

# Структурные и функциональные аспекты архитектурного описания управления многокомпонентным динамическим объектом

Д.В. Миняйло, В.В. Баранюк, О.С. Крылова

**Аннотация** – Статья посвящена вопросам управления сложными многокомпонентными динамическими системами на примере группы беспилотных летательных аппаратов. Объектом исследования является группа беспилотных летательных аппаратов, а Предметом исследования – управление многокомпонентным динамическим объектом в условиях непредсказуемого поведения внешней среды. Для исследования различных вопросов, связанных с управлением многокомпонентной системы, целесообразно разрабатывать архитектуру такой системы. В статье описаны структурные и функциональные аспекты архитектурного описания управления многокомпонентным динамическим объектом.

При рассмотрении структурного аспекта многокомпонентного динамического объекта учитывается, что взаимодействие внутри группы агентов зависит от ее конфигурации, в частности от наличия единого центра управления или агента-лидера. Рассмотрены три основных формы организации связи многокомпонентных объектов. Представлена структурная схема взаимодействия агентов в составе группы.

Особенности управления включают в себя ограничения, которые накладываются как на систему в целом, так и на отдельные объекты группы. Это обусловлено условиями внешней среды, а также воздействием, которое каждый агент оказывает на систему в процессе своего функционирования.

Функциональная составляющая архитектурного описания управления многокомпонентным динамическим объектом представляет собой некоторый алгоритм взаимодействия однородных агентов, имеющих общую целевую функцию.

Рассмотрены особенности обмена информацией при разных типах управления системой – централизованном, децентрализованном и смешанном управлении. Представлены UML-диаграммы, описывающие алгоритмы функционирования группы беспилотных летательных аппаратов при разных типах управления системой. Обозначены достоинства и недостатки каждого из указанных типов для применения в области управления многокомпонентными системами.

**Ключевые слова** – многокомпонентный динамический объект; беспилотные летательные аппараты; архитектурное описание; функциональная составляющая; многоагентная система.

## ВВЕДЕНИЕ

В рамках исследования управления сложными многокомпонентными динамическими объектами на примере группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) рассматриваются основные вопросы группового поведения многокомпонентной системы. Для этого разработано архитектурное описание управления группой БПЛА. Рассмотрение структурного и функционального аспектов архитектурного описания позволило определить возможные конфигурации и ограничения, которые необходимо учитывать при управлении группой объектов. Представленные диаграммы деятельности для централизованного, децентрализованного и смешанного типов управления позволили выявить отличия функциональных составляющих архитектурного описания для разных типов управления многокомпонентным динамическим объектом.

Для решения задач управления многокомпонентной системой, где каждый из объектов наделен некоторой автономностью, целесообразно использовать подход исследования многоагентных систем [1, 2]. Он включает в себя методы управления агентами в группе, организацию коммуникации между ними и некоторые действия, в результате которых происходит формирование или перепланирование структуры группы.

В работах Л. Гассера [3] выделяется три основных формы организации:

- стабильная организация с постоянными жестко фиксированными связями;
- стабильная организация с переменными (вариабельными) связями;
- развивающаяся организация с эволюционирующими связями.

Статья получена 11.10.2019 г.

Исследование выполнено федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский технологический университет» (МИРЭА) за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-04326).

Д.В. Миняйло - МИРЭА (e-mail: dariaminyailo@gmail.com).

К.Т.Н., с.н.с., В.В. Баранюк - МИРЭА (e-mail: valentina\_bar@mail.ru).

О.С. Крылова - МИРЭА (e-mail: mail.olga.smirnova@yandex.ru).

В первой форме связи жестко фиксированы, что означает неизменность ролей и функций каждого агента. Все взаимодействие четко регламентировано, стратегия поведения остается неизменной на протяжении всего функционирования группы.

Вторая форма взаимодействия характеризуется переменными (вариабельными) связями, которые соответствуют стабильным организационным структурам с изменяющимися параметрами. В таких структурах возможны изменения во взаимодействии между агентами. Этот тип наиболее часто встречается в многоагентных системах.

Третья форма характеризуется развитием организационной структуры, то есть, когда сама структура также вариабельна. Тогда и отношения между агентами могут меняться.

Таким образом, структура многокомпонентного динамического объекта может формироваться несколькими способами. С одной стороны, она может быть фиксирована, при этом параметры и связи должны строго задаваться в начале процесса проектирования. С другой стороны, структура может возникать спонтанно, адаптируясь к целям и изменениям внешней среды. В таких структурах чаще применяется реактивный тип агентов, а распределение заданий происходит в процессе самоорганизации [4 – 6].

Группу БПЛА можно рассматривать как многокомпонентный динамический объект, в состав которой входят объекты – БПЛА. Для обеспечения взаимодействия БПЛА в такой группе необходимо предусмотреть реализацию следующих процессов:

- управление действиями беспилотных летательных аппаратов;
- обеспечение безопасности полета;
- контроль выполнения поставленных задач;
- оценка относительного положения всей группы и ее отдельных объектов и др.

Управление и контроль действий группы в первую очередь включает в себя определение местоположения группы и объектов, а также учет количества объектов системы. В большинстве случаев, управление БПЛА осуществляется с помощью бортового комплекса навигации и управления, в состав которого входят [7, 8]:

- навигационная система;
- система датчиков и сигналов, обеспечивающая параметры движения БПЛА;
- различные виды антенн и датчиков для выполнения задач;
- модуль автопилота.

Для получения и передачи информации при выполнении вышеуказанных процессов необходимо обеспечение связи между объектами всей системы управления, например, между группой БПЛА и наземным комплексом управления (наземной станцией).

Следует отметить, что передача информации возможна не только между отдельным БПЛА с наземной станцией, но и между группой беспилотных аппаратов и наземной станцией, а также внутри самой группы [9].

При проектировании информационного взаимодействия между агентами предлагается

использовать, в основном, пертинентные потоки информации [10]. Такие информационные потоки характеризуются степенью близости получаемой БПЛА информации и информации, необходимой для решения конкретной задачи. Они соответствуют определенной информации, которая отвечает информационным потребностям каждого агента в группе.

При рассмотрении структурного аспекта архитектурного описания многокомпонентного динамического объекта необходимо иметь в виду, что взаимодействие внутри группы агентов зависит от ее конфигурации, в частности от наличия единого центра управления или агента-лидера. Кроме этого, необходимо учитывать особенности управления конкретной группой объектов, а также ограничения, которые могут накладываться как на систему в целом, так и на отдельные объекты группы. Это может быть обусловлено условиями внешней среды, а также воздействием, которое каждый объект, в процессе своего функционирования, оказывает на всю группу.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия агентов в составе многокомпонентного динамического объекта (группы), где:

- агент  $A_1 - A_n$  – некоторый объект группы;
- агент-лидер – объект группы, реализующий управление группой;
- $Z_1 - Z_n$  – элементы внешней среды, влияющие на функционирование системы.

На схеме отображены постоянные связи между членами группы. Связи агентов с центром управления и агентом-лидером (пунктирные линии на схеме) могут варьироваться от заданных характеристик системы.

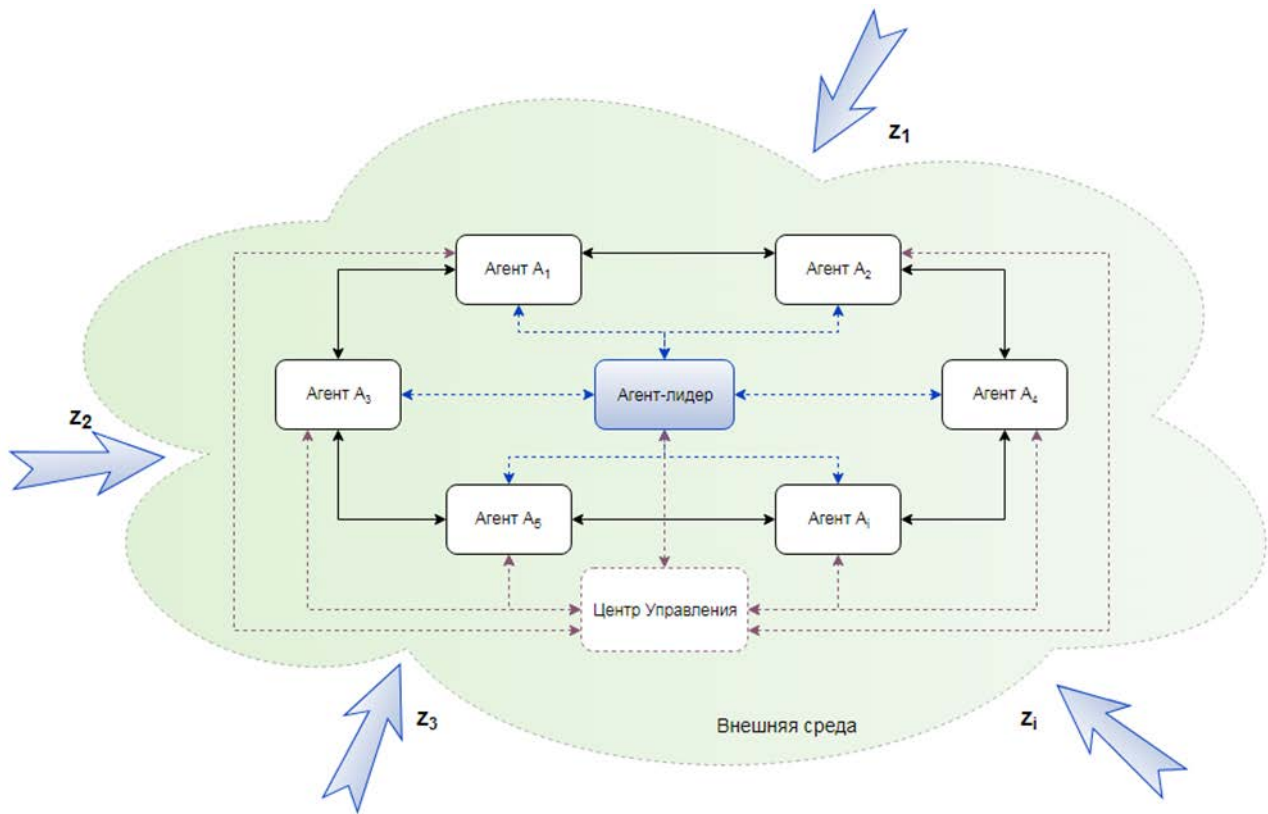


Рисунок 1 – Структурная схема взаимодействия

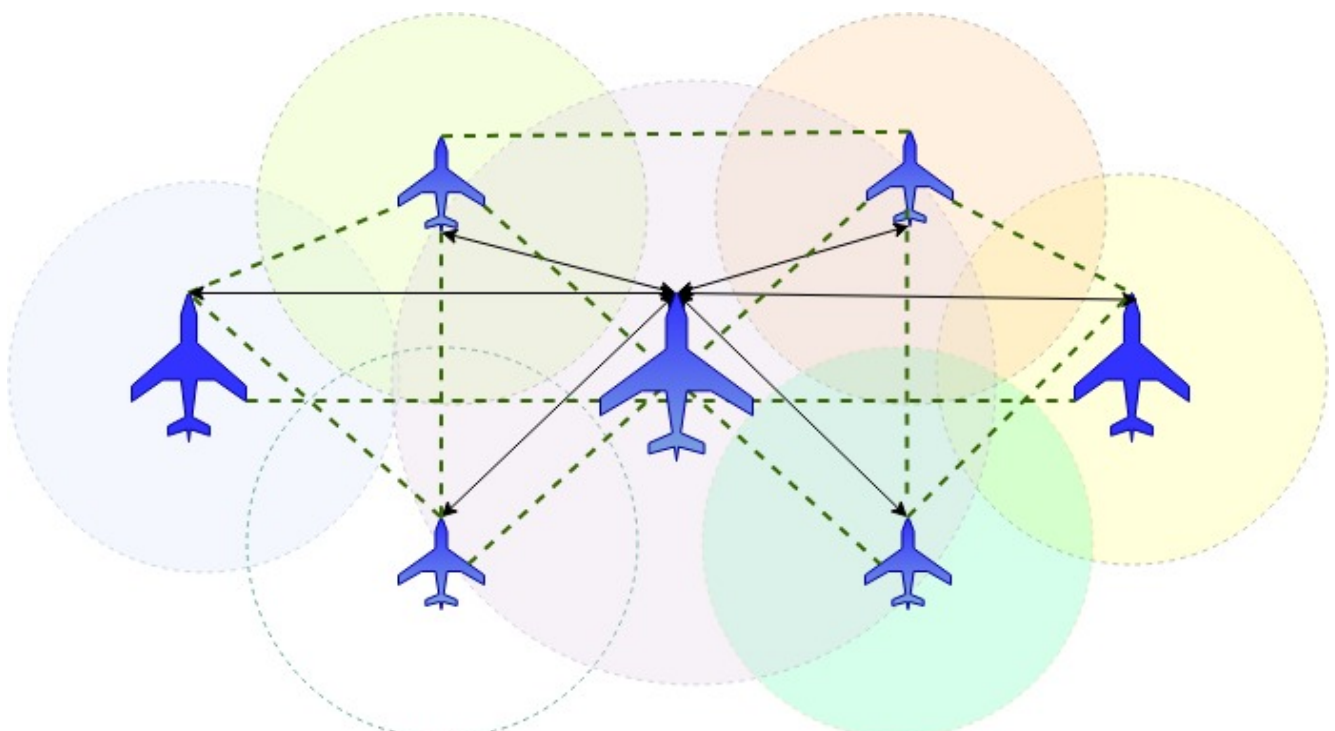


Рисунок 2 – Схема обмена информацией

В отличие от классических систем управления, где агенты системы лишь выполняют порученные им задания, в многоагентных системах предполагается возможность делегирования задач между агентами, при этом не ограничивая агента строгой субординацией.

Функциональная составляющая архитектуры системы управления многокомпонентным динамическим объектом представляет собой некоторый алгоритм взаимодействия однородных агентов, имеющих общую целевую функцию. Предполагается, что отдельный агент может иметь лишь частичное представление об общей задаче и способен решить лишь некоторую ее подзадачу. При этом каждый агент остается относительно простым, что повышает надежность системы. Также надежность подобной системы можно повысить путем увеличения количества однотипных агентов. Таким образом, даже при выходе из строя одного или нескольких агентов, оставшиеся смогут продолжить решение поставленной подзадачи.

Сущность алгоритма управления группой заключается в оптимальном распределении заданий БПЛА, с доведением индивидуальных заданий до БПЛА системой связи и в реализации процессов централизованного и децентрализованного управления агентами на основе технологий мультиагентных систем с постоянным возобновлением итерационного цикла управления. Для такого управления необходима поддержка постоянной связи между агентами [11, 12].

Каждый агент представляет собой совокупность аппаратно-программных компонентов.

Аппаратная часть предназначена для получения информации о внешней среде с помощью сенсоров, а также для обеспечения возможности воздействия на внешнюю среду, в частности для управления исполнительными устройствами, обеспечивающими возможность «общения» между агентами [13 – 16].

Программная часть производит анализ входных сигналов с сенсоров, участвует в формировании картины внешнего мира, отвечает за механизм принятия решений, формирует управляющие сигналы для передачи данных.

На рисунке 2 изображена схема обмена информацией: между каждым агентом группы, а также от лидера ко всем участникам группы. Ореолами выделены радиусы захвата (фото/видео съемки и сбор прочих данных) каждого агента.

Для представления функциональной составляющей архитектуры системы управления многокомпонентным динамическим объектом предлагается использовать унифицированный язык моделирования (Unified Modeling Language, UML), т.е. это систему обозначений, которую можно применять для объектно-ориентированного анализа и проектирования. Комплексный алгоритм управления многокомпонентным динамическим объектом можно представить с помощью диаграммы деятельности UML.

В рамках группового управления рассматриваются несколько типов взаимодействия агентов в системе. На примере UML-диаграммы деятельности рассмотрены особенности обмена информацией при разных типах

управления системой – централизованном, децентрализованном и смешанном управлении.

Полностью централизованная система управления, где агенты равны по своим характеристикам, представлена на рисунке 3. Центр управления является приоритетным звеном системы, которое определяет поведение агентов, обрабатывает всю поступающую информацию. Достоинства централизованного управления в том, что подобную систему легче спроектировать, а также спрогнозировать ее поведение, удобнее контролировать выполнение задач и др. Недостатки связаны с устойчивостью системы – в случае, если центр управления выйдет из строя, под угрозой окажется вся группа агентов.

Децентрализованная система, в которой задачи распределены между агентами в равной степени, представлена на рисунке 4. Центр управления в данном случае выступает в роли «заказчика», который выдает задания и получает информацию об их выполнении. В качестве достоинств децентрализованного управления следует отметить то, что агенты полностью автономны, каждый агент может выполнять полный цикл обработки полученной информации и контролировать свое состояние. К недостаткам можно отнести большие затраты на ресурсы для каждого объекта и, обычно, ограничение количества агентов в группе.

Смешанная система, где система частично децентрализована и есть агент-лидер, который играет роль автоматизированного оператора системы, представлена на рисунке 5. Основным достоинством смешанного управления является то, что агенты частично автономны, каждый агент может контролировать свое состояние, при этом существенно экономятся ресурсы, т.к. обработку информации выполняет только один агент. Недостатком является то, что в случае выхода из строя агента-лидера выполнение задачи становится под угрозу.

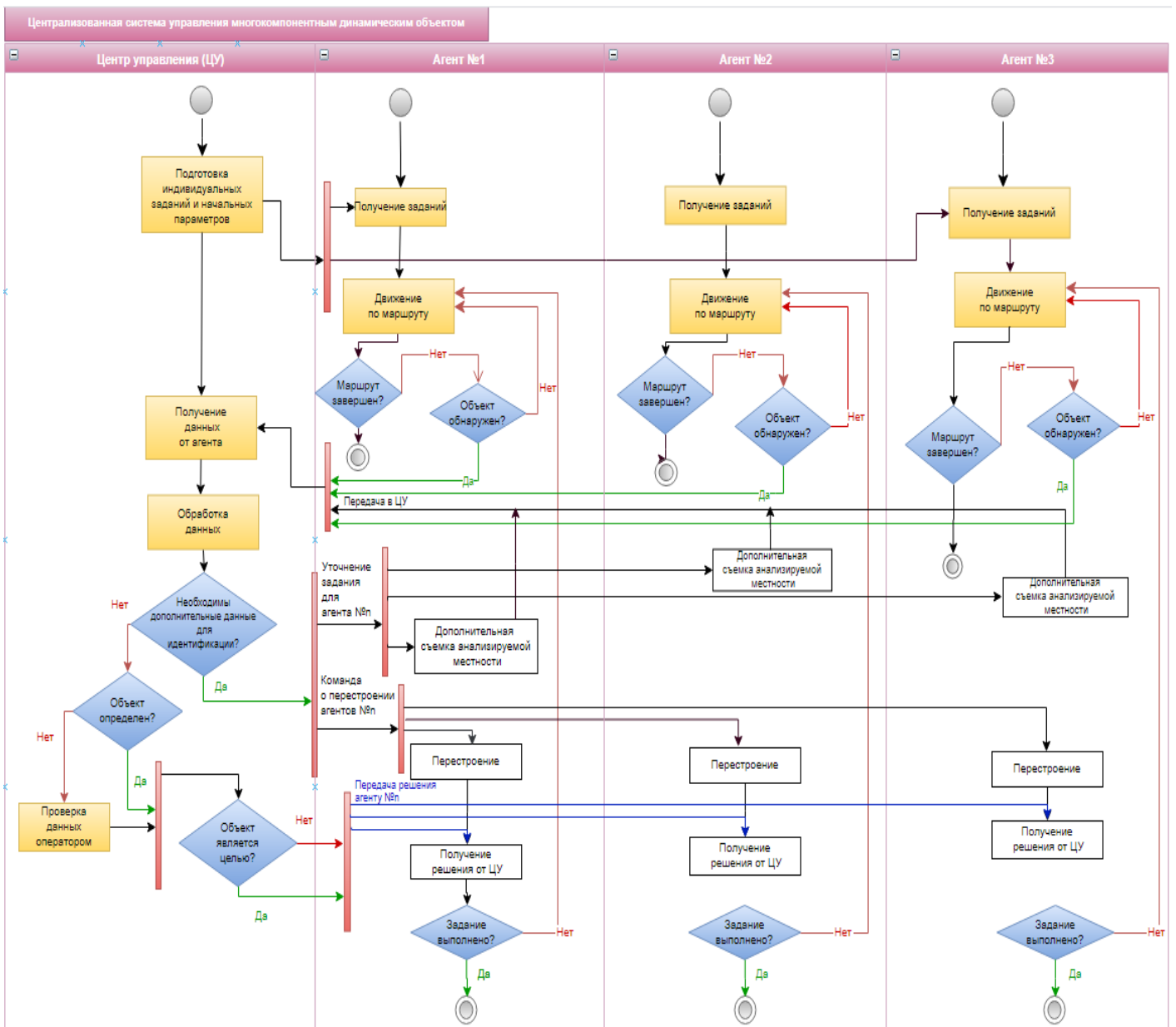


Рисунок 3 –Централизованное управление группой агентов

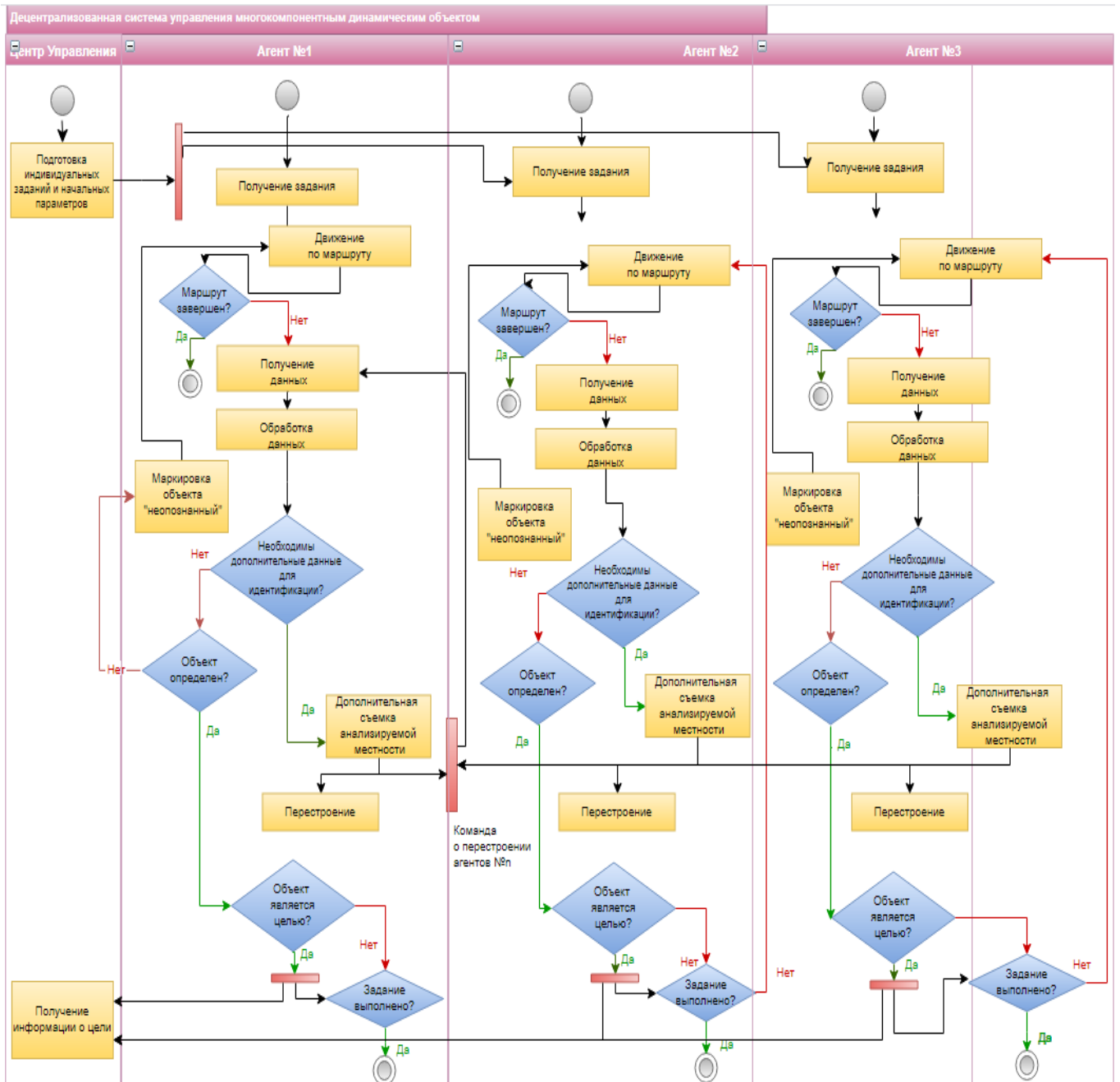


Рисунок 4 – Децентрализованное управление группой агентов

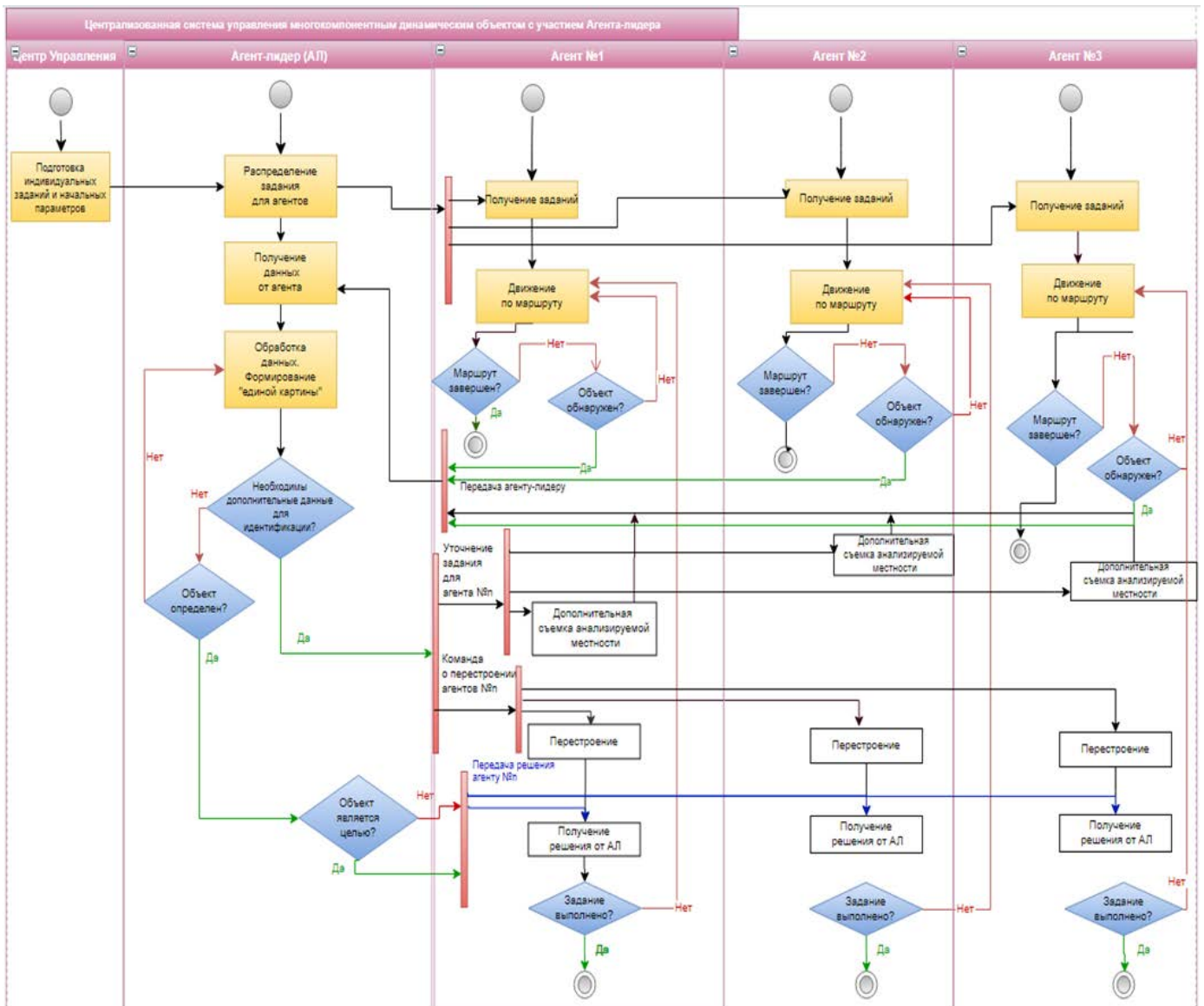


Рисунок 5 – Смешанное управление группой агентов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования процесса управления многокомпонентным динамическим объектом целесообразно разработать его архитектурное описание, позволяющее представить этот объект в виде системы, а также рассмотреть его особенности и детали с различных точек зрения.

Рассмотрение структурного и функционального аспектов архитектурного описания на примере группы беспилотных летательных аппаратов позволило определить возможные конфигурации и ограничения, которые необходимо учитывать при управлении группой объектов.

Анализ разработанных диаграмм деятельности для централизованного, децентрализованного и смешанного типов управления позволил выявить отличия функциональных составляющих архитектурного описания управления многокомпонентным динамическим объектом, которые могут быть учтены при выборе типа управления в области разработки многокомпонентных систем.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Соловьев и др. Единое информационно-функциональное пространство ВМФ: от идеи до реализации/ под общей ред. В.И. Кидалова – СПб, Ника, 2003 – 490 с.
- [2] Ильиных В. В., Андреев С. В., Ключников А. В., Чертков М. С. Моделирование динамики полёта беспилотного летательного аппарата в компьютеризированном имитационном стенде // НиКа. 2011. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-dinamiki-polyota-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-v-kompyuterizirovannom-imitatsionnom-stende> (дата обращения: 19.05.2019).
- [3] L. Gasser, An Overview of DAI, Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis, 1992, pp. 9-30.
- [4] Vehicles / A. Tsourdos, [et al.]. John Wiley & Sons, Ltd, 2010. 212 p.
- [5] Баранюк В.В., Миняйло Д.В., Смирнова О.С. Планирование действий смешанных робототехнических группировок в условиях «балансирования на грани», International Journal of Open Information Technologies, Том 4, No 12, 2016, с. 16 – 20.
- [6] Сигов А.С., Нечаев В.В., Баранюк В.В., Смирнова О.С. Использование интеллектуального решателя в задачах управления смешанными робототехническими группировками. Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2017) в 3-х томах. 3 с. С. Дивноморское, сентябрь 2017 г.
- [7] Поспелов Д.А. От коллектива автоматов к мультиагентным системам // Труды Международного семинара «Распределенный искусственный интеллект и многоагентные системы» (DAIMAS'97, Санкт-Петербург, Россия, 15-18 июня 1997). – С.319 – 325.
- [8] Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1). – М.: «Ракурс», 2011.
- [9] Baranyuk V.V., Minyaylo D.V., Smirnova O.S. Modelling heterogeneous robot squads in unstable situations. Selected Papers of the XII International Scientific-Practical Conference Modern Information Technologies and IT-Education (SITITO 2017), Moscow, Russia, November 24 – 26, 2017. 8p.
- [10] Alexander Sigov, Valentin Nechaev, Valentina Baranyuk, Olga Smirnova. Approaches to group control and information-

driven interaction in heterogeneous robot squads. Selected Papers of the First International Scientific Conference Convergent Cognitive Information Technologies (Convergent 2016), Moscow, Russia, November 25-26, 2016. P.146 – 151.

[11] Городецкий В.И. Многоагентные системы: основные свойства и модели координации поведения// Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – №1. – С.22 – 34.

[12] Burkhard H.-D. Liveness and Fairness Properties in Multi-Agent Systems// Proc. of the 13th Int. Joint Conference on Artificial Intelligence (Chambery, France, 1993). Vol.1. – P.325 – 330.

[13] Каляев И. А., Гайдук А.Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

[14] Gazi V., Fidan B. Coordination and Control of Multi-agent Dynamic Systems: Models and Approaches // Swarm Robotics. Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4433. P. 71 – 102.

[15] Эпов М.И., Злыгостев И.Н. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. №-3. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoy-razvedke> (дата обращения: 19.09.2019).

[16] Леви С.А. Разработка мультиагентной системы для управления группой БПЛА. Санкт-Петербургский Государственный Университет, 2010.



# Structural and functional aspects for defining control architectural of multi-component dynamic object

D.V. Minyaylo, V.V. Baranjuk, O.S. Krylova

**Abstract** – The article dealt with the multi-component dynamic systems complex control issue by the case of a unmanned aerial vehicles group. The object of research is a unmanned aerial vehicles group and the research subject is the control of a multi-component dynamic object in the conditions of unpredictable behavior of the external environment. To study such various issues it appropriate to draw up architecture of the multi-component system control. The article describes the structural and functional aspects for defining control architectural of multi-component dynamic object.

The interaction within a group of agents depends on its configuration, in particular, on the presence of a single control center or agent-leader. It should be taken into account in examining the structural aspect of a multi-component dynamic object. Three main forms of communication organization of multi-component objects are considered. The structural scheme of interaction of agents in the group is presented.

Management features include restrictions that are imposed on the system as a whole, as well as on individual objects of the group. It is conditioned by the conditions of the external environment and the impact of each agent has on the system in the course of its operations.

The functional component of the architectural description of a multi-component dynamic object control is a certain algorithm of interaction between homogeneous agents having a common target function.

The peculiarities of information exchange at different types of system control - centralized, decentralized and mixed control - are considered. UML-diagrams describing algorithms of functioning of a group of unmanned aerial vehicles at different types of system control are presented. Advantages and disadvantages of each of these types for application in the field of multi-component systems control are indicated.

**Keywords** – multi-component dynamic object; unmanned aerial vehicles; architectural description; functional component; multi-agent system.

## REFERENCES

- [1] Solov'ev i dr. Edinoe informacionno-funkcional'noe prostranstvo VMF: ot idei do realizacii/ pod obshhej red. V.I. Kidalova – SPb, Nika, 2003 – 490 s.
- [2] Il'inyh V. V., Andreev S. V., Kljuchnikov A. V., Chertkov M. S. Modelirovanie dinamiki poljota bespilotnogo letatel'nogo apparata v komp'yuterizirovannom imitacionnom stende // NiKa. 2011. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-dinamiki-polyota-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata-v-kompyuterizirovannom-imitatsionnom-stende> (data obrashhenija: 19.05.2019).
- [3] L. Gasser, An Overview of DAI, Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis, 1992, pp. 9-30.
- [4] Vehicles / A. Tsourdos, [et al.]. John Wiley & Sons, Ltd, 2010. 212 p.
- [5] Baranjuk V.V., Minyaylo D.V., Smirnova O.S. Planirovanie dejstvij smeshannyh robototekhnicheskikh gruppirovok v usloviyah «balansirovanija na grani», International Journal of Open Information Technologies, Tom 4, No 12, 2016, s. 16 – 20.
- [6] Sigov A.S., Nechaev V.V., Baranjuk V.V., Smirnova O.S. Ispol'zovanie intellektual'nogo reshatelja v zadachah upravlenija smeshannyimi robototekhnicheskimi gruppirovkami. Materialy 10-j Vserossijskoj mul'tikonferencii po problemam upravlenija (MKPU-2017) v 3-h tomah. 3 s. S. Divnomorskoe, sentjabr' 2017 g.
- [7] Pospelov D.A. Ot kolektiva avtomatov k mul'tiagentnym sistemam // Trudy Mezhdunarodnogo seminaru «Raspredelennyj iskusstvennyj intellekt i mnogoagentnye sistemy» (DAIMAS'97, SanktPeterburg, Rossija, 15-18 ijunja 1997). – S.319 – 325.
- [8] Zinchenko O.N. Bespilotnye letatel'nye apparaty: primenenie v celjah ajerofotos'emki dlja kartografirovanija (chast' 1). – M.: «Rakurs», 2011.
- [9] Baranyuk V.V., Minyaylo D.V., Smirnova O.S. Modelling heterogenous robot squads in unstable situations. Selected Papers of the XII International Scientific-Practical Conference Modern Information Technologies and IT-Education (SITITO 2017), Moscow, Russia, November 24 – 26, 2017. 8p.
- [10] Alexander Sigov, Valentin Nechaev, Valentina Baranyuk, Olga Smirnova. Approaches to group control and information-driven interaction in heterogeneous robot squads. Selected Papers of the First International Scientific Conference Convergent Cognitive Information Technologies (Convergent 2016), Moscow, Russia, November 25-26, 2016. P.146 – 151.
- [11] Gorodeckij V.I. Mnogoagentnye sistemy: osnovnye svoystva i modeli koordinacii povedenija// Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy. – 1998. – #1. – S.22 – 34.
- [12] Burkhard H.-D. Liveness and Fairness Properties in Multi-Agent Systems// Proc. of the 13th Int. Joint Conference on Artificial Intelligence (Chambery, France, 1993). Vol.1. – P.325 – 330.
- [13] Kaljaev I. A., Gajduk A.R., Kapustjan S. G. Modeli i algoritmy kolektivnogo upravlenija v gruppah robotov. M.: FIZMATLIT, 2009. – 280 s.
- [14] Gazi V., Fidan B. Coordination and Control of Multi-agent Dynamic Systems: Models and Approaches // Swarm Robotics. Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4433. P. 71 – 102.
- [15] Jepov M.I., Zlygostev I.N. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v ajerogeofizicheskoj razvedke // Interjekspo Geo-Sibir'. 2012. #3. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatel'nyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoj-razvedke> (data obrashhenija: 19.09.2019).
- [16] Levi S.A. Razrabotka mul'tiagentnoj sistemy dlja upravlenija gruppoj BPLA. Sankt-Peterburgskij Gosudarstvennyj Universitet, 2010.