

## Lucrarea 1

### Nivelul de control al accesului la mediu (MAC) la rețelele de tip Ethernet

#### 1. Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este înțelegerea de către studenți a modului în care funcționează nivelul de control al accesului la mediu (Medium Access Control - MAC) la rețelele locale de tip Ethernet.

#### 2. Introducere

Ethernet-ul a fost dezvoltat în cea de-a doua parte a anilor 1970 de către compania americană Xerox Corporation în centrul său de cercetări de la Palo Alto (California). Acest tip de rețea a fost standardizat prin familia de protocoale IEEE 802.3, care descrie parte a nivelului MAC și nivelul fizic al rețelelor de tip Ethernet. În prezent, LAN-urile de tip Ethernet domină net ceilalți competitori (Token-Ring, Token Bus, FDDI), Ethernetul fiind de departe cel mai utilizat tip de rețea locală. Abia în ultimii ani alternativa wireless reglementată de protocolul 802.11 (rețele locale de tip WiFi) a început să se constituie într-un competitor serios, mai ales în cazul rețelelor locale de mici dimensiuni.

Ethernetul a fost inițial conceput ca o rețea în care mai multe calculatoare conectate la un mediu de transmisie comun (cablu coaxial în primele versiuni) partajază acest mediu de transmisie, transmisia efectuându-se cu difuzare. Fiecare stație conectată la acest mediu poate fi identificată cu ajutorul unei adrese unice pe 48 de biți, cunoscută sub numele de adresă MAC și care este atribuită plăcii de rețea a calculatorului de către fabricantul acesteia. De-a lungul timpului, de la structura inițială, în care transmisia se făcea pe un cablu coaxial partajat de către toate stațiile conectate la acest cablu prin intermediul plăcii de rețea, structura rețelelor Ethernet a evoluat foarte mult. Astfel, în zilele noastre, mediul unic cu difuzarea pachetelor a fost înlocuit cu legături punct la punct implementate cu ajutorul unor dispozitive de rețea de tip switch (comutator). Un prim pas al acestei evoluții a fost înlocuirea topologiei de tip bus, în care toate stațiile erau conectate într-un lanț, cu topologia hibridă de tip bus/stea, în care stațiile sunt interconectate prin intermediu unui nod central al rețelei, numit hub sau repetor multiport. Mediul fizic de transmisie folosit s-a schimbat și el de-a lungul timpului, în prezent fiind vorba despre stații care transmit pe cabluri torsadate de tipul UTP/STP (Unshielded/Shielded Twisted Pairs). În ciuda acestor modificări din punct de vedere al implementării, elementele definitorii ale rețelei Ethernet (accesul la mediul de transmisie, structura cadrelor) au rămas neschimbate. Această lucrare își propune să studieze modul în care nivelul MAC gestionează alocarea resurselor de transmisie și situațiile conflictuale (coliziunile) și efectul pe care

prezența hub-urilor și a switch-urilor îl are asupra implementării practice a rețelei și asupra performanțelor acesteia.

### 3. Structura ierarhizată a rețelelor de tip Ethernet

Funcționarea rețelelor Ethernet este reglementată de familia de protocoale IEEE 802.3, care descrie funcționarea nivelului fizic și a celui de acces la mediu (MAC) pentru rețelele de tip Ethernet. Arhitectura ierarhizată a rețelelor ethernet poate fi modelată sub forma din figura 1:

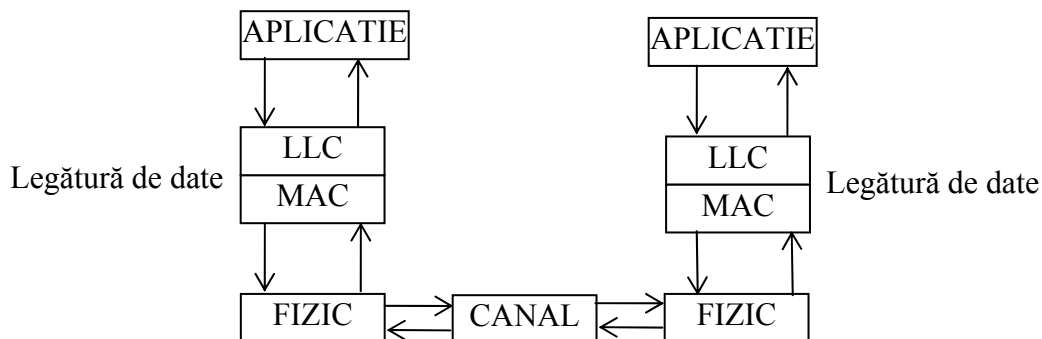


Fig.1: Structura ierarhizată a rețelelor Ethernet

Conform modelului ilustrat în figura 1, putem presupune că fiecare nod al rețelei are trei nivele: fizic, legătură de date și aplicație. Cel de-al doilea nivel al acestei arhitecturi (legătură de date) este compus din două subniveluri: subnivelul MAC și subnivelul de control al legăturii logice (LLC – Logical Link Control). Aceste noduri sunt legate între ele prin intermediul unei magistrale (bus). Se poate considera că nivelele inferioare (fizic și MAC) reglementate de IEEE 802.3 sunt independente de nivelul aplicație.

### 4. Controlul accesului la mediu (MAC)

Seria de standarde IEEE 802 împarte nivelul de legătură de date așa cum este el definit de modelul OSI în cele două subnivele amintite mai sus : MAC și LLC. Subnivelul MAC în cazul familiei de protocoale 802.3 este responsabil pentru verificarea canalului pentru a constata dacă acesta este "ocupat" (dacă există o transmisie în desfășurare) și intrarea în transmisie în caz contrar, pentru constatarea apariției unei coliziuni și implementarea măsurilor ce trebuie luate într-o astfel de situație. Acest nivel se constituie într-o interfață între datele utilizatorului (nivelul aplicație) și nivelul fizic în ambele sensuri. Astfel, datele de nivel aplicație sunt transmise conform regulilor impuse de nivelul MAC (partajarea accesului la mediu, mecanisme de retransmisie) sub forma

impusă de nivelul fizic (nivele de tensiune, reguli de codare etc). În sens opus, datele recepționate la nivelul fizic sunt procesate de către placa de rețea și transmise nivelului aplicație.

#### **4.1 CSMA-CD**

Modul în care mai mulți utilizatori partajază accesul la mediul de transmisie este reglementat de către protocolul CSMA-CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Numele acestui protocol este foarte sugestiv pentru strategia de partajare a accesului pe care el o adoptă: acces multiplu cu sesizarea purtătoarei și detecția coliziunilor. Funcționarea sa poate fi descrisă într-o manieră graduală după cum urmează:

##### **A. Procedură principală**

1. cadru pregătit pentru transmisie (o stație are date de transmis).
2. ascultarea mediului de transmisie: este mediul ocupat? Dacă da, stația trebuie să aștepte un interval predefinit (9.6 $\mu$ s în rețelele Ethernet de 10Mbps).
3. dacă mediul este liber, se începe transmisia cadrului.
4. verificarea apariției unei coliziuni: dacă apare o coliziune, trebuie adaptată procedura de retransmisie prevăzută în acest caz (se sare la procedura descrisă în secțiunea B).
5. terminarea cu succes a transmisiei.

##### **B. Procedura gestionare a situațiilor de coliziune**

1. continuarea transmisiei astfel încât să se atingă dimensiunea minimă a pachetului.
2. dacă este vorba despre un pachet pentru care s-a atins numărul maxim de retransmisii posibile, atunci se abandonează transmisia.
3. dacă nu s-a atins numărul maxim de retransmisii, se calculează o perioadă de așteptare înainte de a se încerca din nou efectuarea unei retransmisii.
4. se reia procedura principală, începând cu primul pas.

Detalii despre modul în care se implementează fiecare dintre aceste etape sunt furnizate în cele ce urmează.

#### **Detectarea coliziunii**

Nivelul fizic al protocolului 802.3 folosește tehnica de codare Manchester, pentru care este impusă apariția unei transmisii la mijlocul intervalului de bit. În acest tip de codare, un "1" este reprezentat printr-o tranziție de la nivel pozitiv de tensiune la nivel negativ, în timp ce tranziția în sens contrar codează un "0". Astfel, examinarea evoluției în timp a tensiunii electrice de pe cablul de transmisie va permite detectarea prezenței unei purtătoare. Dacă o asemenea transmisie este detectată, stația care are date de transmis va continua să monitorizeze canalul. Când transmisia în desfășurare se

încheie, stația ce are date de transmis își va transmite cadrele, continuând în același timp să asculte canalul pentru a putea detecta apariția unei eventuale coliziuni a propriei transmisii cu o altă transmisie. Deoarece semnalele codate Manchester au în cazul rețelelor Ethernet un nivel mediu de 1V DC, existența unei coliziuni va duce la prezența pe cablul de transmisie a unei tensiuni medii de 2V. Astfel, interfața de rețea a unei stații va putea detecta această coliziune prin monitorizarea nivelului de tensiune al semnalului codat Manchester care este transmis prin canal.

În cazul în care se detectează o coliziune pe durata transmisiei, stația va înceta transmisia cadrului de date și va începe transmisia unui cadru special (ce poate avea între 32 și 48 de biți) (terminologia în limba engleză este de "jam pattern") pentru a indica tuturor celorlalte entități din rețea apariția unei coliziuni.

### **Perioada de așteptare după coliziune și retransmisia**

Odată detectată coliziunea, stația ce transmite va aștepta un număr aleator de sloturi temporale înainte de a încerca o retransmisie. Termenul de "slot temporal" este echivalent cu timpul necesar pentru transmisia a 512 biți într-o rețea Ethernet de 10 Mbps. Intervalul în sloturi temporale care se va scurge până la încercarea unei retransmisii se numește fereastră binară exponențială trunchiată. În cadrul acestei tehnici de așteptare pentru un interval de timp aleator ales, un număr întreg selectat aleator  $r$  definește numărul maxim de sloturi temporale după care stația reîncepe să asculte canalul pentru a vedea dacă acesta este liber. În slotul selectat, stația începe retransmisia (dacă slotul este considerat ca fiind "liber"), continuând să asculte linia pentru sesizarea unei eventuale coliziuni. În cazul în care în primul slot în care se reîncearcă transmisia statutul liniei continuă să fie "ocupat", procedura este repetată de mai multe ori. Numărul de sloturi temporale întârziere pentru încercarea celei de-a  $n$ -a retransmisii este ales ca un întreg uniform distribuit în intervalul  $[0, 2^k]$ , unde  $k = \min(n, 10)$ . După un număr maxim de încercări care poate fi definit de către utilizator, nivelul MAC presupune că există o problemă în rețea, trimite un raport nivelului LLC și încetează transmisia.

## **5. Desfășurarea lucrării**

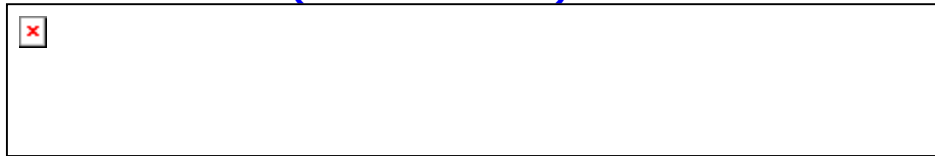
- Studenții vor accesa utilizând un browser web fisierul [Ethernet.html](#), localizat în directorul D:/Resurse Studenti/AnIII/CD/Ethernet. Se vor citi cu atenție explicațiile și se vor vizualiza simulările din acest fișier, încercându-se înțelegerea principiilor care reglementează această funcționare.
- Se va răspunde (în scris) la următoarea listă de întrebări:

1. Explicați conceptele ce stau la baza protocolului CSMA-CD: acces multiplu, sesizarea purtătoarei, detecția coliziunilor.
2. Care este protocolul ce descrie funcționarea rețelei ethernet și ce nivele din arhitectura ierarhizată descrie acesta?
3. Care sunt motivele care ar putea duce la apariția unei coliziuni?
4. Ce se întâmplă în cazul apariției unei coliziuni?
5. Care sunt îmbunătățirile pe care prezența unui hub le aduce funcționării rețelei Ethernet?
6. Care este diferența fundamentală dintre un hub și un switch?
7. Care este arhitectura rețelei în cazul folosirii unei magistrale, a unui hub respectiv a unui switch? Care dintre cele trei cazuri credeți că este mai plauzibil în implementări practice?

## Cum funcționează Ethernet-ul (ghid de simulare)

Funcționarea rețelei Ethernet va fi explicată într-o modalitate grafică prin intermediul unor appleturi cu animație. Dacă doriți reluarea de la început a uneia dintre simulări, folosiți butonul de "refresh" al browserului dvs. Explicarea funcționării rețelei se va face într-o manieră graduală, începând de la magistrala Ethernet clasică, explicarea măsurilor luate în caz de coliziune și apoi ilustrarea principiilor funcționării dispozitivelor de rețea (hub, switch).

### Magistrala Ethernet de bază (bus-ul Ethernet)



În figura de mai sus este ilustrat un bus Ethernet unde toate stațiile sunt conectate între ele prin intermediul unui cablu coaxial (de obicei această rețea este cunoscută sub numele de Thin Ethernet). Este vorba de implementări mai vechi ale rețelei Ethernet de 10 Mbps (anterioare introducerii masive a rețelelor Fast Ethernet de 100 Mbps). Mediul de transmisie este partajat între toate cele 5 stații conectate la cablul coaxial prin intermediul interfețelor lor de rețea. Este clar că este vorba despre un mediu de transmisie cu difuzare, în care o coliziune poate să apară între oricare dintre stațiile conectate și în care debitul de 10Mbps este debitul total al transmisiei care poate fi efectuată prin cablu la un moment dat. Mai mult decât atât, o întrerupere a acestui bus Ethernet într-un punct oarecare va determina nefuncționalitatea rețelei de la acel punct spre dreapta (ieșirea din uz a unui segment întreg de rețea). Se cunoaște din practică faptul că depanarea unor asemenea defecțiuni era un proces destul de costisitor din punct de vedere al timpului cerut identificarea problemei (a punctului de rețea în care magistrala este întreruptă).

### Scenariu de simulare:

#### 1. transmisia unui pachet de la stația 2 la stația 4

Mașina 2 dorește să transmită un mesaj stației nr.4. Întâi este nevoie însă de ascultarea liniei, pentru detectarea unei eventuale transmisii ("carrier sense"). Dacă linia este liberă, stația 2 începe transmisia cadrelor sale de date (linia galbenă cu flash). Fiecare pachet conține în antetul său adresa MAC a stației sursă și a stației destinație a pachetului. Antetul este urmat de datele propriu zise ce se doresc a fi transmise.

Semnalul transmis (codat Manchester) se propagă prin cablu și este recepționat de către toate plăcile de rețea ale calculatoarelor conectate pe magistrală. Însă, fiindcă pachetul este destinat doar stației 4 (identificată prin adresa sa MAC) toate celelalte stații îl ignoră, pachetul fiind procesat doar de către stația 4.

În final, stația 4 confirmă recepționarea pachetului (prin intermediul semnalului reprezentat cu culoarea roșie). Din motive de simplitate, transmisia semnalului de confirmare va fi ignorată pentru viitoarele scenarii de simulare.

## 2. apariția unei coliziuni

În ciuda faptului că transmisia se face cu sesizarea purtătoarei (deci doar dacă mediul de transmisie este liber), există posibilitatea apariției unei coliziuni. Acest lucru este cauzat de faptul că semnalul electric transmis prin cablu nu se propagă instantaneu în toate punctele rețelei (în genere se consideră că această viteză de propagare este egală cu  $2/3$  din viteza luminii). Prin urmare (în funcție și de lungimea totală a magistralei) este posibil să existe o stație (de ex. stația 5) ce dorește să transmită și care nu sesizează la timp prezența vreunui semnal electric pe linie (deși semnalul/transmisia există, doar că nu s-a propagat încă până la stația în cauză). În această situație, va apărea o coliziune între semnalul inițial și semnalul transmis de stația 5. Pe de altă parte este posibil (deși puțin probabil) ca două stații să încerce să acceseze simultan același slot de transmisie în cazul în care linia este liberă, generând în mod inerent o coliziune. În acest caz, cele două stații ale căror transmisii vor intra în coliziune vor înceta transmisia și vor aștepta un anumit interval până la încercarea repetării ei, după regulile descrise în introducerea teoretică a lucrării. Modul în care este tratată apariția unei coliziuni este explicat în figura de mai jos.



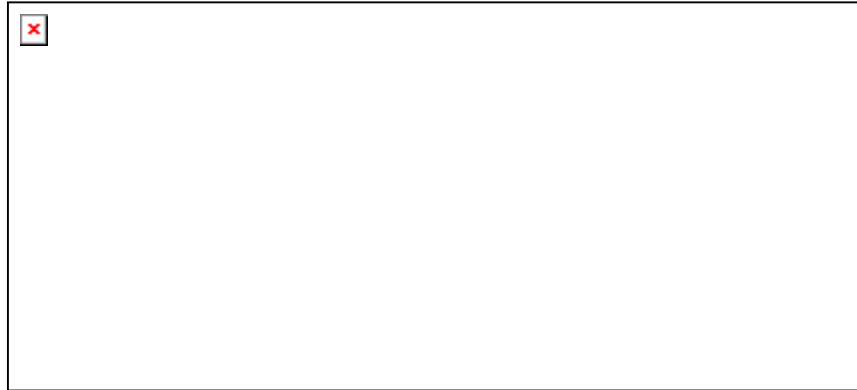
Presupunem că stațiile 2 și 5 încep simultan o transmisie (stația 2 dorește să transmită către stația 4, iar stația 5 către stația 1). Cele două semnale vor intra în coliziune, problemă remarcată atât de către stația 2 cât și de către stația 5. Cele două stații vor aștepta o perioadă de timp aleatoare și vor încerca retransmisia. În rețelele de mici dimensiuni, acest lucru se întâmplă suficient de rapid încât să nu fie supărător pentru utilizator. Dar, cu cât sunt mai multe stațiile conectate la magistrală, crește atât probabilitatea apariției de coliziuni cât și (eventual) timpul după care se poate efectua retransmisia.

Numărul exact de stații care pot fi conectate la o asemenea magistrală Ethernet depinde de aplicațiile utilizate, dar se consideră în general că limita care garantează funcționarea acceptabilă a rețelei este în jurul a 50 de stații. Limita aceasta este impusă tocmai de posibilitatea apariției coliziunilor și a funcționării lente a rețelei.

Acest scenariu restrictiv este combătut prin folosirea unor dispozitive de rețea de tipul hub și switch. Primul asigură o gestionare centralizată și o depanare mai simplă a rețelei. Cel de-al doilea va transforma transmisia cu difuzare efectuată pe bus într-o serie de legături

punct-la-punct care vor garanta o mult mai bună performanță a rețelei. Modul în care acest lucru este realizat este explicat în simulările următoare.

### Folosirea Hub-urilor



Practic, un hub ethernet modifică topologia din aceea de magistrală într-o topologie hibridă, ce combină topologia de tip stea și cea de tip magistrală (stațiile sunt din punct de vedere logic înseriate ca în topologia bus, dar toate sunt conectate la același "punct central" ca în topologia stea). Figura de mai sus ilustrează funcționarea huburilor.

Și în acest scenariu stația 1 transmite date înspre stația 4, dar de data aceasta, hubul este cel care preia și retransmite semnalul pe la toate porturile sale cu excepția portului pe la care l-a primit (la care este conectată stația 1). Astfel, se poate afirma că hubul acționează ca un repetor multiport asupra semnalului (fără a avea însă nici o funcție de dirijare a acestuia). Așa cum se poate observa, este încă posibil să apară coliziuni, dar hubul are avantajul că gestionează rețeaua într-o manieră centralizată (toate stațiile sunt conectate la rețea prin intermediul hubului), iar în cazul apariției unei defecțiuni (cablu întrerupt, placă de rețea defectă), o singură stație va fi afectată de această problemă.

### Folosirea Switch-urilor



Switchurile revoluționează arhitectura rețelei, dimnuând problema coliziunilor și îmbunătățind viteza rețelei. În cazul de față este vorba despre o topologie de tip stea, caracteristică rețelelor Fast Ethernet de 100 Mbps. Folosind un switch, stațiile pot transmite simultan. După cum se poate observa din simulare, switchul este capabil să "citească"



adresa destinație și să comute pachetul doar pe portul pe care această destinație se găsește. Diferența fundamentală este că datele nu mai sunt transmise cu difuzare (ca în cazul magistralei și hubului=, ci ele sunt "filtrate". Această filtrare este datorată "inteligenței" switchului, care este capabil să proceseze cadrele de date, interpretând adresa destinație a pachetului. Prin urmare funcționarea switchului nu se restrânge doar la nivel fizic (regenerarea semnalului și transmisia sa cu difuzare) ci și la nivel legătură de date.

Practic, switchul transformă arhitectura rețelei dintr-una punct-la-multipunct (cu difuzare) într-una punct-la-punct, în care singura posibilitate de apariție a unei coliziuni se manifestă între doar două entități de rețea (de ex. un port al switchului și placa de rețea a unui calculator conectată la acel port). În acest fel este redusă drastic probabilitatea statistică de apariție a coliziunilor și este îmbunătățită viteza rețelei. În aceste condiții, afirmația că fiecare stație beneficiază de întreaga lățime de bandă a rețelei (de întreg debitul de 100Mbps) nefiind prea departe de realitate.