

ИЗПОЛЗВАНЕ НА CAD СИСТЕМИ И НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА 3D ПЕЧАТ ЗА РАЗШИРЯВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА САМОХОДНИ АВТОНОМНИ РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ

Михаил Загорски
mihail.zagorski.tu@gmail.com
 ТУ-София, ФИТ, кат. ТММ;
 лаб. „Изкуствен интелект
 и CAD системи“,
 СНИРД, София Тех Парк,
 бул. “Цариградско шосе” № 111

Радослав Милчев
rmiltchev@tu-sofia.bg
 ТУ-София, ФИТ, кат. ТММ;
 лаб. „Изкуствен интелект
 и CAD системи“,
 СНИРД, София Тех Парк,
 бул. “Цариградско шосе” № 111

Михаил Илиев
m.iliev@sofiatech.bg
 СНИРД, София Тех Парк,
 бул. “Цариградско шосе” № 111



В настоящата публикация са разгледани възможностите за използване на софтуер за компютърно моделиране за проектиране на персонализирани елементи, които позволяват надграждането на функционалностите на самоходна автономна роботизирана платформа от типа робо-куче, както и последваща изработка на проектираните детайли с помощта на 3D принтиране с отлагане на разтопен материал (FFF/FDM).

Ключови думи: автономни роботизирани системи, 3D принтиране, CAD системи.

1. Увод

Самоходните автономни роботизирани платформи от типа робо-куче търпят изключително бурно развитие през последните няколко десетилетия [1], което съответно води до създаване на различни роботизирани четириноги [2]. Този тип роботи намират все по-широки приложения в някои области, като например: изследване и картографиране на труднодостъпни терени [3], осигуряване на автономно наблюдение и охраняване на обекти [4], тактически действия, провеждане на спасителни операции, манипулации в опасна среда – например с повишено съдържание на токсични газове, радиоактивна среда [5], повдигане на тежки товари [6] и др.

Изпълняването на разнообразни задачи от дадена роботизирана система създава необходимост от разработката на приспособления, с помощта на които лесно и надеждно да бъдат закрепвани различни допълнителни елементи или модули, например изчислителни комплекси, осветлителни тела, допълнителни камери, LiDAR системи [7], станции за дронове [8], роботизирани манипулатори тип ръка и др. Тези приспособления трябва да могат да бъдат адаптирани лесно и да бъдат взаимозаменяеми, поради което най-подходящият начин за

разработката им е във виртуална среда посредством CAD софтуер за твърдотоделно моделиране. Освен това детайлите се изработват в единични бройки и трябва да имат ниска себестойност, което обуславя използването на FFF/FDM 3D принтиране за производството им.

В настоящата публикация е разгледано разработването и внедряването на приспособления за закрепване на LiDAR скенер с външен контролер и на манипулатор с автономно управление върху четиринога роботизирана платформа.

2. Използвана апаратура

За целите на разработката е използвана четиринога самоходна автономна роботизирана платформа Unitree Go 1 Edu, показана на фиг. 1.



Фиг. 1 Unitree Go 1 Edu

Разработваните приспособления трябва да позволят допълнителен едновременен монтаж на две външни за платформата системи:

- 360-градусов LiDAR скенер RPLIDAR A2M12 (фиг. 2), свързан към външен микрокомпютър Raspberry Pi 4 Модел В;



Фиг. 2 RPLIDAR A2M12

- Роботизирана ръка Arduino Tinkerkit Braccio (фиг. 3 [9]) с външно управление, извършвано от микроконтролер Arduino Uno и допълнителна разширителна платка за електромоторите на роботизираната ръка.



Фиг. 3 Arduino Tinkerkit Braccio

Едно от основните предизвикателства при разработката на приспособления за закрепване е ограниченото място за монтаж върху четириногата платформа. Допълнителните елементи трябва да бъдат съобразени с движенията на робота, за да се избегне опасността от колизии в хода на работа на системите.

Върху платформата предварително са монтирани два алуминиеви профила 20x20 mm с Т-образни канали, всеки с дължина 250 mm. Общата маса на двата е профила е под 0.25 kg. Целта на тези профили е да позволят надежден и бърз монтаж и демонтаж на различни 3D принтирани приспособления, като същевременно не отнемат от 10-килограмовата товароносимост на роботизираната платформа.

3. 3D моделиране на приспособления

Приспособленията са моделирани с CAD продукт на Autodesk – Fusion 360 в режим на твърдотелно моделиране [10] въз основа на предварително снети размери от роботизираната платформа.

Разработени са 3D модели на общо три приспособления:

- Универсална основа с размери 147x76x20 mm, която се монтира непосредствено зад главата на роботизираното куче (фиг. 4). Предвидени са възможности за закрепване на различни стандартизирани микроконтролери и микрокомпютри, както и за монтаж на осветително тяло, допълнителна външна камера, LiDAR скенер или друго приспособление със сходни размери.



Фиг. 4 Универсална основа

- Основа за RPLIDAR A2M12 с размери $\phi 76 \times 9$ mm, показана на фиг. 5.



Фиг. 5 Основа за LiDAR скенер

Скенера се закрепва към основата посредством четири болта. Предвиден е един болт с резба М6, който се навива в централния отвор на универсалната основа. По този начин се осигурява изключително лесен монтаж и демонтаж на скенера. Виртуален модел на сглобена единица на двете основи с монтирани скенер и микрокомпютър е показан на фиг. 6.



Фиг. 6 Сглобена единица

- Основа за Arduino Tinkerkit Braccio и прилежащо оборудване (контролер Arduino Uno, разширителна платка за управление на моторите и външно захранване) с размери 208x128x10 mm (фиг. 7).



Фиг. 7 Основа за роботизирана ръка Braccio

Основата е конструирана по такъв начин, че да осигури стабилно закрепване на роботизираната ръка в шест точки посредством болтови съединения. От своя страна е предвидено основата да се закрепва към предварително монтираните алуминиеви профили на роботизираното куче с помощта на четири болта и Т-образни гайки, които осигуряват достатъчно добра стабилност и същевременно позволяват бърз демонтаж на роботизираната ръка. На фиг. 8 е показан виртуален модел на сглобена единица на основата с монтирана роботизирана ръка, микроконтролер с модул за електромоторите и външен източник на захранване.



Фиг. 8 Сглобена единица

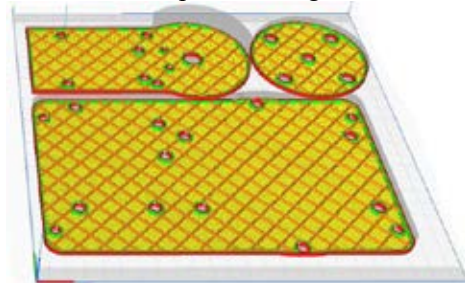
4. Изработка на приспособленията

Приспособленията са изработени на FFF/FDM 3D принтер Creality Ender 3. Използваният материал е PETG (полиетилен терефталат гликол). Материалът има достатъчно добри механични свойства за изработката на такъв тип детайли и същевременно е лесен за печат. В таблица 1 са представени основни параметри на процеса на печат за изработените детайли.

Таблица 1 Параметри на 3D печат

Материал	PETG
Температура на дюзата	240°C
Температура на платформата	75°C
Диаметър на дюзата	1 mm
Височина на слоя	0.4 mm
Брой горни слоеве	3
Брой долни слоеве	2
Брой стени	2
Схема на запълване	Решетка
Гъстота на запълване	20%
Скорост на принтиране	45 mm/s
Скорост – стени	25 mm/s
Скорост – горни и долни слоеве	25 mm/s
Охлаждане	20%

На фиг. 9 е показано разположението на детайлите в работната зона на принтера, както и визуализация на вътрешните слоеве в слайсър Ultimaker Cura. Приблизителното време за печат на трите детайла е 5 часа и 28 минути, а необходимият материал – 211 g.



Фиг. 9 Визуализация в Ultimaker Cura

На фиг. 10 е показана напълно сглобената компоновка от приспособления и елементи върху четириногата самоходна автономна роботизирана платформа Unitree Go 1 Edu.



Фиг. 10 Unitree Go 1 EDU с монтирани приспособления и допълнителни елементи

5. Обобщение

Технологиите за компютърно проектиране и за 3D печат правят възможно бързото конструиране и изработване на персонализирани приспособления за роботизирани системи.

При избор на подходящи материал и параметри за процеса по 3D принтиране и използване на дюза с голям диаметър (1 mm) е възможно проектираните детайли да се изработят за кратко време, при ниска плътност на запълване и малък разход на материал, като същевременно се получават елементи с достатъчно добри механични свойства, които безпроблемно издържат допълнително монтираната техника. Ниската обща маса на трите изработени приспособления (211 g) на практика не оказва влияние на товароносимостта на четириногата роботизирана система.

Благодарности

Настоящите разработки са осъществени благодарение на научноизследователски проект в помощ на докторанти по договор № 222ПД0010-05 „Изследване на трибомеханични показатели и параметри на компоненти, изградени от високотехнологични материали чрез 3D принт технологии“ и на лаборатория „Изкуствен интелект и CAD системи“, СНИРД, София Тех Парк.

Литература

- [1] M. Silva и J. Tenreiro Machado, „A Historical Perspective of Legged Robots,“ *Journal of Vibration and Control*, том 13, № 9-10, p. 1447 – 1486, 2007.
- [2] Z. Yuhai, R. Wang, F. Huashan и Y. Chen, „Analysis and research of quadruped robot’s legs: A comprehensive review,“ *International Journal of Advanced Robotic Systems*, том 58, № 11, 2019.
- [3] D. Bellicoso, M. Bjelonic, L. Wellhausen, K. Holtmann, F. Günther, M. Tranzatto, P. Fankhauser и M. Hutter, „Advances in Real-World Applications for Legged Robots,“ *Journal of Field Robotics*, 2018.
- [4] S. Halder, K. Afsari, J. Serdakowski, S. DeVito, M. Ensafi и W. Thabet, „Real-Time and Remote Construction Progress Monitoring with a Quadruped Robot Using Augmented Reality,“ *Buildings*, том 12, № 11, 2022.
- [5] Y. Jang, W. Seol, K. Lee, K. Kim и S. Kim, „Development of quadruped robot for inspection of underground pipelines in nuclear power plants,“ *Electronics Letters*, том 58, № 11, 2021.
- [6] N. Hu, S. Li, D. Huang и F. Gao, „Modeling and Optimal Control of Rescue Quadruped Robot with High Payload,“ в *Proceedings of ASIAN MMS 2016 and CCMMS 2016*, Guangzhou, 2016.
- [7] F. Gao, W. Tang, J. Huang и H. Chen, „Positioning of Quadruped Robot Based on Tightly Coupled LiDAR Vision Inertial Odometer,“ *Remote Sensing*, том 14, № 12, 2022.
- [8] A. Hussain, „Evaluating the Forest Ecosystem through a Semi-Autonomous Quadruped Robot and a Hexacopter UAV,“ *Sensors*, том 22, № 15, 2022.
- [9] Arduino, „Tinkerkit Braccio robot,“ [Онлайн]. Available: <https://store.arduino.cc/products/tinkerkit-braccio-robot>. [Отваряно на 11 май 2023].
- [10] Autodesk, „Solid modeling basics,“ [Онлайн]. Available: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/courses/AP-C-DESIGN-SOLID-BASICS>. [Отваряно на 11 май 2023].

APPLICATION OF CAD SYSTEMS AND 3D PRINTING TECHNOLOGIES TO ENHANCE THE CAPABILITIES OF SELF-MOVING AUTONOMOUS ROBOTIC SYSTEMS

Mihail Zagorski
mihail.zagorski.tu@gmail.com
 TU-Sofia, FIT, dept. TMM
 „Artificial Intelligence
 and CAD Systems Lab“,
 R&D&I Consortium, Sofia Tech Park,
 111, Tsarigradsko Shosse Blvd.

Radoslav Miltchev
rmiltchev@tu-sofia.bg
 TU-Sofia, FIT, dept. TMM
 „Artificial Intelligence
 and CAD Systems Lab“,
 R&D&I Consortium, Sofia Tech Park,
 111, Tsarigradsko Shosse Blvd.

Mihail Iliev
m.iliev@sofiatech.bg
 R&D&I Consortium,
 Sofia Tech Park,
 111, Tsarigradsko Shosse Blvd.

This publication examines the possibilities of using CAD software to design customized parts for upgrading of the functionalities of a self-moving autonomous robotic platform – quadruped robot, as well as the subsequent production of the designed parts using FFF/FDM 3D printing

Keywords: *autonomous robotic systems, 3D printing, CAD systems*