

UDK 65.012:658.51

Celična struktura — gručenje ustreznih obdelovancev

JANEZ DEKLEVA — DRAGAN ŠTANČAR — RAJKO NOVAK

UVOD

Analiza proizvodnega toka je ena od dveh metod za identifikacijo družin obdelovancev in njim pripadajočih skupin strojev. V drugo metodo štejemo klasifikacijo obdelovancev z ustreznim kodiranjem. Ta metoda je zahtevnejša, ponuja vrsto dodatnih koristnih lastnosti, njena izvedba pa je dražja.

Obe metodi se razlikujeta po viru podatkov. Za analizo proizvodnega toka zadostujejo tehnološki podatki. Ni treba poudarjati, da je zato metoda v celoti odvisna od kakovosti teh podatkov. Tehnološke podatke obdelovancev najdemo v njihovih tehnoloških listih. Z njimi oblikujemo za množico obdelovancev M datoteko tehnoloških podatkov, ki obsega njihove najznačilnejše lastnosti $X = \{o_1 \dots o_i \dots o_m\}$; kjer je $o_i = o_i(p_i, x_i)$ in pomeni p_i »prave« tehnološke podatke obdelovanca $i \in M = \{1 \dots m\}$, x_i pa so dimenzije, ki so v razmerju s posameznimi tehnološkimi postopki in jih prav tako dobimo v tehnološkem listu (glej »Računalniško ugotavljanje ustreznosti celične strukture«) [1].

Za klasifikacijo obdelovancev pa potrebujemo poleg tehnoloških še konstrukcijske podatke obdelovanca. Tako zgradimo popolnejši prostor podatkov S , tako da velja $X \subset S$.

Med konstrukcijskimi podatki so: osnovna zunanja oblika obdelovanca, osnovna notranja oblika obdelovanca, razmerje L/D , vrsta materiala, funkcija obdelovanca, glavne in stranske dimenzije, tolerance in obdelava površine. Danes že klasičen primer za klasifikacijo je npr.: OPITZov klasifikacijski ključ [2], ki očitno kaže na uporabo tako konstrukcijskih kakor tehnoloških podatkov. V zadnjem času imamo še druge klasifikacijske ključe [3, 4], ki so primernejši za uporabo v računalniško podprti proizvodnji. Izvedba analize proizvodnega toka v nekaterih naših organizacijah je potrdila, kako pomembna je kakovost tehnoloških podatkov. V primerih, ko tehnološki podatki niso bili kakovostni, je bila identifikacija družine obdelovancev z nekaterimi predlaganimi metodami brezuspešna [5]. Šele metoda z modificirano incidenčno matriko [6], dopolnjena z analizo ustreznosti [1], je v takih primerih omogočila identifikacijo družin obdelovancev in njim pripadajočih skupin strojev. Metoda z modificirano matriko pa terja razširitev osnovne množice podatkov X z nekaterimi konstrukcijskimi podatki, do katerih pridemo s pregledom risb. Z vizualnim pregledom risb združimo namreč tehnološke liste za družine funkcionalno, oblikovno in dimenzijsko podobnih obdelovancev.

Ugotavljanje ustreznosti celične strukture pomeni naslednjo fazo v analizi proizvodnega toka. Po eni strani skrbi za razvrščanje obstoječih in novih obdelovancev v predlagane proizvodne celice, po drugi strani pa oblikuje podatke o medceličnih povezavah tistih obdelovancev, ki terjajo za izdelavo več ko eno celico. Ta zadnji problem pomeni novo nalogo, ki jo kratko imenujemo minimizacija medceličnih povezav in je predmet intenzivnih raziskav.

Obstoječo množico tehnoloških podatkov X nazadnje lahko delimo na c (celo število) gruč; $2 \leq c \leq m$, tako da imajo člani posamezne gruče veliko več medsebojnih podobnosti, kakor jih imajo s člani drugih gruč. Deljenje množice obdelovancev M na c disjunktivnih gruč $C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_c = \{1 \dots m\}$ ima več namenov:

1. V primeru, ko je identifikacija družin obdelovancev in njim pripadajočih skupin strojev tekla ob slabih ali vsaj razmeroma slabih tehnoloških podatkih, je vprašljivo, če so ustrezní obdelovanci neke celice tudi pripadniki ene same gruče. Mogoče so pripadniki več gruč. Še več, z gručenjem preverjamo, če je dobljena gruča C_1 (oziroma njeni elementi o_i^1) dejansko podmnožica prostora U_1 ; to je tehnološko dimenzijskega prostora celice 1. Lahko se zgodi, da gruča C_1 pripada več ko enemu prostoru U .

2. Gručenje odkriva strukturo v množici X . Struktura pa pomeni urejanje informacij o obdelovancih na način, ko postanejo razmerja med spremenljivkami iz procesa obdelave najbolj razumljiva. Strukturiranje informacij v množici X je lepo vidno v razpredelnici 1 oz. razpredelnici 2 v [1].

3. Gručenje moramo povezati s klasifikacijo. Naš končni cilj je seveda delitev množice S na c področij. To pomeni, da moramo ugotoviti, če podatki iz X zadostujejo za konstrukcijo klasifikatorja za delitev prostora S . Vprašanje je, če imamo na voljo potrebne lastnosti obdelovancev. Na nekatere probleme, ki so povezani s postavljenim vprašanjem, bomo iskali odgovor pozneje.

GRUČENJE OBDELOVANČEV V CELIČNI STRUKTURI

V tem poglavju bomo spregovorili o gručenju ustreznih obdelovancev znotraj posameznih celic, kar pomeni, da bomo reševali predvsem prvega izmed naštetih problemov. Zanima nas, če so vsi ustrezní obdelovanci v celici podobni, tako da sestavljajo eno gručo, ali pa je med njimi mogoče razpoznati več gruč. Dejstvo, da je identifikacija celic tekla ob pomanjkljivih tehnoloških podatkih, dopušča tudi slednjo možnost.

Naj opozorimo že na tem mestu, da bomo rezultate teh izsledkov porabili pozneje še za klasifikacijo obdelovancev in za njeno najširšo uporabo. Kot primer bomo vzeli celico, v kateri obdelujemo družino osi, gredi, čepov in sornikov. Vseh obdelovancev je 101. Razpredelnico 2 v [1] z razmerji tehnoloških in dimenzijskih zahtev bomo priredili za omenjeno celico. Celico sestavlja skupina 11 obdelovalnih strojev. Omenili smo, da nas zanima gručenje ustreznih obdelovancev. Zato menimo, da gručenje lahko opravimo s pomočjo dimenzijskih lastnosti obdelovanca, torej s pomočjo lastnosti vektorja x_i . Število dimenzij vektorja x_i je odvisno od tehnoloških zahtev ustreznih obdelovancev. Kakor je razvidno iz razpredelnice 2 v [1], zahtevajo tehnološke zmogljivosti naše celice 14 dimenzij. Zato ima vektor dimenzijskih zahtev obdelovanca i naslednjo obliko:

$$x_i = x_{i1} e_1 + \dots + x_{ig} e_g \quad (1)$$

kjer pomenita

$B_g = (e_1 \dots e_g)$ bazo g razsežnostnega prostora celice
 $g = 14$

Za gručenje obdelovancev bomo uporabili dve različni metodi:

- hevristično metodo z danim številom gruč in brez kriterijske funkcije,
- delilno metodo s predpisom za število gruč in kriterijsko funkcijo.

HEVRISTIČNA METODA GRUČENJA OBDELOVANČEV [7]

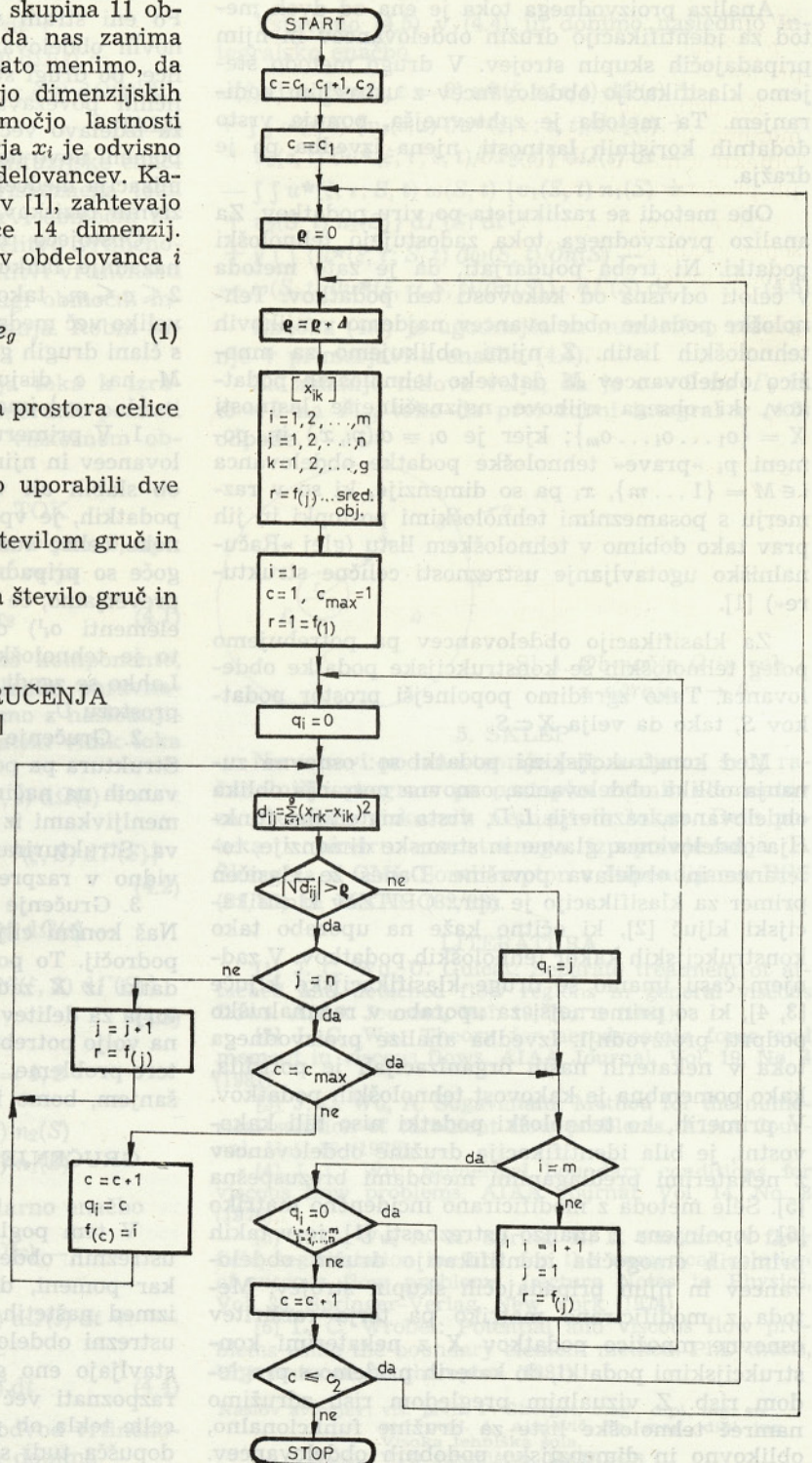
V splošnem lahko dobimo z gručenjem ob vnaprej danem številu gruč c in poznani namenski funkciji optimalne gruče obravnavanih objektov. V tem primeru si bomo ogledali eno najpreprostejših metod brez namenske funkcije, kjer ob konstantnem c velja:

$$C_1 U C_2 U \dots U C_c \subseteq \{1, 2, \dots, m\}$$

Izraz je podoben izrazu za disjunktivno gručenje, le da pri določenem številu gruč c ni nujno potrebno, da so porazdeljeni vsi obdelovanci. S postopnim večanjem območja, ki ga predpisujemo posamezni gruči, ponavljamo postopek in ko razporedimo vse obdelovance, dosežemo stanje, ki ga podaja že omenjeni izraz za disjunktivno gručenje.

Druga možnost pa je, da ob nespremenjenem območju posamezne gruče večamo število c , dokler ne razporedimo vseh obdelovancev.

Metoda, ki ustreza zgornji trditvi, je podana z algoritmom VRSTNI v diagramu poteka (sl. 1). Algoritem VRSTNI podaja metodo, kjer sestavljamo



Slika 1

gruče podobnih objektov, tako da medsebojno primerjamo še nerazporejene objekte s središčnim objektom gruče, v katero trenutno razporejamo.

Oglejmo si postopek razporejanja objektov z algoritmom VRSTNI. V prvem koraku definiramo najmanjše in največje število gruč c_1 in c_2 . Prav tako definiramo začetni polmer območja, ki ga upoštevamo kot merilo velikosti gruče in ga označimo z ϱ . Polmer ϱ v kasnejših korakih povečujemo za prirastek Δ .

Ko definiramo število gruč in njihovo območje, moramo definirati še listo razporejenih objektov. Objekti v našem primeru so obdelovanci x_i , ki smo jih predstavili z izrazom [1].

Nerazporejenemu objektu na začetku predpišemo vrednosti $q_i = 0$, kar pomeni, da ne pripada nobeni gruči.

Kot središnji objekt upoštevamo v začetku prvi objekt, ali pozneje prvi objekt, ki ga ne moremo razporediti v nobeno od že definiranih gruč. Merilo oddaljenosti objektov od središčnega objekta je kvadrat razdalje, ki ga podaja izraz

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^g (x_{rk} - x_{ik})^2$$

kjer pomenijo:

- d_{ij} — kvadrat razdalje med objektoma x_r in x_i
- x_r — središnji objekt
- x_i — opazovani ali razporejani objekt
- k — indeks v g -dimenzijskem prostoru

Absolutno vrednost razdalje $|\sqrt{d_{ij}}|$ primerjamo s predpisanim polmerom ϱ . Ko zadostimo izrazu

$$|\sqrt{d_{ij}}| \leq \varrho$$

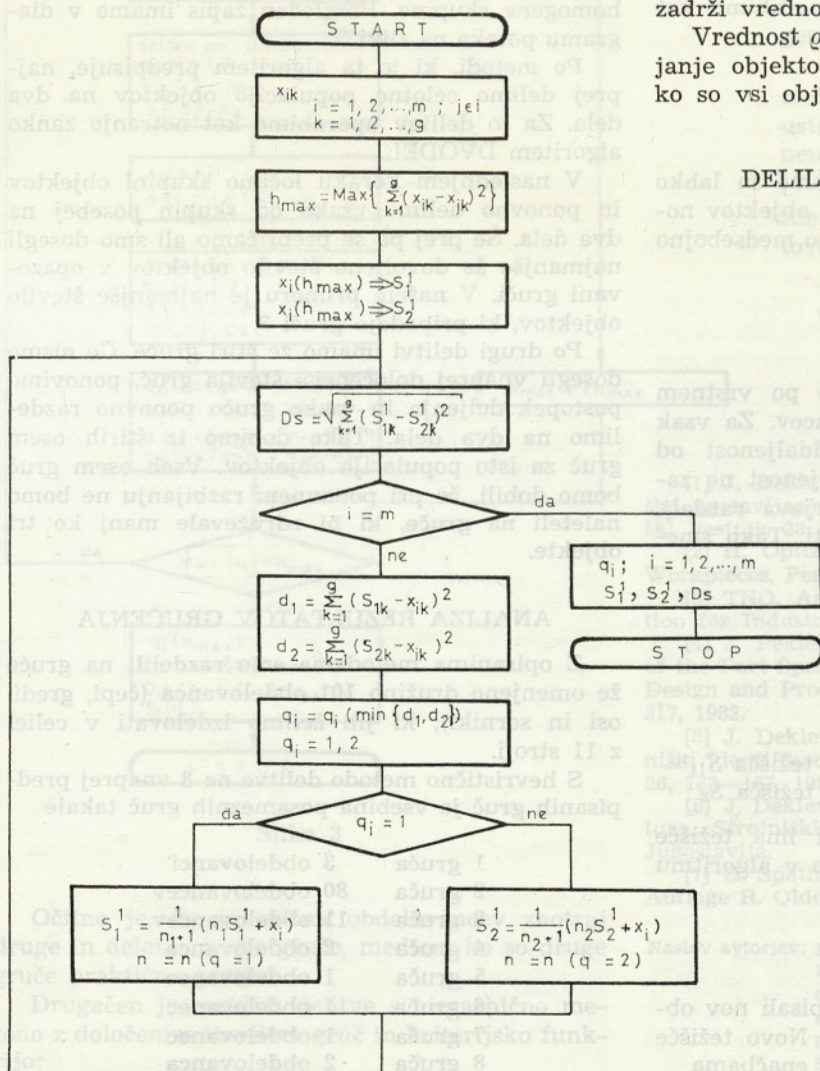
razporedimo objekt x_i v opazovano gručo. Če izrazu ni zadoščeno, poskusimo razporediti objekt v naslednjo gručo. Ko je največje predpisano število gruč že doseženo, ostane objekt nerazporejen in zadrži vrednost $q_i = 0$.

Vrednost ϱ povečamo za Δ in ponovimo primerjanje objektov od začetka. Postopek zaustavimo, ko so vsi objekti razporejeni.

DELILNA METODA ZA GRUČENJE OBDELOVANECV

Poglejmo si še drugi postopek za gručenje objektov, ki v nasprotju s prvim postopkom izključuje vpliv vrstnega reda zapisa obdelovancev na sestavljanje gruč. V prvem primeru smo izbrali element, ki je bil center gruče skozi celotno obdelavo podatkov tako, da smo določili prvi nerazporejeni objekt ali pa objekt, ki ga nismo mogli razporediti v nobeno od že definiranih gruč.

Pri delilni metodi pa nasprotno izhajamo iz celotne populacije objektov, ki jo delimo v naprej določeno število gruč. V našem primeru si bomo ogledali postopek, ki ga krmilita algoritma DVODEL in RAZDEL, kjer bomo uporabili algoritem DVODEL kot notranjo zanko v algoritmu RAZDEL [7].



Slika 2

ALGORITEM DVODEL

Po metodi, ki jo podaja algoritem DVODEL, lahko podano gručo objektov delimo na dve gruči tako, da zberemo okrog na novo nastalih težišč obdelovancev z najbolj podobnimi zahtevami.

Sam postopek, ki ga predpisuje algoritem DVODEL, lahko predstavimo z diagramom poteka na sliki 2. Začnemo tako, da najprej določimo tista obdelovanca iz opazovane družine, ki sta v g -dimenzijskem prostoru najbolj narazen. Oba obdelovanca določimo z izrazom

$$h_{\max} = \text{Max} \left\{ \sum_{k=1}^g (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\} ; j, i \in M$$

Vsoto kvadratov razdalj parametrov, ki smo jo zapisali med zavritimi oklepaji, že poznamo iz prejšnjih obravnav in vemo, da jo smemo uporabiti kot merilo oddaljenosti dveh vektorjev v g -dimenzijskem prostoru. Indeksa i in j pomenita indekse obdelovancev. Ko sta najbolj oddaljena objekta ugotovljena, ju v prvem koraku uporabimo kot težišni točki S_1^1 in S_2^1 :

$$\begin{aligned} x_i(h_{\max}) &\Rightarrow S_1^1 \\ x_j(h_{\max}) &\Rightarrow S_2^1 \end{aligned}$$

Začetni težišni točki torej poznamo in lahko začnemo z ugotavljanjem pripadnosti objektov novima težiščema. Še prej pa izračunamo medsebojno razdaljo D_s .

$$D_s = \sqrt{\sum_{k=1}^g (S_{1k}^1 - S_{2k}^1)^2}$$

Pripadnost objektov ugotavljamo po vrstnem redu, ki ga podaja indeks obdelovancev. Za vsak obdelovanec izračunamo najprej oddaljenost od obeh težišč. Ker nas dejanska oddaljenost ne zanima, pač pa nas zanima le primerjava razdalj, lahko operiramo z njihovimi kvadrati. Tako smemo zapisati

$$\begin{aligned} d_1 &= \sum_{k=1}^g (S_{1k}^1 - x_{ik})^2 \\ d_2 &= \sum_{k=1}^g (S_{2k}^1 - x_{ik})^2 \end{aligned}$$

kjer pomenita

d_1 — kvadrat razdalje objekta x_1 od težišča S_{11}^1
 d_2 — kvadrat razdalje objekta x_1 od težišča S_2

Objekt pripišemo tisti gruči, ki ima težišče bližje opazovanemu objektu, kar smo v algoritmu podali z izrazom

$$q_i = q_i(\min \{d_1, d_2\})$$

ker smo gruči z znanim težiščem pripisali nov objekt, se tudi težišče gruče spremeni. Novo težišče za prvo ali drugo gručo izračunamo z enačbama

$$S_1^1 = \frac{1}{n_1 + 1} (n_1 S_1^1 + x_i)$$

$$S_2^1 = \frac{1}{n_2 + 1} (n_2 S_2^1 + x_i)$$

odvisno od tega, v katero gručo smo obravnavani objekt uvrstili. Novi označbi n_1 in n_2 v tem primeru pomenita število objektov, ki smo jih uvrstili v prvo ali drugo gručo.

Pravkar smo izračunali novo težišče, kar pomeni, da se spremeni tudi razdalja med težiščema. Novo razdaljo D_s izračunamo z opisano enačbo. Razporejanje obdelovancev ponavljamo, dokler ne razporedimo vseh obdelovancev v eno ali drugo gručo.

ALGORITEM RAZDEL

Z algoritmom RAZDEL krmilimo uporabo algoritma DVODEL v notranjih zankah, tako da lahko obstoječe skupine objektov poljubno dolgo delimo na dva dela in tako dobivamo vse manjše in bolj homogene skupine. Pregleden zapis imamo v diagramu poteka na sliki 3.

Po metodi, ki jo ta algoritem predpisuje, najprej delimo celotno populacijo objektov na dva dela. Za to delitev uporabimo kot notranjo zanko algoritem DVODEL.

V naslednjem koraku ločimo skupini objektov in ponovno delimo vsako od skupin posebej na dva dela. Še prej pa se prepričamo ali smo dosegli najmanjše še dovoljeno število objektov v opazovani gruči. V našem primeru je najmanjše število objektov, ki pripadajo gruči 3.

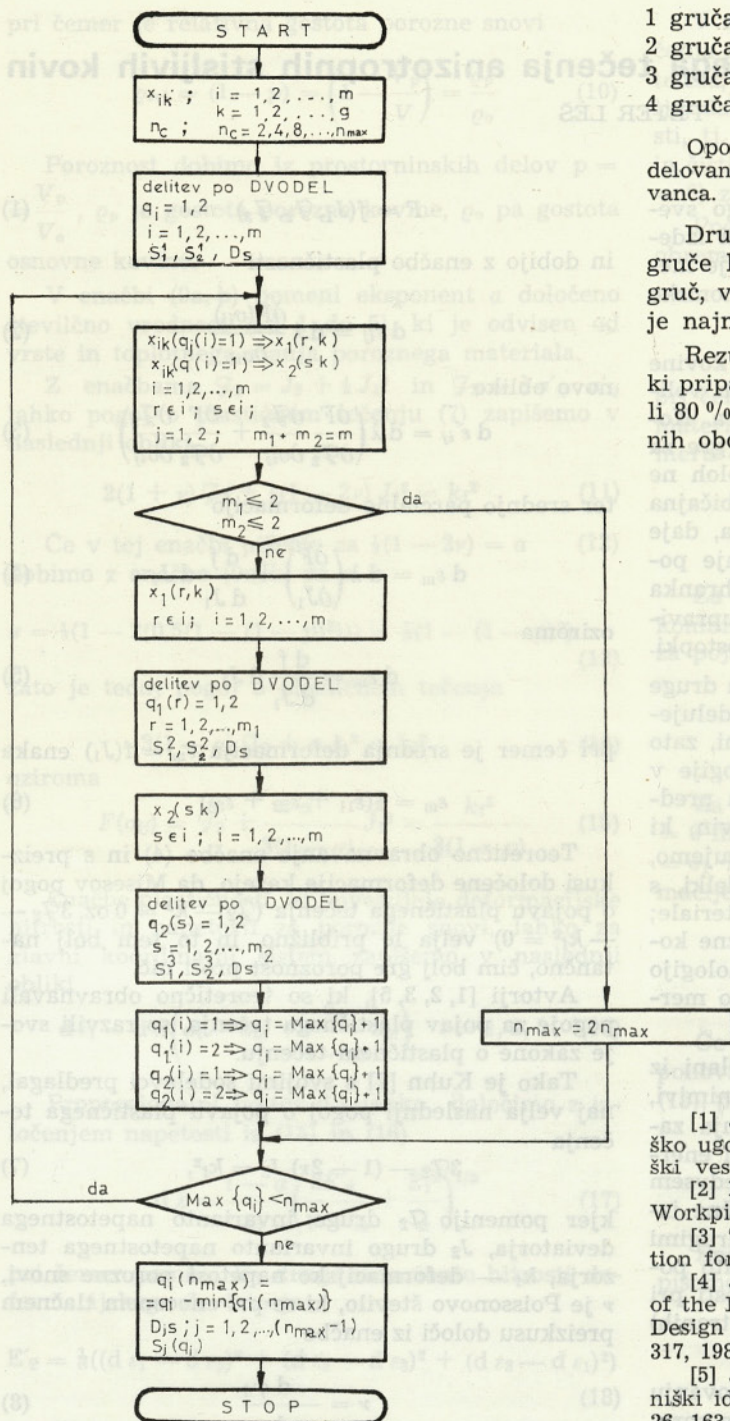
Po drugi delitvi imamo že štiri gruče. Če nismo dosegli vnaprej določenega števila gruč, ponovimo postopek deljenja in vsako gručo ponovno razdelimo na dva dela. Tako dobimo iz štirih osem gruč za isto populacijo objektov. Vseh osem gruč bomo dobili, če pri ponovnem razbijanju ne bomo naleteli na gruče, ki bi združevale manj ko tri objekte.

ANALIZA REZULTATOV GRUČENJA

Z opisanimi metodama smo razdelili na gruče že omenjeno družino 101 obdelovanca (čepi, gredi, osi in sorniki), ki jih želimo izdelovati v celici z 11 stroji.

S hevristično metodo delitve na 8 vnaprej predpisanih gruč je vsebina posameznih gruč takale

1 gruča	3 obdelovanci
2 gruča	80 obdelovancev
3 gruča	11 obdelovancev
4 gruča	2 obdelovanca
5 gruča	1 obdelovanec
6 gruča	1 obdelovanec
7 gruča	1 obdelovanec
8 gruča	2 obdelovanca



Slika 3

Očitno je, da je večina obdelovancev znotraj druge in deloma tretje gruče, medtem ko so druge gruče praktično prazne.

Drugačen je rezultat delitve s hierarhično metodo z določenim številom gruč in kriterijsko funkcijo:

1 gruča	3 obdelovanci	5 gruča	—
2 gruča	5 obdelovancev	6 gruča	—
3 gruča	82 obdelovancev	7 gruča	—
4 gruča	10 obdelovancev	8 gruča	—

Opomba: Upoštevamo le 100 obdelovancev. En obdelovanec smo izločili zaradi izredne dolžine obdelovanca.

Druga metoda za gručenje daje v bistvu enake gruče kakor prva metoda. Predpisali smo sicer 8 gruč, vendar so 4 gruče prazne zaradi zahteve, da je najmanjše število objektov v gruči najmanj 3.

Rezultati kažejo, da je v družini obdelovancev, ki pripadajo preiskovani celici, številna gruča (okoli 80 % celotne populacije) dimenzijsko zelo podobnih obdelovancev.

Pri izbiri strojev v zvezi z nadaljnjim dograjevanjem ugotovljene celice v skupinsko tehnološko celico se bomo odločali v skladu s tehnološko dimenzijskimi značilnostmi omenjenih gruč iz prve oziroma druge metode. O tem bomo podrobneje spregovorili na drugem mestu.

Opravljen analiza je tudi sicer temeljita. Izmed 101 obdelovanca je 100 ustreznih obdelovancev in le eden je neustrezen.

Nadaljnje raziskave pa bodo posvetile posebno pozornost izbiri c in načrtovanja klasifikatorja.

LITERATURA

- [1] J. Dekleva, D. Štrancar, R. Novak: Računalniško ugotavljanje ustreznosti celične strukture, Strojniški vestnik 28, 213—222, 1982, Ljubljana, Jugoslavija.
- [2] H. Opitz: A Classification System to Describe Workpieces, Pergamon Press, Oxford, England.
- [3] TNO, An Introduction to MICLASS, Organisation for Industrial Research, Inc., Waltham, Mass.
- [4] J. Peklenik, J. Grum: Computer-Aided Design of the Part Spectrum Data Base and Its Application to Design and Production, Annals of the CIRP 31, 313 do 317, 1982.
- [5] J. Dekleva, M. Menart: Problemi pri računalniški identifikaciji celične strukture, Strojniški vestnik 26, 163—167, 1980, Ljubljana, Jugoslavija.
- [6] J. Dekleva, J. Kušar, D. Menart: Celična struktura, Strojniški vestnik, 28, 49—50, 1982, Ljubljana, Jugoslavija.
- [7] H. Späth: Cluster-Analyse-Algorithmen, 2. verb. Auflage R. Oldenburg Verlag München, Wien 1977.

Naslov avtorjev: prof. dr. Janez Dekleva
Fakulteta za strojništvo v Ljubljani
dipl. ing. Dragan Štancar
dipl. ing. Rajko Novak
Iskra, Industrija avtoelektričnih izdelkov,
Šempeter pri Gorici