

Datornätverk

Nätverksdesign och prestanda

Lennart Franked

20 augusti 2026

1. Datornätverk

2. Nätverkets byggstenar

- 2.1 TCP/IP-modellen
- 2.2 Enhetstyper
- 2.3 Power over Ethernet

3. Segmentering och VLAN

- 3.1 VLAN
- 3.2 VLAN Trunk

4. Internetlagret

- 4.1 Vidarebefordring på internetlagret
- 4.2 Bandbredd och fördröjningar

Läsanvisningar

Denna föreläsning är baserad på

- [4, Chapter 6, 7]

Standarderna bakom innehållet, för den som vill gå till källan:

- Lagermodellen: [1]
- Ethernet och 100 m-gränsen: [5]
- VLAN och 802.1Q-taggen: [9]
- Power over Ethernet: [8, 7, 6], översiktligt i [13]

Table of Contents

1. Datornätverk

2. Nätverkets byggstenar

- 2.1 TCP/IP-modellen
- 2.2 Enhetstyper
- 2.3 Power over Ethernet

3. Segmentering och VLAN

- 3.1 VLAN
- 3.2 VLAN Trunk

4. Internetlagret

- 4.1 Vidarebefordring på internetlagret
- 4.2 Bandbredd och fördröjningar

Vad är ett datornätverk?

Definition

Ett datornätverk kopplar samman enheter så att de kan utbyta data med varandra.

Tre beståndsdelar

- **Noder** — enheterna som kommunicerar
- **Medium** — kopparkabel, fiber eller radio
- **Protokoll** — reglerna för hur de pratar

Noder i en fastighet

- Givare och ställdon
- Styrenheter och paneler
- Driftdator, kameror, accesspunkter

Slutnoder skapar och tar emot data. Däremellan sitter enheter som bara transporterar den vidare.

Nätverkstyper: LAN och WAN

LAN — Local Area Network

- Begränsad geografisk yta: en byggnad eller ett fastighetsområde
- Ägs och driftas av organisationen själv
- Egna kablar, egna switchar
- Höga hastigheter, låga fördröjningar

WAN — Wide Area Network

- Kopplar samman LAN över långa avstånd
- Förbindelsen hyrs av en operatör
- Lägre hastigheter, högre fördröjningar
- Internet är världens största WAN

I ett fastighetsperspektiv

Fastighetens automationsnät är ett **LAN**. Fjärråtkomst till det, från driftentreprenören eller från din telefon, går över ett **WAN**.

Table of Contents

1. Datornätverk

2. Nätverkets byggstenar

2.1 TCP/IP-modellen

2.2 Enhetstyper

2.3 Power over Ethernet

3. Segmentering och VLAN

3.1 VLAN

3.2 VLAN Trunk

4. Internetlagret

4.1 Vidarebefordring på internetlagret

4.2 Bandbredd och fördröjningar

Mellanliggande nätverksenheter

Mellanliggande enheter

Mellanliggande nätverksenheter (eng. intermediary network devices) är de enheter som kopplar samman slutnoder. Exempelvis; Hubbar, Switchar, Routrar, Accesspunkter, brandväggar.

Uppgift

De mellanliggande enheterna har som uppgift att bland annat:

- Förstärka och skicka vidare signaler
- Ha en uppdaterad bild över vilka vägar som finns att tillgå i nätverket.
- Informera andra mellanliggande enheter om fel uppstår.



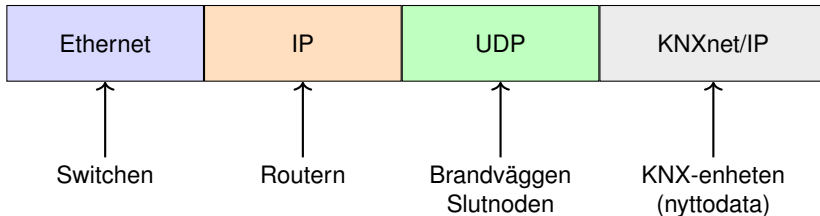
TCP/IP-modellen

Varje lager svarar på en egen fråga [4, 11]

Lager	Fråga	Identifierare
Applikation	Vad <i>betyder</i> datan?	—
Transport	Vilken <i>tjänst</i> i noden?	Portnummer
Internet	Vilket <i>nätverk</i> ligger den i?	IP-adress
Länk	Vem sitter på <i>den här</i> kabeln?	MAC-adress
Fysiskt	Hur blir en etta en <i>signal</i> ?	—

- Varje lager gör sitt jobb utan att bry sig om de andra.
- Vi håller oss till TCP/IP:s **fem** lager. RFC 1122 slår ihop de två understa till ett [1], OSI-modellen delar i stället upp samma sak i sju.
- Lagren refereras ofta med nummer nerifrån och upp: **L1** är fysiska lagret, **L2** länklagret, **L3** internetlagret. Därav “layer 3-switch”.

Lagren sitter inuti varandra



Varje enhet tittar bara på sitt eget lager.

- Varje lager lägger på sin egen *header* runt datan (inkapsling).
- Mottagaren skalar av dem i omvänd ordning.
- Nyttodatan är densamma hela vägen. Det är bara adresseringen utanpå som byts ut.
- Fysiska lagret lägger inte på någon header. Där finns ingen adressering utan bara bitarna, omgjorda till spänningar på en kopparpar eller ljuspulser i en fiber.

Enheterna och lagren

Varje enhet arbetar på sitt lager

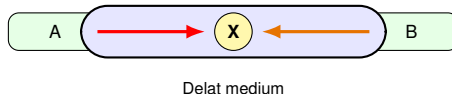
Lager	Identifierare	Enhet
Applikation	—	Slutnoden själv (KNXnet/IP, BACnet, HTTP)
Transport	Portnummer	Brandvägg, slutnoder
Internet	IP-adress	Router
Länk	MAC-adress	Switch
Fysiskt	—	Hubb, kabel, mediakonverterare

- En switch tittar aldrig på IP-adressen. En router tittar aldrig på portnumret.
- **Brandväggen** läser portnumret, och kan därmed avgöra vilken *tjänst* som får passera.

Enhetstyper: Kollisionsdomän

Hubb

- Arbetar på **fysiska lagret** (L1) — läser ingen adress alls
- **Replikerar signaler** till alla portar
- Ingen intelligens (ingen MAC-tabell)
- Flera enheter delar samma **överföringsmedium**
- Endast **en kan sända åt gången**
- Samtidiga sändningar ger **kollision**



Två simultana sändningar → kollision

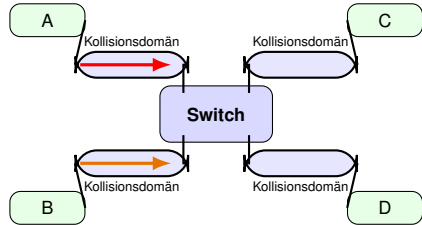
Kollisionsdomän

Alla enheter som delar ett medium tillhör samma kollisionsdomän

Enhetstyper: Switch

Switch

- Arbetar på **länklagret** (L2)
- Lär sig MAC-adresser per port
- Vidarebefordrar ramar baserat på MAC-adress
- Kopplar samman enheter inom *samma* nätverk
- Transparent för slutnoder
- Det finns switchar som även kan routa (L3-switchar)
- **En kollisionsdomän per port**



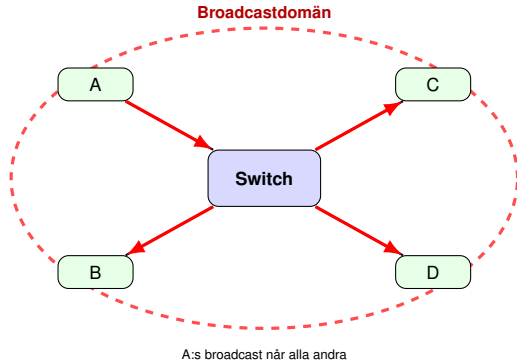
Kollisionsdomän

Varje port är sin egen $\Rightarrow$ flera kan sända samtidigt

Broadcastdomän

Broadcast

- En **broadcast** är en ram som är adresserad till *alla* i nätverket
- Switchen skickar ut den på **samtliga** portar
- Används bl.a. när en enhet söker efter en annan
- Alla enheter som nås av en broadcast tillhör samma **broadcastdomän**



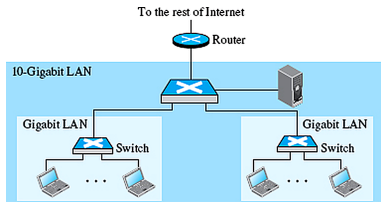
Switchen bryter kollisionsdomäner, men inte broadcastdomänen

Det krävs en **router** (eller **VLAN**, som vi återkommer till)

Enhetstyper: Routrar

Routrar

- Arbetar på **internetlagret** (L3).
- Vidarebefordrar paket baserat på IP-adressen.
- Kopplar samman *olika* nätverk.
- Möjliggör kommunikation mellan broadcastdomäner.



Figur: Router [4]

Power over Ethernet (PoE)

Idé

Ström och data i *samma* partvinnade kabel. Ingen separat matning behöver dras fram till donet.

Två roller

- **PSE** (Power Sourcing Equipment) matar: switchen, eller en separat injektor.
- **PD** (Powered Device) förbrukar: kamera, AP, givare, panel.

Förhandling

- PSE detekterar först att ett PD sitter i porten.
- Spänning läggs *inte* på förrän donet svarat. En vanlig dator tar ingen skada.
- Effektklassen bestäms genom hårdvaruklassificering; LLDP kan användas för att finjustera effektbehovet [13].

Matningen sker med likspänning, 44–57 V beroende på typ [5].

Standarder och effektbudget

Standard	Typ	PSE (per port)	PD (tillgängligt)
802.3af (PoE) [8]	Type 1	15.4 W	13 W
802.3at (PoE+) [7]	Type 2	30 W	25.5 W
802.3bt (PoE++) [6]	Type 3	60 W	51 W
802.3bt (PoE++) [6]	Type 4	90 W	71.3 W

Skillnaden är kabelförluster

Dimensionera efter *PD*-kolumnen. Type 1 och 2 matar över två par, Type 3 och 4 kan använda alla fyra [13].

Budgeten är inte portarna gånger max

$24 \text{ portar} \times 25.5 \text{ W} = 612 \text{ W}$, men en Cisco Catalyst C1000-24P-4G-L har 195 W i PoE-budget (C1000-24FP-4G-L: 370 W) [3].

PoE i fastighetsautomation

Vad som typiskt matas

- IP-kameror
- Passersystem och kortläsare
- Trådlösa accesspunkter
- Närvaro- och klimatgivare
- Manöverpaneler, IP-gränssnitt

Att tänka på

- 100 m-gränsen sätts på fysiska lagret och gäller fortfarande [5].
- UPS på switchen ger reservkraft åt *alla* anslutna don.
- Underdimensionerad budget ger don som startar men betar sig instabilt.
- Många PoE-kablar i samma bunt värms upp; värst i mitten. TSB-184-A utgår från högst 15 °C temperaturökning [12].

Table of Contents

1. Datornätverk

2. Nätverkets byggstenar

2.1 TCP/IP-modellen

2.2 Enhetstyper

2.3 Power over Ethernet

3. Segmentering och VLAN

3.1 VLAN

3.2 VLAN Trunk

4. Internetlagret

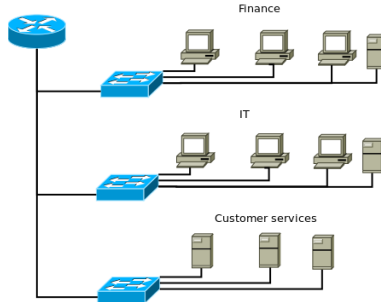
4.1 Vidarebefordring på internetlagret

4.2 Bandbredd och fördröjningar

Syfte med VLAN

Varför dela upp ett LAN?

- Mindre brus, bättre prestanda
- Säkerhet

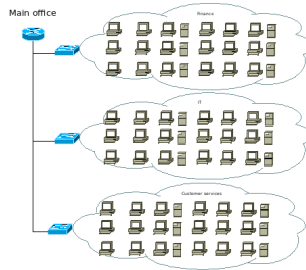


Figur: Fysiskt separerade nätverk

Syfte med VLAN II

Är detta skalbart?

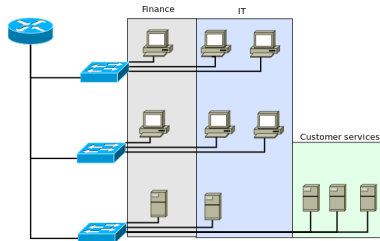
- Organisationer växer, nya kontor och byggnader läggs till.
- Svårt att administrera genom att fysiskt separera avdelningarna.



Figur: Växande organisationer

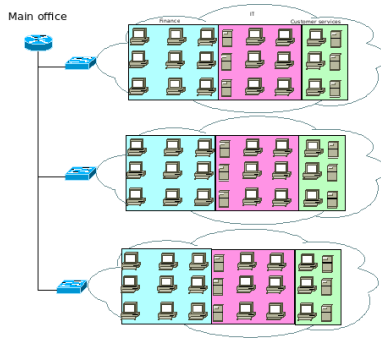
Syfte med VLAN III

Virtuella LAN tillåter oss att logiskt separera LAN.



Figur: Växande organisationer

Syfte med VLAN IV



Figur: Växande organisation med VLAN

VLAN typer

VLAN kategoriseras oftast in i grupper om funktion. Exempelvis

Default VLAN

- Det VLAN som alla portar tilldelas som standard.
- VLAN1, Går ej att modifiera.

Data VLAN

- Användargenererad data.
- IP-telefoni, data

VLAN identifikation

VLAN-ID

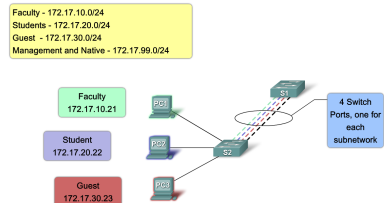
- Varje VLAN identifieras med ett nummer, ett **VLAN-ID**.
- Fältet är 12 bitar, vilket ger 4096 möjliga värden.
- Användbart intervall: **1–4094**.

Reserverade värden

- VLAN 1 är standard-VLAN och går inte att ta bort.
- Ytterligare ett antal ID:n är reserverade och kan inte användas fritt.

VLANs i ett nätverk bestående av flera switchar

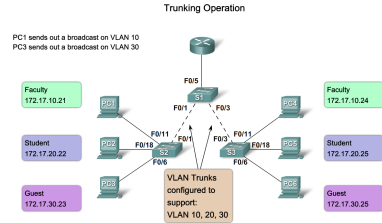
- VLAN med enbart en switch är enkelt.
- Vad händer om man involverar fler?



Figur: En länk per VLAN[10]

Trunk

- Dela en gemensam länk för flera VLAN
- Varje ram måste innehålla information om VLAN tillhörighet.
- Ny Ethernet header – IEEE 802.1Q



Figur: VLAN trunking[10]

Switchport typer

Access port

En switchport som tillhör ett VLAN.

Trunk port

En switchport som stödjer flera VLAN.

Table of Contents

1. Datornätverk

2. Nätverkets byggstenar

2.1 TCP/IP-modellen

2.2 Enhetstyper

2.3 Power over Ethernet

3. Segmentering och VLAN

3.1 VLAN

3.2 VLAN Trunk

4. Internetlagret

4.1 Vidarebefordring på internetlagret

4.2 Bandbredd och fördröjningar

Internetlagret

Packetering

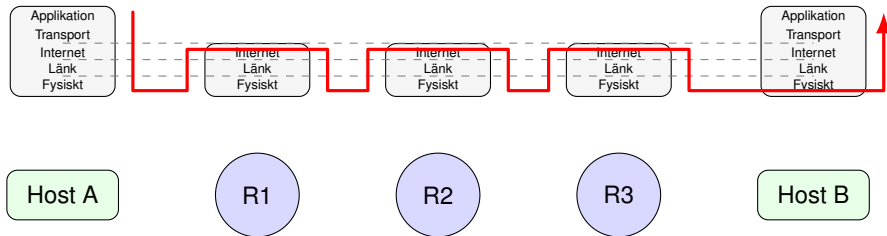
- Adressering
- Inkapsling
- Routing
- Avkapsling

Adressering

Tabell: Protokoll på internetlagret

Protokoll	Förklaring
IPv4	Det mest använda protokollet på internetlagret idag.
IPv6	Tänkt att helt byta ut IPv4. Används i vissa protokoll för byggnadsautomation, t.ex. Thread.
ICMPv4	Stödprotokoll för IPv4
ICMPv6	Stödprotokoll för IPv6

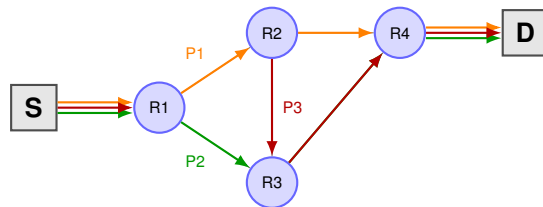
Routing



Vidarebefordring på internetlagret

Förbindelselös kommunikation

- Varje router tar oberoende beslut om hur paketet vidarebefordras
- Detta kräver att paketet innehåller all nödvändig information om sin destination
- Den arkitektur som internet är baserad på.



Version	IHL	DSCP	Total Length	
Identification			Flags	Fragment Offset
TTL	Protocol	Header Checksum		
Source IP Address				
Destination IP Address				
Data				

Bandbredd och genomströmning

Bandbredd

Teoretisk datamängd som kan skickas över mediet per tidsenhet. Anges i b/s, Mb/s, Gb/s (talbas 10).

Genomströmning (throughput)

Vad som *faktiskt* skickas.

Nyttogenomströmning (goodput)

Enbart nyttodatan, utan headers och omsändningar.

Bandbredd > Genomströmning
> Nyttogenomströmning

Sänker genomströmningen

- Trafikmängd och trafiktyp
- Paketförluster och omsändningar
- Fördröjningar

1 byte (B) = 8 bitar (b)

Fördröjningar: fyra bidrag

- **Transmissionstid:** tiden att trycka ut paketet på länken. Beror på paketstorlek och länkhastighet.
- **Utbredningstid:** tiden för signalen att färdas sträckan. Beror på avstånd, *inte* på paketstorlek.
- **Bearbetningstid:** nodens hantering av paketet. Några μs , oftast försumbar.
- **Kötid:** väntan i buffert vid belastning. Den enda som varierar kraftigt.

De två som räknas

$$d_{\text{trans}} = \frac{L}{R} \quad d_{\text{prop}} = \frac{d}{v}$$

L = paketstorlek (bitar), R = länkhastighet (b/s)

d = avstånd (m), $v \approx 2 \cdot 10^8$ m/s

Totalt

$$d_{\text{total}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

Räkneexempel

1500 byte över 100 Mb/s, 1000 km

$$d_{\text{trans}} = \frac{12000}{100 \cdot 10^6} = 0.12 \text{ ms}$$

$$d_{\text{proc}} \approx 0.005 \text{ ms}$$

$$d_{\text{queue}} \approx 0.12 \text{ ms}$$

$$d_{\text{prop}} = \frac{10^6}{2 \cdot 10^8} = 5 \text{ ms}$$

$$d_{\text{total}} = 5.245 \text{ ms}$$

Avståndet dominerar — inte länkhastigheten.

Svarstid

Tur och retur, plus mottagarens bearbetning. Antag att servern behöver 2 ms: $d_{\text{svar}} = 2 d_{\text{total}} + d_{\text{server}} = 2 \cdot 5.245 + 2 = 12.49 \text{ ms}$

Det är detta ping mäter.

Referenser I

- [1] R. Braden. *Requirements for Internet Hosts — Communication Layers*. Request for Comments RFC 1122. Internet Engineering Task Force, okt. 1989. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1122> (hämtad 2026-08-14).
- [2] Cisco Networking Academy. *Introduction to Networks Companion Guide (CCNAv7)*. Cisco Press, 2020.
- [3] Cisco Systems. *Cisco Catalyst 1000 Series Switches Data Sheet*. Tekn. rapport. Cisco Systems, 2023. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-1000-series-switches/nb-06-cat1000-ser-switch-ds-cte-en.html> (hämtad 2026-08-14).

Referenser II

- [4] Behrouz A. Forouzan. *Data communications and networking with TCP/IP protocol suite*. Sixth edition. New York: McGraw Hill. ISBN: 9781260597820.
- [5] IEEE. *IEEE Standard for Ethernet*. Tekn. rapport IEEE Std 802.3-2022. Clause 33 specificerar DTE Power via MDI. IEEE, 2022.
- [6] IEEE. *IEEE Standard for Ethernet — Amendment 2: Physical Layer and Management Parameters for Power over Ethernet over 4 Pairs*. Tekn. rapport IEEE Std 802.3bt-2018. IEEE, 2018.
- [7] IEEE. *IEEE Standard for Information Technology — Amendment 3: Data Terminal Equipment (DTE) Power via the Media Dependent Interface (MDI) Enhancements*. Tekn. rapport IEEE Std 802.3at-2009. IEEE, 2009.

Referenser III

- [8] IEEE. *IEEE Standard for Information Technology — Telecommunications and Information Exchange Between Systems — Amendment: Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI)*. Tekn. rapport IEEE Std 802.3af-2003. IEEE, 2003.
- [9] IEEE. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks*. Tekn. rapport IEEE Std 802.1Q-2022. IEEE, 2022. DOI: 10.1109/IEEESTD.2022.10004498.
- [10] Allan Johnson. *Routing and Switching Essentials Companion Guide*. CCNA Routing and Switching. Cisco Press, 2014. ISBN: 978-1-58713-320-6.
- [11] James F. Kurose och Keith W. Ross. *Computer Networking: A Top-Down Approach*. 6. utg. Pearson, 2013. ISBN: 978-0-13-285620-1.

Referenser IV

- [12] Telecommunications Industry Association. *Guidelines for Supporting Power Delivery over Balanced Twisted-Pair Cabling*. Tekn. rapport TIA TSB-184-A. TIA, 2017.
- [13] Lennart Yseboodt och David Abramson. *Overview of 802.3bt — Power over Ethernet Standard*. Tekn. rapport. Ethernet Alliance, april 2018. URL: https://ethernetalliance.org/wp-content/uploads/2018/04/WP_EA_Overview8023bt_FINAL.pdf (hämtad 2026-08-14).

