

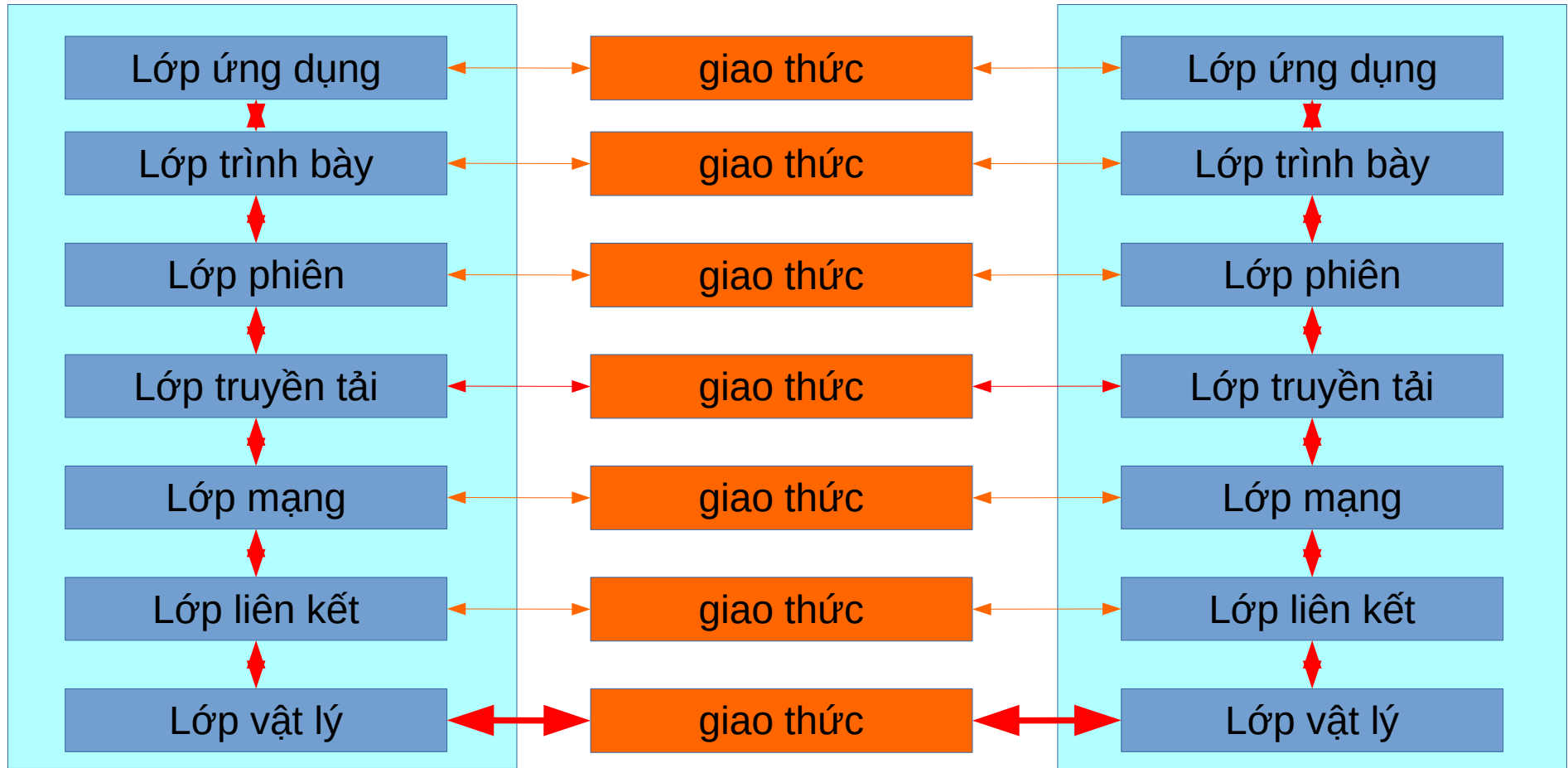
Vạn vật kết nối IoT

Giảng viên: Nguyễn Hồng Quang

email: quangnh@hus.edu.vn

ĐT: 0964517700

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)



Giao thức

- Giao thức - phương thức (cách thức) giao tiếp, là từ chỉ phương thức mà hai cái gì đó dùng để giao tiếp với nhau. Trong mạng, chúng ta có thể hình dung một giao thức như là một cái ống, mà ở một đầu, người ta đưa vào hoặc lấy ra một tập dữ liệu được tổ chức theo những cách thức nhất định.

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)

- **Lớp vật lý:** Giao thức dưới dạng điện tử - mức điện áp, số dây dẫn, trở kháng dây dẫn, tần số sóng, phương pháp điều chế, ..
 - Ví dụ mạng WIFI dùng sóng điện từ tần số 2.4GHz (54Mb) và 5GHz (150Mb).
 - Mạng ETHERNET, LAN mà chúng ta vẫn dùng ở nhà - dùng dây cáp CAT 5, 4 cặp sợi xoắn (chuẩn IEEE802.3x).

| | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| có | có | có | Gb | Gb | có | Gb | Gb |
| 10Mb: điện áp $\pm 2.5v$ 100Mb: điện áp $0v, \pm 1v$ | | | | | | | |

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)

- **Lớp Liên kết:** Cung cấp phương thức liên kết trực tiếp giữa hai thiết bị, bao gồm phương thức thiết lập và kết thúc một kết nối, phương thức phát hiện và sửa lỗi do lớp vật lý gây ra, và phương thức kiểm soát luồng dữ liệu.

Với Ethernet: Để có thể nhận diện được nhau, lớp này, định nghĩa một **địa chỉ phần cứng**, gọi là địa chỉ **MAC (Media Access Control)**. Địa chỉ này là gắn chặt với phần cứng và thường được in ngay trên thiết bị. Địa chỉ này gồm **48 bit** và thường được **biểu diễn dưới dạng 6 cặp số hexa: 00:15:17:60:2d:e9**

- Địa chỉ MAC người nhận đặc biệt **FF:FF:FF:FF:FF:FF** là địa chỉ mà mọi thiết bị đều nhận được (**broadcast**). các thiết bị trung gian (switch/route/gateway) sẽ **chuyển các gói tin này đến tất cả mọi thiết bị trong mạng của nó, trừ thiết bị gửi gói tin.**
- Địa chỉ này có thể phân biệt được **2^{48} ~281 nghìn tỷ** thiết bị.

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)

- **Lớp mạng:** Cung cấp phương thức truyền dữ liệu giữa hai thiết bị bất kỳ trên mạng, liên mạng. Nó định nghĩa địa chỉ cho từng thiết bị, cho phép các thiết bị trung gian tìm cách chuyển dữ liệu đến đích, có thể định tuyến nó qua các trung gian. Nếu dữ liệu quá lớn để có thể truyền trên lớp liên kết, có thể chia dữ liệu thành nhiều đoạn tại một thiết bị, gửi các đoạn một cách độc lập và tập hợp lại tại một thiết bị khác. Nó có thể, nhưng không cần thiết, báo cáo lỗi truyền dữ liệu.
- **Với IP:** lớp này định nghĩa một địa chỉ mạng, địa chỉ IP cho mỗi thiết bị. IP có 2 version được sử dụng: v4 và v6.
- IPv4: gồm 32 bit địa chỉ phân thành 4 nhóm 8 bit, thường được biểu diễn dưới hệ thập phân: 192.168.1.254/24. Địa chỉ này thể hiện địa chỉ IP của máy là 192.168.1.254, địa chỉ IP của mạng là: 192.168.1.0, thông thường trong mạng này có một địa chỉ đặc biệt là địa chỉ BROADCAST: 192.168.1.255 là địa chỉ người nhận khi muốn gửi gói tin đến cho mọi máy trong mạng.
- IPv4 có $2^{32} \sim 4$ tỷ địa chỉ.
- IPv6: gồm 128 bit địa chỉ phân thành 8 nhóm 16 bit, thường được biểu diễn dưới hệ hexa: 2001:0db8:0000:0000:ff00:0042:8329. Để cho ngắn gọn, người thường dùng dấu :: để biểu diễn 1 đoạn gồm toàn các số 0: 2001:0db8::ff00:0042:8329, như vậy sẽ đỡ rối mắt.
- IPv6 có $2^{128} \sim 3.4 \times 10^{38}$ địa chỉ.

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)

- **Lớp Truyền tải:** Cung cấp một kết nối như là một luồng dữ liệu. Nó đảm bảo các dữ liệu sẽ được nhận theo đúng thứ tự, mặc dù việc truyền dữ liệu trên mạng theo các gói tin có thể đảo lộn các thứ tự này.
 - Nó cũng có thể (hoặc không) đảm bảo độ tin cậy của dữ liệu.
 - Nó cũng đưa vào khái niệm cổng (Port) để giúp các thiết bị có thể có nhiều luồng dữ liệu đồng thời, để nhiều dịch vụ có thể hoạt động trên cùng một thiết bị. Cổng là một số gồm 16 bit, cổng 0 không có giá trị. Một số dịch vụ phổ biến hay thiết yếu được gán các cổng nhất định. ví dụ:
 - Phổ biến: HTTP(s): 80 (443) IMAP(s): 143 (993) POP3(s): 110 (995) SMTP(s): 25 (587), FTP: 20, SMB: 137/139/445, SSH: 22, ..
 - Thiết yếu: DHCP: 68/69 DNS: 53 NTP: 123

Kiến trúc hệ thống mạng mở (OSI)

- Lớp **phiên**: Điều khiển các phiên kết nối giữa các thiết bị. Nó thiết lập, quản lý và kết thúc các kết nối giữa các ứng dụng, bao gồm thủ tục để kiểm tra, tạm dừng, khởi động lại và kết thúc một phiên làm việc.
- Lớp **trình bày**: Hoạt động như lớp dữ liệu trên mạng. Lớp này dịch dữ liệu được gửi từ ứng dụng sang định dạng chung tại thiết bị gửi, và chuyển từ định dạng chung sang định dạng của ứng dụng tại thiết bị nhận.
- Lớp **ứng dụng**: Lớp gần với người sử dụng nhất. Nó cung cấp phương thức để người dùng truy cập các thông tin và dữ liệu trên mạng thông qua chương trình ứng dụng.

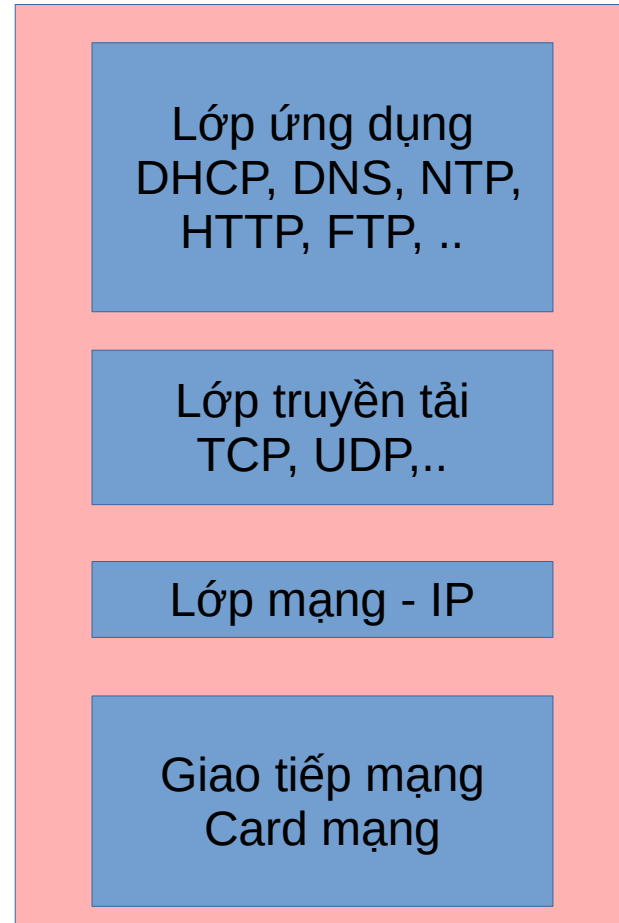
Các mạng thực tế

- Lớp 1: USB, RS232, RS422, cáp đồng trục, **cáp cặp sợi, cáp quang, WIFI,...**
- Lớp 2: SLIP, PLIP, MAC(**Ethernet, WIFI, FDDI,..**) + LLC (**Ethernet, Token Ring, Wireless, X25, GPRS,..**)
- Lớp 3: **IP(v4/v6)**, IPX, RIP, IGMP, ICMP, IPsec,..
- Lớp 4: **TCP**, UDP, RDP (Reliable Data Protocol), RUDP, ..
- Lớp 5-7: FTP, **HTTP, SMTP, MQTT**, RDP, SSH, VPN, **DHCP, NTP, DNS, DDNS, AMQP, XMPP, M2M ...**

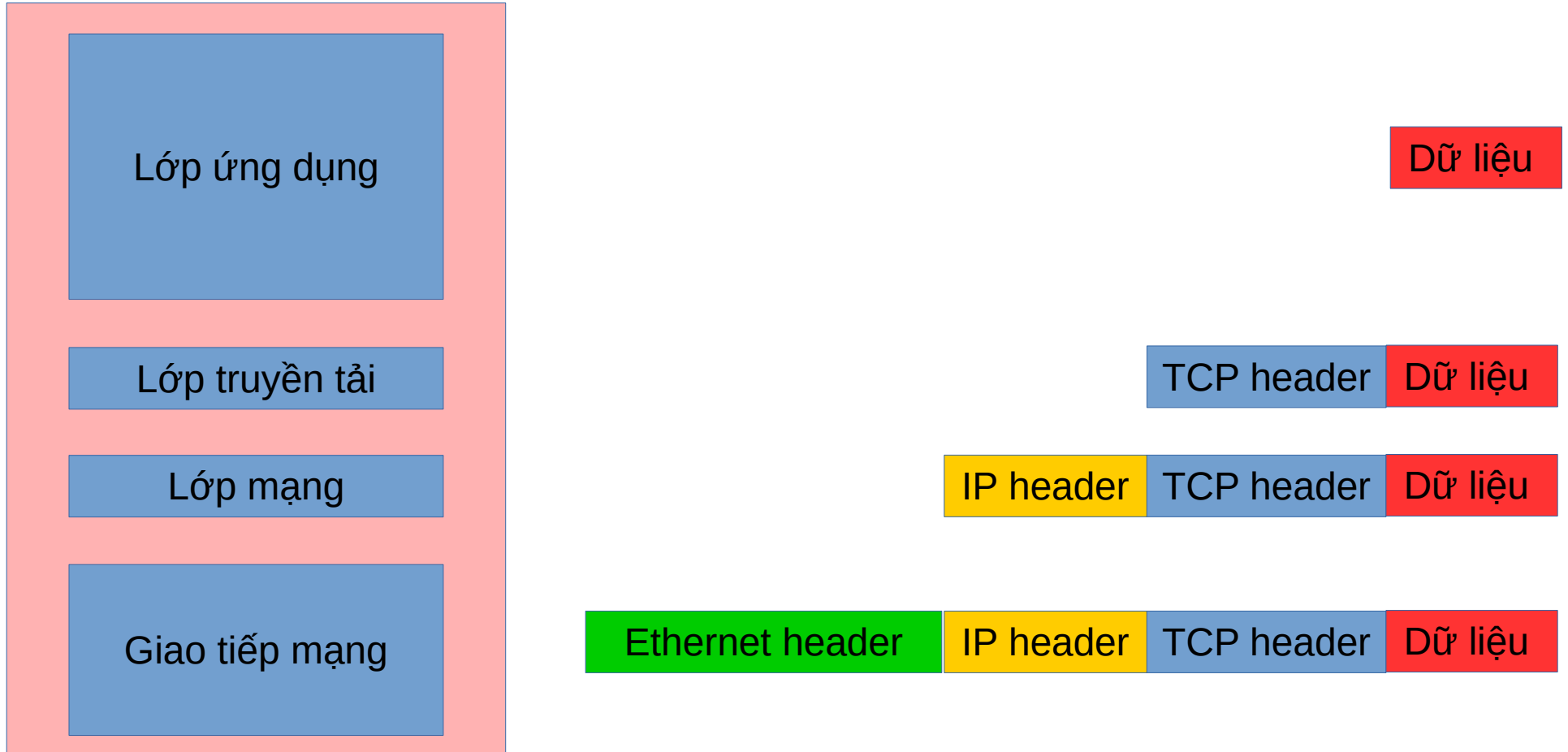
TCP/IP

- IP là một giao thức ở lớp 3, lớp mạng. Nó **định nghĩa một cấu trúc gói tin** bao gồm địa chỉ gửi và nhận, dữ liệu, ... Nó **đảm bảo gói tin được truyền chính xác từ máy gửi đến máy nhận trong mạng**.
- TCP là một giao thức ở lớp 4, lớp truyền tải, trên nền tảng của giao thức IP. Nó **định nghĩa một quá trình giao tiếp** giữa các máy, cùng các cấu trúc gói tin tương ứng, để **đảm bảo kết nối giữa hai máy là an toàn ổn định**.
- TCP/IP là tên chung cho một bộ các giao thức đảm bảo cho hệ thống mạng hoạt động ổn định, được sử dụng phổ biến hiện nay.

So sánh OSI và TCP/IP



Cấu trúc gói tin TCP/IP



Cấu trúc Header TCP/UDP

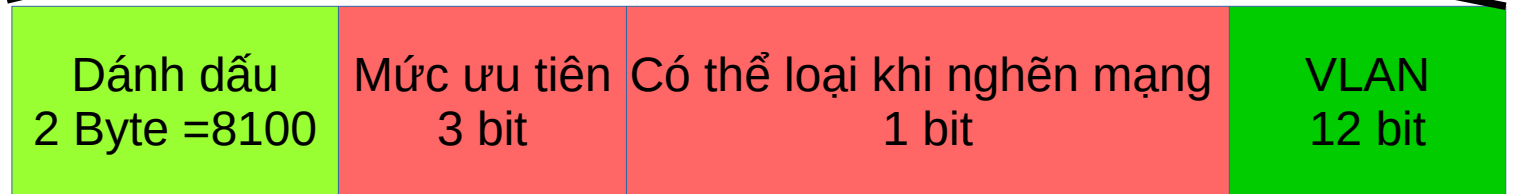
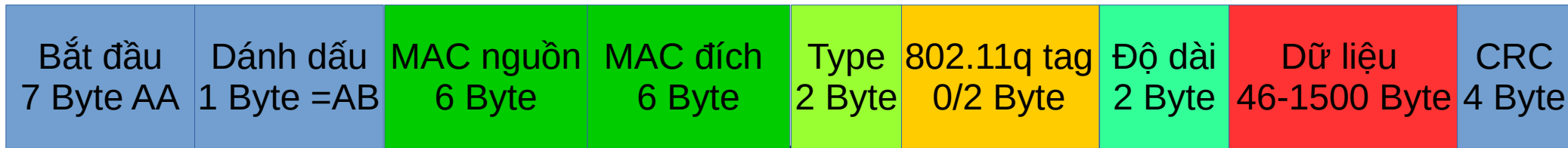
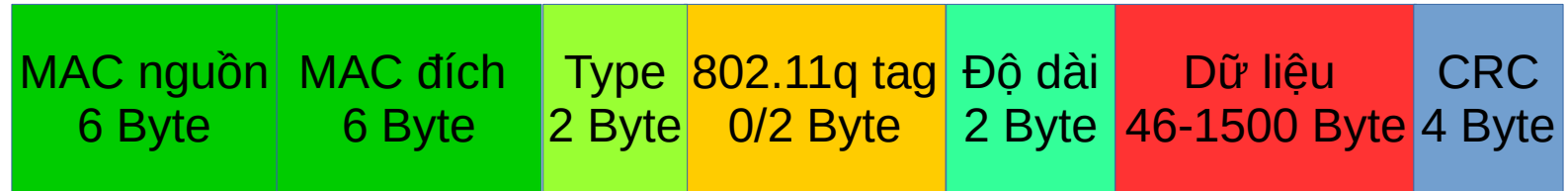
| | | | |
|--------------------------------------|---------|-------------------------------|--|
| Cổng gửi 2 byte | | Cổng nhận 2 Byte | |
| Thứ tự dữ liệu 4 Byte | | | |
| Số byte cao nhất nhận được 4 Byte | | | |
| Địa chỉ dữ liệu 4b | X 3b | Cờ 9b | Lượng dữ liệu đích chấp nhận (2 Byte) |
| CRC 2 Byte | | Vị trí dữ liệu khẩn 2 Byte | |
| Các tham số khác Từ 0 đến 40 Byte | | | |

| | |
|--------------------|---------------------|
| Cổng gửi 2 byte | Cổng nhận 2 Byte |
| Độ dài 2 Byte | CRC 2 Byte |

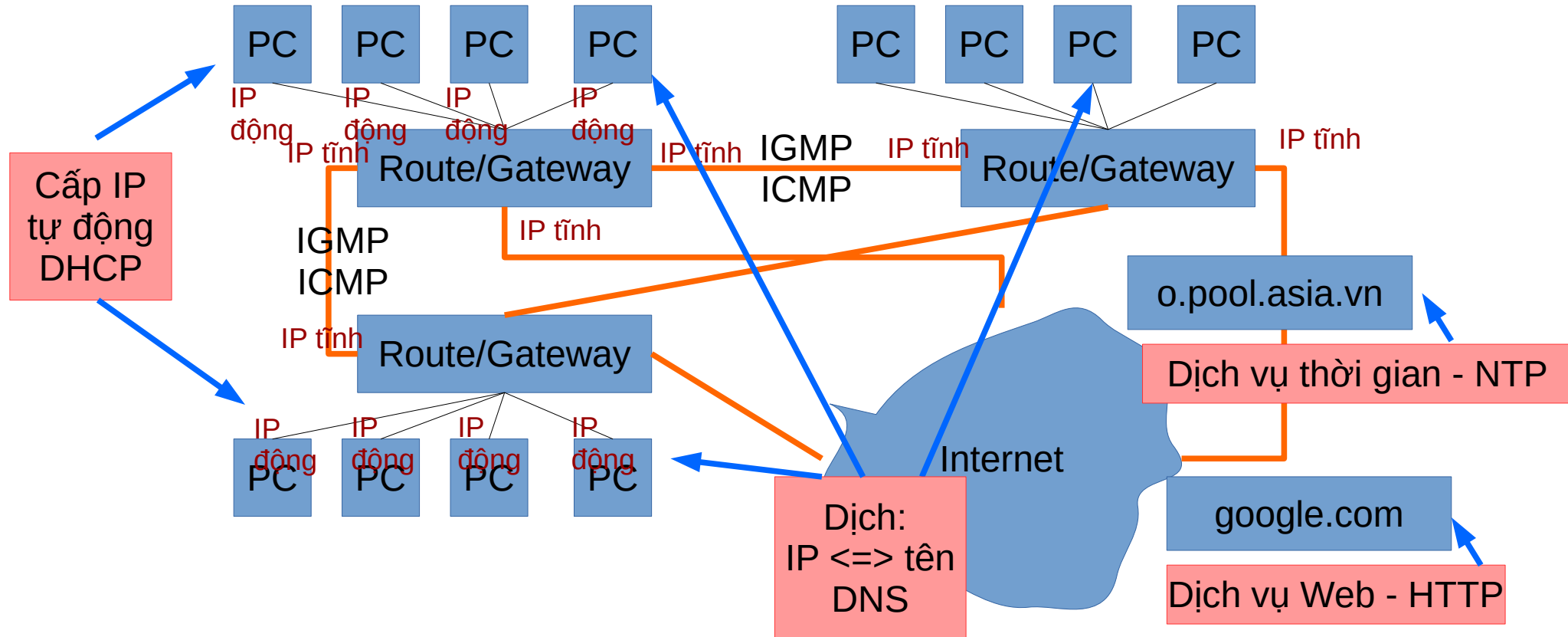
Cấu trúc Header IP

| | | | | |
|---------------------------------|------------------------|-------------|------------------------------|--|
| Version (4) 4 bit | Độ dài Header 4 bit | X 1 Byte | Tổng độ dài (Byte) 2 Byte | |
| ID dữ liệu 2 Byte | | | Cờ 4 bit | Vị trí dữ liệu trong đoạn (8 Byte) 12 bit |
| Thời gian sống (255s) 1 Byte | Protocol 1 Byte | | CRC 2 Byte | |
| Địa chỉ gửi (IP) 4 Byte | | | | |
| Địa chỉ nhận (IP) 4 Byte | | | | |
| Các thông tin thêm 4 Byte | | | | |

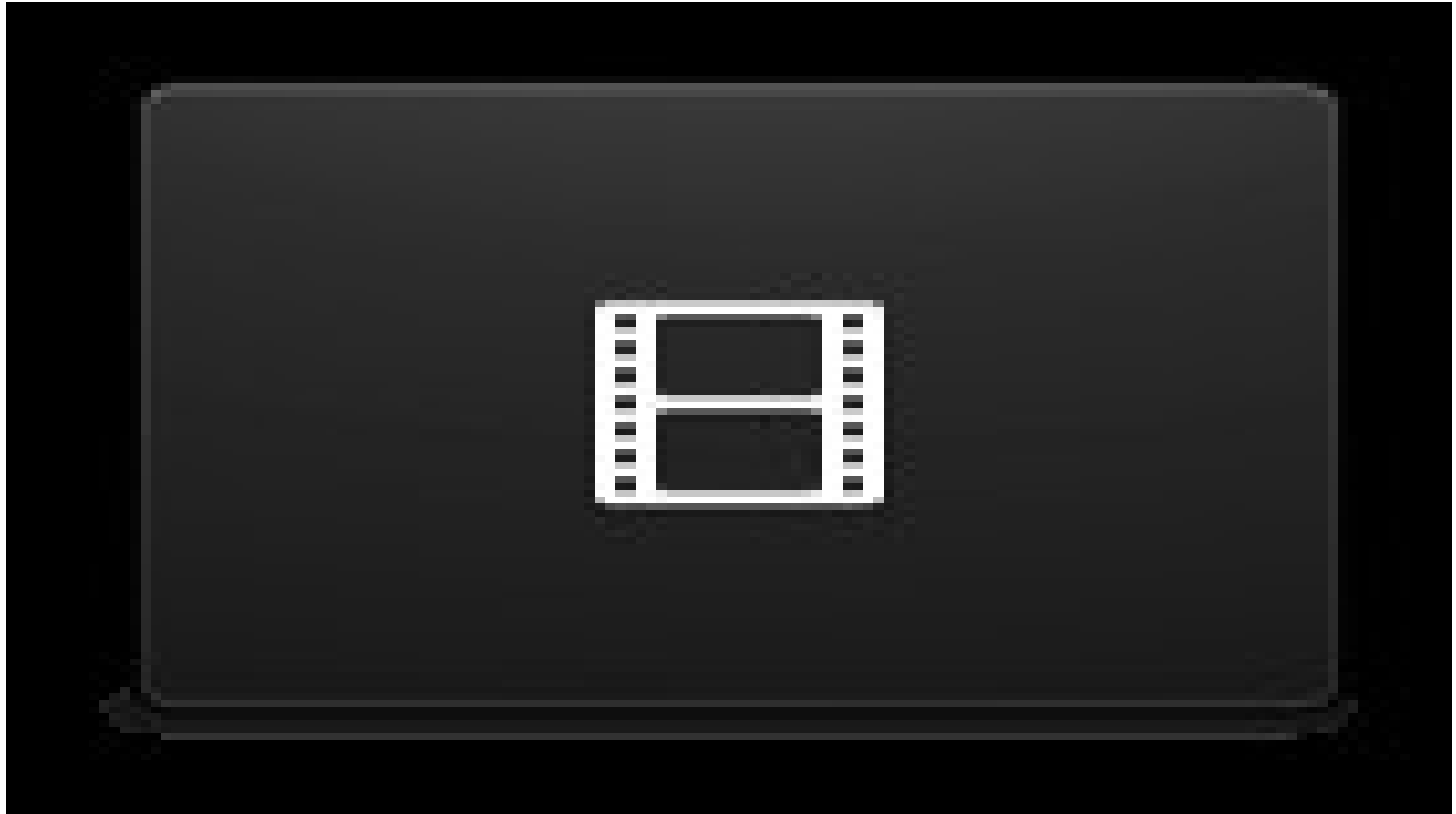
Cấu trúc Header MAC / IEEE 802.3



Các giao thức nền tảng của TCP/IP

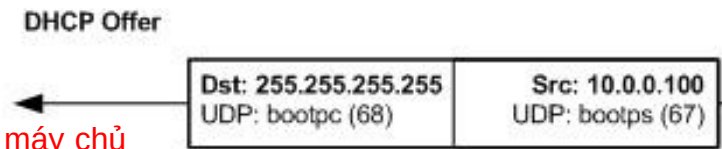
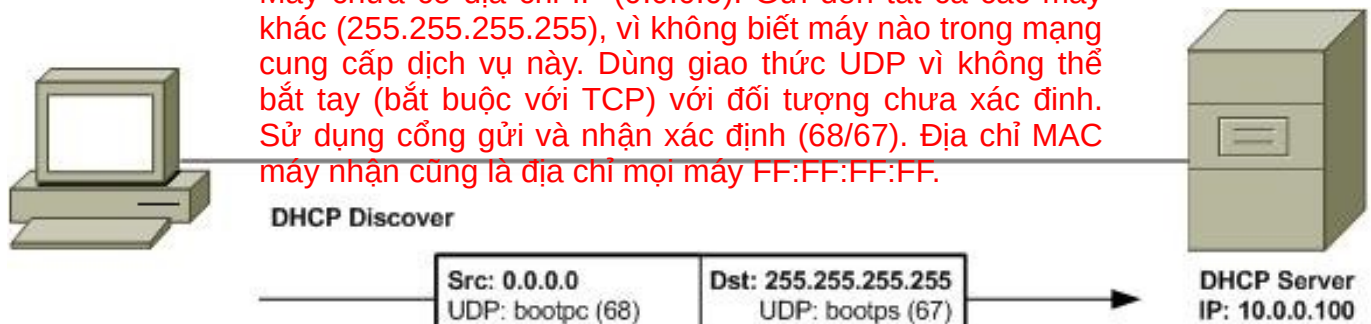


Các giao thức nền tảng của TCP/IP



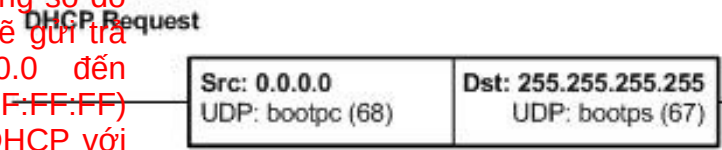
Lược đồ DHCP

Máy chưa có địa chỉ IP (0.0.0.0). Gửi đến tất cả các máy khác (255.255.255.255), vì không biết máy nào trong mạng cung cấp dịch vụ này. Dùng giao thức UDP vì không thể bắt tay (bắt buộc với TCP) với đối tượng chưa xác định. Sử dụng cổng gửi và nhận xác định (68/67). Địa chỉ MAC máy nhận cũng là địa chỉ mọi máy FF:FF:FF:FF.

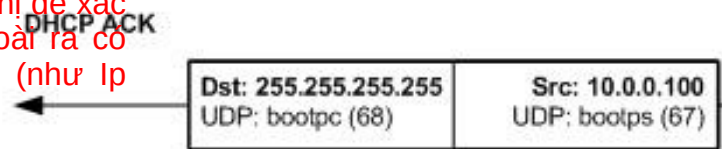


Máy chủ dịch vụ trả lời đến mọi máy trong mạng (vì máy nhận chưa có IP). MAC máy nhận và máy gửi là đã xác định. Thông tin bao gồm IP/Subnet máy khách, router/gateway mạng, IP máy chủ dịch vụ DNS, thời hạn cho IP này.

Máy khách có thể nhận trả lời từ nhiều máy chủ dịch vụ, nhưng nó chỉ sử dụng một trong số đó (thường là máy trả lời đầu tiên). Nó sẽ gửi trả một gói tin (vẫn dùng IP 0.0.0.0 đến 255.255.255.255 và MAC nhận FF:FF:FF:FF) trong đó có IP của máy chủ dịch vụ DHCP với các thông tin IP mà máy chủ này đề nghị để xác nhận rằng nó sẽ sử dụng IP này. Ngoài ra có thể yêu cầu thêm các thông tin khác (như Ip máy chủ NTP, ...)



Máy chủ dịch vụ trả lời đến mọi máy trong mạng (vì máy nhận chưa có IP). MAC máy nhận và máy gửi là đã xác định. Thông tin bao gồm IP/Subnet máy khách, router/gateway mạng, IP máy chủ dịch vụ DNS, thời hạn cho IP này, và các thông tin mà máy khách yêu cầu.



Log trên router chạy OpenWRT

- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 available DHCP range: 10.0.30.2 -- 10.0.30.201
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 vendor class: udhcp 1.20.2
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 client provides name: WDMyCloudEX4100
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 DHCPREQUEST(br-lan) 10.0.30.132 00:90:a9:e4:81:d2
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 tags: br-lan
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 DHCPACK(br-lan) 10.0.30.132 00:90:a9:e4:81:d2 WDMyCloudEX4100
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 requested options: 1:netmask, 3:router, 6:dns-server, 12:hostname,
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 requested options: 15:domain-name, 28:broadcast, 42:ntp-server
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 1 option: 53 message-type 5
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 4 option: 54 server-identifier 10.0.31.253
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 4 option: 51 lease-time 12h
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 4 option: 1 netmask 255.255.254.0
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 4 option: 28 broadcast 10.0.31.255
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 3 option: 15 domain-name lan
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 15 option: 12 hostname WDMyCloudEX4100
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 8 option: 6 dns-server 10.0.12.10, 10.0.12.11
- Mon Mar 30 15:07:59 2020 daemon.info dnsmasq-dhcp[1305]: 393024318 sent size: 4 option: 3 router 10.0.30.1

Địa chỉ IP đặc biệt

- **Địa chỉ nội bộ** (chính mình): 127.0.0.0/8. Là một dải gồm 2^{16} IP, chỉ bản thân máy, được sử dụng cho các dịch vụ nội bộ. Các gói tin chứa dải địa chỉ này sẽ không được chuyển tiếp trên các giao tiếp mạng (gói tin không thể đi ra khỏi máy). Dải địa chỉ này được liên kết với một giao tiếp ảo - mọi máy đều có, giao tiếp loop back (lo)- dù có giao tiếp mạng thật (card mạng) hay không.
- **Địa chỉ LAN (cục bộ)**: 192.168.0(-255).0/24, 172.16(-31).0.0/16, 10.0.0.0/8. Các gói tin chứa địa chỉ này sẽ không được chuyển tiếp trên các router/gateway kết nối với internet (gói tin không thể đi ra internet). Giao tiếp được gán với một IP trong các dải này được liên kết với mạng cục bộ (LAN). Để các IP này gửi và nhận gói tin ra Internet, các router/gateway phải thực hiện quá trình SNAT (source Network Address Translation - dịch địa chỉ nguồn), Khi ấy các router/gateway sẽ ghi đè địa chỉ IP internet của nó lên trường địa chỉ người gửi của gói tin gửi từ các IP này trước khi đưa nó ra internet, và thực hiện quá trình ngược lại (ghi đè trường địa chỉ nhận) khi nhận gói tin trả lời từ internet trước khi gửi vào mạng cục bộ. Việc đó làm máy khách sẽ không nhận biết được sự khác biệt rằng mình đang nằm trong mạng cục bộ. Nhưng nó đặt gánh nặng lên router/gateway khi cần giao tiếp với internet, điều đó làm cho mạng dễ bị nghẽn khi có nhiều máy khách trong mạng vào internet, điều các bạn thường thấy khi vào mạng ngoài quán cafe.
- **Địa chỉ Link-local**: 169.254.0.0/16. Là địa chỉ mà giao tiếp tự nhận khi không có máy chủ dịch vụ DHCP trên mạng.

Cách IPv4 vượt qua giới hạn địa chỉ

- Các router trên mạng IPv4 sẽ không routing các gói tin có địa chỉ trong vùng 3 địa chỉ đã nói ở trên (Nội bộ, LAN, Link local) sang các mạng khác, trừ khi được cấu hình đặc biệt để routing giữa hai mạng LAN nội bộ. Đặc biệt các router trên miền Internet sẽ không bao giờ làm điều này.
- Để vượt qua giới hạn địa chỉ của IPv4, các mạng LAN dùng địa chỉ LAN, và các router khi chuyển nó lên Internet, nó sẽ dùng phương thức SNAT để ẩn các địa chỉ IP trong LAN. Như vậy một LAN chỉ cần 1 địa chỉ IP để kết nối với WAN (WAN này có thể là Internet). Khi đó một máy trong LAN có thể kết nối đến các máy ngoài LAN thông qua địa chỉ IP WAN của router. Để router làm việc này, người quản trị chỉ cần cấu hình SNAT một lần cho mọi máy. Mặc định các router dùng cho gia đình được cấu hình DNAT sẵn, ngay trong phần mềm của router, nên người dùng không cần quan tâm đến nó, mặt khác việc cấu hình SNAT không ảnh hưởng đến bảo mật của mạng LAN.
- Khi một máy trong LAN muốn cung cấp dịch vụ cho các máy trong WAN, nó phải cung cấp phương thức cho phép máy trên WAN kết nối đến nó. Khi đó router dùng phương thức DNAT để làm việc này thông qua địa chỉ IP WAN của nó với một cổng nhất định nào đó. Để router có thể làm được việc này đòi hỏi người quản trị phải cấu hình DNAT cho từng cổng một, mỗi cổng này sẽ kết nối đến một IP LAN cố định. Cấu hình DNAT không đúng cách hay không cần thiết có thể bị hacker lợi dụng để xâm nhập. Mặc định các router không được phép cấu hình DNAT sẵn, người dùng - người quản trị phải tự làm.

Source Network Address Translation

PC trong LAN - máy khách
IP: 192.168.1.6

Đỏ: kết nối từ máy khách
Xanh: trả lời của máy chủ.

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| IP nguồn: 192.168.1.6 | IP đích: 115.147.128.5 |
| Cổng nguồn: 54299 | Cổng đích: 443 |

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 192.168.1.6 |
| Cổng nguồn: 443 | Cổng đích: 54299 |

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| IP nguồn: 191.167.1.9 | IP đích: 115.147.128.5 |
| Cổng nguồn: 4728 | Cổng đích: 443 |

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 191.167.1.9 |
| Cổng nguồn: 443 | Cổng đích: 4728 |

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| IP nguồn: 191.167.1.9 | IP đích: 115.147.128.5 |
| Cổng nguồn: 4728 | Cổng đích: 443 |

LAN IP: 192.168.1.1
Router
WAN IP: 191.167.1.9

| LAN | WAN |
|-------------------|------------------|
| 192.168.1.6:54299 | 191.167.1.9:4728 |

| LAN | WAN |
|-------------------|------------------|
| 192.168.1.6:54299 | 191.167.1.9:4728 |

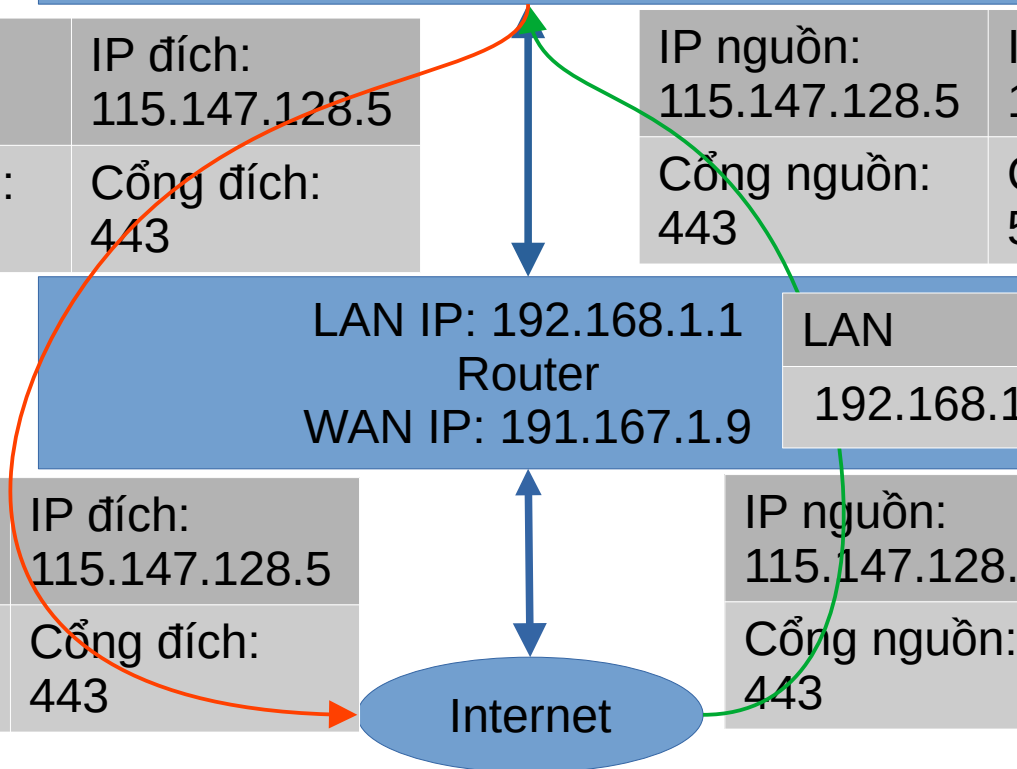
| | |
|--------------------------|---------------------------|
| IP nguồn: 191.167.1.9 | IP đích: 115.147.128.5 |
| Cổng nguồn: 4728 | Cổng đích: 443 |

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 191.167.1.9 |
| Cổng nguồn: 443 | Cổng đích: 4728 |

Internet

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 191.167.1.9 |
| Cổng nguồn: 443 | Cổng đích: 4728 |

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| IP nguồn: 191.167.1.9 | IP đích: 115.147.128.5 |
| Cổng nguồn: 4728 | Cổng đích: 443 |



Dest Network Address Translation

PC trong LAN - máy chủ dịch vụ
IP: 192.168.1.6

Đỏ: kết nối từ máy khách
Xanh: trả lời của máy chủ.

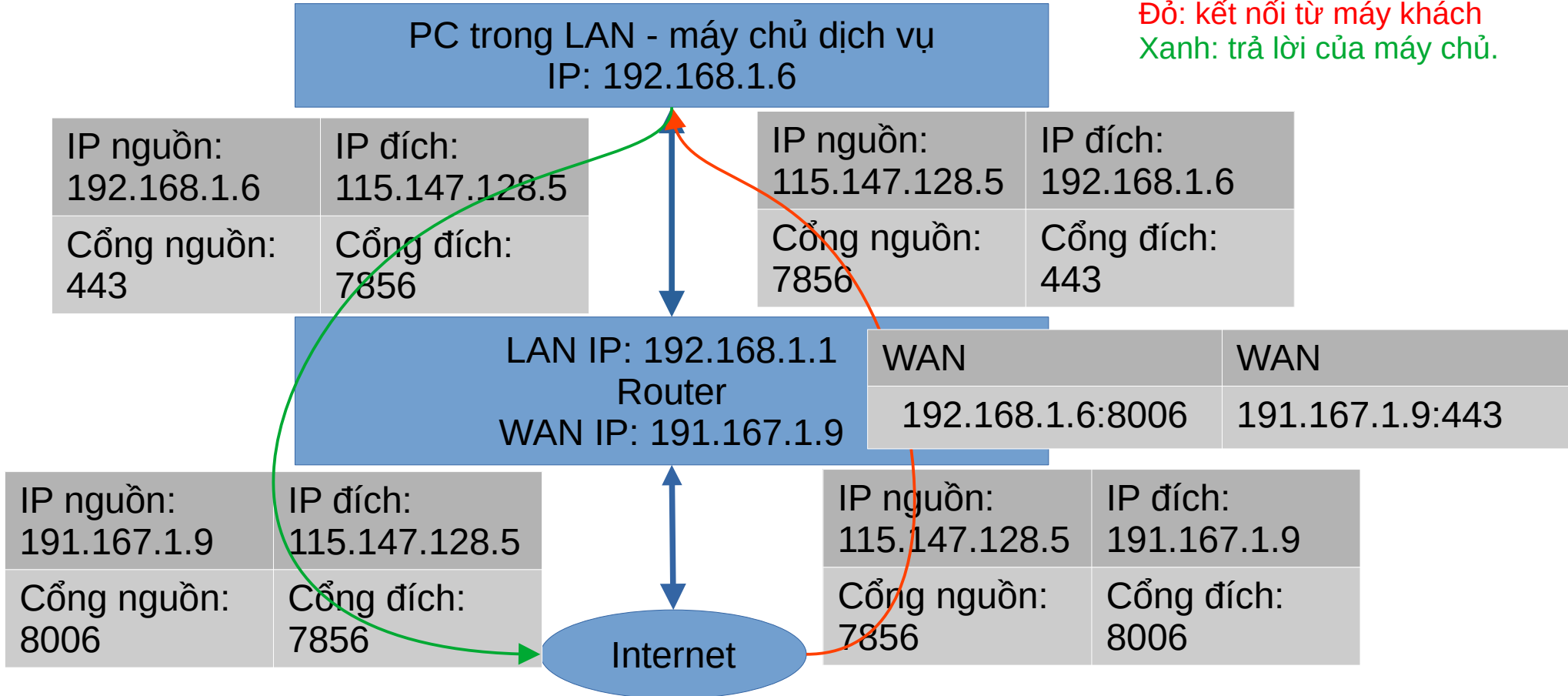
| | | | |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 192.168.1.6 | IP đích: 115.147.128.5 | IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 192.168.1.6 |
| Cổng nguồn: 443 | Cổng đích: 7856 | Cổng nguồn: 7856 | Cổng đích: 443 |

LAN IP: 192.168.1.1
Router
WAN IP: 191.167.1.9

| | |
|------------------|-----------------|
| WAN | WAN |
| 192.168.1.6:8006 | 191.167.1.9:443 |

| | | | |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| IP nguồn: 191.167.1.9 | IP đích: 115.147.128.5 | IP nguồn: 115.147.128.5 | IP đích: 191.167.1.9 |
| Cổng nguồn: 8006 | Cổng đích: 7856 | Cổng nguồn: 7856 | Cổng đích: 8006 |

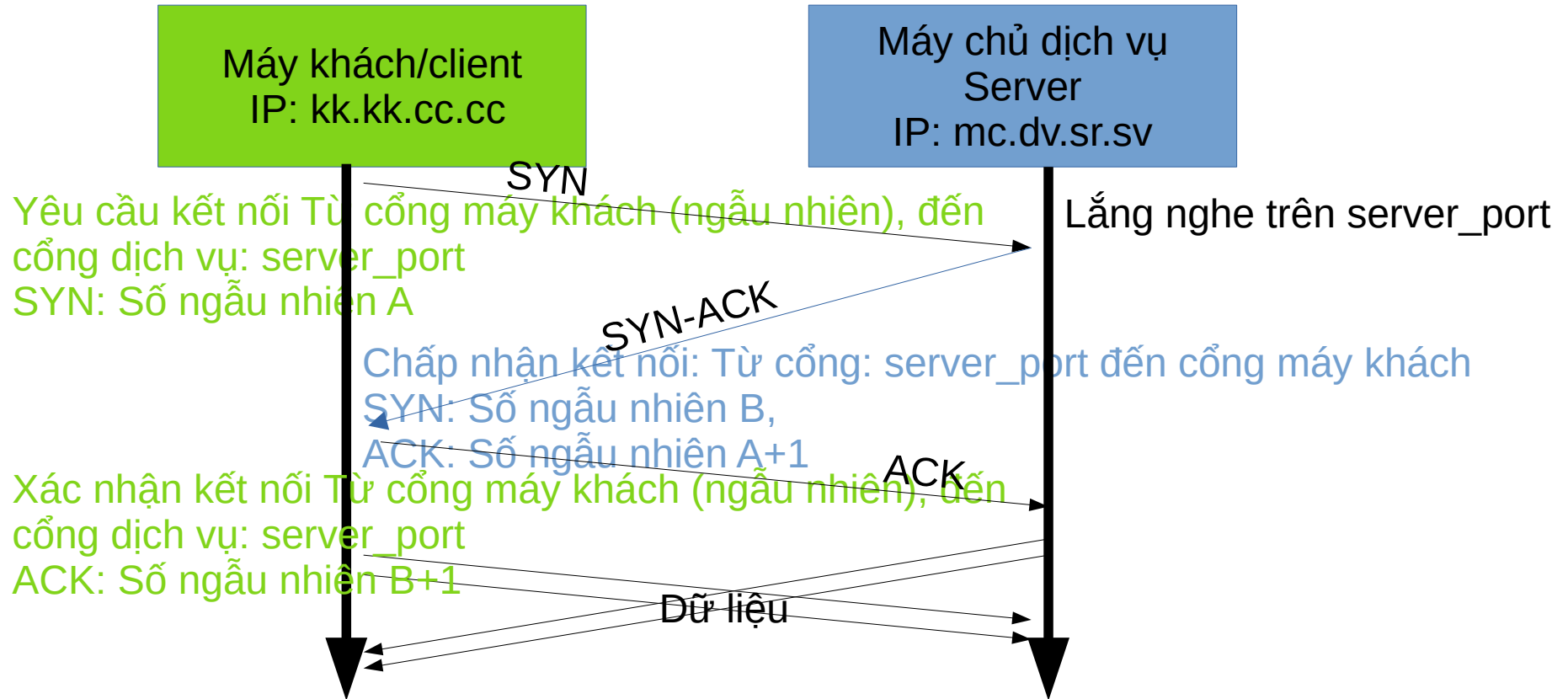
Internet



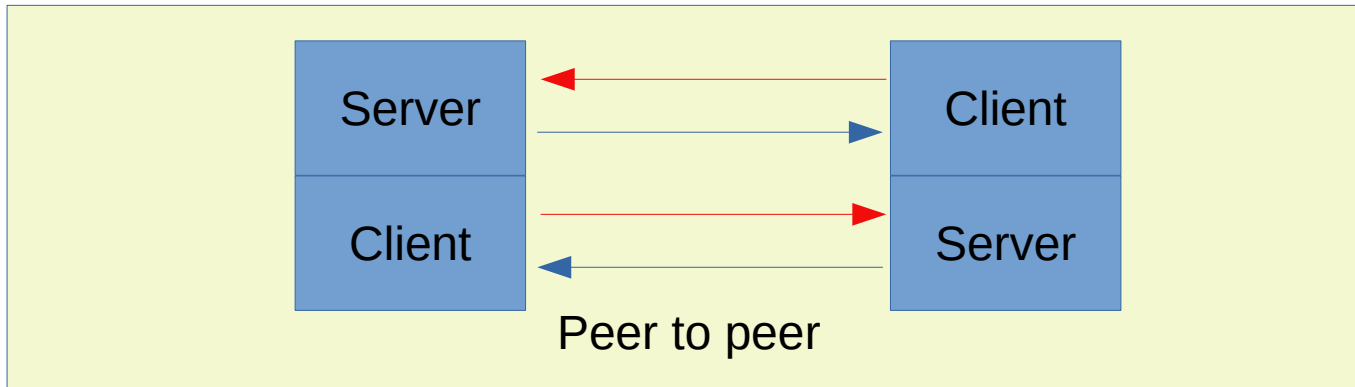
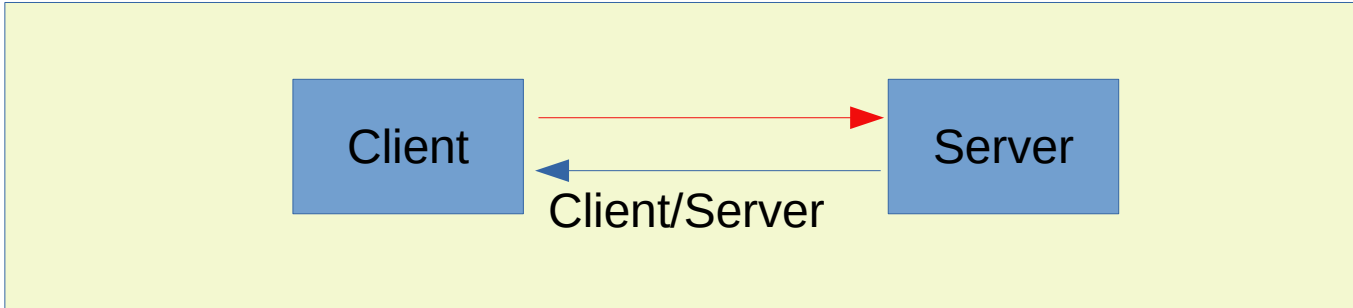
Địa chỉ IPv6 đặc biệt

- **Địa chỉ nội bộ (chính mình):** `::1/128`. Khác với IPv4, IPv6 chỉ sử dụng một IP duy nhất cho các dịch vụ nội bộ.
- **Địa chỉ LAN (cục bộ):** `fc00::/7`. Dải địa chỉ cho địa chỉ LAN cục bộ là rất lớn (2^{121} IP). Các gói tin chứa địa chỉ này cũng sẽ không được chuyển tiếp trên các router/gateway. Khác với IPv4, các địa chỉ LAN này chỉ được sử dụng để giao tiếp trong LAN. Một số HĐH không hỗ trợ NAT trên IPv6 (linux hỗ trợ từ nhân 3.7 trở lên). Tuy nhiên việc này không quan trọng vì mọi nhà cung cấp dịch vụ sẽ cấp cho bạn một dải IPv6 toàn cầu với 64 bit địa chỉ mạng (tương ứng 2^{64} máy trong mạng của bạn có IPv6 toàn cầu). Việc này làm giảm nhẹ gánh nặng cho các router/gateway.
- **Địa chỉ Link-local:** `fe80::/10`. Khác với IPv4, mọi giao tiếp mạng (trừ giao tiếp nội bộ) đều có một địa chỉ liên kết cục bộ cho dù có máy chủ dịch vụ DHCP hay không.

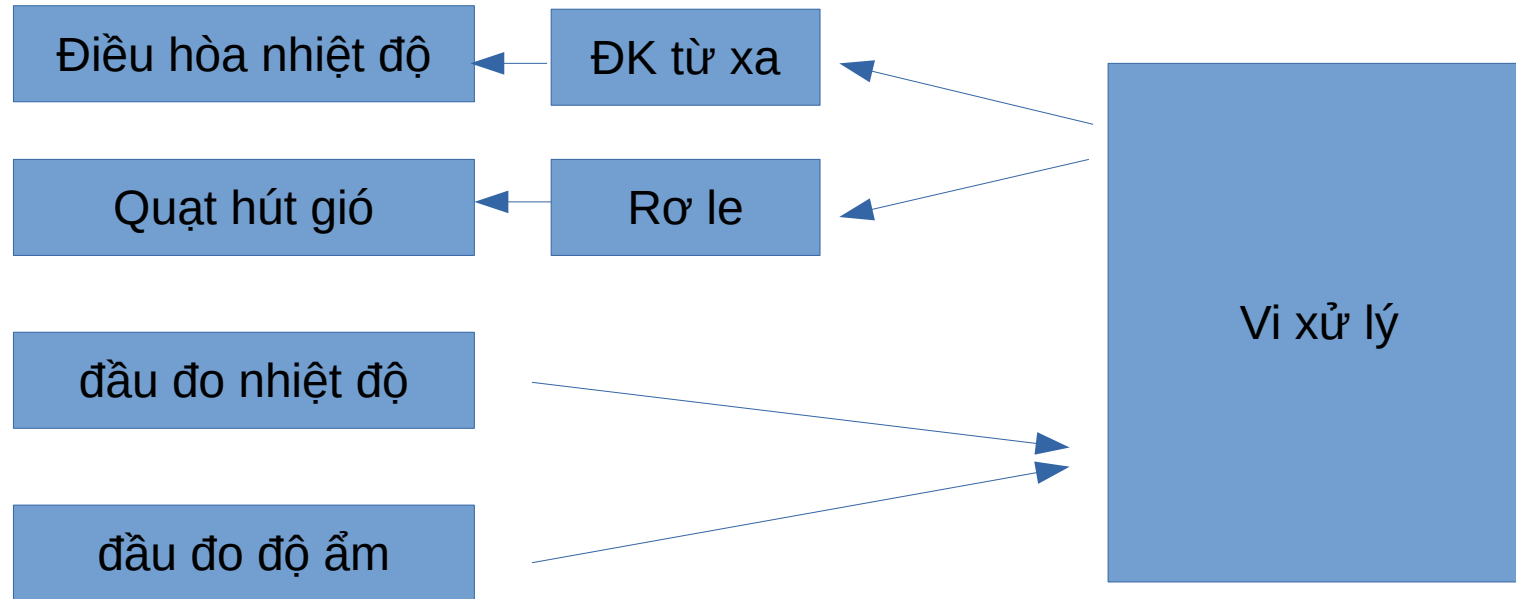
Lược đồ giao tiếp TCP



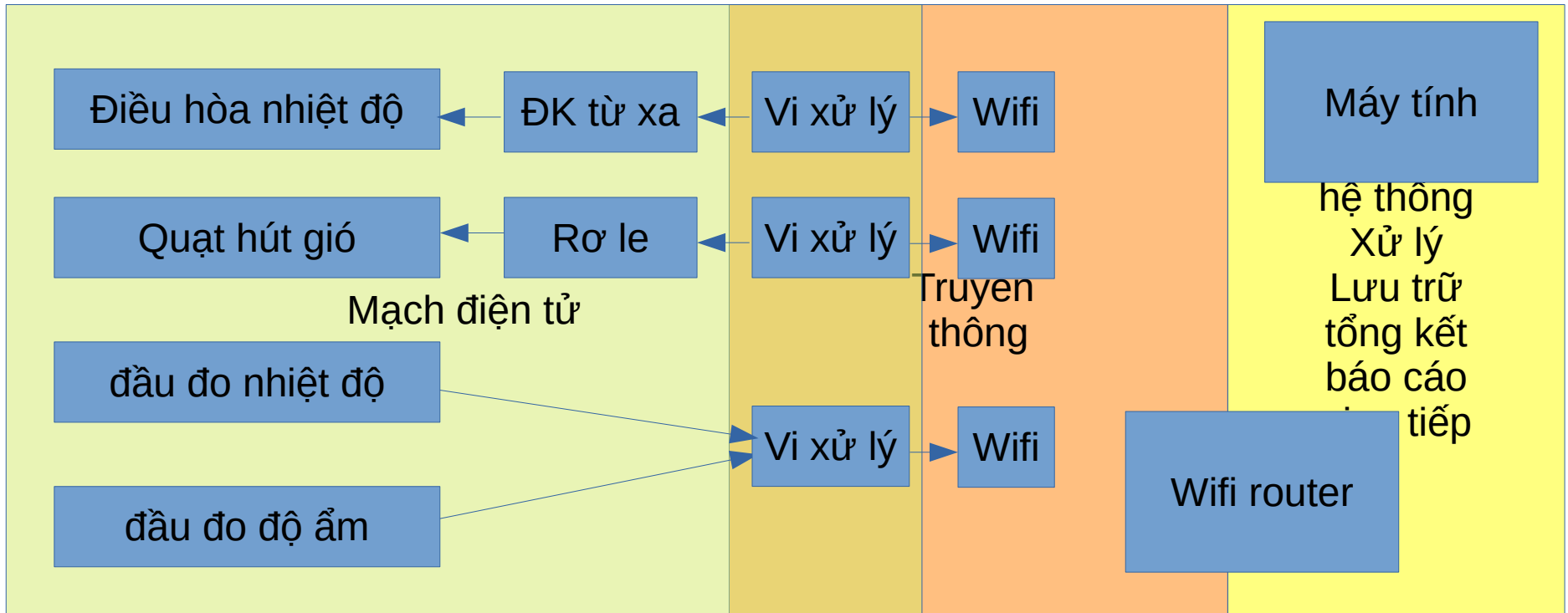
Các mô hình kết nối



Hệ thống điều khiển thông minh - không IoT



Hệ thống điều khiển thông minh – Dùng IoT

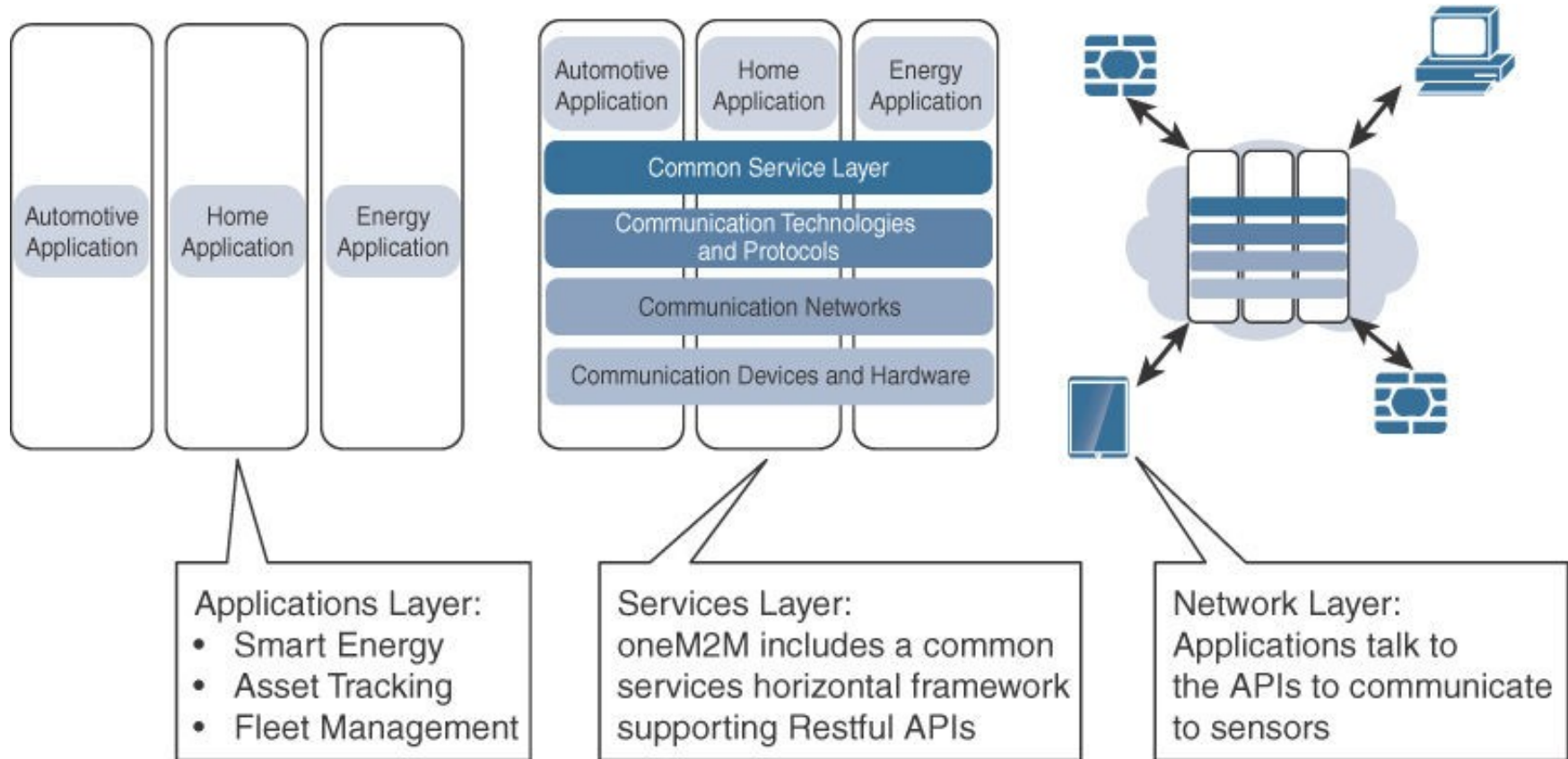


So sánh hai hệ thống

Không IoT <> IoT

| Tính năng | Không IoT | IoT |
|--------------------|-----------|----------------|
| Bảo mật | Rất cao | Kém hơn |
| Năng lượng | Thấp | Cao |
| Khả năng can thiệp | Thấp | Cao |
| Khả năng thay đổi | Thấp | Cao |
| Khả năng tương tác | Thấp | Không giới hạn |
| Khả năng mở rộng | Thấp | Không giới hạn |
| Vùng triển khai | Nhỏ | Không giới hạn |
| | | |

Kiến trúc IOT: 3 lớp



Kiến trúc IOT: 7 lớp

Levels

- 7 Collaboration & Processes**
(Involving People & Business Processes)
- 6 Application**
(Reporting, Analytics, Control)
- 5 Data Abstraction**
(Aggregation & Access)
- 4 Data Accumulation**
(Storage)
- 3 Edge Computing**
(Data Element Analysis & Transformation)
- 2 Connectivity**
(Communication & Processing Units)
- 1 Physical Devices & Controllers**
(The "Things" in IoT)

