

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ СЕЛЕКЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПТИЦ

Храменков А. С., Чигряй В. Г.
Военная академия Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь
E-mail: xras.tech@gmail.ru, chigriay.vasil@yandex.by

В докладе представлен перечень радиолокационных признаков селекции малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и птиц, сформированный по результатам обзора русскоязычных и англоязычных публикаций.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задачи обнаружения и распознавания малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) являются важными задачами обеспечения общественной безопасности. Широкое распространение малоразмерных БЛА и риск, который они могут представлять для имущества или населения, постоянно растет. В связи с этим существует острая необходимость в раннем обнаружении и идентификации таких летательных аппаратов. Радиолокатор представляет собой один из наиболее перспективных инструментов всепогодного наблюдения малоразмерных БЛА, обеспечивая их обнаружение, измерение координат и распознавание. При этом одной из ключевых проблем является сложность различения малоразмерных БЛА и птиц, обладающих схожими значениями эффективной площади рассеяния и параметрами движения, такими как скорость и высота полета. Таким образом, выбор и анализ радиолокационных признаков селекции малоразмерных БЛА и птиц является важной практической задачей.

I. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ СЕЛЕКЦИИ МБЛА И ПТИЦ

Признаки радиолокационного распознавания принято делить на сигнальные и траекторные [3]. На основании обзора русскоязычных и зарубежных публикаций [1–7] было установлено, что основными признаками селекции МБЛА и птиц, выделяемых с помощью радиолокаторов, являются траекторные признаки, спектральный и мощностной радиолокационные портреты (РЛП) (рисунки 1).

II. ТРАЕКТОРНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ

На основании фильтрованных оценок прямоугольных координат $(\hat{x}_k, \hat{y}_k, \hat{z}_k)$ наблюдаемого объекта и скоростей их изменения $(V_{\hat{x}(k)}, V_{\hat{y}(k)}, V_{\hat{z}(k)})$ на текущем k -м контакте с целью могут быть оценены следующие траекторные признаки:

1. Модуль вектора полной скорости $[V_k]$ [7];

2. Среднее значение модуля вектора полной скорости \bar{V}_k и его среднеквадратическое отклонение $\sigma_{V(k)}$ [5];
3. Модуль полного ускорения a_k , среднее значение ускорения \bar{a}_k и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{a(k)}$ [4, 5];
4. Рывок j_k [4];
5. Энергетическая высота $H_{\Sigma(k)}$, скорость изменения энергетической высоты $V_{H_{\Sigma(k)}}$ [5];
6. Курсовой угол Ψ_k , среднее значение углов поворота $\bar{\Psi}_k$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\psi(k)}$ [4];
7. Кривизна траектории cur_k [5];
8. Коэффициент маневренности M_k [5];
9. Коэффициент колебания ζ_k [5].

III. СИГНАЛЬНЫЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ

1. Спектральный (доплеровский) РЛП ξ_k представляет собой упорядоченную совокупность мощностей отраженного сигнала, относящихся к различным элементам разрешения по частоте [3]. На основании анализа спектрального РЛП могут быть выделены следующие признаки: ширина спектра планерной составляющей $\Delta f_{пл}$, ширина спектра вторичной модуляции (ВМ) $\Delta f_{вм}$, частота следования спектральных составляющих, обусловленных наличием ВМ $F_{вм}$, число модуляционных составляющих $N_{вм}$ [6].
2. Мощностной РЛП представляет собой мощность отраженного сигнала, которая является величиной пропорциональной ЭПР объекта σ_u [3]. Использование среднего значения ЭПР в качестве классификационного признака существенно ограничено, что обусловлено рядом факторов таких как: флуктуации ЭПР при различных углах пространственной ориентации цели, необходимость достаточного времени наблюдения для достоверной оценки среднего значения ЭПР, использование мер по снижению ЭПР [3].

IV. ВЫВОДЫ

В докладе представлен анализ классификационных признаков МБЛА и птиц. В ходе анали-

за русскоязычных и англоязычных публикаций по теме селекции МБЛА и птиц были выделены две группы классификационных признаков: траекторные и сигнальные. При условии обеспечения достаточной точности измерения координат и наличии длительного времени анализа может быть выделена совокупность траекторных признаков классификации, имеющих высокую информативность. Сигнальные признаки предполагают анализ особенностей спектрального и мощностного РЛП. Повышение эффективности селекции МБЛА и птиц может быть достигнуто путем совместного использования сигнальных и траекторных отличительных признаков.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Radar Countermeasures for Unmanned Aerial Vehicles / Carmine Clemente, Francesco Fioranelli, Fabiola Colone and Gang Li. – London: SciTech Publishing, 2021. – 394 p.
2. Tait, P. Introduction to Radar Target Recognition / P. Tait. London: IET, 2005. – 428 p.
3. Ширман, Я. Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Горшков, С.П. Лещенко, Г.Д. Братченко 113 и др. // Радиолокация и радиометрия, №3, Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования. – 2000. – С. 5–64.
4. Srigrarom, S., Drone versus Bird Flights: Classification by Trajectories Characterization / S. Srigrarom, K. Hoe Chew, D. Meng Da Lee, P. Ratsamee // in 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), Thailand, Chiang Mai, 23-26 September 2020. – P. 343 – 348.
5. Liu, J Classification of bird and drone targets based on motion characteristics and random forest model using surveillance radar data / J. Liu, Q. Y. Xu, W. S. Chen // IEEE Access. – 2017. – Vol. 20. – P. 1–18.
6. Leonardi, M. Drones Classification by the Use of a Multifunctional Radar and Micro-Doppler Analysis / M. Leonardi, G. Ligresti, E. Piracci // Drones. – 2022. – Vol. 6, 124. – 19 p. <https://doi.org/10.3390/drones6050124>
7. Se-Won, Y. Efficient Classification of Birds and Drones Considering Real Observation Scenarios Using FMCW Radar / Y. Se-Won, K. Soo-Bum, J. Joo-Ho // Journal Of Electromagnetic Engineering And Science. – Sep. 2021. – Vol. 21. – № 4. – P. 270–281.

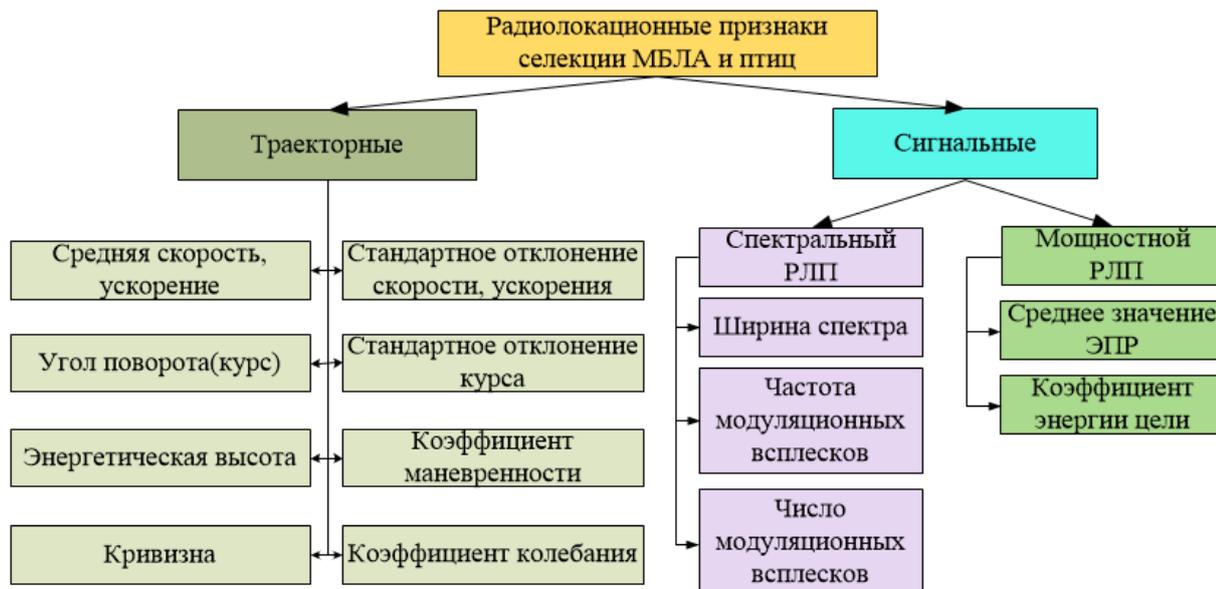


Рис. 1 – Радиолокационные признаки селекции МБЛА и птиц