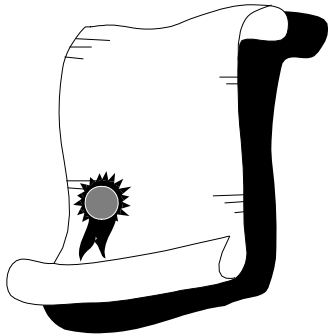


## CONTROLUL LEGĂTURII DE DATE



### **Subiecte**

#### **4.1. Controlul fluxului**

##### **4.1.1. Protocolul cu oprire și așteptare (Stop and Wait)**

##### **4.1.2. Protocolul cu fereastră glisantă (Sliding Window Protocol)**

#### **4.2. Controlul erorilor. Protocoalele ARQ**

#### **4.3. Familia de protocoale HDLC**

### ***Evaluare: 1. Răspunsuri la întrebări și aplicații***

Nivelul 2, legătură de date este responsabil cu transmiterea în siguranță a pachetelor de date între două noduri conectate direct. În nivelul 2, legătură de date, se face secționarea mesajelor în pachete, încadrarea lor cu delimitatori de început și de sfârșit de mesaj, se asigură transparența de cod, controlul fluxului și al erorilor.

La **transmisia orientată pe bit** sau pe mesaj, **delimitatorii** au o structură ca cea de la HDLC, de forma 01111110 la rețelele terestre, respectiv 01111111.11111110 la rețelele prin satelit, atât pentru delimitatorii de început de pachet cât și pentru delimitatorii de sfârșit de pachet. Dacă această structură apare în câmpul de date, ar putea duce la terminarea transmisiei. De aceea trebuie asigurată **transparența de cod**, adică se iau măsuri ca informația din câmpul de date să nu poată fi interpretată ca și comenzi ale legăturii de date. Pentru cazul expus, dacă în câmpul de date apar 5 de 1 succesiv, atunci va fi introdus automat un 0, de către hardware-ul de la emisie, 1 care va fi scos automat de hardware-ul de la recepție. Tehnica se numește dopare cu biți.

La **transmisia orientată pe caracter**, delimitarea se face prin caractere de tip STX (Start of Text) și ETX (End of Text), care trebuie precedate de un caracter DLE (Data Link Escape), pentru a fi interpretate ca și caractere de comandă a legăturii de date. De aceea, dacă în câmpul de date apare un caracter DLE, care ar valida următorul caracter ca fiind un caracter de comandă a legăturii de date, se asigură transparența de cod, prin dublarea automată a caracterului DLE la emisie, de către hardware-ul de la emisie, și ștergerea automată a caracterului DLE suplimentar, de către hardware-ul de la recepție. În acest caz avem o dopare cu caractere pentru asigurarea transparenței de cod.

### **4.1. Controlul fluxului**

Controlul fluxului se referă la adaptarea de viteză dintre un transmițător rapid și un receptor lent. Transmițătorul trebuie să maximizeze debitul, dar nu trebuie să inunde receptorul. Dacă este cazul, transmițătorul trebuie să-și oprească emisia, până când receptorul îi va permite să transmită din nou. Reglarea sau controlul fluxului se

poate face folosind fie un protocol cu oprire și așteptare, fie un protocol cu fereastră glisantă.

#### **4.1.1. Protocolul cu oprire și așteptare (Stop and Wait)**

Emițătorul transmite câte un pachet și așteaptă confirmarea recepției lui, înainte de a transmite următorul pachet sau cadru. Dacă sosește o confirmare pozitivă, va transmite următorul cadru, iar dacă sosește o confirmare negativă, va retransmite cadrul initial. Tehnica este eficientă dacă pachetele de date sunt lungi și timpul de propagare este redus. Linia de date este ocupată practic în permanență și eficiența este mare.

În realitate nu se pot folosi pachete prea lungi, deoarece odată cu lungimea crește și probabilitatea de eronare în timpul transmisiei. În plus, dacă avem o rețea Ethernet de exemplu, o stație care transmite pachete foarte lungi, va monopoliza mediul odată ce l-a achiziționat.

Se folosesc notațiile: ACK (acknowledgement) pentru o confirmare pozitivă, NAK pentru o confirmare negativă,  $t_{frame}$  durata cadrului,  $t_{prop}$  timpul de propagare, și  $a$  timpul de propagare normalizat la durata cadrului  $a = t_{prop} / t_{frame}$ . Lucrând cu valori normalizate rezultă că timpul normalizat de transmitere a cadrului este 1.

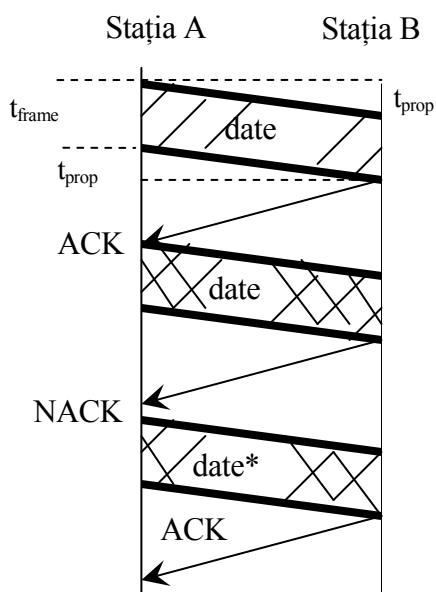


Fig. 4.1. Protocolul Stop and Wait

**Utilizarea U**, sau eficiența folosirii liniei de comunicație, reprezintă raportul dintre timpul util de transmisiune, și timpul total de ocupare a liniei pentru respectiva transmisiune. Timpul util de transmisiune este timpul de transmitere a cadrului, iar timpul total de ocupare a liniei este timpul necesar pentru transmiterea cadrului, adică timpul de propagare a cadrului până la receptor plus timpul de propagare a confirmării de la receptor la emițător, considerând neglijabil

## Modulul 4

### Controlul legăturii de date

timpul necesar pentru transmiterea confirmării. Atunci, pentru o transmisiune completă, utilizarea va fi:

$$U = \frac{t_{frame}}{2t_{prop} + t_{frame}} \Rightarrow U = \frac{1}{2a + 1}$$
$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}} = \frac{\text{distanța/viteza semnalului}}{\text{dimensiune cadru/debit}} \left[ \frac{m/(m/s)}{biți/(biți/s)} \right]$$
$$= \frac{\text{distanța} \times \text{debit}}{\text{dimensiune cadru} \times \text{viteza semnalului}}$$

$$v = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s (viteza luminii în vid)} \quad v = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s (în fire cupru)}$$

### Exemple de utilizare

#### ▪ Legături prin satelit

$$t_{prop} = 270 \text{ ms}, l_{cadru} = 4000 \text{ biți} = 500 \text{ Byte}$$

$$D = 56 \text{ kbps} \Rightarrow t_{frame} = 4/56 = 71 \text{ ms}$$

$$a = t_{prop} / t_{frame} = 270/71 = 3,8;$$

$$U = \frac{1}{2a + 1} = 0,12 = 12\%$$

#### ▪ Legături terestre $v = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}, t_{prop} = 5 \mu\text{s/km}$

$$D = 10 \text{ Mbps}, l_{frame} = 500 \text{ Byte} \Rightarrow t_{frame} = 4 \text{ kb}/10 \text{ Mbps} = 400 \mu\text{s}$$

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{frame}} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{400 \cdot 10^{-6}} = 0,012 \Rightarrow U = \frac{1}{2a + 1} = 0,98 = 98\%$$

### 4.1.2. Protocolul cu fereastră glisantă (Sliding Window Protocol)

Protocolul cu fereastră glisantă permite emițătorului să nu mai aștepte confirmarea pachet cu pachet, ci să transmită un număr mai mare de pachete, egal cu N, fereastra de transmisie. Dacă nu a sosit nici o confirmare până la epuizarea ferestrei, emițătorul se oprește și așteaptă sosirea confirmărilor (întră într-o procedură de time-out sau de expirare a timpului). Dacă a sosit confirmarea, fereastra avansează, numărarea fiind ciclică, și se transmite următorul pachet.

$$U = \frac{N t_{frame}}{2t_{prop} + t_{frame}},$$
$$U = \begin{cases} \frac{N}{2a + 1}, & \text{daca } N < 2a + 1 \\ 1, & \text{daca } N > 2a + 1 \end{cases}$$

## Modulul 4

### Controlul legăturii de date

Fereastra este setul numerelor de secvență pentru emisie respectiv pentru recepție. Cele două nu sunt de obicei egale. Fereastra de emisie crește când se recepționează o confirmare ACK. Pachetele din fereastră trebuie memorate la emisie. Confirmările se pot face și în cadrele de date sau de informație din sens opus (piggybacking).

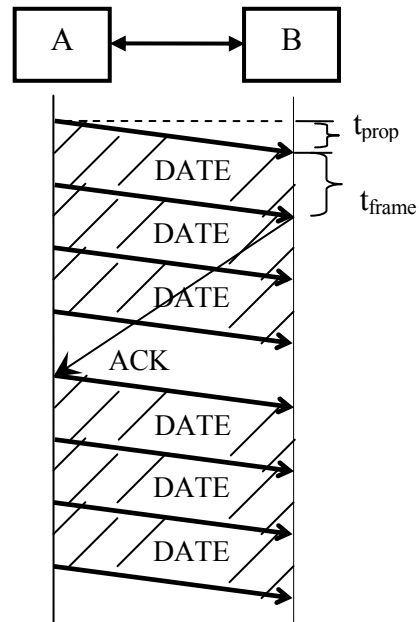


Fig. 4.2. Protocolul cu fereastră glisantă

### 4.2. Controlul erorilor. Protocoalele ARQ

**Detectia erorilor** se face **cu coduri ciclice detectoare de erori**, adică adăugând biți de paritate la emisie, suma ciclica de control, CRC (Cyclic Redundancy Check), care se verifică la recepție. Erorile sunt detectate la receptor prin verificarea sumei ciclice de control, CRC. Suma ciclica de control se calculează la emisie împărțind polinomul de informație cu un polinom, numit polinom generator, și restul obținut se atașează informației ca CRC. La recepție, acest rest se recalculează din informația recepționată și se compară cu CRC-ul sosit, atașat informației. Dacă nu coincid, se transmite sursei decizia că există erori și se cere retransmiterea pachetului. **Corecția erorilor se face prin retransmitere.**

S-au dezvoltat astfel tehnicile de cerere automată pentru retransmiterea pachetului detectat ca fiind eronat și anume **tehnicile ARQ** (Automatic Repeat Request) cu următoarele variante:

**1- transmiterea cu oprire și așteptare (Stop and Wait)**, la care transmițătorul emite un cadru și se oprește așteptând confirmarea recepției corecte a cadrului. Dacă sosește o confirmare pozitivă, va transmite următorul cadru, sau va retransmite cadrul original dacă sosește o confirmare negativă, cauzată de detectarea unui cadru eronat.

## **Modulul 4**

### Controlul legăturii de date

Astfel, corecția erorilor se face prin retransmitere. Metoda se poate folosi acolo unde timpul de propagare tur-retur este mic, altfel introduce întârzieri mari și eficiența este redusă. Nu este necesară o numerotare a cadrelor. La emisie și la recepție este necesar să existe câte un buffer pentru memorarea pachetului de transmis, respectiv de recepționat.

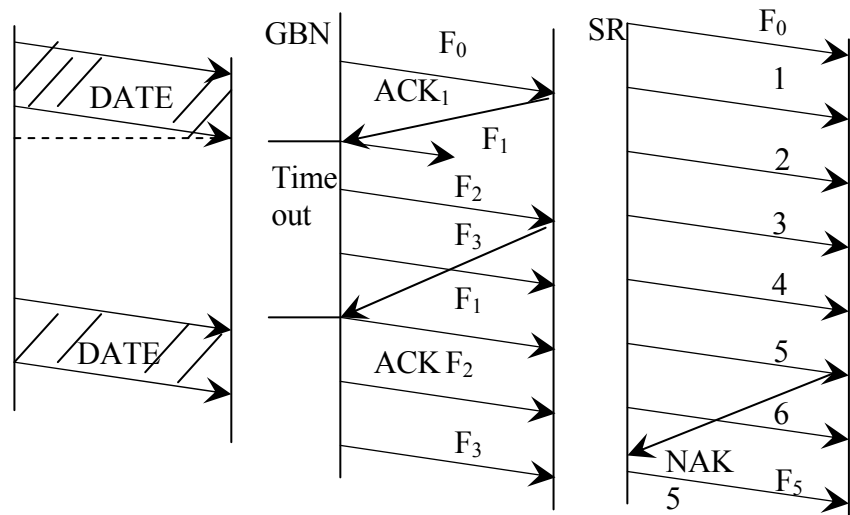
2- **transmiterea în cadrul unei ferestre de transmisie, întoarcere înapoi la cadrul eronat, GBN (Go Back N) și retransmiterea tuturor cadrelor începând cu cel eronat.** Transmițătorul nu mai așteaptă confirmarea fiecărui cadru, ci emite mai multe cadre, având numere de secvență dintr-o fereastră de transmisie, și se oprește când își epuizează fereastra, așteptând confirmarea recepției cadrelor emise. Fereastra de transmisie este  $2^3 - 1 = 7$  cadre, la rețelele terestre. Dacă sosește o confirmare pozitivă, fereastra avansează, și se va transmite următorul cadru. Dacă sosește o confirmare negativă, se vor retransmite toate cadrele începând cu cel eronat. Este necesară o numerotare a cadrelor; la emisie este necesar să existe un număr de buffere egal cu fereastra de transmisie, pentru memorarea pachetelor transmise în așteptarea confirmării. La recepție este necesar să existe un buffer, deoarece fereastra de recepție este unitară.

3- **retransmiterea selectivă, SR (Selective Reject),** este asemănătoare cu tehnica precedentă, GBN, dar se face **retransmiterea doar a cadrului eronat**, nu a tuturor cadrelor care urmează după acesta, deoarece timpul de propagare la rețelele prin satelit, unde se aplică tehnica, este mult mai mare (270 ms) decât la rețelele terestre (50 ms peste Europa). Este necesară o numerotare a cadrelor cu numere de secvență. Fereastra de transmisie este  $2^7 - 1 = 127$ , iar fereastra de recepție trebuie să fie cel mult jumătate din fereastra de emisie, pentru a evita confuziile. Este necesar să existe la emisie și la recepție un număr de buffere egal cu fereastra de transmisie respectiv de recepție. La recepție trebuie să existe posibilitatea introducerii ordonate în șirul pachetelor recepționate, a pachetului retransmis, conform numărului său de secvență.

**Detecția erorilor se face cu coduri ciclice detectoare de erori,** adică adăugând biți de paritate la emisie, suma ciclica de control, CRC care se verifică la recepție. Dacă au apărut erori se cere retransmiterea cadrului iar **corecția erorilor se face prin retransmitere.** La oricare dintre ele, SW, GBN sau SR are loc retransmisia pachetului dacă timpul de așteptare a confirmării expiră (time-out).

## Modulul 4

Controlul legăturii de date



*Fig. 4.3. Protocoalele ARQ*

### 4.3. Familia de protocoale HDLC

Protocoalele HDLC sunt destinate controlului funcționării legăturii de date, adică legătura nod la nod. A existat și există o mare varietate de protocoale de acest nivel, unele orientate pe caracter, altele orientate pe bit. Dintre acestea HDLC a fost adoptat de ISO. El se bazează pe protocolul SDLC al companiei IBM. La rândul său, HDLC are câteva proceduri, în funcție de tipul de legătură pe care trebuie să lucreze. Astfel legăturile pot să fie punct la punct, când există doar două stații pe legătură, sau legături multipunct, dacă sunt mai multe stații atașate pe linie. Dacă pe legătură se află o stație primară SP și una sau mai multe stații secundare SS, legătura se numește neechilibrată. Dacă pe legătură se află două stații combinate SC, legătura se numește echilibrată.

- SDLC – Synchronous Data Link Control: IBM
- HDLC – High-Level Data Link Control: ISO
- LAPB - Link Acces Procedure Balanced: X,25
- LAPD - Link Acces Procedure for D channel: ISDN
- LAPM - Link Acces Procedure for modems: V,42
- LAPX - Link Acces Procedure half duplex links: teletex
- PPP - Point- to- Point Protocol: Internet
- LLC - Logical Link Control: IEEE
- ADCCP-Advanced Data Communication Control Procedure: ANSI
- V.120 și Frame Relay folosesc de asemenea HDLC

#### **Funcționarea HDLC**

- SP Stația Primară, generează comenzi (C) și primește răspunsuri (R)

## Modulul 4

### Controlul legăturii de date

- SS Stația Secundară, generează răspunsuri (R) și primește comenzi (C)
- SC Stația Combinată: generează atât comenzi cât și răspunsuri (C/R)
- Configurația neechilibrată (unbalanced): (1- n ) SS și o SP
- Configurația echilibrată: două SC
- NRM – Normal Response Mode: SS răspunde doar în urma unei invitații la emisie, poll
- ARM -Asynchronous Response Mode: SS poate răspunde fără comanda de poll, invitație la emisie, ci transmite din inițiativă proprie
- ABM- Asynchronous Balanced Mode: fiecare dintre cele două SC, prezente pe legătură, transmite atunci când are ceva de transmis, fără permisiunea celeilalte (C/R)

### HDLC - cadrul și câmpul de control

Cadru  
HDLC

Delimitator 01111110	Adresa	Control	Inf	FCS	Delimitator (flag)
8	8		8	8n	16(32) 8

Control

I – informație                    1    2    3    4        5        6    7    8

0	N(S)	P/F	N(R)
---	------	-----	------

S – supervizare

1 0	S	P/F	N(R)
-----	---	-----	------

U- nenumerotat

1 1	M	P/F	M
-----	---	-----	---

Când un mesaj ajunge în nivelul 2, legătură de date, el este secționat, dacă este prea lung, în cadre, cadre cărora li se atașează delimitatori de început și de sfârșit de mesaj. De asemenea i se calculează cadrului suma ciclica de control, CRC, care în cazul HDLC are denumirea de FCS, Frame Check Sequence.

Adresarea poate să fie normală, sau adresare extinsă. La adresarea normală, numerele de secvență N(S) și N(R) au 3 biți. N(S) este numărul de secvență de emisie (send), N(R) este numărul de secvență de recepție (confirmare). La adresarea extinsă delimitatorii au 16 biți, iar numerele de secvență N(S) și N(R) au 7 biți.

## **Modulul 4**

### Controlul legăturii de date

Cadrele de informație au la începutul câmpului de control un 0, cele de supervizare au 10, iar cele nenumerate au 11.

Bitul de P/F-poll/final, este o invitație la emisie în comenzi (C), iar în cadre I indică fie sfârșit de mesaj (P/F=1), fie continuarea mesajului cu alte cadre (P/F=0). Numărul de secvență N(S) indică numărul cadrului emis și N(R) indică numărul următorului cadru așteptat la recepție; implicit confirmă toate cadrele recepționate având numărul de secvență mai mic decât N(R). Doar la cadrele de supervizare de tip respingere de cadru N(R) indică numărul cadrului respins.

Pentru asigurarea transparenței de cod se face doparea cu biți (bit stuffing). Dacă în câmpul de informație apar 5 de 1 succesiv, la emisie se introduce automat un 0, care va fi scos automat la recepție. Astfel, se evită trunchierea cadrului (interpretarea respectivei structuri ca delimitator de sfârșit de cadru) sau eventual comasarea a două cadre (ambele situații pot apărea prin inversarea unui bit).

Câmpul S, indică un cadru de supervizare, având 2 biți, care permit doar 4 comenzi, insuficiente pentru controlul legăturii de date. De aceea au fost prevăzute o serie de comenzi suplimentare, în cele 32 de cadre nenumerate, care au câmpul M, modificador de 4 biți.

### **Cadrele HDLC**

- **Cadru I de informație, C/R (comandă/răspuns)**
  - N(S) este numărul de secvență de emisie (send),
  - N(R) indică numărul următorului cadru așteptat. Implicit confirmă cadrele I precedente (piggybacked ACK)
  - poll /final, C/R
  
- **Cadrele S de supervizare, C/R**
  - RR-** Receive Ready, gata pentru recepția de cadru I și confirmare pozitivă.
  - RNR-**Receive Not Ready, nu poate recepționa cadre I si confirmare pozitivă.
  - REJ**–Reject, confirmare negativă, retransmitere neselectivă, GBN
  - SREJ** - Selective Reject, confirmare negativă, retransmitere selectivă SR. Nu există în aceeași implementare cu REJ.



## **Modulul 4**

### Controlul legăturii de date

#### ▪ **Cadre U nenumerate, (C/R)**

Sunt posibile 32 de cadre U, dar mai jos sunt date doar câteva. Au fost marcate cu bold comenzile din setul de bază ale oricărei variante de implementare.

<b>SNRM(E)</b>	-Set normal Response Mode (Extended) (C)
<b>SARM(E)</b>	-Set Asynchr.Response Mode (Extended)(C)
<b>SABM(E)</b>	-Set Asynchr. Balanced Mode (Extended)(C)
<b>SIM</b>	-Set Inițiatization Mode, inițializează funcțiile de control a legăturii în stația adresată (C)
<b>DISC</b>	-disconnect (C)– termină conexiunea legăturii logice
<b>UA</b>	-Unnumbered Ack, confirmă acceptarea uneia din comenzile de stabilire a modului de funcționare (R)
<b>DM</b>	-disconnected mode, (R) stația secundară e deconectată logic
<b>RD</b>	-request disconnect, (R) cerere pentru comandă DISC
<b>RIM</b>	-request initialization mode, e necesară o inițializare, cerere pentru o comandă SIM (R).
<b>UI</b>	-unnumbered info (C/R), folosită pentru a schimba informații de control. Dar și la transmiterea UI (la facsimil, pierderea unui cadru I nu afectează substanțial imaginea finală. Nu se așteaptă confirmări, deci crește viteza) (C/R)
<b>UP</b>	-unnumbered poll (C), pentru solicitarea de informații de control.
<b>RSET</b>	-reset (C) folosit la reluare, anulează N(S) și NCR)
<b>XID</b>	-exchange identification, pentru a cere/raporta identitatea și starea (C/R).
<b>TEST</b>	-test, se schimbă informații identice pentru test (CIR)
<b>FRMR</b>	-Frame Reject (R), raportare de recepția unui cadru inacceptabil.



#### **4.4. Protocolul PPP (Point- to-Point Protocol)**

Protocolul PPP nu este un standard propriu zis. El s-a impus pe piață, la fel ca celelalte protocoale din familia TCP/IP. Are multe similitudini cu HDLC. PPP are următoarele caracteristici:

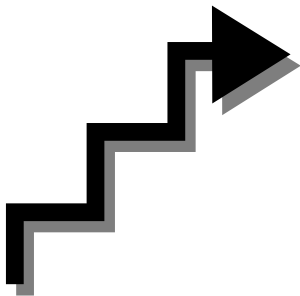
- Este un protocol punct la punct
- A folosit inițial pentru conexiunea utilizator-rețea
- Este folosit acum și pentru conexiunea ruter-ruter
- Are trei componente:
  - încapsularea datelor
  - LCP-Link Control Protocol
  - NCP-Network Control Protocol

#### **Procedurile PPP pentru realizarea unei comunicații**

- **stabilirea conexiunii**
  - modemul PC-ului de la domiciliu apelează ruterul furnizorului de servicii internet ISP (Internet Service Provider). Când FSI răspunde s-a stabilit conexiunea de nivel fizic
  - PC- ul trimite o serie de pachete LCP:
    - selectând parametrii PPP (ai legăturii de date)
    - pentru autentificareSe stabilește astfel conexiunea de nivel legătură de date.
  - PC- ul trimite o serie de pachete NCP, selectând astfel parametrii de nivel rețea, ca de exemplu atașarea dinamică de adrese IP, una din adresele de care dispune FSI.
  - **transferul pachetelor IP**, este faza principală a comunicației.
  - La sfârșit, utilizatorul **încheie comunicația**, deconectând pe rând conexiunile de nivel rețea, legătură de date și fizic.
  - Cadrul PPP are următoarea structură:

Flag	Adresă	Control	Proto- col	Info	Pad- ding	CRC	Flag
01111110	11111111	00000011					
7E	toate stațiile	Unnumbered	completare până la 1500 B				

Pentru asigurarea transparenței de cod, delimitatorul 01111110=7E devine 7D5E sau 7D5D.



### **REZUMAT**

La nivelul doi, legătură de date trebuie controlată o legătură de tip nod la nod, între utilizator și rețea, sau ruter la ruter, adică între două mașini adiacente.

Controlul legăturii presupune controlul fluxului și al erorilor.

Pentru controlul fluxului, adică adaptarea de viteză între un transmițător rapid și un receptor lent, există tehnicile de transmisie “cu oprire și așteptare” și respectiv cu “fereastră glisantă”. La prima tehnică transmițătorul așteaptă confirmarea recepției fiecărui pachet și va transmite următorul pachet doar când a primit confirmarea pozitivă a recepției. La fereastra glisantă, transmițătorul emite un număr de pachete, egal cu fereastra, fără să aștepte confirmarea recepției. Dacă nu a sosit nici o confirmare până la epuizarea ferestrei, emițătorul se oprește și așteaptă confirmarea. Dacă a sosit o confirmare pozitivă, fereastra avansează și emițătorul își continuă transmisia.

Pentru controlul erorilor, pachetele au prevăzută o sumă ciclică de control, calculată la emisie și atașată pachetului, și recalculată la recepție și comparată cu suma sosită. Dacă cele două nu coincid, receptorul ia decizia că pachetul a fost eronat și cere retransmiterea acestuia. Corecția erorilor se face prin retransmisie. Există astfel protocoalele ARQ, de tip SW, stop and wait, GBN, go back n, cu retransmiterea neselectivă a tuturor pachetelor începând cu cel eronat, și SR, selective repeat, cu retransmiterea doar a pachetului eronat.

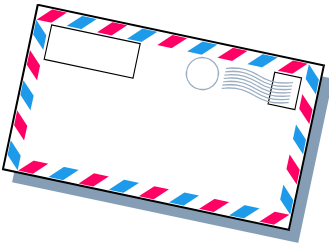
Pentru nivelul doi s-au impus protocoalele HDLC și PPP.

HDLC lucrează cu numere de secvență pentru emisie și pentru confirmare și are prevăzute o serie de comenzi de supervizare și nenumerotate. Clasele de procedura HDLC sunt adaptate la tipul de legătură, neechilibrată, respectiv echilibrată și la modul de răspuns, normal sau asincron. În modul de răspuns normal stațiile emit doar ca urmare a unei invitații la emisie, poll, iar în modul de răspuns asincron stațiile transmit atunci când au ceva de transmis, fără a mai aștepta o invitație la emisie.



### **ÎNTREBĂRI**

1. Care sunt funcțiile nivelului 2, legătură de date?
2. La ce se referă controlul fluxului ?
3. Cum se reglează fluxul prin oprire și așteptare ?
4. Cum se reglează fluxul cu fereastră glisantă ?
5. La ce se referă controlul erorilor ?
6. Care sunt protocoalele ARQ ?
7. Care este fereastra la HDLC ?
8. Ce sunt N(S), N(R) și P/F ?
9. Ce înțelegeți prin stație primară, stație secundară și respectiv stație combinată?
10. Ce înțelegeți prin legătură neechilibrată, respectiv legătură echilibrată ?
11. Care sunt modurile posibile de răspuns ale stațiilor?



### **TEMĂ**

Două stații combinate A și B urmează să comunice folosind protocolul HDLC.

1-Stația A inițiază comunicația, dar reușește să stabilească legătura doar la a doua încercare. Care sunt cadrele schimbate între cele două stații?

2-Stația A emite 3 cadre. Care vor fi N(S), N(R) și P/F ale cadrelor I ?

3-Stația B nu are cadre I prin care să confirme recepția și face confirmarea pozitivă a recepției corecte a tuturor celor trei cadre, cu un cadru RR. Care va fi N(R) în acest caz?