

УДК 04.78

**ПРОБЛЕМЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ***В.Н. Дашкиев<sup>1</sup>, канд. техн. наук, С.В Ульянина<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Харьковский Институт Военно-Воздушных Сил,**<sup>2</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Для решения проблемы ограниченности вычислительных мощностей в интеллектуальной системе управления перспективных летательных аппаратов (ЛА) предлагается ее оснащение функцией управления ресурсами, производящей оценку состояния ЛА и окружающей среды, определение приоритетов моделей поведения и областей памяти, перенастройку вычислительного процесса, распределение ресурсов между восприятием новой информации и принятием решения.

\* \* \*

Для вирішення проблеми обмеження обчислювальної потужності в інтелектуальній системі керування перспективних літальних апаратів (ЛА) пропонується її оснащення функцією управління ресурсами, що здійснює оцінку стану ЛА та навколишнього середовища, визначення пріоритетів моделей поведінки та областей пам'яті, перебудову обчислювальних процесів, розподілення ресурсів між сприйняттям нової інформації й прийняттям рішень.

\* \* \*

To solve the computing capacities' limitation of perspective unmanned aircraft intellectual control system problem equipment by function of resource management making: an estimation of aircraft environment statement, definition of behaviour models priorities and areas of memory, recustomizing of computing process, distribution of resources between a new information perception and decision-making is offered.

В современной специальной литературе все чаще появляются прогнозы, касающиеся разработки перспективных сверхмалых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), созданных по так называемым «нано-технологиям» [1, 2, 3]. Одной из ключевых проблем воплощения подобных аппаратов является создание их системы управления. Судя по публикациям, в качестве единственно возможной предусматривается применение радиокомандной системы управления. В частности, в [3], как достоинство, описывается, что с оператора снимаются реальные физические и психологические нагрузки, которым подвержен экипаж пилотируемых самолетов, и что «... Смысл дистанционного управления сводится к тому, что между человеком-оператором на наземном пункте управления и БПЛА, находящимся в воздухе, непрерывно происходит обмен информацией, а с помощью полезной нагрузки на борту (например, телекамеры), создается иллюзия наблюдения за наземными целями с борта самолета».

Однако такое управление весьма уязвимо к экранированию радиоволн рельефом местности, к естественным и искусственным радиопомехам (что ведет к нарушению управления и потере ЛА). Кроме того, оно демаскирует и оператора, и ЛА - и не гарантирует от возможной несанкционированной расшифровки управляющих сигналов и переподчинения ЛА. Эта ситуация будет усугубляться с уменьшением размеров ЛА и связанным с этим снижением рабочих напряжений в аппаратной части системы управления ЛА. При сохранении радиокомандной системы управления от этих недостатков полностью избавиться невозможно.

Следовательно, проблема управления в общем виде сводится к созданию интеллектуальной системы (ИС), способной автономно, без вмешательства человека, управлять ЛА и всеми его функциями на всем протяжении полета.

По данной тематике накоплен уже большой научный задел – как фундаментальных трудов [4, 5, 6],

так и отдельных публикаций, посвященных решению частных научных задач.

В данной проблеме может быть продуктивно использован ряд гипотез и решений частных задач, опубликованных в научной периодике. Например, в [7] предложен «системно-бионический подход», заключающийся в том, что механизм мышления рассматривается, в первую очередь, «сверху вниз», т.е. от мыслительных функций – вглубь реализующих их структур. Там же предлагается концептуальная модель ИС, включающая в себя единую среду памяти и процессов мышления, воплощение в среде памяти модели иерархически организованной семантической сети, процесс целенаправленного мышления, как образование цепи причинно-следственных соотношений, взаимодействие интуитивной и осознаваемой компонент мышления в процессе решения и пошаговый характер процесса целенаправленного мышления с перемежающимися участками последовательных рассуждений и интуитивного нахождения решения. Бионический подход использован и в [8], на сей раз для решения частной задачи – организации вычислений на элементарном уровне, где предлагается базисная композиция элементарных операций, освобожденная от операций умножения и ориентированная на непрерывную логику. Разумеется, в соответствии с принципом «сверху вниз» задача организации вычислений на элементарном уровне должна решаться уже после того, как будет выстроена вычислительная система более высоких уровней. Тем не менее в силу сходства условий существования и решаемых задач БПЛА и биологических объектов бионический подход к решению данной проблемы является плодотворным. Также могут быть применены решения из смежных с биологией областей. Например, в [9] решается медицинская задача прогнозирования угрожающих состояний. Но при соответствующей доработке алгоритма это решение может быть использовано и для прогнозирования угроз безопасности БПЛА в

полете. В работе [10] рассмотрено решение очень близкой задачи – создание ИС-подсказчика летчику пилотируемого ЛА, хотя в этом случае ИС не принимает решение самостоятельно, а функционирует совместно с человеком. К тому же в данном случае на ИС не распространяются специфические ограничения, присущие БПЛА. Автор [11] подошел уже к вопросам сознания, подсознания, морали и этики искусственного интеллекта. Им предлагается базовая структура и функционально-логическая организация процессорного обеспечения «для принятия коллективно согласованных, этических, логических, волевых, эмоциональных и других решений». Несомненно, эта работа представляет чисто теоретический интерес. Однако относительно ее практического использования необходимо следующее замечание. Вопросы эмоций, морали и сознания рассмотрены безотносительно их истинной необходимости для выживания биологических объектов (а также искусственных, вынужденных существовать в агрессивной внешней среде). Без этого, без рациональной организации вычислительного процесса «эмоциональной» ИС придание компьютеру функций эмоций и морали излишне усложнит его, в то же время не способствуя результативности.

Однако в данном научном направлении имеется серьезная проблема, так как нигде не рассматривается применимость искусственных интеллектуальных систем (ИС) на подвижных объектах микроскопических размеров. Между тем, как помимо общих для создания всех ИС научных, технических, технологических, экономических и организационных проблем и вполне очевидной проблемы создания самой ИС имеются и нерешенные ранее части общей проблемы, связанные со спецификой предметной области.

Это, во-первых, обычное для авиации требование минимума массы, объема и энергопотребления аппаратной части – особо жесткое для беспилотных

микросамолетов. Это серьезно ограничивает вычислительные мощности, быстродействие и память ИС.

Во-вторых, требуемое время реакции системы управления минимально. Управление ЛА осуществляется исключительно в реальном масштабе времени. Для этого необходимо высокое быстродействие ИС, что противоречит предыдущему условию.

В-третьих, управляющая ЛА интеллектуальная система действует в условиях неопределенности, когда часть необходимых для принятия решения сведений отсутствует вообще, а часть вновь поступающей информации оказывается неверно истолкованной либо умышленно ложной.

В-четвертых, действуя в условиях неопределенности, ИС функционирует, основываясь на накопленном образе мира (базе знаний), на текущей информации, поступающей из окружающей среды, и на выработанном прогнозе поведения окружающей среды. Общий объем информации, накопленный в базе знаний, значителен сам по себе, намного превышает объем оперативной памяти и требует длительного времени для просмотра и выбора требуемых в каждый момент знаний.

В-пятых, через «органы чувств» ИС получает из окружающей среды значительные потоки информации, причем полезные сведения, как-то: ориентиры на местности, препятствия, целевые области или объекты, опасные зоны и пр. – занимают очень небольшую долю. С неизбежным совершенствованием датчиков – их чувствительности и разрешающей способности – одновременно возрастают проходящие через них потоки информации, что обостряет проблему необходимости фильтрации информации.

В-шестых, перед ИС возникает проблема «реверса истины». В условиях неопределенности и когда известно, что информация может быть ложной, ИС может часть верной информации воспринять как ложную, а ложную – как истинную. Это чревато ошибкой в принятии решения. Для ЛА, действующего в агрессивной внешней среде, неверное реше-

ние приведет к срыву задания и потере машины.

Итак, налицо комплекс требований и условий, выполнение каждого из которых препятствует выполнению остальных. Главное противоречие состоит в требовании хранения и обработки возможно больших объемов информации при минимуме времени, располагаемого для принятия решения, и, одновременно, при ограничении вычислительных мощностей и объемов памяти.

Это противоречие будет преодолеваться совокупностью решений в области естествознания, философии, программирования, технологии производства микроэлектроники и т.д. Весьма существенным для успеха является решение проблемы рационального использования вычислительных мощностей. Впрочем, для всех случаев, когда ресурсы ограничены, разумна и общепринята логика: обеспечить всем необходимым функцию, в данный момент главнейшую, оставив все прочие «на голодном пайке».

Следовательно, целью данной статьи является определение архитектуры интеллектуальной системы, которая – для оптимального использования вычислительных мощностей – будет способна в каждый момент времени применительно к обстоятельствам определить приоритетную задачу, выделить на ее решение максимум возможного из ресурсов и учиться организовать свой вычислительный процесс.

Для этого нами предлагается следующее. В структуру системы управления должна быть включена дополнительная структура – функция или программа, осуществляющая управление аппаратной частью и вычислительным процессом, динамическая экспертная система (ДЭС), которая содержит экспертную информацию в базе знаний и программы, осуществляющей поиск решения на знаниях [12]. Разумеется, это необязательно будет какая-то отдельная структура, а возможно, часть ИС, выполняющая специфические функции. Следует особо

подчеркнуть, что в авиационных условиях очень нежелательным является локализация описываемой функции – как, впрочем, и любой иной функции – в отдельном аппаратном блоке. Ибо возможный физический отказ или повреждение блока неминуемо ведет к потере данной функции – следовательно, к отказу всего вычислительного процесса и потере управления ЛА. Наиболее благоприятным в этом смысле является распределение всех функций по всей аппаратной части. При разработке программного обеспечения должна быть предусмотрена способность сохранения непрерывности вычислительного процесса при отказах или физических повреждениях отдельных блоков аппаратной части. Следовательно, должен быть реализован распространяющийся сейчас в авиационных системах управления принцип «толерантного ухудшения качества при отказе»: отказ должен вести к ухудшению качества соответствующей функции, но не к полной потере ее.

Предлагаемая интеллектуальная система должна выполнять следующее:

- определение обобщенной функции состояния – самого ЛА и внешней среды относительно него, а также оценку количественной меры этой функции. Функция состояния будет различной, в зависимости от назначения ЛА, задачи, им выполняемой, и участка траектории;

- определение приоритетной модели поведения в соответствии с функцией состояния и степенью ее;

- переоценку значимостей накопленных знаний, изменение приоритетов доступа к областям памяти;

- перенастройку вычислительного процесса;

- выделение предпочтительных вариантов решения, изменение энергетических и прочих параметров исполнительных органов ЛА (например, в опасной обстановке – снятие ограничений по тяге и перегрузке);

- управление «концентрацией внимания», т.е.

распределение вычислительных ресурсов между восприятием новой информации, выработкой решения и его исполнением;

- проверка истинности вновь поступающих сведений и уже накопленных знаний;

- обучение ИС «способности обучаться» («разбор полетов», анализ работы ИС, определение ошибочных шагов и непроизводительных процедур, обучение рациональным приемам и оптимальным путям нахождения решения; подчеркнем, что для интеллекта знание пути нахождения решения важнее, чем само решение!);

- самообучение системы (а также анализ проделанной работы, выделение ошибок и неэффективных действий, поиск оптимальных стратегий управления вычислительным процессом).

Очевидно, сказанное нуждается в пояснении. В [13] показано, что ИС может осуществлять поиск решения по «медленному» или по «быстрому» алгоритмам. «Медленный» применяется в задачах и условиях данной ИС, еще не встречавшихся, с высокой «степенью неизвестности». И необходимо с большими затратами времени отыскивать совершенно новое решение. «Быстрый» алгоритм используется, когда подобная задача уже встречалась. И задание состоит в выборе, видоизменении и приспособлении уже имеющегося решения к изменившимся условиям. Понятно, что «медленные» алгоритмы целесообразны при обучении, когда ни величина затраченного времени, ни цена ошибки не являются критичными. А в реальном использовании ИС, при дефиците времени и маломощной бортовой вычислительной технике, возможен единственно лишь поиск в памяти, выбор и приспособление имеющегося решения - «быстрый» алгоритм.

Препятствием здесь будет «распознавание условий». Датчиками ЛА из окружающего пространства снимаются физические параметры – например, координаты и характеристики источников электромагнитного излучения. А выбор решения ИС осуществ-

ляет на основании неких смысловых значений. Причем одинаковым или схожим смысловым значениям могут соответствовать совершенно разные показания датчиков – и наоборот. Нет прямой связи между изображением окружающего пространства (например, в оптическом диапазоне) и смысловым содержанием изображения. Например, картина одной и той же местности при разных вылетах ЛА на 95% идентична. Но смысловое содержание образа коренным образом различно в зависимости от того, присутствует или нет на оставшихся 5% изображение зенитно-ракетного комплекса.

К примеру, ИС, управляющая ЛА на поле боя, должна из потока входящих электромагнитных сигналов (оптических, радиолокационных, инфракрасных) выделить изображения, распознать образы и определить их содержание: облачность, рельеф местности и объекты на ней, препятствия, навигационные ориентиры, наличие опасностей типа целей и средств ПВО противника, их количество, расположение и удаленность. На основании этого ИС должна выполнить оценку состояния внешней среды. Например, в метрике: «абсолютно безопасно – незначительная опасность – опасно – очень опасно». Эта оценка должна быть соотнесена с оценкой состояния самого ЛА (работоспособность всех систем, запас топлива, текущие параметры движения), с поставленным заданием и фазой полета. На основании всего этого должна быть осуществлена некая обобщающая оценка состояния внешней среды и ЛА в ней – аналог эмоций у высших животных и человека. Исходя из такой оценки будет выбираться подходящий класс моделей поведения и характер вычислительного процесса. Следует отметить, что при тождественной оценке состояния внешнего мира (например, «очень опасно»), но при различных поставленных задачах и собственном состоянии ЛА – «эмоциональный отклик» ИС и ею выбранные модели поведения будут различными. Например, ЛА-перехватчик прикрывает важный объект, чья стои-

мость многократно превышает стоимость самого ЛА. При появлении воздушного противника приемлемой моделью поведения будет атака противника, невзирая на опасность для самого ЛА. Смена задания на атаку наземного объекта вызовет соответствующую смену «эмоций». Гибель самолета будет означать срыв задания, и проводить атаку следует, соблюдая меры собственной безопасности - не превышая пределов допустимого риска. Когда задание выполнено и боекомплект исчерпан, собственная безопасность становится определяющей. Ведь боевой потенциал самолета временно равен нулю, и целесообразно покинуть поле боя, сохранив дорогостоящую машину.

В зависимости от состояния внешнего мира, «эмоционального отклика» ИС и принятой модели поведения происходит перераспределение ценностей накопленных знаний. Соответственно ИС должна выполнить переоценку их значимостей с изменением приоритетов доступа к соответствующим областям памяти. Например, во время перелета через горы приоритетными будут знания о рельефе местности и характере атмосферной турбулентности в горах. Знание характеристик средств противовоздушной обороны противника здесь имеет второстепенное значение. При боевых действиях над равнинной местностью, насыщенной зенитными средствами, ситуация обратная.

Соответственно обстоятельствам должны быть заблокированы все вычисления, бесполезные для выработки текущего решения и не связанные с управлением ЛА. А нужным вычислениям предоставлен наивысший приоритет и максимум вычислительных мощностей.

Согласно «эмоциональному отклику» изменяются энергетические и прочие параметры исполнительных органов. В авиатехнике, как правило, устанавливается ряд ограничений: во избежание превышения пределов прочности конструкции, выхода на недопустимые режимы полета (штопор, флаттер и

пр.), чрезмерного расходования ресурса конструкции самолета и двигателя или перегрева конструкции по скоростному напору. Этим ограничениям должна быть придана гибкость: например, при выполнении энергичного противоракетного маневра опасность поломки конструкции из-за перегрузки становится второстепенной, хотя и сохраняется вполне.

Для пилотирования ЛА, навигации, распознавания образов внешнего мира и для принятия решения приходится использовать одни и те же (ограниченные!) вычислительные мощности. Следовательно, эти операции конкурируют между собой – и в каждый момент времени нужно оценить их приоритеты и распределить вычислительные мощности. Нуждается ли ИС в уточнении окружающей обстановки – или максимум ресурсов следует бросить на выработку решения?

Естественно, что проблема «машинного зрения» еще далека от решения. Распознавание образов и определение их смыслового значения относятся к высшим проявлениям интеллекта [14]. Для авиационной ИС ситуация усугубляется тем, что одновременно с ограниченностью вычислительных мощностей через датчики поступают значительные объемы информации (зрительной, радиолокационной и пр.), в которых «полезные» сигналы занимают очень небольшой процент. Кроме того, «изображения» полезных объектов чрезвычайно разнообразны и очень меняются в зависимости от ракурса, освещенности, времени года, погоды и режима полета ЛА. Некоторые из них могут быть умышленно замаскированы во избежание их распознавания. ИС и невозможно, и нецелесообразно уделить достаточно «внимания» всему окружающему пространству. Поэтому предлагаемая интеллектуальная система должна выбирать между распознаванием сигналов, приходящих с границы дальности видимости, и подробным изучением близлежащего нейтрального объекта «дерево», за которым может прятаться

опасный объект типа «зенитный комплекс». Тут напрашивается аналогия с психологическими терминами: «ближний, средний, дальний круги внимания».

Что касается обучения ИС и самообучения, то возникает следующая трудность. Для выбора имеющегося решения и для поиска совершенно нового требуется разное время и разный уровень интеллекта. Сомнительно, чтобы миниатюрный вычислительный комплекс микросамолета был в достаточной степени оснащен творческими способностями. Ограниченного, в силу необходимости, интеллекта ЛА может оказаться недостаточно для самообучения, и он просто не в состоянии будет находить новые решения или анализировать собственные действия, хотя выбирать готовые решения сможет. Между тем, как непрерывное саморазвитие является обязательным условием успешной работы ИС. В качестве одного из вариантов решения проблемы предлагаем, согласно принципу «размножения» интеллекта [15], разделение функций, возложив самообучение на стационарный наземный комплекс. Он лишен ограничений габаритных размеров и массы вычислительной аппаратуры. В период обучения на основе использования телеметрии либо записи бортовых приборов ЛА он имел бы неограниченное время на поиск наилучших решений и путей их нахождения, анализ собственной работы и работы бортовых ИС летательных аппаратов, выявление ошибочных шагов и непроизводительных процедур. Он имел бы и помощь человека в случае необходимости. А готовые решения уже сбрасывались бы в бортовую память ЛА.

Из сказанного можно сделать следующие выводы. Внедрение интеллектуальной системы управления летательными аппаратами, ввиду ограничения массы, габаритных размеров и производительности аппаратной части, ставит проблему рационального использования вычислительных мощностей. Для этого предлагается в архитектуру интеллектуальной

системы внедрить ДЭС, производящую следующие действия: определение обобщенной оценки состояния ЛА и внешней среды; определение приоритетной модели поведения; переоценку значимостей накопленных знаний, изменение приоритетов доступа к областям памяти; перенастройку вычислительного процесса; выделение предпочтительных вариантов решения, изменение энергетических и прочих параметров исполнительных органов ЛА, распределение вычислительных ресурсов между восприятием новой информации, выработкой решения и его исполнением.

С точки зрения авторов, перспективы дальнейших научных изысканий в данном направлении состоят в развитии биоинформатики как науки, изучающей процессы обработки информации в биологических объектах.

### Литература

1. *Фирсов А.* Разведчик стартует с ладони // *Авиация и космонавтика.* 2002. №2. С. 25-27.
2. *Пятыйшев Е.Н., Лурье М.С.* Микротехнологии и микроэлектромеханические системы – новое научно-техническое направление // *Справочник. Инженерный журнал.* – 2000. - №5. - С. 7-13
3. *Янкевич Ю. И., Веркин Ю. В.* Состояние и перспективы развития летательных микроаппаратов // *Искусственный интеллект.* – 2001. - № 3. С. 686-691.
4. *Васильев В.И., Коноваленко В.В., Горелов Ю.И.* Имитационное управление неопределенными объектами. АН УССР. Ин-т кибернетики. - Киев: Наук. думка, 1989. – 216 с.
5. *Любарский Ю.Я.* Интеллектуальные информационные системы. - М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1980. – 232 с. – (Пробл. искусств. интеллекта)
6. *Фрадков А.Л.* Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. - М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1990. – 296 с.
7. *Коваль В.Н., Полагин А.В., Рабинович З.П.* О системно-бионическом развитии искусственного интеллекта в аспекте поддержки моделирования мыслительных действий. // *Электронное моделирование.* - 1996. - Т.18. № 4. - С. 54-59.
8. *Гордиенко В.И., Дубровский С.Е.* Бионический подход к разработке систем искусственного интеллекта. // *Искусственный интеллект.* 2001. - №3. - С. 54-59.
9. *Прокончук Ю.А.* Прогнозирование угрожающих состояний с позиций теории искусственного интеллекта // *Искусственный интеллект.* - 2001. - №3. - С. 89-97.
10. *Федунов Б.Е.* Бортовые оперативно-советующие экспертные системы и семантический облик их базы знаний // *Искусственный интеллект.* - 2001. - №3. - С. 133-140.
11. *Широчин В.П.* Архитектура и функции искусственного сознания, подсознания и надсознания в эмоционально- и морально-ориентированных суперкомпьютерах будущих поколений // *Искусственный интеллект.* - 2001. - №1. - С. 96-102.
12. *Попов Э.В.* Динамические интеллектуальные системы в моделировании и проектировании. – М.: МИФИ, 1996.
13. *Ботвинник М.М.* О кибернетической цели игры. - М.: Сов. радио. 1975.- 88 с.
14. *Саган Карл.* Драконы Эдема. Рассуждения об эволюции человеческого разума: Пер. с англ. – М.: Знание, 1986.- 256 с.
15. *Стальский В.В.* Принципы создания «размножающегося» искусственного интеллекта. // *Искусственный интеллект.* - 2001. - №1. - С. 143-157.

Поступила в редакцию 25.02.03

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор Авраменко В.П., ХНУРЭ, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор, Сироджа И.Б., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.