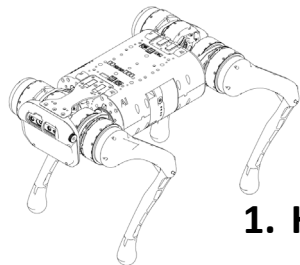


Содержание

1. Калибровка робота
 - 1.1. Калибровка приводов
 - 1.2. Калибровка IMU
2. Описание пульта управления
3. Команды управление с пульта
 - 3.1. Описание режимов управления
 - 3.2. Команды управления с пульта
 - 3.2.1. Базовые действия в стойке
 - 3.2.2. Комбинации и специальные действия в стойке
 - 3.2.3. Комбинации и специальные действия в режиме прогулки
 - 3.2.4. Комбинации и специальные действия в режиме бега
 - 3.2.5. Базовые действия в режиме SLAM
 - 3.2.6. Специальные действия
4. Режим танцев
 - 4.1. Автоматическая загрузка
 - 4.2. Загрузка вручную
5. Режим подъёма по лестнице
6. Работа с приложением
7. Режим разработчика
 - 7.1. Начало работы
 - 7.1.1. Система управления роботом
 - 7.1.2. Настройка сети
 - 7.1.3. Единицы измерения
 - 7.1.4. Система координат, кинематика и динамика
 - 7.2. API
 - 7.2.1. Высокоуровневый режим управления
 - 7.2.2. Низкоуровневый режим управления
 - 7.2.3. Режим защиты
 - 7.3. Обучение управлению



1. Калибровка робота

1.1. Калибровка приводов

- a) Установите робота в начальное положение (все ноги касаются пола и «живот» прижат к полу).
- b) Включите робота.
- c) Нажмите L2 + B и несколько раз L2 для перехода в режим нулевого момента.
- d) Установите ноги, как показано на рисунке.



Рисунок. Положение ног перед началом калибровки

- e) Нажмите L2 + R2 (ноги робота должны выйти в положение для калибровки).
- f) Используйте измерительный инструмент для перевода ног в установочные положения: один конец инструмента устанавливается в точку 1, другой конец – в точку два, положение ноги фиксируется и затем в этом положении необходимо опустить ногу вниз до её касания с поверхностью. Проведите данную операцию для всех четырёх ног.

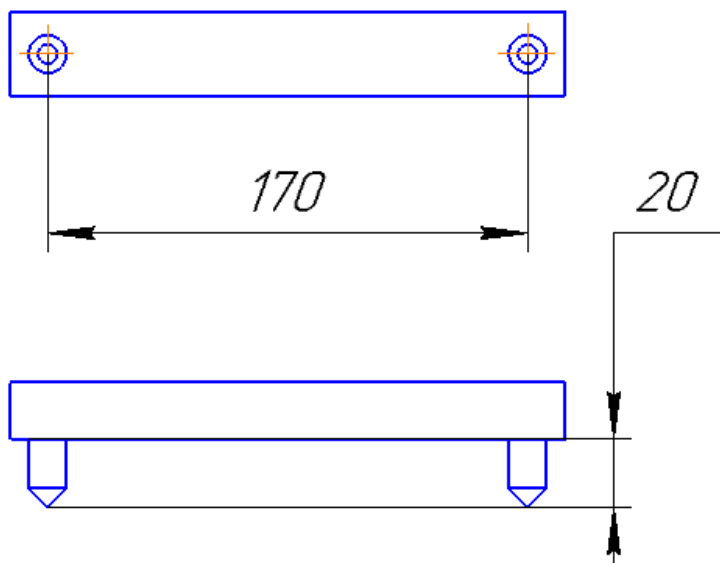
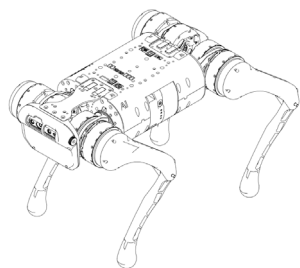
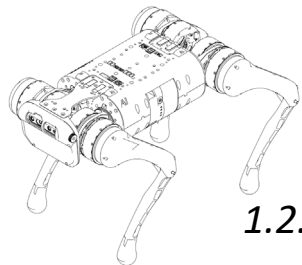


Рисунок. Параметры измерительного устройства



Рисунок. Положение установочных отверстий

- g) Дважды нажмите L2 + L1
- h) Дважды нажмите L2 + R1
- i) Нажмите L1 + R1 + R2
- j) В случае успешной процедуры, шарниры робота будут находиться в состоянии нулевого момента.



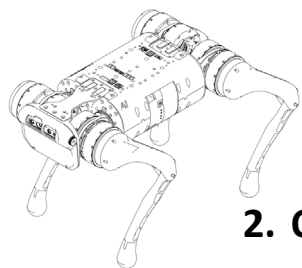
1.2. Калибровка IMU

- a) Включите робота
- b) Нажмите L2 + В для перевода его в положение «лежа»
- c) Дважды нажмите L2 + В для перехода в режим нулевого момента
- d) Установите ноги в положение, показанное на рисунке. Они не должны касаться поверхности и «бедра» должны быть параллельны полу.

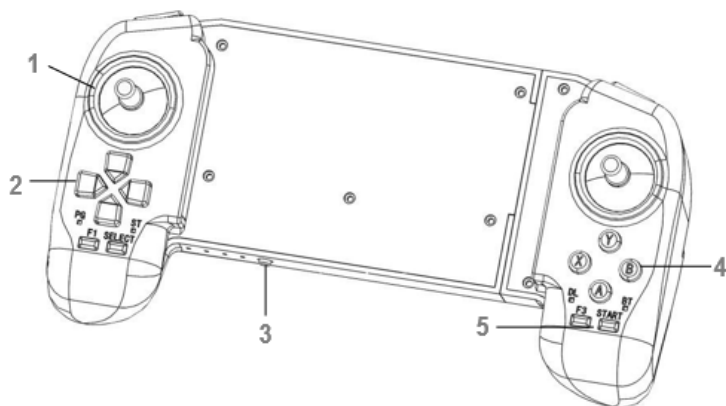


Рисунок. Положение ног робота в режиме нулевого момента

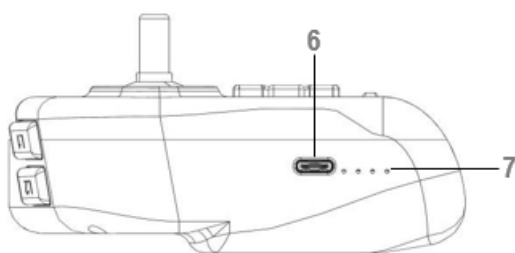
- e) Нажмите L1 + В и подождите три (3) минуты.
- f) Выключите робота.



2. Описание пульта управления



1. Джойстик
2. Левая кнопка
3. Кнопка питания
4. Правая кнопка
5. Кнопка запуска и калибровки



6. Порт зарядки Type C
7. Индикатор WIFI



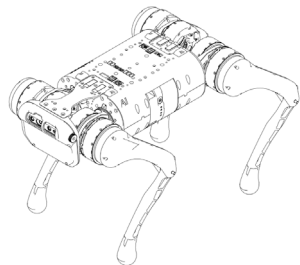
8. R1, R2
9. L1, L2

Запуск пульта

Нажмите на кнопку питания один раз, после чего зажмите её на пару секунд.

Калибровка пульта

Возьмите пульт. Нажмите кнопки F1 и F3 и отпустите одновременно. Раздастся звук "drip ~ drip ~" (1 time / second), показывающий переход в режим калибровки. Отклоните джойстики в максимальные положения до остановки звука "drip ~ drip ~". Нажмите F3 для подтверждения калибровки.



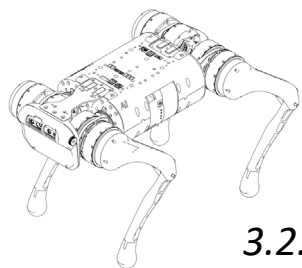
3. Команды управления с пульта

3.1. Описание режимов управления

Доступно четыре режима работы: стойка (A), прогулка (W), спортивный (Sport) и улучшенный спортивный.


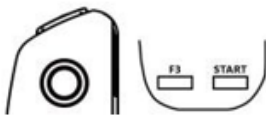

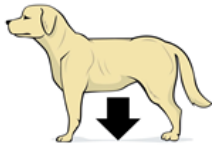


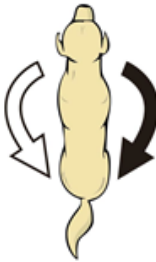

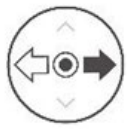
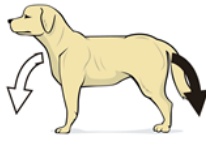




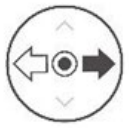
Для перехода между режимами необходимо:

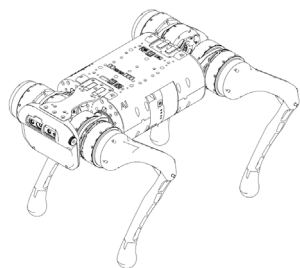
- 1) Зажмите L2 и далее нажмите В для перехода в режим с нулевым моментом;
- 2) Зажмите L1, L2 и START;
- 3) Зажмите L1 и нажмите START. После того, как робот поднялся, нажмите START повторно.

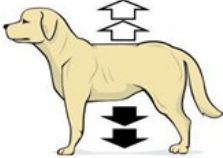




3.2. Команды управления с пульта

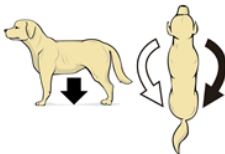


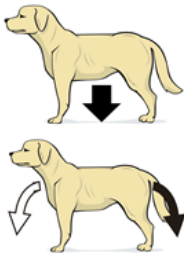

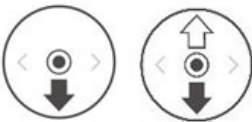






3.2.1. Базовые действия в стойке

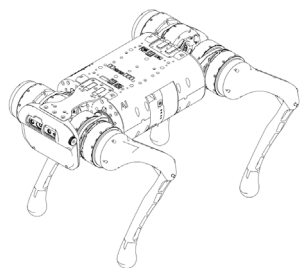
№	Положение джойстика или кнопки на пульте		Операционная диаграмма		Рисунок робота	Примечание
1	L1	START	L1	START		Робот включён и стоит. После удержания кнопки L2, нажмите кнопку B: робот присядет и далее ляжет, войдя в режим ожидания. Нажмите кнопки L2 и A для подъёма робота. Зажмите кнопку L1 и нажмите кнопку START. После характерного звука робот снова встанет. Отпустите L1 и один раз нажмите START для перехода в спортивный режим.
						
2	Левый джойстик		Левый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Левый стик используется для управления туловищем для приседания и подъёма. Потяните стик вверх для того, чтобы робот встал. Опустит стик вниз, чтобы робот сел. В среднем положении левого стика робот неактивен.
						
3	Левый джойстик		Левый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Отклонение стика в правую/левую стороны изменяет угол рыскания робота в зависимости от величины отклонения.
						
4	Правый джойстик		Правый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Правый стик используется для контроля холки робота (наклоны вперёд/ назад при отклонении стика вверх/вниз).
						
5	Правый джойстик		Правый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Правый стик используется для контроля угла тангажа робота (при виде со стороны оператора). При отклонении стика налево робот наклонится направо, при отклонении стика направо робот отклонится налево.
						



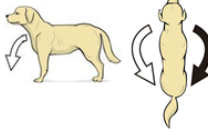

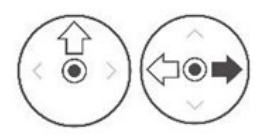
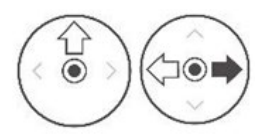
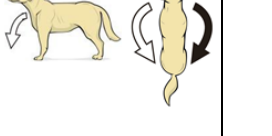
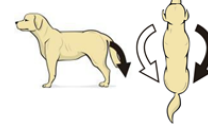

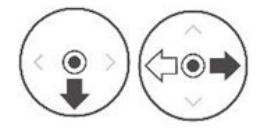
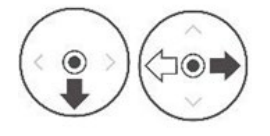

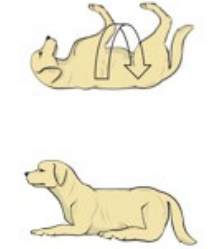

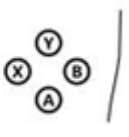

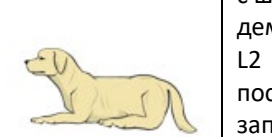
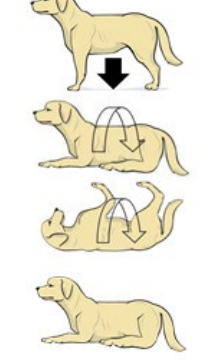
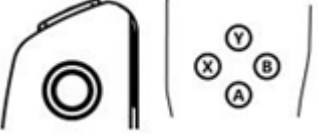
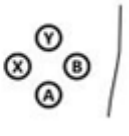


6	Левая кнопка	Левая кнопка		<p>Робот стоит в спортивном режиме. Левые кнопки вверх/ вниз контролируют уровень подъёма корпуса.</p> <p>Примечание: Обязательно запомните число нажатий. После окончания действия необходимо вернуть робота в начальное состояние во избежании быстрой разрядки аккумулятора.</p>
				

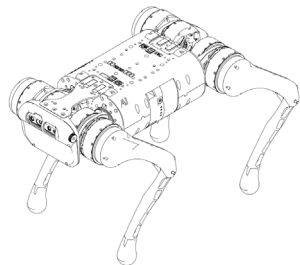
3.2.2. Комбинации и специальные действия в стойке

1	Левый джойстик		Левый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Левый стик отвечает за приседания и поворот. Опустите стик вниз и налево, и робот начнёт поворачиваться сидя налево (аналогично для право).
						
2	Левый джойстик	Правый джойстик	Левый джойстик	Правый джойстик		Робот стоит в спортивном режиме. Комбинация левого и правого стиков позволяет контролировать наклоны робота вперёд/назад при приседании.
						
3	Правый джойстик		Правый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Поворот правого стика по часовой стрелке разворачивает робота по часовой стрелке. Примечание: при сильном отклонении происходит автоматический переход в режим защиты, так как достигаются крайние точки для положений.
						
4	Правый джойстик		Правый джойстик			Робот стоит в спортивном режиме. Поворот правого стика по часовой стрелке разворачивает робота по часовой стрелке. Примечание: при сильном отклонении происходит автоматический переход в режим защиты, так как достигаются крайние точки для положений.
						

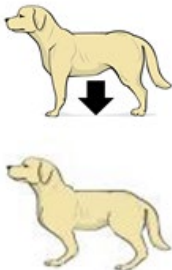
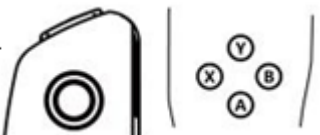

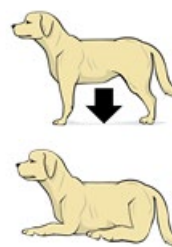



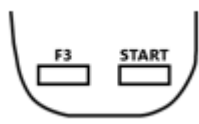

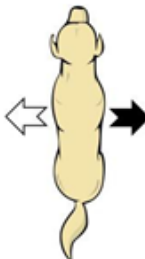
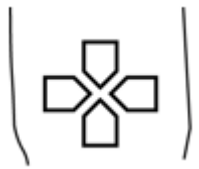



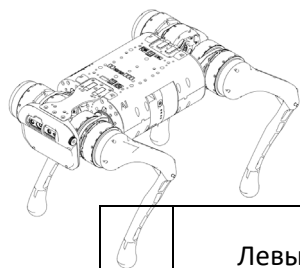
Руководство по работе с Unitree A1

5	Правый джойстик	Левый джойстик	Правый джойстик	Левый джойстик		<p>Робот стоит в спортивном режиме. Комбинация правого и левого стиков позволяет наклонить робота вперёд во время поворота.</p>
						
6	Правый джойстик	Левый джойстик	Правый джойстик	Левый джойстик		<p>Робот стоит в спортивном режиме. Комбинация правого и левого стиков позволяет наклонить робота назад во время поворота.</p>
						
7	L2	X	L2	X		<p>Робот стоит в спортивном режиме. Когда робот лежит на спине, зажмите кнопку L2 и нажмите на X для разворота на 180 градусов через правую сторону. Робот будет находиться в перевернутом состоянии с шарнирами в высоко демпфированном состоянии. Зажмите L2 и нажмите правую кнопку A для последовательного запуска приседаний и подъёмов. Нажмите START для разблокирования шарниров. Примечание: не используйте после настройки лидара.</p>
						
8	L2	Y	L2	Y		<p>Робот стоит в спортивном режиме. Нажмите L2, а затем нажмите Y для переворота робота. После поворота робот останется в сидячем положении, а шарниры в высоко демпфированном состоянии. Зажмите L2 и нажмите правую кнопку A для последовательного запуска приседаний и подъёмов. Нажмите START для разблокирования шарниров. Примечание: не используйте после настройки лидара.</p>
						



Руководство по работе с Unitree A1

9	L2	A	L2	A		Робот стоит в спортивном режиме. После удержания L2 и непрерывного нажатия кнопки А, шарниры робота будут заблокированы. При нахождении робота в полуприседе, шарниры будут заблокированы и робота необходимо будет поднять вручную до нужного положения. Примечание: Нажмите L2+A только при нахождении робота в стоячем положении. Не используйте эту комбинацию клавиш во время прогулки.
						
10	L2		L2			После зажатия L2 и нажатия В, роботу будет назначен нулевой момент. В этом режиме пульт может быть использован для калибровки нулевого положения или исправления установки IMU.
						
11	START		START			Робот в спортивном режиме. Нажмите на START для запуска режима прогулки или остановки.
						
12	Левая стрелка		Левая стрелка			Левая кнопка используется для устранения дрефта робота. Если робот отклонился вправо (влево), то необходимо нажать стрелку влево (вправо) с ожиданием между нажатиями в три секунды.
						

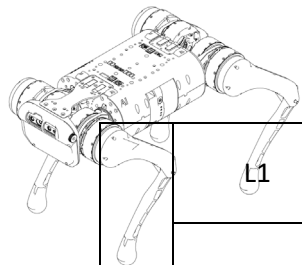


Руководство по работе с Unitree A1




13	Левый джойстик	Левый джойстик		Левый стик служит для перемещения робота вперед и назад. Плавно смещайте стик во избежание рывков вперед и назад.
14	Левый джойстик	Левый джойстик		Левый стик используется для разворотов робота по/против часовой стрелки.
15	Правый джойстик	Правый джойстик		Правый стик используется для управления смещением вбок.

3.2.3. Комбинации и специальные действия в режиме прогулки

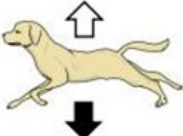
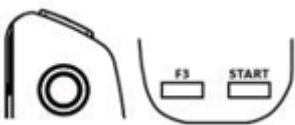













1	Левый джойстик	Левый джойстик		Левый стик используется для управления движением робота по дуге.
2	Левый джойстик	Левый джойстик		Левый стик используется для управления движением робота по дуге.

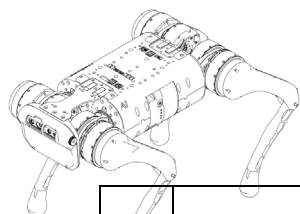


Руководство по работе с Unitree A1

3	L1	Левая кнопка	L1	Левая кнопка		<p>Кнопка L1 используется для изменения высоты ноги робота. В спортивном режиме, после L1 нажмите стрелку вверх (вниз) и высота ноги увеличится (уменьшится). Каждое нажатие меняет высоту на 1 см. Начальная высота ноги равна 5 см, и она может быть изменена до 4-8 см. Примечание: увеличение высоты ноги приведёт к увеличению посадочной скорости конца ноги и силе реакции опоры в точке соприкосновения, поэтому увеличится громкость при передвижении.</p>
						

3.2.4. Комбинации и специальные действия в режиме бега

1	L1	START	L1	START		<p>В спортивном режиме (во время движения). После зажатия L2 нажмите START, чтобы робот перешёл в режим бега.</p>
						
2	Левый джойстик	Левый джойстик	Левый джойстик	Левый джойстик		<p>Левый стик используется для передвижения вперёд/назад. В режиме бега, поднимите стик для движения вперёд и опустите для движения назад. Примечание. Плавно опускайте/поднимайте стик во избежание падения робота.</p>
						
3	Левый джойстик	Левый джойстик	Левый джойстик	Левый джойстик		<p>Левый стик также контролирует повороты робота. В режиме бега, сдвиньте стик влево/вправо для движения против/по часовой стрелке.</p>
						

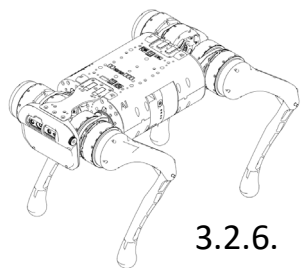


Руководство по работе с Unitree A1

4	Правый джойстик	Правый джойстик		Правый стик используется для движения вбок. В режиме бега, сдвиньте стик влево/вправо для смещения робота /влево/вправо.
5	Левый джойстик	Левый джойстик		В режиме бега, отклоните левый стик для движения по дуге в правую сторону. Угол между горизонтальным направлением стика и диагональю прямо пропорционален величине радиуса дуги (чем больше угол, тем больше радиус).
6	Левый джойстик	Левый джойстик		В режиме бега, отклоните левый стик для движения по дуге в левую сторону. Угол между горизонтальным направлением стика и диагональю прямо пропорционален величине радиуса дуги (чем больше угол, тем больше радиус).

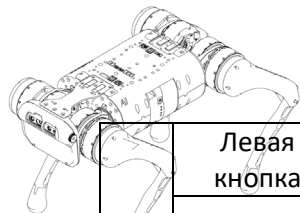
3.2.5. Базовые действия в режиме SLAM

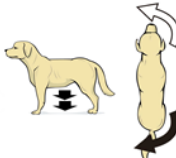




1	L1 + L2 + START	L1 + L2 + START		В спортивном режиме после зажатия L2 нажмите В для перехода в беззвучный режим. Зажмите L1 и L2 одновременно, после чего нажмите START; далее нажмите L2, дважды нажмите В, после этого дважды нажмите А для перехода в SLAM режим.
2	Кнопка А	Кнопка А		В режиме SLAM кнопка А используется для включения/выключения режима подъёма. Нажмите А для перехода в режим подъёма. В режиме W вы можете управлять роботом при подъёме. Примечание: максимальный угол наклонной плоскости не должен превышать 22 градуса.



3.2.6. Специальные действия (не рекомендуются к использованию в SLAM и во время бега)

1	Левая кнопка		Левая кнопка			Левая кнопка вниз используется для подъёма/ спуска холки робота во время движения.
2	Левая кнопка	Левый джойстик	Левая кнопка	Левый джойстик		Комбинация левой кнопки вниз и левого стика позволяют роботу красться вперёд назад.
3	Левая кнопка	Правый джойстик	Левая кнопка	Правый джойстик		Комбинация левой кнопки вниз и правого стика позволяют роботу красться вбок.
4	Левая кнопка	Левый джойстик	Левая кнопка	Левый джойстик		Комбинация левой кнопки вниз и правого стика позволяют роботу красться при вращении по/ против часовой стрелки.
5	Левая кнопка	Левый джойстик	Левая кнопка	Левый джойстик		Комбинация левой кнопки вниз и правого стика позволяют роботу красться при перемещении по дуге.



6	Левая кнопка	Левый джойстик	Левая кнопка	Левый джойстик		<p>В режимах W и спортивном, комбинация левой кнопки вниз и правого стика позволяют роботу красться при перемещении по дуге.</p>
						

4. Режим танцев

В силу особенностей системы автоматическая загрузка может быть недоступна. В этом случае рекомендуется использовать загрузку вручную.

4.1. Автоматическая загрузка

1. Используйте для загрузки приложенные пакеты:

- A1_sport_V1.X.X.tar.gz
- A1_sport_md5_hash.txt
- A1_sport_AutoUpate.sh

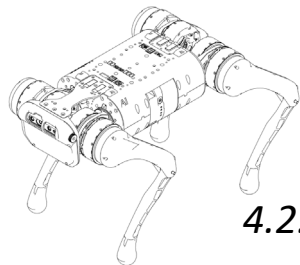
Примечание: необходимо разместить в корневом каталоге USB-накопителя и в названии USB-накопителя не должно быть скобок.

2. Вставьте USB накопитель в *выключенного* робота в один из двух USB слотов на работе.
3. Включите робота и подождите около трёх (3) минут для завершения загрузки.

Примечание: файл updatesuccess.txt появится в папке unitree/keep_program_alive после загрузки.

4. Проверьте текущую версию спортивного режима. Войдите в основной блок фюзеляжа и проверьте, есть ли автоматически созданный файл updatesuccess\${Version}.txt в разделе ~/Unitree/keep_program_alive. Версия - это номер целевой версии вашего обновления, например 1.0.5.
5. Целевые значения для IP/port также изменятся: с 192.168.123.10:8007 на 192.168.123.161:8081
6. Перезагрузите робота.
7. Перейдите в спортивный режим с помощью кнопок L1 + X.
8. Для остановки нажмите на кнопку START дважды.

Примечание: для экстренной остановки робота нажмите L2 + B.



4.2. Загрузка вручную

1. Подсоедините к роботу HDMI кабель с выходом на монитор; также к одному из USB портов подключите мышку, а к другому флэшку с файлами.
2. После запуска необходимо распаковать архив A1_sport_V1.0.10.tar.gz в папку ~/Unitree/keep_program_alive
3. Замените файл keep_program_alive.sh на файл из папки
4. Перезагрузите робота
5. Нажмите L1 + START для перехода в режим стойки.
6. Нажмите L1 + X для запуска танца

Важно! Во время танца робот может войти в ступор. Во избежание этого, необходима предварительная калибровка датчиков.

5. Режим подъёма по лестнице

Замените каталог Unitree в домашней директории на папку из архива.

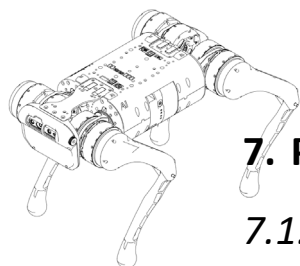
Настройка улучшенного спортивного режима

- Переход между стандартным режимом и спортивным режимом 2.0
 - a) Включите робота и подождите 20 секунд
 - b) Нажмите L2 + B (возможно, придётся нажать дважды)
 - c) Нажмите L1 + A для того, чтобы поднять робота
 - d) Нажмите L1 + START для перехода в спортивный режим
 - e) Нажмите START для запуска походки
 - f) Нажмите L2 + START для перехода в режим бега
 - g) Для остановки нажмите START один или два раза
- Переход в спортивный режим 3.0
 - a) Нажмите L2 + B для перехода в режим ожидания
 - b) Нажмите L1+L2+START для выхода из спортивного режима 2.0
 - c) Нажмите L1 + START для перехода в спортивный режим 3.0
 - d) Нажмите START и используйте пульт для начала движения



Примечание: в новом спортивном режиме доступны два режима движения (прогулка и подъём). Для перехода между режимами необходимо нажать L2 + START.

Важно! Для достижения наилучшего баланса необходима предварительная калибровка системы.



7. Режим разработчика

7.1. Начало работы

7.1.1. Система управления роботом

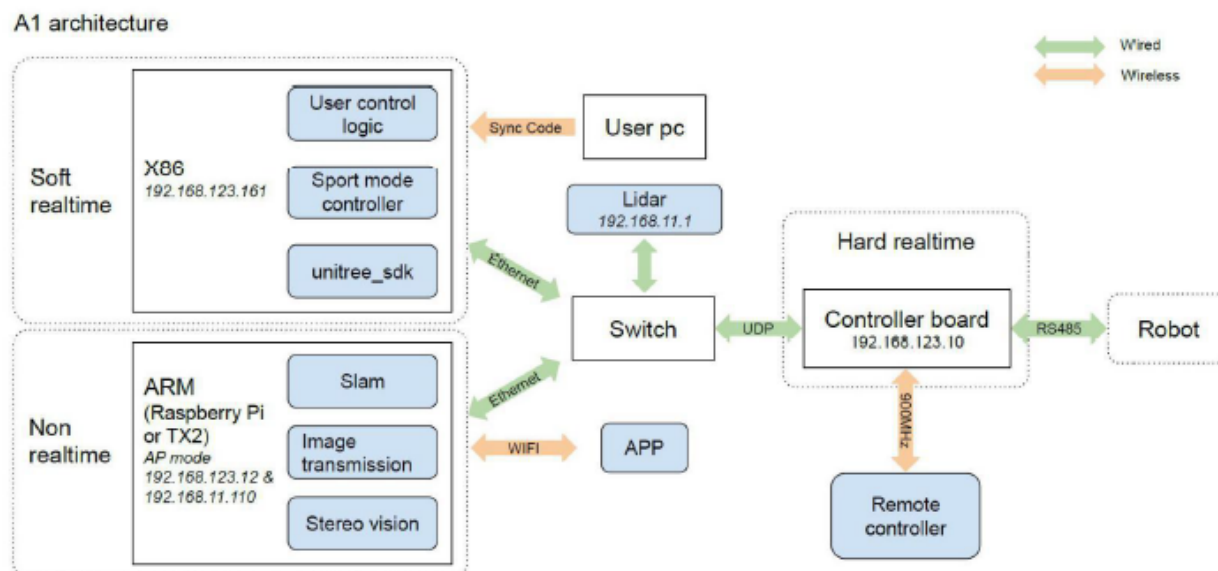
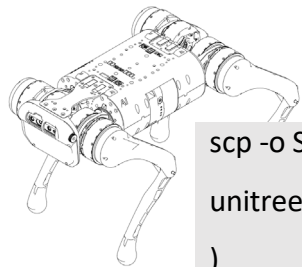


Рисунок. Система управления Unitree A1

7.1.2. Настройка сети

При первичном использовании робота, вам необходим HDMI кабель и клавиатура для подключения к встроенной операционной системе с целью получения IP адреса. Проверьте подключение с помощью пинг-теста. Синхронизация кода пользователя зависит от "scp" и удалённый доступ зависит от "ssh". Убедитесь в правильной настройке этих компонентов:

```
sudo apt-get install ssh
ssh-keygen -t rsa
(Нажмите "Enter" три раза)
scp ~/.ssh/id_rsa.pub unitree@${unitree_1}:/home/unitree/.ssh/authorized_keys
(Пароль для удалённого доступа "123").
Если возникла ошибка с получением ключа:
mv ~/.ssh/known_hosts known_hosts.bak
```



```
scp -o StrictHostKeyChecking=no ~/.ssh/id_rsa.pub  
unitree@${unitree_1}:~/.ssh/authorized_keys  
)
```

Встроенная операционная система напрямую подключена к контроллеру движения. Порт LAN инициализирован со стандартным IP.

Примечание:

1. IP основной платформы управления является статическим: 192.168.123.10
2. Модули, которые необходимо синхронизировать, должны использовать одну маску подсети.
3. Проводная сеть портативного ПК представляет собой сегмент с двумя подсетями.
4. Проводная и беспроводная системы должны иметь разные подсети.

7.1.3. Единицы измерения

Длина: meter (m)

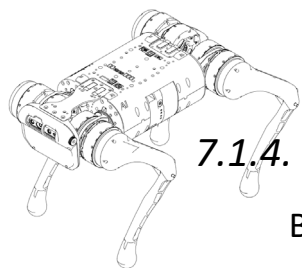
Угол: radian (rad)

Угловая скорость: radians per second (rad/s)

Момент: Nm (N.m)

Масса: kilograms (kg)

Тензор инерции: (kg•m²)



7.1.4. Система координат, кинематика и динамика

Выбранная координатная система не является зеркально-симметричной. Количество ног и степеней свободы:

Leg0 FR = правая передняя нога

Leg1 FL = левая передняя нога

Leg2 RR = правая задняя нога

Leg3 RL = левая задняя нога

Joint 0 : Hip, Hip joint

Joint 1 : Thigh, Thigh joint

Joint 2 : Calf, Calf joint

e.g. FR_thigh : right front leg thigh joint

Ограничения в шарнирах:

Hip joint: $-46^{\circ} \sim 46^{\circ}$

Thigh joint: $-60^{\circ} \sim 240^{\circ}$

Calf joint: $-154.5^{\circ} \sim -52.5^{\circ}$

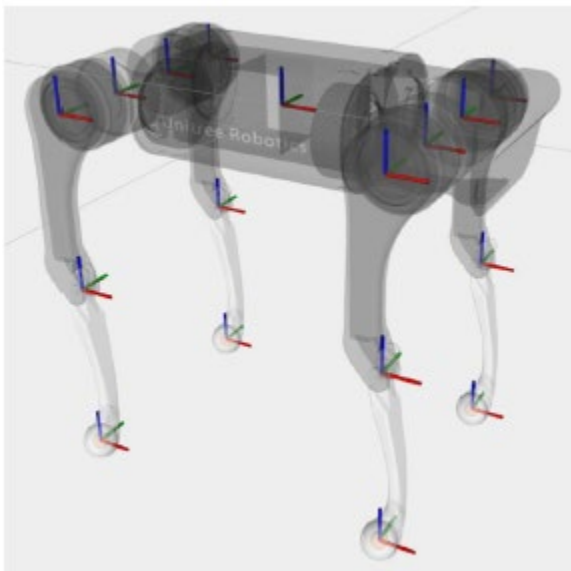
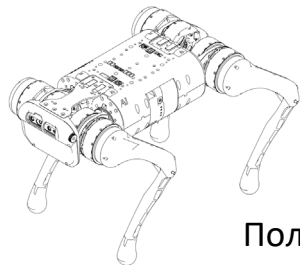


Рисунок. Системы координат в ROS



Положительное направление вращения вокруг оси y для сустава бедра и голени, и оси x для бедра подчиняется правилу правой руки. Начала отсчёта для систем координат показаны на рисунке выше. X - красные оси; Y – зелёные оси; Z - синие оси.

Значения длин звеньев для расчёта кинематики (в метрах):

Hip link length: 0.0838

Thigh link length: 0.2

Calf link length: 0.2

Trunk length = $0.1805 * 2$

Trunk width = $0.047 * 2$

Другие параметры могут быть получены после измерения 3D модели.

Каждый модуль содержит три ключевых параметра: массу, положение центра масс и тензор инерции. Другие параметры динамики доступны по ссылке:

https://github.com/unitreerobotics/a1_ros/tree/master/a1_description

На конце каждой ноги расположен датчик силы.

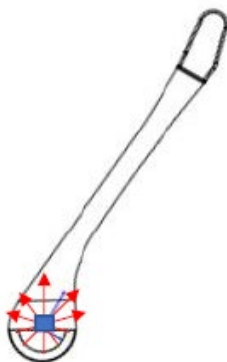
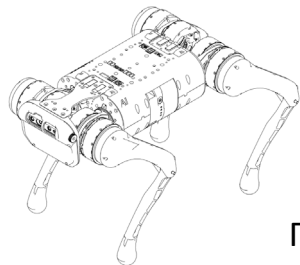


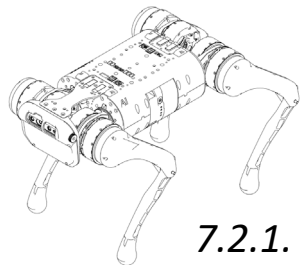
Рисунок. Направления сил взаимодействия датчика силы с поверхностью



Голубой прямоугольник - это сенсор, а красные стрелки показывают направление сил опоры при взаимодействии датчика с землёй. Направление действия силы определено перпендикулярным контактом между ногой и землёй. Если нога касается в нескольких точках, то результирующая сила является комбинацией этих сил. Этот датчик чувствителен в вертикальном направлении в любой точке контакта. Для устранения дрейфа датчика необходима калибровка нулевой точки (начала координат).

7.2. API

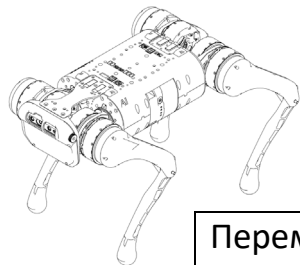
Управление делится на два типа: *низкоуровневое* и *высокоуровневое*. Единоновременно может использоваться только один из режимов управления. При высокоуровневом управлении робот может работать в двух режимах: нормальном и движения. Перед использованием необходимо выбрать UDP и порт. В нормальном режиме: ip - 192.168.123.10, порт: 8007. В режиме движения: ip: 192.168 .123.161, порт: 8081. При низкоуровневом управлении доступны три режима работы привода: момент, скорость и положение. Подробности в части 3.2.3. Параметры управления свёрнуты в структуру для удобства. Рабочее пространство по умолчанию: `~/unitree_legged_sdk`. На текущий момент интерфейс и обучение используют язык C++. Перед началом управления необходимо скачать файл `"libunitree_legged_sdk.so"` и включить заголовочный файл `"unitree_legged_sdk.h"`. Эта библиотека используется разработчиками для задания режима управления.



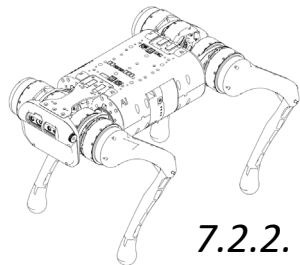
7.2.1. Высокоуровневый режим управления

Некоторые инструкции ссылаются на “comm.h” в примерах программ.

Переменная	Описание
levelFlag	флаг уровня, high level:0x00, low level:0xff
mode	режим бега: standing:1, walking:2 . Переключение между режимами занимает несколько секунд.
imu	включает гироскоп, акселерометр, термометр и решения для углов Эйлера и квантерионов
forwardSpeed	скорость движения корпуса вперёд
sideSpeed	скорость движения вбок относительно корпуса
rotateSpeed	скорость поворота относительно корпуса
bodyHeight	текущая высота корпуса
updownSpeed	скорость перехода между подъёмом и приседанием
forwardPosition	положение робота при движении вперёд, исходя из одометрии
sidePosition	положение робота при движении вбок, исходя из одометрии
footPosition2Body	положение ноги относительно корпуса
footSpeed2Body	скорость ноги относительно корпуса
footForce	реакция опоры между ногой и землей
tick	время с момента запуска робота
crc	проверка команд



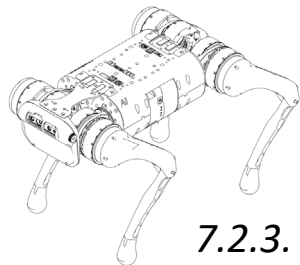
Переменная	Описание
levelFlag	ditto
mode	ditto
forwardSpeed	Движение вперед/назад, значение в диапазоне (-1~1), соответствующее диапазону (-0.7~1м/с) (0 является переходным значением), максимальная скорость движения вперед равна 1м/с и максимальная скорость движения назад - 0.7м/с
sideSpeed	Движение вправо/влево, значение в диапазоне (-1~1), соответствующее диапазону (-0.4~0.4 м/с)
rotateSpeed	Поворот направо/налево, значение в диапазоне (e-1 ~1), соответствующее кусочно-линейной величине (-120 ~120 град/сек)
bodyHeight	Высота корпуса, значение в диапазоне (-1~1), соответствующее диапазону (0.3~0.45 м) (0.41 м - значение по умолчанию)
yaw	Угол рыскания в диапазоне (-1 ~ 1), соответствующее диапазону (-28 ~ 28 градусов)
pitch	Угол тангажа в диапазоне (-1 ~ 1), соответствующее диапазону (-20 ~ 20 градусов)
roll	Угол крена в диапазоне (-1 ~ 1), соответствующее диапазону (-20 ~ 20 градусов)
led	reserved
crc	ditto



7.2.2. Низкоуровневый режим управления

Некоторые инструкции ссылаются на “comm.h” в примерах программ.

Переменная	Описание
levelFlag	ditto
IMU	ditto
motorState	включает положение, скорость, момент, температуру и режим поворота на угол
footForce	ditto
tick	ditto
wirelessRemote	ditto
crc	ditto
Команды	Значения
levelFlag	ditto
motorCmd	включает закреплённое положение, закреплённую скорость, момент, температуру и режим поворота на угол
led	
wirelessRemote	ditto
crc	ditto



7.2.3. Режим защиты

Защита от падения

Во время высокоуровневого управления возможно падение, которое автоматически приведёт к переключению в режим защиты: все шарниры переходят в режим упрощенного демпфирования и лампочка загорится красным.

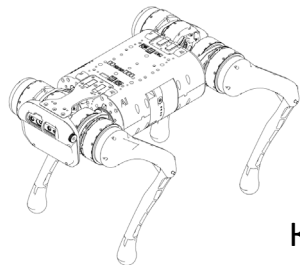
Защита от разрыва соединения

Если пакет потерян не более, чем на 30 миллисекунд, то робот будет выполнять последнюю обнаруженную команду. Если время превышает 30 миллисекунд, то робот перейдет в режим безопасного разрыва связи до получения новых команд.

1. При высокоуровневом управлении: робот замрёт на месте и сбросит все команды управления;
2. При низкоуровневом управлении: шарниры перейдут в режим торможения.

7.3. Обучение управлению

При наступлении нежелательного события, нажмите кнопку OFF (1.5 секунды) через удалённое управление. Робот остановит работу и выключит питание.



Команда (MotorCmd) и состояние (MotorState) относятся к выходному валу редуктора и описывают движение шарниров. Поэтому передаточное число редуктора не рассматривается.

Режимы работы привода

При низкоуровневом управлении возможно обращение напрямую к приводам.

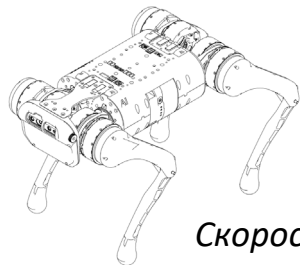
motorCmd[xx].mode	Описание
0x00	Режим торможения
0x0A	Серво режим (PMSM)

Режим управления: положение, скорость и момент

Жёсткость положения измеряется в Нм/рад, а жесткость скорости в Нм/(рад/с). Положение, скорость и момент задаются числовыми параметрами.

Момент: желаемый момент на выходе T , для которого необходимо отключить контуры скорости и положения. Существует два варианта: установить для положения и скорости запрещающий флаг, PosStopF = 2.146E+9f, VelStopF = 16000.0f или жесткости положения и скорости в ноль. Первый способ быстрее, но они могут быть одновременно запущены:

```
motorCmd[FL_1].position = PosStopF;
motorCmd[FL_1].positionStiffness = 0;
motorCmd[FL_1].velocity = VelStopF;
motorCmd[FL_1].velocityStiffness = 0;
motorCmd[FL_1].torque = T;
```



Скорость: выходная скорость V не может быть установлена в ноль, только в запрещающий флаг. Ожидаемый момент должен быть установлен в ноль:

```
motorCmd[FL_1].position = PosStopF;  
motorCmd[FL_1].positionStiffness = 0;  
motorCmd[FL_1].velocity = V;  
motorCmd[FL_1].velocityStiffness = 4; // для наглядности  
motorCmd[FL_1].torque = 0;
```

Положение: выходное желаемое положение P , для которого скорость и положение не могут быть равны нулю. В то же время, ожидаемая скорость должна быть установлена в ноль в качестве демпфирующего компонента и момент тоже должен быть установлен в ноль:

```
motorCmd[FL_1].position = P;  
motorCmd[FL_1].positionStiffness = 5; // для наглядности  
motorCmd[FL_1].velocity = 0;  
motorCmd[FL_1].velocityStiffness = 1; // для наглядности  
motorCmd[FL_1].torque = 0;
```

Режим совмещения: три режима могут быть скомбинированы для совместной работы.

```
motorCmd[FL_1].position = P;  
motorCmd[FL_1].positionStiffness = 5; // для наглядности  
motorCmd[FL_1].velocity = 0;  
motorCmd[FL_1].velocityStiffness = 1; // для наглядности  
motorCmd[FL_1].torque = T;
```



Примеры по ссылке:

https://github.com/unitreerobotics/unitree_legged_sdk/tree/master/examples