



Учреждение Российской академии наук
Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН)

Лаборатория Интеллектуальных Электромеханических Систем (ИЭМС)

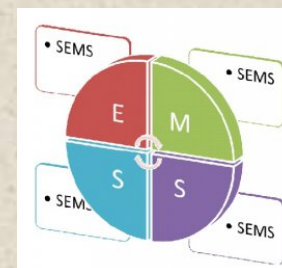
Заведующий лабораторией

Городецкий Андрей Емельянович,

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

заслуженный деятель науки и техники,

g27764@yandex.ru

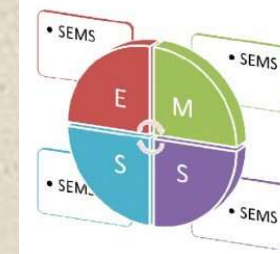


Состав лаборатории

1. Кулик Борис Александрович – вед.н.с.(д.ф.-м.н.)
2. Курбанов Вугар Гариб-оглы - ст. н.с. (к.ф.-м.н.)
3. Тарасова Ирина Леонидовна – ст.н.с. (к.т.н.)
4. Кучмин Андрей Юрьевич – вед.н.с. (к.т.н.)
5. Козлов В.В. – ст.н.с.

ЧАСТЬ 1

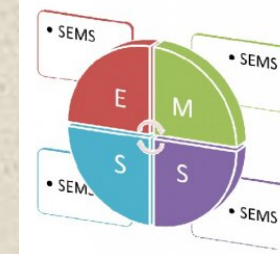
Участие в программах ФНИ и грантах за 2016-2021 г.г.:



Участие в программах ФНИ и грантах за 2016-2021 г.г.:

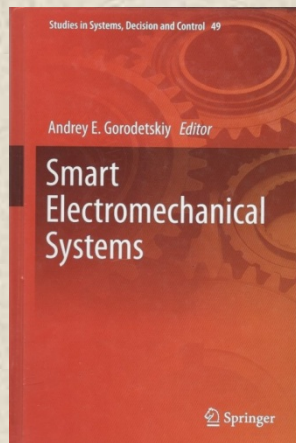
1. Программа ФНИ № ААА-А19-119120290136-9 «Теоретические и экспериментальные исследования интеллектуальных электромеханических систем».
2. Грант РФФИ № [18-01000076](#) «Проблемы создания центральной нервной системы робота на базе модулей SEMS» .
3. Грант РФФИ № [19-08-00079](#) «Методы и алгоритмы оценки группового интеллекта коллектива»
4. Грант РФФИ № [15-07-04760](#) «Разработка математических средств для представления и обработки разнородной информации при моделировании плохо формализованных объектов»;
5. Грант РФФИ № [18-07-00132](#) «Когнитивные методы принятия решений на основе недоопределенной разнородной информации».

Патенты за 2011-2021 г.г.:



1. Агапов В.А., Городецкий А.Е., Кучмин А.Ю., Селиванова Е.Н. Патент РФ № 2469752. Медицинский микроробот, 2011
2. А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, И. Л. Тарасова. Патент РФ № 2624278 «Адаптивный захват», 2017
3. А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, И. Л. Тарасова. Патент РФ №2675007. «Адаптивный захват», 2018.
4. А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, И. Л. Тарасова. Патент РФ № 2694813 «Способ формирования отражающих зеркальных поверхностей антенны космического радиотелескопа», 2019
5. А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, И. Л. Тарасова. Патент РФ № 2756778 «Способ классификации изображений», 2020

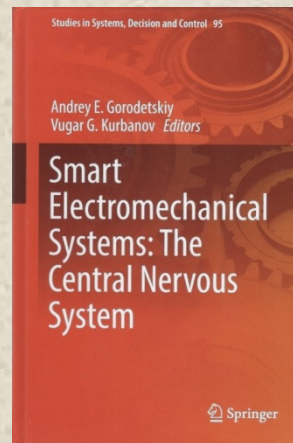
Результаты научных исследований за 2016-2021 г.г.,
опубликованные в следующих изданиях:



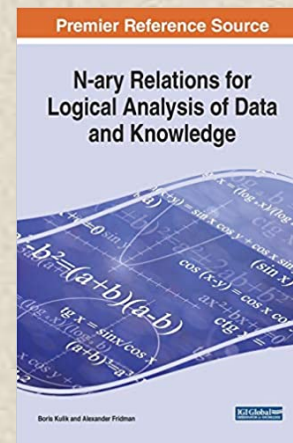
2016



2016



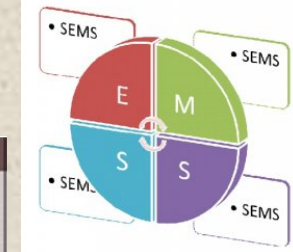
2017



2017

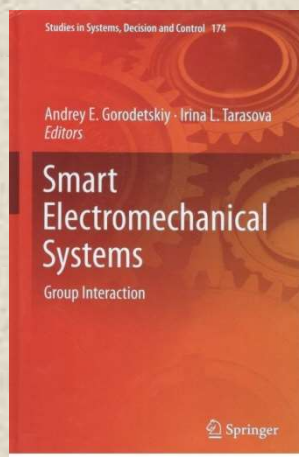


2019

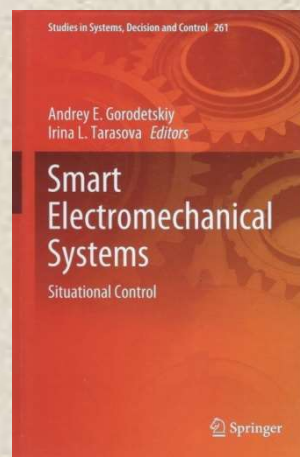


1. Smart Electromechanical Systems. Ed. Andrey E. Gorodetskiy. Studies in Systems, Decision and Control 49. /Springer International Publishing, 2016, 277 p.
2. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л., Шкодырев В. П. Математическое моделирование интеллектуальных систем управления. Моделирование детерминированных интеллектуальных систем управления: учебное пособие. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016
3. Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Vugar G. Kurbanov. Studies in Systems, Decision and Control 95. /Springer International Publishing, 2017, 270p.
4. <https://www.igi-global.com/book/ary-relations-logical-analysis-data/178722>
5. Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Артеменко Ю. Н., Шишлаков В. Ф. Радиотелескопы миллиметрового диапазона с регулируемыми поверхностями зеркал: монография. – СПб.: ГУАП, 2019. – 239 с.

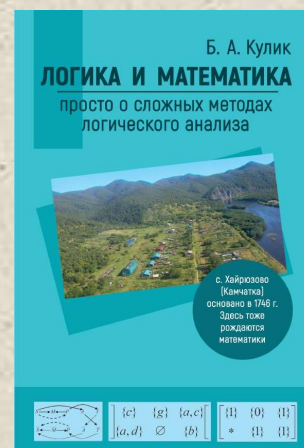
Результаты научных исследований за 2016-2021 г.г. , опубликованные в следующих изданиях:



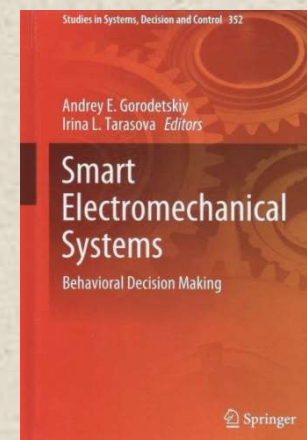
2019



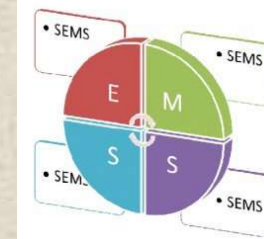
2020



2020

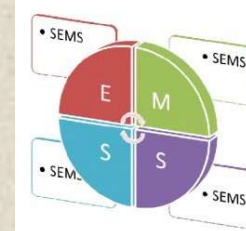


2021



6. Smart Electromechanical Systems. Group Interaction. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 174. /Springer International Publishing, 2019,
7. Smart Electromechanical Systems. Situational Control. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 261. /Springer International Publishing, 2020, 290p.
8. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализ (polytechnics.ru)
9. Smart Electromechanical Systems. Behavioral Decision Making. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 352. /Springer International Publishing, 2021, 240p.

Содержание



Часть 1

1. Научные направления исследований

1.1. Исследование и разработка технологии создания интеллектуальных электромеханических систем

1.1.1. Модули SEMS

1.1.2. Системы управления модулей SEMS

1.1.3. Центральная нервная система SEMS

1.1.4. Управление группой SEMS

1.1.5. Оценки группового интеллекта SEMS

1.1.6. Безопасное управление группой SEMS

Часть 2

1.2. Идентификация систем управления (СУ) динамических объектов (ДО) на основе множественно-функционального подхода

1.3. Управление зеркальной системой радиотелескопа на базе модулей SEMS

1.4 . Гексапод контррефлектора

1.5. Формирование отражающих зеркальных поверхностей антенны космического радиотелескопа

1.6. Модифицированный релейный метод управления

1.7. Алгебраические методы логического анализа данных и знаний

Часть 3

2. Компьютерное моделирование

2.1. Процесс возбуждения и синхронизации колебаний ресничек мерцательных клеток

2.2. Формирование фракталоподобных структур

2.3. Проблемы и методы восстановления изображений с дефектами

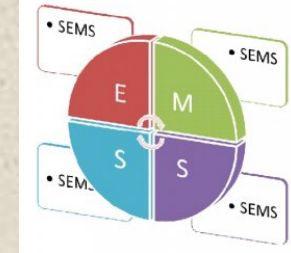
3. Практическое применение

3.1. Использование матричных приемников

3.2. Применение SEMS

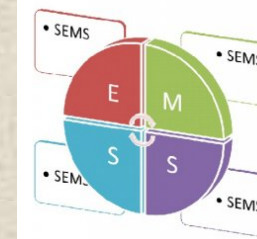
4. Экспериментальные исследования

1. Направления исследований



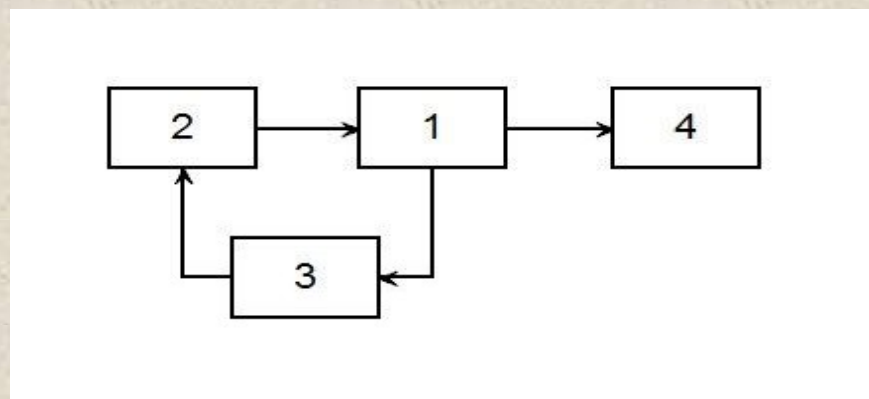
- Теоретические исследования динамических процессов в интеллектуальных электромеханических системах (SEMS)
- Математическое и компьютерное моделирование SEMS
- Аппаратно-программное обеспечение центральной нервной системы SEMS
- Оптимальное управление SEMS в условиях не полной определенности
- Алгебраические методы обработки сенсорных и семантических данных и логического вывода
- Физические и статистические аспекты редко прогрессирующих процессов
- Адаптивные оптоволоконные каналы и системы роботов
- Самоадаптирующиеся оптоэлектронные элементы
- Управление наземными и космическими радиотелескопами

1.1. Исследование и разработка технологии создания интеллектуальных электромеханических систем



1.1.1. Модули SEMS

Блок схема стандартных модулей SEMS



- 1- электромеханическая система (ЭМС) , параллельного типа,
- 2 - система автоматического управления (САУ) ,
- 3 - измерительная система (ИС)
- 4- система стыковки (СС)

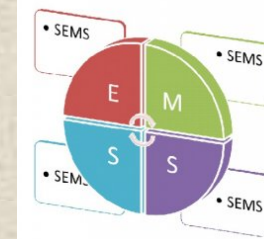
Модуль SM2 SEMS

Гексапод (модуль SM2 SEMS) или платформа Гью-Стюарта - это разновидность параллельного манипулятора, в которой используется октаэдральная компоновка стоек.

Внешний вид гексапода



Конструктивное отличие модулей SEMS от гексаподов в том, что у них верхняя и нижняя платформы выполняются в виде соединений раздвижных ног Модули SEMS, которые имеют управляемые узлы стыковки друг с другом



Модуль SM2 SEMS

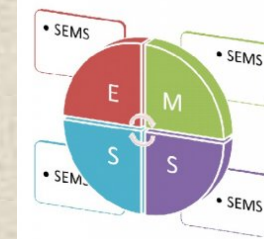
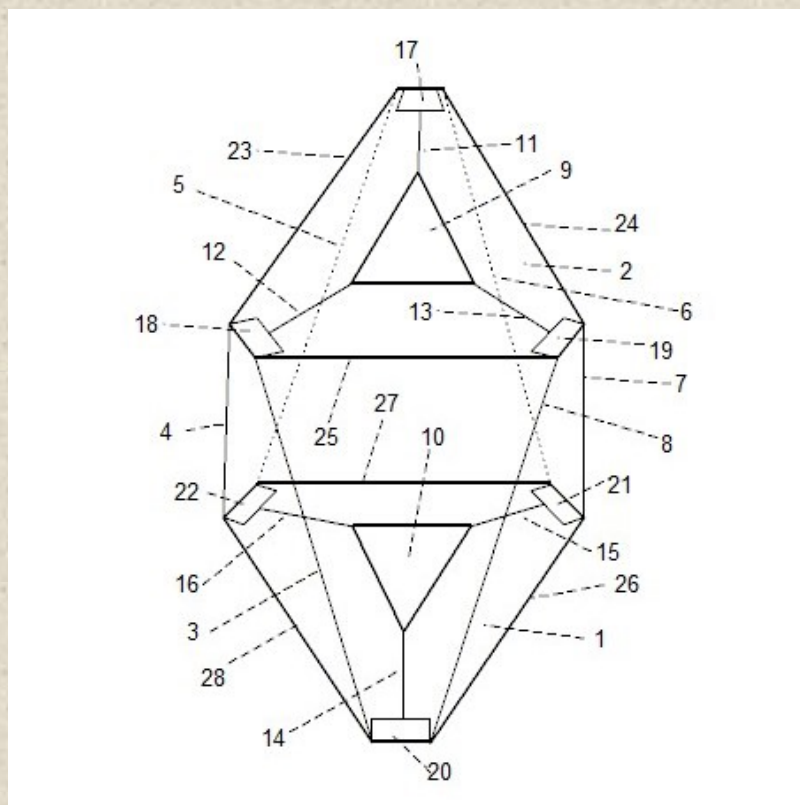
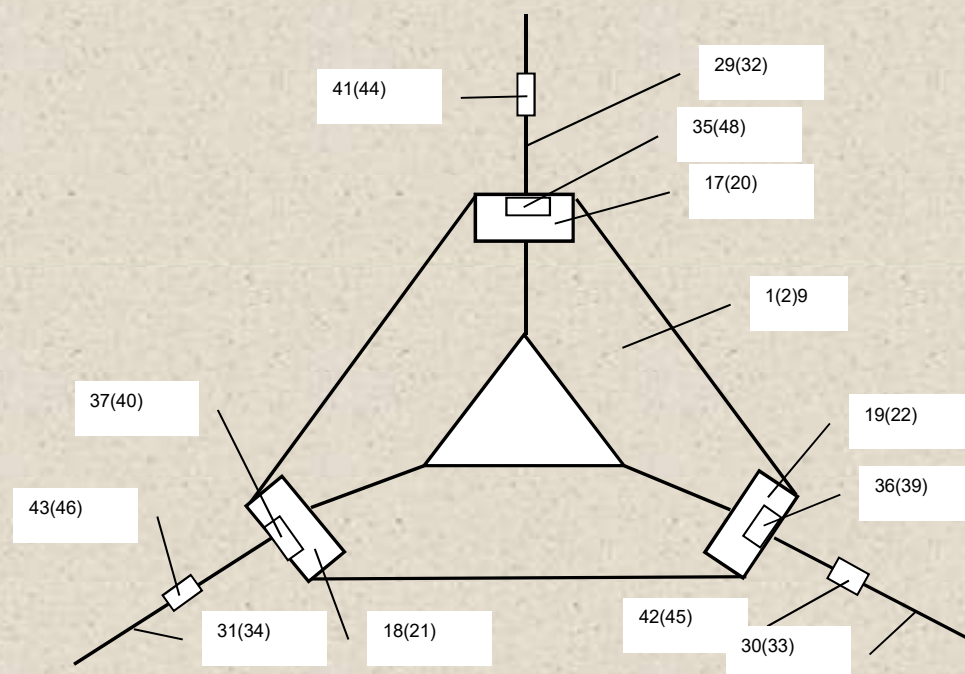


Схема конструкции гексапода (SM2 SEMS)



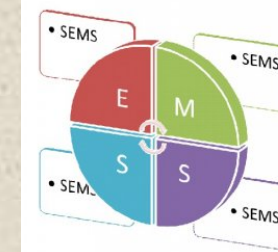
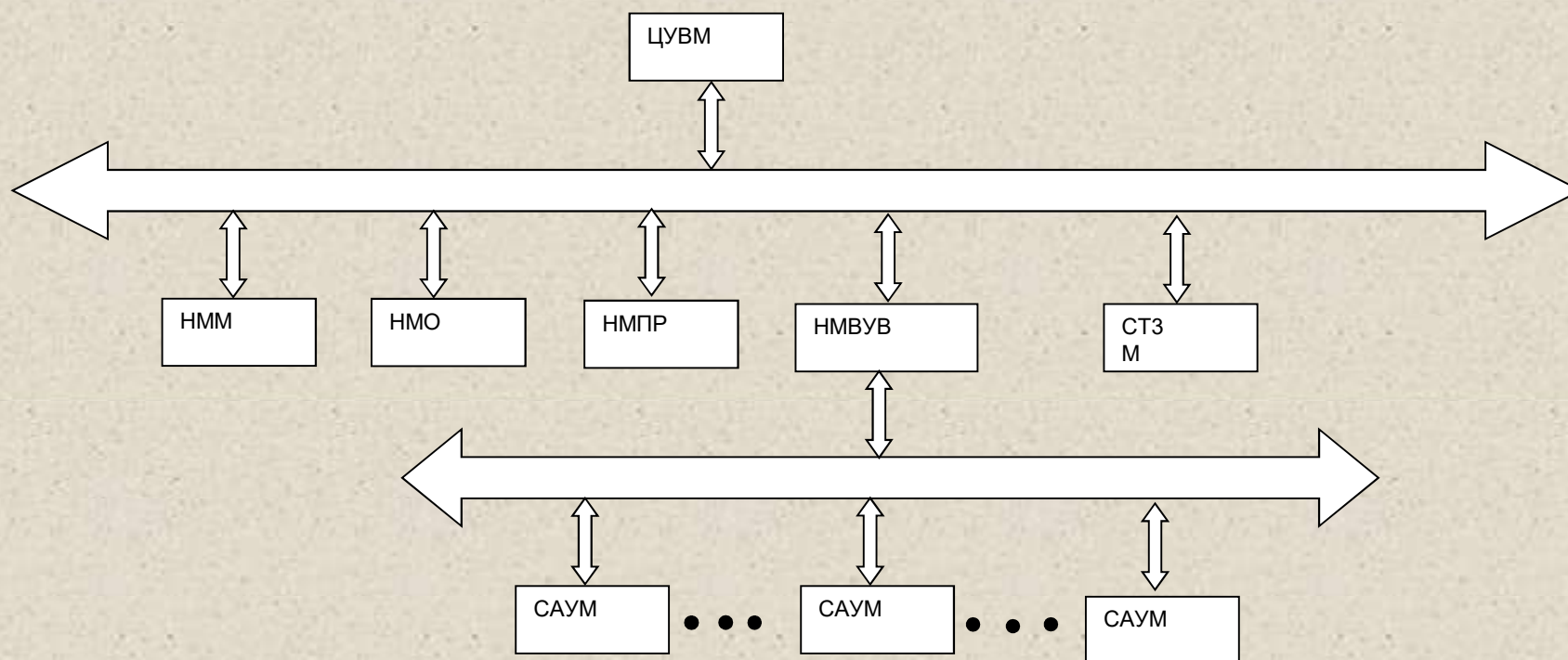
Стандартный модуль SM2 SEMS имеет нижнюю платформу (НП) (1), верхнюю платформу (ВП) (2) и шесть ног – актуаторов (НА) (3 – 8). Нижняя и верхняя платформы (5 и 6) содержат опорные площадки (ОП) (9 и 10), не менее трех управляемых стержней (УС) (11-13 и 14-16), прикрепленных одним концом с ОП, а другим – к крепежным площадкам (КП) (17-19) для нижней платформы, а для верхней платформы – КП (20-22), в которые могут крепиться, например, ввинчиваться, не менее трех телескопических подпружиненных стержней (ТПС) (23-25) для нижней платформы, а для верхней платформы – ТПС (26-28).

Схема конструкции платформ модуля SM3 SEMS



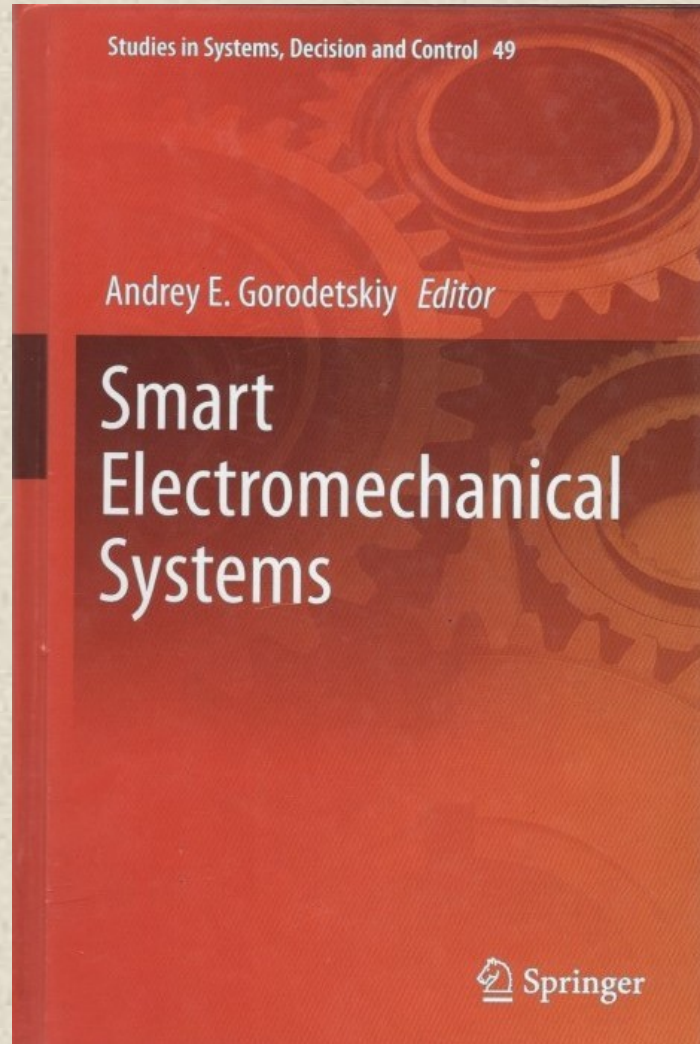
1.1.2. Системы управления модулей SEMS

Архитектура САУ SEMS



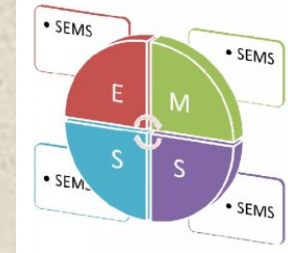
ЦУВМ – центральная управляющая вычислительная машина (ЦУВМ) подсистемы;
НММ - нейропроцессорный модуль моделирования ;
НМО - нейропроцессорный модуль оптимизации ;
НМПР - нейропроцессорный модуль принятия решения ;
НМВУВ - нейропроцессорный модуль вычисления управляющих воздействий ;
СТЗ - система технического зрения

Публикации исследований создания интеллектуальных электромеханических систем



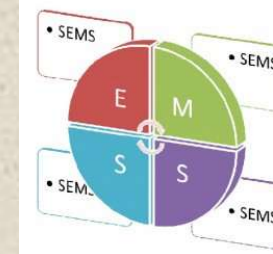
[Smart Electromechanical Systems. Ed. Andrey E. Gorodetskiy. Studies in Systems, Decision and Control 49. /Springer International Publishing, 2016, 277 p.](#)

Представлены интеллектуальные электромеханические системы (SEMS) и их применение в киберфизических системах. Рассмотрены различные структуры модулей SEMS, а также разработка методов проектирования и моделирования интеллектуальных электромеханических систем

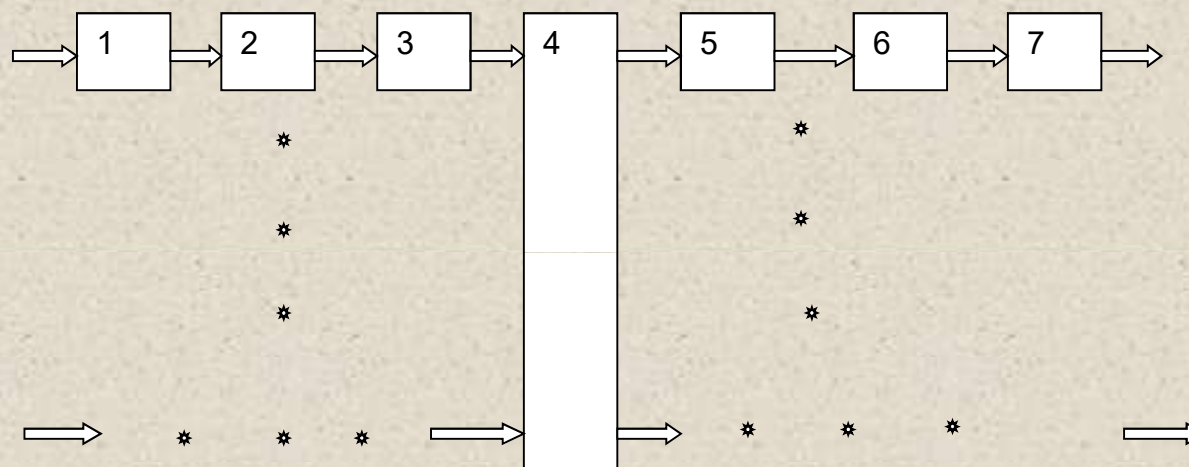


1.1.3. Центральная нервная системы SEMS

Системы управление в SEMS строятся по аналогии с центральной нервной системой (ЦНС) человека



Структура ЦНС робота



- 1 - измерительная система (сенсоры),
- 2 - канал передачи измерительных сигналов,
- 3 - блок предобработки измерительных сигналов,
- 4 - блок фаззификации, распознавания и принятия решения,
- 5 - канал передачи управляющих сигналов,
- 6 - блок формирования управляющих воздействий,
- 7 - рабочие органы робота.

Центральная нервная система SEMS

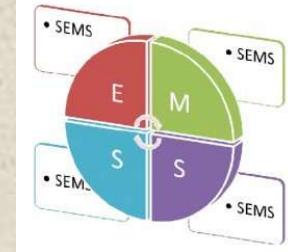
Блок фаззификации, распознавания и принятия решения, реализован с помощью логико-математической модели формирования поведенческих процессов на основе анализа ощущений в виде сигналов от сенсорной системы робота. Для логических построений используется операция фаззификации данных, поступающих по сенсорным информационным каналам от различных датчиков. Для этого сенсоры объединены в группы, образующие следующие органы чувств робота подобно человеку: зрение в виде множества X ; слух в виде множества Y ; обоняние в виде множества Z ; вкус в виде множества U ; осязание в виде множества V ; равновесие в виде множества W и телепатия в виде множества Q .

В каждом из введенных множеств выделяются образующие их подмножества, характеризующие свойства наблюдаемого или изучаемого объекта:

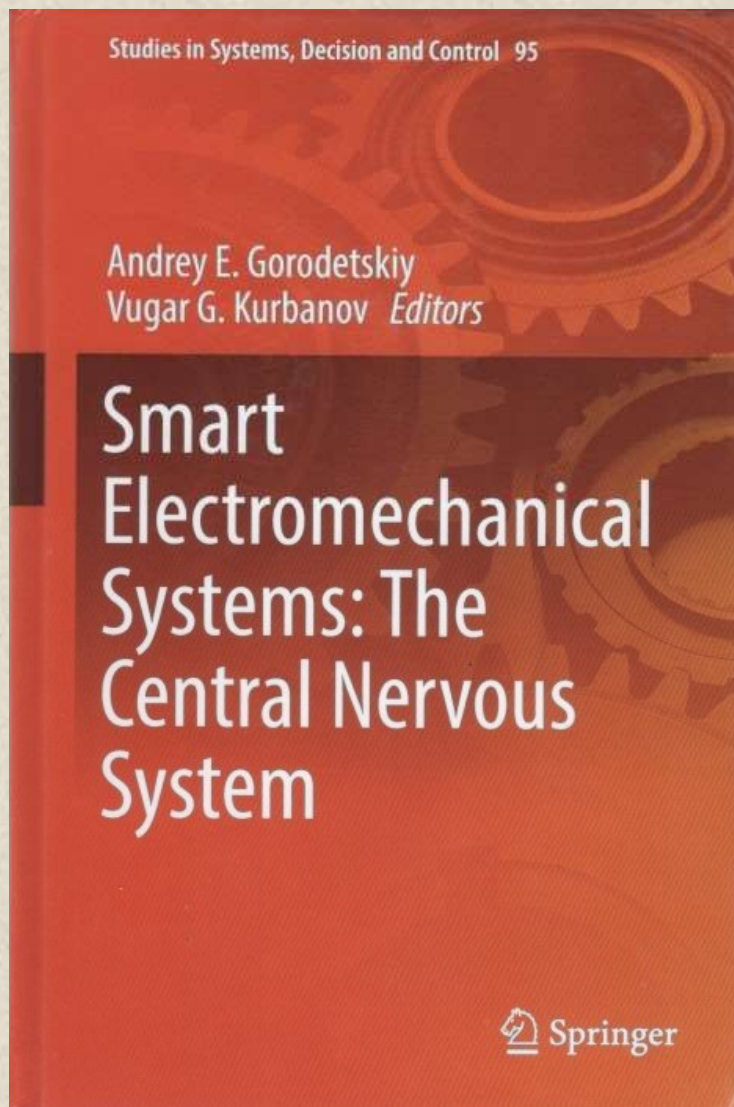
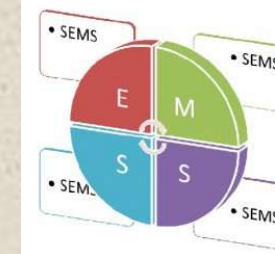
$$X_i \subset X, Y_i \subset Y, Z_i \subset Z, U_i \subset U, V_i \subset V, W_i \subset W, Q_i \subset Q.$$

Структура математического обеспечения ЦНС SEMS

- квантование окружающего пространства
- фаззификация сенсорных данных
- построение матричной системы уравнений по мод 2.
- Формирование изображений в отображении окружающего пространства для каждого органа чувств робота
- Формирование образов путем объединения изображений от разных органов чувств
- Логико-вероятностные и логико-лингвистические алгоритмы классификации образов
- Присвоение образам имен в виде слов на английском языке и запись слов в виде сочетания букв английского алфавита
- Принятие поведенческих решений на основе решения систем логических уравнений



Публикации исследований центральной нервной системы (ЦНС) SEMS



Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Vugar G. Kurbanov. Studies in Systems, Decision and Control 95. /Springer International Publishing, 2017 , 270p.

Обсуждаются интеллектуальные электромеханические системы (SEMS) и их применение в киберфизических системах на основе информации, полученной от центральной нервной системы(ЦНС) Демонстрируется разработка методов проектирования и моделирования, основанных на принципах бионики, адаптивности, интеллекта и параллелизма в обработке и вычислениях информации

u_{a_i} u_{a_j}

1.1.4. Управление группой SEMS

Планирование ситуационного управления группой SEMS заключается:

- в разделении групповой задачи на подзадачи:

$$O(t_0) \xRightarrow{U(t_1)} O(t_1) \cdot \cdot \cdot O(t_0) \xRightarrow{U(t_f)} O(t_f)$$

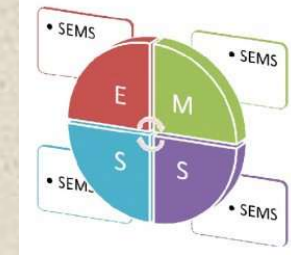
где: $U(t_k) = \{u_{a_1}(t_k), u_{a_2}(t_k), \cdot \cdot \cdot, u_{a_n}(t_k)\}$, $u_{a_i}(t_k)$ – управляющее воздействие, подаваемое на a_i SEMS в моменты времени $t_k, k=0, 1, \dots, f$,

- в распределении между SEMS группы решений подзадач так, чтобы решение групповой задачи осуществлялось за минимальное время с учетом имеющихся ограничений, в том числе и на информационное взаимодействие.

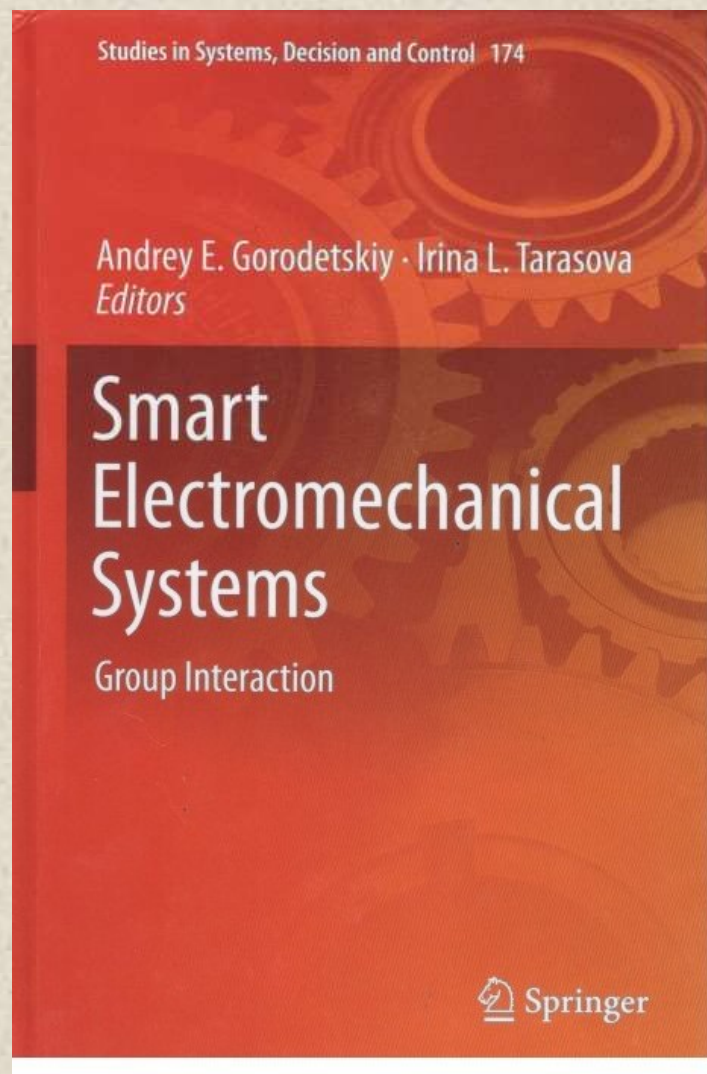
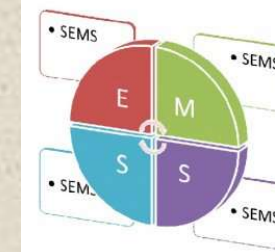
В общем виде решением групповой задачи ситуационного управления является синтез алгоритма поиска, т.е. упорядоченного множества $\varpi \subset \Omega$ из множества альтернативных комбинаций управлений $U(t_k)$ лучших сочетаний законов управления каждого члена группы SEMS $u_{a_i}(t_k) \in U(t_k)$ на основе оценок качества Q , построенных с учетом системы предпочтений E и окружения выбора $O(t_k)$.

$$\varpi \subset 2^U \times Q^U,$$

где: 2^U – обозначает множество всех подмножеств U , а Q^U – множество всех оценок качества (кортежей длиной от 2 до $|U|$), $\times$ - знак Декартова произведения.



Публикации исследований управления группой SEMS



Smart Electromechanical Systems. Group Interaction. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 174. /Springer International Publishing, 2019, 337 p.

Представлены интеллектуальные электромеханические системы, используемые в киберфизических системах. Рассмотрены последние достижения в теории и практике группового взаимодействия интеллектуальных электромеханических систем (SEMS). Представлена разработка методов проектирования и моделирования группового взаимодействия SEMS, основанных на принципах безопасности, гибкости и адаптивности в поведении и интеллекте, а также параллелизма в обработке информации, вычислениях и управлении

1.1.5. Оценки группового интеллекта SEMS

Для оценки группового интеллекта введены следующие коэффициенты:

- коэффициент Q_j интеллектуальных способностей j -ой группы роботов:

$$Q_j = \frac{1}{FN} \sum_{i=1}^F \sum_{n=1}^N q_{inj}$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, F$ - задачи, решаемые группой роботов

- коэффициент V_j креативности j -ой группы роботов:

$$V_j = \frac{1}{FN} \sum_{i=1}^F \sum_{n=1}^N \frac{1}{\Delta T_{inj}}$$

где ΔT_{inj} - время n -ой попытки решений i -ой задачи j -ой группой роботов

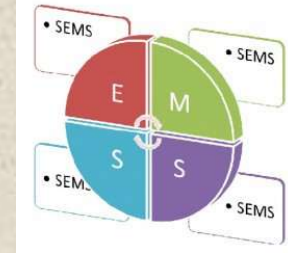
-коэффициент M_j мотивационной включенности j -ой группы роботов :

$$M_j = \frac{1}{FN} \sum_{i=1}^F \sum_{n=1}^N \frac{1}{\Delta T_{inj}}$$

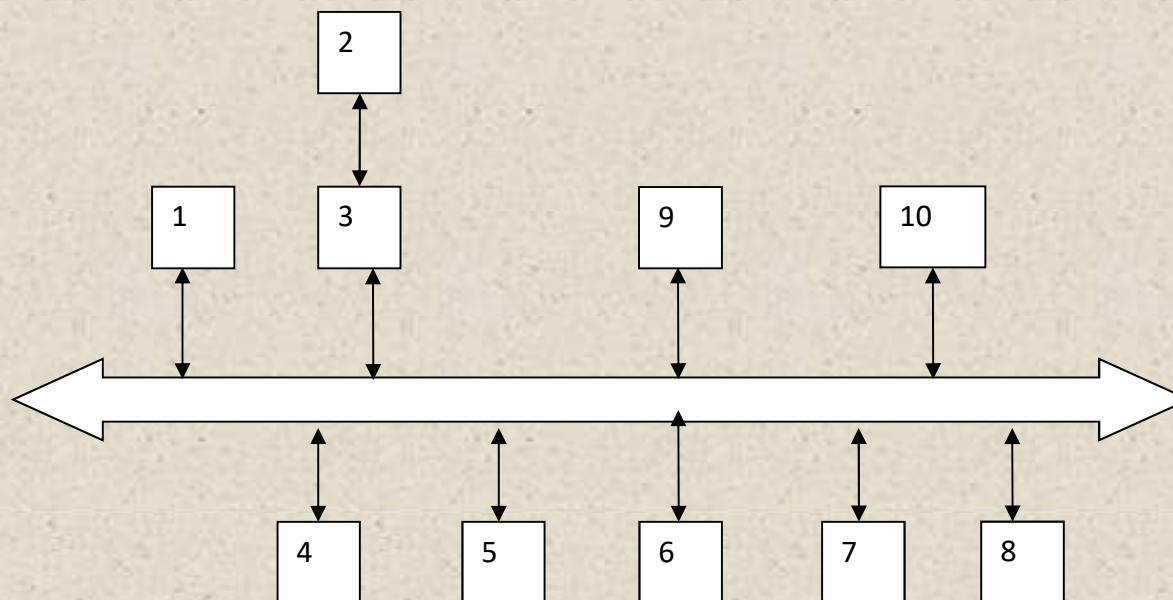
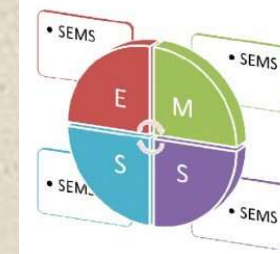
коэффициент IQ_j интеллекта j -ой группы роботов в робототехнической системе (РТС):

$$IQ_j = k_q Q_j + k_v V_j + k_M M_j$$

где: k_q, k_v, k_M – весовые коэффициенты, устанавливаемые оператором, проводящим тестовое моделирование, в зависимости от назначения тестируемой РТС.

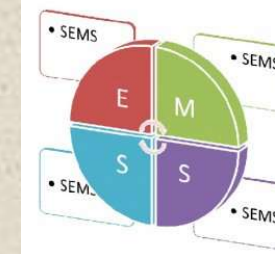


Обобщенная структура программно-аппаратного комплекса тестирования моделей групп роботов



- 1 - супервизор, 2 - оператор, 3 - человеко-машинный интерфейс,
- 4 - сборка и настройка моделей объектов управления (СНМОУ) ,
- 5 - сборка и настройка моделей окружающей среды (СНМОС) ,
- 6 - сборка тестируемых моделей групп роботов (СТМГР СТМГР) ,
- 7 - тестирование групп роботов (ТГР) ,
- 8 - обучение и коррекция моделей (ОКМ) ,
- 9 - тестовые задачи ,
- 10 - хранилище результатов работы всех блоков

1.1.6. Безопасное управление группой SEMS



При любом подходе к организации ситуационного управления группой беспилотных транспортных средств (БТС) в планирование ситуационное управление будет заключаться:

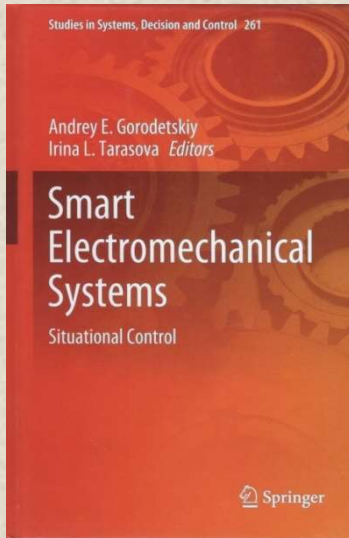
- в разделении групповой задачи на подзадачи:
- в распределении между БТС группы решений подзадач так, чтобы решение групповой задачи осуществлялось за минимальное время и при минимальном риске аварии.

При решении задачи поиска лучших сочетаний законов управления каждого члена группы БТС можно для каждого a_i члена группы найти такое управление $U_i(t_k)$, которое обеспечивало бы минимизацию функционала:

$$J_i = k_T T_i + k_R R_i$$

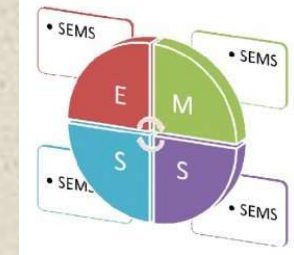
Решение задачи минимизации функционала можно разбить на этапы. Вначале производится ранжирование по величине T_i всех возможных маршрутов M_i . Затем для каждого M_i маршрута определяется оценка риска R_i . После этого определяется маршрут M_o , у которого будет минимальное значение функционала. Для выбранного маршрута определяется управление $U_i(t_k)$ с учетом имеющихся ограничений.

Публикации исследований по ситуационному управлению

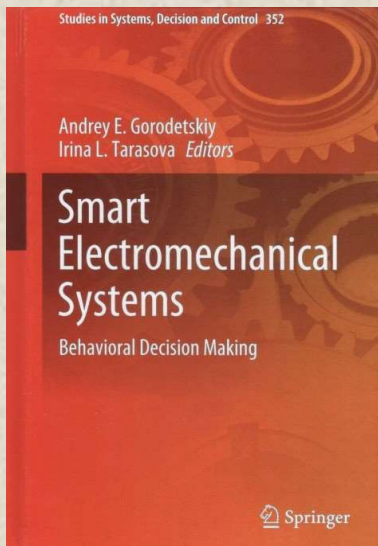


[Smart Electromechanical Systems. Situational Control. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 261. /Springer International Publishing, 2019, 290p.](#)

Представлены последние исследования по ситуационному управлению в интеллектуальных электромеханических системах. Рассмотрены методы проектирования и моделирования ситуационного управления SEMS, основанных на принципах безопасности, гибкости и адаптивности в поведении и интеллекте, а также параллелизма в обработке информации, вычислениях и управлении.



Публикации исследований по принятию поведенческих решений



[Smart Electromechanical Systems. Behavioral Decision Making. Eds. Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Studies in Systems, Decision and Control 352. /Springer International Publishing, 2020, 240p.](#)

Рассмотрено проектирование и моделирование Интеллектуальных электромеханических систем в киберфизических систем, основанных на принципах бионики, адаптивности, интеллекта и параллелизма в обработке информации и вычислениях.

Представлены последние исследования по принятию поведенческих решений в интеллектуальных электромеханических системах.