(z_i) + C_i(z_i), \quad (13)$$

где  $B_i(z_i)$  — часть алгоритма управления, которая может реализовываться человеком-оператором;  $C_i(z_i)$  — часть алгоритма управления, реализуемая средствами автоматики в целях функциональной разгрузки человека-оператора.

Таким образом, структурно-функциональная организация эргатической системы управления ЛА, обеспечивающая управление совместным движением динамических объектов, определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} z_i &= y_i - x, \\ S_i &= [z_i : z_i \in R_i], \\ p_i &= B_i(z_i) + C_i(z_i), \\ q &= q(t, z_i, p_i, v_i), \\ u &= u(t, x, q, v_0). \end{aligned} \quad (14)$$

Структурная организация системы управления ЛА, в соответствии с соотношениями (14), обеспечивает, благодаря присущим ей свойствам активности и функционального гомеостаза, последовательное решение одноцелевых задач при условии существования полностью управляемых состояний системы. Структура этой локально расположенной системы управления ЛА (без передачи пакетов по компьютерной сети) приведена на рис. 2.

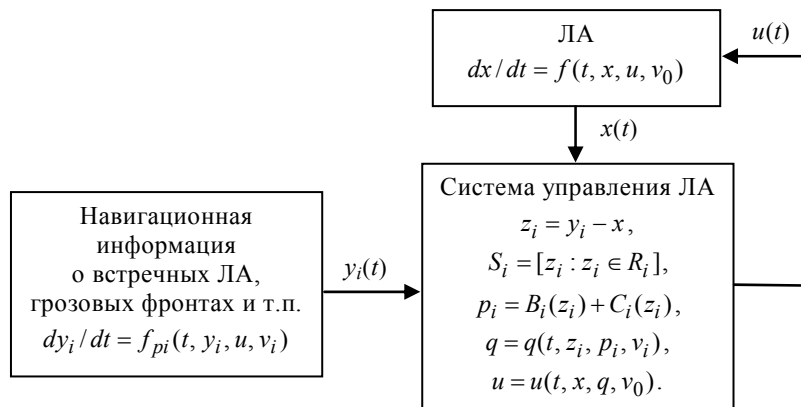


Рис. 2. Структурная организация локальной системы управления ЛА

Широкое распространение компьютерных сетей на базе IP-протоколов позволяет использовать компьютерные сети с пакетной передачей информации для реализации распределенных в пространстве навигационных систем интеллектуального управления ЛА. При таком подходе структурная организация распределенной в навигационной компьютерной сети системы управления ЛА будет иметь вид, приведенный на рис. 3.

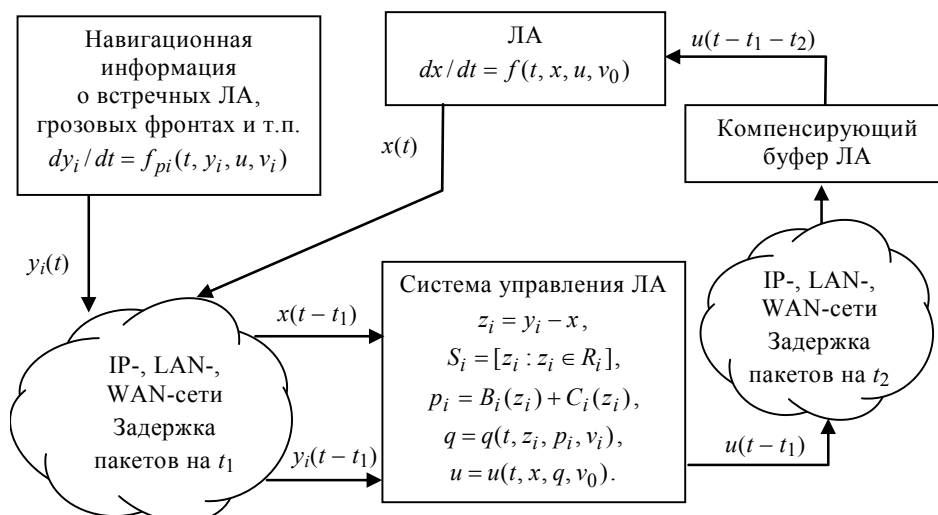


Рис. 3. Структурная организация распределенной в сети системы управления ЛА

Для компенсации вариаций задержек  $t_1$ ,  $t_2$  и джиттера (неустойчивой синхронизации) выходных сигналов стандартно используется компенсирующий буфер. Однако основными параметрами, влияющими на качество работы такой распределенной в навигационной компьютерной сети системы управления ЛА, являются величина задержки  $t_1$ , смещающая во времени пакеты данных  $x(t-t_1)$  и  $y_i(t-t_1)$  при передаче их в систему управления ЛА, и величина задержки  $t_2$ , смещающая во времени пакеты команд управления  $u(t-t_1-t_2)$  при передаче их на ЛА. Влияние этих задержек при передаче пакетов данных особенно сказывается на тех процессах управления воздушным движением, у которых необходимое время дискретизации данных процесса управления ЛА меньше задержек передачи пакетов в компьютерной сети. Как было показано, задержка передачи пакетов данных по компьютерной сети в общем случае имеет несколько составляющих: задержки кодирования и декодирования, задержки на входе и выходе из сети, сетевая задержка сериализации, задержка в компенсирующем буфере. Суммарная задержка пакетов данных в сети на базе IP-протоколов может существенно превышать необходимый для качественного управления воздушным движением период дискретизации данных, что является препятствием для осуществления распределенного управления процессами в реальном масштабе времени через компьютерные сети. Задержки передачи пакетов данных по компьютерной сети и вариация этих задержек значительно снижают качество и устойчивость управления процессами, вплоть до не выполнения целей управления ЛА.

Для преодоления негативного влияния задержек  $t_1$  и  $t_2$  при передаче пакетов данных  $x(t)$ ,  $y_i(t)$  и  $u(t)$  в навигационной компьютерной сети предлагается инвариантная к временным задержкам структурная организация распределенной в сети системы управления ЛА [5]. Ее работа основана на использовании в реальном масштабе времени моделей объекта и среды. Как показывает компьютерное моделирование в соответствии с предложенным способом, в распределенной навигационной компьютерной сети системы управления ЛА удастся компенсировать задержки передачи пакетов и повысить качество и устойчивость работы системы управления в широком диапазоне задержек передачи пакетов данных.

Дальнейшая разработка распределенных в пространстве структур систем интеллектуального управления летательными аппаратами на основе использования мультисервисных сетей распределенной навигационной системы CNS/ATM позволит реализовывать системную и функционально-временную совместимость воздушного судна, как объекта управления, с наземными интеллектуальными информационно-управляющими комплексами, функционирующими в рамках современных концепций интеллектуальных гибко реконфигурируемых программируемых архитектур компьютерных сетей.

Особым свойством данного подхода является свойство его архитектурной и структурной открытости, позволяющее независимое их развитие, не изменяющее общего свойства системной виртуальности процесса управления и пилотирования.

Функционально-временное совмещение разрозненных ресурсов в единый пространственно-временной комплекс позволит:

- расширить перечень авиационных задач, решаемых в реальном масштабе времени и в расширенном пространстве состояний воздушного судна;
- повысить уровень качества, надежности и безопасности функционирования систем управления над максимально широким множеством полетных ситуаций за счет управляемых вариаций интегральной системы и управляемых вариаций функционального обеспечения.

1. *Глобальный аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM.* — Международная организация гражданской авиации (ИКАО), 2007. — 139 с.
2. *Шмалько А.В.* Цифровые сети связи. — М.: Эко-Трендз, 2001. — 282 с.
3. *Павлов В.В.* Начала теории эргатических систем. — Киев: Наук. думка, 1975. — 237 с.
4. *Технические эргатические системы (синтез эргаматов)* / Под ред. В.В. Павлова. — Киев: Вища шк., 1977. — 180 с.
5. *Заявка на патент РСТ/UA2007/000052.* Способ и устройство для компьютерных сетей управления скоростными циклами прикладных процессов / В.В. Павлов, С.В. Павлова, Ю.П. Богачук. — 2006.

Международный научно-учебный центр  
информационных технологий и систем  
НАН Украины и Министерства  
образования и науки Украины, Киев

Получено 19.12.2007