

## Nov hibridni sistem strojnega učenja in statistično razpoznavanje vzorcev z 3D grafi vidljivosti

Matej Babič<sup>1,\*</sup> – Karolj Skala<sup>2</sup> – Dookhitram Kumar<sup>3</sup> – Roman Šturm<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Inštitut Jožef Stefan, Slovenija

<sup>2</sup> Inštitut Ruđer Bošković, Hrvaška

<sup>3</sup> Tehniška univerza, Mauricius

<sup>4</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Inteligentni sistemi so odlično orodje za reševanje zapletenih problemov na področju industrijskih aplikacij. V članku uporabljamo matematično metodo fraktalne geometrije in teorijo grafov pri tehniki laserskega kaljenja. Mikrostruktura robotsko-lasersko kaljenih vzorcev je zelo kompleksna; vendar jo lahko predstavimo z uporabo grafov vidljivosti v 3D prostoru. Mikrostrukturne slike rasterskega elektronskega mikroskopa (SEM) pretvorimo v 3D graf in izračunamo gostoto omrežja grafov vidljivosti v 3D prostoru. Topografske lastnosti kaljenih vzorcev analiziramo z uporabo algoritma za konstrukcijo grafov vidljivosti v 3D prostoru. Razvili smo nov hibridni sistem strojnega učenja za napovedovanje vsebnosti karbida v lasersko kaljenih vzorcih z uporabo multiple regresije, nevronske mreže in genetskega programiranja. Ugotovili smo statistično signifikantnost med parametri laserske celice za kaljenje, topološkimi lastnosti grafov vidljivosti v 3D prostoru in vsebnosti karbidov v lasersko kaljenih vzorcih.

Prispevek predstavlja nov način konstrukcije grafov vidljivosti v 3D prostoru, nov način opisovanja kompleksnosti 3D prostora in nov hiperhibridni sistem strojnega učenja in njegovo uporabo v strojništvu za napovedovanje topografskih lastnosti robotsko lasersko kaljenih vzorcev. Prispevek predstavlja metodo uporabe grafov vidljivosti v 3D prostoru in fraktalno geometrijo za analizo kompleksnosti robotsko lasersko kaljenih vzorcev. Analiziranje kompleksnosti površin robotsko lasersko kaljenih vzorcev je zelo težavno. Ta nova metoda ima številne aplikacije pri prepoznavanju vzorcev, računalniški grafiki, računalniški geometriji in drugje.

Pokazali smo kako parametri hitrosti in temperature vplivajo na topološke lastnosti grafov vidljivosti v 3D prostoru. Izračunali smo statistične lastnosti topoloških lastnosti števila ekstremov, števila robov in triadnega popisa tipa 16-300 omrežja 3D vidljivosti za vzorce, ki so bili lasersko kaljeni. Najprej smo izračunali osnovne statistične lastnosti povprečje, standardni odklon, standardno napako, mediano, geometrijsko sredino in harmonično sredino topoloških lastnosti grafov vidljivosti v 3D prostoru robotsko lasersko kaljenih vzorcev. Ugotovili smo pomembna pozitivna razmerja med kurtozo, Fisherjevim G2, koeficientom variacije, koeficientom disperzije in topološkimi lastnostmi grafov vidljivosti v 3D prostoru robotsko lasersko kaljenih vzorcev.

Glavne ugotovitve je mogoče povzeti takole:

1. Za analizo mikrostrukture uporabljamo metodo teorije grafov in fraktalno geometrijo.
2. Za napovedovanje vsebnosti karbida v utrjenih vzorcih uporabljamo metode inteligentnih sistemov; nevronske mreže, multiplo regresijo in genetsko programiranje.
3. Predstavimo nov sekvenčni spiralni hibrid.
4. Prispevek uvaja novo metodo strojnega učenja v metalurgiji.
5. Ugotovili smo statistično signifikanco med parametri robotske laserske celice, med eksperimentalnimi in napovedanimi podatki.
6. V prispevku primerjamo tri metode inteligentnih sistemov, in sicer multiplo regresijo, nevronske mreže in genetsko programiranje, s hibridnim sistemom inteligentnih sistemov.

**Ključne besede:** fraktalna geometrija, hibridni sistem, lasersko kaljenje, graf vidljivosti, statistično razpoznavanje vzorcev