

mai răspândită. Conform acestei tabele, grupuri specifice de 2, 3 sau 4 biți sunt codificate în tranziții de flux având 4, 6, respectiv 8 celule de tranziții. Tranzițiile utilizate pentru codificarea unei secvențe de biți sunt alese astfel încât tranzițiile de flux să nu fie nici prea apropiate, nici prea depărtate unele față de altele (Tabelul 5.3).

**Tabelul 5.3.** Codificarea RLL 2,7.

Biți de informație	Codificare în tranziții de flux
10	NTNN
11	TNNN
000	NNNTNN
010	TNNTNN
011	NNTNNN
0010	NNTNNTNN
0011	NNNNTNNN

Pentru toate cele trei metode de codificare prezentate, distanța minimă și cea maximă între două tranziții de flux consecutive este aceeași. Densitatea tranzițiilor de flux este deci neschimbată, deși cantitatea informațiilor codificate este diferită.

#### 5.6.1.4. Metoda de codificare și detecție PRML

##### Prezentare generală

PRML este acronimul pentru *Partial Response Maximum Likelihood* (răspuns parțial, probabilitate maximă). Tehnologia PRML nu este nouă: ea a fost propusă inițial de un grup de cercetători de la IBM la începutul anilor '70. Această tehnologie a fost utilizată timp de aproape două decenii în domeniul comunicațiilor de date, una din aplicațiile acesteia fiind îmbunătățirea performanțelor modemurilor. PRML nu este o tehnologie complet nouă nici pentru industria discurilor fixe: IBM a introdus prima generație de canale de detecție bazate pe această metodă în 1990. Formele mai avansate ale acestei tehnologii au fost introduse însă de firma *Quantum Corporation*. O primă generație a unui canal de detecție a fost inclusă în 1993 de această firmă în unitățile de discuri *Empire 1440/2160*, iar a doua generație a fost utilizată în unitățile *Grand Prix 2130/4270* [26].

Canalele de detecție PRML permit producătorilor unităților de discuri să satisfacă principalele cerințe pentru noile unități de discuri: performanțe îm-

bunătățite și o integritate ridicată a datelor. Aceste canale reprezintă un avans tehnologic major față de canalele de detecție tradiționale, la care creșterea densității datelor sau a ratelor de transfer pot afecta în mod negativ integritatea datelor.

Tehnologia canalelor de detecție PRML introdusă de firma *Quantum* utilizează o metodă eficientă de codificare a datelor pe lângă tehnici avansate de filtrare digitală și de detecție a datelor. Ca rezultat, a devenit posibilă creșterea densității de înregistrare cu 30-40% față de metodele tradiționale, ca și creșterea ratelor interne de transfer ale unităților de discuri. Aceste rate ridicate de transfer permit utilizarea unităților de discuri în aplicații legate de multimedia și grafică.

Canalele de detecție PRML sunt compatibile atât cu noile capete de citire/scriere magnetorezistive, cât și cu capetele inductive cu film subțire. Aceste canale permit de asemenea utilizarea altor tehnologii, ca înregistrarea zonată și servomecanismele înglobate.

### **Principiul metodei PRML**

Canalele de detecție PRML elimină efectele negative ale fenomenului de *interferență între simboluri*, care poate apare la citirea datelor în cazul unităților de discuri cu densități ridicate de înregistrare. Pe măsura creșterii densității de înregistrare, vârfulurile formelor de undă ale semnalului analogic care sunt detectate în timpul operațiilor de citire se succed în fața capului de citire cu rate ridicate. La aceste rate apare posibilitatea ca vârfulurile semnalului să se suprapună, ducând la apariția interferenței între simboluri, care poate conduce la rândul ei la erori de citire.

Canalele PRML previn asemenea erori de citire la unitățile cu densități de înregistrare ridicate prin utilizarea unor tehnici de filtrare digitală care modifică forma semnalului citit astfel încât acesta să aibă caracteristici dorite de frecvență și sincronizare (obținând deci caracteristica de “răspuns parțial” a PRML). Aceste canale utilizează apoi prelucrarea digitală și detectarea digitală pentru a determina secvența cea mai probabilă a biților de date care au fost înregistrați pe disc (componenta de “probabilitate maximă” a PRML). Această metodă de detectare cu acuratețe ridicată este implementată utilizând algoritmul *Viterbi*, după numele lui Andrew Viterbi, cel care a inventat algoritmul.

Deci, canalele PRML asigură integritatea ridicată a datelor, permițând în același timp creșteri semnificative ale densității de înregistrare. Asemenea creșteri conduc, la rândul lor, la rate interne de transfer mai ridicate, deoarece cu creșterea densității liniare de înregistrare, măsurată în biți pe inch (*bpi*), crește numărul de biți care pot fi transferați într-un interval de timp dat de la un disc al unității la canalul de citire [25].

Metoda PRML diferă în mod semnificativ de metoda de detecție utilizată de canalele tradiționale de citire, care nu compensează efectul interferenței între simboluri. Aceste canale tradiționale reduc posibilitatea unor interferențe semnificative prin utilizarea în timpul operațiilor de scriere a unei metode de codificare a datelor care separă în mod eficient vârful semnalului analogic în timpul operațiilor de citire. Circuitele de detecție analogică ale canalului de citire pot detecta cu acuratețe fiecare vârf al semnalului.

Problema care apare în cazul detecției tradiționale este că metoda de codificare a datelor reduce de obicei cantitatea datelor utile față de cantitatea totală a datelor care pot fi memorate pe un disc. Această reducere are două efecte asupra unităților de discuri: sunt necesare mai multe discuri pentru a obține capacitatea necesară, și scăderea densității de înregistrare reduce rata de transfer a datelor.

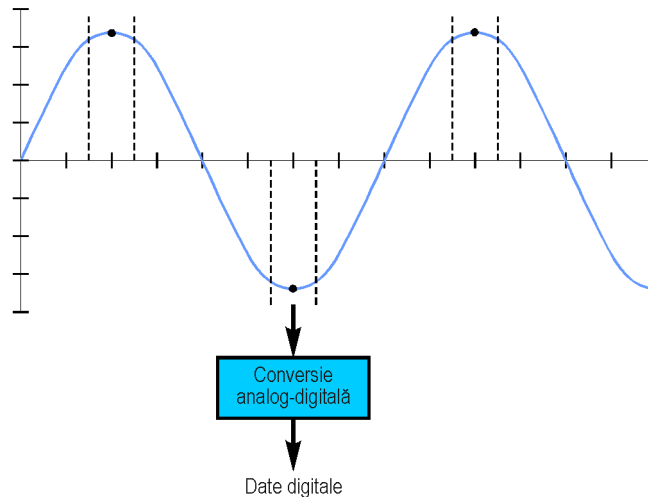
Prin utilizarea canalelor avansate de detecție PRML se pot obține aceleași rate reduse ale erorilor ca și în cazul detecției tradiționale, utilizând aceleași capete de citire/scriere și același tip de suport, obținându-se însă densități, capacități și performanțe mai ridicate.

### **Operațiile executate de un canal PRML**

Pentru înțelegerea canalelor de citire PRML, se consideră mai întâi funcționarea unui canal tradițional. În principiu, canalul de citire execută codificarea datelor și conversiile necesare pentru scrierea informațiilor digitale pe suportul magnetic, și apoi citește aceste informații cu un grad de acuratețe ridicat. În timpul unei operații de scriere, datele codificate sunt convertite în semnale analogice, care sunt utilizate de capul de citire/scriere al unității pentru generarea tranzițiilor de flux magnetic pe suport. În timpul unei operații de citire, capul de citire/scriere detectează schimbările de flux magnetic de pe disc, și generează un semnal analogic care este transmis la canalul de citire. Canalul de citire analizează semnalul pentru a detecta vârful pozitiv și negativ ale acestuia (fiecare din aceste vârfuri reprezentând un bit de date), convertește datele în informații digitale, și în final decodifică datele în secvența originală de biți de 1 și 0 (Figura 5.9).

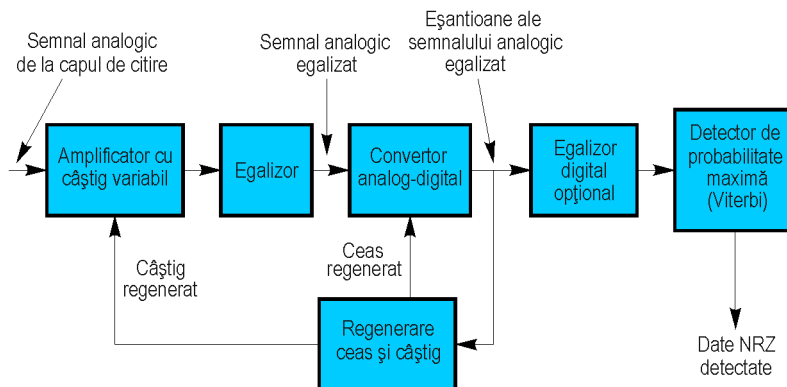
Detecția PRML se bazează pe două presupuneri:

- Forma semnalului citit, provenit de la o tranziție izolată, este cunoscută cu exactitate și determinată.
- Suprapunerea semnalelor de la tranziții adiacente este liniară.



**Figura 5.9.** Detectarea vârfurilor la canalele de citire obișnuite.

Schema-bloc a unui sistem PRML tipic este ilustrată în Figura 5.10.



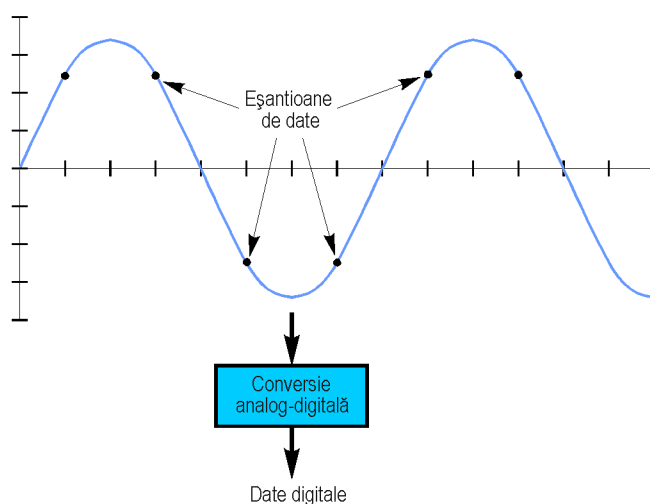
**Figura 5.10.** Structura unui canal de citire PRML.

Semnalul analogic, provenit de la capul de citire, trebuie să aibă un anumit nivel constant de amplificare. Acest nivel se asigură cu ajutorul unui amplificator cu câștig variabil. Pentru a menține constant nivelul semnalului, acest amplificator primește un semnal de control de la un sistem de regenerare a ceasului și a câștigului [25].

De obicei, forma semnalului provenit de la capul de citire trebuie modificată. Această modificare a formei poate fi considerată ca o ajustare a lățimii impulsului pentru ca aceasta să fie proporțională cu distanța între tranziții. Mo-

dificarea formei semnalului este realizată cu ajutorul unui egalizor. Un egalizor este un filtru liniar programabil având un răspuns specific în frecvență. Semnalul analogic de la ieșirea egalizorului are o formă ușor modificată față de semnalul nemodificat provenit direct de la capul de citire.

Semnalul de la ieșirea egalizorului este eșantionat cu ajutorul unui convertor analog-digital. Eșantionarea este inițiată de semnalul de ceas o dată în fiecare perioadă corespunzătoare unui bit. Frecvența și faza semnalului de ceas este ajustată cu un sistem de regenerare a ceasului. Față de metoda tradițională, la care se detectează numai vârfurile semnalului analogic, în acest caz semnalul este eșantionat în mai multe puncte ale formei de undă (Figura 5.11). Prin această eșantionare, canalul PRML poate determina forma semnalului citit, și astfel poate interpreta cu o acuratețe ridicată vârfurile pozitive și negative care reprezintă biții de date. Semnalul de la ieșirea convertorului analog-digital este un șir de eșantioane digitale.



**Figura 5.11.** Eșantionarea semnalului analogic la un canal de citire PRML.

Eșantioanele digitale sunt filtrate uneori cu un filtru digital suplimentar. Această nouă operație de filtrare poate îmbunătăți calitatea egalizării analogice. Filtrul modifică eșantioanele de date astfel încât ele se vor grupa în jurul a trei valori: zero, o valoare negativă, și o valoare pozitivă.

Eșantioanele de la ieșirea convertorului analog-digital sunt utilizate pentru a detecta prezența tranzițiilor în semnalul citit. În cazul în care calitatea semnalului este bună, se poate utiliza un simplu detector de prag pentru a se detecta o tranziție, prin compararea valorilor eșantioanelor cu o valoare de prag.

Totuși, o detecție de o calitate mai bună poate fi asigurată cu un detector de probabilitate maximă, care poate fi implementat printr-un detector *Viterbi*.

Diferența esențială dintre detecția vârfurilor și detecția *Viterbi* este că circuitele de detecție a vârfurilor detectează un bit de date la un moment dat, în timp ce algoritmul *Viterbi* detectează simultan o întreagă secvență de biți. Atunci când circuitele digitale care execută detecția *Viterbi* recepționează un eșantion de date, acestea nu trebuie să decidă imediat dacă eșantionul reprezintă un bit de 1 sau de 0 în cadrul datelor originale. Aceste circuite compară secvențe de eșantioane cu secvențe de eșantioane posibile, și pe baza acestei comparații determină cea mai probabilă secvență de biți de date care a fost înregistrată pe disc.

După detecția *Viterbi*, canalul PRML decodifică datele în secvența originală de date care au fost transferate pe disc.

### **O metodă de codificare RLL mai eficientă**

Atât canalele de citire care utilizează detecția vârfurilor, cât și canalele PRML utilizează metoda RLL de codificare a datelor, varianta utilizată de obicei fiind RLL 1,7. Această metodă impune restricții asupra datelor care sunt înregistrate pe disc. Astfel, în cazul variantei RLL 1,7 trebuie să existe cel puțin o celulă de tranziție între două tranziții de flux consecutive, ceea ce înseamnă un interval de timp corespunzător pentru cel puțin doi biți. De asemenea, pot exista cel mult 7 celule de tranziții între două tranziții de flux consecutive, sau un interval de timp corespunzător pentru cel mult opt biți.

Restricțiile metodei de codificare RLL sunt cele care separă vârfurile într-un canal de citire bazat pe detecția vârfurilor și reduc interferența între simboluri în timpul citirii datelor. Datorită acestor restricții se evită erorile de citire. Dezavantajul cerinței ca să existe o celulă de tranziție între două tranziții de flux consecutive este spațiul ocupat pe disc. Rezultatul este că în cazul unităților de discuri care utilizează detecția tradițională raportul între datele utile și datele înregistrate este de numai  $2/3$ , ceea ce conduce la densități și rate de transfer relativ reduse.

În cazul canalelor PRML mai avansate, metoda de codificare RLL 1,7 este înlocuită cu metoda RLL  $0,k$ . Aceasta înseamnă că pe disc pot exista tranziții de flux separate de o perioadă de timp corespunzătoare unui singur bit, vârfurile semnalului analogic citit nefiind separate.

Rezultatul acestei metode de codificare mai eficiente este că raportul între datele utile și datele înregistrate crește la  $8/9$  în cazul canalelor PRML din