

Kibernetsko-fizični sistem za nadzor hrapavosti obdelane površine pri oblikovnem frezanju

Uroš Župerl* – Franci Čuš

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Namen raziskave je bil zasnovati, izdelati in testirati edinstven, kibernetsko-fizični obdelovani sistem za izvajanje spletnega nadzora hrapavosti obdelane površine pri oblikovnem frezanju. Inovativen nadzor hrapavosti površine se izvaja preko vizualnega nadzora velikosti odrezkov in predstavlja nov način spremljanja procesa obdelave, ki ga v obstoječi literaturi ni bilo moč zaslediti.

Cilj članka je predstaviti strukturo nadzornega sistema, ki je realiziran s povezovanjem računskih resursov v oblaki obdelovalni platformi z obdelovanim strojem in pripadajočim merilnim sistemom. Izdelan je pametni vizualni merilni sistem za zajemanje in prenos vrednosti velikosti odrezkov na obdelovalno platformo.

Obdelovalna platforma z integriranimi internetnimi aplikacijami neposredno spremlja hrapavost obdelane površine in izvaja nadzor oblike odrezka na osnovi naslednjih IoT uslug: napredna obdelava senzorskih signalov, identificiranja procesnih značilnosti, strojno učenje, analiza podatkov in kognitivne korekcije vodenja procesa. V članku je predstavljena internetna aplikacija z adaptivnim mehkim inferenčnim sistemom (ANFIS), ki je uporabljena za modeliranje in napovedovanje hrapavosti obdelane površine v realne času. Na osnovi napovedanih vrednosti hrapavosti, aplikacija za kognitivno korekcijo vodenja procesa z adaptiranjem obdelovalnih parametrov nadzoruje željeno velikost odrezka in posledično vzdržuje konstantno hrapavost obdelane površine.

Izveden je obdelovalni eksperiment z aksialno variabilno globino frezanja za testiranje učinkovitosti kibernetsko-fizičnega nadzornega sistema.

Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da je predlagani sistem, kjer so analitični resursi in storitve v oblaku povezani z obdelovalnim strojem in vizualnim sistemom učinkovit pri nadzoru hrapavosti obdelane površine. Sistem je stabilen, kar se kaže v izboljšani kakovosti površine. Nadzorovana hrapavost obdelane površine ne presega želene vrednosti za več kot 10 %. Aplikacija za kognitivne korekcije procesa uspe v 0,48 s vrniti velikost odrezka na referenčno vrednost. Korekcije vodenja se izvedejo v 10 ms po identifikaciji signifikantne spremembe velikosti odrezka.

Izvedena je validacija aplikacije za napovedovanje hrapavosti površine s primerjavo napovedi in eksperimentalnih podatkov. S primerjavo je ugotovljeno, da lahko aplikacija v realnem času napove hrapavost obdelane površine z napako manjšo od 3,7 %. Večina napovedanih vrednosti hrapavosti je ekvivalentna s pripadajočimi eksperimentalnimi vrednostmi. Analiza negotovosti napovedi je pokazala, da se 98,2 % napovedanih vrednosti nahaja znotraj 95 % intervala zaupanja. Aplikacija pri majhni podajalni hitrosti in majhnih odrezkih v 1,8 % primerih podceni vrednost hrapavosti površine.

Cilj nadaljnjih raziskav je izvesti več obdelovalnih eksperimentov z različnimi rezalnimi parametri za testiranje predlaganega koncepta in odpravo omejitev raziskave. V nadaljevanju so povzete omejitve raziskave: kibernetska varnost in zasebnost, omejena hitrost prenosa podatkov na relaciji stroj-obdelovalna platforma, optimalna osvetlitev v vizualnem sistemu, neučinkovitost zaznavanja velikosti odrezka pri uporabi hladilno mazalnih sredstev in procesiranje ogromne količine podatkov. Možna rešitev zadnje omejitve je v pred obdelavo podatkov na lokalnem terminalu, ki se nato v kompaktni obliki prenesejo na oblako platformo za nadaljnje analize.

Nadaljnje aktivnosti bodo usmerjene k nadgrajevanju obdelovalne platforme z novima aplikacijama za spremljanje rabe energije in spremljanje obrabe orodja.

Ključne besede: vodenje, nadzor, oblika odrezka, hrapavost površine, oblikovno frezanje, kibernetsko-fizični sistem