

Повышение эффективности выполнения полетного задания современными маневренными летательными аппаратами

Павлова Н.В., Смеюха А.В.*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**annatutta@gmail.com*

Аннотация

Круг решаемых современными многофункциональными летательными аппаратами (ЛА) задач постоянно расширяется. Эти обстоятельства приводят к необходимости разработки новых бортовых алгоритмов, использующих, в частности, методы ИИ. Внедрение современных и перспективных методов требует оценки их эффективности, что, в свою очередь, делает необходимыми использование новых способов в этом процессе. При внедрении новых бортовых алгоритмов одним из важнейших этапов является моделирование, в ходе него при сравнении различных алгоритмов и реализующих их программ и оценивается их эффективность. Предложены оценки, базирующиеся на современных методах теории вероятности и математической статистики и приведены результаты их использования при оценке эффективности в ходе моделирования на стенде полунатурного моделирования.

Ключевые слова: маневренный летательный аппарат, беспилотный летательный аппарат, бортовые алгоритмы, полетное задание, доверительный интервал, эффективность.

Введение.

Круг решаемых современными многофункциональными летательными аппаратами (ЛА) задач постоянно расширяется. Это требует как новых видов оборудования, так и функционального обновления уже созданной аппаратуры.

Основными отличительными чертами нового поколения маневренных ЛА являются [1]:

- многофункциональность оборудования маневренного ЛА;
- сверхманёвренность;
- автоматизация управления бортовыми информационными системами;
- оснащение самолета автоматизированной системой управления с элементами искусственного интеллекта (ИИ).

Современные маневренные ЛА должны решать задачи распределения ресурсов и задачи управления как многокритериальные задачи распознавания, причем с использованием методов ИИ. Такими методами решаются многопараметрические задачи, для которых невозможно определить строгие аналитические зависимости: задачи обработки недостоверной информации и задачи прогнозирования, допускающие большое число возможных ответов [2]. С одной стороны, интеллектуальные системы позволяют более полно использовать потенциальные возможности оборудования, которые не могут реализовываться по объективным психофизиологическим возможностям человека и субъективным

факторам, связанным с уровнем подготовки экипажа. С другой стороны, решить такие задачи при использовании строгого математического описания и на базе бортовых ресурсов часто невозможно. Эти обстоятельства приводят к необходимости разработки новых бортовых алгоритмов, использующих, в частности, методы ИИ. Внедрение современных и перспективных методов требует оценки их эффективности, что, в свою очередь, делает необходимым использование новых способов этом процессе. Статья и посвящена использованию новых подходов, базирующихся на методах теории вероятности, позволяющих более объективно оценить эффективность выполнения полетного задания современными маневренными ЛА.

Автоматизированные бортовые системы, использующие методы ИИ.

Примеры.

На современных маневренных ЛА БЦВМ-алгоритмы решают тактические задачи совместно с экипажем, используя экспертные системы «В помощь летчику» [3,4]. Такие автоматизированные системы или разработаны, или находятся в стадии разработки. Для многоцелевого малозаметного истребителя пятого поколения F-22 разработана система под названием «Помощник пилота» (Associate Pilot). Она представляет собой специальный программный комплекс, относящийся к категории оперативно советующих экспертных систем. Рассчитана система на выполнение следующих функций: общая оценка ситуации, определение состояния бортовых систем самолета и обеспечение взаимодействия летчика с авиационным комплексом.

В США активно разрабатывается интеллектуальная система управления полетом на основе самообучения нейронных сетей, которая по мнению разработчиков сможет эффективно оптимизировать производительность самолета как в нормальных, так и в чрезвычайных условиях, позволяя пилоту сохранять контроль над самолетом [5]. В качестве подопытного образца ЛА, с такой системой, используется высоко-модифицированный экспериментальный самолет NF-15B, созданный на базе F-15 Eagle.

Экспертные советующие системы нашли применение и для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) гражданского назначения. В чрезвычайных ситуациях бортовые системы сегодня рассчитывают оптимальные траектории, позволяющие избежать столкновения с землей или избежать пролета над густонаселенной местностью с учетом имеющегося запаса топлива на борту [6,7,8,9,10,11,12].

Одной из отличительных особенностей процесса проектирования современных отечественных самолетов является спиральная модель жизненного цикла. В этом процессе обеспечивается гибкая архитектура бортового оборудования самолета, компьютерная база алгоритмического обеспечения, переход на смешанную эксплуатацию с элементами отсроченного технического обслуживания [13]. Например, в государственном научном центре Российской Федерации научно-исследовательском институте авиационных систем (ГосНИИАС) создана бортовая оперативно-советующая экспертная система «Дуэль», предъявляющая рекомендации по совершению различных маневров современными ЛА (включая ЛА пятого поколения). При разработке таких автоматизированных бортовых систем

нового поколения одним из обязательных этапов является моделирование с оценкой эффективности выполнения полётных заданий ЛА, на которые они установлены.

Одной из задач, актуальных при спасении людей (например, при наводнении) является задача доставки в район поиска группы БПЛА так, чтобы они с наибольшей вероятностью достигли успеха при обнаружении всех нуждающихся в помощи [9,10,11]. При решении этих задач необходимо иметь инструмент для оценки эффективности выполнения полетного задания. Для решения этой задачи традиционных методов теории вероятностей недостаточно, требуется применение новых подходов.

Оценка эффективности внедрения новых бортовых алгоритмов на борт маневренного ЛА

При внедрении новых бортовых алгоритмов одним из важнейших этапов является моделирование на стендах полунатурного моделирования или на стендах виртуального прототипирования. В ходе этого моделирования при сравнении различных алгоритмов и реализующих их программ необходимо оценивать их эффективность. Для этого обычно используется вероятность выполнения бортовым алгоритмом поставленного перед ним полетного задания [13]. Эти вероятностные оценки должны учитывать уровень сложности и развития бортового оборудования. При усложнении полётных заданий необходимо уточнять и оценки эффективности новых алгоритмов. В статье рассматривается вариант полетного задания, заключающийся в поиске спасаемых людей с использованием четырех БПЛА, запускаемых с ЛА, доставляющего их в заданную точку. Примерные области нахождения спасаемых людей определены, необходимо для каждого БПЛА задать

конкретную область поиска и траекторию полета, что, в конкретном счете, обеспечит обнаружение спасаемых.

Существующий подход оценки эффективности выполнения полетного задания современным маневренным ЛА [14] позволял решить подобную задачу при использовании статистического материала в случае, когда на его объем строгих ограничений не наложено. При решении рассматриваемой задачи оценку бортовых алгоритмов необходимо проводить с учетом ограниченных ресурсов используемого оборудования и ограниченного объема статистического материала, который можно использовать при оценке эффективности. Предлагаемые оценки базируются на современных методах теории вероятности и математической статистики [15].

При ограниченном количестве полученных результатов проведенных экспериментов необходимо учитывать тот факт, что искомые параметры всегда будут содержать элемент случайности. Такие приближенные случайные значения далее будем называть оценками параметров.

Пусть производится n независимых экспериментов. В качестве конечных результатов моделирования необходимо получить попадание величины среднего числа обнаруженных объектов N_T в доверительный интервал $[N_{Tn}, N_{Tv}]$, где N_{Tn} и N_{Tv} – нижняя и верхняя границы доверительного интервала, вычисленные со степенью достоверности $\beta = 0.9$. Оценка N_T является математическим ожиданием случайной величины X , которая может принимать два значения:

$$X = \begin{cases} 1, & \text{если объект поиска обнаружен;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Результаты отдельных экспериментов считаем независимыми; математическое ожидание общего числа обнаруженных объектов рассчитано по следующей формуле:

$$N_T = \sum_{i=1}^n n \cdot p_i, \quad (2)$$

где p_i – вероятность выполнения i -го задания, учитывающая вероятность безотказной работы бортового комплекса, n – число обнаруженных объектов выпущенными БПЛА.

Для того, чтобы определить попадание величины N_T в границы доверительного интервала, воспользуемся следующей формулой:

$$N_{Tn} = N_T - \sigma, \quad N_{Tv} = N_T + \sigma, \quad (3)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение, рассчитанное в соответствии со следующей формулой, в которой учитывается, что количество проведенных реализаций по каждому заданию равно n :

$$\sigma = \sqrt{\frac{D(X)}{n}}. \quad (4)$$

Здесь $D(X)$ – дисперсия числа появлений события X в независимых экспериментах, которая рассчитана по формуле:

$$D(X) = \sum_{i=1}^n n \cdot p_i \cdot (1 - p_i). \quad (5)$$

Проведенные по формулам (2) – (5) расчеты позволили определить в ходе моделирования области рассеяния случайной величины X при принятой степени достоверности $\beta = 0.9$.

В ходе моделирования с использованием формул (1) – (5) оценивалась эффективность поиска людей, находящихся в нескольких возможных районах.

Результаты моделирования

Моделирование полета ЛА и оценка вероятности обнаружения БПЛА объектов поиска проводились с использованием программной среды Maple 18. Расчет оценки эффективности выполнения полетного задания маневренным ЛА проводился с использованием пакета Mathcad 15.0.

Эксперименты проводились для оценки спасения группы людей, находящихся в предполагаемых m районах с использованием маневренного ЛА, несущего на своем борту m БПЛА.

Предполагалось, что все спасаемые люди после обнаружения будут спасены.

Исходными данными при проведении моделирования являлись:

- m – количество людей в спасаемой группе (числа БПЛА на борту маневренного ЛА);
- координаты каждого члена группы и дальности до них от маневренного ЛА в начальный момент;
- координаты маневренного ЛА;
- зона покрытия каждого БПЛА – эллипс радиусом 10 м;
- радиус круга в границах которого в любом направлении может перемещаться каждый из спасаемых людей – 28 м.

Предполагалось, что:

- маневренный ЛА во время пуска БПЛА совершает прямолинейный полет;

– бортовая радиолокационная станция ЛА (БРЛС) обладает определенной зоной обнаружения, луч которой может отклоняться на 60° [16], раствор луча составляет 7° .

Процесс моделирования начинался в момент подлета маневренного ЛА к району предполагаемого местонахождения группы людей. В экспериментах подлет к группе осуществлялся с различных направлений. Выявлено, что при учитываемых ограничениях на работу БРЛС обнаружение максимального количества объектов поиска обеспечивается при подлете маневренного ЛА с боковых направлений по отношению к группе.

После получения координат объектов поиска ЛА осуществлял последовательный независимый друг от друга пуск БПЛА. При моделировании фактом обнаружения человека считалась вероятность его попадания в зону обнаружения БПЛА. Эта вероятность рассчитывалась по формуле:

$$P((X, Z) \subset B_l) = 1 - e^{-\frac{k^2}{2}},$$

где k – число вероятных отклонений полуосей эллипса рассеивания, B_l – радиус круга, где перемещается объект поиска. Под вероятным отклонением понимается половина длины участка, симметричного относительно центра рассеивания, вероятность попадания в который равна 0.5.

Результатом сеанса моделирования являлось получение доверительного интервала, характеризующего число спасенных людей.

Характерные результаты моделирования для четырех экспериментов приведены в таблице. На различных высотах на скорости 140 м/с и при различных

координатах маневренного ЛА осуществлялось моделирование спасения четырех человек, перемещающихся в четырех разных областях. В зависимости от координат маневренного ЛА и высоты выполняемого маневра получены различные характеристики для вероятности обнаружения спасаемых людей, среднего числа спасенных и границ доверительного интервала, в котором находится это число.

Т а б л и ц а Эксперименты по оценке эффективности выполнения полетного задания маневренным ЛА

№ эксперимента	Высота маневренного ЛА	Скорость маневренного ЛА	Координаты маневренного ЛА	Координаты спасаемых людей	Вероятность обнаружения	Среднее число спасенных	N_{Tn}	N_{Tv}
	$H_{ЛА}$ [м]	$V_{ЛА}$ [м/сек]	$(x_{ЛА}, y_{ЛА}, z_{ЛА})$ [м]	$(x_{чел}, y_{чел}, z_{чел})$ [м]	P	N_T ед.		
1	10000	140	-2536, 10000, 572	0, 0, -70 50, 0, -20 35, 0, 10 0, 0, 50	0.75 0.88 0.87 0.9	3	2.95	3.85
2	10000	140	-3000, 10000, 0	0, 0, -70 50, 0, -20 35, 0, 10 0, 0, 50	0.75 0.64 0.53 -	1	0.87	2.97
3	7000	140	-3536, 10000, -1072	0, 0, -70 50, 0, -20 35, 0, 10 0, 0, 50	0.92 0.94 0.9 0.85	4	2.75	4
4	7000	140	-3700, 10000, 0	0, 0, -70 50, 0, -20 35, 0, 10 0, 0, 50	0 0.36 0.54 0.2	1	0.1	2.2

В первом эксперименте первом при выполнении маневра ЛА традиционный метод подсчета вероятности дал близкую к предлагаемому способу оценку

эффективности применяемых бортовых алгоритмов, но предлагаемый подход дал более наглядную оценку (три спасенных человека из четырех нуждающихся в помощи).

Во втором эксперименте оценивался случай, когда ЛА не выполнял маневра. Группа спасаемых была одинаковой в экспериментах, для которых результаты оценки эффективности выполнения полетного задания приведены в таблице. Традиционный подход прогнозировал что один из четырех людей скорее всего не будет спасен; для двух объектов оценки эффективности (вероятности обнаружения) значительно уменьшились и для одного человека оценка осталась неизменной. Предлагаемый подход позволил оценить ситуацию более определенно: будет спасен один человек.

В третьем эксперименте, где ЛА совершал более эффективный маневр (чем в первом эксперименте) оценки эффективности работы бортовых алгоритмов оба подхода дают почти совпадающие результаты. Вероятности обнаружения спасаемых людей достаточно велики, а предложенный подход говорит о том, что спасены будут все четверо.

В четвертом эксперименте маневр не выполнялся при большем значении координаты $x_{ЛА}$, чем во втором эксперименте. В этом случае отличие оценок по традиционному и предложенному подходу наиболее наглядно: все вероятности обнаружения для спасаемых объектов достаточно низкие, а предложенный подход говорит о том, что один человек скорее всего будет спасен.

Проанализировано 25 наиболее характерных сочетаний исходных данных описанного эксперимента. Результаты экспериментов аналогичны приведенным в таблице.

Таким образом, предложенный и использованный в данной статье подход для оценки эффективности выполнения полетного задания современным маневренным ЛА при спасении группы людей позволяет более достоверно чем при традиционном подходе оценить работу его бортовых алгоритмов при выполнении маневра. В дальнейших исследованиях предполагается учесть и вероятность спасения людей после их обнаружения. Для использования созданного программно-алгоритмического обеспечения в процессе разработки бортовых алгоритмов целесообразно его встраивание в программно-алгоритмическое обеспечение соответствующего стенда полунатурного моделирования. Это позволит исследовать более широкий круг выполняемых ЛА полетных задач.

Библиографический список

- 1 Нейрокомпьютеры в авиации (самолеты) / Под ред. В.И.Васильева, Б.Г. Ильясова, С.Т.Кусимова. Кн. 14. – М.: Радиотехника, 2003. – 496 с.
- 2 Видов К.С., Гусев Д.И. Программно-алгоритмическое обеспечение режима группового самолетовождения // Труды МАИ, 2011, выпуск №44: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=24980>
- 3 Arostein David C. Advanced tactical fighter to F-22 raptor: Origins of the 21st century air dominance fighter. –American Institute of Aeronautics, 1998.
- 4 Володин В.В., Мухаметджанова А.О. Аналитический обзор по материалам зарубежной информации. - М.: ГосНИИАС, 2007. - 131 с.
- 5 <http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/IFCS/#.Vl6WB9LhDcs> (29.11.2015).
- 6 Andrzej Majka Trajectory Management of the Unmanned Aircraft System (UAS) in Emergency Situation. Aerospace 4, May 2015.
- 7 Лунёв Е.М. Повышение точности определения навигационных параметров беспилотного летательного аппарата на базе фотографических измерений на этапе посадки // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т.18. №2. С. 150-159.
- 8 Веремеенко К.К., Пронькин А.Н., Репников А.В. Алгоритмы структурной перестройки бортовых подсистем интегрированной системы посадки беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ, 2011, №49: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=28110>
- 9 Лунёв Е.М., Павлова Н.В. Программно-алгоритмическое обеспечение для определения навигационных параметров беспилотного летательного аппарата на

базе фотоизображения // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т.16. №6. С. 111-119.

10 Веремеенко К.К., Пронькин А.Н., Кузнецов И.М. Интегрированная навигационная структура БПЛА: структура и исследование характеристик // Труды МАИ, 2012, №41: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=23811>

11 Веремеенко К.К., Пронькин А.Н., Антонов Д.А., Жарков М.В., Зимин Р.Ю., Кузнецов И.М., Алёшин Б.С. // Труды МАИ, 2012, №54: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29823>

12 Павлова Н.В., Видов К.С., Гусев Д.Н., Харченко Д.Н. Обработка измерений и исходной информации для обеспечения безопасности движения летательных аппаратов в группе // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т.20. №2. С. 140-148.

13 Федосов Е.А. Авиация ПВО России и научно–технический прогресс: боевые комплексы и системы, вчера, сегодня, завтра. – М.: Дрофа, 2004.- 816 с.

14 Дуров В.Р. Боевое применение и боевая эффективность истребителей-перехватчиков. – М.: Воениздат, 1972. - 280 с.

15 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Изд-во Юрайт, 2012. – 479 с.

16 Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.