

УДК 681.5

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ В ЗАДАЧАХ ГРУППОВОГО ПОЛЕТА БПЛА

Т.З. Муслимов (*tagir.muslimov@gmail.com*)
Уфимский государственный авиационный технический
университет (УГАТУ), г.Уфа

Аннотация. В тезисах доклада рассматривается задача настройки групповых регуляторов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с помощью методов нечеткой логики. Самонастройка коэффициентов в данных регуляторах осуществляется с помощью адаптивного управления с эталонной моделью. При неполных данных о модели самих БПЛА удастся сохранить устойчивость формации и улучшить качество переходных траекторий.¹

Ключевые слова: БПЛА, групповое управление, нечеткая логика.

В данном исследовании под «формацией», в том числе и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), понимается выдерживающая заданную геометрическую форму в процессе своего движения группа автономных мобильных роботов. Часто встречающийся в публикациях термин «строй» изначально применялся к полету самолетов в качестве «ведущего» и «ведомых», при этом траекторное управление движением «ведомых» определяется траекторным движением «ведущего». Термин «строй» не может применяться в случае отсутствия «ведущего» по причине децентрализованного характера взаимодействия в формации. Как отмечается в статье [Zakiev et al., 2018], следует с осторожностью использовать термин «рой» в применении к роботам, так как он предполагает выполнение ряда условий по отношению к самим роботам и к характеру их взаимодействия.

При моделировании управления децентрализованной формацией БПЛА сложной задачей является подбор параметров групповых регуляторов. Это связано как с высоким порядком динамики полных моделей БПЛА, так и с ее неопределенностью. При этом отсутствие настройки коэффициентов

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-1016).

групповых регуляторов может приводить к неэффективным траекториям полета и к потере устойчивости всей формации БПЛА [Muslimov et al., 2020].

Использование нечетких регуляторов для настройки траекторного управления одиночными БПЛА успешно показано, например, в работе [Demir et al., 2016]. В статье [Muslimov et al., 2021] излагается подход к самонастройке групповых регуляторов БПЛА с использованием нечеткого адаптивного управления с эталонной моделью. Суть данного подхода заключается в оснащении каждого БПЛА эталонной моделью всей формации. При этом используются упрощенные кинематические модели второго порядка самих БПЛА, что гарантирует невысокую вычислительную нагрузку на бортовые системы. Каждый БПЛА производит вычисления согласно эталонной модели и сравнивает их с данными о реальных относительных положениях по отношению к другим БПЛА в формации. Далее эти рассогласования поступают в нечеткий регулятор, правила нечеткого вывода для которого задаются на основе нечетких функций Ляпунова, что обеспечивает асимптотическую устойчивость контура адаптации.

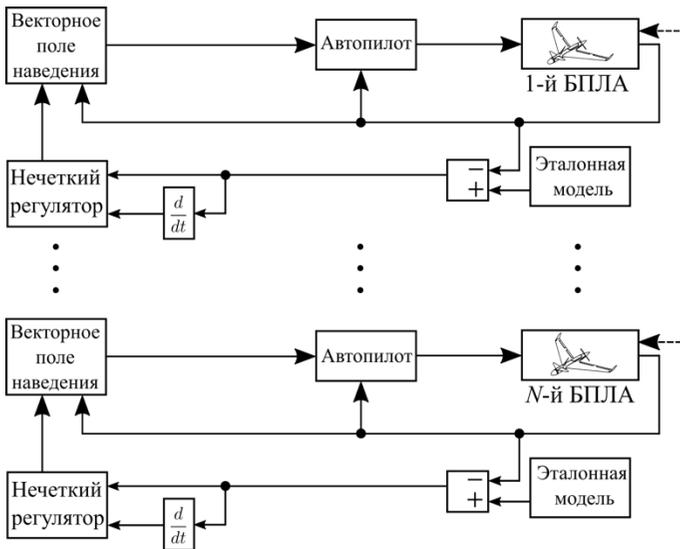


Рис. 1. Общая схема нечеткого адаптивного управления с эталонной моделью группой БПЛА

Работоспособность подхода проверялась на полных нелинейных моделях малых БПЛА, в том числе в задаче следования за движущимся наземным объектом. По результатам моделирования можно сделать вывод, что применение нечеткого адаптивного управления с эталонной моделью в

задачах группового полета БПЛА позволяет сохранять устойчивость системы строя БПЛА, а также улучшать переходные траектории при построении ими заданной геометрической формы. Таким образом, появляется возможность не проводить трудоемкий процесс выбора коэффициентов групповых регуляторов и сохранить работоспособность системы управления в случае неопределенной динамики летательных аппаратов.

В качестве направления дальнейших исследований можно назвать применение данного подхода к настройке групповых регуляторов в других сценариях полета формации БПЛА, таких как: следование вдоль линии пути; реализация трехмерных формаций; облет препятствий. Возможно использование данного подхода к настройке систем управления карданным подвесом камеры мини-БПЛА. Также представляет интерес настройка параметров группового регулятора, синтезированного на основе подходов нелинейного управления, и сравнение такой настройки с методом интегральной адаптации.

Список литературы

- [Zakiev et al., 2018] Zakiev A., Tsoy T., Magid E. Swarm Robotics: Remarks on Terminology and Classification. In: Ronzhin A., Rigoll G., Meshcheryakov R. (eds) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2018. // Lecture Notes in Computer Science, 2018. Vol. 11097. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99582-3_30
- [Muslimov et al., 2020] Muslimov T. Z., Munasypov R. A. Coordinated UAV Standoff Tracking of Moving Target based on Lyapunov Vector Fields // 2020 International Conference Nonlinearity, Information and Robotics (NIR). IEEE, 2020. <https://doi.org/10.1109/NIR50484.2020.9290189>
- [Demir et al., 2016] Demir B. E., Bayir R., Duran F. Real-time trajectory tracking of an unmanned aerial vehicle using a self-tuning fuzzy proportional integral derivative controller // International Journal of Micro Air Vehicles. 2016. Vol. 8. №. 4. P. 252-268. <https://doi.org/10.1177/1756829316675882>
- [Muslimov et al., 2021] Muslimov, T.Z. and Munasypov, R.A. Multi-UAV cooperative target tracking via consensus-based guidance vector fields and fuzzy MRAC // Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2021. Vol. 93 No. 7, pp. 1204-1212. <https://doi.org/10.1108/AEAT-02-2021-0058>.