Appunti di Fondamenti di Comunicazioni e Internet

Canale 1 · Reti · Prof.ssa Francesca Cuomo

Capitolo 7: Ethernet e indirizzamento allo strato di collegamento

Autore: Tommaso C.

Appunti tratti dalle lezioni in aula e dal materiale del corso

---

Argomenti: Indirizzi MAC · ARP · Ethernet e IEEE 802.3 · Formato del frame · CSMA/CD di Ethernet

Indice

1 Indirizzi MAC **1**

1.1 Indirizzo MAC e indirizzo IP 1

2 ARP: da indirizzo IP a indirizzo MAC **2**

3 Ethernet **3**

4 Il frame Ethernet **4**

5 Il CSMA/CD di Ethernet **5**

6 Esercizi **7**

7 Soluzioni **8**

1 Indirizzi MAC

Definizione – Indirizzo MAC

L'**indirizzo MAC** identifica una **scheda di rete** nella rete locale (LAN). È lungo 48 bit, cioè 6 B, e si scrive come sei coppie di cifre esadecimali:

`1A-2F-BB-76-09-AD`.

Ogni scheda di rete ha un indirizzo MAC **univoco**.

Ogni cifra esadecimale vale 4 bit e va da 0 a 15: le cifre da `0` a `9`, poi `A` = 10, `B` = 11, fino a `F` = 15. Due cifre fanno un byte.

Esempio – Un byte in binario

Il primo byte dell'indirizzo è `1A`. La cifra `1` vale `0001`; la cifra `A` vale $10 = 8 + 2$, cioè `1010`. Quindi

`1A` = `0001 1010`.

Definizione – Indirizzo broadcast

L'indirizzo con tutti i 48 bit a `1`,

`FF-FF-FF-FF-FF-FF`,

è l'**indirizzo broadcast**: un frame con questo indirizzo di destinazione è per tutte le schede della LAN.

L'univocità la garantisce l'IEEE, l'ente di standardizzazione. Un costruttore di schede di rete compra dall'IEEE un blocco di indirizzi e dà a ogni scheda che produce un indirizzo diverso del blocco. L'indirizzo è scritto nella scheda: non si configura.

1.1 Indirizzo MAC e indirizzo IP

Un dispositivo in rete ha due indirizzi. L'**indirizzo IP** serve a raggiungerlo da tutto il mondo; l'**indirizzo MAC** serve a consegnargli i frame nella LAN in cui si trova. I due indirizzi non hanno legami fra loro.

	indirizzo MAC	indirizzo IP
strato	collegamento (strato 2)	rete (strato 3)
dove sta	nella PCI di strato 2	nella PCI di strato 3
lunghezza	48 bit	32 bit
ambito	locale: la LAN	globale: tutta Internet
struttura	orizzontale, come il codice fiscale	gerarchica, come l'indirizzo postale
se il nodo cambia rete	resta uguale	cambia

Una struttura orizzontale dà la **portabilità**: una scheda si sposta da una LAN a un'altra e tiene il suo indirizzo MAC. Per esempio, un telefono che si scollega dal Wi-Fi conserva lo stesso indirizzo MAC, mentre il suo indirizzo IP cambia.

L'Esercizio 2 chiede il vantaggio di questo schema di indirizzi.

2 ARP: da indirizzo IP a indirizzo MAC

Definizione – ARP e tabella ARP

L'**ARP** (*Address Resolution Protocol*) è il protocollo con cui un nodo di una LAN trova l'indirizzo MAC di un altro nodo della stessa LAN, noto il suo indirizzo IP. Ogni nodo IP della LAN, host o router, ha una **tabella ARP** con voci

$$\langle \text{indirizzo IP};\ \text{indirizzo MAC};\ \text{TTL} \rangle.$$

Il **TTL** (*Time To Live*, tempo di vita) indica quando la voce sarà eliminata; un valore tipico è 20 min.

L'ARP serve perché chi comunica con un dispositivo ne conosce l'indirizzo IP, mentre il frame che glielo consegna va indirizzato con il suo indirizzo MAC.

La tabella è **dinamica**: i nodi la costruiscono da soli, senza un amministratore. Le voci scadono perché l'indirizzo IP associato a un indirizzo MAC cambia, per esempio quando il dispositivo si sposta o si ricollega in un altro giorno.

Osservazione – Il MAC vale solo nella LAN

Da fuori della LAN un dispositivo non si raggiunge con il suo indirizzo MAC, ma solo con l'indirizzo IP. L'indirizzo MAC serve nell'ultimo tratto: quando il pacchetto arriva alla LAN del destinatario, gli viene consegnato in un frame con il suo indirizzo MAC.

Un router collega più LAN e ha un'interfaccia in ciascuna, quindi un indirizzo IP, un indirizzo MAC e una tabella ARP per ogni LAN (figura 1).

L'Esercizio 1 chiede quale tabella dà l'indirizzo MAC noto l'indirizzo IP.

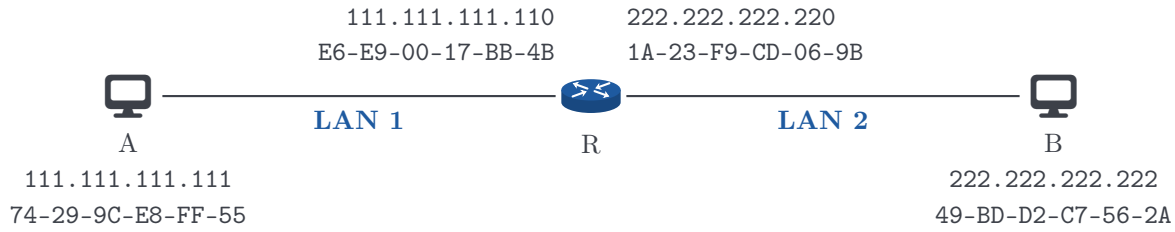

Figura 1: Due LAN collegate dal router R. Ogni nodo ha un indirizzo IP e un indirizzo MAC; R ne ha una coppia per ogni LAN.

3 Ethernet

Definizione – Ethernet

Ethernet è il protocollo di strato di collegamento delle LAN cablate. Il suo protocollo di accesso multiplo è il CSMA/CD. L'IEEE lo ha reso standard nel 1985 con il nome **IEEE 802.3**, alla velocità di 10 Mbit/s.

La scheda di rete realizza Ethernet: forma i frame con i pacchetti dello strato superiore e ne gestisce la trasmissione nella LAN.

Definizione – Topologie di Ethernet

- **A bus**: tutti i nodi sono collegati a un unico cavo coassiale. È la topologia originale.
- **A stella**: ogni nodo ha un proprio cavo verso un apparato centrale, un **hub** o uno **switch**, che commuta i frame fra i rami della stella. Ha sostituito il bus dalla metà degli anni '90.



Figura 2: Le due topologie di Ethernet.

4 Il frame Ethernet

Definizione – Campi del frame Ethernet

- **Preambolo**, 7 B: ogni byte vale `10101010`. Attiva le schede dei riceventi e ne sincronizza il clock con quello del trasmettitore.
- **Start Delimiter** (SD), 1 B: vale `10101011` e segna l'inizio del frame.
- **Destination Address** e **Source Address**, 6 B ciascuno: gli indirizzi MAC del destinatario e del mittente.
- **Length**, 2 B: il numero di byte del campo Dati, al più 1500 B.
- **PAD** e **CRC**, 4 B il secondo: il PAD riempie il frame fino alla lunghezza minima; il CRC rivela gli errori.

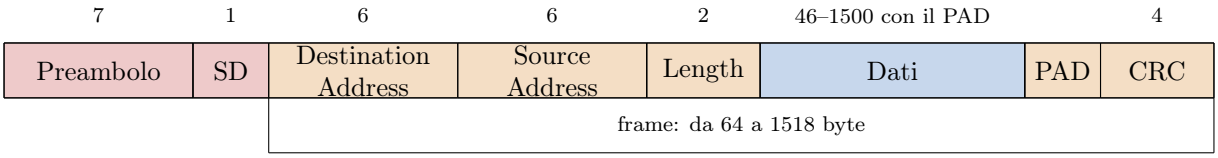

Figura 3: Formato del frame Ethernet (IEEE 802.3). Sopra ogni campo la lunghezza in byte; i Dati sono la SDU, tutto il resto è PCI.

Proposizione – Lunghezze del frame

Escludendo preambolo e SD, il frame Ethernet è lungo

$$64\,\text{B} \leq \text{frame} \leq 1518\,\text{B},$$

e il campo Dati, PAD compreso, è lungo

$$46\,\text{B} \leq \text{Dati} + \text{PAD} \leq 1500\,\text{B}.$$

Dimostrazione

1. I campi di lunghezza fissa fra gli indirizzi e il CRC sono $6 + 6 + 2 + 4 = 18\,\text{B}$.
2. Il frame minimo è di 64 B, quindi Dati e PAD sono almeno $64 - 18 = 46\,\text{B}$.
3. Con il campo Dati massimo, il frame è lungo $1500 + 18 = 1518\,\text{B}$.

□

Il minimo di 64 B viene dal CSMA/CD: il frame deve durare almeno $2t_{prop}$ (Capitolo 6). Se lo strato superiore dà meno di 46 B, il PAD completa la parte mancante con byte senza significato.

Osservazione – Prima il destinatario

Il Destination Address viene **prima** del Source Address. Nel mezzo condiviso ogni scheda riceve tutti i frame: appena letto il destinatario, la scheda copia il frame se l'indirizzo è il suo o quello broadcast, e lo ignora negli altri casi.

Osservazione – Delimitazione senza flag

Ethernet non chiude il frame con un flag come nel Capitolo 4. L'inizio lo segnano preambolo e SD; la fine si ricava dal campo Length, che dice quanti byte seguono.

5 Il CSMA/CD di Ethernet

Ethernet usa il CSMA/CD 1-persistente con back-off esponenziale binario troncato, come nel Capitolo 6.

Definizione – Slot time

Lo **slot time** di Ethernet è il tempo di trasmissione di 512 bit, cioè del frame minimo di 64 B:

$$\text{slot time} = \frac{512\,\text{bit}}{R}.$$

Deve essere almeno $2t_{prop}$, così che ogni collisione si rilevi entro uno slot. È anche l'unità di tempo del back-off.

Esempio – Ethernet a 10 Mbit/s

Con $R = 10\,\text{Mbit/s}$ lo slot time vale $512\,\text{bit}/10\,\text{Mbit/s} = 51{,}2\,\mu\text{s}$. Con $\nu = 2 \times 10^5\,\text{km/s}$, la condizione $2d/\nu \le 51{,}2\,\mu\text{s}$ dà

$$d \le \frac{51{,}2\,\mu\text{s} \cdot 2 \times 10^5\,\text{km/s}}{2} = 5{,}12\,\text{km}.$$

È l'estensione massima della rete, cioè del dominio di collisione. A parità di frame minimo, una velocità dieci volte maggiore la divide per dieci.

Definizione – Jam e back-off di Ethernet

Al CSMA/CD del Capitolo 6 Ethernet aggiunge due regole:

1. se rileva una collisione, la scheda interrompe subito il frame e trasmette un segnale di disturbo, il **jam**, di 48 bit;
2. dopo la n-esima collisione sceglie K come nel back-off del Capitolo 6 e aspetta K slot time:
$$\text{attesa} = K \cdot \frac{512\,\text{bit}}{R}.$$

Se durante la trasmissione non rileva collisioni, la scheda considera il frame spedito.

Il jam serve ad avvisare della collisione tutte le altre schede che stanno trasmettendo: una sovrapposizione breve si rileva con difficoltà, una di 48 bit con certezza.

A 10 Mbit/s un bit dura 0,1 µs. Dopo dieci collisioni K può arrivare a 1023, e l'attesa massima è $1023 \cdot 51{,}2\,\mu\text{s} \approx 52{,}4\,\text{ms}$.

Osservazione – Nessun riscontro

Ethernet offre un servizio **senza connessione** e **non affidabile**: nessun accordo preventivo con il destinatario e nessun ACK. Il trasmettitore decide se ritrasmettere solo con la rivelazione di collisione, quindi un frame può andare perso.

Riepilogo

- **Indirizzo MAC**: 48 bit in esadecimale, univoco per scheda (blocchi IEEE), orizzontale, vale nella LAN; broadcast `FF-FF-FF-FF-FF-FF`.
- **MAC e IP**: strato 2 e locale contro strato 3 e globale; il MAC resta, l'IP cambia con la rete.
- **ARP**: trova il MAC noto l'IP; tabella ⟨IP; MAC; TTL⟩ in ogni nodo, dinamica.
- **Ethernet**: IEEE 802.3, CSMA/CD 1-persistente; topologia a bus, poi a stella con hub o switch.
- **Frame**: preambolo 7, SD 1, indirizzi 6 + 6, Length 2, Dati e PAD, CRC 4 byte.
- **Lunghezze**: frame da 64 a 1518 B; Dati più PAD da 46 a 1500 B.
- **Slot time**: 512 bit, 51,2 µs a 10 Mbit/s; back-off di K slot; jam di 48 bit.
- **Servizio**: senza connessione e non affidabile, nessun ACK.

6 Esercizi

Esercizio 1 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 7

Quale tabella viene consultata per mappare un indirizzo IP noto con un indirizzo MAC sconosciuto?

a. La tabella di inoltro di uno switch
b. La tabella ARP
c. La tabella RARP
d. La tabella di routing

Soluzione a pagina 8 →

Esercizio 2 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 10

Lo schema di indirizzamento di livello 2 completamente non gerarchico delle LAN IEEE 802 (indirizzi a 48 bit) ha il principale vantaggio di:

a. rendere univoca l'identificazione dell'applicazione della stazione sulla LAN;
b. garantire l'univocità degli indirizzi delle interfacce delle stazioni e eliminare ogni necessità di configurazione di indirizzi;
c. rendere particolarmente efficiente l'instradamento delle trame MAC nelle tabelle degli switch.

Soluzione a pagina 8 →

7 Soluzioni

Soluzione dell'Esercizio 1 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 7

Risposta **b**. La tabella ARP di un nodo contiene proprio le coppie formate da un indirizzo IP e dall'indirizzo MAC corrispondente, con il loro TTL: noto l'indirizzo IP di un nodo della LAN, dà il suo indirizzo MAC.

← *Torna all'Esercizio 1, pagina 7*

Soluzione dell'Esercizio 2 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 10

Risposta **b**. Ogni costruttore usa un blocco di indirizzi assegnato dall'IEEE, quindi ogni scheda di rete ha un indirizzo MAC univoco; l'indirizzo è scritto nella scheda e non va configurato. L'indirizzo identifica la scheda, cioè l'interfaccia della stazione, non un'applicazione (a). Un indirizzo orizzontale non dice nulla sulla posizione del nodo, quindi non aiuta a scegliere dove inoltrare un frame (c): quel vantaggio è delle strutture gerarchiche come quella degli indirizzi IP.

← *Torna all'Esercizio 2, pagina 7*