

УДК 004.94

МНОГОУРОВНЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

М.И. Кочергин, к.т.н., доцент (ТУСУР),
В.М. Дмитриев, д.т.н., профессор, профессор (ТУСУР),
Т.В. Ганджа, д.т.н., доцент, профессор (ТУСУР)
г. Томск

Моделирование поведения роя беспилотных транспортных аппаратов (БТА) представляет собой актуальную задачу для различных областей народного хозяйства, таких как добывающая промышленность [1], агропромышленный комплекс [2], а также при поисково-исследовательских работах на территориальных участках [3] и пр. При этом важным является не столько вопрос моделирования динамики полёта (наземного движения), который имеет известное решение, например, [4], а моделирование системы (в частном случае, интеллектуального) управления роем БТА. В данной работе предлагается многоуровневое представление системы управления роем БТА на базе метода многоуровневых компонентных цепей (ММКЦ) [5].

ММКЦ применим для моделирования систем мультифизической природы и предполагает разделение модели любой системы на три уровня (рис. 1): объектный (С-уровень), содержащий модель объекта управления, логический (L-уровень), содержащий модель системы управления или сценарий вычислительного эксперимента над моделью, и визуальный уровень (V-уровень), содержащий интерактивный графический интерфейс управления компьютерной моделью.

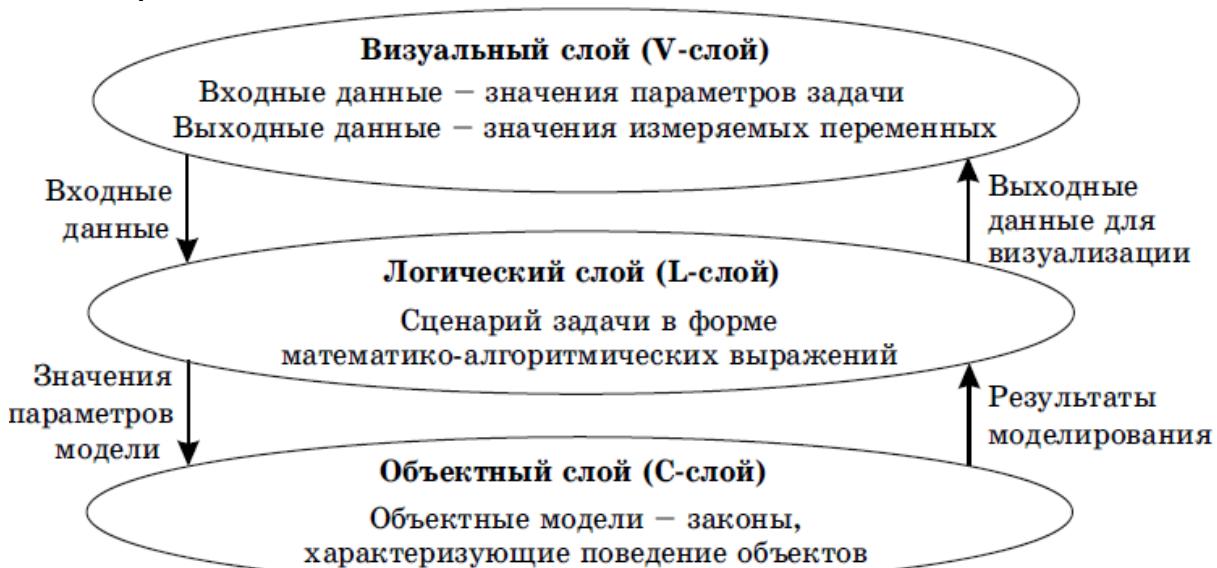


Рисунок 1 – Многоуровневое представление компьютерной модели

На базе ММКЦ функционирует отечественная среда моделирования МАРС [6], которая доступна для ознакомления по ссылке: https://github.com/mikochergin/SE_MARS_demo_doc. Далее рассмотрим обобщённое многоуровневое представление системы управления роем БТА, которое возможно реализовать в СМ МАРС.

Обобщённая многоуровневая модель иерархического управления роем БТА представлена на рис. 2.

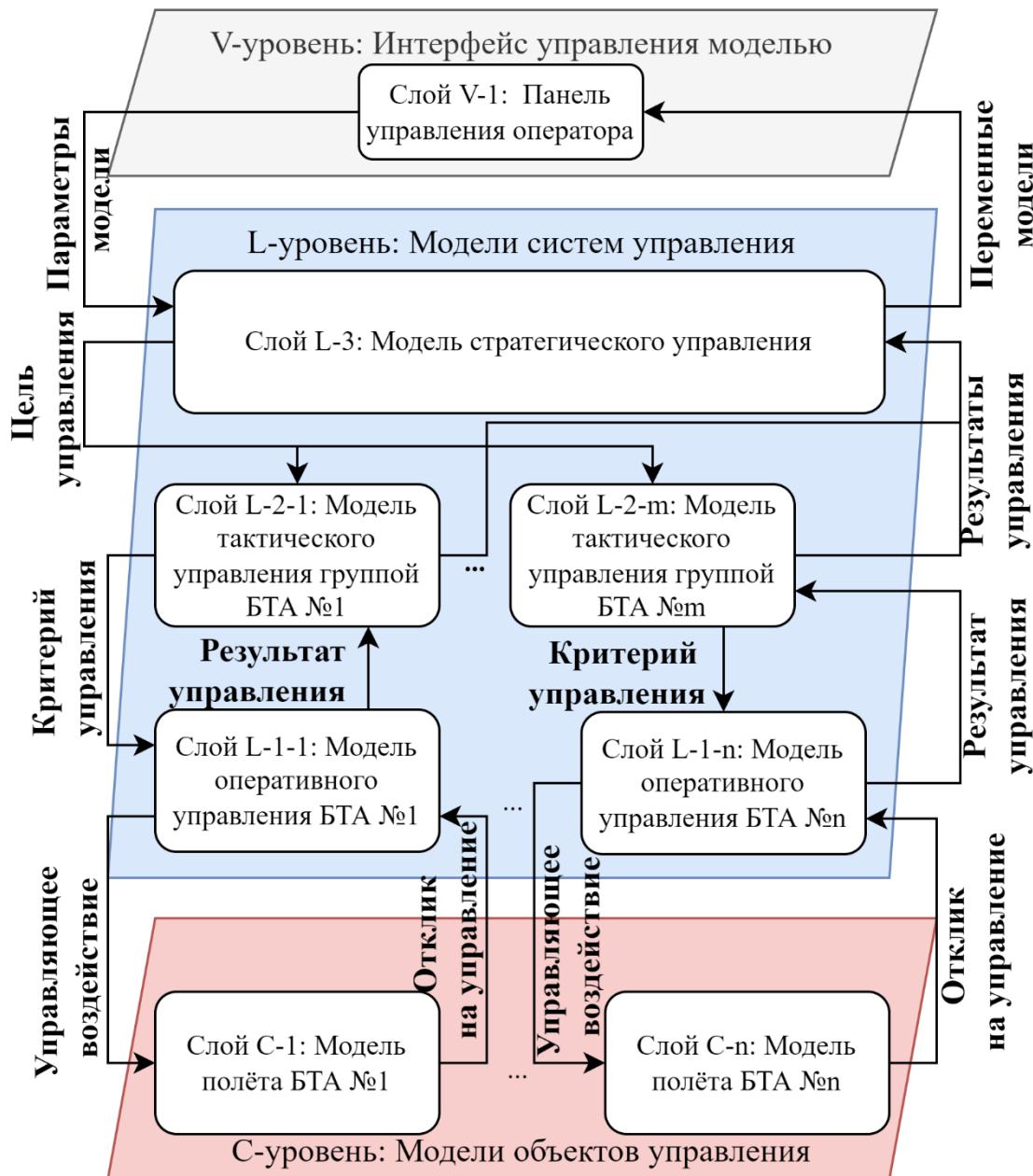


Рисунок 2 – Обобщённое представление управления роем БТА

Модель управления роем БТА состоит из трёх типов слоёв на L-уровне, соответствующих уровням иерархической системы управления: стратегическое (планирование и оценка целесообразности поведения), тактическое (планирование с учётом динамики исполнительных подсистем и состояния текущих изменений внешней среды) и оперативное (обеспече-

ние стабильности параметров системы или их оперативной адаптации к возникающим изменениям внешней среды или вариациям параметров управления).

Детализируем связку модели оперативного и стратегического управления с моделью объекта управления и рассмотрим предлагаемый алгоритм управления на основе комбинации клеточного автомата и компонентной схемы управления (рис. 3). Для упрощения отображения схемы будем считать движение плоским (по координатам x и y).

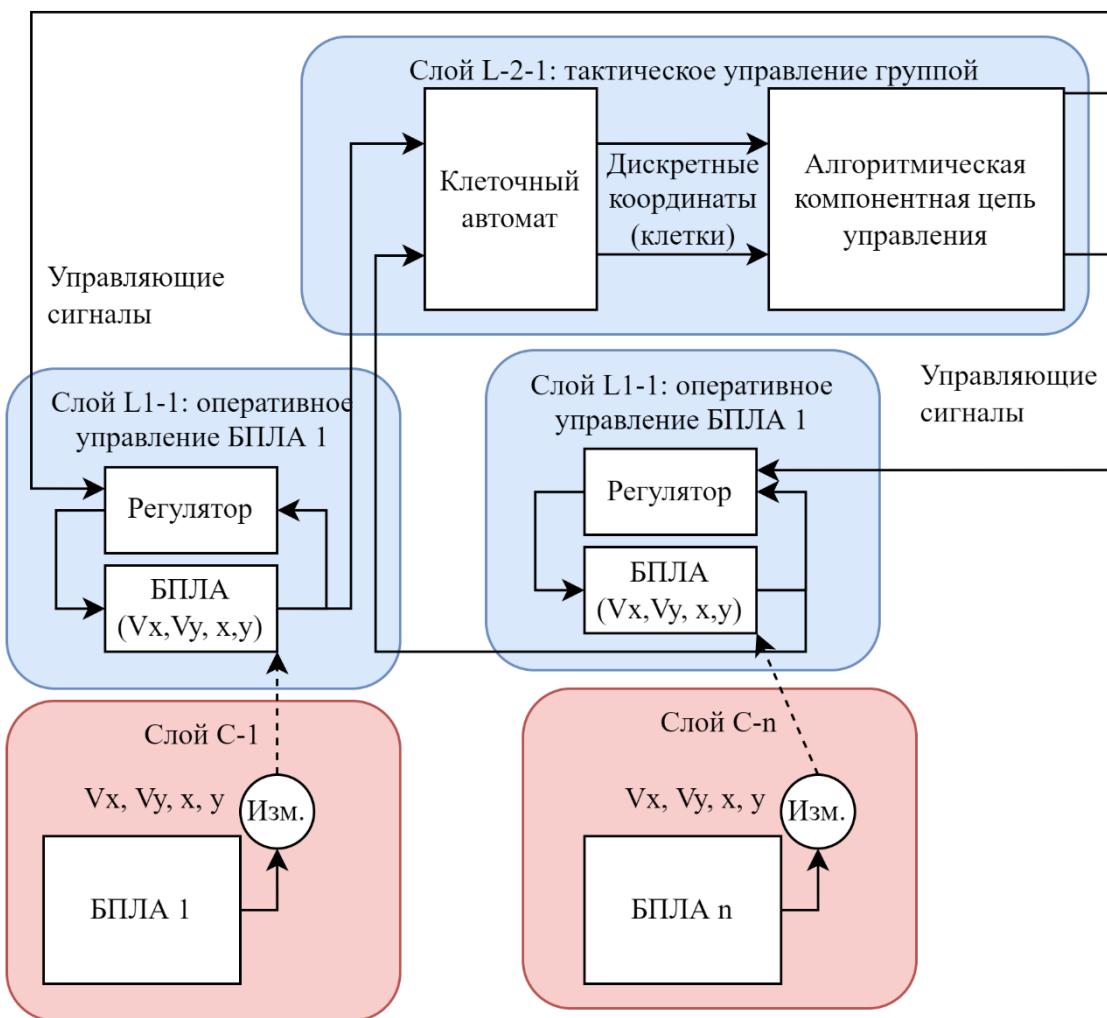


Рисунок 3 – Детализация связки оперативного уровня и тактического управления и модели объекта управления

Как видно из рис. 3, на С-слое описывается непрерывная модель объекта управления, для которой:

1) на L-уровне на слое оперативного управления располагается регулятор (это может быть ПИД-регулятор с уже подобранными коэффициентами или регулятор на основе методов интеллектуального управления, например, нейронной сети – см. пример в работе [7]. Модель оперативного управления решает задачи поведения отдельных БТА: формирование маршрута до цели, обхода препятствий (столкновений) и пр.

2) на L-уровне на слое стратегического управления переводится в дискретную – на дискретной модели решается задача координации группы (роя) БТА с учётом влияния внешней среды и взаимовлияния БТА друг на друга.

Расположенный на L-уровне на слое стратегического управления компонент «Клеточный автомат» принимает на вход (слева) координаты объекта и на основе заданной в нём сетки выдаёт дискретное положение объекта (номер клетки – условно «строку» и «столбец») справа вместе с состоянием всех клеток (заняты / свободны). Эти данные передаются в алгоритмическую компонентную цепь, которая для упрощения отображения представлена на рис. 3 одним блоком. В самой модели же компонентная алгоритмическая цепь для управления объектом представляет собой последовательность блоков, каждый из которых выполняет определенную функцию или операцию. Эти блоки могут быть различными математико-алгоритмическими конструкциями, включая в себя условные операторы (вида «если-то»), математические операции, операции сравнения, конечные автоматы, сети Петри, блоки обработки данных, модели машинного обучения (интеллектуального управления) и т.д.

Такой переход к дискретной форме позволяет применить широкий класс математических методов для решения различных задач: 1) математическое программирование для решения транспортной задачи [8] – для минимизации транспортных расходов при построении траекторий движения роя БТА к целевым объектам, 2) решение прикладной задачи, требующей создания отметок в посещённых «клетках» (например, отметки исследованных областей-«клеток» при поиске объектов или людей с воздуха) и т.д.

Таким образом, состав алгоритмической компонентной цепи определяется характером решаемой задачи и составляется из компонентов (блоков) как конструктор, что позволяет рассматривать предлагаемый подход как универсальный инструмент моделирования поведения роя БТА. Подход допускает моделирование как систем с централизованной схемой управления, так и децентрализованной (применительно к которой и приведена схема на рис. 2). При централизованной схеме управления алгоритмы следования ведомого за ведущим задаются на слоях оперативного управления, а алгоритмы выбора / переключения с одного ведущего на другого (например, ближайшего) – на слое тактического управления.

Таким образом, предлагаемое представление является попыткой построения универсального инструмента-конструктора, позволяющего строить модели управления роем БТА для решения широкого класса задач.

Список литературы:

1. Интеллектуальные комплексы управления «роем» беспилотных карьерных автосамосвалов / В. А. Хакулов, В. А. Шаповалов, В. В. Яхеев [и др.] // Сенсорное Слияние - 2023: доклады IV Всесоюзного Конгресса по

сенсорике и экономике, Санкт-Петербург - Кронштадт, 30–31 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Б. и., 2023. С. 107-116.

2. Веселов Г. Е. Управление роем роботов при исследовании некоторой территории методом силовой релаксации / Г. Е. Веселов, Б. К. Лебедев, О. Б. Лебедев // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 5(207). С. 184-193. DOI 10.23683/2311-3103-2019-5-184-193.

3. Нгуа Ндонг Авеле Ж. Б. Разработка программно-алгоритмического обеспечения и системы коммуникации взаимодействия для управления роем беспилотных летательных аппаратов, выполняющих миссию по мониторингу в группе // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2023. № 1. С. 66-76. DOI 10.32603/2071-8985-2023-16-1-66-76.

4. Малахов С. О. Моделирование динамики полета беспилотных летательных аппаратов в среде динамического моделирования SimInTech / С. О. Малахов, Ф. Ф. Оленко // Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 2(99). С. 151-156. DOI 10.34046/autmsuomt99/22.

5. Дмитриев В. М. Матрично-топологический анализ компонентных цепей / В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа, М. И. Кочергин // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 62. С. 25-35. DOI 10.17223/19988605/62/3.

6. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем / В. М. Дмитриев, А. В. Шутенков, Т. Н. Зайченко, Т. В. Ганджа. Томск: В-Спектр, 2011. 277 с.

7. Кочергин М. И. Реализация нейронных сетей в методе многоуровневых компонентных цепей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 6. С. 1162-1170. DOI 10.17586/2226-1494-2023-23-6-1162-1170.

8. Котенко А. П. Конечный автомат для моделирования взаимодействия роя роботов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017): сборник трудов III международной конференции и молодежной школы, Самара, 25–27 апреля 2017 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева. – Самара: Предприятие "Новая техника", 2017. С. 1451-1454.

Информация об авторах:

Кочергин Максим Игоревич, к.т.н., доцент кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП), Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, maksim.i.kochergin@tusur.ru

Дмитриев Вячеслав Михайлович, д.т.н., профессор, профессор кафедры КСУП ТУСУР, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, viacheslav.m.dmitriev@tusur.ru

Ганджа Тарас Викторович, д.т.н., доцент, профессор кафедры КСУП ТУСУР, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, gty@mail.tusur.ru