

REȚELE CELULARE DE COMUNICAȚII MOBILE

1. Noțiuni și procedee de lucru în comunicațiile celulare

➤ Reutilizarea frecvențelor.

- principiul *reutilizării frecvențelor* (canalelor radio)
- perturbațiile care apar între stațiile care folosesc acest canal (interferența cu același canal = interferență co-canal, *Co-channel Interference*, (CI) să fie sub o valoare impusă.

➤ Împărțirea în celule.

- celula - zonă acoperită din punct de vedere radio de către o stație de bază (sau mai multe);
- fiecărei celule i se alocă un număr de canale radio (un set de canale radio).
- Celule vecine folosesc seturi diferite.

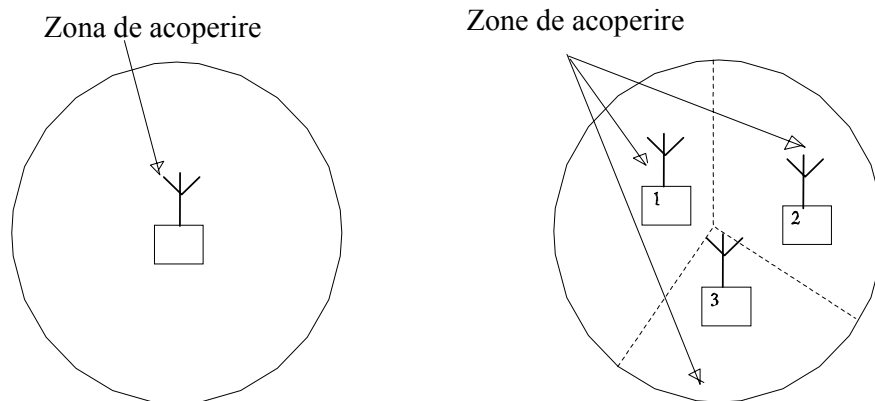


Figura 1

➤ Amplasament (site)

➤ *Perturbații în sistemele celulare de comunicație.*

- perturbații co-canal (CI);
- perturbații datorate interferenței cu un canal vecin;
- perturbații datorate intermodulațiilor (de ordinul trei).

➤ *Zona de reutilizare (cluster).*

- număr de celule, N .
- dimensiunile zonei de reutilizare - capacitatea de trafic;

➤ *Transferul (Handover, Handoff) și circulația liberă (roaming)*

- Aspect specific comunicațiilor mobile - mobilitatea
- Preluarea unui apel în desfășurare de către o altă stație de bază atunci când este cazul;
- Variante:
 - *transfer între celule diferite;*
 - *transfer intracelular,*

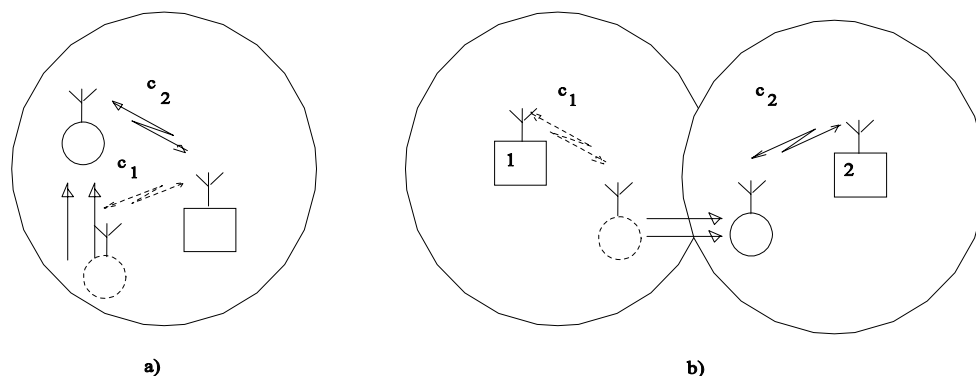


Figura 2

➤ *Strategii de transfer:*

a. Transfer controlat de rețea.

- Stațiile de bază fac măsurători, centrala decide;
- stațiile mobile nu intervin; se pierde influența condițiilor locale;

b. Transfer asistat de mobil.

- Stația mobilă măsoară; centrala ia decizia;
- în acest caz rețeaua păstrează controlul legăturilor;

c. Transfer controlat de stația mobilă.

- Măsurători - stația mobilă și stația de bază,
- Decizia de transfer o ia stația mobilă;

- *Ultimele două strategii - transferul se face mai rapid.*

➤ **Circulația liberă sau roaming-ul** extindere la rețele diferite;

➤ convenție între operatori;

➤ existența unor baze de date unde se stochează informații cu privire la activitatea stației mobile; etc.

➤ **Alocarea canalelor radio către stațiile de bază.**

- canal radio = frecvența purtătoare + banda alocată + echipamente;
- *Alocarea canalelor radio* = repartizarea canalelor radio disponibile către stațiile de bază din rețea.
- Variante:
 - *Alocare fixă (statică)*
 - *Alocare dinamică*
 - *Alocare hibridă*

2 Analiza geometrică a rețelelor celulare

2.1 Aspecte generale cu privire la abordarea rețelelor celulare

➤ Caracteristicile sistemelor celulare:

- teritoriul în care lucrează rețeaua de comunicație este integral acoperit cu un număr oarecare de celule.
- o celulă reală nu trebuie să aibă o formă regulată.
- pentru proiectare se preferă o formă geometrică simplă.

➤ Proiectarea rețelelor celulare:

1. Conceperea unei rețele teoretice de bază;
2. Analiza factorilor care determină corecții sau măsuri de protecție;
3. Efectuarea unor corecții în structura rețelei ca urmare a unor măsurători și observații efectuate asupra unei prime variante.

1. Conceperea rețelei teoretice de acoperire:

➤ Ipoteze:

- suprafața plană, fără forme de relief, construcții, vegetație;
- celulele: de același tip și cu dimensiuni identice;
- acoperire fără suprapuneri (suprapuneri minime);
- caracteristica de radiație a antenelor omnidirecțională;
- puterea aparent radiată = o constantă a rețelei.

➤ Pe rețeaua teoretică se atribuie canale (seturi de canale) radio către celule;

➤ în acest scop este necesară alegerea unor reguli de reutilizare a canalelor radio (grupurilor de canale radio);

➤ **Etapa 2** se desfășoară pe baza unor hărți ridicate la o scară adecvată și a altor

observații și măsurători;

- **Etapa 3:** se realizează o rețea de acoperire cât de aproape posibil de cea teoretică;
- se efectuează măsurători și apoi corecțiile care se impun;
- **Forma celulei:** cerc sau poligoane inscriptibile în cerc;
- cea mai convenabilă soluție: hexagonul.

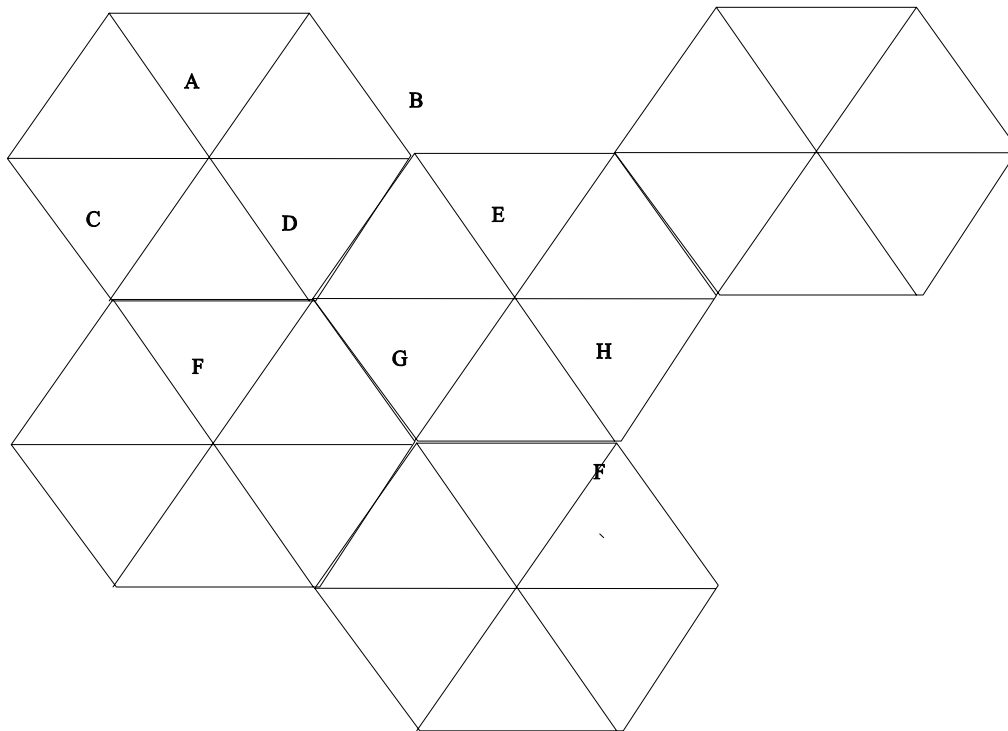


Figura 3

2.2 Zona de reutilizare (cluster); caracteristici

- În fiecare celulă se amplasează o stație de bază;
- canalele se alocă pe principiul reutilizării frecvențelor;
- perturbațiile sunt minime dacă se asigură echidistanța între amplasamentele care folosesc același canal;
- Rezultă că centrele zonelor de reutilizare formează hexagoane.
- *se va parcurge o primă fază de studiu: determinarea relației existente între distanța de reutilizare, d și numărul de celule pe cluster, N .*
- rețeaua are caracteristicile puse în evidență în figurile 5 și 6.

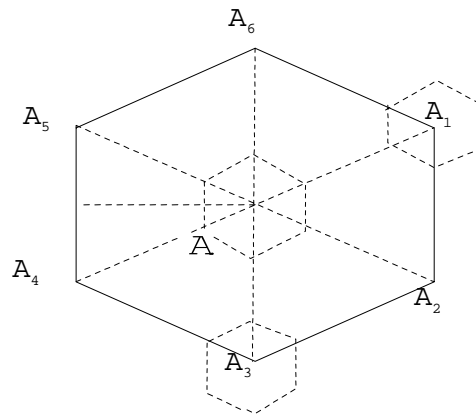


Figura 5

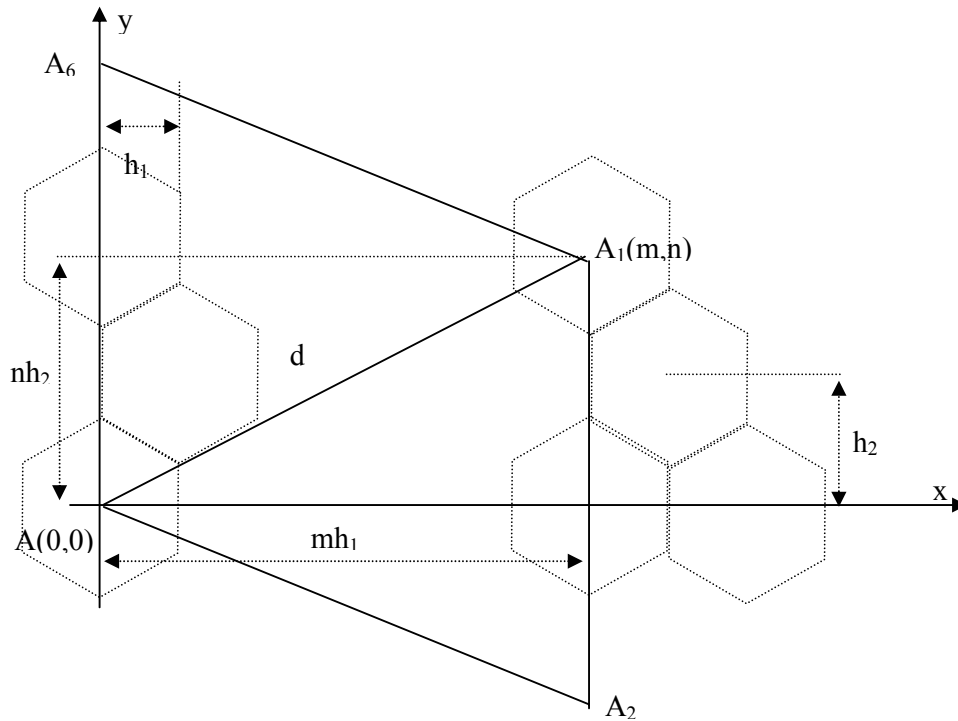


Figura 6

➤ Se observă că:

$$h_1 = r\sqrt{3}/2; h_2 = 3r/2,$$

$$d^2 = (mh_1)^2 + (nh_2)^2 \quad (1)$$

➤ Aria unui hexagon elementar este:

$$S_1 = \frac{6r h_1}{2} = \frac{3\sqrt{3} r^2}{2} \quad (2)$$

$$S_{AA_1A_2} = \frac{\sqrt{3}}{4} d^2 = \frac{N 3\sqrt{3} r^2}{4} \quad (3)$$

$$d = r\sqrt{3N} \quad (7)$$

➤ Înlocuind în relația (1) rezultă

$$3N r^2 = \frac{3m^2 r^2}{4} + \frac{9n^2 r^2}{4} \quad (8)$$

➤ de unde:

$$N = \frac{m^2 + 3n^2}{4} \quad (9)$$

➤ numerele N, m, n trebuie să fie întregi.

➤ deci m și n sunt fie ambele pare, fie impare astfel că suma $m+n$ este întotdeauna un număr par.

$$m + n = 2v \quad (10)$$

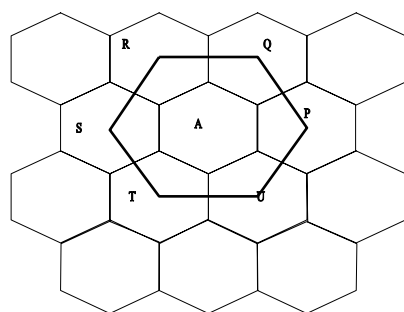
➤ Se deduce:

$$N = \frac{(2v - n)^2 + 3n^2}{4} = v^2 - nv + n^2$$

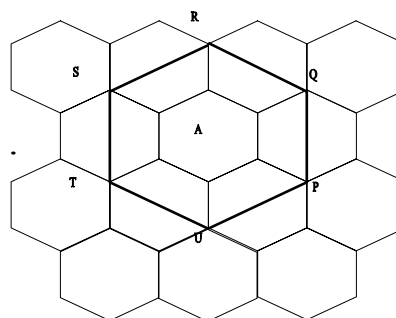
$$N = \frac{m^2 + 3(2v - m)^2}{4} = 3v^2 - 3vm + m^2 \quad (11)$$

Tabelul 2 Determinarea valorilor posibile pentru N

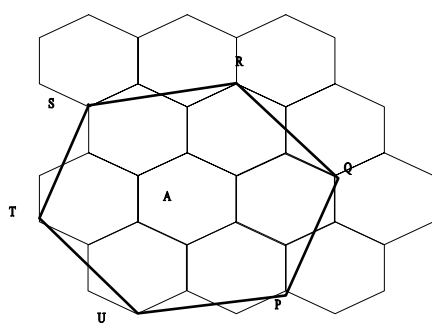
m	1	3	2	5	4	3	6	2	7	5	4	1	8	7
n	1	1	2	1	2	3	2	4	1	3	4	5	2	3
q	1	2	2	3	3	3	4	3	4	4	4	3	5	5
N	1	3	4	7	7	9	12	13	13	13	16	19	19	19



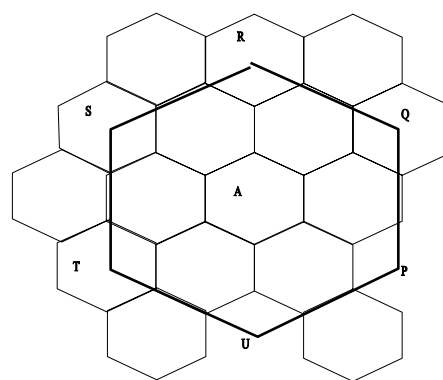
a) $N=3$



b) $N=4$



c) $N=7$



d) $N=9$

Figura 8 Exemple de rețele hexagonale

3 Administrarea canalelor radio în rețelele celulare

3.1 Aspecte generale

- Trebuie concepuți algoritmi pentru:
 - repetarea în rețea a unui canal (grup de canale);
 - distribuirea în rețea a canalelor radio disponibile;
 - gruparea mai multor (canale) în vederea formării unui grup care va fi utilizat în același amplasament.
- criteriu de bază: realizarea de perturbații minime în rețea.
- În prima etapă se determină numărul de celule, N , care formează o zonă de reutilizare;
- Obiective:
 - utilizarea eficientă a spectrului;
 - minimizarea perturbațiilor co-canal;
- Ipoteze simplificatoare:
 - spectrul atribuit este o bandă continuă de frecvențe.
 - canalele au benzi alocate egale,
 - canalul poate fi luat în evidență prin numărul de ordine (figura 9).
 - δf = lărgimea de bandă a unui canal .
 - M = numărul de canale radio care se pot constitui în banda alocată;

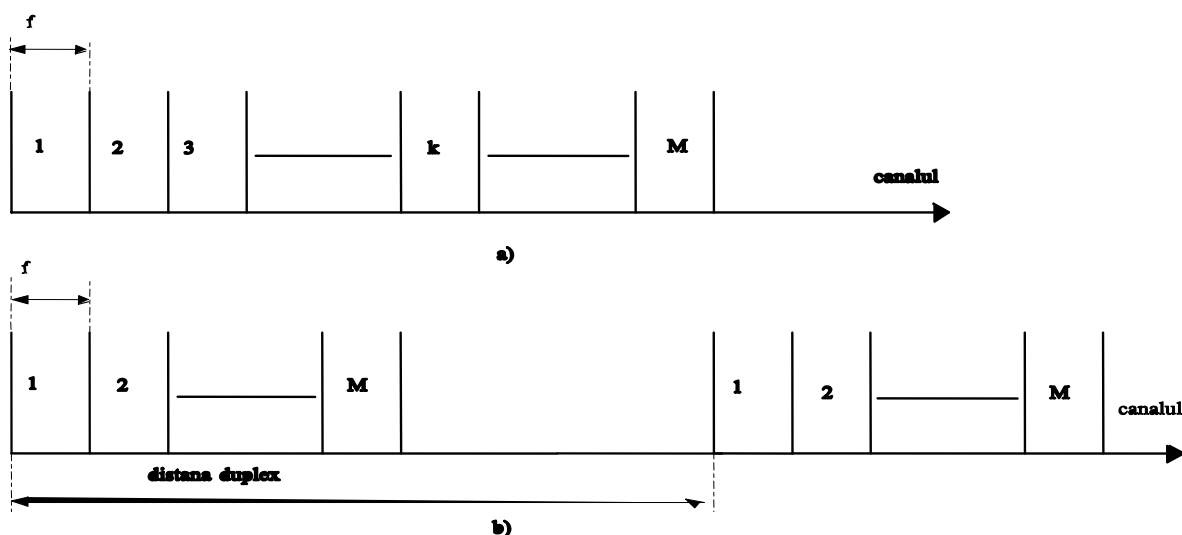


Fig. 4.9 Constituirea canalelor radio: a) simplex, b) duplex.

➤ *compatibilitatea între canale = compatibilitatea între numerele de ordine corespunzătoare.*

3.2 Stabilirea numărului N de celule care formează o zonă de reutilizare.

➤ Ipotezele simplificatoare menționate la început:

- emițătoare amplasate în centrele celulelor elementare;
- antene de emisie omnidirecționale;
- puteri aparent radiate egale între ele;
- teritoriul perfect plan;
- toate celulele hexagonale au aceleași dimensiuni.
- stația perturbată ... stațiile perturbatoare (figura 10).
- sunt analizate numai perturbațiile co-canal.

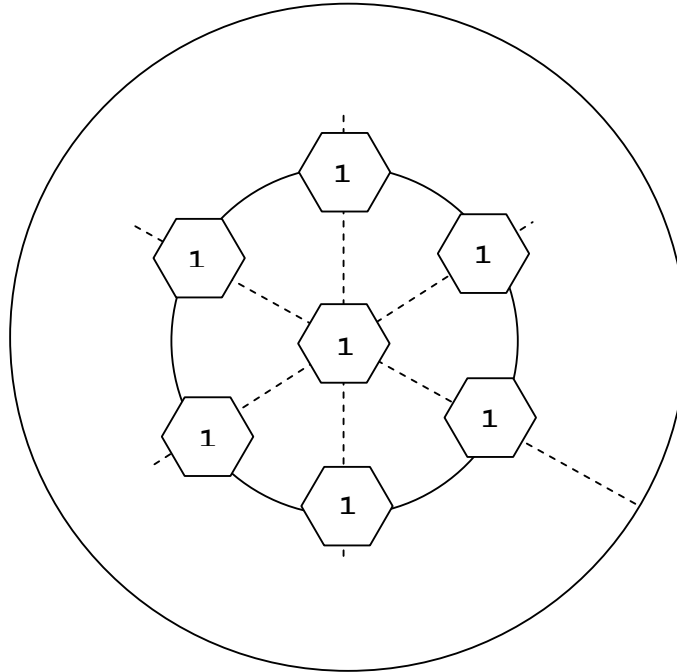


Fig. 10 Perturbații co-canal

- se definește factorul de reutilizare $Q=d/r$.

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{k=1}^{K_1} I_k + \sum_{k=1}^{K_2} I_k + \dots} \quad (33)$$

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{k=1}^6 I_k} \quad (34)$$

- Pentru calcul se amintește semnificația pantei atenuării de propagare pentru reprezentarea logaritmică:

$$\gamma' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{10(\log P_2 - \log P_1)}{\log d_1 - \log d_2} \quad (35)$$

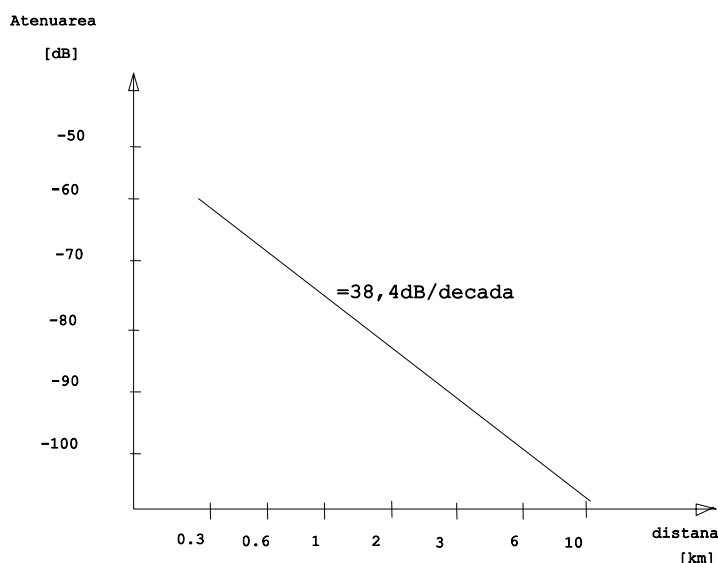


Fig. 11 Zone urbane, clădiri mici și medii, banda 800-900MHz.

➤ în continuare cu notația $\gamma = \gamma'/10$, rezultă:

$$S \cong r_s^{-\gamma} \quad I \cong r_p^{-\gamma} \quad (37)$$

➤ Sunt interesante două cazuri:

1. *antene omnidirecționale* atât la stația de bază cât și la stația mobilă ;
2. *antena de emisie directivă* la stația de bază și omnidirecțională la stația mobilă.

1. Antene omnidirecționale

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-\gamma}}{6 d^{-\gamma}} = \frac{Q^{\gamma}}{6} \quad (38)$$

$$Q = \left(6 \frac{I}{S}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (39)$$

➤ Raportul S/I se evaluează prin măsurători subiective;

- pentru sisteme analogice:
 - $S/I \geq 18$ dB, canale $B_a = 30$ kHz;
 - $S/I \geq 24$ dB, canale $B_a = 15$ kHz;
 - $S/I \geq 30$ dB, canale $B_a = 7,5$ kHz.
- Pentru sisteme digitale
 - $S/I \geq 13$ dB, ;

➤ Pentru $S/I = 18$ dB rezultă:

$$\frac{S}{I} = 63,1 \quad \text{deci } Q = (6 \bullet 63,1)^{\frac{1}{4}} = 4,41 \quad (40)$$

$$Q = \sqrt{3N} \quad (42)$$

➤ Pentru cazul analizat se obține $N=7$.

➤ Deci modelul cu 7 celule asigură un raport S/I de 18dB în centrul zonei utile.

- Situația cea mai dezavantajoasă apare la marginea celulei;

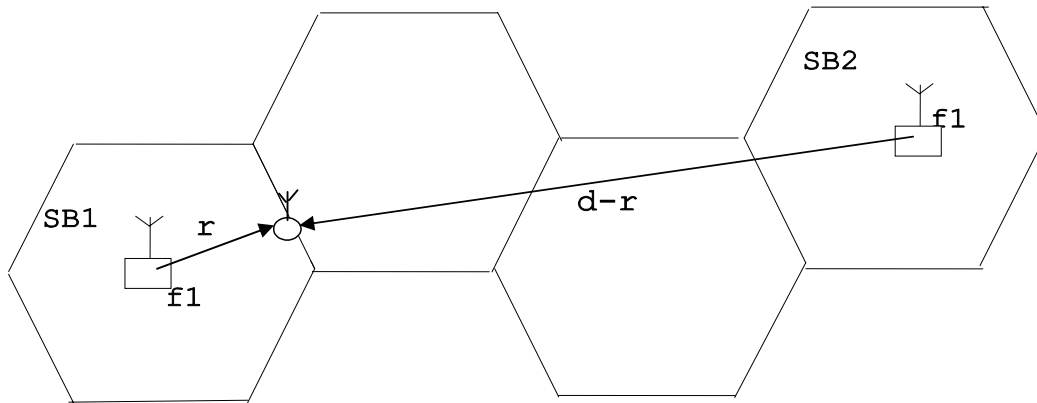


Fig. 12 Perturbațiile co-canal la marginea celulei.

- Urmărind figura 12, se poate deduce relația:

$$\begin{aligned} \frac{S}{I} &= \frac{r^{-\gamma}}{2(d-r)^{-\gamma} + (d - \frac{r}{2})^{-\gamma} + d^{-\gamma} + (d + \frac{r}{2})^{-\gamma} + (d+r)^{-\gamma}} = \\ &= \frac{1}{\frac{2(Q+1)^{\gamma} + (Q-1)^{\gamma}}{(Q^2-1)^{\gamma}} + \frac{(Q+\frac{1}{2})^{\gamma} + (Q-\frac{1}{2})^{\gamma}}{(Q^2-\frac{1}{4})^{\gamma}} + \frac{1}{Q^{\gamma}}} \end{aligned} \quad (43)$$

- Numeric se obține un raport de 17 dB.....

- Se va analiza cazul $N=9$.

- Aici $d=3r\sqrt{3}$, deci:

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-\gamma}}{6(3r\sqrt{3})^{-\gamma}} = \frac{(3\sqrt{3})^{\gamma}}{6} \quad (46)$$

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-\gamma}}{(d - \frac{r\sqrt{3}}{2})^{-\gamma} + (d + \frac{r\sqrt{3}}{2})^{-\gamma} + (d + \frac{r\sqrt{3}}{4})^{-\gamma} + (d - \frac{r\sqrt{3}}{4})^{-\gamma} + 2d^{-\gamma}} \quad (47)$$

- Numeric: $S/I=20,8$ dB și $S/I=20,4$ dB.
- În concluzie, pentru rețelele analogice, cu lărgimea de bandă a canalului de 25-30 kHz, $N \geq 9$;
- pentru rețele digitale, N poate fi mai mic decât 7.

3. Antene directive.

- Uzual, lărgimea lobului principal de radiație de 120° sau 60° (figura 13, $N=7$).

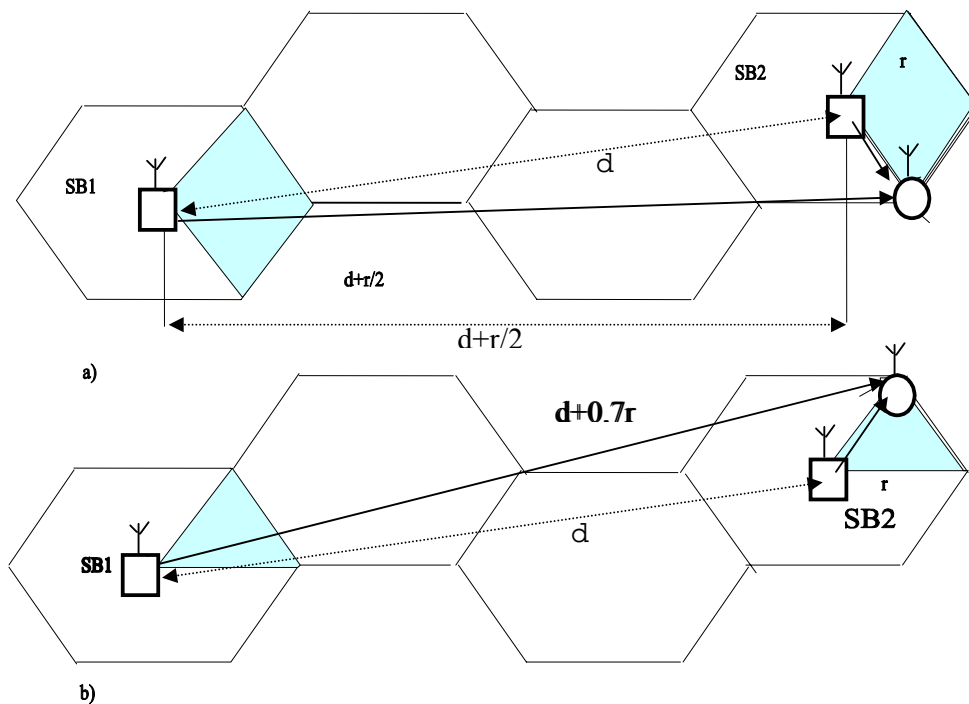


Figura 13

- 120°:

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-\gamma}}{2(d + \frac{r}{2})^{-\gamma}} \quad (44)$$

- 60°:

$$\frac{S}{I} = \frac{r^{-\gamma}}{(d + 0,7r)^{-\gamma}} \quad (45)$$

➤ Numeric:

- pentru 120° $S/I=25,3$ dB;
- pentru 60° $S/I=29$ dB .

➤ Deci se poate alege $N=3$;

3.3 Criterii pentru alocarea canalelor către celulele elementare

➤ Caracteristicile de selectivitate ale filtrelor utilizate la echipamentele de recepție duc la restricții cu privire la:

- distanța între canalele utilizate în celula analizată
- distanța între canalele utilizate în celule vecine.

➤ Cea mai restrictivă condiție este cea care se referă la canalele folosite în aceeași celulă;

➤ cea mai defavorabilă situație (figura 15):

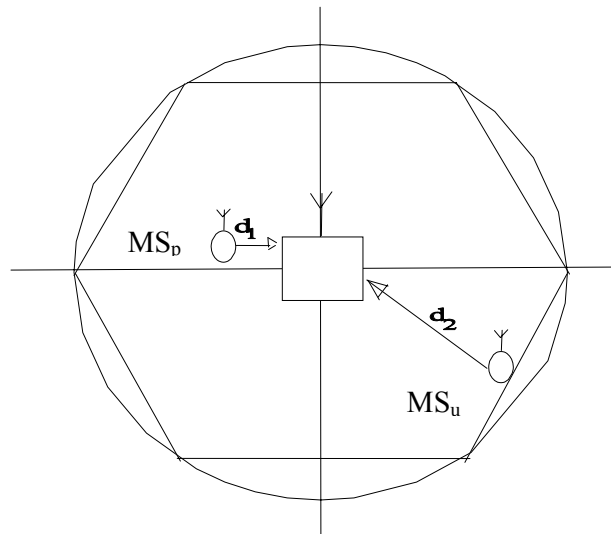


Figura 15

$$\left(\frac{S}{I}\right) = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{-\gamma} \quad (48)$$

➤ d_2/d_1 = raport terminal apropiat/terminal depărtat.

➤ Se notează:

$$\Delta f = f_{o,i+1} - f_{oi} \text{ pentru } i = 1, 2, \dots \quad (49)$$

$$n_o = \frac{\left(\frac{I}{S}\right)}{p} = \frac{10\gamma \log_{10}\left(\frac{d_2}{d_1}\right)}{p} \quad (50)$$

$$\Delta f_m = |f_{op} - f_{oi}| > n_o \frac{B}{2} \quad (51)$$

$$D = \frac{\Delta f_m}{\delta f} = n_o \frac{B}{2 \delta f} \quad (52)$$

➤ Pentru canale din celule vecine

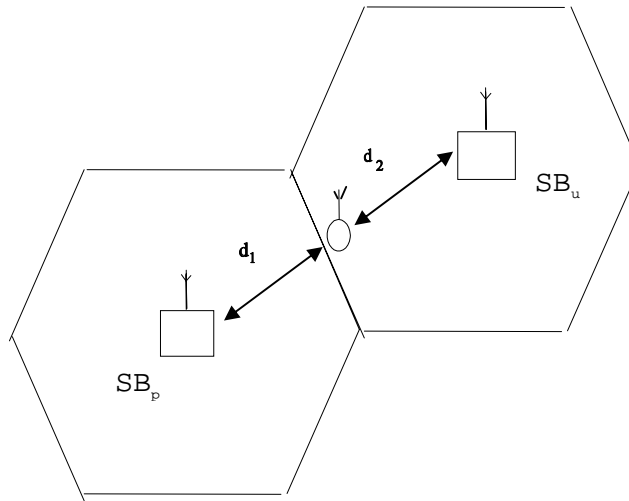


Figura 16

$$\frac{S}{I} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{-\gamma} = 0 \text{ dB} \quad (53)$$

3.4 Analiza intermodulațiilor de ordin 3

$$f_i = n_1 f_1 + n_2 f_2 + \dots + n_K f_K \quad (54-a)$$

$$o = |n_1| + |n_2| + \dots + |n_K| \quad (54-b)$$

$$f_u \approx f_i \quad (54-c)$$

➤ Intermodulații de ordin 3 apar dacă la intrarea sistemului analizat poate apărea o combinație de forma:

$$f_i - f_j = f_k - f_m; \text{ cu } i \neq j \neq k \neq m \quad (55-a)$$

$$f_i = 2 f_m - f_k; \text{ cu } i \neq k \neq m \quad (55-b)$$

$$C_i - C_j = C_k - C_m \quad (46-a)$$

$$C_i = 2 C_m - C_k \quad (56-b)$$

3.5 Atribuirea canalelor radio către celulele elementare

1. Minimizarea perturbațiilor co-canal a dus la valoarea lui N ;
2. Minimizarea perturbațiilor produse de canalele adiacente folosite într-o celulă:
distanța între două canale succesive, mai mare sau egală cu $D = \Delta f_m / \delta f$ canale;
3. Minimizarea intermodulațiilor de ordinul 3;
4. Minimizarea interferențelor între canale vecine folosite în celule vecine.

➤ Variante:

- *alocarea fixă*;
- *alocarea dinamică*;
- *alocare hibridă*.

➤ Se analizează *alocarea fixă* în ipoteza că se acceptă că:

1. traficul este uniform repartizat;
2. distribuția de trafic este evaluată prin studii experimentale sau prin

predicție;

➤ Funcție de această opțiune:

1. celulele primesc același număr de canale
2. fiecărei celule i se repartizează un număr variabil de canale funcție de traficul specific.

➤ Se consideră primul caz;

➤ Se dispune de M canale:

$$M = \text{Integer}\left(\frac{B_a}{\delta f}\right) \quad (57)$$

➤ Deci fiecărei celule îi revin $m/m+1$ canale:

$$m = \text{integer}\left(\frac{M}{N}\right); \quad M_r = \text{rest}\left(\frac{M}{N}\right) \quad m = \frac{M}{N} + M_r$$

➤ Cel mai simplu algoritm: în prima fază se aplică relația:

$$\begin{aligned} C_{ij} &= i + Nj; \\ j &\in [0, m-1]; \\ i &\in [0, N-1] \text{ pentru } j < m-1; \\ i &\in [0, M_r-1] \text{ pentru } j = m-1, \end{aligned} \quad (59)$$

Tabelul 3 Alocarea fixă a canalelor radio (faza I)

Celula (i) \Rightarrow	0	1	2		N-1
Nr. de ordine canal în celulă (j) \Downarrow	0	1	2	....	N-1
0	0	1	2	....	N-1
1	N	N+1	N+2	....	2N-1
2	2N	2N+1	2N+2	....	3N-1
....
m-1	(m-1)N	(m-1)N+1	(m-1)N+2	....	mN-1
m	mN	....	....	mN+M _r -1	

➤ Analiza intermodulațiilor

$$2C_{i(j+1)} = C_{i(j+2)} + C_{ij}; \quad 2f_{j+1} = f_{j+2} + f_j \quad (59)$$

➤ soluție: permutarea circulară la una dintre linii;

Tabelul 4 Alocarea fixă a canalelor radio (faza a II-a)

Celula(i) \Rightarrow	0	1	2	....	N-1
Nr. ordine canal în celulă(j) \Downarrow					
0	0	1	2	....	N-1
1	2N-1	N	N+1	....	2N-2
2	2N	2N+1	2N+2	....	3N-1
....

➤ Concluzie: rezultat, continuare;

➤ Generalizare: s_j = deplasarea efectuată în grupul j de canale.

➤ Este evidentă relația:

$$0 \leq s_j \leq N - 1 \quad (60)$$

- Cu aceasta numărul de ordine al canalului j din celula i poate fi scris:

$$C'_{ij} = Nj + [(N - s_j) + i] \bmod N \quad (61)$$

- Pentru f_I, f_J, f_K , trei frecvențe aparținând aceleiași stații de bază cu condiția:

$$f_I < f_J < f_K \quad (62)$$

- Procedul de mai sus permite evitarea intermodulațiilor de tipul $2f_J = f_I + f_K$.

$$2C_{iJ} \neq C_{iI} + C_{iK} \quad (63)$$

$$2[NJ + [(N - s_J) + i] \bmod N] \neq NI + [(N - s_I) + i] \bmod N - \\ - NK - [(N - s_K) + i] \bmod N \quad (64)$$

$$2NJ \neq N(K + I) - 2(N - s_J + i) \bmod N + \\ + (N - s_I + i) \bmod N + (N - s_K + i) \bmod N \quad (65)$$

- vor rezulta valori diferite pentru deplasări;
- se va verifica de fiecare dată menținerea distanței minime D ;
- Modul de lucru;

Tabelul 5 Exemplu de alocare a canalelor radio într-un sistem cu: $M=72$, $D=6$, $N=9$.

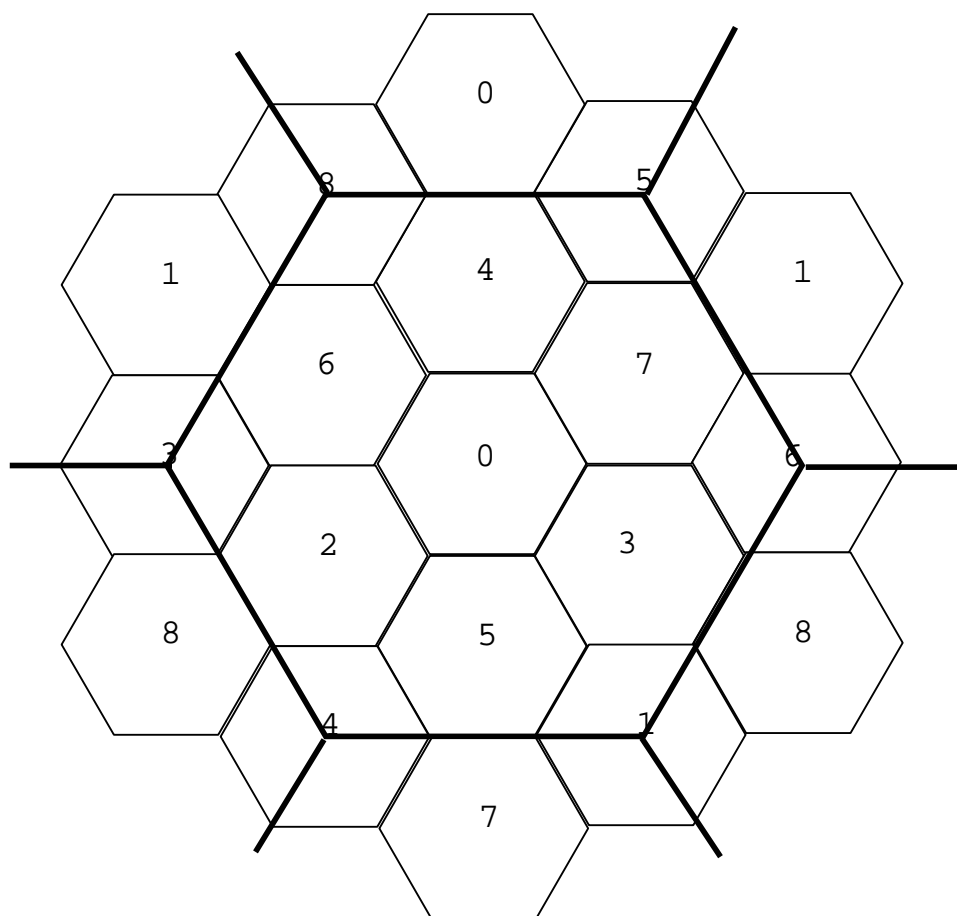


Fig. 17 Numerotarea celulelor într-o zonă de reutilizare radio cu 9 celule.