

УДК 629.7.08

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О НЕЗАПЛАНИРОВАННОЙ ПОСАДКЕ БЛА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <sup>1</sup>

Ким Н.В., проф., канд. тех. наук  
 Бодунков Н.Е., канд. тех. наук  
 Московский авиационный институт (национальный  
 исследовательский университет), Москва

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, анализ ситуаций, модель описания среды, критерий Гурвица

### Введение

При автономном управлении беспилотными летательными аппаратами (БЛА) в составе бортовых программно-алгоритмических средств необходимо иметь алгоритмы, обеспечивающие принятие решений в условиях неопределенности. Факторами неопределенности могут быть: трудно прогнозируемые погодные условия, геометрическая и опорная проходимость поверхности, на которую планируется совершить посадку и др. Принятие решений в подобных задачах, например, решений: «совершить посадку» или «продолжить полет» предлагается реализовать в рамках методов «Игры с Природой» на базе критерия Гурвица. При этом решение должно учитывать различные варианты развития событий в соответствии с неопределенностью текущей ситуации, стратегий Природы и Стратегий БЛА.

### 1 Методика

В общем случае модель ситуации, позволяющая сформировать наборы Стратегий Природы и БЛА, представляет из себя совокупность трех моделей:

$$M = \langle O, Env, Task \rangle,$$

где  $O$  – модель БЛА,  $Env$  – модель окружающей среды,  $Task$  – модель целевой задачи.

Анализ ситуации (ситуационный анализ) [Endsley, 2003, p.312], [Kim, 2015, p.2015] направлен на формирование описаний ситуаций,

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00613 А.

обеспечивающих углубленное понимание взаимодействия факторов, существенных для решения поставленных целевых задач (ЦЗ). В процессе анализа проводится классификация текущих и прогнозируемых ситуаций, позволяющая выбрать наиболее эффективные управляющие действия с учетом решаемых ЦЗ.

По критерию Гурвица наилучшей является стратегия, для которой величина критерия  $S$  будет наибольшей

$$S = \max_i [(1 - a) \max_j \alpha_{ij} + a \min_j \alpha_{ij}]$$

где  $a$  – степень (коэффициент) оптимизма,  $\alpha_{ij}$  – выигрыш при реализации БЛА  $i$ -й стратегии и  $j$ -й стратегии противником (природой).

Выбор коэффициента  $a$  представляет собой задачу, которая во многих случаях решается субъективно, что сложно реализовать в условиях автономного полета. В рамках решаемой задачи (принятие решения о посадке или продолжении полета) степень пессимизма  $a$  определяет «ожидания аварии» при посадке БЛА. Чем больше значение  $a$ , тем меньше ожидаемая вероятность безопасной посадки и меньше значение возможного выигрыша. При повышении оптимизма и стремлении  $a$  к нулю ожидаемый выигрыш возрастает, и стратегия посадки P1 становится более конкурентноспособной.

Назначение коэффициента  $a$  может производиться различными методами. Наиболее корректный, но сложный подход базируется на технологии анализа ситуаций, подразумевающий построение моделей текущей и прогнозируемых ситуаций. Уточнение параметров модели среды, в т.ч. подстилающей поверхности, позволяет оценивать вероятность безопасной посадки с большей достоверностью и, соответственно, принимать более эффективные решения по управлению БЛА. В более простых вариантах значение коэффициента  $a$  может определяться, например, с учетом стоимости БЛА по задаваемой зависимости  $a(C)$ , где  $C$  – стоимость БЛА.

Для принятия решения по критерию Гурвица используется матрица выигрыша от выбора той или иной стратегии  $\alpha_{ij}$ . В случае задачи посадки выигрыш соответствует безопасности посадки в данных условиях (стратегия P1) или безопасности продолжения полета (стратегия P2). Пусть безопасность будет определяться коэффициентом в диапазоне 0 – 10. При  $\alpha_{ij} = 0$  БЛА будет точно потерян. При  $\alpha_{ij} = 10$  БЛА гарантированно безопасно сядет или продолжит полет.

## 2 Обсуждения

Модельные эксперименты, проведенные для 4-х Стратегий Природы и 2-х Стратегиях БЛА («Посадка» и «Продолжение полета»), показали существенное повышение безопасности БЛА при использовании предлагаемого подхода.

В случае полной определенности условий выбирается конкретная строка матрицы выигрыша. А критерий Гурвица вырождается в выбор варианта с максимальным значением коэффициента безопасности.

Понятия «плохих», «хороших» погодных условий или поверхности – нечеткие (мягкие). Тогда необходимо рассматривать распределение достоверностей стратегий природы  $P_{Envj}$ . В случае присутствия неопределенности в описании условий, коэффициенты выигрыша должны быть пересчитаны:

$$\widetilde{\alpha}_{i,j} = P_{Envj} * \alpha_{i,j}$$

В случае полного отсутствия информации варианты условий будут равновероятны. Например, для четырех вариантов –  $P_{Envj} = \frac{1}{4}$ . Таким образом, при полной неопределенности ситуации решение связано непосредственно с коэффициентом оптимизма.

Неопределенность в описании условий наблюдения может динамически меняться. Так, например, можно уточнить параметры среды (погодных условий или поверхности посадочной площадки). Соответственно будет изменяться и распределение потерь, а в итоге и принимаемое решение.

## Выводы

Таким образом, при принятии решений о посадке БЛА или продолжении полета в реализуемых бортовых алгоритмах необходимо предусматривать возможные стратегии природы, состояние БЛА и ожидаемые исходы, учитываемые коэффициента оптимизма в используемом критерии Гурвица.

Предложен метод выбора коэффициента оптимизма, а также показано его влияние на принимаемое решение при различных уровнях неопределенности стратегии природы.

## Список литературы

- [**Tulum K. 2009**] Tulum K. Situation aware UAV mission route planning / Tulum K., Durak U. and Ider S. Paper // IEEE Aerospace Conference Proceedings, doi:10.1109/AERO.2009.4839602, 2009.
- [**Tan L. 2019**] Tan L., Wu J, Yang X and Song S. Research on optimal landing trajectory planning method between an UAV and a moving vessel // Applied Sciences (Switzerland) 2019 9(18).

- [Endsley M 2003] Endsley M., Bolte B. and Jones D. Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design. New York: Taylor & Franciss p. 312.
- [Kim N. 2015] Kim N. and Bodunkov N. Adaptive surveillance algorithms based on the situation analysis // Computer Vision in Control Systems - 2 eds. M Favorskaya, L Jain (New-York:Springer) chapter 7 pp. 169-200.
- [Kim N. 2018] Kim N, Bodunkov N, Mikhailov N. Automatic decision-making by the on-board system of an unmanned aerial vehicle during the traffic monitoring // Aerospace MAI Journal, 25, pp. 99-108
- [Mutzenich C. 2021] Mutzenich C., Durant S., Helman S. and Dalton P. Updating our understanding of situation awareness in relation to remote operators of autonomous vehicles // Cognitive Research: Principles and Implications, vol. 6, no. 1.
- [Gaeta A. 2021] Gaeta A., Loia V. and Orciuoli F. A comprehensive model and computational methods to improve situation awareness in intelligence scenarios // Applied Intelligence, 51(9), 6585-6608. doi:10.1007/s10489-021-02673-z
- [Bodunkov N.E. 2018] Semantic descriptions in the problem of autonomous landing of an unmanned aerial vehicle // Tekh. Zrenie, no. 1 (12), pp. 21–25.
- [Ким Н.В. 2020] Ким Н.В., Носков В.П., Рубцов И.В. и Аникин В.А. Автоматизация посадки беспилотного вертолета на необорудованную площадку // Известия ЮФУ. Технические науки №1, стр.17-25.