

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-16-0006**

Automatizovaná robotická montážna bunka ako prostriedok konceptu Industry 4.0

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. František Duchoň, PhD.**

Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta elektrotechniky a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav robotiky a kybernetiky, Slovenská technická univerzita
Katedra riadiacích a informačných systémov, Žilinská univerzita

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Irelevantné

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Ľuboš Chovanec, Ing. PhD., František Duchoň, Prof. Ing. PhD., Michal Tölgyessy, Ing. PhD., Peter Hubinský, Prof. Ing. PhD., STU, PP 64-2020
2. Ľuboš Chovanec, Ing. PhD., František Duchoň, Prof. Ing. PhD., Michal Tölgyessy, Ing. PhD., Peter Hubinský, Prof. Ing. PhD., STU, PUV 108-2020

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. Nemec, D., Šimák, V., Janota, A., Hruboš, M. and Bubeníková, E., 2019. Precise localization of the mobile wheeled robot using sensor fusion of odometry, visual artificial landmarks and inertial sensors. Robotics and Autonomous Systems, 112, pp.168-177.
2. DEKAN, Martin - DUCHOŇ, František - BABINEC, Andrej - RODINA, Jozef - RAU, Dávid - MUSIČ, Josip. Moving obstacles detection based on laser range finder measurements. In International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 15, iss. 1 (2018), Art. no. 1729881417748132 [18] s. ISSN 1729-8806. V databáze: CC: 000419779700001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85041386677.
3. HRBČEK, J. – BOŽEK, P. – SVETLÍK, J. et al. Control system for the haptic paddle used in mobile robotics. International Journal of Advanced Robotic Systems, 14(5):1729881417737039, 2017.
4. SAVKIV, Volodymyr - MYKHAILYSHYN, Roman - DUCHOŇ, František - FENDO, Olena. Justification of design and parameters of Bernoulli–vacuum gripping device. In International Journal of Advanced Robotic Systems. Vol. 14, iss. 6 (2017), Art. no. 1729881417741740 [10] s. ISSN 1729-8806.
5. Chovancová, A., Fico, T., Duchoň, F., Dekan, M., Chovanec, Ľ., & Dekanová, M. (2020). Control Methods Comparison for the Real Quadrotor on an Innovative Test Stand. Applied Sciences, 10(6), 2064.
6. SAVKIV, Volodymyr - MYKHAILYSHYN, Roman - DUCHOŇ, František. Gasdynamic

analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass. In Vacuum. Vol. 159, (2019), s. 524-533. ISSN 0042-207X (2018: 2.515 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.581 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000454964400071 ; SCOPUS: 2-s2.0-85056449930.

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu majú priame uplatnenie v priemyselnej praxi. Vytvorený koncept automatizovanej robotickej montážnej bunky v podobe mobilného manipulátora možno s overenými technológiami nasadiť priamo v praxi konceptu Industry 4.0.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

1. Návrh a vývoj systému bezpečnej kooperácie človeka s mobilným poddajným manipulátorom na báze silovo-momentového riadenia. (C1)
Boli testované rôzne možnosti nárazu na snímač OptoForce HEX-70-CE-2000N a schopnosť robotického ramena reagovať na mäkký alebo tvrdý kontakt v rámci možností uvedených v technickom štandarde ISO TS 15066.
2. Návrh inovatívneho modelovania prostredia pomocou RGBD snímačov, ktoré umožnia väčšiu adaptivitu robotickej manipulácie, ak aj interakciu s človekom (napr. pomocou gest človeka). (C2)
Bola vytvorená metóda pre kalibráciu RGBD snímača pomocou knižnice Kinect Fusion a globálny model prostredia pomocou metódy ICP. V rámci výskumu boli realizované aj metódy riadenia robota gestom, kde boli vytvorené základné vzťahy a prostriedky pre lineárne HRI.
3. Zabezpečenie zvýšenej inteligencie robota pomocou učiacich sa elementov umelej inteligencie s cieľom identifikovať objekty v prostredí. (C3)
V zmysle vizuálnej identifikácie objektov v prostredí sa vypracoval systém vizuálnej detekcie objektov založený na metóde YOLO. Okrem riešenia základného problému detekcie sa kolektív venoval aj niekoľkým rozšíreniam – jedným z nich bola aplikácia viafázového transfer učenia pre vizuálnu detekciu objektov.
4. Návrh inteligentného lokalizačného systému pre mobilný manipulátor, ktorý umožní polohovanie tohto manipulátora v čiastočne dynamickom prostredí. (C4)
Boli otestované rôzne SLAMové metódy v prostredí ROS, napr. hectorSLAM, kartoSLAM a gmapping. Najlepšie z hľadiska presnosti lokalizácie a mapovania pre model priemyselného prostredia sa ukazovala metóda gmapping. Pre zlepšenie výsledkov mapovania tejto metódy bol presne stanovený pravdepodobnostný model použitého laserového skenera. Ďalej boli testované rôzne metódy fúzie v rámci gmapping. Boli skúšané úspešnosti lokalizácie pomocou kombinácií laserový diaľkomer a odometria alebo vizuálna odometria.
5. Návrh vlastnej metódy reaktívneho plánovania pohybu robota, ktorá bude schopná reagovať na viaceré pohyblivé objekty v skutočnom priemyselnom prostredí. (C5)
Bola verifikovaná metóda DWA ako spôsob reaktívnej navigácie v prostredí ROS a metóda RRT ako spôsob globálnej navigácie v prostredí ROS. Ďalej bola rozvíjaná vlastná metóda VFH*TDT ako reaktívna navigácia schopná obchádzať aj pohyblivé prekážky.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

1. Design and development of a system of safe human cooperation with a mobile compliant manipulator based on force-moment control. (O1)
Various impact options for the OptoForce HEX-70-CE-2000N sensor and the ability of the robotic arm to respond to soft or hard contact were tested within the possibilities specified in the ISO TS 15066 technical standard.
2. Design of innovative modeling of the environment using RGBD sensors, which will allow greater adaptability of robotic manipulation, as well as interaction with humans (e.g. using human gestures). (O2)
A method for calibration of the RGBD sensor using the Kinect Fusion library and a global environment model using the ICP method was developed. As part of the research, methods of robot control were also implemented, where the basic relationships and tools for linear HRI were created.
3. Ensuring increased robot intelligence using learning elements of artificial intelligence in

order to identify objects in the environment. (O3)

In terms of visual identification of objects in the environment, a system of visual detection of objects based on the YOLO method was developed. In addition to solving the basic problem of detection, the team also focused on several extensions - one of them was the application of via-phase transfer learning for visual detection of objects.

4. Design of an intelligent location system for a mobile manipulator, which will enable the positioning of this manipulator in a partially dynamic environment. (4)

Various SLAM methods have been tested in the ROS environment, e.g. hectorSLAM, kartoSLAM, and gmapping. The gmapping method proved to be the best in terms of location and mapping accuracy for the industrial environment model. To improve the mapping results of this method, the probabilistic model of the laser scanner used was precisely determined. Furthermore, various fusion methods within gmapping were tested. Localization successes were tested using a combination of laser rangefinder and odometry or visual odometry.

5. Design of your own method of reactive robot motion planning, which will be able to respond to multiple moving objects in a real industrial environment. (C5)

The DWA method as a method of reactive navigation in the ROS environment and the RRT method as a method of global navigation in the ROS environment were verified.

Furthermore, the proprietary VFH * TDT method was developed as reactive navigation capable of bypassing moving obstacles.