



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0413

Modulárna architektúra štrukturálnych prvkov výrobných techník

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Jozef Svetlík, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Strojnícka fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v Košiciach - Strojnícka fakulta, Katedra výrobných techník a robotiky.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojná. Katedra robotiky, Česká republika.

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

1/ Kalibračné zariadenie etalónu dĺžky / Tomáš Stejskal, Miroslav Dovica, Jozef Svetlík
Spôsob prístupu: <https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/50086-2021...>
- Banská Bystrica : ÚPV SR - 2022. - 5 s.

2/ STEJSKAL, Tomáš - SVETLÍK, Jozef - DOVICA, Miroslav - DEMEČ, Peter: Merací prípravok na meranie dĺžkových rozmerov nehybných objektov pomocou laserového interferometra zverejnená prihláška úžitkového vzoru č. 50042-2019/ - Banská Bystrica : ÚPV SR - 2019. - 5 s.

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

Monografie:

1/ SVETLÍK, Jozef - DEMEČ, Peter: Flexible and modular production systems / - 1. vyd - Lüdenscheid : RAM-Verlag - 2019. - 150 p. - ISBN 978-3-942303-93-4.

2/ DEMEČ, Peter - STEJSKAL, Tomáš: Virtual Prototyping and Experimental Verification of Machine Tools Accuracy, 1. vyd. Lüdenscheid: RAM-Verlag 2021. 225 s. [9.69AH. ISBN 978-3-96595-013-9.

Vysokoškolské učebnice vydané v zahraničných vydavateľstvách

1/ SVETLÍK, Jozef: Modularity of production systems / - 2020. In: Machine tools: design, research, application. - London (Veľká Británia): IntechOpen s. 1-22. - ISBN 978-1-83962-350-9.

Najvýznamnejšie články v zahraničných karentovaných časopisoch:

1/ Mapping robot singularities through the Monte Carlo method / Tomáš Stejskal, Jozef Svetlík, Štefan Ondočko Spôsob prístupu: <http://dx.doi.org/10.3390/app12168330...> - 2022.

In: Applied sciences. - Bazilej (Švajčiarsko) : Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 12, č. 16 (2022), s. [1-15] [online]. - ISSN 2076-3417 (online)

Databázy: WOS, SCOPUS, CCC, Kvartil: WOS:Q2.

2/ ONDOČKO, Štefan - SVETLÍK, Jozef - ŠAŠALA, Michal - BOBOVSKÝ, Zdenko -

STEJSKAL, Tomáš - DOBRÁNSKY, Jozef - DEMEČ, Peter - HRIVNIAK, Lukáš: Inverse kinematics data adaptation to non-standard modular robotic arm consisting of unique rotational modules, 2021. In: Applied Sciences. - Basel (Švajčiarsko): Multidisciplinary Digital Publishing Institute Roč. 11, č. 3 (2021), s. 1-15. ISSN 2076-3417, Spôsob prístupu: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1203/htm>, Databázy: WOS, SCOPUS, CCC, Kvartil: WOS:Q2.

3/ Establishing the Optimal Density of the Michell Truss Members / Tomáš Stejskal ... [et al.] Spôsob prístupu: <https://doi.org/10.3390/ma13173867...> - 2020. In: Materials. - Basel (Švajčiarsko) : Molecular Diversity Preservation International Roč. 13, č. 17 (2020), s. 1-16 [online]. - ISSN 1996-1944 (online), Databázy: WOS, SCOPUS, CCC, Kvartil: WOS:Q1. Najvýznamnejšie články v domácich recenzovaných časopisoch a zborníkoch:

1/ ONDOČKO, Štefan - SVETLÍK, Jozef - STEJSKAL, Tomáš - ŠAŠALA, Michal - HRIVNIAK, Lukáš: Spracovanie dát z inverznej kinematiky v prostredí matlab pre robotické rameno zložené z urm modulov, 2021. In: Novus Scientia 2021: zborník príspevkov z 18. Medzinárodnej vedeckej konferencie doktorandov strojníckych fakúlt technických univerzít a vysokých škôl. - Košice: Technická univerzita v Košiciach s. 202-206, ISBN 978-80-553-3798-2.

2/ ŠAŠALA, Michal - HRIVNIAK, Lukáš - ONDOČKO, Štefan - SVETLÍK, Jozef: Topologická optimalizácia konštrukcie rotačného modulu s použitím metód aditívnej výroby, 2021. In: Novus Scientia 2021: zborník príspevkov z 18. Medzinárodnej vedeckej konferencie doktorandov strojníckych fakúlt technických univerzít a vysokých škôl. Košice: Technická univerzita v Košiciach s. 261-264. ISBN 978-80-553-3798-2.

3/ ONDOČKO, Štefan - STEJSKAL, Tomáš - SVETLÍK, Jozef - HRIVNIAK, Lukáš - ŠAŠALA, Michal - ŽILINSKÝ, Adam: Position Forward Kinematics of 6-DOF Robotic Arm / - 2020. In: Acta Mechanica Slovaca : journal published by Faculty of Mechanical Engineering, the Technical University in Košice. - Košice (Slovensko) : Strojnícka fakulta Roč. 24, č. 2 (2020), s. 30-36 [print]. - ISSN 1335-2393 Spôsob prístupu: <https://www.actamechanica.sk/magno/ams/2020/mn2.php>

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu modulárnej architektúry štruktúrnych prvkov výrobnéj techniky majú uplatnenie najmä pri stavbe nových robotických pracovísk, kde je možné optimalizovať potrebný stupeň voľnosti robotického ramena. Kľúčové v tejto problematike je možnosť flexibilne prispôsobiť parametre pasívneho zakrivenia, akými sú uhol a dĺžka. Takýmto spôsobom je možné často nahradiť klasický angulárny robot so šiestimi stupňami voľnosti za modulárny robot zostavený z URM a príslušnými pasívnymi členmi iba s štyrmi, príp. piatimi stupňami voľnosti. Pri tom takáto zredukovaná štruktúra bude mať schopnosť vykonávať rovnakú činnosť ako pôvodná robotická štruktúra so šiestimi stupňami voľnosti pohybu. Toto je významná úspora mechatronických jednotiek. Ďalej sa vyriešením projektu otvorila možnosť pre energetickú úsporu pri prevádzke robotického ramena v praxi. Keďže existujú prípady dráhy koncového člena, kde je výhodnejšie konkrétnymi kinematickými členmi zarotovať v opačnom zmysle, ako je možné. Pri klasickom angulárnom usporiadaní robotického ramena, kde vnútorný káblový zväzok neumožní neobmedzenú rotáciu, je nutné zarotovať niekedy dlhšou uhlovou dráhou, ako by bolo vhodné. Tu sa môžu uplatniť výhody neobmedzenej rotácie rotačného modulu, kde zmysel uhlového natočenia môže byť optimálny. Dráha koncového člena teda môže byť dosahovaná s vyššou energetickou účinnosťou a rýchlosťou a plynulosťou. Medzi významný benefit tiež patrí odolnosť voči výpadkom napájania, keďže každý z modulov URM má integrovaný výkonný akumulátor. Z tohto môže v prípade potreby čerpať elektrickú energiu po istý čas. Tento čas môže vykryť dokončenie technologicky významnej operácie a až následne vykonať bezpečné odstavenie technologického zariadenia a samotného robotického ramena v prípade energetického výpadku z vonka.

Hlavný prínos pre prax, prípadnou implementáciou modulárneho robotického zariadenia zloženého z URM modulu, vidíme v zjednodušení a v viacúčelovosti zariadenia, v optimalizácii prestavovania robotického pracoviska na konkrétne požiadavky danej výroby a v pružnej adaptácii na prípadne zmeny výroby. Taktiež vidíme prínos v eliminácii investícií do náhradných dielov a skladovacích priestorov, keďže sa jedná v tomto prípade aj o komponentnú modularitu. Tieto prínosy majú potenciál postupne zvyšovať kvalitu výrobku, zefektívniť výrobné práce a viesť k zvýšeniu ziskovosti spoločnosti, ktorá takýto systém

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

Zámerom projektu bol rozvoj modulárnej architektúry štruktúrnych prvkov výrobných techník. V rámci tohto cieľa bolo rozpracovaných množstvo využiteľných riešení a bola preukázaná implementovateľnosť modulárnych štruktúr do výrobných sústav, po mechanickej stránke, ale aj z pohľadu riadenia. Z pohľadu mechaniky modulov bol projekt zameraný na vyvinutie tzv. URM modul (Univerzálny Rotačný Modul) so stanovenými parametrami. URM je koncipovaná ako nosná technická štruktúra pre stavbu modulárnych zostáv, primárne do sériovej heterogénnej kinematickej sústavy. Bol navrhnutý a vyvinutý ucelený veľkostný rad URM, z ktorého je možné zostaviť sériovú kinematickú robotickú štruktúru. Celá zostava pracuje na bezdrôtovom princípe, vrátane riadiacich dát a energetického toku. URM má možnosť sa neobmedzene otáčať v akomkoľvek uhle a počte otočení. Pasívne medzičleny, ktoré boli vyvinuté s využitím princípov generatívneho dizajnu, vyrobené a otestované, umožňujú veľkú variabilitu stavby modulárnej robotickej štruktúry. Množstvo dielov v URM bolo niekoľkonásobne optimalizovaných, okrem iného aj s podporou topologickej optimalizácie. Z pohľadu riadenia boli naplnené ciele stanovené najmä vo vyriešení inverznej kinematiky pre túto modulárnu štruktúru. Boli identifikované singulárne stavy a navrhnuté ich eliminovanie, resp. obchádzanie. Boli vypracované mapy dosiahnuteľnosti v rámci príslušných pracovných priestorov rôznych kinematických štruktúr. Tieto mapy dosiahnuteľnosti demonštrujú nielen dosiahnuteľnosť polohy koncového člena, ale aj samotnú orientáciu, čo je v technologických a aj manipulačných úlohách nesmierne dôležité. Počas riešenia úloh na projekte boli hmatateľne dostupnejšie a vyvinutejšie prostriedky virtuálnej a zmiešanej reality. Kolektív riešiteľov sa zaoberal aj touto témou v rámci riešenia a boli publikované výstupy s konkrétnymi výsledkami. Z nášho pohľadu bol projekt z pohľadu každého stanoveného cieľa úspešne vyriešený a v mnohých ohľadoch aj prekročený. Zároveň tu existuje veľký potenciál na ďalší rozvoj v uvedenej problematike a samotným ukončením projektu vývojové a vedecké práce na prototypoch neustanú. Predpokladom je, že dopady riešenia projektu budú pozitívne vplývať na riešiteľské pracovisko a celospoločenskú prax ešte niekoľko rokov.

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

The aim of the project was the development of a modular architecture of the structural elements of production technology. As part of this goal, a number of usable solutions were developed and the implementability of modular structures into production systems was demonstrated, from a mechanical point of view, but also from a management point of view. From the point of view of the mechanics of the modules, the project was aimed at developing the so-called URM module (Universal Rotary Module) with specified parameters. URM is designed as a supporting technical structure for the construction of modular assemblies, primarily in a serial heterogeneous kinematic system. A comprehensive range of URM sizes has been designed and developed, from which a serial kinematic robotic structure can be assembled. The entire assembly works on a wireless principle, including control data and energy flow. The URM has the ability to rotate indefinitely at any angle and number of turns. Passive intermediate members, which have been developed using the principles of generative design, manufactured and tested, allow great variability in the construction of a modular robotic structure. The number of parts in the URM has been optimized several times, including support for topological optimization. From the point of view of management, the goals set in particular in solving the inverse kinematics for this modular structure were fulfilled. Singular states were identified and their elimination was proposed, respectively, bypassing. Reachability maps were developed within the respective workspaces of various kinematic structures. These reachability maps demonstrate not only the reachability of the position of the end member, but also the orientation itself, which is extremely important in technological and manipulation tasks. During the solution of tasks on the project, the means of virtual and mixed reality were tangibly more accessible and developed. The team of solvers also dealt with this topic as part of the solution and outputs with specific results were published. From our point of view, the project was successfully

resolved and in many ways exceeded. At the same time, there is great potential for further development in the mentioned issue, and the development and scientific work on prototypes will not stop with the very end of the project. The assumption is that the effects of the project solution will have a positive effect on the researcher's workplace and the practice of society as a whole for several years to come.