

# Роботы в современном мире: успехи, проблемы, перспективы

Общая картина

Примеры

Информация и размышления



# Об определении

[Handbook of Robotics]: robotics – intelligent connection between perception and action

[ГОСТ]: 1) Исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности, обладающий определенной степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению

2) Программируемый исполнительный механизм с определенным уровнем автономности для выполнения перемещения, манипулирования или позиционирования

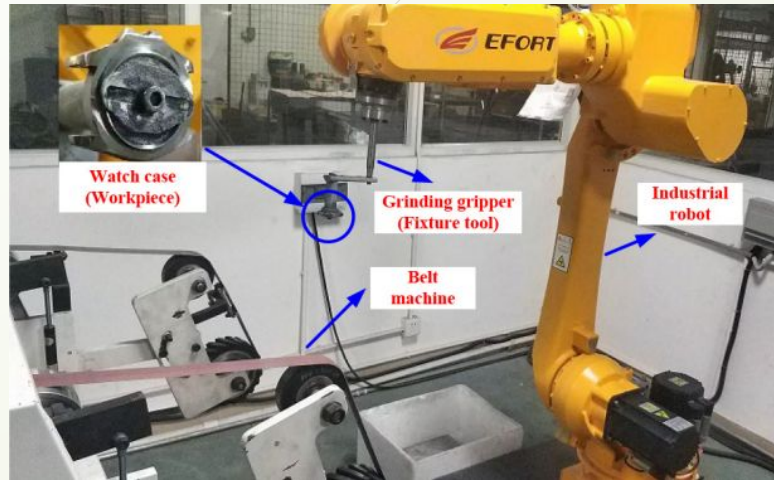
2

Здесь: то, что ассоциируется со словом робот.  
Как правило: включает руки/ноги  
Не относится к другому классу устройств  
(беспилотные автомобили, самолёты, etc)



# Общая классификация

## Промышленные



## Сервисные



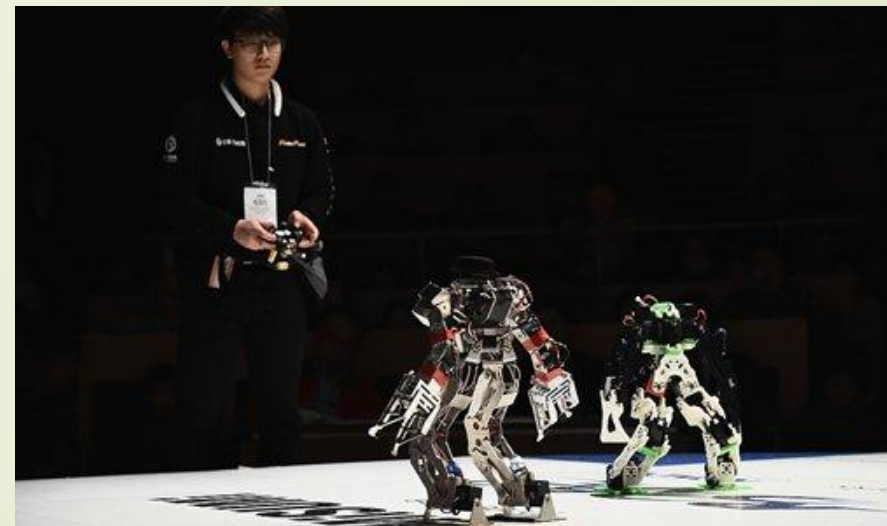
## Специальные (Field)



## Домашние



## Развлечения



# Причины применения

## **Экономические:**

снижение себестоимости товара

## **Эксплуатационные (функциональные):**

обеспечение уровня качества продукции,  
недоступного среднему работнику

4

## **Социальные:**

замещение человека в опасных для жизни и  
здоровья условиях: повышение здоровья и  
безопасности труда

# Жизненный цикл

Разработка



Настройка/подготовка



Интеграция



Эксплуатация

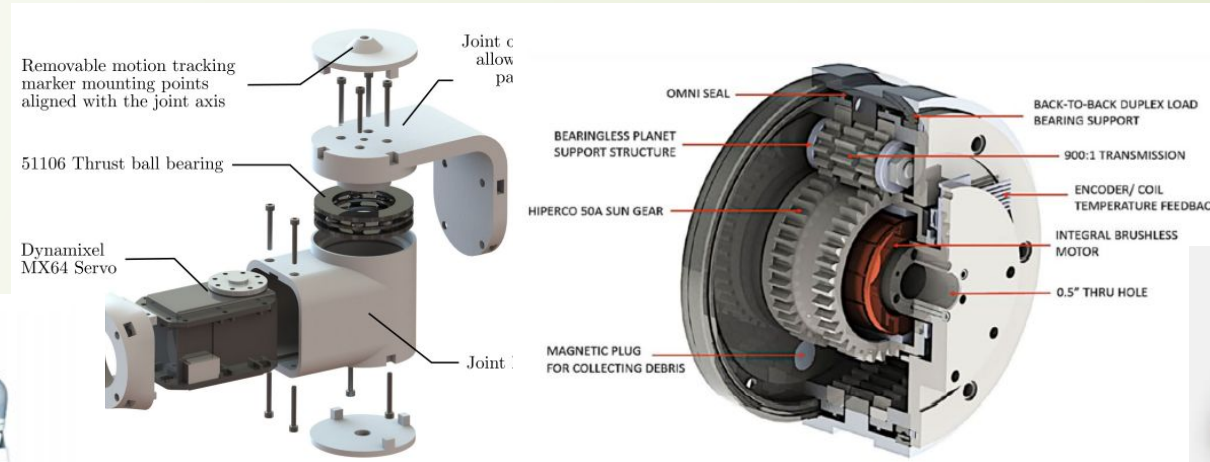
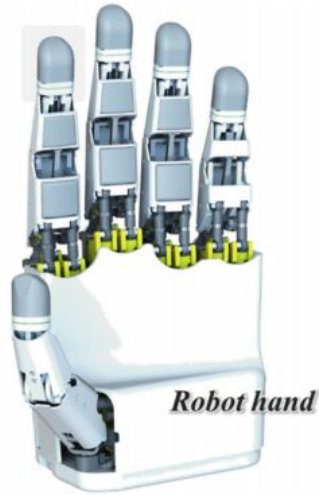
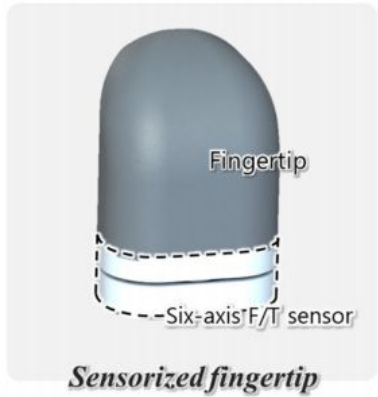


->Выведение из эксплуатации

# Декомпозиция

## Конструкция

## Сенсорная система

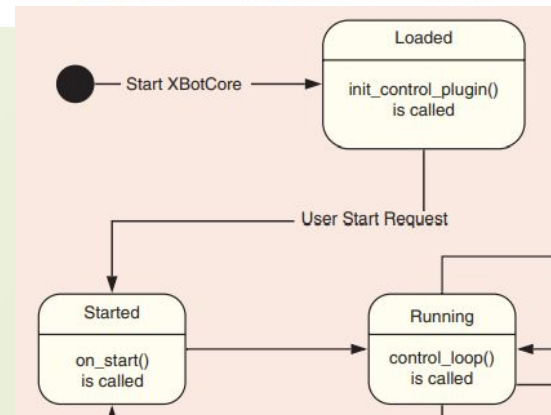


## Электроника

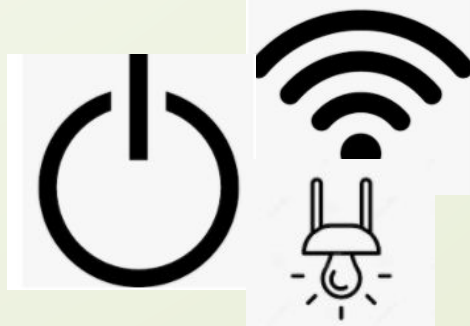


## Система управления

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(\dot{q}) + F(q, \dot{q}) + \tau_d$$



## Системы обеспечения



# Промышленные роботы

**Отрасли:** автомобилестроение, самолётостроение, пищевая,

**Области применения:** сборка, механообработка, покраска, контроль качества, транспортировка, упаковка, 3D-сканирование

**Проблемы разработки:**

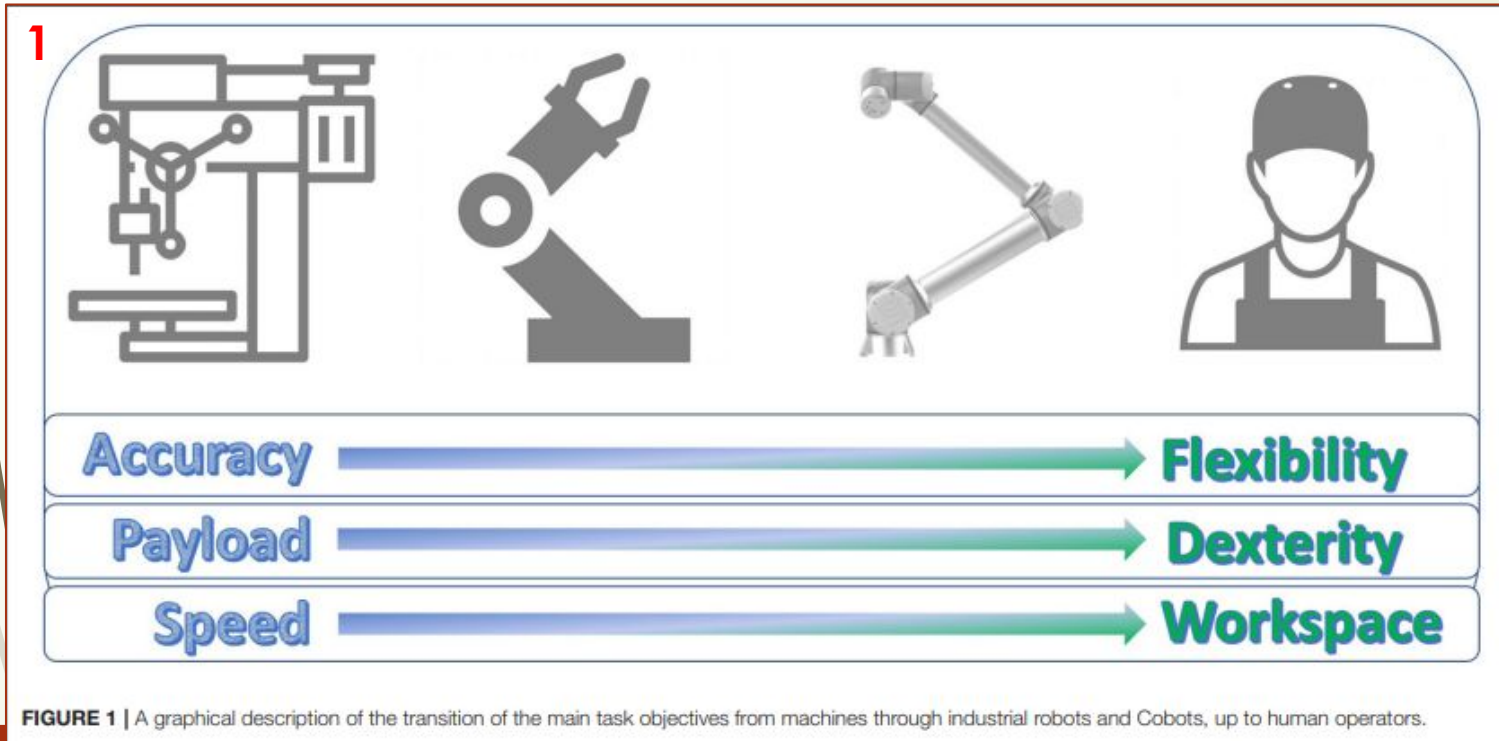
- повышение грузоподъёмности
- оптимизация рабочей зоны (вглубь)
- повышение точности (идентификация, внешние средства, компоненты)
- повышение плавности (генерация траекторий, компенсаторы)
- обеспечение безопасности
- повышение ремонтпригодности
- работа над мультимодальными интерфейсами

7

**Проблемы внедрения:**

- дистанция между разработчиками и промышленностью
- сложность (пере)программирования
- интеграция под задачу (+объединение в комплекс)
- быстрота обновлений
- пренебрежение социальным вопросом

# О промроботах



8

1 Compact Gearboxes for Modern Robotics: A Review (FrIRaAI; Brussel)

2 Towards Mobile Multi-Task Manipulation in a Confined and Integrated Environment with Irregular Objects (ICRA20; США)



# О промроботах

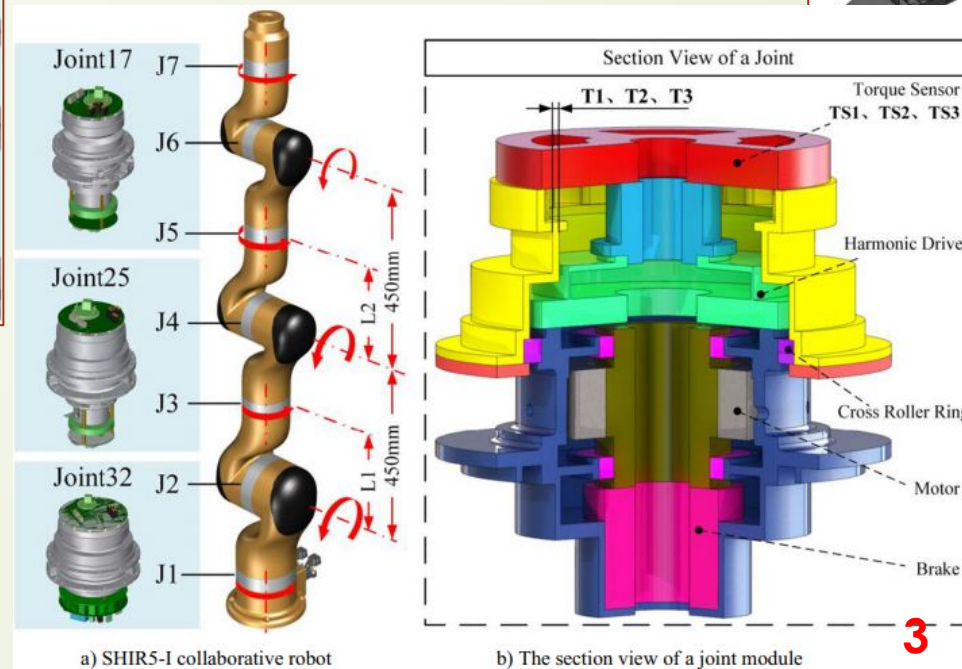
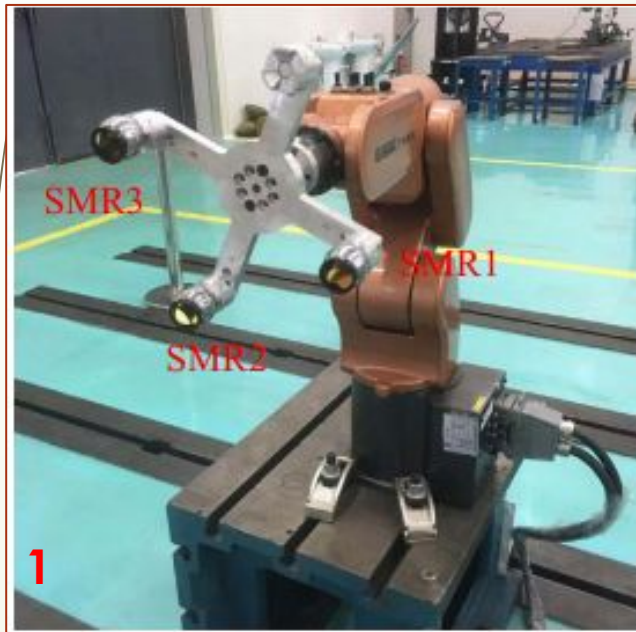
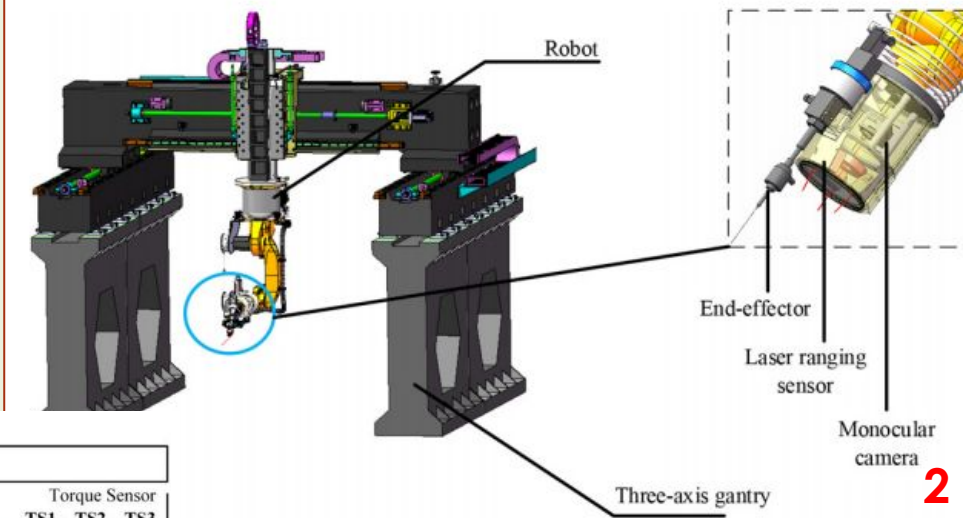
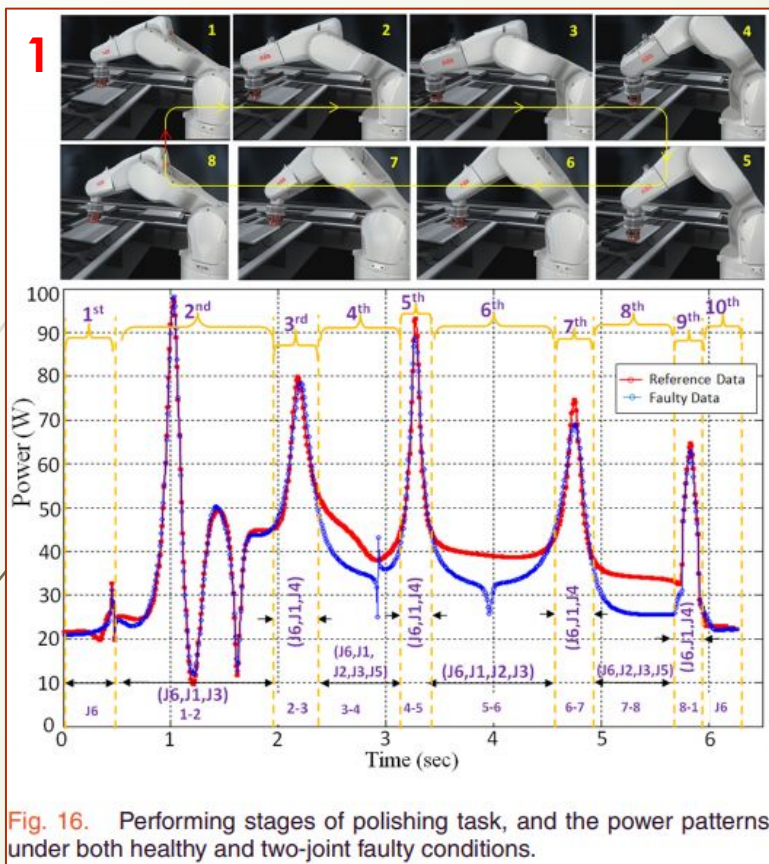


Figure 1 Concept of the mobile robotic manufacturing system



9

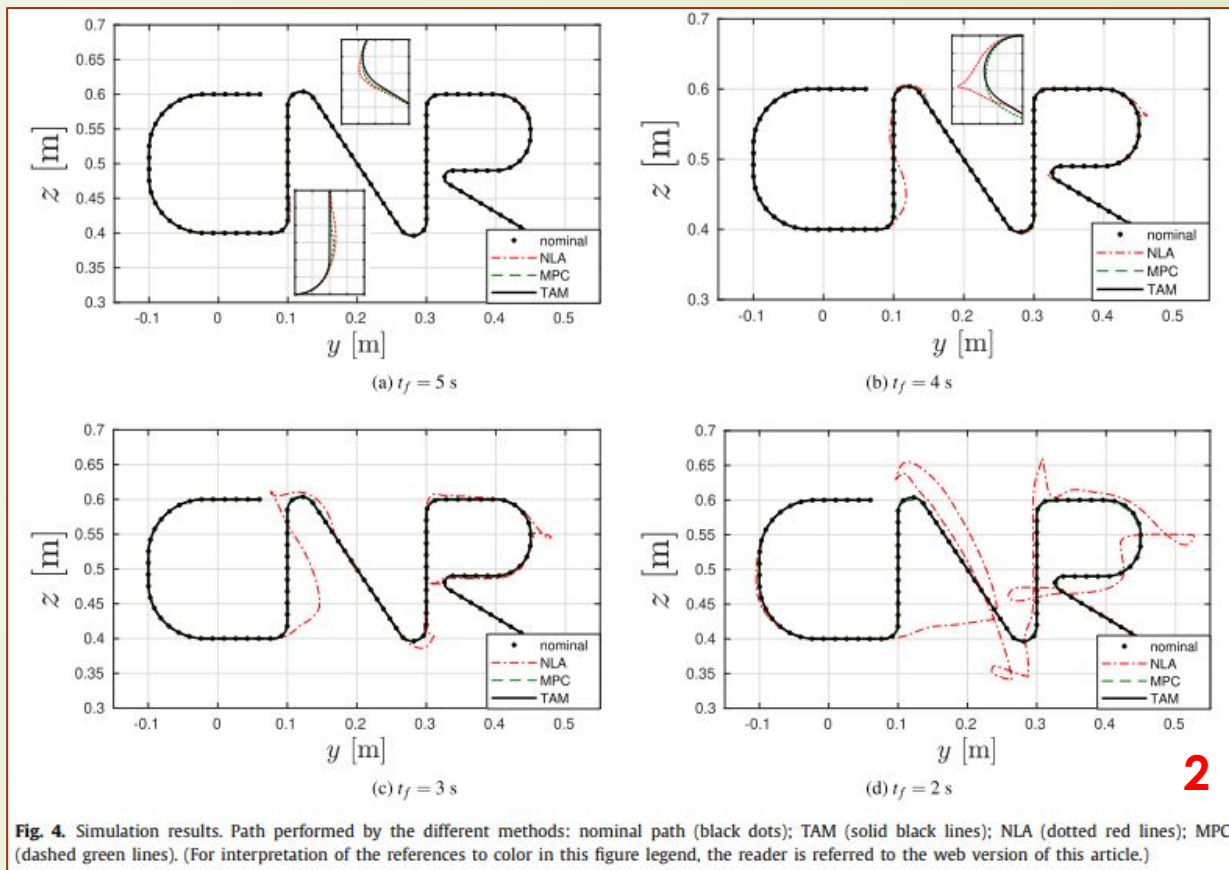
- 1 Uncertainty evaluation of measurement of orientation repeatability for industrial robots (IR20; Xi'an)
- 2 Hybrid calibration and detection approach for mobile robotic manufacturing systems (IR20; Xi'an)
- 3 Multi-objective global optimum design of collaborative robots (SMO20; KHP)



10

**1 Fault Detection and Diagnosis of Industrial Robot Based on Power Consumption Modeling (TrInE20; Малайзия)**

**2 A real-time trajectory planning method for enhanced path-tracking performance of serial manipulators (MMT21; Италия)**

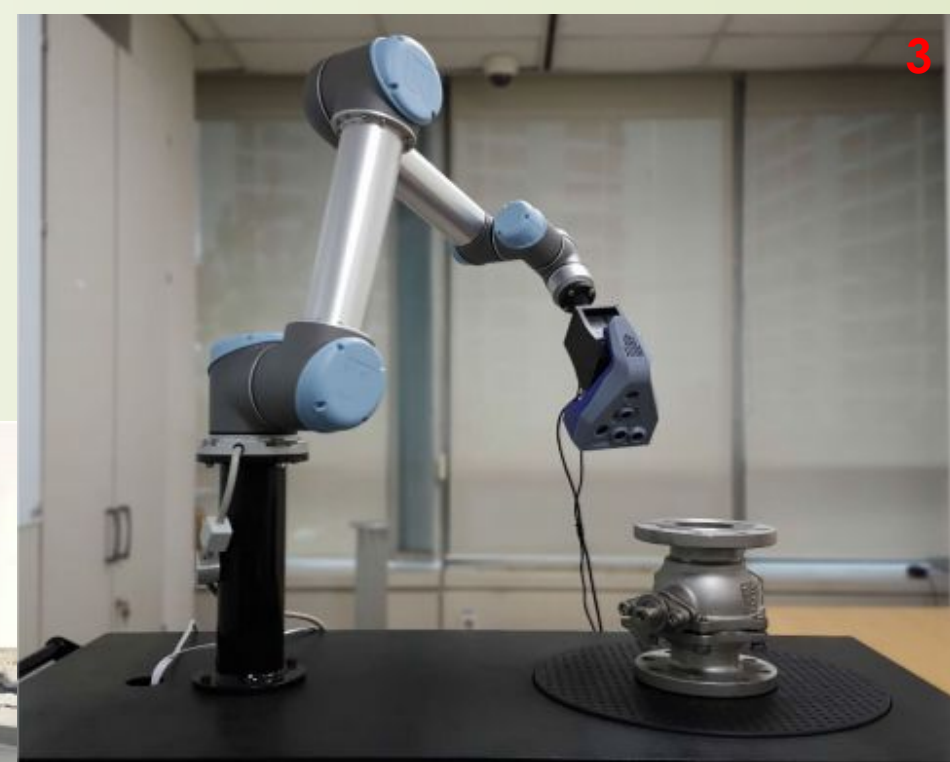


# Применение промроботов

1



Fig. 13. The hybrid spray-painting robot is inspected by RQIC (1) Hybrid painting robot. (2) Car shell. (3) Conveyor. (4) Laser tracker.



11

**1 Accurate dynamic modeling and control parameters design of an industrial hybrid spray-painting robot (RCIM20; Пекин)**

**2 A Robotics Inspection System for Detecting Defects on Semi-specular Painted Automotive Surfaces (ICRA20; Канада)**

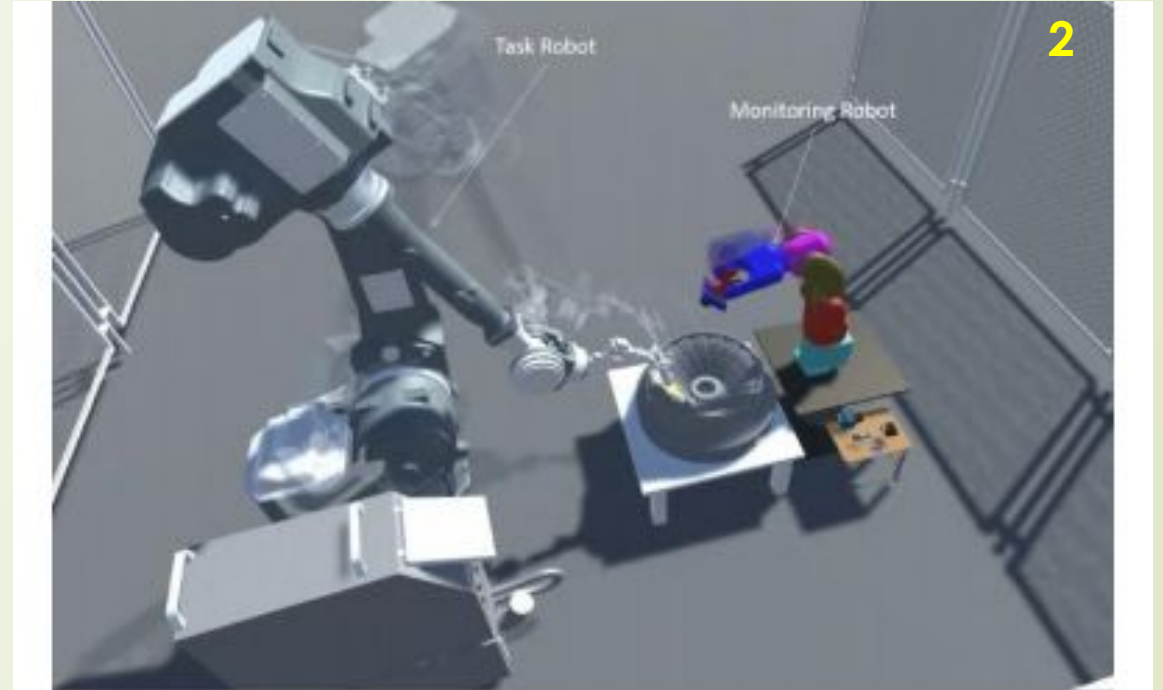
**3 Automatic Pose Generation for Robotic 3-D Scanning of Mechanical Parts (TrOR20; ЮК)**

# Применение промроботов



1

Fig. 1. Dual robotic grinding system.



2

Figure 2. Example scene in the Unity environment with a task robot (on the left) and the monitoring robot used for the experiments (on the right).

12

**1 Asymmetrical nonlinear impedance control for dual robotic machining of thin-walled workpieces (RCIM20; Ухань)**

**2 Usability Study of a Robot Companion for Monitoring Industrial Processes**

# Специальные роботы

**Отрасли:** космонавтика, МЧС, океанология, геология, оборонка, разведка

**Области применения:** разведка, первичные исследования, эвакуация, EOD, огневая поддержка

**Проблемы разработки:**

- повышение оснащённости (датчики, вычислители, питание)
- повышение проходимости
- повышение интеллектуальной автономности
- снижение шумности
- обеспечение безопасности (от перехвата связи)
- повышение отказоустойчивости
- поиск решений по интерфейсам оператора
- работа над мультимодальными интерфейсами

13

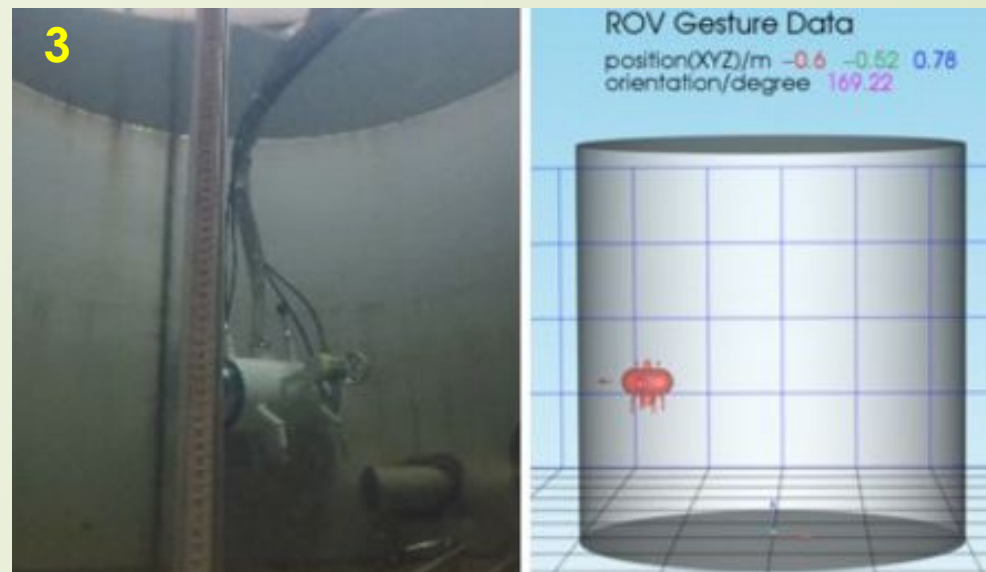
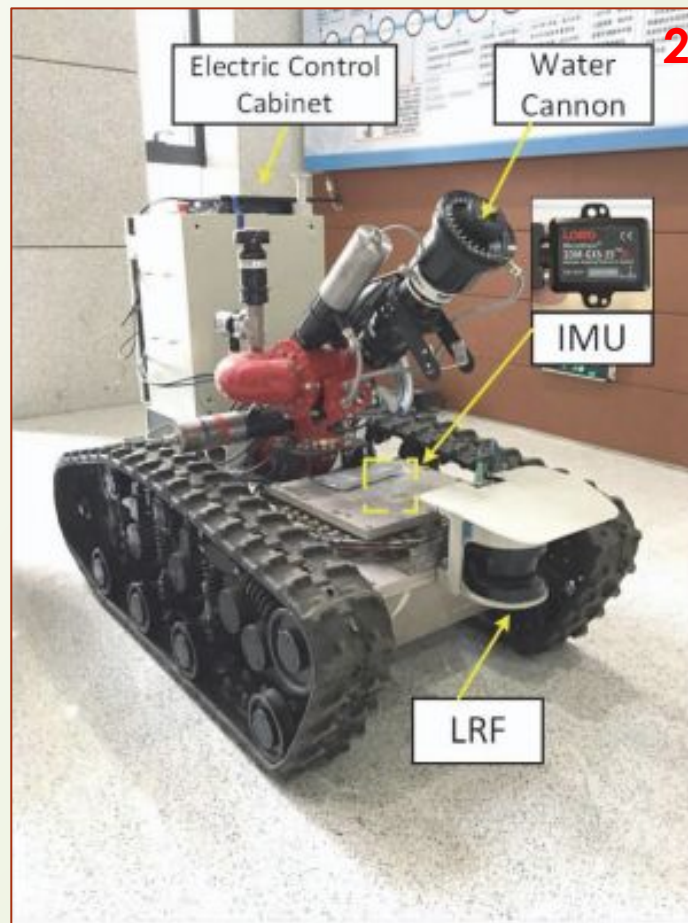
**Проблемы внедрения:**

- некоммерческое применение: преимущественно госпрограммы
- слабая систематизация и кооперация знаний и программных библиотек
- низкая стандартизация самих роботов (и интерфейсов)
- малый опыт применения в реальных условиях

# О спецроботах



Fig. 1: WRS-Telebot



14

1 Design of a Semi-Humanoid Telepresence Robot for Plant Disaster Response and Prevention (IROS19; Kent, США)

2 Self-modeling Tracking Control of Crawler Fire Fighting Robot Based on Causal Network (IROS19; Пекин)

3 Research on spatial positioning of online inspection robots for vertical storage tanks (IR20; Китай)

# Сервисные роботы

**Отрасли:** логистика, сельское хозяйство, добывающая промышленность, коммунальная сфера (клининг etc), медицина

**Области применения:** сбор продукта, перемещение объектов, наблюдение, контактные операции, движение человека

**Проблемы разработки:**

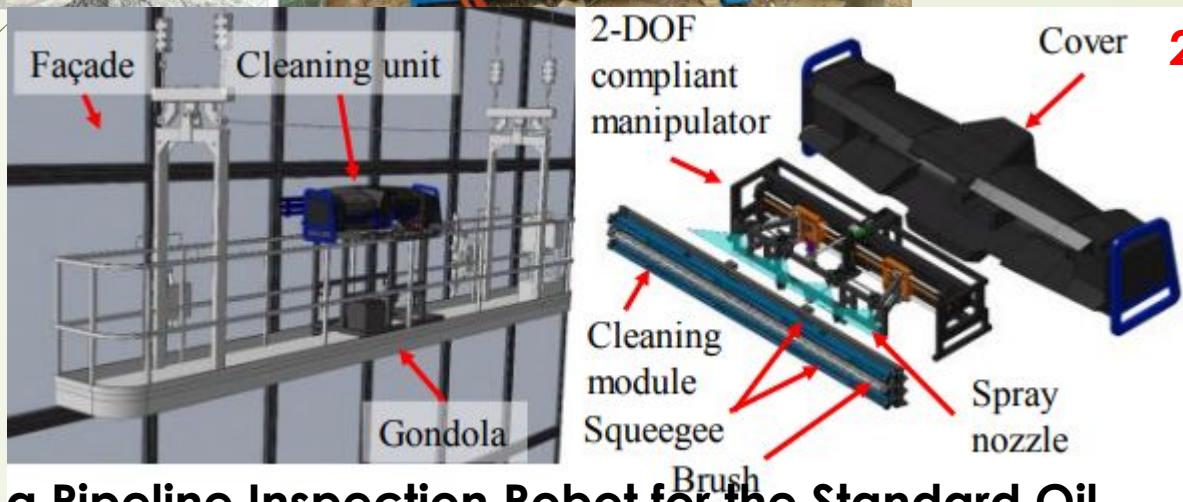
- улучшение взаимодействия в группах
- сложная интеграция (специнструмент) под задачу

15

**Проблемы внедрения:**

- большое разнообразие типов
- часто слабодетерминированные условия
- существование на стадии университетских разработок

# Применение сервисных роботов



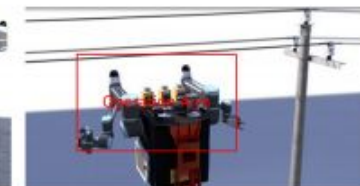
3

(a)

(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Notes: (a) Robot initial posture; (b) insulation arm starts rising; (c) insulation arm approach to working space; (d) both arms approach the working space; (e) stripping operation; (f) start working with both arms; (g) wire connection operation; (h) wire cutting operation

16

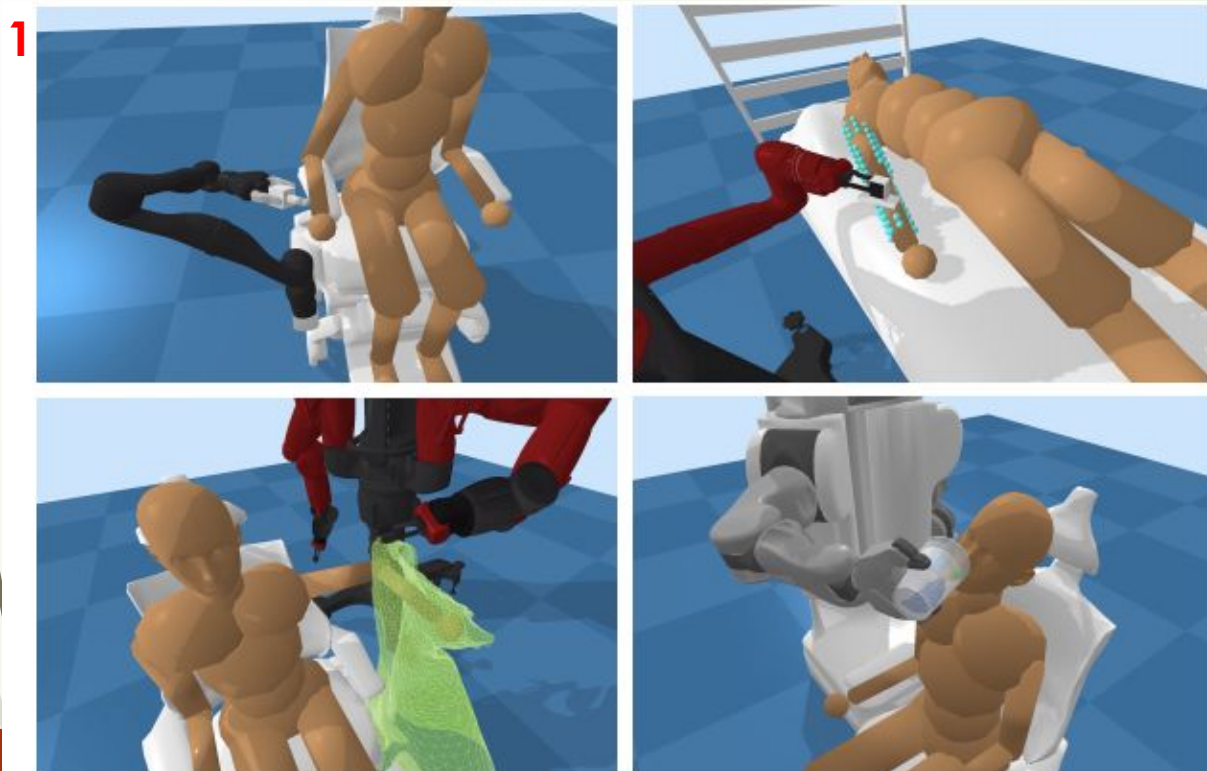
1 Development of a Pipeline Inspection Robot for the Standard Oil Pipeline of China National Petroleum Corporation (ApS20; Китай)

2 Position-based Impedance Control of a 2-DOF Compliant Manipulator for a Façade Cleaning Operation (ICRA20; ЮК)

3 Research on mechanism configuration and coordinated control for power distribution network live working robot (IR20; Китай)



# Применение сервисных роботов



17 Fig. 1. Four robots in Assistive Gym providing physical assistance. The four tasks include itch scratching, bed bathing, dressing, and drinking assistance.

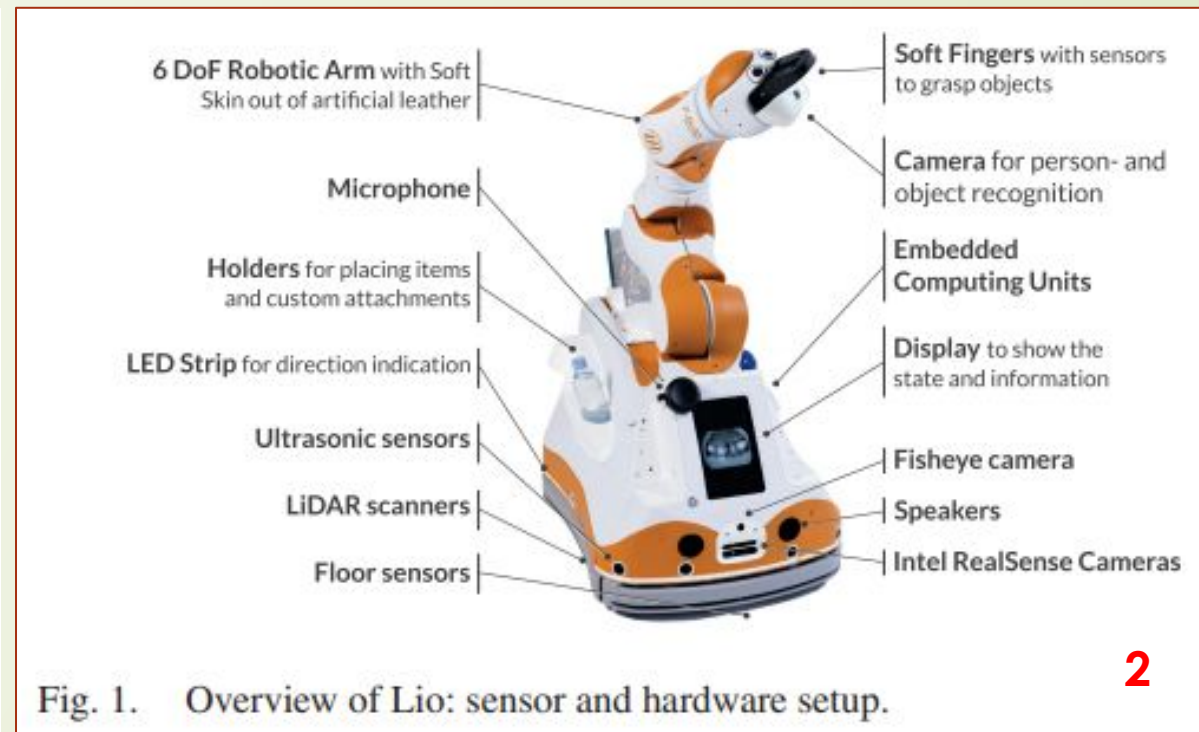


Fig. 1. Overview of Lio: sensor and hardware setup.

1 Assistive Gym: A Physics Simulation Framework for Assistive Robotics (ICRA20, США-разное)

2 Lio-A Personal Robot Assistant for Human-Robot Interaction and Care Applications (RAL20, F&P Robotics, Zurich)

# О сервисных роботах

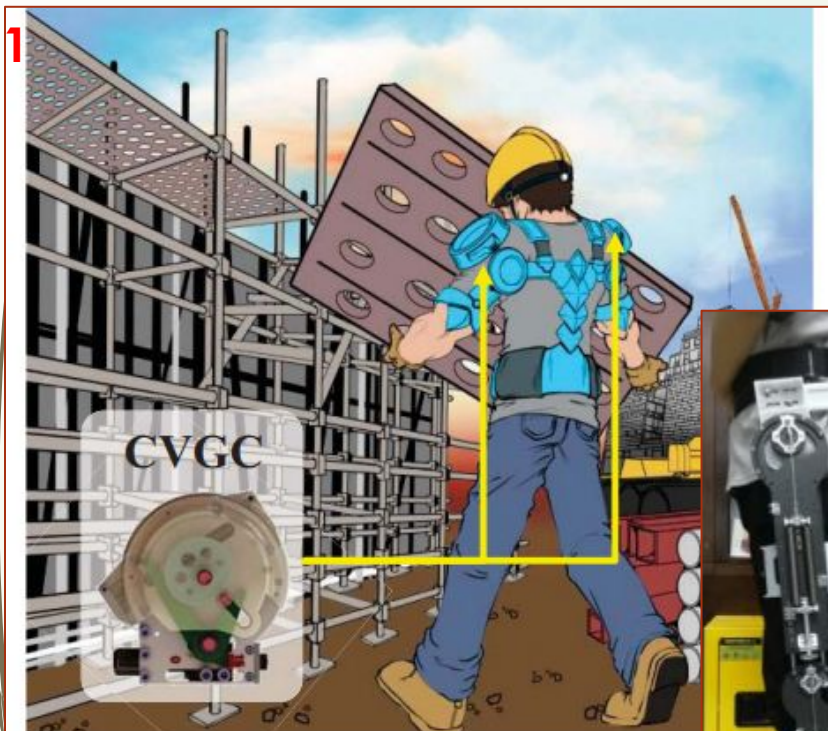
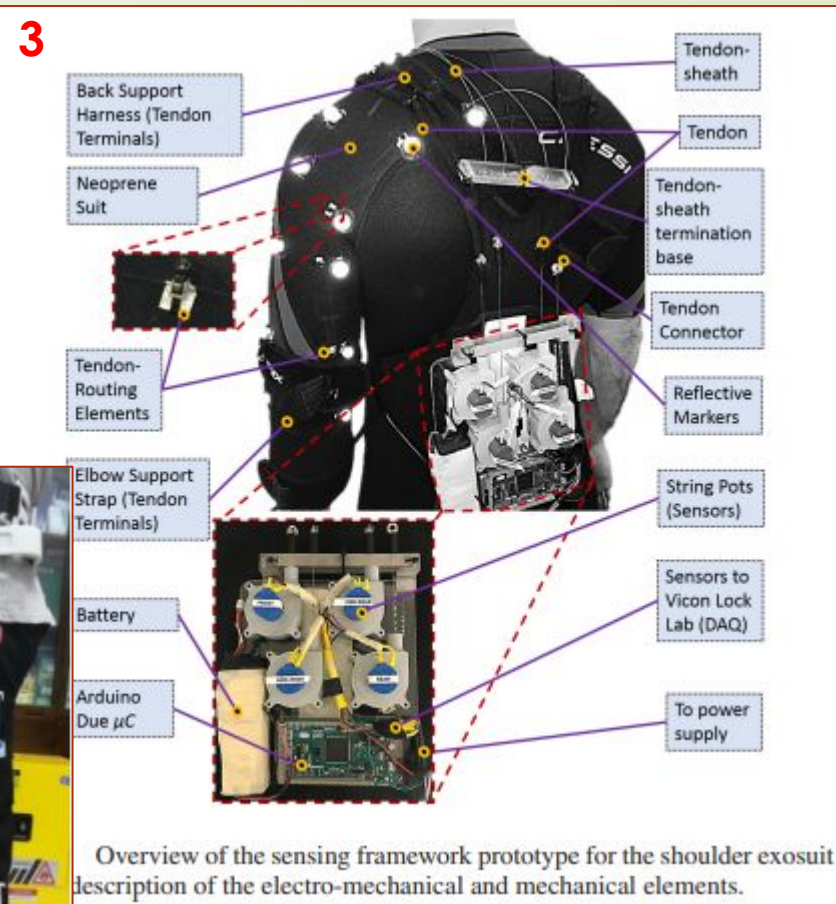


Fig. 8. Long-term application of the CVGC to passive-type wearable robots



Overview of the sensing framework prototype for the shoulder exosuit description of the electro-mechanical and mechanical elements.

**1 Design of Compact Variable Gravity Compensator (CVGC)  
Based on Cam and Variable Pivot of a Lever Mechanism (IROS19; ЮК)**

**2 A Novel Portable Lower Limb Exoskeleton for Gravity  
Compensation during Walking (ICRA20; Китай)**

**3 Design and Prototyping of a Bio-Inspired Kinematic Sensing Suit for the Shoulder Joint: Precursor to a  
Multi-DoF Shoulder Exosuit (RAL20; Шанхай/ВБ)**

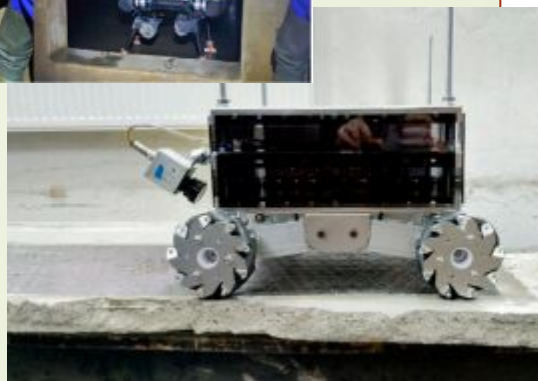
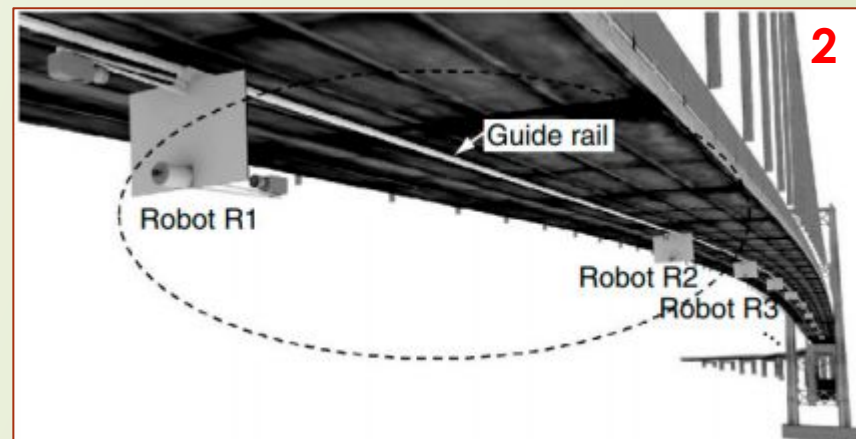
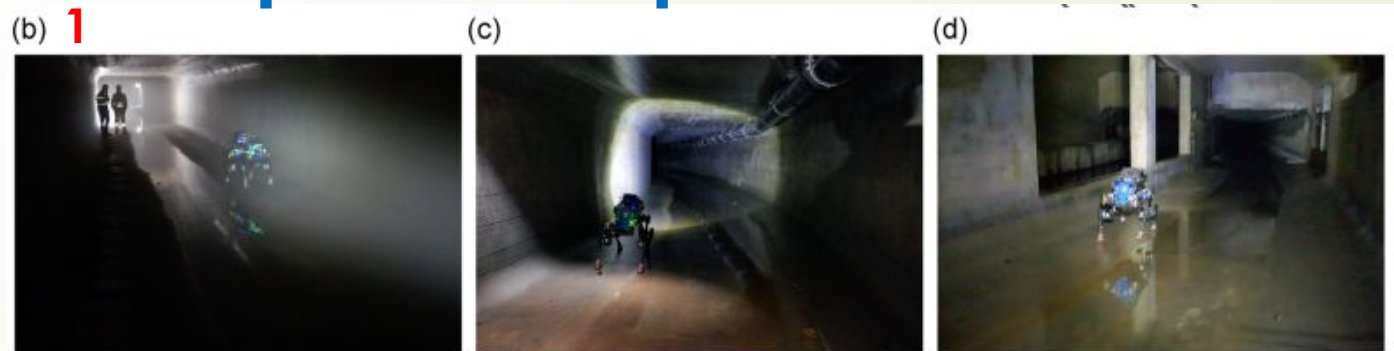
# О сервисных роботах



Figure 14. Variety of teleoperation applications with a SRL. a,b) vegetables picking, c) painting on a wall, d) washing a window, e,f) giving tools to a worker and g) playing badminton.

**Multifunctional Remotely Actuated 3-DOF Supernumerary Robotic Arm Based on Magnetorheological Clutches and Hydrostatic Transmission Lines (RAL20; Канада)**

# О сервисных роботах



20

1 Towards autonomous inspection of concrete deterioration in sewers with legged robots (JFR20; ETH)

2 Wheeled Robot Dedicated to the Evaluation of the Technical Condition of Large-Dimension Engineering Structures (ROB20; Польша)

# Декомпозиция научных задач

□ Ни один научный материал нельзя описать одним ключевым словом, требуется указать:

## Компонент:

- сенсоры
- приводы
- интерфейсы управления
- материалы
- кисти
- редукторы
- задающие рукоятки
- VR

## Область:

- промышленные манипуляторы
- коллаборативные манипуляторы
- космические роботы
- роботы для ЧС
- роботы спецназначения
- роботы в атомпроме
- медицинские роботы
- с/х роботы
- роботизация техники
  
- гуманоидные роботы
- биоморфы
- квадрупеды
- беспилотники
- параллельные роботы

## Научный вопрос:

- моделирование
- управление
- планирование пути
- расчёт траекторий
- безопасность взаимодействия
- безопасность к отказам
- бенчмаркинг
- оптимизация кинематики/компоновки
- софт
- калибровка и идентификация
- наблюдатели
- машинное обучение
- нейроинтерфейсы
- кооперативные роботы



(a) 1.66s



(b) 2.06s



(c) 2.46s



(d) 3.36s

Fig. 12. Robot unsuccessfully attempting to climb a slippery  $20^\circ$  slope (aluminum with soap) without employing downward thrust from the propellers. The robot goes up about one body length thanks to its momentum but then it slides down the hill. The time stamps are correlated to Fig. 10.



(a) 1.51s



(b) 1.56s



(c) 2.16s

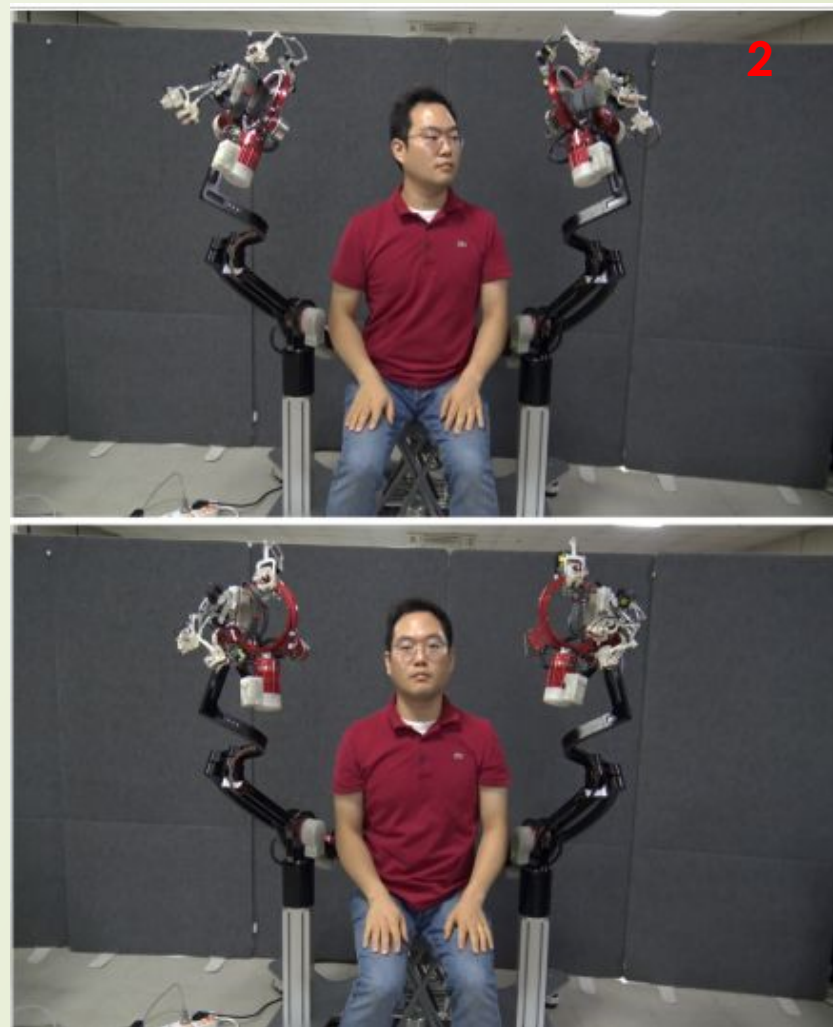


(d) 2.69s

Fig. 13. Robot successfully climbing a slippery  $20^\circ$  slope (aluminum with soap) by employing downward thrust from the propellers. The time stamps are correlated to Fig. 11.

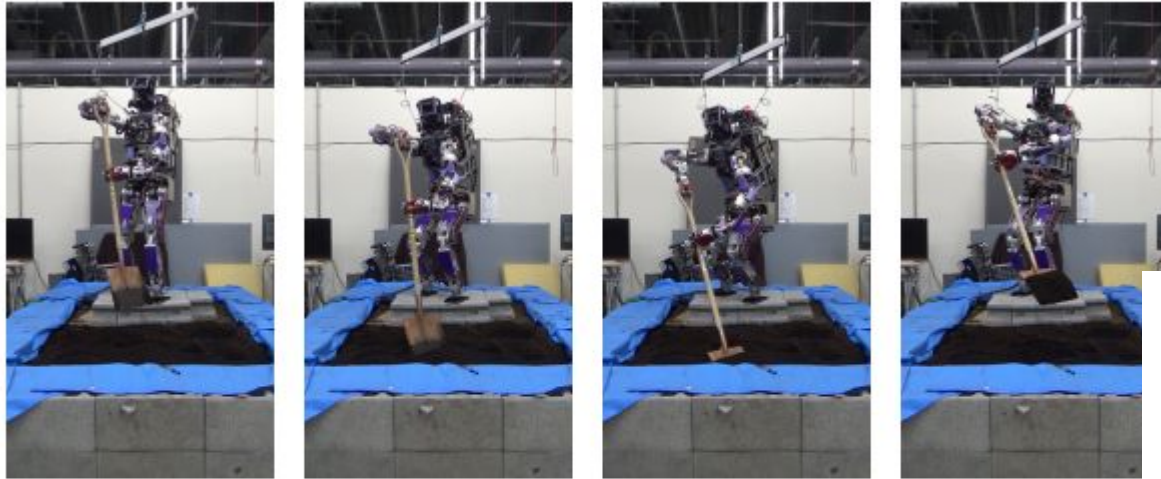


1 WLR-II, a Hose-less Hydraulic Wheel-legged Robot (IROS19; Hardin IoT)



2 Design of a Parallel Haptic Device with Gravity Compensation by using its System Weight (ICRA20; IOK)

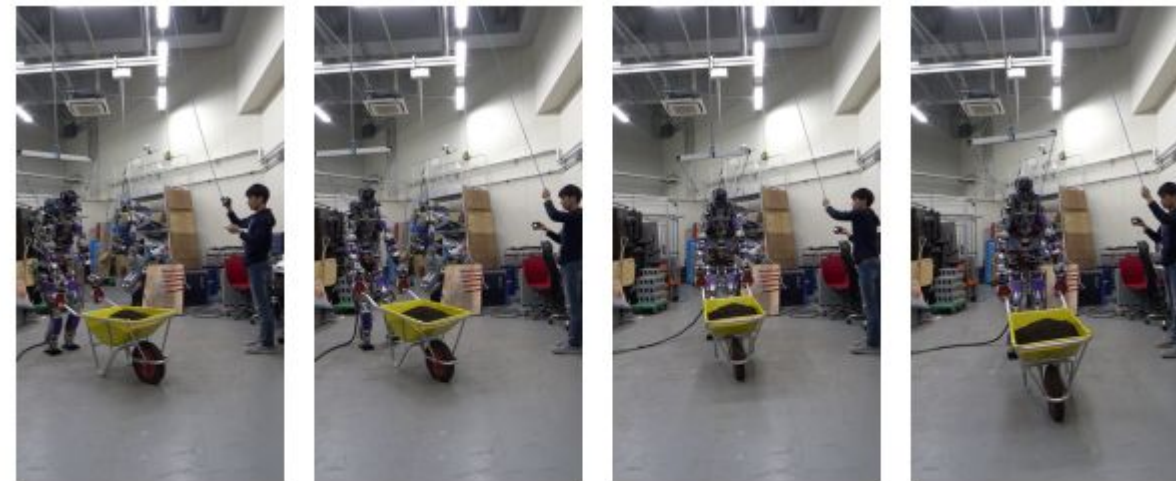
# ИННОВАЦИИ



(a)  $t=4.5$  s    (b)  $t=12.5$  s    (c)  $t=20.5$  s    (d)  $t=26.5$  s

Fig. 7: JAXON digging soil using the static force compensation. Times in the captions are roughly synchronized with the graphs in Fig.9.

24



(a)  $t=19$  s    (b)  $t=28$  s    (c)  $t=37$  s    (d)  $t=48$  s

Fig. 10: JAXON carrying a wheelbarrow with our static force compensation method. The robot succeeded to lift and carry the wheelbarrow. Times in the captions are roughly synchronized with the graphs in Fig.12.

**Humanoid Robot's Force-Based Heavy Manipulation Tasks with Torque-Controlled Arms and Wrist Force Sensors (IROS19; U of Tokyo)**





Fig. 7. Results in the real-world environment. Top-left: initial steps of the estimation before moving. Bottom-left: result of the estimation. Right: collision state (the robot's third link is colliding with a cylindrical obstacle).

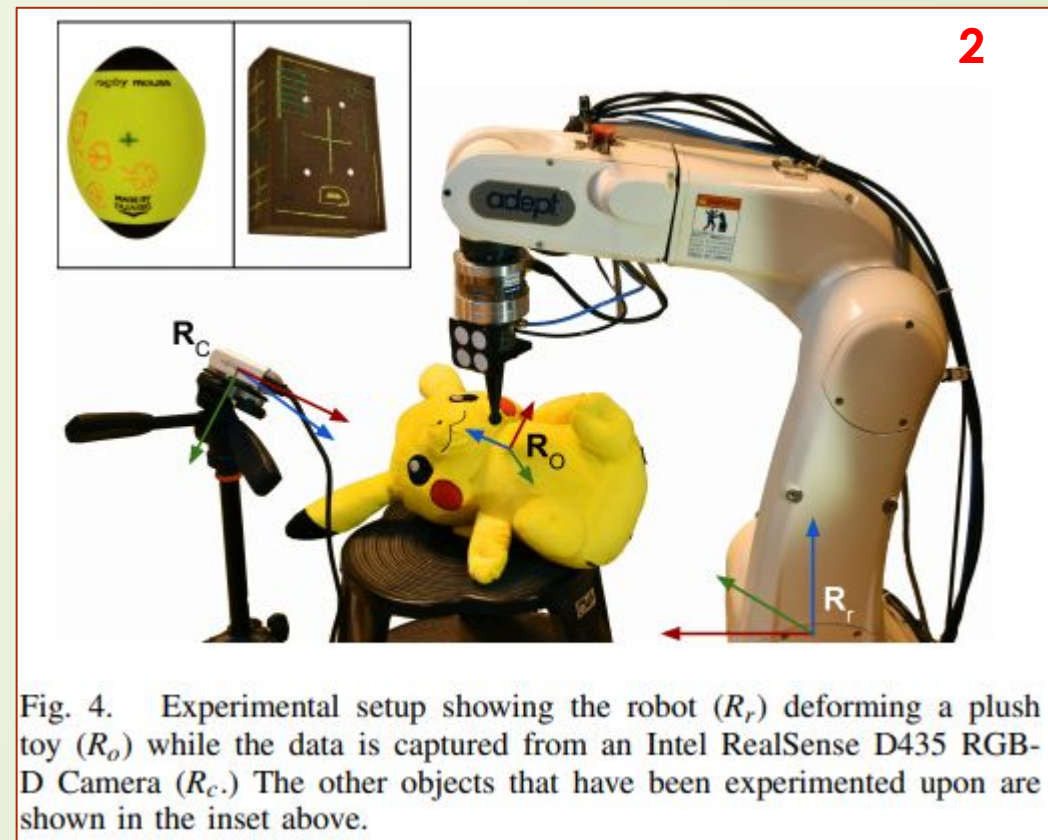


Fig. 4. Experimental setup showing the robot ( $R_r$ ) deforming a plush toy ( $R_o$ ) while the data is captured from an Intel RealSense D435 RGB-D Camera ( $R_c$ ). The other objects that have been experimented upon are shown in the inset above.

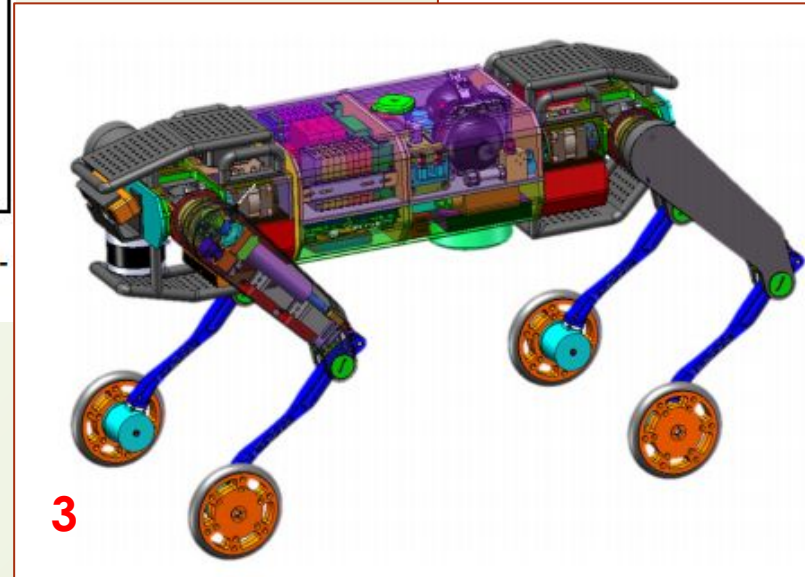
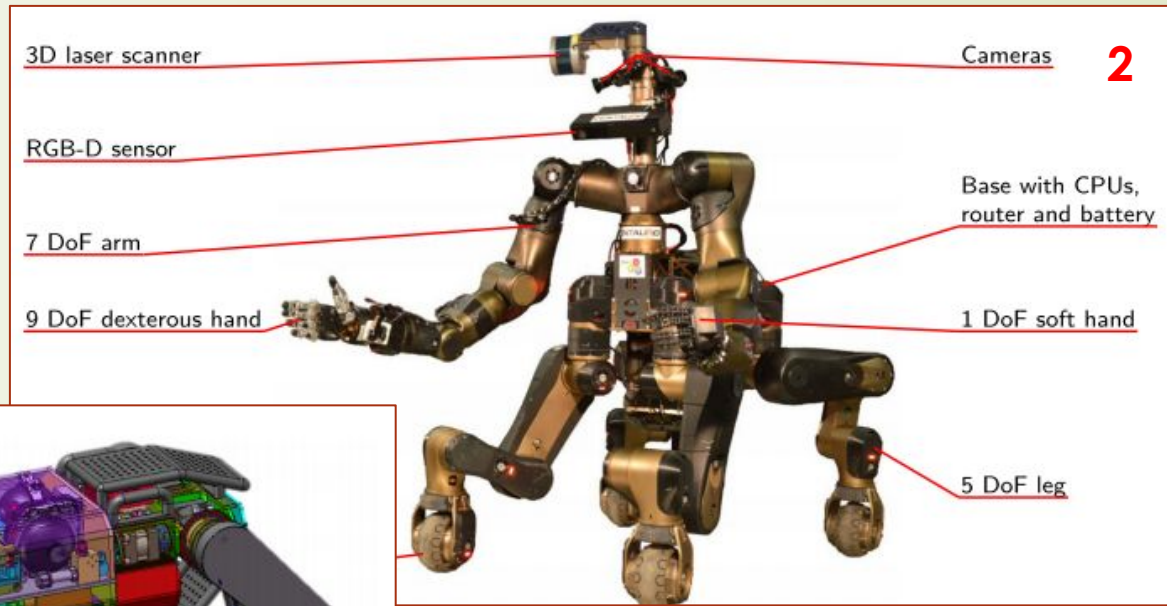
1 Collision Detection and Isolation on a Robot using Joint Torque Sensing (IROS19; IIT+)

2 Simultaneous Tracking and Elasticity Parameter Estimation of Deformable Objects (ICRA20; Penn)

# ИННОВАЦИИ



**Figure 1.** Structure of a coordinated variable wheel-track walking mechanism.



26

- 1 Design and kinematics analysis of coordinated variable wheel-track walking mechanism (IJARS20; Nanjing IoT)
- 2 Remote mobile manipulation with the centauro robot: Full-body telepresence and autonomous operator assistance (JFR20; IIT+)
- 3 Rolling based locomotion on rough terrain for a wheeled quadruped using centroidal dynamics (MMT20; Сорбонна)

1



Fig. 1. AgileBot and SkaterBot, two robots created with the help of our interactive design system.

27

1 A Computational Framework for Designing Skilled Legged-Wheeled Robots (RAL20; ETH)

2 Stair-climbing gait for a four-wheeled vehicle (RMECH20; Япония)

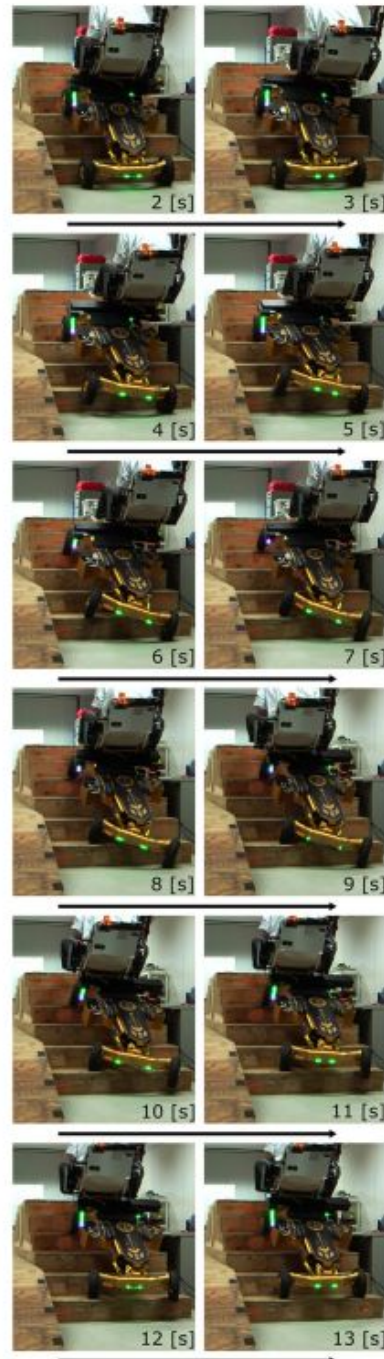


Fig. 10 Stair-climbing gait

2



Fig. 11 Climbing up stairs

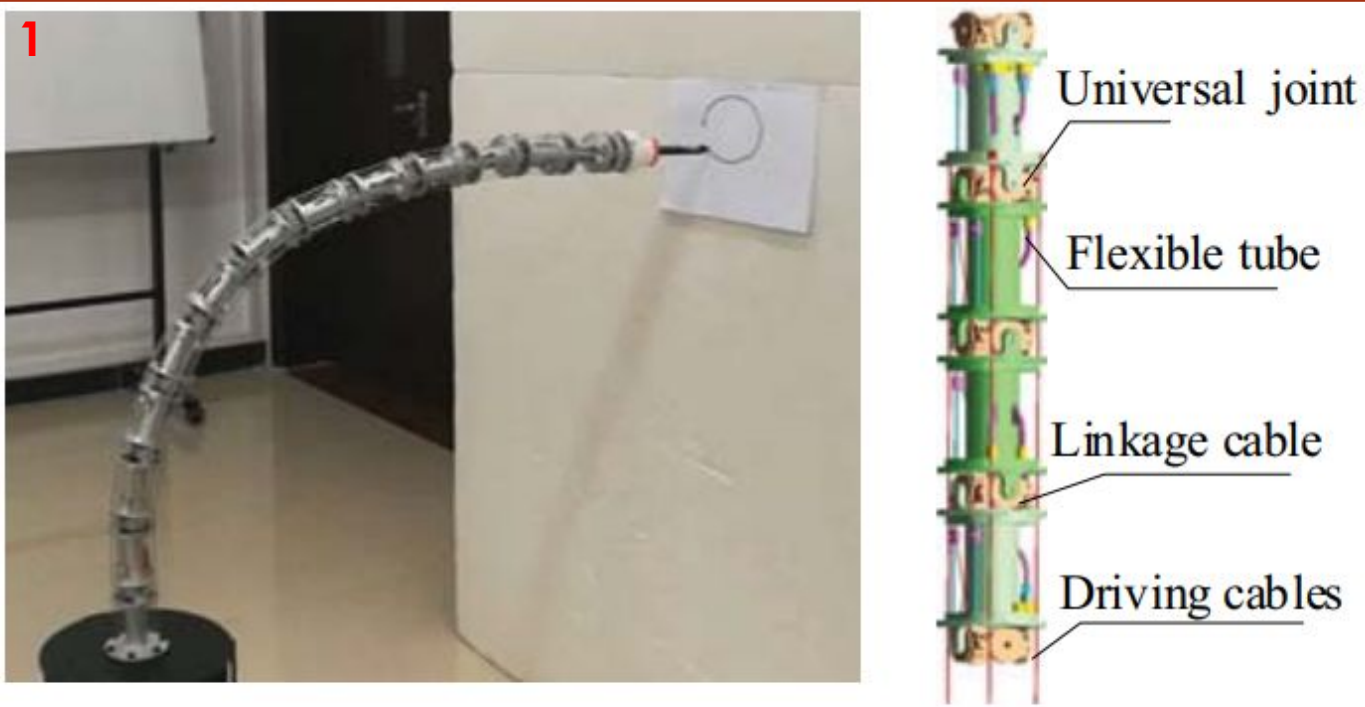


Fig. 2. The Preliminary Design of CRSM[9]

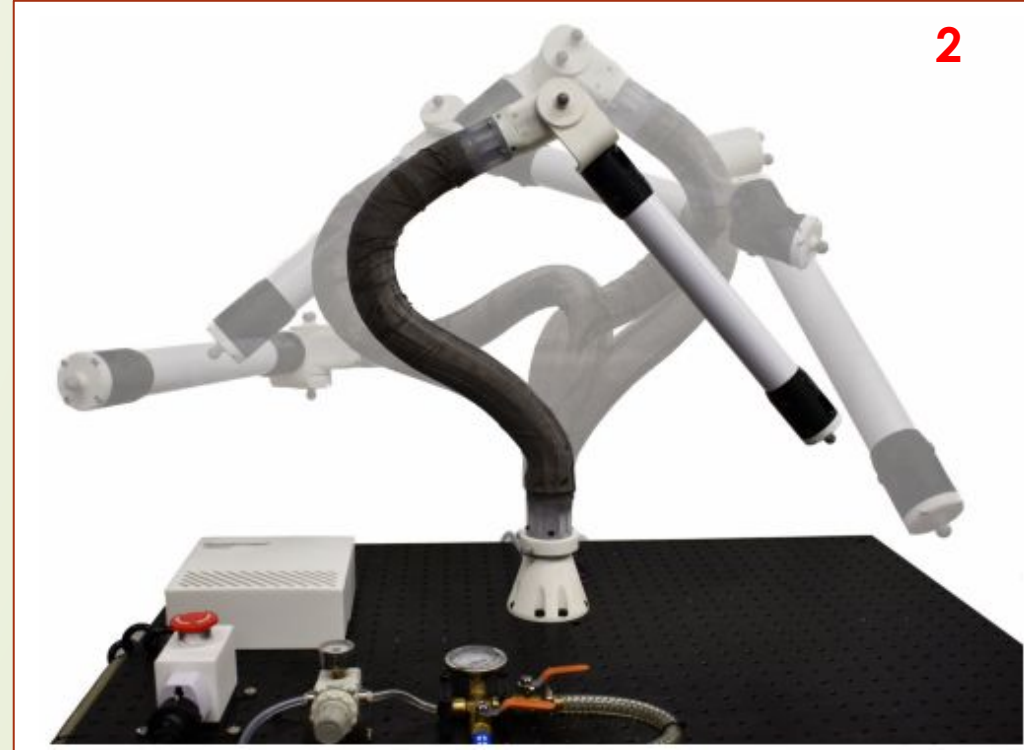


Fig. 1. The developed two-degree-of-freedom (DOF) malleable robot arm, showing various topology configurations it can achieve. A PUMA-like configuration is shown in foreground.

1 Improved Mechanical Design and Simplified Motion Planning of Hybrid Active and Passive Cable-driven Segmented Manipulator with Coupled Motion (IROS19; Harbin IoT, Hong Kong Pol Un)

2 Design and Workspace Characterisation of Malleable Robots (ICRA20; Imperial College London)

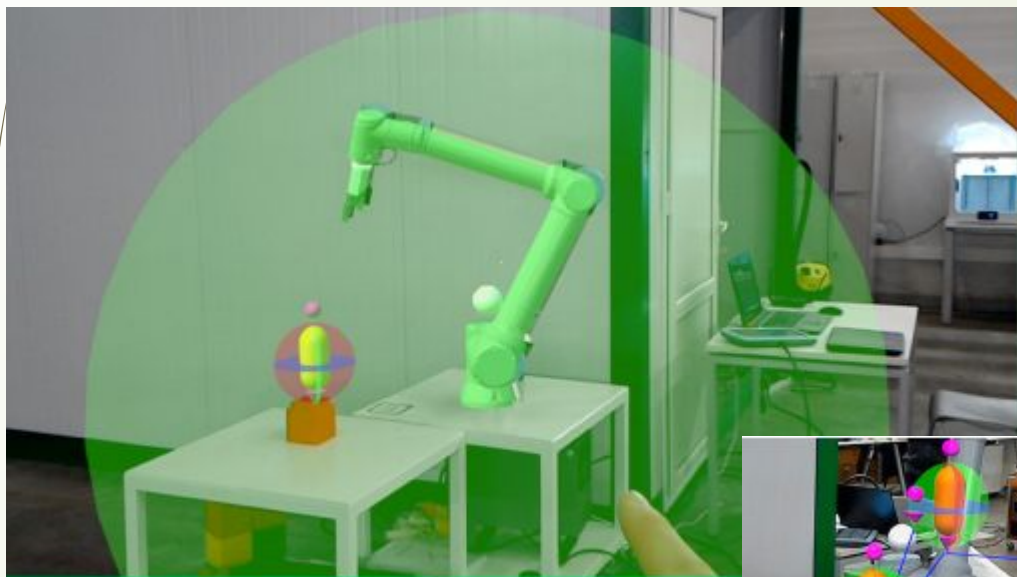
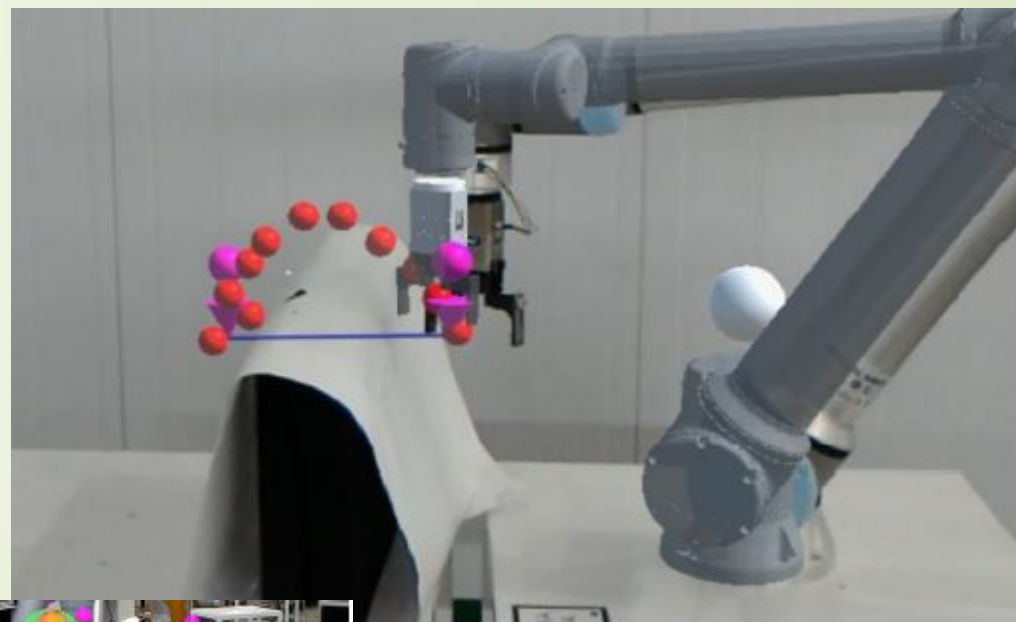


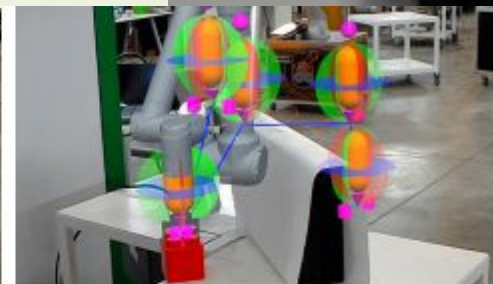
Fig. 3: Workspace visualization



Path with obstacle avoidance



(a) Setting control points



(b) Picking



(c) Execution



(d) Placement

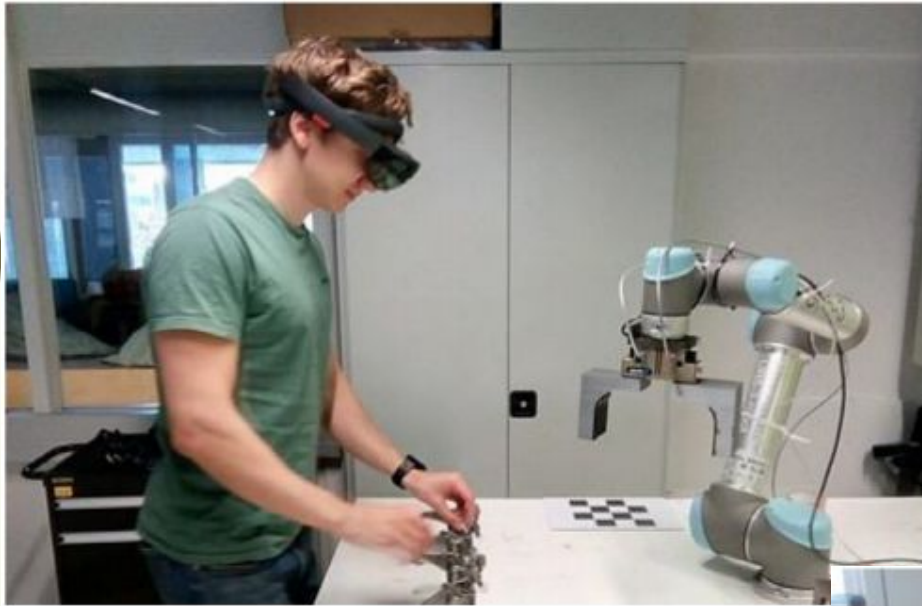


Fig. 4. Test set-up before the experiment with HoloLens.

30



# ИННОВАЦИИ

1

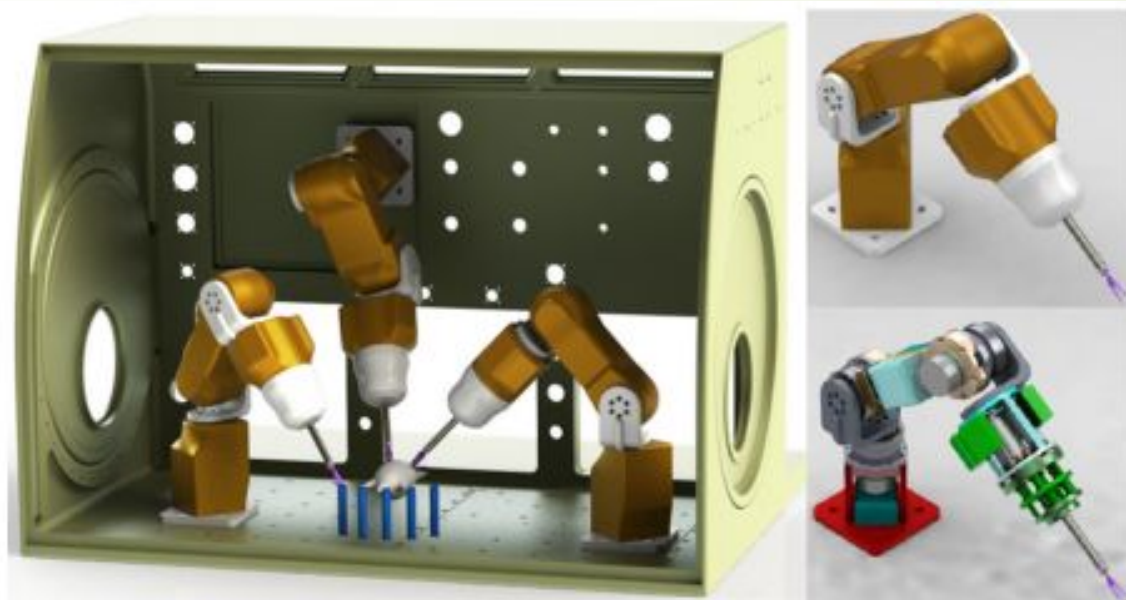


Fig. 1: The RAVEN-S, designed for remote teleoperation of rodent dissection on board the International Space Station. Shown in 3 arm configuration with and without protective covers.

31

2

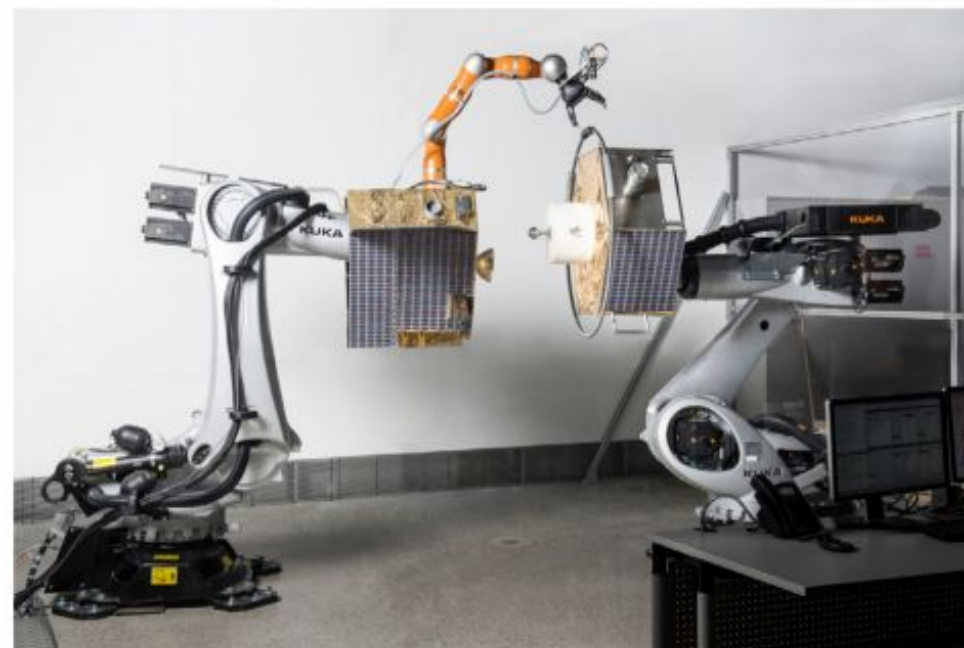
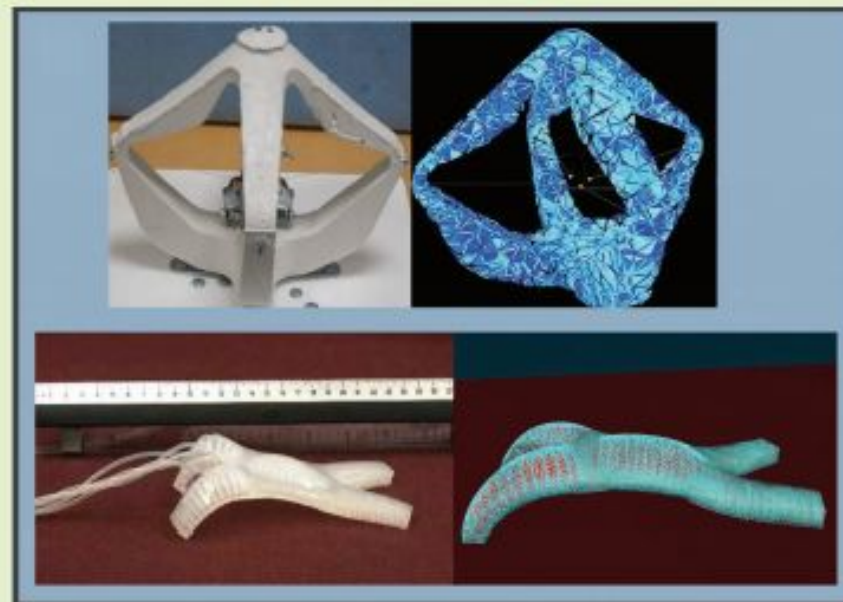


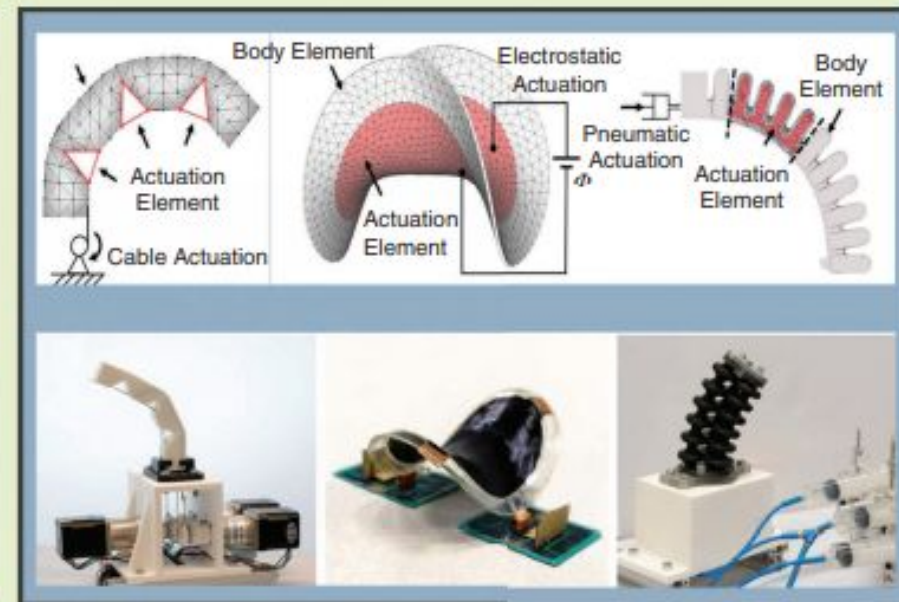
Fig. 1. The On-Orbit Servicing Simulator at DLR RMC: detail of the micro-macro space robot simulator.

**1 RAVEN-S: Design and Simulation of a Robot for Teleoperated Microgravity Rodent Dissection Under Time Delay (ICRA20; U of Washington, Сиэтл)**

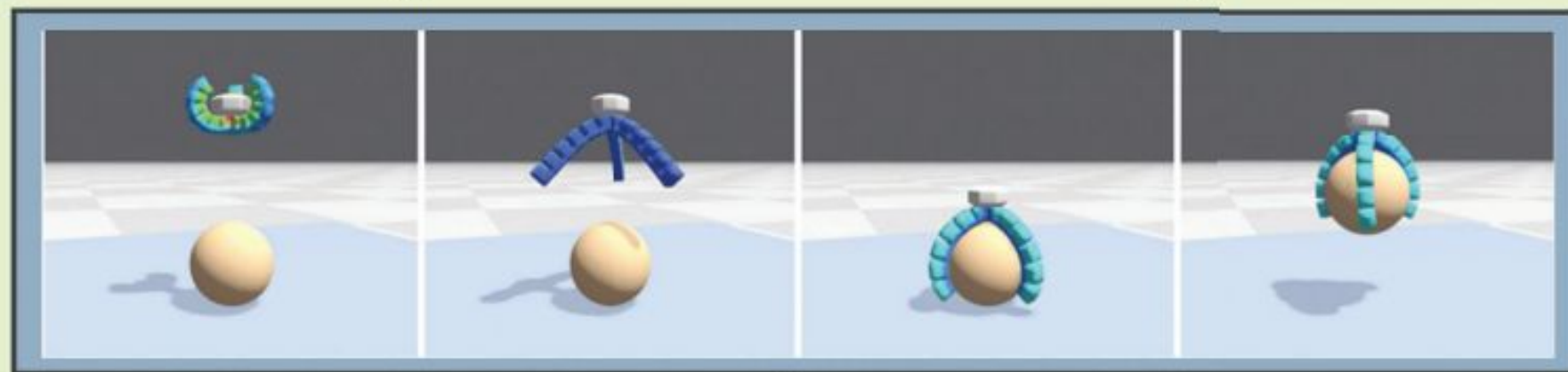
**2 Coordination of thrusters, reaction wheels, and arm in orbital robots (RAS20; DLR)**



(a)



(b)



(c)



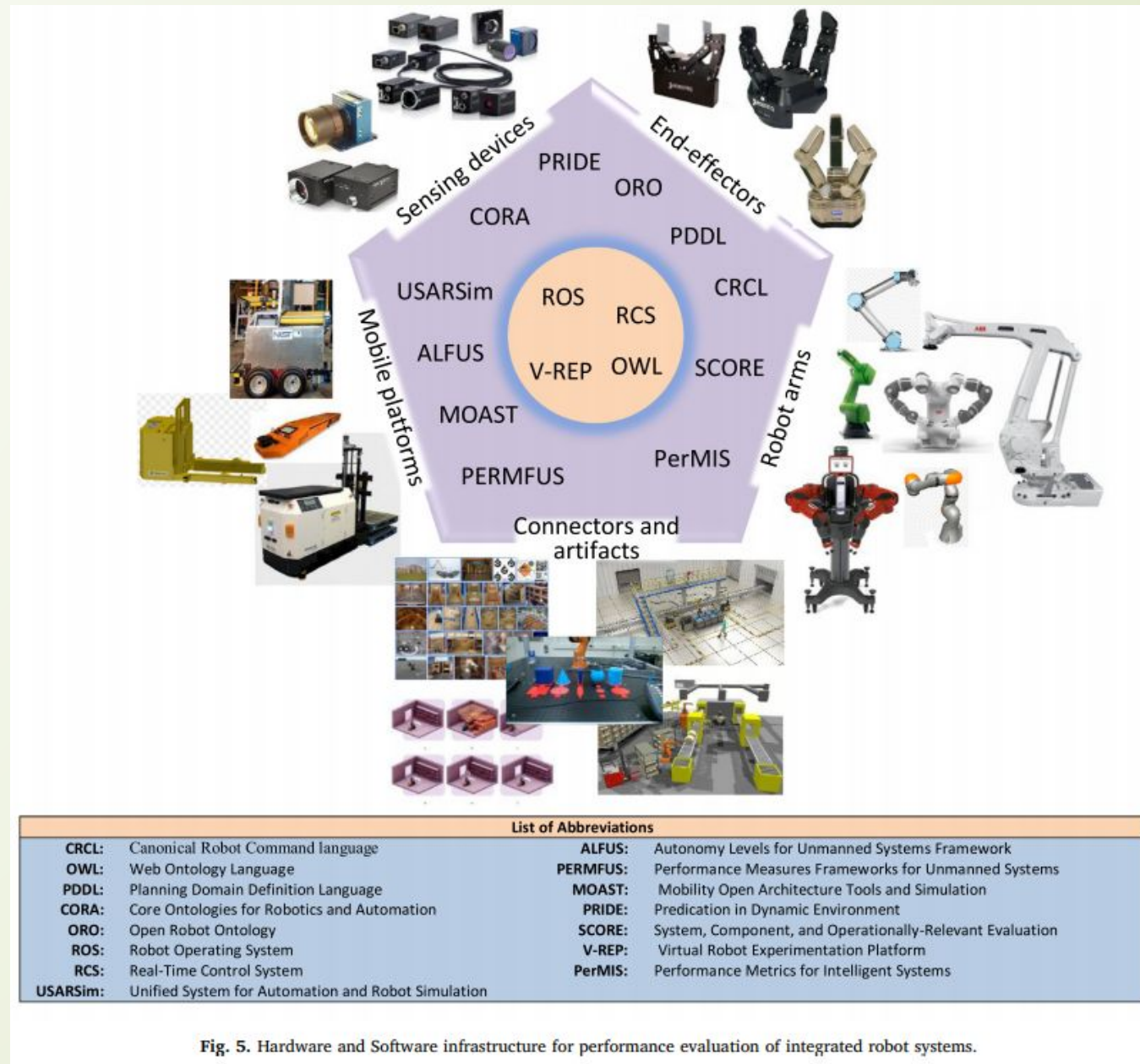
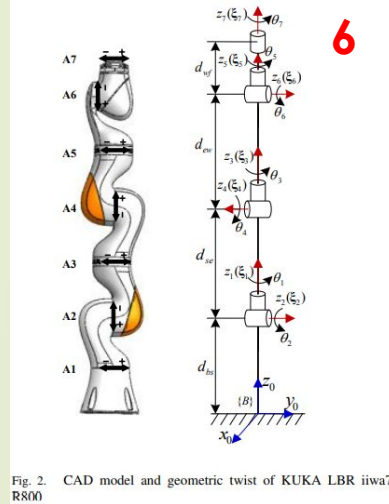


Fig. 5. Hardware and Software infrastructure for performance evaluation of integrated robot systems.

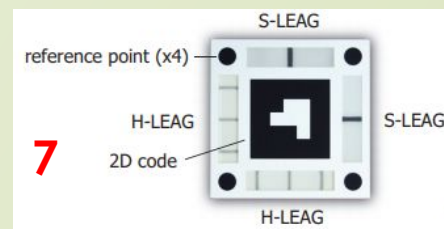
The state of the art of testing standards for integrated robotic systems (RCIM20; Шанхай/США)

# ИННОВАЦИИ

- 1 Predictive Inverse Kinematics: Optimizing Future Trajectory through Implicit Time Integration and Future Jacobian Estimation (IROS19; IS-AIST, Japan)
- 2 Influence of the Approach Direction on the Repeatability of an Industrial Robot (ApS20, Чехия/Словакия)
- 3 Natural Frequency Prediction Method for 6R Machining Industrial Robot (ApS20, Шанхай)
- 4 Optimal Robot Motion for Accelerated Life Testing of a 6-DoF Industrial Robot (ApS20, ЮК)
- 5 Disturbance observer enhanced variable gain controller for robot teleoperation with motion capture using wearable armbands (AuRob20, Гуанчжоу/ВБ)
- 6 Analytical Expressions of Serial Manipulator Jacobians and their High-Order Derivatives based on Lie Theory (ICRA20, Ухань/ВБ)
- 7 Ultra-High-Accuracy Visual Marker for Indoor Precise Positioning (ICRA20, Чибя)
- 8 Enhanced D-H: an improved convention for establishing a robot link coordinate system fixed on the joint (IR20, Changzhou)
- 9 The parameter identification model considering both geometric parameters and joint stiffness (IR20, Xi'an)



34



# ИННОВАЦИИ

1 On Maximizing Manipulability Index while Solving a Kinematics Task (JIRS20; UO Sherbrooke)

2 An approach for jerk-continuous trajectory generation of robotic manipulators with kinematical constraints (MMT20, Шанхай)

3 Hyper Dual Quaternions representation of rigid bodies kinematics (MMT20, Technion)

4 The XBot Real-Time Software Framework for Robotics (RAM20, IIT)

5 An Analysis of Joint Assembly Geometric Errors Affecting End-Effector for Six-Axis Robots (ROB20, Тайланд)

6 Globally Optimal Inverse Kinematics Method for a Redundant Robot Manipulator with Linear and Nonlinear Constraints (ROB20, Италия/ВБ)

35

7 MPTC – Modular Passive Tracking Controller for stack of tasks based control frameworks (RSS20, DLR)

8 Scaling laws for parallel motor-gearbox arrangements (IROS20, Брюссель)

9 An Angle Error Compensation Method Based on Harmonic Analysis for Integrated Joint Modules (SE20, Хефей, КНР)

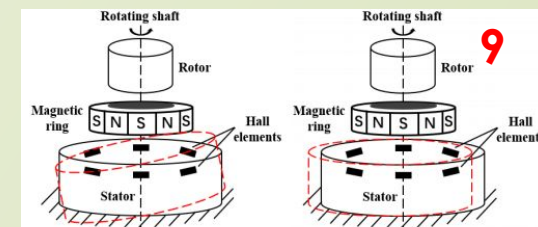


Figure 1. Tilt and eccentric error in manufacturing and installation.

# Проблемы развития РТ в России

## ❑ Компоненты

Микросхемы

Уникальные  
детали

Двигатели

Редукторы,  
подшипники

Датчики

## ❑ Применение

Роботы импортные  
– люди местные

Крупное производство:  
процесс движется

Прочее производство:  
работники дешевле  
(з/п меньше, чем в ЕС-  
США)

Не востребованы  
массовым  
потребителем

## ❑ Кадры

Заработок на грантах

Заработок на студентах

Отток студентов

Слабая связь с  
общественностью  
минимум социальных проектов,  
низкое их качество,  
мало информации,

# Зачем идти в РТ

**Академическая сфера:**  гранты, комиссии, кафедры

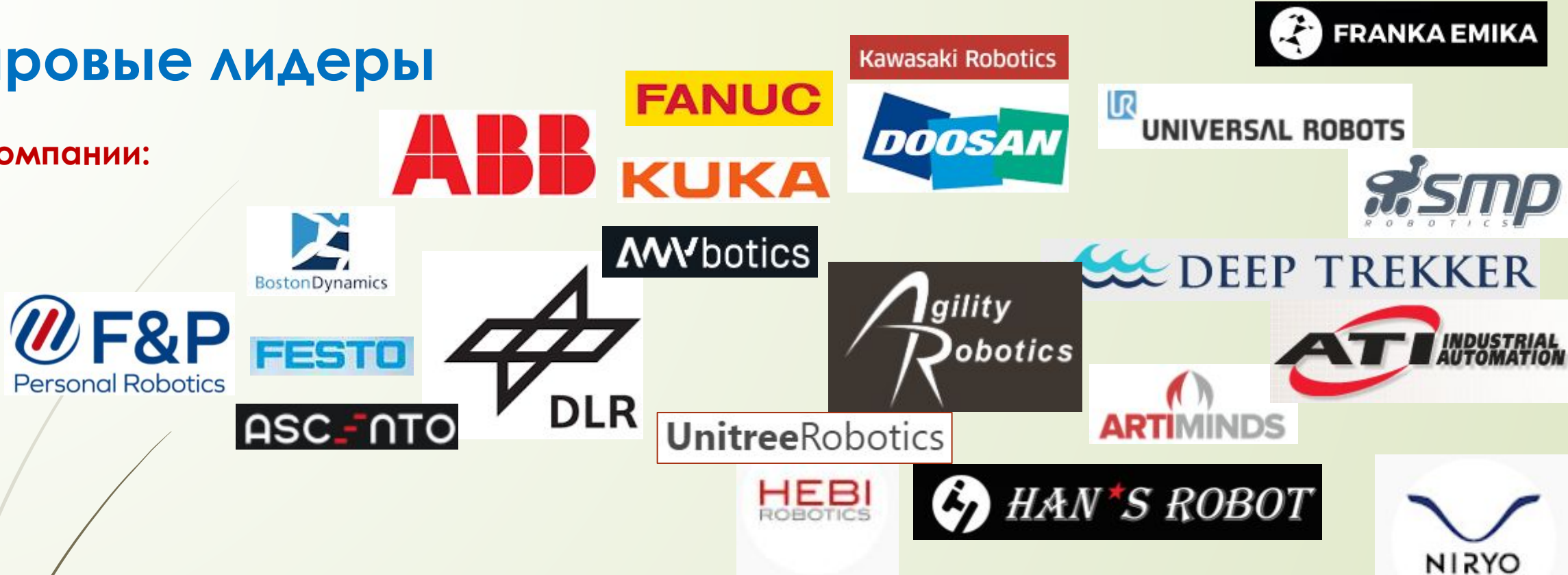
**Интеграция:**  трудоустройство в компанию/основание собственной

37

**Карьера за рубежом:**  желательно учиться за рубежом и с более ранней ступени

# Мировые лидеры

Компании:



Лаборатории:



Dynamic Robotics Laboratory



Университеты:

MIT, Stanford, TUM, Oxford, QUT, IIT, OSU, Sapienza + профессоры

# Представление результатов

## Сообщества:

- International Federation of Robotics (IFR) – финансы
- [IEEE] Robotics and Automation Society (RAS)
- International Federation of Automatic Control (IFAC)

## Конференции:

- International Conference on Robotics and Automation (ICRA)
- International Conference on Intelligent Robots (IROS)
- International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)
- International Conference on Field and Service Robotics (FSR)
- International Conference on *Advanced Robotics and Mechatronics* (AIM)
- International Conference on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)
- International Conference on Humanoid Robots

39

## Журналы:

- Transactions on Robotics
- Transactions on Mechatronics
- Journal of Field Robotics
- International Journal of Robotic Research
- Robotics & Automation Magazine
  
- SPIIRAS Proceedings, МАУ, ПТК

# Информационные ресурсы

## Базы данных:

Scopus, IEEE Xplore, ResearchGate

## Литература:

- Springer Handbook of Robotics (2ed)
- Springer Tracts in Advanced Robotics
- Robot Dynamics and Control* (Spong, 2004)
- Theory of Ground Vehicles* (Wong, 2008)
- Robotics, Vision and Control* (P. Corke), 2017
- Planetary Rovers. Robotic Exploration of the Solar System (A. Ellery), 2016
- Cartesian Impedance Control of Redundant and Flexible-Joint Robots (C. Ott), 2008

## Сайты:

[Unite.AI: https://www.unite.ai/](https://www.unite.ai/) (<https://www.unite.ai/conferences/>)

WikiCFP: <http://www.wikicfp.com/cfp/call?conference=robotics>

Robotics and Intelligent Systems:

<http://www.stengel.mypanel.princeton.edu/MAE345.html>

Robohub: <https://robohub.org/>

Reddit.Robotics: <https://www.reddit.com/r/robotics/>

RIA. Robotics Online: <https://www.reddit.com/r/robotics/>

ScienceDaily: [https://www.sciencedaily.com/news/matter\\_energy/robotics/](https://www.sciencedaily.com/news/matter_energy/robotics/)

DailyTechInfo: <https://www.dailytechinfo.org/robots/>

РобоТехник: <http://www.robotexnik.info/>



# Информационные ресурсы

## Каналы Youtube:

PRO роботов, MATLAB, Northwestern Robotics, AwesomeTech, Brian Douglas, IRIM Lab Koreatech, Canadian Space Agency, Robotix with Sina, The Construct, Video DIAG - Sapienza, Università di Roma

FraunhoferIPA, Human Robot Interfaces and physical Interaction (IIT), UT Human Centered Robotics Lab (Texas), Allied Technology, LLC; ispace, RobotWorx, IFR International Federation of Robotics, Photoneo, Robotic Systems Lab, HoneybeeRoboticsLtd,

Robotics Plus, Arash Ajoudani, UTS: Centre for Autonomous Systems (Сидней), Janis Stolzenwald, Atsushi Kakogawa, SketchLab KAIST, telerob, KAIST Biorobotics Lab, Antonio Franchi Twente University, LAAS-CNRS; Tokyo Robotics, Minas Liarokapis, Interactive Robotic Systems Lab at KAIST, Robust Autonomy and Decisions, EIT TUK, REDS Lab - Imperial College London, matsunolab, H2020 Project CENTAURO, Daniel Sanchez,

# Нерыночный потенциал

Оздоровление вредного производства  
(химия, сельское хозяйство, пищевая промышленность)

Мониторинг: леса, водоёмы

Борьба с ЧС: доставка грузов в труднодоступную местность, эвакуация,  
участие в поисках

42

Медицина

❑ Множество других применений: достаточно механизации/автоматизации