
SISTEME DE RADIOTELEFONIE "TRUNKED"

1 Sisteme de comunicații radiotelefonice

- transmiterea semnalelor vocale între două sau mai multe terminale de comunicație.
- atractive pentru rezolvarea unor probleme de comunicații operative, fiind foarte ușor de instalat, de exploatat, de dezvoltat (între anumite limite) etc.
- Variante:
 - sisteme de radiotelefonie convenționale;
 - sisteme de radiotelefonie "trunked" (sisteme radiotelefonice cu acces multiplu sau dedicate);
 - sisteme de radiotelefonie celulare.

1.1 Sisteme convenționale de radiotelefonie

- *Sistemele de radiotelefonie convenționale* - un număr de utilizatori care aparțin unui grup special constituit dispune de un canal radio în vederea comunicației și intră în competiție pentru utilizarea acestuia.
 - În cazul sistemelor din primele generații legătura se stabilea direct între stațiile mobile sau fixe participante la trafic.
-

- Zona acoperită fiind destul de redusă, s-a introdus o stație auxiliară, fixă, de putere mare - *retransmitere pe altă frecvență*.
- Această stație a fost denumită *repetor*.
- Repetoarele folosite în sisteme convenționale, denumite în continuare *repetoare convenționale*, îndeplinesc doar rolul de retransmisie a semnalelor recepționate.
- *Stație de bază* - mai multe repetoare instalate într-un amplasament.

- Dezavantaje:
 - timpul mediu de acces la sistem este destul de mare și variabil;
 - accesul la orice legătură de comunicație.

- Desfășurare apel: *monitorizare - apel cu nume convențional - convorbire*.
- Echipamente mai perfecționate: apelul selectiv;
- se transmite un cod - se declanșează o alarmă la echipamentul chemat.
- Indiferent de procedeu - sistemul nu asigură ***secretul comunicației***.
- În sistemele radiotelefonice convenționale numărul de utilizatori pentru un repetor se limitează la 50 ținând cont de deficiențele următoare:
 1. timpul de acces la sistem mare;
 2. monitorizarea canalului; (enervant în timpul perioadelor de trafic intens);
 3. imposibilitatea de a asigura securitatea informației;
 4. posibilitatea producerii unor perturbări ale legăturilor în desfășurare dacă cineva emite, fără a mai testa dacă este liber canalul radio.
- aceasta reduce neajunsurile menționate dar nu le elimină

- O soluție: **sistemele de radiotelefonie trunked**.

1.2 Sisteme de radiotelefonie "trunked"

- Un alt mod de funcționare - folosirea procedurii adoptat de multă vreme în telefonie: constituirea unui **“trunchi” de canale radio** cu exploatarea acestora în comun de către un număr oarecare de utilizatori.
- **modul de lucru** al acestor sisteme
- repetoarele (ansamblu emițător-receptor) sunt conectate la un *controlor de sistem*.
- Echipamentele mobile comunică cu controlorul printr-o transmisie de date auxiliară, astfel încât pot detecta starea canalelor.
- O rețea de radiotelefonie "trunked" este un sistem multicanal, cu selectarea automată a canalului,
- Ea poate fi utilizată ca un *sistem de dispecerizare (definiție)*.
- **Comparație sisteme convenționale - sisteme trunked**: un sistem convențional cu 5 canale preia maxim 250 utilizatori iar sistemul trunked echivalent ajunge la 450 utilizatori;

1.3 Semnale transmise; controlul recepției: squelch

- Semnalele care se transmit în sistemele radiotelefonice pot fi:

- semnale telefonice;
 - fluxuri de date de viteză mică; frecvențe subaudibile ($f < 300\text{Hz}$);
 - fluxuri de date de viteză mare (f poate fi mai mare de 300Hz).
- Semnalul telefonic și/sau semnalele de date (eventual cu modulația unei/unor subpurătoare) modulează în frecvență purtătoarea RF.
- *semnale MF de bandă îngustă.*
- $\Delta f \leq 4\text{kHz}$ și o bandă ocupată
- $$B = 2 f_{mM} (1 + \beta_{tr} + \sqrt{\beta_{tr}}) \approx 21\text{kHz} < 25\text{kHz}; \quad \beta_{tr} = \frac{\Delta f}{f_{mM}} \quad (1)$$
- avantaje semnale MF;
- Necesitatea amplificării până la limitare înaintea demodulării;
- comportare receptor în absența semnalului util,
- Reducerea acestui efect - circuitul denumit în engleză *squelch*.
- Se poate asigura un anumit grad de confidențialitate a comunicației deoarece, în acest mod, sarcina monitorizării canalului revine echipamentelor și nu utilizatorilor;
- După principiul de funcționare al **circuitului de squelch** se deosebesc:
- *squelch de purtătoare* - se detectează prezența purtătoarei pe canal;
 - *squelch codat subaudibil cu ton continuu* (CTCSS = “Continuous Tone Coded Squelch System”) - se detectează prezența unui semnal transmis în spectrul subaudibil ($f < 300\text{Hz}$);
 - *squelch codat digital* (DCS = “Digital Coded Squelch”) - se detectează

un semnal de date ce conține codul stației respective.

➤ Termeni legați de squelch:

- **circuit de squelch**
- **squelch de purtătoare, squelch cu ton continuu, squelch codat digital;**
- semnalele care activează circuitele de squelch de tip CTCSS/DCS sunt denumite **coduri (sau tonuri de semnalizare) CTCSS/DCS**.

➤ variante combinate (*și, sau* etc.; de exemplu, se detectează prezența purtătoarei pe canal și, simultan, se caută codul de identificare al stației).

2 Elemente de teoria traficului aplicate la sistemele trunked

2.1 Aspecte generale

➤ Aspecte specifice traficului din sistemele "trunked":

- durata medie a unui apel este scurtă (tipic de ordinul a 15 secunde);
- numeroși utilizatori operează cu grupuri de stații mobile, în care un singur operator controlează procesul de comunicație ptr. întreg grupul;
- numărul de stații mobile dintr-un grup poate varia în limite mari.

➤ Alte ipoteze acceptate:

- toate apelurile sunt dispuse în șir de așteptare, în ordinea sosirii;
- se neglijează degradarea comunicației datorată fenomenelor rezultate din propagare;

- se exclude orice transmisiune între stații mobile aparținând unor grupuri diferite sau între posturi de control din rețele diferite;
 - unele sisteme acceptă comunicarea, în modul simplex, în ambele direcții între postul de control și o stație mobilă ce aparține de acesta, dar nu mai mult de o comunicare într-un interval de timp dat;
- **Numărul de utilizatori la nivelul sistemului "trunked" = numărul de posturi de control.**
- Traficul generat de un post de control variază în limite largi (componenta grupului, specificul activității acestuia).
- Un sistem în care traficul generat de diverși utilizatori variază în limite largi este denumit *sistem neechilibrat (unbalanced system)*.
- **Coadă de așteptare:**
- o stație mobilă lansează un apel iar sistemul este blocat, apelul este inclus într-o coadă de așteptare.
 - sistemul lucrează cu grupuri de mobile deci, dacă postul de operator este ocupat, nici o stație mobilă nu poate realiza un nou apel până la terminarea comunicației în curs.
- **Tipuri de "cozi de așteptare":**
- cozile pentru operatori;
 - cozile pentru stațiile mobile:
 1. toate canalele radio din zonă sunt ocupate
 2. propriul operator este ocupat.

- Frecvent, în analiza sistemelor "trunked", timpul de așteptare de tip 2 nu se ia considerare, deoarece:
 - apelurile stație mobilă - operator sunt mult mai rare cele inverse;
 - efectul este diminuat din p.d.v. psihologic;
 - acest timp poate scăde prin introducerea unui operator suplimentar (dacă sistemul o permite);
- O ultimă caracteristică a traficului telefonic generat în rețelele de comunicație "trunked": existența fluctuațiilor, cu două componente majore:
 - *Variațiile traficului la ore de vârf*; se acceptă o variație de la simplu la dublu pentru o perioadă de cca 30 minute, dar să apară o dată într-o perioadă de timp mai îndelungată (de exemplu 20 zile);
 - *Variațiile traficului de la o zi la alta și în decursul aceleiași zile.*

2.2 Probabilitatea de blocare

- concluzii la ipotezele din paragraful anterior:
 - utilizatorii intră în comunicație numai pentru intervale scurte de timp,
 - mare parte a lor sunt inactivi la un moment dat.
- Exemplu: traficul într-un sistem care dispune de cinci canale radio (figura 1).
- încărcarea canalelor este de cca 50% din timpul disponibil (primele 5 linii);
- Sistem convențional $P_b = 50\%$, aici $P_b = 6,6\%$.

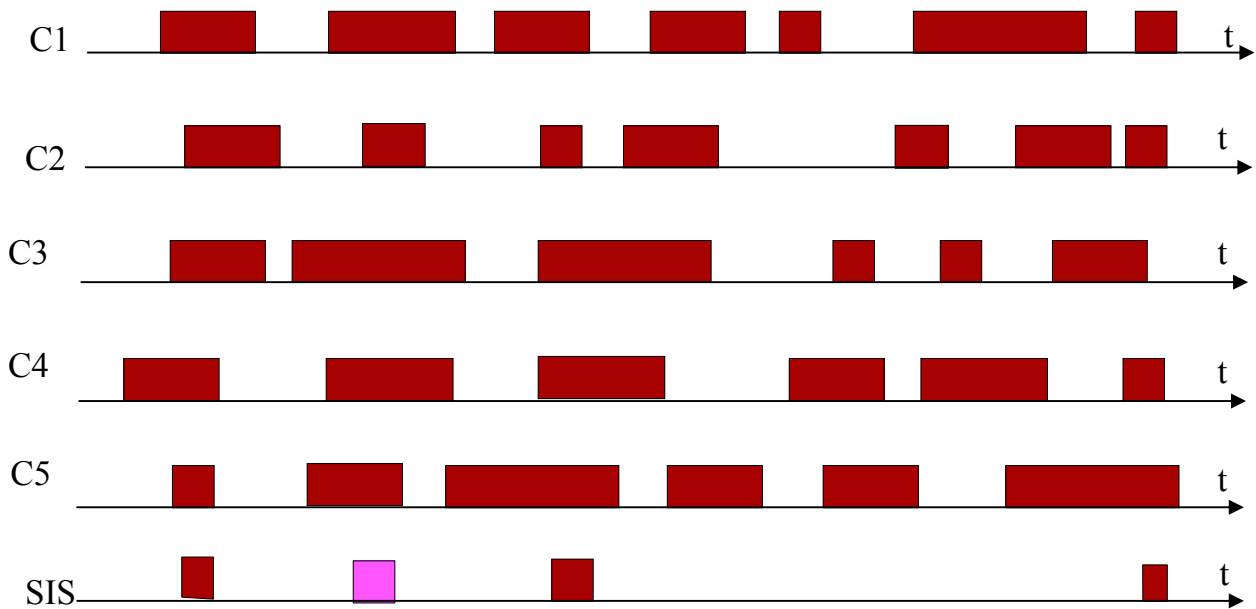


Fig. 1. Traficul pentru un sistem trunked cu 5 canale

➤ Se urmărește evaluarea probabilității de blocare;

a. *Sistem radiotelefonic convențional* - procentul de încărcare al canalului, (L) = ponderea timpilor de convorbire τ_{Ci} în timpul disponibil T_D (fig. 2).

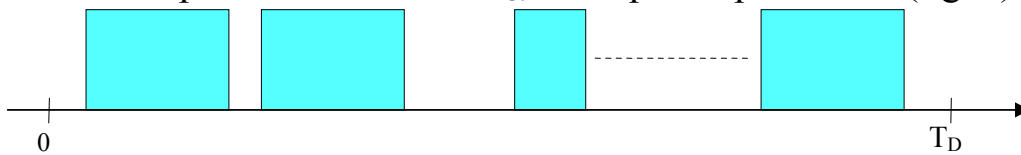


Fig. 2 Traficul pentru un canal convențional.

➤ Probabilitatea de blocare, B_1 , este:

$$B_1[\%] = \frac{\sum_i \tau_{Ci}}{T_d} 100 = L \quad (2)$$

deci reprezintă chiar încărcarea canalului.

b. Sistem trunked cu N canale

- timpii de ocupare pe cele N canale sunt presupuși independenți
- timpul de comutare neglijabil.

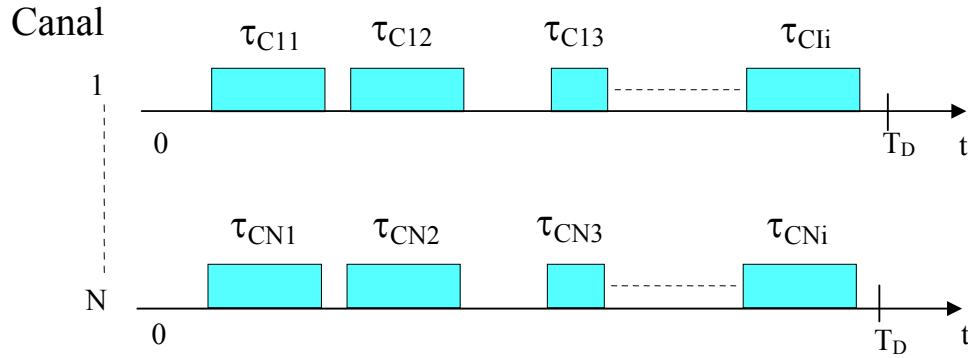


Fig. 3 Traficul pentru un sistem trunked cu N canale.

- Probabilitatea ca sistemul să fie blocat este produsul probabilităților individuale de blocare ale canalelor:

$$B_N = B_1^{(1)} \cdot B_1^{(2)} \cdot \dots \cdot B_1^{(N)} \quad (3)$$

$$B_1^{(k)} = L^{(k)}, \quad k=1..N,$$

- Încărcarea totală a sistemului, L , și probabilitatea de blocare B_N sunt:

$$L = \frac{I}{N} \left(\sum_{k=1}^N L^{(k)} \right); \quad B_N = \prod_{k=1}^N L^{(k)} \quad (4)$$

- Folosind inegalitatea mediilor:

$$\left[\prod_{k=1}^N L^{(k)} \right]^{\frac{1}{N}} \leq \sum_{k=1}^N \frac{L^{(k)}}{N} \quad (5)$$

- rezultă un majorant al probabilității de blocare:

$$B_N \leq L^N \quad (6)$$

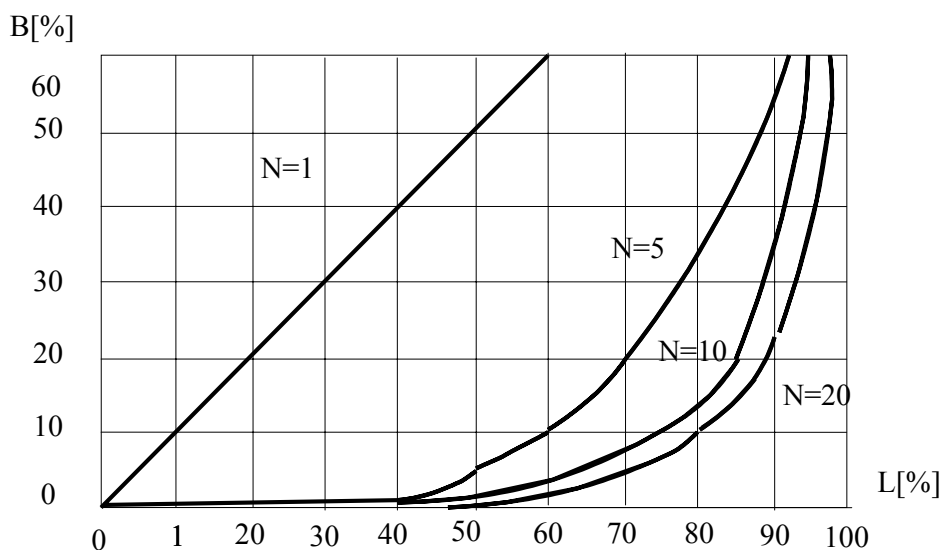


Fig. 4 Probabilitatea de blocare pentru sistemul trunked cu N canale.

- Pentru $N > 20$ canale câștig de performanță nesemnificativ / creșterea de cost este importantă.
- Deci pentru sistemele trunked la care stațiile de bază au aceeași zonă de acoperire N mai mic sau egal cu 20 de canale.

2.3 Timpul de acces la sistem

- Avantaj principal al sistemelor "trunked": *reducerea timpului de acces*;
- Pentru ilustrare, figura 5;

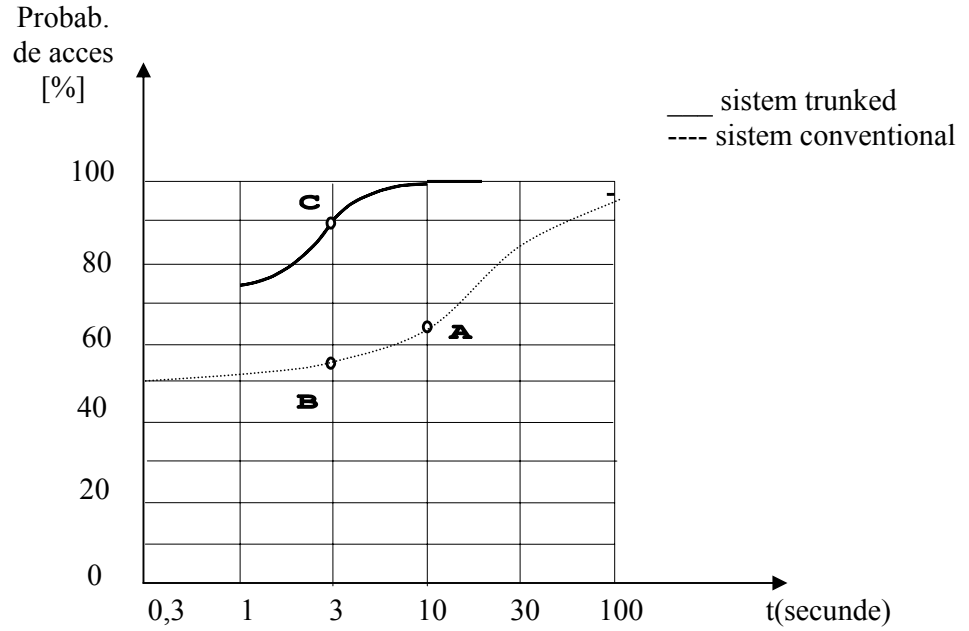


Fig. 5 Accesul la sistem în perioade de trafic intens: 60 canale la o SB; $N_{sb}=5$ (240 canale), $t_c=20$ secunde;

➤ **Evaluarea analitică a timpului de acces:**

- o serie de studii realizate la Institutul de Cercetare din Stanford,
- conform acestora densitatea de probabilitate pentru durata unei convorbiri este caracterizată printr-o distribuție de tip exponențial:

$$f(\tau_C) = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{\tau_C}{\lambda}\right) \sigma(\tau_C) \quad (7)$$

unde valoarea cea mai probabilă pentru parametrul λ este $\lambda_{MV} = 5$ sec.

- Notând cu T_A timpul de acces la sistemul convențional, probabilitatea ca un utilizator să aibă acces la sistem la un moment dat este:

$$P(\tau_C \leq T_A) = \int_0^{T_A} f(\tau_C) d\tau_C \quad (8)$$

și este egală cu încărcarea canalului:

$$L = \int_0^{T_A} \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{\tau_C}{\lambda}\right) d\tau_C = 1 - \exp\left(-\frac{T_A}{\lambda}\right) \quad (9)$$

➤ În concluzie, timpul de acces pentru un sistem convențional este:

$$T_A = \lambda \ln(1 - L)^{-1} \quad (10)$$

➤ Să evaluăm acest timp pentru un sistem trunked cu N canale;

➤ Se notează cu θ o variabilă aleatoare egală cu suma duratelor de convorbire pe cele N canale:

$$\theta = \tau_{c1} + \tau_{c2} + \dots + \tau_{cN} \quad (11)$$

➤ Presupunând că duratele τ_{ci} , $i=1..N$ sunt variabile independente, densitatea de probabilitate a variabilei sumă va fi produsul densităților individuale:

$$f(\theta) = f(\tau_{c1})f(\tau_{c2})\dots f(\tau_{cN}) \quad (12)$$

iar încărcarea sistemului va fi

$$L = P(t \leq N T_A) \quad (13)$$

➤ Pentru a determina $f(\theta)$ se introduce noțiunea de funcție caracteristică a variabilei aleatoare θ .

$$\Phi_\theta(\omega) = \int_R f(\theta) e^{-j\omega\theta} d\theta = \{f(\theta)\} \quad (14)$$

➤ Presupunând aceeași lege de distribuție pentru timpii de convorbire τ_{ci} , $i=1..N$ se obține:

$$\Phi_\theta(\omega) = \prod_{k=1}^N \Phi_{\tau_{ck}}(\omega) = [\Phi_{\tau_c}(\omega)]^N \quad (15)$$

➤ Rezultă

$$\Phi_{\theta}(\omega) = \frac{I}{(1 - j\omega\lambda)^N} \quad (16)$$

și folosind teorema reziduurilor se determină:

$$\Phi_{\theta}(\omega) = \frac{I}{(1 - j\omega\lambda)^N} \quad (17)$$

➤ Se recunoaște o distribuție gamma:

$$f(\theta) = \gamma(\theta, N - 1, \frac{I}{\lambda}) \quad (18)$$

➤ Se notează:

$$\Gamma_{N-1}(NT_A) = \int_0^{NT_A} \gamma(\theta, N - 1, \frac{I}{\lambda}) d\theta \quad (19)$$

obținând o funcție ale cărei valori sunt tabelate.

➤ Se observă că

$$L_N = \Gamma_{N-1}(NT_A) \quad (20)$$

reprezintă încărcarea sistemului.

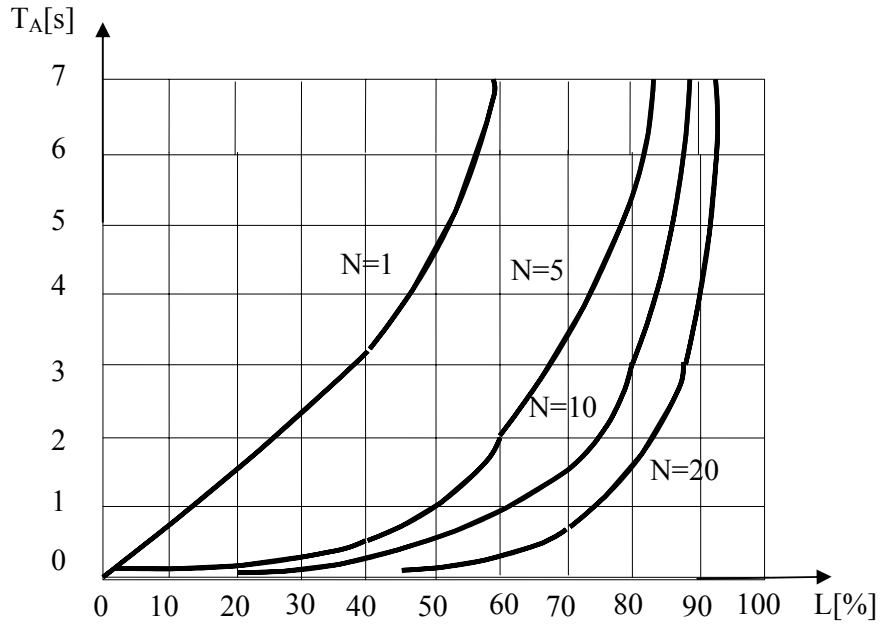


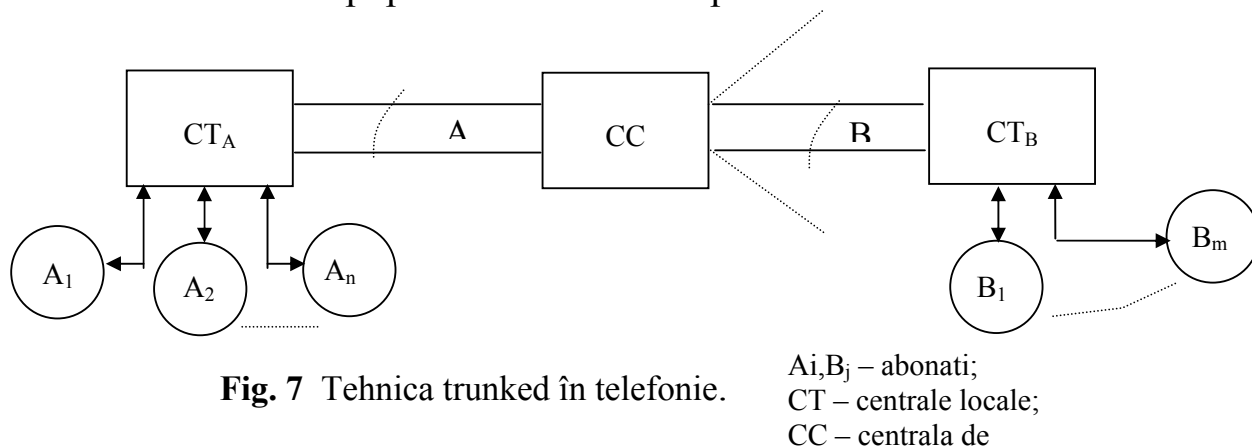
Fig. 6 Variația timpului de acces cu încărcarea și numărul de canale.

- Reprezentare grafică pentru $N=1,5,10,20$ ca parametru - figura 6.
 - timpul de acces se reduce pe măsură ce numărul de canale crește.
 - ca și anterior folosirea lui N peste 20 canale nu este economică,
-
- **Concluzii preliminare cu privire la sistemele trunked:**
 - canalele radio sunt utilizate mai eficient;
 - se reduce timpul de acces la sistem și probabilitatea de blocare;
 - se elimină necesitatea monitorizării canalelor pentru fiecare operator în parte;
 - se elimină posibilitatea unor încercări de utilizare simultană a aceluiași canal radio.

3 Sisteme de comunicații radio "trunked" clasice

3.1 Principiul de lucru pentru sistemele "trunked"

- tehnica "trunked" - concept preluat din telefonie publică comutată:



- telefoanele individuale sunt conectate la nivelul centralei telefonice locale.

- abonatul A1 ridică receptorul - comunică CT_A că dorește să facă un apel.
 - apelantul primește confirmarea prin ton.
 - după ce s-a format numărul, CT_A se conectează pe o linie din trunchiul de linii, A , cu centrala de comutație de tranzit (CC) care conectează cealaltă parte a liniei tot printr-un trunchi, B , la centrala locală chemată CT_B
 - Abonatul apelat va închide circuitul prin ridicarea receptorului .
- Similar, în sistemele de radiocomunicații trunked, un număr oarecare de canale radio nu mai sunt folosite separat ci formează un "trunchi" de comunicație;
- echipamentele corespunzătoare, **repetoarele**, sunt conectate la un **controler**, care supervizează activitatea sistemului (figura 8).
- *Când un abonat solicită o convorbire, controlerul recepționează cererea, alege unul din canalele libere, identifică abonatul apelat și apoi comunică celor doi parteneri canalul pe care se va stabili legătura.*

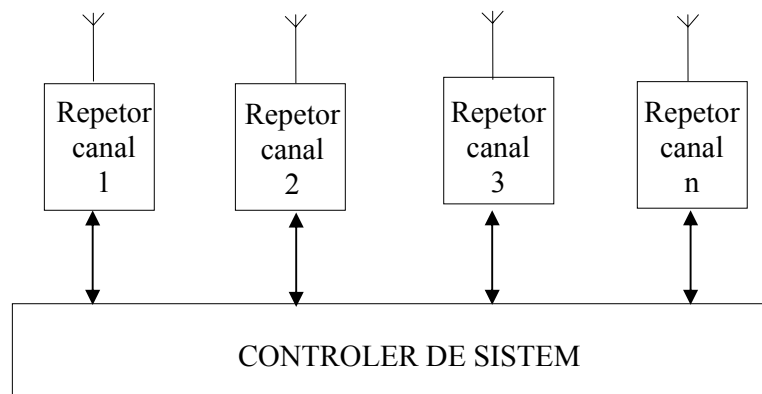


Fig. 8 Conectarea repetoarelor în sistemul trunked.

- De ce așa târziu? .. tehnologia;

3.2 Structura sistemelor de radiotelefonie "trunked" și servicii oferite

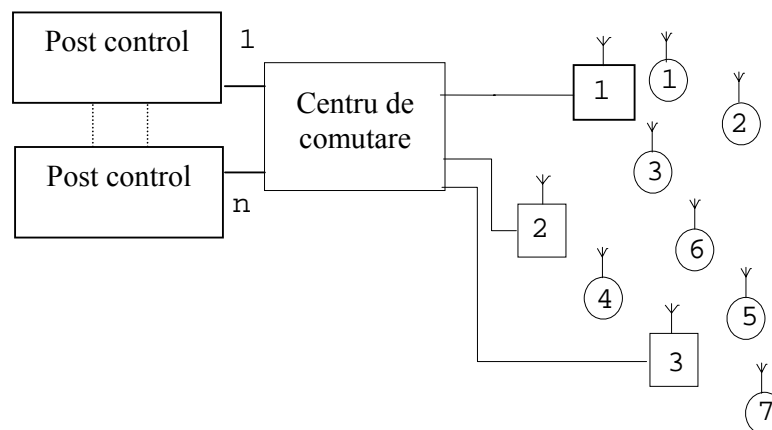


Fig. 9 Structura de principiu a unui sistem de radiotelefonie "trunked".

- *posturile de control (CP - control post)* sau posturile de dispecer, reprezintă puncte de conectare a apelurilor de la și către abonați;
 - *stațiile de bază (BS - base station)* - conțin unul sau mai multe repetitoare, adică echipamente de canal folosite pentru difuzarea și recepția mesajelor în zona de acoperire;
 - *centrul de comutare (SC - switching center)* - are rolul de a realiza legătura între posturile de control și stațiile de bază; acesta este blocul central al sistemului;
 - *stațiile mobile (MS - mobile station)* - sunt stații de recepție-emisie care se pot deplasa în zona de acțiune a rețelei "trunked".
- Fiecare grup (instituție, organizație etc.) este deservit de un post de control.
- Fiecare post de control este conectat printr-o legătură de comunicație dedicată (cablu telefonic, fibră optică, radioreleu etc.) cu centrul de comutare care face

legătura cu stațiile de bază.

- La centrul de comutare se conectează, în funcție de necesități, una sau mai multe stații de bază.
- Legătura dintre posturile de control și centrul de comutare se poate realiza fie pe linii dedicate fie pe canale radio special destinate acestui scop;
- În general, sistemele trunked sunt sisteme închise de utilizatori, dar tot mai multe rețele permit un acces limitat la rețeaua telefonică publică comutată.
- Utilizatorii dintr-un sistem de radiotelefonie "trunked" sunt organizați pe mai multe niveluri;

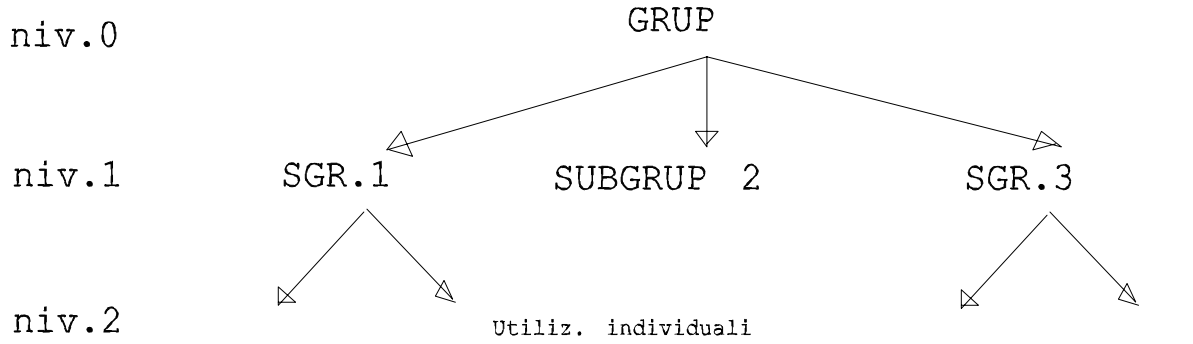


Fig. 10 Organizarea utilizatorilor unei rețele radio "trunked".

- *grup* = o mulțime de utilizatori radio legați prin apartenența la o structură (de exemplu o instituție);
- *subgrup* = o submulțime a grupului;
- Rețelei îi este repartizat un set de canale radio,
- fiecărui subgrup *i* se va atribui, *în mod dinamic*, un canal.

- în sistemele convenționale, numai dacă numărul de canale alocat sistemului este foarte mare se poate accepta atribuirea unui canal pentru fiecare subgrup.
- Tipuri de apeluri acceptate:
 - *apel de grup*;
 - *apel de subgrup*;
 - *apel la nivel de utilizator*.
- În principiu utilizatorii poartă convorbiri doar în interiorul subgrupului din care fac parte.
- În faza de configurare a sistemului pot fi specificați unii utilizatori care pot purta convorbiri în alte subgrupuri sau care pot iniția apeluri de grup sau de subgrup.
- Sistemul este extrem de flexibil; pentru adăugarea de noi stații subgrupurilor nu este necesară reconfigurarea întregului sistem (respectiv reprogramarea tuturor stațiilor).
- Pot apărea și situații în care trebuie puse în legătură stații individuale din grupuri diferite: *regrupare dinamică* (“dynamic regrouping”).
- Variante:
 - fără canal de control
 - cu canal de control;

3.3 Sisteme de radiocomunicații "trunked" fără canal de control

- rețele cu puține canale,
 - *sistem trunked cu căutare radio (Scanning Trunked Radio System)*.
 - fiecare stație scanează în permanență toate canalele,
 - timpul de observare a fiecărui să fie suficient pentru a putea primi apelurile de subgrup și cele individuale.
-
- Pentru a lansa un apel, o stație va testa toate canalele (prezența/absența purtătoare);
 - Primul canal liber detectat este folosit pentru transmiterea numărului de apel al stației chemate,
 - stațiile aflate în stare de așteptare, detectează o purtătoare, verifică dacă mesajul le este adresat, codul;
 - Dacă da stația se deschide automat.
 - în caz contrar stația continuă supravegherea canalelor radio alocate.

3.4 Sisteme de radiocomunicații "trunked" cu canal de control

- În acest caz dacă un utilizator încearcă să stabilească o legătură de comunicație, pot să apară două situații:
 1. Există cel puțin un canal liber - se derulează *secvența de apel acceptat*;
 2. Nu există nici un canal liber - se derulează *secvența de ocupat*.
- Fie un sistem cu 5 canale. Repetorul R1 - canalul de control;
- Sistemul se află în starea de "așteptare" (idle state).
- nici un utilizator nu vorbește, toate stațiile monitorizează canalul de control.
- controlerul transmite în mod constant semnale de date pe acest canal, indicând stațiilor care canal îndeplinește funcția de canal de control și care trebuie monitorizat.
- Controlerul urmărește, la rândul său, canalul de control invers, pentru a detecta eventualele cereri de apel.

a) Secvența de apel acceptat

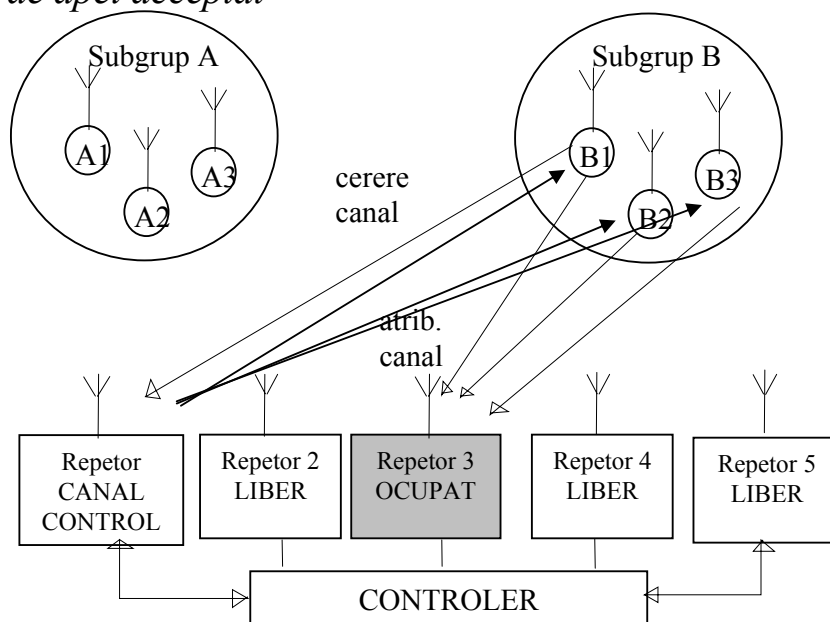


Fig. 11 Secvența de apel.

➤ *Stația B1 inițiază un apel: ea transmite un cuvânt de date conținând identificatorul propriu și subgrupul din care face parte.*

➤ Din acest moment se succed următoarele evenimente:

- 1) Cuvântul de date este transmis (canalului de control) către controler;
- 2) Controlerul atribuie subgrupului unul dintre canalele de trafic libere (de exemplu canalul 3);
- 3) Toate stațiile aparținând subgrupului sunt informate printr-un șir de date pe ce canal să comute (în cazul din exemplul analizat, pe canalul 3);
- 4) Stațiile mobile vor comuta la timp pentru a urmări începutul convorbirii;
- 5) Stațiile altor subgrupuri ignoră comanda de comutare și continuă monitorizarea canalului de control;
- 6) Convorbirea se încheie, stațiile subgrupului revin pe canalul de control;

b) *Secvența ocupat*

➤ Dacă în momentul lansării unei cereri de apel nu există canale libere, se desfășoară următoarea secvență de evenimente:

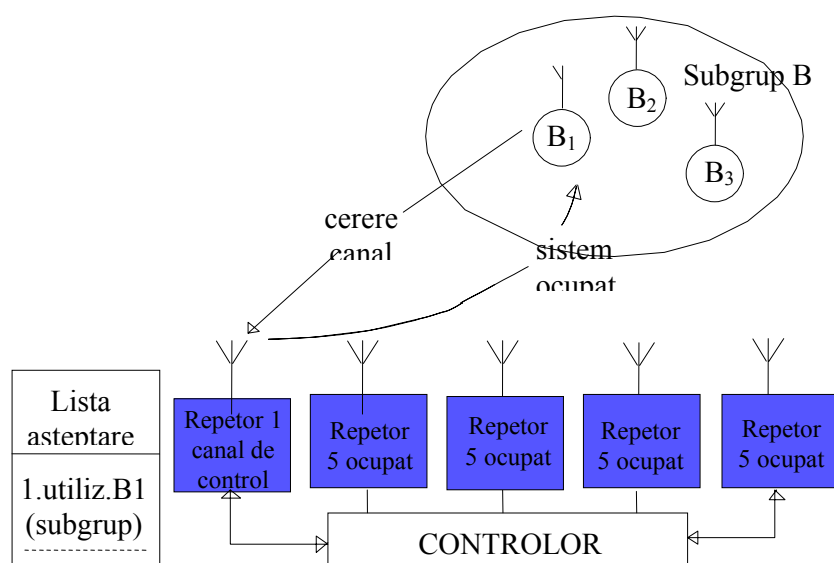


Fig. 12 Secvența ocupat .

- 1) și
 - 2) ca mai sus, (fig. 12) dar coontrolerul anunță apelantul că sistemul este ocupat (ton de ocupat);
 - 3) Cererea de apel este plasată într-o listă (coadă de așteptare **FIFO**;
 - 4) În momentul când un canal devine liber, controlerul transmite un mesaj corespunzător către apelant printr-un cuvânt de date și toate stațiile subgrupului vor comuta pe canalul desemnat;
 - 5) Încheiere convorbirii - ca și în cazul anterior;
-
- Nu se repetă periodic cererea de apel, eliberarea unui canal este detectată de sistem;
 - Rezultă un acces ordonat la servicii pentru toți utilizatorii;
-
-
- **Reacția sistemului în cazul unor avarii.**
 - a. *Avarie a canalului de control*
 - Se schimbă echipamentul desemnat să transmită canalul de control
 - b. *Avarie a unui canal de trafic.*
 - acest canal nu va fi atribuit până când avaria nu este remediată.
 - singurul element observat - eventual - prelungirea timpului de așteptare.
 - c. *Avarie a controlorului de sistem.*
 - este defecțiunea cea mai gravă care poate surveni.

- toate stațiile comută pe un canal de trafic (preprogramat),
- comunicația va avea loc în modul convențional, cu squelch-ul deschis până la remedierea avariei.
- Situația este cunoscută sub denumirea de defecțiune soft ("Fail Soft").

3.5 Concluzii cu privire la avantajele sistemelor de radiotelefonie "trunked" clasice

3.5.1. Principalele avantaje în comparație cu sistemele convenționale

- 1) *Utilizarea spectrului;*
- 2) *Calitatea serviciilor;* probabilitatea de blocare este mai mică și accesul la sistem mai rapid; canalele sunt atribuite în mod automat fără monitorizare;
- 3) *Confidențialitatea convorbirii* (utilizatorii dintr-un subgrup au atribuit un canal pe durata unei legături; canalul alocat este inaccesibil unui utilizator din afara subgrupului; apelul fiind automat stațiile nu funcționează cu squelch-ul deschis).
- 4) *Lista noilor apelanți* (coada de așteptare);
- 5) *Asignare și actualizare permanentă* (continuous assignment updating); o stație deschisă după începerea convorbirii (a pierdut comanda de comutare) se poate alătura conversației în desfășurare.
- 6) *Reluare automată a apelului* (automatic retry) de către echipament; Utilizatorul este înștiințat când apelul a fost înregistrat și s-a obținut un canal liber.
- 7) *Configurarea sistemului* - extrem de flexibilă,
- 8) *Fiabilitate* (avariile);

3.5.2. Sistemul de radiotelefonie trunked TETRA

- Generarea normativelor pentru un sistem radiotelephonic, digital, trunked la nivelul tehnologic al anilor 2000: *TETRA (Trans European Trunked Radio sau Teresrtial Trunked Radio)*.
- Srtandard deschis care a ținut cont în primul rând de interesele utilizatorilor și nu de cele ale operatorilor sau producătorilor de echipamente
- Rețelele bazate pe standardul TETRA pot fi realizate pe teritorii relativ extinse, care pot conține localități și căi de comunicație.
- Acoperirea unui teritoriu mai mare decât cel al unei stații de bază se obține prin aplicarea conceptelor celulare, cu utilizarea unor zone de repetiție cu $N=7$ sau $N=9$ celule.
- Avantaj major: utilizarea tehnicilor digitale de prelucrare a semnalelor.
- Interconectarea unor rețele TETRA se poate realiza atât în cazul în care acestea acoperă teritorii disjuncte cât și în cazul în care teritoriile acoperite sunt adiacente, parțial sau total suprapuse;



Fig. 13 Conectarea unei rețele TETRA. LS=stație de linie sau stație conectată la linie; MS=stație mobilă.

- Standardul permite, în condițiile înțelegerii între operatori, accesul în rețele similare din alte țări, ceea ce este deosebit de util pentru transportatorii auto.

- Prin posibilitatea transmiterii de date, domeniul de utilizare al rețelei este mult lărgit.
- Sistemul TETRA a devenit operațional și a intrat în competiție la întreaga sa capacitate, cu alte sisteme care oferă servicii similare sau apropiate, cu începere din anul 1999.
- Principalele caracteristici tehnice ale sistemului sunt:
 - banda de lucru 380-520 MHz, împărțită în două subbenzi, dar se acceptă alocări și în 150 respectiv 900MHz;
 - distanța duplex între subbenzi utilizate pentru cele două sensuri de comunicație se alocă în conformitate cu reglementările în vigoare adoptate în fiecare țară;
 - lărgimea de bandă a canalului de radiofrecvență: 25 kHz;
 - distanța dintre purtătoarele de radiofrecvență ale canalelor utilizate de către sistem, în cadrul unei subbenzi: 25 kHz;
 - modulația utilizată: $\pi/4$ **DQPSK** (Differential Quaternary Phase Shift Keying);
 - rata de transmisie: 36 kbit/secundă.
- Sistemul TETRA este conceput ca o rețea de comunicație complexă, capabilă să realizeze transmisiuni numerice, fiind posibile atât transmisiuni vocale cât și transmisiuni de date.
- posibilități de lucru celular;
- posibilitatea de a crea rețele virtuale private prin care o platformă fizică comună este partajată de mai multe entități cu menținerea confidențialității și controlul individual al funcțiilor;

- Acceptă modul de lucru DMO . comunicații directe între stațiile mobile;
 - Timp de acces la canal de maximum 0.5 secunde;
 - Se pot folosi cartele SIM pentru securizare
 - Etc.
- Se deosebesc două tipuri de sisteme TETRA:
- sisteme TETRA V+D (voice + data) pentru transmisiuni de voce și date;
 - sisteme TETRA PDO (Packet Data Optimized) pentru transmisiuni de date optimizate în pachete.
- Organizarea transmisiunii este diferită în cele două variante;
- Astfel, pentru sistemele V+D, transmisia se bazează pe formarea unor cadre TDMA;
- fiecare cadru conține patru ferestre de timp în care sunt transmise informațiile corespunzătoare a patru canale radio, (510 biți de informație/canal).
- Durata de timp alocată pentru transmiterea unui bit de modulație este de 27,78μs.
- Există o structură de grupare a cadrelor, astfel încât cea mai mare unitate de timp utilizată de sistem este de 61,2 secunde.
- În cazul sistemelor PDO, transmiterea este organizată pe blocuri, multiplexate și dispuse în salve de biți pentru transmitere, completate cu secvențe de sincronizare și cu alte semnale necesare funcționării.
- Durata de transmitere a fiecărui bit rămâne aceeași.

- O rețea TETRA poate fi conectată atât la rețeaua telefonică publică comutată, la rețele de transmisiuni de date precum și la rețele ISDN, rețele care sunt simbolizate punctat, sub denumirea de rețea de tranzit, în figura 13.



Fig. 13 Conectarea unei rețele TETRA. LS=stație de linie sau stație conectată la linie; MS=stație mobilă.

- Oricare dintre rețelele prezentate punctat pe figură poate să lipsească.
 - De asemenea, este posibilă interconectarea a două rețele TETRA.
 - Rezultă o gamă întreagă de posibilități de configurare a unor rețele de radiocomunicații, dezvoltate având în componență cel puțin o rețea TETRA.
- Pe această bază standardul TETRA tinde să devină un standard acceptat nu numai la nivel European ci global;

4 Sisteme pseudotrunked

4.1 Definire, aspecte generale

- dificultățile de ordin economic în introducerea sistemelor de comunicații radio trunked
- multe dintre acestea lucrează în gamele de 450 MHz sau de 800..900 MHz;
- în multe țări aceste benzi sunt ocupate;
- De asemenea sunt unele probleme legate de propagare:
 - frecvențele din gama (800...900)MHz sunt mult mai puternic afectate de copaci (frunziș), de obstacole și mult mai expuse fenomenelor de umbrire decât frecvențele din banda VHF și subbenzile din partea inferioară a UHF;
 - cu cât frecvența este mai mare cu atât este mai dificil a se construi stații de puteri mari la un preț rezonabil;
- Concluzionând: *uneori este mai convenabil să se adapteze echipamentele existente pentru a îndeplini, fie și parțial, funcțiuni de tip trunked;*
- Sistemele pseudotrunked - se dezvoltă pe infrastructura unor sisteme convenționale existente (repetoare, stații mobile și portabile);
- Aceste sisteme folosesc banda VHF (cel mai des) sau partea inferioară a benzii UHF.
- Funcționează fără canal de control și nu au un controler care să dirijeze alocarea canalelor.
- Stațiile mobile schimbă permanent informații cu stația de bază;
- ele au sarcina de a găsi un canal liber când vor să lanseze un apel.

- Performanțele sunt inferioare față de sistemele trunked clasice dar au și avantaje remarcabile:
 - costul implementării mai mic;
 - condițiile de propagare sunt mai bune;
 - modificarea unităților mobile - adăugarea unei interfețe;
 - pot lucra în continuare atât în mod convențional cât și trunked;
 - nu este necesară amplasarea repetoarelor în același loc, cu dezavantajul posibilității de a apare zone în care nu se pot utiliza toate canalele disponibile.

4.2 Principiul de lucru al sistemelor pseudotrunked

- Pentru a putea implementa un sistem pseudotrunked, echipamentele existente trebuie să satisfacă o serie de cerințe minimale:
 - stațiile să fie echipate cu posibilități de comunicare prin tonuri de semnalizare **CTCSS/DCS** (Continous Tone Coded Squelch System/Digital Coded Squelch) și să aibă o viteză de căutare a canalelor suficient de mare.
 - stațiile de bază trebuie, de asemenea, să aibă panouri pentru tonuri de semnalizare **CTCSS/DCS** compatibile cu cele ale stațiilor mobile.
- Stațiilor mobile li se atașează o interfață iar fiecare stație de bază va fi legată la un controler, pentru a permite schimbul de informații între unitățile mobile și stațiile de bază. Atât interfața cât și controlerul sunt unități construite în jurul

unor microprocesoare.

- Pentru a preciza aspectele menționate se va urmări, pe scurt, modul în care funcționează un sistem pseudotrunked cu cinci repetoare $R_1..R_5$ și două subgrupuri de utilizatori $A(A_1..A_3)$ și $B(B_1..B_3)$ (figura 14).
- Fiecare subgrup are un cod **CTCSS/DCS** propriu.
- Fiecare stație urmărește cele cinci canale radio și nu deschide partea de recepție decât atunci când detectează prezența unei purtătoare și când codul emis este codul subgrupului.
- La început toate stațiile sunt inactive (în așteptare).
- Când stația A_1 face apel, ea iese din modul de așteptare (urmărire canale) și caută un canal liber prin transmiterea unui cod de interogare care conține codul subgrupului.
- Urmează un interval de timp prestabilit în care stația așteaptă răspuns de la unul dintre repetoare.
- În exemplul considerat în figura 14, repetorul R_1 care este liber retransmite codul subgrupului A .

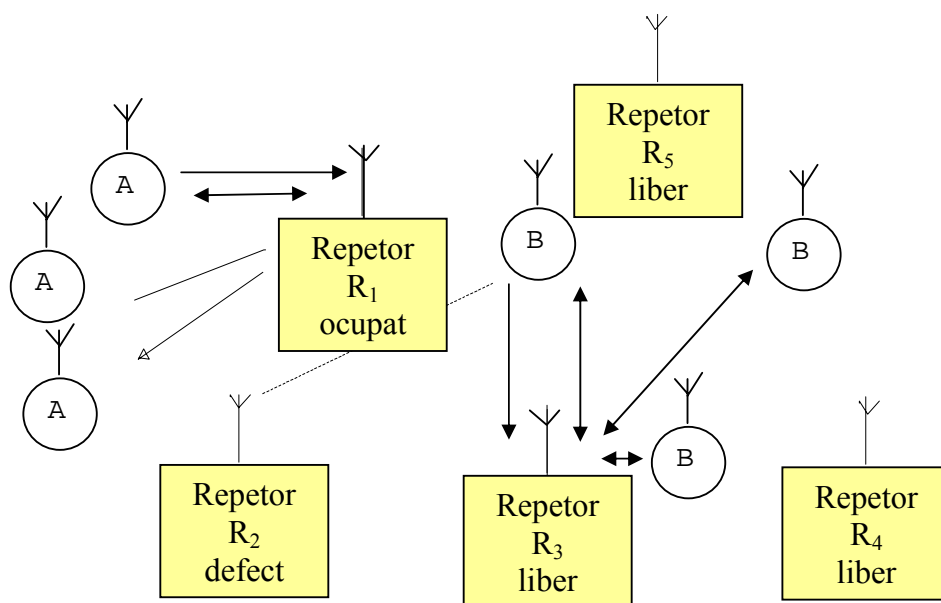


Fig. 14 Structura unui sistem pseudotrunked.

- Stația A_1 informează utilizatorul printr-un semnal sonor că a obținut acces la comunicație, în timp ce stațiile A_2 și A_3 vor genera un sunet prin care posesorii lor sunt informați că urmează o convorbire la care trebuie să participe.
- Toate stațiile se deschid și convorbirea poate începe.

- În acest timp, stațiile subgrupului B continuă supravegherea canalelor.
- Ele vor ignora transmisiunea ce are loc pe canalul corespunzător repetorului R_1 pentru că nu au recunoscut codul subgrupului.
- Se presupune, în continuare, că și stația B_2 dorește să inițieze o convorbire.
- Stația nu va primi răspuns din partea repetorului R_1 acesta fiind ocupat și nici din partea lui R_2 (care, așa cum este convenit în desen, este defect).
- Repetorul R_3 fiind liber, convorbirea se va derula pe canalul atribuit acestuia.
- **Observație:** *unitățile mobile aflate în afara zonei de acoperire a repetorului utilizat (sau defecte) în momentul în care începe legătura de comunicație se vor putea alătura legăturii când intră în zona de acoperire sau când sunt repuse în funcțiune.*

- Dacă la lansarea unui apel nu există canale libere, stația care a inițiat apelul va continua căutarea unui canal liber un timp prestabilit (15, 30, 45 sau 60 secunde).
- De cele mai multe ori se alege timpul cel mai scurt întrucât în această perioadă stația *nu* poate primi apeluri.

4.3 Inițierea și primirea unui apel

- Derularea evenimentelor în cazul inițierii sau primirii unui apel este precizată schematic prin organigramele date în figura 15.

1. Inițierea unui apel

- După deschiderea stației aceasta intră automat în modul de lucru "urmărire canale".
- Când se apasă butonul PTT (push-to-talk) începe procesul de căutare a unui canal liber.
- Pentru ca o cerere de apel să fie luată în considerație butonul PTT trebuie ținut apăsat un anumit timp (PTT timeout, se evită apelurile accidentale,).
- Dacă se găsește un canal pe care nu se detectează prezența purtătoarei, se transmite semnalul de lansare apel.
- Dacă un repetor transmite răspuns corect, echipamentul mobil generează un semnal sonor pentru a înștiința utilizatorul că a obținut un canal;
- în continuare se deschide stația, și convorbirea poate începe.
- Dacă pe canalul cercetat există purtătoare, sau stația mobilă nu primește o replică adecvată de la repetorul testat, atunci se trece la următorul canal.

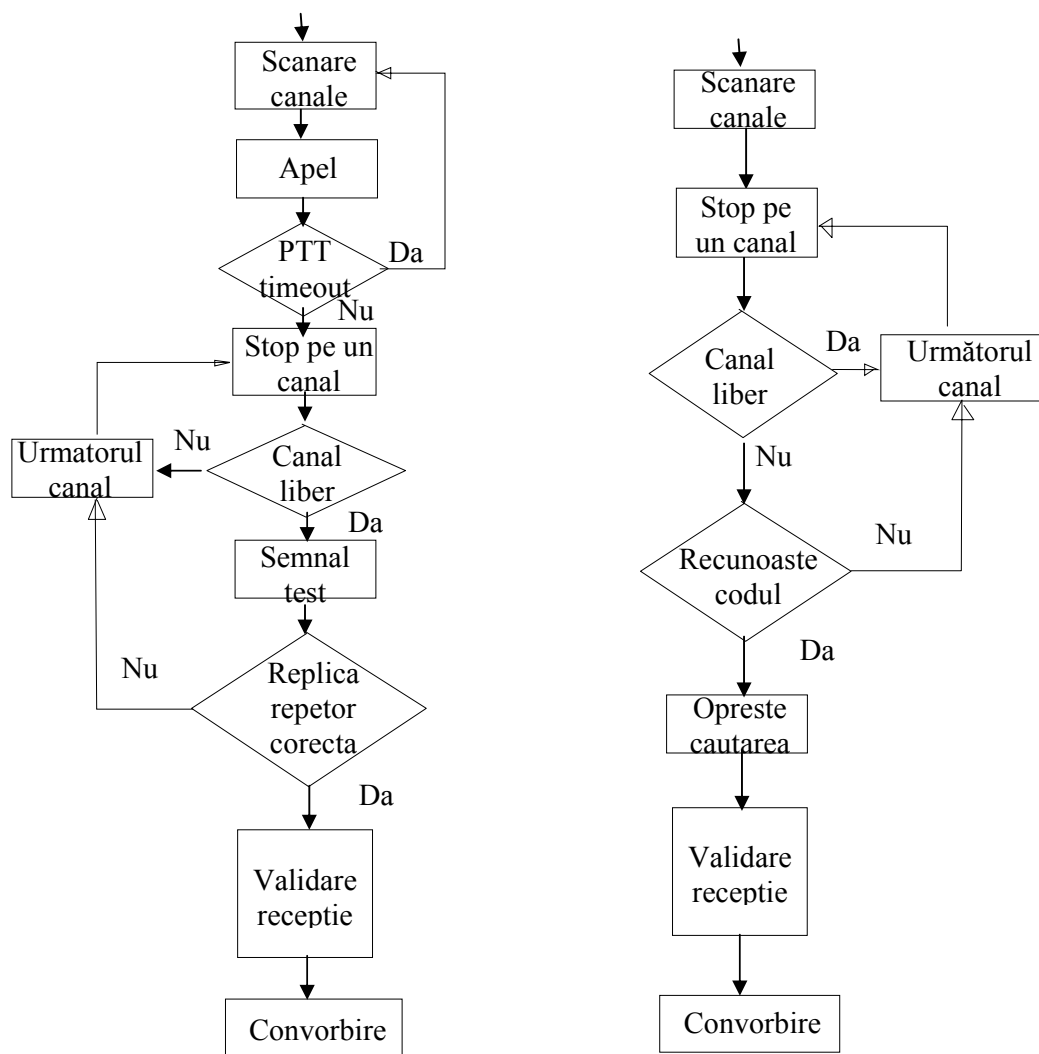


Fig. 15 Organigramele proceselor de: a) inițiere apel, b) primire apel.

2. Primire apel

- În modul de lucru "urmărire canale", unitatea mobilă testează prezența purtătoarei, canal după canal.
- Când pe un canal a detectat prezența purtătoarei, analizează codul transmis pe canalul de semnalizare.

- Dacă este codul subgrupului căruia stația îi aparține, iese din modul urmărire, emite semnalul sonor de avertizare către utilizator și deschide partea de recepție.
- Dacă nu este codul subgrupului, trece la testarea următorului canal; deci nu există posibilitatea de a asculta convorbirea sau de a emite pe canalul respectiv.

4.4 Timpul de acces la sistem

- stațiile mobile utilizabile în rețele pseudotrunked trebuie să aibă o anumită viteză de căutare (scanare) canale.
- Pentru a asigura un acces rapid această viteză ar trebui să fie de cel puțin 40 canale/sec.
- Aceasta înseamnă că, de exemplu, 5 canale vor fi cercetate în 125 ms. la care se adaugă eventuale perioade scurte necesare analizei codului receptionat atunci când s-a detectat o purtătoare.
- Din prezentarea funcționării sistemului se poate observa că este de mare importanță sincronizarea acțiunilor unităților mobile și ale repetoarelor dintr-o rețea (de exemplu stațiile mobile ale subgrupului trebuie să se deschidă la timp pentru a nu pierde începutul convorbirii).
- Pentru a aprofunda acest aspect, în cele ce urmează se va urmări succesiunea în timp a evenimentelor în cazul inițierii unui apel.
- De aici se poate evalua timpul de acces la sistem adică intervalul dintre inițierea unui apel și începerea convorbirii.
- Se consideră un sistem pseudotrunked cu 5 repetoare, notate prin R1..R5;
- se consideră că primele 4 sunt ocupate în momentul în care o unitate mobilă cere acces la sistem.
- Timpii menționați sunt orientativi dar apropiați de cei reali.
- Semnificația literelor mari:

- A.** momentul inițierii convorbirii;
- B.** Testarea celor 5 canale se face cu o viteză de 40 canale/secundă adică se alocă 25ms/canal. Timpul total de testare este mai scurt sau egal cu 125 ms (egalitatea are loc atunci când canalul liber este ultimul cercetat);
- C.** Se detectează canalul liber, R5, și începe transmisia semnalului de interogare (purătoare + cod subgrup);
- D.** Intervalul de 50ms corespunde timpului necesar ca emițătorul să ajungă la puterea nominală. Semnalul de interogare este transmis timp de 500ms;
- E.** Acesta e momentul în care repetorul R5 receptează semnalul de interogare dacă se consideră timpul de propagare neglijabil,;
- F.** Repetorul are nevoie de aproximativ 250ms pentru a decodifica semnalul;
- G.** Perioada necesară repetorului R5 pentru a începe transmisia;
- H.** Momentul în care stația care a inițiat apelul a terminat de transmis și așteaptă răspuns. Dacă răspunsul întârzie mai mult de 500ms se trage concluzia că repetorul R5 nu e disponibil (stația nu se află în zona de acoperire a echipamentului sau acesta e defect). În cazul în care canalul este disponibil răspunsul vine imediat și stația mobilă trece la decodificare (250ms);
- I.** Canalul corespunzător repetorului R5 este ocupat începând din acest moment. Se deschide automat interfața cu utilizatorul și acesta este anunțat printr-un sunet scurt.

semnalul de achiziție canal și pentru a deschide microfonul. S-a ales o valoare de o secundă care este relativ mică dar, chiar și în acest caz, ceilalți membri ai subgrupului prind începutul conversației (**O**);

L. intervalul în care stațiile mobile (cele aflate în cel mai defavorabil caz) decodifică semnalul aflat pe canalul prelucrat de repetorul R5;

M. De acum toate stațiile mobile din subgrup au recepționat apelul. Posesorii stațiilor vor auzi și ei “soneria”, partea de recepție deschizându-se pentru a putea participa la convorbire;

N. Începe conversația.

- După această estimare, timpul ce se scurge până la începerea convorbirii va fi mai mic de 2 secunde.
- Poate fi mai mare (dacă există repetoare defecte, dacă reacția apelantului nu este suficient de rapidă cum s-a presupus etc.) dar poate fi și mai mic (dacă momentul la care are loc conversația aparține unei perioade din zi cu trafic redus).
- Evident, timpul de acces la sistem depinde și de numărul de apeluri din rețea.
- Acesta poate să varieze în limite destul de largi (fig. 16).

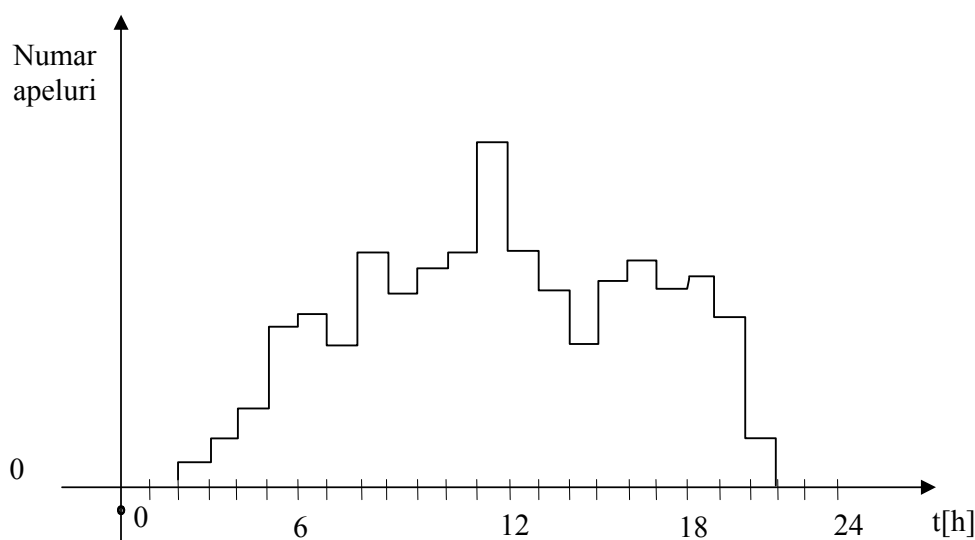


Fig. 16 Variația traficului pe durata unei zile.

4.5 Capacitatea unui sistem pseudotrunked

- Factorul primar care determină capacitatea sistemului, numărul de coduri CTCSS/DCS;
- Fiecare subgrup este identificat cu ajutorul unui astfel de cod, deci numărul de subgrupuri (și implicit numărul de utilizatori) ce poate fi preluat de sistem este determinat de complexitatea panoului CTCSS/DCS al repetorului.
- La rândul lui numărul de utilizatori individuali este dependent de numărul codurilor disponibile (deci de numărul de subgrupuri) și de numărul mediu de utilizatori pe subgrup.
- Un sistem convențional poate fi încărcat cu până la 50 utilizatori/canal, în timp ce un sistem trunked clasic, pentru un grad comparabil dacă nu chiar mai ridicat al serviciilor, admite până la 100 utilizatori/canal.

- Tabelul 1: cazul unor sisteme cu 5 canale.
- Parametri:
 - numărul codurilor disponibile și
 - numărul de unități pe subgrup.
- Referință: sistemul convențional care poate prelua 250 utilizatori.

Tabelul 1 Numărul de utilizatori deserviți de un sistem convențional și pseudotrunked

Număr coduri	4		5		6		7	
	unit./subgrup		unit./subgrup		unit./subgrup		unit./subgrup	
	conv.	pstr.	conv.	pstr.	conv.	pstr.	conv.	pstr.
38	250	152	250	190	250	228	250	266
60	250	240	250	300	250	360	250	420
100	250	400	250	500	250	600*	250	700*

- "*" situații în care se depășește valoarea optimă de 100 utilizatori/canal, calitatea serviciilor scăzând simțitor.
- linie dublă;
- Două concluzii:
 1. La același număr de coduri disponibile depășirea capacității sistemului convențional are loc prin creșterea numărului de unități/subgrup, în special când numărul de coduri nu este foarte mare.
 2. Asigurarea unui număr cât mai mare de coduri disponibile atrage după sine și o diferență din ce în ce mai mare între sistemele pseudotrunked și cele convenționale
- **Un alt aspect:**
- La număr de coduri dat, o scădere a numărului canalelor duce, de asemenea, la o capacitate mai mare a sistemului pseudotrunked față de cel convențional.

- De exemplu: pentru 38 de coduri sistemul pseudotrunked devine mai avantajos cu cât numărul de canale este mai mic.
- De asemenea, mărirea numărului de unități/subgrup sporește diferența între capacitățile celor două sisteme.
- Cu creșterea numărului de coduri sistemele pseudotrunked devin mai avantajoase aproape în orice situație (*).

Tabelul 2 Capacitatea funcție de numărul de canale

număr coduri	Unități subgrup	3 canale		4 canale		5 canale	
		conv.	pstr.	conv.	pstr.	conv.	pstr.
38	5	150	190	200	190	250	190
38	6	150	228	200	228	250	228
60	5	150	300*	200	300	250	300
60	6	150	360*	200	360	250	360
100	5	150	500	200	500*	250	500
100	6	150	600*	200	600*	250	600*

Strategia de alegere a variantei optime:

- De exemplu:
 - un sistem cu 3 canale devine avantajos dacă lucrează cu 38 coduri
 - un sistem cu 5 repetoare este avantajos de la 7 unități/subgrup în sus.
 - Un sistem cu 60 coduri devine avantajos cu 4 sau 5 canale.

4.6 Comparație cu sistemele trunked clasice

- 1) *Utilizarea spectrului:*
- 2) *Nivelul serviciilor* (rapiditatea accesului la sistem și achiziționarea canalului fără necesitatea monitorizării);
- 3) *Confidențialitatea convorbirii:*
- 4) *Tratarea secvenței ocupat:* sistemul trunked clasic asigură o ordonare strictă a încercărilor de apel sosite pe perioada cât sistemul este ocupat prin acea listă de așteptare (coadă); sistemul pseudotrunked dacă nu se eliberează nici un canal pe perioada de timp preprogramată în care stația urmărește ciclic traficul pe toate canalele, atunci este necesară o nouă acționare a funcției de apel.
- 5) *Asignare și actualizare permanentă:*
- 6) *Reluare automată a apelului:* este specifică sistemului trunked clasic;
- 6) *Configurarea sistemului:*
- 7) *Fiabilitatea:*

Tabelul 3 Rețele trunked cu aplicație în diferite țări sau zone

Parametrul	SUA	Suedia 3	țări vest-europene	Rusia	Japonia	Franța
Clasa de emisie	F3E,F3D	F3E, F2D	F3E	F3E	F3E, F2D	G3E
Domeniul de frecvență (MHz)	a. 935-940 851-866 b. 896-901 806-821 c. 896-901 806-821	76-77,5 - 81-82,5	201-207 ¹ 193-199 ¹ 193-199 ¹	300-340	850-860 905-915 905-915	200,5-201,3 - 192,5-193,3
Mod de comunicare	semiduplex și duplex	semi-duplex	semi-duplex ²	semi-duplex	semi-duplex	duplex
Distanța între canale (kHz)	a. 12.5 b. 12.5	25	12,5	25	12,5	12,5
Număr total de canale disponibile	a. 400 b. 600	-	408 ¹	-	799	72
Putere emisă (e.r.p.- W) -repetor -post de control -st. mobilă	1000 maxim 25 tipic 25 tipic	25 tipic - 15 tipic	≤25 ≤ 5 ≤25	- - -	40 tipic ≤10 ≤30	18±1dB - 10≤1dB
Raza tipică a zonei de serviciu (km)	50	40	15-30	5-15	20-30	15
Trs. Semnal vocal: -tip modulație - deviație maximă (kHz)	MF a. ±2,5 b. ±5,0	MF ±5	MF ±2,5	MF	MF ±2,5	MF ±2,5
Semnal de control: - tip de modulație - deviație max. (kHz) - cod -viteza de trs.(biți/s) -codul de corecție erori	FSK a. ±1,5 b. ±3,0 diferite variabilă diferite	MSK-FM ±3,5 NRZ 1200 63,48	FFSK ±2,5 NRZ 1200 CRC	- - - - -	MSK-MF ±2,5 NRZ 1200 Hagelbarger	Multiton - - -

1. aplicabil numai în Marea Britania. În Germania și Olanda, stațiile de bază operează în banda 420-430MHz iar posturile de control și stațiile mobile în banda 410-420MHz. În Finlanda benzile sunt 446,5-449MHz și 440-442,5MHz cu până la 200 canale.

2. modul duplex este folosit în Finlanda;

3. Prezentată ca un exemplu de aplicare MOBITEX în Suedia.

Sisteme de radiotelefonie (trunked)

1 Sisteme de comunicații radiotelefonice

- 1.1 Sisteme radiotelefonice convenționale
- 1.2 Sisteme de radiotelefonie "trunked".
- 1.3 Semnale transmise; controlul recepției; squelch

2 Elemente de teoria traficului aplicate la sisteme trunking .

- 2.1 Aspecte generale
- 2.2 Probabilitatea de blocare
- 2.3 Timpul de acces la sistem

3 Sisteme de comunicații radio "trunked" clasice

- 3.1 Principiul de lucru al sistemelor "trunked
- 3.2 Structura sistemelor de radiotelefonie "trunked" și servicii oferite
- 3.3 Sisteme de radiocomunicații "trunked" fără canal de control
- 3.4 Sisteme de radiocomunicații "trunked" cu canal de control

4 Sisteme pseudotrunking

- 4.1 Definire, aspecte generale
- 4.2 Principiul de lucru al sistemelor pseudotrunked
- 4.3 Inițierea și primirea unui apel
- 4.4 Timpul de acces la sistem
- 4.5 Capacitatea unui sistem pseudotrunked
- 4.6 Comparatie cu sistemele trunked clasice

