

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗЫ ПОЛЕТА ГАЛОПИРУЮЩЕГО РОБОТА С ГИБКОЙ СПИНОЙ

**Борисова О.В.** (университет ИТМО), **Борисов И.И.** (университет ИТМО)  
**Научный руководитель – д.т.н, проф. Колюбин С.А.**  
(университет ИТМО)

**Аннотация.** Работа посвящена проектированию галопирующего робота-гепарда с гибкой спиной. Проведено исследование фазы полета реального гепарда и решена задача как подобное движение может быть воспроизведено галопирующим роботом. Решена задача распределения масс и гибкости в конструкции робота для повторения физики фазы полета.

**Введение.** Галопирование четвероногих роботов является актуальной задачей в области робототехники. Высокодинамичная локомоция зависит и от динамики механической структуры робота, и от динамики его алгоритмов управления, поскольку обе формируют движение робота. Галопирующие роботы предназначены для работы в неструктурированной среде, где роботы на колесной платформе демонстрируют низкую эффективность. Их основным преимуществом перед колесными роботами является возможность передвижения по неровной местности за счет применения дискретного контакта с поверхностью, а также способность смещать центр масс относительно точки контакта, что обеспечивается механизмами ног. Современное поколение роботов с ногами, таких как MIT Cheetah, ANYmal robot, Unitree и HyQ, использует одинаковую механическую морфологию, а именно тело прямоугольной формы с механизмом незамкнутой кинематической цепи для ног. Этот вид морфологии считается удачным, так как он позволяет получить различные формы поведения: стояние, ходьба, приседание, лежание, бег, галоп, прыжки и т. д. Однако в этих случаях используются сложные алгоритмы управления с сильным акцентом на равновесие и высокодинамичном физическом взаимодействии.

С другой стороны, правильное распределение пассивных упругих элементов и распределение массы в механической структуре робота потенциально позволяют достичь динамической локомоции с более простой системой управления и меньшим энергопотреблением. Такой подход называется морфологическим расчетом, когда вычисление управляющего сигнала осуществляется не только с помощью алгоритмов, но и с помощью механической конструкции, то есть его морфологии. Это позволяет минимизировать управляющее усилие и использовать его только для стабилизации, возбуждения или усиления присущей ему динамики. Предположим, поставлена задача создать четвероногого галопирующего робота с нуля. В этом случае можно спроектировать корпус как одно твердое тело и использовать относительно простые механизмы ног с незамкнутой кинематической цепью, управляемые относительно сложными алгоритмами управления. Или мы можем посмотреть, как природа решает ту же задачу, создавая быстрых млекопитающих, таких как гепард, и с помощью морфологических расчетов мы можем спроектировать относительно сложную механическую систему, которая обладает большей части желаемого поведения в присущей ей динамике и требуется лишь небольшое управляющее усилие, чтобы стабилизировать или усилить движение.

**Основная часть.** В этой работе было проанализировано движение реального гепарда с помощью отслеживания по видео и был найден способ сопоставить движение реального гепарда и галопирующего робота, оснащенного пространственным гибкой спиной. Мы считаем, что гибкий позвоночник является важной особенностью энергоэффективного галопирующего робота. В этой работе мы сосредоточились на фазе полета, когда гибкий позвоночник влияет на движение переднего и заднего тел робота.

Задача состоит не копировать внешность или анатомию гепарда, а воспроизвести его динамику. Эта работа дает представление о том, как мы можем выполнить нисходящее проектирование для создания галопирующего робота с гибким позвоночником. Зная траектории, скорости и желаемую массу робота, можно решить обратную задачу динамики. Робот должен соответствовать физике галопирования гепарда, вследствие чего была приведена оптимизация распределения массы. Таким образом, мы задаем массы одного и второго тела, и их размеры будут оптимизированы. Например, все батареи и полезный груз будут находиться в переднем корпусе, следовательно, мы можем задать размеры и массу переднего тела. А размеры и масса заднего тела должна быть оптимизирована, чтобы соответствовать физике стадии полета при галопировании.

**Выводы.** В работе было определено, каким образом оптимизировать распределение массы и упругости в конструкции галопирующего робота, чтобы получить гепардоподобное движение. Был проведен поиск крепления пространственной пружины и ее коэффициентов. Зная правильное распределение массы, положение пространственной пружины и коэффициенты жесткости, мы можем повторить движение реального гепарда. Были проверены полученные результаты на симуляционной модели упрощенного робота, что подтвердило правильность расчетов и оптимизации.

Борисова О.В. (автор)

Подпись

Колюбин С.А. (научный руководитель)

Подпись