



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-19-0590

Modulárne multifunkčné kontrolné pracovisko s využitím techník výpočtovej inteligencie

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ján Piteľ, PhD.**

Príjemca

Technická univerzita v Košiciach - Fakulta výrobných technológií, Prešov

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Česká republika
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, Česká republika
Free University of Bozen-Bolzano, Faculty of Engineering, Italy
University of Malta, Faculty of Engineering, Malta
Sumy State University, Faculty of Technical Systems and Energy Efficient Technologies, Ukraine

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

Hošovský, A., Piteľ, J., Trojanová, M. T. Technická univerzita v Košiciach. Zariadenie na meranie teplotnej závislosti creep efektu fluidných svalov s rozšíreným rozsahom teplôt, Patent č. 289216, Banská Bystrica: ÚPV SR, 2024, 7 s.
Hošovský, A., Trojanová, M., Čakurda, T. Technická univerzita v Košiciach. Zariadenie na meranie dynamiky sily pohonu typu Peano-HASEL pri izometrických podmienkach, Úžitkový vzor č. 10073, Banská Bystrica: ÚPV SR, 2024, 6 s.
Židek, K., Piteľ, J., Hošovský, A. Spôsob automatizovaného učenia hĺbkových neurónových sietí pomocou virtuálnych 3D modelov, Technická univerzita v Košiciach, Zverejnená patentová prihláška č. 50089-2023, Banská Bystrica: ÚPV SR.
Hošovský, A., Piteľ, J., Trojanová, M. Technická univerzita v Košiciach. Zariadenie na meranie statických charakteristík snímača na báze kompozitov iónový polymér/kov (IPMC), Úžitkový vzor č. 9682, Banská Bystrica: ÚPV SR, 2022, 6 s.

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

Ivanov, V., Andrusyshyn, V., Pavlenko, I., Piteľ, J., Bulej, V. New classification of industrial robotic gripping systems for sustainable production. Scientific Reports, Vol. 14, 2024, 295. ISSN 2045-2322
Andrusyshyn, V., Židek, K., Ivanov, V., Piteľ, J. Novel Gesture-Based Robot Programming Approach with the Ability of Code Reuse, Machines, Vol. 12, Issue 4, 2024, 217. ISSN 2075-1702

Pavlenko, I., Trojanowska, J., Ivanov, V., Radchenko, S., Husár, J., Mižáková, J. Signal Decomposition for Monitoring Systems of Processes. Processes, Vol. 12, Issue 6, 2024, 1188. ISSN 2227-9717

Lishchenko, N., Pitel, J., Larshin, V. Online Monitoring of Surface Quality for Diagnostic Features in 3D Printing. Machines, Vol. 10, Issue 7, 2022, 541. ISSN 2075-1702

Jurko, J., Miškiv-Pavlik, M., Husár, J., Michalik, P. Turned Surface Monitoring Using a Confocal Sensor and the Tool Wear Process Optimization. Processes, Vol. 10, Issue 12, 2022, 2599. ISSN 2227-9717

Dzurina, J., Jadlovská, I. Oscillation of nth order strongly noncanonical delay differential equations. Applied Mathematics Letters, 115 (2021) 106940. ISSN 0893-9659

Židek, K., Pitel, J., Balog, M., Hošovský, A., Hladký, V., Lazorík, P., Jakovets, A., Demčák, J. CNN Training Using 3D Virtual Models for Assisted Assembly with Mixed Reality and Collaborative Robots. Applied Sciences, Vol. 11, No. 9, 2021, 4269. ISSN 2076-3417

Varga, M., Jadlovský, J., Jadlovská, S. Generative Enhancement of 3D Image Classifiers. Applied Sciences, Vol. 10, No. 21 (2019), 13 p. ISSN 2076-3417

Uplatnenie výsledkov projektu

Uplatnenie výsledkov projektu je v dvoch rovinách, a to vo výskumnom akademickom prostredí a v podnikateľských subjektoch. Na riešiteľskom pracovisku projektu to bude najmä v rámci transferu poznatkov do vzdelávacieho procesu, riešenia následných projektov aplikovaného výskumu a vývoja vrátane vďaka projektu nadviazanej novej a rozvinutej existujúcej medzinárodnej spolupráce a taktiež spolupráce s praxou. Úspešné riešenie projektu výrazne prispelo k vybudovaniu laboratória SmartTechLab, ktoré je v súčasnosti nosným laboratóriom digitalizácie výroby v súlade s konceptom Priemysel 4.0/5.0 na riešiteľskom pracovisku s potenciálom zaradenia do siete tzv. Living Labs. V laboratóriu sú implementované nové poznatky z riešenia projektu týkajúce sa najmä získavania a rozpoznávania digitálnych obrazov výrobkov a ich komponentov, aplikácií techník výpočtovej pre tieto procesy, tvorby digitálneho dvojčata vrátane využitia dát pre aplikáciu zmiešanej reality v kolaboratívnych výrobných procesoch.

V podnikateľských subjektoch zrealizovaný princíp modulárneho riešenia s možnosťou pridávania a uberania jednotlivých zariadení (hardvérových aj softvérových modulov) môže výrazne skrátiť častokrát zdĺhavý proces návrhu meracieho kontrolného pracoviska pre konkrétny výrobný proces. Navrhnuté a otestované univerzálne modulárne kontrolné pracovisko s viacerými snímacími systémami vrátane integrovaného dopravníka, jeho riadenia a systémom identifikácie výrobkov aj s podporou pre kolaboratívnu montáž bude vzorovým príkladom a inšpiráciou pre odborníkov z praxe pre realizáciu inšpekčných pracovísk v rámci automatizovaných výrobných liniek. Využitím automatizovaného spracovania dát z digitalizácie rozpoznávacieho procesu pomocou algoritmov výpočtovej inteligencie a uložením extrahovaných výsledkov do cloudových úložísk prístupných pre ďalšie spracovanie nástrojmi pre hodnotenie kvality výroby je možné následne optimalizovať výrobné procesy s pozitívnym dopadom na ekonomiku výroby.

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

V rámci riešenia projektu boli vytypované vhodné algoritmy pre rozpoznávanie nezhôd výrobkov využiteľné v modulárnom multifunkčnom kontrolnom pracovisku. Zaujímavým nástrojom boli najmä konvolučné neurónové siete (CNN) z oblasti výpočtovej inteligencie, ktoré sú perspektívne aj pre nasadenie do reálnych zariadení. Pre implementáciu týchto algoritmov na rozpoznávanie nezhôd (rozmerových, tvarových) bola zvolená koncepcia na báze priemyselných kamerových systémov so špecializovanou jednotkou pre spracovanie obrazu. Boli zvolené štyri technológie: vytvorenie 3D obrazu pomocou štruktúrovaného svetla, nasvecovanie povrchu variabilným osvetlením rôznymi vlnovými dĺžkami (tzv. multispektrum), skenovanie na báze líniovej laserovej triangulácie a výpočtová jednotka pre integráciu CNN. Pre virtuálne modely za účelom simulácie rozpoznávacieho procesu bol zvolený softvér Tecnomatix, ktorý disponuje podporou pre časové validácie aj prepojenie s reálnym systémom cez OPC komunikáciu. Pre tvorbu digitálneho dvojčata experimentálneho pracoviska so zabudovanými technológiami bol zvolený Unreal Engine, pričom import 3D modelov bol realizovaný cez plugin Datasmith pre priamu integráciu modelov vytvorených v softvéri Autodesk Inventor. V oblasti automatizovaného spracovania

dát pomocou algoritmov výpočtovej inteligencie bola navrhnutá nová metodika tréovania CNN modelov založená na kombinácii viacerých spôsobov učenia. Pred začatím výrobného procesu sa vykonáva inicializačné učenie s virtuálnymi vzorkami, po začatí výroby kontinuálne zlepšovanie modelov CNN pomocou reálnych vzoriek výrobkov. Navrhnuté a otestované riešenia boli overené na reálnom výrobku vačkového spínača.

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

As a part of the project solution, suitable algorithms for recognizing of product errors usable in a modular multifunctional inspection workplace were identified. An interesting tool was convolutional neural networks (CNN) from the field of computational intelligence, which are also promising for deployment in real devices. For the implementation of these algorithms for recognizing discrepancies (dimensional, shape), a concept based on industrial camera systems with a specialized unit for image processing was chosen. Four technologies were chosen: creation of a 3D image using structured light, illumination of the surface by variable illumination with different wavelengths (so-called multispectrum), scanning based on line laser triangulation and a computing unit for CNN integration. Tecnomatix software was chosen for the virtual models in order to simulate the recognition process, which has support for time validations and connection with the real system via OPC communication. Unreal Engine was chosen for the creation of a digital twin of the experimental workplace with built-in technologies, while the import of 3D models was carried out via the Datasmith plugin for direct integration of models created in Autodesk Inventor software. In the field of automated data processing using computational intelligence algorithms, a new methodology for training CNN models based on a combination of several learning methods was proposed. Before the start of the production process, initialization learning with virtual samples is performed, after the start of production, continuous improvement of CNN models using real product samples is performed. The proposed and tested solutions were verified on a real cam switch product.