

# СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**И.С. Павловский**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: [pavlovskiy@ipu.ru](mailto:pavlovskiy@ipu.ru)

**Ю.С. Легович**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65  
E-mail: [legov@ipu.ru](mailto:legov@ipu.ru)

**Ключевые слова:** системная интеграция, целостность систем, гетерогенность систем управления, робототехнические комплексы и системы

**Аннотация:** Доклад посвящен проблеме управления робототехническими комплексами различных классов гетерогенности. Предложена классификация таких систем управления. На основе анализа современных исследований в области робототехники выделен класс гетерогенности с изменяющимися функциями управления. Обоснована необходимость системной интеграции систем управления выделенного класса в процессе их функционирования. Сформулированы основные теоретические положения об оценке результатов системной интеграции. Намечена тематика дальнейших исследований по рассматриваемой проблеме.

## 1. Введение

Перспективы развития роботов предполагают создание многообразных по структуре и функциям робототехнических систем управления. Опираясь на положения теории систем многообразия (гетерогенность) таких систем управления можно рассматривать в следующих аспектах:

- гетерогенность внешней среды;
- гетерогенность структур (подсистем);
- гетерогенность элементов;
- гетерогенность связей между элементами;
- гетерогенность свойств элементов.

**Гетерогенность внешней среды** определяют окружающие (природные) условия функционирования робототехнической системы управления. Примерами исследования таких систем управления могут служить:

обеспечение устойчивого доведения команд управления до робототехнических комплексов, находящихся как в надводном, так и в подводном (подледном) положении [1];

поддержание формации движения группы роботов, состоящей из наземных и воздушных единиц [2];

навигация гетерогенной группы роботов: беспилотного наземного робота и беспилотного летающего аппарата [3].

**Гетерогенность подсистем** находит свое отражение при объединении в рамках единой системы управления нескольких разнородных по классам систем управления. К исследованиям в данном аспекте относятся:

обеспечения взаимодействия комплексов, состоящих из произвольного набора автономных и/или автоматизированных подвижных средств [4];

повышение эффективности управления смешанными робототехническими группировками, основанными на применении естественного и искусственного интеллекта [5];

**Гетерогенность элементов** означает, что в состав одной системы управления могут быть включены выполняющие однотипные функции элементы, которые имеют различный характер и принципы функционирования. Примером исследований в этом направлении могут служить:

построение разнообразных сенсорных систем (одометрические датчики, системы спутниковой навигации, сонары, лазерные сканирующие дальнометры и др.) [6];

разработка перестраиваемой гетерогенной архитектуры робототехнической платформы, объединяющей микрокомпьютер для реализации высокоуровневой логики системы управления и программируемой логической интегральной схемы для реализации низкоуровневой логики [6];

разработка новых методов в области мультисенсорного слияния данных в условиях быстрого усовершенствования и увеличения количества датчиков [7];

исследование системы управления робототехническим комплексом, в которой человек-исполнитель и робот-исполнитель являются равноправными агентами гетерогенного комплекса [8];

обеспечение управления гетерогенного комплекса роботов различного назначения и различных изготовителей [9].

**Гетерогенность связей между элементами** системы управления во многом зависит от *свойств этих элементов*, которые также могут быть *гетерогенными*.

Необходимо отметить, что данный аспект гетерогенности в настоящее время не находит должного внимания в научном сообществе в силу его слабой концептуальной проработанности.

В общем смысле под гетерогенностью в этом случае понимается способность (готовность) каждого робота (как элемента управления) перейти к одной из функций управления (измерительной, контрольной, выработки управляющего воздействия, исполнительской) в зависимости от изменяющейся обстановки в процессе управления. То есть, предполагается, что в каждом элементе системы управления потенциально заложена возможность выполнения нескольких функций управления.

Изменение выполняемых роботами функций управления приводит к необходимости согласования элементов управления в условиях новой структуры гетерогенной робототехнической системы управления (ГРТСУ).

Принципиальная особенность ГРТСУ рассматриваемого класса гетерогенности заключается в возможности полного перестроения структуры таких систем управления. Вариантов таких перестроений может быть достаточно большое количество. Заранее оценить системность (целостность) возможных вариантов систем управления достаточно сложно даже для небольшого количества элементов. Для больших систем сделать это практически невозможно. Это означает, что оценка целостности построенной системы управления должна проводиться «внутри» системы управления в режиме реального времени.

Таким образом, в условиях изменения взаимосвязей между элементами в ГРТСУ важно обеспечить ее целостность как главное системообразующее свойство (закономерность), присущее любой системе. При этом закономерность целостности обеспечивается системной интеграцией средств управления, в качестве которых выступают элементы ГРТСУ.

Исходя из сказанного, прежде всего определим понятие «целостность».

## 2. Целостность в теории систем

Суть целостности системы раскрывают следующие замечания [10]:

1. Свойства системы (целого)  $Q_s$  не является простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей)  $q_{ij}$ :

$$Q_s \neq \{q_{ij}\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}.$$

2. Свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей):

$$Q_s = f(\{q_{ij}\}).$$

3. Объединенные в систему элементы (части), как правило, утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т.е. система как бы подавляет ряд свойств элементов. Кроме того, элементы (части), попав в систему, могут приобрести новые свойства:

$$q_{ij} \neq q_{ij}^S.$$

Таким образом, целостность проявляется в системе в возникновении у нее новых интегративных свойств, которые отсутствуют у ее элементов. При этом отметим, что целостность всей системы обеспечивается существованием четких связей между элементами, сближение которых делает их совершенно необходимыми друг для друга в интересах системы [11].

## 3. Оценка целостности на основе иерархического упорядочения системы

В теории систем закономерность целостности рассматривается в тесной связи с закономерностью иерархичности, согласно которой наряду с первичностью системы как целого над ее элементами утверждается и принципиальная иерархическая организация системы [12].

В силу закономерности иерархичности, существует возможность установления строгого порядка подчиненности между элементами системы. Это означает, что системообразующими являются иерархически упорядоченные связи. Связи, направление которых противоположно иерархически упорядоченному общему направлению связей, приводят к противоречиям в системе. Такие противоречивые связи не позволяют системе приобретать новые свойства и, тем самым, негативно влияют на степень целостности системы.

Таким образом, целостность проявляется в системе в иерархических связях между элементами, в которых отсутствуют противоречия.

Подводя итог, отметим, что закономерность иерархичности может служить своеобразным индикатором противоречивых связей между элементами в системе, количество которых позволяет сделать вывод о степени целостности системы: от абсолютной адди-

тивности (максимальной самостоятельности элементов) до абсолютной целостности (минимальной самостоятельности элементов) [13, 14].

Основная проблема оценки целостности на основе иерархической упорядоченности ее элементов заключается в построении единой системообразующей иерархической структуры, которая наиболее полно учитывает многообразие отношений между элементами в сложной системе.

#### **4. Иерархическая упорядоченность ГРТСУ посредством однородных элементов и связей**

Оценить целостность структуры такой разнородной системы как ГРТСУ достаточно сложно, так как разнородные по своему характеру элементы и связи трудно сопоставимы, поскольку не имеют общей шкалы для их измерения и сравнения.

Поэтому оценить возможно только такую структуру ГРТСУ, которая представлена однородными элементами и связями.

В связи с этим актуальной является задача поиска однородных элементов и связей в ГРТСУ для формирования однородной иерархической структуры ГРТСУ.

#### **5. Поиск однородных элементов и связей в ГРТСУ**

Для решения поставленной задачи с точки зрения системного подхода необходимо выбрать системообразующий конструктивный элемент структуры ГРТСУ, который может быть представлен в иерархическом виде. Путем интеграции таких элементов возможно получить иерархическую структуру ГРТСУ.

В качестве такого конструктивного элемента может быть рассмотрена элементарная система управления (ЭСУ). Основная идея использования ЭСУ для оценки целостности ГРТСУ заключается в рассмотрении ЭСУ, с одной стороны, как системы однородных элементов управления, а с другой - как элемента единой структуры ГРТСУ.

В этой связи, следует подчеркнуть, что элементарная система управления должна отражать содержание процессов, протекающих как в самой простой, так и в самой сложной системе управления.

Данное требование отражает концептуальный характер ЭСУ.

Полученная в результате интегрирования ЭСУ иерархическая модель ГРТСУ позволяет вводить показатели, которые основаны на количественных характеристиках иерархической структуры ГРТСУ: количество уровней, глубина иерархии, широта иерархии, плотность элементов управления на уровнях иерархии и др. Использование указанных характеристик позволяет индцинировать возможные структурные и функциональные проблемы в ГРТСУ:

- противоречивые связи;
- фрагментированные элементы;
- неоднозначные (дублирующие) связи;
- критически нагруженные связи;
- критически нагруженные элементы;
- и др.

Своевременная разработка рекомендаций по устранению подобных проблем будет способствовать повышению эффективности функционирования ГРТСУ и предупреждению конфликтных ситуаций между ее структурными элементами.

## 6. Заключение

На пути к дальнейшему осмыслению и решению проблемы оценки целостности перспективных ГРТСУ решается ряд научных задач:

- концептуальный анализ процесса управления;
- построение модели элементарной системы управления;
- однородное описание модели элементарной системы управления;
- интеграция моделей элементарных систем управления в единую систему;
- иерархическое представление полученной единой системы;
- разработка показателей и методов оценки целостности единой системы.

Решение этих задач сделает возможным приблизиться к максимально возможной реализации на практике одного из важнейших принципов существования любой системы – принципа необходимого разнообразия – принципа гетерогенности.

## Список литературы

1. Будко П.А., Жуков Г.А., Кулешов И.А., Николашин Ю.Л. Методы и каналы управления робототехническими комплексами морского базирования в гетерогенной среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 4 (17). С. 28-40.
2. Моторин Д.Е., Попов С.Г. Функции системы распределенного управления группой гетерогенных роботов в условиях динамической среды // Материалы научного форума с международным участием «Неделя науки СПбПУ», Санкт-Петербург, 14-19 ноября 2016 г. СПб.: СПбПУ, 2016. С. 20-23.
3. Афанасьев И.М., Сагитов А.Г., Данилов И.Ю., Магид Е.А. Навигация гетерогенной группы роботов (БПЛА и БНР) через лабиринт в 3D симуляторе GAZEBO методом вероятностной дорожной карты // Второй всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта», Санкт-Петербург, 9 октября 2015 г. СПб.: Политехника-сервис, 2015. С. 18-25.
4. Василенко М.А., Змеев В.В., Кругликов А.С. Разработка прототипа автоматизированной системы управления гетерогенными робототехническими комплексами. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Интеллектуальные системы, управление и мехатроника-2016», Севастополь, 19-21 мая 2016. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2016. С. 204-207.
5. Рожнов А.В. Конвергенция технологий управления автономными системами в контексте развития интеграционных компонентов искусственного интеллекта // Сборник научных трудов II Международной научной конференции и XII Международной научно-практической конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии. Современные информационные технологии и ИТ-образование», Москва, 24-26 ноября 2017 г. М.: МГУ, 2017. С. 20-31.
6. Чернухин Ю.В., Сапрыкин Р.В., Бутов П.А., Доленко Ю.С. Мобильная робототехническая платформа с перестраиваемой гетерогенной системой управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 1 (126). С. 96-103.
7. Тушканов Н.Б., Кузнецова А.В., Назаров В.А., Тушканова О.Н., Любвин Д.А. Построение мульти-сенсорных систем коллективного управления и распознавания // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2011. № 1. С. 54-62.
8. Урванов Г.А., Даньшин В.В., Дюмин А.А., Чепин Е.В. Система взаимодействия с человеком, как агентом мобильного робототехнического комплекса // Программные системы и вычислительные методы. 2015. №1 (10). С. 45-51. DOI: 10.7256/2305-6061.2015.1.13986.
9. Кругликов С.В., Кругликов А.С. Операторная формализация задач управления гетерогенным робототехническим комплексом // Сборник трудов VIII Московская международная конференция по исследованию операций (ORM2016), Москва, 17-22 октября 2016 г. М.: ФИЦ «Информатика и управление» РАН, 2016. С. 111-112.
10. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Высш.шк., 2004. 616 с.
11. Марков Ю.Г. Функциональный подход в современном научном познании. Новосибирск: Наука, 1982. 255 с.
12. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ. М.: Наука, 1974. 280 с.
13. Холл А.Д. Опыт методологии для системотехники. М.: Советское радио, 1975. 448 с.
14. Денисов А.А. Информационные основы управления. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 72 с.