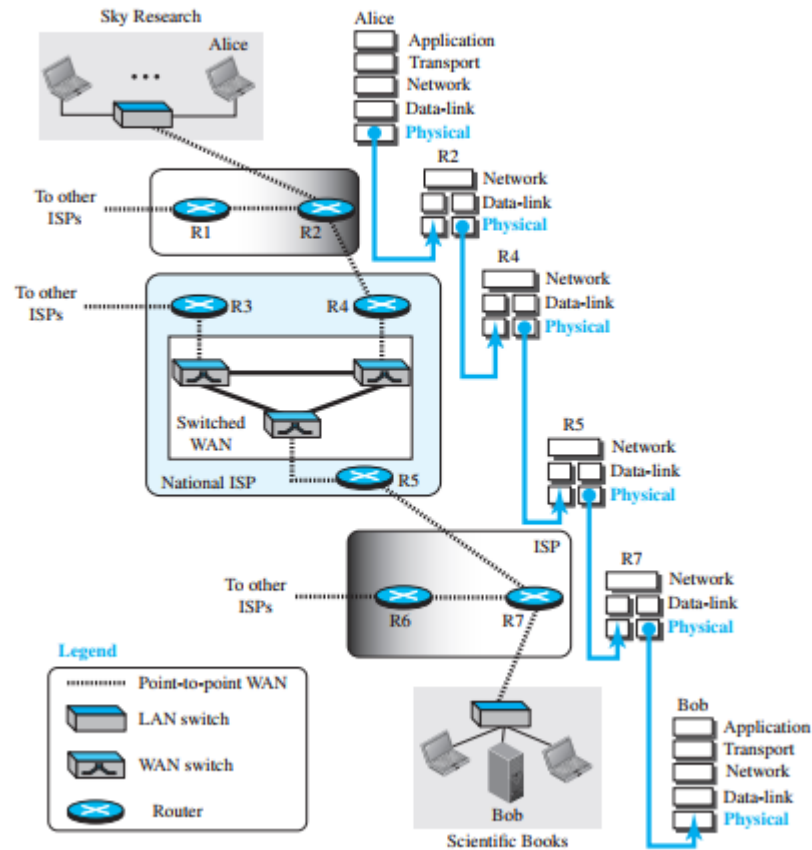


## Nivelul fizic

În general, datele pe care le utilizează o aplicație nu sunt în forma potrivită pentru a fi transmise în rețea. Mediile de transmisie sunt capabile să conducă energie (adică semnale electromagnetice) de-a lungul căii fizice ce leagă dispozitivele, iar pentru a transmite datele, acestea din urmă trebuie să fie convertite în semnale. Astfel, utilizatorii interschimbă între ei date, pe când la nivelul fizic are loc schimb de semnale.

Figure 3.1 Communication at the physical layer



La examinarea acestei teme, dedicate nivelului fizic al stivei de protocoale TCP/IP, avem următoarele obiective:

- A descrie unele caracteristici ale semnalului analogic, precum perioada, frecvența și faza
- A descrie unele caracteristici ale semnalului digital, precum rata de biți și lungimea binară
- A examina tipurile de medii de transmisie între dispozitivele rețelei
- A examina modul în care datele digitale pot fi transmise, folosind semnale analogice
- A analiza transmisia semnalelor digitale în banda de bază (baseband) și transmisia semnalelor analogice în banda largă (broadband)
- A descrie unele deficiențe de transmisie a semnalelor, precum atenuarea, distorsiunea (deformarea) și zgomotul.

În continuare, convenim asupra următoarelor noțiuni și concepte:

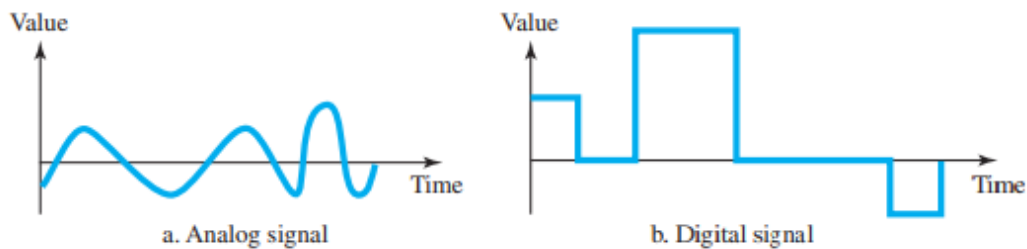
- Datele și semnalele pot fi digitale sau analogice. Termenul „analogic” se referă la o cantitate care este continuă, iar „digital” la o cantitate care este discretă.
- În comunicațiile de date pot fi utilizate doar *semnalele analogice periodice (și nu cele nonperiodice)*.
- În comunicațiile de date pot fi utilizate doar *semnalele digitale nonperiodice (și nu cele periodice)*.
- De regulă, semnalele nu sunt simple, ci compuse (combinație de semnale simple)

Semnalul analogic este caracterizat printr-un număr infinit de valori pe un interval finit de timp.

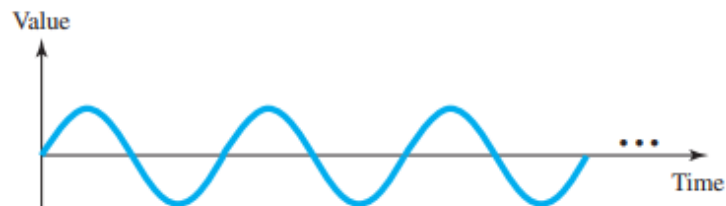
Semnalul digital este caracterizat printr-un număr finit de valori pe un interval finit de timp.

- Vom descrie unele caracteristici ale semnalului analogic, precum perioada, frecvența și faza.

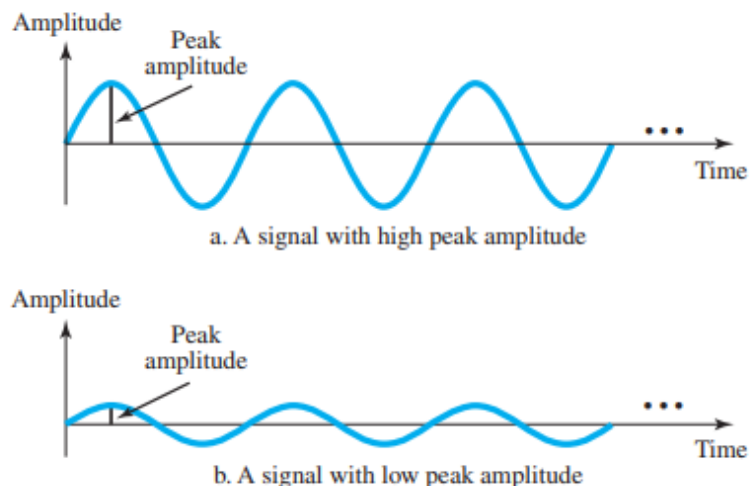
**Figure 3.2** *Comparison of analog and digital signals*



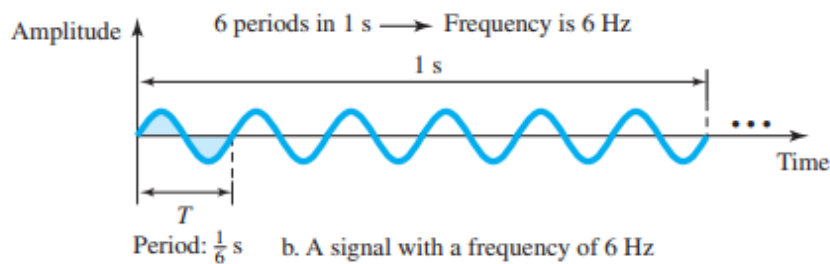
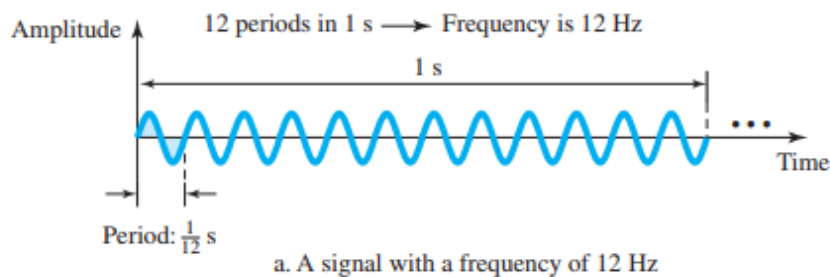
**Figure 3.3** *A sine wave*



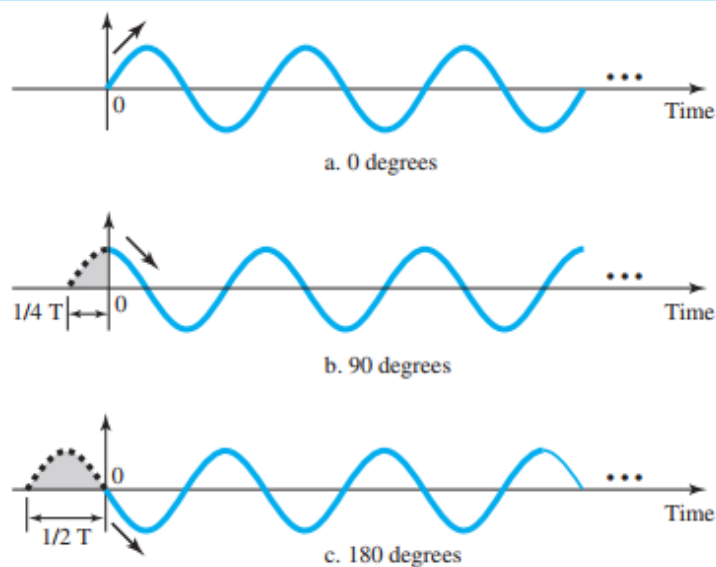
**Figure 3.4** *Two signals with the same phase and frequency, but different amplitudes*



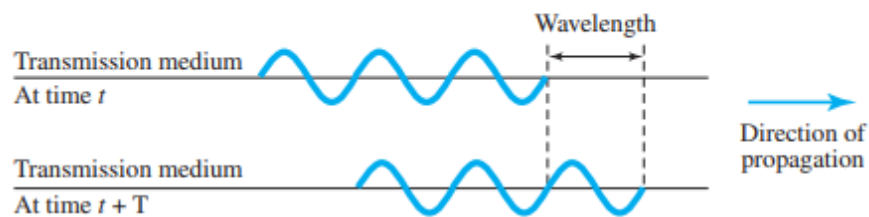
**Figure 3.5** Two signals with the same amplitude and phase, but different frequencies



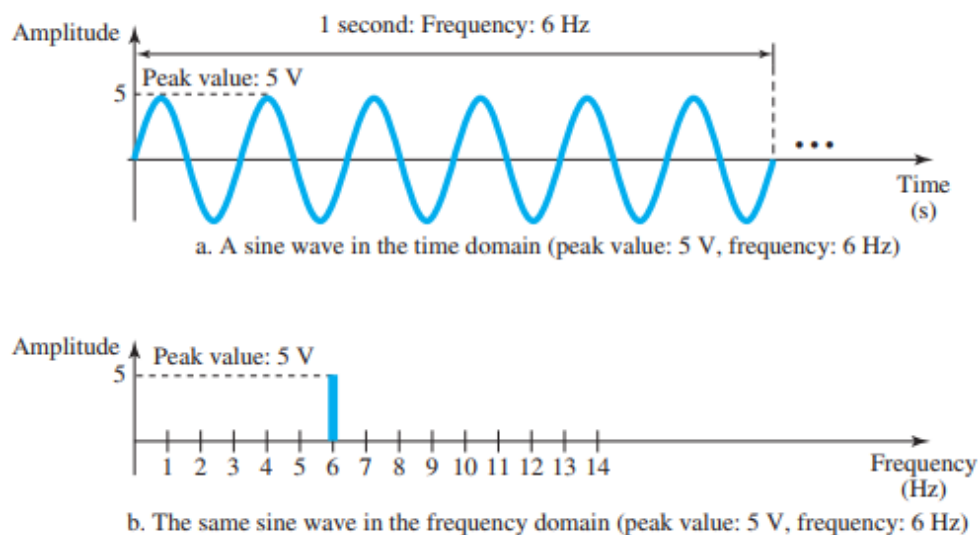
**Figure 3.6** Three sine waves with the same amplitude and frequency, but different phases



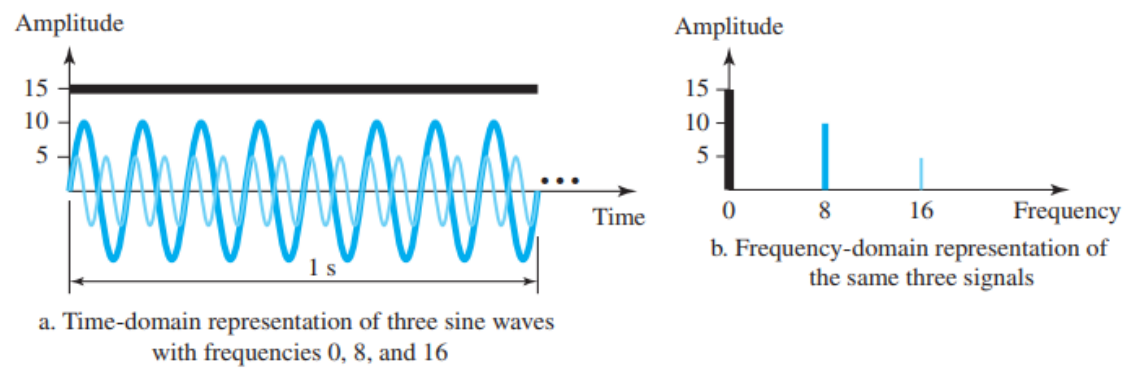
**Figure 3.7** Wavelength and period



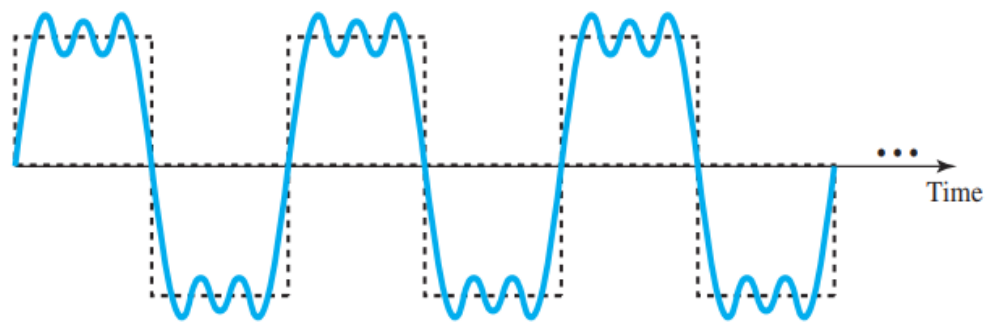
**Figure 3.8** The time-domain and frequency-domain plots of a sine wave



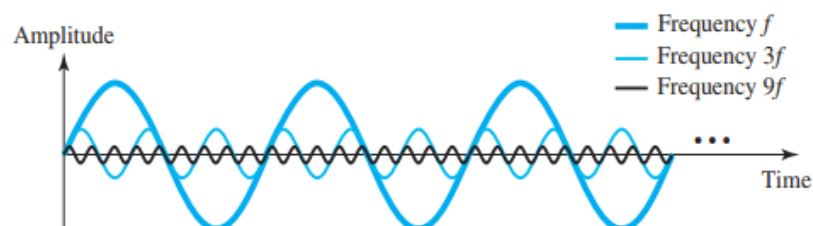
**Figure 3.9** *The time domain and frequency domain of three sine waves*



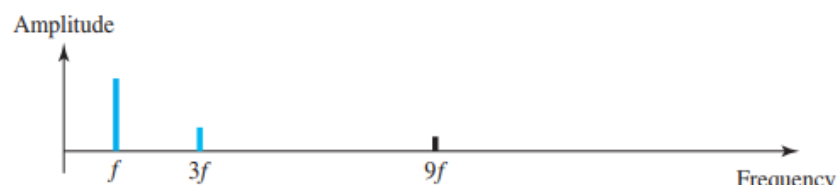
**Figure 3.10** *A composite periodic signal*



**Figure 3.11** *Decomposition of a composite periodic signal in the time and frequency domains*

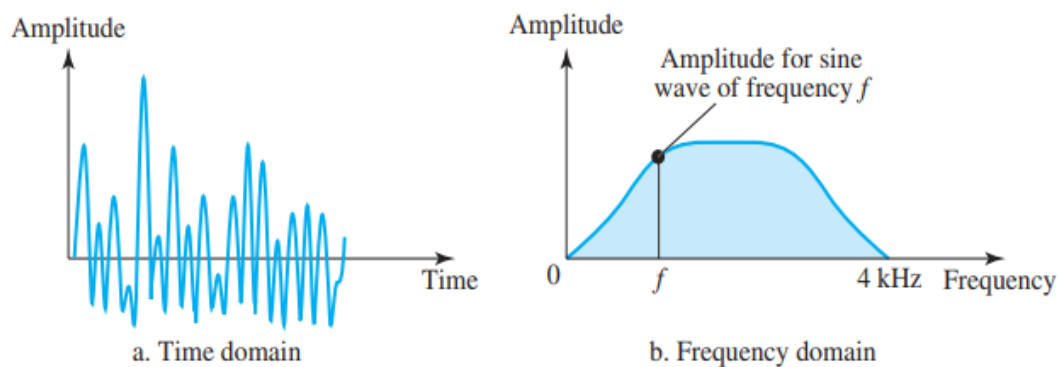


a. Time-domain decomposition of a composite signal

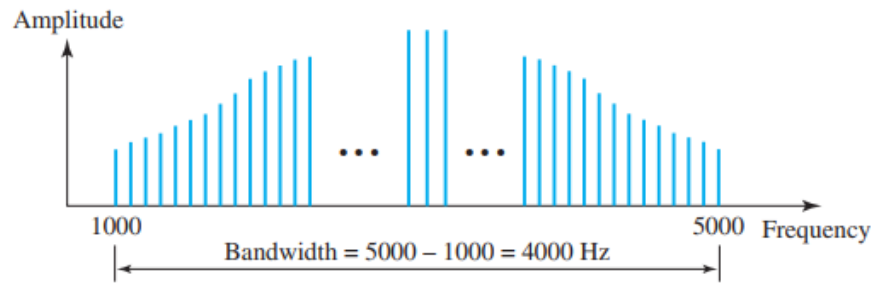


b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

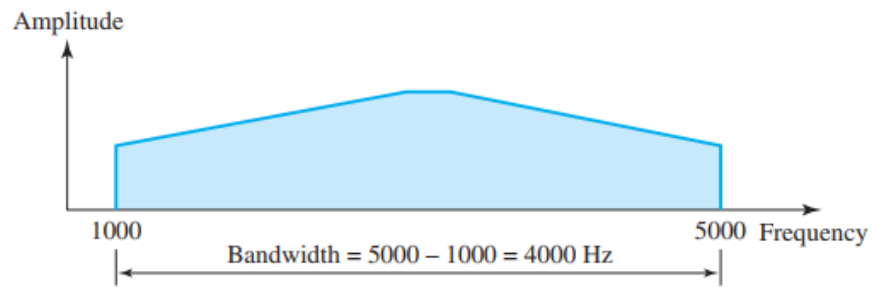
**Figure 3.12** *The time and frequency domains of a nonperiodic signal*



**Figure 3.13** *The bandwidth of periodic and nonperiodic composite signals*



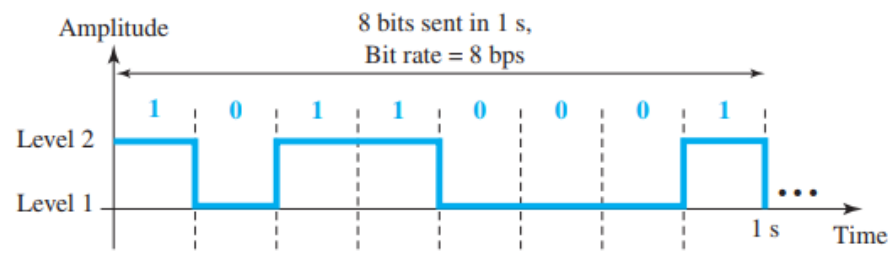
a. Bandwidth of a periodic signal



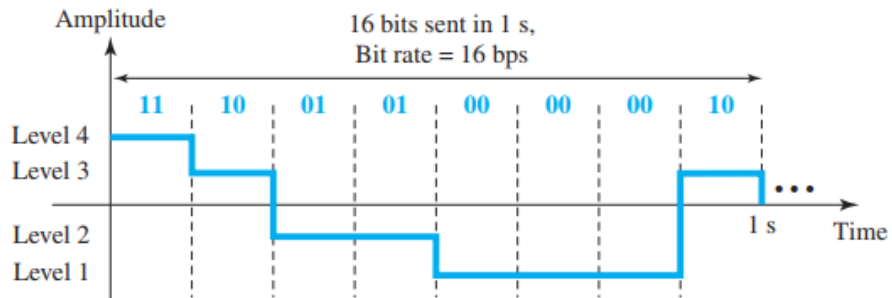
b. Bandwidth of a nonperiodic signal



**Figure 3.17** Two digital signals: one with two signal levels and the other with four signal levels

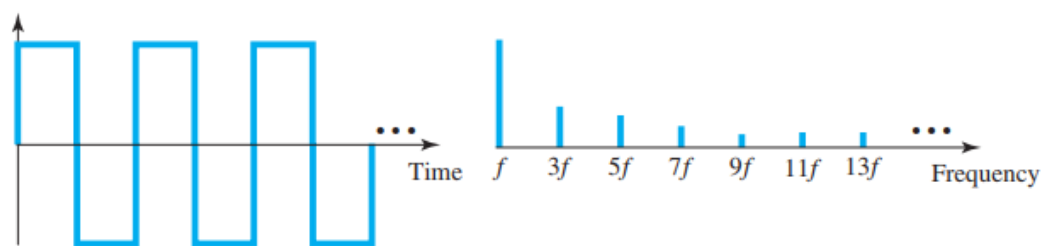


a. A digital signal with two levels

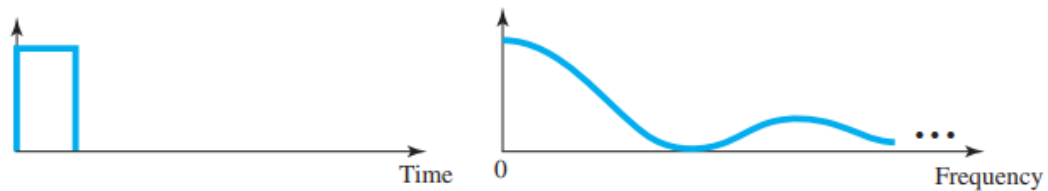


b. A digital signal with four levels

**Figure 3.18** *The time and frequency domains of periodic and nonperiodic digital signals*



a. Time and frequency domains of periodic digital signal

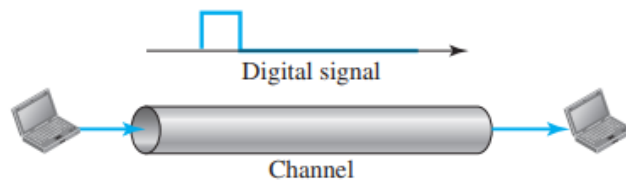


b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

Semnalul digital este un semnal analogic compus, cu o lățime de bandă infinită.

Transmisie în banda de bază (**baseband**) înseamnă trimiterea unui semnal digital printr-un canal fără a converti semnalul digital într-un semnal analogic

**Figure 3.19** Baseband transmission



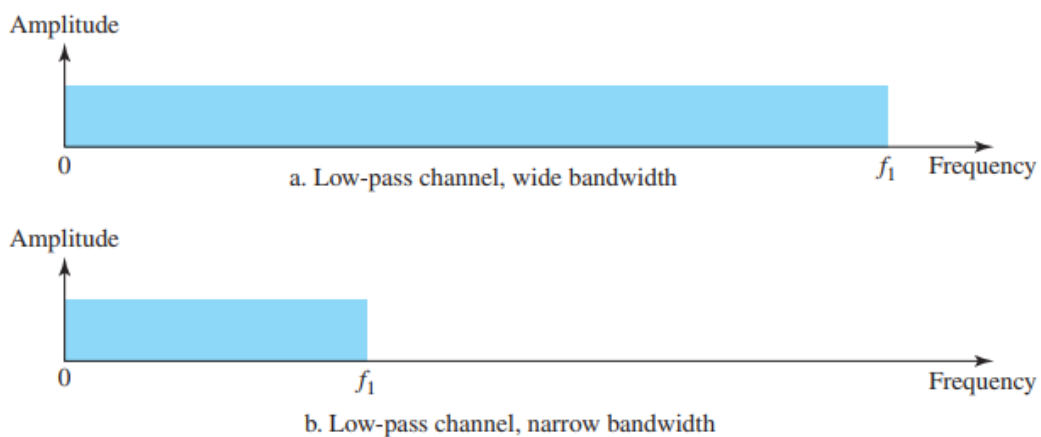
Transmisia în banda de bază necesită să avem un canal cu trecere îngustă (se zice canal low-pass), un canal cu lățime de bandă care începe de la zero. Acesta este cazul când avem un mediu dedicat cu o lățime de bandă care constituie un singur canal. De exemplu, întreaga lățime de bandă a unui cablu care conectează două calculatoare reprezintă un singur canal.

Într-un alt exemplu, putem conecta mai multe calculatoare la o rețea de tip magistrală, dar nu permitem să comunice la mai mult de două stații simultan. Din nou avem un canal low-pass și îl putem folosi pentru comunicarea în banda de bază.

Figura 3.20 prezintă două canale low-pass: unul cu o lățime de bandă scurtă și celălalt cu o lățime de bandă largă.

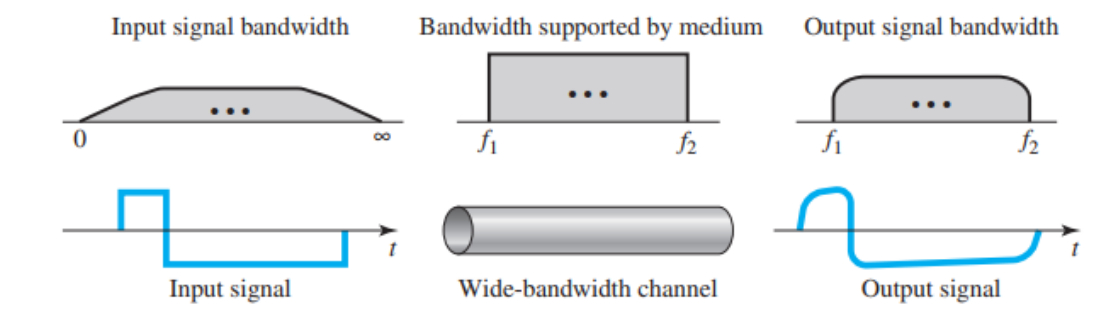
Menționăm că un canal low-pass cu lățime de bandă infinită este ideal, dar nu putem avea un astfel de canal în viața reală. Totuși, putem obține ceva apropiat.

**Figure 3.20** Bandwidths of two low-pass channels



Cazul 1: Canal low-pass cu lăţime de bandă largă:

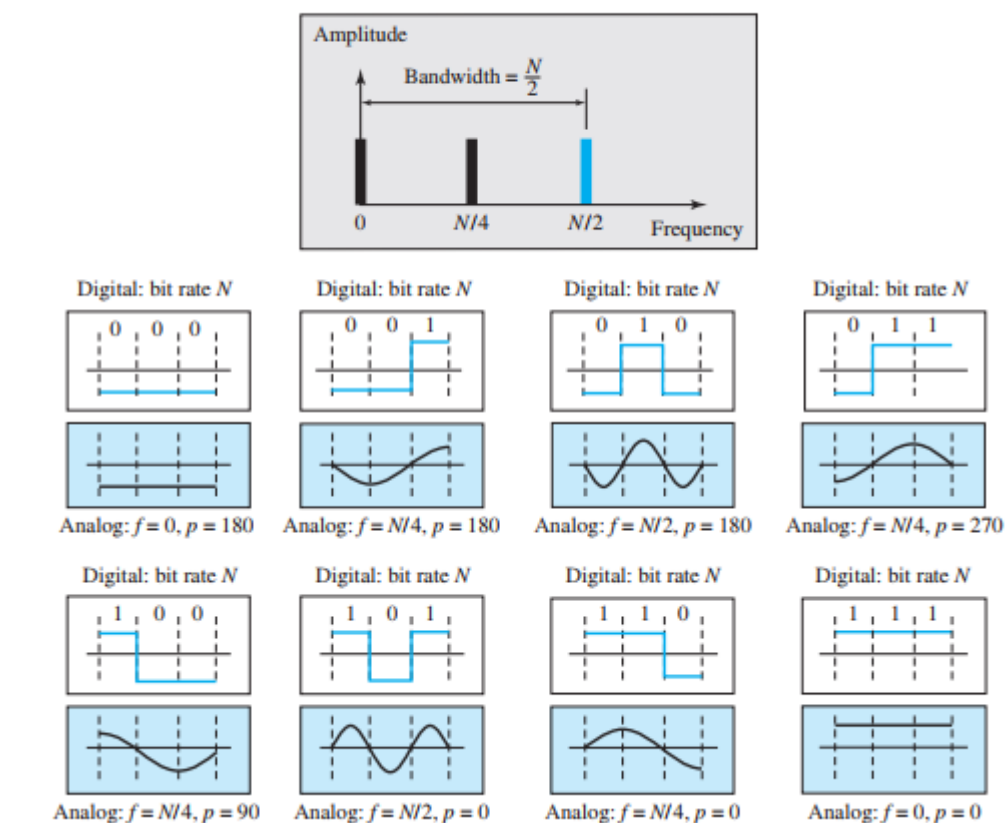
**Figure 3.21** Baseband transmission using a dedicated medium



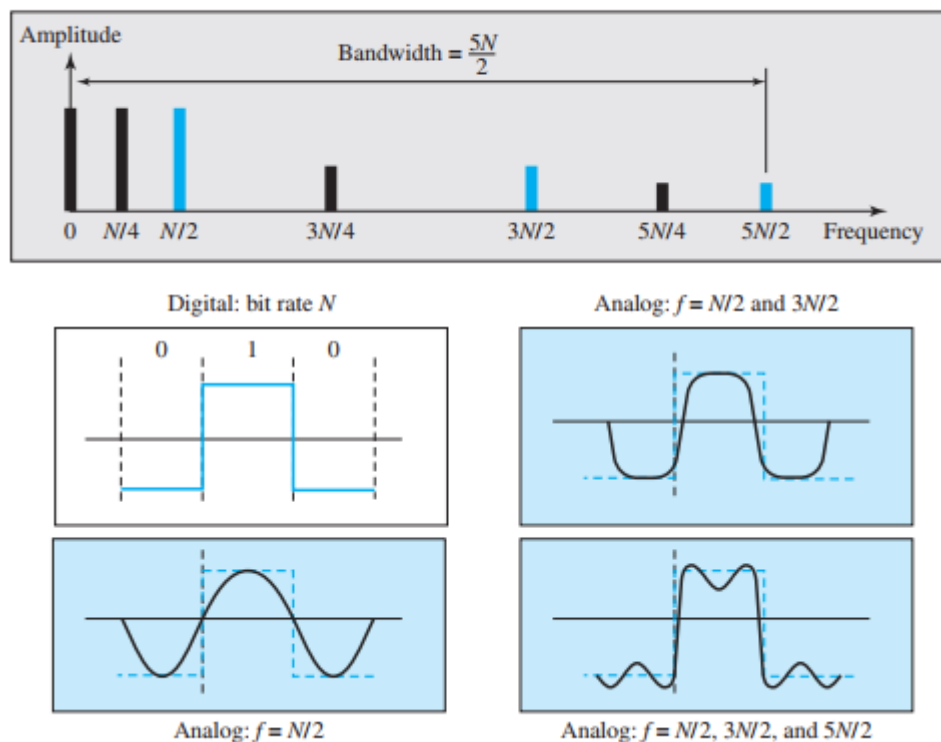
Transmiterea în banda de bază a unui semnal digital, care să păstreze forma semnalului digital, este posibilă numai dacă avem un canal low-pass cu o lăţime de bandă infinită sau cel puțin una foarte mare.

## Cazul 2: Canal low-pass cu lățime de bandă limitată:

**Figure 3.22** Rough approximation of a digital signal using the first harmonic for worst case



**Figure 3.23** Simulating a digital signal with first three harmonics



În transmisia în banda de bază, lățimea de bandă necesară este proporțională cu rata de biți; dacă vrem să mărim rata de biți, avem nevoie de o lățime de bandă mai mare

Transmisie sau modulare în bandă largă (**broadband**) înseamnă convertirea semnalului digital într-un semnal analogic pentru transmisie. Modularea permite să folosim un *canal bandpass* - un canal cu lăţime de bandă (spectrul de frecvenţe) care nu începe de la zero. Acest tip de canal este mai disponibil decât un canal low-pass. Figura 3.24 prezintă un canal bandpass.

---

**Figure 3.24** *Bandwidth of a bandpass channel*

---

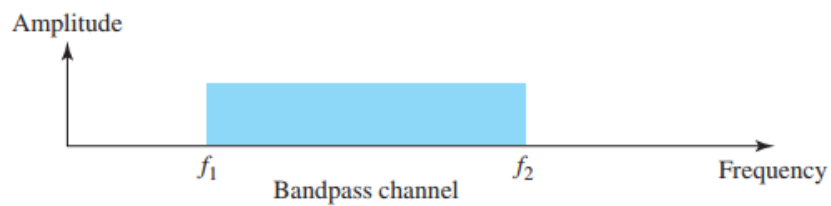
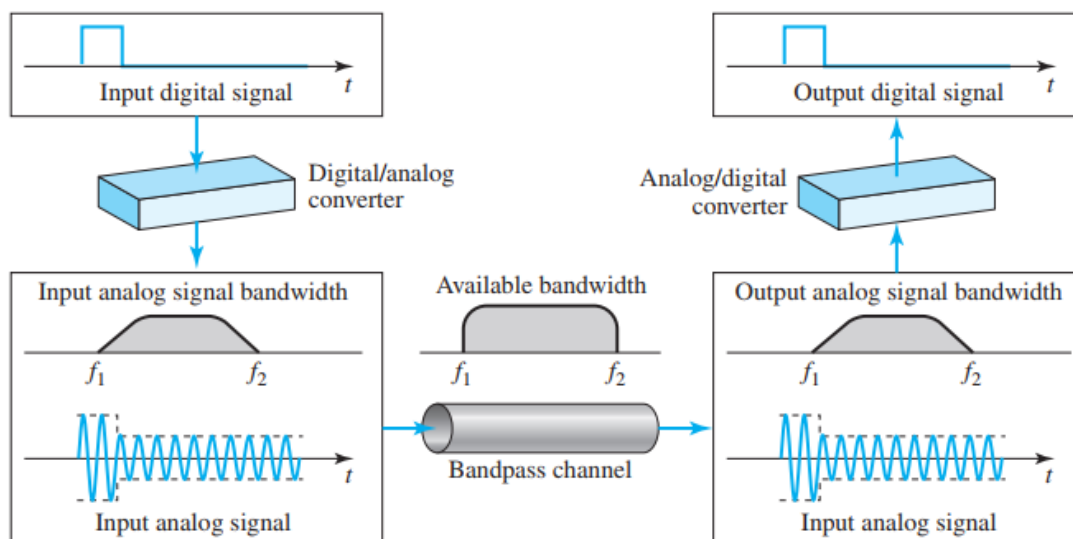


Figura 3.25 prezintă modularea unui semnal digital. În figură, un semnal digital este convertit într-un semnal analogic compus. Am folosit un semnal analogic cu o singură frecvență (numit purtător); amplitudinea purtătorului a fost schimbată pentru a arăta ca semnalul digital. Rezultatul nu este un semnal cu o singură frecvență; este un semnal compus. La destinație, semnalul analog primit este convertit în digital, iar rezultatul este o replică a celui trimis.

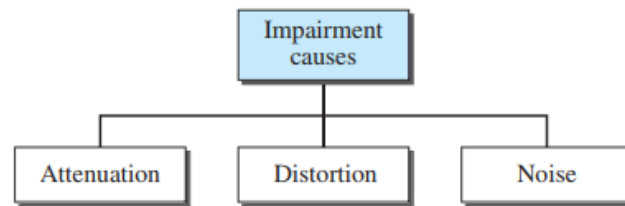
Dacă canalul disponibil este un canal bandpass, nu putem trimite semnalul digital direct pe canal; trebuie să transformăm semnalul digital într-un semnal analogic înainte de transmisie.

**Figure 3.25** *Modulation of a digital signal for transmission on a bandpass channel*



**Deficiențe de transmisie:**

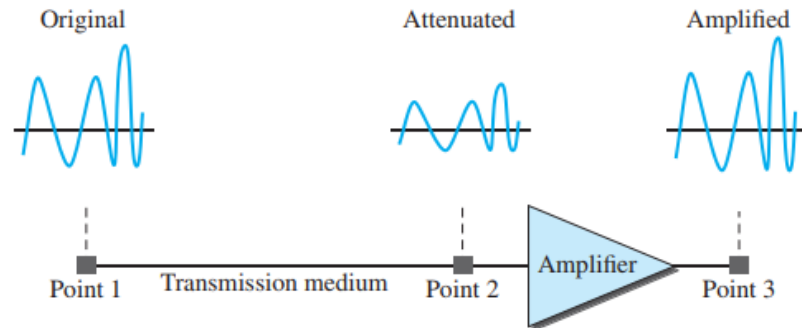
**Figure 3.26** *Causes of impairment*





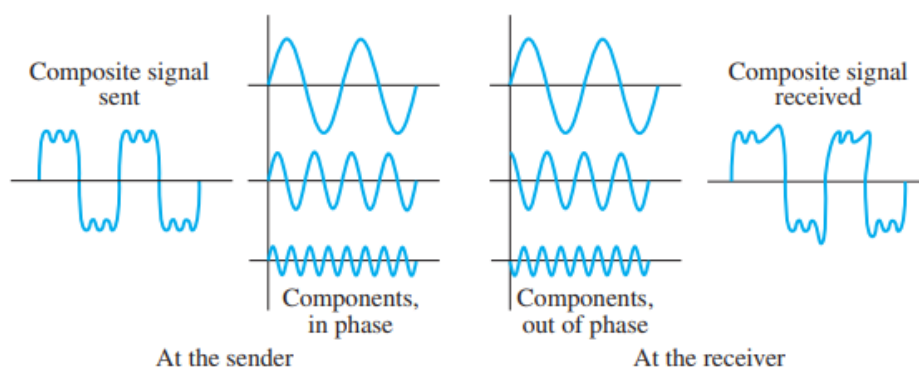
*Atenuarea* rezultă în urma pierderii de energie. Când un semnal, simplu sau compus, traversează un mediu de transmisie, acesta își pierde o parte din energie pentru a depăși rezistența mediului. De aceea, după un timp, un fir care transportă semnale electrice se încălzește, iar uneori chiar se înfierbântă. O parte din energia electrică a semnalului este transformată în căldură. Pentru a compensa această pierdere, se folosesc amplificatoare pentru amplificarea semnalului. Figura 3.27 arată efectul atenuării și amplificării.

**Figure 3.27** *Attenuation*



*Distorsiunea* înseamnă că semnalul își schimbă forma sau structura. Distorsiunea poate apărea într-un semnal compus format din frecvențe diferite. Fiecare componentă a semnalului are propria sa viteză de propagare printr-un mediu și, prin urmare, propria întârziere la sosirea la destinația finală. Diferențele de întârziere pot crea o diferență de fază dacă întârzierea nu coincide cu durata perioadei. Cu alte cuvinte, componentele semnalului ajuns la destinatar au faze diferite de cele pe care le aveau la expeditor. Prin urmare, forma semnalului compus nu este aceeași. Figura 3.29 arată efectul distorsiunii asupra unui semnal compus.

**Figure 3.29** *Distortion*



*Zgomotul* este o altă cauză ce conduce la deteriorarea semnalului. Mai multe tipuri de zgomot, cum ar fi zgomotul termic, zgomotul indus, intersecția și zgomotul de impuls, pot deteriora semnalul.

*Zgomotul termic* este mișcarea la întâmplare a electronilor dintr-un fir ce induce un semnal suplimentar, care nu este transmis inițial de emițător.

*Zgomotul indus* provine din surse precum motoare și aparate. Aceste dispozitive acționează ca o antenă de trimitere a semnalelor, iar mediul de transmisie acționează ca o antenă de recepționare.

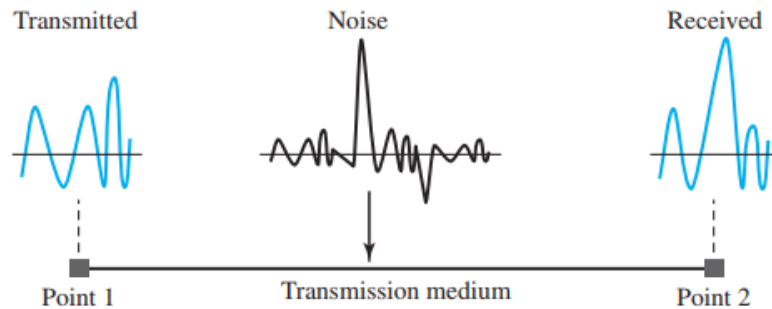
*Intersecția* (crosstalk-ul) este efectul pe care îl are un fir asupra celui alt. Un fir funcționează ca o antenă de trimitere, iar celălalt ca antenă receptoare.

*Zgomotul de impuls* este un spike (spike - un semnal cu energie ridicată într-un timp foarte scurt) care provine de la liniile electrice, fulgere și așa mai departe. Figura 3.30 arată efectul zgomotului asupra unui semnal.

---

**Figure 3.30** *Noise*

---



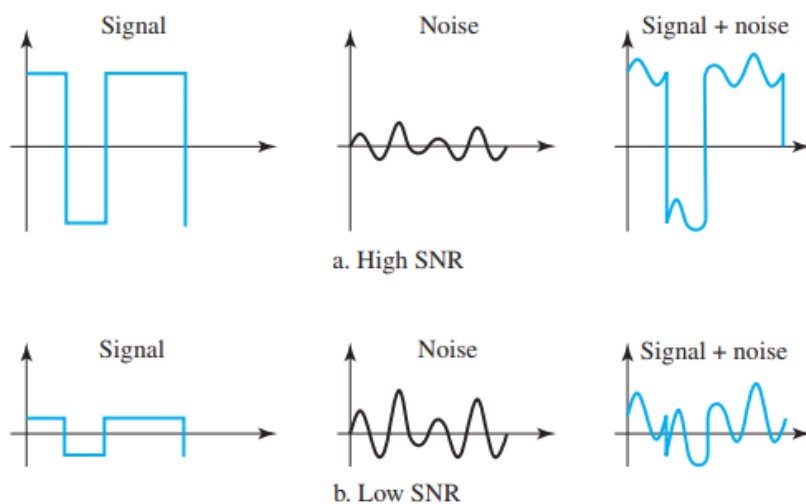
### Raport semnal / zgomot (SNR - Signal-to-Noise Ratio)

Pentru a găsi limita teoretică a vitezei de transmitere a biților, trebuie să cunoaștem raportul dintre puterea semnalului și puterea zgomotului. Raportul semnal-zgomot este definit ca fiind

$$\text{SNR} = \frac{\text{average signal power}}{\text{average noise power}}$$

Trebuie să luăm în considerare puterea medie a semnalului și puterea medie a zgomotului, deoarece acestea se pot schimba în timp. Figura 3.31 prezintă ideea de SNR.

**Figure 3.31** Two cases of SNR: a high SNR and a low SNR



SNR este de fapt raportul dintre ceea ce se dorește (semnal) și ceea ce nu se dorește (zgomot).

Un SNR mare înseamnă că semnalul este mai puțin afectat de zgomot; un SNR scăzut înseamnă că semnalul este mai afectat de zgomot.

## Concluzii

Pentru a putea transmite datele, acestea trebuie transformate în semnale electromagnetice. Datele pot fi analogice sau digitale. Datele analogice sunt continue și iau valori continue. Datele digitale au stări discrete și iau valori discrete. Semnalele pot fi analogice sau digitale. Semnalele analogice pot avea un număr infinit de valori într-un interval; semnalele digitale pot avea doar un număr limitat de valori pe un interval.

În comunicațiile de date, folosim în mod obișnuit semnale analogice periodice și semnale digitale nonperiodice. Frecvența și perioada sunt valori reciproc inverse. Frecvența este rata schimbării în timp. Faza descrie poziția curbei ce descrie unda în raport cu momentul inițial de timp. O undă sinusoidală completă în domeniul timpului poate fi reprezentată printr-un singur spike (spike) în domeniul frecvenței. O undă sinusoidală cu o singură frecvență nu este utilă în comunicațiile de date; trebuie să trimitem un semnal compus, un semnal format din mai multe unde sinusoidale simple. Conform analizei Fourier, orice semnal compus este o combinație de unde sinusoidale simple cu frecvențe, amplitudini și faze diferite. Lățimea de bandă a unui semnal compus este diferența dintre frecvența cea mai mare și cea mai mică conținute în acel semnal.

Un semnal digital este un semnal analogic compus cu o lățime de bandă infinită. Transmiterea în banda de bază a unui semnal digital, care păstrează forma semnalului digital, este posibilă numai dacă avem un canal low-pass și cu o lățime de bandă infinită sau foarte largă. Dacă canalul disponibil este un canal bandpass, nu putem trimite un semnal digital direct prin canal; trebuie să transformăm semnalul digital într-un semnal analogic înainte de transmisie.

Atenuarea, distorsiunea și zgomotul pot afecta un semnal. Atenuarea este pierderea energiei unui semnal datorită rezistenței mediului. Distorsiunea este modificarea unui semnal datorită vitezei de propagare diferite a fiecăreia dintre frecvențele care alcătuiesc semnalul. Zgomotul este energia externă care afectează semnalul.

## ***Medii de transmisie***

Avem nevoie de un suport fizic pentru a transmite semnale de la sursă la destinație. Mediul de transmisie poate fi prin cablu sau fără fir.

Mai întâi vom preciza care este rolul mediului de transmisie în modelul TCP/IP.

Putem clasifica mediile de transmisie în două mari categorii: medii ghidate și fără ghidare (neghidate). Referitor la mediile ghidate sunt prezentate cablurile cu perechi răsucite, cablurile coaxiale și cablurile cu fibră optică.

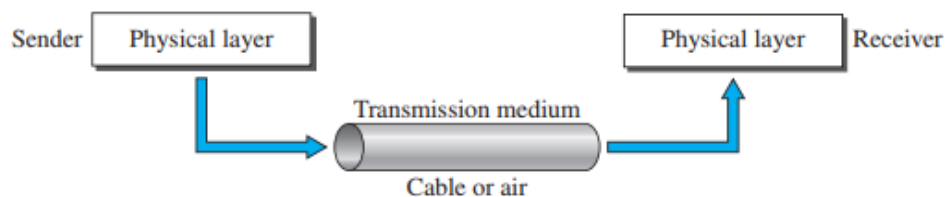
Referitor la mediile neghidate vom analiza unele caracteristici ale undelor radio, microundelor și undelor infraroșii.

Se poate considera că mediul de transmisie reprezintă un subnivel inferior al nivelului fizic și se află sub controlul direct al acestuia. Am putea spune că mediul de transmisie este nivelul zero al stivei TCP/IP. În Figura 7.1 este ilustrat locul mediului de transmisie în raport cu nivelul fizic.

---

**Figure 7.1** *Transmission medium and physical layer*

---



De obicei, mediul de transmisie este cablul cu miez metalic sau cablul cu fibră optică, sau aerul, apa, vacuumul. Datele sunt transmise prin mediul de transmisie sub formă de semnale digitale sau analogice, care sunt rezultatul aplicării unei scheme de conversie (a datelor în semnale).

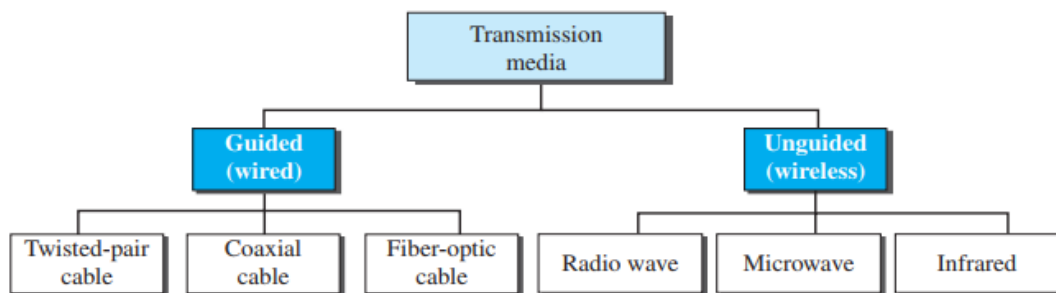
Semnalele sunt transmise de la un dispozitiv la altul sub formă de energie electromagnetică, care este propagată prin mediul de transmisie.

Energia electromagnetică reprezintă o combinație de câmp electric și magnetic, care vibrează unul în raport cu celălalt.

În categoria de energie electromagnetică includem și undele radio, lumina infraroșie, lumina vizibilă, lumina ultravioletă și razele X și gamma. Fiecare dintre acestea constituie o porțiune din spectrul electromagnetic. Actualmente, nu toate porțiunile spectrului electromagnetic sunt utilizate în comunicațiile de date.



**Figure 7.2** *Classes of transmission media*



*Mediile ghidate*, care implică un cablu ce conectează dispozitivele, sunt de următoarele tipuri: cablul cu perechi răsucite, cablul coaxial și cablul cu fibră optică. Semnalul transmis prin mediul de acest tip este direcționat, iar proprietățile acestuia sunt dictate de limitele fizice ale mediului

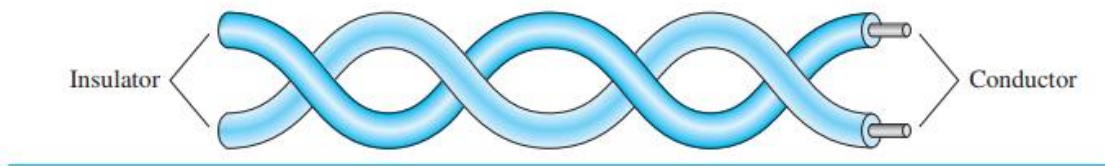
Cablul cu perechi răsucite și cel coaxial utilizează conductoare din cupru, care transportă semnale sub formă de curent electric

Cablurile cu fibră optică transportă semnale sub formă de lumină

### *Cablul cu perechi răsucite*

Cablul cu perechi răsucite este format din doi conductori (din cupru), fiecare cu propria izolație din plastic, care sunt răsucite împreună, așa cum se arată în Figura 7.3.

**Figure 7.3** *Twisted-pair cable*



Unul dintre fire este folosit pentru a transporta semnale către receptor, iar celălalt este utilizat doar ca referință la sol. La destinație se determină diferența dintre tensiunile receptate.

Interferența (zgomotul) și intersecția (crosstalk-ul - transfer nedorit de semnale între canalele de comunicare) pot afecta ambele fire și pot crea semnale nedorite.

Pentru ce este necesar ca perechile să fie răsucite?

Dacă cele două fire ar fi paralele, efectul semnalelor destructive asupra firelor ar fi diferit, ținând cont că firele se află în locații diferite în raport cu sursele de zgomot sau de intersecție (un fir este mai aproape de sursa nedorită, iar celălalt este mai departe).

Prin răsucirea perechilor, se menține un echilibru. De exemplu, la o răsucire un fir din cele două este mai aproape de sursa de zgomot, iar celălalt este mai departe; la următoarea răsucire, situația se inversează. Răsucirea face cu o anumită probabilitate ca ambele fire să fie în egală măsură afectate de influențele externe (zgomotul sau intersecția). Iar aceasta conduce la aceea că destinatarul, care calculează diferența dintre tensiunile recepționate, nu va primi semnale nedorite. Semnalele nedorite sunt de cele mai multe ori anihilate.

Numărul de răsuciri pe unitatea de lungime (de exemplu, inch) are efect direct asupra calității cablului.

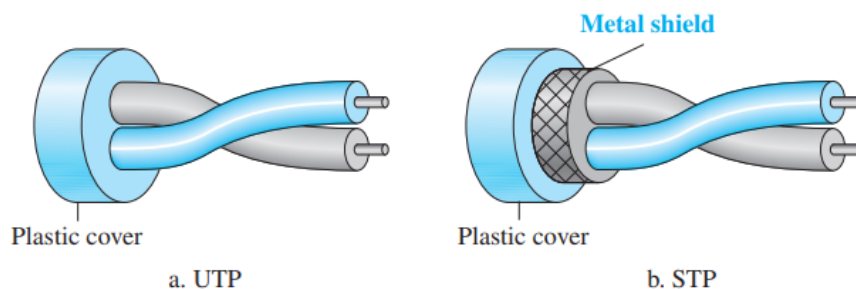
*Cablul cu perechi răsucite ecranat versus cel neecranat (Shielded Versus Unshielded Twisted-Pair Cable)*

Cel mai obișnuit cablu cu perechi răsucite utilizat în comunicații este denumit UTP (unshielded twisted-pair). De asemenea, IBM a produs o versiune a cablului cu perechi răsucite, numit STP (shielded twisted-pair). Cablul STP are o carcasă metalică care înglobează fiecare pereche de conductoare izolate. Carcasa metalică îmbunătățește calitatea cablului prin prevenirea pătrunderii zgomotului sau a crosstalk-ului, dar din această cauză cablul STP este mai voluminos și mai scump. Figura 7.4 arată diferența dintre UTP și STP. Discuția noastră se concentrează în principal pe UTP, deoarece STP este foarte rar utilizat în afara IBM.

---

**Figure 7.4** *UTP and STP cables*

---



### *Categorii de cabluri cu perechi răsucite neecranate*

Asociația Industriilor Electronice (EIA) a elaborat standarde ce clasifică în șapte categorii cablurile cu perechi răsucite neecranate. Categoriile determină calitatea cablului: 1 – corespunde celei mai mici calități, iar 7 – celei mai mari. Fiecare categorie EIA este potrivită pentru utilizare specifică. Tabelul 7.1 prezintă aceste categorii.

**Table 7.1** *Categories of unshielded twisted-pair cables*

<i>Category</i>	<i>Specification</i>	<i>Data Rate (Mbps)</i>	<i>Use</i>
1	Unshielded twisted-pair used in telephone	< 0.1	Telephone
2	Unshielded twisted-pair originally used in T lines	2	T-1 lines
3	Improved CAT 2 used in LANs	10	LANs
4	Improved CAT 3 used in Token Ring networks	20	LANs
5	Cable wire is normally 24 AWG with a jacket and outside sheath	100	LANs

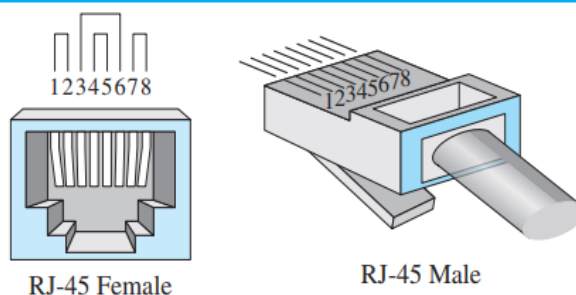
**Table 7.1** *Categories of unshielded twisted-pair cables (continued)*

<i>Category</i>	<i>Specification</i>	<i>Data Rate (Mbps)</i>	<i>Use</i>
5E	An extension to category 5 that includes extra features to minimize the crosstalk and electromagnetic interference	125	LANs
6	A new category with matched components coming from the same manufacturer. The cable must be tested at a 200-Mbps data rate.	200	LANs
7	Sometimes called <i>SSTP (shielded screen twisted-pair)</i> . Each pair is individually wrapped in a helical metallic foil followed by a metallic foil shield in addition to the outside sheath. The shield decreases the effect of crosstalk and increases the data rate.	600	LANs

### Conectori pentru cablul UTP

Conectorul standard pentru cablul UTP este RJ45 (RJ - Registered Jack), așa cum se arată în Figura 7.5. Varianta RJ45 tată este un conector ce poate fi inserat într-un singur mod.

**Figure 7.5** UTP connector



### Aplicații

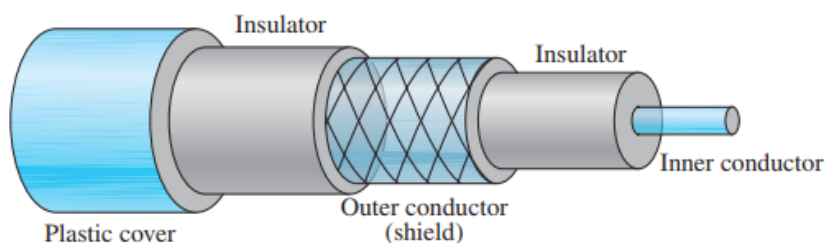
Cablurile cu perechi răsucite sunt utilizate în liniile telefonice pentru a furniza canale de voce și date. Bucla locală - linia care leagă abonații la oficiul telefonic central - constă în mod obișnuit din cabluri cu perechi răsucite ecranate.

Liniile DSL care sunt utilizate de companiile de telefonie pentru a furniza conexiuni cu o rată mare de date utilizează, de asemenea, lățimile de bandă ridicate ale cablurilor cu perechi răsucite ecranate.

Rețelele locale, cum ar fi 10Base-T și 100Base-T, folosesc, de asemenea, cabluri cu perechi răsucite.

**Cablul coaxial** transportă semnale cu un spectru de frecvențe mai mare decât cele din cablul cu perechi răsucite. În loc să aibă două fire, cablul coaxial are ca miez un conductor din cupru ceva mai solid, închis într-o teacă izolatoare, care este, la rândul său, înglobată într-un conductor exterior din folie metalică răsucită. Învelișul metalic exterior servește atât ca scut împotriva zgomotului, cât și ca al doilea conductor (zeroul!), care completează circuitul. Acest conductor exterior este, de asemenea, închis într-o mantă izolatoare din plastic, iar întregul cablu este protejat prin intermediul unui capac din plastic (a se vedea Figura 7.7).

**Figure 7.7** Coaxial cable



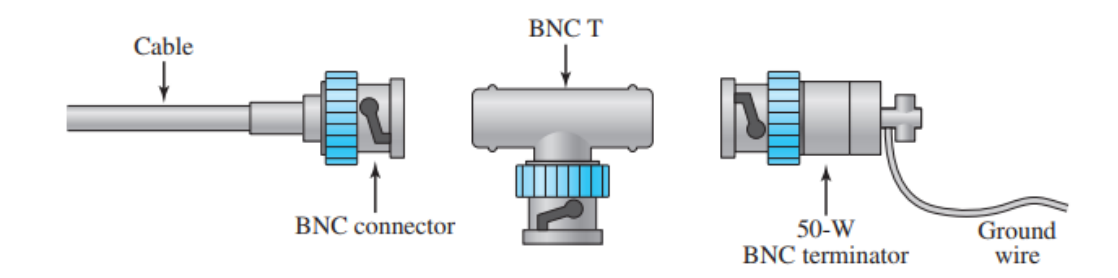
**Table 7.2** Categories of coaxial cables

Category	Impedance	Use
RG-59	75 $\Omega$	Cable TV
RG-58	50 $\Omega$	Thin Ethernet
RG-11	50 $\Omega$	Thick Ethernet

### Conectori pentru cablul coaxial

Pentru a conecta cablul coaxial la dispozitive, avem nevoie de conectori coaxiali. Cel mai frecvent tip de conector folosit astăzi este conectorul Bayonet Neill-Concelman (BNC). Figura 7.8 prezintă trei tipuri de conectori BNC: conector BNC, conector BNC T și terminator BNC.

**Figure 7.8** BNC connectors



Conectorul BNC este utilizat pentru conectarea capătului cablului la un dispozitiv, cum ar fi un televizor. Conectorul BNC T este utilizat în rețelele Ethernet pentru a ramifica o conexiune la un calculator sau la un alt dispozitiv. Terminatorul BNC este utilizat la capătul cablului pentru a împiedica reflectarea semnalului.



### *Performanță*

Atenuarea este mult mai mare în cablul coaxial decât în cablul cu perechi răsucite. Cu alte cuvinte, deși cablul coaxial are o lățime de bandă mult mai mare, semnalul slăbește rapid și necesită utilizarea frecvență a repetoarelor.

### *Aplicații*

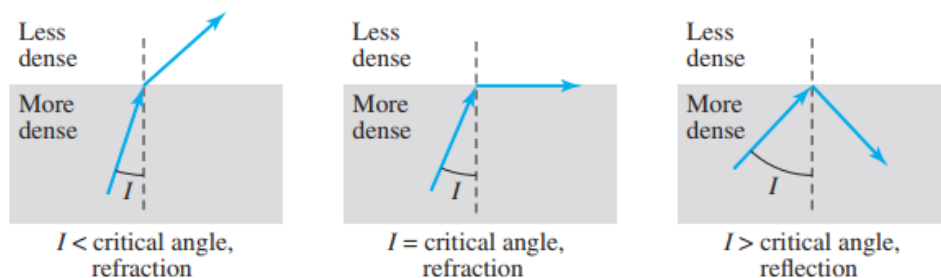
Cablul coaxial a fost utilizat pe scară largă în rețelele de telefonie analogice, unde o singură rețea coaxială putea transporta 10000 de semnale vocale. Ulterior a fost utilizat în rețelele de telefonie digitală, unde un singur cablu coaxial putea transporta date digitale de până la 600 Mbps. Actualmente, cablul coaxial din rețelele telefonice a fost în mare parte înlocuit prin cablul cu fibră optică.

Rețelele TV prin cablu folosesc, de asemenea, cabluri coaxiale. În rețeaua TV tradițională prin cablu, întreaga rețea folosea cablu coaxial. Mai târziu, însă, furnizorii de televiziune prin cablu au înlocuit majoritatea mediilor de transmisie prin cablu cu fibră optică; rețelele hibride folosesc cablul coaxial doar la granițele rețelei, în apropierea spațiilor consumatorilor. În rețelele de cablu TV se folosește cablul coaxial RG-59.

O altă aplicație obișnuită a cablului coaxial este în rețelele LAN tradiționale Ethernet. Datorită lățimii de bandă suficient de mari și, prin urmare, a ratei de date suficient de mari, cablul coaxial a fost selectat pentru transmisia digitală în LAN-urile Ethernet timpurii. 10Base-2 sau Thin Ethernet, folosea cablul coaxial RG-58 cu conectori BNC pentru a transmite date la 10 Mbps pe o distanță de 185 m. 10Base5, sau Thick Ethernet folosea RG-11 (cablul coaxial gros) și conectori specializați pentru a transmite 10 Mbps pe o distanță de 5000 m.

*Cablul cu fibră optică* este realizat din sticlă sau plastic și transmite semnale sub formă de lumină. Pentru a înțelege modul de funcționare al fibrei optice, mai întâi trebuie să amintim unele proprietăți ale razelor de lumină. Într-un mediu omogen lumina se transmite pe linie dreaptă. Dacă o rază de lumină, care parcurge un mediu, trece într-un alt mediu cu o altă densitate, aceasta își schimbă direcția. Figura 7.10 arată modul în care o rază de lumină schimbă direcția atunci când trece dintr-un mediu mai dens într-unul mai puțin dens. Din figură se vede că dacă unghiul de incidență  $I$  (unghiul pe care îl constituie raza cu linia perpendiculară pe frontiera dintre cele două medii) este mai mic decât unghiul critic, atunci raza se refractă.

**Figure 7.10** *Bending of light ray*



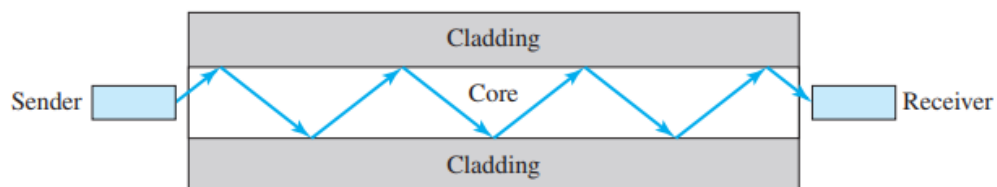
Dacă unghiul de incidență este egal cu unghiul critic, raza de lumină se va deplasa de-a lungul frontierei. Dacă unghiul este mai mare decât unghiul critic, raza se reflectă (se întoarce) și se deplasează din nou prin mediul inițial (care este mai dens). Rețineți că unghiul critic depinde de proprietățile mediului, iar valoarea lui diferă de la un mediu la altul. Fibrele optice folosesc reflecția pentru a ghida lumina printr-un canal de transmisie.

Un miez de sticlă sau plastic este încadrat într-o placă la fel din sticlă sau plastic, dar cu o densitate mai mică. Diferența de densitate a celor două medii trebuie să fie astfel încât raza de lumină care se mișcă prin miez să fie reflectată de la pereții plăcii cu densitatea mai mică, în loc să fie refractată (a se vedea Figura 7.11).

---

**Figure 7.11** *Optical fiber*

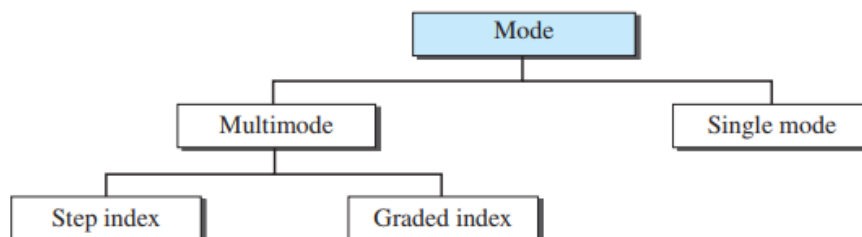
---



### *Moduri de propagare a luminii prin fibra optică*

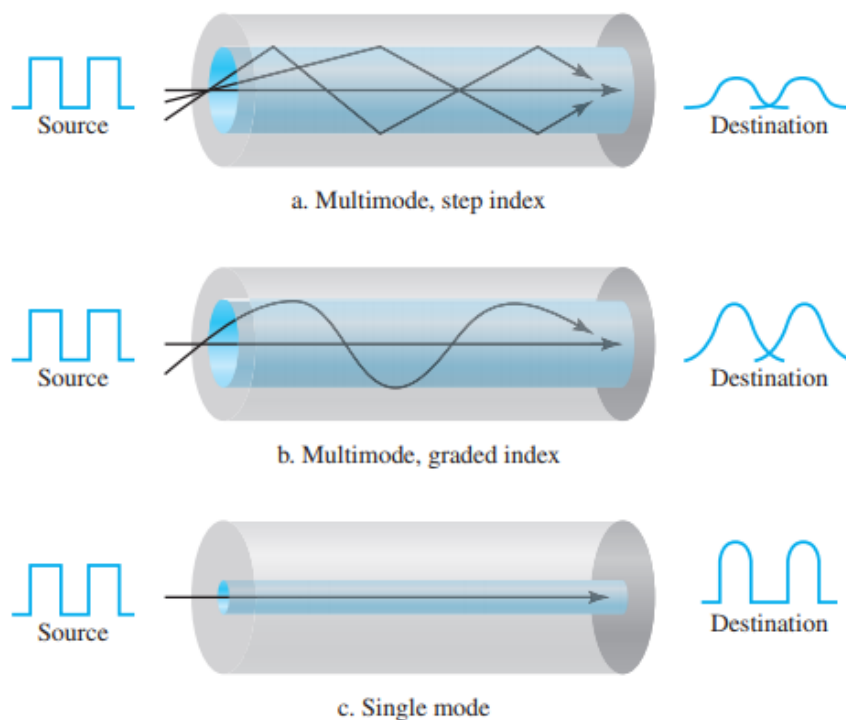
În dependență de proprietățile fizice ale fibrei optice, tehnologia actuală acceptă două moduri (multimode și single mode) de propagare a luminii prin canalul optic. Varianta multimode poate fi implementată sub două forme: step-index sau graded-index (a se vedea Figura 7.12).

**Figure 7.12** *Propagation modes*

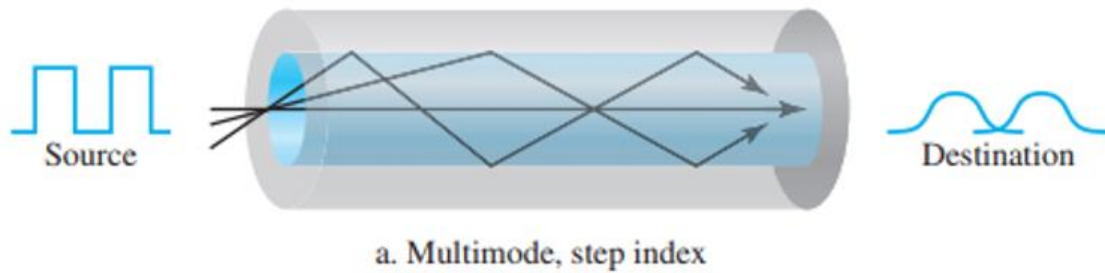


Varianta multimode este numită astfel, deoarece mai multe fascicule (raze) dintr-o sursă de lumină se deplasează prin miez pe căi diferite. Modul în care aceste fascicule se deplasează prin cablu depinde de structura miezului (omogen sau cu neomogenități), așa cum se arată în Figura 7.13.

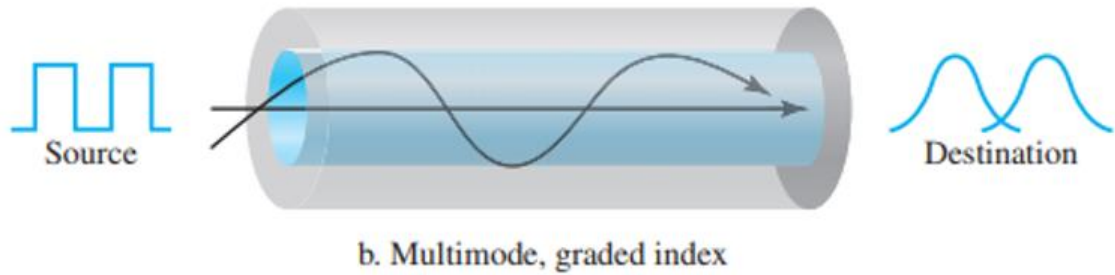
**Figure 7.13** *Modes*



În *fibra step-index multimode*, densitatea miezului rămâne constantă de la centru spre margini. O rază (fascicul) de lumină se deplasează pe o linie dreaptă prin acest mediu cu o densitate constantă, până când ajunge la frontiera dintre miez și placare. La frontieră, are loc reflexia razei din cauza unei densități mai mici a placării. Termenul step-index se referă la cât de bruscă este această modificare a direcției. Din cauza unghiului de reflexie semnalul ar putea să fie denaturat pe măsură ce trece prin fibră.

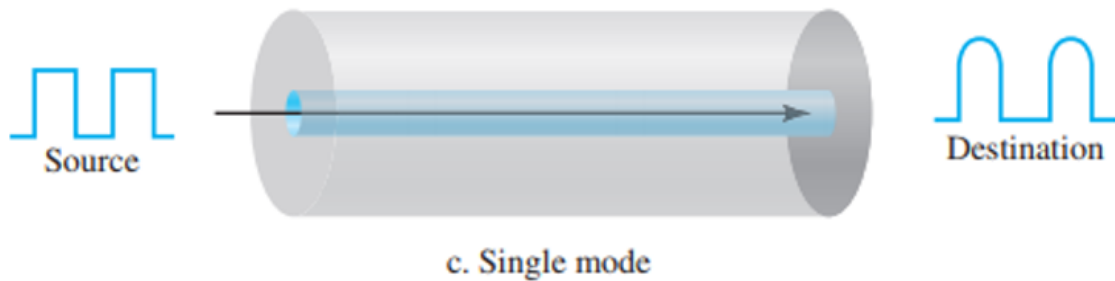


Al doilea tip de fibră, numit *fibră graded-index multimode*, se diminuează această distorsiune a semnalului prin cablu. Cuvântul index aici se referă la indicele de refracție. După cum am menționat mai sus, indicele de refracție depinde de densitatea mediului, în particular de unghiul critic. În fibra graded-index densitatea mediului de propagare variază dinspre centru spre frontieră. Densitatea ia valoarea cea mai mare în centrul miezului și scade treptat la apropierea de frontieră. Figura de mai jos arată impactul acestei densități variabile asupra propagării fasciculelor de lumină.



### Single-Mode

Modul single-mode folosește fibra step-index și o sursă de lumină extrem de focusată, care limitează fasciculele la o gamă mică de unghiuri, toate apropiate de orizontală. Fibra single-mode este fabricată cu un diametru mult mai mic decât cel al fibrei multimode și cu o densitate esențial mai mică. Scăderea densității duce la un unghi critic care este suficient de aproape de  $90^\circ$ , pentru a face propagarea razelor de lumină (fasciculelor) aproape orizontală. În acest caz, propagarea diferitelor fascicule este aproape identică, iar întârzierile sunt neglijabile. Toate fasciculele ajung la destinație „împreună” și pot fi recombinate cu o mică distorsiune a semnalului (a se vedea Figura de mai jos).





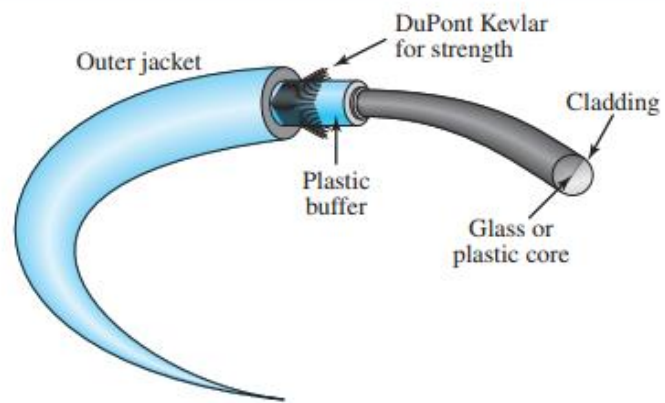
### *Dimensiunile fibrei optice*

Fibrele optice sunt definite prin raportul dintre diametrul miezului lor și diametrul plăcii lor, ambele exprimate în micrometri. Dimensiunile utilizate sunt prezentate în Tabelul 7.3. Rețineți că ultima linie prezentată în tabel se referă doar la fibra single-mode.

**Table 7.3** *Fiber types*

<i>Type</i>	<i>Core (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Cladding (<math>\mu\text{m}</math>)</i>	<i>Mode</i>
50/125	50.0	125	Multimode, graded index
62.5/125	62.5	125	Multimode, graded index
100/125	100.0	125	Multimode, graded index
7/125	7.0	125	Single mode

**Figure 7.14** *Fiber construction*



### Conectori pentru cablurile cu fibră optică

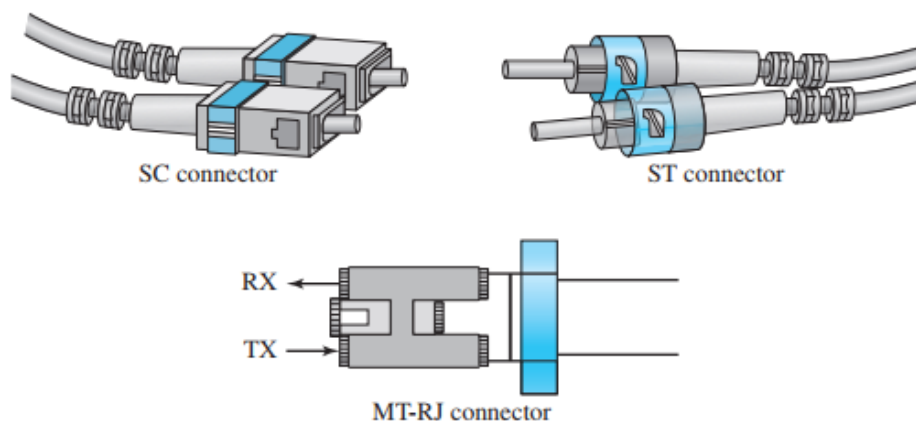
Există trei tipuri de conectori pentru cablurile cu fibră optică (a se vedea Figura 7.15).

Conectorul SC (SC - subscriber channel) este utilizat pentru TV-ul prin cablu. Acesta utilizează un sistem de blocare push/pull.

Conectorul cu ST (ST - straight-type) este utilizat pentru conectarea cablului la dispozitivele de rețea. Folosește un sistem de blocare cu baionetă și este mai fiabil decât SC.

MT-RJ este un conector care are aceeași dimensiune ca RJ45.

**Figure 7.15** *Fiber-optic cable connectors*



Rețelele locale, cum ar fi rețeaua 100Base-FX (Fast Ethernet) și 1000Base-X folosesc cabluri cu fibră optică.

## *Avantajele și dezavantajele utilizării fibrei optice*

### *Avantaje*

Cablul cu fibră optică oferă mai multe avantaje față de cablul cu miez de cupru (cu perechi răsucite sau coaxial).

- ☐ *Lățime de bandă mai mare.* Cablul cu fibră optică poate suporta lățimi de bandă mai mari (și, prin urmare, rate de date mai mari) decât un cablu cu perechi răsucite sau coaxial. În prezent, ratele de date și utilizarea lățimii de bandă pe cablul cu fibră optică sunt limitate nu de mediu, dar de modul de generare a semnalului.
- ☐ *Mai puțină atenuare a semnalului.* Distanța de transmisie a semnalului prin fibra optică este semnificativ mai mare decât cea pentru alte medii de transmisie ghidate. Un semnal poate rula 50 km fără a necesita regenerare. Simultan, pentru cablul coaxial sau cu perechi răsucite avem nevoie de repetoare la fiecare 5 km.
- ☐ *Imunitate la interferențe electromagnetice.* Zgomotul electromagnetic nu poate afecta cablurile cu fibră optică.
- ☐ *Rezistență la agenții corozivi.* Sticla este mai rezistentă decât cuprul în fața agenților corozivi.
- ☐ *Greutate ușoară.* Cablurile cu fibră optică sunt mult mai ușoare decât cablurile cu miez de cupru.
- ☐ *Rezistență mai mare la atingere.* Cablurile cu fibră optică sunt mai rezistente la solicitările exterioare față de cablurile cu miez din cupru.

### *Dezavantaje*

Există unele dezavantaje în utilizarea fibrei optice.

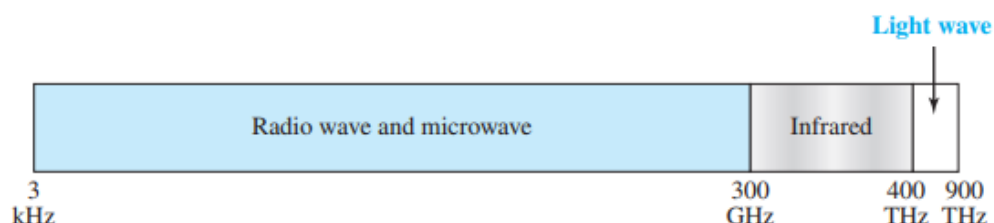
- ☐ *Instalare și întreținere.* Cablul cu fibră optică este o tehnologie relativ nouă. Instalarea și întreținerea acestuia necesită expertiză care nu este încă disponibilă peste tot.
- ☐ *Propagarea unidirecțională a luminii.* Propagarea luminii este unidirecțională. Dacă avem nevoie de o comunicare bidirecțională, sunt necesare două fibre.
- ☐ *Costul.* Cablul și interfețele sunt ceva mai scumpe decât cele pentru alte suporturi ghidate.

### Mediile neghidate (wireless)

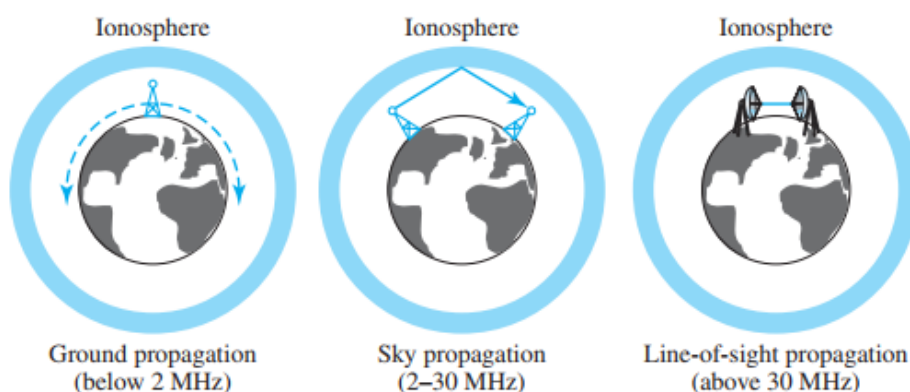
Mediile neghidate (wireless) transportă unde electromagnetice fără a utiliza un conductor fizic. Acest tip de comunicare este adesea numit *comunicare fără fir* (sau wireless). Semnalele sunt transmise în mod normal prin spațiul din jurul dispozitivelor (aer, vacuum, apă) și astfel sunt disponibile oricui are un dispozitiv capabil să le recepționeze.

Figura 7.17 prezintă partea spectrului electromagnetic, cuprinsă între 3 kHz și 900 THz, utilizată pentru comunicații fără fir. Semnalele neghidate pot fi transmise de la sursă la destinație în mai multe moduri: propagarea la sol, propagarea prin cer și propagarea la linia de vedere, așa cum se arată în Figura 7.18.

**Figure 7.17** *Electromagnetic spectrum for wireless communication*



**Figure 7.18** *Propagation methods*



În *propagarea la sol*, undele radio circulă prin partea cea mai joasă a atmosferei, „îmbrățișând” pământul. Aceste semnale cu frecvență joasă emanate în toate direcțiile de la antena de transmitere, urmăresc curbura planetei. Distanța parcursă depinde de puterea semnalului: cu cât este mai mare puterea semnalului, cu atât distanța este mai mare.



În *propagarea prin cer*, undele radio cu frecvență mai mare radiază în sus în ionosferă (stratul de atmosferă unde există particule sub formă de ioni), de unde sunt reflectate înapoi spre pământ. Acest tip de transmisie permite transmiterea datelor pe distanțe mai mari cu o putere a semnalului mai mică.



În *propagarea la linia de vedere*, semnalele de înaltă frecvență sunt transmise în linie dreaptă direct de la antenă la antenă. Antenele trebuie să fie direcționate, orientate una spre cealaltă și să fie suficient de înalte sau suficient de apropiate pentru a nu fi afectate de curbura pământului. Propagarea la linia de vedere este dificilă, deoarece transmisiile radio nu pot fi complet focalizate.





Secțiunea spectrului electromagnetic definit ca unde radio și microunde este împărțită în opt intervale, numite benzi, fiecare reglementată de autoritățile guvernamentale. Aceste benzi sunt evaluate de la frecvență foarte mică (VLF) la frecvență extrem de ridicată (EHF). Tabelul 7.4 prezintă aceste benzi, intervalele lor, metodele de propagare și unele aplicații.

**Table 7.4** *Bands*

<i>Band</i>	<i>Range</i>	<i>Propagation</i>	<i>Application</i>
very low frequency (VLF)	3–30 kHz	Ground	Long-range radio navigation
low frequency (LF)	30–300 kHz	Ground	Radio beacons and navigational locators

**Table 7.4** *Bands (continued)*

<i>Band</i>	<i>Range</i>	<i>Propagation</i>	<i>Application</i>
middle frequency (MF)	300 kHz–3 MHz	Sky	AM radio
high frequency (HF)	3–30 MHz	Sky	Citizens band (CB), ship/aircraft
very high frequency (VHF)	30–300 MHz	Sky and line-of-sight	VHF TV, FM radio
ultrahigh frequency (UHF)	300 MHz–3 GHz	Line-of-sight	UHF TV, cellular phones, paging, satellite
superhigh frequency (SHF)	3–30 GHz	Line-of-sight	Satellite
extremely high frequency (EHF)	30–300 GHz	Line-of-sight	Radar, satellite

Putem împărți transmisia wireless în trei grupuri largi: prin unde radio, prin microunde și prin unde infraroșii.

- *Procedee de conversie a datelor digitale în semnale digitale*

*Line coding*-ul este utilizat pentru a converti datele digitale într-un semnal digital. Sunt discutate mai multe scheme de conversie.

*Block coding*-ul este folosit pentru a crea redundanță (surplus de informație) în datele digitale înainte ca acestea să fie codificate ca semnal digital. Redundanța este folosită ca instrument de detectare a erorilor.

*Scrambling*-ul este o tehnică folosită pentru conversia datelor digitale în semnale digitale în transmisia pe distanțe mari.

- *Procedee de conversie a semnalelor analogice în semnale digitale*

*Pulse Code Modulation* este metoda principală folosită la conversia semnalului analogic în semnal digital.

*Delta Modulation* este utilizată pentru a îmbunătăți eficiența lui *Pulse Code Modulation*.

- *Moduri de transmisie*

Când vorbim despre transmiterea datelor digitale, avem în vedere transmisia în paralel sau în serie. În transmisia paralelă trimitem mai mulți biți simultan; în transmisia serială transmem pe rând câte un bit.

Vedem cum pot fi reprezentate datele digitale, folosind semnale digitale. Conversia implică trei tehnici: line coding, block coding și scrambling.

Line coding-ul este întotdeauna necesar; block coding-ul și scrambling-ul sunt opționale.

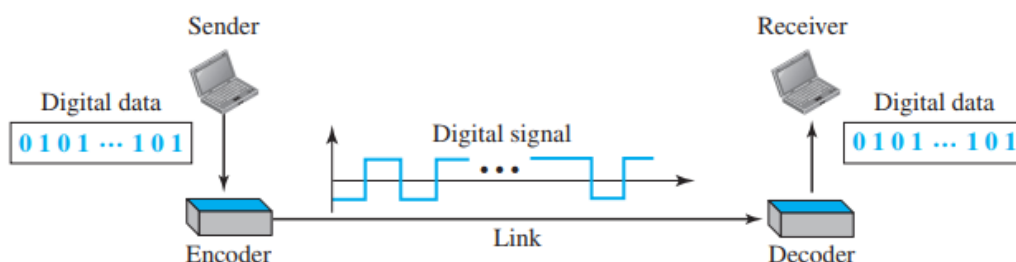
*Line coding-ul este procesul de conversie a datelor digitale în semnale digitale.*

Datele sub formă de text, numere, imagini grafice, audio sau video, sunt stocate în memoria calculatorului ca șiruri de biți. Line coding-ul convertește șirul de biți într-un semnal digital. La expeditor, datele digitale sunt codificate într-un semnal digital, care este transmis printr-un canal **lowpass**; la destinatar, datele digitale sunt recuperate prin decodificarea semnalului digital. Figura 4.1 prezintă procesul.

---

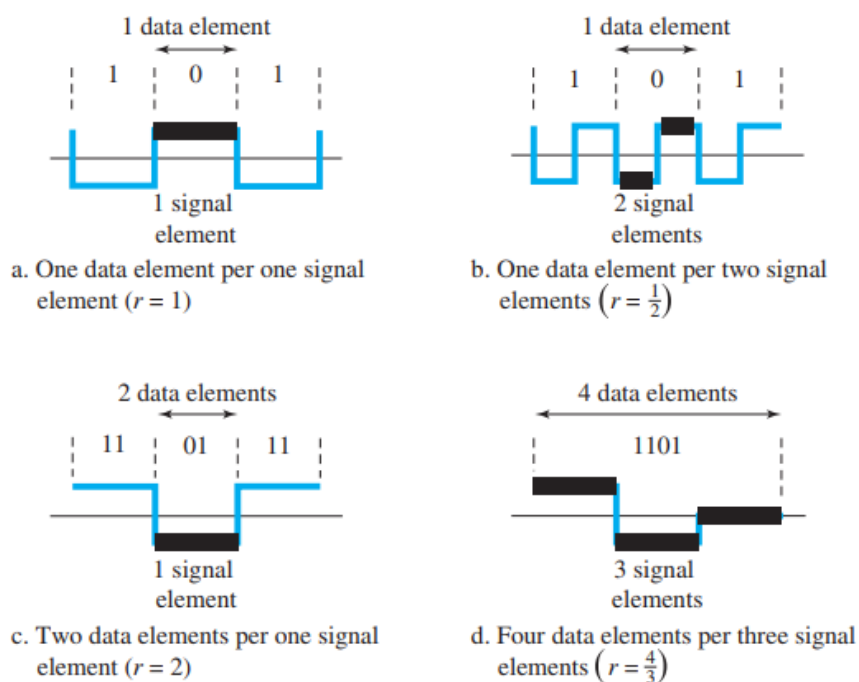
**Figure 4.1** *Line coding and decoding*

---



Definim valoarea  $r$  ca numărului de biți (bitul - element de date) transportați de un element de semnal (mai exact, raportul acestora). Figura 4.2 prezintă mai multe situații cu valori diferite ale lui  $r$ .

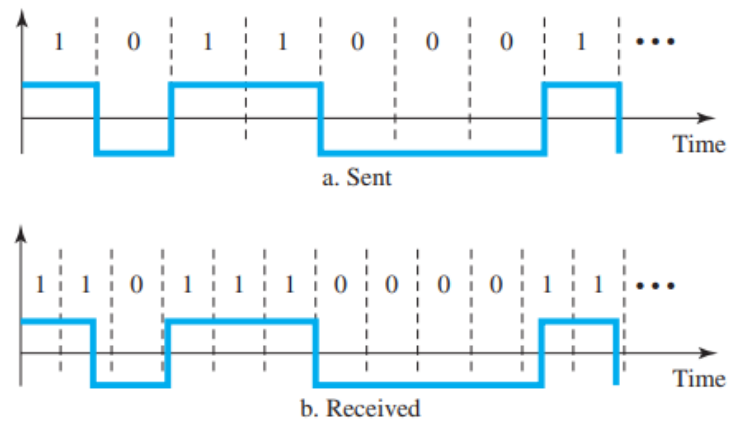
**Figure 4.2** *Signal element versus data element*



### Auto-sincronizare

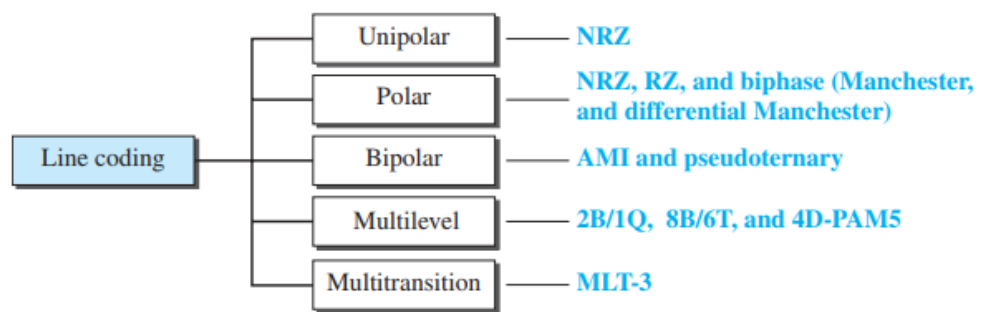
Pentru a interpreta corect semnalele primite de la expeditor, intervalele de biți ale destinatarului trebuie să corespundă exact intervalelor de biți ale expeditorului. Dacă timer-ul destinatarului este mai rapid sau mai lent, intervalele de biți nu se potrivesc și destinatarul poate interpreta greșit semnalele. Figura 4.3 prezintă o situație în care destinatarul are o durată de biți mai scurtă. Expeditorul trimite 10110001, în timp ce receptorul primește 110111000011. Un semnal digital auto-sincronizat include informații de sincronizare în datele transmise. Acest lucru poate fi realizat dacă în cadrul semnalului există tranziții ce alertează destinatarul despre începutul, mijlocul sau sfârșitul pulsului. Dacă timer-ul destinatarului nu este sincronizat, aceste puncte permit resetarea timer-ului.

**Figure 4.3** *Effect of lack of synchronization*



## Scheme de line coding

**Figure 4.4** *Line coding schemes*



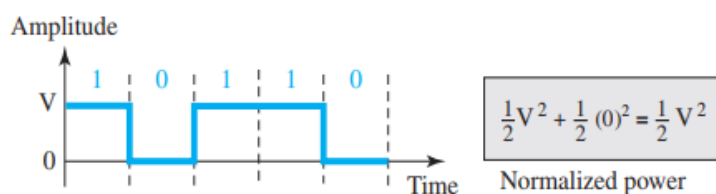
### *Scheme de line coding unipolare*

Într-o schemă unipolară, toate nivelele semnalului sunt de o singură parte a axei amplitudine (valori nenegative sau nepozitive).

#### *NRZ (non-return-to-zero)*

Schema fără întoarcere la zero (NRZ) este o schemă unipolară în care tensiunea pozitivă a semnalului definește bitul 1 și tensiunea zero definește bitul 0. Se numește NRZ deoarece în reprezentarea semnalului, acesta nu revine la zero la mijlocul bitului. Figura 4.5 prezintă o schemă NRZ unipolară.

**Figure 4.5** *Unipolar NRZ scheme*



Această schemă nu este aplicată în transferul de date, deoarece consumă exagerat puterea semnalului

### Scheme de line coding polare

În schemele polare, tensiunile iau valori pe ambele părți ale axei amplitudine. De exemplu, nivelul de tensiune corespunzător bitului 0 poate fi pozitiv, iar nivelul de tensiune corespunzător bitului 1 poate fi negativ.

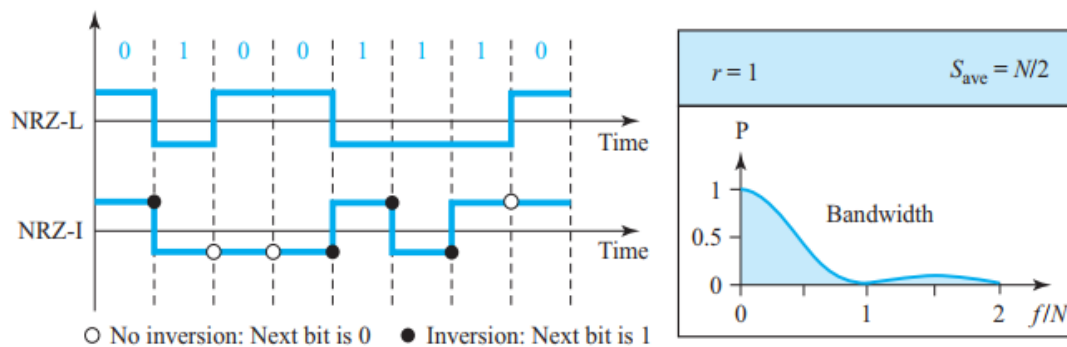
### Schema Non-Return to Zero (NRZ)

În codificarea NRZ polară, folosim două nivele de amplitudine a tensiunii. Există două versiuni ale NRZ polar: NRZ-L și NRZ-I (a se vedea Figura 4.6). Figura arată, de asemenea, valoarea lui  $r$ , rata medie de transfer și lățimea de bandă.

În prima variantă, NRZ-L (NRZ-Level), tensiunea determină valoarea bitului.

În a doua variantă, NRZ-I (NRZ-Invert), modificarea sau lipsa modificării tensiunii determină valoarea bitului. Dacă nu există variație a tensiunii – următorul bit este 0; dacă există variație a tensiunii – următorul bit este 1 (a se vedea Figura 4.6).

**Figure 4.6** Polar NRZ-L and NRZ-I schemes



Dacă există o secvență lungă de 0 sau 1 în NRZ-L, atunci semnalul are putere medie redusă, iar destinatarul poate avea dificultăți în a stabili valoarea biților. În NRZ-I această problemă apare doar pentru o secvență lungă de 0. Dacă cumva putem elimina posibilitatea apariției unei secvențe lungi de 0, atunci putem evita problema.

Problema de sincronizare (timer-ele expeditorului și a destinatarului nu sunt sincronizate) există în ambele scheme. Din nou, această problemă este una mai serioasă în NRZ-L comparativ cu NRZ-I.

În timp ce o secvență lungă de 0 poate cauza o problemă în ambele scheme, o secvență lungă de 1 afectează numai NRZ-L. O altă problemă cu NRZ-L apare atunci când există o schimbare a polarității în sistem (faza și zero-ul). De exemplu, dacă mediul de transmisie este un cablu cu perechi răsucite, atunci o schimbare a polarității perechii va însemna că toate valorile 0 sunt interpretate ca 1, iar toate valorile 1 vor fi interpretate ca 0. NRZ-I nu are această problemă.



### Schema de întoarcere la zero (RZ - Return to Zero)

Pentru ca destinatarul să știe când s-a încheiat transmisia unui bit și când începe transmisia următorului bit, a fost definită *schema de revenire la zero* (RZ), care folosește trei valori: pozitiv, negativ și zero. În schema RZ, semnalul nu se schimbă între biți, ci la mijlocul fiecărui bit.

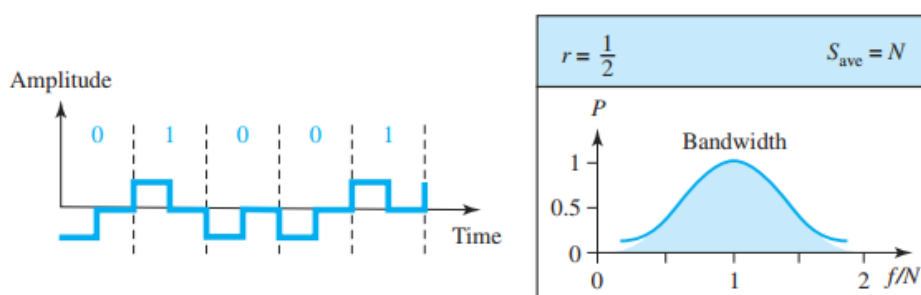
În Figura 4.7 vedem că semnalul trece în 0 la mijlocul fiecărui bit. Rămâne acolo până la începutul transmisiei următorului bit.

Dezavantajul principal al codificării RZ este că necesită două modificări ale semnalului (trei nivele de tensiune) pentru a codifica un bit și, prin urmare, ocupă o lățime de bandă mai mare.

Există și problema că o schimbare bruscă a polarității, rezultă în aceea că toate 0-urile sunt interpretate ca 1 și toți biții 1 sunt interpretați ca 0.

Ținând cont de aceste deficiențe, schema nu este folosită actualmente. În schimb, în baza acestora au fost definite schemele Manchester și diferențial Manchester, care sunt mai performante.

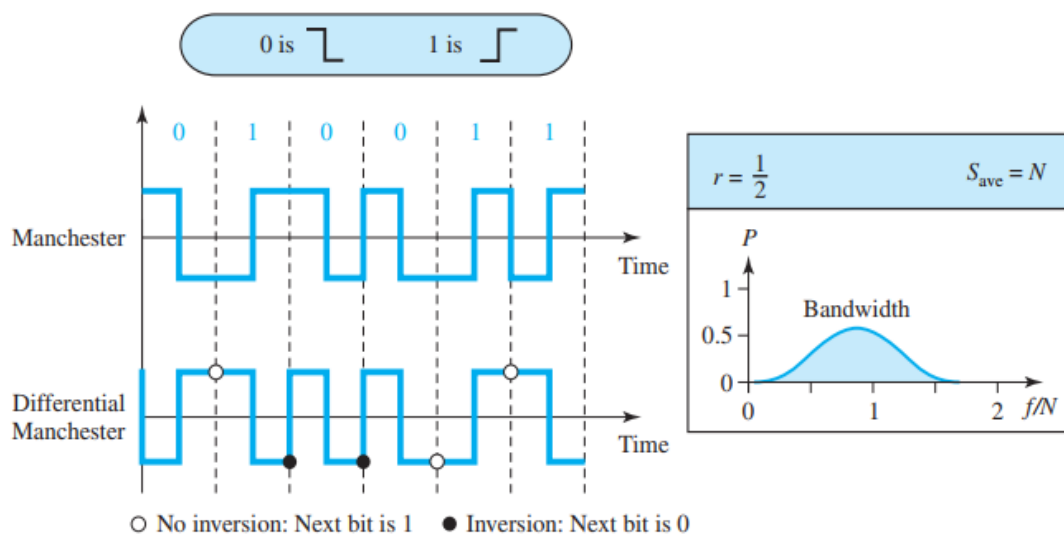
**Figure 4.7** Polar RZ scheme



### Scheme de line coding polară bifază: Manchester și diferențial Manchester

Ideea schemei RZ (tranziție la mijlocul bitului) și cea a schemei NRZ-L sunt combinate în schema Manchester. În codificarea Manchester, durata bitului este împărțită în două jumătăți. Tensiunea rămâne la un nivel în prima jumătate și se mută la celălalt nivel în a doua jumătate. Tranziția de la mijlocul bitului asigură sincronizarea.

**Figure 4.8** Polar biphase: Manchester and differential Manchester schemes



Diferențial Manchester, pe de altă parte, combină ideile RZ și NRZ-I. Există întotdeauna o tranziție la mijlocul bitului, dar valorile sunt determinate la începutul bitului. Dacă următorul bit este 0, există o tranziție; dacă următorul bit este 1, nu există.

Figura 4.8 prezintă atât codificarea Manchester, cât și diferențial Manchester.

Schema Manchester depășește unele probleme asociate cu NRZ-L, iar diferențial Manchester depășește unele probleme asociate cu NRZ-I.

Rata semnalului pentru Manchester și diferențial Manchester este dublă față de NRZ. Motivul este că există întotdeauna o tranziție la mijlocul bitului și poate o tranziție la sfârșitul fiecărui bit. Schemele Manchester și diferențial Manchester se mai numesc *scheme bifază*.

### *Scheme de line coding bipolară*

În codificarea bipolară (uneori numită schemă binară pe mai multe nivele), există trei nivele de tensiune: pozitiv, negativ și zero. Nivelul de tensiune pentru un element de date este zero, în timp ce nivelul de tensiune pentru celălalt element alternează între pozitiv și negativ.

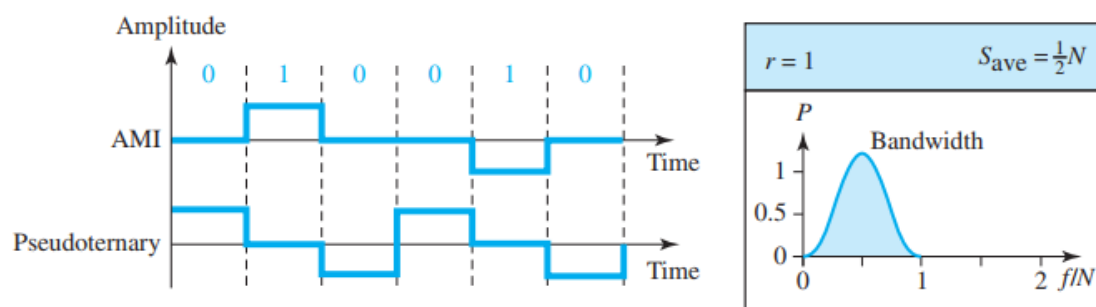
*AMI (Alternate Mark Inversion) și pseudoternar*

Figura 4.9 prezintă două variații ale codificării bipolare: AMI și pseudoternar.

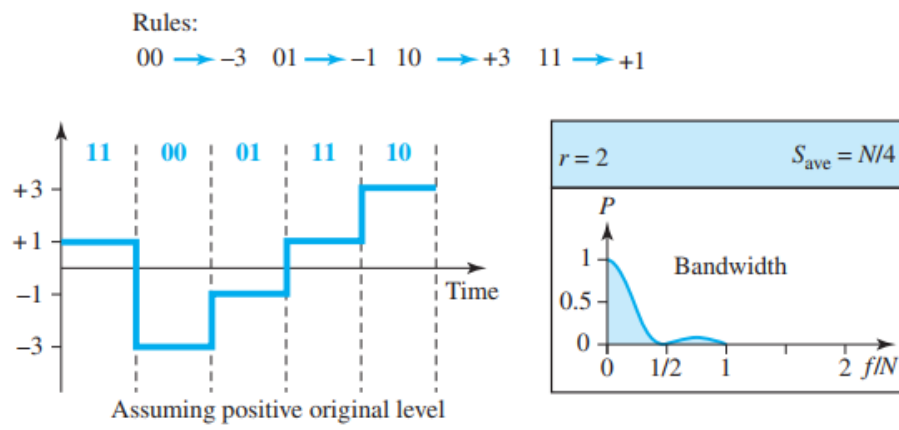
În termenul AMI, cuvântul Mark provine din telegrafie și înseamnă 1. Deci AMI înseamnă inversarea alternativă a lui 1. O tensiune zero neutră reprezintă binarul 0. Binarii 1 sunt reprezentați prin alternarea tensiunilor pozitive și negative.

Într-o variație a codificării AMI, numită *pseudoternară*, bitul 1 este codificat ca o tensiune zero și bitul 0 este codificat ca tensiuni pozitive și negative ce alternează.

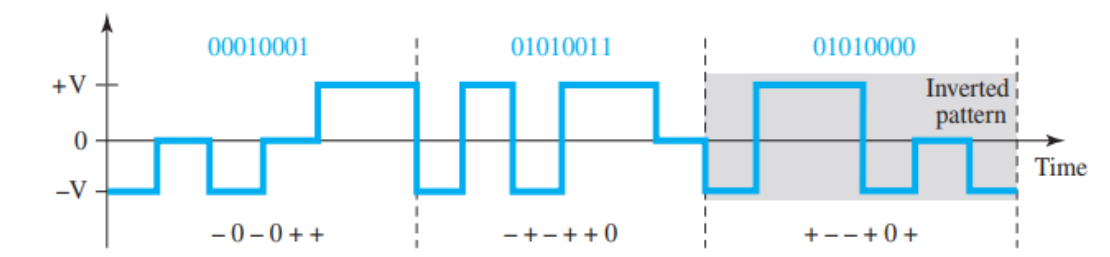
**Figure 4.9** *Bipolar schemes: AMI and pseudoternary*



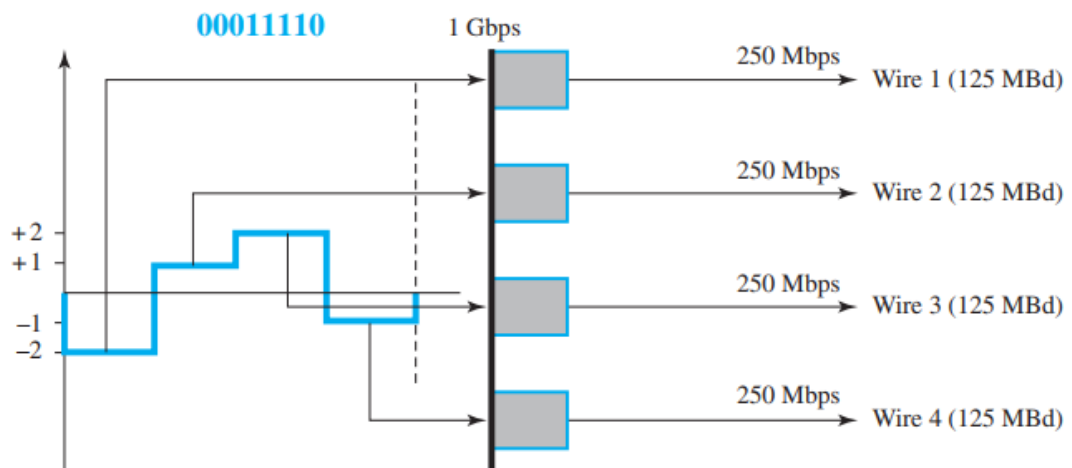
**Figure 4.10** *Multilevel: 2B1Q scheme*



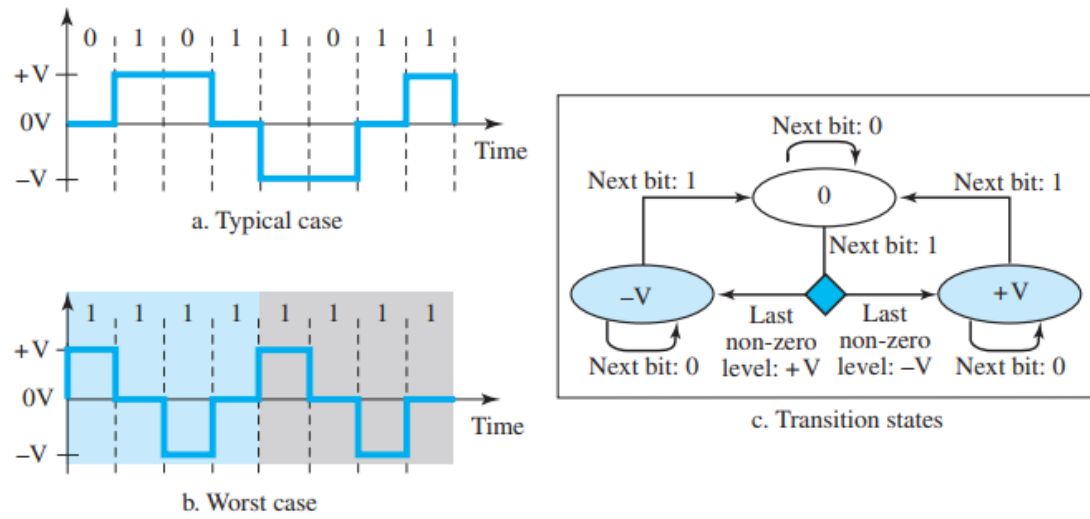
**Figure 4.11** *Multilevel: 8B6T scheme*



**Figure 4.12** Multilevel: 4D-PAM5 scheme



**Figure 4.13** Multitransition: MLT-3 scheme



**Table 4.1** *Summary of line coding schemes*

<i>Category</i>	<i>Scheme</i>	<i>Bandwidth (average)</i>	<i>Characteristics</i>
Unipolar	NRZ	$B = N/2$	Costly, no self-synchronization if long 0s or 1s, DC
Polar	NRZ-L	$B = N/2$	No self-synchronization if long 0s or 1s, DC
	NRZ-I	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
	Biphase	$B = N$	Self-synchronization, no DC, high bandwidth
Bipolar	AMI	$B = N/2$	No self-synchronization for long 0s, DC
Multilevel	2B1Q	$B = N/4$	No self-synchronization for long same double bits
	8B6T	$B = 3N/4$	Self-synchronization, no DC
	4D-PAM5	$B = N/8$	Self-synchronization, no DC
Multitransition	MLT-3	$B = N/3$	No self-synchronization for long 0s



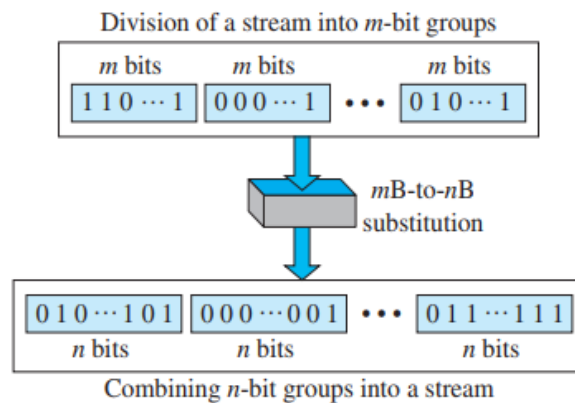
### Block Coding-ul

Avem nevoie de redundanță pentru a asigura sincronizarea și *posibilitatea de detectare a erorilor* inerente. Block Coding-ul poate oferi această redundanță și poate îmbunătăți performanța procedurii de line coding.

Block Coding-ul transformă blocurile de  $m$  biți în blocuri de  $n$  biți, unde  $n$  este mai mare ca  $m$ . Block Coding-ul este numit și procedeu de codificare  $mB/nB$ .

Block Coding-ul implică trei etape: divizarea, substituția și combinarea. La etapa de divizare, un șir de biți este împărțit în grupuri de  $m$  biți. De exemplu, în codificarea  $4B/5B$ , șirul de biți inițial este împărțit în grupuri de 4 biți. Nucleul Block Coding-ului este etapa de substituție, conform căreia se înlocuiește fiecare grup din  $m$  biți cu un grup din  $n$  biți. De exemplu, în codificarea  $4B/5B$ , înlocuim grupul din 4 biți cu un grup din 5 biți. În cele din urmă, grupurile din  $n$  biți sunt concatenate pentru a forma un șir. Noul șir are mai mulți biți decât șirul inițial. Figura 4.14 ilustrează procedura.

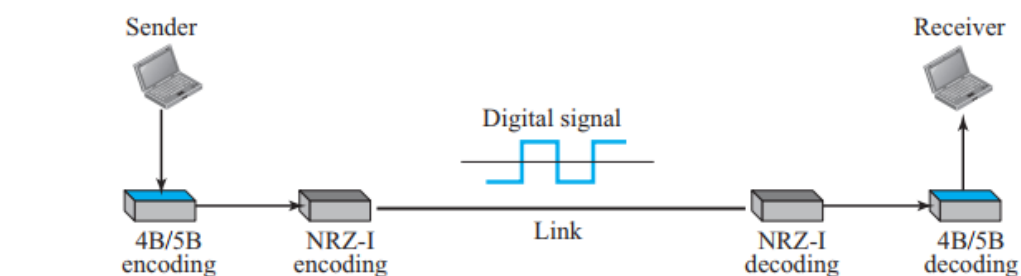
**Figure 4.14** Block coding concept



Schema de block coding 4 binari/cinci binari (4B/5B) a fost proiectată pentru a fi utilizată în combinație cu NRZ-I.

Schema NRZ-I are o rată de semnal bună, o jumătate din cea a bifazei, dar are o problemă de sincronizare. O secvență lungă de biți 0 poate face cronometrul destinatarului să piardă sincronizarea. O soluție este modificarea șirului de biți, înainte de codificarea cu NRZ-I, astfel încât să nu aibă un subșir lung de biți 0. Schema 4B/5B realizează acest obiectiv. Șirul codificat nu are mai mult de trei biți 0 consecutivi. La receptor, semnalul digital codificat NRZ-I este mai întâi decodificat într-un șir de biți și apoi decodificat pentru a elimina redundanța. Figura 4.15 ilustrează ideea.

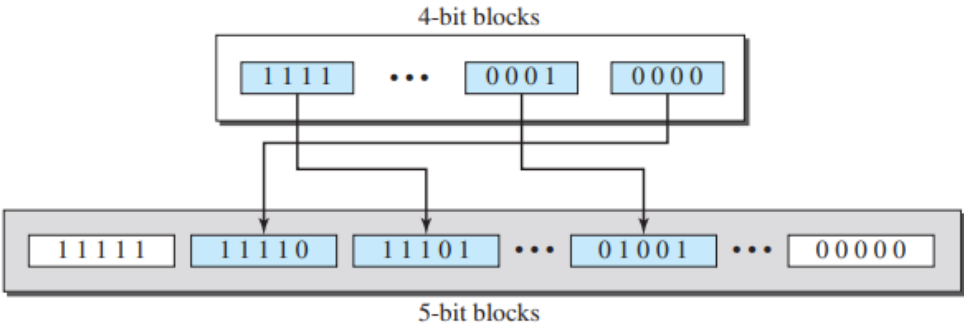
**Figure 4.15** Using block coding 4B/5B with NRZ-I line coding scheme



**Table 4.2** 4B/5B mapping codes

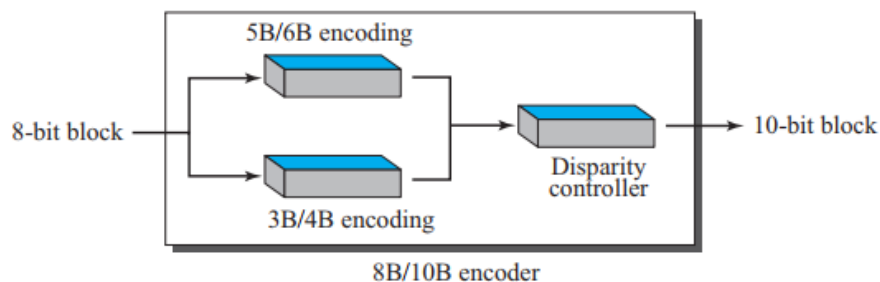
<i>Data Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>	<i>Control Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>
0000	11110	Q (Quiet)	00000
0001	01001	I (Idle)	11111
0010	10100	H (Halt)	00100
0011	10101	J (Start delimiter)	11000
0100	01010	K (Start delimiter)	10001
0101	01011	T (End delimiter)	01101
0110	01110	S (Set)	11001
0111	01111	R (Reset)	00111
1000	10010		
1001	10011		
1010	10110		
1011	10111		
1100	11010		
1101	11011		
1110	11100		
1111	11101		

**Figure 4.16** Substitution in 4B/5B block coding



Schema de block coding 8 binari/10 binari (8B/10B) este similară cu codificarea 4B/5B, cu excepția faptului că un grup de 8 biți de date este acum substituit printr-un șir de 10 biți. Aceasta oferă o capacitate mai mare de detectare a erorilor ca în schema 4B/5B. Procedura de block coding 8B/10B este de fapt o combinație de codificări 5B/6B și 3B/4B, așa cum este ilustrat în Figura 4.17.

**Figure 4.17** 8B/10B block encoding



Dacă putem găsi o modalitate de a evita o secvență lungă de biți 0 în fluxul inițial, putem utiliza AMI bipolar pentru distanțe mari.

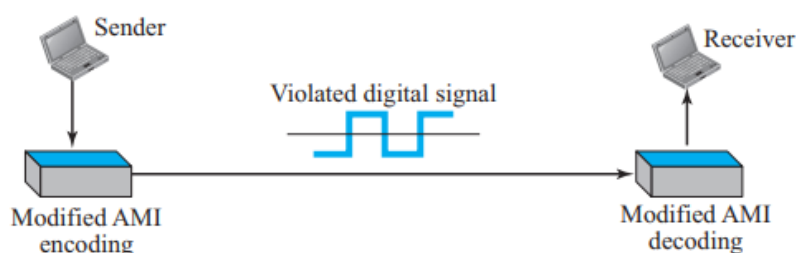
Căutăm o tehnică care să nu crească numărul de biți și care să asigure sincronizarea. Căutăm o soluție care să înlocuiască impulsurile lungi de nivel zero cu o combinație de alte nivele pentru a asigura sincronizarea. O soluție este oferită de procedeul de **scrambling**.

Modificăm o parte din regula AMI pentru a include scrambling-ul, așa cum se arată în figura 4.18. Rețineți că scrambling-ul, spre deosebire de block coding, se face în același timp cu line coding-ul. Sistemul trebuie să insereze impulsurile necesare pe baza regulilor definite de scrambling. Două tehnici comune de scrambling sunt B8ZS și HDB3

---

**Figure 4.18** *AMI used with scrambling*

---

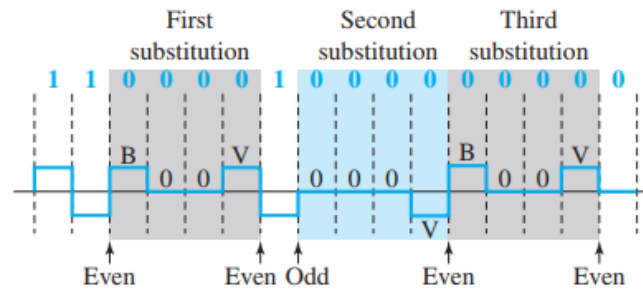




*Schema HDB3 (High-density bipolar 3-zero)* este utilizată frecvent în afara Americii de Nord. În această tehnică, care este mai conservatoare ca B8ZS, patru tensiuni consecutive de nivel zero sunt înlocuite cu o secvență de 000V sau B00V. Motivul pentru două substituții diferite este menținerea numărului egal de impulsuri nule după fiecare substituție. Cele două reguli pot fi enunțate după cum urmează:

1. Dacă numărul de impulsuri nonzero după ultima substituție este impar, modelul de substituție va fi 000V, ceea ce face ca numărul total de impulsuri nonzero să fie par.
2. Dacă numărul de impulsuri nonzero după ultima substituție este par, modelul de substituție va fi B00V, ceea ce face ca numărul total de impulsuri nonzero să fie par. Figura 4.20 ilustrează un exemplu.

**Figure 4.20** *Different situations in HDB3 scrambling technique*

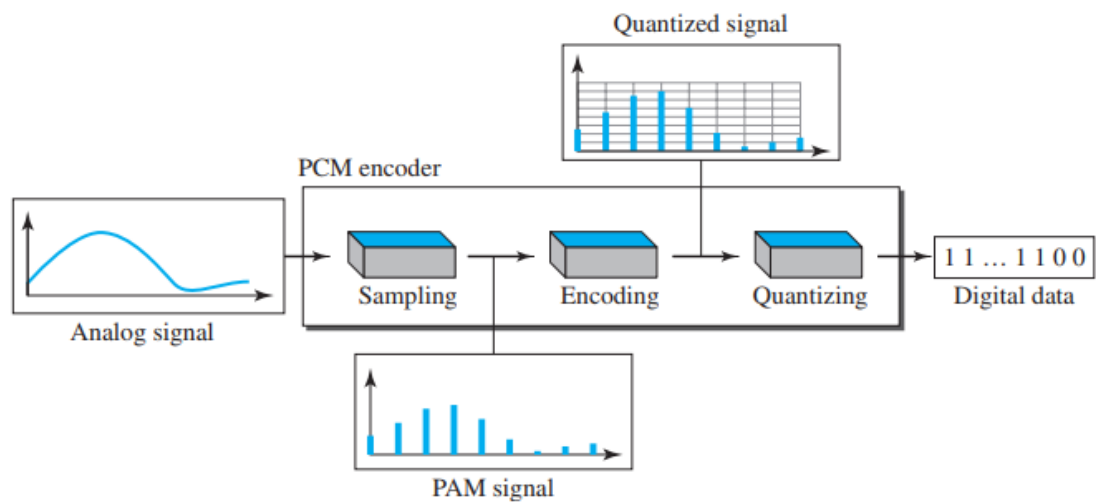


## **Conversia analogic în digital**

Uneori avem un semnal analogic, precum unul creat de un microfon. Se știe că un semnal digital este superior unui semnal analogic. Tendința actuală este de a converti semnalul analogic în date digitale. În această secțiune vom descrie două astfel de tehnici, *pulse code modulation* și *delta modulation*. După ce datele digitale sunt create (procedură numită digitalizare), putem utiliza una dintre tehnicile descrise mai sus pentru a converti datele digitale într-un semnal digital.



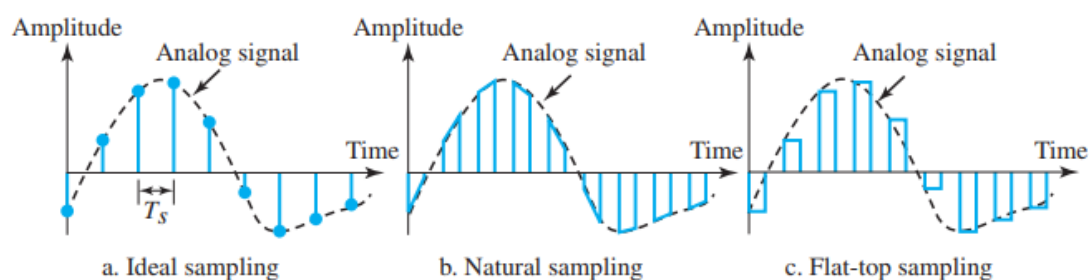
**Figure 4.21** Components of PCM encoder



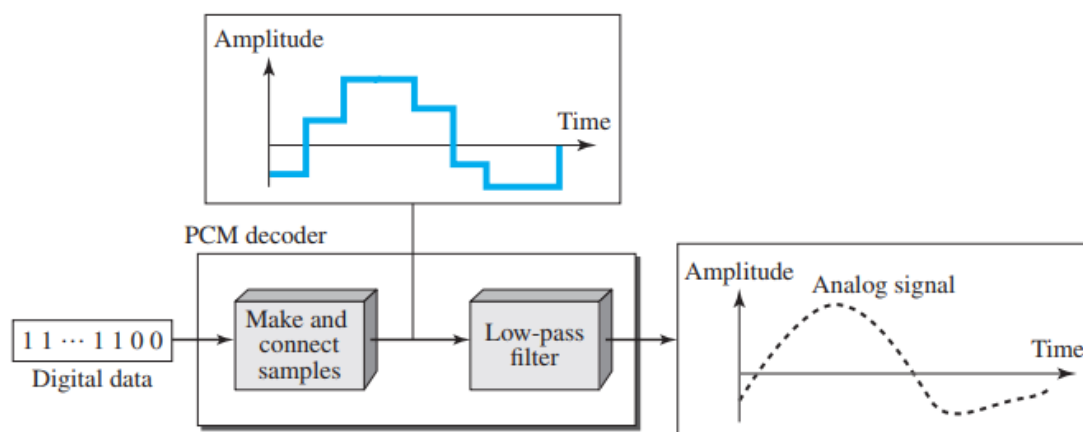
1. Semnalul analog este eșantionat (sampled).
2. Semnalul eșantionat este cuantificat.
3. Valorile cuantificate sunt codificate ca fluxuri de biți.

Primul pas în PCM este sampling-ul. Semnalul analogic este eşantionat la fiecare  $T_s$  secunde, unde  $T_s$  este intervalul sau perioada de eşantionare. Inversul intervalului de eşantionare se numeşte rata de eşantionare sau frecvenţa de eşantionare şi se notează cu  $f_s$ , unde  $f_s = 1/T_s$ . Există trei metode de eşantionare: ideal, natural şi flat-top - aşa cum se arată în Figura 4.22.

**Figure 4.22** *Three different sampling methods for PCM*



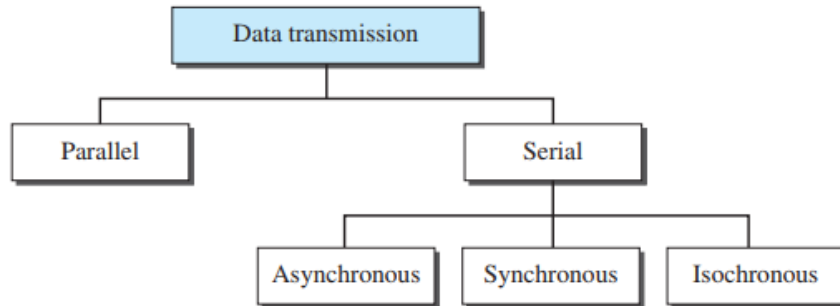
**Figure 4.27** *Components of a PCM decoder*



### ***Moduri de transmitere***

Transmiterea datelor binare printr-un link poate fi realizată fie în paralel, fie în serie. În modul paralel, mai mulți biți sunt trimiși la fiecare tact de ceas. În modul serial, 1 bit este trimis la fiecare tact de ceas. Deși există o singură modalitate de a trimite date paralele, există trei subclase de transmisie în serie: asincronă, sincronă și izocronă (a se vedea Figura 4.31).

**Figure 4.31** *Data transmission and modes*

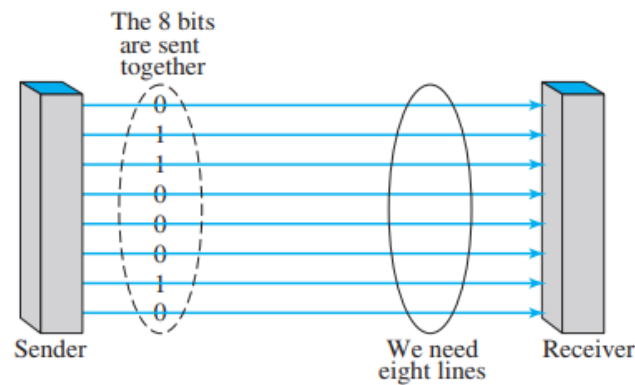


### Transmiterea paralelă

Datele binare, constând din 1 și 0, pot fi organizate în grupuri de  $n$  biți fiecare. Calculatoarele produc și consumă date în grupuri de biți, atât cât concepem și folosim limbajul vorbit sub formă de cuvinte, mai degrabă decât cu litere. Prin grupare, putem trimite câte  $n$  biți simultan în loc de un bit. Aceasta se numește transmisie paralelă.

Mecanismul de transmisie paralelă este unul conceptual simplu: se folosesc  $n$  fire pentru a trimite  $n$  biți simultan. Astfel fiecare bit are propriul fir și toți cei  $n$  biți ai unui grup pot fi transmiși cu fiecare tact de ceas de la un dispozitiv la altul. Figura 4.32 arată cum funcționează transmisia paralelă pentru  $n = 8$ . De obicei, cele opt fire sunt încorporate într-un cablu cu un conector la fiecare capăt.

**Figure 4.32** *Parallel transmission*



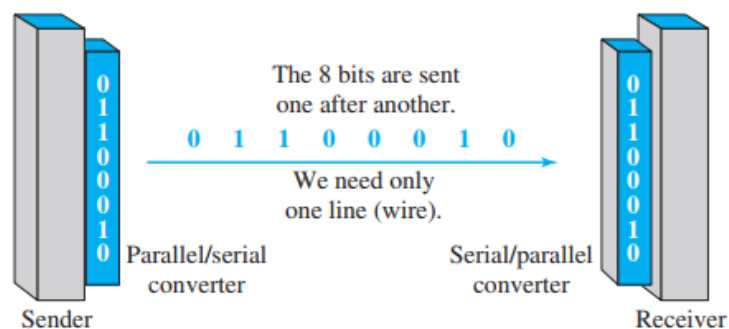
Avantajul transmisiei paralele este viteza. Transmisia paralelă poate crește viteza de transfer cu un factor de  $n$  în raport cu transmisia în serie. Există însă un dezavantaj semnificativ: costul. Transmiterea paralelă necesită  $n$  linii de comunicație (fire de exemplu) doar pentru a transmite fluxul de date. Deoarece acest lucru este scump, transmisia paralelă este de obicei limitată la distanțe scurte.

În transmisia în serie un bit urmează după altul, deci avem nevoie de un singur canal de comunicare, mai degrabă decât de  $n$ , pentru a transmite date între două dispozitive de comunicare (a se vedea figura 4.33).

Avantajul transmisiei seriale în raport cu cea paralelă este că, cu un singur canal de comunicare, transmisia serială reduce costul transmisiei cu aproximativ un factor de  $n$ .

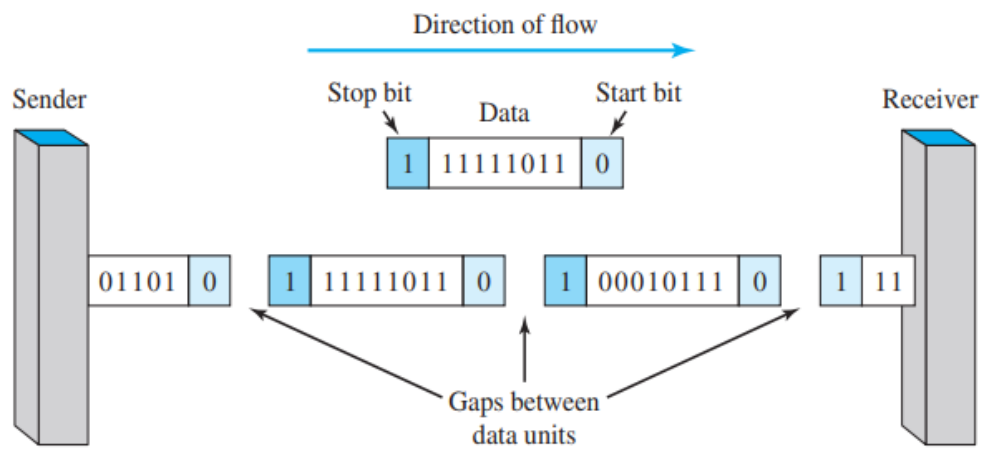
Deoarece comunicarea în interiorul dispozitivelor este paralelă, sunt necesare dispozitive de conversie la interfața dintre expeditor și linie (paralel-serial) și între linie și receptor (serial-paralel). Transmiterea serială are loc într-unul din următoarele trei moduri: asincron, sincron și izocron.

**Figure 4.33** *Serial transmission*



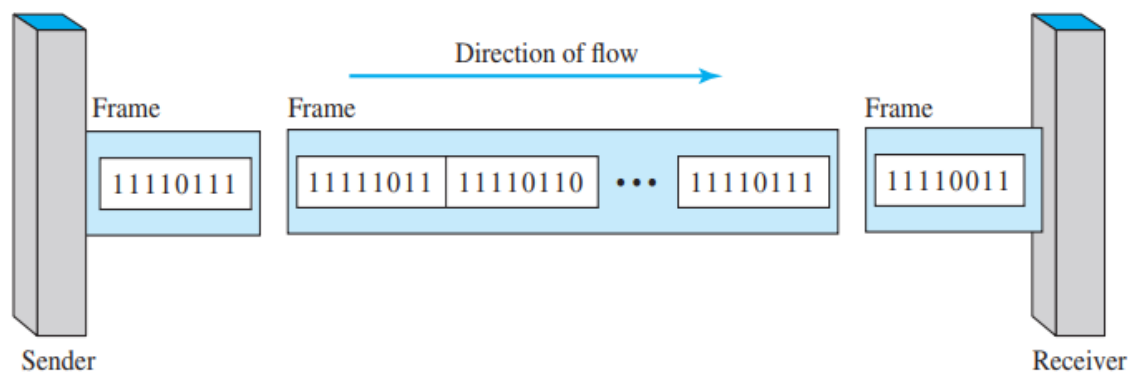
În transmisia asincronă, trimitem un bit de start (0) la început și unul sau mai mulți biți de oprire (biți de 1) la sfârșitul fiecărui octet. Poate exista un decalaj între octeți.

**Figure 4.34** *Asynchronous transmission*



În transmisia sincronă, trimitem biți unul după altul fără biți de start sau de stop și fără de goluri. Este responsabilitatea destinatarului să grupeze biții recepționați.

**Figure 4.35** *Synchronous transmission*



### *Concluzii*

Conversia datelor digitale în semnale digitale implică trei tehnici: line coding, block coding și scrambling. Line coding-ul este procesul de transformare a datelor digitale într-un semnal digital. Putem diviza schemele de line coding în cinci mari categorii: unipolare, polare, bipolare, multinivel și multitranziție. Block coding-ul oferă redundanță pentru a asigura sincronizarea și detectarea erorilor inerente. Block coding-ul este de obicei numit codificare  $mB/nB$ , deoarece înlocuiește fiecare grup de  $m$  biți cu un grup de  $n$  biți. Scrambling-ul asigură sincronizarea fără a amplifica numărul de biți. Două tehnici comune de scrambling sunt B8ZS și HDB3.

Cea mai frecventă tehnică pentru a converti un semnal analogic în date digitale (digitalizare) este numită pulse code modulation (PCM). Primul pas în PCM este sampling-ul (prelevarea de probe). Semnalul analog este eșantionat la fiecare  $T_s$  secunde, unde  $T_s$  este intervalul de eșantionare sau perioada. Inversul intervalului de eșantionare se numește rata de eșantionare sau frecvența de eșantionare și se notează cu  $f_s$ , unde  $f_s = 1/T_s$ . Există trei metode de eșantionare: ideală, naturală și flat-top. Conform teoremei Nyquist, pentru a reproduce semnalul analogic original, o condiție necesară este ca rata de eșantionare să fie cel puțin de două ori mai mare ca frecvența maximală a semnalului inițial. Alte tehnici de eșantionare au fost dezvoltate pentru a reduce complexitatea PCM. Cea mai simplă este delta modulation (DM). PCM găsește valoarea amplitudinii semnalului pentru fiecare eșantion; DM determină modificarea din eșantionul precedent.

Deși există o singură modalitate de a trimite date paralele, există trei subclase de transmisie în serie: asincronă, sincronă și izocronă. În transmisia asincronă, trimitem un bit de start (0) la început și unul sau mai mulți biți de stop (1) la sfârșitul fiecărui octet. În transmisia sincronă, trimitem biți unul după altul fără biții de start și de stop și fără de goluri. Este responsabilitatea destinatarului să grupeze biții recepționați. Modul izocron asigură sincronizarea întregului flux de biți. Cu alte cuvinte, acest mod garantează că datele ajung cu o rată fixă.



### ***Transmiterea datelor analogice***

Știm că în timp ce transmisia digitală este preferabilă în raport cu transmisia analogică, pentru aceasta este necesar un canal low-pass. De asemenea, știm că transmisia analogică este singura opțiune dacă avem un canal bandpass.

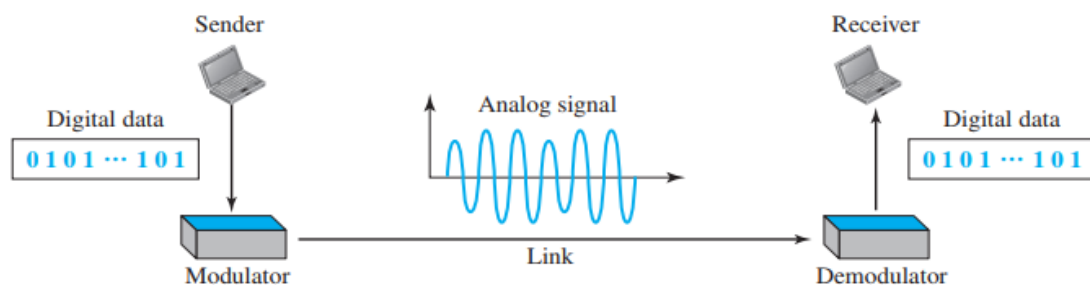
Conversia datelor digitale într-un semnal analogic pentru canale bandpass este denumită conversie digital-analogică. Conversia unui semnal analogic pentru canale low-pass într-un semnal analogic pentru canale bandpass este numită conversie analogică-analogică.

Vom discuta în continuare doar despre schemele de conversie a datelor digitale într-un semnal analogic, atunci când este disponibil un canal band-pass.

Prima metodă descrisă se numește Amplitude Shift Keying (ASK), în care amplitudinea semnalului purtător este modificată, folosind datele digitale. A doua metodă descrisă se numește Frequency Shift Keying (FSK), în care frecvența semnalului purtător este modificată, folosind datele digitale. Cea de-a treia metodă descrisă se numește Phase Shift Keying (PSK), în care faza semnalului purtător este modificată pentru a reprezenta datele digitale. A patra metodă descrisă se numește Quadrature Amplitude Modulation (QAM), în care atât amplitudinea, cât și faza semnalului purtător sunt modificate pentru a reprezenta datele digitale.

Conversia digital-analogică este procesul de modificare a uneia dintre caracteristicile unui semnal analogic, bazat pe informațiile din datele digitale. Figura 5.1 arată relația dintre informațiile digitale, procesul de modulare digital-analogică și semnalul analog rezultat.

**Figure 5.1** *Digital-to-analog conversion*

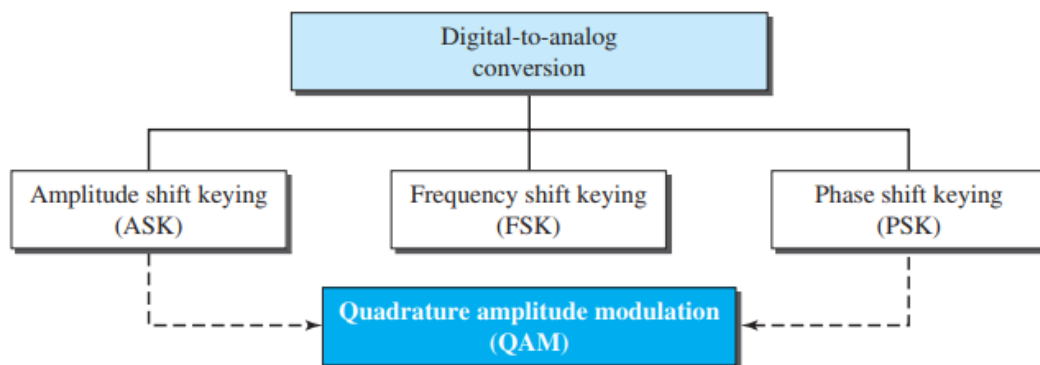


O undă sinusoidală este definită prin trei caracteristici: amplitudine, frecvență și fază. Când schimbăm oricare dintre aceste caracteristici, creăm o versiune diferită a undei respective. Deci, modificând o caracteristică a unui semnal electric simplu, îl putem folosi pentru a reprezenta datele digitale. Oricare dintre cele trei caracteristici poate fi modificată în acest fel, oferindu-ne cel puțin trei mecanisme de modulare a datelor digitale într-un semnal analogic: amplitude shift keying (ASK), frequency shift keying (FSK) și phase shift keying (PSK). În plus, există un al patrulea mecanism, care combină modificarea atât a amplitudinii, cât și a fazei, numit quadrature amplitude modulation (QAM). QAM este cea mai eficientă dintre aceste opțiuni și este mecanismul utilizat în mod curent astăzi (a se vedea Figura 5.2).

---

**Figure 5.2** *Types of digital-to-analog conversion*

---



Rata de biți este numărul de biți emiși de dispozitiv pe secundă. Rata de transfer (baud rate) este numărul de elemente de semnal pe secundă. În transmisia analogică a datelor digitale, rata de transfer este mai mică sau egală cu rata de biți.

În transport, baud-ul este similar cu un vehicul, iar un bit este similar unui pasager. Pentru a reduce traficul de mașini trebuie să maximizăm numărul de pasageri per mașină.

### *Carrier Signal*

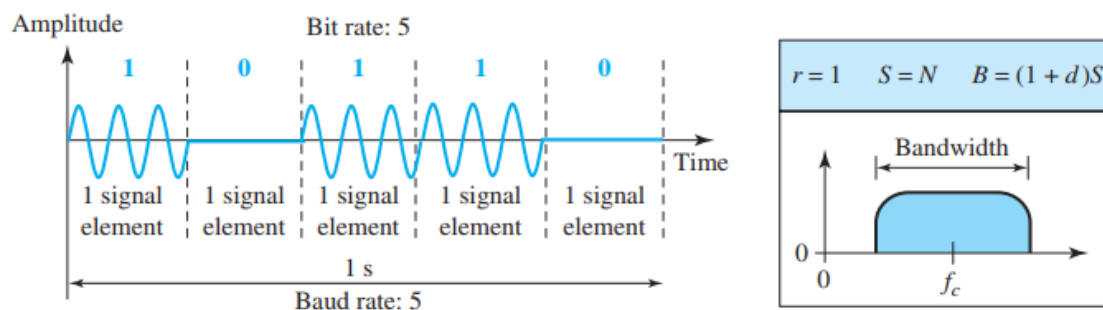
În transmisia analogică, dispozitivul sursă produce un semnal de înaltă frecvență care constituie o bază pentru semnalul informațional. Acest semnal de bază se numește semnal purtător sau frecvența purtătorului. Dispozitivul destinatar este reglat pe frecvența semnalului purtător pe care îl așteaptă de la expeditor. Informațiile digitale modifică apoi semnalul purtătorului, modificând una sau mai multe dintre caracteristicile sale (amplitudine, frecvență sau fază). Acest tip de modificare se numește *modulare* (shift keying).

### Amplitude Shift Keying

În Amplitude Shift Keying, amplitudinea semnalului purtător este variată pentru a crea elemente de semnal. Atât frecvența, cât și faza rămân constante în timp ce amplitudinea se schimbă.

Deși putem avea mai multe nivele (tipuri) de elemente de semnal, fiecare cu o amplitudine diferită, ASK este implementat folosind doar două nivele. Acest procedeu este numit *binary amplitude shift keying*. Amplitudinea maximă a unui nivel de semnal este 0; cealaltă este aceeași cu amplitudinea frecvenței purtătoare. Figura 5.3 oferă o vedere conceptuală a procedurii ASK binar.

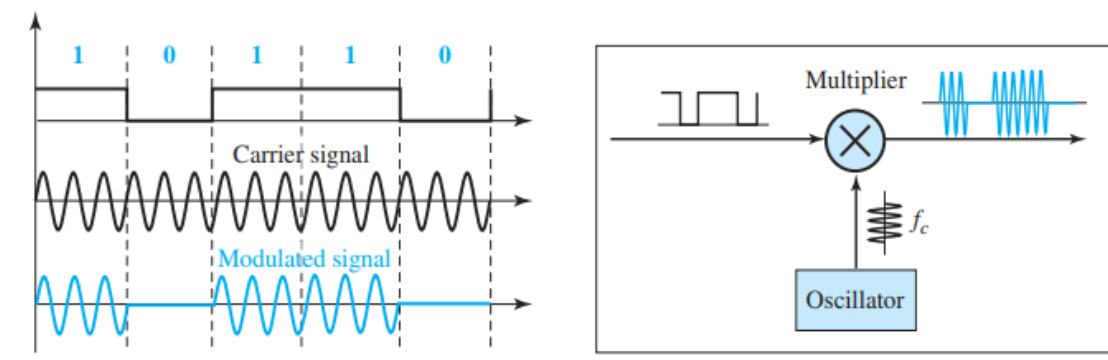
**Figure 5.3** Binary amplitude shift keying



Deși semnalul purtător este doar o singură undă sinusoidală, procesul de modulare produce un semnal compus neperiodic.

Figura 5.4 arată cum putem simplu implementa procedeul ASK binar.

**Figure 5.4** *Implementation of binary ASK*



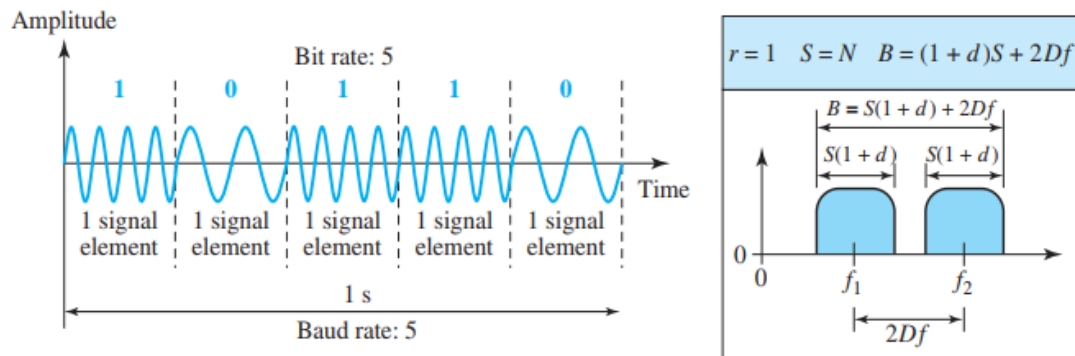
### Frequency Shift Keying

În *Frequency Shift Keying*, frecvența semnalului purtător este variată pentru a reprezenta datele. Frecvența semnalului modulat este constantă pe durata unui element de semnal, dar se schimbă pentru următorul element de semnal dacă elementul de date se schimbă. Atât amplitudinea maximală, cât și faza, rămân constante pentru toate elementele de semnal.

#### Procedeul Binary FSK

Procedeul FSK binar (sau BFSK) ia în considerare două frecvențe purtătoare. În Figura 5.6, am selectat două frecvențe purtătoare,  $f_1$  și  $f_2$ . Folosim primul purtător dacă elementul de date este 0; îl folosim pe al doilea dacă elementul de date este 1. Exemplul prezentat nu este unul realist, ci este folosit doar în scop demonstrativ. De regulă, frecvențele purtătoare sunt foarte mari, iar diferența dintre ele este foarte mică.

**Figure 5.6** Binary frequency shift keying





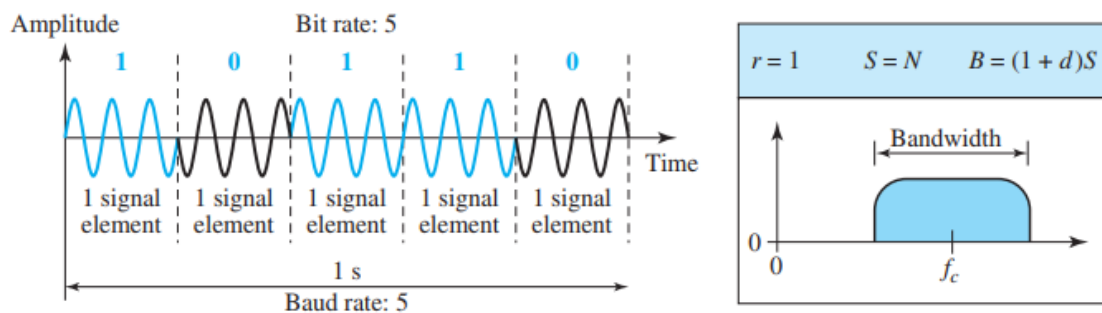
### Phase Shift Keying

În Phase Shift Keying, faza purtătorului este variată pentru a reprezenta două sau mai multe elemente de semnal diferite. Atât amplitudinea maximă, cât și frecvența rămân constante pe măsură ce faza se schimbă. Astăzi, PSK este mai frecvent utilizată decât ASK sau FSK. Cu toate acestea, procedeul QAM, care combină ASK și PSK, este metoda dominantă de modulare digital-analogică.

#### Procedeul Binary PSK (BPSK)

Cea mai simplă variantă de PSK este PSK binar, în care avem doar două elemente de semnal, unul cu o fază de  $0^\circ$ , iar celălalt cu o fază de  $180^\circ$ . Figura 5.9 ilustrează PSK. Procedeul PSK binar este la fel de simplu ca procedeul ASK binar, cu un mare avantaj - este mai puțin sensibil la zgomot. În ASK, criteriul pentru detectarea biților este amplitudinea semnalului; în PSK, este faza. Zgomotul poate schimba amplitudinea mai ușor decât poate schimba faza. Cu alte cuvinte, PSK este mai puțin sensibil la zgomot decât ASK. PSK este superior lui FSK, deoarece nu avem nevoie de două semnale purtătoare. Cu toate acestea, PSK are nevoie de un hardware mai sofisticat pentru a putea distinge între faze.

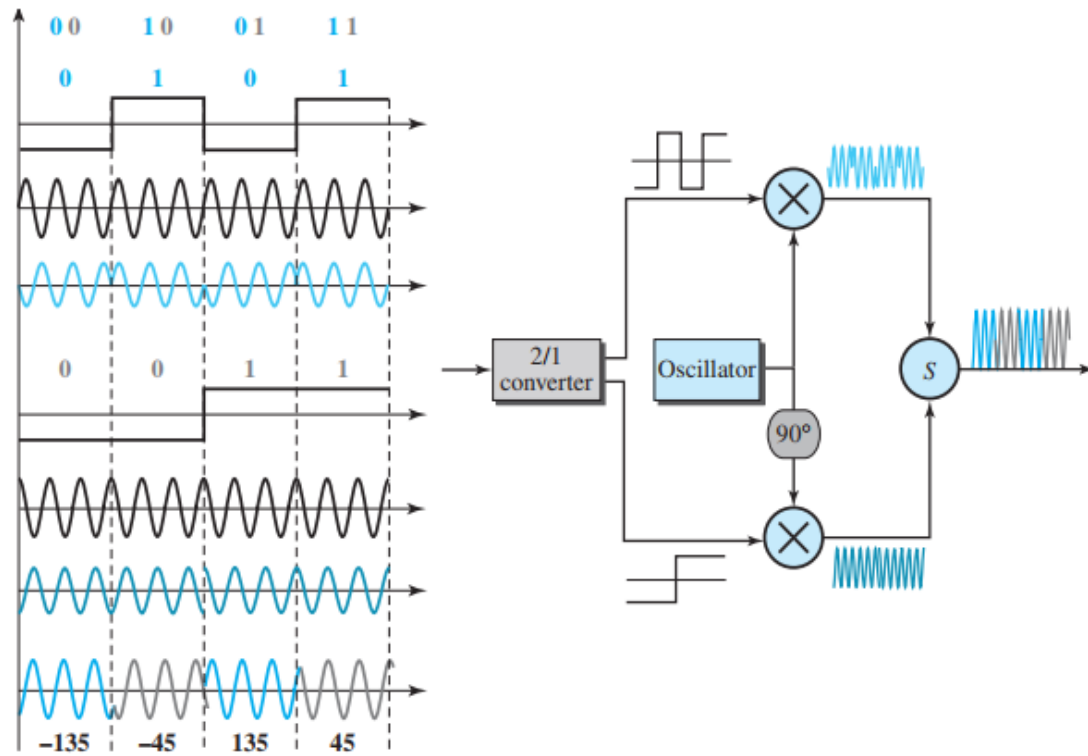
**Figure 5.9** Binary phase shift keying



### Quadrature PSK (QPSK)

Simplitatea BPSK a indus ideea de a folosi 2 biți simultan în fiecare element de semnal, scăzând astfel viteza de transfer (baud rate) și, eventual, lățimea de bandă necesară. Schema se numește *Quadrature PSK sau QPSK*, deoarece folosește două modulări BPSK separate; una este in-faza, cealaltă - quadratura (în afara fazei). Biții sunt trecuți mai întâi printr-o conversie serial-paralelă, care trimite un bit la un modulator și următorul bit la celălalt modulator. Dacă durata fiecărui bit din semnalul de intrare este  $T$ , durata fiecărui bit trimis la semnalul BPSK corespunzător este  $2T$ . Aceasta înseamnă că bitul pentru fiecare semnal BPSK are jumătate din frecvența semnalului inițial. Figura 5.11 prezintă ideea.

**Figure 5.11** *QPSK and its implementation*



### Quadrature Amplitude Modulation

PSK este limitat de capacitatea echipamentului de a distinge mici diferențe de fază. Acest factor îi limitează rata potențială de biți. Până în prezent, am modificat doar una dintre cele trei caracteristici ale unei unde sinusoidale simultan. Dar dacă schimbăm două? De ce să nu combinăm ASK și PSK? Ideea de a utiliza două semnale purtătoare, unul in-faza și celălalt quadratura, cu niveluri de amplitudine diferite pentru fiecare semnal purtător, este conceptul din spatele *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Variațiile posibile ale QAM sunt numeroase. Figura 5.14 prezintă unele dintre aceste scheme. Figura 5.14a prezintă cea mai simplă schemă 4-QAM (patru tipuri de elemente de semnal diferite), folosind un semnal NRZ unipolar pentru a modula fiecare semnal purtător. Acesta este același mecanism pe care l-am folosit pentru ASK. Figura 5.14b arată un alt 4-QAM ce folosește NRZ polar, dar aceasta este exact aceeași ca QPSK. Figura 5.14c arată un alt QAM-4 în care am folosit un semnal cu două nivele pozitive pentru a modula fiecare dintre cele două semnale purtătoare. În cele din urmă, Figura 5.14d arată o constelație de 16-QAM a unui semnal cu opt nivele, patru pozitive și patru negative.

**Figure 5.14** Constellation diagrams for some QAMs

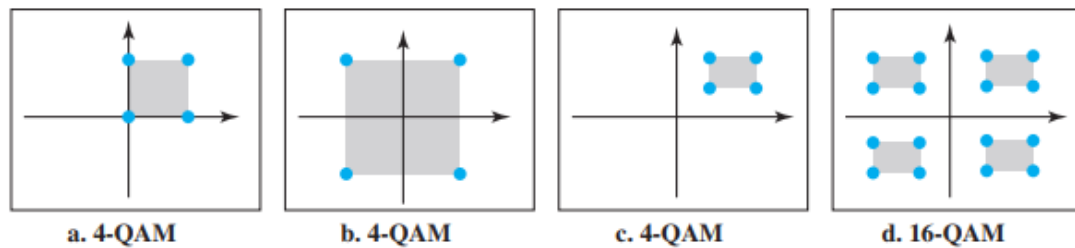


Diagrama constelație