

PROCENJIVANJE SLIČNOSTI OBLIKA ZASNOVANO NA TEHNIČKIM ELEMENTIMA

Miloš Ristić, dipl.inž.maš.¹, mr Boban Cvetanović¹, mr Nenad Janjić²

¹Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu

²Visoka škola primenjenih strukovnih studija u Vranju

Rezime: Najveća ušteda u celokupnom procesu proizvodnje i distribucije proizvoda jeste u fazi projektovanja proizvoda. Kako bi projektant što brže i kvalitetnije odgovorio na zahteve kupca/tržišta, treba da raspolaze brojnim alatima i informacijama. U ovom radu biće predstavljen postupak procenjivanja sličnosti geometrije mašinskih delova, kao jedan važan i koristan alat. Sa jedne strane vrši se pretraga baze podataka obradenih mašinskih delova radi pronalaženja geometrijski sličnih delova čime se može proceniti cena novog dela, modifikacijom cene pronađenog dela. Sa druge strane, vrši se i pretraga baze podataka delova dobijenih plastičnom deformacijom zasnovana na sličnosti površine tehničkih elemenata čime se inženjeru daje mogućnost pronalaženja potencijalnog proizvođača alata za novi deo. Na ovaj način, ukazuje se da jedan deo može biti sličniji drugom delu u pogledu celokupnog oblika ili po svom tipu i broju tehničkih elemenata, ali da samim drugim deo više ogovara u pogledu troškova obrade. Ovaj rad, preglednog tipa, ukazuje na brojna istraživanja iz ove oblasti, ali daje i očekivane industrijske dobiti iz ugla korišćenja postojećih rešenja za izradu novog proizvoda ili redizajn postojećeg.

Ključne reči : Tehnički element, Pretraga delova, Procenjivanje sličnosti delova.

1. UVOD

Popularnost 3D CAD sistema za rezultat ima veliki broj proizvedenih CAD modela. Dostupnost ovih CAD modela otvara nove mogućnosti za arhiviranje, analiziranje i ponovnu upotrebu podataka. 3D geometrijska informacija je jedna od glavnih komponenti CAD modela. Osnovni problem u geometrijskom razmatranju modela je određivanje sličnosti oblika. Kod mnogih konstruktorskih i proizvodnih primena, grub oblik 3D delova nema značajnu ulogu u određivanju sličnosti. Umesto toga, određene osobine delova imaju dominantnu ulogu u određivanju sličnosti između delova.

Različiti modeli koji se baziraju na tehničkim elementima (*engl. feature*) se uglavnom kreiraju tako što se koristi njihov sopstveni koordinatni sistem. Stoga, ocenjivanje sličnosti tehničkih elemenata uključuje nalaženje optimalne transformacije potrebne za podešavanje dva seta vektora tehničkog elementa. Optimalno podešavanje odgovara minimalnoj vrednosti funkcije rastojanja koja je izračunata između dva seta vektora tehničkih elemenata. Da bi izračunali funkciju rastojanja najbliži susedni vektor tehničkog elementa mora da se identifikuje. Postoje algoritmi [1], [2], [3] za optimalno podešavanje tehničkih elemenata koji se baziraju na podeli prostora na takve regione u kojim su najbliži susedni vektori nepromenljivi unutar svakog regiona. Ovi algoritmi mogu da rade sa podesivim funkcijama rastojanja i imaju polinomsku složenost vremena. Za transformacijske prostore većih dimenzija teže je projektovati algoritme koji se baziraju na podeli transformacijskog prostora zbog toga što su strukture podataka koji su uključeni veoma složene. U ovim slučajevima, razvijeni su algoritmi podešavanja tehničkih elemenata koji se baziraju na iterativnim (ponovnim, učestalim) strategijama. Iterativne strategije koriste algoritme optimalnog podešavanja tehničkih elemenata koji se baziraju na podeli transformacijskih prostora manjih dimenzija. Okvir analize sličnosti koja se bazira na tehničkim elementima (*engl. a feature-based similarity analysis*) izgrađen je na osnovu algoritama prilagođavanja tehničkih elemenata.

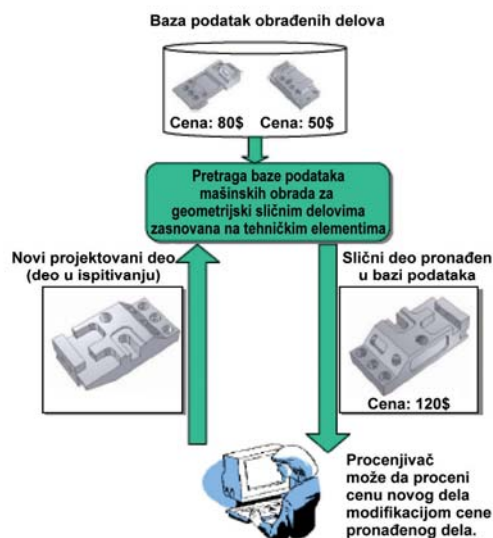
Procenjivanje sličnosti koje se bazira na tehničkim elementima u budućnosti treba da obezbediti osnove za projektovanje novih algoritama sličnosti tehničkih elemenata koji će omogućiti projektantima da uspešno pronalaze arhivirane geometrijske informacije. Ovi alati treba da olakšaju ponovnu upotrebu informacija i tako smanje vreme razvoja proizvoda i troškove.

Proizvodne kompanije stalno traže način da smanje troškove i vreme potrebno da proizvod stigne na tržište [4]. Intuitivno znamo da ukoliko su dva proizvoda slična, moguće je ponovo upotrebiti informaciju o jednom proizvodu kako bi došli do informacije o drugom. Postoji mnogo mogućih primena gde ponovna upotreba informacija može biti značajna. Reprezentativni primeri su formiranje familije delova, stvaranje predloga za redizajn, izbor dobavljača, procena troškova, konstrukcija alata, izbor mašine, izbor materijala koji se obrađuje i ponovna upotreba procesa projektovanja.

2. OCENJIVANJE SLIČNOSTU ZASNOVANO NA OBRADI TEHNIČKIH ELEMENATA

Danas mnoge radionice omogućavaju projektantima da putem interneta dostave 3D model dela koji treba da se proizvede i da dobiju procenu troškova koji se bazira na 3D modelu dela. Za neke oblasti izrade, kao što je brza izrada prototipova, približno tačna procena troškova može se dobiti tako što se procenjuje veličina ili težina dela. Ipak, za neke oblasti proizvodnje kao što je obrada, procena troškova zavisi od geometrijskih karakteristika predmeta koji se izrađuje (pre svega se ovo odnosi na specifične detalje određenog predmeta), ali zavisi i od automatskih procedura (koje nisu dostupne za procenjivanje tačnih troškova). Trenutno u takvim slučajevima, ljudi rade procenu troškova. U eri interneta, gde projektanti traže mnoge proračune kako bi doneli odluku, manuelno izračunavanje cene nije ekonomično. Troškovi izarde novog dela može se brzo izračunati tako što se nađe prethodno izrađen deo koji je sličnog oblika kao novi deo. Ako se dovoljno sličan deo može naći u bazi podataka prethodno proizvedenih delova, onda se cena novog dela može izračunati tako što se odgovarajuće cene prethodno proizvedenog dela zamene aktuelnim cenama.

Slika 1 prikazuje primer prethodno proizvedenog dela koji je pronađen pomoću pretraživača baze podataka koji može da se upotrebi kao osnova za obezbeđivanje procene troškova (cene) novog dela.



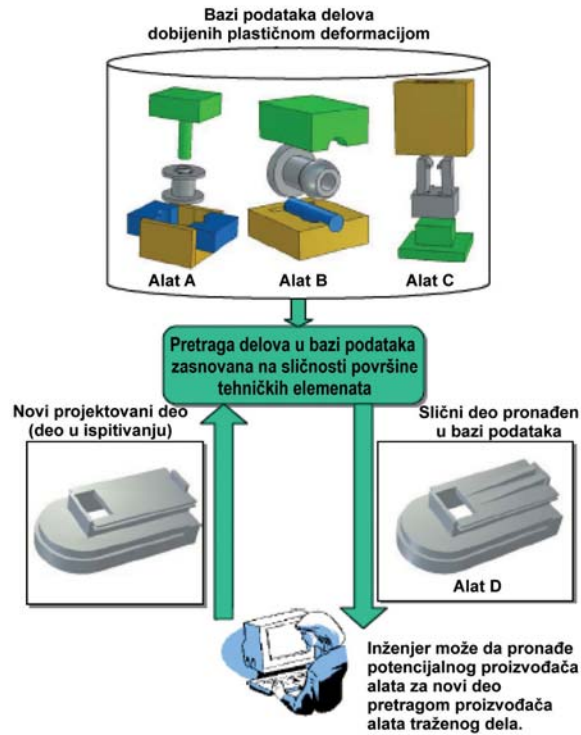
Slika 1: Primer upotrebe sličnog dela u proceni troškova

3. ODREĐIVANJE SLIČNOSTI TEHNIČKIH ELEMENATA NA OSNOVU POVRŠINE

Izbor proizvođača alata je važan korak u oblikovanju plastičnih delova. Postoje mnogo različitih vrsta alata koji se mogu koristiti za kreiranje plastičnih delova u zavisnosti od oblika dela. Različiti proizvođači alata se specijalizuju za izradu različitih vrsta alata.

Projektni tim, ili odgovorni inženjer, treba da analizira oblik dela kako bi odredio najboljeg proizvođača alata za onaj alat koji je potreban za izradu tog dela. Trenutno ne postoji potpuno sveobuhvatni metod (generativni metod) za određivanje tipa alata na osnovu oblika dela. Druga mogućnost za identifikovanje potencijalnih proizvođača je nalaženje sličnih delova i identifikovanje proizvođača alata za slične delove. Ovaj metod trenutno upotrebljavaju iskusni projektanti delova. Ipak, oni se trenutno oslanjaju na svoju memoriju (pamćenje) prilikom pronalaženja sličnih delova.

Slika 2 prikazuje primer prethodno oblikovanog dela koji je pronađen pomoću pretraživača baze podataka i čiji su detalji oblika veoma slični novom plastičnom delu. Zato se proizvođač alata koji je proizveo kalup za pronađeni plastični deo može kontaktirati za obezbeđivanje kalupa za novi plastični deo.



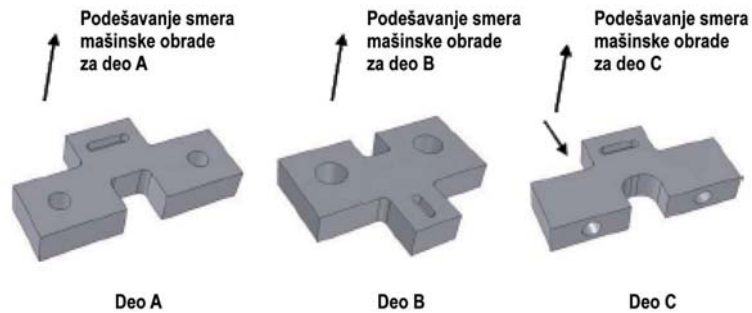
Slika 2: Primer upotrebe sličnog dela u izboru proizvođača alata [5]

4. OPREDELJIVANJE ZA OVU METODU

Mogućnost da se potraže slični predmeti u bazi podataka, tako što se naznači traženi deo, treba da značajno pomogne kompanijama u smanjenju potrebnog vremena i troškova u poređenju sa manuelnim metodama traženja sličnog proizvoda. Trenutno su sledeći alati za traženje dostupni projektantima:

Prvo, ukoliko modeli delova postoje na hard disku, projektanti/konstruktori mogu da koriste pretraživače koji se baziraju na imenima fajlova. Ovaj način pretraživanja ima smisla ukoliko je usvojena neka ustaljena konvencija o imenu dela zasnovana na obliku ili je pak propisan određeni standard. Ipak, stvaranje i razvoj imena koja se zasnivaju na obliku se čini nepraktičnim za mnoge jezike. Drugo, projektanti mogu takođe da zakače beleške na delove i tako ih sačuvaju u PDM (engl. *Product Data Management*) bazama podataka. Ova šema omogućava ograničeno pretraživanje i ima ograničenu moc razlikovanja, pa samim tim i prepoznavanja. U poslednjih nekoliko godina pojavili su se mnogi pretraživači koji se baziraju na sličnosti delova. Ipak, postojeće tehnike za određivanje sličnosti oblika ne pokazuju dobre rezultate kod primene u proizvodnji. Tehnike određivanja sličnosti koje se baziraju na obliku celine mogu da budu odgovorni samo za sveukupni oblik ali imaju tendenciju da zanemaruju važne detalje oblika ukoliko su oni mali. Slika 3 pokazuje primer u kome tehnike za određivanje sličnosti celine ne funkcionišu sa stanovišta troškova obrade. Deo „C“ na slici bi bio označen kao sličniji delu „A“ nego deo „B“ ukoliko se upotrebi tehnika određivanja sličnosti celokupnog oblika. Ipak, troškovi obrade dela „B“ su približniji delu „A“, zbog toga što je za oba potrebno isto podešavanje mašine. Projektant može identifikovati potencijalnog proizvođača alata za novi deo u odnosu na proizvođača alata pronađenog dela.

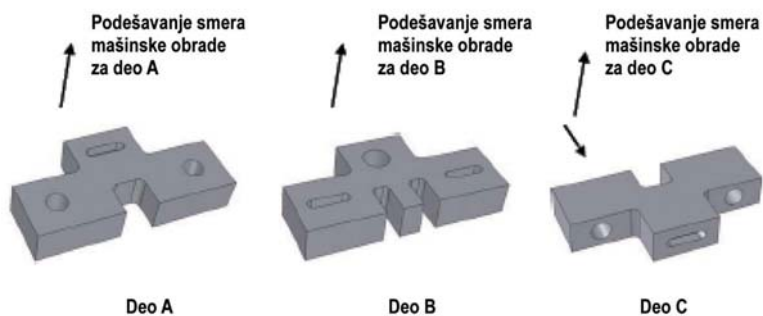
Mnogi konstruktori i inženjeri koji koriste CAD sisteme shvataju projektiivnje u smislu tehničkih elemenata. Zapravo, u većini CAD sistema (npr. Pro/Engineer, Unigraphics, isl.) tehnički elementi su osnovni elementi pomoću kojih se definišu delovi i sklopovi.



Slika 3: Deo C je sličniji delu A u pogledu celog oblika, ali je deo B sličniji delu A u pogledu troškova obrade

Na osnovu analize nekoliko aplikacija, pojam sličnosti će morati da se bazira na tehničkim elementima. Dalje, tehnički elementi se takođe koriste da bi se definisale operacije izrade i kontrole. Tehnički element se može posmatrati kao geometrijski objekat definisan parametrima. Svaki tehnički element ima geometrijske (npr. veličina, pozicija i orijentacija) i negeometrijske (npr. odstupanje, kvalitet površine) osobine koji su sa njim povezani. Za određenu aplikaciju nemaju sve osobine tehničkih elemenata ulogu u određivanju stepena sličnosti. Na primer, kada tražimo delove koji imaju sličnu cenu obrade, pozicije tehničkog elementa nisu važne. Ipak, orijentacija ka tehničkim elementima je presudna kada ona utiče na broj podešavanja ili na samo sklapanje sklopa. S druge strane, kod nekih aplikacija, pozicije tehničkih elemenata mogu da imaju važnu ulogu u određivanju sličnosti. Stoga bi trebalo koristiti samo osobine tehničkih elemenata koje su relevantne za tu aplikaciju kada tražimo slične delove. Ukratko, tehnički elementi obezbeđuju veoma zgodan način uključivanja bitnih i odlučujućih detalja i filterisanje nebitnih detalja u potrazi za sličnim delovima.

Postojeće tehnike procenjivanja sličnosti koje se baziraju na obliku tehničkih elemenata takođe ne daju dobre rezultate kada se primene u proizvodnji. Zapravo one ignorišu (zanemaruju) relativne pozicije i orijentacije tehničkih elemenata, i zato ne mogu da daju dobre odgovore za važne stvari kao što su interakcija između tehničkih elemenata. Slika 4 pokazuje primer u kome se tehnike koje se baziraju na broju tehničkih elemenata nisu primenjive sa stanovišta troškova proizvodnje. Zapravo deo "C" je sličniji delu "A" nego deo "B", ukoliko se koristi tehnika procenjivanja sličnosti tipa i broja tehničkih elemenata. Ipak, cena obrade dela "B" je približnija delu "A", obzirom da je za oba potrebno isto podešavanje mašine.



Slika 4: Deo C je sličniji delu A po tipu i broju tehničkih elemenata, ali je deo B sličniji delu A u pogledu troškova obrade

Pretraživači koji se sada koriste nemaju dobre karakteristike u primenjenoj proizvodnji. Stoga, u ovom trenutku projektanti nalaze delove tako što manuelno otvaraju različite fajlove i "krstare" kroz njih koristeći kompjuterski pomognute sisteme. Ovo je krajnje neefikasno korišćenje projektantovog vremena i postaje sve veći problem kako raste broj modela delova u bazama podataka.

5. PREPORUKE ZA UNAPREĐIVANJE PROCENJIVANJA SLIČNOSTI

Da bi unapredili polje procenjivanja sličnosti oblika za primenu u projektovanju za proizvodnju, Cardone [5] daje četiri preporuke za dalji razvoj:

5.1. Razvoj okvira analize sličnosti oblika koja se bazira na tehničkim elementima

U mnogim aplikacijama za projektovanje i proizvodnju sam oblik 3D delova nema važnu ulogu u određivanju sličnosti. Umesto toga, neke osobine tehničkih elemenata imaju dominantnu ulogu u određivanju sličnosti između dva dela. Stoga nam je potreban okvir koji koristi informacije o tehničkim elementima u procenjivanju sličnosti.

Obično, stepen sličnosti između dva dela može da se izmeri korišćenjem funkcije rastojanja. Različite aplikacije zahtevaju nekoliko (a ponekad i podosta) različita shvatanja o sličnosti. Stoga, da bi bile uspešne, metode kojima se traže sličnosti u obliku bi trebalo da budu u mogućnosti da rade sa funkcijama rastojanja koje su specifične za određenog korisnika. Pored toga što su odgovorni za geometrijske osobine, ove funkcije rastojanja će morati da uzmu u obzir ne-geometrijske osobine kao što su odstupanje i kvalitet površine. Pored toga, svaka osobina tehničkog elementa može da ima različit uticaj na sličnost među delovima, u zavisnosti od primene. Stoga se mora reći da funkcija rastojanja prepušta primat drugim karakteristikama modelskih formi u zavisnosti od njegovog značaja za aplikaciju na koju se odnosi.

5.2. Optimalno podešavanje modela koji se baziraju na tehničkim elementima na osnovu podele transformacionog prostora

Mere sličnosti koje se baziraju na tehničkim elementima su definisane pomoću 3D delova. Stoga je 2D deo predstavljen setom vektora tehničkog elementa. Da bi izmerili sličnost između dva seta vektora neophodno je proračunati rastojanje između njih. Rastojanje zavisi od relativnog položaja dva seta vektora koji pripadaju 3D delovima i od najbližeg suseda svakog vektora tehničkog elementa (*engl. feature vector*). Uopšteno najbliži sused svakog vektora i veličina rastojanja se menja kada primenimo transformacije čvrstog tela na set f vektora tehničkog elementa. Tako u cilju ocenjivanja sličnosti između dva dela, prostor transformacije je podeljen na regione unutar kojih je najbliži sused svakog vektora tehničkog elementa nepromenljiv. Onda transformacija čvrstog tela koja je zapravo minimalno rastojanje između dva seta vektora tehničkog elementa treba da bude upoređen za svaki region. Na kraju potrebno je naći transformaciju čvrstog tela koja dopušta minimalno rastojanje u svim regionima. Nalaženje optimalnog podešavanja je računski zadatak koji uključuje određen broj stepena slobode, koji zavisi od transformacija koje se koriste i od karakteristika vektora tehničkih elemenata koje razmatramo.

Uopšteno, nalaženje optimalnog podešavanja je teže kada je uključena transformacija većih dimenzija. Za transformacije manjih dimenzija moguće je projektovati algoritam koji može da nađe optimalno podešavanje. Stoga je neophodno identifikovati klase transformacija za koje se projektuju algoritmi za nalaženje optimalnog podešavanja.

5.3. Podešavanje modela koji se baziraju na tehničkim elementima na osnovu iterativnih Strategija

Teško je projektovati algoritme iz kojih se dobija optimalno podešavanje modela koji se baziraju na tehničkim elementima za transformacioni prostor većih dimenzija. Ipak, mnoge aplikacije uključuju nalaženje optimalnog podešavanja za transformacije većih dimenzija. U ovim slučajevima rešenje se može pronaći u iterativnom rešavanju više različitih problema podešavanja u transformacijskim prostorima manjih dimenzija. Ipak, interaktivne startegije mogu da se “zaglave” u lokalnim minimumima i da im bude potrebno mnogo vremena da se približe jedna drugoj. Zato je neophodno identifikovati klase problema podešavanja za koje se iterativne startegije mogu koristiti za efikasno računanje.

5.4. Primena algoritama za određivanje sličnosti zasnovano na tehničkim elementima:

Algoritmi sličnosti koji se zasnivaju na tehničkim elementima mogu da se koriste za izračunavanje sličnosti oblika koji se zasniva na tehničkim elementima u mnogim aplikacijama. Ipak, važno je za svaku aplikaciju da se odabere slika tehničkog elementa koja karakteriše svaki deo na osnovu njegove

najznačajnije karakteristike. Onda, na osnovu izabranih predstava tehničkih elemenata, neophodno je proučiti radne karakteristike algoritma podešavanja tehničkih elemenata za tu određenu aplikaciju. U [5] predstavljane su dve aplikacije sa ciljem da se demonstrira moguća upotreba algoritama za procenjivanje sličnosti koja se zasniva na površinama tehničkih elemenata.

6. ISTRAŽIVANJA IZ OVE OBLASTI

Popularnost 3D modela postavlja nove izazove u upravljanju bazama podataka koje su sve veće. Kako se sve više i više 3D modela dodaje bazama podataka, potreba da se baze 3D modela organizuju i indeksiraju je neizbežna. Ovo će obezbediti sistematski i efikasan način nalaženja sličnih modela iz baze. Jedan od glavnih kriterijuma koji se koristi za organizovanje i indeksiranje baze podataka je sličnost oblika 3D modela.

Tokom prethodnih nekoliko godina napisano je nekoliko radova koji opisuju algoritme za procenjivanje sličnosti oblika. Takođe su razvijeni specijalni algoritmi za medicinski i kompjuterski vid. Ipak, najveći broj radova može da se podeli u dve različite kategorije: (1) procenjivanje sličnosti 2D oblika i (2) ocenjivanje sličnosti 3D oblika. Reprezentativni radovi u kategoriji 2D uključuju obeležja oblika koji se zasnivaju na Furijerovom deskriptoru [6], obrtnim funkcijama [7] i funkcijama savijanja, distorcije [8]. Između 2D geometrije i 3D geometrije postoji nekoliko fundamentalnih razlika. Nažalost, u većini slučajeva metode za izračunavanje i podešavanje, usaglašavanje, upoređivanje obeležja 2D oblika ne može se lako proširiti na 3D oblike. Stoga je često neophodno izgraditi nove algoritme koji se bave 3D oblicima.

6.1. Kratak pregled tehnika

Razvijene su razne tehnike za ocenjivanje sličnosti 3D čvrstih modela. Računski efikasan način za rešavanje ovog problema je da se prvo abstrakuje 3D oblik (kalup) u obeležja oblika, a zatim koriste ta obeležja za ocenu (procenu) sličnosti. Obeležja oblika su apstrakcije stvarnih oblika koje u potpunosti opisuju (karakterišu) 3D predmet. Na primer, 3D objekat može da ima matrix, set vektora ili grafikon kao obeležje oblika. Ocenjivanje sličnosti između dva 3D dela uključuje dva glavna koraka. Prvi korak je izračunati obeležje oblika predmeta. Drugi korak je uporediti obeležje oblika pomoću odgovarajuće funkcije rastojanja. Većina naučnih radova u literaturi se zalaže za to da funkcija rastojanja treba da zadovolji određene kriterijume.

Većina tehnika koje se koriste u ovoj oblasti ocenjivanja sličnosti oblika mogu da se klasifikuju na osnovu tipa obeležja oblika koji se koristi. Trenutno se koriste sledeći tipovi obeležja oblika:

6.1.1 Tehnički elementi

Tehnike koje se zasnivaju na tehničkim elementima računaju obeležja oblika objekta na osnovu tipa, veličine, orijentacije, broja i drugih osobina modelskih formi i njihovih interakcija. Onda kada se odrede tehnički elementi i njihove značajne karakteristike, poređenje se izvodi korišćenjem odgovarajuće funkcije rastojanja.

Ove tehnike odvajaju 3D modele na osnovu tehničkih elemenata i njihovih karakteristika. Stoga, oni ne uzimaju u razmatranje ukupni oblik objekta. Interakcije tehničkih elemenata i višestruke interpretacije i dalje predstavljaju značajan izazov za uspešnu ekstrakciju tehničkih elemenata. Razvijeno je mnogo različitih pristupa [9], [10]. Neke od ovih tehnika izgledaju obećavajuće u domenu procene troškova. Posebno tehnike opisane u [11] mogu da se upotrebe kao filteri za brzo odvajanje nesličnih obrađenih delova.

6.1.2 Prostorne funkcije

Primer prostorne funkcije je Gaussian mapa koja pravi mapu seta normalnih vektora sa čvrstog na jedinicu sfere. Problem spajanja i upoređivanja 2D prostornih funkcija koje se definišu preko sfernih jedinica uključuje tri stepena slobode potrebna za podešavanje površine sfere. Glavni izazov u ovim tehnikama je da se identifikuje karakteristike koje treba predstaviti koristeći prostorne funkcije i odrediti efikasnu proceduru spajanja za upoređivanje dva obeležja oblika.

6.1.3 Histogrami Oblika

Ove tehnike se zasnivaju na ispitivanju (uzimanju uzoraka) tačaka na površini 3D modela. Nekoliko značajnih karakteristika se mogu ekstrahovati iz dobijenog seta tačaka. Kada se ove karakteristike odrede, one se organizuju u obliku histograma koji skladišti učestalost pojavljivanja njihovih vrednosti. Onda se ovi histogrami upoređuju korišćenjem odgovarajuće funkcije rastojanja. Tačnost ovih obeležja zavisi od broja upotrebljenih tačaka. Veliki broj tačaka rezultira većom tačnošću. Ipak, efikasnost ovih obeležja je obrnuto proporcijalna broju tačaka. Tako sa porastom tačnosti, opada efikasnost.

6.1.4 Slike preseka

Ove tehnike koriste preseke čvrstih modela kao obeležja oblika. Čvrsti modeli se preseču na različitim mestima i onda se analiziraju preseci i upoređuju u cilju traženja sličnih preseka. Analize onda mogu da se sprovedu korišćenjem neuronske mreže (neural networks) ili korišćenjem tehnika za ocenjivanje sličnosti 2D modela. Kako ove tehnike uključuju preseke, one nisu nepromenljive u odnosu na promenu razmere, prevođenje i rotaciju i mogu da uporede objekte samo sa poznatim orijentacijama. One su pogodne za rotacione delove zahvaljujući rotacionoj simetriji. Tehnike koje koriste mreže neurona ne upoređuju dva čvrsta tela već klasifikuju čvrste modele (objekte) u grupe na osnovu grupnih tehnoloških kodova. Na osnovu slike preseka oni odlučuju grupni kod kojoj deo pripada. Takođe broj preseka utiče na tačnost komparacije (poređenja). Ukoliko je broj preseka koji se razmatraju mali, onda se može desiti da mali tehnički elementi ostanu neprimećeni.

6.1.5 Topološki nacrt (grafikon)

Ove tehnike koriste topološke grafikone kao obeležja oblika kako bi izvršili analizu sličnosti. Ovi grafici obočno predstavljaju informacije o vezama ivica čvrstih tela, kao što je blizina između spoljnih površina (strana, prednjih površina). Čvorovi i tačke grafikona mogu da sadrže dodatne informacije o čvrstom telu. Poređenje se tada može izvršiti tako što se upoređuju grafici koji se odnose na određene karakteristike ili poređenjem agloritama grafikona. Ipak, poređenje grafikona nije jednostavno i zahteva znatno vreme za računanje ukoliko se koriste algoritmi grafikona. Kako bi mogli da naprave jasnu razliku, potrebno je da grafikoni sadrže što više podataka. Ali čuvanje velikog broja podataka dalje produžava vreme potrebno za računanje. Stoga mora da postoji balans između tačnosti poređenja i vremena potrebnog za računanje, pa se ponekad teži skraćivanju vremena potrebnog za računanje na uštrb tačnosti. U nekim slučajevima se za poređenje koriste osobine grafikona kao što su stepen čvora, broj čvorova, broj ivica (oštrica), karakteristične vrednosti i sl.

6.1.6 Statistika oblika

Mnoge tehnike za poređenje oblika koriste osnovne geometrijske osobine kako bi izvršili grubo poređenje između čvrstih tela. One se takođe mogu upotrebiti da bi se smanjila oblast pretraživanja. Osobine koje se uglavnom koriste su veličina (obim), površina, obim ispupčene ljuske i sl. Ove brojčane vrednosti koje predstavljaju statističke karakteristike oblika formiraju obeležje čvrstog tela. Takva obeležja ne nose sa sobom nikakvu topološku informaciju (podatak). Ove metode ne mogu da naprave dovoljno jasnu razliku potrebnu za detaljno poređenje ali su korisne kao brzi i efikasni filteri.

7. ZAKLJUČAK

Navedene metode i aplikacije zasnovane su na veštačkoj inteligenciji i kao takve ne mogu biti u potpunosti sagledane i prihvaćene, već će je na projektantu odgovornost u postupku izbora metode ili aplikacije.

U radu je opisan okvir za procenu sličnosti zasnovan na tehničkim elementima koji se može upotrebiti za procenu sličnosti između delova na osnovu karakteristika njihovih tehničkih elemenata. Karakteristike tehničkih elemenata korisnik može da izabere u zavisnosti od aplikacije [12]. Očekivane industrijske dobiti su sledeće:

- **Procena sličnosti na osnovu mašinske obrade tehničkih elemenata**

Cena obrade delova zavisi od karakteristika obrade tehničkih elemenata. Procenjivači troškova često procenjuju cenu novog dela tako što ga porede sa sličnim delom čija je cena već izračunata. Pretraživanje velikih baza podataka u potrazi za sličnim delovima može biti vremenski zahtevno. Algoritam [5] za procenjivanje sličnosti na osnovu oblika tehničkih elemenata može da pomogne u pretraživanju velikih baza podataka obrađenih delova, automatski, kako bi se pronašli delovi koji su slični po obradi tehničkih elemenata onima čiju cenu treba odrediti. Onda procenjivači troškova mogu analizirati cenu pronađenog dela kako bi mogli da odrede cenu novo-projektovanog dela. Ovo će smanjiti vreme i trud potreban da se pronađu u bazi delovi slični delu koji se sad proizvodi.

- **Procena sličnosti na osnovu oblika površine tehničkih elemenata**

U današnje vreme mnoge kompanije rade na globalnom nivou i stoga koriste različite proizvođače alata, a svaki od tih proizvođača specijalizovan je za određenu vrstu alata. Projektanti se u izboru proizvođača oslanjaju na svoje iskustvo. Alternativni način pomoću koga možete izabrati proizvođača alata je da se pronađu delovi slični onom koji se sad pravi. Proizvođaču alata koji je proizvodio sličan deo možemo se obratiti kako bi dobili određene informacije važne za novi deo. Procena sličnosti na osnovu oblika površine tehničkih elemenata može pomoći projektantima da pronađu deo koji je sličan novom delu u odnosu na površinu. Ovo će smanjiti vreme i trud potreban da se u bazi se pronađu delovi slični delu koji je se sada proizvodi.

- **Korišćenje procene sličnosti tehničkih elemenata u potrazi za konstrukcijama koje se potencijalno mogu ponovo upotrebiti**

U mnogim aplikacijama projektanti koriste ranije preprojektovane komponente. Upotreba informacija iz arhive o proizvodu poboljšava kvalitet nove konstrukcije tako što povećava njihovu pouzdanost i smanjuje broj delova. Na ovaj način se u procesu projektovanja smanjuje i trošak nove konstrukcije. U današnje vreme kompanije prave velike baze podataka modela konstrukcija. Trenutno projektanti ručno pretražuju ove baze podataka, pri čemu se oslanjaju uglavnom na svoje sećanje i iskustvo, a samo pretraživanje velikih baza podataka je vremenski zahtevno. Arhiviran "proizvod" se može ponovo upotrebljavati i on sadrži geometrijski model dela koji se projektuje. U proizvodnim aplikacijama detalji o obliku dela koji treba projektovati su među osnovnim elementima koji određuju konstrukciju dela. Naš algoritam za procenu sličnosti oblika na osnovu tehničkih elemenata može se koristiti za automatsku pretragu baza podataka, a sve u potrazi za konstrukcijama čije su karakteristike tehničkih elemenata slične karakteristikama dela koji treba da se projektuje.

- **Korišćenje procene sličnosti oblika na osnovu tehničkih elemenata u potrazi za predlozima za redizajniranje**

Arhivirani projekti redizajna mogu da obezbede logične predloge o tome kako sprovesti redizajn u novom projektu. Na ovaj način troškovi redizajna biće smanjeni tako što će se iskoristiti iskustva iz ranijih redizajniranja. Treba očekivati da će te baze podataka sadržati kako osnovne tako i redizajnirane delove ili sklopove. U proizvodnoj aplikaciji detalji oblika dela ili sklopa su jedan od glavnih elemenata i upravo oni određuju proces redizajniranja. Algoritmi za određivanje sličnosti oblika na osnovu tehničkih elemenata [5], [13], [14] može se koristiti da se automatski pretraže baze tražeći prethodne projekte redizajniranja delova ili sklopova čije su karakteristike tehničkih elemenata slične delu u novom projektu redizajniranja. Ovo će smanjiti vreme i trud potreban da se projekti redizajniranja u velikim bazama.

LITERATURA

- [1] Cardone A., S.K. Gupta, A. Deshmukh, and M. Karnik, (2006.) *Machining feature-based similarity assessment algorithms for prismatic machined parts*, Computer Aided Design, 38(9):954 – 972.
- [2] Priyadarshi A. K. and S.K. Gupta, (2009.) *Algorithms for generating multi-stage molding plans for articulated assemblies*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 32(3/4):350 – 365.
- [3] Peng T. and S.K. Gupta, (2008.) *Algorithms for generating adaptive projection patterns for 3-D shape measurement*, ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, 8(3).
- [4] Manić M., Miltenović V., Stojković M., Banić M., *Feature Models in Virtual Product Development*
- [5] Cardone A., (2005.) A Feature-based Shape Similarity Assessment Framework, Dissertation, University of Maryland, College Park, USA.
- [6] Arbter K., W.E. Snyder, H. Burkhardt, and G. Hirzinger. (1990.) *Application Of Affine-Invariant Fourier Descriptors To Recognition Of 3D Objects*. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 12(7): 640 – 647.
- [7] Arkin E.M., L.P. Chew, D.P. Huttenlocher, K. Kedem, and J.S. Mitchell. (1991.) *An Efficiently Computable Metric For Comparing Polygonal Shapes*. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 13(3): 209 – 216.
- [8] Young I., J. Walker, and J. Bowie, (1974.) *An Analysis Technique For Biological Shape*, Information And Control, 25(4): 357 – 370.
- [9] Gupta S.K. and D.A. Bourne. (1999.) *Sheet Metal Bending: Generating Shared Setups*. Journal Of Manufacturing Science And Engineering, 121(4): 689 – 694.
- [10] Karnik M.V., S.K. Gupta, and E.B. Magrab. (2005.) *Geometric Algorithms for Containment Analysis of Rotational Parts*. Computer Aided Design, 37(2): 213 – 230.
- [11] Ramesh M., D. Yip-Hoi, and D. Dutta. (2001.) *Feature-Based Shape Similarity Measurement For Retrieval Of Mechanical Parts*. Journal Of Computing And Information Science In Engineering, 1(3): 245 – 256.
- [12] Rosenfeld, L. W., (1995.). *Solid Modeling and Knowledge-Based Engineering*, Handbook of Solid Modeling, LaCourse, D. E., ed., McGraw-Hill, Inc., New York.
- [13] Banerjee A.G. and S.K. Gupta. (2007.) *Geometric algorithms for automated design of side actions in injection molding of complex parts*. Computer Aided Design, 39(10): 882 – 897.
- [14] Deshmukh A.S., A.G. Banerjee, S.K. Gupta, and R. Sriram. (2008.) *Content-based assembly search: A step towards assembly reuse*. Computer Aided Design, 40(2): 244-261,