

Морфологический расчет

как заложить желаемое поведение в механике?

Иван Борисов

Зимняя школа по робототехнике и системам управления

02.02.2022

14:00 — 15:00

Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы

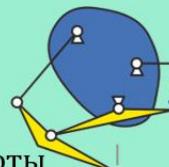


Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика

73

Краткая биография

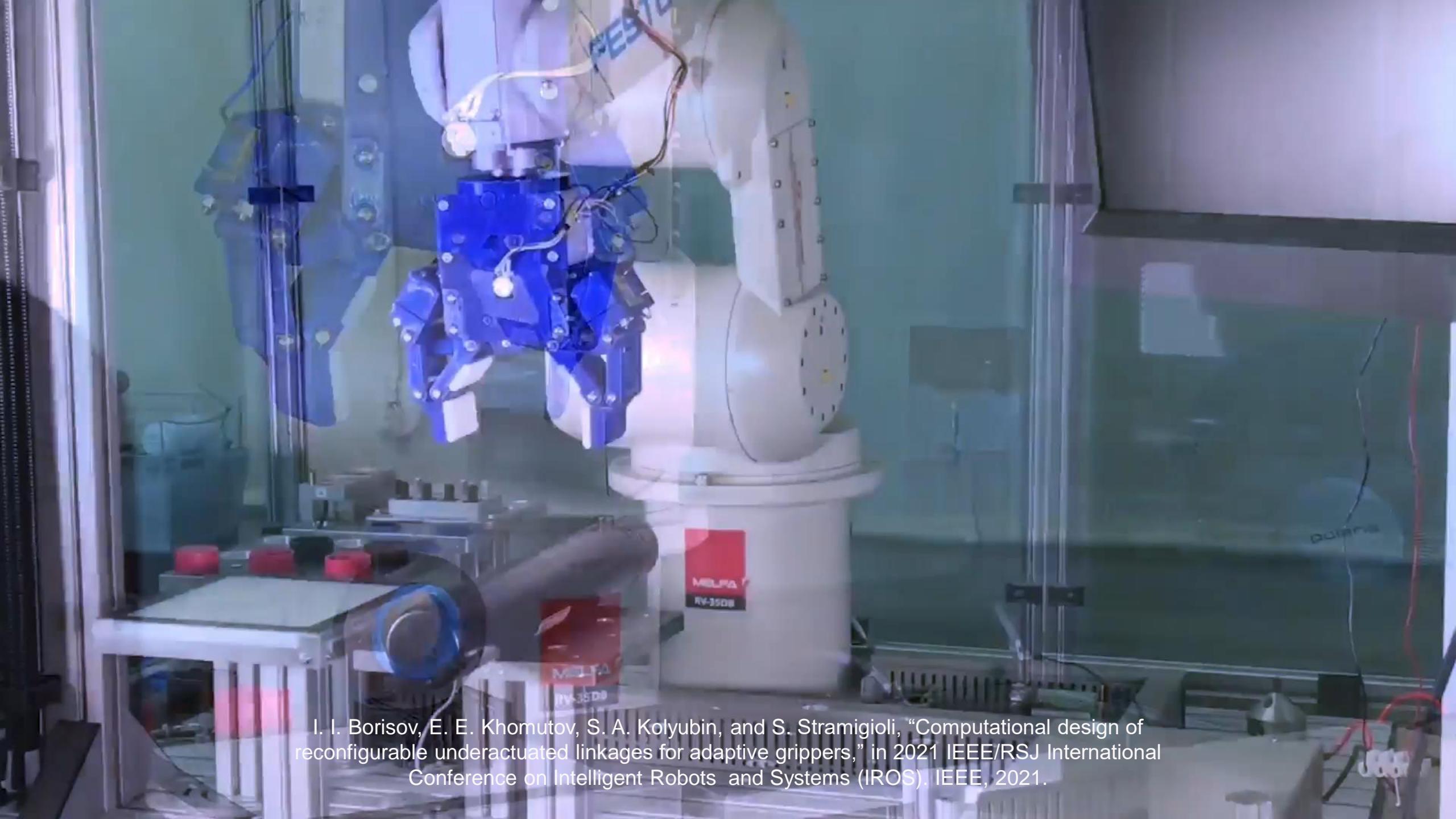
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Получил степени бакалавра и магистра по специальности мехатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работаю научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).





I. I. Borisov, E. E. Khomutov, S. A. Kolyubin, and S. Stramigioli, "Computational design of reconfigurable underactuated linkages for adaptive grippers," in 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2021.

Borisov I. I. et al. Study on elastic elements allocation for energy-efficient robotic cheetah leg //2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – IEEE, 2019. – C. 1696-1701.



Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы

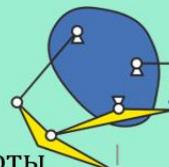


Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов

Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика

Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать вдоль произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Старое* поколение роботов

- Структурированное окружение
- Без контактного взаимодействия
- Открытые и параллельные кинематические цепи
- Жесткие звенья
- Вращательные и призматические сочленения
- Нет ограничений по энергии
- Полноприводность

Линеаризация обратной связью

У нас есть динамическая модель

$$\ddot{q} = f_1(q, \dot{q}, t) + f_2(q, \dot{q}, t)u$$

Давайте предположим, что мы выбираем закон управления u

$$u = f_2^{-1}(q, \dot{q}, t)[-f_1(q, \dot{q}, t) + u']$$

В итоге получаем

$$\ddot{q} = u'$$

Можем выбрать закон управления для управления по положению

$$u' = \ddot{q}_d + K_v(\dot{q}_d - \dot{q}_a) + K_p(q_d - q_a)$$

В итоге момент должен быть равен

$$\tau = M(q)u' + C(q, \dot{q}) + N(q)$$

Нелинейная система
становится
линейной!!!

Внешнее управление
– для стабилизации и
управления
оставшейся линейной
частью системы!!!

Мы «отменяем»
естественную
динамику и нам
становится проще
управлять!!!

Но чем мы платим?!

ASIMO

ЭНЕРГИЕЙ!!!

Пассивные шагающие роботы

«питаются»
только от
гравитации!!!



Развилка

Полноприводный механизм
Нет ограничений по энергии
Невысокая динамика
Структурированное окружение

Неполноприводность
Жесткое ограничение по энергии
Высокая динамика
Неструктурированное,
неизвестное окружение

Развилка

Полноприводный механизм
Нет ограничений по энергии
Невысокая динамика
Структурированное окружение

Неполноприводность
Жесткое ограничение по энергии
Высокая динамика
Неструктурированное,
неизвестное окружение

* Неполноприводные системы

Неспособны следовать вдоль произвольных траекторий в конфигурационном пространстве. Причин несколько

- Актуаторов меньше степеней свободы (тривиальная неполноприводность)
- Ограниченная производительность актуаторов
- Ограничения в конфигурационном пространстве
- Роботы с подвижной базой

Старое vs Новое поколение роботов

- Структурированное окружение
- Без контактного взаимодействия
- Открытые и параллельные кинематические цепи
- Жесткие звенья
- Вращательные и призматические сочленения
- Нет ограничений по энергии
- Полноприводность

- Неструктурированное окружение
- Динамическое контактное взаимодействие
 - + замкнутые кинематические цепи
 - + податливые звенья
 - + эластичная деформация
- Ограничение по энергии
- Неполноприводность

Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомекатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



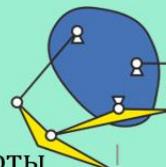
Дмитрий Ивонов
Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы



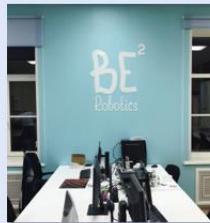
Борисова Ольга
Кирилл Насонов
Дмитрий Волинский
Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов
Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Генеративный дизайн в робототехнике

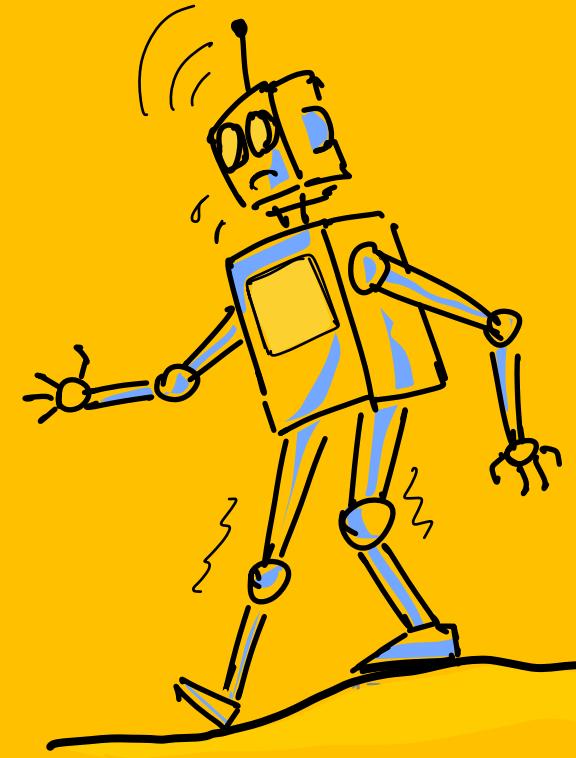
Статика vs динамика



Борисова Ольга
Кирилл Насонов
Дмитрий Ивонов
Евгений Хокхлов

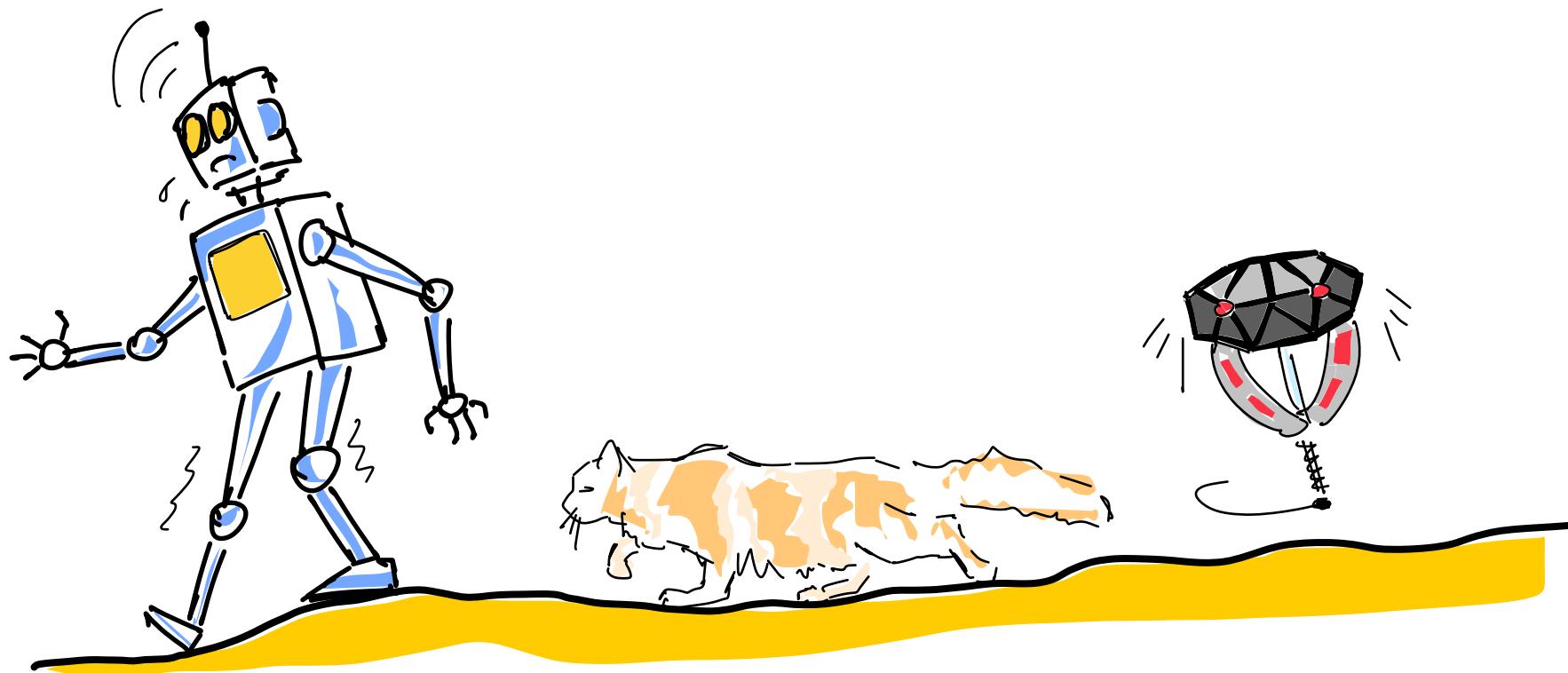
Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить
морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Морфологический расчёт законов управления

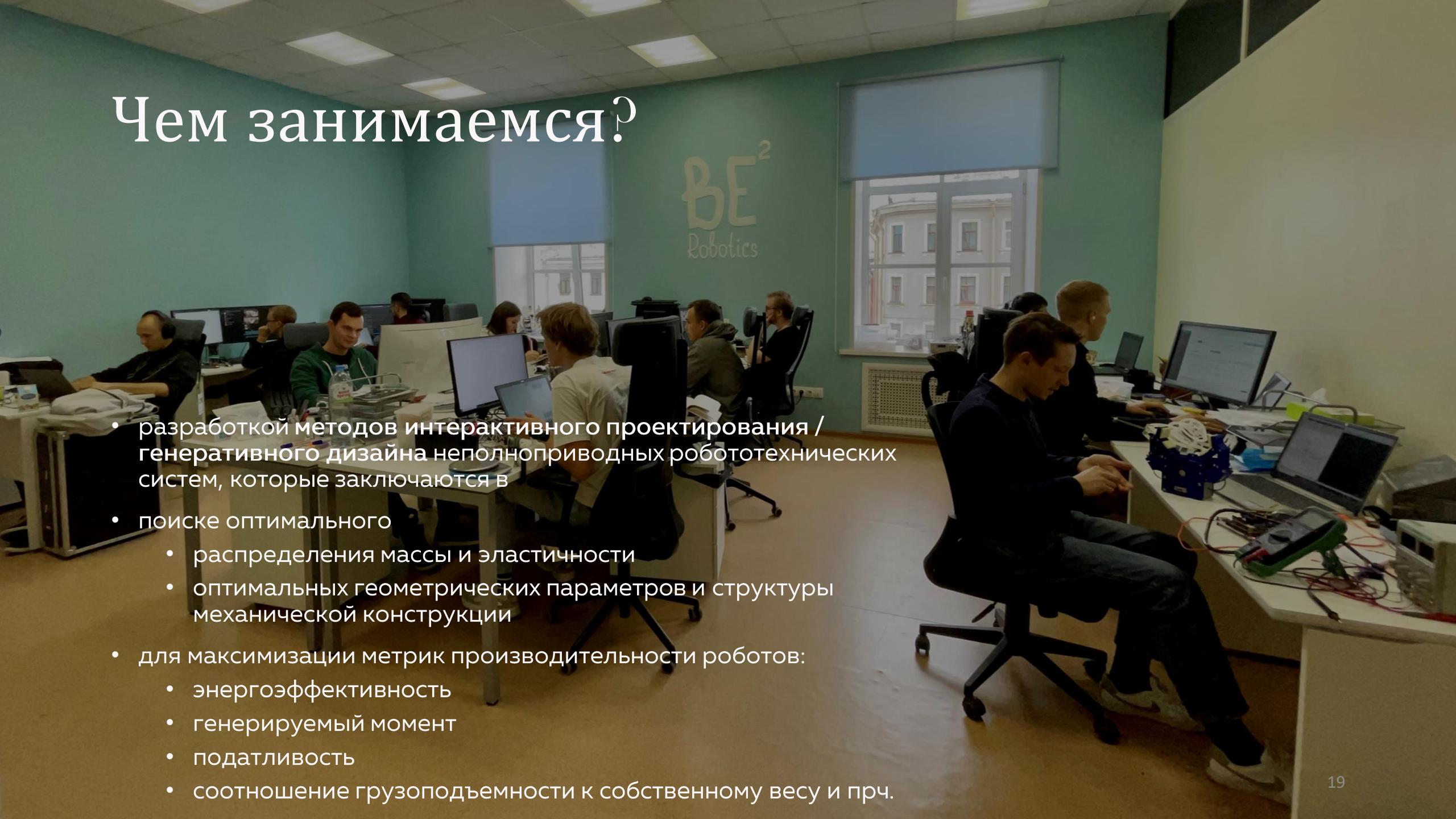
- Большая часть желаемой динамики присуща самой механике
- Система управления только для её стабилизации и дополнения



Müller, Vincent C., and Matej Hoffmann. "What is morphological computation? On how the body contributes to cognition and control." *Artificial life* 23.1 (2017): 1-24.

Чем занимаемся?

- разработкой методов интерактивного проектирования / генеративного дизайна неполноприводных робототехнических систем, которые заключаются в
- поиске оптимального
 - распределения массы и эластичности
 - оптимальных геометрических параметров и структуры механической конструкции
- для максимизации метрик производительности роботов:
 - энергоэффективность
 - генерируемый момент
 - податливость
 - соотношение грузоподъемности к собственному весу и прч.



Зачем?

- Разработанные методы, алгоритмы, ПО проектирования механической конструкции и синтеза законов управления необходимы для создания новых робототехнических систем, которые работают в условиях контактного взаимодействия в условиях неструктурированной среды:
 - **захватные устройства** для манипулирования объектами различной формы, массы, жесткости
 - решающие задачи собственного перемещения **шагающие и галопирующие роботы**
 - способные перераспределить нагрузку с человека **носимые экзокостюмы** при работе на производстве
 - работающие с человеком в одной среде **коллаборативные роботы-манипуляторы**

Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы

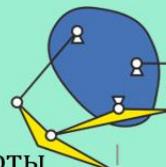


Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Роман Защитин

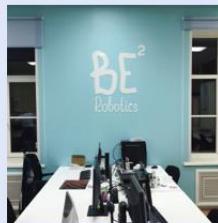


Прыгающие роботы



Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Евгений Хокхлов

Генеративный дизайн в робототехнике

Статька из диплома

Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



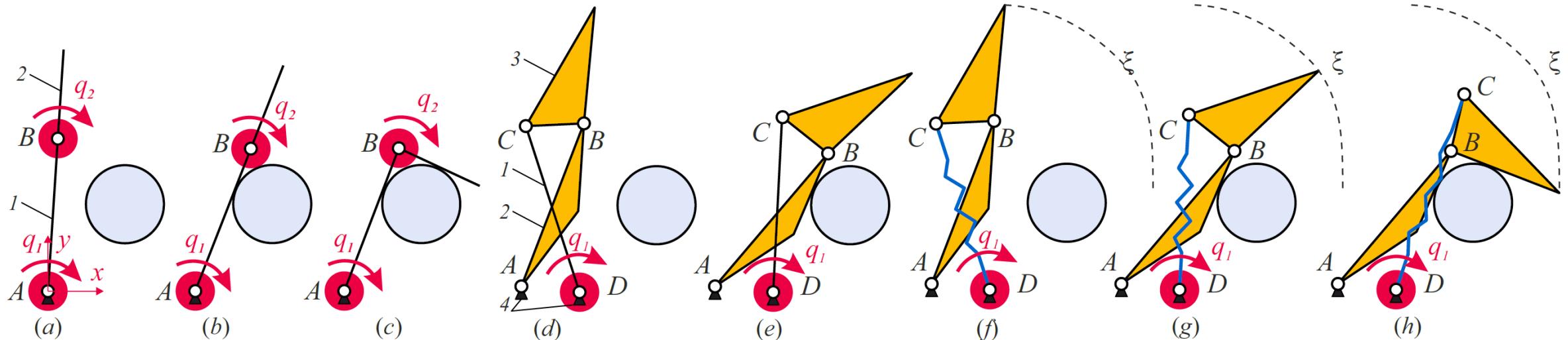
Дмитрий
Иволга



Евгений
Хомутов



Интуитивный пример

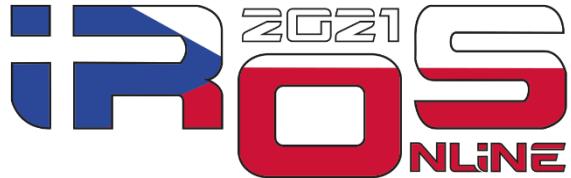


Интерактивный дизайн

Повышение автоматизации процесса проектирования

Автоматизация рутинны

Поиск неочевидных решений



Computational Design of Reconfigurable Underactuated Linkages for Adaptive Grippers*

Ivan I. Borisov¹, Evgenii E. Homutov¹, Sergey A. Kolyubin¹, and Stefano Stramigioli^{1,2}

Abstract—We present an optimization-based structural-parametric synthesis method for reconfigurable closed-chain underactuated linkages for robotic systems that physically interact with the environment with an emphasis on adaptive grasping. The key idea is to implement morphological computation concepts to keep both necessary trajectory-specific holonomic constraints and mechanism adaptivity using *variable length links* (VLL), while we evolve from a fully actuated to an underactuated system satisfying imposed design requirements. It allows to minimize the number of actuators, weight, and cost but keep high payload and endurance that are not reachable by tendon-driven designs. Despite the method is general enough, for clarity, we demonstrate its use on a number of finger mechanisms for adaptive grippers.

I. INTRODUCTION

of 'computation' of control law is performed by mechanics. We 'program' desired kinematics and dynamics properties by means of the mechanical structure of a robot, while control effort should be as minimum as possible to excite, stabilize, or take advantage of the natural dynamics [8].

Although fully actuated open-chain mechanisms allow us to reconfigure the motion, having an individual actuator for each kinematic pair entails problems in cost, weight, and control. For the specific robotic applications, when the high level of versatility is unnecessary, it is possible to synthesize a mechanical system such as we can simplify its control system in terms of hard- and software. When there is a task to follow a predetermined trajectory with a little variation because of possible physical interaction, a light, an

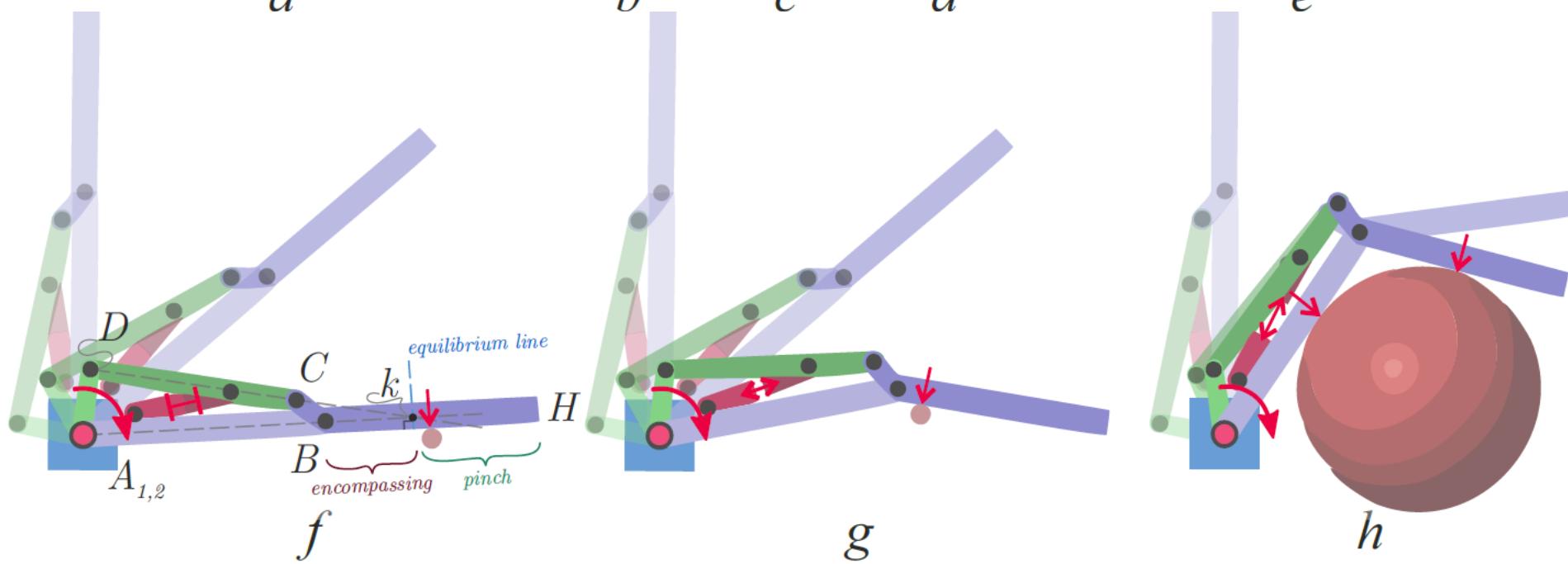
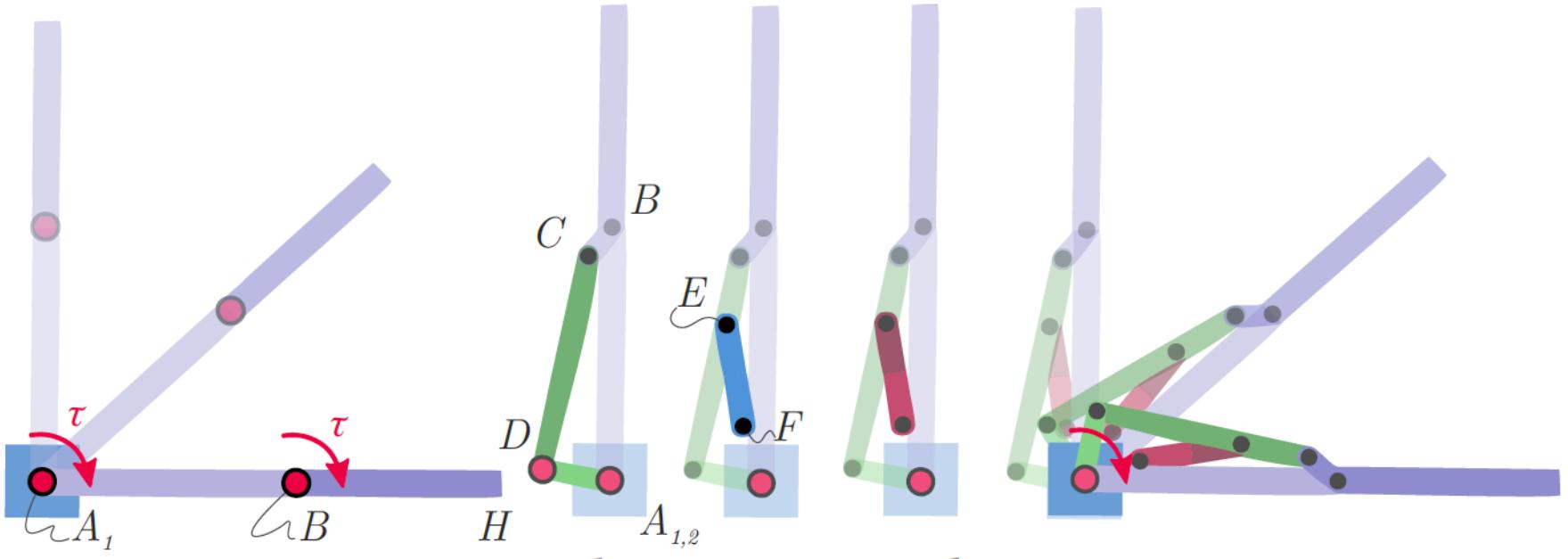
Reconfigurable Underactuated Adaptive Gripper Designed by Morphological Computation*

Ivan I. Borisov¹, Evgenii E. Khomutov¹, Dmitriy V. Ivolga¹,
Nikita A. Molchanov², Ivan A. Maksimov², Sergey A. Kolyubin¹

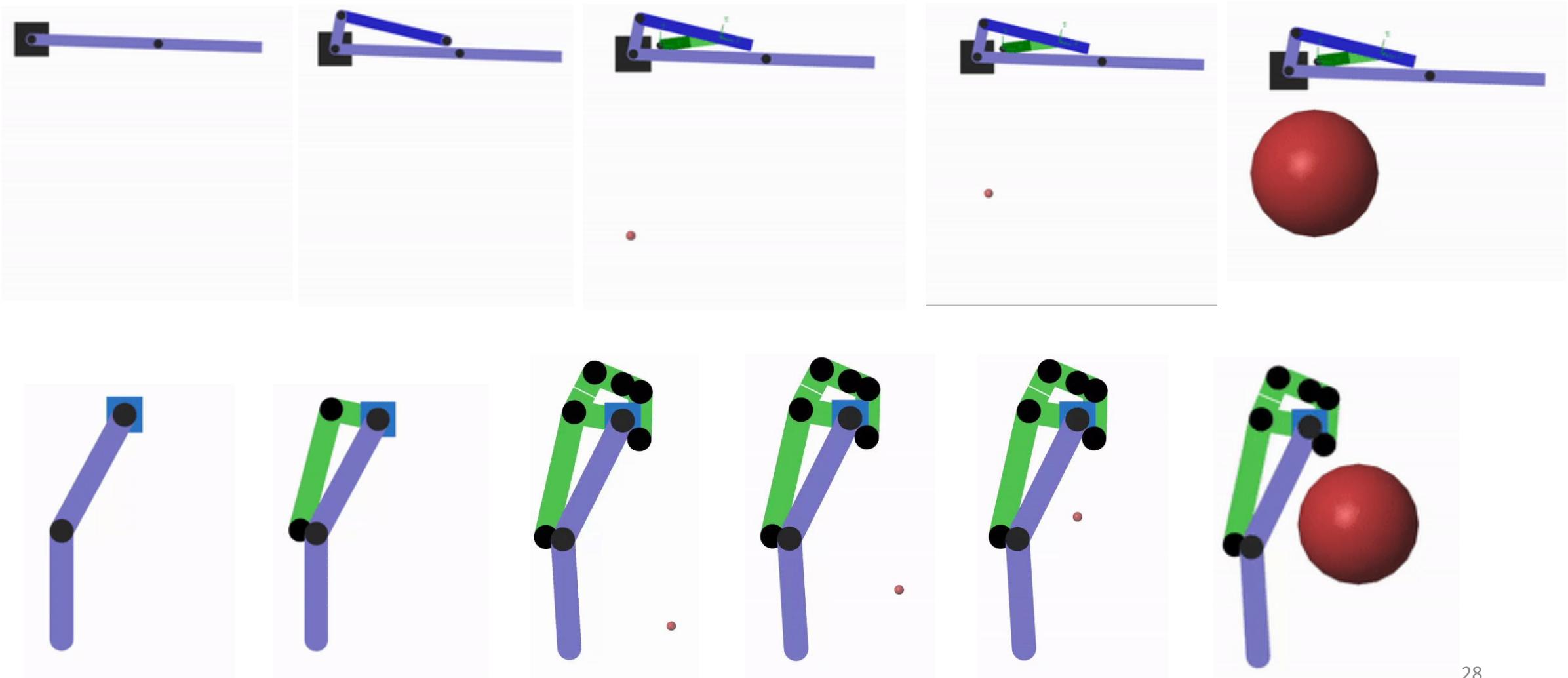
Abstract— Anthropomorphic robotic grippers are required for robots, prosthesis, and orthosis to enable manipulation of a priori unknown and variable-shape objects. It has to meet a wide range of sometimes contradicting requirements in terms of adaptivity, dexterity, high payload to weight ratio, robustness, aesthetics, compactness and lightweight, etc. Within this paper, we utilize the morphological computation approach to introduce design for anthropomorphic re-configurable underactuated grippers. The key to fingers' adaptivity here is embedded variable length links and elastic elements at input joints. Based on this concept we design palm-size five-finger gripper, where 14 DoFs including thumb are controlled by just 4 motors, such that it can perform both precision pinch and encompassing power grasps of various objects. The paper gives a description of synthesized linkages for digits, hand's design overview, control strategy, and tests results of a physical prototype.



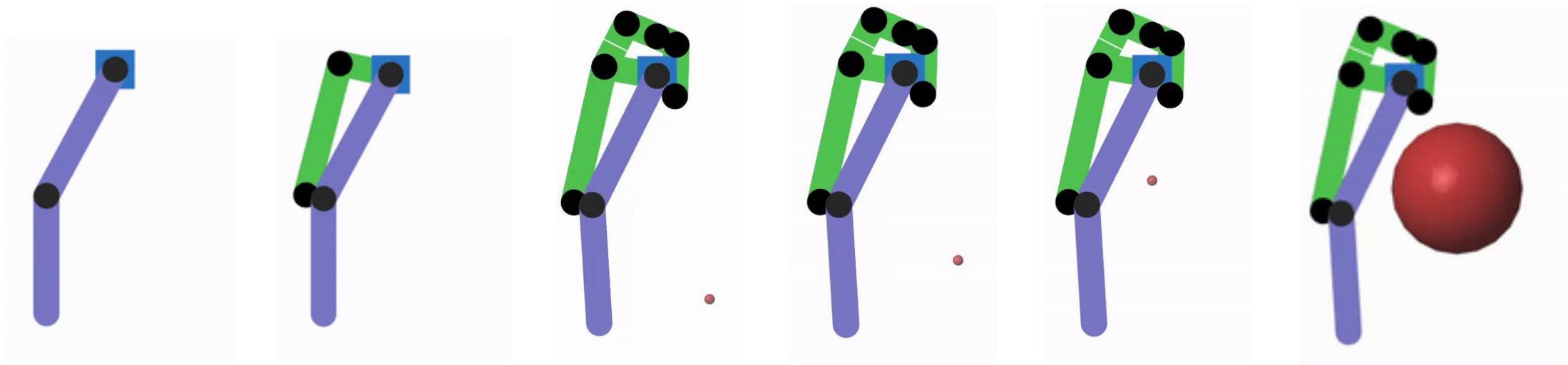
Fig. 1. Physical prototype of the reconfigurable underactuated adaptive (RUA) gripper designed by morphological computation concept



Синтез механизма указательного пальца



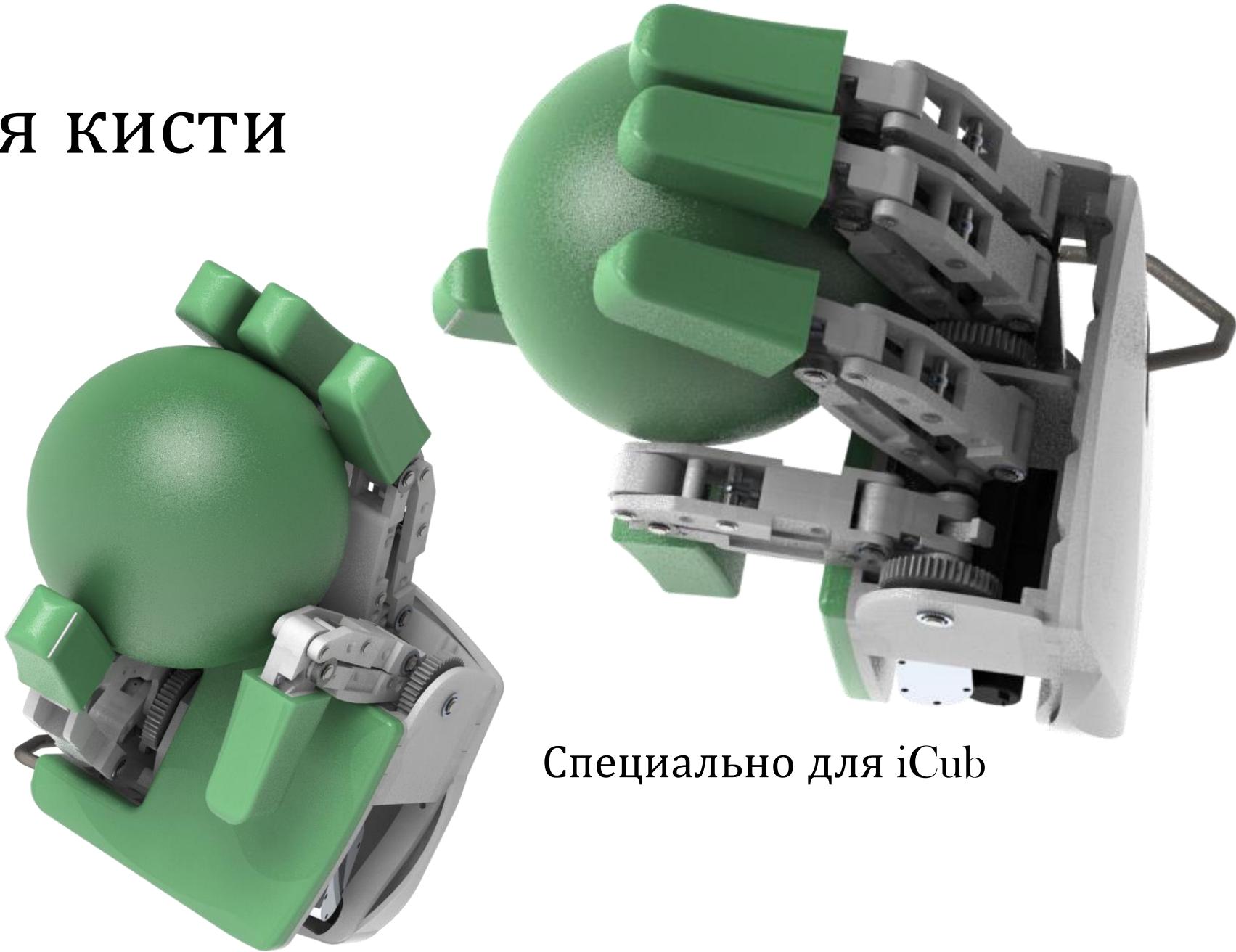
Синтез механизма большого пальца



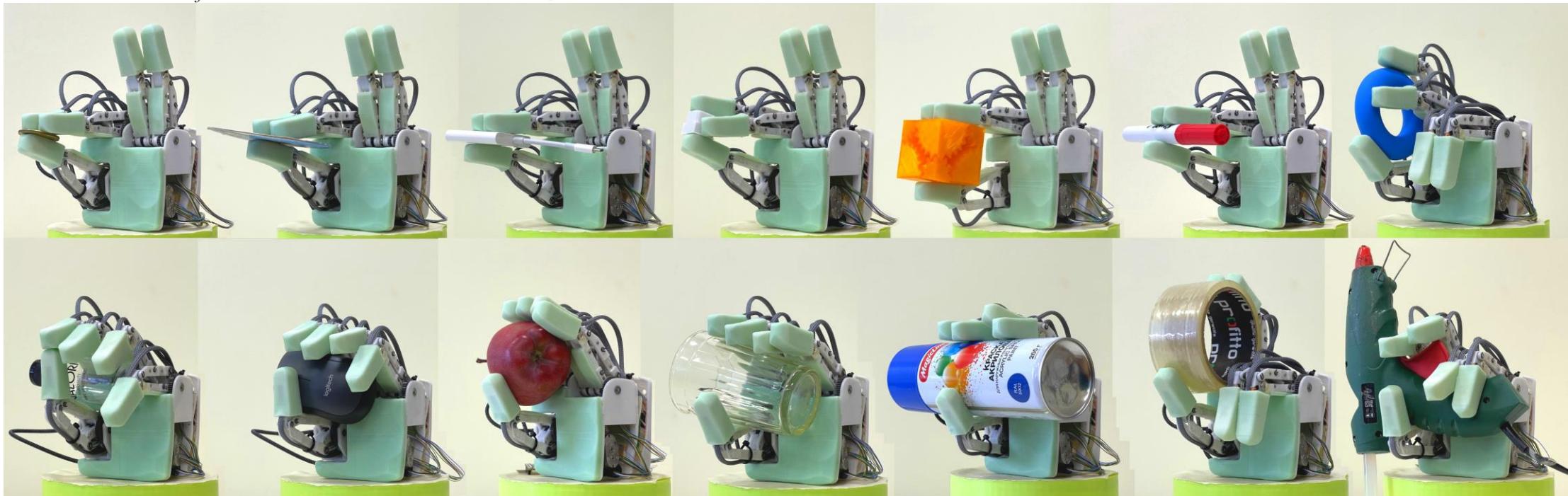
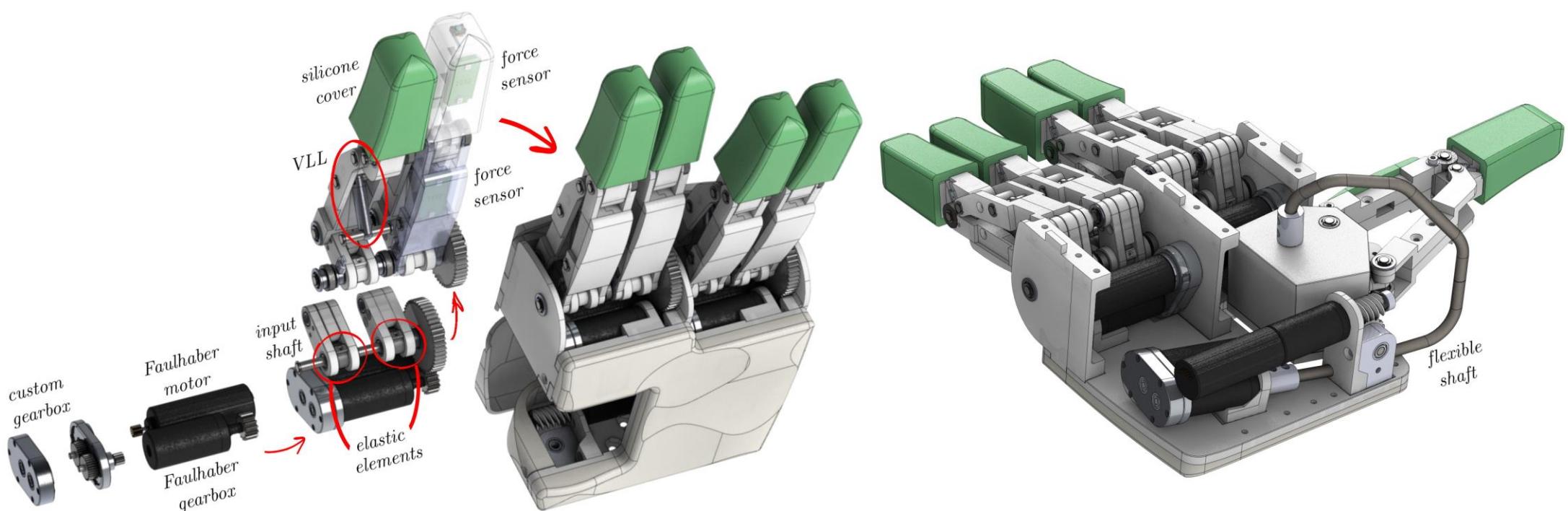
Конструкция кисти

Конструкция и
аппаратное
обеспечение

14 степеней свободы
и 4 двигателя!



Специально для iCub



Reconfigurable Underactuated Adaptive Gripper Designed by Morphological Computation

Ivan Borisov, Evgenii Khomutov, Dmitriy Ivolga,
Nikita Molchanov, Ivan Maksimov, Sergey Kolyubin



Характеристики

	iCub	ЗУ 2
Усредненная сила, создаваемая одним пальцем, Н	До 2	До 9,6
Размеры, мм	165x138x40	186x170x40
Масса, г	250	470
Грузоподъемность, г	350	>1000
Количество актуаторов, шт	9	4
Габаритный диаметр сечения объекта при адаптивном захвате, мм	14-100	36-116
Габаритный диаметр сечения объекта при щипковом захвате, мм	25	0-63,5

Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



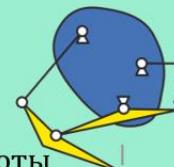
Дмитрий Ивонов
Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы



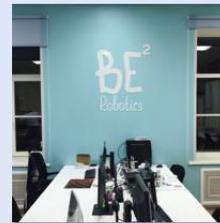
Борисова Ольга
Кирилл Насонов
Дмитрий Волинский
Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов
Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика



Борисова Ольга
Кирилл Насонов
Дмитрий Ивонов
Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы



Борисова
Ольга



Кирилл
Насонов



Дмитрий
Волянский



Роман
Защитин



Open Source
Python (Py)

Simulation

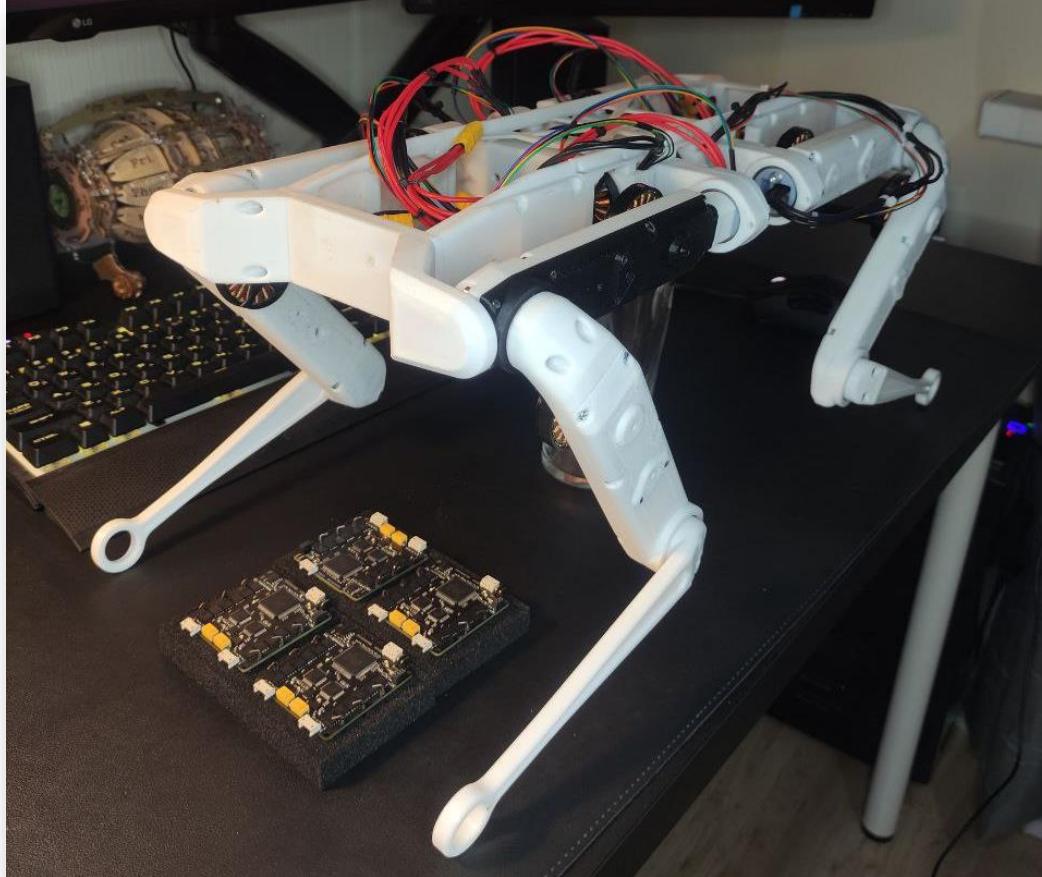
Interface

RS485

Serial

Bluetooth

«Собачка»

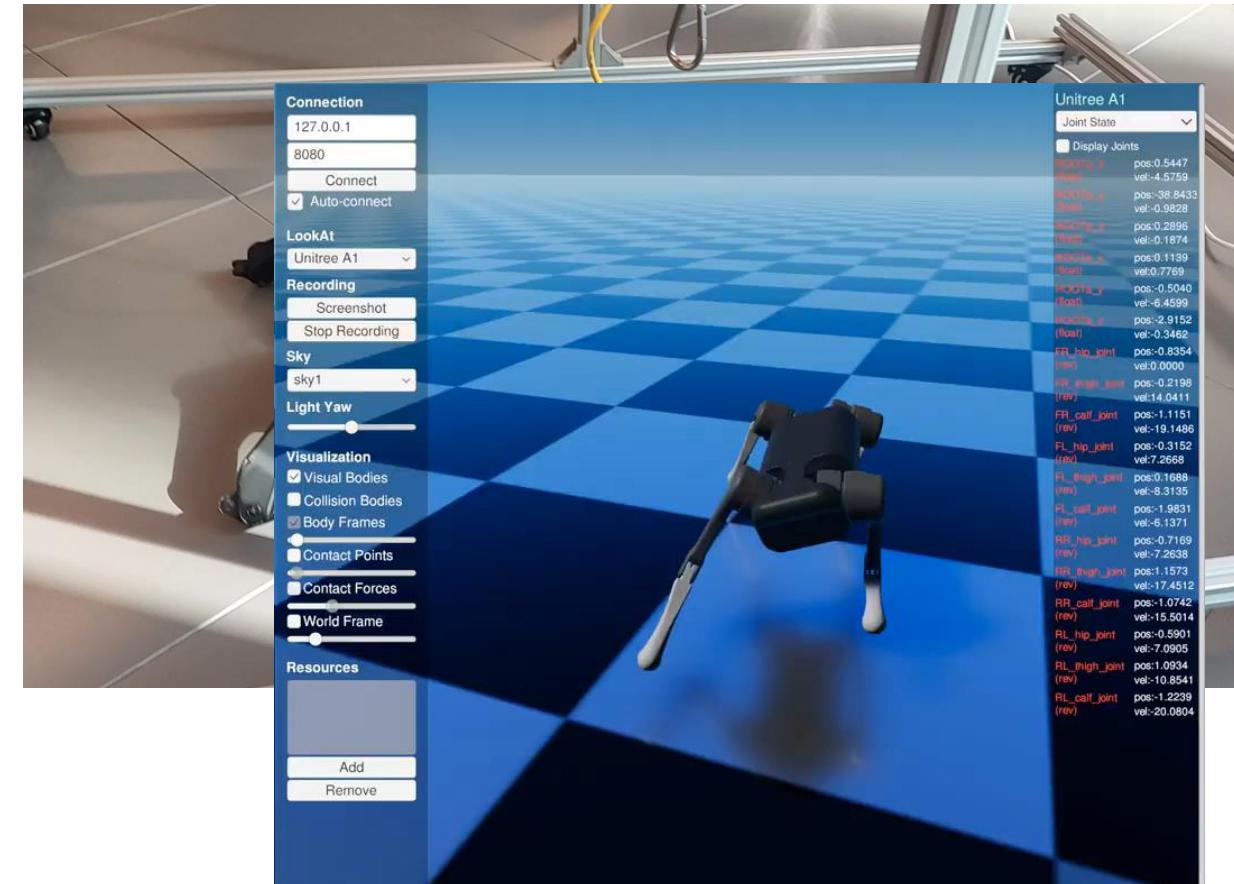


Open Dynamic Robot Initiative

SBER
Robotics Lab

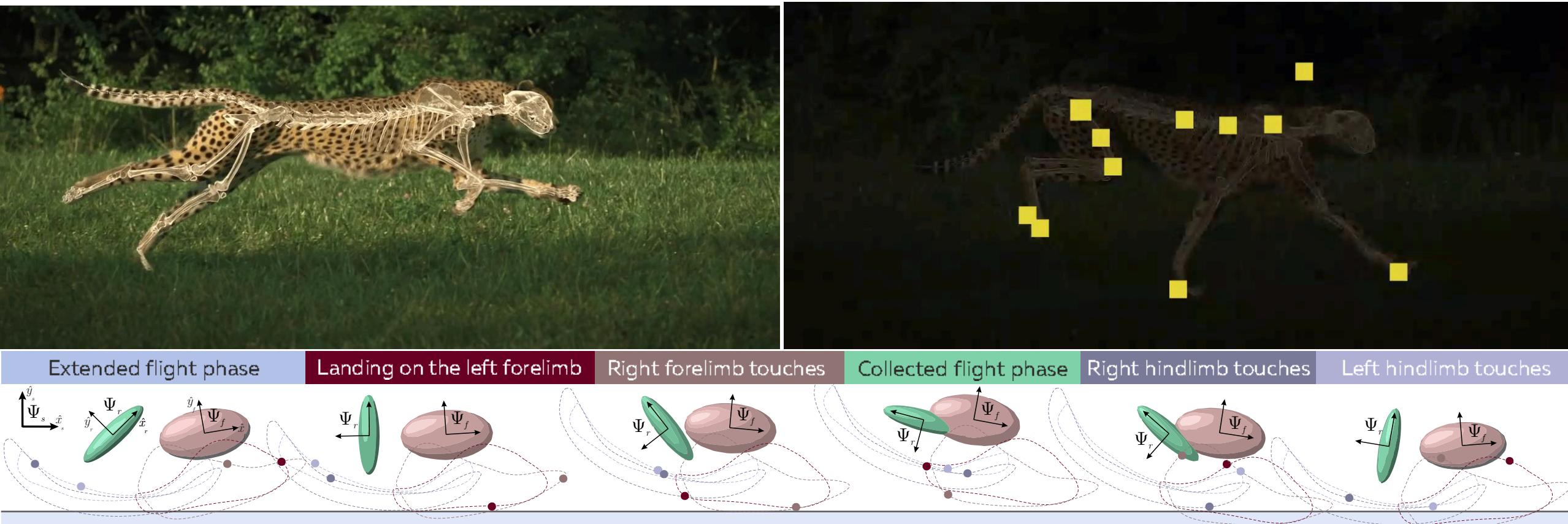


Роман Защитин





Как мы можем передать
уникальные особенности
живых существ?



iROS 2021
ONLINE

Inverse dynamics

For $H \in SE(3)$ we can calculate the Twists $T \in se(3)$

$$\tilde{T}_r^{s,s} = \dot{H}_r^s H_s^r, \quad \tilde{T}_f^{s,s} = \dot{H}_f^s H_s^f$$

where $\tilde{T}_a^{b,c}$ indicates velocity of a with respect to Ψ_c expressed in Ψ_b

For the motion expressed in the principal inertia frame Ψ_i

$$(\dot{P}^i)^\top = I^i \dot{T}_i^{i,s} = \sum W_i^i{}^\top + ad_{T_i^{i,s}}^\top P^i{}^\top$$

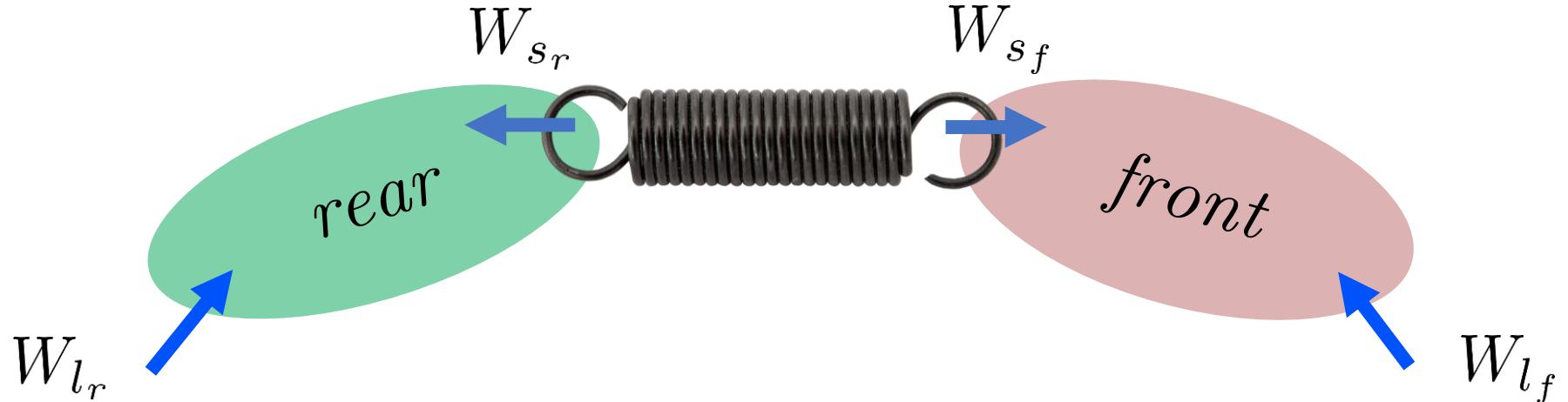
where $\sum W_i^i \in se^*(3)$ is a total wrench exerted on the body i ,

$ad_{T_i^{i,s}}^\top$ is the adjoint of the Lie algebra $se(3)$

$$\sum W_i^i{}^\top = I^i \dot{T}_i^{i,s} - ad_{T_i^{i,s}}^\top P^i{}^\top$$

$$I^i = \begin{pmatrix} J_i & 0 \\ 0 & m_i I \end{pmatrix}$$

Spatial forces applied to the bodies



Total wrenches

$$\sum W_r = W_{s_r} + W_{l_r}$$

$$\sum W_f = W_{s_f} + W_{l_f}$$

For the spring

$$W_{s_r} = -W_{s_f}$$

For the flight phase

$$W_{l_r} = W_{l_f} = 0$$

$$\sum W_r + \sum W_f = 0$$

Mass distribution optimization

$$(W_i^j)^\top = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \tau_{i_z}^j & f_{i_x}^j & f_{i_y}^j & 0 \end{pmatrix}$$

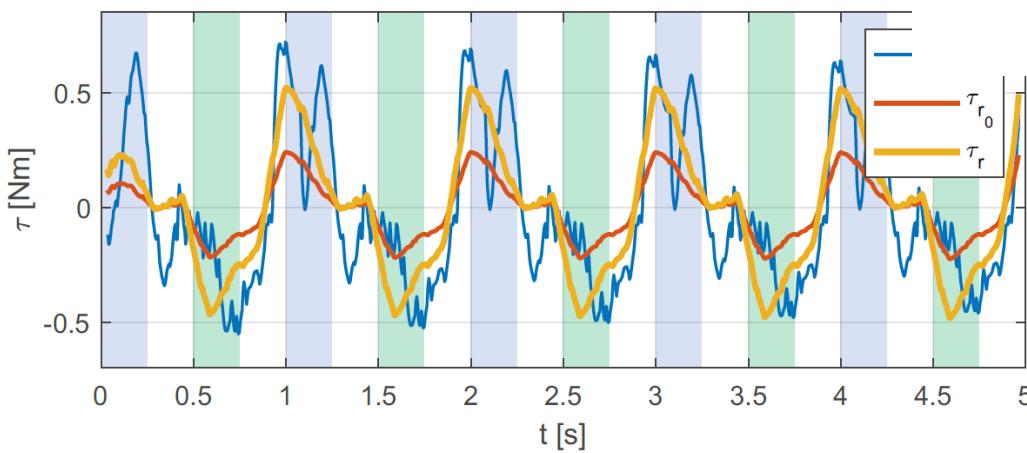
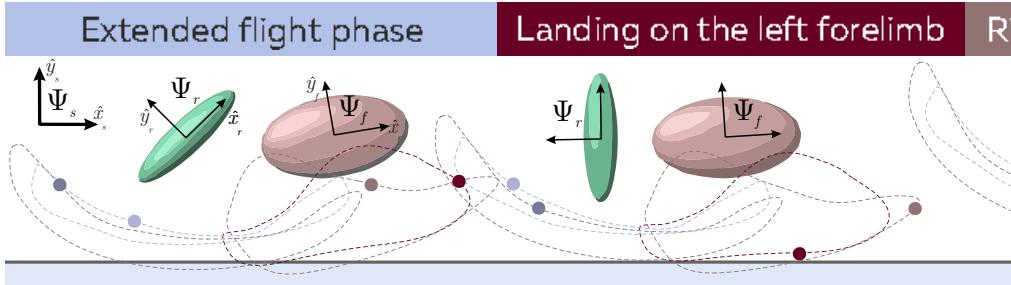
$$\sum W_r + \sum W_f = 0$$

The front body's physical parameters are given. m_r and J_r of the rear body must match. We can set the optimization task to find the principal semi-axes a_r , b_r , and c_r of the inertia ellipsoid and the mass m_r for the rear body

$$F = \sum_{j=1}^n \sqrt{(\tau_{f_j} + \tau_{r_j})^2 + k_x(f_{f_{x_j}} + f_{r_{x_j}})^2 + k_y(f_{f_{y_j}} + f_{r_{y_j}})^2},$$

where τ_i , f_{i_x} , and f_{i_y} are the components of a wrench $\sum W_i$, $k_x = \frac{\max \tau_f^2}{\max f_{f_x}^2}$ and $k_y = \frac{\max \tau_f^2}{\max f_{f_y}^2}$ are the weight coefficients.

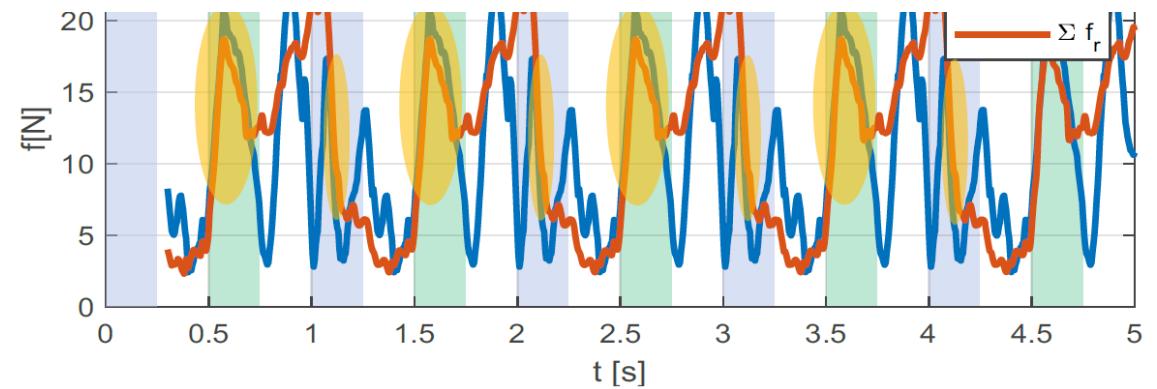
Mass distribution results



(c) Optimization results for τ_r : $-\tau_f$ is the front body torque with the opposite sign, τ_{r_0} and τ_r indicate the initial and optimized rear body torque respectively

Table 1: Bodies' physical parameters

Parameter	Front	Rear (initial)	Rear (optimized)
$a_i, [m]$	0.22	0.10	0.1419
$b_i, [m]$	0.12	0.03	0.0708
$c_i, [m]$	0.04	0.03	0.0310
$m_i, [kg]$	4	3	2.8213



Force magnitudes for the front Σf_f and the rear Σf_r bodies

Wrenches generated by limbs

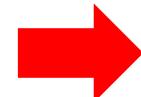
Total wrenches

$$\sum W_r = W_{s_r} + W_{l_r}$$

$$\sum W_f = W_{s_f} + W_{l_f}$$

For the spring

$$W_{s_r} + W_{s_f} = 0$$



$$\sum W_r - W_{l_r} = W_{s_r}$$

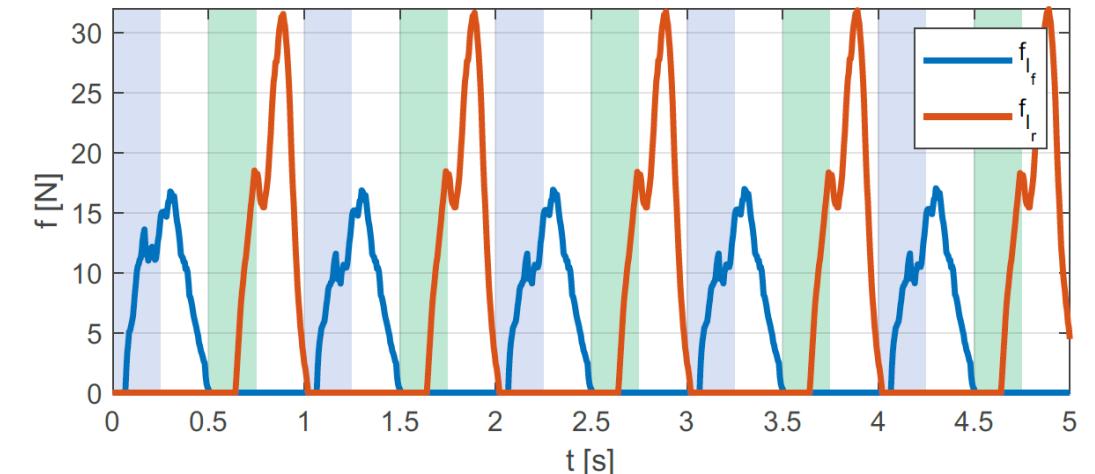
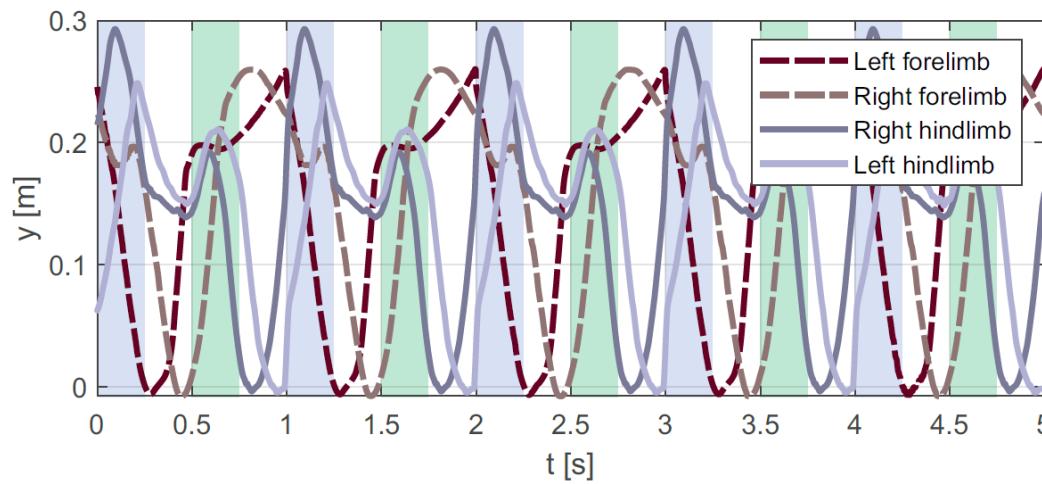
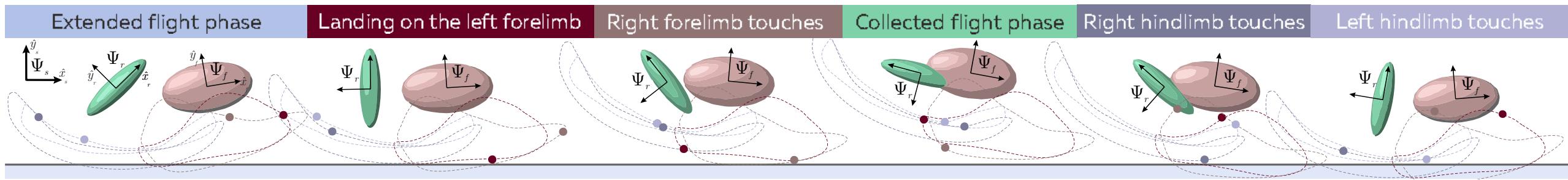
$$\sum W_f - W_{l_f} = W_{s_f}$$

$$\sum W_r - W_{l_r} + \sum W_f - W_{l_f} = 0$$

$$\sum W_r + \sum W_f = W_{l_r} + W_{l_f}$$

Wrenches generated by limbs

$$\sum W_r + \sum W_f = W_{l_r} + W_{l_f}$$



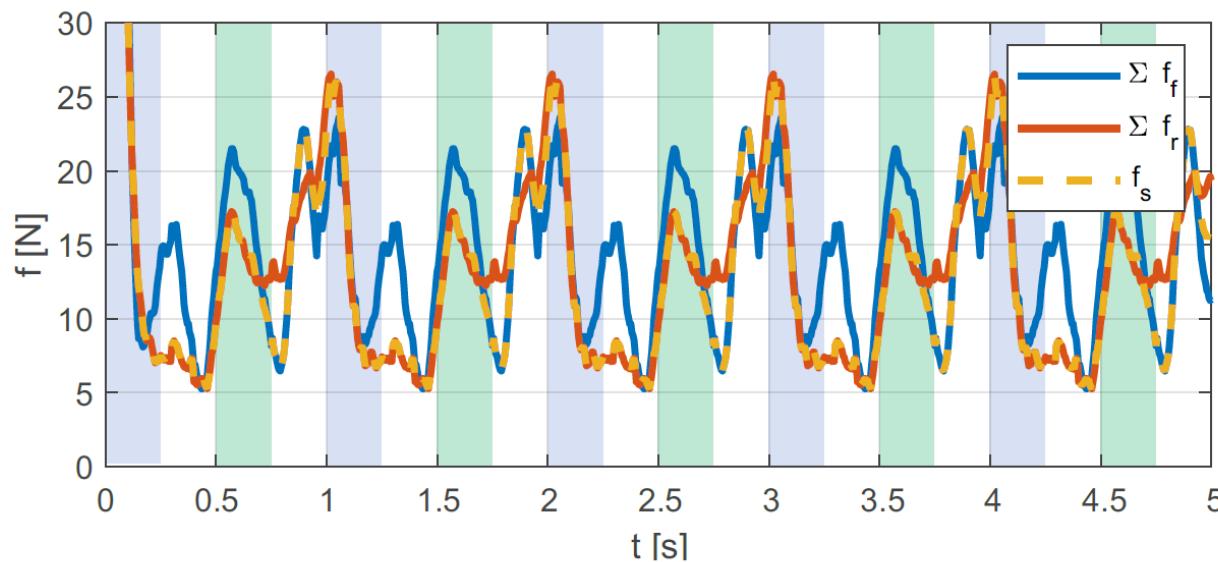
Feet's y coordinates expressed in Ψ_s : $y > 0$ means the flight phase

(a) Generated forces f_{l_f} and f_{l_r} by fore- and hindlimbs respectively

The desired wrench generated by spine

If each leg's wrench component is known, we can get the pure wrench generated by the elastic spine

$$W_{s_r} = \sum W_r - W_{l_r} = - \sum W_f + W_{l_f} = -W_{s_f}$$



(b) Calculation of analytical estimation of the desired spring force:
 Σf_f and Σf_r are the total forces applied to the front and the rear body respectively, f_s is the analytical estimation of the spring force

Spring model

The spine is modeled as a geometric spring parameterized by a center of compliance, where the spring locally behaves as a decoupled rotational stiffness k_z and translational stiffness $K_t = \begin{pmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{pmatrix}$.

$$W_s^{s,s_r}(H_{s_r}^{s_f}) = (\tau_z^{s_r} \quad f_x^{s_r} \quad f_y^{s_r})^\top$$

$$\begin{pmatrix} 0 & -\tau_z^{s_r} \\ \tau_z^{s_r} & 0 \end{pmatrix} = -2\text{as}(G_o R_{s_r}^{s_f}) - \text{as}(G_t w w^\top),$$

$$f^{s_r} = -\frac{1}{2} R_{s_f}^{s_r} K_t p_{s_r}^{s_f} - \frac{1}{2} K_t R_{s_f}^{s_r} p_{s_r}^{s_f}$$

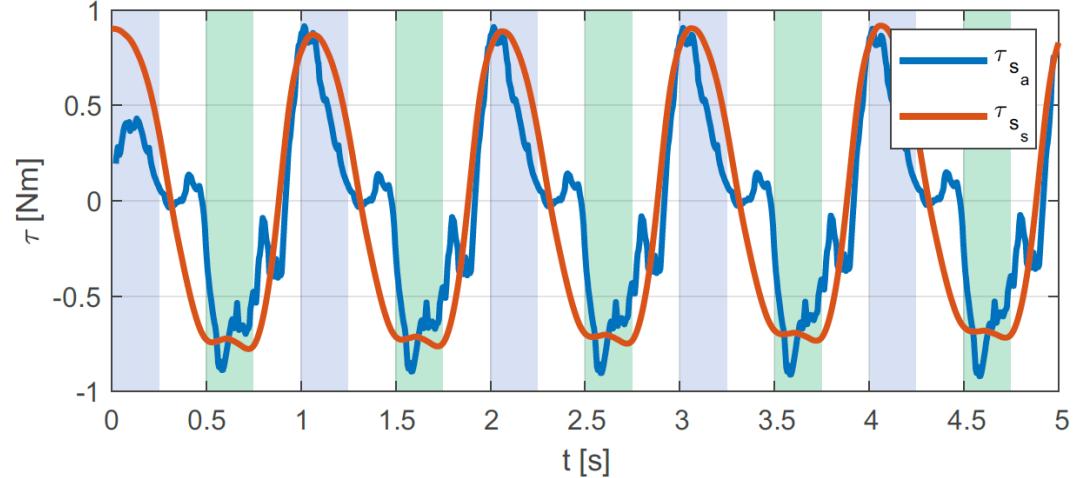
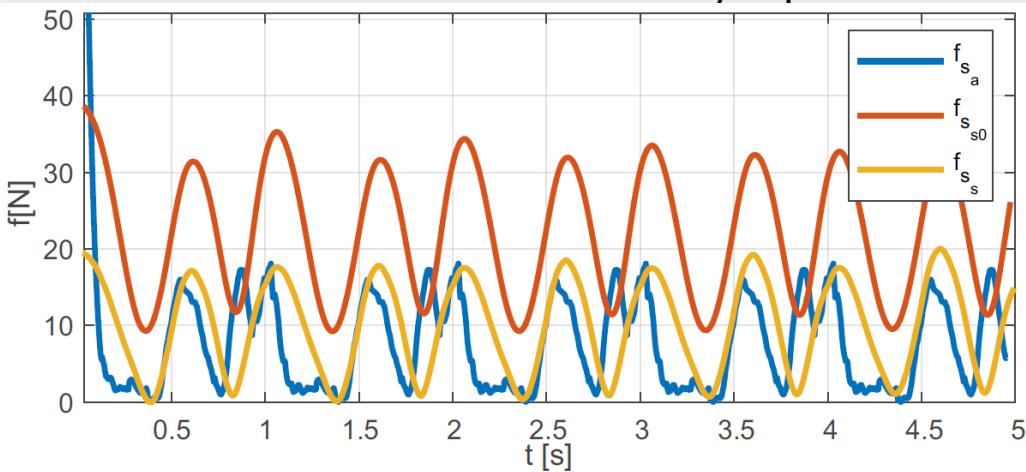
where G_o , G_t , G_c are called respectively orientational, translational and coupling co-stiffnesses of the spring

Spring model

$$W_s^{s,s_r}(H_{s_r}^{s_f}) = (\tau_z^{s_r} \quad f_x^{s_r} \quad f_y^{s_r})^\top$$

The next optimization cost functions has been chosen

$$F = \sum_{i=1}^n \sqrt{(\tau_{s_{a_i}} - \tau_{s_{s_0}})^2 + k(f_{s_{a_i}} - f_{s_{s_0}})^2}$$



(d) Optimization results for elasticity allocation: torque optimization

(c) Optimization results for elasticity allocation: f_{s_a} is the analytical estimation of the desired spring force, $f_{s_{s0}}$ is the initial spatial spring force from the simulation, and f_{s_s} is the optimized value

Verification

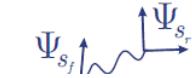
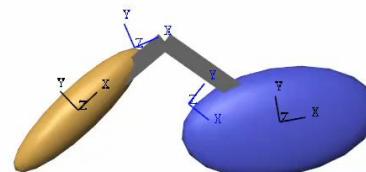
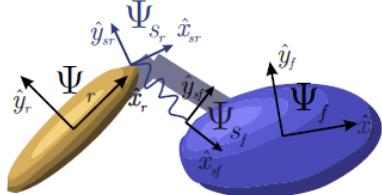


Table 1: Elasticity allocation parameters

Parameter	ϕ_{s_r} , [rad]	ϕ_{s_f} , [rad]	x_{s_r} , [m]	x_{s_f} , [m]	y_{s_r} , [m]	y_{s_f} , [m]	k_x , [N/m]	k_y , [N/m]	k_z , [Nm/rad]
initial	-0.5	-0.04							
optimized	-1.4312	0.2348							



(b) Dynamic mod

Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы

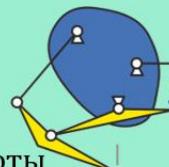


Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Евгений Хокхлов

Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика

73

Прыгающие роботы

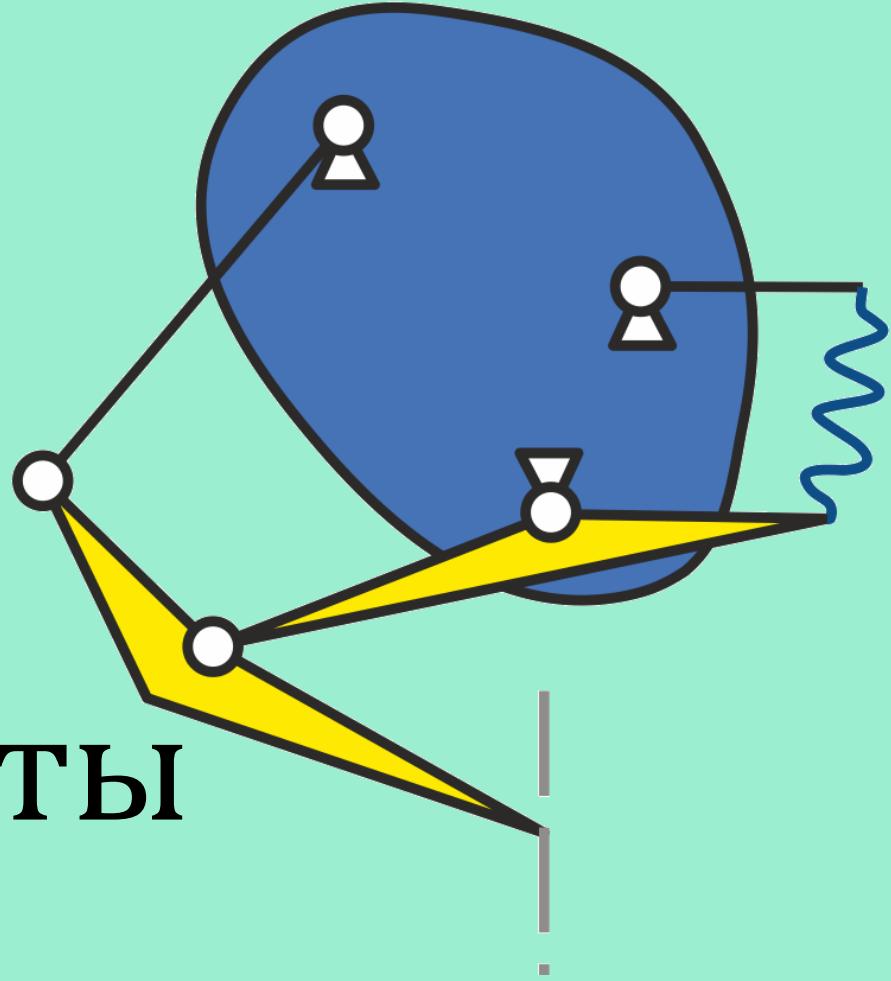


Кирилл
Насонов



Дмитрий
Волянский

Иван Борисов



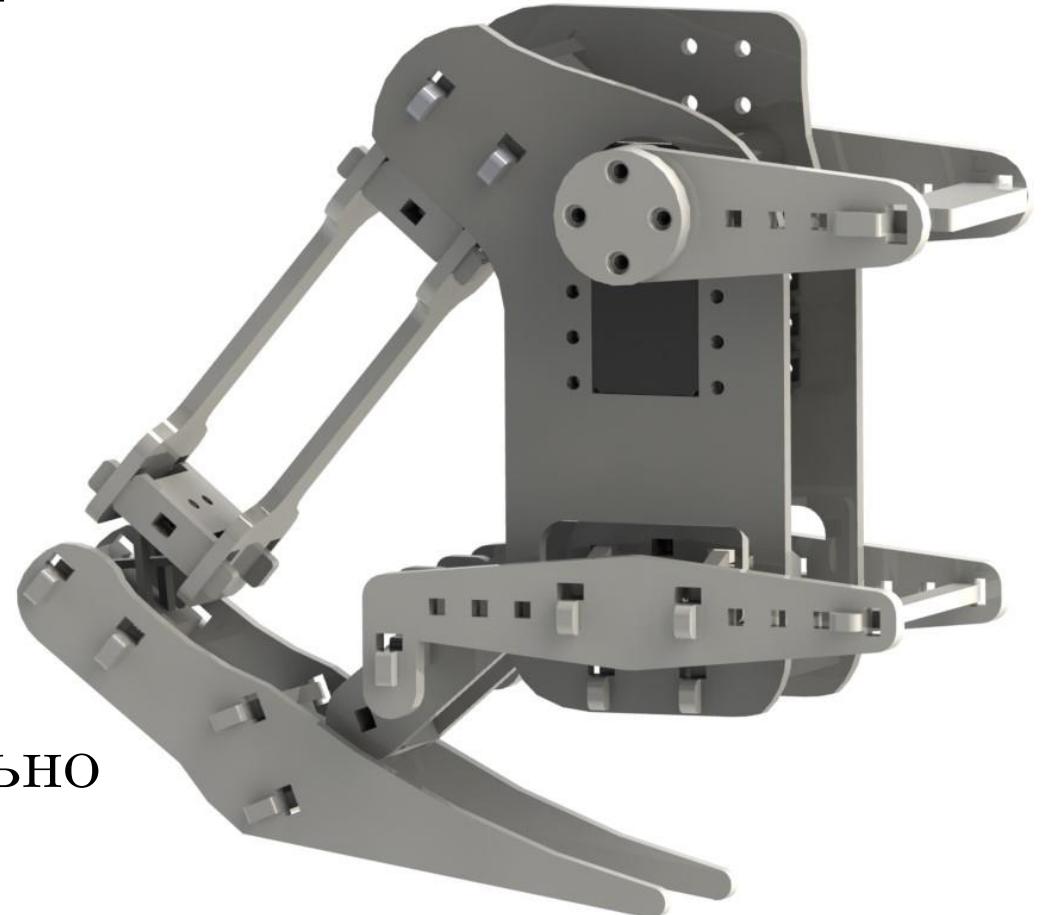
Прыгающий 1D робот

Цель была

- Адаптивный (гибкий)
- Легкий
- Энергоэффективный
- Прыгающий 1D робот

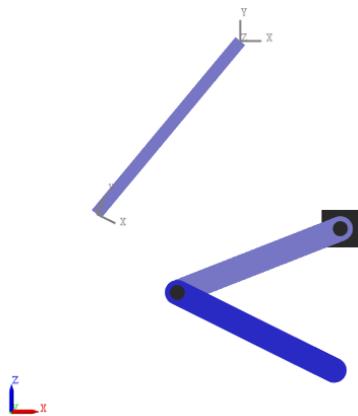
Ограничения

- Топология должна быть предельно простой
- Робот должен быть создан быстро

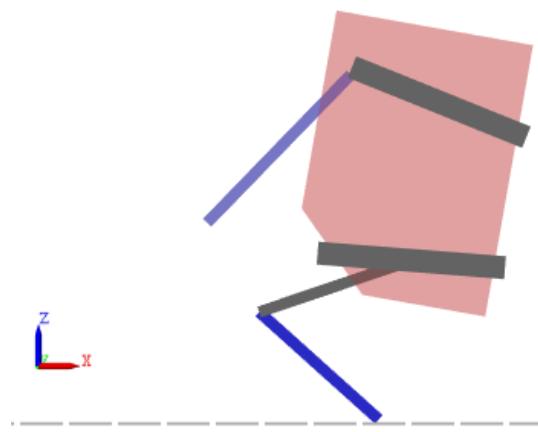


Эволюция

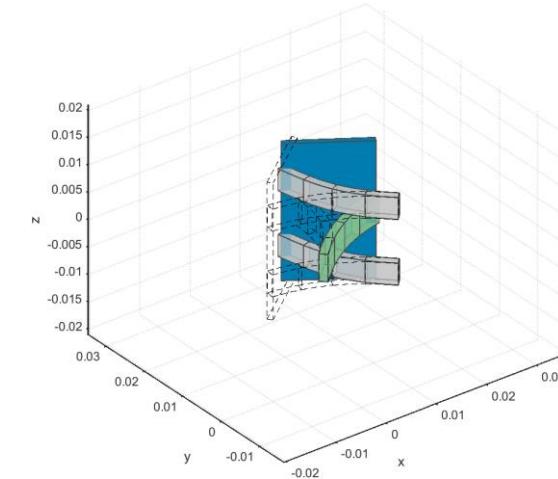
Оптимизация
механизма



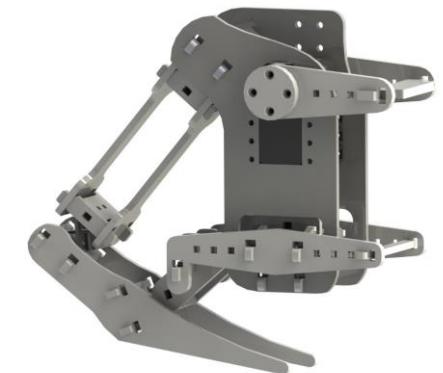
Имитационное моделирование



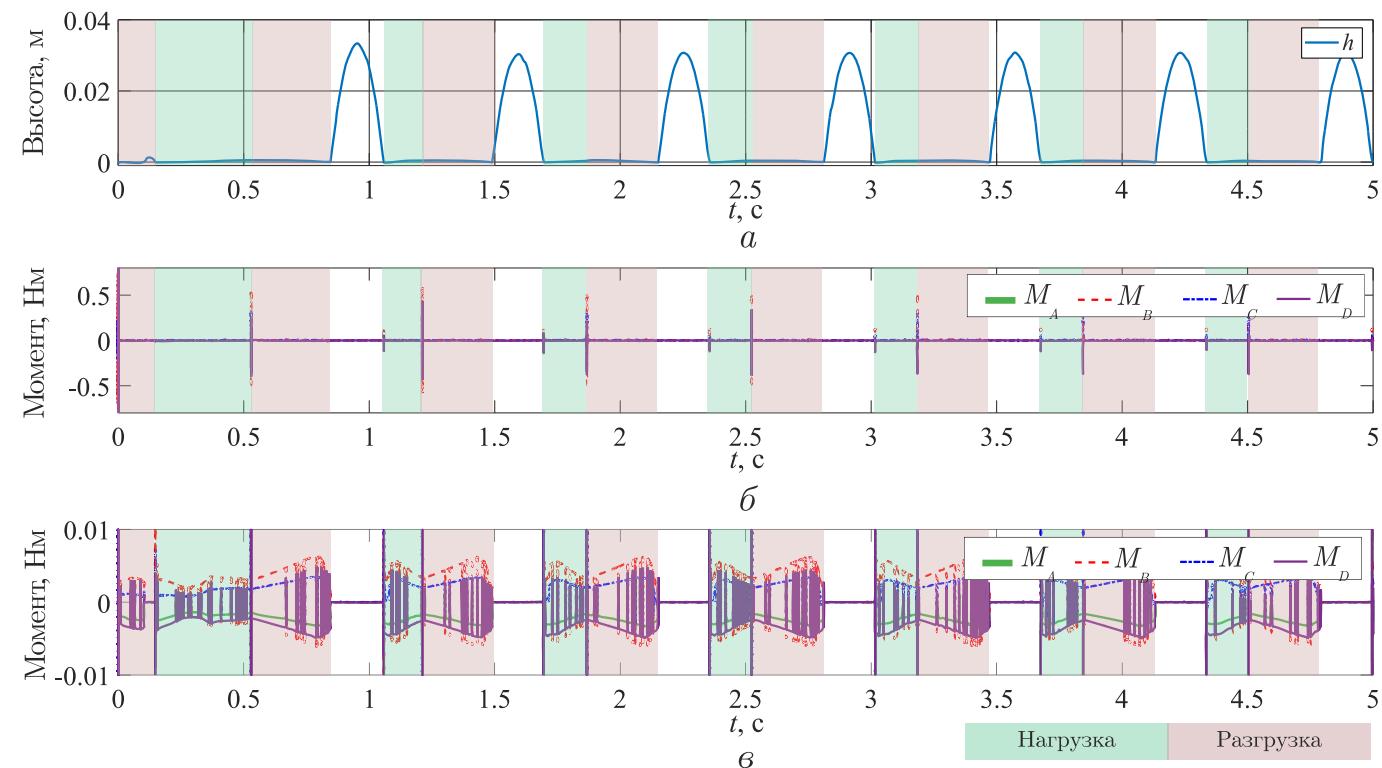
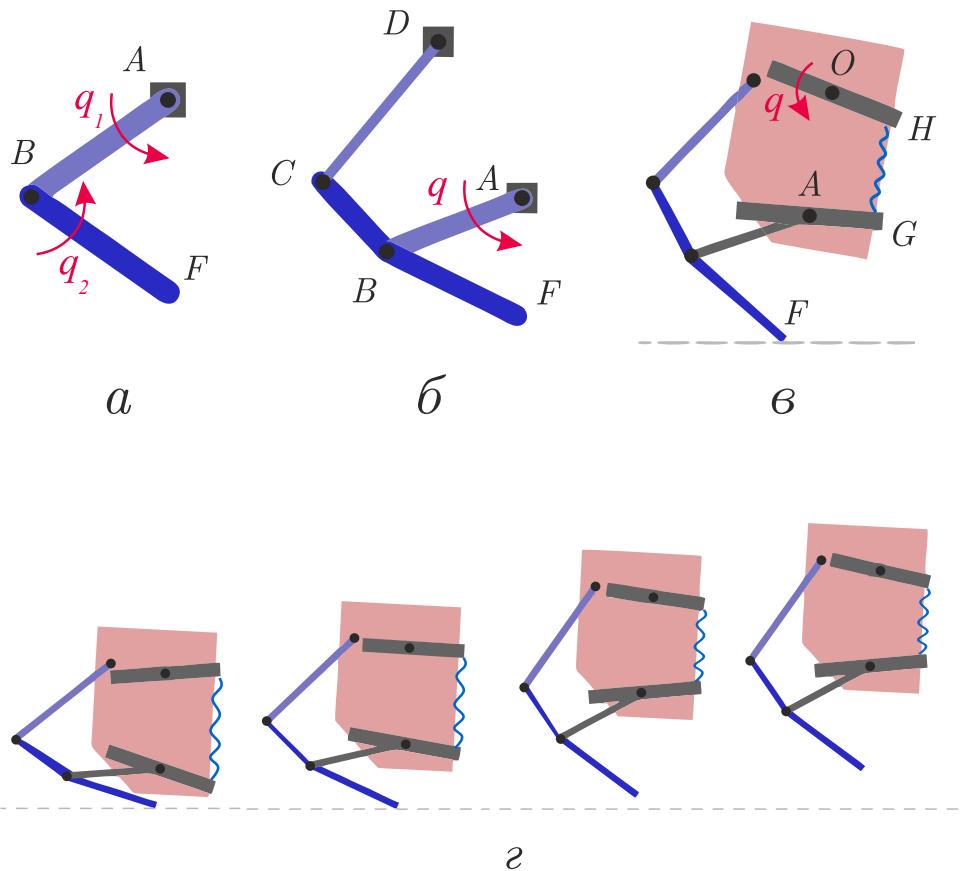
SPACAR

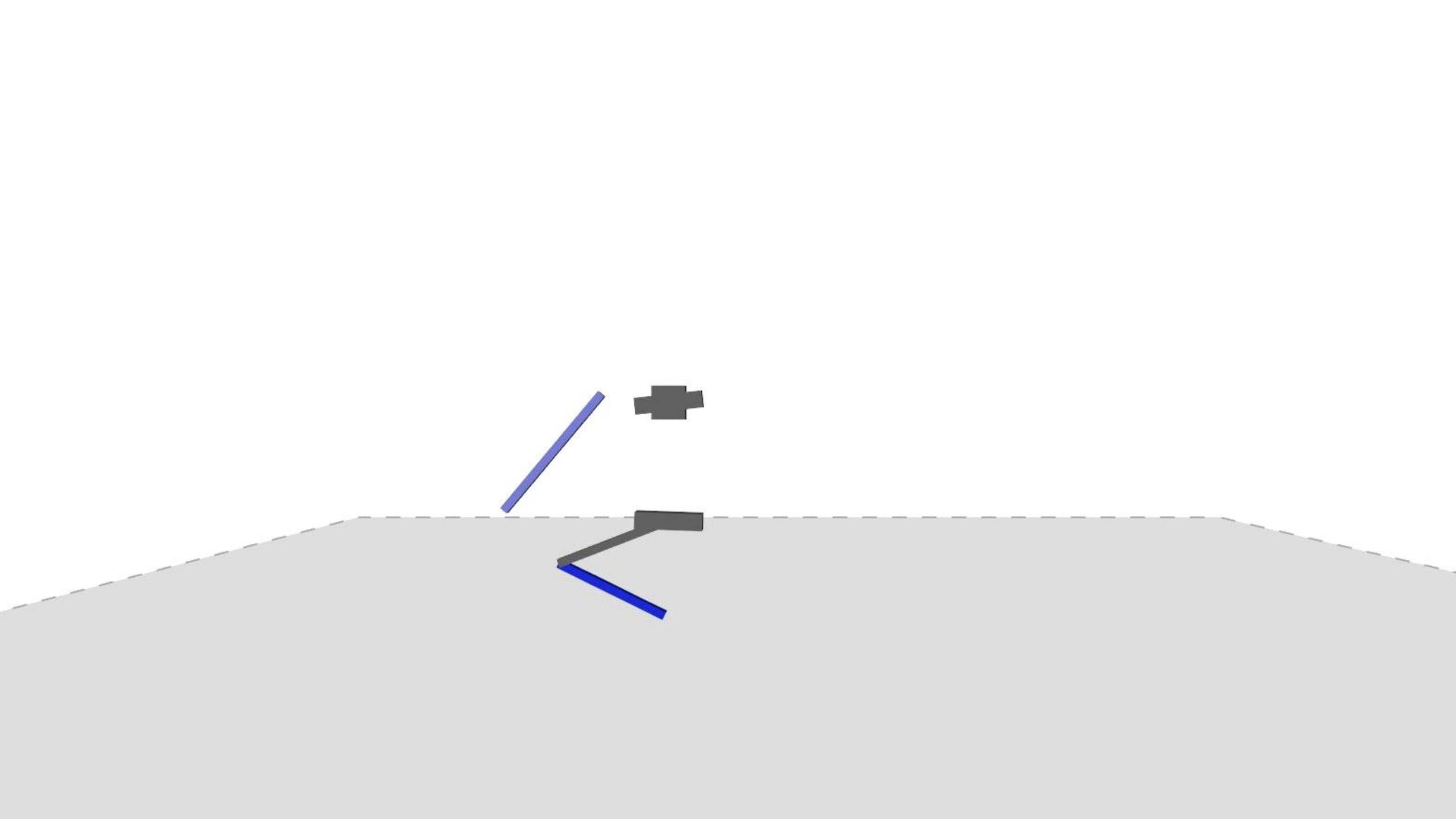


CAD

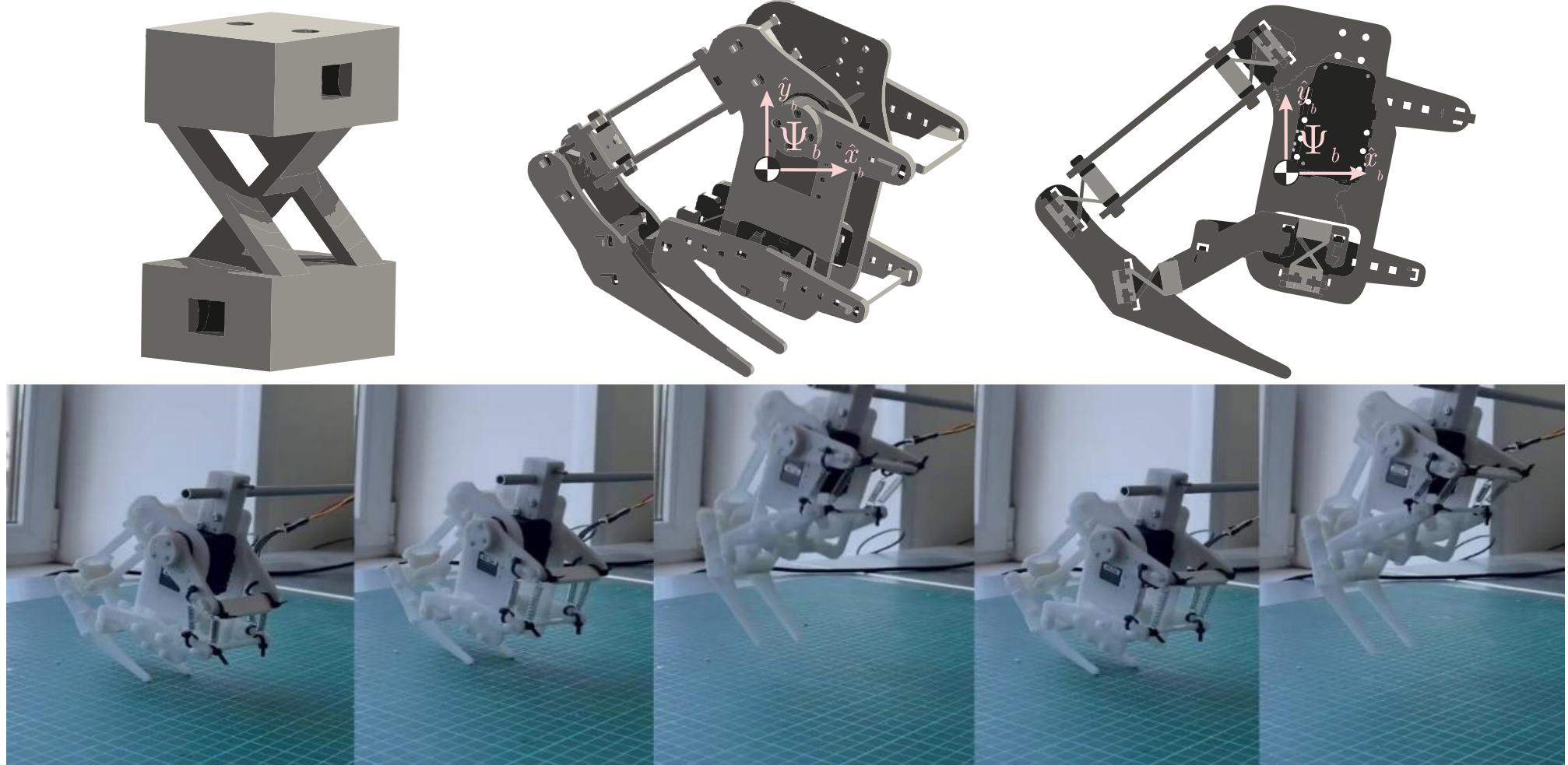


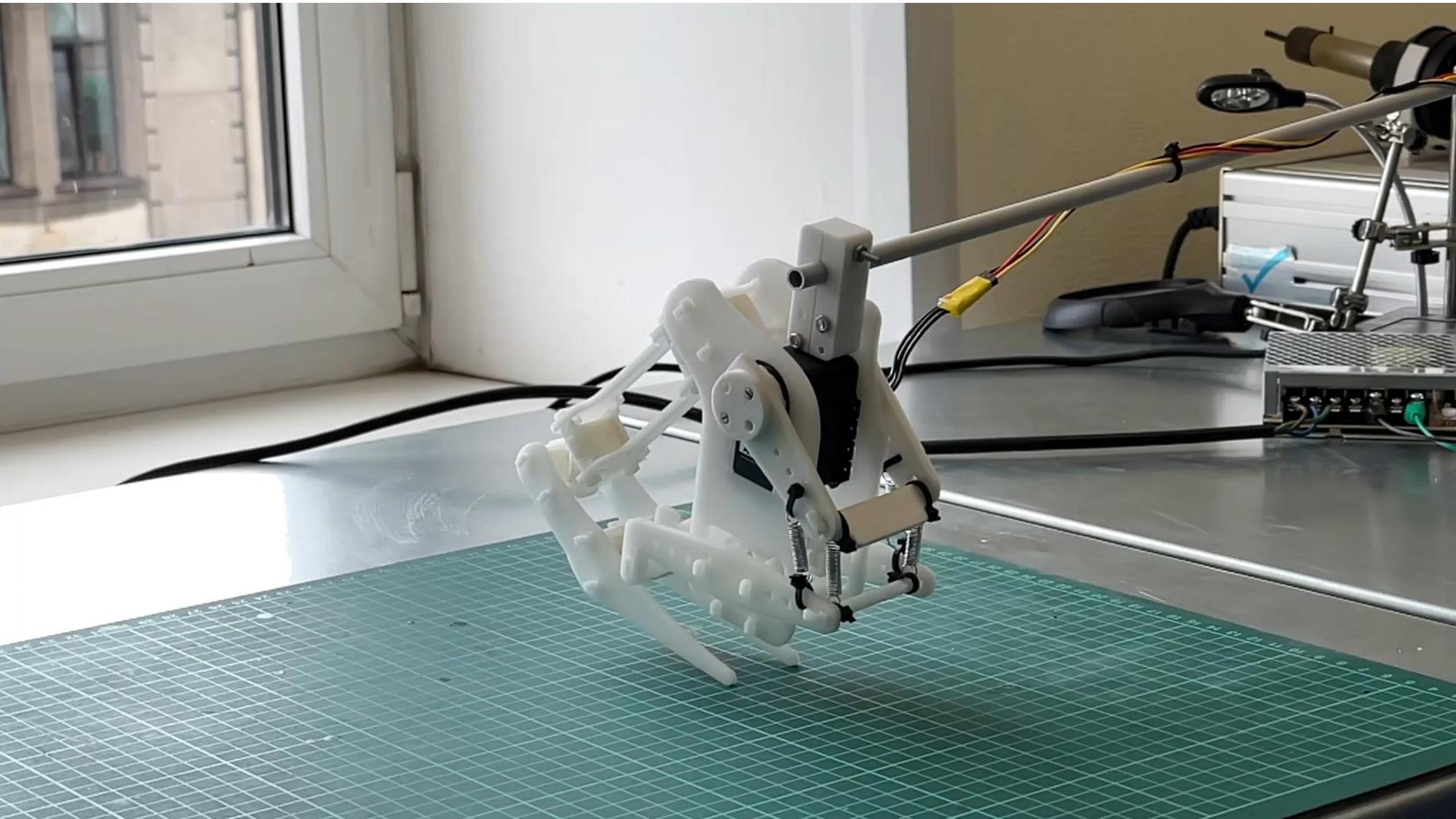
Оптимизация механизма и имитационное моделирование





SPACAR & CAD





Результаты

Device-wise

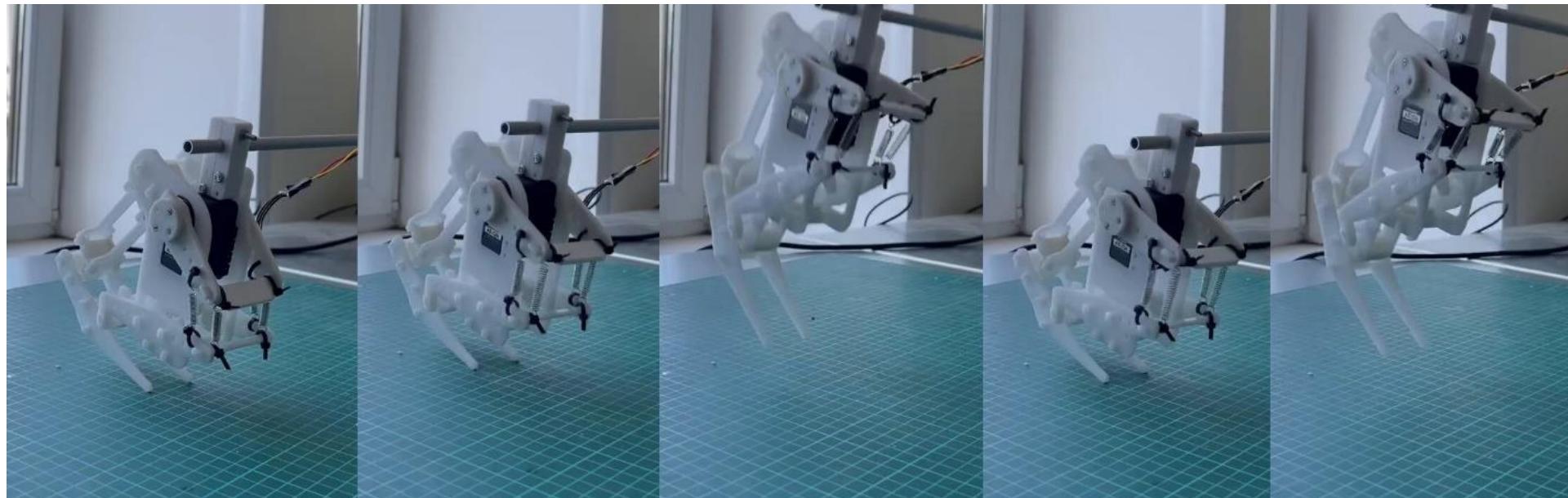
- 210 g
- 13x6x16 cm
- 3 cm hopping height

Expertise-wise

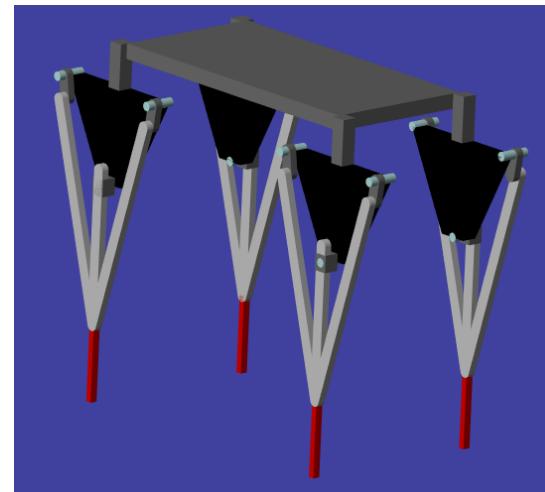
- Linkage and hinges optimization
- Energy control
- CAD design “style”
- Manufacturing / Programming

What else?

- Analytical modeling
- Sensor's integration (flexure)
- “Clever” control



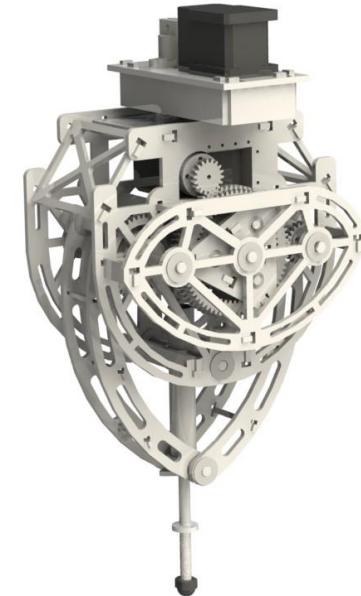
Модернизация минитаура

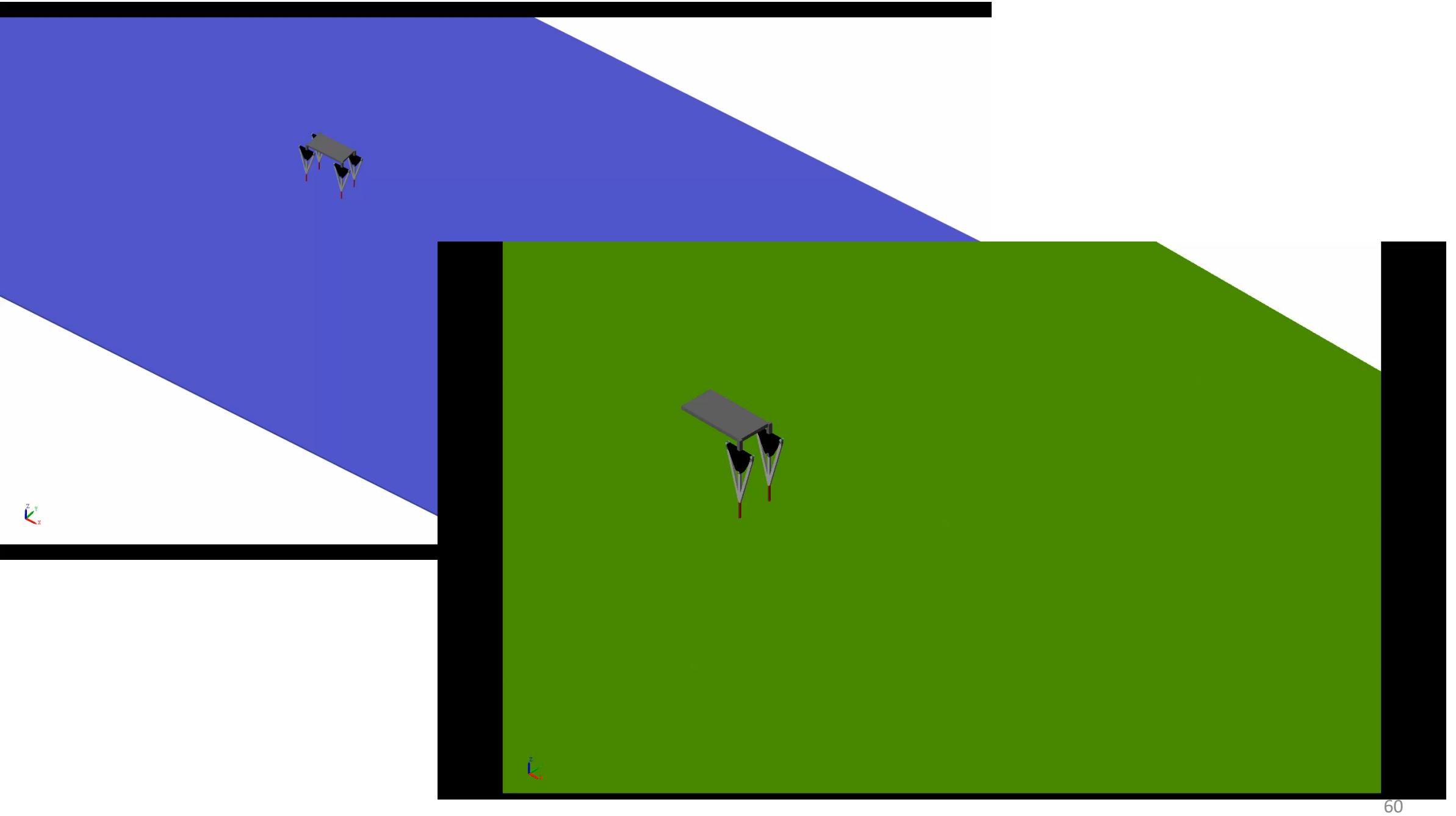


309x147x130 mm
720 g

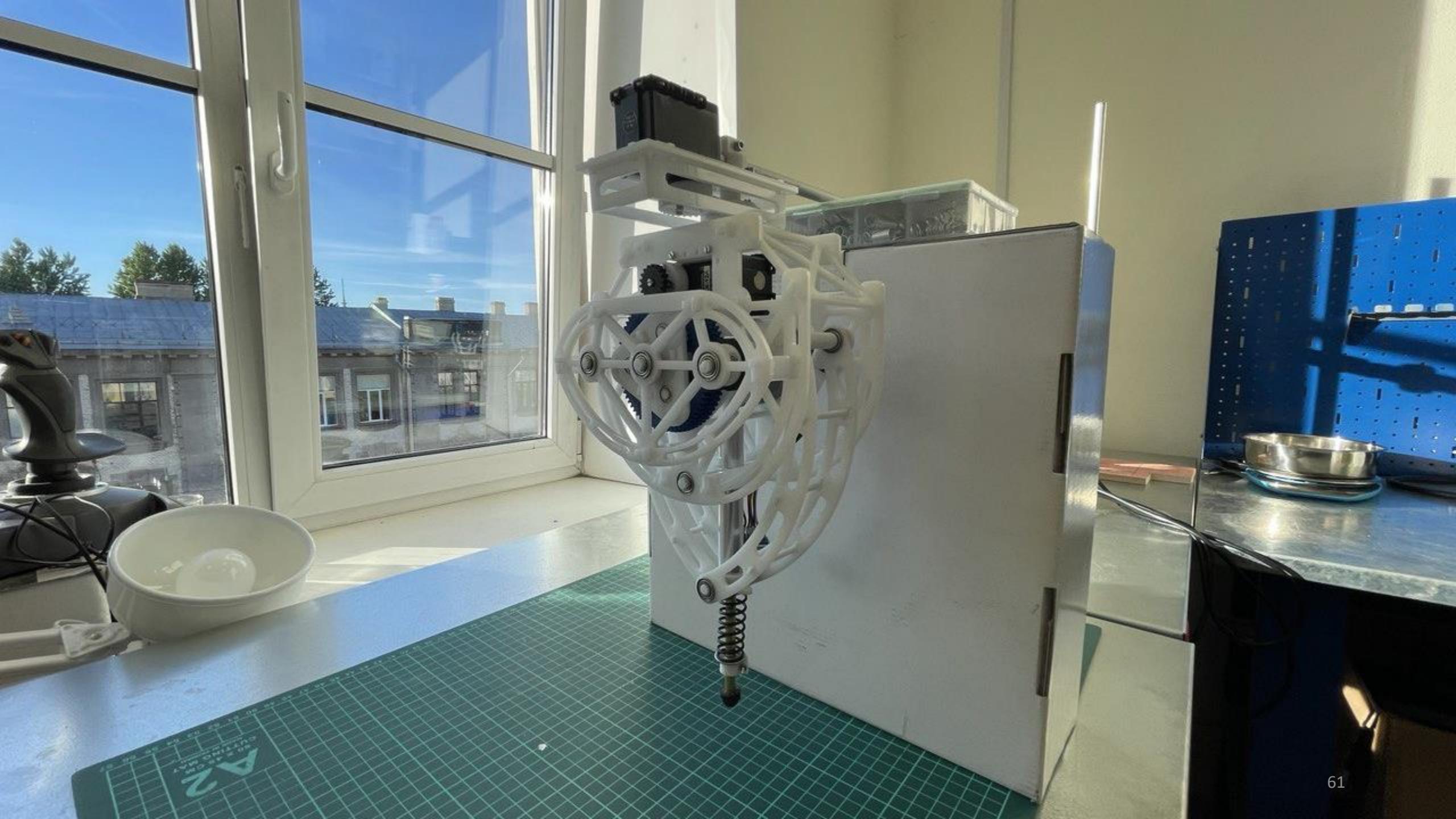


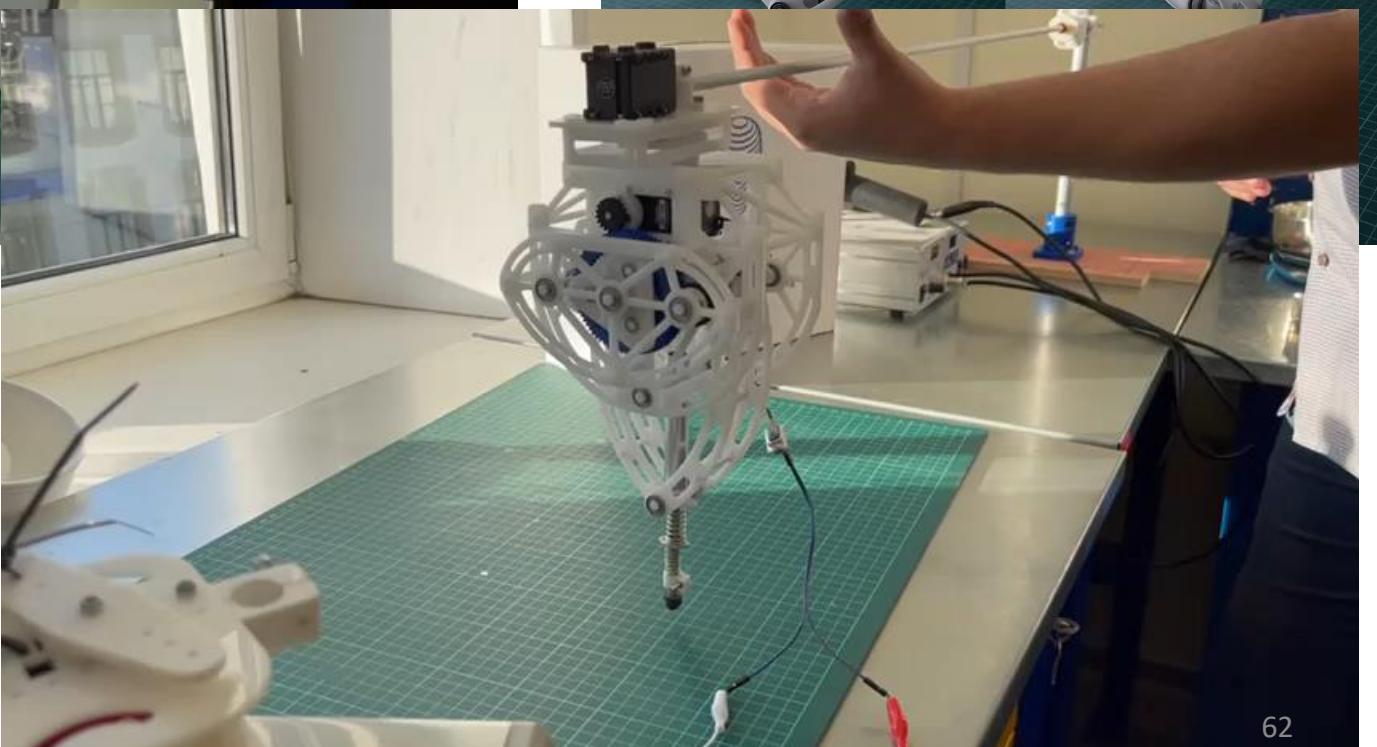
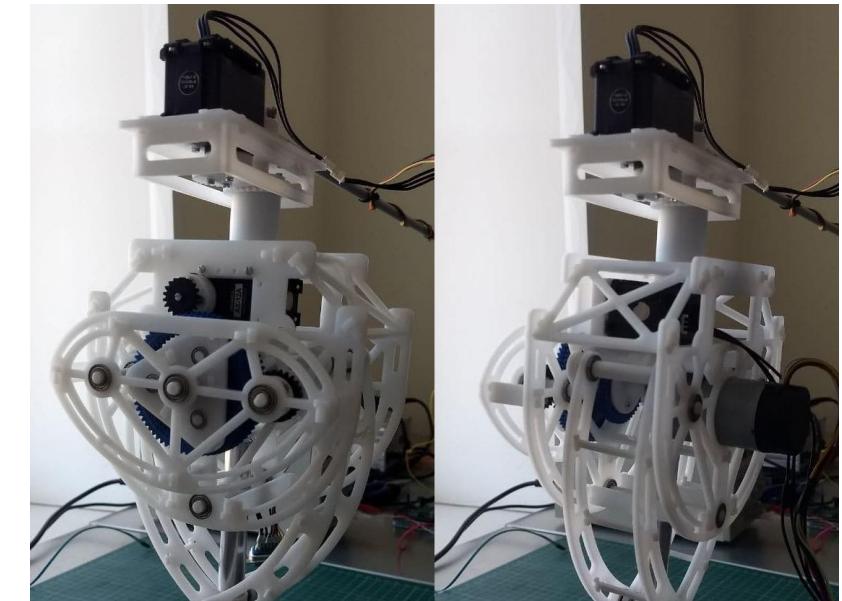
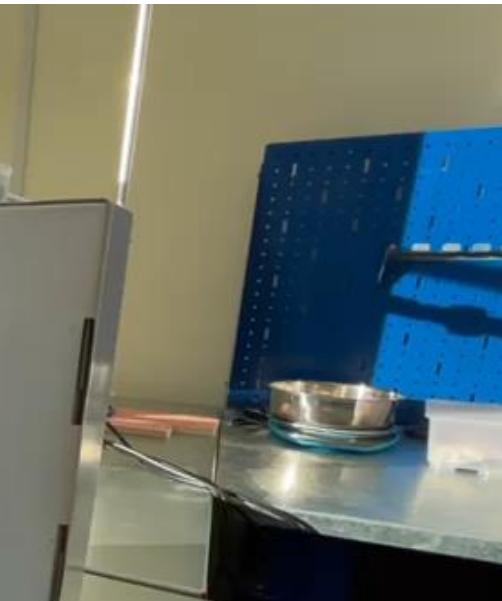
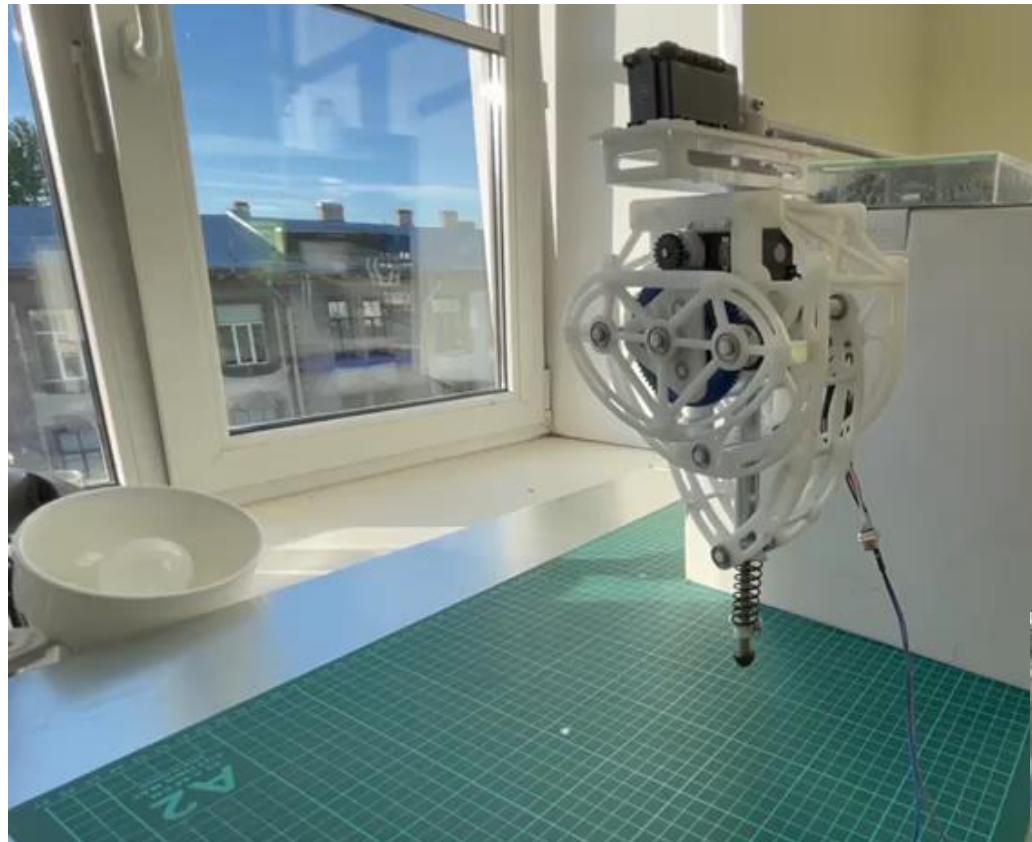
Дмитрий Волянский





60





Краткая биография

Получил степень бакалавра и магистра по специальности мекатроника и робототехника в Университете ИТМО, Санкт-Петербург, Россия в 2014 и 2016 годах соответственно, а в 2019 году защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проектированию манипуляционных и локомоционных роботов.

В 2014-2017 годах работал в промышленности в области машиностроения.

С 2017 года работает научным сотрудником международной исследовательской лаборатории Биомехатроники и энергоэффективной робототехники Университета ИТМО (СУиР).



Полноприводность vs неполноприводность*

*Неспособность следовать любой произвольных траекторий в конфигурационном пространстве в силу ряда причин

Морфологическое проектирование

Кто-нибудь может сказать, что правильнее говорить морфологический расчет, но это дискуссионный момент



Адаптивные захватные устройства

Оптимизация структуры, геометрических параметров и распределение эластичности



Дмитрий Ивонов

Евгений Хокхлов



Энергоэффективные галопирующие роботы

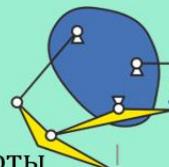


Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Роман Защитин



Прыгающие роботы



Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский



Всё!

почти

Экзокостюмы

Доп. Материал



Ольга Борисова

Кирилл Насонов

Дмитрий Волинский

Евгений Хокхлов

Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика

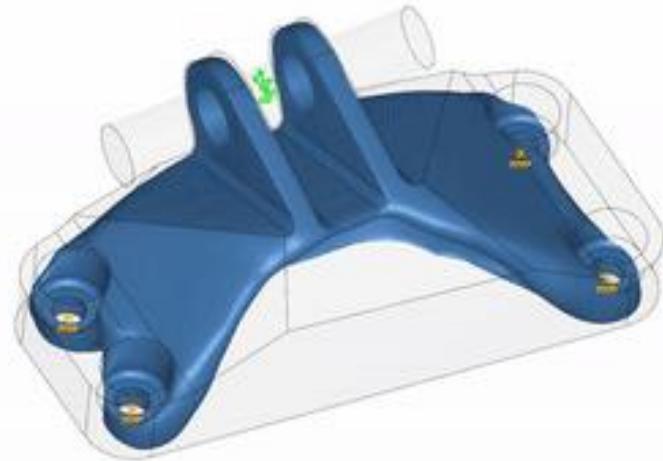
Генеративный дизайн в робототехнике

Статика vs динамика

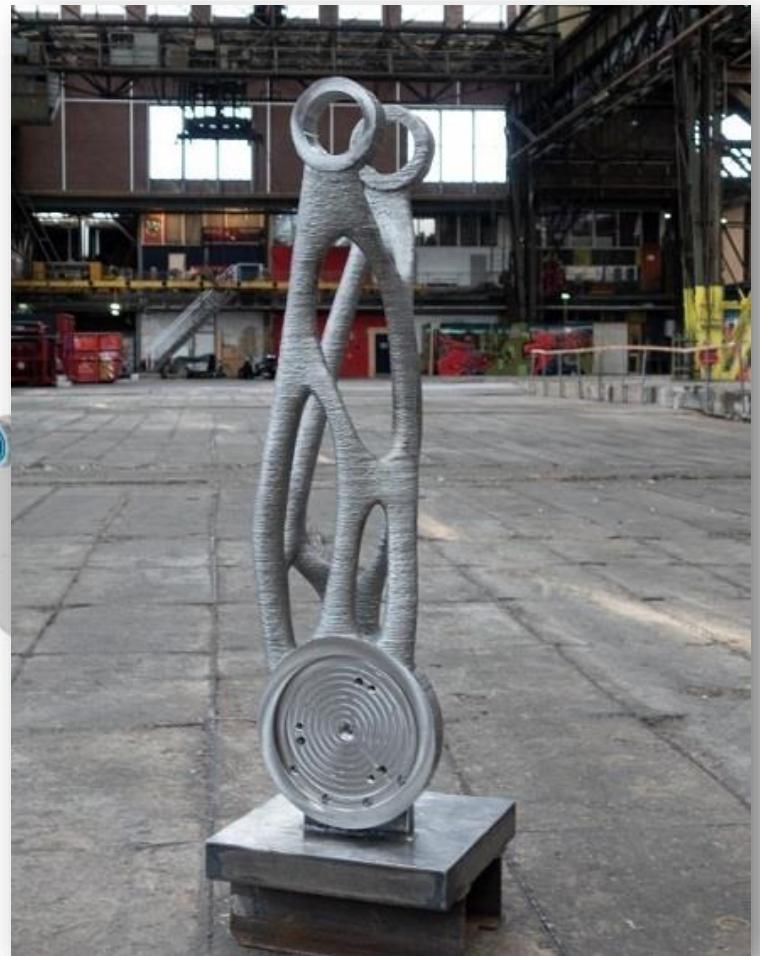
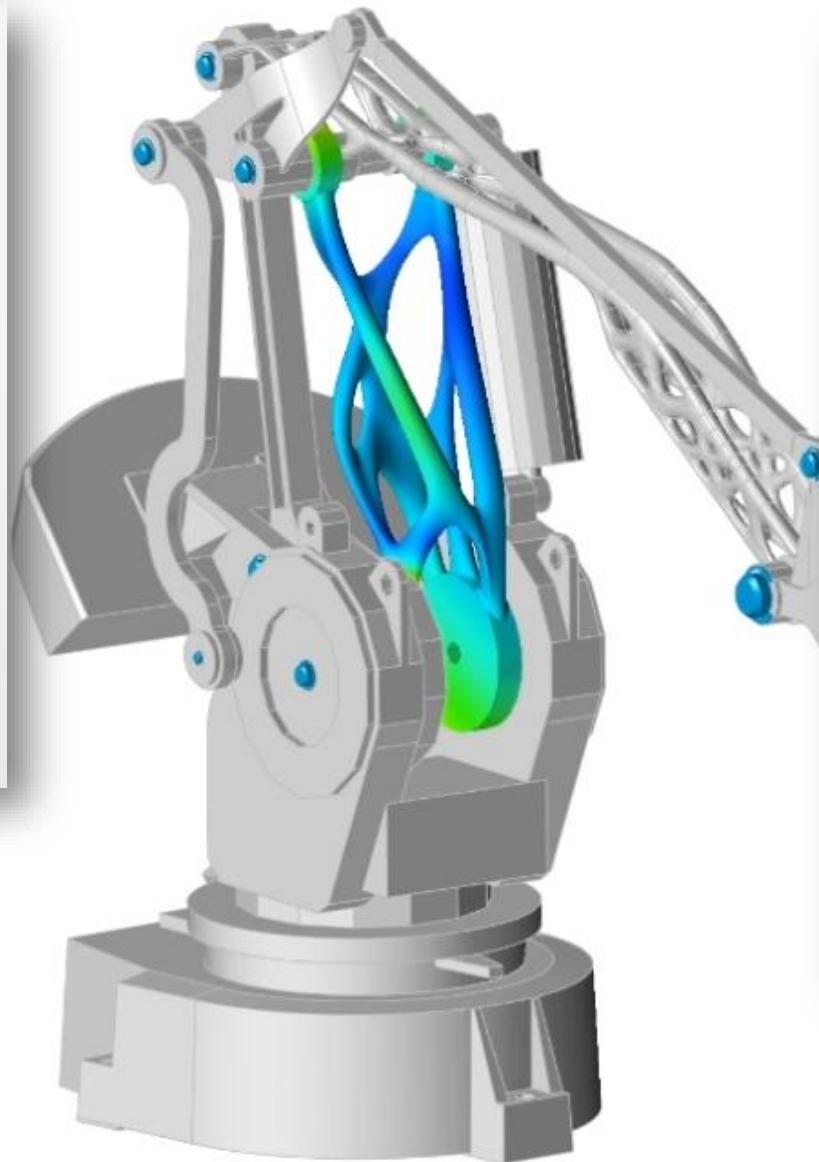
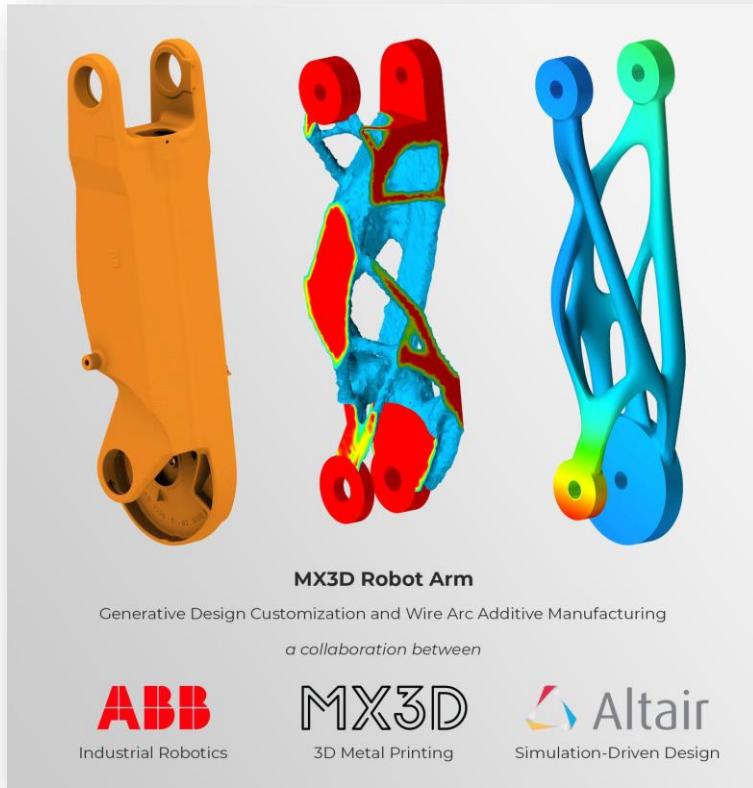


Генеративный дизайн

Суть – искусственный интеллект самостоятельно формирует облик деталей под заданные конструктором условия ее будущего функционирования¹

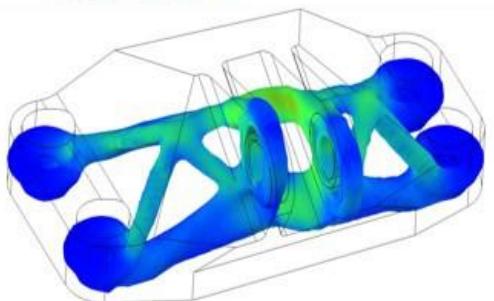
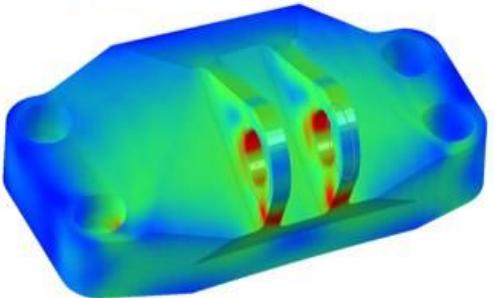
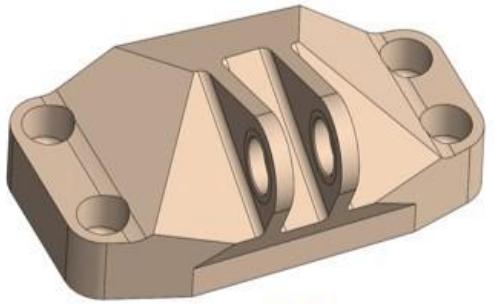


¹Autodesk Generative Design

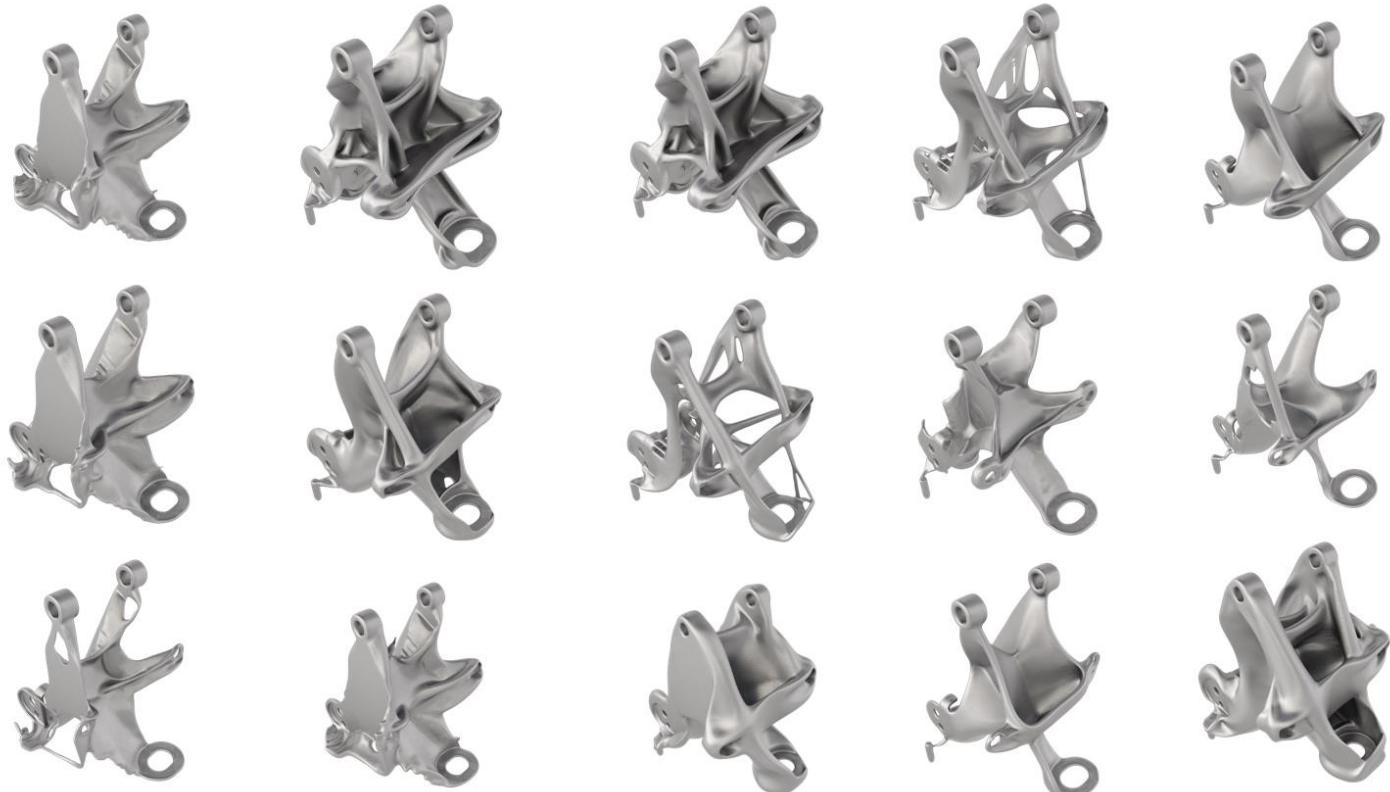


Оптимизация деталей. Статика. А как быть с динамикой?

Слабый vs Сильный ИИ



для решения
формализованных задач
Пример: топологическая оптимизация



для воспроизведения творческой деятельности человека для решения
слабо формализованных задач в профессиональной сфере проектировщика
Пример: генеративный дизайн

Ааа...

- С деталями понятно...
- Если у нас дана только траектория
 - как выбрать структуру робота?
 - кинематические параметры?
 - динамические?
- А если и траектории не дано, а требования к поведению?!

«Хитрая» механика

Морфологический расчет
законов управления
(morphological computation¹)

Физическое воплощение
искусственного интеллекта
(physical intellect embodiment²)

- Предел творческих возможностей человека
 - Сложные многокомпонентные физические системы
 - Стремящееся к ∞ количество параметров
 - Разнородные критерии оптимальности решений
- Результат зависит от опыта и инженерной интуиции разработчика

Это надо
автоматизировать!

¹C. Laschi and B. Mazzolai, “Lessons from animals and plants: The symbiosis of morphological computation and soft robotics,” IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 23, no. 3, pp. 107–114, 2016. doi: 10.1109/MRA.2016.2582726.

²D. Howard, A. E. Eiben, D. F. Kennedy, J.-B. Mouret, P. Valencia, and D. Winkler, “Evolving embodied intelligence from materials to machines,” Nature Mach. Intell., vol. 1, no. 1, pp. 12–19, 2019. doi: 10.1038/s42256-018-0009-9.

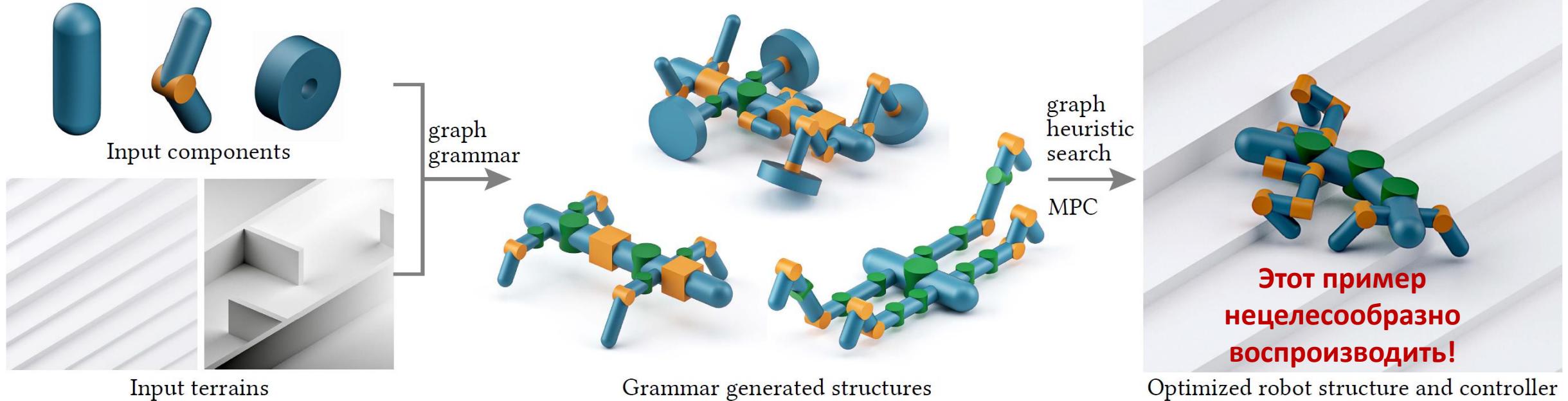
Есть аналоги генеративного дизайна, которые позволяют находить нетривиальные решения, но...

Этот пример
невозможно
воспроизвести!

<https://evolutiongym.github.io/>

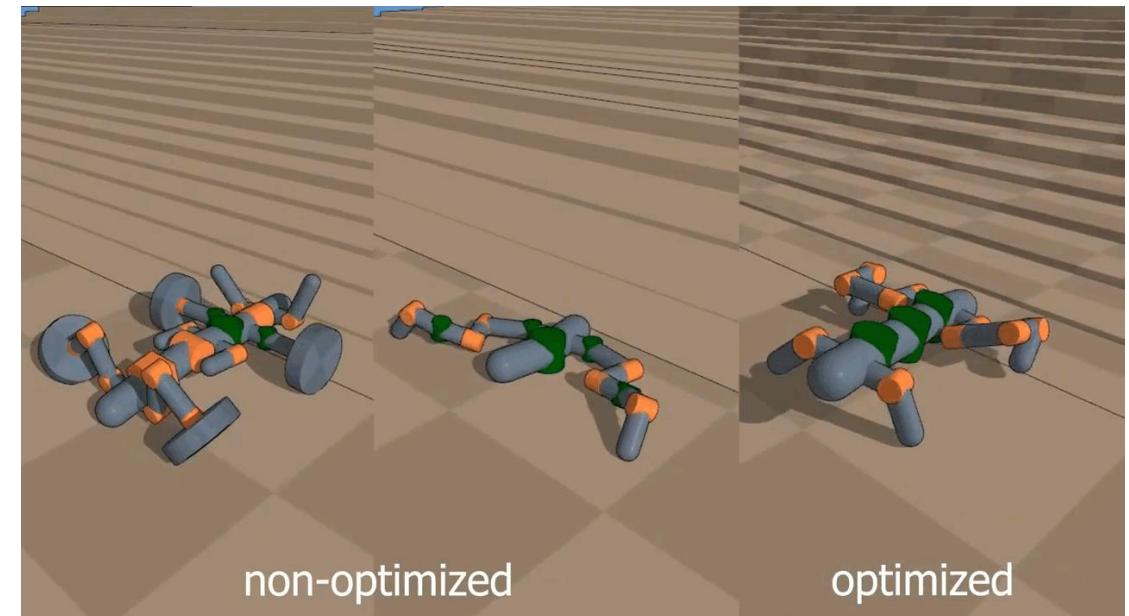
...сталкиваемся с проблемой воспроизведения либо целесообразности
Здесь решалась не задача конструктора!

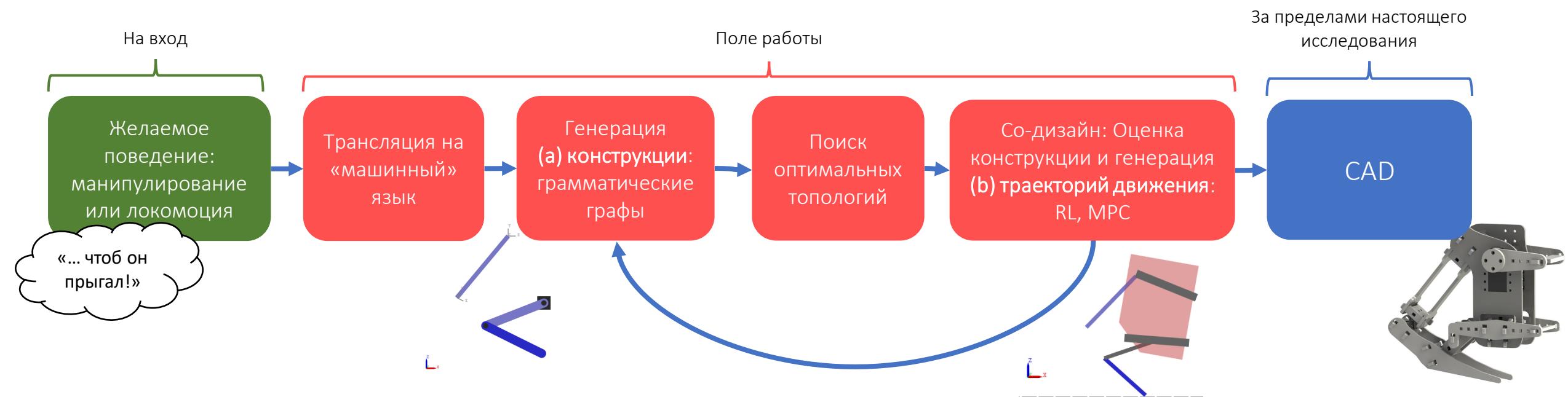
Мы про физическое воплощение!



1. Recursive graph grammars для топологии
2. MPC для систем управления
3. Graph Heuristic Search для выбора

Allan Zhao, Jie Xu, Mina Konaković-Luković, Josephine Hughes, Andrew Spielberg, Daniela Rus, and Wojciech Matusik. 2020. RoboGrammar: Graph Grammar for Terrain-Optimized Robot Design. ACM Trans. Graph. 39, 6, Article 188 (December 2020), 16 pages.
<https://doi.org/10.1145/3414685.3417831>





Что мы реализуем?

Алгоритмы генеративного дизайна робототехнических систем

- Со-дизайн роботов, **динамически контактирующих с неструктурированным окружением**
 - С оптимальным структурой, геометрическими параметрами, распределением массы и эластичности
 - Физически воспроизводимых
- для максимизации метрик производительности роботов:
 - энергоэффективность
 - адаптивность
 - соотношение грузоподъемности к собственному весу и прч.
- Создание библиотек для сред разработки

Всё!

почти



Ищем таланты!

- Мотивационное письмо на borisovii@itmo.ru
- Решить тестовые задания (разрабатываются)