



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАДЖМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2014-11-28

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 31. редовној седници одржаној дана 26.11.2014. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 12.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензента

Тачка 12.1.1: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Проф. др Павел Ковач, ФТН, Нови Сад
2. Проф. др Зоран Миљковић, Машински факултет у Београду

Назив техничког решења:

ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА У ОКВИРУ НЕУРО- ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА

Аутори техничког решења: др Ацо Антић, др Петар Б. Петровић, др Милан Зељовић, др Јанко Ходлич, др Марко Јанев

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Рале Дорословачки

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

Autori:

Dr Aco Antić, docent

Dr Petar B. Petrović, redovni profesor

Dr Milan Zeljković, redovni profesor

Dr Janko Hodolič, redovni profesor

Dr Marko Janev, istraživač

**PROGRAMSKO REŠENJE MODULA ZA IZDVAJANJE
OBELEŽJA NEURO-FAZI SISTEMA ZA PREPOZNAVANJE
STANJA POHABANOSTI ALATA**

-Tehničko rešenje-

Novi Sad, 2014. godine

Podaci o tehničkom rešenju

Vrsta tehničkog rešenja	M-85: Prototip, nova metoda, softver, standardizovan ili atestiran instrument, nova genetska proba, mikroorganizmi
Autori tehničkog rešenja	Dr Aco Antić, docent Dr Petar B. Petrović, redovni profesor Dr Milan Zeljković, redovni profesor Dr Janko Hodolić, redovni profesor Dr Marko Janev, istraživač
Naziv tehničkog rešenja	Programsko rešenje modula za izdvajanje obeležja u okviru neuro-fazi sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata
Za koga je rađeno tehničko rešenje	Programsko rešenje modula za izdvajanje obeležja u okviru neuro-fazi sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata rađeno je za potrebe istraživanja koja se sprovode na Fakultetu tehničkih nauka u okviru projekta "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici" ev. broj TR 35025 i za potrebe u preduzeću "FKL" iz Temerina.
Ko koristi tehničko rešenje	Tehničko rešenje se koristi za potrebe istraživanja i nastave na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.
Godina izrade tehničkog rešenja	2014.
Verifikacija rezultata	Verifikacija je izvršena u laboratorijskim uslovima na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu od strane recenzenata: 1. Prof. dr Zoran Miljković, redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd 2. Prof. dr Pavel Kovač, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Ko je prihvatio tehničko rešenje	Nastavno naučno veće Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

Sadržaj

1.0 Uvod	1
2.0 Naučno-teorijske podloge na kojima se bazira tehničko rešenje	2
2.1 Primena fuzzy sistema u nadzoru habanja alata	5
3.0 Programsko rešenje izdvajanja obeležja u okviru neuro-fazi sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata	6
3.1 Podsystem za predprocesiranje	8
4.0 Opis programskog rešenja sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata	10
4.1 Programsko rešenje ekstrakcije obeležja	11
5.0 Prikaz rezultata verifikacije	14
6.0 Zaključna razmatranja	18
7.0 Literatura	19

1.0 Uvod

Napredni dizajn senzora omogućava prikupljanje informacija u procesu rezanja. Sa napredkom informacionih tehnologija i tehnologija u obradi signala, širok spektar on-lajn senzora je uključen da bi se preuzele informacije relevantne za stanje alata. Takođe, dobijene informacije su značajnije za kontrolu procesa. Signali dobijeni od različitih senzora moraju da se transformišu u podatke koji sadrže relevantne informacije o osnovnom procesu. Velika količina podataka prikupljena od multisenzorskih sistema omogućava izdvajanje različitih obeležja, stvarajući tako dovoljno informativna obeležja, koja treba da se koriste sa zadatkom klasifikacije stanja alat u sistemima za nadzor alata.

Razvoj sistema za nadzor, koji rade u realnom vremenu, čini osnovu za praćenje stanja alata u savremenoj automatizovanoj proizvodnji. Kvalitetna informacija o stepenu pohabanosti alata u realnom vremenu predstavlja neophodan uslov za identifikaciju postojanosti alata. Dobijanje i odabir signifikantne informacije iz procesa, primenom odgovarajućeg senzora, u značajnoj meri se podiže kvalitet i produktivnost procesa obrade. Osim pozitivnog uticaja na stabilnost procesa obrade i kvalitet obrađene površine obradka, ovim načinom vođenja procesa ostvaruje se veći stepen produktivnosti i maksimalna iskorištenost alata u smislu životnog veka [1].

Konvencionalni načini nadzora habanja alata za obradu rezanjem zasnovani su na poznatim fizičkim principima, vizuelni, slušnim i intelektualnim sposobnostima operatera, pomoću kojih se nastoji prepoznati pohabanost alata. Savremeni, inteligentni sistemi za nadzor habanja alata za obradu rezanjem treba da svojim karakteristikama zamene i nadgrade ljudske nedostatke i mogućnosti u smislu kontinuiranog, brzog i preciznog određivanja stanja pohabanosti alata što dovede do:

- povećavanja stepena sigurnosti obradnog sistema, što posebno dolazi do izražaja u situacijama visokog stepena pohabanosti i loma alata,
- optimizacije parametara obrade s obzirom na zahtevanu postojanost alata, uzimajući u obzir i tehnološka ograničenja procesa,
- kontrolu kvaliteta obrađene površine i zahtevane dimenzionalne tačnosti obratka, i
- dodatnu racionalizuju troškova proizvodnje.

Intenzivnija istraživanja vezana za razvoj "inteligentnih" sistema za nadzor alata za obradu rezanjem započela su 90-ih godina prošlog veka primenom višesenzorskog pristupa tj. klasifikatora habanja zasnovanih na algoritmima veštačke inteligencije. Početak istraživanja u ovoj oblasti pretpostavljao je da bi primena ovih metoda trebala rezultirati industrijski primenljivim rešenjima nadzora habanja alata za obradu rezanjem.

2.0 Naučno-teorijske podloge na kojima se bazira tehničko rešenje

Proces habanja alata manifestuje se različitim oblicima identifikovanim u određenim zonama na alatu. Osnovna dva tipa habanja su pojas habanja koji se javlja na leđnoj površini i kratersko habanje koje nastaje na grudnoj površini reznog klina. Parametri habanja koji se razmatraju u procesu nadzora alata su prosečna širina VB_{sred} i maksimalna širina pojasa habanja VB_{max} , dužina KB i dubina KT kraterskog habanja. Klasifikacija habanja sa odvija najčešće u dve grupe. Ovakav tip klasifikacije je dobar ukoliko se prepoznaju i klasifikuju samo novi i značajno pohabani alati. Radi praktične primenljivosti, potrebno je postojanje i dodatnih grupa habanja koje omogućavaju strategiju kontinualnog nadzora stepena pohabanosti reznog alata.

Razvoj sistema za nadzor alata, koji rade u realnom vremenu primenom indirektnih metoda, osnovni je način praćenje stanja alata u savremenoj automatizovanoj proizvodnji. Fokus istraživanja je na primeni višesenzorskih sistema i razvoju klasifikatora pohabanosti zasnovanog na algoritmima veštačke inteligencije sa velikim brojem obeležja. Početni rezultati istraživanja habanja alata za obradu rezanjem baziranog na primeni ovih metoda nagoveštavali su stvaranje industrijskog primenljivog sistema što se na žalost nije desilo. Mnogi sistemi za nadzor alata bazirani na primeni veštačke inteligencije razvijeni su u cilju optimizacije, predviđanja stanja pohabanosti alata ili kontrole procese obrade. Razvoj modela i primena multisenzorskog sistema za nadzor habanja alata predložili su Dutta i saradnici [2] i Balazinski [3]. Scheffer i Heyns [4], ističu da većina razvijenih sistema, kao ulazne signale, koristi: komponente sile, akustičnu emisiju i vibracije, ili kombinacije ovih ulaznih signala. Takođe, indirektna metoda nadzora habanja alata bazirane na tehnikama prikupljanja i obrade senzorskih signala predstavljaju glavne pravce istraživanja, u većini aktuelnih eksperimentalnih istraživanja. Najveći broj indirektnih metoda se još uvek razvija i usavršava, tako da ni jedna na zadovoljavajući način ne reprezentuje stanje pohabanosti alata kako bi se mogla koristiti u industriji [5].

Metode izdvajanja obeležja iz signala i njihovu korelaciju sa procesom habanja i loma alata mogu se podeliti u tri grupe [6]:

- Metode zasnovane na heurističkim pravilima sa apriori znanjima samo o parametrima posmatranog procesa.
- Metode koje zahtevaju formalno poznavanje procesa (analiza vremenskih serija i brze Furierove transformacije).
- Metode izdvajanja obeležja zasnovane na algoritmima veštačke inteligencije i nekom od modela učenja sa sposobnosti prepoznavanje oblika (fuzzy logika, genetski algoritmi i sistemi bazirani na znanju).

U početku primene metoda veštačke inteligencije bile su najčešće korišćene veštačke neuronske mreže, čija je primena i dalje prisutna i pruža mogućnost dodatnih istraživanja.

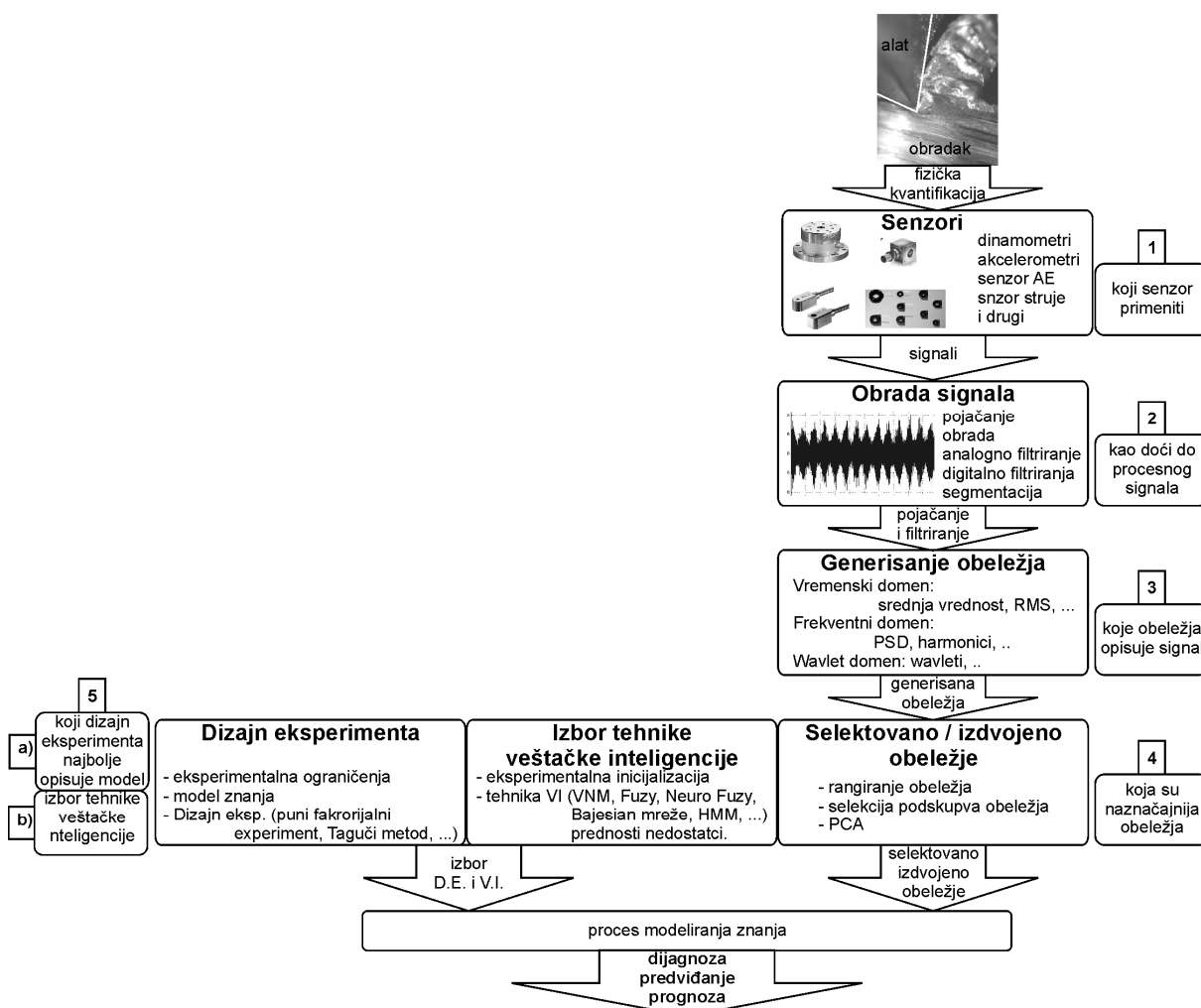
Razloge značajnije zastupljenosti ovih modela treba tražiti u mogućnostima modeliranja složenih nelinearnih procesa koji su često opisani sa nedovoljno informacija, opterećenih različitim vrstama šuma i prigušenja u signalima, najčešće nastalih zbog same stohastičke prirode procesa habanja, i brze obrade veće količine informacija [7]. Bukkapatnam [8] određuje konstante u procesu rezanja na osnovu analize sila rezanja, vibracija, i signala akustične emisije. Proces rezanja nije samo nelinearan i dinamičan, već i haotičan sistem. Manje promene u početnim uslovima procesa ili u uslovima za vreme rezanja mogu da imaju velike uticaje na rezultate procesa, kao npr. postojanost alata.

Algoritam koji koristi Sick za optimizaciju strukture modela uključuje proces izbora karakteristika obeležja. Ovaj algoritam bira odgovarajuća obeležja za neuronske mreže iz niza mogućih ulaza, pronalazi optimalne vrednosti za određeni broj skrivenih slojeva i neurona, stvara veze među neuronima i određuje vrednosti vremenskih grupa postojanosti alata u procesu habanja [9].

Primenom poznatih razvijenih metoda i algoritama veštačke inteligencije zadnjih godina sve češće se pojavljuju ideje i izvedena rešenja o njihovoj hibridnoj kombinaciji. Pri tom se misli na dva oblika integracije modela neuronskih mreža i fuzzy logike: neuro-fuzzy i fuzzy neuronskim mrežama. Neuro-fuzzy, podrazumeva podešavanje parametara fuzzy skupova i/ili pravila ponašanja primenom neuronskih mreža, a u drugom modelu je reč o realizaciji fuzzy logike u formi neuronske mreže. Pretpostavka je da bi hibridni modeli trebali omogućiti bolje razumevanje procesa učenja, jednostavnije postizanje globalnog minimuma greške obučavanja, smanjenje vremena učenja i veću preciznost u identifikaciji promene habanja. U tom smislu i njihova primena u laboratorijskim istraživanjima, nekoliko godina unazad, u stalnom je porastu. Dutta [10] predlaže razvoj sistema za nadzor habanja čeonog glodala, zasnovanog na algoritmu fuzzy neuronske mreže, koja koristi signale sile u pravcu sve tri ose kombinujući parametre kao što su brzina, pomak i dubina rezanja, koristeći metod veštačkih neuronskih mreža. Ghosh i saradnici [11] koriste pristup senzorske fuzije u izračunavanju koeficijente koji su rezultat wavelet transformacija signala sile kao parametre prepoznavanja stanja pohabanosti alata. Razvijani algoritmi dolaze upravo do izražaja u problemima procene stepena pohabanosti alata gde ne postoji adekvatan matematički model habanja. Dinamika procesa je obuhvaćena strukturom algoritma definisanim u postupku obučavanja primenom informacija dobijenih od različitih vrsta senzora. U postavkama eksperimenata sa fuzzy sistemima, u principu, koristi se manji broj parametara habanja radi ograničenja broja pravila ponašanja.

Ekstrakcija obeležja je veoma važan korak u prikupljanju relevantnih informacija, a mnogi istraživači su doprineli navedenom zadatku u izboru ili razvoju posebnih metoda za ekstrakciju koje se primenjuju na podatke i signale sa senzora, i/ili izdvajanje signifikantnih obeležja iz signala dobijenih sa senzora. Većina istraživača primenjuje metode zasnovne na korišćenju obeležja o stanju alata dobijenih primenom FFT na dobijenom signalu u frekvencijskim opsezima [12, 13]. Jedan od novih pristupa prikazali su Bassiuni i Li [14], gde se koriste Huang transformacija. Autori su pokazali da primenjene transformacije signala poseduju mogućnost preciznije procene kod nestacionarnih senzorskih signala, posebno vibracija i akustične emisije (AE). Takođe, čest je slučaj da kod monitoringa alata koriste delovi vremenske distribucije ekstrahovanih obeležja, i momente (*mean*, *varijansa*, *kurtosis*, itd), kako bi se dodatno komprimovala obeležja, čime postaju više robustana [15, 16]. U automatizovanoj proizvodnji on-line definisanje stepena pohabanosti i brza reakcija zamene pohabanih i polomljenih reznih alata razvija se kao osnovni korak unapređenja produktivnosti i ekonomičnosti savremene proizvodnje. Savremeni načini proizvodnje

zahtevaju primenu i veoma veliku fleksibilnost sa stanovišta obrade, režima i vrsta zahvata obrede. Takođe, podrazumeva se velika fleksibilnost i prilagodljivost u što kraćem vremenskom periodu i sistema za nadzor alata. U tom smislu, kao jedan od najvažnijih zadataka je razvoj sistema za nadzor alata i procesa obrade koji će u realnom vremenu moći identifikovati stanje alata. Slika 1 prikazuje opštu metodologiju za razvoj inteligentnog sistema za monitoring alata i procesa obrade.



Slika 1. Opšti metod za razvoj inteligentnog sistema za monitoring stanja pohabanosti alata

2.1 Primena fuzzy sistema u nadzoru habanja alata

Kombinacije različitih analiza signala, više senzorskih tehnika i algoritama veštačke inteligencije, zasnovanih na fuzzy logici, vode ka rešenju koje će uspeti da odgovori zahtevima visokih performansi i obezbede adekvatno rešenje nadzora habanja alata [17, 18]. Fuzzy zaključivanje je proces izvođenja zaključaka iz skupa nedovoljno preciznih premisa. Poslednjih godina većina istraživača koristi fuzzy sistem zaključivanja za klasifikaciju stanja pohabanosti alata. Jedan od pokušaja predstavili su Sharma i saradnici [19], kroz primenu fuzzy sistema za procenu habanja alata. Definisana pravila zaključivanja formiraju bazu na

osnovu koje se donose odluke. Proces fuzzy zaključivanja uključuje funkcije pripadnosti, operatore fuzzy logike i pravila ako-onda. Funkcija pripadnosti je kriva, koja definiše, kako je svaka tačka u prostoru ulaznih informacija pozicionirana u odnosu na vrednost članstva (ili stepen članstva) između 0 i 1. U koliko je odgovarajuća promenljiva podložnija šumu onda je njena oblast razmatranja veća kao i širina funkcije pripadnosti.

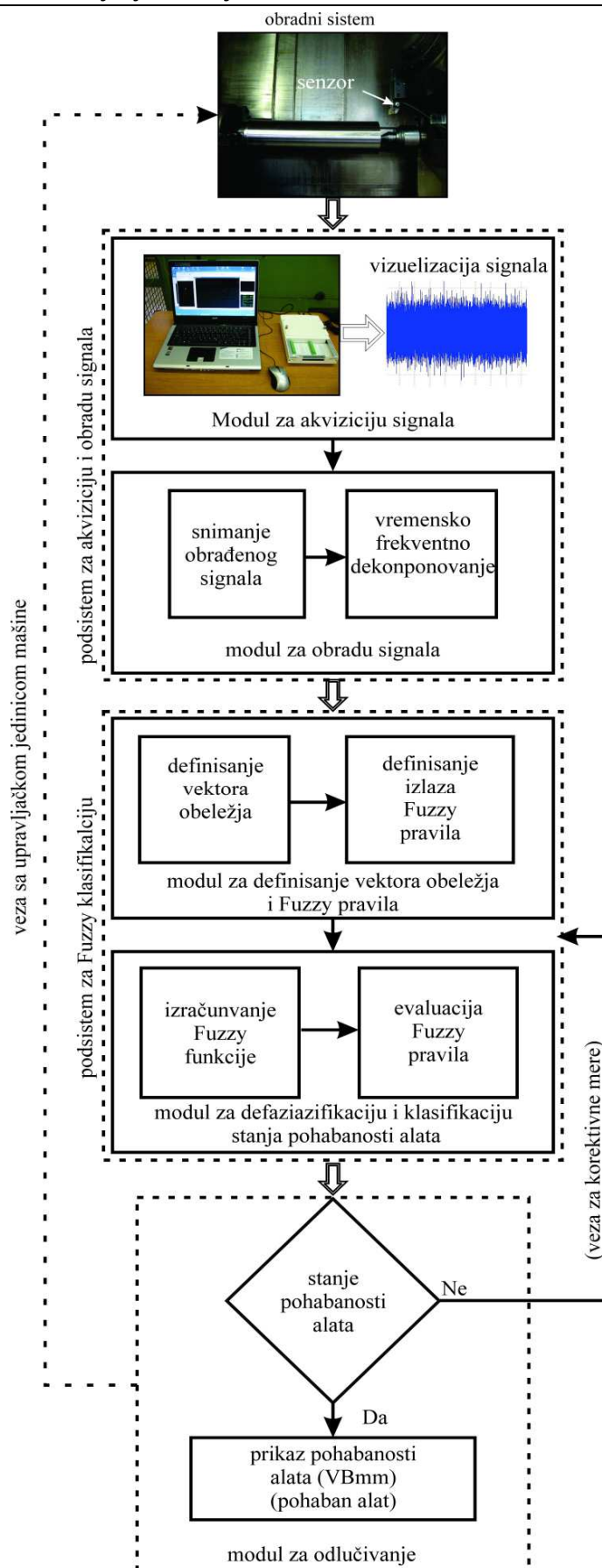
3.0 Programsko rešenje izdvajanja obeležja u okviru neuro-fazi sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata

Analizirajući različite prikazane modele uočene su prednosti i nedostaci pojedinih modela koji trebaju biti uvaženi pri razvoju novog. Imajući u vidu razmatrane modele pred razvoj novog laboratorijskog sistema su postavljeni sledeći zahtevi:

- Primena senzora za merenje ubrzanja vibracija kako bi se na što bolji način detektovale dinamičke karakteristike procesa rezanja i implementirale u sistem nadzora.
- Korišćenje novih algoritama veštačke inteligencije u oblasti nadzora habanja alata koji se zasnivaju na primeni apriori znanja o stanju pohabanosti alata.
- Pronalaženje zadovoljavajućeg načina izdvajanja vektora ulaznih karakteristika primenom transformacija u vremensko-frekventnom domenu.

Primenom i uvažavanjem ovih zahteva na slici 2 prikazan je opšti model razvijenog laboratorijskog sistema za nadzor habanja alata. Model sistema se u osnovi može posmatrati kroz tri segmenta objedinjena u jednu celinu. Razvijeni segmenti (podsistemi) sistema za nadzor alata su:

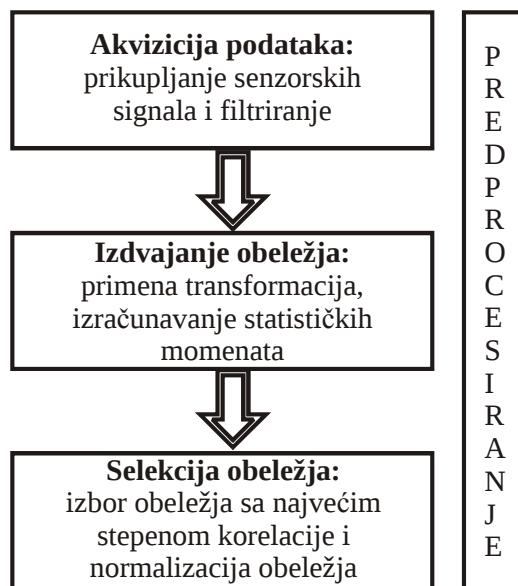
- podsistem za predprocesiranje podataka,
- podsistem za fuzzy klasifikaciju,
- podsistem za odlučivanje.



Slika 2. Model sistema za nadzor alata

3.1 Podsystem za predprocesiranje

Struktura podsistema za predprocesiranje može se posmatrati kroz tri faze koje su prikazane na slici 3. U prvoj fazi – **akvizicija podataka**, vrši se prikupljanje podataka od senzora i izbor pojasa filtriranja. U konkretnom slučaju primenom nisko propusnog Butterworth filtra vrši se filtriranje različitih vrsta šumova koji deformišu merni signal.



Slika 3. Podsystem za predprocesiranje

Druga faza predstavlja **izdvajanje obeležja**. Osnovni cilj izdvajanja obeležja je značajno smanje dimenzije "sirovih" podataka dobijenih od senzora u vremenskom i frekventnom domenu, a u isto vreme zadržavanje relevantnih informacija o stanju alata u izdvojenim obeležjima. U toku razvoja i odabira metoda izdvajanja obeležja je sveobuhvatno analiziran skup metoda izdvajanja obeležja koje su prethodno razmatrane. Ove metode su delom primenjene a delom je razvijen nov metod izdvajanja obeležja. Imajući pri tome na umu da različite metode izdvajanja imaju različite mogućnosti za dobijanje seta informacija o stanju alata obradom senzorskog signala.

Matricu spektrograma S signala $s(n)$ čine kolone koje se dobijaju kao kvadrat modula diskretne Furijeove transformacije (DFT) "prozoriranog signala" $s(n)$. Parametri spektrograma su oblik i dužina, kao i stepen preklapanja/alfa između dve susedne prozorske funkcije $w(n)$. Usrednjavanjem svih kolona matrice spektrograma S dobija se procena spektra snage signala. Pošto je, na osnovu prethodnih analiza, ustanovljeno da gustina spektara snage signala poseduje korelaciju sa promenom rezne geometrije alata izvršena je normalizacija spektrograma tako što se od svake kolone matrice S oduzme procena spektra snage signala. Posle toga se izvršavaju sledeći koraci:

- izdvajanje određenih opsega spektrograma (~ 10 kHz do 50 kHz),
- tretiranje spektrograma kao dvodimenzionalnog signala,
- primena odabranih filtera iz LM banke filtera,
- računanje odgovarajućih statističkih parametra iz vrednosti dobijenih filtriranjem,
- formiranje obeležja koja će se koristiti za klasifikaciju u sledećem podsistemu.

Obuka svakog klasifikatora u osnovi treba da koristi maksimalni broj obeležja što nije uvek najbolja opcija, tako što neka manje važna obeležja, u smislu da imaju manju diskriminativnost, mogu negativno uticati na performanse algoritama obuke. U cilju poboljšanja tačnosti i efikasnosti primenjenog algoritma klasifikacije i smanjenja zahteva za računarskim performansama sistema za nadzor alata, izbor optimalnog broj signifikantnih obeležja u konačnom modelu je pažljivo razmotren i definisan u trećem segmentu modula za predprocesiranje. Optimalni broj parametara se može postići korišćenjem različitih tehnika izbora najkvalitetnijih obeležja. U ovom delu strukture sistema svi parametri su ravnopravni bez ograničenja. Ukoliko testiranja pokažu da bi se odzivi sistema mogli u većoj ili manjoj meri poboljšati, početna struktura se može dodatno optimizirati u fazi sekundarnog učenja tj. stabilizacije strukture. Ovde se takođe vrši normiranje podataka. Normiranje podataka je neophodno uraditi kako bi se podaci sveli na red veličine i time dobili što precizniji podaci bez smetnji koje su mogle da nastanu pri samom uzorkovanju. Takođe, dodatno, se mogu koristiti različite matematičke funkcije za obradu signala u realnom vremenu, čime se merni podaci mogu transformisati u druge veličine ukoliko je to potrebno. Cilj selektovanja i normiranja podataka je izbor najuticajnih i što tačnijih podataka koji su relevantni za proces, a na osnovu kojih će se obučavati fuzzy klasifikator stanja pohabanosti alata.

Softverski sistem za predprocesiranje je sistem projektovan da vrši prikupljanje i obradu informacija i da upravlja radom hardverskih komponenti. Sistem na osnovu postavljenih ograničenja vrši adekvatno prikupljanje mernih signala, filtriranje, izdvajanje obeležja, i prosleđuje ih u fuzzy klasifikator pohabanosti alata.

4.0 Opis programskog rešenja sistema za prepoznavanje stanja pohabanosti alata

Predložena nova strategija monitoringa habanja alata, primenjena na signal dobijen od senzora za merenje vibracija sastoji se od faza:

- ekstrakcije,
- selekcije,
- obuke i
- predikcije.

Ekstrakcija obeležja se zasniva na, prema saznanjima autora, potpuno novom pristupu koji se sastoji od primene kratkotrajne Diskretna Furijeove transformacija (STFT) nad spektarom određenog signala vibracija, koja se posmatra kao 2D tekstura "slika". Vremenska skala je identifikovana kao prva dimenzija a frekventna skala druga dimenzija. Namera je da se iskoristi uticaj razlika u strukturi tekstone navedenih segmenata, na diskriminativnost klasa stanja habanja alata. Moguće promene u obliku i karakteristikama tekstone na određenim segmentima slike, ali u isto vreme sa dovoljno malim brojem parametara, kako bi se dobilo na robustnosti opisa posmatranih pojava. Pretpostavka, potvrđena eksperimentalno, da je dominantni fizički proces promene stanja habanja alata u tesnoj vezi sa strukturom dobijene 2D tekstone nakon obrade signala primenom razvijenog metoda. Na osnovu toga predložena je primena određene filter banke koja je u širokoj upotrebi u problemima prepoznavanja tekstone kako bi efikasno izdvojile informacije u vidu robustnih obeležja.

Selekcija obeležja koja je predložena, zasniva se na korišćenju *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator* (LASSO) regresione tehnike, koju je predložio Tibshirani [20], i široko se koristi u zadatku selekcije obeležja [21, 22]. Ova metoda pronalazi optimalna obeležja koja se odnose na posmatrani set podataka, u cilju dobijanja kompromisa između greške reprezentacije (npr, kvadratne greške) i broja koji nisu nula koeficijenti a odgovaraju najznačajnijim funkcijama, koje su u našem slučaju većina diskriminativna. Set obeležja postaje još robusniji i u slučaju ograničenog skupa podataka za obuku na osnovu sprovedenih eksperimenata.

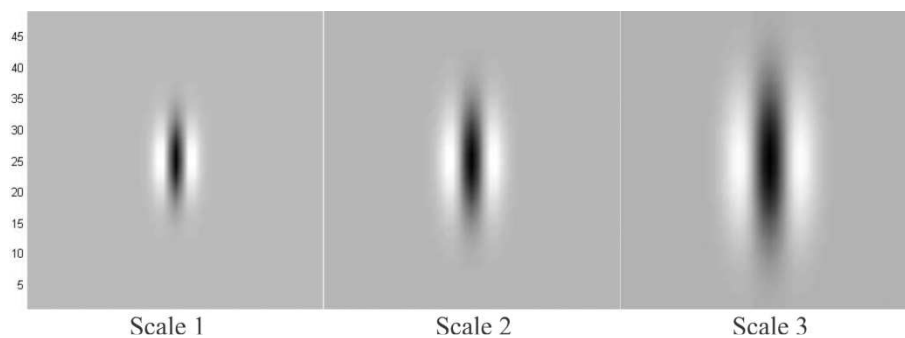
Faza obuke se sastoji od učenja na bazi koeficijenata Lasso regresora tako da se uklapaju sa podacima obuke, a faza predikcije sastoji se od klasičnog zadatka predviđanja koji uključuje regresiju.

U sprovedenim eksperimentima su najbolji rezultati, dobijeni korišćenjem relativno malog broja kombinovanih 2D i TAIMF obeležja u odnosu na slučaj kada su korišćeni 2D i TAIMF odvojeno. Razvijeni sistem je robustan na ograničenoj količini podataka obuke koja je korišćena. Takođe, veliki deo obeležja dobijenih 2D metodom u ukupnom broju obeležja koje bira Lasso regresor dokazuje značaj i robusnost izdvojenih 2D obeležja kod razvijenog sistema za nadzor habanja alata.

4.1 Programsko rešenje ekstrakcije obeležja

Posebne tehnike koje su korištene u obuci i klasifikaciji, kao i u procesu prepoznavanja je zapravo signal u vremenskom domenu, različitih dužina, dobijen od nekog senzora.

Kao što je pomenuto u uvodu opisa tehničkog rešenja, ključna tačka u vezi sa izdvajanjem obeležja jeste razvijena nova metoda, nazvana 2D, u zadatku prepoznavanja stanja pohabanosti alata. Karakteristika razvijene metode je da se koristi spektrogram kratkotrajne diskretne Furierove transformacije (STDFT) na prozoriranom signalu u različitim pojasevima i opsezima 2D teksture "slike" dobijene primenom razvijene tehnike. Dakle, u pomenutom 2D prostoru mapira se problem prepoznavanja stanja pohabanosti alata kao problem prepoznavanja tekstura. Ova metoda "otvara vrata" za uključivanje velikog broja tehnika za prepoznavanje i klasifikaciju tekstura koje mogu da se primene na području prepoznavanja pohabanosti alata. Među najperspektivnije tehnike [23-25] za pomenute zadatke spadaju one koje koriste odgovor prostorno invarijantne filter banaka, odnosno, filter banke na osnovu maksimalnog seta odgovora kao što su (BFS, MR8, MR4, i MRS4), filter banke Leung i Malik [26]. Pokazano je da rotaciono invariantni, multi-scale MR8 filter banka daje bolje rezultate nego bilo koji drugi. U prikazanom sistemu za nadzor habanja alata izabrana je MR8 filter banka. Iz pomenute filter banke ne koriste se svi filteri već samo njegove komponente koje izdvajaju relevantna obeležja tekstura koja su dovedena u vezu sa promenom habanja alata [27, 28, 29]. Na slici 4 prikazana su rotaciono invariantni multi-scale filteri verikalne orijentacije koji se koriste za formiranje tekstura.



Slika 4. LM Multi-scale filteri verikalne orijentacije

Neka je $F(x, y)$ tekstura slike, koja odgovara identifikovanom spektrogramu STDFT posmatranog signala senzora s , pri čemu je STDFT je spektrogram $|S(k, \omega)|^2$ definisan kao

$$S(k, \omega) = \sum_{n=-K/2}^{K/2} s(n)w(k-n)e^{-ikn} \quad (1)$$

gde je k označen diskretni vremenski okvir, sa ω diskretna vremenska frekvencija, odnosno, diskretna frekvencija zona pokrivenosti, dok je w prozorska sekvenca koja se koristi (koristi se Hamming-ovu funkcija), sa dužinom K . Diskretni vremenski prozor k , za $k = 0, \dots, k_{max}$, identifikovan je kao x osu teksture slike, tako da je $x_{max} = k_{max}$. Takođe ω , za $\omega = 0, \dots, \omega_{max}$ identifikovana je kao y osa, tako da je $y_{max} = \omega_{max}$. Sada je:

$$F(x, y) = |S(k, \omega)|^2 \quad (2)$$

$$x = 0, \dots, x_{max}, y = 0, \dots, y_{max}$$

$$k = 0, \dots, k_{max}, \omega = 0, \dots, \omega_{max}$$

Sve dalje analize rade se nad teksturom slike $F(x, y)$ dobijene na prethodno objašnjen način, gde radi jednostavnosti, bez gubitka generalizacije, posmatraju kontinualne promenljive $x \in [0, x_{max}]$ i $y \in [0, y_{max}]$. Tada je

$$G(\sigma_1, \sigma_2, \theta, x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{\frac{1}{2}(A(\theta)^T \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix}) \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} (A(\theta) \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix})} \quad (3)$$

usmereno na anizotropno Gausovo jezgro. Fiksne vrednosti $\sigma_1 > 0$ i $\sigma_2 > 0$ označavaju skalu $x \in [0, x_{max}]$, $y \in [0, y_{max}]$ i pravac, respektivno, dok θ i $A(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ za $\theta \in [0, 2\pi]$, označava orijentaciju kernela (3) i njenu 2D rotacionu matricu, respektivno. Dobija se filter banka koja se primenjuje nad određenom teksturom slike signala $F(x, y)$ definisane u (2), koristeći *Laplacian kernel* (3), odnosno, *bar detektor*, u nekoliko različitih skala $S_k = \{(\sigma_1^{(i)}, \sigma_2^{(i)})\} i = 1, \dots, R$. U razmatranje se uzimaju samo promene vertikalne orijentacije tekture slike, pošto su takve promene nosioci informativnog sadržaja vezanog za diskriminativnost u zadatku klasifikacije koji je od interesa. Naime, koristi se samo $\theta = \pi/2$, čime se uzimaju u obzir samo vertikalno orijentisane anizotropne komponente jezgra (3). Deli se $[0, y_{max}]$ u M podintervale $\{[y_{i-1}, y_i] \mid i = 1, \dots, M\}$ u fiksnom vremenskom okviru k , $[y_{i-1}, y_i]$ koji korespondiraju na odgovarajućim frekvencijama $|S(k, \omega)|^2$. *I-ti* bend filter banke, odgovara intervalu $[y_{i-1}, y_i]$ sastoji se od R vertikalnih komponent i LM MR8 filtera banke [LM], primenjen na tri skale koje su prethodno definisane. Jedan određeni vektor za neki fiksni vremenski okvir k se dobija primenom predložene filter banke na k -tom tekstonu $F_k(x, y)$, $x \in [k, k+1]$ dobijen od tekture slike $F(x, y)$, $x \in [0, x_{max}]$, nad vremenskim okvirom k . Zapravo, za svako k će se dodavati novih R komponenti, svaka za različite skale, na prethodno obrađen vektor. Komponente se dobijaju kao

$$v_{k,i} = G(\sigma_1^{(i)}, \sigma_2^{(i)}, \pi/2, x, y) * F_k(x, y) \Big|_{x=k, y=y_{i-1}} \quad (4)$$

za $i = 1, \dots, R$

Na osnovu toga dobija se set predprocesiranih obeležja sub-vektora $V_k = [v_{k,1} \dots v_{k,R}]$. Iz svakog izdvojenog obeležja u , izdvaja se q_u , i formira se predprocesirani vektor V_k^u , $k = 1, \dots, q_u$. Vektor V , je tada slučajna promenljiva, tako da V_k^u su njegove realizacije, za svaki vremenski okvir k . Dalje se vrši kompakifikacija i robustifikacija obeležja, tako što se koristi reprezentacija preko statističkih momenta, čime se ujedno vrši i redukcija dimenzionalnosti modela. Motiv je činjenica da pomoću dovoljnog broja momenata (usrednjavanje po vremenu), se može predstaviti raspodela V . Zapravo, primećuje se (ako se uzme u obzir kontinualanlo vreme t umesto diskretnog vremenskog okvira k), da postoji jedinstvena korespondencija između raspodele verovatnoća p_{V^u} i k_{V^u} , a njegova karakteristična funkcija je

$$k_{V^u}(t) = E[e^{iV^u t}] = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(it)^j}{j!} E((V^u)^j) \quad (5)$$

$$E((V^u)^j) = [E((V_1^u)^j), \dots, E((V_R^u)^j)]$$

gde je usrednjavanje po vremenu t . Tako, koristeći dovoljno veliki broj L_1 momenata $E((V^u)^j), j = 1, \dots, L_1$, dobija se dobra aproksimacija $p_{v_k^u}$, ali ako je L_1 dovoljno mali, dobija se robustno predstavljanje, tj. uprošćavanje obeležja koja predstavljaju. Tako se dobija konačni vektor obeležja koji se koristi u zadatku prepoznavanja:

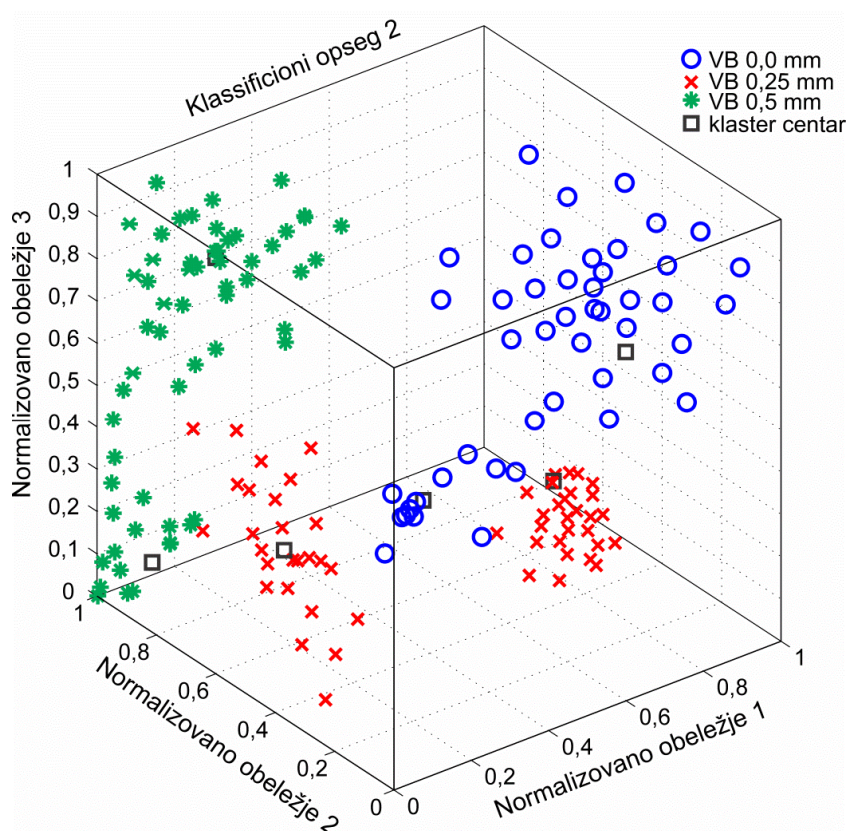
$$U_1 = [u_1^1 \dots u_1^1 \dots u_R^{L_1} \dots u_R^{L_1}]$$

gde označavaju $u_{k,i}^j = E((V_i^u)^j)$.

5.0 Prikaz rezultata verifikacije

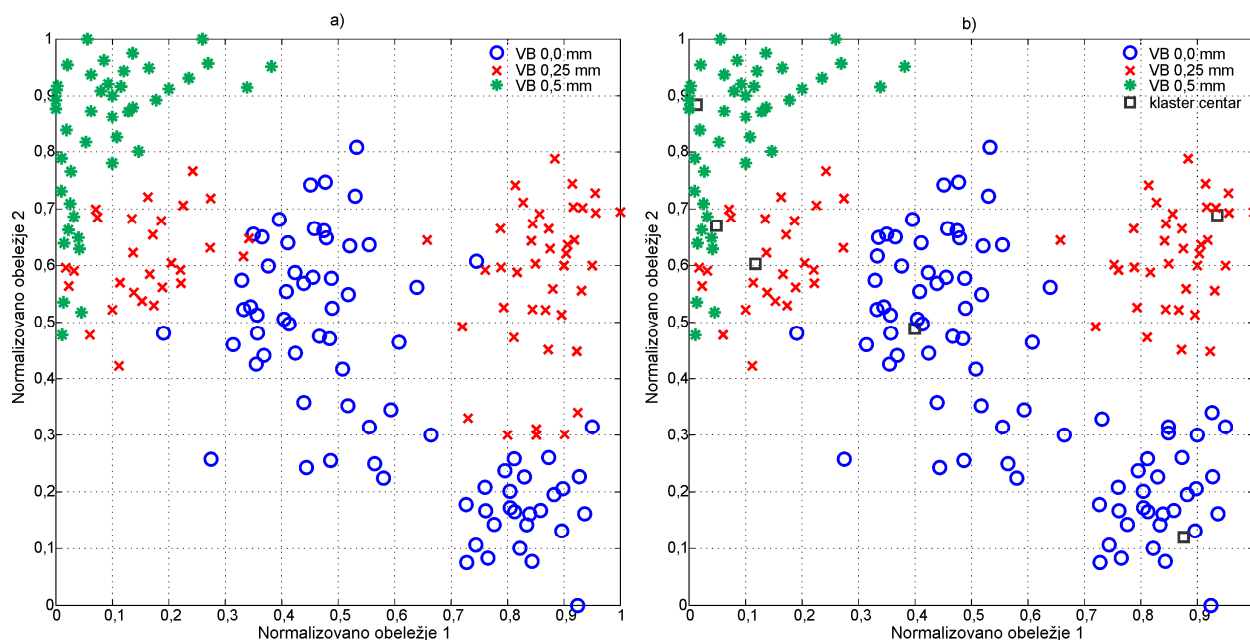
Provera predloženog modela rađena je na eksperimentalnim podacima koji su podeljeni u dve grupe, set za obuku koji sadrži oko tri četvrtine eksperimentalnih podataka, kao i test set koji sadrži preostalu četvrtinu podataka. Svi podaci su prikupljeni tokom serije eksperimentalnih istraživanja. Setovi podataka su pažljivo organizovani tako da svaki sadrži podatke iz svih kombinacija parametara obrade i stepena pohabanosti alata.

Prikazani metod klasifikacije korišćen u klasifikaciji izdvojenih obeležja formira klastere na osnovu matrice klasifikacije. Nakon ekstrakcije obeležja, prikazanim metodom, sledeći korak je klasterovanje ulaznih podataka u apriori klastere. Klasifikacija, odnosno, grupisanje obeležja istovremeno se obavlja u tri dimenzije, definisane kroz tri vektora, odnosno, tri centralna momenta: *varijansa*, *skevnoss* i *Kurtosis*. Analize su pokazale da za izabrani način ekstrakcije obeležja kombinovanje njihovih korelacija daje najbolje rezultate. Model klasifikacije je proveren pomoću funkcije obuke koja je postavljena definisanjem šest klaster centara, po jedan klaster centar za svaku grupu habanja u tri različita opsega.



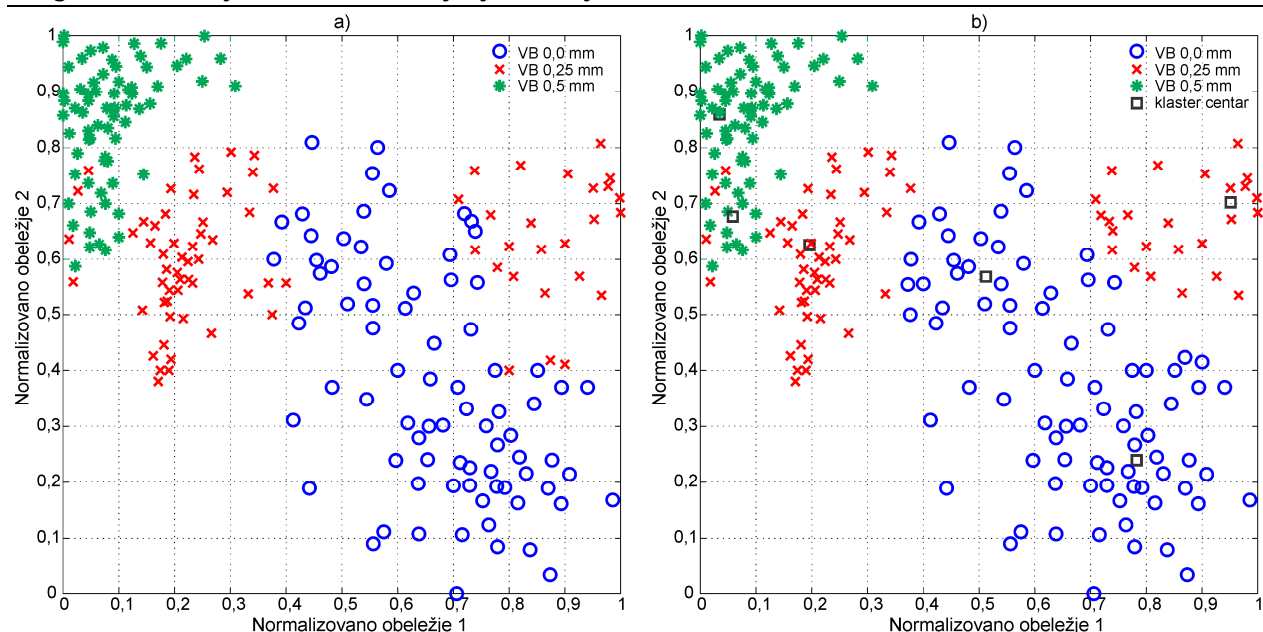
Slika 5. Raspored klastera normalizovanih vektora obeležja u drugom klasifikacionom opsegu

Slika 5 prikazuje rezultate apriori klasifikacije izdvojenih vektora obeležja i korišćenja FCM algoritma u drugom *scale* (opsegu) sa međusobnim odnosom sva tri obeležja (statistička momenta) međusobno. Za svaki opseg (3 opsega) definisan je međusobni odnos između izdvojenih obeležja koja definišu ulazne vektore.

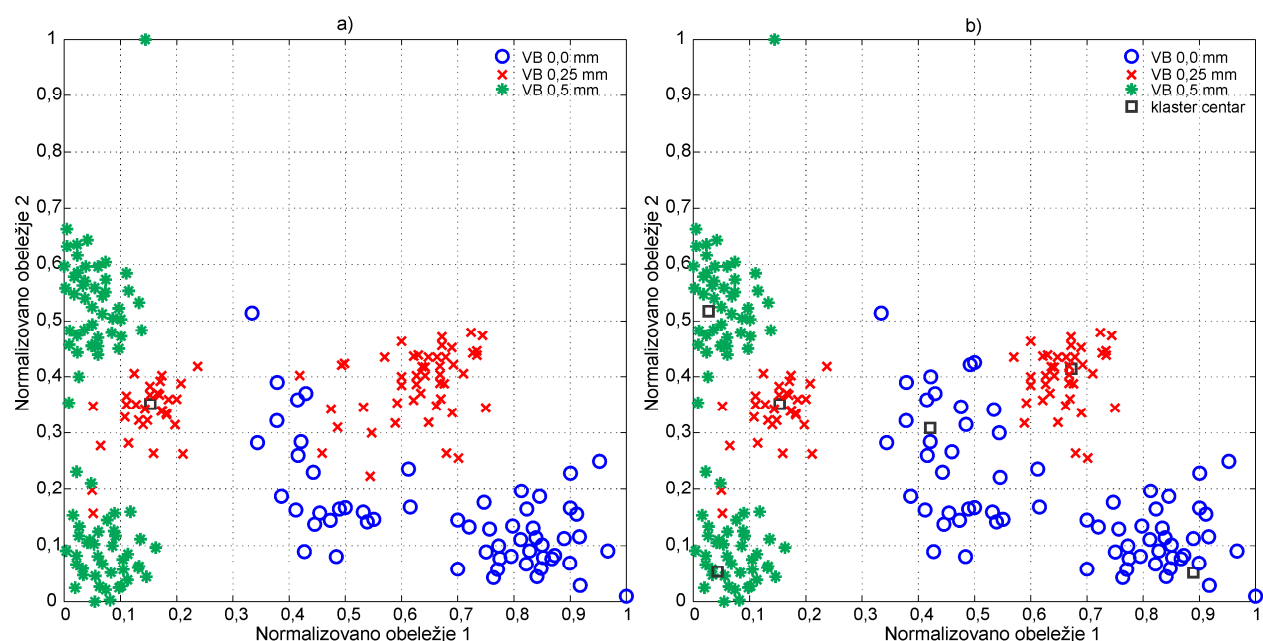


Slika 6. Raspored normalizovanih vektora obeležja u prvom opsegu,
a) apriori raspored izdvojenih obelezja za prvi opseg
b) klasterizovani raspored obeležja za prvi opseg

Da bi se bolje procenio međusobni uticaj određenih obeležja kao raspored elemenata obučavajućeg skupa, slike 6 do 8 prikazuju raspored elemenata vektora obeležja u 2D prostoru normalizovanog obeležja 1 (*varijanse*) i normalizovanog obeležja 2 (*skevness*). Prikaz na slici 6 je raspored elemenata izdvojenih obeležja u prvom opsegu, u okviru prostora normalizovanom *varijanse* - *skevness*, dok slike 7 i 8 pokazuju isti normalizovani 2D prostor, odnos istih normalizovanih obeležja (*varijanse* i *skevness*), za opsege dva i tri.



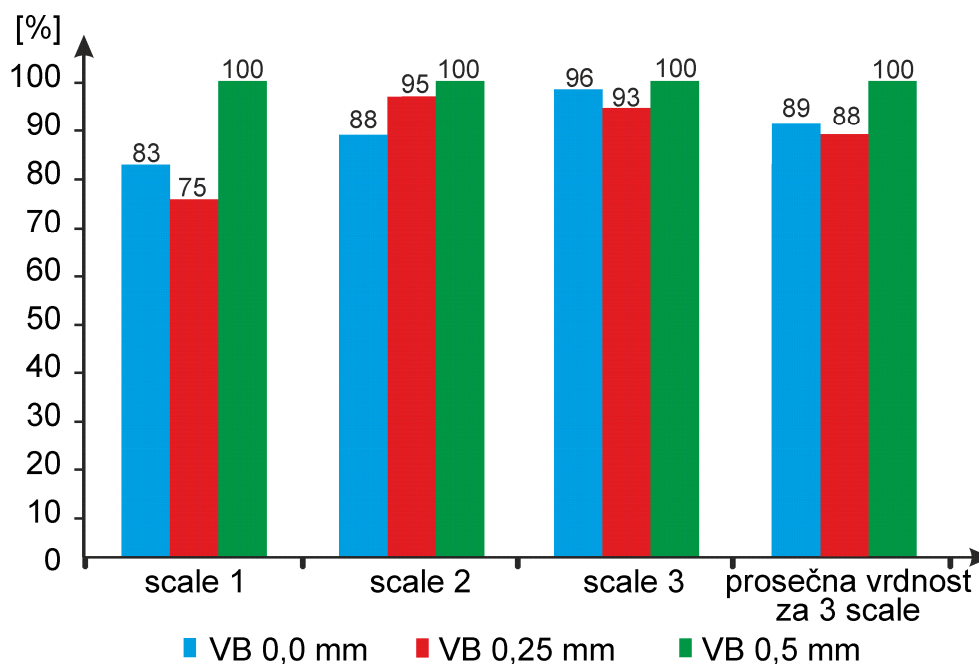
Slika 7. Raspored normalizovanih vektora obeležja u drugom opsegu,
a) apriori raspored izdvojenih obeležja za drugi opseg
b) klasterizovani raspored obeležja za drugi opseg



Slika 8. Raspored normalizovanih vektora obeležja u trećem opsegu,
a) apriori raspored izdvojenih obeležja za treći opseg
b) klasterizovani raspored obeležja za treći opseg

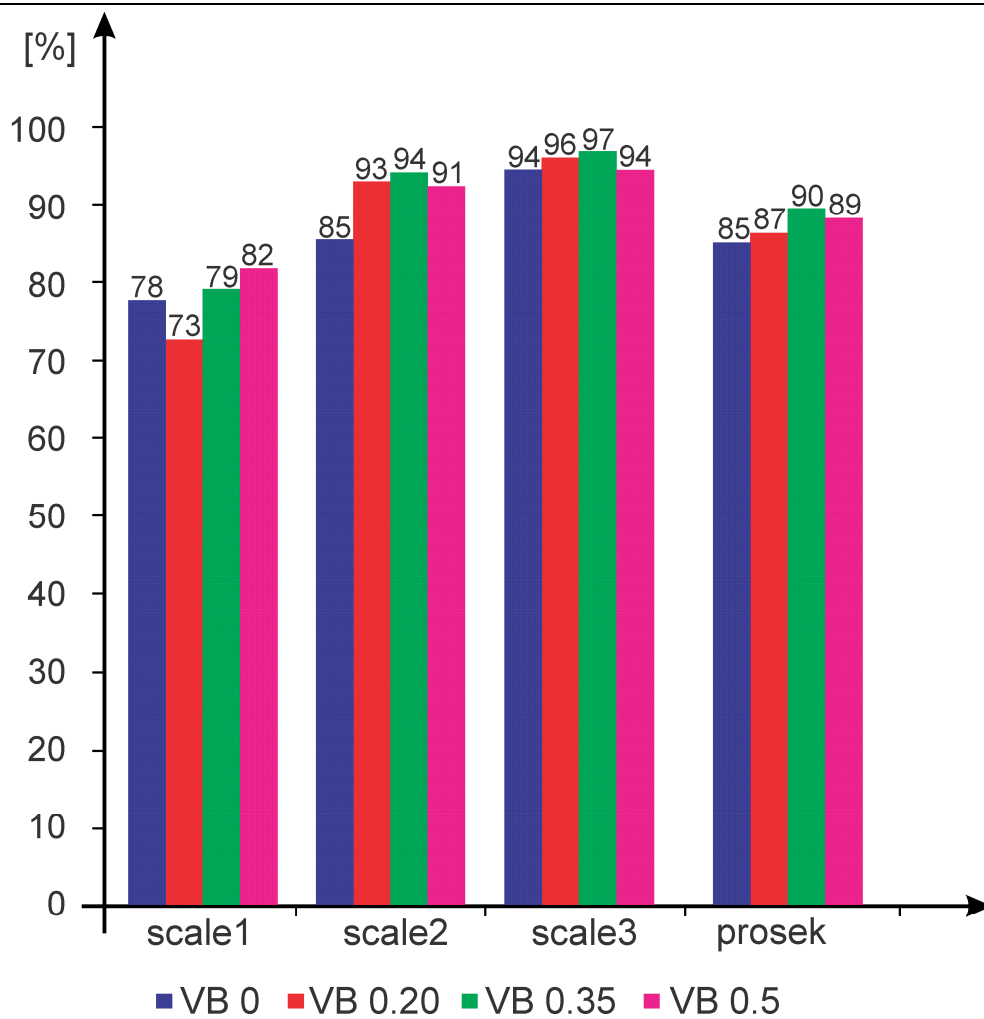
Da bi se ocenila uspešnost klasifikacije, tj. broj uspešno klasifikovanih obeležja u pojedinim razmerama izvršena je statistička provera zastupljenosti dobro klasifikovanih obeležja po opsezima. Slika 9 prikazuje procenat zastupljenosti uspešno klasifikovanih obeležja po pojedinim opsezima primenjenim algoritmom u odnosu na apriori klasifikaciju za određena

stanja pohabanosti reznog alata. Na slici se može uočiti nešto niži procenat tačno klasifikovanih obeležja za alat iz duge grupe u prvom opsegu. Međutim, može se uočiti da se za druge opsege taj procenat zastupljenosti uspešno klasifikovanih obeležja značajno povećava, tako da se prosečna vrednost procenata može smatrati zadovoljavajućom.



Slika 9. Rezultati provere klasifikacije kontrolnim skupom

Zbog potvrde i provere prethodnih rezultata urađena je nova provera sa drugim eksperimentalnim rezultatima i drugačijom podelom klasa pripadnosti (slika 10). Provera je izvršena nad dve grupe signala vibracija. U okviru prve grupe signala, koja obuhvata 100 fajlova, signali su podeljeni u 4 klase na osnovu stepena pohabanosti (25 fajlova u svakoj klasi). Promene u pohabanosti su kontinualne, te granice između pojedinih klasa nisu oštre. Stoga se pod tačnom klasifikacijom podrazumeva klasifikacija pri kojoj se određena oznaka klase $C = 1, \dots, 4$ ne razlikuje za više od 1 od pretpostavljene vrednosti, tj. ukoliko je rezultat klasifikacije $c \in C$, za tačnu klasifikaciju potrebno je da "stvarna" klasa bude $c-1 \leq c_t \leq c+1$, $c_t \in C$, pri čemu veći broj klase odgovara većem stepenu oštećenja.



Slika 10. Rezultati provere klasifikacije kontrolnim skupom za podelu habanja u četiri grube

6.0 Zaključna razmatranja

Rezultati do kojih se došlo eksperimentalnim analizama prikazanim i u [1, 27, 28, 29] potvrđuju pretpostavku da predloženi model ekstrakcije obilježja i klasifikovanja stanja pohabanosti ima potrebnu preciznost klasifikovanja habanja i monitoringa reznog alata. Pored toga, rezultati pokazuju da predloženi način klasifikacije zahteva niz treninga koji se sastoje od većeg broja kvalitetnih ulaznih vektora. Takođe, važan preduslov za preciznu klasifikaciju je primenjivanje većeg broja kombinacija između parametara obrade tokom inicijalizacije, odnosno, u toku obuke sistema prepoznavanja stanja pohabanosti alata.

Ovaj pristup na robustan način klasifikuje stanje habanja alata. Rezultati eksperimenta pokazuju da ovaj pristup prevazilazi standardne metoda u praćenju stanja alat. Osim toga, predloženi postupak se takođe može koristiti u proceni stanja drugih metoda obrade, kao što su bušenje i glodanje. Kao nedostatak ove metode može se smatrati zahev za visokim performansama računarskog sistema u fazi obuke. U budućnosti, neka poboljšanja treba preduzeti na povećanju performansi izdvajanja obeležja i fleksibilnosti modela. Takođe, postupak izdvajanja obeležja iz vawelet i vremenskog domena doprineće boljem sagledavanju dinamike degradacije rezene geometrije alata, tj. procesa habanja alata i povećanja rezolutnosti.

7.0 Literatura

- [1] Antić, A., Kozak, D., Kosec, B., Šimunović, G., Šarić, T., Kovačević, D., Čep., R., (2013), Influence of Tool Wear on the Mechanism of Chips Segmentation and Tool Vibration, *Tehnicki Vjesnik* 20, (1): 105-112,
- [2] Dutta, A.K., Paul, S., Chattopadhyay, A.B., (2000), Fuzzy controlled backpropagation neural network for tool condition monitoring in face milling, *International Journal of Production Research* 38, (13) pp 2989–3010, ISSN 0020-7543.
- [3] Balazinski, M., Czogala, C., Jemielniak, K., Leski, J., (2002), Tool condition monitoring using artificial intelligence methods, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 15, pp 73–80, ISSN 0952-1976.
- [4] Scheffer, A., Heyns P.S., (2004), An Industrial Tool Wear Monitoring System for Interrupted Turning, *Mechanical Systems & Signal Processing* 18, pp 1219–1242, ISSN 0888-3270.
- [5] Barreiro, J., Castejon, M., Alegre, E., Hernandez, L.K., (2008), Use of descriptors based on moments from digital images for tool wear monitoring, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48, (9), pp. 1005–1013.
- [6] Salgado, D.R., Alonso, F.J., (2006), Tool wear detection in turning operations using singular spectrum analysis, *Journal of Materials Processing Technology* 171, (1), pp. 451–458.
- [7] Wang, W.H., Hong, G.S., Wong, Y.S., Zhu, K.P., (2007), Sensor fusion for on-line tool condition monitoring in milling, *International Journal of Production Research* 45, (21), pp 5059–5116, ISSN 0020-7543.
- [8] Bukkkapatnam, S.T.S., Kumara, S.T.S., Lakhtakia, A., (2000), Fractal Estimation of Flank Wear in Turning, *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, Transactions of the ASME* 122, pp 89–94, ISSN 0022-0434.
- [9] Sick, B., (2002), On-line and Indirect Tool Wear Monitoring in Turning with Artificial Neural Networks, *Mechanical Systems and Signal Processing* 16, (4), pp 487 – 546, ISSN 0888-3270.
- [10] Dutta, A.K., Chattopadhyaya, A.B., Rayc, K.K., (2006), Progressive flank wear and machining performance of silver toughened alumina cutting tool inserts, *Wear* 261, pp 885–895, ISSN: 0043-1648.
- [11] Ghosh, N., Ravi, Y.B., Patra, A., Mukhopadhyay, S., Paul, S., Mohanty, A.R., Chattopadhyay, A.B., (2007), Estimation of tool wear during CNC milling using neural network-based sensor fusion, *Mechanical Systems and Signal Processing* 21, pp 466–479, ISSN 0888-3270.
- [12] Teti, R., Jemielniak, K., O'Donnell, G., Dornfeld, D., (2010), Advanced monitoring of machining operations, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59, pp 717–739.
- [13] Binsaeid S, Asfoura S, Chob S, Onarc A (2009) Machine Ensemble Approach for Simultaneous Detection of Transient and Gradual Anomalies in Milling Using Multisensor Fusion, *Journal of Materials Processing Technology* 209, pp 4728–4738.

- [14] Bassiuny, A.M., Li, X., (2007), Flute breakage detection during end milling using Hilbert–Huang transform and smoothed nonlinear energy operator, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, pp 1011–1020. ISSN 0890-6955.
- [15] Cho, S. Binsaeid, S., Asfour, S., (2010), Design of multisensor fusion-based tool condition monitoring system in end milling, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 46, pp 681-694. ISSN 0268-3768.
- [16] Ding, F., He, Z., (2011), Cutting tool wear monitoring for reliability analysis using proportional hazards model, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 57, 5-8, pp 565-574. ISSN 0268-3768.
- [17] Kunpeng, Z., Yoke San, W., Geok Soon, H., (2009), Wavelet analysis of sensor signals for tool condition monitoring: A review and some new results, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49, pp 537–553, ISSN 0890-6955.
- [18] Rehorn, A.G., Jiang, J., Orban, P.E., (2005) State of the art methods and results in tool condition monitoring: a review, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 26, pp 693–710, ISSN 0268-3768.
- [19] Sharma, V.S., Sharma, S. K., Sharma, A.K., (2008), Cutting tool wear estimation for turning, *Journal of Intelligent Manufacturing* 19, pp 99–108, ISSN: 0956-5515.
- [20] Tibshirany, R., (1996), Regression Shrinkage and Selection with LASSO, *J. R. Statist. Soc. B*, 58, 1, pp 267-288.
- [21] Tibshirany, R., Saunders, M., Rosset, S., Zhu, J., Knight, K., (2005), Sparsity and smoothness via the fused lasso, *J. R. Statist. Soc. B*, 67, 1, pp 91-108.
- [22] Meinshausen, N., Yu, B., (2009), Lasso-Type Recovery of Sparse Representations for High-Dimensional Data, *The Annals of Statistics*, 37, 1, pp 246–270.
- [23] Lazebnik, S., Schmid, C., Ponce, J., (2005), A Sparse Texture Representation Using Local Affine Regions, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* 27, 8, pp. 1265-1278.
- [24] Varma, M., Zisserman, A., Statistical, A., (2009), Approach to Material Classification Using Image Patch Exemplars, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 31, 11, pp 2032 - 2047.
- [25] Varma, M., Zisserman, A., (2004), Unifying Statistical Texture Classification Frameworks, *Image and Vision Computing*, 22, 14, pp. 1175-1183.
- [26] Leung, T., Malik, J., (2001), Representing and Recognizing the Visual Appearance of Materials Using Three-Dimensional Textons, *Int'l J. Computer Vision* 43, 1, pp. 29-44.
- [27] Antić, A., Zeljković, M., Petrović, P.B., Živković, A., Hodolč, J., (2012), Experimental analysis and FEM modelling of a cutting tool vibrations, *Strojarstvo* 5, 2, pp. 117-125. ISSN 0562-1887.
- [28] Antić, A., Petrović, P. B., Zeljković, M., Kosec, B. Hodolič, J., (2012), The Influence of Tool Wear on the Chip-Forming Mechanism and Tool Vibrations, *Materiali in Tehnologije* 46, 3, pp. 279-285. ISSN 1580-2949.
- [29] Antić, A., Šimunović, G., Šarić, T., Milošević, M., Ficko, M., (2013), A Model of Tool Wear Monitoring System for Turning, *Tehnicki Vjesnik* 20, 2, pp. 247-254. ISSN 1330-3651.

Одлуком Наставно научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, донетој на 31. редовној седници одржаној 26.11.2014. године, именовани смо за рецензенте Техничког решења под називом "ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА", ТР-35025, чији су аутори: др Ацо Антић, доцент, Др Петар Б. Петровић, редовни професор, Др Милан Зељковић, редовни професор, Др Јанко Ходолич, редовни професор и Др Марко Јанев, истраживач. На основу прегледа Елабората овог техничког решења и увида у публиковане радове о њему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење "ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА", ТР-35025, аутора: доцента Др Аце Антића, редовног професора Др Петара Б. Петровића, редовног професора Др Милана Зељковића, редовног професора Др Јанка Ходолича и истраживача Др Марка Јанвеа, је описано у Елаборату који садржи 24 странице формата А4 написаних фонтом 12 са нормалним "single" проредом. Елаборат садржи седам поглавља у које спада и списак коришћене литературе са 29 литературних наслова. Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Научно-теоријске подлоге на којима се базира техничко решење
3. Програмско решење издвајања обележја у оквиру неуро-фази система за препознавање стања похабаности алата
4. Опис програмског решења система за препознавање стања похабаности алата
5. Приказ резултата верификације
6. Закључна разматрања
7. Литература

Техничко решење припада области софтвера предвиђеног за издвајање обележја у систему за препознавање стања похабаности резног алата реализованог у оквиру пројекта "САВРЕМЕНИ ПРИЛАЗИ У РАЗВОЈУ СПЕЦИЈАЛНИХ РЕШЕЊА УЛЕЖИШТЕЊА У МАШИНСТВУ И МЕДИЦИНСКОЈ ПРОТЕТИЦИ" ТР-35025 из програма технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Програмско решење за издвајање обележја се користи на Факултету техничких наука као средство за одрживање стања похабаности алата и у фази инсталисања је у предузећу "ФКЛ" из Темерина које се бави развојем и изградом лежаја и кардана.

У поглављу **Увод** полази се од значаја система за надзор алата у металопрерађивачкој индустрији, те констатује непрекидан развој техничких карактеристика истих. Указује се на чињеницу да савремени, интелигентни, системи за надзор хабања алата за обраду резањем треба да својим карактеристикама замене и надограде недостатке и могућности класичних система у смислу континуираног, брзог и прецизног одређивања стања похабаности алата. Такође, се указује на могућности и подручја примене програмског решења за надзор стања похабаности алата.

Поглавље **Научно-теоријске подлоге на којима се базира техничко решење** наводе се одређене развијене методе и моделе за надзор хабања алата. Указује се и на велики утицај избора метода за екстракцију обележја у смислу добијања адекватних информација о стању похабаности резног алата. На основу најновијих литературних извора приказани су актуелни резултати истраживања у области. Анализирани радови су указали на могућност и потребу усавршавања и даљег развоја метода екстракције обележја, селекције обележја и примене метода вештачке интелигенције у системима за надзор хабања алата.

У поглављу **Програмско решење издвајања обележја у оквиру неуро-фази система за препознавање стања похабаности алата** је описана структура целокупног развијеног

система. Анализиране су карактеристике развијеног система са приказом сваког развијеног модула појединачно.

У поглављу *Опис програмског решења система за препознавање стања похабаности алата* је описана општа структура и релаизација програмског решења модула за екстракцију обележја. Структура програмског решења је описана кроз начин функционисања сваког подсистема засебно. Програмско решење се састоји из два дела која су међусобно повезана, а служе за издвајања и селекцију сигнификантних обележја из целокупне групе издвојених обележја. Кључна тачка у вези са издвајањем обележја јесте развијена нова метода, названа 2Д, у задатку препознавања стања похабаности алата. Карактеристика развијене методе је да се користи спектрограм краткотрајне дискретне Фуриерове трансформације (*STDFT*) на прозораном сигналу у различитим појасевима и опсезима 2Д текстуре "слике" добијене применом нове развијене технике.

У поглављу *Приказ резултата верификације* приказани су резултати провере система за две различите групе узорака у току експерименталне лабораторијеке провере. Кроз приказане резултате уочава се висок степен корелације примењене методе са стварним стањем похабаности алата.

У оквиру *Закључних разматрања* се на основу приказаних чињеница у елаборату сумирају могућности развијеног програмског решења у истраживачким и активностима надзора стања похабаности резних алата у експлоатацији.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења "ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА" су елаборатом детаљно описали методологију рада система за надзор алата и модула за издвајање обележја. Карактеристике и структура програмског решења указују да ово техничко решење представља допринос у подручју аутоматизације флексибилних технолошких система у које спадају системима за надзор алата и подсистеми за издвајање обележја у оквиру истих. Предлажемо Наставно научног већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, да софтвер "ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА" (М- 85) прихвати као ново техничко решење.

У Београду и Новом Саду, децембар 2014. год.



Проф. др Зоран Миљковић,
Машински факултет, Београд



Проф. др Павел Ковач,
Факултет техничких наука, Нови Сад



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-01-05

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 33. седници одржаној дана 24.12.2014. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 13.1.1.: На основу позитивног извештаја рецензената верификују се техничко решење под називом:

ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ МОДУЛА ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ОБЕЛЕЖЈА У ОКВИРУ НЕУРО-ФАЗИ СИСТЕМА ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ СТАЊА ПОХАБАНОСТИ АЛАТА

Аутори техничког решења: др Ацо Антић, др Петар Б. Петровић, др Милан Зељковић, др Јанко Ходолич, др Марко Јанев.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Проф. др Раде Дорославачки