

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Рассмотрены закономерности организации эргатических систем и вопросы построения комплексов удаленного управления динамическими объектами. Определены направления и способы организации структуры удаленного управления подвижными объектами. Дан пример структуры удаленного управления летательным аппаратом при выполнении целевых полетных заданий в сложных навигационных условиях и критических режимах полета.

Введение. Современное развитие средств коммуникации и передачи информации на большие расстояния создает новые возможности построения систем удаленного управления сложными динамическими объектами, выполняющими разнообразные целевые задания. Рассмотрим данные вопросы на примере организации систем удаленного управления летательным или космическим аппаратом, выполняющим полетное задание. Организация систем удаленного управления основывается на закономерностях построения сложных человеко-машинных систем и комплексов управления. Это относится к начальному определению структуры и функций отдельных блоков, построению пространства существенных переменных и организации средств адаптации и интеллектуальных функций. На основе информационных технологий и целостного рассмотрения процесса управления развиваются системные информационные методологии описания и построения решений для сложных эргатических систем при управлении динамическими объектами в реальных средах [1, 2].

Концептуальные подходы к организации сложных эргатических систем

Целостное целенаправленное управление – это многокомпонентный процесс поиска решений, заключающийся в формировании ряда целевых образов объекта и среды управления, последующем их уточнении, преобразовании и согласовании в обобщенном целевом пространстве. Концепция организации эффективного целенаправленного управления базируется на нескольких принципиальных положениях:

1. Положение об адекватном отображении свойств живых организмов и человека в структуре и функциях разрабатываемых модулей и систем. Структурное сходство отображается через построение логико-динамических моделей процессов управления. Функциональное сходство отображается при создании моделей адаптивных стохастических преобразований процессов, которые происходят в системе.

2. Положение о компактно-дискретном представлении процессов распознавания и управления объектами. Это представление предусматривает

выделение существенных переменных, формирование входного и выходного пространства признаков, определение степени дискретизации и оптимального разбиения для конкретной среды управления. Уменьшение величины информационного потока и определение значимости получаемых данных является характерной особенностью начального подготовительного уровня обработки информации для получения эффективного целедостигающего решения.

3. Положение о нахождении компактных преобразований, дающих оптимальное решение, которое соотносится с представлениями человека-оператора и экспертов. Требуется проведение обработки нескольких потоков данных, сопоставление их во временном и функциональном пространстве; сложные итерационные преобразования с несколькими уровнями получения решений, включая не только кратковременный прогноз, но и продолжительное развитие ситуации.

Основные принципы организации целенаправленных систем выражаются в характеристиках структуры и функций высокоорганизованных живых существ. Анализ этих характеристик позволяет определить следующие основные принципы их организации:

- наличие некоторого временного и пространственного множества существования системы как части рассматриваемой среды;
- наличие определенных уровней внешней и внутренней активности и свободы системы;
- наличие определенных различимых уровней сигналов для управления взаимодействием системы со средой и управления внутренними состояниями;
- дискретность различимых уровней сигналов, позволяющая выделять ограниченное количество возможных состояний в системе и состояний системы в среде;
- наличие начальной структурной организации, определяющей реакции системы на внешние и внутренние воздействия;
- наличие в начальной структуре мотивационных образований (например, витальных, ролевых, саморазвития), выражающихся в виде определенного поведения или программы действий;
- наличие в начальной структуре пластических элементов, позволяющих записывать стимулирующие сигналы, выходные реакции и результат взаимодействия системы со средой;
- наличие иерархической структурной организации, определяющей взаимодействия базовых структур, мотивационных образований, пластических элементов и элементов, отвечающих за энергопластические реакции системы.

Методы ситуационного анализа и синтеза управляющих структур базируются на использовании общих закономерностей управления сложными нелинейными динамическими системами и исследовании восприятия и обработки информации человеком-оператором [3]. Анализируются процессы распознавания человеком сложных зависимостей окружающей среды, рассматриваются представления творческой деятельности человека путем

математического и компьютерного моделирования и др. В термин «ситуационное управление» различные авторы вкладывают свою специфику, заключающуюся, например, в определенном описании отношений между объектами внешнего мира [4]. В данном представлении определяется трактовка термина «ситуационный анализ и синтез» как связанная с дискретным выделением определенных ситуаций различного уровня постоянства характеристик управления, от самых малых (называемых микроситуациями), ситуаций средних размеров (выделяемых при определении, например, стереотипов поведения человека-оператора) и глобальных ситуаций (макроситуаций), существенно изменяющих весь характер управления. Глобальная макроситуация может включать некоторое множество ситуаций, каждая из которых характеризуется некоторым устойчивым набором управляющих действий (иногда этот набор можно назвать стереотипом поведения человека-оператора). С целью анализа процесса управления, осуществляемого в некоторой ситуации, и последующего синтеза автоматизированной системы рассматриваются дискретные составляющие процесса управления, называемые микроситуациями. В определенном смысле микроситуация определяет элементарный акт управления, в котором на входную информацию вырабатывается управляющее воздействие. С понятием микроситуации связывается и понятие временной дискретности поступления информации. Временная дискретность в большинстве рассматриваемых систем управления является определяющей для учета дискретности входных и выходных сигналов. При наличии в системе нескольких каналов управления, для которых человек-оператор определяет управляющее воздействие, среди всего набора микроситуаций можно выделить микроситуации, в которых происходит переключение внимания человека-оператора с одного канала управления на другой (или изменяется условная значимость каналов управления).

Основные черты организации управления в эргатических системах.

Процесс управления считается дискретным или ситуационным. Интервалы дискретности или ситуации определяются целедостигающим взаимодействием объекта и субъекта управления, а также воздействием внешней среды. При этом обычно наиболее существенное влияние на дискретность процесса управления оказывает человек-оператор и, соответственно, его характеристики и практический опыт. Следующей существенной причиной дискретности процесса управления является наличие шумовых составляющих у объекта управления и во внешней среде. Третьим фактором по степени влияния на дискретность процесса управления можно считать неточность начальных и текущих данных о характеристиках объекта и среды управления. Существенной чертой данного подхода является также учет взаимодействия человека и объекта управления, даже если рассматривается полностью автоматическая система управления. Автоматическое управление организуется исходя из представлений человека о возможном процессе управления и с учетом опыта его работы. При этом принимается во внимание сохранение возможностей контроля и коррекции получаемых решений. Таким образом, получаемые решения непосредственно

или опосредованно соотносятся с требованиями человека и закономерностями преобразования им информации. Особенно существенное значение при разработке отдельных оптимальных систем имеют целевые установки человека-оператора и их реализация в процессе управления. Подчеркивая основную значимость излагаемых представлений для сложных процессов управления, можно проследить следующую связь с классическими представлениями процесса управления с помощью передаточных функций. Основное внимание здесь уделяется нахождению передаточных функций между известной входной величиной (или величинами) и выходным органом управления. Обычно входная величина считается непрерывной на некотором интервале изменения и ей в соответствие ставится значение управляющего органа, получаемое с помощью аналитических функций. В этих представлениях человек-оператор обычно определяется более или менее простым набором этих функций. В построенных таким образом системах управления человек-оператор является либо следящим устройством, вырабатывающим сигналы управления для приведения определенной величины в заданное положение, либо контролирующим устройством, вмешивающимся в процесс управления только в особых ситуациях. В основном так описывались и использовались динамические характеристики человека-оператора, а не его творческие возможности. Предлагаемые представления направлены на заполнение того пространства ситуаций управления, когда нет очевидного соответствия входных данных и положения выходных управляющих органов. Требуется предварительная обработка поступающей информации, обычно не описываемая набором классических аналитических функций. Для описания информационных преобразований в этих случаях применяются различные методы теории распознавания образов, теории вероятностей, теории нечетких множеств, теории самоорганизации и т.п. Таким образом, в данном случае основное внимание уделяется поиску преобразований входной информации для принятия решений по управлению, а не построению функций соответствия входных и выходных переменных, используемых в автоматических регуляторах.

Построение, развитие структуры и свойств сложных систем управления ведет к специализации отдельных блоков системы, автоматизации их функционирования в определенных пределах. Системы с такими блоками имеет смысл, хотя и с определенной степенью условности, рассматривать как комплексы управления. При построении блоков таких комплексов должны учитываться основные указанные ранее принципы организации для сложных систем. В расширенном толковании эти блоки представляют подсистемы, в которых решаются частные цели (или подзадачи), требующие своего решения при реализации глобальной цели. В связи с этим такие блоки имеют функциональные и структурные закономерности, сходные с присутствующими в сложных системах управления, учитывают действие принципа функционального подобия с развитыми биологическими системами. Данное положение можно наблюдать и при организации систем удаленного управления и распределенных систем, в которых, например, имеется существенное разнесение объекта и системы управления, удаленность информационных источников, баз данных и знаний. Для

успешного функционирования такого типа комплексов на удаленных объектах требуется создание «внутренних» моделей (обычно ограниченных в воспроизведении характеристик, несущественных для решения частной или локальной цели) объекта, среды, баз данных и знаний, использование их для локальных прогнозов и оценок. В качестве примера рассмотрим варианты организации систем удаленного управления подвижными объектами (например, транспортными средствами) при увеличении интервала временной задержки между объектом и базовой системой управления.

Специфика организации систем удаленного управления динамическими объектами. Рассмотрим построение автоматических и эргатических систем, функционирующих в реальном времени в критических условиях с распределением различных информационных средств на удаленных центрах управления. В настоящее время важное значение приобретает разработка структуры сетцентрических систем различного прикладного характера, разработка технологий для выполнения сложных задач имеющимися свободными ресурсами, разработка специализированных сетевых комплексов для концентрации ресурсов на сервисах повышенного спроса. При возникновении задержек в контуре управления для их компенсации требуется знание инерционных характеристик объекта, среды и закономерностей функциональной деятельности человека-оператора. Возможности управления в подобных ситуациях определяются тем, насколько в цикле управления отличается реальное состояние объекта в среде от вычисленного с учетом указанных знаний.

Спецификой удаленного управления может служить необходимость определенного распределения функций системы управления между базовой и удаленной частями. В зависимости от количества существенных переменных, влияющих на движение объекта, их точностных характеристик и удаленности базовой части системы управления требуются различные структуры организации процесса управления. Необходимо предварительно определить состав, точность и распределение моделируемых компонентов на объекте и в базовой части системы.

Рассматриваются возможные виды задержек в системе удаленного управления (рис. 1.).

Возможны следующие варианты организации удаленного управления для различной длительности задержек в системе:

- Когда задержки меньше времени предельных динамических характеристик человека-оператора (критические для работы автоматических устройств, обычно менее 0,05 с), строятся модели динамики объекта и прогноз состояния объекта на удаленной системе управления.
- Когда задержки сравнимы с временем предельных динамических характеристик человека-оператора (обычно 0,05–0,5 с), производится подстройка динамики управляющей деятельности человека-оператора для компенсации задержек или используются устройства автоматики для прогнозирования траектории движения объекта управления.
- Когда задержки сравнимы с временем устойчивого прогноза траектории движения объекта управления (в различных условиях могут

достигать нескольких минут и более), используются прогнозные модели траекторного движения и динамики объекта управления и среды.

- Когда задержки значительны (в зависимости от условий от нескольких минут до часов и дней, например управление в ближнем космосе) и не может быть достоверно спрогнозировано состояние объекта управления и среды, требуется вынесение моделей управляющей деятельности человека и баз знаний на удаленный объект управления, начиная от простых логических закономерностей до сложных моделей интеллектуальной деятельности, при этом в определенные моменты эти модели должны корректироваться.

- Когда задержки превышают циклы жизнедеятельности человека (например, управление в дальнем и сверхдальнем космосе) требуется моделировать или клонировать эволюционный процесс на удаленном объекте управления и периодически проводить соотнесение и корректировку процессов развития на управляющем центре и объекте.



Рис. 1. Виды задержек

На рис. 2 представлены способы организации управления с учетом различного вида задержек в контуре управления.

Взаимодействие объекта и системы при организации удаленного управления осуществляется путем информационного обмена (рис. 3). Отмечено наличие существенных составляющих удаленных друг от друга системы и объекта управления, а также управляющие и корректирующие информационные потоки. В зависимости от требований к процессу управления происходит формирование с различной временной интенсивностью управляющих и корректирующих информационных потоков. В каждом допустимом цикле информационного обмена, как показано на рисунке, может производиться не только управление, но и корректировка баз знаний, модели среды, модели объекта и модели человека, принимающего решения, на объекте и в системе управления.



Рис. 2. Способы организации управления удаленным объектом с учетом задержек



Рис. 3. Взаимодействие объекта и системы при организации удаленного управления

Примеры практических задач и результаты экспериментального моделирования удаленного управления объектом при наличии стандартных сетевых задержек в контуре управления

Для случая удаленного управления летательным аппаратом (ЛА) при решении наиболее типичных практических задач выбора и отработки траектории движения приведем пример организации взаимодействия объекта и удаленной системы при наличии стандартных сетевых задержек в контуре управления (рис. 4).

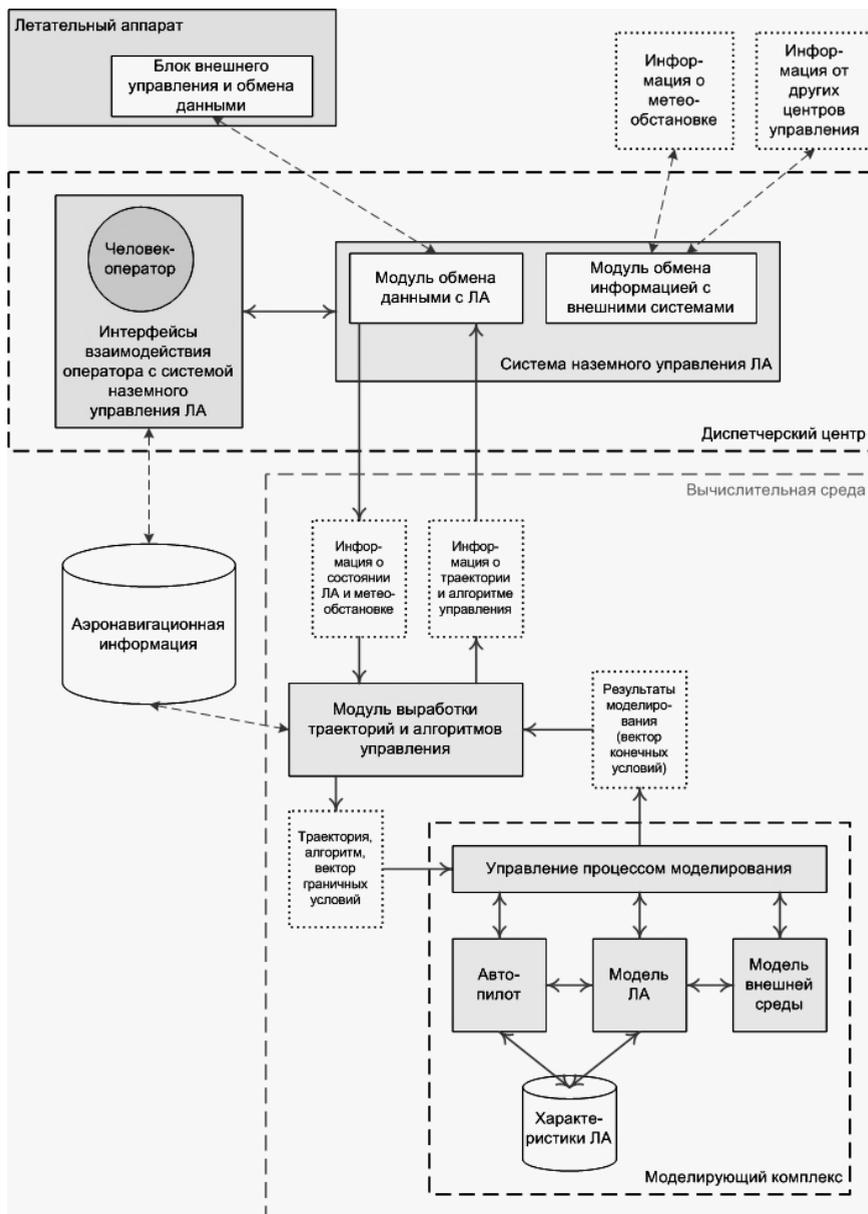


Рис. 4. Пример структуры взаимодействия объекта и удаленной системы при наличии сетевых задержек в контуре управления

На рисунке выделены объект управления (летательный аппарат), диспетчерский центр и структура основных связей с вычислительной средой и информационными данными о навигационной обстановке и характеристиках объекта. Система управления ЛА распределена между бортовой и наземной частями. В предельном случае бортовая часть системы управления может служить только для отработки командных сигналов, поступающих с наземной (или другой удаленной) части системы управления. Человек-оператор (наземный пилот, диспетчер) выполняет функции выработки и контроля управляющей информации. Он контролирует

выработку командных сигналов и их передачу на борт и может в случае необходимости останавливать или изменять процесс управления. Отдельной структурой на рисунке выделена вычислительная среда, ее основные функциональные блоки и связи. Для рассматриваемых задач управления допускаются возможности выбора требуемых удаленных командных сигналов, а также траекторий или алгоритмов управления при наличии альтернативных вариантов. Существенными функциональными блоками в данной структуре являются блоки, моделирующие автопилот, среду и динамические характеристики объекта управления. Диспетчерский пункт и вычислительная среда могут иметь разнообразные связи с другими диспетчерскими пунктами, информационно-навигационными службами и базами данных и знаний. Решение короткопериодических задач и выработка командных сигналов осуществляются в данном случае при минимальном включении в контур управления человека-оператора. Для задач прокладки маршрута и траекторий движения летательного аппарата может потребоваться больший контроль процесса управления со стороны человека-оператора и использование внешних критериев для принятия оптимальных решений.

Выводы. Развитие коммуникационных возможностей сетевых технологий передачи данных создает условия для расширения спектра задач, решаемых с использованием распределенных информационных ресурсов и систем удаленного управления в различных сферах практической деятельности. Управление подвижными динамическими объектами (в частности, наземным, морским и авиационным транспортом) требует поступления информации в реальном масштабе времени, т.е. при наличии малых задержек между командными сигналами. В качестве примера рассмотрена задача управления движением летательного аппарата с использованием удаленной системы формирования командных сигналов [5].

Для исследования распределенных в пространстве навигационных систем управления воздушным движением была построена модель движения летательного аппарата, локализованная в компьютерной сети, использующей обмен потоками информации. В процессе моделирования исследовалась работа трех систем управления ЛА: первая – тестовая (локально расположенная без передачи пакетов по компьютерной сети) система управления ЛА, в которой отсутствуют задержки передачи пакетов, вторая – распределенная в компьютерной сети система управления ЛА аналогичная тестовой, но с задержками передачи пакетов данных и пакетов команд управления по сети, третья – инвариантная к временным задержкам передачи пакетов данных распределенная в компьютерной сети система управления ЛА.

Результаты проведенных исследований показали, что качество работы второй, распределенной в компьютерной сети системы управления ЛА неудовлетворительно даже при наличии сетевых задержек передачи данных в пределах до 200 мс, а при сетевых задержках передачи данных, больших, чем 200 мс, эта система управления не достигает целей управления. В то же время результаты исследований работы третьей инвариантной к временным задержкам передачи информации распределенной системы управления ЛА

показали, что эта система обеспечивает качество управления, сопоставимое с качеством работы тестовой локальной системы управления ЛА, при наличии наиболее типичных для реальных распределенных компьютерных сетей задержек передачи пакетов данных в диапазоне 100–500 мс.

1. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем. — Киев: Наукова думка, 1975. — 240 с.
2. Мельников С.В. О дискретности информации в эргатических системах управления // Кибернетика и вычислительная техника. — 1984. — Вып. 61. — С. 41–44.
3. Павлов В.В., Мельников С.В. Концептуальные представления по организации образного управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности // Кибернетика и вычислительная техника. — 2004. — Вып. 142. — с. 3–15.
4. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. — М.: Радио и связь, 1989. — 189 с.
5. Павлова С.В., Богачук Ю.П., Мельников С.В. Вопросы реализации управления летательными аппаратами в условиях распределенных навигационных ресурсов // Кибернетика и вычислительная техника. — 2009. — Вып. 156. — С.58–71.

Международный научно-учебный центр
информационных технологий и систем
НАНУ и Минобразования и науки Украины, Киев

Получено 26.07.2012