

UDK 62.002.2:681.32

Analiza skiciranja za računalniško podprto konstruiranje

JOŽE DUHOVNIK

1. UVOD

Pri računalniško podprtem konstruiranju (CAD)¹ imamo različne poti za vnašanje podatkov ali ukazov, ko uporabljamo določen program. Vnašanje podatkov je odvisno od vhodnih enot posameznih sistemov CAD. Metode za vnašanje so odvisne od oblike informacij, ki jih želimo vnašati. Črkovno-številčne podatke vnašamo prek tastature. Grafične podatke ali informacije lahko vnašamo z višjim programskim jezikom tudi prek tastature. Oblika vnašanja podatkov je lahko zelo kompleksna in jo pri standardizirani obliki lahko uporabljamo kot izbirno tehniko (menu tehniko). S spreminjanjem variacije oblike v posplošenem topološkem zapisu v izbirni tehniki spreminjamo oblike. Če oblike niso standardizirane, uporabljamo kompleksno razpoznavanje slike [2]. Vstopni podatki so preoblikovani v ustrezno osnovo geometrijskih podatkov. Uporabljeni dialogi nimajo možnosti na vhodnih enotah za grafično izražanje (skiciranje), ki bi imelo primerljivo uporabo v CAD, za dialog, ki bi omogočal dobro medsebojno sodelovanje s konstruktorjem. Taka možnost je bila prvič obdelana v [3] in ena od predstavitev je podana v [4]. Neposredna povezava [6], ki je bila predstavljena v [4], [8], je za tehnično uporabo medsebojnega delovanja opisana v tem članku.

Omejili smo se na ravninsko aktivnost roke, ker je v tehnični uporabi bolj znana. Prenos v prostorsko aktivnost omogoča dobra senzorska tehnika in razširitev predloženega modela na prostor. Izhajali smo iz oblike, ki je v osnovi določena z ravno črto ali delom krožnice. Razmejitev je postavljena zato, ker človeška roka ne opisuje enako v delih, ampak se slika o zaželenem delovanju ustvari šele ob pregledu celotnega delovanja. Povezovanje s tehničnimi možnostmi digitalizatorjev izkazuje še potrebo po vgradnji programskih filtrov. Pri analizi rezultatov po opravljenih preizkusih smo določili primerno mejo, ki ločuje ravno črto od loka. Ob tako opredeljenem opisu aktivnosti človeške roke smo povezali uporabljeno simboliko v tehničnem svetu za določitev enakovrednega mišljenja, logike, vgrajene v programski del.

Skrajnosti, kakršne so vogali, zasuki, pomenijo ločnico med posameznimi odseki gibanja, zato so

zelo primerni za ugotavljanje istovetnosti celotnega gibanja. Pri črkah se te skrajnosti kažejo v splošnem s še zaznavnimi vrednostmi. Zelo malomaren opis črke, ko vogal preide v večjo zaokroženje, se v analizi vedno pokaže kot zaokroženje in ne kot vogal. Za bolj natančne digitalizatorje je s spremembo meril za določanje skrajnih vrednosti berljivosti mogoče izboljšati tudi za malomarnejši zapis.

Pri opredeljevanju simbolov smo se odločili za tri skupine: črke, številke in tehnične simbole za skiciranje. Črke in številke so namenjene za pomoč pri določanju tehničnega opisa risbe. Tehnične simbole smo uporabili za definiranje oblike. Pomembno je, da tehnični simboli lahko opišejo vse možne definicije oblik. Rezultati podajajo berljivost zapisa za črke celotne abecede z upoštevanjem povprečne hitrosti opisa. Pri preizkusu smo zapisovali črke v celotnem območju možnosti zapisa, to je od 0 do 360 stopinj.

2. SKICIRANJE

2.1. Uvod

Skiciranje omogoča hiter prenos zamisli na papir. Skica je lahko že uporabna za nadaljnjo rabo, vendar zelo redko dobimo določeno predstavo o izdelku oz. splošno o sporočilu. Skica ni natančna, razmerja med dimenzijami posameznih zapisov se razlikujejo od pravih. Natančnost pri skiciranju je odvisna od osebnih zmožnosti. Zahtevnejša skica terja natančnejšo zgradbo dimenzij in osnutka. Dimenzijska zgradba določa sorazmernost dimenzij elementov skice. Odvisna je od izbire velikosti predstavitev, od razmernika prave nasproti prikazani velikosti.

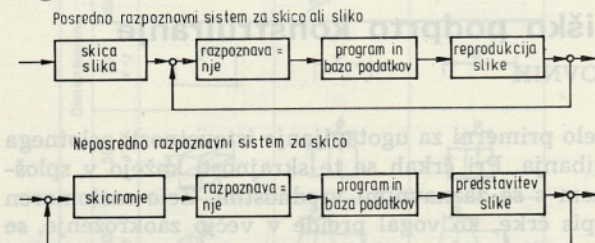
Zgradba osnutka določa zaporedje in način predstavitev. Zaporedje predstavitev je določeno z načeli skiciranja. Način predstavitev je odvisen od ravni obdelave risbe: shema, načrt, delavniška risba, osno razširjen pogled in projekcijska risba [4].

Skica je lahko kompleksna ali preprosta predstavitev zamisli. Pri kompleksni predstavitvi zamisli je zgradba skice še posebej pomembna. Skica mora biti izdelana tako, da si jo lahko razložimo, da zamisel razpoznamo. Pri obdelavi z računalnikom moramo skico razpoznati do take mere, da jo lahko shranimo v bazi podatkov.

¹ Computer Aided Design.

2.2. Razpoznavanje skice

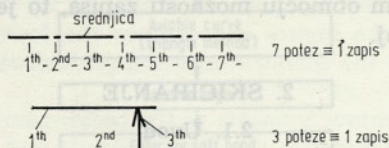
Razpoznavanje skice je lahko posredno ali neposredno (slika 1). Posredno razpoznavanje skice je namenjeno, podobno kakor razpoznavanje slike, prenosu — opisu izdelane skice ali slike v bazo podatkov, da jo lahko reproduciramo. Reprodukcijska je mogoča na različnih enotah.



Slika 1

Neposredno razpoznavanje skice je namenjeno za dialog človeka z računalnikom pri geometrijskem modeliranju. Omogoča postopno — ustvarjalno spremembo geometrijskega modela. Vzpostavljena mora biti povratna zveza med starim in novim modelom, predstavljenima na terminalskem zaslonu.

Pri neposrednem razpoznavanju skiciranja je treba razpoznati vsako potezo, vsak element skice. Element skice je sestavljen iz ene ali več potez (sl. 2). Element skice je obris, pomožna črta, srednjica, kota, znak, šrafura itd. Opis elementa skice izvedemo z enim zapisom. Zapis je sestavljen iz ene ali več potez.



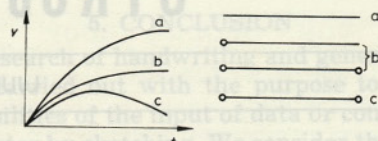
Slika 2

3. ZNAČILNOSTI POTEZE

3.1. Analiziranje gibanja roke

Gibanje roke pri zapisu v ravnini je zelo spremenljivo. Gibanost, povezana z miselnim svetom človeka, določa za različna delovanja različne hitrosti. Tudi pri enakem delu so lahko različne hitrosti. Pri preizkusih smo opazili, da je praviloma hitrost na začetku delovanja manjša, zatem pa se povečuje. Ob koncu delovanja je hitrost največja ali pa se zmanjšuje, sprememba je odvisna od določenosti delovanja. Če je delovanje določeno in miselno utrjeno (npr.: samo ravna črta), je hitrost na koncu največja (sl. 3. krivulja »a«). Če želimo z delovanjem doseči neko določeno točko (ravno črto, ki se naj dotakne točke), se hitrost na koncu zmanjša (sl. 3. krivulja »c«).

Hitrost gibanja roke, posneta s krivuljo b na sliki 3 ponazarja navedena primera v odvisnosti od človekovih zmognosti za skiciranje. Kolikor večjo zmognost za abstraktno mišljenje ima človek za ponazoritev oblike, bolj odločen je v svojem delo-

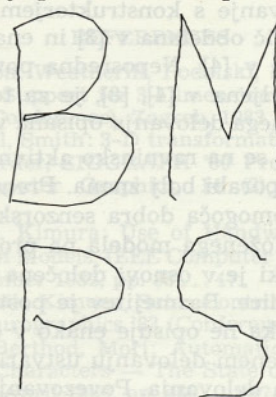


Slika 3

vanju, zaradi tega hitrosti med delovanjem niso zelo spremenljive. Hitrost delovanja je tedaj le malo odvisna od težavnosti naloge. Pri manjši zmognosti za abstraktno mišljenje za ponazoritev oblike pa je človek bolj neodločen v svojem delovanju. Hitrosti delovanj so zelo spremenljive. Spretnost, ki jo pridobi človek za zapisovanje, te razlike sicer zmanjšuje, vendar ostajajo razlike med zmognostmi za abstraktno mišljenje in izrazom z aktivnostjo roke še naprej. Pri našem testiranju smo ugotovili razliko tudi do 20-krat. Spoznanja, ki smo jih tako pridobili, smo prenesli na vrednotenje zapisa iz digitalizatorja.

Digitalizator omogoča razpoznavanje lege točke v določenih časovnih razmikih. Če določimo pot, ki je opravljena v enoti časa, imamo znano hitrost. Z razpoznavanjem dveh zaporednih točk in določenega časovnega razmika, imamo lahko za celoten popis predstavljeno spremembo hitrosti.

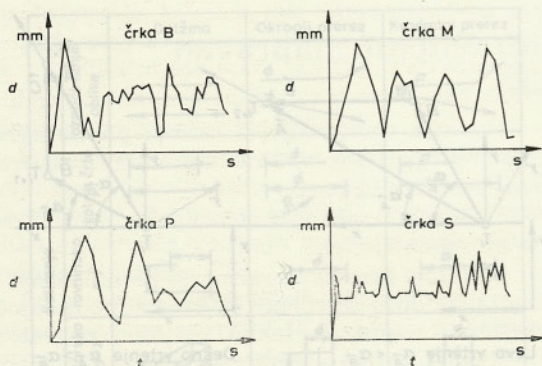
V splošnem smo ugotovili, da se hitrost bistveno zmanjša pri vseh skrajnih točkah zapisa. Skrajnosti zapisa, začetek in konec delovanja smo že opisali. Podobno je za vogal in zasuk. Pred vstopom v krivuljo in iz krivulje v ravno črto se hitrost zmanjša, vendar je to povezano s človekovimi zmognostmi in razlika navadno ni velika. Gibanje v sami krivulji-loku je podobno kakor pri ravni črti (sl. 4).



Slika 4

Na sliki 5 opazimo spremembo hitrosti za vse našete ekstremne vrednosti. Pri tem velja poudariti, da oblika zapisa ni bila preiščevana v času delovanja, ampak naučena. To pa pomeni podobno aktivnost kakor pri zapisu črke. Obliko črke zaradi spretnosti ne opisujemo več kot novo obliko v nadrobnotih, ampak kot obliko celote.

Vrednotenje tako spremenljivega popisa s točkami je zato v osnovi vprašljivo. Razdalje so različne, točke na zapisu imajo zato različno pomembnost pri analizi. Zahteva po skrbnem opisu se zdi



Slika 5

pretežka za širše uporabnike. Zaradi tega smo mnenja, da moramo po razbiranju izdelati analizo lege točk in jih nato po potrebi razvrstiti v novo množico z ustreznimi podatki o legi teh točk. Tako je zmanjšana zahteva po skrbnem zapisu na minimum. Po izdelani statistični analizi smo kot pogoj največje razdalje med točkami postavili naslednji merili:

- za dopolnitev z novimi točkami $k \bar{d} \leq d_i$
- za nespremenjene točke $k \bar{d} > d_i$

pri čemer pomenijo:

- k — kriterijski koeficient za nespremenjene točke ($k = 1, 2 \dots 1, 8$)
- $\bar{d}$ — povprečno vrednost razdalj med točkami $i, i + 1$
- d_i — razdaljo med točkama i in $i + 1$

3.2. Filtriranje signala

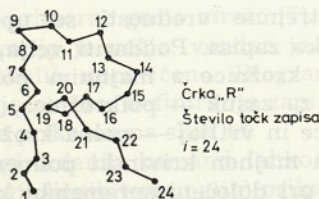
Filtriranje signala pomeni preverjanje lege pozicije točk zaradi tehničnih značilnosti digitalizatorja in »tresoč se« roke.

Tehnične značilnosti digitalizatorja se kažejo pri raztrosu razpoznavnih točk, če je pero v eni sami točki. Nekateri digitalizatorji imajo to razpoznavanje slabše in odvisno od lege oziroma drže peresa. Raztros se lahko giblje do 12 enot pri rastrskem zapisu 4095 ~ 3120.

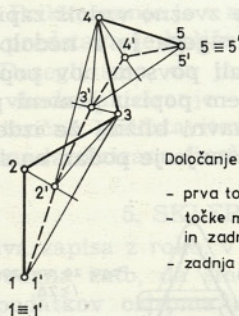
Tresoč se roka ali neizraziti zapis pa pomeni odklone v delih zapisa, če je delovanje roke zelo spremenljivo, tresoč. Odkloni v delih zapisa so lahko zelo veliki in pri majhni hitrosti ali pri kratkem zapisu (majhno število točk) ne dajo možnosti vpogleda v dejansko, zeleno delo roke.

Obadva pojava, slabše tehnične značilnosti in tresoč se roka, se združita v večje ali manjše odklone lege točk po sliki 6.

Če želimo tak zapis razpoznati, moramo uporabiti metodo s preskokom nekaj točk (določenih) ali pa preslikati odklone v splošno smer, ki ponazarja glavno aktivnost roke. Po pregledu uporabnosti obeh metod smo zaradi natančnosti pri določanju skrajnih delov zapisa in zaradi manjšega časa pri preračunu uporabili metodo s preslikavo. Več možnosti je za definiranje nove lege točk. Uporabili



Slika 6



Določanje novih lokacij:

- prva točka $1 \equiv 1'$
- točke med prvo in zadnjo $i \neq i'$
- zadnja točka $i \equiv i'$

Slika 7

smo metodo z določanjem težišča trikotnika po sliki 7.

Pri analizi smo ugotovili, da je poravnava v splošni smeri ustrezna in skrajne dele zapisa preslikamo z enako (včasih malo boljše ali slabšo) različnostjo pri oceni hitrosti. To pomeni, da je filtriranje primerno za nadaljnjo uporabo. Primer črke »R« ob uporabi takega načina filtriranja pri zapisu 22 točk je prikazan na sliki 8.



Slika 8

3.3. Določanje ekstremnih vrednosti

Pri zapisu so spoznani naslednji značilni deli (slika 9): Ravna črta, četrt krožnice, polovica krožnice, tričetrt krožnice, krožnica, več ko krožnica, vogal, zasuk, zavo, obrat. Vse aktivnosti so lahko desno (pozitivno) ali levo (negativno) naravnane. Meje, ki določajo ekstremne vrednosti, niso natančno določljive, ker je natančnost odvisna od človekove zmožnosti. Ocene moramo postaviti dovolj grobo, da se zaznava zamišljeno delo. Vse

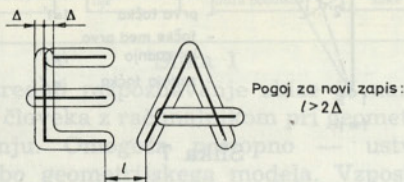
Levo - desno	Levo - desno	Nedoločene točke
ravna linija		križanje $l \leq 2\Delta$
četrt krožnice	kot	preskok $l > 2\Delta$
pol krožnice	obrat	
tričetrt krožnice	zavoj	
krožnica	vrtljaj	
več kakor krožnica		
6		

Slika 9

naštete ekstremne vrednosti se uporabljajo za splošno obliko zapisa. Poudariti velja, da je vogal oblika četrt krožnice z majhnim polmerom. Podobno velja za zasuk — polkrožnica, zavo — tričetrt krožnice in vrtljaj — polna krožnica.

Merilo za majhen krivinski polmer ali majhno število točk pri določeni spremembi kota je lahko določljivo.

Delovanje roke je zvezno vzdolž zapisa. Prestop iz enega zapisa v drugega je z nedoločeno točko v celovitem popisu ali povsem nov popis. Nedoločeno točko v celovitem popisu pomeni premik peresa v določeni zaznavni bližini že izdelanega zapisa. Osnutek vrednotenja je podan na sliki 10.



Slika 10

Vse vrste ekstremnih vrednosti niso uporabne za vse namene. Za določanje oblike črk je število potrebnih ekstremnih vrednosti manjše. Ločljivost pri določenih mejah ni tako ozka kakor pri splošnem opisu, npr. skiciranju. Poudariti velja, da je tudi kombinacija mogočih prestopov iz ene ekstremne vrednosti v drugo omejena in pri zapisu ni prehoda, npr. iz zasuka takoj v obrat, ampak je vmes ravna črta ali del krožnice. To pa pomeni novo ločljivost pri analizi zapisa. Matrika mogočih prestopov »P« je zmnožek matrike mogočih kombinacij »K« z vektorjem ekstremne vrednosti »E«

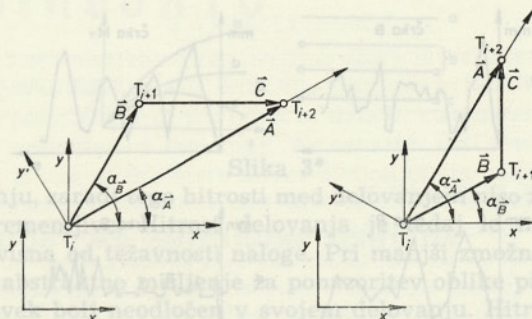
$$[P] = [K] \times [E] \quad (1)$$

Vrednost matrike mogočih kombinacij je podana v enačbi (2).

$$\begin{bmatrix} a & b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & c & 0 & 0 \\ a & 0 & c & 0 & 0 \\ a & b & 0 & d & 0 \\ a & b & c & 0 & e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{bmatrix} \quad (2)$$

OZNAČBA	OSNOVNA SKUPINA
a	ravna črta
b	krožnica
c	majhna krožnica
d	preskok
e	prerez

Za osnovni parameter pri določanju ekstremnih vrednosti smo uporabili diferenčni kot in njegovo različnost. V matematičnem zapisu pomeni to prvi in drugi odvod v točki »i«. Diferenčni kot je kot med dvema vektorjema **B** in **C** po sliki 11a. Njegova vrednost se giblje med 0 in 180 stopinj in po

Levo vrtenje $\alpha_A < \alpha_B$ Desno vrtenje $\alpha_A > \alpha_B$

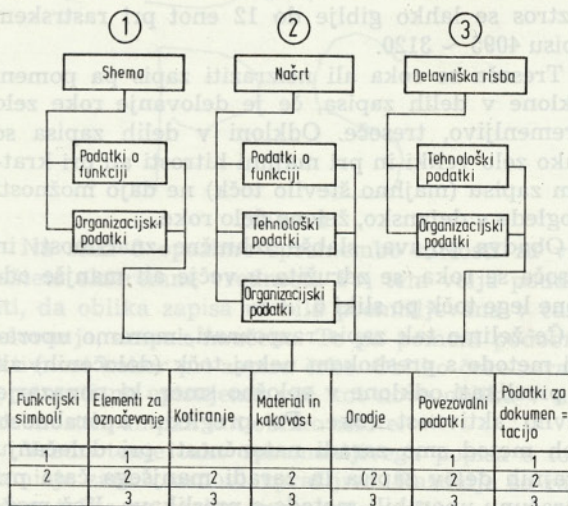
Slika 11

sliki 11b med 0 in —180 stopinj. Vektor **A** povezuje *i* in *i* + 2 točko, vektor **B** povezuje *i* in *i* + 1 točko, vektor **C** pa sklene trikotnik med *i* + 1 in *i* + 2 točko. Matematični zapis za definiranje diferenčnega kota med vektorjem **B** in **C** je podan za primere pozitivne in negativne vrednosti diferenčnega kota na slikah 11a in 11b. Pozitivni diferenčni kot določa desno vrtenje, negativni diferenčni kot levo vrtenje.

4. OBLIKA ZAPISA IN NJEGOVA ZMOŽNOST

Zapis pri konstruiranju pomeni del informacije o izdelku. Več zapisov lahko sestavlja skico. Na ravni sheme zapisujemo funkcijo in organizacijske podatke, podobno kakor na ravni inženirskega načrta. Na ravni inženirskega načrta se dodajo še tehnološki podatki za izdelavo. Tehnološki podatki se dopolnijo do vseh nadrobnosti na ravni delavniške risbe, ki obsega še organizacijske podatke (sl. 12).

Organizacijske podatke potrebujemo za informacijski sistem pri dokumentiranju, načrtovanju izdelave ipd. Za vnašanje podatkov je pomembna oblika zapisa na ravni grafične informacije. Grafične informacije določajo obliko in dimenzije izdelka. Uporabljamo jih pri skiciranju in natanč-



Slika 12

	Dolžina	Okrogli prerez	Kvadratni prerez
označevanje oblike			
kotne črte			
kotiranje			
ravninsko x-y			
prostorsko x-y-z			
prostorsko x-y-z K-krogla			

Slika 13

nem risanju izdelka. Pri skiciranju moramo kot prve grafične informacije določiti poglede in pre-reze na risalni ravnini. Hkrati določimo razmernik in lokacijo. Pri našem osnutku medsebojnega vpliva določimo s prvimi potezi oziroma s prvimi zapisi, ki v celoti pomenijo obrise in kote. Z osnovnimi elementi obrisov (krivulje, ravne črte) predstavimo dele izdelka. Obrise dimenzijsko opišemo s kotami. Na sliki 13 so predstavljeni oblika obrisov in kot ter povezava z generatorjem ukazov. Obrisi predstavi izdelek na skici, kota ga dimenzionira in s tema dvema podatkom lahko aktiviramo generator ukaza za geometrijsko modeliranje. Zapis pomeni določitev oblike-obrisa, ki jo dimenzionira (koto). Oblika oziroma poteza obrisa daje lego oblike v njenih značilnih točkah glede na risalno ravnino. Značilne točke so: začetek in konec poteza ter

lokacija ekstremnih vrednosti. Oblika je s potezo določena nenatančno, zato jo le ocenimo, ali je del krožnice ali pa ravna črta. Ocena je potrjena z dimenzioniranjem. Dimenzioniramo s koto, ki lahko določa oziroma potrjuje del krožnice ali ravno črto.

V primeru, če opisujemo skico s simboli, jih moramo razpoznati po obliki zapisa v primerni kombinaciji. Preprosti simboli se lahko hitro razpoznajo, medtem ko je razpoznavanje kompleksnih simbolov zahtevnejše. Preprosti simboli se lahko razpoznajo z analizo oblike zapisa, kakor smo prikazali v poglavju 3. Kompleksni simboli se laže

razpoznajo s primerno gosto mrežo [7]. Poraba časa za razpoznavanje je večja, vendar je to pri kompleksnih simbolih upravičeno. Diagram poteka za razpoznavanje poteze, definiranje zapisa in izdajanje ukazov je prikazan na sliki 14.

Na podlagi izdanih komand lahko na izhodnih enotah (npr. grafičnih terminalih) prikazujemo dvo-dimenzionalni ali tridimenzionalni geometrijski model izdelka. Prikazovanje je v natančnih dimenzijah. Prostorska predstava je boljša in razmerja oblik so natančna. Dosegli smo, da je osnovno prevajanje ukazov na vходу (skiciranje — osnovna predstavitev) in natančna predstavitev modela na izhodu (načrt — standardizirana finalna predstavitev).

5. SKLEP

Raziskava zapisa z roko, v splošnem skiciranja, je bila izvedena zato, da smo ugotovili možnosti vnašanja podatkov oziroma ukazov v računalnik s skiciranjem. Mnenja smo, da je skiciranje ena od oblik neposrednejše povezave človeka z računalnikom, ki omogoča zelo preprosto medsebojno zvezo. Mišljenje o opisu mora biti nedvoumno in rezultat mora biti dostopen človeku. Računalnik mora ob tem opisu ugotoviti enakovrednost z že poznanimi in postaviti simbol, besedo in nato ukaz.

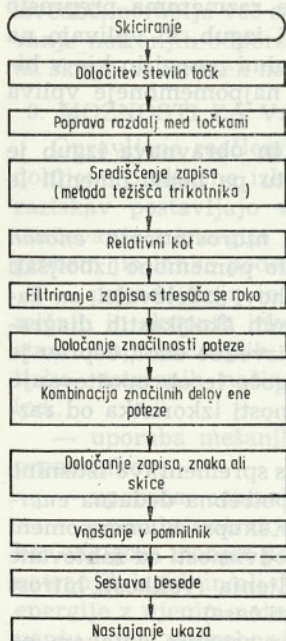
Z metodo diferenčnega kota je opis mogoč v celotni ravnini brez omejitve nagiba, to pa je za uporabo pri skiciranju posebej pomembno. Diferenčni kot zaznamuje začetno lego v vrednosti nič, zatem pa določa sprememba zapisa novo vrednost diferenčnega kota od tako določene.

Signal je treba filtrirati zaradi različnih kakovosti digitalizatorjev in zaradi kakovosti zapisa. Slabo, neskrbno izveden zapis (»tresoča se roka«) se da s filtriranjem dobro analizirati. Metoda, s katero definiramo novo lego točke v težišču trikotnika, je primerna, ker se ekstremne vrednosti v zapisu po filtriranju ne zbirajo.

LITERATURA

- [1] Morrison, Weatherill, Podolski, Bailey: High Level Language Support for 3-Dimensional Graphics, Eurographics '83 (Conference), Zagreb, 1983.
- [2] Catmull, Smith: 3-D transformations of Images Scan-line Order, SIGGRAPH '80 Proceedings, published as Computer Graphics, 14 (3), Julij 1980, str. 279...285.
- [3] Hosaka, Kimura: Use of Handwriting Action in Construction of models, IEEE Computer Graphics Applications, november 1982, str. 35—47.
- [4] Duhovnik, Kimura, Sata: Contribution to Methodic in CAD, Eurographics '83 (Conference), Zagreb, 1983.
- [5] Suan, Berthod, Mori: Automatic Recognition of Hand-printed Characters — The State of the Art. IEEE, Vol. 68, št. 4, april 1980, str. 469—487.
- [6] Mutsushita, Saeki: On-line Recognition of Handwritten Symbols for Two-Dimensional Data Input (in Japanese), Information Processing Society of Japan, Vol. 23, št. 4, Julij 1982, str. 435...442.
- [7] Tappert: Cursive Script Recognition by Elastic Matching, IMB I. Res. Develop., Vol. 26, št. 6, november 1982, str. 765...771.
- [8] Duhovnik, J.: Skiciranje v sodobnem konstrukcijskem procesu, Strojniški vestnik 1983/4—6, str. 91 do 99.

Avtorjev naslov: doc. dr. Jože Duhovnik, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo Univerze
Edvarda Kardelja v Ljubljani,
Murnikova 2



Slika 14