

Dr Vančo B Litovski,  
dipl.ing Srdjan Lj Milenković  
Elektronski fakultet, Niš

## PREGLED ALGORITAMA ZA INICIJALNI RAZMEŠTAJ ČELIJA U INTEGRISANOM KOLU TIPA GEM

### SADRŽAJ:

Opisan je algoritam za generisanje inicijalnog razmeštaja ćelija u gejtovskoj matrici GEM21 na bazi relaksacionih tehnika. Na rezultat prve faze (relaksacioni algoritam) primenjena su četiri konstruktivna algoritma za uredjivanje ćelija gejtovske matrice u blokove i data su poredjenja rezultata.

### ABSTRACT:

Algorithm for gate-array initial placement generation, based on the relaxation placement technics, will be described. Four constructive algorithms for gate-array blocks creation will be implemented and compared.

### 1. UVOD

Sve brži razvoj tehnologije izrade integrisanih kola i uvođenje računara u sve oblasti projektovanja (el. simulacija, logička simulacija, razmeštanje i povezivanje modula, verifikacija topologije i sl.) smanjili su ukupno vreme projektovanja i cenu proizvoda do te mere da je u interesu sve većeg broja korisnika da izvesne elektronske sklopove realizuje kao jedno integrisano kolo. Time korisnik smanjuje zapreminu celog uredjaja a istovremeno povećava njegovu pouzdanost.

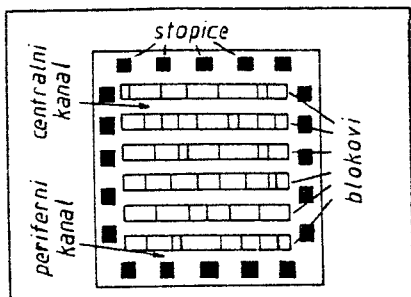
S tim u vezi, da bi se proces kompletnog projektovanja ubrzao a algoritmi za automatizaciju projektovanja lakše kodirali na računaru, razvijeno je više metoda projektovanja integrisanih kola po narudžbi (metod standardnih ćelija, makro ćelija, gejtovske matrice ...). Poseban problem u nizu aktivnosti automatskog projektovanja predstavlja problem projektovanja layout-a koji se zbog svoje kompleksnosti obično razčlanjuje na više manjih od kojih su najvažniji problem razmeštanja i problem povezivanja modula. U ovom radu biće razmatran problem razmeštaja modula u gejtovskoj matrici GEM 21 [1].

### 2. PROBLEM RAZMEŠTAJA U GEJTOVSKOJ MATRICI GEM21

Integrisana kola tipa GEM prvenstveno su namenjena za realizaciju digitalnih sklopova u CMOS tehnologiji a osnovna karakteristika im je da imaju strogo uredjenu konfiguraciju aktivnih i pasivnih elemenata. Parovi CMOS tranzistora poredjani su u nizove čineći na taj način blokove gejtovske matrice i zauzimaju centralni deo čipa. Između blokova nalaze se centralni kanali koji služe za postavljanje veza između tranzistora iz istih blokova a za postavljanje veza koje izlaze na stopice (priključke za bondovanje, rasporedjene po ivicama čipa) služe periferni kanali. Unutar kanala pravilno su rasporedjeni difundovani otpornici.

Da bi se proces projektovanja integrisanih kola tipa GEM ubrzao, obično se formira skup kola (ćelija) koja čine funkcionalne i

topoloske celine (NI, NILI kola i sl.) i od njih se formira biblioteka ćelija. Na taj način se projektovanje layout-a integrisanog kola pomera na viši hijerarhijski nivo i svodi se na



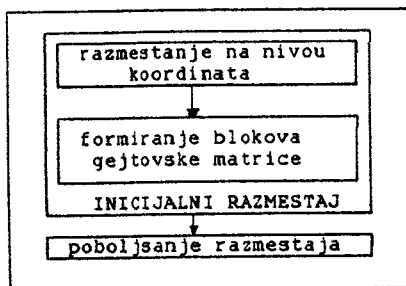
Slika 1.

raspoređivanje i povezivanje ćelija. Uprošćen izgled gejtovske matrice GEM 21 prkazan je na Sl.1. Ćelije, koje su svrstane u blokove, imaju istu visinu, a širina im se menja u zavisnosti od logicke funkcije koju obavljaju. Najmanja ćelija u matrici sadrži dva CMOS para i nazvana je gejt. Sve ostale su sastavljene od celog broja gejtova, te se gejt najčešće i koristi kao mera dužine u gejtovskoj matrici. Maksimalni broj  $n_{Bmax}$  i maksimalna dužina blokova gejtovske matrice  $d_{Bmax}$  su ograničene veličine. Za GEM 21 je  $n_{Bmax}=6$ , a  $d_{Bmax}=23$  gejta.

Na osnovu prethodno rečenog, problem razmeštaja u gejtovskoj matrici GEM 21 može se definisati na sledeći način: Na osnovu međusobnih veza, napraviti takav razmeštaj ćelija i stopica koji će obezbediti:

- 1) da se moduli (ćelije i stopice) ne preklapaju
- 2) da su ćelije svrstane u maksimalno 6 blokova
- 3) da nijedan blok nije duži od 23 gejta
- 4) da se moduli mogu povezati
- 5) da je ukupna dužina veza minimalna
- 6) da su svi kanali ravnomerno opterećeni vezama

### 3. REALIZACIJA PROGRAMA ZA RAZMEŠTAJ



Slika 2.

Na Sl.2. data je blok šema do sada najčešće korišćenih algoritama za razmeštaj. Može se uočiti da se algoritam sastoji iz dva dela, jednog koji formira inicijalno rešenje i drugog koji vrši poboljšanje istog. Cilj ovog rada je da prikaže rezultate nastale pri iznalaženju optimalnog algoritma za generisanje inicijalnog razmeštaja modula u gejtovskoj matrici GEM 21. Blok šema usvojenog algoritma takodje je prikazana na Sl.2. a svaki od blokova detaljnije će biti opisan u narednim odeljcima.

#### 3.1. RAZMEŠTANJE NA NIVOU KOORDINATA

Proces razmeštanja treba početi odredjivanjem optimalnog relativnog međusobnog položaja modula. Ovo se može ostvariti razmeštanjem modula na nivou koordinata i pri tome se, u prvoj aproksimaciji, zanemaruju stvarne fizičke dimenzije modula te su oni

okarakterisani samo koordinatama svojih centara  $(x_i, y_i)$ . U usvojenom koordinatnom sistemu definišimo kvadratnu funkciju cilja na sledeći način:

$$(1) \quad F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} \left\{ (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right\} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij} \left\{ (x_i - \bar{x}_j)^2 + (y_i - \bar{y}_j)^2 \right\}$$

Minimizacija funkcije (1) obezbedjuje takav razmeštaj modula kod koga je ukupna dužina veza minimizirana, a proces minimizacije može se ostvariti rešavanjem dva sistema linearnih jednačina:

$$(2) \quad \sum_{j=1}^{n+m} -m_{ij} (x_i - \bar{x}_j) = 0, \quad \sum_{j=1}^{n+m} -m_{ij} (y_i - \bar{y}_j) = 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

ili pak rešavanjem dva sistema nelinearnih jednačina:

$$(3) \quad \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+m} \left\{ -m_{ij} (x_i - \bar{x}_j) + \frac{R_{ij} (x_i - \bar{x}_j)}{d_{ij}} \right\} = 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+m} \left\{ -m_{ij} (y_i - \bar{y}_j) + \frac{R_{ij} (y_i - \bar{y}_j)}{d_{ij}} \right\} = 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

Oba načina nalaženja relativnog položaja modula poznati su kao relaksacioni metodi za razmeštanje [2,3] pri čemu je prvi (jednačine (2)) poznat kao metod Tetelibaum-a a drugi (jednačine (3)) kao metod Quinn-Breuer-a. Na osnovu koordinata centara modula, koje se dobijaju na ovaj način, može se izvuci informacija o optimalnom relativnom položaju modula koga treba maksimalno zadržati pri formiranju ostvarljivog rešenja.

### 3.2. FORMIRANJE BLOKOVA GEJTOVSKE MATRICE

Zadatak ovog dela algoritma je da formira rešenje razmeštaja koje zadovoljava sve uslove ostvarljivosti za GEM 21 a da se pri tome zadrži relativni položaj modula iz rešenja dobijenog u prethodnom koraku. Za rešavanje ovog problema razvili smo četiri konstruktivna algoritma a o njihovom načinu rada detaljnije će biti reči u narednim odeljcima. Pre nego što počne izvršavanje bilo kog od njih treba odrediti optimalan broj blokova koji će biti korišćeni  $n_B$ , kao i dužinu  $d_B$  koja će biti iskorišćena unutar bloka, na sledeći način:

$$(4) \quad n_B = \sqrt{n}, \quad d_B = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n_B}$$

pri čemu su  $W_i$  širine ćelija koje ulaze u sastav kola a  $n$  njihov broj. Ovde treba voditi računa da je  $n_B \leq 6$  a  $d_B \leq 23$  gejtā.

#### 3.2.1. ALGORITAM A

Kao rešenje nakon izvršavanja algoritma za razmeštaj na nivou koordinata dobija se skup koordinata centara modula  $(x_i, y_i)$ . Sa druge strane da bi se formiralo ostvarljivo rešenje neophodno je da se taj

skup preslika u skup koordinata stvarnih lokacija modula  $(x_{i0}, y_{i0})$ . Da bi pri tome zadržali sličan relativan položaj modula kao u rešenju iz prethodnog koraka, pri preslikavanju skupa  $(x_i, y_i)$  u skup  $(x_{i0}, y_{i0})$  treba obezbediti minimizaciju sume pomeraja koja se, zavisno od usvojene metrike površine čipa, može definisati izrazom (5) ili (6).

$$(5) \quad D = \sum_{i=1}^n [(x_i - x_{i0})^2 + (y_i - y_{i0})^2]^{1/2}$$

$$(6) \quad D = \sum_{i=1}^n [ |x_i - x_{i0}| + |y_i - y_{i0}| ]$$

Ako se usvoji Euklidska metrika, gde se rastojanje izmedju tačaka  $i(x_i, y_i)$  i  $j(x_j, y_j)$  definiše kao

$$(7) \quad d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}$$

u procesu formiranja blokova gejtovske matrice vršice se minimizacija izraza (5). U suprotnom, ako se usvoji rektilinearna metrika kod koje se rastojanje izmedju tačaka  $i(x_i, y_i)$  i  $j(x_j, y_j)$  definiše sa:

$$(8) \quad d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

vrši će se minimizacija izraza (6). Način rada algoritma A biće prikazan u nekoliko narednih koraka:

Korak 1: Odredjivanje broja i dužine blokova

Odrediti optimalan broj,  $n_B$ , i dužinu blokova,  $d_B$ , na osnovu izraza (4).

Korak 2: Normalizacija koordinata

Lokacije koje pripadaju istim blokovima, medjusobno se razlikuju samo u X koordinatama koje se računaju rekurzivnim formulama na osnovu širina ćelija. Zbog toga je neophodno izvršiti normalizaciju X koordinata ćelija

$$(9) \quad x_i = \frac{x_i - x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} d_B, \quad i=1, 2, \dots, n$$

tako da su koordinate  $x_i$  i širine ćelija  $W_i$  izražene istim jedinicama dužine. Da bi relativni položaj ćelija ostao isti, koordinate  $y_i$  treba, takodje pomnožiti istim faktorom kojim su pomnožene  $x_i$  koordinate:

$$(10) \quad y_i = y_i \frac{d_B}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

Korak 3: Odredjivanje koordinata početne lokacije

U sumama (5) i (6) maksimalnu vrednost imaju elementi koji se odnose na periferne lokacije te je poželjno da se baš one prve popune dok je izbor neraspoređenih ćelija još velik. U ovom algoritmu za koordinate početne lokacije biraju se koordinate jednog od ugla ploče za koji je

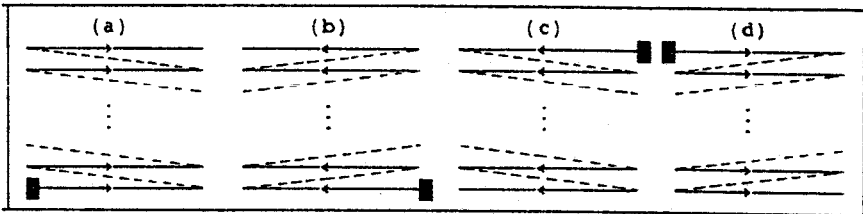
$$(11) \sum_{i=1}^n [ |x_i - x_c| + |y_i - y_c| ] = \max$$

gde su  $x_c, y_c$  koordinate tog ugla. Znači, koordinate početne lokacije

$x_0^{(0)}, y_0^{(0)}$  su:

$$(12) \quad x_0^{(0)} = x_c, y_0^{(0)} = y_c$$

Zavisno od izabranog ugla, postojeće četiri smera popunjavanja gejtovske matrice koji su prikazani na Sl.3. pri čemu je popunjavanje bloka naznačeno punom a prelaz na naredni blok isprekidanom linijom.



Slika 3.

#### Korak 4 Nalaženje najbliže ćelije

Odrediti ćeliju "i" koja je najbliža tekućoj lokaciji, shodno izrazu (7) ili (8). Smestiti ćeliju "i" u tekuću lokaciju.

#### Korak 5: Određivanje koordinata lokacije za naredni korak

Ako dodavanjem ćelije "i" tekućem bloku nije prekoračena dužina  $d_B$ , koordinate lokacije za naredni korak odrediti, za slučaj (a) i (d) sa Sl.3., iz izraza (13) a za slučaj (b) i (c), iz izraza (14)

$$(13) \quad y_0^{(n+1)} = y_0^{(n)}; x_0^{(n+1)} = x_0^{(n)} + W_1$$

$$(14) \quad y_0^{(n+1)} = y_0^{(n)}; x_0^{(n+1)} = x_0^{(n)} - W_1$$

gde je  $W_1$  širina ćelije "i" a zatim preći na korak 4.

#### Korak 6: Prelaz na novi blok

Ako je prekoračena dužina bloka  $d_B$ , koordinate tekuće lokacije za naredni korak odrediti, za slučaj (a) i (b) sa Sl.3., prema izrazu (15) a za slučaj (c) i (d) iz izraza (16)

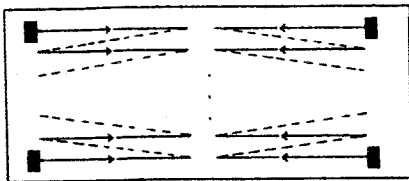
$$(15) \quad x_0^{(n+1)} = x_0^{(0)}; y_0^{(n+1)} = \min_i (y_i)$$

$$(16) \quad x_0^{(n+1)} = x_0^{(0)}; y_0^{(n+1)} = \max_i (y_i)$$

gde su  $y_i$  koordinate još neraspoređenih ćelija. Posle ovoga preći na korak 4.

Ovaj proces se nastavlja dok se ne rasporede sve ćelije.

### 3.2.2. ALGORITAM B



Slika 4.

Algoritam B, uglavnom zadržava koncepciju rada algoritma A s tim što je problem određivanja koordinata početne lokacije ovdje rešen na taj način što se popunjavanje gejtovske matrice vrši simultano počevši iz sva četiri ugla ploče u smerovima kako je to prikazano na Sl.4.

### 3.2.3 ALGORITAM C

Skup koordinata ćelija  $(x_i, y_i)$  dobijen kao rešenje metoda iz odeljka 3.1. predstavlja optimum sa stanovišta minimuma izraza (1). Nakon pomeranja bilo koje ćelije "i" iz tačke sa koordinatama  $x_i, y_i$  u njenu stvarnu lokaciju sa koordinatama  $x_{i0}, y_{i0}$  dolazi do neminovnog narušavanja minimuma funkcije (1). Sem toga, posle pomeranja ćelije "i" preostale nerasporedjene ćelije ne zauzimaju više optimalan položaj s obzirom na još jedan fiksiran modul - ćeliju "i". Ovaj problem je u algoritmu C razrešen na sledeći način:

Prvo, zadržan je smer popunjavanja gejtovske matrice kao na Sl.4. U svakom koraku popunjavaju se četiri lokacije po kriterijumu koji je primenjivan u algoritmima A i B. Ćelije koje se smeštaju u te lokacije, iz skupa nerasporedjenih ćelija, prelaze u skup fiksiranih modula, broj nerasporedjenih ćelija se smanji a broj fiksiranih modula povećava za četiri. Izvrši se modifikacija matrice veza i ponovi postupak opisan u 3.1. Postupak sukcesivnog popunjavanja gejtovske matrice i rešavanja sistema jednačina (2) ili (3) ponavlja se sve dok sve ćelije ne predju u skup fiksiranih modula.

### 3.2.4. ALGORITAM D

Ovaj algoritam u potpunosti napušta koncepciju minimiziranja sume pomeraja modula, a njegov rad zasnovan je na tome da se relativni razmeštaj dobijen na način opisan u 3.1., sačuva pri formiranju ostvarljivog rešenja. Algoritam posebno razmatra razmeštaj po Y i X koordinatama a detaljniji opis rada algoritma prikazaćemo u narednih nekoliko koraka:

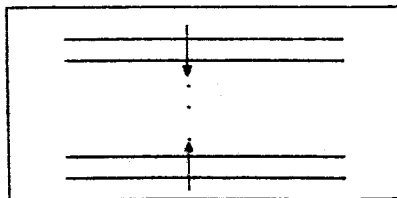
#### Korak 1:

Odrediti broj i dužinu blokova iz izraza (4).

#### Korak 2:

Način popunjavanja gejtovske matrice kod ovog algoritma, simbolički je prikazan na Sl.5. Definišiao  $n_1$  i  $n_2$  kao redne brojeve gornjeg i donjeg bloka koji se simultano popunjavaju. Startne vrednosti ovih parametara su:

$$(17) \quad n_1 = n_B; \quad n_2 = 1$$



Slika 5.

**Korak 3:**

Naći ćelije "i<sub>1</sub>" i "i<sub>2</sub>" čije Y koordinate zadovoljavaju jednakost (18), ćeliju "i<sub>1</sub>" smestiti u blok n<sub>1</sub> a "i<sub>2</sub>" u blok n<sub>2</sub>.

$$(18) \quad y_{i_1} = \max_i (y_i), \quad y_{i_2} = \min_i (y_i)$$

**Korak 4:**

Ako nije prekoračena dužina d<sub>B</sub> ni u jednom od blokova n<sub>1</sub> i n<sub>2</sub> preći na korak 3.

**Korak 5:**

Ako je dužina bloka n<sub>1</sub> veća od d<sub>B</sub> preći na popunjavanje sledećeg, donjeg bloka odnosno izvršiti operaciju n<sub>1</sub> = n<sub>1</sub> - 1. Ako je dužina bloka n<sub>2</sub> veća od d<sub>B</sub> preći na popunjavanje sledećeg, gornjeg bloka, odnosno izvršiti operaciju n<sub>2</sub> = n<sub>2</sub> + 1. Posle ovoga preći na izvršavanje koraka 3.

Kada sve ćelije budu dodeljene blokovima gejtovske matrice, preći na korak 6.

**Korak 6:**

U svakom bloku posebno, poredjati ćelije s leva na desno po rastućim X koordinatama.

Očigledno je da koraci 3, 4 i 5 vrše Y razmeštaj a korak 6 X razmeštaj ćelija.

**4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI**

Za razmeštanje na nivou koordinata predložena su dva metoda (Tetellbaum i Quinn-Breuer) pri čemu je drugi, zavisno od početnih rešenja za iterativni metod rešavanja nelinearnih jednačina, podeljen još na tri tako da je ukupno realizovano četiri varijanti ovih metoda. Svaki od algoritama A, B i C podeljen je na dve podvarijante. Jedna koristi Euklidsku a druga rektilinearnu metriku površine čipa, te je zajedno sa algoritmom E realizovano sedam varijanti algoritama za formiranje blokova gejtovske matrice.

Testiranje kombinacija algoritama za razmeštanje na nivou koordinata i algoritama za formiranje blokova gejtovske matrice je obavljeno na konačnom broju primera čiji topološki podaci su prikazani u Tabeli 1. Rezultati su prikazani u Tabeli 2, gde su za svako rešenje razmeštaja sračunate kvadratna (F<sub>sqr</sub>, jednačina (1)) i rektilinearne funkcije cilja (F<sub>abs</sub>, izraz analogan sa (1)).

	broj ćelija	broj stopica	broj veza
primer 1	46	12	57
primer 2	68	22	111
primer 3	21	5	24

Tabela 1.

U Tabeli 2 korišćene su sledeće oznake: QB-za metod Tetelbaum-a, QBTB, QBQB, QBRN-za metod Quinn-Breuer-a sa početnim rešenjem Tetelbaum-a, Quinn-Breuer-a i slučajnim, respektivno, A, B, C i D-za opisane algoritme, ABS za rektilinearnu i SQR za Euklidsku metriku.

	primer 1		primer 2		primer 3	
	F abs	F sqr	F abs	F sqr	F abs	F sqr
TB-A-ABS	875	2780	1295	4365	190	416
TB-A-SQR	823	2665	1278	4047	183	403
TB-B-ABS	894	3201	1254	4040	171	386
TB-B-SQR	905	3296	1239	3864	185	419
TB-C-ABS	960	3847	1220	4354	200	687
TB-C-SQR	926	3644	1174	4093	200	688
TB-D	829	2759	1145	3145	171	359
QBTB-A-ABS	970	3307	1309	4311	192	431
QBTB-A-SQR	848	2787	1252	3757	182	399
QBTB-B-ABS	913	3322	1251	4045	172	397
QBTB-B-SQR	876	3049	1245	3832	175	405
QBTB-C-ABS	918	3372	1125	3537	227	825
QBTB-C-SQR	873	3103	1148	3489	207	696
QBTB-D	798	2535	1138	3070	169	357
QBRN-A-ABS	1009	3591	1348	4614	182	420
QBRN-A-SQR	863	2889	1209	3751	178	388
QBRN-B-ABS	889	3186	1276	4045	170	388
QBRN-B-SQR	888	3091	1243	3824	168	384
QBRN-D	808	2531	1104	2988	162	369
QBQB-A-ABS	951	3237	1322	4429	178	411
QBQB-A-SQR	869	2919	1209	3751	171	374
QBQB-B-ABS	889	3186	1276	4045	167	381
QBQB-B-SQR	888	3091	1243	3824	168	384
QBQB-D	808	2531	1104	2988	162	369

Tabela 2.

## 6. LITERATURA

- [1] Grupa autora, ' GEM 21 ', El Poluprovodnici, Nis 1984.
- [2] Grupa autora, ' Projektovanje CMOS LSI kola IV ', umnoženo kao deo izveštaja projekta 2.136 RZNS, El. fakultet, Niš 1982.
- [3] V. Litovski, S. Milenković, M. Milicević, ' Generisanje indcijalnog razmeštaja ćelija u gejtovskoj matrici GEM21 ', Elektrotehnika (Tehnika), br. 10, pp. 957-960, 1987.
- [4] G. J. Wipfler, M. Wiesel, D. A. Mlynski, ' A Combined Force and Cut Algorithms for Hierarchical VLSI Layout ', Proc. 19th Design Automation Conference, pp. 671-677, 1982.
- [5] B. D. Richard, ' A Standard Cell Initial Placement Strategy ', Proc. 21th Design Automation Conference, pp. 392-398, 1984.
- [6] S. Goto, T. Matsuda, ' Partitioning Assignment and Placement ' in Layout Design and Verification, ed. by T. Ohtsuki, ch. 2, North-Holland, 1986.