

capitolul 5 ACCES MULTIPLU

5.1. Introducere

Prin *acces multiplu* se înțelege abilitatea unui mare număr de stații să se conecteze simultan cu același transponder¹.

În sistemele de comunicații prin sateliți, accesul multiplu este o problemă esențială, această tehnică permițând exploatarea eficientă a capacității sateliților de a acoperi arii foarte mari, influențând proiectarea și realizarea sistemelor, flexibilitatea acestora și costurile.

Problema care trebuie rezolvată este: cum se poate realiza conectarea unui grup de stații de sol cu componență variabilă la același satelit astfel încât să se optimizeze:

- capacitatea de comunicație a satelitului și capacitățile de interconectare;
- spectrul disponibil;
- puterea disponibilă pe satelit;
- flexibilitatea;
- adaptabilitatea la varietatea de semnale vehiculate;
- costurile;
- posibilitățile utilizatorilor de a se adapta la sistem

Evident, optimizarea tuturor aspectelor nu este posibilă – întotdeauna este necesar un compromis.

În prezent se folosesc 3 tehnici de acces multiplu: prin *divizare în frecvență* (FDMA), prin *divizare în timp* (TDMA) și prin *divizare în cod* (CDMA)².

În tehnica de *acces multiplu cu divizare în frecvență* – fig. 5.1.a, toți utilizatorii accesează satelitul în același timp, dar fiecare în propria bandă de frecvențe (propria purtătoare); uneori se alocă mai multe purtătoare (benzi) aceluiași utilizator cu capacitate foarte mare. Tehnica este foarte folosită în comunicațiile cu modulație analogică, în care semnalele sunt permanent prezente.

În tehnica de *acces multiplu cu divizare în timp*, toți utilizatorii folosesc aceeași bandă de frecvențe (aceeași purtătoare) dar fiecare transmite un interval de timp determinat – fig. 5.1.b. Natura intermitentă a procedurii îl face foarte potrivit pentru transmisiile cu modulație digitală.

În tehnica de *acces multiplu cu divizare în cod*, mai multe stații transmit simultan semnale codate ortogonal cu spectru împrăștiat (spread spectrum) care ocupă aceeași bandă de frecvențe – fig. 5.1.c. O stație recepționează toate semnalele, le decodează și reface numai semnalul care îi este destinat. De fapt, în CDMA, utilizatorii își împart același interval de frecvențe și același timp. O stație transmite într-o bandă (B_c) din jurul unei purtătoare f_k un timp determinat ($T_c = t_{i+1} - t_i$), după care realizează un salt pe altă purtătoare; la fel procedează și celelalte stații. Frecvențele f_k se modifică, după secvențe pseudoaleatoare specifice fiecărui utilizator.

Toate cele trei tehnici de bază se folosesc în diverse variante.

¹ Prin *transponder* (*Transmitter - Responder*) se înțelege unitatea de recepție – emisie dintr-un echipament de telecomunicații (acesta include și alte componente – unități de alimentare, control, răcire etc.); transpondere se află pe sateliți dar și în unele sisteme de tip radioreleu.

² FDMA = Frequency Division Multiple Access; TDMA = Time Division Multiple Access; CDMA = Code Division Multiple Access

În toate cele trei procedee, are loc o împărțire (divizare) a resurselor de comunicație: bandă de frecvență, timp de transmisie sau ambele. Dacă proporție din resursa divizată alocată fiecărui utilizator este fixă, sistemul este numit *cu acces fix* sau *cu acces pre-assignat*. Dacă resursa se alocă utilizatorilor în funcție de necesități, sistemul este numit *cu acces la cerere*. Se observă că în sistemul cu acces la cerere, distincția între FDMA și TDMA nu mai este foarte clară, deoarece acces la cerere în FDMA înseamnă că stațiile transmit numai când există trafic.

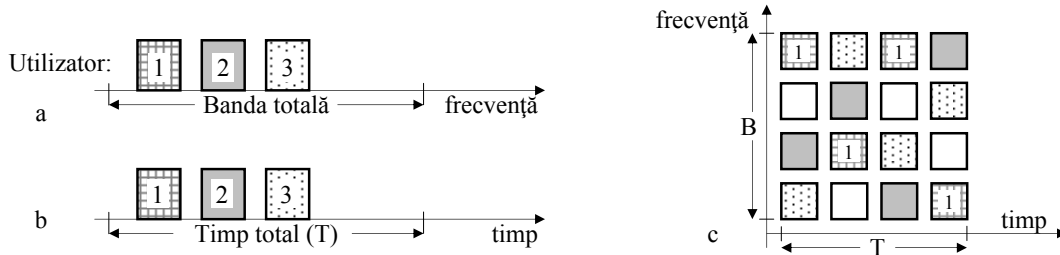


Fig. 5.1. Acces multiplu cu divizare în frecvență (a), în timp (b) și în cod (c)

5.2. Accesul multiplu cu divizare de frecvență (FDMA)

Inițial, sistemul FDMA a fost copiat după sistemul terestru de multiplexare în frecvență, utilizat în radiorelee. Procedeele utilizează tehnologia relativ simplă și ieftină a separării semnalelor analogice prin filtrare și asigură o bună calitate a semnalului. În schimb, este lipsit de flexibilitate în privința exploatarea capacităților de acoperire și interconectare a sistemelor cu sateliți. De asemenea, nu utilizează eficient puterea disponibilă la transpondere deoarece accesul fiind fix, se cheltuie energie și când semnalul lipsește (factorul de umplere, adică procentul mediu de timp în care există semnalul pe purtătoare, este destul de mic).

Sistemele FDMA tipice sunt cu pre-assignare, fiecărui utilizator (stație terestră) fiindu-i alocată o bandă, în jurul unei frecvențe purtătoare eventual mai multe. Frecvențele purtătoare și benzile alocate fiecărei stații de sol formează *planul de frecvențe* al satelitului. O porțiune din planul de frecvențe în FDMA al satelitului Intelsat IV care acoperă regiunea Pacificului apare în fig. 5.2.

FDMA se folosește în mai multe variante.

În sistemul FDMA original, o purtătoare de IF este modulată cu semnal de bază obținut prin multiplexarea semnalelor din mai multe canale. Procedeele sunt numite *cu canale multiple pe purtătoare* (MCPC – Multiple Channels Per Carrier) iar ocuparea spectrului disponibil pentru transponder apare calitativ în fig. 5.3.a.

În altă variantă, semnalul din fiecare canal modulează propria purtătoare. Procedeele sunt numite „cu

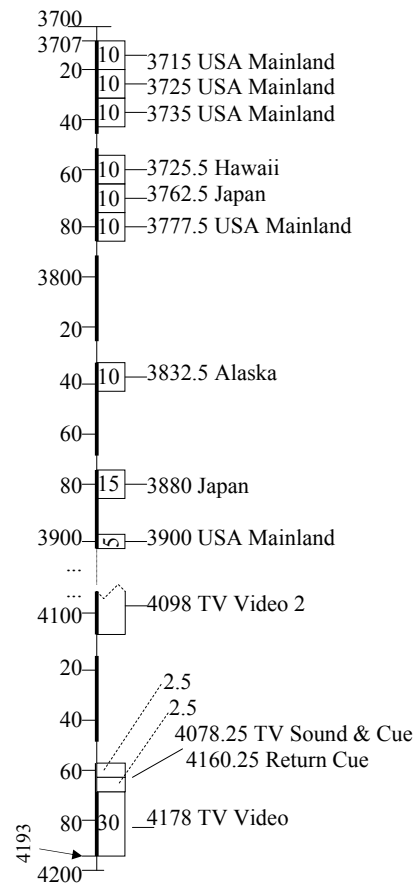


Fig. 5.2. Planul de frecvențe al satelitului Intelsat IV (Pacific)

un singur canal pe purtătoare” (SCPC – Single Channel Per Carrier) iar spectrul apare în fig. 5.3.b.

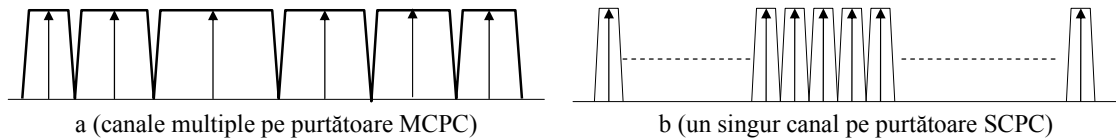


Fig. 5.3. Spectrele transponderelor în sistemul FDMA: a – MCPC/FDMA; b – SCPC/FDMA

În cazul MCPC (mai multe canale pe purtătoare), purtătoarea este modulată cu semnal multiplex:

- în cazul transmisiei semnalelor analogice (vocal, ...) semnalele sunt multiplexate în frecvență (FDM – Frequency-Division Multiplexing) iar semnalul multiplex modulează în frecvență (FM) purtătoarea de IF; tehnica este numită FDM/FM/FDMA;
- în cazul transmisiei semnalelor de date, acestea sunt multiplexate în timp (TDM – Time-Division Multiplexing) iar semnalul multiplex modulează digital (de obicei PSK) purtătoarea; tehnica este numită TDM/PSK/FDMA.

Accesul multiplu cu divizare de frecvență cu pre-assignare, se folosește în sisteme cu multiplexare în frecvență (FDM) în care purtătoarele modulate în frecvență (FM) se alocă câte una sau câteva fiecărei stații de sol; sistemul este numit FDM/FM/FDMA. Frecvențele purtătoare și benzile alocate fiecărei stații de sol formează *planul de frecvențe* al satelitului.

Fiecare stație lucrând în sistemul FDM/FM/FDMA trebuie să poată recepționa cel puțin o purtătoare de la fiecare din stațiile din rețea; ca urmare, multe asemenea stații au un mare număr de receptoare și demultiplexoare.

În sistemul MCPC benzile ocupate în jurul diferitelor purtătoare au lățimi diferite. Între benzi există zone de separare, neutilizate, reprezentând un important procent din banda totală (până la 10%); chiar și așa, tot există interferențe între canalele din benzi adiacente.

În cazul SCPC/FDMA (un singur canal pe purtătoare), se folosesc multe purtătoare, fiecare modulată de semnalul de pe un canal; pentru semnale analogice se folosește MF, mai rar BLU iar pentru semnale digitale se folosește PSK. Evident, și în acest caz există benzi de separare între benzile ocupate și interferențe între canale adiacente.

Adesea sistemul SCPC/FDMA pentru transmisii vocale funcționează “în rafale”, transmisia pe o purtătoare fiind activată de prezența semnalului vocal; în pauzele de semnal, emisia este blocată. În acest fel se economisește putere (cam 4dB pe întregul sistem) iar intermodulația este mai redusă, deoarece apare numai între canale alăturate simultan active.

5.3. Accesul multiplu cu divizare în timp (TDMA)

În sistemele TDMA clasice, pentru toate canalele se folosește o singură purtătoare cu o bandă alocată care ocupă toată banda disponibilă la transponder; acest sistem este cel mai utilizat. În prezent se folosesc și alte sisteme, în care numai o parte din banda transponderului este folosită pentru TDMA, restul fiind utilizat în alte scopuri, de exemplu pentru FDMA.

Principiul TDMA rezultă din fig.5.4. Mai multe stații de sol transmit semnale spre satelit în secvențe limitate în timp. Satelitul transmite secvențele în succesiune, spre toate stațiile de sol; evident, frecvențele purtătoarelor de emisie și recepție sunt diferite. Sincronizarea se realizează stabilind o stație de sol de referință, care emite un semnal bază de timp către întregul sistem; secvențele emise de această stație sunt de referință pentru toate stațiile.

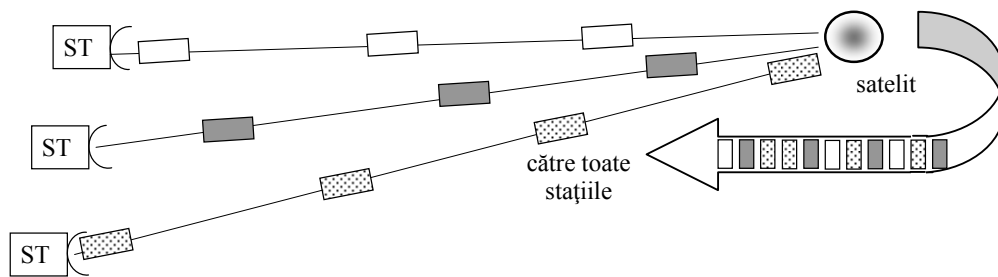


Fig. 5.4. Principiul accesului multiplu cu divizare în timp (TDMA)

Se reamintește că în sistemele TDMA se transmit numai semnale de date.

Pentru controlul intervalelor dintre secvențe, transmisiile sunt organizate în *cadre* (*frames*). În fiecare cadru se transmit secvențe separate în timp – *grupe, rafale (burst)* cu conținut diferit. O structură tipică de cadru apare în fig. 5.5.

Fiecare cadru începe cu una sau două *rafale de referință* (reference burst), după care urmează *rafale de trafic* (traffic burst) provenite de la diverse stații de sol; toate rafalele sunt separate prin *intervale de timp de siguranță* (guard time). Toate rafalele includ o secvență de început numită *preambul* (preamble), necesară sincronizării și pentru pregătirea receptorului. Rafalele de referință conțin numai acest preambul.

Prima secvență din preambul este destinată sincronizării de bit. Următoarea secvență constă într-un cuvânt (secvență) de 48 biți cu bune proprietăți de corelație, destinată sincronizării de grup (secvență Barker, de exemplu). Din acest moment se poate trece la recunoașterea datelor transmise. Următoarele secvențe conțin informații de control și necesare serviciului. Sunt incluse: o secvență telex pentru schimb de informații de serviciu, o secvență cu informații pentru analiza erorilor și secvențe pentru controlul traficului de date (semnale vocale și semnale de date); în final este inserată o secvență pentru controlul întârzierilor introduse prin propagarea pe canal.

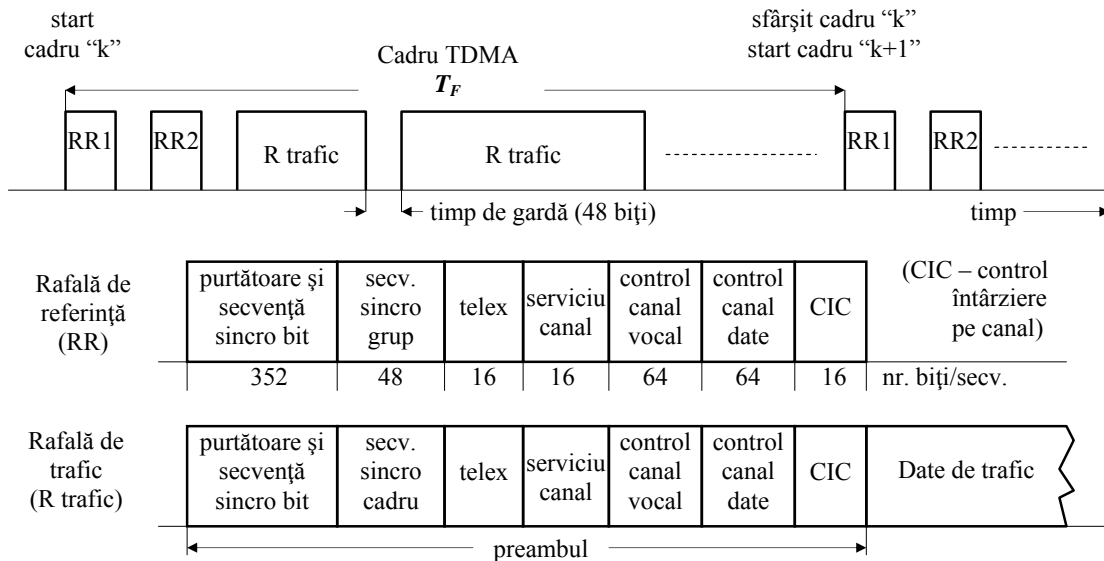


Fig. 5.5. Structura cadrelor și rafalelor în sisteme TDMA

În rafalele de trafic, preambulul este urmat de datele de trafic. Se va observa că rafalele provin de la diverse stații terestre și de asemenea, au ca destinații diverse stații.

Un terminal TDMA dintr-o stație terestră asigură comunicația între echipamentul de RF și sistemul de intrare – ieșire semnale utile (telefonice, de obicei). Semnalele utile sunt vocale, video, date, fax etc. Pentru fiecare tip de semnal este prevăzută o interfață specifică. În funcție de semnal, interfețele realizează diverse funcții. În cazul semnalelor analogice (vocale, de exemplu), se realizează eșantionarea, codarea (sisteme cu MIC) și eventual multiplexarea în timp a canalelor – la emisie și demultiplexarea și refacerea semnalului analogic la recepție. În cazul semnalelor de date se asigură memorarea și citirea în tactul potrivit sistemului TDMA – la emisie, respectiv memorarea și retransmiterea în tactul cerut de utilizator – la recepție. În terminalul propriu-zis se vehiculează (intră și iese) semnale numai sub formă de date (șiruri de biți).

Pentru emisie, datele sunt mai întâi introduse într-un sistem de procesare a datelor (DSP) pentru compresie, care furnizează *subrafale* (subgrupe) de biți; la ieșirea acestuia se află 2 registre buffer A și B, lucrând în sistem “ping-pong”: când A se încarcă cu date de la DSP, B debitează spre multiplexor și invers. În continuare, subrafalele de la diverse interfețe sau de la diferite module din interfețele dedicate, sunt multiplexate în timp și se adaugă secvențele preambului; multiplexorul furnizează un șir continuu de date formând rafalele din fiecare cadru. Un circuit *scrambler* aleatorizează biții, pentru a elimina șirurile lungi de 0 sau 1 care determină componente cu nivel mare în spectrul semnalului modulat. Urmează un codor diferențial, de la care se atacă modulatorul PSK cu 4 nivele pe o purtătoare de frecvență intermediară (tipic 70MHz).

La recepție, mai întâi se demodulează semnalul PSK de pe purtătoarea de frecvență intermediară și se decodează. Apoi, datele se introduc în circuitul *descambler* pentru dealeatorizare. După demultiplexare, secvențele din preambul sunt extrase și prelucrate în controlerul sistemului iar celelalte secvențe se introduc în sistemul de procesare pentru decompresie. Aici există două registre buffer lucrând în sistem “ping-pong” ca și la emisie, care asigură furnizarea datelor la interfețele dedicate.

Toate operațiile din sistem – multiplexările și demultiplexările, stabilirea lungimii subrafalelor, introducerea rafalelor din preambul etc., sunt monitorizate de un controler TDMA accesibil de la consola operatorului sau/și de la un sistem de control de la distanță (remote control).

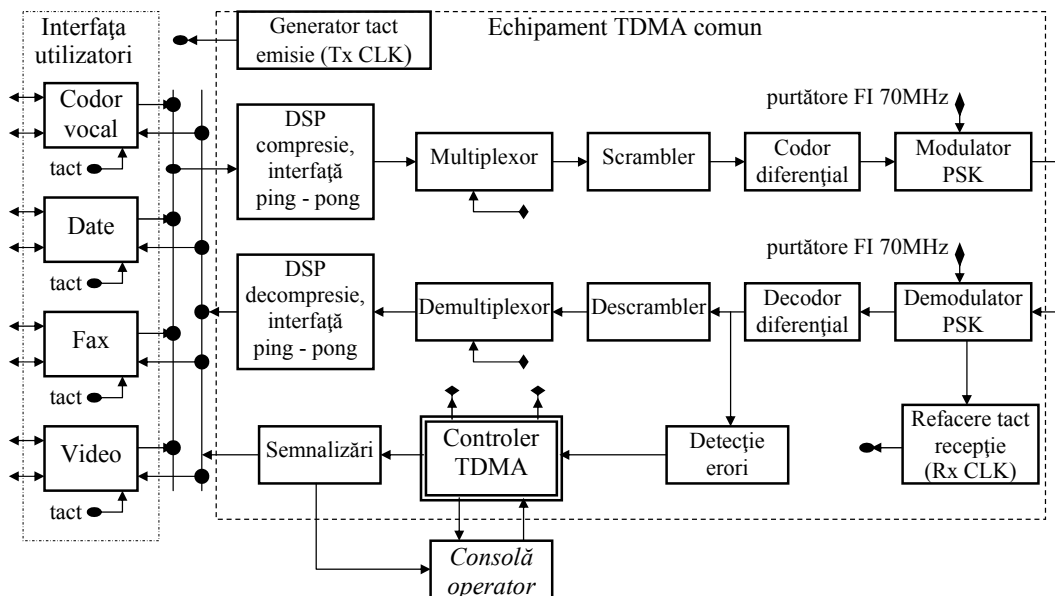


Fig. 5.6. Schema bloc generală a unui terminal TDMA

Una dintre cele mai importante probleme în TDMA este *sincronizarea de bit* care trebuie realizată de toți utilizatorii din rețea. Sincronizarea, la o stație de sol, se face în două faze: achiziția fazei la intrarea în sistem și apoi urmărirea fazei în timpul în care stația recepționează rafalele. Urmărirea fazei este simplificată cât timp se folosește același transponder urmărit cu același fascicul, deoarece o stație recepționează toate cadrele, atât cele care îi sunt destinate cât și pe cele destinate altor stații. Astfel se stabilește o buclă de reacție: stație – satelit – stație; stația recepționează propriile rafale retransmise de satelit pentru alte stații. Transponderul de pe satelit este sincronizat pe tactul stației de referință (baza de timp).

O nouă stație intrată în sistemul TDMA trebuie să se sincronizeze cu tactul sistemului, pe care îl folosește pentru stabilirea unei referințe locale. Când o stație intră în sistem, comunicația începe cu perioada de achiziție a fazei. Mai întâi stația emite rafale de referință, plasată oriunde în cadrele sale, care nu conține altceva. Satelitul retransmite rafalele cu tactul de referință folosit de sistem, plasând rafalele stației undeva în cadre. Stația își caută rafalele, încercând să determine pozițiile lor în cadre – care în general nu coincid cu cele prevăzute. Pentru aceasta, stația își ajustează faza tactului în funcție de estimări ale întârzierilor de propagare, până ce eroarea dintre poziția prevăzută și aceea determinată este destul de mică. De aici mai departe se trece la faza de urmărire, stația emițând rafale de trafic (cu preambule de sincronizare). Evident, cu cât întârzierile de propagare (datorate mișcării satelitului) sunt mai precis predeterminate, cu atât achiziția fazei este mai rapidă.

În unele cazuri, satelitul trimite informații referitoare la poziția sa și modificările în poziție, în timp real; acestea servesc la achiziție rapidă.

Sistemele TDMA tipice, care folosesc întreaga bandă a transponderului și PSK cu 4 nivele asigură debite de date de 60Mb/s (36MHz bandă) sau 120Mb/s (72MHz bandă).

În prezent există și sisteme cu PSK cu 8 nivele, asigurând 150Mb/s în 72MHz bandă.

În unele cazuri, semnalele în sistem TDMA sunt transmise într-o sub-bandă a transponderului – acestea sunt numite *sisteme TDMA de bandă îngustă*. În fig. 5.7 se arată alocarea resurselor de frecvență pentru un transponder care asigură mai multe servicii: MCPC/TDMA, SCPC/TDMA, video, ..., într-un sistem FDMA.

Banda alocată pentru TDMA de bandă îngustă este redusă – 2 – 5MHz și ca urmare debitele de date nu pot fi prea mari (1,544 – 6,312Mb/s).

Această tehnică se folosește în aplicații care nu necesită debite mari de date, dar sunt foarte diverse. Un avantaj major constă în costul redus al echipamentelor din stațiile de sol, care în acest caz sunt specializate pe anumite servicii (rețele locale, centre INTERNET, teleconferințe, transmisii de imagini etc.); de asemenea sistemele sunt foarte flexibile.

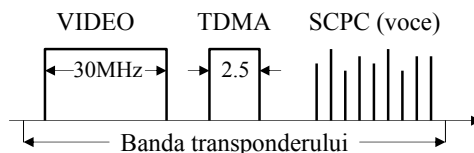


Fig. 5.7. Plasarea TDMA de bandă îngustă în configurație de transponder multiservicii

5.4. Accesul multiplu cu divizare în cod (CDMA)

Tehnica *spread spectrum* este un procedeu de modulare prin care semnalul în banda de bază este codat într-un semnal modulat a cărui bandă este “împrăștiată”, acoperind o bandă cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât aceea normal necesară transmisiei semnalului din banda de bază. Procedeu poate fi folosit pentru acces multiplu alocând fiecărui utilizator o unică secvență (cod) pseudo-aleatoare de identificare (în locul unei purtătoare în FDMA sau al unui interval de timp în cadru, în TDMA); același cod este folosit și pentru “împrăștierea”

semnalului destinat stației respective. Toți utilizatorii, cu semnalele emise în bandă largă, contribuie la formarea unui zgomot “de bază”, foarte asemănător cu zgomotul Gaussian alb aditiv. Pentru detecția semnalului dorit în prezența tuturor interferențelor, semnalul recepționat este corelat cu secvența pseudo-aleatoare cunoscută. Rezultatul net este o îmbunătățire a performanțelor cu raportul benzilor ocupată de semnalul împrăștiat și al semnalului transmis normal (fără împrăștiere).

Tehnica spread spectrum este foarte sigură și inițial s-a folosit în comunicațiile militare. Deoarece spectrul radio sub 3GHz este aproape saturat, orice tehnică capabilă să realizeze comunicații sigure în prezența interferențelor puternice, prezintă interes deosebit. În continuare, se va limita discuția la aplicarea tehnicii spread spectrum pentru asigurarea accesului multiplu.

Împrăștierea spectrului se poate face prin mai multe tehnici; uzuale sunt: *cu secvență de pseudo-zgomot directă* (PN – pseudo-noise), *cu salt de frecvență* (FH – frequency hopping), *cu salt în timp* (TM – time hopping). În continuare se va discuta prima tehnică și se vor expune principiile celei de a doua.

Principiile sistemelor **CDMA (spread spectrum) cu secvență pseudo-aleatoare** reies din fig. 5.8 și 5.9.

La emisie – fig. 5.8, datele (biții) sunt furnizate cu o viteză R_b (bit/s) de o sursă digitală și, dacă ar fi transmise direct cu modulație BPSK³, acestea ar necesita o bandă $B_b \approx R_b$; în BPSK fiecare bit este divizat în două impulsuri (chips), existând o tranziție pe durata bitului. O sursă de secvență pseudo-aleatoare, unică pentru fiecare emițător, furnizează impulsuri (chips) cu o viteză NR_b mult mai mare decât R_b ; aceasta este secvența de pseudo-zgomot.

Datele (biții) sunt sumate modulo-2 (modulate) cu o impulsurile secvenței pseudo-aleatoare, rezultând un șir de impulsuri – fig. 5.8, cu care se execută modulația BPSK.

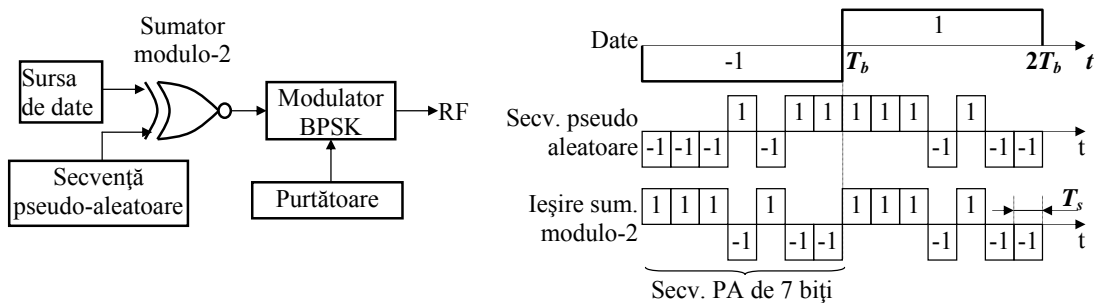


Fig. 5.8. Principiul generării semnalelor spread spectrum cu secvență de pseudo zgomot: schemă bloc și un exemplu.

Se observă că fiecare impuls de date este transformat în N impulsuri, deci semnalul la ieșirea modulatorului BPSK va ocupa banda $B_{ss} \approx NB_b$ (în fig. 5.8, $N = 7$) și se poate spune că este *cu spectru împrăștiat*. Toți biții din șirul de date sunt modulați cu aceeași secvență.

La receptor – fig. 5.9, șirul de impulsuri provenite din împrăștiere este refăcut după demodulare BPSK. Apoi, biții de date se obțin cu un filtru adaptat. Acesta conține o linie (registru) de întârziere serie – paralel, la ieșirile căruia se procedează la defazare prin sumare modulo-2 cu secvența pseudo-aleatoare utilizată la emisie; impulsurile astfel obținute sunt apoi sumate rezultând biții de date. Toate aceste operații pot fi realizate chiar dacă în RF raportul semnal-zgomot este considerabil mai mic decât 1.

³ BPSK – Biphase PSK

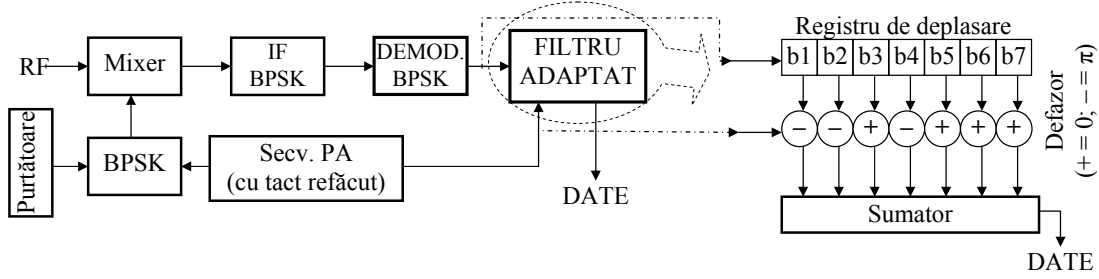


Fig. 5.9. Schema bloc simplificată a unui receptor CDMA cu secvență de pseudo zgomot (aceeași ca în fig. 1.34)

Dacă biții de date sunt furnizați cu viteza R_b și semnalul ocupă în RF o bandă B_{RF} , se definește *câștigul de procesare* sau *factorul de împrăștiere*:

$$G_p = B_{RF} / R_b \quad (5.1)$$

Deoarece se vehiculează date, este logic să se utilizeze raportul dintre *energia bitului* (E_b) și *densitatea de zgomot* (N_0): E_b/N_0 care trebuie să fie destul de mare pentru asigurarea unui procent de erori destul de mic.

În sistemul CDMA, M surse transmit simultan semnale modulate, dar numai una este de interes pentru un receptor dat. Ca urmare, toate celelalte $M - 1$ semnale modulate reprezintă interferențe cu semnalul de interes, semnale de bruijaj (jamming). Puterea totală a semnalelor de bruijaj este proporțională cu câștigul de procesare ($J \sim B_{RF}/R_b$) iar puterea semnalului util este proporțională cu energia de bit raportată la zgomot ($S \sim E_b/N_0$) și rezultă⁴

$$\frac{J}{S} = \frac{B_{RF} / R_b}{E_b / N_0} \quad (5.2)$$

Practic, fiecare din cele M surse furnizează aceeași putere P . Puterea de bruijaj provine de la $M - 1$ surse care furnizează impulsuri cu durata T_s (fig. 5.8), cu viteza $R_s = 1/T_s$; evident $G_p = T_b/T_s$. Energia impulsului recepționat fiind E_s , densitatea de putere la recepție corespunzătoare semnalelor celor $M - 1$ surse care emit cu viteza R_s în banda B_{RF} este evident $(M - 1) \cdot R_s \cdot E_s / B_{RF}$. Rezultă zgomotul total la receptor:

$$N_0' = N_0 + (M - 1) R_s E_s / B_{RF} \quad (5.3)$$

Pe de altă parte, puterea unui bit de date E_b/T_b este aceeași cu a unui impuls de la ieșirea sumatorului modulo-2 (fig. 1.34) E_b/T_b , de unde rezultă: $E_b R_b = E_s R_s$; din (.) se obține:

$$M - 1 = (N_0' - N_0) \frac{B_{RF}}{E_b R_b} \quad \text{și} \quad M = 1 + \frac{B_{RF} N_0'}{E_b R_b} \left(1 - \frac{N_0}{N_0'} \right)$$

În ultima relație, al doilea termen este mult mai mare decât 1 ; folosind raportul putere purtaătoare (C) – densitate de zgomot, se obține:

$$M = \frac{G_p}{E_b / N_0'} \left(1 - \frac{N_0}{N_0'} \right) = \frac{G_p}{E_b / N_0'} \left(1 - \frac{C / N_0'}{C / N_0} \right) \quad (5.4)$$

De exemplu, fie: banda RF disponibilă $B_{RF} = 10\text{MHz}$ (evident, $R_s = 1/T_s \approx B_{RF}$), raportul energie bit (E_b) – densitate de zgomot total (N_0') necesar la recepție (pentru o rată de erori acceptată) $E_b / N_0' = 4,5\text{dB}$ și o creștere a zgomotului în prezența celor $M - 1$ emițătoare de 10 ori față de situația din lipsa acestora ($N_0' / N_0 = 10$); pentru transmisia vorbirii cu o rată de 8kb/s (după compresie) și ținând seama că se codează bifazic, rezultă:

⁴În teoria semnalelor cu spread spectrum relația se deduce riguros.

$$G_p = B_{RF} / R_b = B_{RF} / 2F_e = 10^7 / 16000 = 625; \quad E_b / N_0 = 2,82$$

$$M = \frac{625}{2,82} \left(1 - \frac{1}{10} \right) \approx 200 \text{ canale, în ipoteza că se transmite fără pauze (timp de utilizare$$

100%). Dacă transmisiile se fac cu pauze (pentru vorbire, cam 40% din timp este fără semnal), capacitatea poate fi și mai mare (440 canale pentru 40% factor de utilizare).

Se observă că eficiența în utilizarea benzii este de cca. 20 canale/MHz, o valoare comparabilă cu cele realizate în FDMA și TDMA; în schimb, imunitatea la interferențe este mult mai mare iar echipamentul considerabil mai simplu.

În sistemul **CDMA (spread spectrum) cu salt de frecvență (frequency hopping)**, frecvența instantanee de emisie este deplasată în salturi în întreaga bandă RF disponibilă (mult mai mare decât banda necesară pentru semnal). Secvența frecvențelor de purtătoare (secvența de salt) este pseudo-aleatoare. Cum secvențele de salt ale diverșilor utilizatori sunt diferite și necorelate, probabilitatea suprapunerii a două purtătoare este foarte redusă. Pe ansamblu, sistemul se comportă exact ca în cazul precedent.