

Некоторые аспекты группового управления многокомпонентными системными объектами на основе биоинспирированных алгоритмов

В.В. Нечаев, Д.В. Миняйло

Аннотация — В статье рассматриваются вопросы управления сложными многокомпонентными динамическими системами на примере группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время все большую актуальность получают системы управления группой БПЛА, так как функциональные возможности отдельно взятого объекта БПЛА существенно ограничены его радиусом действия, энергоресурсом, набором выполняемых функций. Поэтому решение сложных задач целесообразно выполнять с помощью группы таких объектов, обладающих различными функциональными возможностями.

Ключевыми задачами системы управления группой БПЛА являются обеспечение возможности автоматизировано планировать действия объектов группы в соответствии с выбранной стратегией, а также проектирование стратегии обмена информацией между объектами системы.

Передаваемая информация является основным элементом при коллективной стратегии управления в группировках. Для наиболее системного взгляда на управление многокомпонентными системами целесообразно рассмотреть возможность применения некоторых биоинспирированных алгоритмов, а также особенности применения агентного подхода для решения задач управления и обмена данными. Рассмотренные сочетания методов и алгоритмов управления могут позволить провести более детальное проектирование при разработке систем управления крупными группировками с учетом различных внешних и внутренних факторов.

Ключевые слова — комплексное управление; стабилизация состояния системы; беспилотные летательные аппараты; групповое управление; пертинентные информационные потоки.

I. ВВЕДЕНИЕ

Исследованиям в области взаимодействия и управления сложными многокомпонентными динамическими системами, в частности, такими как группы беспилотных летательных аппаратов, в условиях непредсказуемого поведения внешней среды, уделяется самое пристальное внимание, так как подобные разработки затрагивают и военные, и гражданские сферы деятельности.

Целевое назначение таких исследований – формирование требований к интеллектуальным и

функциональным возможностям объектов, а также исследование моделей и алгоритмов группового управления. Особое внимание уделяется вопросам распределения задач между объектами в группе, а также обобщению и обработке получаемой информации. В статье рассматривается задача группового управления многокомпонентным объектом на примере группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

II. СВОЙСТВА ГРУППОВОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВНУТРИ ГРУППЫ

По мере развития применения БПЛА в военных и гражданских сферах деятельности сформировались требования к их эффективному применению. Основными критериями эффективного применения БПЛА являются [1]:

- минимальное время принятия решения группой БПЛА для реализации поставленной целевой задачи;
- надёжность и стабильность системы, направленные на повышение вероятности достижения поставленной цели;
- минимально необходимое количество БПЛА в группе для выполнения задачи;
- минимальные трудозатраты по ручному управлению группой БПЛА.

К основным задачам малых БПЛА предлагается относить [1]:

- 1) мониторинг местности, в частности – объектов инфраструктуры;
 - 2) доставка и сброс грузов.
- Областями возможного применения БПЛА являются:
- топливно-энергетический комплекс: контроль состояния нефте- и газопроводов, линий электропередач и др.;
 - службы ликвидации чрезвычайных ситуаций: мониторинг техногенных и природных катастроф, обеспечение спасательных операций и др.;
 - службы безопасности: мониторинг местности, видеонаблюдение территории;
 - судоходство: поиск и обнаружение судов, терпящих бедствие, судов-нарушителей, контроль границ и правил рыболовства и др.;
 - сельское хозяйство: наблюдение за состоянием земель и определение характеристик почв, распыление удобрений и ядохимикатов;
 - океанология: мониторинг воздушной и водной сред, ледовой обстановки и др.;

Взаимодействие в сложных многокомпонентных системах осуществляется посредством передачи информации в соответствии с заданными правилами. Такие правила могут сочетать в себе различные

Статья получена 10.05.2019 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). К.т.н., профессор В.В. Нечаев, МИРЭА (e-mail: nechaev@mirea.ru). Д.В. Миняйло, МИРЭА (e-mail: dariaminayailo@gmail.com).

методы и алгоритмы с целью, с одной стороны, упростить передачу информации, повысив тем самым ее надежность, с другой стороны, сделать её более эффективной. В статье рассматривается возможность применения биоинспирированных алгоритмов для управления системой.

III. ПРИМЕНЕНИЕ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ

Существуют самые разнообразные классификации когнитивных биоинспирированных алгоритмов. Например, классификация по типу стратегии поиска: улучшение простых локальных алгоритмов поиска, алгоритмы колонии муравьев, эволюционные алгоритмы.

Другой способ классификации алгоритмов зависит от того, какое количество решений улучшается в процессе поиска оптимума, например, траекторные и популяционные алгоритмы [1].

В эволюционных стратегиях [2] каждая из альтернатив представляется вектором действительных чисел. В качестве механизма мутации довольно часто используется добавление нормально распределённой случайной величины к каждому компоненту вектора. При этом параметры нормального распределения самоадаптируются в процессе выполнения алгоритма. Другой отличительной особенностью эволюционных стратегий является детерминированный отбор лучших особей из родительских пар и порождённых потомков без повторений. Общая схема работы алгоритма представлена на следующем рисунке 1.

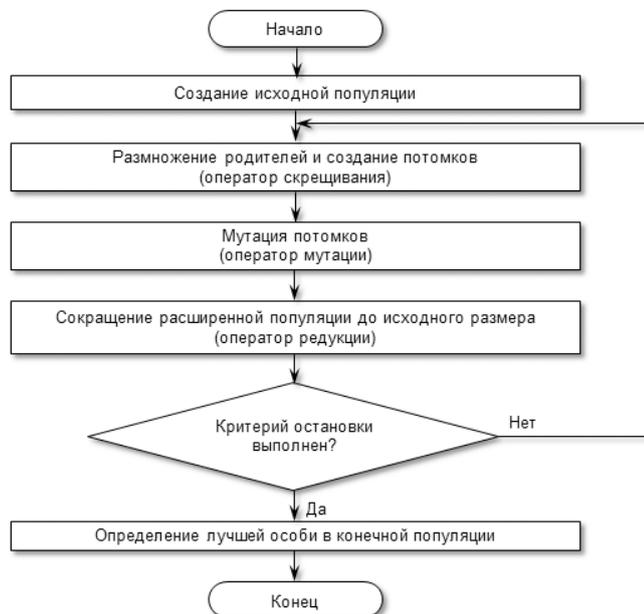


Рисунок 1 – Схема организмы генетического алгоритма

Рассмотрим работу данного алгоритма при обмене пертинентными потоками информации – информационными потоками, характеризующимися степенью близости ожидаемого и полученного результатов. Представим, что группа агентов проводит мониторинг местности на предмет поиска, например, очага возгорания.

Каждый агент летит на заданной высоте и снимает определённый сектор территории, обрабатывает полученные изображения и отправляет их агенту-лидеру, который, аккумулируя полученные изображения, получает не только полное изображение местности, но и анализ полученных изображений для передачи на наземную станцию. Это значит, что с помощью заданных алгоритмов, каждый агент может проанализировать полученную картинку и, в частности, определить, есть ли на ней искомый объект, а также найдены ли объекты, распознать которые не удалось.

Разные агенты могут «захватить» один сектор местности, но в силу угла наклона, изменившихся условий видимости или оснащённости на борту распознать изображение лучше или хуже, чем его «напарник».

Такой подход позволяет не «засорять» каналы связи второстепенной информацией, а предоставлять только важные, приоритетные, обработанные данные, что в свою очередь, позволяет сберечь ресурсы и увеличивать продолжительность полета.

Когда искомый объект обнаружен, часть группы агентов, исходя из заданной целевой задачи, может вернуться на базу, а остальные продолжить мониторинг в реальном времени для отслеживания ситуации.

В рамках генетического алгоритма обработку информации можно представить так:

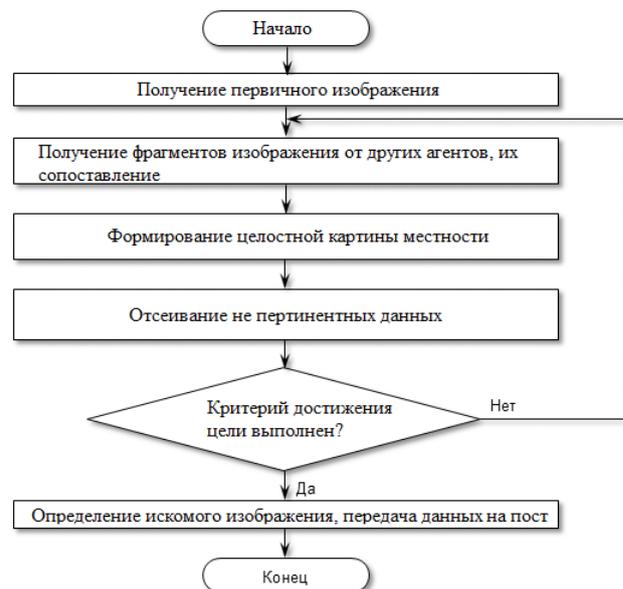


Рисунок 2 – Схема адаптации генетического алгоритма

Выделяют отдельную группу роевых алгоритмов (РА), которые также являются популяционными, примыкают к эволюционным вычислениям и основаны на моделировании социального поведения.

Роевые алгоритмы, так же как и эволюционные, используют популяцию особей – потенциальных решателей проблемы в совокупности с методом стохастической оптимизации.

Очевидно, что существует достаточно много видов классификаций различных биоинспирированных методов и алгоритмов, некоторые из них представлены на рисунке 3.

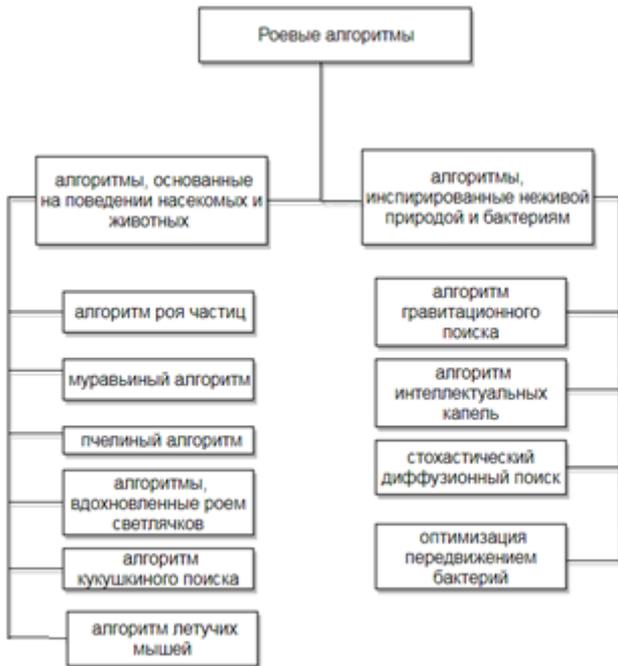


Рисунок 3 – Схема классификации роевых алгоритмов

Одним из самых распространённых из представленных на схеме (рисунок 3) является метод роя частиц. Данный метод реализует численную оптимизацию и поддерживает общее количество возможных решений, которые называются частицами или агентами, перемещая их в пространстве к наилучшему найденному в этом пространстве решению. При этом решение всё время находится в состоянии изменения из-за определения агентами более выгодных решений. Самая первая компьютерная модель метода роя частиц (МРЧ) была разработана в 1986 Крейгом Рейнольдсом. Классическая модель МРЧ создана в 1995 году Расселом Эберхартом и Джеймсом Кеннеди (рисунок 4). Их модель отличается тем, что частицы-агенты роя, помимо подчинения неким правилам обмениваются информацией друг с другом, а текущее состояние каждой частицы характеризуется её местоположением и скоростью перемещения в пространстве решений.

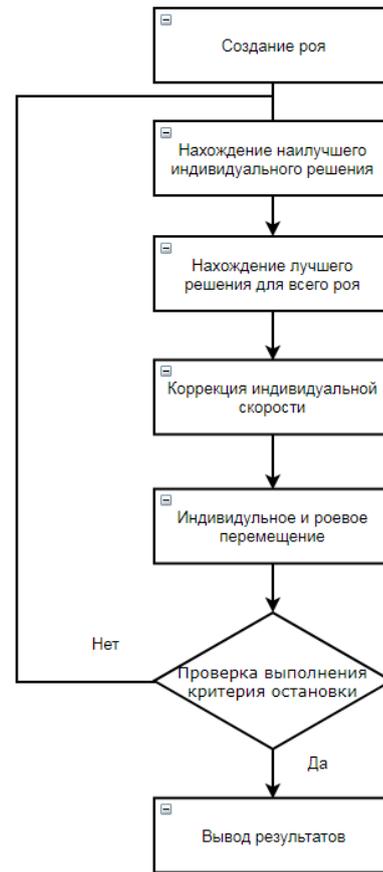


Рисунок 4 – Схема алгоритма метода роя частиц

Рассматривая три основных метода роевого интеллекта можно сделать вывод, что все они представляют интерес для задач обмена информацией в рамках управления группой агентов. Краткое сравнение этих методов представлено в таблице 1 [3].

Применение некоторых принципов биоинспирированных алгоритмов может быть использовано в задачах управления сложными многокомпонентными динамическими системами.

Для решения сколько-нибудь сложной проблемы, как правило, требуется взаимодействие агентов, которое неотделимо от организации мультиагентной системы. На базе таких систем разрабатывают и исследуют алгоритмы поведения агентов и обозначают основные свойства и характеристики, которыми должен обладать агент.

Таблица 1 – Биоинспирированные алгоритмы и их характеристики

Биоинспирированные методы и алгоритмы	Основные свойства и особенности		
	Достоинства	Недостатки	Перспективы развития
Метод роя частиц	<ul style="list-style-type: none"> – относительно простая алгоритмическая реализации; – эффективно справляется с задачами глобальной оптимизации. 	<ul style="list-style-type: none"> – не гарантирована сходимость алгоритма при конечном числе частиц, отсюда и увеличение необходимого количества расчетов целевой функции; – ориентация на одну лучшую точку, что увеличивает вероятность остановки алгоритма в неплохом, но не глобальном минимуме. 	<ul style="list-style-type: none"> – адаптация МРЧ под многоагентную систему; – внедрение и синтез с другими методами РИ.
Муравьиный алгоритм	<ul style="list-style-type: none"> – эффективен для TSP (Traveling Salesman Problem) с небольшим количеством узлов; – подходит для решения задач с необходимостью адаптации; – благодаря коллективной памяти снижается вероятность выбора неудачного решения. 	<ul style="list-style-type: none"> – чаще всего необходимо применение дополнительных методов таких, как локальный поиск; – настроечные параметры подбираются только исходя из экспериментов; – теоретический анализ затруднён. 	<ul style="list-style-type: none"> – внедрение и синтез с другими методами РИ; – снижение зависимости от устанавливаемых параметров;
Алгоритм пчелиной колонии	<ul style="list-style-type: none"> – возможность эффективного разделения на параллельные процессы; – высокая скорость работы. 	<ul style="list-style-type: none"> – большое число свободных параметров, от значения которых зависит результат 	<ul style="list-style-type: none"> – гибридизация с генетическими алгоритмами.

IV. АГЕНТНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Группа взаимосвязанных однородных агентов, состоящая из n БПЛА, имеющая общую целевую функцию, представляет собой программную модель БПЛА.

Предполагается, что отдельный агент может иметь лишь частичное представление об общей задаче и способен решить лишь некоторую её подзадачу.

При этом каждый агент остается относительно простым, что повышает надёжность системы. Надёжность подобной системы возможно повысить посредством увеличения количества однотипных агентов – как следствие, при выходе из строя одного или нескольких агентов, оставшиеся смогут продолжить решение поставленной подзадачи.

При агентном подходе сущность алгоритма управления группой заключается в оптимальном распределении заданий по каждому компоненту БПЛА. Для управления необходима поддержка постоянной связи между агентами.

Минимальный набор базовых характеристик произвольного агента включает такие свойства, как [4]:

- активность – способность к организации и реализации действий;

- автономность (полуавтономность) – относительная независимость от окружающей среды или наличие некоторой «свободы воли», связанное с хорошим ресурсным обеспечением его поведения;

- коммуникабельность, вытекающая из необходимости решать свои задачи совместно с другими объектами, обеспечиваемая развитыми протоколами коммуникации;

- целенаправленность, предполагающая наличие собственных источников мотивации.

В рамках информационного взаимодействия для решения поставленных задач компоненты группы БПЛА должны обмениваться только пертинентными информационными потоками – информационными потоками, характеризующимися степенью близости ожидаемого и полученного результатов. Пертинентные информационные потоки соответствуют конкретным информационным потребностям каждого объекта в динамической системе, что не требует дополнительных ресурсов на обработку принимаемой информации [5].

Наличие у агента механизма целеобразования обеспечивает принципиально новый уровень автономии. Это значит, что он не обязательно выполняет распоряжения какого-либо другого агента, а просто зависит от условий среды, включая цели и намерения других агентов. В отличие от объекта агент может принять на себя определённые обязательства или, наоборот, отказаться от выполнения некоторой работы, мотивируя это отсутствием компетентности, занятостью другой задачей и т.п. [4].

Исследования в области коллективного поведения агентов можно разбить на следующие направления:

- 1) «строгое» математическое решение. Речь идет об исследованиях в области теории систем, создании формальных моделей и механизмов коллективного поведения;

- 2) технологии многоагентных систем (МАС). Имитационное моделирование, т.е. реализация моделей взаимодействующих субъектов, при этом за основу берутся биологические объекты. Сюда же можно отнести и исследования в области искусственной жизни;

- 3) роевые, пчелиные и муравьиные алгоритмы – методы, исследующие внешние, сугубо феноменологические стороны поведения живых организмов. Подобного рода методы и алгоритмы лежат в основе роевого интеллекта;

- 4) эволюционные методы: основная задача – это реализация механизмов внутреннего взаимодействия эволюционным путем.

С точки зрения авторов для решения рассматриваемых в статье вопросов особый интерес представляют роевые, пчелиные и муравьиные, т.е. биоинспирированные алгоритмы, так как именно они дают возможность сохранять гибкость в использовании различных алгоритмов для решения сложных задач комплексного управления многокомпонентным динамическим объектом [6-9].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были рассмотрены общие подходы к вопросам передачи и обработки информации в системах комплексного управления многокомпонентным динамическим объектом, на основе биоинспирированных методов и алгоритмов.

Описан ряд исследований, которые благодаря применению биоинспирированных алгоритмов описывают маршруты и перестроения группы участников, решая задачу коммивояжера. В различных исследованиях находят подтверждение гипотезы, что участники стай общаются с помощью запахов, звуков, прикосновений, зрительных сигналов. Однако в сфере получения, обработки и передачи информации остается много открытых вопросов.

Проведён сравнительный анализ некоторых биоинспирированных алгоритмов, в результате которого выявлены их основные сильные стороны, а также перспективы развития в данной области.

Использование сочетания биоинспирированных алгоритмов и агентного подхода может повысить качество решения задач управления сложными многокомпонентными динамическими системами.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Родзин С.И., Курейчик В.В. Теоретические вопросы и современные проблемы развития когнитивных биоинспирированных алгоритмов оптимизации (обзор) // Кибернетика и программирование. — 2017. — № 3. — С.51-79. DOI: 10.25136/2306-4196.2017.3.18659. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_18659.html (дата обращения: 13.05.2019).
- [2] Ingo Rechenberg. Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution (PhD thesis). 1971.

- [3] Водолазский И. А., Егоров А. С., Краснов А. В. Роевой интеллект и его наиболее распространённые методы реализации // Молодой ученый. — 2017. — №4. — С. 147-153. — URL <https://moluch.ru/archive/138/38900/> (дата обращения: 13.05.2019).
- [4] Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное // Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011) – Орехово-Зуево, 2011. – 132 с. сс.35-5.
- [5] Планирование действий смешанных робототехнических группировок в условиях «балансирования на грани» В.В. Баранюк, Д.В. Миняйло, О.С. Смирнова. International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 12, 2016
- [6] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 280 с
- [7] Моисеев В.С. М 75 Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017. 572 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»).
- [8] Букатова И.Л. Эволюционное моделирование и его приложения, М.: Наука, 1979.
- [9] 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.

Some aspects of group management of multicomponent system objects based on bioinspired algorithms

V.V. Nechaev, D.V. Minyaylo

Abstract – The article presents the issues of controlling complex multicomponent dynamic systems on the example of groups of unmanned aerial vehicles (UAVs). Currently, all the important functions are obtained by the UAV control groups, so that the functionality of an individual object is limited by its radius of action, energy resource, set of functions performed. These features allow you to perform various functionalities.

The main tasks of the group management system are to ensure the possibility of automated planning of actions of objects in accordance with the chosen strategy, as well as the development of a strategy for the exchange of information between the objects of the system.

Advanced information is a key element in collective management strategies in groupings. Multicomponent algorithms can be used to control systems, as well as the possibility of using some bioinspired algorithms. The considered combinations of methods and control algorithms may allow a more detailed design when developing control systems for large groups taking into account various external and internal factors.

Keywords – integrated management; stabilization of the system; unmanned aerial vehicles; group management; pertinent information flows.

REFERENCES

- [1] Rodzin S.I., Kurejchik V.V. Teoreticheskie voprosy i sovremennye problemy razvitiya kognitivnyh bioinspirirovannyh algoritmov optimizacii (obzor) // Kibernetika i programirovanie. — 2017. — # 3. — S.51-79. DOI: 10.25136/2306-4196.2017.3.18659. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_18659.html (data obrashhenija: 13.05.2019).
- [2] Ingo Rechenberg. Evolutionsstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution (PhD thesis). 1971.
- [3] Vodolazskij I. A., Egorov A. S., Krasnov A. V. Rovej intellekt i ego naibolee rasprostranjonnye metody realizacii // Molodoj uchenyj. — 2017. — #4. — S. 147-153. — URL <https://moluch.ru/archive/138/38900/> (data obrashhenija: 13.05.2019).
- [4] Karpov V.Je. Kollektivnoe povedenie robotov. Zhelaemoe i dejstvitel'noe //Sovremennaja mehatronika. Sb. nauchn. trudov Vserossijskoj nauchnoj shkoly (g.Orehovo-Zuevo, 22-23 sentjabrja 2011) – Orehovo-Zuevo, 2011. – 132 s. ss.35-5.
- [5] Planirovanie dejstvij smeshannyh robototekhnicheskikh gruppировок v uslovijah «balansirovanija na grani» V.V. Baranjuk, D.V. Minjajlo, O.S. Smirnova. International

Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 4, no. 12, 2016

[6] Kaljaev I.A., Gajduk A.R., Kapustjan S.G. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravlenija v gruppah robotov. M.: FIZMATLIT, 2009, 280 s

[7] Moiseev V.S. M 75 Gruppovoe primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov: monografija. – Kazan': Redakcionno-izdatel'skij centr «Shkola», 2017. 572 s. (Serija «Sovremennaja prikladnaja matematika i informatika»).

[8] Bukatova I.L. Jevoljucionnoe modelirovanie i ego prilozhenija, M.: Nauka, 1979.

[9] 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.