

В. В. Инсаров, д-р техн. наук, зам. начальника подразделения, wiliam@gosniias.ru,
С. В. Тихонова, вед. инженер, svetico@yandex.ru, **С. А. Дронский**, вед. инженер, sergey.dronsky@gosniias.ru,
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва

Концепция построения интеллектуальных систем управления автономных беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности¹

Рассматривается концепция построения интеллектуальной системы управления автономных беспилотных летательных аппаратов (АБЛА), реализующей в процессе полета функцию ситуационной осведомленности. Ключевыми компонентами такой системы являются: наземная система подготовки полетных заданий; бортовая система технического зрения. Приведен пример процесса априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА, направленного на выполнение поставленной целевой функции.

Ключевые слова: ситуационная осведомленность; беспилотные летательные аппараты; автономные системы управления; интеллектуальные системы; бортовые системы технического зрения

Введение

В настоящее время совершенно очевидно, что среди многих факторов, призванных обеспечить существенное повышение эффективности функционирования систем самого различного назначения (технических, робототехнических, организационных, организационно-технических и т.п.), одним из главенствующих является фактор использования информационной осведомленности о состоянии внешней среды и самой системы. В первом случае речь идет о самом широком спектре внешних воздействий, во многих случаях носящих характер целенаправленного противодействия возможности выполнения системой поставленной перед ней целевой функции. Во втором случае речь идет о возникающих непредвиденных внутренних ситуациях, таких как отказы элементов аппаратуры, нарушения информационной безопасности, сбой программного обеспечения, конфликты в коллективе и т.д. и т.п.

Показателями качества информационной осведомленности могут служить такие факторы, как полнота информации, ее достоверность и оперативность, отображающие настоящее (текущую ситуацию), будущее (поставленные цели), прошлое (прогресс в достижении цели), другие значимые факторы, критичные для принятия

решений. Совершенно очевидно, что снижение таких показателей может привести к принятию необоснованных (ошибочных) управленческих решений. В конечном счете это приводит к существенному снижению показателей эффективности функционирования рассматриваемой системы или даже к полному нарушению такого функционирования.

В достаточно общем виде все выше сказанное может быть представлено моделью системы управления Эндсли (Endsley), впервые сформулировавшего основные положения теории ситуационной осведомленности [1, 2].

В соответствии с этой моделью (рис. 1) процесс функционирования системы представлен тремя компонентами: информационным, обеспечивающим ситуационную осведомленность с заданными показателями качества; управляющим, обеспечивающим выбор способа достижения поставленной цели на основе принятого решения; исполнительным, реализующим действие, соответствующее выбранному способу достижения поставленной цели.

Информационный компонент включает три уровня:

- знание того, что происходит вокруг (уровень 1);
- осознание значения собственных действий и действий других участников ситуации (уровень 2);
- представление сценария развития ситуации (уровень 3).

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 17-08-00584а.

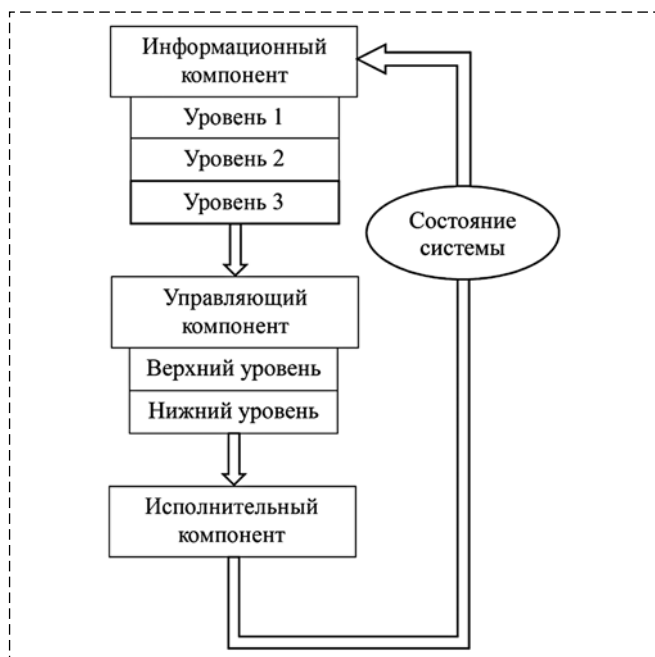


Рис. 1. Модель системы управления

Управляющий компонент включает два уровня управления:

- верхний уровень, определяющий целеполагание, постановку определенной цели функционирования, выбор одной из определенного множества конкретных типовых ситуаций (ТС); решение задачи целеполагания целиком возлагается на лицо, принимающее решение (ЛПР); разработчики алгоритмического и индикационного обеспечения предоставляют ЛПР информационную модель внешней обстановки;
- нижний уровень управления, определяющий поиск способа достижения поставленной на верхнем уровне цели, анализ возможных путей достижения цели и выбор из них предпочтительного пути (принятие решения); решение задач обеспечивается, например, бортовой оперативно-советующей экспертной системой соответствующей ТС.

Исполнительный компонент реализует действие, соответствующее выбранному на нижнем уровне управляющей компоненты способу достижения поставленной цели. В результате обеспечивается воздействие на внешнюю и внутреннюю среду, которое сохраняет или видоизменяет сложившуюся ситуацию.

В соответствии с описанной моделью процесса функционирования будем относить такие системы к классу интеллектуальных систем управления с реализацией функции ситуационной осведомленности.

В качестве характерного примера таких систем могут рассматриваться интеллектуальные системы управления пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов с реализацией функции ситуационной осведомленности. В настоящее

время совершенно очевидно, что среди многих факторов, призванных обеспечить существенное повышение боевой эффективности многих типов летательных аппаратов нового поколения, одним из главенствующих является фактор реализации функции ситуационной осведомленности на всех участках полета этих аппаратов.

Для *пилотируемых* летательных аппаратов такая осведомленность реализуется совокупностью следующих трех составляющих так называемой "Общей ситуационной осведомленности":

- ▲ *наземная система* подготовки полета, обеспечивающая подготовку экипажей и борта самолетов к выполнению полетного задания на основе анализа априорной информации об ожидаемых мерах воздушного и наземного противодействия; выбор вариантов тактики выхода в район боевых действий, вариантов тактики противоборства с ожидаемым противником; подготовку полетных документов и исходных данных;
- ▲ *бортовая система* (1), обеспечивающая оценку состояния всего комплекса бортовой аппаратуры с использованием оперативно-советующей экспертной системы типовых ситуаций полета; экспертной системы оценки состояния бортовых измерительных и исполнительных устройств с выработкой рекомендаций экипажу по решению возникающих проблем и проверкой максимально точного исполнения принятых решений;
- ▲ *бортовая система* (2), обеспечивающая получение в любой момент времени полета максимально полной необходимой информации о складывающейся текущей ситуации во внешней среде за счет реализации возможности наблюдения и оценки состояния внешней среды, оценки достижимости целей управления и оперативного планирования маршрута движения самолета, тесно связанных с решением задач обнаружения и распознавания объектов этой среды, оценкой собственного движения и принятия последующих решений.

Применительно к *автономным беспилотным летательным аппаратам* (АБЛА) в "Общей ситуационной осведомленности" превалирует значимость таких составляющих, как *наземная система* подготовки пуска и *бортовая система* (2), обеспечивающая получение необходимой информации о состоянии внешней обстановки.

Следует отметить, что комплекс вопросов построения систем ситуационной осведомленности *пилотируемых* летательных аппаратов достаточно подробно рассмотрен в целом ряде работ [3—6]. В отношении АБЛА картина иная — рассмотрение вопросов построения систем ситуационной осведомленности даже на концептуальном уровне практически отсутствует. В настоящей статье предпринята попытка рассмотрения основополагающих принципов построения таких систем

с иллюстрацией особенностей, присущих АБЛА. При решении информационно-управляющих задач в этом случае бортовое интеллектуальное системообразующее ядро базируется на использовании технологии "технического зрения".

Структуру системы управления АБЛА представим, условно, в виде двух взаимосвязанных компонентов: "штатного", реализующего набор присущих беспилотному летательному аппарату типовых информационно-управляющих задач на всех участках его полета, и "интеллектуального", реализующего задачу ситуационной осведомленности на конечном участке его полета. В настоящей статье рассматривается возможная структура "интеллектуального" компонента системы управления ударного АБЛА большой дальности действия на конечном участке его полета, реализующего комплекс информационных и управленческих задач в части осуществления функции ситуационной осведомленности, обеспечивающего выполнение поставленной целевой функции (генеральной задачи полета) — поражение одного из заданных объектов многообъектной сцены. Такой компонент включает:

- "интеллектуальную" составляющую *наземной системы* подготовки полета, которая формирует на основе имеющейся и прогнозируемой априорной информации о состоянии внешней среды составную часть полетного задания летательного аппарата;
- "интеллектуальную" составляющую *бортовой системы управления* летательного аппарата (систему "технического зрения"), обеспечивающую получение на заключительном участке полета апостериорной информации о складывающейся реальной текущей ситуации во внешней среде, сопоставление априорной и апостериорной информации, принятие решений, формирование и реализацию соответствующего управления. Ограниченность рассмотрения только конечным участком полета ЛА в данном случае вызвана ограниченными дальностями действия систем "технического зрения" с бортовыми электронно-оптическими датчиками.

Постановка задачи

Под ситуационной осведомленностью в рассматриваемом классе задач понимается осведомленность о структурном составе наблюдаемой в процессе полета АБЛА сцены и его изменчивости относительно прогнозируемого состава, заданного в полетном задании.

Рассматриваются присущие системам данного класса принципиальные структурные и функциональные особенности "интеллектуальной" составляющей наземной и бортовой систем, такие как:

- априорное задание ТС, соответствующих выделенным объектам интереса (ОИ) в составе

рассматриваемой наземной сцены; задание набора проблемных субситуаций (ПрСС), выделенных для каждой ТС;

- формирование структуры и алгоритмического содержимого априорной базы знаний (АБЗ) как основного компонента полетного задания (ПЗ);
- формирование структуры бортовой системы "технического зрения", реализующей алгоритмы автоматического получения и обработки апостериорной информации о текущем состоянии рассматриваемой наземной сцены и ее ОИ, отнесение этой информации к соответствующим ТС и ПрСС, алгоритмы селекции или распознавания приоритетных ОИ путем сопоставления текущего изображения (ТИ) и эталонного изображения (эталонного описания) (ЭИ), принятия решения и управления полетом АБЛА.

Указанная выше АБЗ включает в себя:

- ▲ ситуационную базу знаний, содержащую описание и характеристики выделенных ОИ, приоритетное ранжирование выделенных ОИ, набор проблемных субситуаций (ПрСС);
- ▲ информационную базу знаний, содержащую ЭИ выделенных ОИ;
- ▲ алгоритмическую базу знаний, содержащую бортовые алгоритмы принятия решений и управления полетом АБЛА для всех ПрСС, а также циклограммы процессов реализации указанных алгоритмов.

Наземная система подготовки полетного задания

Принципиальная особенность наземной системы подготовки полетного задания для АБЛА состоит в необходимости решения ряда проблем, связанных с условием их полной автономности (принцип "пустил—забыл"). Возможная разрешимость этих проблем, главным образом, основывается на максимальном использовании априорной информации, представимой в виде баз знаний: ситуационной, информационной, характеризующей текущее состояние внешней среды, и алгоритмической. Структурная схема этих баз знания представлена на рис. 2.

Рассмотрим несколько подробнее упомянутые выше проблемы.

Первая из проблем заключается в необходимости проведения априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА и разработки на этой основе бортовых алгоритмов обработки текущей информации, принятия решений и управления. Ситуационный анализ включает в себя решение следующих задач:

- ▲ выбор и анализ заданной заказчиком наземной сцены (определение размеров и информативности сцены, числа объектов в составе

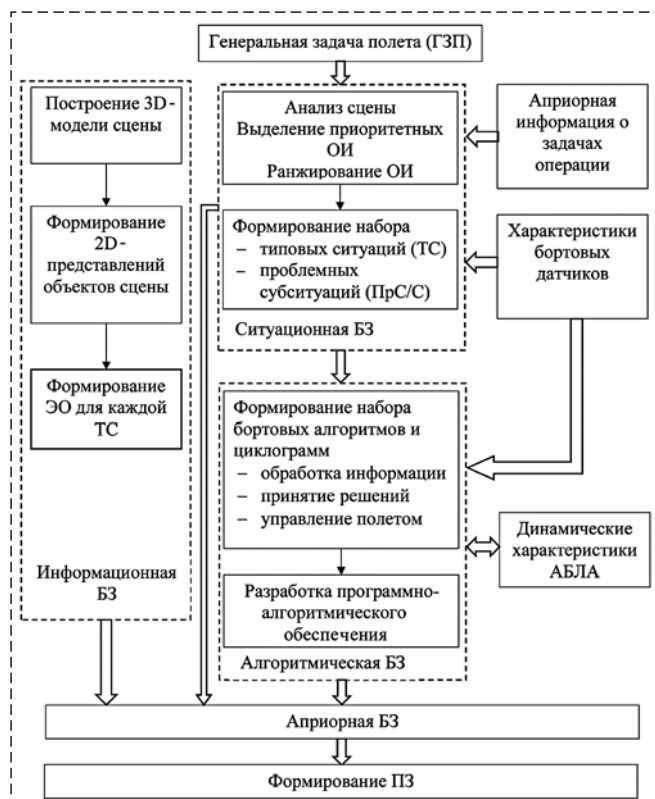


Рис. 2. Структура априорной базы знаний

сцены и их взаимного расположения), выделение представляющих интерес областей и ОИ, ранжирование ОИ по критерию их функциональной значимости (формирование иерархии приоритетов для ОИ — $OI_1, OI_2, \dots, OI_N$; определение геометрических размеров приоритетных ОИ и их взаимного расположения, определение "точек прицеливания" на поверхности этих объектов и возможных ракурсов подлета), выделение жизненно важных элементов приоритетных ОИ в тех случаях, когда один ОИ имеет несколько уязвимых точек;

- ▲ формирование семантической сети из N возможных ТС на завершающем участке полета (реализация каждой ТС соответствует процессу наведения на соответствующий приоритетный объект OI_n или на один из его жизненно важных элементов), последующее формирование семантической сети из набора M_n возможных ПрСС, каждая из которых основывается на описании предполагаемого состояния наблюдаемой сцены. Для каждой n -й ТС возможны M_n ПрСС;

- ▲ разработка набора бортовых алгоритмов формализации для всех рассматриваемых ПрСС. При решении указанных задач используется информация о характеристиках бортовых информационных устройств АБЛА и его динамических характеристиках, играющих роль ограничений.

Результаты проведенного априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА

определяют структуру и составляют основное содержание ситуационной базы знаний. Основные решения в этом направлении формируются в процессе совместной работы заказчика и разработчика системы управления АБЛА.

Особое место в рассмотренной проблеме занимает задача априорного формирования семантической сети из возможных ПрСС. Рассмотрению основных подходов к решению этой задачи посвящен отдельный раздел.

Вторая проблема заключается в необходимости формирования набора априорных ЭИ для приоритетных ОИ с последующим выбором одного из таких ЭИ и его сопоставления с апостериорным ТИ, получаемым в бортовой системе "технического зрения" в процессе полета в данный момент времени.

В процессе формирования априорного ЭИ решаются следующие задачи:

- ▲ построение трехмерной (3D) геометрической модели выбранной сцены с ее объектовым составом с учетом значений ошибок определения характеристик указанной модели;
- ▲ синтез двухмерного (2D) ЭИ выделенных приоритетных ОИ и их жизненно важных элементов с реализацией алгоритмов проективных преобразований, удаления невидимых линий и т.п., с использованием заданных координат точек визирования сцены, связанных с объектами, учетом ошибок ракурса и направления оптической оси бортового датчика ТИ на рубеже начала конечного наведения;
- ▲ формирование базы знаний ЭИ выделенных приоритетных ОИ для всего рассмотренного набора ТС и ПрСС, синтезирование "раскраски" этих моделей для различных спектральных диапазонов, выделение стабильных признаков в соответствии с принятыми алгоритмами бортовой системы "технического зрения".

Очевидно, что для каждого ОИ формируется свой набор ЭИ, соответствующий возможным значениям ракурса и масштаба получаемого ТИ.

Результаты решения указанных выше задач и разработки на этой основе бортовых алгоритмов принятия решений и управления, а также соответствующего программно-алгоритмического обеспечения составляют основное содержание алгоритмической базы знаний.

Ситуационная база знаний

В основу априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА положена формальная модель предметной области, определяющая структуру и состав ситуационной базы знаний, в которой генеральная задача полета представляется через априорно сформированные семантические сети ТС, прогнозируемые ПрСС для каждой ТС, методы разрешения этих ситуаций.

Остановимся подробнее на некоторых положениях построения указанной модели предметной области и соответствующей ситуационной базы знаний. Как уже отмечалось, на рассматриваемом участке полета семантическая сеть возможных ТС представима набором N ситуаций, реализация каждой из которых соответствует процессу наведения на соответствующий приоритетный ОИ. В каждом таком процессе выделяется множество значимых событий (ЗС). Набор таких ЗС формирует ситуационный вектор V_c , характеризующий ПрСС. Компоненты ситуационного вектора характеризуют состояние внешней среды, пространственно-временное расположение АБЛА относительно ОИ и т.п., а также формируют циклограмму возможного наступления ЗС.

Каждое ЗС требует либо немедленного разрешения, либо предварительного пространственно-временного прогноза его наступления. При отсутствии соответствия результатов действия и прогноза принимается другое решение и реализуется новое управляющее воздействие. В случае, когда соответствия достичь невозможно, происходит изменение задачи, выполняемой интеллектуальной системой. Если результаты действия соответствуют прогнозу, что говорит об удачно выбранном управлении, то задача интеллектуальной системой считается выполненной.

Для каждой из ПрСС необходимо построение соответствующей базы знаний, представленной совокупностью математических моделей двух типов.

В моделях первого типа формируется ситуационный вектор V_{c1} , выполняющий операцию назначения или идентификации текущей ПрСС. Механизм такого назначения (выбора текущей ПрСС из существующего множества) обычно реализуется на базе продукционных правил ситуационного управления вида "если, ..., то, ..., иначе" [4, 7] и отработывается при ситуационном моделировании.

Модели второго типа (модели механизмов разрешения текущих ПрСС) формируют ситуационный вектор V_{c2} и позволяют осуществить операции генерирования и ранжирования множества допустимых вариантов разрешения каждой ПрСС, выбор рационального варианта разрешения, оценить результаты воздействия выбранного варианта разрешения на саму ПрСС.

Механизмы разрешения в моделях второго типа могут быть представлены тремя возможными вариантами [8, 9]:

- ▲ механизм разрешения, аналогичный механизму назначения текущей ПрСС, отрабатываемый при ситуационном моделировании и решении оптимизационных задач;
- ▲ механизм разрешения, построенный на базе алгоритмов многокритериального выбора альтернатив в случаях невозможности или затруднительности адекватной математической

формализации оптимизационных задач для тех или иных ПрСС;

- ▲ механизм разрешения, основанный на прецедентах успешного разрешения ПрСС, формальное описание которого включает ситуационный вектор V_{c2} [проблема, прецеденты ее разрешения] и матрицу знаний (предыдущий успешный опыт использования прецедента).

По сути, совокупность рассмотренных моделей представляет собой сценарий соответствующей ТС. Детальная разработка таких сценариев требует проведения предварительных исследований с использованием ряда математических моделей, формулируемых в классе математических задач оптимального управления, теории игр, теории принятия решений. Полученные в результате таких исследований или найденные при имитационном моделировании рациональные методы разрешения ПрСС закладываются в математические модели, которые являются компонентами ситуационной базы знаний.

Бортовая система "технического зрения"

Как уже отмечалось, бортовое интеллектуальное системообразующее ядро системы управления АБЛА базируется на использовании технологии "технического зрения". Такая "интеллектуальная" составляющая *бортовой системы управления* обеспечивает получение апостериорной информации о складывающейся реальной текущей ситуации во внешней среде, обработку и сопоставление априорной и апостериорной информации, принятие решений, формирование и реализацию соответствующего управления (рис. 3). Решение этих задач базируется на использовании следующих методов и алгоритмов:

- эталонно-ориентированные методы и алгоритмы обнаружения, распознавания и селекции объектов в составе сцены и определения их координат;
- алгоритмы анализа состояний наблюдаемых многообъектных сцен и их временной и структурной изменчивости для решения задачи ситуационной осведомленности в процессе полета.

Детальному рассмотрению многих вопросов "технического зрения" как в общей постановке, так и применительно к беспилотным летательным аппаратам посвящено достаточно большое число публикаций [10—13]. В данной статье представляется целесообразным осветить лишь основные положения в этом направлении, способствующие лучшему пониманию всей поставленной проблемы в целом.

В настоящее время в большинстве работ по формированию СТЗ выделяются шесть основных операций обработки информации: полу-



Рис. 3. Функциональная схема "интеллектуальной" составляющей бортовой системы технического зрения

чение (формирование) исходной информации; предварительная обработка; сегментация; описание; распознавание и селекция; анализ и интерпретация сцены и объектов.

Для АБЛА в качестве датчиков исходной информации возможно использование широкой номенклатуры активных, пассивных и комбинированных датчиков различных спектральных диапазонов, представляющих эту информацию в виде цифровых изображений наблюдаемых наземных сцен (ТИ). На наш взгляд, в рассматриваемых случаях существенными преимуществами обладают пассивные и активно-пассивные датчики телевизионного, тепловизионного, лазерного и радиолокационного типов и их комбинации.

На этапе предварительной обработки осуществляется операция реконструкции ТИ наблюдаемой сцены в целях максимально возможного устранения или компенсации искажающих это изображение факторов и улучшения отдельных характеристик изображения.

Далее осуществляются операции сегментации сформированного и прошедшего предварительную обработку изображения для выделения его геометрической структуры и оценки параметров сегментов и объектов. Оценка параметров объектов состоит в определении таких характеристик, как координаты центра объекта, его размеры; значение средней яркости и т.п. для сегментов; форма, размеры, координаты прицельной точки для объектов и т.д.

Наиболее эффективным при решении проблемы распознавания или селекции объектов на сцене в рассматриваемой постановке представляется подход, основанный на выделении в изображении сцены неких характерных структурных признаков, присущих обнаруживаемому объекту.

Реализации процедур распознавания и селекции заданных объектов сцены путем сопоставления ТИ и ЭИ предшествует операция унифицированного описания указанных изображений. Если при различных способах описания выбран, например, признаковый способ на основе геометрического контекста, тогда в качестве основных признаков изображений объектов и сцены в целом применяются геометрические характеристики — форма, размеры и параметры взаимного расположения объектов сцены. При наличии имеющейся априорной информации о сцене, расчетных значениях координат точки визирования сцены, параметрах бортового датчика ТИ, статистических характеристик ошибок навигационной системы и другой информации формируются реберные описания объектов сцены как для ТИ, так и для ЭИ.

Решение указанных операций позволяет реализовать в системе наведения такие режимы функционирования, как:

- автоматическое обнаружение и распознавание, осуществляющее выбор и формирование признакового пространства; определение качественных и количественных признаков ОИ, выбранных для локализации на множестве других объектов сцены; локализация ОИ путем сопоставления признаков ТИ и ЭИ;
- селекция ОИ, обеспечивающая выделение заданных объектов сцены, оценку их характеристик, взаимного влияния, структурных отношений;
- автоматическое сопровождение ОИ, обеспечивающее автоматическое позиционирование изображения распознанного объекта, как правило, в центре кадра;
- адаптация к объектам и условиям наблюдения, реализуемая структурными, алгоритмическими и параметрическими методами.

Пример реализации режима ситуационной осведомленности

Рассмотрим в качестве иллюстрации пример процесса априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА, направленного на выполнение поставленной целевой функции (генеральной задачи полета) — успешное наведение на ОИ, применительно к заданной многообъектной наземной сцене с двумя выделенными ранжированными приоритетными ОИ₁ и ОИ₂ (рис. 4).

В этом случае семантическая сеть типовых ситуаций состоит из двух ТС, что соответствует

процессам наведения на приоритетные объекты $OИ_1$, $OИ_2$, с бльшим приоритетом у $OИ_1$ относительно $OИ_2$. При формировании семантической сети возможных ПрСС ограничимся рассмотрением трех субситуаций для $ТС_1$ (ПрСС₁₁, ПрСС₁₂, ПрСС₁₃) и двух субситуаций для $ТС_2$ (ПрСС₂₁, ПрСС₂₂). Напомним, что в том и другом случае в процессе наведения выделяется множество ЗС,

определяющих соответствующие ПрСС. Состояние каждой ПрСС описывается ситуационными векторами V_{c1} и V_{c2} , осуществляющими операции назначения ситуации и ее разрешения соответственно. В нашем случае выбор пространственно-временных координат этих векторов определяется конечным ЗС — успешной реализацией генеральной задачи полета. Наступление такого

события зависит, в свою очередь, от возможности выполнения операций распознавания/селекции $OИ_1$ или альтернативного $OИ_2$ с последующим автосопровождением его в течение всего процесса наведения.

Далее приведен перечень ЗС, возникающих в ходе решения задачи наведения АБЛА на приоритетный $OИ_1$ с возможностью перенацеливания на альтернативный $OИ_2$. Данный перечень ограничен заданными рамками статьи.

ЗС1 — выход на рубеж конечного наведения с некоторой суммарной погрешностью Δ_0 угловой ориентации АБЛА относительно $OИ$, меньшей заданного порога Δ_n ; данная погрешность определяется навигационными погрешностями на предыдущем участке полета АБЛА, погрешностями заданного в ПЗ значения ракурса на этом рубеже, погрешностями определения в ПЗ геодезических координат заданного $OИ$.

ЗС2 — выбор ЭИ в зависимости от $OИ$ и Δ_0 ; ЗС2(1) соответствует $OИ_1$ и варианту $\Delta_0 \leq \Delta_n$ ($ЭИ_{11}$); ЗС2(2) соответствует $OИ_1$ и варианту $\Delta_0 > \Delta_n$ ($ЭИ_{12}$).

ЗС3 — реализация начального обнаружения, распознавания, селекции заданного $OИ$ с использованием выбранного ЭИ.

ЗС4 — определение прицельной точки; начало режима автосопровождения.

ЗС5 — потеря автосопровождения на данном такте.

ЗС6 — определение интервала отсутствия автосопровождения.

ЗС7 — срыв автосопровождения (интервал автосопровождения больше заданного).

ЗС8 — продолжение автосопровождения.

ЗС9 — решение о наведении с помощью "штатной" автономной системы до получения конечного результата; используются данные, полученные на момент срыва автосопровождения.

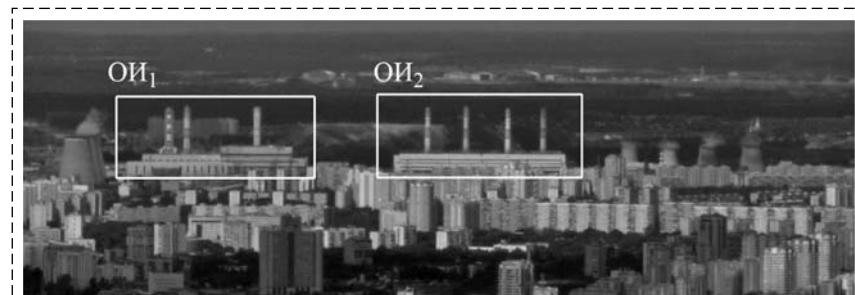


Рис. 4. Многообъектная наземная сцена с двумя выделенными приоритетными $OИ$

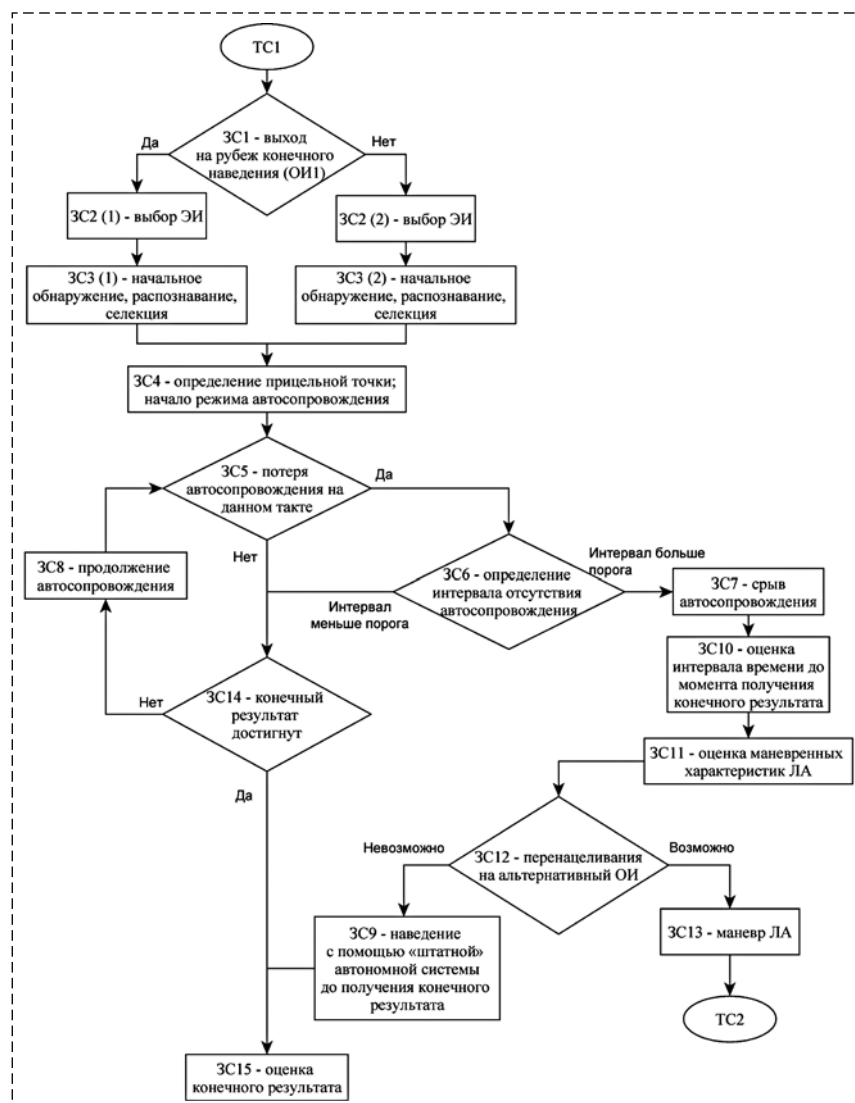


Рис. 5. Алгоритм процесса априорного ситуационного анализа условий применения АБЛА

ЗС10 — оценка интервала времени между моментом срыва автосопровождения и моментом получения конечного результата.

ЗС11 — оценка маневренных характеристик ЛА, определяющих возможность перенацеливания на альтернативный ОИ.

ЗС12 — принятие решения о возможности перенацеливания на альтернативный ОИ.

ЗС13 — маневр ЛА, выход на заданный в ПЗ рубеж конечного наведения на альтернативный ОИ.

ЗС14 — получение конечного результата.

ЗС15 — оценка конечного результата.

Порядок возникновения перечисленных ЗС проиллюстрирован в виде блок-схемы, приведенной на рис. 5.

Заключение

В статье представлена концепция построения интеллектуальной системы управления перспективными АБЛА с реализацией функции ситуационной осведомленности. Под ситуационной осведомленностью понимается осведомленность о структурном составе наблюдаемой в процессе полета наземной сцены и его изменчивости относительно прогнозируемого состава, заданного в ПЗ. Предложено рассматривать наземную систему подготовки ПЗ и бортовую систему управления АБЛА в виде двух компонентов: штатного и интеллектуального. При решении информационно-управляющих задач в этом случае интеллектуальное ядро системы управления базируется:

- на "интеллектуальной" составляющей наземной системы подготовки полета в виде априорной базы знаний (информационной, ситуационной и алгоритмической составляющих). Данная база знаний формируется на основе априорной информации о состоянии внешней среды, набора прогнозируемых ситуаций и методов их разрешения;
- на "интеллектуальной" составляющей бортовой системы управления (система технического зрения), обеспечивающей получение в процессе полета апостериорной информации о реальной текущей ситуации во внешней среде, сопоставление априорной и апостериорной информации, принятие решений, формирование и реализацию соответствующего управления.

При формировании ситуационной и алгоритмической составляющих априорной базы знаний используется следующая модель данных: семантическая сеть возможных ТС представима набором N ситуаций, реализация каждой из которых соответствует процессу наведения на соответствующий приоритетный ОИ; в каждом таком процессе выделяется множество ЗС; набор таких ЗС формирует ситуационный вектор V_c , характеризующий ПрСС. Компоненты ситуационного вектора характеризуют состояние внешней сре-

ды, пространственно-временное расположение АБЛА относительно ОИ и т.п., а также формируют циклограмму возможного наступления ЗС.

Бортовая система технического зрения осуществляет операции распознавания, селекции и автосопровождения приоритетного объекта, назначенного в процессе подготовки полетного задания. В реальной обстановке возможны ситуации, когда приоритетный объект отсутствует. В этом случае бортовая система принимает решение о перенацеливании на альтернативный объект.

В рассмотренном примере приведена методика формирования ситуационной и алгоритмической составляющих априорной базы знаний для случая двух объектов в составе многообъектной стационарной наземной сцены.

Список литературы

1. **Endsley M. R.** Situation awareness in an advanced strategic mission (No. NOR DOC 89—32). Hawthorne, CA: Northrop Corporation, 1989.
2. **Endsley M. R., Bolte B., Jones D. G.** Designing for situation awareness: An approach to user-centered design. Taylor & Francis, London, 2003.
3. **Желтов С. Ю., Федун Б. Е.** Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции концептуальной модели "Этап". Структуры алгоритмов поддержки процесса решения задачи экипажем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2015. № 3. С. 57—71.
4. **Федун Б. Е., Шестопалов Е. В.** Оболочка бортовой оперативно советующей экспертной системы для типовой ситуации полета "Ввод группы в воздушный бой" // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. № 3. С. 88—105.
5. **Грибков В. Ф., Федун Б. Е.** Бортовая информационная интеллектуальная система "Ситуационная осведомленность экипажа" для боевых самолетов // Интеллектуальные системы управления / Под ред. акад. РАН С. Н. Васильева. М.: Машиностроение, 2010. С. 108—116.
6. **Федун Б. Е.** Базовая алгоритмическая оболочка бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования объекта // Известия РАН. Теория и системы управления. 2009. № 5. С. 90—101.
7. **Васильев С. Н., Жерлов А. К., Федосов Е. А., Федун Б. Е.** Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит. 2002.
8. **Саати Т., Кернс К.** Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
9. **Лохин В. М., Захаров В. Н.** Интеллектуальные системы управления: понятия, определения, принципы построения // Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. М.: Физматлит, 2001. 576 с.
10. **Pratt W. K.** Digital Image Processing (Fourth edition), Wiley, 2007. 807 p.
11. **Визильер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В.** и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
12. **Гнилицкий В. В., Инсаров В. В.** Обнаружение и локализация объектов на изображениях трехмерных наземных сцен // Известия РАН. Теория и системы управления. 2011. № 6. С. 79—93.
13. **Инсаров В. В., Тихонова С. В., Михайлов И. И.** Проблемы построения систем технического зрения, использующих комплексирование информационных каналов различных спектральных диапазонов // Информационные технологии. Приложение. 2014. № 3.

The Concept of Building Intelligent Control Systems for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles with the Realization of the Function of Situational Awareness

W. V. Insarov, wiliam@gosniias.ru✉, S. V. Tikhonova, svetico@yandex.ru,
S. A. Dronsky, sergey.dronsky@gosniias.ru, Federal State Unitary Enterprise
"State Research Institute of Aviation Systems", Moscow, 125319, Russian Federation

Corresponding author: Insarov Wiljam V., D. Sc., Professor, Deputy Head of Unit,
Federal State Unitary Enterprise "State Research Institute of Aviation Systems"
State Scientific Centre of Russian Federation, Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: wiliam@gosniias.ru

Accepted on November 11, 2017

We consider a situational awareness as the perception of environmental elements and events, the comprehension of their meaning, and the projection of their status after some variable has changed. Applied to perspective autonomous unmanned aerial vehicles (AUAV) the situational awareness is understood as awareness of terrestrial scene structure and its variability in relation to information about this structure preassigned in the flight task (FT) which preparation is performed on the ground. In this case, ground system of FT preparation and onboard control system could be represented as two components: conventional and intellectual. The intellectual component of a control system is based on:

— "intellectual" component of ground system of FT preparation that includes aprioristic knowledge base (informational, situational and algorithmic components); this knowledge base is formed on the base of aprioristic information about a condition of the external environment, a set of the predicted situations and their resolution methods;

— "intellectual" component of the onboard control system (technical vision system) providing a posteriori information about a current state of external environment, comparison of a priori and a posteriori information, decision-making methods, formation and implementation of the relevant control.

When developing situational and algorithmic components of the aprioristic knowledge base the following logical sequence is used:

— FT is represented through a priori formed semantic networks of the typical situations (TS); one of examples of TS is process of targeting the relevant priority object of interest (OI);

— each TS is formed of big number of significant events (SE); these SE forms sets (situational vectors V_s), that characterizes the problem sub-situation (PrSS).

"Intellectual" component of the onboard control system (technical vision system) performs such tasks as recognition, selection and auto tracking of the priority OI assigned during the preparation of the FT. In a real situation, the priority OI could be unavailable (destroyed, invisible because of weather condition, etc.). In this case, the on-board system decides to retarget to an alternative OI. The example is offered where a method is given for the developing of the situational and algorithmic components of the a priori knowledge base for the case of two OI that are part of a multi-object stationary terrestrial scene.

Keywords: situational awareness; unmanned aerial vehicles; autonomous control systems; intelligent systems; onboard technical vision systems

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Federation for Basic Research, project No. 17-08-00584a.

For citation:

Insarov W. V., Tikhonova S. V., Dronsky S. A. The Concept of Building Intelligent Control Systems for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles with the Realization of the Function of Situational Awareness, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 2, pp. 111–119.

DOI: 10.17587/mau.19.111-119

References

1. Endsley M. R. Situation awareness in an advanced strategic mission (No. NOR DOC 89–32). Hawthorne, CA, Northrop Corporation, 1989.
2. Endsley M. R., Bolte B., Jones D. G. Designing for situation awareness: An approach to user-centered design, Taylor & Francis, London, 2003.
3. Zheltov S. Y., Fedunov B. E. Operational goal setting in anthropocentric objects from the viewpoint of the conceptual model called Etap: I. Structures of algorithms for the support of crew decision-making. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2015, vol. 54, no. 3, pp. 384–398 (in Russian).
4. Fedunov B. E., Shestopalov E. V. A shell of an onboard online advisory expert system for typical flight situation "introduction of a group into an air fight". *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2010, vol. 49, no. 3, pp. 426–443 (in Russian).
5. Gribov V. F., Fedunov B. E. Bortovaya informatsionnaya intellektual'naya sistema "Situatsionnaya osvedomlennost' ekipazha" dlya boevykh samoletov. V sb. *Intellektual'nye sistemy upravleniya*

(On-board information intelligence system "Situational awareness of the crew" for combat aircraft. In the book "Intelligent Control Systems"), Moscow, Mashinostroenie, 2010, pp. 108–116 (in Russian).

6. Fedunov B. E. Basic algorithmic shell of onboard real-time advisory expert systems for operation situations typical for an object. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2009, vol. 48, no. 5, pp. 752–764 (in Russian).

7. Vassilyev S. N., Zherlov A. K., Fedosov E. A., Fedunov B. E. *Intellektnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami*, Moscow, Fizmatlit (in Russian).

8. Saati T., Kerns K. *Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya system* (Analytical planning. Organization of systems), Moscow, Radio i svyaz', 1991 (in Russian).

9. Lokhin V. M., Zakharov V. N. *Intellektual'nye sistemy upravleniya: ponyatiya, opredeleniya, printsipy postroeniya. V kn.: Intellektual'nye sistemy avtomaticheskogo upravleniya* (Intelligent control systems: concepts, definitions, principles of construction. In: Intelligent automatic control systems), Moscow, Fizmatlit, 2001, 576 p. (in Russian).

10. Pratt W. K. *Digital Image Processing*, Wiley, 2007, 807 p.

11. Vizil'ter Yu. V., Zheltov S. Yu., Bondarenko A. V. i dr. *Obrabotka i analiz izobrazhenii v zadachakh mashinnogo zreniya* (Image processing and analysis in computer vision problems), Moscow, Fizmatkniga, 2010, 672 p. (in Russian).

12. Gnilitskii V. V., Insarov V. V. *Obnaruzhenie i lokalizatsiya ob'ektov na izobrazheniyakh trekhmernykh nazemnykh stsien* (Detection and Localization of Objects in images of 3D ground scenes), *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2011, vol. 50, no. 6, pp. 933–941 (in Russian).

13. Insarov V. V., Tikhonova S. V., Mikhaylov I. I. *Application to Journal "Information Technologies"*, 2014, no. 3 (in Russian).