

УДК 528.8

АЛГОРИТМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ПОЛЕТЕ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТНЫХ ЗАДАНИЙ

Б.К. Тельных

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, 106/5
E-mail: bogdanfm0508@yandex.ru

А.А. Зенкин

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, 106/5
E-mail: zenk1n@yandex.ru

В.В. Родионов

Тамбовский государственный технический университет
Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, 106/5
E-mail: vadikrodionow@yandex.ru

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, полетное задание, цепь Маркова, граф состояний, дистанционный мониторинг.

Аннотация: в настоящее время операторам беспилотных летательных аппаратов, помимо задачи управления, также необходимо выполнять множество действий не связанных с проведением полетов, что негативно сказывается на эффективности применения беспилотных летательных аппаратов. Современные средства вычислительной техники позволяют автоматизировать процесс планирования и обработки информации при выполнении полета, а также входить в состав бортовых систем. Однако, существующие инструменты оценки технического состояния не в полной мере могут подтвердить соответствие интеллектуальных бортовых систем беспилотных летательных аппаратов. В работе предложен алгоритм вероятностной оценки состояний беспилотного летательного аппарата в полете с интеллектуальными средствами планирования и выполнения полетных заданий. Сформулирована постановка задачи, описан принцип работы, этапы, реализация и отражены результаты проверки работы представленного алгоритма.

1. Введение

Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для решения задач дистанционного мониторинга показал их высокую эффективность, однако при наличии развитой системы противодействия, результативность использования комплексов с БПЛА значительно снижается. Развитие средств вычислительной техники обеспечивают возможность использования на борту БПЛА элементов искусственного

интеллекта, которые без участия оператора, исходя из окружающей обстановки, могут выполнять различные маневры летательных аппаратов и работать в автономном режиме. Таким образом, возникает необходимость качественной оценки их технической работы. Работу таких систем можно представить, как последовательность смены дискретных состояний, учитывающих внешние воздействия на систему и вероятность перехода ее состояний, что может предсказать наиболее вероятное развитие событий, переход из одного состояния в другое, которое показывает какие коррективы и условия необходимо внести в систему для обеспечения достижения поставленной цели [1]. Эффективность выполнения полетного задания БПЛА может быть оценена с помощью вероятностных методов. В качестве показателей эффективности, как правило, используют значения вероятностей пребывания системы в каждом из заданных состояний в стационарном режиме.

Определение вероятностей состояний системы для полумарковских процессов является сложной, многоэтапной вычислительной задачей. К тому же, расчеты могут содержать погрешности в результате применения численных методов для получения оценок вероятностей, а также из-за сложности самой модели системы. В свою очередь, анализ результатов, полученных с использованием аналитических моделей, не в полной мере позволяют учесть все условия необходимые для успешного результата при выполнении задач на дистанционный мониторинг БПЛА, особенно при наличии на борту интеллектуальных средств планирования и выполнения полетных заданий.

Одной из форм описания таких систем являются полумарковские модели с использованием значений вероятностей пребывания системы в каждом из заданных состояний, при этом определить вероятности состояний для полумарковских процессов является достаточно сложной вычислительной задачей, которая приводит к многоэтапным расчётам. К подобным системам относится выполнение полетного задания БПЛА, требования к которым, в настоящее время, возрастает с каждым днем.

2. Основная часть

2.1. Постановка задачи

Разработаем алгоритм вероятностной оценки состояний БПЛА в полете с интеллектуальными средствами планирования и выполнения полетных заданий в условиях средств противодействия, описываемых дискретными состояниями случайных процессов.

В результате работы алгоритма должны быть получены оценки вероятностей состояний системы. При этом система должна быть стохастической (случайной); последующие состояния системы не зависят от предыдущих, уже пройденных множеств возможных состояний, а только от текущего состояния; в момент смены состояний системы происходит мгновенно, т.е. является Марковской [2].

Рассмотрим тактический эпизод применения БПЛА средней дальности типа «Орион» для решения задачи дистанционного мониторинга, являющийся однородной непрерывной системой Марковской цепи, описывающую систему с S_j дискретными состояниями и дискретным временем, в которой смена состояний происходит случайно через заданные промежутки времени [3, 4].

Аналитический вид такой системы представляет собой систему уравнений Колмогорова-Чепмена вида [5]:

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = -P_j(t) \sum_{k=1}^n \lambda_{jk} + \sum_{i \neq j}^n P_i(t) \lambda_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, n, ,$$

где: $P_j(t)$ – вероятность пребывания системы в -ом состоянии; λ_{ij} – известная интенсивность потока событий, переводящего систему из состояния i в состояние j .

Алгоритм вероятностной оценки состояний БПЛА в полете при ведении дистанционного мониторинга (ДМ) в условиях противодействия рассмотрен в виде графа состояний двух способов выполнения полета по маршруту: способ № 1 – «С интеллектуальными средствами планирования и выполнения полетных заданий (ИСППЗ)», способ № 2 «Без ИСППЗ».

В представленном алгоритме учтено и рассмотрено 10 состояний БПЛА с учетом возникновения особого случая в полете (ОСвП): S1 – БПЛА готов к полету; S2 – Взлет БПЛА; S3 – Полет в район ДМ; S4 – Ведение ДМ; S5 – Выход из района ДМ; S6 – Посадка БПЛА; S7 – ОСвП на взлете; S8 – ОСвП в полете; S9 – ОСвП при посадке; S10 – Потеря БПЛА.

Рассматриваемая модель представляет собой прямостохастическую матрицу переходов стохастического процесса, перераспределения состояний, которые показывают эволюцию детерминированных распределений состояний с течением времени от начального распределения.

Матрицы переходов состояний учитывают возникновение ОСвП в результате отказа БПЛА по техническим причинам, так и возникновение ОСвП в результате воздействия на БПЛА средств противодействия.

2.2. Реализация алгоритма вероятностной оценки состояний беспилотного летательного аппарата в полете с интеллектуальными средствами планирования и выполнения полетных заданий

Алгоритм вероятностной оценки состояний применения БПЛА средней дальности типа «Орион» реализуем в среде программирования Matlab.

При моделировании были заданы следующие параметры:

$\lambda = [0.0 \ 0.02 \ 0.5 \ 0.9 \ 0.2 \ 0.02 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.0]$ – вектор интенсивности переходов;

$X = [0.0 \ 1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0]$ – вектор начального состояния системы.

На рисунках 1-2 представлены вероятностно-временные характеристики нахождения БПЛА в заданных состояниях.

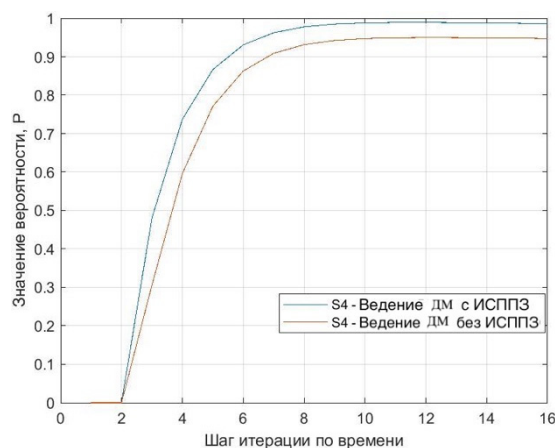


Рис. 1. График состояния S4 – Ведение ДМ без ИСППЗ и с использованием ИСППЗ.

График изменения состояния S_4 показывает, что вероятность ведения ДМ после выхода в заданный район стремится к единице, однако с течением времени незначительно снижается из-за возникновения технического отказа БПЛА в полете. В случае воздействия средств противодействия, влияние которого учтено в матрице состояний как возникновение ОСвП в полете, вероятность которого составляет 0.2, вероятность ведения ДМ в условиях противодействия не превышает значение 0.95.

Следовательно, увеличение вероятностей возникновения ОСвП на 0,2 приводит к снижению вероятности выполнения задачи ВЗР менее чем на 0,05.

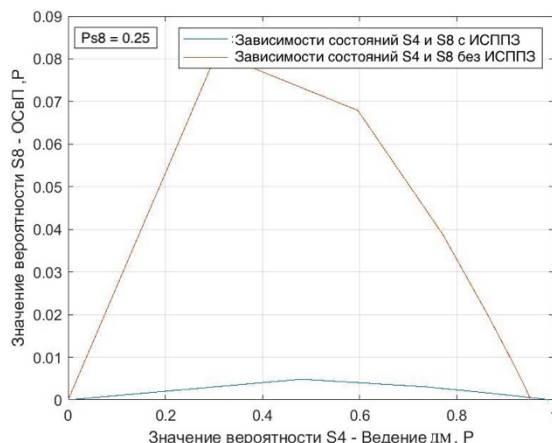


Рис. 2. График зависимости состояний S4 – Ведение ДМ и S8 – ОСвП в полете.

Анализ графика показывает, что при самых неблагоприятных исходах с использованием ИСППЗ в результате возникновения ОСвП (при $P_{S8} = 0,25$), задача ведения ДМ будет выполнена с вероятностью 0.5. При возникновении ОСвП на БПЛА, при самых неблагоприятных исходах без использования ИСППЗ, вероятность ведения ДМ составит 0.3.

3. Заключение

Таким образом, разработанный алгоритм вероятностной оценки состояний БПЛА в полете в условиях огневого противодействия, позволяет получить качественные оценки вероятностей состояний системы с учетом использования ИСППЗ. Результаты моделирования показывают, что разработанный алгоритм позволяет исследовать влияние параметров на систему и вносить в них коррективы для получения необходимых качеств системы, в частности, комплекса с БПЛА. Получение вероятностных оценок состояний модели могут являться основой принятия решений о соответствии системы ИСППЗ необходимым требованиям, а также проверки качества полученных результатов аналитических моделей систем.

Список литературы

1. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения. / Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника, 2013. 232 с.
2. Imomov A.A. On long-term behavior of continuous-time Markov branching processes allowing immigration // Journal of the Siberian Federal University. Mathematics and Physics. 2014. Vol. 10, No. 1. P. 117-127.
3. Орион (БПЛА): Материал из Википедии — свободной энциклопедии: Версия 116036556 // Википедия, свободная энциклопедия. <https://ru.wikipedia.org/?curid=7119039&oldid=116036556> (дата обращения 20.12.2023).
4. Фадин А.Г. Моделирование радиоэлектронных систем на ЭВМ. Воронеж: ВИРЭ, 2000. 493 с.
5. Горин А.Н., Будников С.А. Применение программной среды Matlab для имитационного моделирования сложных систем военного назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 1. С. 221-251.