Teorie Laboratoare PCom

> Link laboratoare: https://pcom.pages.upb.ro/labs/labs.html

> Linkuri utile:
>
> Laboratoare: https://pcom.pages.upb.ro/labs/labs.html
>
> Enunt Tema 1: https://pcom.pages.upb.ro/tema1/
>
> Enunt Tema 2: https://curs.upb.ro/2023/pluginfile.php/270580/mod_folder/content/0/Enunt_Tema_2_Protocoale_2023_2024.pdf?forcedownload=1
>
> Enunt Tema 3: https://pcom.pages.upb.ro/tema3
>
> Enunt Tema 4: https://pcom.pages.upb.ro/enunt-tema4/
>
> Enunt Proiect: https://curs.upb.ro/2023/pluginfile.php/323635/mod_folder/content/0/enunt.pdf?forcedownload=1

Abrevieri in Informatica:

- `ACL` = Access Control List
- `ACPI` = Advanced Configuration and Power Interface
- `AD` = Active Directory
- `ADC` = Analog to Digital Converter
- `AES` = Advanced Encryption Standard
- `API` = Application Programming Interface
- `APT` = Advanced Package Tool
- `ASCII` = American Standard Code for Information Interchange
- `ATM` = Automated Teller Machine
- `BCD` = Boot Configuration Data
- `BIOS` = Basic Input/Output System
- `BLE` = Bluetooth Low Energy
- `CA` = Certificate Authoriry
- `CAN` = Controller Area Network
- `CD-ROM` = Compact Disc - Read-Only Memory

- `CI` = Continuous Integration
- `CISC` = Complex Instruction Set Computing
- `CLI` = Command Line Interface
- `CMOS` = Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
- `CPU` = Central Processing Unit
- `CSM` = Compatibility Support Module
- `CTF` = Capture The Flag
- `DAC` = Digital to Analog Converter
- `DHCP` = Dynamic Host Configuration Protocol
- `DMA` = Direct Memory Access
- `DNF` = Dignified YUM
- `DNS` = Domain Name System
- `DTB` = Device Tree Blob
- `DVD-ROM` = Digital Video Disc - Read-Only Memory
- `EDVAC` = Electronic Discrete Variable Automatic Computer
- `ELF` = Executable and Linking Format
- `ESP` = EFI System Partition
- `FAT32` = File Allocation Table 32
- `FSB` = Front-Side Bus
- `FTP` = File Transfer Protocol
- `GCC` = GNU Compiler Collection
- `GDB` = GNU Debbuger
- `GDPR` = General Data Protection Regulation
- `GNU` = GNU's not Unix
- `GNU GPL - GNU` General Public License
- `GNU LGPL - GNU` Lesser General Public License xiii
- `GPG` = GNU Privacy Guard
- `GPIO` = General Purpose Input Output

- `GPT` = GUID Partition Table
- `GPU` = Graphics Processing Unit
- `GRUB` = GRand Unified Bootloader
- `GUI` = Graphical User Interface
- `GUID` = Globally Unique Identifier
- `HDD` = Hard Disk Drive
- `HIG` = Human Interface Guidelines
- `HTTP` = Hypertext Transfer Protocol
- `HTTPS` = Hypertext Transfer Protocol secure
- `I/O` = Input/Output
- `IDE` = Integrated Development Environment
- `IFS` = Input Field Separator
- `IIC` = Inter-Integrated Circuit
- `IoT` = Internet of Things
- `IP` = Internet Protocol
- `IPC` = Inter-Process Communication
- `ISA` = Instruction Set Architecture
- `IT` = Information Technology
- `IT&C` = Information Technology and Communications
- `JAR` = Java Archive
- `JDK` = Java Development Kit
- `JIT` = just-in-time
- `JRE` = Java Runtime Environment
- `KVM` = Kernel Virtual Machine
- `LAN` = Local Area Network
- `LDAP` = Lightweight Directory Access Protocol
- `LED` = Light-Emitting Diode
- `LVM` = Logical Volume Manager

- `LXC` = Linux Containers
- `MAC` = Media Access Control
- `MBR` = Master Boot Record
- `MISO` = Master In Slave Out
- `MIT` = Massachusetts Institute of Technology
- `MOSI` = Master Out Slave In
- `MSI` = Microsoft Install
- `MU` = Memory Unit
- `NAS` = Network Attached Storage
- `NAT` = Network Address Translation
- `NIC` = Network Interface Card
- `NTFS` = New Technology File System
- `OS` = Operating System
- `OVA` = Open Virtualization Appliance
- `PC` = Personal Computer
- `PCI` = Peripheral Component Interconnect
- `PDF` = Portable Document Format
- `PGP` = Pretty Good Privacy
- `PHP` = PHP Hypertext Preprocessor
- `PID` = Process Id
- `PKI` = Public Key Infrastructure
- `POSIX` = Portable Operating System Interface
- `POST` = Power-On Self Test
- `PWC` = Pulse Width Modulation
- `PXE` = Preboot eXecution Environment
- `QEMU` = Quick Emulator
- `RAID` = Redundant Array of Independent / Inexpensive Disks
- `RAM` = Random Access Memory

- `RDP` = Remote Desktop Protocol
- `RFB` = Remote Frame Buffer
- `RISC` = Reduce Instruction Set Computing
- `ROM` = Read-Only Memory
- `RPM` = RPM Package Manager
- `RSA` = Rivest-Shamir-Adleman
- `SAM` = Security Account Manager
- `SAS` = Serial attached SCSI
- `SATA` = Serial Advanced Technology Attachment
- `SFP` = Small Form-factor Pluggable Transceiver
- `SPI` = Serial Peripheral Interface
- `SSD` = Solid State Drive
- `SSH` = Secure Shell
- `SSL` = Secure Sockets Layer
- `TCB` = Trusted Computing Base
- `TCP` = Transmission Control Protocol
- `TLS` = Transport Layer Security
- `TPM` = Trusted Platform sModule
- `UAC` = User Acount Control
- `UEFI` = Unified Extensible Firmware Interface
- `UID` = User Id
- `URI` = Uniform Resource Identifier
- `URL` = Uniform Resource Locator
- `USB` = Universal Serial Bus
- `UUID` = Universally Unique Identifier
- `UX` = User Experience
- `VMM` = Virtual Machine Monitor
- `VNC` = Virtual Network Computing

- `WebUI` = Web User Interface
- `WIMP` = Window, Icon, Menu, Pointer
- `WLAN` = Wireless Area Network
- `YAML` = YAML Ain't Markup Language
- `YUM` = Yellowdog UPdater Modified
- `YUP` = Yellowdog Updater

Abrevieri in `PCom`:

- `ISO OSI` = International Organization for Standardization Open Systems Interconnections
  - `ISO` = International Organization for Standardization
  - `OSI` = Open Systems Interconnection
- `DLL` = Data Link Layer
  - `HDLC` = High Level Data Link Control
  - `BISYNC` = Binary Synchronous Communication
  - `SYN` = Synchronous Idle (Inceputul unui cadru)
  - `SOH` = Start of Heder
  - `STX` = Start of Text
  - `ETX` = End fo Text
  - `CRC` = Cyclic Redundancy Check
  - `DLE` = Data Link Escape (pt header stuffing)
  - `DDCMP` = Digital Data Communications Message Protocol
  - `SOF` = Start of Frame Delimiter
  - `FCS` = Frame Check Sequence
  - `MAC` = Media Access Control
  - `CSMA/CD` = Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
- `PPP` = Point to Point Protocol
- `PPPoE` = Point to Point Protocol over Etherne
- `MPLS` = Multi Protocol Label Switching
- `VPN` = Virtual Private Network
- `IP` = Internet Protocol
  - `CIDR` = Classes Inter Domain Routing
  - `MTU` = Maximum Transmission Unit
  - `DF` = Don't Fragment
  - `MF` = More Fragments
  - `ARP` = Address Resolution Protocol
- `NAT` = Netwrok Address Tranlation

- `ICMP` = Internet Control Message Protocol
- `PING` = Packet Internet or Inter-Network Groper
- `RIP` = Routing Infomration Protocol
- `TTL` = Time to live (of a packet)
- `LSP` = Link State Packet
- `BGP` = Border Geteway Protocol
- `AS` = Autonomous Systems
- `OSPF` = Open Shortes Path First
- `TCP` = Transmission Control Protocol
    - `SYN` = Synchronize
    - `RST` = Reset
    - `FIN` = Finish
    - `ACK` = Acknowledge
    - `NACK` = Not Acknowledge
    - `RTT` = Round Trip Time
    - `MSS` = Maximum Segment Size
    - `RTO` = Retransmission Timeout
    - `WIN` = Window Size (dimensiunea ferestrei de receptie)
    - `IW` = Initial Window Size (= 10, conform RFC6928)
    - `RWND` = Receive Window
    - `CWND` = Congestion Window
    - `BW` or `BNWD` = bandwidth
    - `AI` = Additive Increase (Crestere Liniara)
    - `SS` = Slow Start
    - `MD` = Multiplicative Decrease
- `UDP` = User Datagram Protocol
- `FTP` = File Transfer Protocol
- `DNS` = Domain Name System
    - `RR` = Resource Records

Lab 01. Networking warmup

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab1/lecture.html

Nivelul fizic

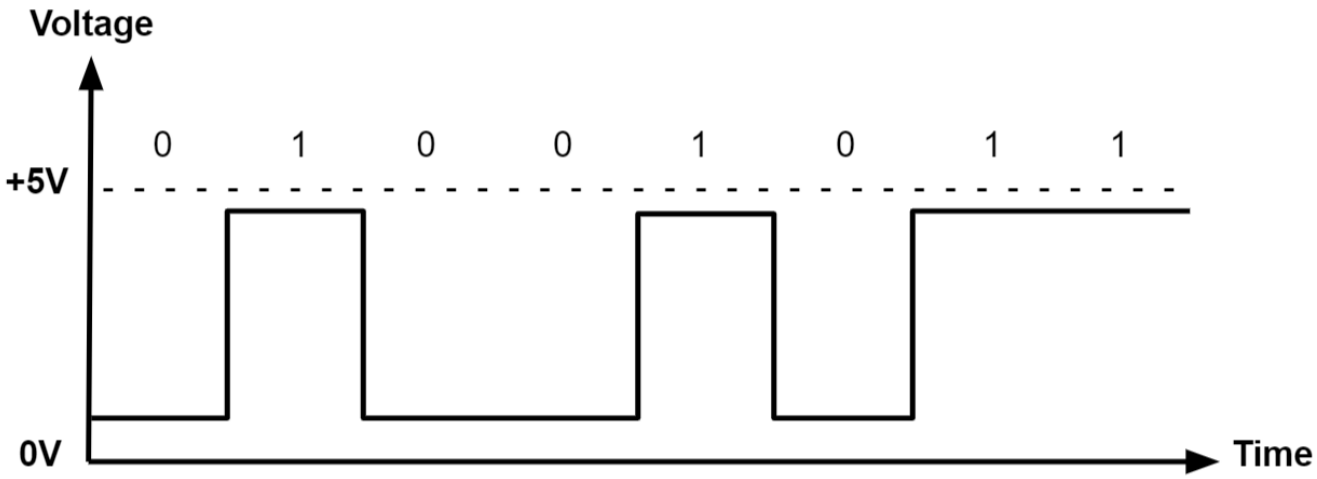
Nvelul fizic se refera la protocoalele si tehnicile utilizate pt a permite schimbul de informatii. Schimbul de informatii se face peste un **mediu de transmisie** (link).

Exemple de medii de transmisie:

- wireless
- cablu electric
- fibra optica
- semnale de fum

In cazul comunicatiei prin cablu, nivelul fizic se ocupa cu codificarea bitilor prin semnale electrice. Un exemplu de codificare este urmatoarea:

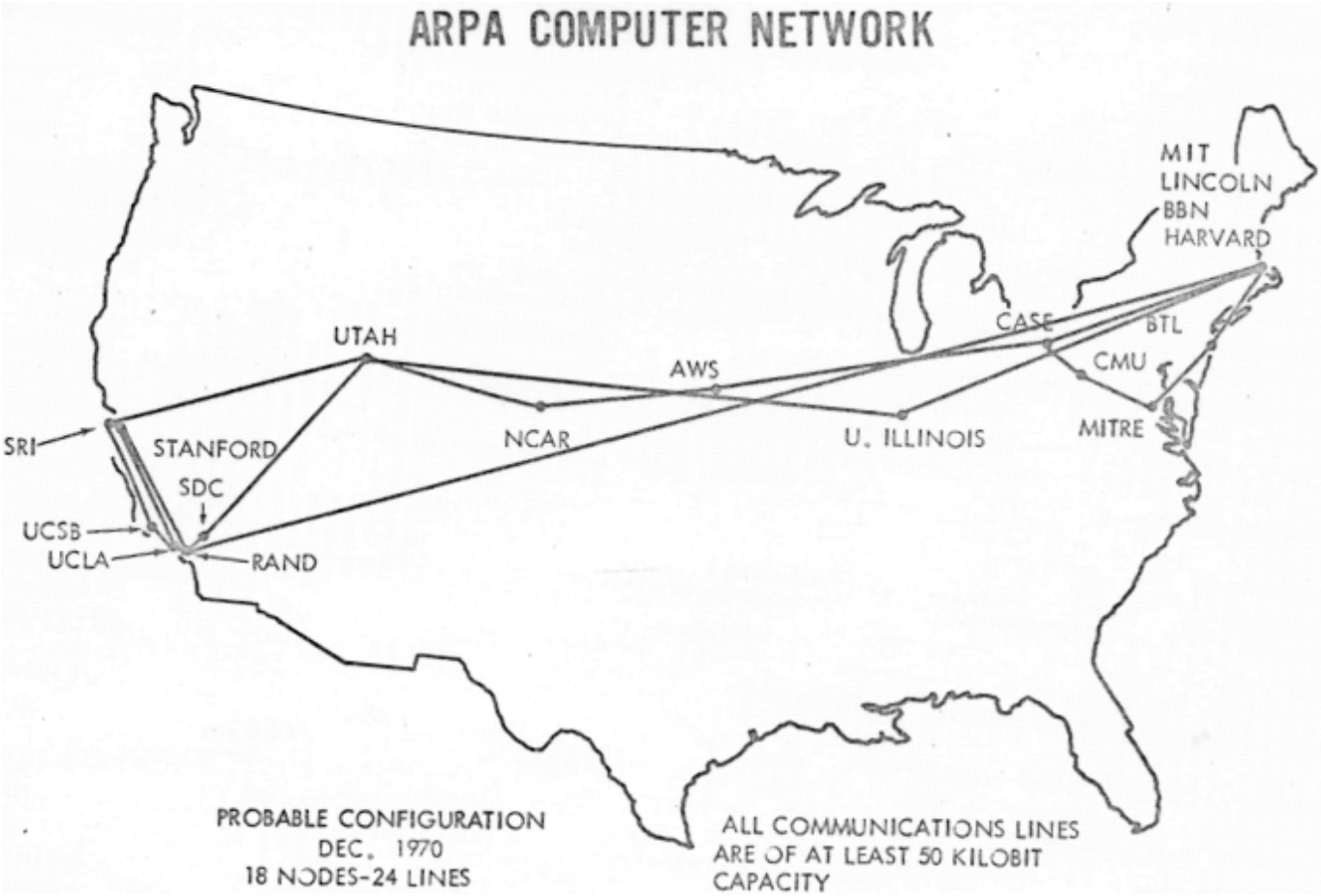
- sender: **la fiecare milisecunda**, cablul electric va fi conectat la 5V pt a transmite bitul 1 si la 0V pt a transmite bitul 0
- receiver: la fiecare milisecunda va masura tensiunea de pe fier



> **Rata de transmisie** (`bit rate`) = nr de biti trimisi pe secunda
>
> `bit rate` = nr bits / sec
>
> In exemplul cu cadrul electric, rata de transmisie este de 1000 de biti pe secunda

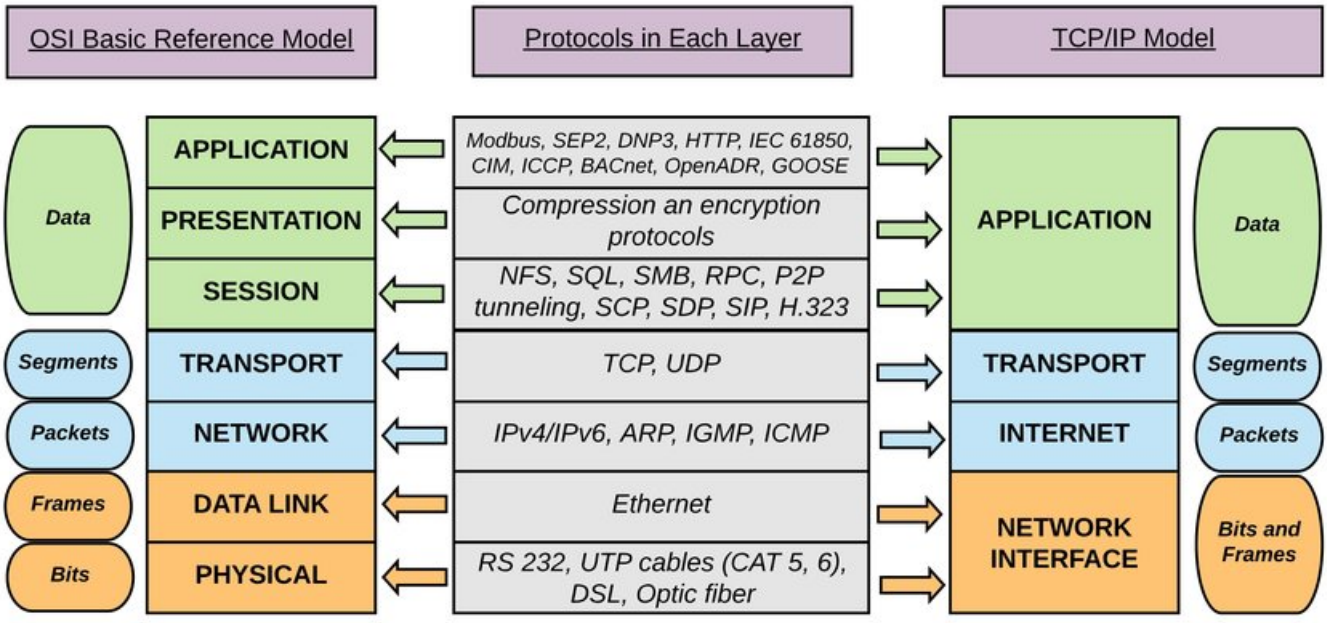
Internetul

La inceputul anilor 1970 internetul se rezuma la comunicarea peste un cablu intre doua dispozitive printr-un protocol simplu, dar in cativa nai complexitatea a crescut enorm. In figura de mai jos vedem precursorul internetului de astazi, `ARPANET`.



Pentru a modela cat mai usor arhitectura Internetului, cercetatorii de la acea vreme au propus diferite modele de referinta. De aceea, **Open Systems Interconnection** (`OSI`), modelul propus de Huber Zimmerman, a fost cel mai influent.

Totusi, in practica, **modelul dominant de referinta** folosit este `TCP/IP`.



Lab 02. Datalink. Framing

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab2/lecture.html

Framing

In general, nu sutem interesati in a lucra cu date la nivel de biti. Aplicatiile pe care le dezvoltam lucreaza cu mesaje, structuri sau fisieri complete. Nivelul fizic ne permite sa transmitem un flux de biti de la un dispozitiv la altul, dar datele pe care le transmitem sunt structurare in **blocuri la nivel logic**.

Receptorul trebuie sa stie sa delimiteze intre aceste blocuri pentru a extrage datele corec. Cum **nivelul fizic nu este ideal**, pot aparea probleme precum desincronizari, astfel ca solutia naiva in care fiecare 8 biti reprezinta un frame nu este valabila.

```
010|01000001|01000010|10101
      'A'       'B'
```

Unitatea de informatie pe care o vom folosi la nivelul `Data Link` este **cadrul** (**frame**) si reprezinta fluxul de biti care constituie un bloc logic de date.

> NOTA: Problema pe care incercam sa o rezolvam este:
>
> Cum face sender-ul codificarea cadrelor (frames) a.i receiver-ul sa le poata extrage eficient din fluxul de biti pe care il primeste de la nivelul fizic

Bit stuffing

O posibilia metoda de framing o reprezinta `bit stuffing`.

Vom folosi `01111110` ca si delimiatator de cadre.

De exemplu, daca vrem sa trimitem `0100`, atunci o sa il codam ca si `01111110|0100|01111110`. Receiver-ul, doar dupa ce a primit `0111110` v incepe sa citeasca continutul cadrului.

Ce facem in cazul in care vrem sa trimitem 6 biti de 1, `111111`? Regula este simpla, dupa fiecare secventa de 5 biti de 1, `11111`, se insereaza un 0. Astfel, delimitatorul `01111110` nu o sa apara niciodata in continutul unui cadru.

```
Sender
111111 -> 1111101

Receiver
1111101 -> 111111
1111100 -> 111110
```

Putem dezvolta astfel un protocol foarte simplu de nivel 2. Specificatie acestui protocol ccontine structura si regula definita pentru a nu intalni delimitatorul in datele pe care le vom transmite (payload).

```
DELIM|PAYLOAD|DELIM
```

Character stuffing in practica

Cum in software ne este mult mai usor sa lucram la nivel de byte (octet, 8 biti), decat bit, nivelul fizic ne ofera si un serviciu de trimitere de fluxuri de bytes.

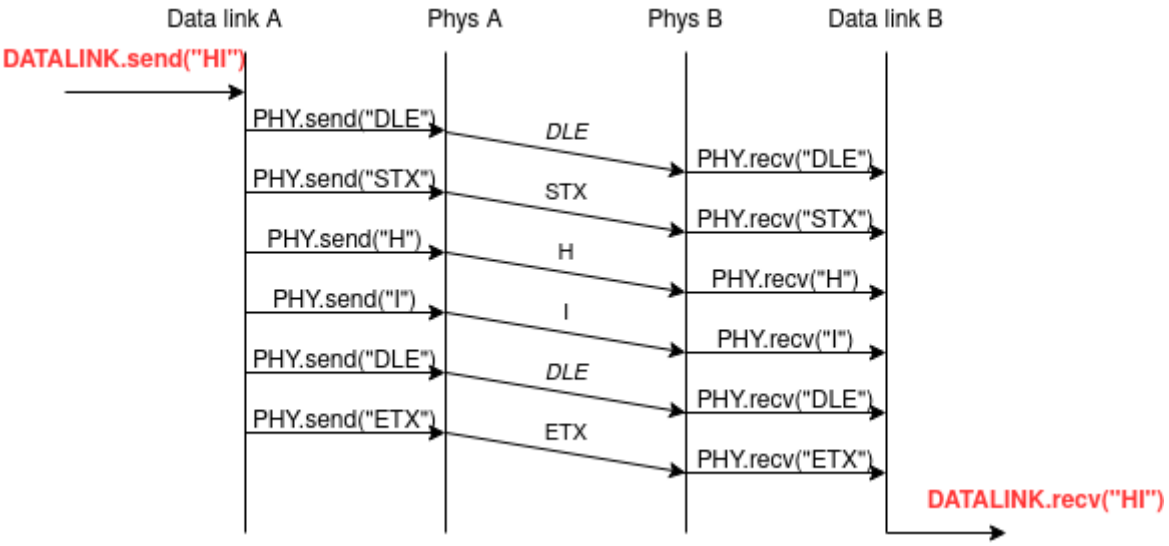
In mod similar cu bit stuffing, vom folosi mai multe caractere speciale pt a ne delimita frame-ul.

Vom folosi `DLE`, `STX` si `ETX` definiti in table ASCII.

```
A B C => DLE STX A B C DLE ETX
```

```
A B C DLE STX D => DLE STX A B C DLE DLE STX D DLE ETX
```

Mai jos avem o diagrama care cuprinde transmisia de date folosind framing. Veem cum la nivelul `Data Link` folosidn protocolul nostru simplu cu bytes de separare putem oferi un serviciu de trimitere de frames.

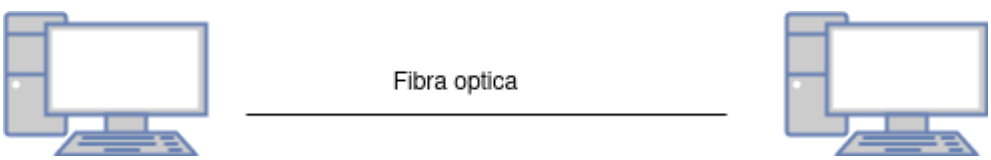


Tipuri de comunicatie

- Point-to-Point
- Point-to-Multipoint

Point-to-Point

Comunicarea Point-to-Point se intampla atunci cand avem doar doua dispozitive. In acest caz, dispozitivele nu trebuie sa specifice cui vor sa trimita frame-uri.



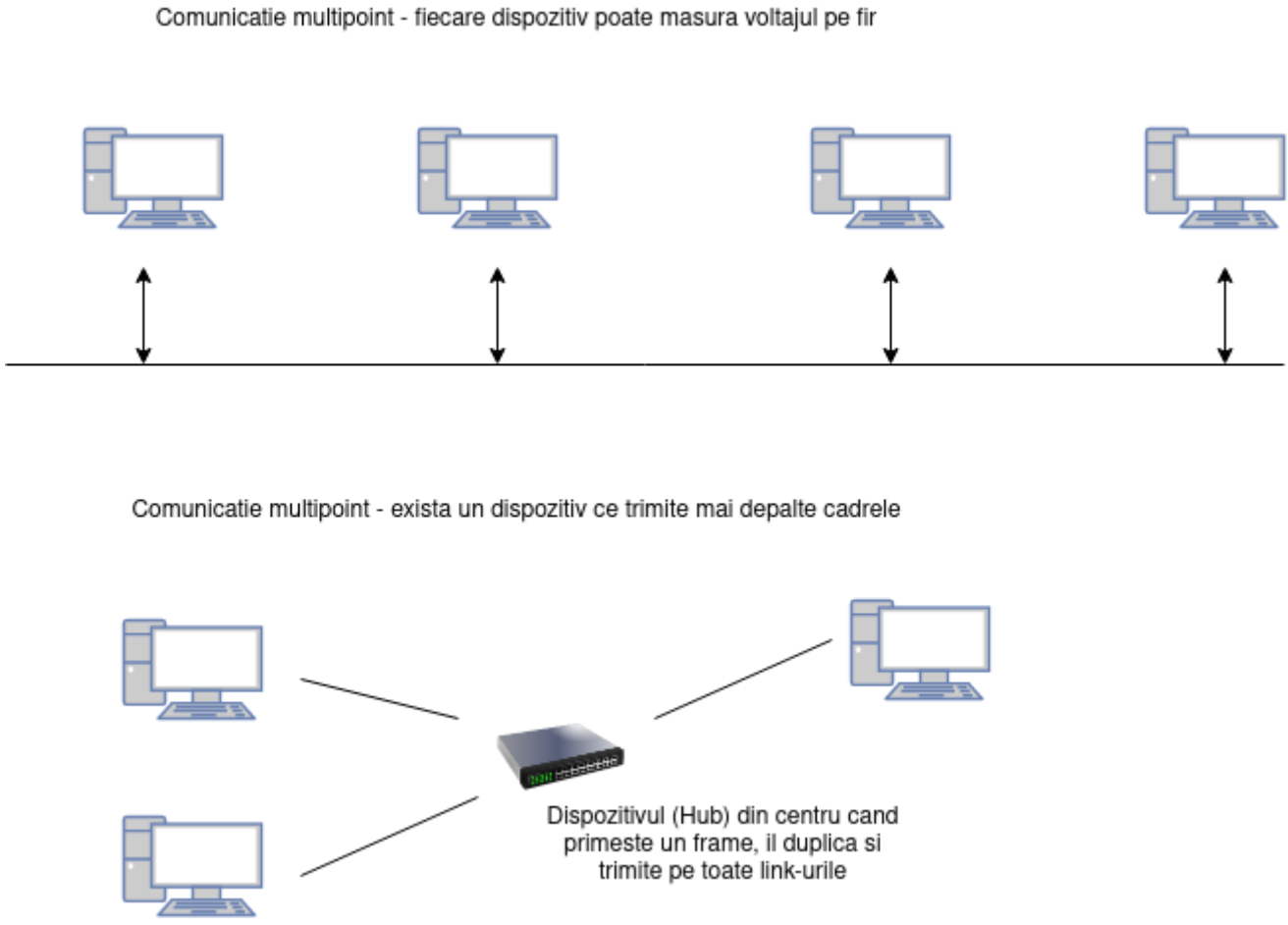
Exemple de protocoale de nivel 2 dezvolatate pt comunicarea Point-to-Point:

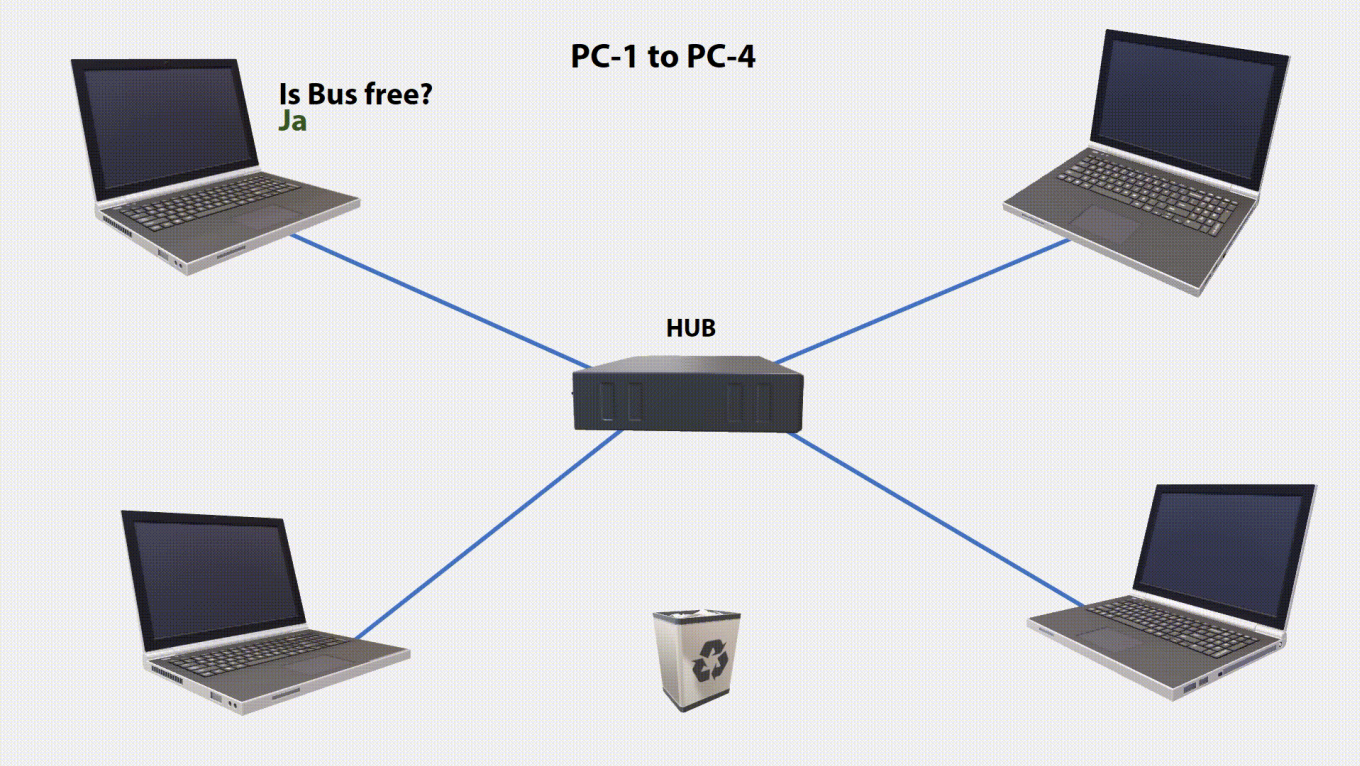
- `PPP` = Point-to-Point Protocol
- `HDLC` = High-Level Data Link Control

Point-to-Multipoint

Intr-o transmisie de tip Point-to-Multipoint, avem un transmitator si mai multi receptori. Cel mai popular mod de a identifica distanta este de a include un **camp de identificare in antetul protocolului** (de exemplu **adresa** `MAC` in protocolul `Ethernet`).

In imaginiea de mai jos sunt exemple de comunicatii multipoint.





Metrici

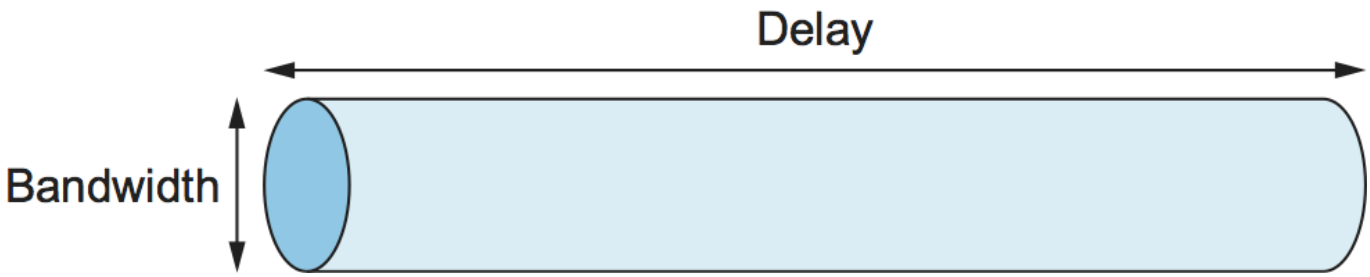
Pentru a putea studia **performanta** unui protocol de nivel `Data Link`, ne intereseaza urmatoarele metrici:

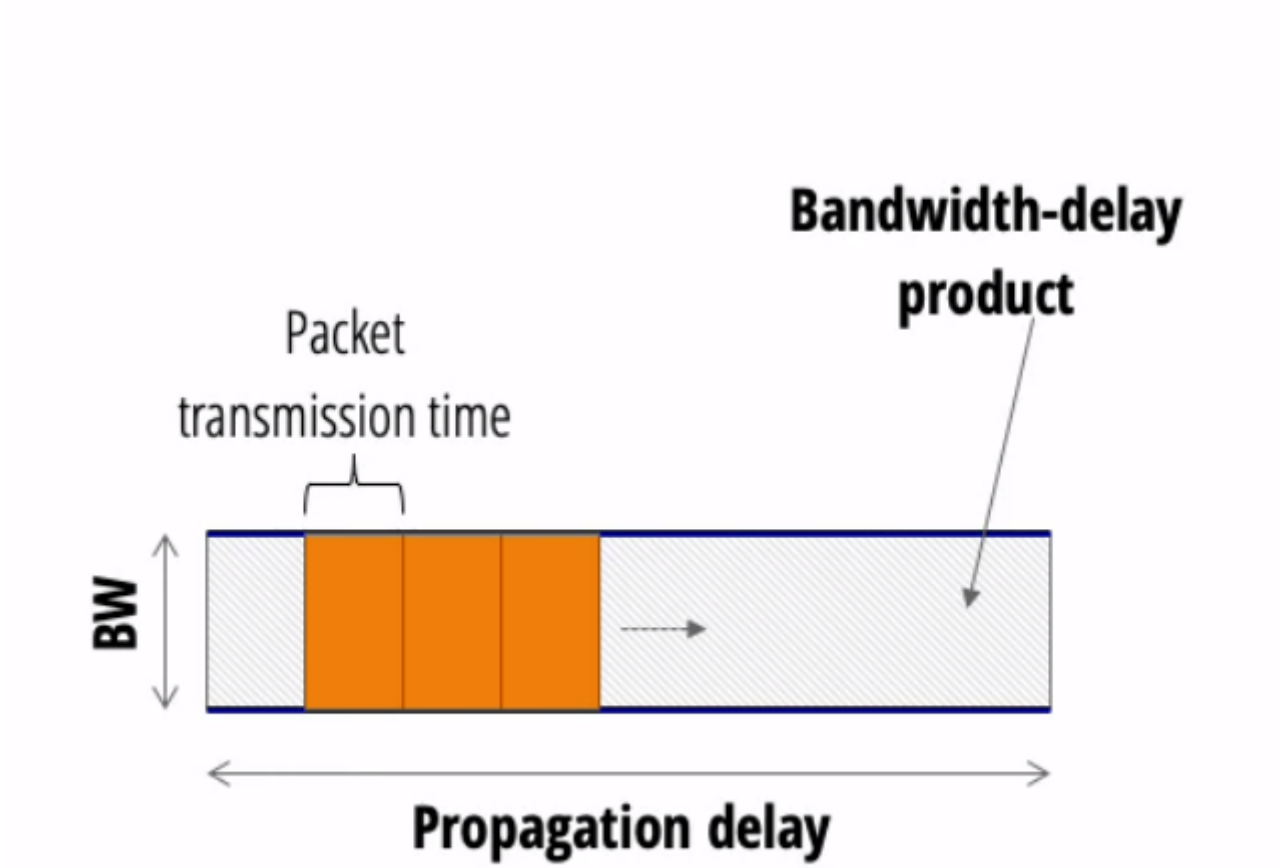
- `Bandwidth` (`BW`)
  - se masoara in **biti / secunda**
  - = **viteza de propagare**
  - reprezinta canitatea de informatie care poate fi transmisa intr-o unitate de timp pe legatura de date
- `Delay`
  - se masoara in **secunde**
  - = **timpul de propagare**
  - reprezinta timpul care le ia unor date trimise printr-un mediu sa ajunga la destinatie
- `Bandwidth delay product` (`BDP`)
  - reprezinta numarul total de biti ce se pot afla pe un link la un anumit moment de timp
  - `BDP = Bandwidth * Delay`

Legatura de date poate fi asemanta cu un cilindru in care datele sunt introduse de catre transmitator si primite de catre receptor.

Aria sectiunii cilidnrului reprezinta **viteza de transmisie** (`Bandwidth`), iar **inaltimea** este **timpul de propagare** (`Dealy`).

Deci, cantiatea de informatie aflata pe link la un anumit moment de timp: `BDP = Bandwidth * Dealy`





Tabelul de mai jos prezinta mai multe metrici pt link-uri existente:

Tip Link	Bandwith (BW)	One-Way Distance	Delay	Bandwidth * Delay (BDP)
Wireless LAN	54 Mbps	50 m	0.15 us	18 bits
Satellite	1 Gbps	35000 km	115 ms	230 Mb
Cross-country fiber	10 Gbps	4000 km	40 ms	400 Mb

Ce se foloseste in Internet? `Ethernet`

Pentru acest nivel din stiva de interent intalnim foarte des protocolul `Ethernet`. Atnet-ul (header-ul) este urmatorul:

802.3 Ethernet packet and frame structure

Layer	Preamble	Start frame delimiter (SFD)	MAC destination	MAC source	802.1Q tag (optional)	Ethertype (Ethernet II) or length (IEEE 802.3)	Payload	Frame check sequence (32-bit CRC)	Interpacket gap (IPG)
	7 octets	1 octet	6 octets	6 octets	(4 octets)	2 octets	42–1500 octets	4 octets	12 octets
Layer 2 Ethernet frame	(not part of the frame)		← 64–1522 octets →						(not part of the frame)
Layer 1 Ethernet packet & IPG	← 72–1530 octets →								← 12 octets →

> `IGP` = Interior Gateway Protocols (o perioada de inactivitate)

Lab 03. Transfer de date peste un link imperfect

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab3/lecture.html

De parcurs inainte de laborator:

- Reliable data transfer on top of an imperfect link

Materiale video optionale:

- How do CRCs work?

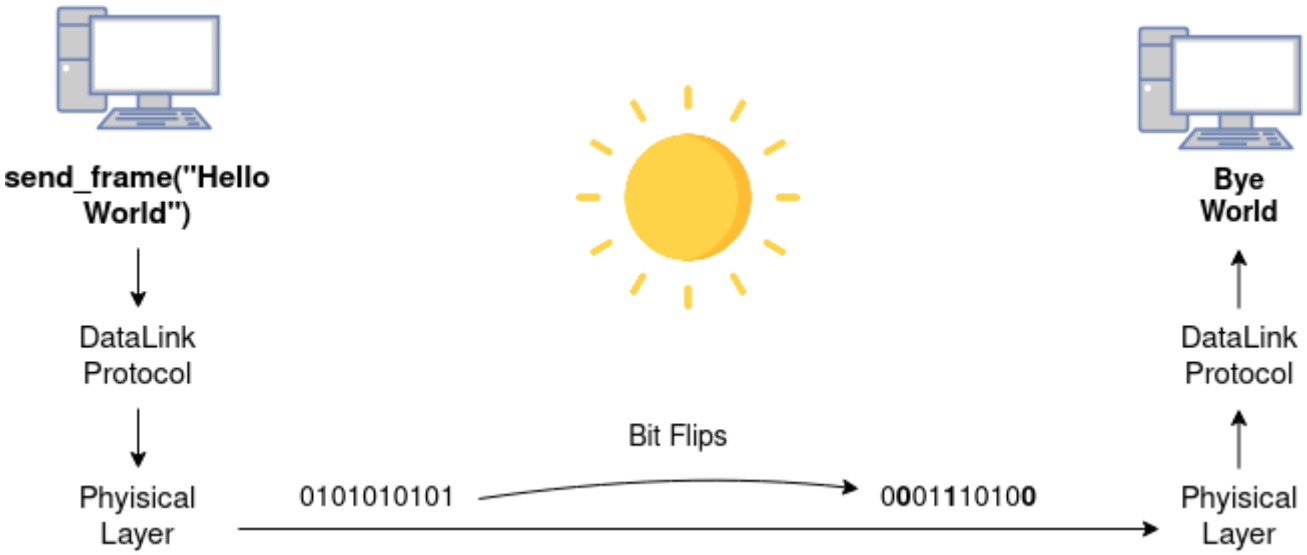
Detectarea erorilor de transmisie

In timpul transmiterii de date, pot aparea **erori**. Acestea se pot manifesta ca biti ale caror valor sunt schimbate intr-un cadru.

Intalnim doua tipuri de erori la nivelul legaturii de date:

- cadrele pot fi corupte
- cadrele pot fi pierdute sau pot aparea cadre neasteptate

De exemplu, daca trimitem sirul de biti `11111111` prin intermediul unui cabul, din cauza **interferentelor electromagnetice**, ultimul bit ar putea avea valoarea schimbata si receptorul ar primi `11111110`.



In general, pentru a putea tranmite date peste link imperfect, vom folosi una dintre urmatoarele abordari:

- detectarea erorilor si retransmisia (`CRC`, `Checksums`)
- corectarea erorilor (`distanta Hamming`)

In acest caz, apare o decizie de proiectare in dezvoltare protocolului. De exemplu, daca stim ca transmisia se intampla peste un mediu cu **latenta mare** si rata mare de corupaare a datelor, cum ar fi comunicarea intre Pamant si Marte (~ 29 de minute), ar avea sens sa **folosim o metoda de corectare a erorilor**.

In schimb, daca **latenta este mica**, ar fi mult mai optim sa realizam o **retransmisie**.

`Ethernet` foloseste un **camp** `CRC` pt **detectarea erorilor**.

Sume de control (`checksum`)

Adesea, atunci cand transmitem date peste un link, este necesar ca receptorul sa determine daca cadrul primit a fost corupt.

Pentru a face acest lucru, **transmitatorul va include un nou camp** numit `checksum` in protocol, care este **rezultatul aplicarii unei functii pe continuul cadrului**.

Un exemplu simplu de functie de `checksum` este suma tuturor octetilor din cadrul, `mod 256`.

```
uint8_t compute_checksum(const char *buff, size_t count)
{
    /* Ca input primim un buffer char *buf de dimensiune int count */
    uint32_t sum = 0;
    uint8_t checksum

    /* Adăugăm în sum fiecare byte din buffer */
    while (count > 0) {
        sum += *((uint8_t *) buff)
        buf += 1;
        count -= 1;
    }

    checksum = sum % 256;
```

```
    return checksum;
}
```

Ce facem daca am detectat o eroare? De cele mai multe ori, la detectia unei erori se va face o retransmisie de catre protocolul de nivel superior (TCP la nivel transport)

O **problema** a algoritmilor de checksum este simplitatea acestora ce poate cauza coliziuni.

> PROBLEMA: Functia poate intoarce acelasi rezultat pentru input-uri diferite

```
Cadru             :  6 23  4
Cadru cu checksum :  6 23  4 33  (6 + 23 + 4 = 33 % mod 256 = 33)
Cadru la receptor :  8 20  5 33  (8 + 20 + 5 = 33 % mod 256 = 33)
```

In acest exemplu, chair daca continutul **mesajului s-a schimbat, checksum-ul calculat a fost acelasi**, existand o sansa de 1/256 (256 - de la operatorul de modula) ca eroarea sa nu fie detectata.

Pentru a rezolva aceasta problema, s-a ales folosirea unor algorimti precum **Cyclic Redundandy Codes** CRC.

> NOTA Termenul de checksum a fost folosit initial pentru a descrie algoritmi de tipul sume, dar in ziua de azi cuprinde si algoritmi mai sofisticati, precum CRC.

Cyclic Redundancy Codes (CRCs)

Daca reprezentam datele transmise ca pe un numar, atunci **restul impartirii** este **valoarea** pe care o putem introduce in **header**, iar receptorul poate verifca daca datele primite au acelasi rest.

In practica, nu folosim numere, ci polinoame, printre altele finnd mult mai usor de lucrat cu ele (nu o sa avem carry).

Cyclic Redundancy Codes (CRC) reprezinta **restul impartirii polinomiale modulo 2 a datelor pe care vrem sa le trimitem**.

Putem vedea payload-ul ca si reprezentarea unui polinom.

```
PAYLOAD=    'H'      'i'     '!'
          01001000 01101001 00100001
```

Cu reprezentarea matematica:

```
x^22 + x^19 + x^14 + x^13 + x^11 + x^8 + x^5 + x^0.
```

De ce **modulo 2** (inelul claselor de resturi modulo 2)? Deorece vrem ca indicii in urma calculelor sa fie 1 sau 0, atunci cand facem impartirea, vom ajunge la valori reale, iar noi, putem folosi doar valori binare.

Pentru **optimizari**, operatiile in acest inel sunt echivalent cu `XOR`. In functie de polinomul la care o sa ne raportam, avem diferite implementari de `CRC`.

`CRC 32` foloseste umratorul polinom:

```
x^32 + x^26 + x^23 + x^22 + x^16 + x^12 + x^11 + x^10 + x^8 + x^7+ x^5 +
x^4 + x^2 + x + 1
```

Cum avem doar 32 de biti, nu ne intereseaza indicele lui x^32. Polinomul a fost ales astfel incat sa functioneze bine în cazul erorilor în rafala.

Pentru string-ul `123456789`, valoarea CRC32 este `0xCBF43926`.

Un exemplu de imartire de polinoame modulo 2 este acesta:

```
10011 ) 11010110110000 = Bits of payload
=Poly   10011,,.,,....
        -----,,.,,....
         10011,.,,....  (operatia de xor cand primul bit e 1)
         10011,.,,....
         -----,.,,....
          00001.,,....  (cand primul bit e zero, doar face un shift stanga
          00000.,,....   pentru a lua urmatorul indice de exponent)
          -----.,,....
           00010,,....
           00000,,....
           -----,,....
            00101,....
            00000,....
            -----,....
             01011....
             00000....
             -----....
              10110...
              10011...
              -----...
               01010..
               00000..
               -----..
                10100.
                10011.
                -----.
                 01110
                 00000
                 -----
                  1110 = Remainder = The CRC!
```

O posibila implementare a algoritmului `CRC 32` este urmatoarea:

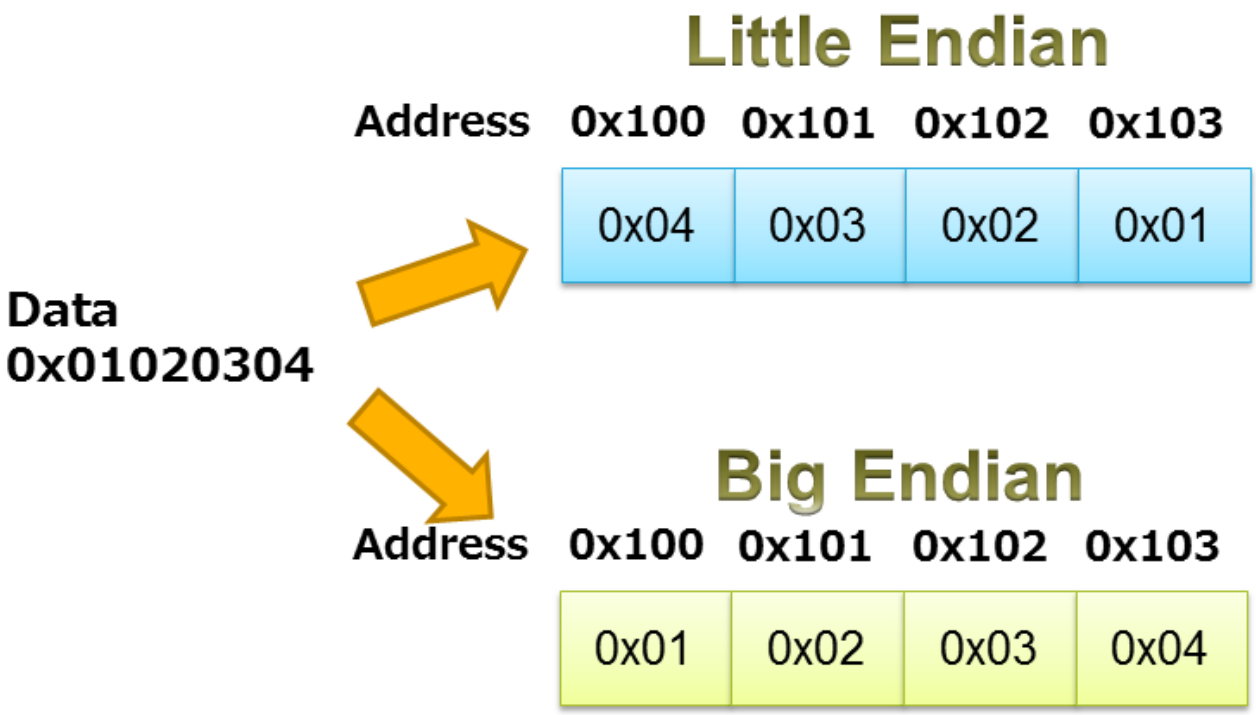
```
uint32_t compute_crc32(const char *buffer, size_t len)
{
    /* unsigned char *buffer contine payload-ul, len este lungimea acestuia
*/
    /* Prin conventie crc-ul initial are toti bitii setati pe 1 */
    uint32_t crc = ~0; // 0xffffffff
    const uint32_t POLY = 0xEDB88320;

    /* Parcurgem fiecare byte din buffer */
    while(len--)
    {
        /* crc contine restul impartirii la fiecare etapa */
        /* nu ne intereseaza catul */
        /* adunam urmatorii 8 bytes din buffer */
        crc = crc ^ *buffer++;
        for( int bit = 0; bit < 8; bit++ )
        {
            /* 10011 ) 11010110110000 = Bytes of payload
                =Poly   10011,,.,,....
                        -----,,.,,....
                         10011,.,,....  (operatia de xor cand primul bit e
1)
                         10011,.,,....
                         -----,.,,....
                          00001.,,....  (asta e noua valoare a lui crc)
(crc >> 1) ^ POLY
            */
            if( crc & 1 )
                crc = (crc >> 1) ^ POLY;
            else
                /* 10011 ) 11010110110000 = Bytes of payload
                    =Poly   10011,,.,,....
                            -----,,.,,....
                             10011,.,,....
                             10011,.,,....
                             -----,.,,....
                              00001.,,....  primul bit e 0,
                              00000.,,....
                              -----.,,....
                               00010,,.... am facut shift la dreapta,
pentru ca suntem pe **little endian**
                */
                crc = (crc >> 1);
        }
    }
    // Prin conventie, o sa facem flip la toti bitii
    crc = ~crc;
    return crc;
}
```

Endianness

In functie de oridnea in care un sir de octeti este **stocat in memorie**, avem doua interpretari:

- `Little Endian`
- `Big Endian`

Reprezentarea cu care suntem cel mai bine obisnuiti este `Big Endian`, asa cum reprezentam datele pe foaia, cel mai **semnificativ byte** este **primul**.



In general, procesoarele moderne folosesc Little Endian.

Totusi, placie de retea folosesc Big Endian.

O sa intalnim denumirea **Network Order** (`Big Endian`) si **Host Order** (`Little Endian`).

In API-ul POSIX avem mai multe functii care se pot folosi pentru a face trecerea Host Order <-> Network Order

```
#include <arpa/inet.h>

// host to network long
uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
uint16_t htons(uint16_t hostshort);

// network to host long
uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
uint16_t ntohs(uint16_t netshort)
```

Lab 04. Protocolul `IP`. Forrding

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab4/lecture.html

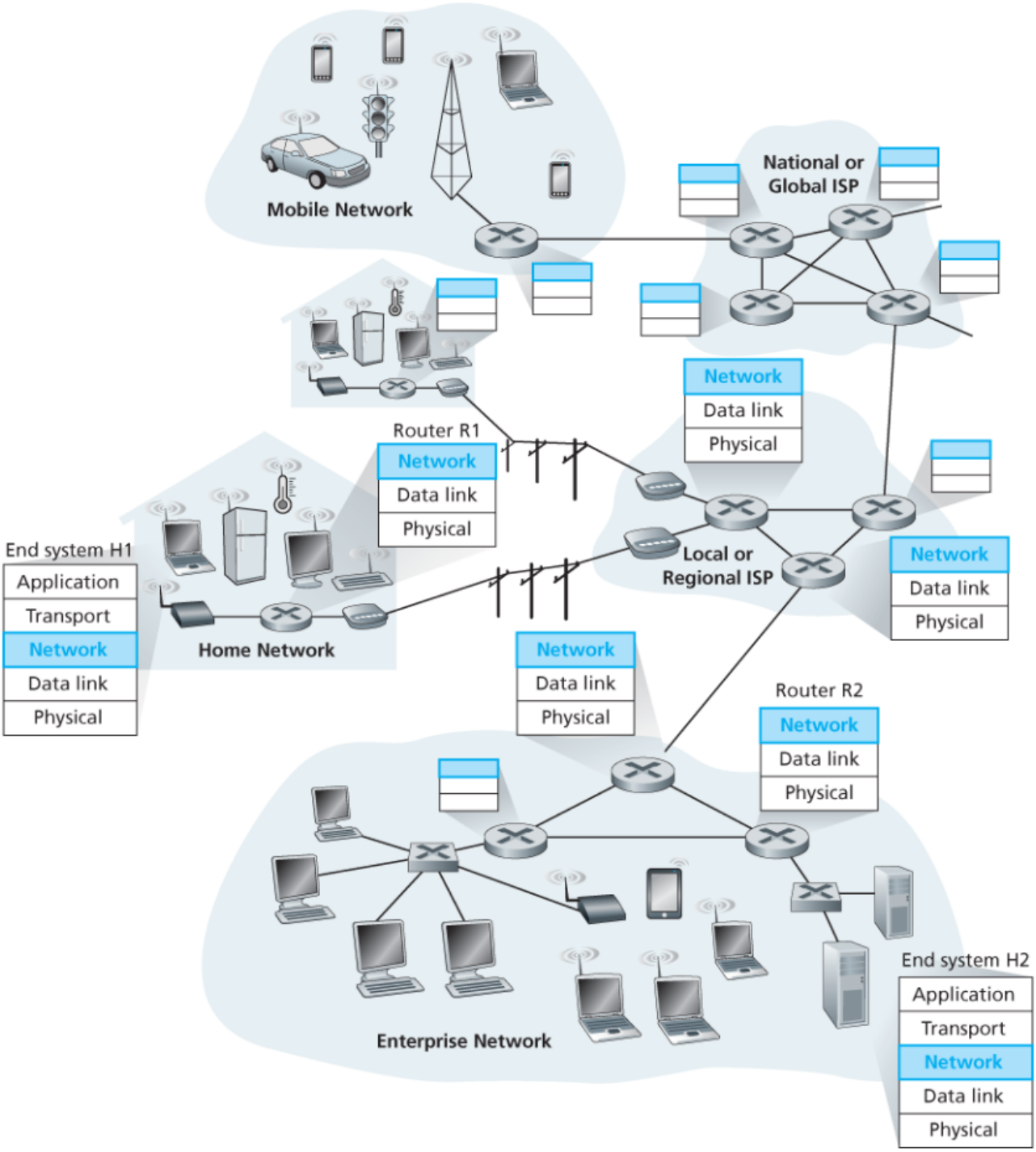
> Protocolul IP: https://youtu.be/rPoalUa4m8E?list=PLowKtXNTBypH19whXTVoG3oKSuOcw_XeW
> Procesul de forwarding: https://youtu.be/VWJ8GmYnjTs?list=PLowKtXNTBypH19whXTVoG3oKSuOcw_XeW

Nivelul Retea

La ultimele laboratoare, am reusit sa dezvoltam o serie de protocoale pentru dispozitive direct conectate. Astazi, punem bazele unui protocol ce permite transferul de date intr dispozitive ce nu sunt direct conectate, fiecare dispozitiv afland0use intr-o retea diferita.

Numele protocolului este **Internet Protocol** (`IP`), dezvoltat initial in anii 1970.

Mai jos gasim o reprezentare a unei topologii in care se afla mai multe retele.



Routing

O sa consideram acum urmatorul scenariu. In marile capitale ale Europei avem mai multe dispozitive. De exemplu, in Londara, avem 4 dispozitive conectate print **Ethernet** (3 calculatoare si un dispozitiv pe care il vom numi **router**). La fel si in Bucuresti. Dispozitive numite **router** sunt conectate printr-un protocol de nivel 2 de tip **Point-to-Point**.

Vrem să trimitem un cadru de la Host A, în Londra, la Host B, în București. Dacă Host A, trimite un cadru de nivel 2, în acest caz Ethernet cu adresa destinație MAC B, acesta nu ar fi considerat de niciunul dintre dispozitive pentru că nimeni din Londra nu are aceastra adresa MAC. Dacă în schimb, am modifică aceste dispozitive numite routere să știe unde se află fiecare adresa MAC din toată europa, cel din Londra ar primi un cadru Ethernet de la Host A cu destinația MAC B și ar trimite conținutul acestuia către Paris folosind protocolul de tip PPP dintre acestea. Totuși, între Londra și Paris este o conexiune de tip PPP, destinația se pierde între aceste conexiuni deoarce protocoalele de tip PPP nu folosesc o destinație.

Avem nevoie de un protocol peste nivelul DataLink care să se ocupe cu identificarea și transmisia între ceea ce vom numi de acum rețele (e.g. rețeaua din București). În acest scop, a fost dezvoltat protocolul IP Protocol (IP) de nivel network. Astfel, o datagramă IP va fi encapsulata atât în protocolul Ethernet cât și în PPP, și routerele se vor ocupa de transmisie.

Protocoale utilizate:

- `Ethernet`
- `IP`

Ethernet

`Ethernet` este echivelntul protocolului de **DataLink** pe care l-am implementat in primele laboratoare.

Noi vom lucra doar cu **cadre Ethernet** ce sunt transmise ca payload peste implementarea protocolului fizic **Ethernet**.

Cum CRC-ul este calculat in hardware, nu o sa il regasim in header. In acest caz, header-ul pe care il vom folosi este urmatorul:

```
Ethernet Frame
    +-----------------+------------+-------------+
    |     Bytes 0-5   | Bytes 6-11 | Bytes 12-13 |
    +-----------------------------+-------------+
    | Destination MAC | Source MAC |  EtherType  |
    +-----------------+------------+-------------+
```

Adresa MAC Destinatie reprezinta identificatorul dispoizitivului de nivel 2 catre care a fost trimis acest caddru.

In cadrul laboratorului putem folosi urmatoarea structura peste un cadrul Ethernet. Pentru campul EtherType ne intesreseaza doar valoarea ETHERTYPE_IP (**0x0800**).

```
struct  ether_header {
    uint8_t  ether_dhost[6];
    uint8_t  ether_shost[6];
    uint16_t ether_type;     // ETHERTYPE_IP
};
```

IPv4

Protocolul IP este utilizat pentru a permite dispozitivelor conectate in retele diferite sa schimbe informatii prin intermediul unui dispozitiv intermediar numit router. Hedaer-ul unui pachet (**pachet**) IP este urmatorul:

```
+----+---------------+---------------+---------------+---------------+
|Word|       1       |       2       |       3       |       4       |
+----+---------------+---------------+---------------+---------------+
|Byte|0|1|2|3|4|5|6|7|8|9|0|1|2|3|4|5|6|7|8|9|0|1|2|3|4|5|6|7|8|9|0|1|
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|   0|Version|  IHL  |Type of Service|          Total Length         |
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|   4|         Identification        |Flags|      Fragment Offset    |
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|   8|  Time to Live |    Protocol   |         Header Checksum       |
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|  12|                       Source Address                          |
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|  16|                     Destination Address                       |
+----+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

> TTL = Time to Leave

Campul `Time to Leave` este un numar **decrementat** de fiecare router pentru a evita bucle. `checksum` este campul folosit pentru a **verifica integritatea header-ului** `IP`.

Destination Address este adresa IP a destinatiei.

Urmatoarea structura poate fi folosita pentru a reprezenta un pachet IPv4

```
struct iphdr {
    // The following syntax means that version has 4 bits and ihl 4 bits.
    uint8_t    ihl:4, version:4;  // don't care
    uint8_t    tos;      // don't care
    uint16_t   tot_len;  // don't care
    uint16_t   id;       // don't care
    uint16_t   frag_off; // don't care
    uint8_t    ttl;      // Time to Live -> to avoid loops, we will
decrement
    uint8_t    protocol; // don't care
    uint16_t   check;    // checksum     -> Since we modify TTL,
    // we need to recompute the checksum
    uint32_t   saddr;    // don't care
    uint32_t   daddr;    // the destination of the packet
};
```

Observam ca o adresa IP precum `10.30.4.2` poate fi reprezentata in memorie ca un integer pe 32 de biti, `uint32_t`.

Campul `checksum` este complementul fata de 1 al sumei tututuror cuvintelor de 16 biti din header. Totusi, cum noi modificam doar campul `TTL` si pentru ca checksum este o suma, exista o metoda mai rapida de a calcula noul checksum folosinda formula:

```
Fie:
HC  - vechiul checksum din header
C   - complementul față de 1 al sumei campurilor din header
HC' - noul checksum
m   - vechea valoare a câmpului de 16 biți (TTL în cazul nostru)
m'  - moua valoare a câmpului de 16 biți (TTl --)

HC' = ~(C + (-m) + m')
     = ~(~HC + ~m + m')
```

Avem astfel formula finala:

```
new_checksum = ~(~old_check +  ~((uint16_t)old_ttl) + (uint16_t)ip_hdr-
>ttl) - 1;
```

Acel -1 de la final apare pentru a evita translatia din network order in host order pentru valorile de ttl pe 16 biti.

Adrese IP

In generela, o adresa IP este de forma `10.20.30.40` si este reprezentata pe 32 de biti.

Cum avem foarte multe adrese IP, in general o sa le structuram in blucuri (**retele**).

O retea este identificata printr-un `prefix` si o `masca` De exemplu, reteaua din Bucuresti in exemplul nostru este: `10.20.30.0/24`

> Masca de reatea `/24` inseamna ca primii **24 de biti** sunt utilizati pentru identificarea **retelei**, iar restul de **8** biti, pentru identificarea dispozitivelor (**hosturilor**) din acea retea.

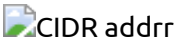
> Masca pe `/24` de biti =>
>
> - primii **24** de biti vor fi **1**
> - restul de **8** biti vor fi **0**

```
Network în București
Network: 10.20.30.0/24
Prefix:  10.20.30.0
Mask:    255.255.255.0 (24 = nr de biți de 1 de la stânga la dreapta)
```

Cate adrese IP sunt in reteaua din Bucuresti? Avem `256` de adrese IP disponibile, `10.20.30.0 - 10.20.30.255`. Adresele din acest bloc pot fi asignate dispozitivelor din Bucuresti.

> Mastile de subretea sunt utilizate impreuna cu notatia `CIDR` pentru a defini dimensiunea unei retele si numaru lde dispozitive conectate la aceasta

> `CIDR` = Classless Inter-Domain Routing


CIDR addrr

Procesul de forward (dirijare)

Un router, pentru a trimite un pachet catre urmatorul dispozitiv (`hop`) va trebui sa realizeze mai multe actiuni (proces de forward). Procesul complet de forwarding este urmatorul

1. Pe und dintre interfete este receptionat un pachet IP
2. Verifica checksumu. Daca este grestit arunca pachetul
3. Ruleaza algoritmul de **Longest Prefix Match** (`LPM`) in **tabela de ruate** pentru a gasi urmatorul hop.
4. In cazul in care nicio intrare din tabela nu face match, router-ul arunca pachetul.
5. Roterul **decrementeaza** campul `TTL` din header-ul IP. In cazul in care `TTL` este 0, pachetul este aruncat
6. Rucalculeaza `checksum`-ul
7. Router-ul face update la adresa `MAC` sursa a pachetului in adresa proprie si adresa `MAC` destinatie a urmatorului HOP.
8. Pachetul este trimis catre urmatorul hop identificat prin `LPM`

Tabela de rutare este populata de algoritmii de routare si este structurata astfel:

```
Prefix          Next hop       Mask          Interface
192.168.0.0     192.168.0.2  255.255.255.0       0
192.168.1.0     192.168.1.2  255.255.255.0       1
192.168.2.0     192.168.2.2  255.255.255.0       2
192.168.3.0     192.168.3.2  255.255.255.0       3
```

Un dispozitiv are mai multe interfete pe care poate sa trimita pachete (ex.: din Londra are una pt Paris si una pt Berlin)

Longest Prefix Match (LPM)

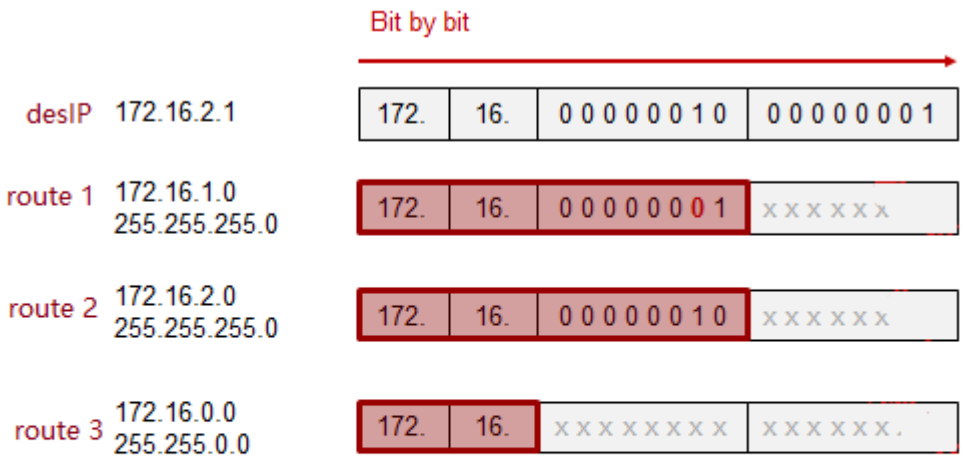
Pentru a determina prefixul dintr-o adresa IP si o masca, putem folosi urmatoarea operatie pe biti: `ip & mask`.

```
 Adresa IP     Mask            Prefix
10.20.30.4 & 255.255.255.0 = 10.20.30.0
```

Algoritmul are o specificatie relativ simpla:

- Router-ul cauta in tabela de rutare intrarile pt care: `(ip & mask) == prefix`
- Dintre toate rutele care fac match in etapa anterioara:
  - este aleasa ruta cea mai specifica (**prefixul** cel mai mare)
  - Daca doua rute au aceeasi specificitate, e va folosi ruta cu cel mai mic metric

Un exemplu este cel din rumatorea imagine, in care `route 2` este cea mai specifica si urmatorul hop este conectat la interfata `S1`.



prefix	out int
172.16.1.0/24	S0
172.16.2.0/24	S1
172.16.0.0/16	S2

> OBS: `route 1` nu face match, deoarece `(destIp & mask) != prefix`.

O posibila implementare in `O(n)` a algoritmului este urmatoarea:

```
// Avem o tabela de rutare table {prefix, next_hop, mask, interface}

// tabela trebuie sortata descrescator prefix si masca
qsort((void *)table, table_len, sizeof(struct route_table_entry),
comparator);

for (int i = 0; i < table_len; i++) {

    /* Cum tabela este sortată, primul match este prefixul ce mai specific
*/
    if (table[i].prefix == (target_ip & mask)) {
      return &table[i];
    }
}
```

Lab 5. Protocolul UDP. Fereastra glisanta

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab5/lecture.html

De parcurs inainte de laborator:

- The User Datagram Protocol
- What is socket?

Nivelul Retea

Protocoalele de nivel transport folosesc servicile oferite de catre nivelul retea. In Internet, `nivelul retea` ofera un serviciu **fara conexiune**. Nivelul retea identifica fiecare host folosind o adrea IP. Nivelul retea poate transmite pachete ce au pana la 65KBytes de date catre orice destinatie cunoscuta din reteaua locala sau din Internet.

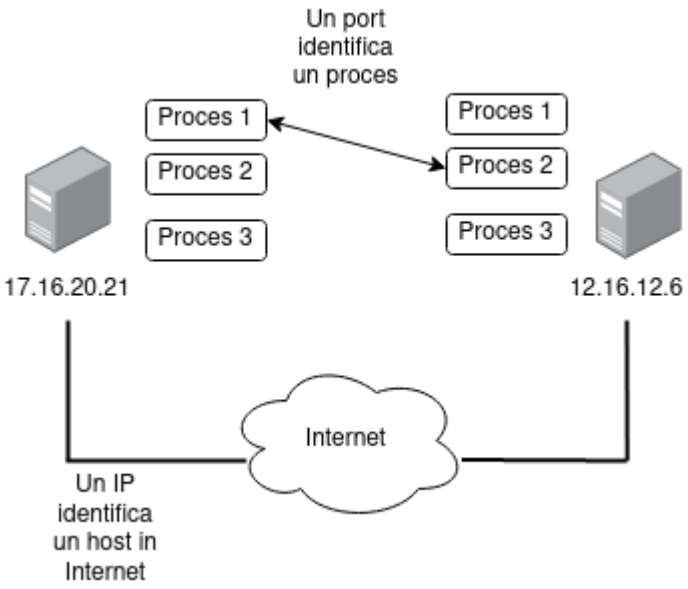
`Nivelul retea` nu garnateaza:

- transmiterea datelor
- nu poate detecta erori de transmisie
- nu pastreaza ordinea de transmitere

Nivelul Transport

Totate aceste lipsuri ale `nivelului retea` sunt rezolvate de catre protocoalele de `nivel transport`.

In general, implementarea protocoaleleor de nivel transport se face in sistemul de operarare.



Porturi

Porturile sunt concpeutl ce ne ajuta sa facem multiplexare intre aplixatii

In conetextul retelelro de comunicatie, un `port` estte un `numar` asociat unui `socket` dintr-un proces (nu unui host).

Daca un proces doreste sa comunice cu late procese, acesta va expun un port, o locatie logica prin care accepta coenxiuni sau prin care se realizeaa schimbul de date.

Aceste numere permite aplicatiilor sa partajeze concurent resuresele de retea. Serverul de mai, de exemplu, nu asteeapta terminarea altor procese ce implica reteaua (ex. web surfing) pt a putea trimite un mail la destinatie.

In antetul protocoalelor de nivel transport, portul este reprezentat pe 2 bytes: `uint16_t port;`.

> Mai multe porturi au fost rezervate in procesul de standardizare Aftel, in **RFC 1340** gasiti o lista de porurie care sunt considerate ca fiind rezervate (well-known) pt anumie protocoale De exemplu, portul 21 este rezervat pt **File Transfer Protocol** (FTP)

Port	Protocol	Use
20, 21	FTP	File TRansfer
23	Telent	Remote Login
25	SMTP	Email
69	TFTP	Trivial File Transfer Protocol
79	Finger	Lookup info about a user
90	HTTP	World Wide Web
110	POP_3	Remote email access
119	NNTP	USENE NENS

UDP (User Datagram Protocol)

Serviciu **neorientat pe conexiune**: nu se stabileste o conexiune intre client si server. Asadar, serverul nu va astepta apeluri de conexiune, ci asteapta direct datagrame de la clienti. Acest tip de comunicare este intalnit in sistemele client-server in care se transmit putin mesaje si in general prea rar pentru a mentine o conexiune activa intre cele doua entitati.

UDP nu garanteaza:

- ordinea primirii mesajelor
- corectarea pierderilor pachetelor

UDP-ul se utilizeaza mai ales in retelele in care exista o pierdere foarte mica de pachete si in cadrul aplicatiilor pentru care peirderea unui pachet nu este foarte importnanta.

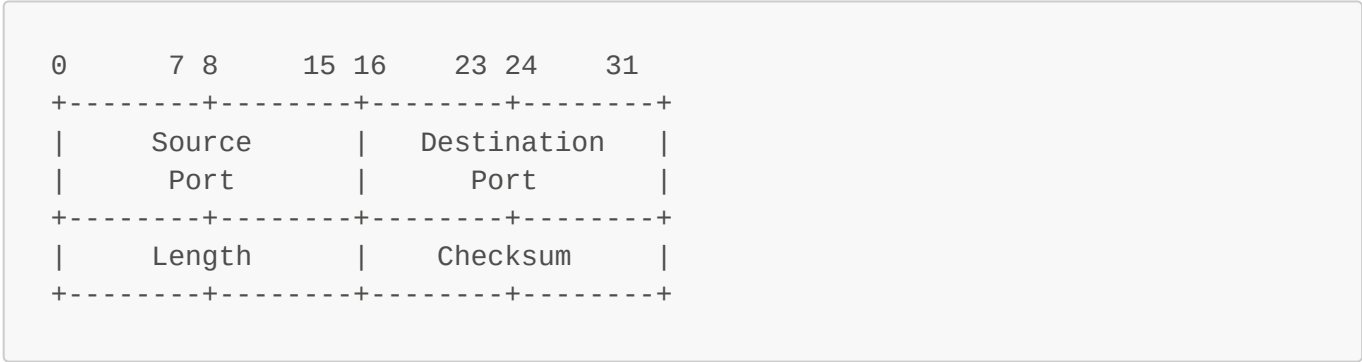
> exemplu: aplicatiile de streaming video

Are un overhead foarte mic, in comparatie cu celelalte protocoale de transport.

> header-ul UDP are 8 bytes
>
> header-ul TCP are 20 bytes

Header UDP

Header-ul UDP are 8 bytes si are urmatoarea structura:



Portul sursa este ales random de catre masina sursa a pacheteului dintre porturile libere existente pe acea masina.

Este un numar pe 16 biti, intre **0** si **65535**. Identifica procesul UDP care a trimis datagrama.

Portul destinatie este protul pe care masina destinatie poate reception pachete. Identifica socket-ul UDP care va procesa datele primite.

Length este lungimea in octeti (byte) a datagramei (header size + data size).

Checksum este valoarea sumei de verificare pentru datagrama.

Putem folosi urmatoarea structura pentru a repreentata header-ul UDP

```
struct udphdr
{
  uint16_t sport;       /* source port */
  uint16_t dport;       /* destination port */
  uint16_t ulen;        /* udp length */
  uint16_t sum;         /* udp checksum */
};
```

Sockets

In cadrul laboratorului nu vom implementa protocolul UDP, ci vom folosi implementarea existanta din Kernel-ul de Linux.

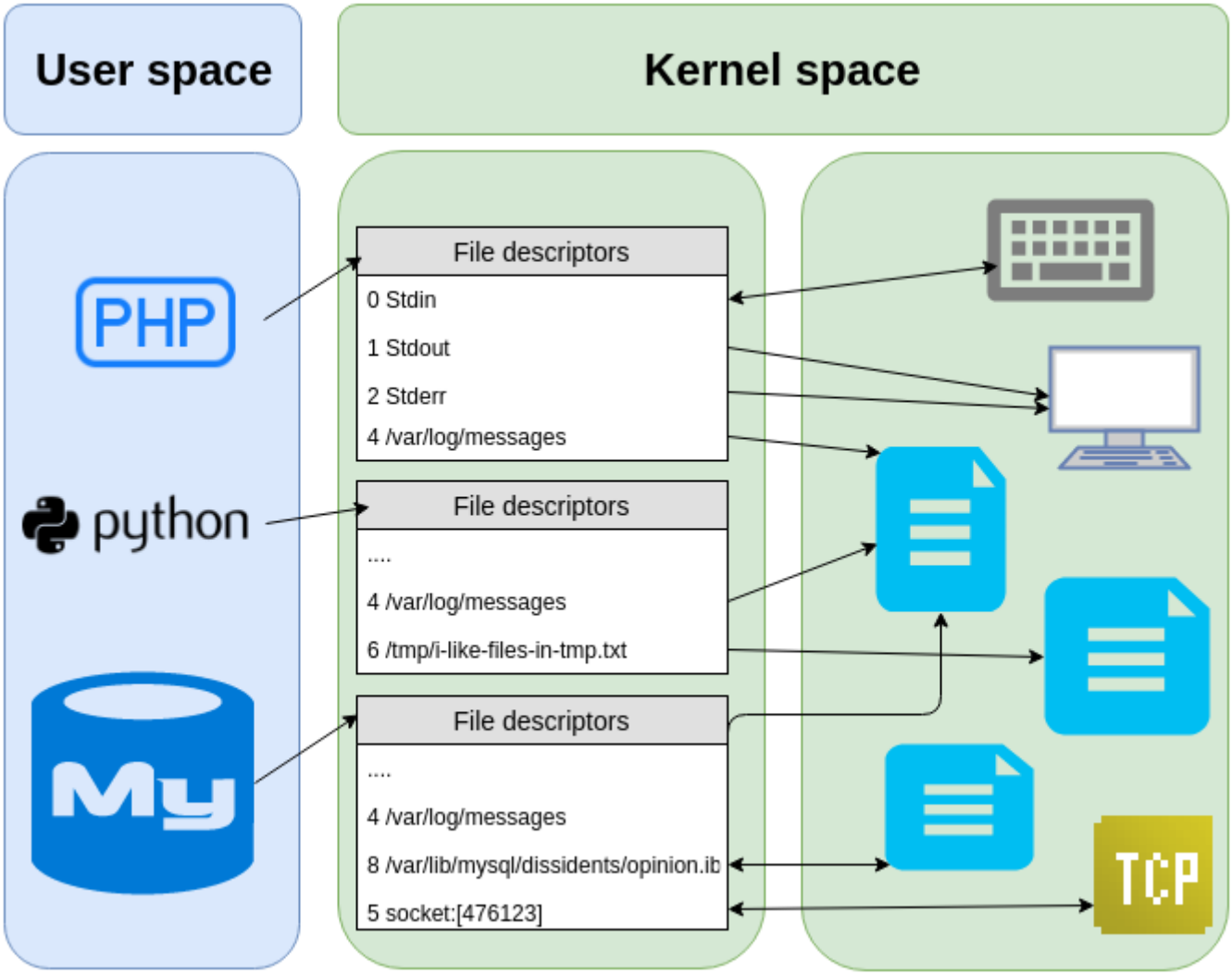
Acest lucru se realizeaza prin intermediul API-ului de sockets. Network stack-ul din Linux se ocupa de parsarea si interactiunea cu datagrame UDP, noua returnandu-ne doar continutul datagramei.

> Un socket este un **canal gerenlizat de comunicate intre procese**.

> Un socket este reprezentat in Linux/UNIX printr-un **descriport de fisiere**.

> Un socket ofera posibilitatea de **comunicare intre procese aflata pe masini diferite intr-o retea**

API-ul de sockets poate fi folosit si pentru IPC (Inter-Process Communication) intre procese ce ruleaza pe aceeasi calculator, prin specificarea adresei de loopback sau a unei interfete existente pe masina.



Functii pt `socket`:

- `socket()`
- `bind()`
- `recvfrom()`
- `sendto()`
- `close()`
- `shutdown()`

```
NAME
  socket - create an endpoint for communication

SYNOPSIS
  #include <sys/types.h>          /* See NOTES */
  #include <sys/socket.h>

  int socket(int domain, int type, int protocol);
```

```
NAME
  bind - bind a name to a socket
```

```
SYNOPSIS
  #include <sys/types.h>          /* See NOTES */
  #include <sys/socket.h>

  int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
           socklen_t addrlen);
```

```
NAME
  recv, recvfrom, recvmsg - receive a message from a socket

SYNOPSIS
  #include <sys/types.h>
  #include <sys/socket.h>

  ssize_t recv(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags);

  ssize_t recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags,
                   struct sockaddr *src_addr, socklen_t *addrlen);

  ssize_t recvmsg(int sockfd, struct msghdr *msg, int flags);
```

```
NAME
  send, sendto, sendmsg - send a message on a socket

SYNOPSIS
  #include <sys/types.h>
  #include <sys/socket.h>

  ssize_t send(int sockfd, const void *buf, size_t len, int flags);

  ssize_t sendto(int sockfd, const void *buf, size_t len, int flags,
                 const struct sockaddr *dest_addr, socklen_t addrlen);

  ssize_t sendmsg(int sockfd, const struct msghdr *msg, int flags);
```

```
NAME
  close - close a file descriptor

SYNOPSIS
  #include <unistd.h>

  int close(int fd);
```

```
$ # Linux Programmer's Manual
$ man socket
$ man bind
$ man recvfrom
$ man sendto
$ man close
```

```
#include <sys/socket.h>

int shutdown(int sockfd, int how);
```

Comunicare client-server UNIX

Intr-o arhitectura client-server, cleintul trimite request-uri (cere resurse) catre server, iar acesta din urma trimite anapoi un raspuns (cu resursa).

Pasi urmati pentru a schimba mesaje folsoind `UDP` la **nivelul Transport** folosind API-ul de sockets sunt urmatorii:

1. `socket()` = Deschide un socket
2. `bind()` = Asociaza un **port** (si o **adresa IP**) pt un socket deschis
3. `recvfrom()` / `sendto()` = recptioneaza / trimita data
4. `close()` = inchide socket-ul

> `shutdown()` = permite intreruperea comunicatiei selectiv, shimband modul de utilizare a legaturii **full-duplex**

```
   +--------+           +--------+
   | Server |           | Client |
   +--------+           +--------+
       |                    |
       |                    |          Descriere:
    socket()              socket()       socket() - creează un endpoint de
comunicare
       |                    |           bind() - atașează o adresa unui
socket
     bind()                 |           sendto() - trimite o datagrama
       |                    |           receive() - primește o datagramă
    recv_from() <--------  sendto()      close() - eliberează file
descriptorul
       |                    |
    send_to()   -------->  recvfrom()
       |                    |
    close()               close()
```

`socket()`

```c
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/* creare socket in C */
/* int socket(int domain, int type, int protocol); */

/* pentru UDP, folosim un socket de tip SOCK_DGRAM */
int sockid = socket(PF_INET, SOCK_DGRAM, 0);

if (sockid == -1) {
  /* trateaza eroare */
}
```

Explicatii:

- `sockid` - file descriptor pentru socket. În caz de eroare se întoarce -1 si se seteaza variabila `errno`.
- `domain` - reprezintă familia de protocoale pe care urmează să le utilizam în transferul informației. Vom folosi valorile PF_INET pentru IPv4 sau PF_INET6 pentru IPv6.
- `type` - reprezinta tipul socketului. Valori uzuale:
  - **SOCK_STREAM** - Indicata stabilirea unei comunicatii bazata pe construirea unei conexiuni intre sursa si destinatie. Comunicatia este FIFO, fiabila si sigura, o vom folosi la laboratorul urmator cu TCP.
  - **SOCK_DGRAM** - Ofera un flux de date bidirectional, care nu promite sa fie sigur, in secventa sau neduplicat. Un proces care receptioneaza mesaje pe un socket datagrama, poate gasi mesaje duplicate si posibil intr-o ordine diferita fata de cea in care au fost trimise. protocol - specifica protocolul de transport utilizat. Vom seta pe valoarea 0, pentru a se alege protocolul corect in functie de type.

Pentru a afla mai multe informatii, putem accesa urmatorul capitol 5.2 socket()—Get the File Descriptor!.

`bind()`

Utilizatea in server pentru a lega un **socket** de un **port** si eventual de o anumita **adresa IP**.

Practic, `bind` este folosit pentru a indica implementarii de networking din Kernel sa lege acel socket la un anumit port si (optional) la o anumita **adresa IP**.

Atfel, stiva va trimite catre acel socket doar datagrameel ce au ca port destinatie portul ales.

```c
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

/*int bind(int sockfd, struct sockaddr *my_addr, int addrlen)*/

struct sockaddr myaddr;
memset(&myaddr, 0, sizeof(servaddr));
myaddr.sin_family = AF_INET; // IPv4
/* INADDR_ANY = 0.0.0.0 as uint32 */
myaddr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
```

```
myaddr.sin_port = htons(atoi(8888));

int rs = bind(sockfd, myaddr, sizeof(servaddr));
/* in urma apelului, sockfd va avea adresa my_addr */
if (rs == -1) {
  /* trateaza eroare */
}
```

Explicatii:

- `sockfd` = Descriptorul de fisier returnat de `socket()`
- `my_addr` = Structura sockaddr ce contine informatii despre **adresa IP** si **port**
- `addrlen` = lungimea structurii ce stocheaza adresa `my_addr`

`recvfrom()` / `sendto()`

Functiile sunt folosite pentru a primi/trimite o datagrama peste un socket.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

struct sockaddr to;
// Filling server information
memset(&to, 0, sizeof(servaddr));
to.sin_family = AF_INET;
to.sin_port = htons(8888);
int rc = inet_aton("127.0.0.1", &to.sin_addr);


int byteswrite = sendto(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags,
struct sockaddr *to, int addrlen);
if (byteswrite == -1) {
  /* trateaza eroare */
}

/* from va fi populata de apelul recvfrom si va contine informatii despre
cine a trimis datagrama catre noi */
struct sockaddr from;
int bytesread = recvfrom(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags,
struct sockaddr *from, int *addrlen);
if (bytesread == -1) {
  /* trateaza eroare */
}
```

Explicatii:

- `sockfd` = Descriptorul de fisier returnat de socket()
- `buff` = Bufferul unde se gasesc datele ce urmeaza a fi trimise/bufferul unde se vor receptiona datale
- `flags` = Precizeaza conditii de efectuare a transmisiei
- `to/from` = strucurua ce indica adresa unde se trimite/primesc date

- `addrlen` = lungime structurii **to/from** in octeti

`close()` / `shutdown()`

Pentru a inchide un socket se foloseste functia de inchidere a unui descriptor de fisier din Unix:

```
#include <unistd.h>

int close(ind fd);
```

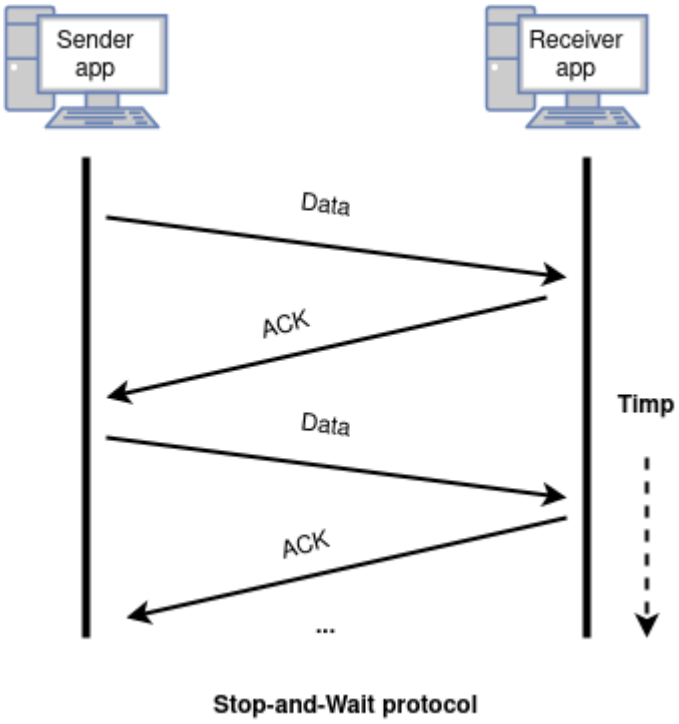
Acest lucru va impiedica atat realizarea de alte citiri, cat si de scrieri din socket. Pentru mai mult control asupra socketului, se foloseste functia `shutdown`, care permite intreruperea comunicatiei selectiv, schimband modul de utilizare a legaturii `full-duplex`.

```
#include <sys/socket.h>

int shutdown(int sockfd, int how);
```

> NOTA `shutdown()` nu inchide un descriptor de fisier, ci doar schimba modul de utilizare
>
> Resursele trebuie eliberate folosind `close()`

`Stop-And-Wait` peste `UDP`

Un protocol foarte simplu pe care il putem dezvolta peste protocolul `UDP` se numeste `Stop-and-Wait`. In imaginea de mai jos avem o reprezentare grafica a acestui protocol. Presupunem ca nu exista pierderi pe link-urile dintr host si receiver.



Stop-and-Wait protocol

Transmitatorul, trimite o datagrama UDP, asteapta confirmarea de la recepter, iar apoi trimite urmatoarea datagrama UDP.

ACK (Acknowledge) este tot o datagrama, doar ca aceasta nu cara date, ci doar confirma primirea datagramei anterioare.

> Protocolul nostru simplu, are totusi o problema: **nu foloseste link-urile optim**.

Daca noi am avea un link de 100Mbp cu un delay de 100ms intre sender si receiver, atunci protoclul in forma actuala ar avea un throughput de sub 3% din banda deoarce o datagraa UDP poate avea cel mult 65507 bytes (atunci cand folosim IPv4).

> Pentru a rezolva aceasta problema, a fost dezvoltat tehnica de `fereastra glisanta`.

`Frereastra Glisanta` peste UDP

Pentru a folosi. un link intr-un mod optim, vom folosi tehnica de `fereastra glisanta` (sliding window).

> Vom trimite `window_size` datagrame fara sa astepam dupa un ACK, apoi,

> pentru fecare ACK primit, vom face slide ferestrei la dreapta.

Dimensiunea ferestrei glisante

Vom presupune un caz simplu in care 2 gazde pot comunica datagrame UDP peste mai multe link-uri:

```
          L1                L2               L3
Host A <------> Router <--------> Switch <-------> Host B

L1, L2, L3 - 10 MBps, 5ms latenta, 0% pierderi de pachete
```

Cum calculam dimensiunea ferestrei? Cum toate link-urile au aceiasi parametrii, vom face calculul o singura data.

Primul pas este determinarea valorii BDP-ului (`Bandwidth Dealy Product`)

```
BDP = 10MB/s * 5ms = 10*10^6 B /s*5*10^(-3) s= 50000 bytes = 50KB
```

In cazul in care datagramele pe care le trimim au cel mult `1500 bytes`, atunci pentur a folosi link-ul intr-un mod optim, dimensiunea ferestrei este urm.:

```
windows_size = [BDP / DatagramSize] = [50000 / 1500] = 30
```

> Am presupus ca dimensiunea maxima de `1500 bytes` include si antetele protocoalelor de nivel inferior, precum IP si Ethernet

Lab 6. Retransmisie peste UDP. Go-Back-N ARQ

In laboratorul precedent am dezvolatat un protocol simplu cu fereastra glisanta peste un link ideal. Totusi, in realitate, **link-urile au pierderi**.

Astazi, vom dezvoltat un alt protocol peste UDP cu retransmisie. Acesta va asigura transferul corect de date intre un server si un client peste un link care pierde date.

> In acest laborator, unitatea de transmisie pe care o vom folosi este **segmentul**

O tehnica dezvoltata pentru a realiza rtransmisia este Go-Back-N ARQ.

Este un caz special de **fereastra glisanta**, in care transmitatorul are o fereastra **N** si receptorul **1**.

La receptor, orice segment care nu este asteptat este aruncat.

Transmitatorul retransmite toate cele **N** segmentele din fereastra la declansarea unui timer.

Lab 7. Protocolul TCP. Multiplexare IO.

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab7/lecture.html

Linkuri utile:

- TCP: Transmission control protocol
- TCP connection
- TCP = Transmission Control Protocol
    - SYN = Synchronize
    - RST = Reset
    - FIN = Finish
    - ACK = Acknowledge
    - NACK = Not Acknowledge
    - RTT = Round Trip Time
    - MSS = Maximum Segment Size
    - RTO = Retransmission Timeout
    - IW = Initial Window Size (= 10, conform RFC6928)
    - WIN = Window Size (dimensiunea ferestrei de receptie)
    - RWND = Receive Window
    - CWND = Congestion Window
    - BW or BNWD = bandwidth
    - AI = Additive Increase (Crestere Liniara)
    - SS = Slow Start
    - MD = Multiplicative Decrease

Protocolul TCP

TCP (Transport Control Protocol) este un protocol ce furnizeaza transmisie garantata (cat timp exista conexiune). in ordine si o singura data, a octetilor de la transmitator la recptor.

Acest protocol asigura stabilirea unei conexiuni intre cele doua calculatoare pe parcursul comunicatiei si este descris in RFC 793.

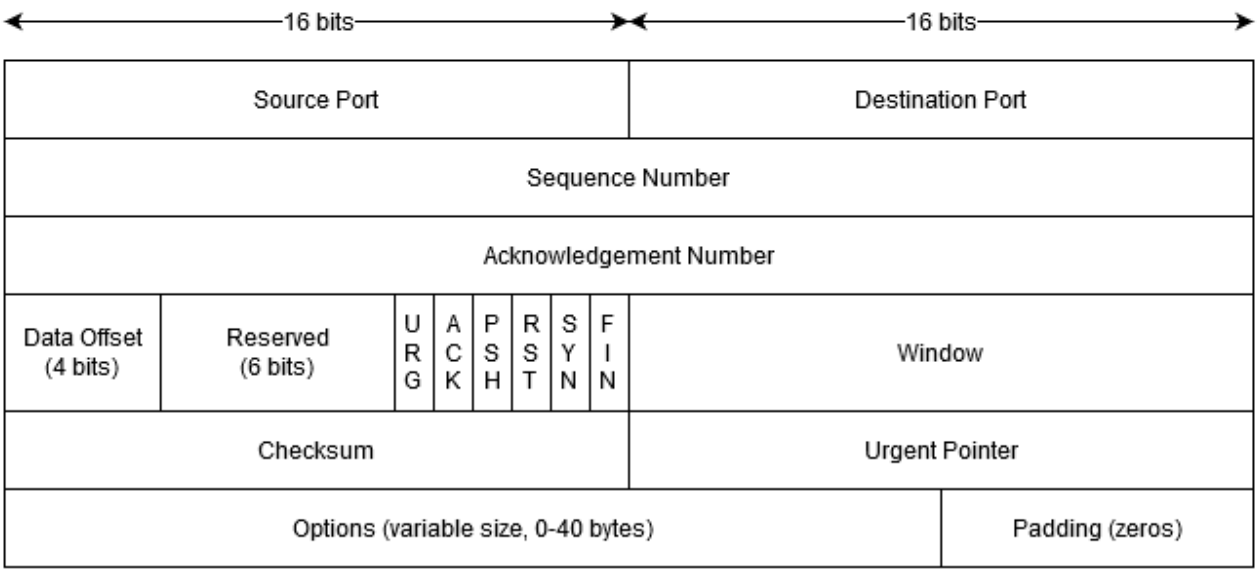
Protocolul TCP are urmatoarele proprietati:

- stabilirea unei conexiuni intre client si server
- serverul va astepta apeluri de conexiune din partea clientilor
- garantarea ordinii primirii mesajelor si prevenirea pierderii pachatelor
- controlul congestiei (fereastra glisanta)
- **overhead** mai mare in comparatie cu UDP

> un header TCP are **20 bytes**

> un header UDP are **8 bytes**

Header TCP



Explicatii header TCP:

- **src port** = prot random ales de catre masina sursa a pachetelui, dintre porturile libere existente pe acea masina
- **dest port** = portul pe care masina destinatie poate receptiona pachete
- **checksum** = valoarea sumei de control pt un pachet TCP
- URG = Urgent Pointer field significant
    - pacheteul contine data care trebuie procesate prioritar fata de alte date din fluxul de date
- ACK = Acknowledge
- PSH = Push Function -> acest flag solicita ca detele sa fie livrate iediat aplicatiei destinatarului, fara a fi retinute in buffer pt acumularea altor date
- RST = Reset the connection

    - resetarea unei conexiuni TCP
    - este trimis de obicei ca raspuns la o conexiune invalida sua pt a forta inchiderea unei conexiuni

- `SYN` = Synchronize sequence numbers

    - initierea unei conexiuni TCP
    - setarea acestui flag inseamna ca expeditorul doreste sa stabileasca o conexiuni si sincronizeaza numerele de secventa initiale

- `FIN` = Finish

    - inchiderea unei conexiunii TCP
    - cand este setat, indica faptul ca expeditorul a terminat de trimis date si doreste sa incheie conexiunea

Socket API for `TCP`

La laboratorul precedent, am discutat de functii pe care le putem folosi pt a trimite daagrame `UDP`:

- `socket()`
- `bind()`
- `recvfrom()`
- `sendto()`

In acest laborator, vom folosi 3 functii noi:

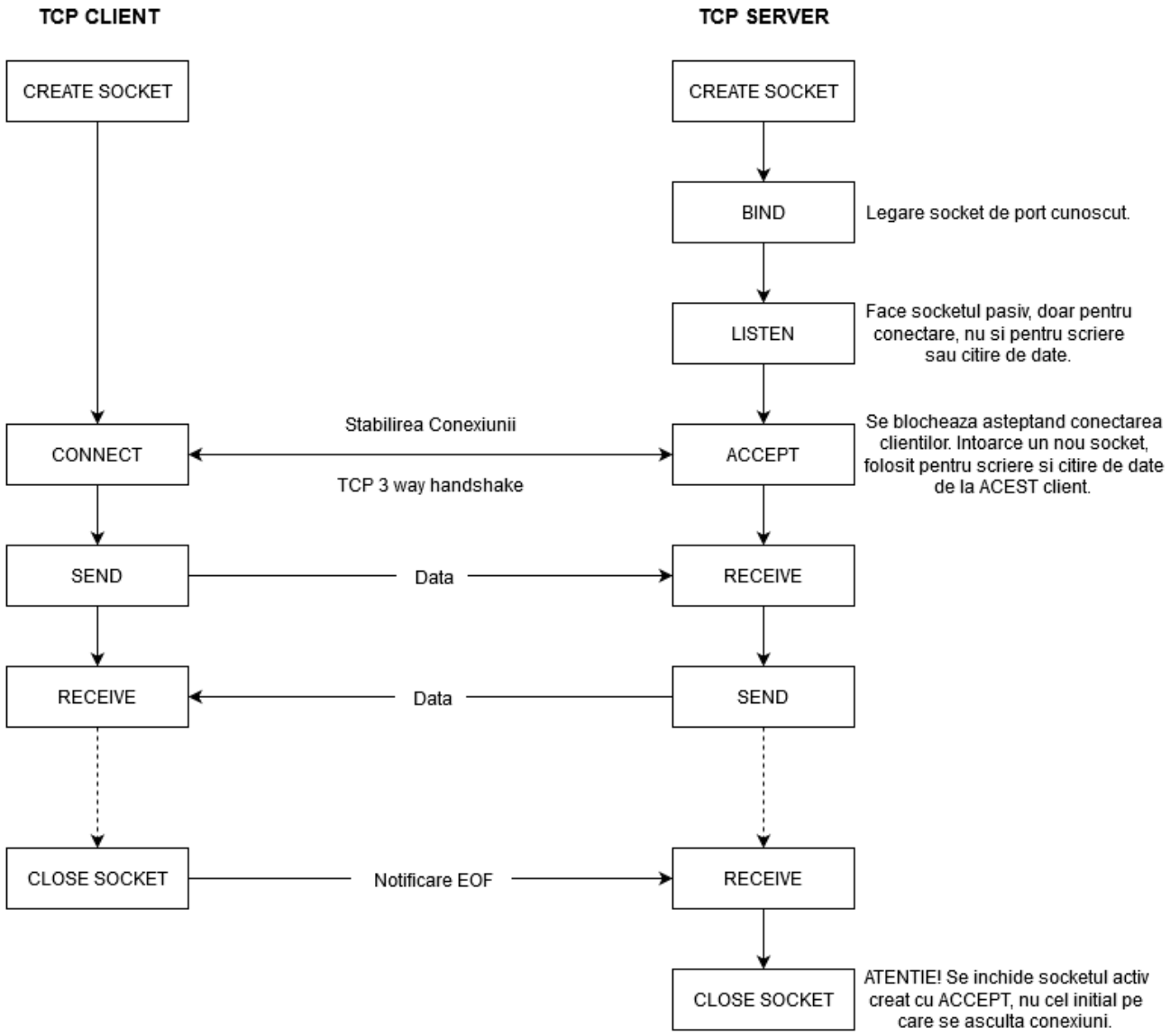
- `connect()`
- `listen()`
- `accept()`

> Acestea sunt folosite pentru stabilirea unei conexiuni intre sender si receiver

In plus, in cadrul acestui laborator vom folosi functiile **send** si **recv**.

> Odata stabilita conexiunea, nu mai trebui sa specificam destinatia

Un overview cum sunt realizate acestea:



> NOTA: In cadrul functiei **socket** vom folosi `SOCK_STREAM` ca argument in locul `SOCK_DGRAM`

`connect()`

In client, dupa ce am creat socketul, aceta trebuie sa se conecteze la server (sa intieze si sa stabileaza un `three-way handshake`).

Pentru aceasta vom folosi functia `connect()`:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int connect(int sockfd, const struct sockaddr *addr, socklen_t addrlen);
```

1. `sockfd` = un descriptor de fisier obtinu in urma apelului `socket()`
2. `addr` = o structura ce contine protul si adresa `IP` a serverului
3. `addrlen` = dimensiunea celui de al doilea parametru

`listen()`

TODO

`accept()`

TODO

`send()`/`recv()`

TODO

Multiplexare IO

TODO

Timere

TODO

Lab 8. `TCP` Congestion Control

> Link laborator: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab8/lecture.html

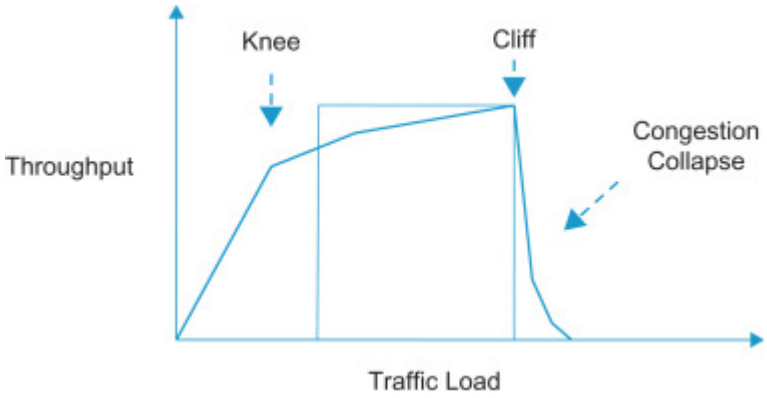
De parcurs inainte de laborator:

- Network Congestion - pana la 17 (20 min)
- Congestion control

Colapsul congestiei din 1986

În octombrie 1986, a fost detectată o prăbușire a congestiei pe Internet pe o legătură de 32 kbps între campusul Universității din California, Berkeley și Laboratorul Național Lawrence Berkeley, aflat la 400 de metri distanță, în timpul căreia debitul a scăzut cu un factor de aproape 1.000, ajungând la 40 bps.

Doi ani mai târziu, Van Jacobson a implementat și publicat algoritmul de control al congestiei în versiunea Tahoe a TCP, bazată pe o idee a lui Raj Jain, K.K. Ramakrishnan și Dah-Ming Chiu. Înainte de Tahoe, existau mecanisme în TCP care împiedicau expeditorii să copleșească receptorii (Flow Control), dar nu exista niciun mecanism eficient care să împiedice expeditorii să copleșească rețeaua. Acest lucru nu a fost o problemă deoarece existau puțini gazde, până la mijlocul anilor 1980. Până în noiembrie 1986, numărul de gazde a fost estimat să fi crescut la 5.089, dar majoritatea legăturilor de bază au rămas la 50 - 56 bps (biți pe secundă) de la începutul ARPANet.

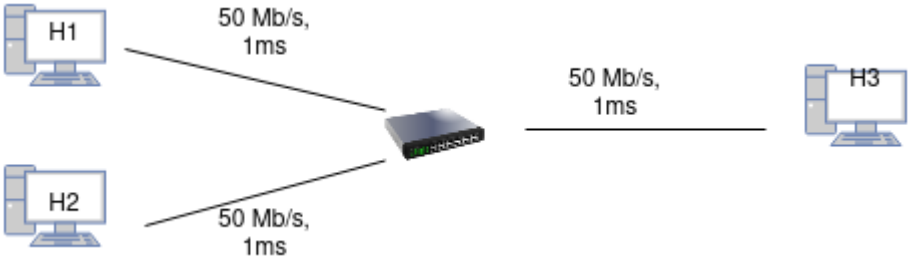


Controlul Congetsiei

Am vazut in laboratoarele precedente ca dimensiunea ferestrei transmitatorului era calculata in functie de `BDP`.

In cazul in care consideram ca dimensiunea maxima a unui segment este **Maximum Segment Size** (`MSS`), atunci am putea calcula dimensiunea optima a ferestrei ca fiind `CWND = BDP / MSS`.

Fie urmatoarea topologie in care avem 2 transmitatori care impart un link catre H3.



Daca atat H1 cat si H2 ar avea un throughtput de transmisei de 50 Mb/s, atunci am ajunge la 100 Mb/s pe link-ul catre H3, ce are o capacitate de doar 50 Mb/s.

Acest lucru va rezulta in pierderea segmentelor si retransmisia.

> Pierderile apara de la faptul ca buffer-ul din router se umple El poate trimite catre h2 cu 50 Mb/s in timp ce primeste pachete la 100 Mb/s de la h1 si h3

Pentur a evita acest colaps al reteli cauzat de congesti, transmitatrul va trebui sa isi limiteze dimensiunea ferestrei de transmisie.

In acest scop, introducem **Congestion Window** (`CWND`):

- fereastra de congestie
- numarul de octeti pe care transmitatorul il poate trimite fara a astepta o confirmare

fereastra de congestie este expirmata de obicei in octeti pentru a permite folosirea segmentelor de dimensiuni variabile de catre transmitator.

Alternativ, ea poate fi exprimata in **unitati**, unde fiecare unitate reprezinta un **segment de dimensiune maxima** (`MSS` = Maximum Segment Size)

In Internet, `MSS` este n jurul de 1500B.

Fereastra de congestie este actualizata dinamic de catra transmitator. Fereastra va creste atunci cand nu exista congestie si va fi redusa cand reteaua este congestionata. Valoarea minima a ferestrei este de `1 MSS`.

(Exponential) Slow Start

Algoritmul de slow Start porneste cu o valoare a `CWND = IW * MSS`.

> `IW` = Initial Window Size (= 10, conform RFC6928)

La fiecare confirmare primita, `Slow Start` creste fereastra cu `MSS`:

```
CWND = CWND + MSS
```

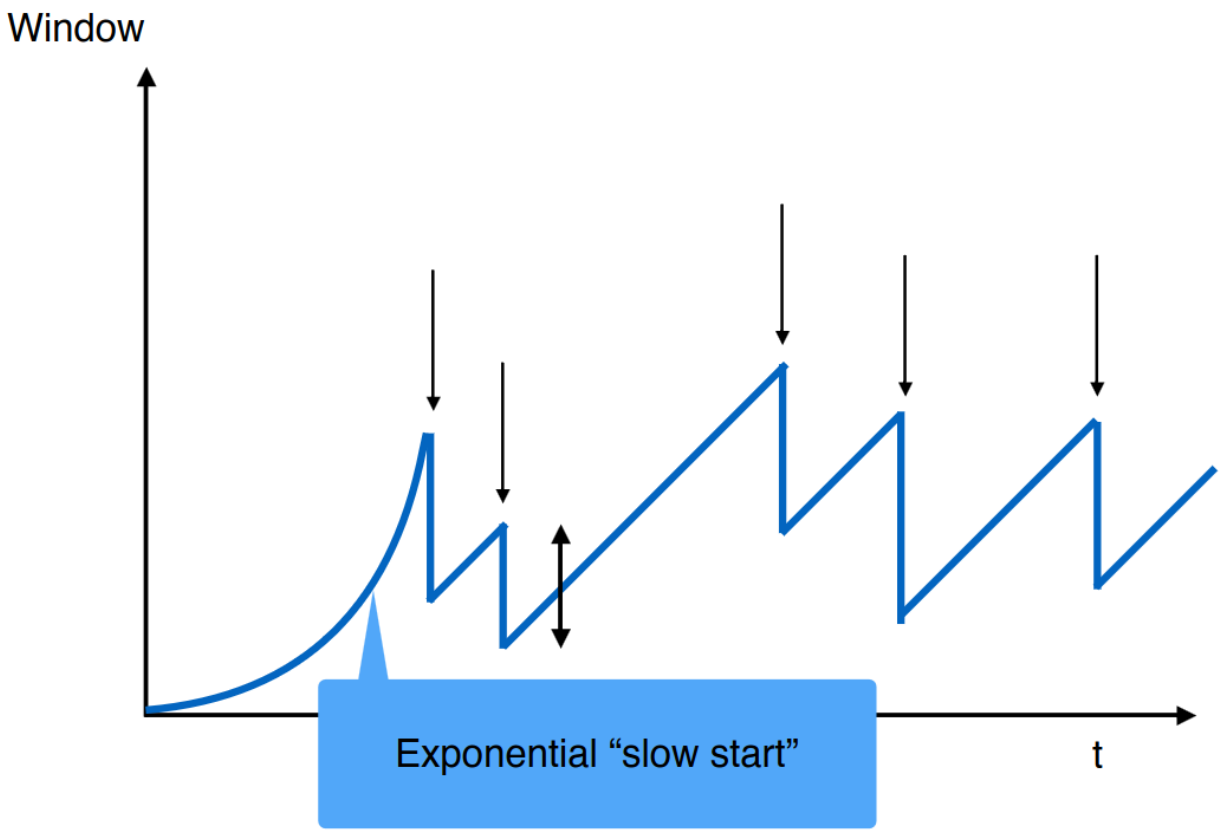
Astfel, fereastra se dubleaza in fiecare **round-trip time** in timpul **slow start** (dupa 1RTT ea va 20MSS, dupa inca unul 40MSS etc).

Slow se incheie atunci cand se detecteaza congestie in retea, fie ca urmare a peirderii unui pachet, fie atunci cand reteaua indica explicit congestia cu ajutorul `ECN` (Explicit Congestion Notification).

Trecerea la algoritmul de congestie. Introducem un prag, treshlod, `sstresh` , dupa care o sa treem la utilizarea unui algorimt de congestie precum `AIMD` pt actualizarea `CWND`.

Initial, `sstresh` are o valoare mare, dar la fiecare timeout este actualizat `sstresh = CWND / 2`.

Atunci cand `CWND > sstresh`, transmitatorul face trecerea la AIMD.

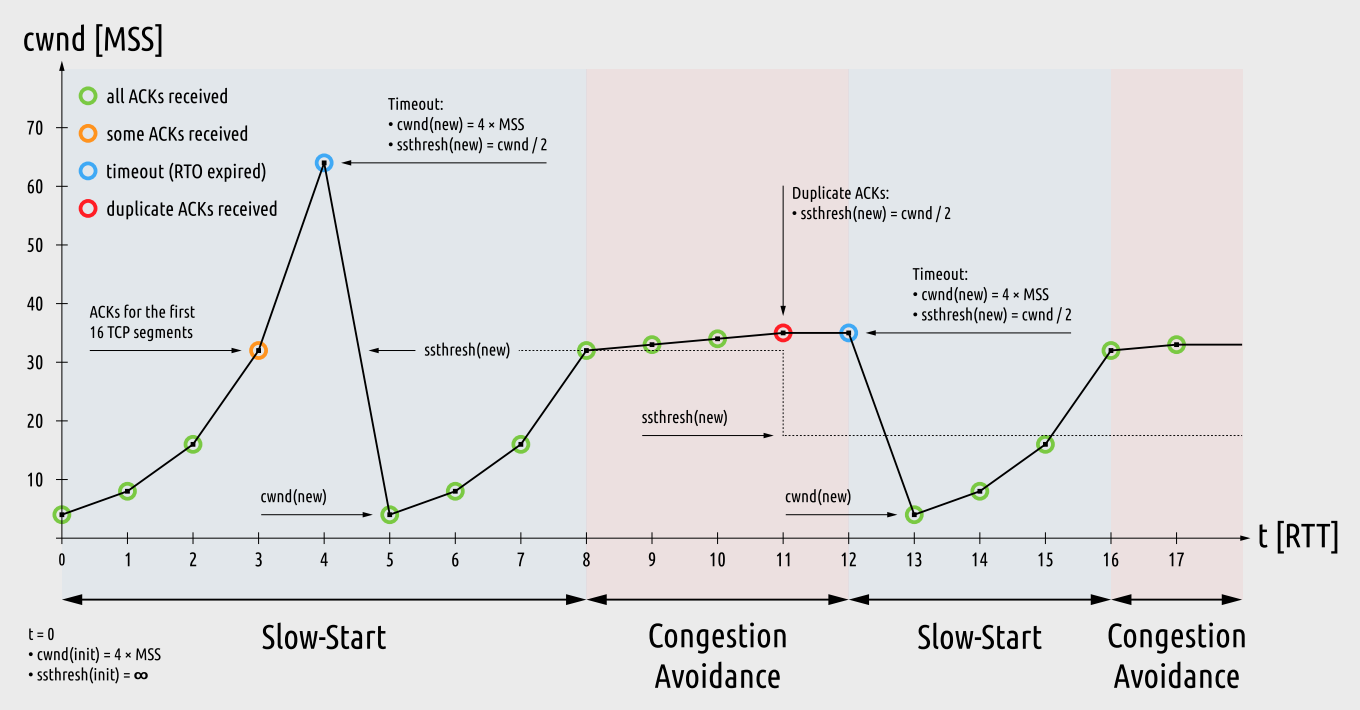


Additive Increase, Multiplicative Decrease (AIMD)

TODO

Etapele TCP

In figura de mai jos este surprins comportamentul TCP ce foloseste Slow Start si algortmul AIMD de evitare a congestiei.



Lab 9. Protocolul HTTP

> Link lab: https://pcom.pages.upb.ro/labs/lab9/lecture.html TODO