

DOKUMENTACIJA TEHNIČKOG REŠENJA

"SOFTVER ZA PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE"

Autori tehničkog rešenja

- dr Igor Budak, docent, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu,
- dr Mirko Soković, redovni profesor, Mašinski fakultet u Ljubljani,
- dr Janko Hodolič, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu,
- dr Janez Kopač, redovni profesor, Mašinski fakultet u Ljubljani.

Naručilac tehničkog rešenja

- Galeb Group, Šabac, Republika Srbija.

Korisnik tehničkog rešenja

- Galeb Group, Šabac, Republika Srbija,
- Mašinski fakultet u Ljubljani, Republika Slovenija.

Godina kada je tehničko rešenje urađeno

- 2007-2010.

Oblast tehnike na koju se tehničko rešenje odnosi

- Mašinstvo / Proizvodno mašinstvo

Projekat u okviru koga je realizovano tehničko rešenje

- Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008.-2010.;
- Tehnološka oblast: Mašinstvo;
- Rukovodilac projekta: dr Janko Hodolič, redovni profesor;
- Naziv projekta: Unapređenje kvaliteta procesa i proizvoda primenom savremenih inženjerskih tehnika sa ciljem povećanja konkurentnosti na globalnom tržištu;
- Broj projekta: TR 14003.

1. Opis problema koji se rešava tehničkim rešenjem

U okviru aktuelnih zahteva tržišta koji podrazumevaju brzo i često redizajniranje proizvoda, sve važniju ulogu imaju estetski i ergonomski aspekti koji impliciraju sve složenije, odnosno slobodnije i prirodnije forme i oblike [Duhov06]. Ovakve oblike je najčešće teško, u nekim slučajevima i gotovo nemoguće, modelirati klasičnim CAD alatima, već se isti dobijaju fizičkim modeliranjem (u glini, gipsu, drvetu itd.), a zatim se primenom tehnike RE prevode u CAD modele. Pored navedenog, primena RE u procesu redizajna postojećih, bilo sopstvenih, bilo proizvoda konkurentskih firmi, može značajno da ubrza i poboljša taj proces [Soko06].

U osnovne faze RE modeliranja spadaju: 3D-digitalizacija, pre-procesiranje podataka i generisanje CAD modela. Savremeni sistemi za 3D-digitalizaciju, koji se primenjuju u reverzibilnom inženjerskom modeliranju, se odlikuju sve većom brzinom skeniranja, ali i mogućnošću generisanja velikog broja tačaka u jedinici vremena [Soko04, Soko05a, Buda09, Kusa09]. To, u opštem slučaju (teoretski), doprinosi podizanju kvaliteta i efikasnosti procesa RE-modeliranja. Međutim, ogroman broj tačaka, generisan u fazi 3D-digitalizacije, u praktičnom radu može predstavljati ozbiljan problem kasnije, u fazi generisanja CAD-modela. Takođe, proces 3D-digitalizacije je neretko povezan i sa pojavom grešaka merenja, što zbog same prirode mernih sistema, što zbog karakteristika objekata koji se digitalizuju, odnosno subjektivnih grešaka rukovaoca, što takođe ima za posledicu velike probleme u procesu generisanja CAD modela [Soko05b, Buda05].

Osnovni problemi – posledice prisustva tačaka-grešaka i prevelikog broja tačaka u rezultatu 3D-digitalizacije, jesu odstupanje geometrije rezultujućeg CAD modela u odnosu na polazni fizički objekat i otežan rad u softverima za generisanje CAD modela. Otežan rad podrazumeva usporenost procesa generisanja surface modela, a u ekstremnijim slučajevima i nemogućnost generisanja modela, čak i slučajevima računarskih konfiguracija vrlo visokih performansi [Soko05c].

Uzimajući u obzir prethodno, može se zaključiti da je faza pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, koja obuhvata procese filtriranja grešaka, uravnavanja i redukcije podataka-tačaka, vrlo važna i gotovo nezaobilazna u gotovo svakom RE-sistemu. U prilog prethodnoj tvrdnji govori i činjenica da je pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije, već desetak godina vrlo česta tema naučno-istraživačkih radova, pri čemu redukcija podataka-tačaka zauzima centralno mesto. Rezultat toga je veći broj razvijenih sistema za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije, baziranih na različitim prilazima, koji su, pre svega, zavisni od metodologije RE, odnosno sistema za 3D-digitalizaciju kojima su namenjeni. To se odnosi na sva tri segmenta pre-procesiranja: filtriranje, uravnavanje i redukovanje, pri čemu ipak treba napomenuti da je redukovanje u većoj meri zavisno od metodologije RE i tehnike 3D-digitalizacije [Buda05, Soko05d, Vine08].

U mnoštvu razvijenih prilaza za redukovanje podataka-tačaka, mogu se identifikovati tri dominantna prilaza: redukcija smplovanjem tačaka, poligonalna redukcija i mrežna redukcija. Redukcija tačaka kod “cross-sectional” metodologije RE, dominantno je zasnovana na tzv. sampling metodama, među kojima su najpoznatije: faktorna, prostorna, tetivna, ugaona i visinska metoda. Sve ove metode su zasnovane na različitim parametrima, na bazi kojih “donose” odluku o redukciji tačaka.

Redukcija podataka-tačaka može značajno da utiče na kvalitet rekonstruisanog modela, i u negativnom i pozitivnom smislu. U opštem slučaju, za rekonstrukciju složenije površine sa većim stepenom krivosti je potreban veći broj tačaka, dok je kod jednostavnijih površina moguće zanemariti određene podatke-tačke i pri tome ipak postići zadovoljavajuću preciznost u rekonstruisanju površine. U kontekstu toga, može se reći da se karakteristične tačke površina se nalaze na mestima gde krivost ima veće varijacije [Wang99, Chan02]. Upravo je to i osnovni zadatak procesa redukovanja rezultata 3D-digitalizacije - *ekstrakcija karakterističnih tačaka na osnovu kojih je moguće rekonstruisati krive odnosno površine, sa ciljem kreiranja geometrijskog modela u zadovoljavajućem vremenskom periodu, koji dovoljno kvalitetno aproksimira originalni objekat* [Chan02]. Drugim rečima, rezultat redukcije treba da bude kompromis između brzine procesiranja i kvaliteta (tačnosti) dobijenih modela.

2. Stanje rešenosti problema u svetu – prikaz i analiza postojećih rešenja

Problemi koji se javljaju u rezultatima 3D-digitalizacije se mogu značajno razlikovati u zavisnosti od primenjene opreme za 3D digitalizaciju, procedure merenja, geometrijske složenosti objekta, cilja procesa RE, odnosno primenjene metodologije RE. U tom smislu se, u različitim RE sistemima, može sresti veći broj procedura koje se primenjuju sa ciljem što bolje pripreme oblaka-tačaka za fazu rekonstrukcije površina. Ove procedure se u literaturi, najčešće, obuhvataju fazom **pre-procesiranja**, mada se mogu sresti i neki drugi termini pre svih *point-processing* i *data-processing* [Wang99, Chan02, Soko06]. U opštem slučaju, može se uzeti da pre-procesiranje počinje sa završetkom 3D-digitalizacije, a završava sa početkom rekonstrukcije površinskog modela.

U okviru spomenutog većeg broja procedura za pripremu podataka-tačaka, odnosno podfaza pre-procesiranja, u gotovo svim sistemima se mogu sresti:

- ☐ eliminacija grešaka,
- ☐ segmentacija,
- ☐ uravnavanje podataka-tačaka i
- ☐ redukovanje podataka-tačaka.

pri čemu se eliminacija grešaka i uravnavanje podataka često obuhvata pojmom **filtriranje podataka-tačaka**.

U nastavku je dat pregled najčešće primenjivanih metoda filtriranja podataka-tačaka u praksi, podeljenih prema nameni.

2.1 Filtriranje podataka-tačaka

Filtriranje tačaka-izvan-opsega u rezultatu 3D-digitalizacije

Cilj ove faze je eliminisanje grešaka merenja u vidu tačaka-izvan-opsega, odnosno impulsnog šuma. U tu svrhu, razvijeno je više metoda, od kojih se, kao češće primenjivane u praksi, mogu izdvojiti [Chan02, Leek01b]:

Metoda zapreminskog filtriranja - Princip metode je zasnovan na formiranju pravougaone zapremine, definisane dužinom i širinom skeniranja (x i y -ose) i visinom skeniranja, odnosno realnom visinom skeniranog objekta (z -osa). Podaci-tačke koji se nađu izvan ove zapremine smatraju se za greške merenja i eliminišu se [Chan02]. Ova metoda spada u grublje i primenjuje se za eliminisanje ekstremnih grešaka koje se mogu javiti u rezultatu 3D digitalizacije.

Metoda filtriranja segmentiranjem linijom - Ova metoda je “s sofisticiranija” varijanta prethodne i podrazumeva odvajanje (separaciju) delova oblaka-tačaka koji predstavljaju greške merenja (ili neželjene tačke) pomoću filter linije. Najčešće varijante filter linija su “izlomljene” linije koje čine pravolinijski segmenti definisani koordinatama početne i krajnje tačke u izabranoj ravni x - y , x - z ili y - z . Moguće su i varijante sa kreiranjem “izlomljene” filter linije u nekoj proizvoljnoj ravni, što mora biti podržano mogućnošću transformacija koordinatnog sistema. Nakon kreiranja filter linije, eliminišu se tačke sa njene željene strane.

Metoda ugla - Ova metoda se, za razliku od prethodne dve koje su namenjene filtriranju prostornih oblaka-tačaka, primenjuje za uklanjanje tačaka-izvan-opsega iz niza tačaka u okviru sekcijских preseka. Kod odstranjivanja ovih tačaka, dve susedne tačke eliminisanoj tački se povezuju pravom linijom, a kao kriterijum za odlučivanje da li se radi o tački-izvan-opsega, primenjuje se *ugao* koji čine posmatrana tačka (T_i) i njoj susedne dve (T_{i-1}) i (T_{i+1}). Ukoliko je taj ugao manji od minimalno dozvoljenog, zadanog od strane korisnika (neka vrednost koja se primenjuje u praksi je oko 15°) posmatrana tačka se eliminiše [Leek01b].

Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (statističke ocene) - Ova metoda je zasnovana na određivanju razmaka poverenja u okviru kojeg se, sa određenom verovatnoćom, može očekivati da će se nalaziti posmatrana karakteristika osnovnog skupa [Hadz91]. Drugim rečima, ako se raspodela

empirijski dobijenih rezultata prilagodi opštoj krivoj normalne raspodele, moguće je izračunati površinu ispod krive normalne raspodele, odnosno Gausove krive, za bilo koje granice, odnosno izračunati količinu empirijski dobijenih podataka koji leže unutar ili izvan zadatih (kontrolnih) granica. Tada se udaljenost bilo koje vrednosti slučajno promenljive X do srednje vrednosti x_0 , može izraziti preko višestruke standardne devijacije σ [Staj90].

U praktičnom radu razmak poverenja se utvrđuje na bazi 95 % i 99 %, odnosno za $t = 2$ i $t = 3$, što znači da se mogućnost greške dopušta samo za 5 %, odnosno 1 % [Hadz91]. Procedura podrazumeva izračunavanje srednje vrednosti i standardne devijacije, prethodno selektovanih podataka po poprečnim presecima, zatim se definišu granice, odnosno parametar t , u okviru kojih je potrebno da se nađe tačka iz skeniranog niza. Nakon toga se vrši ocenjivanje da li tačka upada u zadate kontrolne granice - ukoliko ne, tada se ta tačka eliminiše iz niza. Ova metoda se može uspešno primenjivati u slučajevima skeniranih krivih bez velikih promena krivosti.

Metoda medijane - Metoda zasnovana na vrednosti medijane je vrlo popularna, nelinearna tehnika koja se koristi za uklanjanje impulsnog šuma [Staj90, Hadz91]. Međutim, s obzirom da je ova metoda prevashodno namenjena uravnavanju podataka, ista je detaljnije predstavljena u odeljku koji sledi.

2.1.2 Uravnavanje podataka-tačaka u rezultatu 3D-digitalizacije

Nakon uklanjanja pikova, kvalitet rezultata 3D-digitalizacije može se dalje poboljšati operacijom uravnavanja (glačanja) niza podataka-tačaka. Primena ove operacije eliminiše velike oscilacije tačaka i ima za rezultat mirniju raspodelu tačaka, koja kasnije obezbeđuje kreiranje kvalitetnijih krivih [Leek01b]. Postoji više metoda za uravnavanje podataka-tačaka, a najznačajnije su opisane u nastavku.

Metoda srednjih vrednosti - Metoda srednjih vrednosti je jednostavna i laka za implementaciju. Princip ove metode je zasnovan na izračunavanju *statističke srednje vrednost* za specificirani niz podataka u cilju njihovog uravnavanja [Leek01b, Hadz91].

Metoda medijane - Metoda zasnovana na vrednosti medijane je nelinearna tehnika koja objedinjuje funkcije za uravnavanje niza podataka i uklanjanje tačaka-izvan-opsega [Bock98]. Princip ovog filtera bazira na "pomeranju" tačaka niza na pozicije koje odgovaraju statističkoj vrednosti medijane analizirane tačke i određenog broja (najčešće dve ili četiri) susednih tačaka. Kao definicija medijane, od nekoliko različitih koje se mogu naći u literaturi, može se iskoristiti sledeća: "*medijana predstavlja onu vrednost u nizu koja deli niz na dva jednaka dela, pri čemu je potrebno prethodno sistematizovati podatke po veličini*" [Hadz91]. Prozor filtera predstavlja broj tačaka koji se uzima u obzir sa jedne strane analizirane tačke [Wang99]. Proces filtriranja se izvršava nad celokupnim nizom sa prozorom širine $2N + 1$. Primena filtera na bazi medijane ima tendenciju očuvanja oblika, pri čemu se vrlo dobro ponaša kada su u pitanju stepenasti oblici, što i jeste osnovna prednost u odnosu na filtriranje srednjom vrednošću.

2.2 Redukovanje podataka-tačaka u rezultatu 3D digitalizacije

U opštem slučaju složenija površina objekta zahteva i veći broj tačaka za rekonstrukciju. Međutim, (pre)veliki broj podataka-tačaka može imati i negativne implikacije, poput usporavanja procesa RE, visokih zahteva u pogledu računarskog hardvera, a u ekstremnim slučajevima proces rekonstrukcije čini nemogućim. Drugim rečima, CAD sistemi, u opštem slučaju, usled ograničenih memorijskih i procesorskih resursa, često nisu sposobni da procesuiraju ogromnu količinu podataka-tačaka prikupljenih u procesu 3D-digitalizacije sa skenirane površine objekta. Problem procesiranja velike količine skeniranih podataka je i jedna od osnovnih prepreka za automatizaciju procesa RE, pored neophodnosti ručne digitizacije kod delova sa komplikovanom geometrijom i sofisticiranim funkcijama. Imajući u vidu prethodno, kao i razvoj novih sistema za 3D-digitalizaciju koji generišu ogroman broj tačaka u kratkom vremenu (kod nekih optičkih sistema to ide i do milion tačaka u sekundi [Kusa09]) veliki broj istraživanje je već godinama fokusiran na razvoj metodologija za smanjenje, odnosno redukciju podataka-tačaka u rezultatu 3D-digitalizacije [Yauh97, Leek01a, Carb01, Chan02, Hurs02, Buda05, Liud06, Liuz06, Wujw08, Vine08].

U praksi se primenjuje veći broj metoda za redukovanje podataka i u skladu sa porastom značaja ovog procesa sve se više poklanja pažnja usavršavanju postojećih i razvoju novih. Trenutno primenjivane metode za redukovanje podataka-tačaka u rezultatu 3D digitalizacije, mogu se klasifikovati u tri kategorije [Leek01b, Chan02, Buda05]:

- 1) metode semplovanja,
- 2) metode za redukovanje broja poligona u poligonalnom modelu i
- 3) mrežne metode.

S obziroma da je opisivano tehničko rešenje fokusirano na redukciju semplovanjem, u nastavku je dat kraći pregled najčešće primenjivanih metoda iz ove grupe. Metode ove vrste spadaju u češće primenjivane u slučajevima RE projektovanja zasnovanog na *cross-sectional* metodologiji [Leek01a]. Imajući u vidu da je sistem koji se razvija u okviru ove teze zasnovan upravo na toj metodologiji, ovim metodama će biti posvećeno i najviše pažnje. U svetu je do danas razvijen veliki broj metoda za redukovanje podataka-tačaka semplovanjem tačaka, a u nastavku je predstavljeno nekoliko, u literaturi, najčešće pominjanih [Yauh97, Leek01a, Leek01b, Chan02, Buda05].

Metoda uniformnog (faktornog) semplovanja - Ovo je svakako najjednostavnija metoda primenom koje se redukuje broj tačaka u nizu podataka na osnovu *faktora semplovanja* ili *redukcionog faktora*, kako se još naziva, zbog čega je ova metoda poznata i kao *faktorna metoda*. Primenom ove metode iz oblaka tačaka se sempluje (odabira) svaka i -ta tačka, gde je i faktor semplovanja, ali je potrebno da tačke u okviru skeniranih podataka budu unapred uređene po skeniranim linijama, odnosno poprečnim presecima [Leek01b, Chan02].

Metoda tetive - Ova, inače vrlo popularna metoda koju su razvili D. F. Rogers i J. A. Adams [Chan02] je poznata i pod nazivom *metoda devijacije visine tetive* zbog parametara na bazi kojih se vrši redukcija.

Metoda pravosti - Metoda redukovanja na osnovu nivoa pravosti je zasnovana na kriterijumu koji podrazumeva da se analizirana tačka eliminiše ukoliko ista sa dve susedne tačke, može da formira “pravu” liniju, pri čemu korisnik pre procesa eliminacije zadaje željeni *nivo pravosti* u skladu sa potrebnim nivoom tačnosti u rekonstruisanju površine [Wang99].

Prostorna metoda - Metoda *prostornog* (eng. *spatial*) *semplovanja* je zasnovana na parametru koji se naziva *prostorno rastojanje* (d_E), a koji se određuje preko *euklidskog rastojanja* (euclidian distance) [Chan02].

Metoda redukovanja podataka na osnovu visine (height reduction method) - Kriterijum za odlučivanje o važnosti tačke za rekonstrukciju površine, kod metode redukovanja na osnovu visine (eng. height decision) je zasnovan na razlici visina dveju skeniranih tačaka. Vrednost *maksimalno dozvoljene visine* T - parametra za odlučivanje definiše se na osnovu *visine skeniranog objekta* - H . U cilju izbegavanja gubljenja rezolucije preporuka je da maksimalna vrednost visine za odlučivanje bude 0,15 % od visine objekta [Chan02].

Metoda redukovanja tačaka na osnovu krivosti u tačkama - Ova metoda bazira na izračunavanju krivosti u svakoj tački za konačan niz podataka-tačaka u ravanskom preseku. Za niz tačaka u ravanskom preseku $P_i = \{(y_i, z_i), i=0, \dots, n\}$, krivost u tački P_i se aproksimira izračunavanjem kvadratnog polinoma za interpolaciju tri uzastopne tačke P_{i-1} , P_i i P_{i+1} [Leek98].

Metoda redukovanja na osnovu verovatnoće - Ova metoda je zasnovana na slučajnom izboru tačaka za eliminisanje (ili zadržavanje), a na osnovu nivoa verovatnoće zadatog od strane korisnika. Primena ove metode je pogodna u slučajevima kada je potrebno eliminisati veliki broj tačaka u područjima koje karakteriše manja promena krivosti [Carb01].

Metoda redukcije na bazi promene tangentnosti - Ova metoda je zasnovana na parametru koji se naziva *ugao-filtera*, a koji se definiše kao tolerancija promene tangentnosti, odnosno krivosti. Izračunavaju se interpolirane spline krive kroz tačke svake skenirane krive, a zatim se analizira diskontinuitet tangentnosti (ili krivosti) n -te tačke T_n , prema tački za poređenje T_c . Ukoliko je diskontinuitet manji od specificiranog ugla-filtera, tačke T_n i T_c se smatraju poravnatim, dok se u

suprotnom tačke u nizu između T_{c+1} i T_{n-2} brišu, a T_n se postavlja za novu tačku za poređenje T_c [Carb01].

3. Suština tehničkog rešenja

U okviru tehničkog rešenja je predstavljen integralni sistem za pre-procesiranje podataka-tačaka namenjen cross-sectional RE prilazima. Razvijeni sistem, radnog naziva *SiPreF*, je modularne arhitekture, sa ukupno pet modula u koje su grupisani razvijeni alati za: 3D filtriranje, ekstrakciju podataka-tačaka po presečnim sekcijama, filtriranje i uravnavanje podataka-tačaka u okviru presečnih sekcija, redukciju podataka-tačaka i generisanje izlaznih formata za primenu u softverima za rekonstrukciju površina. Moduli, odnosno integrisani alati, su razvijani uzimajući u obzir najčešće korišćene alate kod pre-procesiranja, identifikovane na bazi šire analize stanja u ovoj oblasti.

Pri razvoju *SiPreF*-a je najveća pažnja posvećena modulu za redukciju podataka-tačaka, koji je razvijen primenom novog prilaza sa integrisanom analizom devijacija i procesom odlučivanjem na bazi fuzzy logike, u čemu se i ogleda njegova suštinska razlika u odnosu na dosadašnje sisteme ove vrste.

Polazeći od identifikovanih slabih mesta i nedostataka u aktuelnim prilazima za redukciju podataka-tačaka metodama semplovanja (odsustvo informacije o nivou odstupanja redukovanih oblaka tačaka i zasnovanost procesa odlučivanja na korisnički apstraktnim parametrima) najpre je razvijen novi prilaz za integraciju analize o nivou odstupanja redukovanog u odnosu na polazni oblak tačaka. Novi prilaz uvodi *maksimalno dozvoljeno odstupanje* kao dodatni parametar u procese odlučivanja o redukciji kod metoda semplovanja. Prikazani rezultati implementacije u tri metode semplovanja (titive, pravosti i prostorne) ukazuju na vrlo značajno poboljšanje odnosa maksimalnog odstupanja i nivoa redukcije, odnosno prosečnog odstupanja i nivoa redukcije, čime je potvrđena prva pretpostavka cilja istraživanja.

U cilju poboljšanja samog procesa redukcije novi prilaz je unapređen implementacijom fuzzy logike u procese odlučivanja metoda za redukciju. Osim što je dodatno poboljšan odnos nivoa redukcije i prosečnog odstupanja, implementacija fuzzy logike je obezbedila korisnički jednostavniju i intuitivniju primenu. Upravljanje redukcijom je svedeno na zadavanje tolerancije odstupanja, što korisniku daje bolji osećaj o kvalitetu redukovanog oblaka tačaka. Ovim je potvrđena i druga polazna pretpostavka.

4. Detaljan opis tehničkog rešenja (uključujući i prateće ilustracije i tehničke crteže)

Softver za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije (*SiPreF*) je koncipiran na modularnom principu, a čine ga:

- 1) Modul za 3D filtriranje tačaka (grešaka);
- 2) Modul za ekstrakciju podataka-tačaka po presečnim sekcijama;
- 3) Modul za filtriranje i uravnavanje podataka-tačaka u presečnim sekcijama;
- 4) Modul za redukovanje podataka-tačaka na bazi fuzzy logike;
- 5) Modul za generisanje izlaznog formata.

4.1 Modul za 3D filtriranje

Rezultat procesa 3D-digitalizacije, u najvećem broju slučajeva, sadrži veliki broj neželjenih tačaka. Ove tačke su najčešće sa objekata iz bliskog okruženja objekta koji je bio cilj 3D-digitalizacije, kao što su pribor, merni sto ili deo sklopa kojem pripada objekat koji je digitalizovan, ali mogu (u slučaju nekih bezkontaktnih metoda poput laserske triangulacije) poticati sa objekata iz daljeg okruženja. Deo ovih tačaka mogu biti i posledice grešaka merenja (nastalih usled grešaka rukovaoca, grešaka uzrokovanih specifičnošću sistema za 3D-digitalizaciju i/ili specifičnošću objekta koji se digitalizuje, zatim nekog spoljnog poremećaja (vibracija) i sl.). Ove tačke je neophodno odstraniti u cilju ostvarivanja kvalitetnije rekonstrukcije površine modela.

Modul za 3D filtriranje grešaka je razvijen upravo sa tom namenom – eliminisati veći broj neželjenih tačaka. Modul čine tri alata:

- 1a) Zapreminsko filtriranje
- 1b) Filtriranje segmentiranom linijom
- 1c) Brisanje pojedinačnih tačaka (selektovanjem)

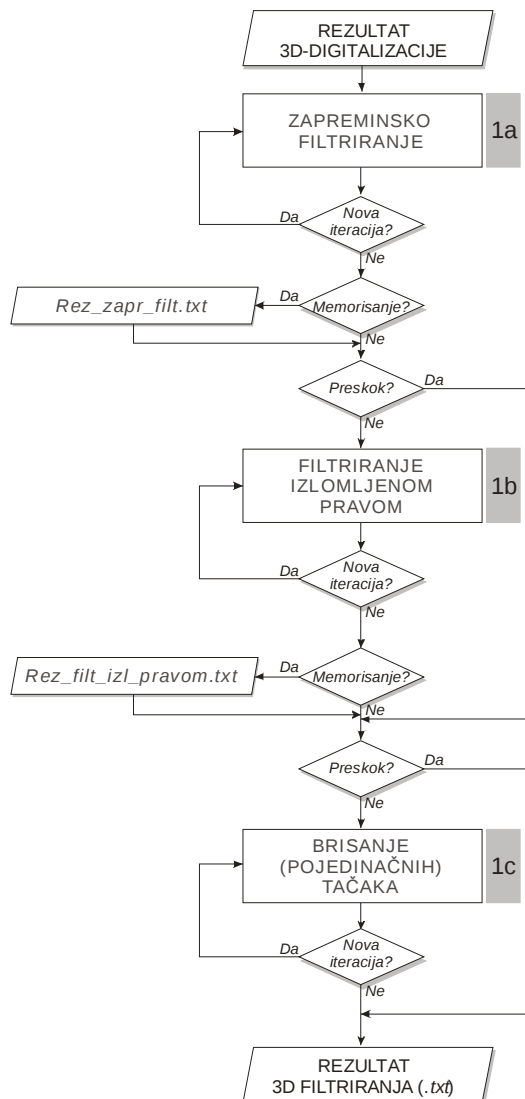
Metodologije i matematičke podloge na kojima su zasnovana prva dva alata detaljnije su opisani u 4. poglavlju.

Treći navedeni alat omogućuje pojedinačno selektovanje većeg broja tačaka, koje nisu mogle biti obrisane primenom prva dva alata. Selektovanje se vrši u grafičkom prozoru na oblaku tačaka.

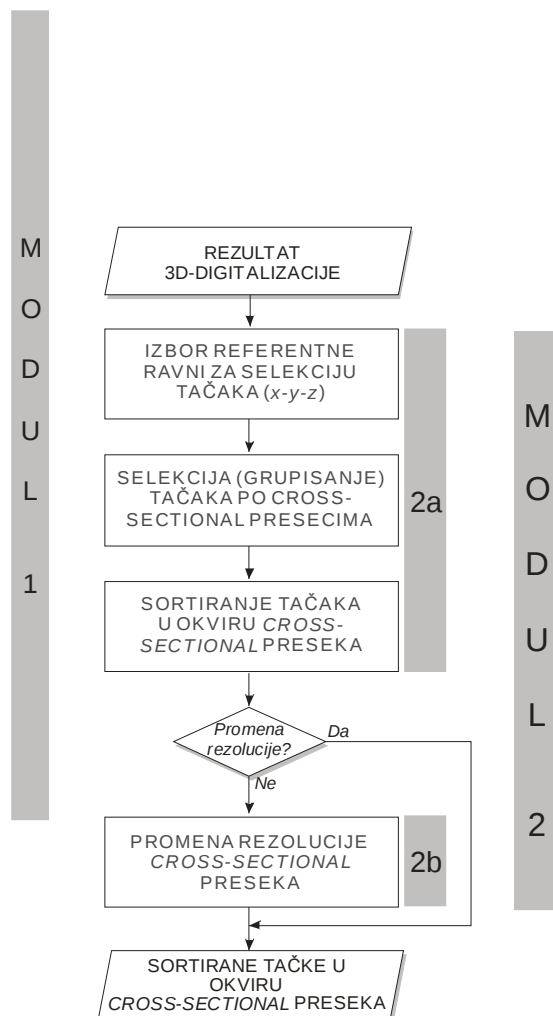
Navedena tri alata se mogu primenjivati pojedinačno ili u bilo kojoj kombinaciji i to u više iteracija, kako je to prikazano u algoritmu na slici 4.1.

4.2 Modul za ekstrakciju podataka-tačaka po presečnim sekcijama

S obzirom da je *SiPreF* namenjen reverzibilnom inženjerskom modeliranju po cross-sectional metodologiji, neophodno je, pre početka procesa pre-procesiranja (filtriranja, uravnavanja i redukovanja), iz 3D oblaka tačaka izvršiti selekciju i sortiranje tačaka po presečnim sekcijama. U skladu sa tim, u okviru ovog modula (slika 4.2) se iz 3D oblaka tačaka selektuju tačke koje pripadaju pojedinačnim 2D cross-sectional krivama, u poseban skup, a zatim se vrši sortiranje tačaka u okviru skeniranih krivih. Selekcija je omogućena po sva tri pravca, odnosno po x , y i z osi.



Slika 4.1: Algoritamski prikaz modula za 3D filtriranje tačaka (grešaka)



Slika 4.2: Algoritamski prikaz modula za ekstrakciju cross-sectional krivih

Ovaj modul sadrži i opciju za promenu rezolucije cross-sectional preseka tj. skeniranih linija. Ova opcija može biti vrlo korisna u slučaju jako gustih skeniranih linija, a kada složenost objekta ne zahteva tako visoku rezoluciju cross-sectional preseka, jer se time oblak tačaka može praktično prepoloviti ili čak ostati na samo 1/3 početnog broja tačaka (npr. promena rezolucije sa 0,1 na 0,2 ili 0,3 mm) i time drastično povećati komfor rada i neretko i rezultujući kvalitet.

4.3 Modul za cross-sectional filtriranje / uravnavanje podataka-tačaka

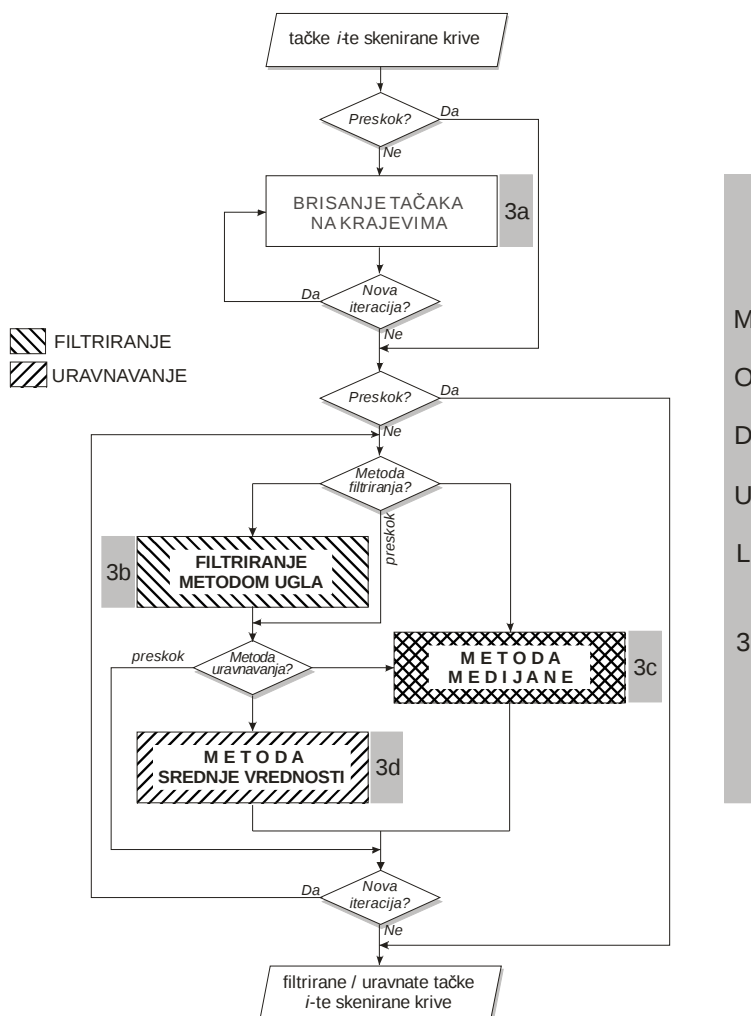
Funkcija ovog modula je, kao što i sam naziv kaže, dvostruka: filtriranje i uravnavanje podataka tačaka u cross-sectional presecima (skeniranim linijama). Namenjen je eliminaciji grešaka preostalih posle 3D filtriranja, kao i uticaja šuma na kvalitet rezultujućeg površinskog modela.

Ovaj modul je baziran na četiri alata (slika 4.3):

- 3a) Brisanje tačaka na krajevima skeniranih krivih
- 3b) Filtriranje metodom ugla
- 3c) Filtriranje / uravnavanje metodom medijane
- 3d) Uravnavanje metodom srednje vrednosti.

Prvi alat (3a) je namenjen odstranjivanju tačaka na krajevima skeniranih krivih koje su često problematične u smislu kontakta senzora na tim mestima sa priborom, mernim stolom ili sl. a nisu obrisane u modulu za 3D filtriranje.

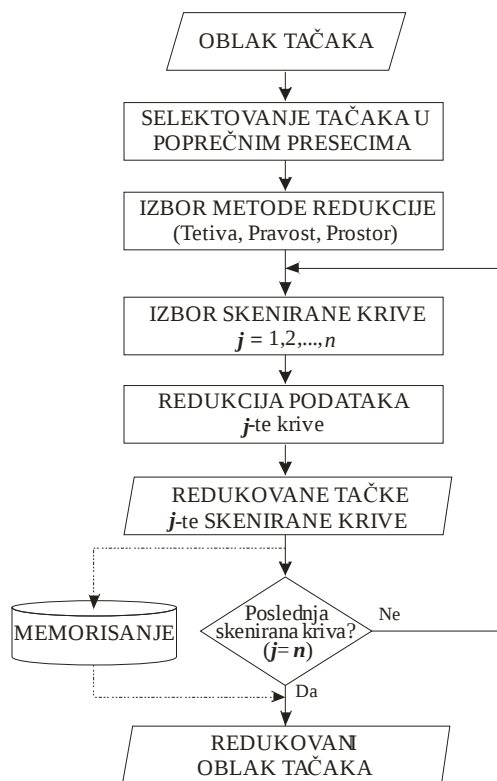
Metoda ugla (3b) je namenjena eliminaciji *outlier* tačaka (impulsnog šuma). Metoda medijane (3c) se može primeniti i za neutralisanje *outlier* tačaka i za uravnavanje skeniranog niza tačaka, dok je metoda srednje vrednosti (3d) namenjena isključivo za uravnavanje.



Slika 4.3: Algoritamski prikaz modula za cross-sectional filtriranje / uravnavanje podataka

4.4 Modul za redukciju podataka-tačaka na bazi fuzzy logike

Ovaj modul predstavlja najsofisticiraniji deo *SpreF* sistema, zasnovan na, kao što i sam naziv sugerise, fuzzy logici. Opšti algoritamski prikaz razvijenog programskog rešenja ovog modula dat je na slici 4.4.



Slika 4.4: Algoritamski prikaz razvijenog programskog rešenja modula za redukovanje podataka-tačaka na bazi fuzzy logike

4.4.1 Analiza devijacija cross-sectional krivih kao posledice redukcije tačaka

Proces redukcije 3D-digitalizovanih tačaka je neupitno povezan sa odstupanjima rezultujućih cross-sectional krivih (generisanih na bazi redukovanih tačaka), u odnosu na polazne (originalne) cross-sectional krive (generisane na bazi svih skeniranih tačaka). Jedino se postavlja pitanje koji je to nivo devijacija, odnosno tolerancije, koji se može tolerisati u konkretnim slučajevima, za određeni nivo redukcije. Upravo ta činjenica i čini proces redukcije 3D-digitalizovanih tačaka kompleksnim i sofisticiranim.

Jedan od najvećih nedostataka aktuelnih metoda smplovanja za redukciju 3D-digitalizovanih tačaka, jeste odsustvo povratne informacije o nivou devijacije rezultujuće cross-sectional krive, kao posledice redukcije određene tačke ili skupa tačaka. Samim tim, ove metode ne sadrže ni mehanizme za odlučivanje o (ne)redukciji tačaka u zavisnosti od posledične devijacije.

U okviru ovde predstavljenog prilaza za redukciju tačaka primenom metoda smplovanja, ključnu ulogu ima *procedura za analizu devijacije* cross-sectional krivih, kao posledice redukcije tačaka.

Praktična realizacija procedure za analizu devijacije je zasnovana na izračunavanju i analizi maksimalnog odstupanja rezultujuće cross-sectional krive u odnosu na cross-sectional krivu generisanu na bazi polaznih digitalizovanih tačaka. Za izračunavanje *maksimalne greške redukcije* (MGR) (max. reduction error - MRE), kako je nazvana ova veličina u okviru ovih istraživanja, iskorišćena je *metoda najmanjih kvadrata*, koja je prilagođena potrebama istraživane problematike.

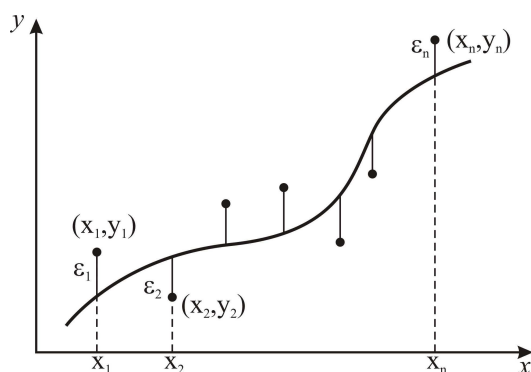
Metoda najmanjih kvadrata, inače široko primenjivana kod analize grešaka aproksimacije krivih, evaluira odstupanja aproksimirane krive od „originalnih“ tačaka na osnovu kojih je vršena aproksimacija (slika 4.5), pri čemu se za najbolje rešenje smatra kriva za koju je zbir kvadrata odstupanja $\varepsilon(x_i, y_i)$ - najmanji [Vuka81]:

$$S = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 \quad (4.1)$$

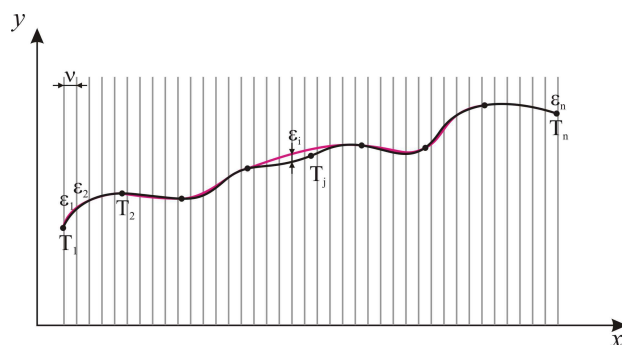
U ovom slučaju, parametar *MGR* predstavlja apsolutnu vrednost najvećeg odstupanja kubne spline krive generisane kroz niz skeniranih tačaka nakon redukcije neke od tačaka niza, u odnosu na spline krivu generisanu kroz originalni skenirani niz tačaka. Drugim rečima, *MGR* se izračunava nakon svake redukcije tačke i to tako što se traži najveće odstupanje $\varepsilon_i(x_i, y_i)$ spline krive generisane kroz skenirani niz tačaka nastao nakon redukcije *j*-te tačke $T_j(x_j, y_j, z_j)$ u odnosu na spline krivu generisanu kroz originalni (početni) skenirani niz tačaka (slika 4.6).

$$MGR = \max(\varepsilon_i) ; i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

Odstupanja $\varepsilon(x_i, y_i)$ se izračunavaju u tačkama definisanim rezolucijom ν (slika 4.6) koja se može menjati u skladu sa dužinom skenirane krive, odnosno gustinom skeniranih tačaka u nizu.



Slika 4.5: Grafička interpretacija metode najmanjih kvadrata



Slika 4.6: Grafička interpretacija parametara *MGR* i *PGR*

Pored parametra *MGR*, u proceduru je integrisana i *prosečna greška redukcije PGR* (average reduction error – ARE), kao dodatni parametar za ocenu odstupanja rezultujuće cross-sectional krive. *PGR* predstavlja srednju vrednost odstupanja izračunatih u tačkama definisanim rezolucijom ν (slika 4.6), odnosno matematički interpretirano:

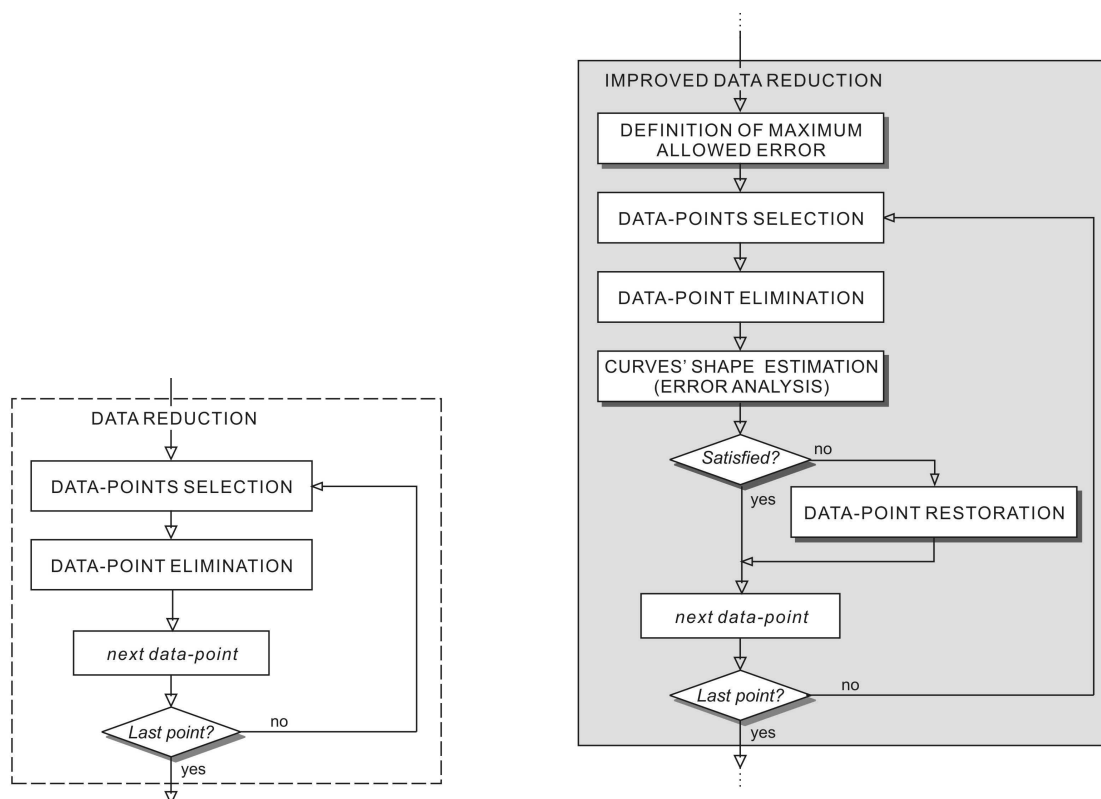
$$PGR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Osnovni elementi procedure za analizu devijacije cross-sectional krivih su:

- definisanje maksimalno dozvoljenog odstupanja (greške),
- izračunavanje i analiza odstupanja i
- odlučivanje o redukciji / restituciji tačke.

Tok procesa razvijene procedure je algoritamskog prikazan na slici 4.7. Procedura za analizu devijacije se aktivira u slučaju da je ispunjen osnovni uslov metode za redukciju (baziran na parametrima odlučivanja konkretne metode) i predstavlja dodatni uslov za redukciju. Drugim rečima, redukcija tačke se sprovodi tek u slučaju da je, pored ispunjenja uslova definisanog parametrima metode, i *MGR* rezultujuće cross-sectional krive manja od zadatog maksimalno dozvoljenog odstupanja.

Maksimalno dozvoljeno odstupanje (MDO) (*max. allowed deviation MAD*) se može predstaviti i kao “nivo tolerancije” i praktično predstavlja pojas oko originalne cross-sectional krive u kojem može da se kreće cross-sectional kriva generisana na bazi redukovanih tačaka. Nakon svake redukcije sprovodi se izračunavanje MGR i zatim se na osnovu poređenja sa zadatom vrednošću MDO, donosi odluka o eventualnoj restituciji analizirane tačke u niz.



a) redukcija bez procedure za analizu devijacija b) redukcija sa procedurom za analizu devijacija

Slika 4.7: Algoritamski prikaz razvijene procedure za analizu devijacije kod redukcije tačaka u poređenju sa klasičnim prilazom

4.4.2 Implementacija fuzzy logike u procese odlučivanja metoda za redukciju

Metode za redukovanje podataka-tačaka, predstavljene u prethodnoj tački, su unapređene implementacijom fuzzy logike u procedure za odlučivanje o redukciji podataka-tačaka.

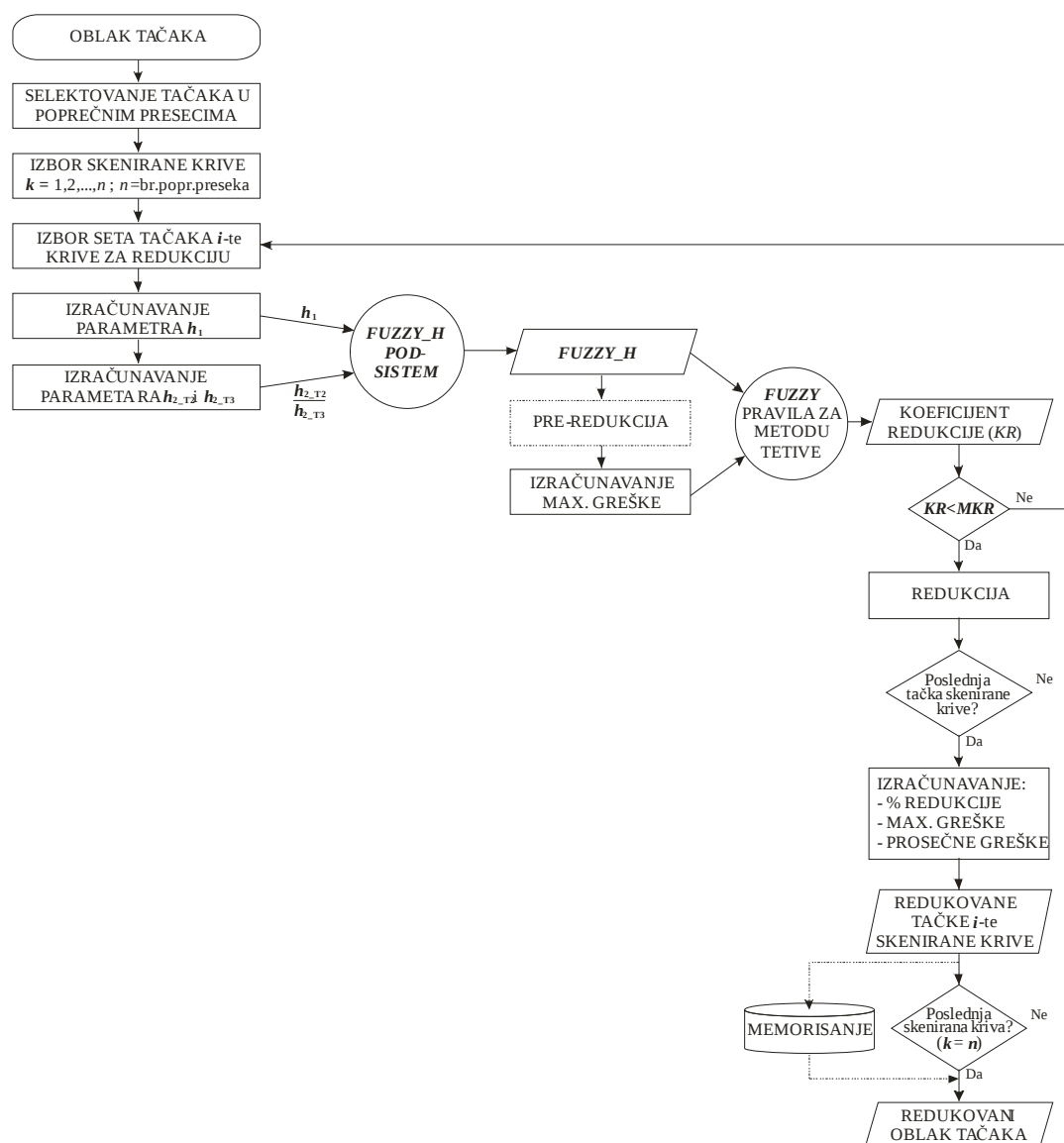
U cilju prevazilaženja problema u vezi sa specifičnošću ulaznih parametara koje zadaje korisnik (što doprinosi pojednostavljenju korišćenja programskog sistema), a na bazi kojih programski sistem sprovodi proces zaključivanja i donošenja odluka, uveden je novi, sintetički, parametar nazvan **koeficijent redukcije (KR)**, kao i njegova maksimalno dozvoljena vrednost – **maksimalno dozvoljeni koeficijent redukcije (MDKR)**. Parametar KR je kod svake od triju metoda izveden na bazi parametara karakterističnih za dotičnu metodu (što je detaljnije opisano u nastavku kod pojedinačnih opisa metoda), kao i dodatnog ulaznog parametra **maksimalne greške redukcije (MGR)**, odnosno njegovog maksimalno dozvoljenog nivoa **MDGR**, uvedenog sa ciljem kontrole maksimalne greške koja se može javiti nakon redukcije.

Fuzzy - metoda tetive

Metoda tetive za redukovanje tačaka je bazirana na tri parametra: h_1 , h_{2_T2} i h_{2_T3} . Navedeni parametri su, uz parametar MGR, iskorišćeni i kao ulazne veličine kod implementacije fuzzy logike u proces zaključivanja ove metode, s tim što je umesto pojedinačnih parametara h_{2_T2} i h_{2_T3} korišćen odnos ova dva parametra h_{2_T2} / h_{2_T3} .

Procedura *fuzzy* redukcije se sastoji u sledećem (slika 4.8):

- zadaje se *MDGR*, na bazi kojeg programski sistem automatski izračunava *MDKR*;
- selektuje se set tačaka za izračunavanje parametara (niz od četiri uzastopne tačke);
- izračunavaju se parametri h_1 , h_{2_T2} i h_{2_T3} , odnosno h_{2_T2} / h_{2_T3} ;
- vrši se preliminarna redukcija druge tačke u selektovanom nizu u cilju izračunavanja parametra *MGR*;
- na bazi izračunatih parametara i definisanih *fuzzy* pravila izračunava se *KR*;
- poređenjem izračunate vrednosti *KR* sa zadatom vrednosti *MDKR* donosi se odluka o konačnoj redukciji, odnosno zadržavanju tačke;
- u slučaju da je sprovedena redukcija druge tačke u nizu, novi set tačaka za analizu čine 1., 3. i 4. tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu, dok u slučaju ne sprovođenja redukcije novi set tačaka čine 2., 3. i 4. tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu;
- nakon izbora poslednje tačke u skeniranom nizu i sprovođenja procedure redukcije u prvom prolazu, vrši se „promena smera“ selektovanja seta tačaka, odnosno poslednja tačka skeniranog niza u prethodnom prolazu, postaje prva tačka u sledećem, čime je obezbeđen ravnomerniji proces redukcije;
- proces se sprovodi / ponavlja na (redukovanom) skeniranom nizu tačaka dokle god se bar jedna tačka u jednom prolazu redukuje.



Slika 4.8: Algoritamski prikaz programskog rešenja za redukciju tačaka metodom tetive na bazi *fuzzy* logike

Fuzzy - metoda pravosti

Metoda pravosti za redukovanje tačaka je bazirana na dva parametra: Φ i Ψ . Navedeni parametri su, uz parametar MGR , iskorišćeni i kao ulazne veličine kod implementacije fuzzy logike u proces zaključivanja ove metode, s tim što je umesto pojedinačnih parametara Φ i Ψ korišćen zbir ova dva parametra. Ovakav pristup je ovde omogućen činjenicom da je za oba parametra referentna vrednost sa kojom se porede ista – *definisani nivo pravosti (DNP)*. To omogućava da se jednostavnim definisanjem graničnih uslova na ulazu u fuzzy modul $\Phi \leq DNP$ i $\Psi \leq DNP$, u fuzzy pravilima primeni zbir ($\Phi + \Psi$) kao jedan parametar, koji radi jednostavnijeg opisa u daljem tekstu zamenjen oznakom Ω .

Procedura fuzzy redukcije, u ovom slučaju, se sastoji u sledećem (slika 4.9):

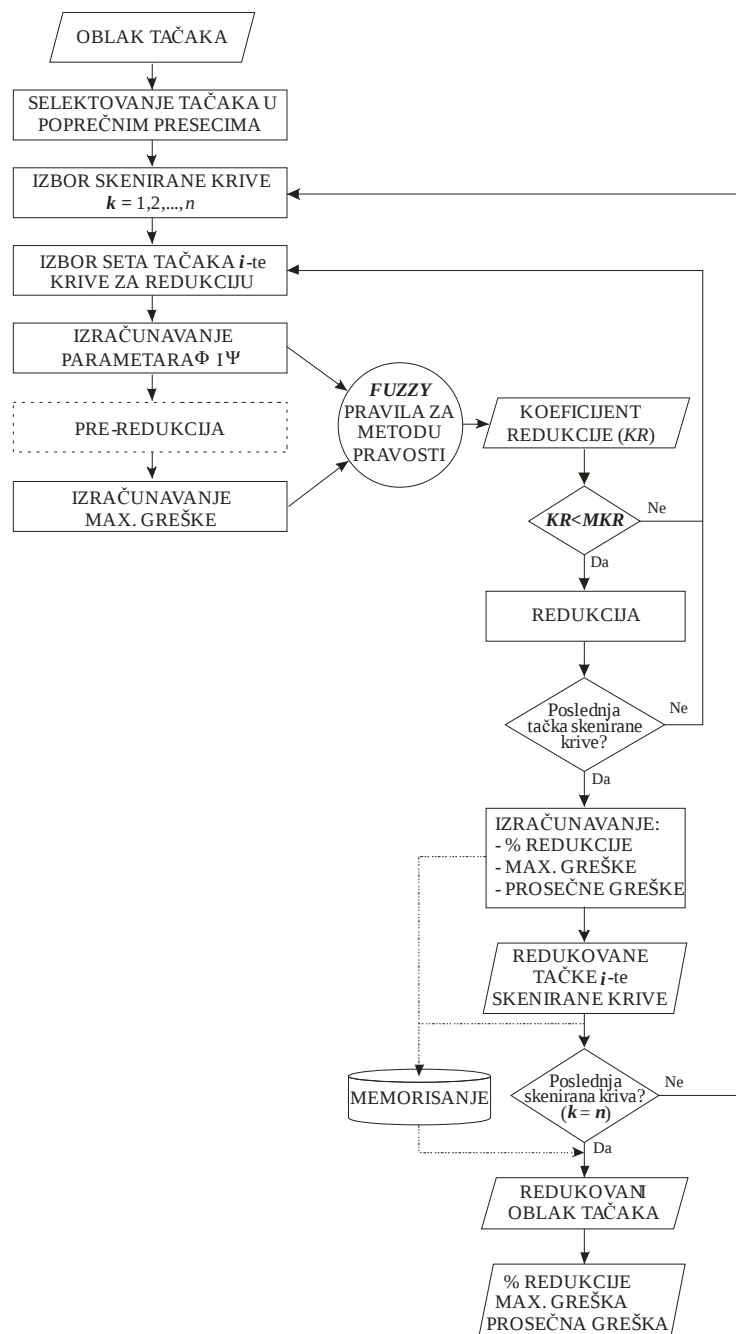
- zadaje se $MDGR$, na bazi kojeg programski sistem automatski izračunava $MDKR$;
- selektuje se set tačaka za izračunavanje parametara (niz od četiri uzastopne tačke);
- izračunavaju se parametri Φ i Ψ , odnosno zbir $\Omega = \Phi + \Psi$;
- vrši se preliminarna redukcija druge tačke u selektovanom nizu u cilju izračunavanja parametra MGR ;
- na bazi izračunatih parametara i definisanih fuzzy pravila izračunava se KR ;
- poređenjem izračunate vrednosti KR sa zadatom vrednosti $MDKR$ donosi se odluka o konačnoj redukciji, odnosno zadržavanju tačke;
- u slučaju da je sprovedena redukcija druge tačke u nizu, novi set tačaka za analizu čine 1., 3. i 4. tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu, dok u slučaju ne sprovođenja redukcije novi set tačaka čine 2., 3. i 4. tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu;
- nakon izbora poslednje tačke u skeniranom nizu i sprovođenja procedure redukcije u prvom prolazu, vrši se „promena smera“ selektovanja seta tačaka, odnosno poslednja tačka skeniranog niza u prethodnom prolazu, postaje prva tačka u sledećem, čime je obezbeđen ravnomerniji proces redukcije;
- proces se sprovodi / ponavlja na (redukovanom) skeniranom nizu tačaka dokle god se bar jedna tačka u jednom prolazu redukuje.

Fuzzy-prostorna metoda

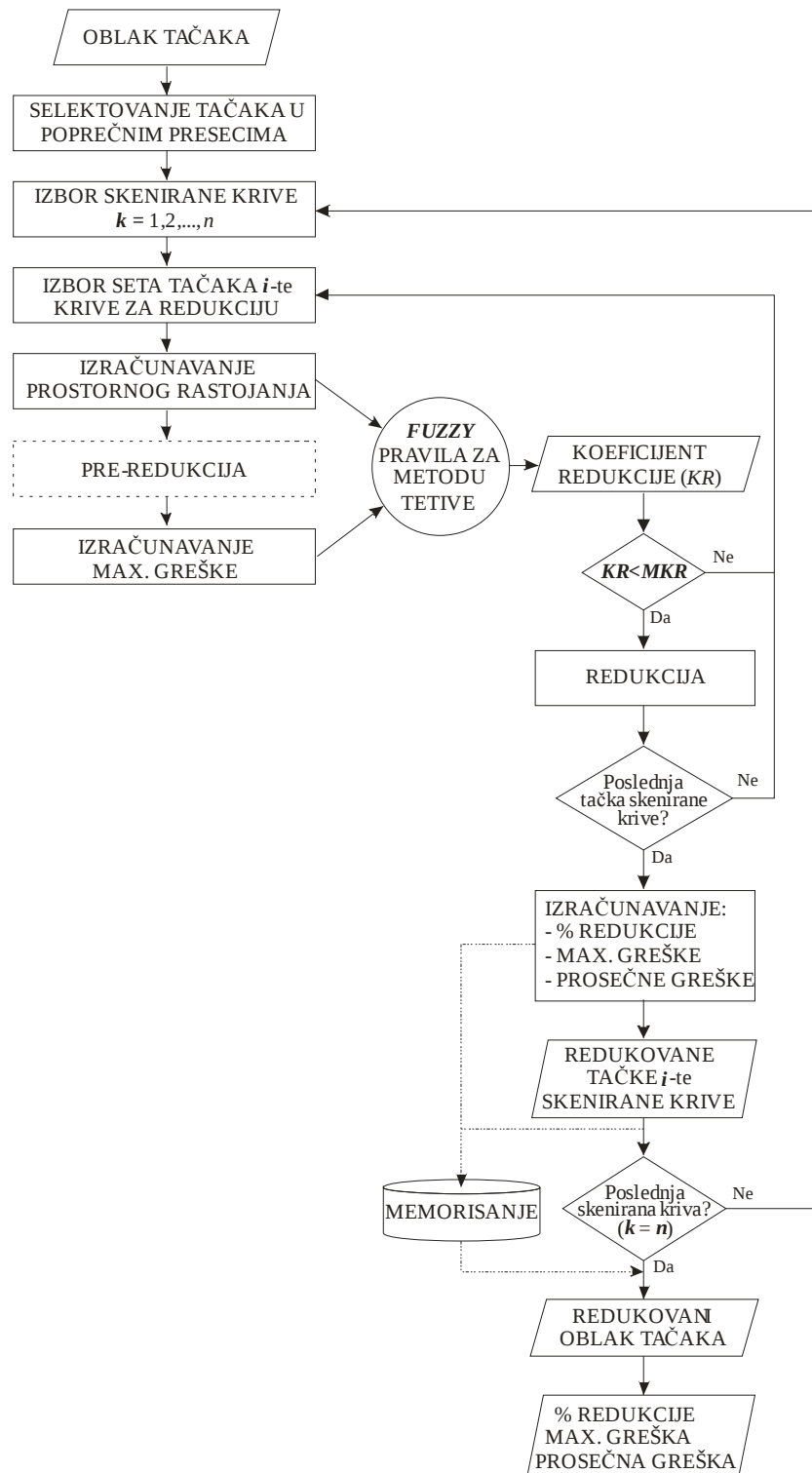
Prostorna metoda za redukovanje tačaka je bazirana na parametru *prostorno (euklidsko) rastojanje* – d_E , koji je, uz parametar MGR , iskorišćen i kao ulazna veličina kod implementacije fuzzy logike u proces zaključivanja ove metode.

Procedura fuzzy redukcije se sastoji u sledećem (slika 4.10):

- zadaje se $MDGR$, na bazi kojeg programski sistem automatski izračunava $MDKR$;
- selektuje se set tačaka za izračunavanje parametara (dve uzastopne tačke – u prvom koraku su to prva i druga tačka niza);
- izračunava se parametar d_E ;
- vrši se preliminarna redukcija druge tačke u selektovanom nizu u cilju izračunavanja parametra MGR ;
- na bazi izračunatih parametara i definisanih fuzzy pravila izračunava se KR ;
- poređenjem izračunate vrednosti KR sa zadatom vrednosti $MDKR$ donosi se odluka o konačnoj redukciji, odnosno zadržavanju tačke;
- u slučaju da je sprovedena redukcija druge tačke u nizu, novi set tačaka za analizu čine prva tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu, dok u slučaju ne sprovođenja redukcije novi set tačaka čine druga tačka iz prethodnog seta i sledeća tačka u skeniranom nizu;
- nakon izbora poslednje tačke u skeniranom nizu i sprovođenja procedure redukcije u prvom prolazu, vrši se „promena smera“ selektovanja seta tačaka, odnosno poslednja tačka skeniranog niza u prethodnom prolazu, postaje prva tačka u sledećem, čime je obezbeđen ravnomerniji proces redukcije;
- proces se sprovodi / ponavlja na (redukovanom) skeniranom nizu tačaka dokle god se bar jedna tačka u jednom prolazu redukuje.



Slika 4.9: Algoritamski prikaz programskog rešenja za redukciju tačaka metodom pravosti na bazi fuzzy logike

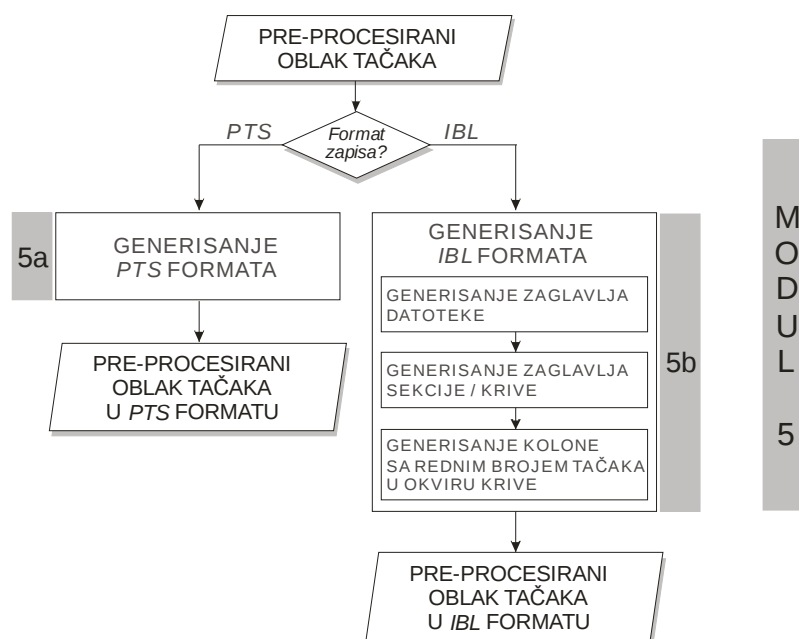


Slika 4.10: Algoritamski prikaz programskog rešenja za redukciju tačaka prostornom metodom na bazi fuzzy logike

4.5 Modul za generisanje izlaznog formata zapisa pre-procesiranih tačaka

Uloga ovog modula je da rezultat pre-procesiranja prilagodi i pripremi, kroz generisanje adekvatnog formata zapisa, za korišćenje u nekom od softverskih sistema za rekonstrukciju površinskih modela. U okviru ovog modula su podržana dva formata zapisa podataka-tačaka: *PTS* i *IBL*.

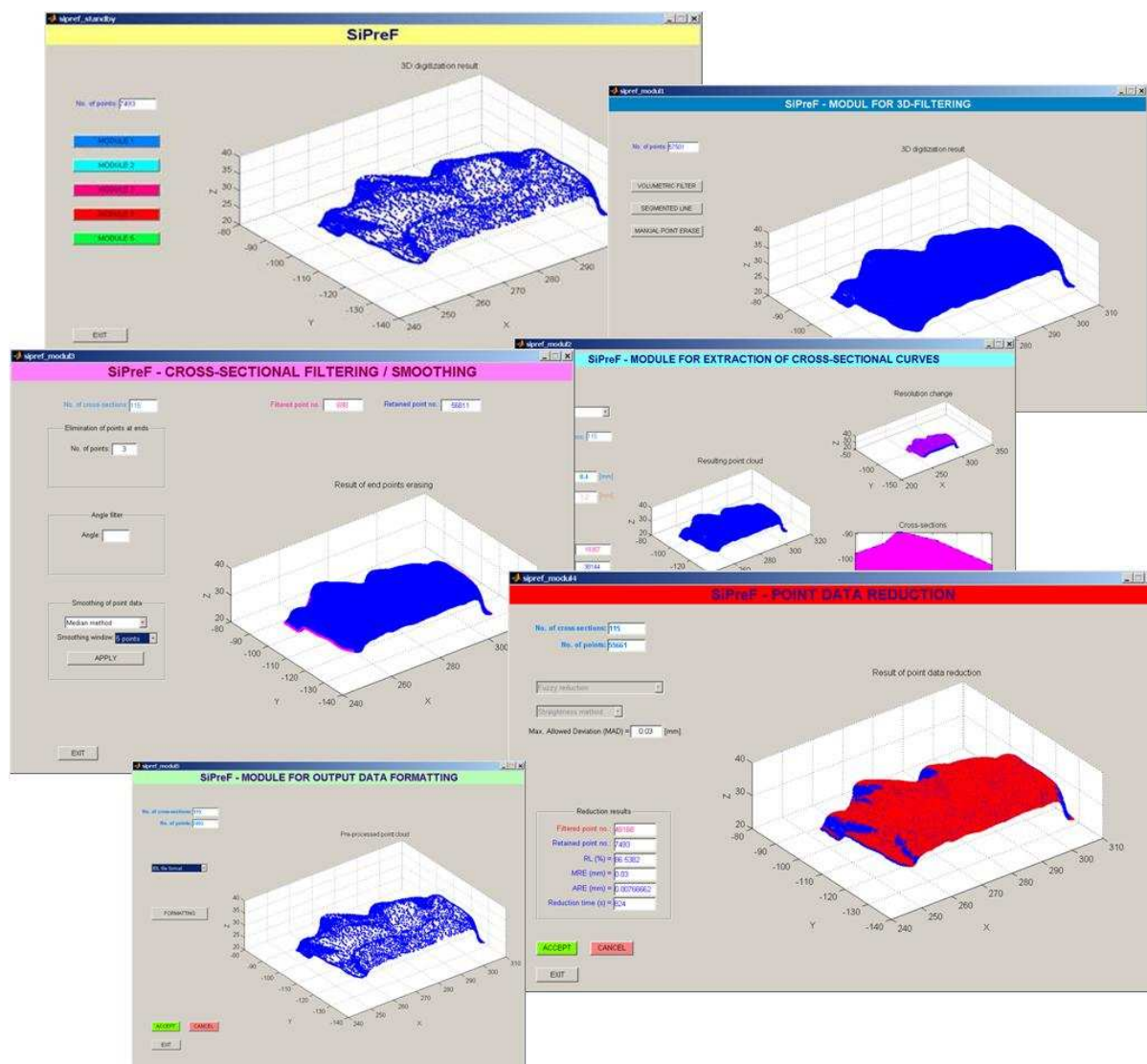
Na slici 4.11 je dat algoritamski prikaz programskog rešenja modula za generisanje izlaznog formata zapisa podataka.



Slika 4.11: Algoritamski prikaz programskog rešenja modula za generisanje izlaznog formata zapisa podataka

4.6 Realizacija programskog rešenja *SiPref-a*

U realizaciji sistema za pre-procesiranje podataka-tačaka *SiPreF* korišćeni su softverski alati za klasično programiranje, kao i metode veštačke inteligencije, konkretnije fuzzy logike. *SiPreF* je razvijen, na bazi podloga predstavljenih u prethodnom odeljku, u programskom sistemu *Matlab* (verzija 7.2.0.232) proizvođača *MathWorks*. Dijalog okviri (interfejsi) realizovanog programskog rešenja su prikazani na slici 4.12.



Slika 4.12: Dijalog okviri (interfejsi) realizovanog programskog rešenja

5. Literatura

- [Buda05] Budak, I. ; Hodolič, J.; Soković, M.: *Development of a programme system for data-point pre-processing in Reverse Engineering*, Journal of Materials Processing Technology, ISSN 0924-0136, Vol. 162-1, str. 730- 735, 2005.
- [Buda09] Budak, I., Osanna, P.H., Hodolič J., Durakbasa N.M., Bešić I., Vukelić Dj.: *Coordinate Measuring Machines and CAD Inspection*, ISBN 978-86-7892-195-7, Tempus project IB_JEP-41120-2006 - Education and Training of Institutions in Quality Management and Metrology, Novi Sad, 2009.
- [Carb01] Carbone V., Carocci M., Savio E., Sansoni G. and De Chiffre L.: *Combination of a Vision System and a Coordinate Measuring Machine for the Reverse Engineering of Freeform Surfaces*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 17:263-271, Springer-Verlag London Limited, 2001.
- [Chan02] Chang D.-Y., Chang Y.-M.: *A Freeform Surface Modelling System Based on Laser Scan Data for Reverse Engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 20:9-19, Springer-Verlag London Limited, 2002.

- [Duho06] Duhovnik J., Kusar J., Tomazevic R. and Starbek M.: *Development Process with Regard to Customer Requirements*, Concurrent Engineering 2006; 14; 67
- [Hadz91] Hadživuković S.: *Statistical methods*, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, 1991.
- [Hurs02] Hur S.-M., Kim H.-C. and Lee S.-H.: *STL File Generation with Data Reduction by the Delaunay Triangulation Method in Reverse Engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 19, Number 9 / May, 2002, pp. 669-678.
- [Kusa09] Kus A.: *Implementation of 3D optical scanning technology for automotive applications*, Sensors, 9, ISSN 1424-8220, 2009.
- [Leek98] Lee K.H., Woo H.: *Use of Reverse Engineering Method for Rapid Product Development*, Computers Industrial Engineering Vol. 35, Nos 1-2, pp.21-24, Elsevier Science Ltd., 1998.
- [Leek01a] Lee K.H., Woo H., Suk T.: *Data Reduction Methods for Reverse Engineering*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.17, pp. 735-743, Springer-Verlag London Limited, 2001.
- [Leek01b] Lee K.H., Woo H., Suk T.: *Point Data Reduction Using 3D Grids*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.18, No.3, pp. 201-210, Springer-Verlag London Limited, 2001.
- [Liud06] Liu D., Chen J. and Shangguan J.: *A study on data reduction in Reverse Engineering*, International Technology and Innovation Conference 2006, pp. 852 -855, Hangzhou, China, ISBN: 0-86341-696-9, 6-7 Nov. 2006.
- [Liuz06] Liu Z., Wang L., Lu B.: *Integrating cross-sectional imaging based reverse engineering with rapid prototyping*, Computers in Industry, Volume 57, Issue 2, pp. 131 – 140, ISSN:0166-3615, February 2006.
- [Soko04] Sokovic M.: *3D-scanning—main phase by reverse engineering*, Euroteh 3 (3), pp. 83–90, 2004. (in Slovene).
- [Soko05a] Soković M., Cedilnik M., Kopač J.: *Use of 3D-scanning and reverse engineering by manufacturing of complex shapes*. V: DOBRZAŃSKI, Leszek A. (ur.). Proceedings of the 13th International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, AMME'2005, Gliwice-Wisla, Poland, May 16-19, 2005. Gliwice: Silesian University of Technology, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, 2005, pp. 601-604.
- [Soko05b] Soković M., Kopač J., Cedilnik M.: *Reverse engineering steps associated with surface dimension verification*. V: CEBALO, Roko (ur.), SCHULZ, Herbert (ur.). 10th International Scientific Conference on Production Engineering, CIM 2005, Lumbarda, Korčula, June 15-17, 2005. Computer integrated manufacturing and high speed machining : scientific papers. Zagreb: Croatian association of production engineering, 2005, str. III-74-III-81.
- [Soko05c] Soković M., Kopač J., Cedilnik M.: *Scanning and (in) direct surfaces dimension verification with the same scanning device*. V: EKINOVIĆ, Sabahudin (ur.), YALÇIN, Senay (ur.), VIVANCOS CALVET, Joan (ur.). TMT 2005, 9th International Research/Expert Conference Trends in the Development Machinery and Associated Technology, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005. *Proceedings*. Zenica: Faculty of Mechanical Engineering, 2005, str. 441-444.
- [Soko05d] Soković M., Kopač J., Cedilnik M.: *Two numerical models comparisons in reverse engineering process*. V: DOBRZAŃSKI, Leszek A. (ur.). Proceedings of the Eleventh International Scientific Conference, CAM3S'2005, Gliwice-Zakopane, Poland, 6th - 9th December 2005. Gliwice: Silesian University of Technology, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, 2005, paper 1.102.

- [Soko06] Sokovic M., Kopac J.: *RE (Reverse Engineering) as necessary phase by rapid product development*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, pp. 398–403, 2006
- [Staj84] Stankov J.: *Measuring in production*, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 1984.
- [Vine08] Vinesh R., Kiran F.J.: *Reverse engineering : an industrial perspective*, Springer series in advanced manufacturing, ISBN-13: 9781846288555, 2008.
- [Wang99] Wang G.-J., Wang C.-C., Chuang S.H.F.: *Reverse Engineering of Sculptured Surfaces by Four-Axis Non-Contacting Scanning*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 15:800-809, Springer-Verlag London Limited, 1999.
- [Wujw08] Wu J., Wang Q., Huang Y., Li Y.: *A Hybrid Fuzzy Heuristic for Point Data Reduction in Reverse Engineering*, The 2008 International Congress on Image and Signal Processing (CISP2008), pp 615-619, Sanya, Hainan, China, May, 2008.
- [Yauh97] Yau H-T.: *Reverse Engineering of Engine Intake Ports by Digitization and Surface Approximation*, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 37, No. 6, pp 855-871, 1997.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2011-01-12

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 16. редовној седници одржаној дана 28.12.2010. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

У циљу доношења одлуке о прихватању техничког решења под називом:

СОФТВЕР ЗА ПРЕ-ПРОЦЕСИРАЊЕ РЕЗУЛТАТА ЗД- ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ

Аутори:

- др Игор Будаk, доцент, Факултет техничких наука у Новом Саду,
- др Мирко Соковић, редовни професор, Машински факултет у Љубљани,
- др Јанко Ходолич, редовни професор, Факултет техничких наука у Новом Саду,
- др Јанез Копач, редовни професор, Машински факултет у Љубљани.

именују се рецензенти:

- др Мирослав Планчак, редовни професор, Факултет техничких наука у Новом Саду,
- др Стеван Станковски, редовни професор, Факултет техничких наука у Новом Саду
- др Ђорђе Вукелић, доцент, Факултет техничких наука у Новом Саду

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Илија Ћосић

Odlukom nastavno-naučnog veća Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, na 16. redovnoj sednici održanoj dana 28.12.2010. godine imenovani smo za recenzente tehničkog rešenja **“SOFTVER ZA PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE”** autora: doc. dr Igora Budaka, prof. dr Mirka Sokovića, prof. dr Janka Hodolića i prof. dr Janeza Kopača.

Na osnovu predloga pomenutog tehničkog rešenja podnosimo sledeći:

IZVEŠTAJ

Tehničko rešenje "SOFTVER ZA PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE" autora doc. dr Igora Budaka, prof. dr Mirka Sokovića, prof. dr Janka Hodolića i prof. dr Janeza Kopača, realizovano 2007.-2010. godine, prikazano je na 19 stranica A4 formata, koje sadrže 12 slika i grafičkih ilustracija, a grupisano u ukupno pet poglavlja:

1. Opis problema koji se rešava tehničkim rešenjem,
2. Stanje rešenosti problema u svetu - prikaz i analiza postojećih rešenja,
3. Suština tehničkog rešenja,
4. Detaljan opis tehničkog rešenja (uključujući i prateće ilustracije i tehničke crteze) i
5. Literatura.

Tehničko rešenje pripada polju tehničko-tehnoloških nauka i oblasti mašinskog inženjerstva. Naručilac tehničkog rešenja je *Galeb Group* - Šabac, koji je i korisnik tehničkog rešenja uz Mašinski fakultet u Ljubljani, Republika Slovenija.

Tehničko rešenje je realizovano u okviru projekta "Unapređenje kvaliteta procesa i proizvoda primenom savremenih inženjerskih tehnika sa ciljem povećanja konkurentnosti na globalnom tržištu" (Broj projekta TR 14003, Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008-2010., Tehnološka oblast - Mašinstvo, Rukovodilac projekta: prof. dr Janko Hodolič)-

Rešenja na bazi kojih je razvijeno ovo tehničko rešenje, kao i rezultati verifikacije istog, su publikovani u radovima:

1. Budak I.; Soković M.; Kopač J.; Hodolič J.: Point Data Pre-Processing Based on Fuzzy Logic for Reverse Engineering Modelling; Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering, Vol.12, No.55, pp.755-765, 2009, ISSN 0039-2480. (M23)
2. Budak, I., Sokovic, M., Hodolic, J., Kopac, J.: Point Data Reduction Based on Fuzzy Logic in Reverse Engineering, Journal of Production Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 53-56, 2010, ISSN 1821-4932. (M53)

MIŠLJENJE

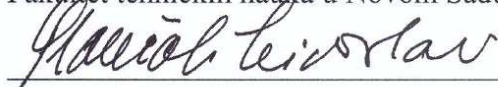
Na osnovu analize tehničkog rešenja "*Softver za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije*" - autora dr Igora Budaka, dr Mirka Sokovića, dr Janka Hodolića i dr Janeza Kopača - mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Dokumentacija tehničkog rešenja jasno prikazuje kompletnu strukturu tehničkog rešenja - opis problema, daje detaljniji osvrt na stanje u svetu, sadrži odgovarajući prikaz teorijskih osnova na kojima je zasnovano tehničko rešenje i posebno detaljno prikazuje strukturu i primenu realizovanog tehničkog rešenja.
- Predloženo tehničko rešenje - "*Softver za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije*", predstavlja efikasan alat za rešavanje problema u oblasti 3D digitalizacije i reverzibilnog inženjerskog modeliranja.
- Tehničko rešenje karakteriše originalan naučni doprinos koji ima izraženu praktičnu dimenziju budući da kroz uvođenje parametra *maksimalno dozvoljeno odstupanje*, omogućava primenu specifičnih i sofisticiranih metoda redukcije i korisnicima koji ne poseduju odgovarajuća specifična teorijska znanja, što do sada nije bio slučaj u ovoj oblasti.
- Razvijeni softver karakteriše modularna struktura - u ukupno pet modula je ugrađeno 17 alata - čime je omogućena njegova fleksibilnija i univerzalnija primena. Takođe, module i integrisane alate, u okviru modula, karakteriše iterativnost primene, čime je dodatno unapređena korisnička fleksibilnost.
- Korisnički interfejs softvera i njegovih modula je logično osmišljen i omogućava korisniku jednostavno snalaženje sa integrisanim alatima, a takođe obezbeđuje i adekvatnu grafičku interpretaciju rezultata.

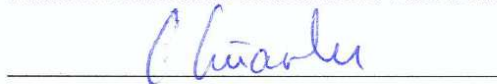
Na osnovu prethodnog, sa zadovoljstvom predlažemo da se "*Softver za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije*" - autora dr Igora Budaka, dr Mirka Sokovića, dr Janka Hodolića i dr Janeza Kopača - prihvati kao novo tehničko rešenje i u skladu sa Pravilnikom o postupku i načinu vrednovanja, i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača ("Službeni glasnik RS", broj 38/2008) klasifikuje kao rezultat **"M85 Prototip, nova metoda, softver, standardizovan ili atestiran instrument, nova genska proba, mikroorganizmi"**.

Novi Sad, 21.01.2011. godine

Dr Miroslav Plančak, redovni profesor
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu



Dr Stevan Stankovski, redovni profesor
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu



Dr Đorđe Vukelić, docent
Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu





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
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2011-01-27

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 17. редовној седници одржаној дана 26.01.2011. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 14. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Одлука

На основу извештаја рецензената прихвата се техничко решење категорије **M85** под називом:

" СОФТВЕР ЗА ПРЕ-ПРОЦЕСИРАЊЕ РЕЗУЛТАТА 3Д-ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ"

Аутори техничког решења:

- др Игор Будак, доцент, Факултет техничких наука у Новом Саду,
- др Мирко Соковић, редовни професор, Машински факултет у Љубљани,
- др Јанко Ходолич, редовни професор, Факултет техничких наука у Новом Саду,
- др Јанез Копач, редовни професор, Машински факултет у Љубљани.

непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Радослав Ђосиф