Analiza robota Unitree G1 i oprogramowania

Streszczenie

Dokumentacja przedstawia wszechstronną analizę humanoidalnego robota Unitree G1, jego komponentów, systemów sterowania oraz ekosystemu oprogramowania. G1 to zaawansowany robot cywilny o 29 stopniach swobody, wadze ponad 35 kg i udźwigu ramienia do 2 kg. Jest wyposażony w zaawansowany system sensoryczny, w tym kamerę głębi Intel RealSense D435i, Lidar 3D LIVOX MID360 oraz matrycę czterech mikrofonów, co umożliwia mu zaawansowaną percepcję otoczenia.

Sterowanie robotem odbywa się za pomocą dedykowanego pilota G1 Remote Control, który komunikuje się przez moduł transmisji cyfrowej i Bluetooth na odległość ponad 100 metrów. Pilot oferuje precyzyjną kontrolę nad ruchem i postawą robota oraz umożliwia przełączanie między licznymi trybami operacyjnymi, takimi jak chód ciągły, tryb debugowania, przysiad czy tryby interaktywne.

Kluczowym elementem systemu są wymienne moduły kończyn górnych, w tym standardowa ręka protetyczna oraz zaawansowana trójpalczasta zręczna dłoń Dex3-1 dla wersji Flagship. Dokumentacja zawiera szczegółowe instrukcje montażu i demontażu obu typów dłoni.

Unitree Robotics wspiera rozwój oprogramowania poprzez bogaty ekosystem open-source oparty na licencji BSD-3-Clause. Dostępne są zestawy SDK w C++ (unitree_sdk2) i Python (unitree_sdk2_python), umożliwiające programistom niskopoziomową i wysokopoziomową kontrolę nad robotem, odczyt danych z czujników oraz implementację zaawansowanych funkcji. Dodatkowo, repozytorium unitree_guide zapewnia integrację z ROS i symulatorem Gazebo, stanowiąc cenne źródło wiedzy dla początkujących. Specjalistyczne repozytoria dla sensorów Lidar (unilidar_sdk, unilidar_sdk2, point_lio_unilidar) oferują narzędzia do mapowania, lokalizacji i implementacji algorytmów SLAM.

1. Robot Humanoidalny Unitree G1 Education

Unitree G1 to zaawansowana platforma robotyczna zaprojektowana do celów cywilnych, charakteryzująca się dużą mobilnością i precyzją.

1.1. Specyfikacja techniczna i możliwości

Robot został zbudowany z myślą o dynamicznym poruszaniu się i interakcji z otoczeniem. Zastosowanie podwójnych enkoderów w każdym przegubie zapewnia wysoką dokładność pozycjonowania i prędkości.

Parametr	Specyfikacja
Waga	Ponad 35 kg
Stopnie swobody (DOF)	29 (serwonapędy)
Maksymalny moment obrotowy (kolano)	90 Nm
Udźwig ramienia	Do 2 kg
Zakres ruchu talii (oś Z)	±155°

Zakres ruchu kolana	0° do 165°
Zakres ruchu biodra	Pitch: ±154°, Roll: -30° do 170°, Yaw: ±158°

1.2. System sensoryczny

Robot G1 jest wyposażony w zestaw czujników umożliwiających zaawansowaną percepcję i nawigację w trójwymiarowej przestrzeni.

- **Kamera głębi (Depth Camera):**
  - **Model:** Intel RealSense D435i
  - **Zasięg:** Do 3 metrów
  - **Pole widzenia (FOV):** 87° (poziomo) × 58° (pionowo)
  - **Zastosowanie:** Obserwacja szerokiego obszaru otoczenia przed robotem.
- **Lidar 3D:**
  - **Model:** LIVOX MID360
  - **Zakres skanowania:** 360° w osi poziomej
  - **Zastosowanie:** Generowanie chmury punktów 3D wykorzystywanej do mapowania, lokalizacji oraz autonomicznej nawigacji (SLAM).
- **Matryca mikrofonowa (Microphone Array):**
  - **Konfiguracja:** 4 mikrofony
  - **Funkcjonalność:** Umożliwia detekcję dźwięku oraz lokalizację kierunku jego źródła, co jest kluczowe dla interakcji głosowej i analizy akustycznej otoczenia.

2. Zdalne Sterowanie G1

Pilot G1 (model R3) jest ergonomicznym urządzeniem przeznaczonym do precyzyjnego sterowania robotem. Łączy się z robotem za pośrednictwem aplikacji Unitree Explore App.

2.1. Charakterystyka i specyfikacja

Pilot umożliwia sterowanie postawą 3-osiową i stabilnością pozycji robota podczas stania oraz poruszania się po różnorodnym terenie, w tym po płaskiej powierzchni, pochyłościach i schodach.

Parametr	Specyfikacja	Uwagi
Napięcie ładowania	5.0V	
Prąd ładowania	700mA	
Pojemność baterii	780mAh	
Tryb komunikacji	Moduł transmisji danych, Bluetooth	
Czas pracy	5 godzin	
Zasięg	Powyżej 100 metrów	W otwartym terenie

2.2. Interfejs i podstawowa obsługa

Pilot jest wyposażony w szereg przycisków, drążków i wskaźników LED, które umożliwiają intuicyjną obsługę.

- **Główne komponenty:** Lewy/Prawy drążek, Przyciski L1/L2, Przyciski R1/R2, Przycisk SELECT, Przycisk START, Przyciski funkcyjne F1/F3, Przycisk zasilania.
- **Wskaźniki:** Wskaźnik połączenia zasilania, Wskaźnik statusu ładowania (4 diody LED), Wskaźnik transmisji danych, Wskaźnik sygnału Bluetooth.
- **Włączanie/Wyłączanie:** Krótkie naciśnięcie + długie przytrzymanie (>2s) przycisku zasilania.
- **Kalibracja drążków:** Naciśnij jednocześnie F1 i F3, obracaj drążkami, a następnie naciśnij F5, aby zakończyć.
- **Ładowanie:** Za pomocą ładowarki USB-C 5V/2A. Poziom naładowania jest wskazywany przez 4 diody LED (0-25%, 25-50%, 50-75%, 75-100%).
- **Podstawowy ruch:**
    - **Lewy drążek:** ruch do przodu / do tyłu.
    - **Prawy drążek:** obrót w lewo / w prawo.

2.3. Tryby operacyjne i sterowanie zaawansowane

Pilot umożliwia przełączanie między różnymi trybami pracy robota za pomocą kombinacji przycisków.

Opis trybów koncepcyjnych:

- **Zero Torque Mode:** Silniki nie stawiają aktywnego oporu.
- **Damping Mode:** Silniki wyłączone, ale z odczuwalnym tłumieniem.
- **Ready Mode:** Robot przyjmuje pozycję przygotowawczą przed ruchem.
- **Squat Mode:** Robot wykonuje powolny przysiad w ciągu 5 sekund.
- **Motion Mode:** Robot może być w pełni sterowany za pomocą pilota.
- **Continuous Walking Mode:** Robot jest w ciągłym stanie kroczenia.
- **Standing Mode:** Robot zatrzymuje się, gdy drążek jest w pozycji neutralnej; wznawia kroczenie po jego wychyleniu.
- **Debug Mode:** Tryb do zaawansowanego programowania z użyciem SDK.

Kombinacje przycisków do zmiany trybu i interakcji:

Funkcja	Kombinacja przycisków
Przełączniki postawy	
Tryb Debug	L2 + R2
Tryb Zero Torque	Przytrzymaj L2 + Kliknij Y
Tryb Damping	Przytrzymaj L2 + Kliknij B
Blokada stania	Przytrzymaj L2 + Kliknij W GÓRĘ
Tryb siedzący	Przytrzymaj L2 + Kliknij W LEWO
Leżenie i wstawanie	Przytrzymaj L2 + Kliknij X
Przysiad	Przytrzymaj L2 + Kliknij A
Funkcje interaktywne	
Machanie ręką	Przytrzymaj SELECT + Kliknij Y
Uścisk dłoni	Przytrzymaj SELECT + Kliknij A
Obrót i machanie ręką	Przytrzymaj SELECT + Kliknij X
Sterowanie ruchem (R2 + A)	
Wolny bieg	R2 + W DÓŁ

Szybki bieg	R2 + W GÓRĘ
Pochylenie do przodu	Przytrzymaj START + Przytrzymaj W GÓRĘ
Pochylenie do tyłu	Przytrzymaj START + Przytrzymaj W DÓŁ

3. Moduły Kończyn Górnych

Robot G1 posiada modularną konstrukcję rąk, co pozwala na instalację różnych końcówek w zależności od wersji i wymagań.

3.1. Ręka Protetyczna (wersje Basic, Standard, Advanced, Flagship)

Standardowa końcówka w postaci ręki protetycznej jest montowana w prosty sposób, choć procedura różni się nieznacznie między wersjami.

- **Montaż/Demontaż (wersje Basic/Standard):**
    1. Odkręć sześć śrub M3 (długość gwintu 10mm), aby zdjąć zacisk.
    2. Zdejmij rękę.
    3. Montaż odbywa się w odwrotnej kolejności.
- **Montaż/Demontaż (wersje Advanced/Flagship):**
    1. Odkręć dwie śruby M2 (długość gwintu 5mm), aby zdjąć pokrywę.
    2. Odkręć dwie śruby M3 (długość gwintu 10mm), aby zdjąć zacisk (należy uważać na kabel).
    3. Zdejmij rękę.
    4. Montaż odbywa się w odwrotnej kolejności, zwracając uwagę na prawidłowe ułożenie lewej/prawej ręki.

3.2. Trójpalczasta Zręczna Dłoń Dex3-1 (wersja Flagship)

Zaawansowana, zręczna dłoń Dex3-1 wymaga bardziej złożonej procedury instalacji ze względu na dodatkowe okablowanie.

- **Demontaż:**
    1. **Odłączenie zasilania:** Zdejmij pokrywę (2x śruba M2) i odłącz złącze zasilania dłoni.
    2. **Demontaż dłoni:** Zdejmij obejmę (2x śruba M3), a następnie wyjmij dłoń Dex3-1.
    3. **Demontaż klipsów kablowych:** Odkręć serię śrub (M3, M4, M6), aby zdjąć cztery klipsy kablowe oraz uchwyt z tylnej części robota.
    4. **Odłączenie złącza sygnałowego:** Zdejmij osłonę ochronną (4x śruba M3) i odłącz tylne złącze sygnałowe.
- **Montaż:**
    1. **Umieszczenie dłoni:** Zainstaluj odpowiednią dłoń (lewą oznaczoną "L" lub prawą "R"), zamocuj obejmę (2x śruba M3).
    2. **Podłączenie zasilania:** Podłącz złącze zasilania i zamontuj pokrywę (2x śruba M2).
    3. **Instalacja klipsów kablowych:** Zamocuj cztery klipsy, upewniając się, że zaciskają się na pogrubionych częściach kabla.
    4. **Podłączenie złącza sygnałowego:** Podłącz złącze, dbając o to, by wewnętrzne okablowanie omijało radiator, wentylator i wsporniki.

5. **Montaż tylnej obudowy:** Załóż osłonę ochronną, tylną obudowę (na zatrzaski lub rzepy) oraz uchwyt.

Ostrzeżenie: Po instalacji zręcznej dłoni należy unikać ruchów takich jak przysiad czy leżenie, aby zapobiec jej uszkodzeniu.

4. Ekosystem Oprogramowania Open Source

Unitree Robotics udostępnia szeroki zestaw narzędzi programistycznych na licencji BSD-3-Clause, umożliwiając społeczności rozwój i badania. Wszystkie zasoby są dostępne na stronie unitree.com/opensource.

4.1. SDK i sterowanie programistyczne

- **unitree_sdk2 (C++):**
  - **Przeznaczenie:** Główny zestaw SDK (wersja 2) do programowania robota w języku C++.
  - **Środowisko:** Zalecany Ubuntu 20.04 LTS, GCC 9.4.0.
  - **Zależności:** CMake (>=3.10), Make, biblioteki takie jak libeigen3, libboost, libspdlog.
  - **Język dominujący:** C++ (99.2%).
- **unitree_sdk2_python:**
  - **Przeznaczenie:** Interfejs Python dla unitree_sdk2, zachowujący spójność z wersją C++.
  - **Zależności:** Python (>=3.8), cyclonedds, numpy, opencv-python.
  - **Funkcjonalność:** Umożliwia pozyskiwanie statusu robota i sterowanie poprzez żądania-odpowiedzi lub subskrypcję/publikację tematów. Przykładowe skrypty obejmują:
    - Sterowanie wysokiego i niskiego poziomu.
    - Odczyt statusu kontrolera bezprzewodowego.
    - Dostęp do przedniej kamery (za pomocą OpenCV).
    - Kontrola unikania przeszkód.
    - Sterowanie oświetleniem i głośnością.
  - **Język dominujący:** Python (100.0%).

4.2. Integracja z ROS (unitree_guide)

- **Przeznaczenie:** Projekt open-source do sterowania czworonożnymi robotami Unitree, stanowiący podstawowy kontroler dla początkujących i materiał towarzyszący książce wydanej przez firmę.
- **Środowisko:** Zalecany Ubuntu 18.04 i ROS Melodic.
- **Zależności:** unitree_ros, unitree_legged_msgs.
- **Szybki start (symulator Gazebo):** Umożliwia uruchomienie symulacji robota i sterowanie jego maszyną stanów skończonych (FSM) za pomocą klawiatury (np. '2' - stanie, '4' - kłus) oraz ruchem za pomocą klawiszy 'w', 'a', 's', 'd'.
- **Języki:** C++ (78.2%), C (11.2%), Python (6.5%).

4.3. Oprogramowanie dla Lidara

Unitree dostarcza dedykowane repozytoria do obsługi swoich sensorów Lidar. Repozytoria te służą do akwizycji i przetwarzania danych, a nie do bezpośredniego sterowania robotem.

- **unilidar_sdk:** SDK dla sensora Unitree 4D LiDAR L1, służące do zbierania danych przestrzennych (chmury punktów) do wykrywania przeszkód, lokalizacji i podstawowego mapowania.
- **unilidar_sdk2:** Niskopoziomowe SDK dla zaawansowanego czujnika LiDAR L2, umożliwiające odczyt szczegółowych danych do precyzyjnego mapowania i zadań SLAM.
- **point_lio_unilidar:** Repozytorium zawierające algorytm SLAM typu open-source, przeznaczony do pracy z czujnikiem LiDAR L1. Przetwarza chmury punktów i dane o ruchu robota w celu jednoczesnej lokalizacji i tworzenia mapy.

5. Ostrzeżenia i zasady użytkowania

Dokumentacja podkreśla szereg kluczowych zasad bezpieczeństwa i użytkowania robota G1.

- **Status prawny:** Produkt jest robotem cywilnym. Użytkownicy są zobowiązani do powstrzymania się od dokonywania niebezpiecznych modyfikacji i używania robota w sposób zagrażający bezpieczeństwu. Należy przestrzegać lokalnych praw i regulacji.
- **Ograniczenia ruchu:**
  - Domyślny tryb chodu nie obsługuje wchodzenia po schodach.
  - Rozpoczynanie pracy z pozycji leżącej lub przysiadu jest bezpieczne tylko na płaskim i twardym podłożu.
  - Po zainstalowaniu zręcznych dłoni Dex3-1 należy unikać pozycji leżącej i przysiadu, aby zapobiec uszkodzeniom.
- **Instalacja komponentów:** Należy zachować szczególną ostrożność podczas montażu, aby nie przycisnąć ani nie uszkodzić okablowania.
- **Automatyczne wyłączanie:** Pilot G1 wyłączy się automatycznie po 5 minutach, jeśli nie jest połączony z robotem lub telefonem.