

**A. Consecința compensării efectului NF**

Avem T utilizatori,  $T < N$ ,  $P_{r1} < P_{r2} < \dots < P_{rT}$ ;  $P_{rt} = k_t P_{r1}$  cu  $1 < k_2 < \dots < k_t < \dots < k_T$

- a) Care dintre  $U_t$  are  $p_e$  mai mic sau, echivalent, care ar putea avea un debit binar mai mare (la un  $p_e$  impus)?
- b) După compensarea NF, determinați numărul minim și maxim de utilizatori pt. care se poate asigura un debit impus  $D = p^* f_s$  cu condiția  $p_e < p_{e,target}$ . Determinați  $p < 6$  și  $p > 2$  și  $p_{e,target} = 10^{-5}$

a) Pt.  $U_1$  avem: 
$$\rho_{IN-1} = \frac{P_{r1}}{\frac{P_{r1}}{N^2} \sum_{t=2}^T k_t + P_z} = \frac{1}{\frac{\sum_{t=2}^T k_t}{N^2} + \frac{1}{\rho_{z-1}}} \quad (1)$$

b) Pt.  $U_T$  avem: 
$$\rho_{IN-T} = \frac{P_{rT}}{\frac{P_{r1}}{N^2} \sum_{t=1}^{T-1} k_t + P_z} = \frac{k_T}{\frac{\sum_{t=1}^{T-1} k_t}{N^2} + \frac{1}{\rho_{z-1}}} \quad (2)$$

Deoarece  $\sum_{t=1}^{T-1} k_t < \sum_{t=2}^T k_t$ ;  $k_1 < k_T \Rightarrow \rho_{IN-T} > \rho_{IN-1} \Rightarrow p_{e-T} < p_{e-1}$  (3)

Dacă  $\rho_{IN-T} > 4$  (sau 5)  $\cdot \rho_{IN-1}$  atunci  $U_T$  poate folosi o modulație cu 2 biti/symbol în plus

**Temă: determinați raportul între debitele lui  $U_1$  și  $U_T$ ,  $D_1/D_T$ , dacă  $T = 20$ ,  $k_t = 1 + 0.2 \cdot t$ , iar  $P_{r1}/P_z = 1000$**

- b) Compensare NF

Se reduc puterile la emisie a.i.  $P_{r1} = P_{r2} = \dots = P_{rT}$  (4)  $\rightarrow \rho_{IN-comp} = \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{1}{\rho_z}}$  (5)

Comparați valoarea  $\rho_{IN-comp}$  data de (5) cu  $\rho_{IN-1}$  și  $\rho_{IN-T}$  date de (1) și (2) demonstrați că (1) < (5) < (2)

Pentru a putea utiliza  $p=4$ , 16 QAM  $\rightarrow 19.5 \text{ dB} \leq 10 \lg(\rho_{IN}(T)) < 25.5 \text{ dB} \leftrightarrow 89.12 \leq \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{1}{\rho_z}} < 354.81$  (6)

Inegalitatea stanga din (6) va da numărul maxim de utilizatori  $T_M$ , iar cea din dreapta va da numărul minim  $T_m$  pentru care se poate asigura  $p=4$  și  $p_e < 10^{-5}$ .  $T_M < N$ . Ce soluție există pt.  $T > T_M$  dacă  $T < N$ ? Dar pentru  $T < T_m$ ?

**Temă: determinați raportul între debitele lui  $U_1$  de la a) și debitul comun/U după compensarea NF,  $D_1/D_c$ , dacă  $P_{r1}/P_z = 1000$ .**

**Soft Capacity**

Pp. efectul NF compensat și  $\rho_z = P_r/P_z$ . Factor de împrastiere  $N$ , frecvența de simbol  $f_s$ ,  $p_{e,target} = p_{e0}$

Pentru o modulație cu  $p_a$  biti/symbol,  $p_{e0}$  este asigurat pentru  $\rho_{IN} \geq \rho_{IN-a}$ ; pentru o modulație cu  $p_b$  ( $p_b > p_a$ ),  $p_{e0}$  este asigurat pentru  $\rho_{IN} \geq \rho_{IN-b}$ , iar pentru o modulație cu  $p_c$  ( $p_c > p_b$ ),  $p_{e0}$  este asigurat pentru  $\rho_{IN} \geq \rho_{IN-c}$

Numărul de utilizatori pentru care se asigura  $p_{e0}$  cu modulația cu  $p_a$  se obține din condiția:

$$\rho_{IN-comp} = \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{1}{\rho_z}} \geq \rho_{IN-a} \quad (7)$$
 pentru egalitate se obține numărul maxim de utilizatori  $T_{Ma}$  pentru care se poate

asigura  $p_{e0}$ ; Dacă numărul utilizatorilor scade, dar  $\rho_{IN-comp} < \rho_{in-b}$ , modulația folosită rămâne aceeași,  $p_a$  biti/symbol, debitul fiind  $p_a \cdot f_s$ , dar  $p_e$  scade.

Dacă numărul de utilizatori scade în continuare a.i.  $\rho_{IN-comp} \geq \rho_{in-b}$ , sistemul trece la utilizarea modulației superioare cu  $p_b$  biti/symbol iar debitul /utilizator crește fiind  $f_s \cdot p_b$ .

Numărul de utilizatori pentru care se utilizează  $p_b$  biti/symbol este dat de:

$$\rho_{IN-comp} = \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{1}{\rho_z}} \geq \rho_{IN-b} \quad (8)$$
 valoarea sa maximă  $T_{Mb}$  fiind data de egalitatea din (8)

Dacă numărul utilizatorilor scade, dar  $\rho_{in-comp} < \rho_{in-c}$ , modulația folosită rămâne aceeași,  $p_b$  biti/symbol, debitul fiind  $p_b \cdot f_s$ , dar  $p_e$  scade.

Dacă numărul de utilizatori scade în continuare a.i.  $\rho_{IN-comp} \geq \rho_{IN-c}$ , sistemul trece la utilizarea modulației superioare cu  $p_c$  biti/symbol iar debitul /utilizator crește fiind  $f_s \cdot p_c$ .

Numarul de utilizatori pentru care se utilizeaza  $p_c$  biti/symbol este dat de:

$$\rho_{IN-comp} = \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{1}{\rho_z}} \geq \rho_{IN-c} \quad (9) \text{ valoarea sa maxima } T_{Mc} \text{ fiind data de egalitatea din (9).}$$

Daca numarul utilizatorilor scade, modulatia folosita ramane aceeași,  $p_c$  biti/symbol, deoarece este cea mai mare disponibila, debitul fiind  $p_c \cdot f_s$ , dar  $p_e$  scade.

Relatiile (7), (8) și (9) arata ca:

- Daca numarul de utilizatori variaza între  $[T_{Ma}, T_{Mb}]$  sau  $[T_{Mb}, T_{Mc}]$  sau  $[T_{Mc}, 1]$  sistemul pastreaza aceeași modulatie și același debit, dar  $p_e$  scade cu scaderea numarului de utilizatori;
- Daca numarul de utilizatori variaza, trecand de la un interval la altul dintre cele mentionate mai sus, sistemul schimba modulatia utilizata, modificand și debitul asigurat, iar  $p_e$  ramane  $< p_{e0}$ . De ex. Daca numarul de utilizatori scade, trecand de la primul interval la al doilea, utilizatorilor ramasi li se va asigura un debit  $p_b \cdot f_s$  mai mare decat  $p_a \cdot f_s$  care se asigura daca numarul de utilizatori ar ramane in primul interval.

Retineti ca numarul de utilizatori  $0 < T < N$

Cele de mai sus arata ca un sistem DS-SS are proprietatea de "soft capacity" care consta in modificarea dinamica a calitatii transmisiei in functie de numarul T de utilizatori conectati. Modificarea calitatii se poate manifesta in doua moduri:

- Daca numarul utilizatorilor conectati variaza intr-unul dintre intervalele de mai sus, debitul/utilizator ramane constant, iar probabilitatea de eroare scade cu scaderea lui T, iar  $p_e < p_{e0}$
- Daca numarul utilizatorilor conectati "sare" dintr-unul dintre intervalele de mai sus in altul, debitul/utilizator se modifica, iar probabilitatea de eroare se modifica și ea, dar  $p_e < p_{e0}$

**Temă: determinați numărul maxim de utilizatori ce pot fi deserviți după compensarea efectului NF, pentru fiecare valoare a SNR ( $\rho_z$ ), dacă SNR la receptorul BS variază între 26 și 40 dB,  $N = 128$ , iar  $p_{target} = 1 \cdot 10^{-5}$ . Se știe că  $p_e(9.5 \text{ dB}) \big|_{2-PSK} = 1 \cdot 10^{-5}$**

### Cell Breathing

Avem T utilizatori ale căror puteri recepționate  $P_{rt}$  sunt:

$$P_1 < P_2 < \dots < P_A < P_{A+1} < \dots < P_{A+B}; \quad A + B = T; \quad P_t = k_t \cdot P_1; \quad k_t \geq 1 \quad (10)$$

Factorul de împrăștiere este  $N \geq T$ . Se presupune că  $P_z$  e aceeași pentru toate cazurile.

$$\text{După compensarea NF avem: } P_t = P_1 \quad \forall t \in \{1, T\}; \quad (11)$$

$$\text{Deci: } \rho_{Int} = \frac{1}{\frac{T-1}{N^2} + \frac{P_z}{P_{r1}}} \quad \forall t \in T \quad (12)$$

Împărțim utilizatorii în două grupuri  $G_A = \{1, \dots, A\}$ ,  $G_B = \{A+1, A+B\}$  folosind un alt PN de lungime  $N_q = N_u = N$ ; fiecare fiind "codat" cu două coduri: unul individual și unul de grup. Observație: principial se poate face și  $N_u \cdot N_q = N$ . Atunci după compensarea NF în fiecare dintre cele două grupuri avem:

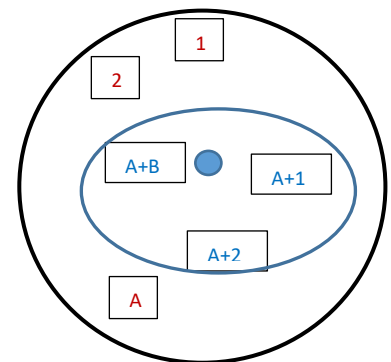
$$P_{tA} = P_1 \quad \forall t \in \{1, A\}; \quad P_{tB} = P_{A+1} \quad \forall t \in \{A+1, A+B\}; \quad (13)$$

Rapoartele  $S/(N+I)$  ale celor două grupuri vor fi:

$$\rho_{Int-A} = \frac{1}{\frac{A-1}{N_u^2} + \frac{P_z}{P_{r1}} + \frac{B-1}{N_u^2 \cdot N_q^2} + \frac{1}{N_q^2}} \quad \forall t \in \{1, A\}; \quad (14)$$

$$\rho_{Int-B} = \frac{1}{\frac{B-1}{N_u^2} + \frac{P_z}{P_{rA+1}} + \frac{A-1}{N_u^2 \cdot N_q^2} + \frac{1}{N_q^2}} \quad \forall t \in \{A+1, B\} \quad (15)$$

În (14) și (15) cel de-al treilea termen de la numitor exprimă interferențele introduse de utilizatorii din celălalt grup datorită atât pseudo-ortogonalității codului de utilizator  $N_u$  cât și pseudo-ortogonalității relative dintre codul de utilizator (al celor B-1 utilizatori care au coduri diferite de cel al utilizatorului analizat) și codul de grup  $N_q$ . Cel de-al patrulea termen al numitorului exprimă interferența datorată pseudo-ortogonalității dintre codurile de grup, în ipoteza că în fiecare grup există câte un utilizator care are același cod individual.



Comparație între  $\rho_{Int-A}$  (14) și  $\rho_{Int-B}$  (15)

a. Deoarece  $P_{rA+1} > P_{r1}$ ,  $SNR_A < SNR_B$

b. Valorile termenilor 1 și 3 din cele două expresii depind de valorile lui A și B. Pentru  $A=B$ , datorita a.,  $SINR_B > SINR_A$ , ceea ce face ca grupului B să i se asigure performanțe mai bune. O analiză mai riguroasă implică o comparație valorile lui A și B, tinand cont și de valoare lui  $N_u$ .

Comparație între  $\rho_{\text{Int-A}}$  (14),  $\rho_{\text{Int-B}}$  (15) și  $\rho_{\text{Int}}$  (12)

a. Deoarece  $P_{r1} = P_{rA} < P_{rB}$  rezultă  $\text{SNR}_t = \text{SNR}_A < \text{SNR}_B$

b. Deoarece  $A$  și  $B < T$  rezultă că primul termen de la numitorii lui (14) și (15) este mai mic decât primul termen de la numitorul lui (12)

c. Termenul  $1/N_q^2$  poate fi inclus în primul termen, iar al treilea termen e neglijabil, produs de două pătrate.

Din cele de mai sus rezultă că  $\rho_{\text{Int}} < \rho_{\text{Int-A}}$  și/sau  $\rho_{\text{Int-B}}$  ceea ce conduce la scăderea  $p_e$ , dacă se păstrează modulația sau la utilizarea unei modulații superioare dacă  $\rho_{\text{Int-A}}$  și/sau  $\rho_{\text{Int-B}}$  depășesc valoarea de prag, vezi paragraful Soft Capacity.