

Следующим шагом является процесс загрузки компонентов модели – конфигурационных файлов токенизатора и шардов.

Авторами был рассмотрен пример модели для получения функции, работающей с простыми числами. Были настроены параметры генерации для регулирования креативности и разнообразия предложенных решений.

Разработанная модель генерирует корректную функцию для нахождения простых чисел в списке, а также предоставляет тесты для проверки работоспособности кода, что является важным аспектом для автоматизированного процесса code review. Такие возможности позволяют модели предоставлять разработчикам не только готовые решения, но и примеры кода, которые могут быть протестированы и использованы в реальных проектах.

Таким образом, ИИ-ассистенты, основанные на современных моделях трансформеров, могут стать полезным инструментом для разработчиков программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение онлайн-компиляторов для обучения программированию студентов ИТ-специальностей вуза / Т.Н. Копышева, Т.Н. Смирнова, Т.В. Митрофанова, М.В. Волик // Новые компетенции цифровой реальности: теория и практика их развития у обучающихся : сб. докл. и науч. ст. II Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – С. 168-173.

2. Бельчусова, Е.А. Сравнительный анализ средств автоматизации тестирования программного обеспечения / Е.А. Бельчусова, Т.Н. Смирнова // Новые компетенции цифровой реальности: теория и практика их развития у обучающихся : сб. докл. и науч. ст. III Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. – С. 30-34.

УДК 004.021+519.711

К.О. Горлова, асп., ассист. (РТУ МИРЭА, г. Москва, Россия);
А.В. Куковинец, асп., инж. 2 кат. (ГосНИИАС, г. Москва, Россия)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ КОЛЛЕКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Введение. Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года и плана мероприятий по ее реализации» определяет одним из

при-оритетных направлений научных исследований и разработок технологий комплексных систем управления, принятия решений и группового взаимодействия беспилотных воздушных судов (БВС), в том числе алгоритмические и программные средства управления группой таких объектов. В соответствии с утверждённым направлением выполняется разработка имитационной модели полёта малоразмерного БВС мульти-роторного типа, а также многоуровневой системы децентрализованного управления БВС в составе группы.

Методика группового управления БВС. Алгоритмы принятия решения объектами в составе группы могут быть обобщены и представлены в виде следующей методики решения поставленной перед группой задачи.

Этап 1. Построение матрицы эффективности достижения целей. В оценке могут учитываться расстояние до цели, уровень заряда батареи, сложность предполагаемого маршрута, характеристики цели и другие параметры.

Этап 2. Распределение целей между объектами для достижения максимальной эффективности решения задачи.

Этап 3. Стратегическое планирование маршрутов объектов для минимизации «стоимости» пути.

Этап 4. Движение объекта по маршруту с реагированием на внешние воздействующие факторы.

Структура системы группового управления БВС, реализующая представленную методику, изображена на рис. 1.

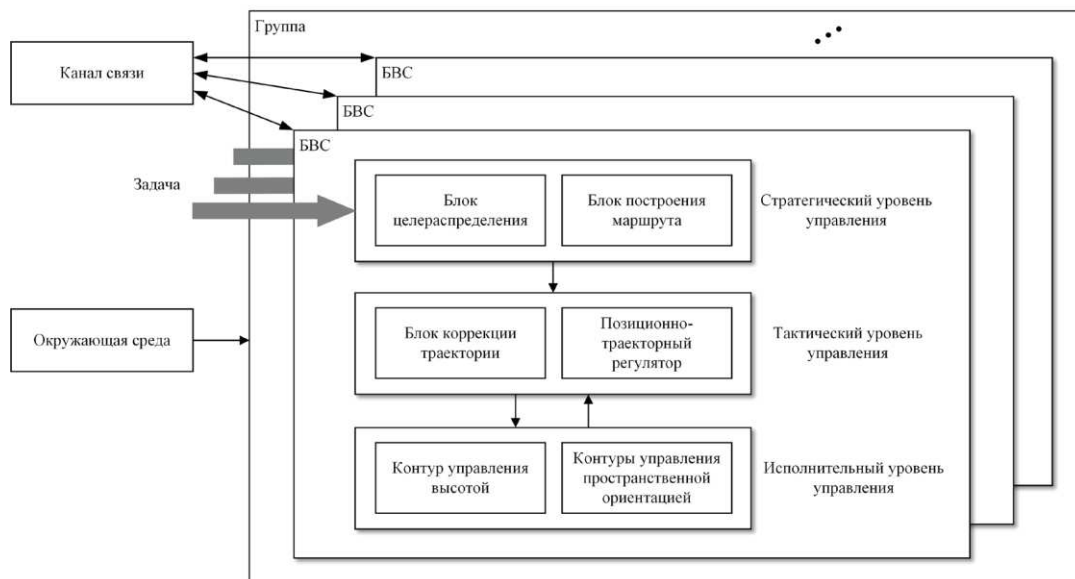


Рисунок 1 – Структурная схема системы группового управления БВС

Математическая модель динамики полёта БВС. В качестве БВС рассматривается квадрокоптер с бесколлекторными электриче-

скими двигателями постоянного тока. Математическая модель описывает динамику движения объекта с шестью степенями свободы, учитывает аэродинамические силы и моменты, динамику двигателей и воздушных винтов (расчёт сил и моментов), процесс разряда аккумуляторной батареи и температурные зависимости её электрических параметров.

Желаемая траектория полёта реализуется траекторным контуром, который принимает координаты заданной точки и формирует заданное пространственное положение БВС. Система управления полётом представляет собой совокупность ПИД-регуляторов, находящихся в контурах управления высотой и пространственной ориентацией БВС. Управление выполняется посредством изменения частот вращения воздушных винтов.

Стратегическое планирование маршрутов объектов (БВС). Гомогенная группа объектов действует в окружающей среде, информация о которой становится частично известной в момент постановки задачи. Суть задачи планирования групповых действий состоит в распределении целей между объектами таким образом, чтобы достигался оптимум эффективности (или «стоимости») решения групповой задачи в смысле назначенного критерия. Кроме того, предсказуемость местонахождения объектов (график прохождения контрольных точек) и возможность оценки состояния больших групп (определение вышедших из строя объектов) требует согласования этих действий во времени.

Первым шагом стратегического планирования является выбор цели, стоящей перед объектом. При наличии n объектов в группе и n целей объект с номером $i = \overline{1..n}$ оценивает свою эффективность в достижении каждой цели $j = \overline{1..m}$ (рассчитывает значение $d_{ij} \geq 0$ на основании выбранных факторов) и обменивается расчётными данными с группой. Распределение целей между объектами считается оптимальным с точки зрения введённых факторов эффективности, если выполняется условие

$$q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \max \quad (1)$$

где q – общая эффективность решения задачи группой, а на значения селектора a_{ij} наложены ограничения вида

$$a_{ij} \in \{0;1\}, \quad \sum_{i=1}^n a_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^m a_{ij} = 1, \quad (2)$$

то есть каждая цель обеспечена одним объектом.

Задача линейного программирования о назначениях в постановке (1), (2) может быть решена с помощью венгерского алгоритма [1]

преобразования матрицы, состоящей из элементов d_{ij} . Поиск решения выполняется бортовым компьютером каждого объекта при постановке задачи группе.

Второй шаг планирования состоит в расчёте маршрута от начальной точки до цели с учётом априорной информации о препятствиях. При этом маршрут должен быть оптимальным по выбранному критерию: например, длине пути. Маршрут представляет собой кусочно-линейную функцию, проходящую через контрольные точки. Эта целевая функция Q , подлежащая оптимизации, в общем виде может быть задана следующим образом:

$$Q = f(\bar{S}, \bar{E}, \vartheta), \quad (3)$$

где \bar{S} – возможное решение задачи (координаты контрольных точек); \bar{E} – информация об окружающей среде (координаты начальной и конечной точек, характеристики препятствий), ϑ – коэффициент увеличения штрафа за пересечение с препятствием.

Итерационный расчёт целевой функции (3) позволяет построить кратчайший маршрут между точками, который обеспечивает обход известных препятствий. Одинаковая дискретизация по времени участков маршрута для всех объектов реализует требование временного согласования.

Высокую эффективность в поиске условного глобального экстремума функций вида (3) имеют метаэвристические алгоритмы [2]. В частности, алгоритм из класса методов «роевого» интеллекта: метод, имитирующий поведение светлячков (Glowworm Swarm Optimization). Если в положении i -го светлячка значение целевой функции хуже, чем в положении j -го светлячка ($i, j = \overline{1..n}$, n – количество светлячков), то первый движется в сторону второго. Изменение координат i -го светлячка в D -мерном пространстве ($p = \overline{1..D}$) осуществляется по формуле

$$x_{i,p}^{k+1} = x_{i,p}^k + \beta_0 e^{-\gamma(r_{ij}^k)^2} (x_{j,p}^k - x_{i,p}^k) + \alpha_0 \delta^k \varepsilon_{ij,p}^k,$$

где k – номер итерации, $x_{i,p}$ – p -я компонента координаты x_i ; r_{ij} – расстояние между светлячками i и j ; β_0 – максимальная «привлекательность» светлячка при $r_{ij} = 0$, γ – коэффициент поглощения света средой; α_0 – масштабирующий коэффициент; δ – коэффициент «охлаждения»; ε_{ij} – случайная величина из диапазона $[0, 1]$.

Тактическое планирование траектории объекта. Считается, что объекты группы подключены к каналу устойчивой защищённой связи, поэтому они имеют возможность непрерывно обмениваться достоверной информацией. При этом задачи, связанные с измерительной,

навигационной системой и работой бортового радиоэлектронного оборудования, не рассматриваются, а затраты на выполнение измерений, обработку и передачу данных учитываются путём введения временной задержки между источником и получателем координат.

Во время следования по маршруту на пути объектов могут возникнуть неучтённые препятствия: другие объекты группы, статические и динамические препятствия. Избежать столкновения позволяет временное отклонение от маршрута. Одним из алгоритмов, позволяющих определить величину и направление отклонения, является метод потенциальных полей [3]. Расчёт коррекции Δx путевой точки с координатой x , передаваемой в траекторный контур системы управления движением объекта, выполняется следующим образом:

$$\Delta x = \max(\min(-\nabla U_r(\rho_i), b_1), b_0),$$

где ρ_i – расстояние от объекта до препятствия, b_0 и b_1 – минимальное и максимальное значение коррекции, U_r – отталкивающий потенциал со стороны препятствия, задаваемый в следующем виде:

$$U_r = \begin{cases} k_r(1/\rho_i - 1/\rho_0)^2 / 2, & \rho_i \leq \rho_0 \\ 0, & \rho_i > \rho_0 \end{cases},$$

где $k_r = \text{const}$ – коэффициент отталкивания; ρ_0 – пороговое значение расстояния, выше которого коррекция не производится.

Коррекция выполняется относительно точки входа объекта в зону взаимодействия с препятствием. После выхода из зоны взаимодействия путевые точки передаются в контур управления в соответствии с графиком, а объект компенсирует отставание за счёт увеличения скорости движения.

Заключение. В целях обеспечения возможности анализа состоящих из БВС многоагентных систем, отработки методов управления полётом, автоматизации оценки эффективности решения задачи группой объектов разработан комплекс программных модулей на базе пакета MATLAB с использованием средств моделирования физических систем Simulink. Комплекс позволяет выполнять имитационное моделирование работы группы объектов по представленной методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Harold W. Kuhn. The Hungarian Method for the assignment problem // Naval Research Logistics Quarterly. – 1955. – № 2. – P. 83-97.
2. Метаэвристические алгоритмы глобальной оптимизации / А.В. Пантелеев, Д.В. Сквинская. – М.: Вузовская книга, 2019. – 332 с.
3. Лю В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 1. С. 15-58.