

# IPv6-foredrag

Pent brukt 18-åring

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

4. desember 2013

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
  - Subversion: `svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag`
  - Web: [svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag](http://svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag)
  - Begge metodene er tilgjengelig med både IPv4 og IPv6
- [ipv6-foredrag.foredrag.pdf](#) vises på lerretet
- [ipv6-foredrag.handout.pdf](#) er mye bedre for publikum å se på
- [ipv6-foredrag.handout.2on1.pdf](#) og [ipv6-foredrag.handout.4on1.pdf](#) er begge velegnet til utskrift
- \*.169.pdf-filene er i 16:9-format
- \*.1610.pdf-filene er i 16:10-format

- Foredraget er mekket ved hjelp av [GNU Emacs](#), [AUCTeX](#), [pdfTeX](#) fra [MiKTeX](#), [L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X](#)-dokumentklassa [beamer](#), [Subversion](#), [TortoiseSVN](#) og [Adobe Reader](#)
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.tex 78 2013-12-04  
09:53:24Z trond $`
- Driverfila for denne PDF-fila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.handout.tex 78 2013-12-04  
09:53:24Z trond $`
- Copyright © 2013 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: [Creative Commons](#),  
[Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0 Norge](#) (CC BY-SA 3.0)



# Oversikt av hele foredraget

## Del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 3 Antall adresser
- 4 Andre nyttige ting ved IPv6
- 5 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 6 IPv6 ved Fagskolen Innlandet

# Oversikt av hele foredraget

## Del 2: IPv6-header

### 7 IPv6-header

# Oversikt av hele foredraget

## Del 3: IPv6 over Ethernet

8 IPv6 over Ethernet

9 IPv6 over andre lag-2-typer

# Oversikt av hele foredraget

## Del 4: Grunnleggende om adresser

- 10 Grunnleggende om adresser
- 11 Adressedemo
- 12 MAC-48-adresser
- 13 Modda IEEE EUI-64-format
- 14 Manuell grensesnittidentifikator
- 15 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- 16 Spesialadresser
- 17 Duplicate Address Detection — DAD

# Oversikt av hele foredraget

## Del 5: Adresstyper

- 18 Adresstyper
- 19 Link-local-adresser
- 20 Site-local-adresser
- 21 Offentlige unicast-adresser
- 22 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 23 Anycast-adresser
- 24 Multicast-adresser



# Oversikt av hele foredraget

## Del 6: DNS

25 AAAA og PTR

26 A6

# Oversikt av hele foredraget

## Del 7: ICMPv6

- 27 ICMPv6
- 28 Multicast Listener Discovery
- 29 Neighbor Discovery
- 30 Router Renumbering
- 31 Inverse Neighbor Discovery
- 32 Version 2 Multicast Listener Report
- 33 Mobile IPv6
- 34 SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 35 Multicast Router Discovery
- 36 FMIPv6
- 37 RPL Control Message
- 38 ILNPv6 Locator Update Message
- 39 Duplicate Address

# Oversikt av hele foredraget

## Del 8: Neighbor Discovery

- 40 Router Solicitation
- 41 Router Advertisement
- 42 Neighbor Solicitation
- 43 Neighbor Solicitation
- 44 Redirect

# Oversikt av hele foredraget

## Del 9: DHCPv6

45 DHCPv6

46 Meldinger

47 DHCP Unique Identifier

# Oversikt av hele foredraget

## Del 10: Avansert multicast

- 48 Multicastflaggene
- 49 Når T er satt til 1
- 50 Når PT er satt til 11
- 51 Når RPT er satt til 111

- 52 Cisco IOS
  - IPv6-routing
  - ACL-er
  - DHCPv6

- 53 OS-konfig

# Oversikt av hele foredraget

## Del 12: Noen RFC-er om IPv6

### 54 Noen RFC-er om IPv6

# Del I

## Kort om IPv6



# Oversikt over del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 3 Antall adresser
- 4 Andre nyttige ting ved IPv6
- 5 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 6 IPv6 ved Fagskolen Innlandet

# Kort om IPv6

## Hva er IPv6?

- En lag-3-protokoll ment å erstatte IPv4
- Har eksistert siden desember 1995, først spesifisert i [RFC 1883](#)
- Enkel grunnheader med fast lengde
- Flere utvidelsesheadere, riktig rekkefølge er viktig
- **128-bit adresser**
- Ny versjon av ICMP: ICMPv6
- ARP og RARP for IPv6 er en del av ICMPv6
  - Ikke nødvendig med ekstra lim for adressene i lagene 2 og 3
- Ny versjon av DHCP: DHCPv6
- **Automatisk adressekonfigurasjon uten bruk av DHCPv6**

# Kort om IPv6

## Hvorfor trenger vi IPv6?

- Mobilmarkedet viser en enorm vekst: smarttelefoner, nettbrett m.m.
- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- «IPokalypsen» er her!
- IANA gikk tom 3. februar 2011
  - APNIC gikk tom 19. april 2011
  - RIPE gikk tom 14. september 2012
- Dersom disse RIR-ene oppfører seg pent:
  - LACNIC kan holde på til juni 2014
  - ARIN kan holde på til februar 2015
  - AFRINIC kan holde på til juni 2022(!)
- Network Address Translation, Carrier-Grade NAT og Shared Address Space
  - Bare støttebandasje med kort utløpstid
  - Glem det
  - Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse

- Totalt antall IPv6-adresser:
  - $2^{128} = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456$
- Bare 1/8 kan brukes til offentlige unicast-adresser:
  - $2^{125} = 42.535.295.865.117.307.932.921.825.928.971.026.432$
- Fortsatt mange adresser enn det fullstendige IPv4-adresserommet:
  - $2^{32} = 4.294.967.296$
- Mindre enn **3.702.258.688** IPv4-adresser kan bli brukt som offentlige IPv4-unicast-adresser
- Se Tronds utregning fra juli 2012: <http://ximalas.info/2012/07/20/how-many-ipv4-addresses-are-there/>

# Kort om IPv6

## Andre nyttige ting ved IPv6

- Hierarkisk adressestruktur
- Enklere planlegging av subnett sammenlignet med IPv4
  - De fleste IPv6-subnett bruker et 64-bit prefiks
  - Autokonfigurasjon *krever* et 64-bit prefiks
  - Fast prefikslengde på 64 bit er *ikke* et absolutt krav
  - DHCPv6 eller manuell konfigurasjon brukes når prefikslengda er ulik 64 bit
- Kortere rutingtabeller
  - Uninett annonserer disse IPv4-subnettene med BGP:

78.91.0.0/16,	128.39.0.0/16,	129.177.0.0/16,
129.240.0.0/15,	129.242.0.0/16,	144.164.0.0/16,
151.157.0.0/16,	152.94.0.0/16,	156.116.0.0/16,
157.249.0.0/16,	158.36.0.0/14,	161.4.0.0/16,
193.156.0.0/15,	192.111.33.0/24,	192.133.32.0/24,
	192.146.238.0/23	
- Til gjengjeld trenger Uninett bare å annonsere dette IPv6-prefikset:
- 2001:700::/32

# Kort om IPv6

## Andre nyttige ting ved IPv6

- Sjekksum er overlatt til høyere og lavere lag
- Fragmentering skal gjøres hos avsender, ikke underveis
  - Avsender må sjekke veien lengre fremme og måle smaleste krøttersti
  - Path Maximum Transmission Unit Discovery (Path MTU)
- IPsec ble spesifisert som en del av IPv6
  - Finnes også for IPv4
  - Må konfigureres før den begynner å virke
  - Tilbyr:
    - Kryptert overføring (ESP), og/eller
    - Bekreftelse av avsenders identitet og beskyttelse mot gjentakelse («replay») (AH)
  - Ble omgjort fra krav til anbefaling for IPv6 av [RFC 6434](#)

# Kort om IPv6

## Hvorfor brukes ikke IPv6?

- Markedskreftene bestemmer
- «Vente-og-se»-holdning
- Stikker hodet ned i sanda
- Store selskaper:
  - Kjøper opp små selskaper og hamstrer IPv4-blokker
  - Kjøper IPv4-blokker på ettermarkedet/konkursbo:
    - Microsoft → \$7,5 mill. → Nortel → 666.624 IPv4-adresser
- Telebransjen satser fortsatt hardt på IPv4:
  - (Edge) NAT i CPE (RFC 1631)
  - Carrier-Grade NAT i stamnett (RFC 6264)
  - Shared Address Space etter behov i stamnett (RFC 6598)
- Før eller siden blir CGN for kostbar og komplisert å vedlikeholde
- 3G og 4G/LTE klarer kanskje å øke IPv6-preset (RFC 6459)
- IPv6 er det eneste tilgjengelige og realistiske alternativet til IPv4

- 1994: Tildelt 128.39.174.0/24 av Uninett
- 1. juni 2005: Ny IT-ansvarlig, yours truly
- Høsten 2005: Fikk reservert IPv4-serien 128.39.172.0/23
- Påska 2006: Fikk reservert IPv6-serien 2001:700:1100::/48
- Før og etter pinsehelga 2006: Fiberlinjer fra serverrommet og til sentrale punkter i hver etasje i hovedbygningen
- Sommeren 2006: Nytt Cisco-gear som Catalyst 3560G og 2960 ([Cisco IOS 12.2\(25\)SEB4](#))
  - 128.39.46.8/30 ble linknett mellom HiG/Uninett og FSI
    - 128.39.46.9 brukes ved HiG
    - 128.39.46.10 brukes ved FSI
  - 128.39.174.0/24 ble delt opp i subnett og satt opp som servernett og ansattnett, m.m.
  - 128.39.172.0/24 ble delt opp i subnett og satt opp som nett for datalab
  - 128.39.173.0/24 ble satt opp som klienter på trådløst studentnett



- 6. september 2006: IPv6-linknettet 2001:700:0:11D::/64 ble aktivert mellom HiG/Uninett og FSI
  - 2001:700:0:11D::1 brukes hos HiG
  - 2001:700:0:11D::2 brukes hos FSI
- Samme dag ble IPv6 innført for FSI-VLAN-ene 20, 30, 70 og 80:
  - FSI-VLAN 20: 2001:700:1100:1::/64 (ytre servernett)
  - FSI-VLAN 30: 2001:700:1100:2::/64 (indre servernett)
  - FSI-VLAN 70: 2001:700:1100:3::/64 (IT-kontornett)
  - FSI-VLAN 80: 2001:700:1100:4::/64 (IT-lekenett)
- Sommeren 2007: **Genererte** og frivillig **registrerte** ULA-serien **FD5C:14CF:C300::/48**
  - Brukes i interne FSI-VLAN som tidligere bare brukte **RFC 1918**-adresser
    - Fikk første HP-skriver med IPv6-støtte og ville bruke IPv6
    - Noen år senere: IPv6-adresser på kantswitchene med **Cisco IOS 12.2(40)SE**

- Høsten 2010: Enda en IPv4-serie ble innført: 128.39.194.0/24
  - 128.39.172.0/23 brukes nå til klienter på trådløst studentnett
  - 128.39.194.0/24 brukes nå til datalab etter samme mønster som for den gamle 128.39.172.0/24
- **Oppland FK** (OFK) har ingen planer om å innføre IPv6
- **Hordaland FK** har satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2a02:20a0:0:3::81:130
- I dag er de fleste brukere ved FSI kasta over til OFK-nettene
- Dette skjedde etter ombygginga i 2011–2012
- Andreklasse data er velsigna med å kunne velge mellom FSI- og OFK-nettene
- Andreklasse data velger som regel det førstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 48, 128.39.194.192/27 og 2001:700:1100:8008::/64
- Førsteklasse data ønsker det samme tilbudet; så vi får se ...

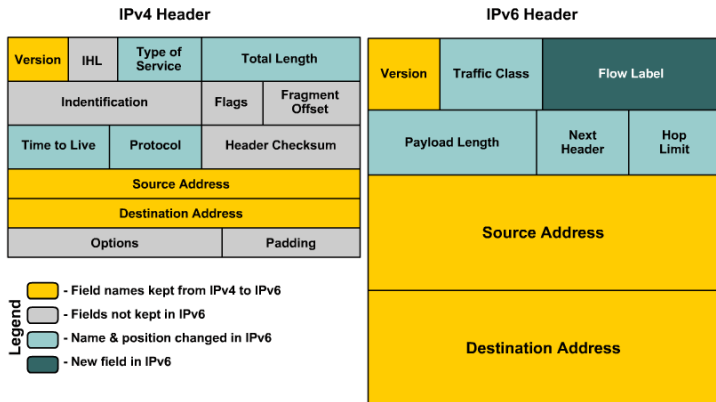
- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser (dual-stack)
- FSI-VLAN med offentlige IPv4-adresser bruker offentlige IPv6-adresser fra 2001:700:1100::/48-serien
- FSI-VLAN med private IPv4-adresser ([RFC 1918](#)) bruker private IPv6-adresser fra FD5C:14CF:C300::/48-serien
- Private adresser brukes for alt utstyr som ikke har behov for internettforbindelse:
  - Switcher
    - Med unntak for kjerneswitchen som er L3-router for nettverket ved FSI
  - Basestasjoner og WLAN-kontroller
    - Før omlegginga
  - UPS-er
  - Skrivere
  - VPN-klienter

# Del II

## IPv6-header

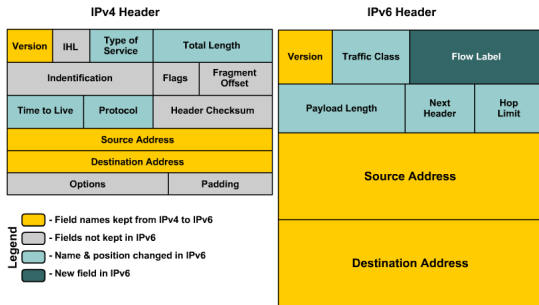
## 7 IPv6-header

# IPv6-header



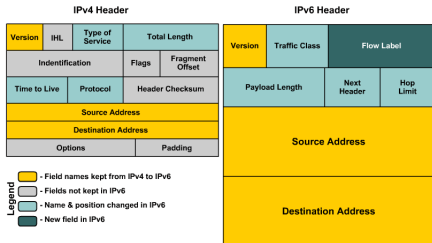
Hentet fra

<http://www.tekkom.dk/mediawiki/images/5/5e/CCNP-108.png> FAGSKOLEN INNLANDET



- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (20 oktetter)
- IPv6-headeren har færre felt enn IPv4-headeren
- De utelatte feltene er i stor grad flyttet over til egne utvidelsesheadere

# IPv6-header



- Versjonsfeltet (4 bit) settes til 0110
- Traffic Class (8 bit) er det samme som Type of Service i IPv4
- Flow Label (20 bit) er et nytt felt og foreløpig eksperimentell

- Payload Length (16 bit) er det samme som Total Length i IPv4
- Next Header (8 bit) er det samme som Protocol i IPv4
- Hop Limit (8 bit) er det samme som Time To Live i IPv4
- Avsender og mottaker er 128-bit IPv6-adresser
- IPv4-feltene Internet Header Length (IHL), Identification, Flags, Fragment Offset, Header Checksum, Options og Padding, er enten fjernet for godt eller flyttet til egne utvidelsesheadere



- Utvidelsesheaderne finnes i stort antall:
  - 1 Hop-by-hop options
  - 2 Destination options
  - 3 Routing
  - 4 Fragment
  - 5 Authentication Header
  - 6 Encapsulating Security Payload
  - 7 Mobility
- Se [RFC 2460](#), [RFC 4302](#), [RFC 4303](#) og [RFC 6275](#)

# Del III

## IPv6 over Ethernet

8 IPv6 over Ethernet

9 IPv6 over andre lag-2-typer

- [RFC 2464](#) definerer frameformatet for IPv6-datagrammer over Ethernet
- IPv6-datagrammer fraktes i standard Ethernetformat, [RFC 894](#)
- Først angis mottakerens MAC-48-adresse
- Deretter angis avsenders MAC-48-adresse
- Frametypen settes til 86DD (heksadesimalt)
- Deretter følger IPv6-header og resten av datagrammet
- Standard MTU for IPv6 over Ethernet er 1500 oktetter
- Minste tillatte MTU for IPv6 er 1280 oktetter
- Er største tilgjengelige MTU mindre enn 1280 oktetter, så må lagene under IPv6 sørge for fragmentering og sammensetting av IPv6-datagrammene ([RFC 2460](#))

Programmet **Wireshark** fremstilte følgende lag-2-informasjon om en utsendt IPv6-pakke:

```
Ethernet II, Src: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40), Dst: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
  Destination: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
    Address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
      .... ..0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      .... ..0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
  Source: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
    Address: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
      .... ..0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      .... ..0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
  Type: IPv6 (0x86dd)
```

- Presentert som heksadesimale oktetter/byter:
- 00 17 E0 77 14 57 00 26 18 F2 72 40 86 DD
  - 00 17 E0 77 14 57 er MAC-48-adressa til mottakeren, routeren
  - 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa til avsenderen, klienten
  - 86 DD angir at et IPv6-datagram følger i lag 3

# IPv6 over andre lag-2-typer

- FDDI: [RFC 2467](#)
- Token Ring: [RFC 2470](#)
- Point-to-point protocol (PPP): [RFC 2472](#)
- Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks: [RFC 2491](#)
- ATM: [RFC 2492](#)
- ARCnet: [RFC 2497](#)
- Frame Relay: [RFC 2590](#)
- IEEE 1394 (FireWire): [RFC 3146](#)
- Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN): [RFC 4919](#)
- Brevduer: [RFC 6214](#), basert på [RFC 1149](#)

# Del IV

## Grunnleggende om adresser

# Oversikt over del 4: Grunnleggende om adresser I

- 10 Grunnleggende om adresser
- 11 Adressedemo
- 12 MAC-48-adresser
- 13 Modda IEEE EUI-64-format
- 14 Manuell grensesnittidentifikator
- 15 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- 16 Spesialadresser
- 17 Duplicate Address Detection — DAD



- 128 bit
- Heksadesimal notasjon
- 16 og 16 bit grupperes og adskilles med kolon
- Ledende nuller kan sløyfes
- To eller flere *sammenhengende* 16-bitblokker med nuller kan slås sammen til :: (dobbelkolon), bare én gang pr. adresse
- Prefikslengde angis ved å sette på en skråstrek og oppgi riktig antall av signifikante bit fra venstre mot høyre i adressa
  - Dette er helt likt CIDR-notasjon for IPv4 ([RFC 4632](#))

# Grunnleggende om adresser

## Adressedemo

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

## Adressedemo: Hierarkisk struktur

- Uninett:

2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000

- FSI:

2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000

- IT-avdelingen@FSI:

2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000

- Tronds D531:

2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle adressene

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Ledende nuller

- Uninett:

2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000:0000

- FSI:

2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000

- IT-avdelingen@FSI:

2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000

- Tronds D531:

2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Fjernet ledende nuller

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle litt til

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: To eller flere sammenhengende 16-bitblokker med bare 0

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Erstattet med dobbelkolon

- Uninett:  
2001:700::
- FSI:  
2001:700:1100::
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

## Adressedemo: Kompakt form

- Uninett:  
2001:700::
- FSI:  
2001:700:1100::
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Vis prefikslengde

- Uninett:  
2001:700::/32
- FSI:  
2001:700:1100::/48
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::/64
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Kompakte adresser med prefikslengde

- Uninett:  
2001:700::/32
- FSI:  
2001:700:1100::/48
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::/64
- Tronds D531:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128

- MAC-48-adresser har følgende oppbygging, gitt av [IEEE 802-2001](#):
  - CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
  - Den første halvparten er produsentnummer: CC:cc:cc
  - Den andre halvparten er løpenummer: nn:nn:nn
- Den første oktetten i produsentnummeret, CC, har en spesiell oppbygging:
  - CCCCCCug (binært)
  - Når u-bitet er satt til 0 (null), så gjelder formatet som er oppgitt her, altså CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
  - Når u-bitet er satt til 1, så er alle C- og c-sifrene løpenummer, mens u- og g-bitene beholder sine spesielle betydninger
  - Når g-bitet er 0 så angir adressa en individuell node, og når g-bitet er 1 så er adressa en multicastgruppe

# Grunnleggende om adresser

## MAC-48-adresser

- Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E
- CC-oktetten har verdien 00 (heksadesimalt)
- På binær form er dette 00000000 (CCCCCug)
- Vi ser at både u- og g-bitene er satt til 0
- Dette er en MAC-48-adresse som:
  - følger det vanlige mønsteret med produsent- og løpenummer
  - angir en individuell node
  - er produsert av «Dell Inc» ifølge [OUI-lista](#) hos [IEEE](#) (søk i fila etter 00-21-70)

# Grunnleggende om adresser

## Modda IEEE EUI-64-format

- Unicast-adresser består av 2 ting:
  - Prefiks
  - Grensesnittidentifikator
- Bestemt av [RFC 4941](#)
- Grensesnittidentifikatorer er alltid på 64 bit
  - Dette gjelder ikke for adresser som starter på 000 (binært)
- Grensesnittidentifikatorer kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig
- Angis grensesnittidentifikatoren manuelt, så angis som regel en fullstendig IPv6-adresse
- Grensesnittidentifikatorer følger [IEEE EUI-64](#)-formatet med to unntak:
  - ① Universal/local-bitet brukes med *invertert* betydning/verdi
    - Gruppebitet mister sin vanlige betydning i denne sammenhengen
  - ② Oktettene på midten skal være FF:FE ved automatisk konvertering fra MAC-48 til EUI-64

- Grensesnittidentifikatorer lages fra MAC-48-adresser etter oppskriften i RFC 4291:
  - Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E
  - Invertér universal/local-bitet: 02:21:70:73:68:6E
    - Før: 00 (heksadesimalt) → 00000000 (binært)
    - Etter: 00000010 (binært) → 02 (heksadesimalt)
  - Sett inn FF:FE på midten: 02:21:70:FF:FE:73:68:6E
  - Ta bort overflødig kolon og nuller: 221:70FF:FE73:686E
  - Høyreskift hele stasen: ::221:70FF:FE73:686E
  - Nå er grensesnittidentifikatoren klar til å bli kombinert med ønsket prefiks
  - Prefiks annonsert av router: 2001:700:1100:3::/64
  - Fullstendig adresse: 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



# Grunnleggende om adresser

## Modda IEEE EUI-64-format

- OBS! Arbeidsuhell!
- Det skulle egentlig ha vært FF:FF i stedet for FF:FE
  - MAC-48 → EUI-64 skal bruke FF:FF
  - EUI-48 → EUI-64 skal bruke FF:FE
- Fordi IPv6 bruker universal/local-bitet med invertert betydning/verdi, så er arbeidsuhellet akseptert
- Se [RFC 4291](#)
- [IEEE 802.15 WPAN](#), [IEEE 1394 FireWire](#), og [ZigBee](#) bruker EUI-64-adresser i lag 2

# Grunnleggende om adresser

## Manuell grensesnittidentifikator

- Manuell grensesnittidentifikator innebærer at universal/local-bitet som regel er satt til 0
- De øvrige 63 bitene kan være hva som helst, bare verdien ikke skaper adressekollisjon i samme VLAN
- Normalt bruker man manuelle grensesnittidentifikatorer med lave verdier
- For eksempel `::53` (DNS-tjener, kanskje)
- Med et vilkårlig prefiks: `2001:db8:1234:1::53`

# Grunnleggende om adresser

## Manuell grensesnittidentifikator

- Lav verdi for grensesnittidentifikatorer gjør at universal/local-bitet blir satt til null:
  - ::53 (heksadesimalt)
  - ::0:0:0:53 (heksadesimalt)
  - ::0000000000000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
  - Veldig praktisk for lokalgitte adresser, ikke sant?
- Uten *invertering* av universal/local-bitet, måtte vi bruke manuelle grensesnittidentifikatorer på denne måten:
  - ::0200:0:0:53 (heksadesimalt)
  - ::0000001000000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
  - Tungvint og upraktisk, ikke sant?
- Se her:
  - 2001:db8:1234:1:0200:0:0:53 vs
  - 2001:db8:1234:1::53
  - Ja til den siste, nei til den forrige

# Grunnleggende om adresser

## Manuell grensesnittidentifikator

- Det er ingenting i veien for å «kode» IPv4-adressa inn i IPv6-adressa:
- 2001:700:1100:3:128:39:174:67 (excelsior.fig.ol.no)
- Man må bare passe på verdien til universal/local-bitet
- $128 = 0\ 1\ 2\ 8 = 0000\ 0001\ 0010\ 1000$  (heks, heks, bin)
- u-bitet er 0, altså en lokalgitt adresse
- Dette gikk bra!

# Grunnleggende om adresser

## Manuell grensesnittidentifikator

- Verdiene
  - 0000 = 0,
  - 0001 = 1,
  - 0100 = 4,
  - 0101 = 5,
  - 1000 = 8,
  - 1001 = 9,
  - 1100 = C og
  - 1101 = D,
- gir alle 0 i u-bitet

# Grunnleggende om adresser

## Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds D531-læppis:
  - 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:221:70FF:FE73:686E (public-nettet@HiG)
- RFC 4941 beskriver bruk av tilfeldig grensesnittidentifikator
- Med tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - 2001:700:1100:3:B9D9:B729:6CDD:4E5 (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:B9D9:B729:6CDD:4E5 (public-nettet@HiG)
- Disse byttes ut typisk hver dag:
  - 2001:700:1100:3:F503:1E6F:5F2F:F5F2 (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:F503:1E6F:5F2F:F5F2 (public-nettet@HiG)
- Man må bare passe på u/l-bitet og passe seg for adressekollisjon

- **RFC 4941** angir en metode for generering av tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - ① Sett sammen historisk verdi fra forrige runde (eller et tilfeldig 64-bit heltall) med den konstante grensesnittidentifikatoren til et 128-bit heltall
  - ② Beregn MD5-hash av resultatet fra trinn 1
  - ③ Bruk de 64 *mest* signifikante bitene og sett det sjuende mest signifikante bitet til null (dette indikerer en lokalgitt grensesnittidentifikator)
  - ④ Sammenlign den nye tilfeldige grensesnittidentifikatoren med lista over reserverte identifikatorer; oppdages en uakseptabel identifikator, gå til trinn 1 og bruk de 64 *minst* signifikante bitene fra trinn 2 som historisk verdi
  - ⑤ Ta i bruk den nye tilfeldige grensesnittidentifikatoren
  - ⑥ Lagre de 64 *minst* signifikante bitene fra trinn 2 som historisk verdi for bruk den neste gangen denne algoritmen brukes

- Nulladressa:  $0:0:0:0:0:0:0:0/0$  eller  $::/0$ 
  - Brukes av klienter som ennå ikke vet sin egen adresse (DHCPv6)
  - Brukes av tjenester som godtar forespørsler fra alle grensesnitt (sjekk ut `bind(2)`-systemkallet i «Juniks»)
  - Tilsvarende  $0.0.0.0/0$  eller  $0/0$  i IPv4
- Loopbackadressa:  $0:0:0:0:0:0:0:1/128$  eller  $::1/128$ 
  - Velkjent adresse for å snakke med tjenester i samme node
  - Tilsvarende  $127.0.0.1/32$  i IPv4
- Dokumentasjonsprefiks:  $2001:db8::/32$ 
  - Brukes for generell beskrivelse av IPv6-oppsett i lærebøker og annen generell dokumentasjon ([RFC 3849](#))
  - Forbudt å bruke på det offentlige internettet
  - Bør blokkeres i *inngående* og *utgående* ACL-er for internettgrensesnittet til routere



- IPv4-mapped IPv6 addresses: `::FFFF:w.x.y.z`
  - Hvor *w.x.y.z* er den opprinnelige IPv4-adressa skrevet på vanlige måte for IPv4-adresser
  - Eksempel: `::FFFF:128.39.174.1`
  - Brukes i systemer som har både IPv4- og IPv6-adresser, men hvor den enkelte tjeneste bare bruker IPv6-socketer og har slått av `IPV6_V6ONLY` med `setsockopt(2)` for lyttesocketen
  - Forbudt av sikkerhetshensyn i enkelte OS-er som [OpenBSD](#), se OpenBSDs [ip6\(4\)](#)
  - Tjenestene må da åpne separate lyttesoketer for IPv4 og IPv6

- Når en unicast-adresse er generert skal man alltid sjekke at ingen andre bruker den samme adressa (RFC 4862)
- Dette gjøres ved å sende en «ICMPv6 Neighbor Solicitation-melding» til den genererte adressas «Solicited-node multicast address»
- ICMPv6-meldinga inneholder den genererte adressa i feltet for «Target Address» (RFC 4861)
- En «Solicited-node multicast address» er på formen FF02::1:FF*aa:bbcc*, hvor *aabbcc* er de 24 minst signifikante bitene fra den opprinnelige adressa (RFC 4291)
- Sett at den genererte adressa er 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E
- «Solicited-node multicast address» vil da være FF02::1:FF73:686E
- Vanligvis kommer det ikke noe svar på slike ICMPv6-meldinger

- ... trodde vi ...
- «[Danger, Will Robinson!](#)»
- Det er et stort potensiale for Denial of Service — DoS ([RFC 3756](#))
- En «slabbedask» kan velge å svare på DAD og nekte oss å bruke *enhver* adresse
- Svaret kommer i form av en «ICMPv6 Neighbor Advertisement»-melding som forteller oss at en annen node bruker den samme adressa ([RFC 4862](#))
- Resultat: «slabbedasken» kan bruke nettverket uforstyrret
- Dersom det er 2 eller flere «slabbedasker» i samme nettverk, hva da?
- Problemet kan løses med «SEcure Neighbor Discovery» (SEND), [RFC 3971](#)

## Adresstyper

# Oversikt over del 5: Adresstyper

- 18 Adresstyper
- 19 Link-local-adresser
- 20 Site-local-adresser
- 21 Offentlige unicast-adresser
- 22 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 23 Anycast-adresser
- 24 Multicast-adresser

- Det finnes flere adresstyper med forskjellige bruksområder:
  - Unicast-adresser:
    - Link-local-adresser
    - Site-local-adresser
    - Offentlige unicast-adresser
    - Unike, lokale, aggregerbare adresser
  - Anycast-adresser
  - Multicast-adresser
- Merk at broadcast er avskaffa og er i stor grad erstatta med link-local-multicast

- Definerert: [RFC 4291](#)
- Bruksområde:
  - Lokal kommunikasjon internt i VLAN-et
  - Sentral for autokonfigurasjon
  - Blir ikke videresendt av routere til andre VLAN eller til internett
  - Kan brukes i ad-hoc-nett
- Prefiks: FE80::/10
- De neste 54 bitene skal settes til null
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: FE80::221:70FF:FE73:686E

- Definerert: [RFC 3513](#)
- Bruksområde: private adresser på lik linje med [RFC 1918](#)
- Prefiks: `FEC0::/10`
- De neste 54 bitene brukes til subnet-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: `FEC0::DEAD:BEEF:1337`
- Ikke bruk site-local-adresser ([RFC 3879](#))
- Site-local-adresser er erstatta med ULA ([RFC 4193](#))



- Definert: [RFC 4291](#) og [RFC 3587](#)
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon på det offentlige internett
- Prefiks: 2000::/3
- De neste bitene allokeres hierarkisk, minimum i 4-bitblokker, men gjerne i 8- eller 16-bitblokker
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Det er vanlig at kundene blir tildelt /48- eller /56-bits prefiks av ISP-ene:
  - /48-bits prefiks gir  $128 - 64 - 48 = 16$  subnetbit  $\rightarrow 2^{16} = 65536$  subnett
  - /56-bits prefiks gir  $128 - 64 - 56 = 8$  subnetbit  $\rightarrow 2^8 = 256$  subnett
- Eksempel: 2001:700:1100:1::1/128

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Definert: [RFC 4193](#)
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon internt i nettverket
- Veldig praktisk å ha faste, interne adresser uavhengig av offentlig prefiks tildelt av ISP
- Prefiks: `FC00::/7`
- Det åttende mest signifikante bitet skal settes til 1 inntil videre
- Det reelle prefikset er dermed `FD00::/8`
- Prefikset `FC00::/8` er reservert inntil videre

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Reelt prefiks: FD00::/8
- De neste 40 bitene genereres tilfeldig, gjerne som beskrevet i [RFC 4193](#)
- De neste 16 bitene brukes til subnett-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: FD5C:14CF:C300:31::1/128

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- **SixXS** tilbyr bl.a.:
  - Generering av ULA-prefiks: <http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/>
  - Registrering av ULA-prefiks:  
<http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/list/>
- **George Michaelson**, seniorforsker ved **APNIC**, har oppdaget ULA-adresser i fri dressur ute på internett:
  - Tydeligvis klarer ikke folk å lese RFC-ene og holde seg til de fastsatte reglene
  - [http://www.sixxs.net/archive/docs/IEPG2013\\_ULA\\_in\\_the\\_wild.pdf](http://www.sixxs.net/archive/docs/IEPG2013_ULA_in_the_wild.pdf)

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Her er algoritmen fra [RFC 4193](#) for å generere de 40 tilfeldige bitene:
  - 1 Uttrykk nåværende øyeblikk som et 64-bit heltall i NTP-format ([RFC 5905](#))
  - 2 Bruk en EUI-64-identifikator fra systemet som kjører denne algoritmen
    - Mangler du en EUI-64-identifikator, så kan du lage en fra en 48-bit MAC-adresse som angitt i [RFC 4291](#)
    - Kan du ikke lage en EUI-64-identifikator, så bruk en annen unik verdi som serienummeret til systemet
  - 3 Sett sammen de to 64-bit heltallene til et 128-bit heltall
  - 4 Beregn en SHA-1-hash som beskrevet i [RFC 3174](#). Resultatet er et heltall på 160 bit
  - 5 Bruk de 40 minst signifikante bitene som global identifikator
- Har man tilgang på tilfeldige tall av god kvalitet, så kan man bruke de i stedet for metoden over

- Definerert: [RFC 4291](#)
- Bruksområde: felles adresse for distribuerte tjenester, routerne bestemmer hvilken server som er nærmest og sender trafikken dit
- Prefiks: ingen, allokeres fra dine egne unicast-adresser og markeres som en anycast-adresse hos routerne og serverne
- Alle IPv6-adresser hvor alle bit i grensesnittidentifikatoren satt til null, er reservert som «Subnet-Router anycast address»
- Denne anycast-adressa brukes når man vil kontakte én av potensielt flere routere i subnettet der du er
- Eksempel: 2001:700:1100:1::/128 **anycast**
- Se også [RFC 2526](#)

- Definerert: [RFC 4291](#)
- Bruksområde: én-til-mange-kommunikasjon
- Prefiks:  $FF::/8$
- Flagg  $f$  og rekkevidde  $r$  er innebygget i adressa:  $FFfr::/16$
- Eksempel:  $FF0E::101/128$  (global multicast-adresse for NTP)

- Flaggene heter ORPT (null, err, pe, te)
- Flagget T angir med 0 at adressa er velkjent (definert av [IANA](#)), og med 1 at adressa er midlertidig (lokalt definert)
- Flagget P angir med 1 at adressa inneholder et unicast-prefiks og skal følge reglene i [RFC 3306](#)
- Flagget R angir med 1 at adressa også inneholder et møtepunkt («rendezvous point») og skal følge reglene i [RFC 3956](#)
- Flaggene P og R gjør det enkelt å lage egne multicast-adresser for internt bruk i organisasjonen
- Bruk av flaggene R, P og T gjennomgås i detalj i del 10



- Følgende rekkevidder er definert i [RFC 4921](#):
- 0: reservert
- 1: interface-local
- 2: link-local
- 3: reservert
- 4: admin-local
- 5: site-local
- 6: ikke definert
- 7: ikke definert
- 8: organization-local
- 9: ikke definert
- A: ikke definert, brukt av Uninett til å **begrense** trafikken innenfor «Uninettet»
- B: ikke definert
- C: ikke definert
- D: ikke definert
- E: global
- F: reservert

# Del VI

## DNS

25 AAAA og PTR

26 A6

- Navn-til-IPv6-adresser bruker AAAA-poster
  - Eksempel:  
\$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN AAAA 2001:700:1100:1::4
- IPv6-adresser-til-navn bruker PTR-poster plassert i ip6.arpa.
  - Eksempel:  
\$ORIGIN 1.0.0.0.0.0.1.1.0.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa.  
4.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0 IN PTR svabu.fig.ol.no.
- Se [RFC 3596](#)

- A6-poster var foreslått som erstatning for AAAA-poster av [RFC 2874](#), men er endret til eksperimentell av [RFC 3363](#)
- [RFC 3364](#) diskuterer fordeler og ulemper med AAAA og A6
- En A6-post består av 2–3 ting:
  - 1 Prefikslengde fra og med 0 til og med 128
  - 2 Utdrag av IPv6-adressa
  - 3 Navn som henviser til resten av adressa
- Settes prefikslengda til:
  - 0, så er det **ikke** lov å oppgi noen henvisning, fordi dette navnet er det øverste eller det eneste nivået i en kjede
  - 128, så er det **ikke** lov å oppgi noen IPv6-adresse, fordi man henviser til et helt annet navn, tydeligvis et overflødig alternativ til CNAME
- Avsnittene 3.1.1 og 3.1.3 i [RFC 2874](#) er ikke enige med seg selv når prefikslengda settes til 128

- Et tenkt eksempel med A6:

- \$ORIGIN ip6.uninett.no.

```
uninett IN A6 0 2001:700::
```

```
fig      IN A6 32 0:0:1100:: uninett
```

```
$ORIGIN fig.ol.no.
```

```
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
```

```
svabu          IN A6 64          ::4 ext-servere.ip6
```

- Vi vil vite IPv6-adressa for svabu.fig.ol.no. og vi vil bruke A6-poster for å finne svaret

- Et tenkt eksempel med A6:

- \$ORIGIN fig.ol.no.

```
svabu          IN A6 64          ::4 ext-servere.ip6
```

- Forklaring:

- svabu.fig.ol.no. mangler de 64 mest signifikante bitene og henviser til ext-servere.ip6.fig.ol.no.

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
- Forklaring:
  - ext-servere.ip6.fig.ol.no. mangler de 48 mest signifikante bitene og henviser til fig.ip6.uninett.no.



- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
  
- \$ORIGIN ip6.uninett.no.  
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett
- Forklaring:
  - fig.ip6.uninett.no. mangler de 32 mest signifikante bitene og henviser til uninett.ip6.uninett.no.

- Et tenkt eksempel med A6:

- \$ORIGIN fig.ol.no.

```
svabu          IN A6 64          ::4 ext-servere.ip6
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
```

```
$ORIGIN ip6.uninett.no.
```

```
fig           IN A6 32 0:0:1100:: uninett
```

```
uninett      IN A6  0 2001:700::
```

- Forklaring:

- Kjeden slutter med uninett.ip6.uninett.no. og her angis de 32 mest signifikante bitene

- Et tenkt eksempel med A6:

- \$ORIGIN fig.ol.no.

```
svabu          IN A6 64          ::4 ext-servere.ip6
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
```

```
$ORIGIN ip6.uninett.no.
```

```
fig          IN A6 32 0:0:1100:: uninett
uninett     IN A6  0 2001:700::
```

- Vi får bygd opp følgende adressekjede:

- ::4 svabu.fig.ol.no.
- 0:0:0:1:: ext-servere.ip6.fig.ol.no.
- 0:0:1100:: fig.ip6.uninett.no.
- 2001:700:: uninett.ip6.uninett.no.

- Bitvis-OR gir den fullstendige adressa 2001:700:1100:1::4

# Del VII

## ICMPv6

# Oversikt over del 7: ICMPv6 I

- 27 ICMPv6
- 28 Multicast Listener Discovery
- 29 Neighbor Discovery
- 30 Router Renumbering
- 31 Inverse Neighbor Discovery
- 32 Version 2 Multicast Listener Report
- 33 Mobile IPv6
- 34 SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 35 Multicast Router Discovery
- 36 FMIPv6
- 37 RPL Control Message
- 38 ILNIPv6 Locator Update Message
- 39 Duplicate Address

- Feilrapportering- og feilsøkingstjeneste for IPv6
- Definert: [RFC 4443](#) og [RFC 4844](#)
- ICMPv6-meldinger inneholder to tall som forteller noe om budskapets mening og innhold:
  - Type: hovednummer
  - Code: undernummer, settes til 0 når det ikke er definert noen undernummer
- I tillegg er det felter for sjekksum og andre opplysninger som er unike for hver type (og undertype) av meldingene

- Feilmeldinger:

- 1: Destination Unreachable
- 2: Packet Too Big
- 3: Time Exceeded
- 4: Parameter Problem
- 100: Private eksperimenter
- 101: Private eksperimenter
- 127: Reservert for utvidelse av feilmeldingene

- Informative meldinger:

- 128: Echo request
- 129: Echo reply
- 200: Private eksperimenter
- 201: Private eksperimenter
- 255: Reservert for utvidelse av informative meldinger

(ping)

(pong)

- Definert: [RFC 2710](#)
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
  - 130: Multicast Listener Query
  - 131: Multicast Listener Report
  - 132: Multicast Listener Done



- Definerert: [RFC 4861](#)
- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
  - 133: Router Solicitation
  - 134: Router Advertisement
  - 135: Neighbor Solicitation
  - 136: Neighbor Advertisement
  - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere
- Neighbor Discovery gjennomgås i detalj i foredraget for de viderekomne

- Definert: [RFC 2894](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 138: Router Renumbering
- [RFC 2894](#) angir følgende undertyper:
  - 0: Router Renumbering Command
  - 1: Router Renumbering Result
  - 255: Sequence Number Reset

- Definert: [RFC 3122](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 141: Inverse Neighbor Discovery Solicitation
  - 142: Inverse Neighbor Discovery Advertisement
- Gjør det mulig for én node å lære IPv6-adressen(e) til en annen node i samme VLAN, når man bare vet lag-2-adressa til den andre noden

- Definert: [RFC 3810](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 143: Version 2 Multicast Listener Report

- Definert: [RFC 6275](#)
- Angir fire nye ICMPv6-meldinger:
  - 144: Home Agent Address Discovery Request
  - 145: Home Agent Address Discovery Reply
  - 146: Mobile Prefix Solicitation
  - 147: Mobile Prefix Advertisement

- Definert: [RFC 3971](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 148: Certification Path Solicitation
  - 149: Certification Path Advertisement
- Med SEND unngås DoS-problemene til Neighbor Discovery
- Routerne deler ut kryptografisk genererte adresser [RFC 3972](#)
- Dette krever sertifikatstruktur (RPKI, [RFC 6494](#)) i routere og i klienter
- Ikke implementert i Cisco IOS 12.2(55)SE for Catalyst 3560G

- Definert: [RFC 4286](#)
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
  - 151: Multicast Router Advertisement
  - 152: Multicast Router Solicitation
  - 153: Multicast Router Termination
- Catalyst 3560G har ikke støtte for annet enn IPv4-multicast
- Ved FSI har vi ikke fått testet IPv6-multicast

- Definert: [RFC 5568](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 154: FMIPv6, Fast handovers, Mobile IPv6



- Definert: [RFC 6550](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 155: RPL Control Message
- IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks

- Definert: [RFC 6743](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 156: ILNPv6 Locator Update Message
- Identifier-Locator Network Protocol
- En eksperimentell måte å håndtere digitale nomader

- Definerert: [RFC 6775](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 157: Duplicate Address Request
  - 158: Duplicate Address Confirmation
- Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs)

# Del VIII

## Neighbor Discovery

# Oversikt over del 8: Neighbor Discovery I

- 40 Router Solicitation
- 41 Router Advertisement
- 42 Neighbor Solicitation
- 43 Neighbor Solicitation
- 44 Redirect

- Definert: [RFC 4861](#)
- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
  - 133: Router Solicitation
  - 134: Router Advertisement
  - 135: Neighbor Solicitation
  - 136: Neighbor Advertisement
  - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere

# Neighbor Discovery

## Router Solicitation

Internet Control Message Protocol v6

Type: Router Solicitation (133)

Code: 0

Checksum: 0xc065 [correct]

Reserved: 00000000

ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:21:70:73:68:6e)

Type: Source link-layer address (1)

Length: 1 (8 bytes)

Link-layer address: Dell\_73:68:6e (00:21:70:73:68:6e)

- Bla, bla, bla

# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

Internet Control Message Protocol v6

Type: Router Advertisement (134)

Code: 0

Checksum: 0xfa8c [correct]

Cur hop limit: 64

Flags: 0x48

0... .... = Managed address configuration: Not set  
.1.. .... = Other configuration: Set  
..0. .... = Home Agent: Not set  
...0 1... = Prf (Default Router Preference): High (1)  
.... .0.. = Proxy: Not set  
.... ..0. = Reserved: 0

Router lifetime (s): 1800

Reachable time (ms): 0

Retrans timer (ms): 0

ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:17:e0:77:14:57)

Type: Source link-layer address (1)

Length: 1 (8 bytes)

Link-layer address: Cisco\_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)

ICMPv6 Option (MTU : 1500)

Type: MTU (5)

Length: 1 (8 bytes)

Reserved

MTU: 1500

- Bla, bla, bla



# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

```
ICMPv6 Option (Prefix information : 2001:700:1100:3::/64)
Type: Prefix information (3)
Length: 4 (32 bytes)
Prefix Length: 64
Flag: 0xc0
  1... .... = On-link flag(L): Set
  .1.. .... = Autonomous address-configuration flag(A): Set
  ..0. .... = Router address flag(R): Not set
  ...0 0000 = Reserved: 0
Valid Lifetime: 2592000
Preferred Lifetime: 604800
Reserved
Prefix: it.ip6.fig.ol.no (2001:700:1100:3::)
```

- Bla, bla, bla

# Neighbor Discovery

## Neighbor Solicitation

- Bla, bla, bla

# Neighbor Discovery

## Neighbor Solititation

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla

# Del IX

## DHCPv6

45 DHCPv6

46 Meldinger

47 DHCP Unique Identifier

- DHCPv6 er definert i [RFC 3315](#) med oppdateringer fra [RFC 4361](#), [RFC 5494](#), [RFC 6221](#), [RFC 6422](#) og [RFC 6644](#)
- Kommunikasjonen foregår først med multicast og UDP, senere unicast og UDP
- Klientene bruker port 546 og serverne/relay bruker 547
- Klientene bruker sin egen link-local-adresse som avsender og multicast-adressa FF02::1:2 som mottaker
- Serverne svarer med sin link-local-adresser som avsender og klientens link-local-adresse som mottaker

- Solicit
  - Fra klient til server/relay
- Advertise
  - Fra server/relay til klient
- Request
  - Fra klient til spesifikk server
- Confirm
  - Fra server/relay til klient
- Renew
  - Fra klient til server/relay
- Rebind
  - Fra klient til server/relay



- Reply
  - Fra server til klient
- Release
  - Fra klient til server/relay
- Decline
  - Fra klient til server/relay
- Reconfigure
  - Fra server til klient
- Information-request
  - Fra klient til server/relay
- Relay-forward
  - Fra relay til relay/server

- Relay-reply
  - Fra server/relay til relay

- Klientene identifiseres med DHCP Unique Identifier, DUID, som har variabel lengde og format
- Klientene kan ha flere nettverksgrensesnitt
- Hvert grensesnitt har i tillegg sin Identity Association Identifier, IAID, lengde 32 bit
- Klientene oppgir aktuell DUID og IAID i forespørslene
- DHCPv6-serverne har, og oppgir, sine egne DUID og IAID i svarene

- DUID finnes i tre varianter:
  - Type 1: Linklagsadresse med tidspunkt for generering, DUID-LLT
  - Type 2: Unik identifikator basert på Enterprise-nummer utdelt av IANA
  - Type 3: Linklagsadresse, DUID-LL

- Type 1 kan se slik ut:

00 01 00 01 13 10 43 9B 00 26 18 F2 72 40

- 00 01 angir at dette er DUID type 1.
- 00 01 angir at det kommer en MAC-48-adresse til slutt
- 13 10 43 9B angir klokkeslettet målt i sekunder siden 1. januar 2000 UTC
  - I dette tilfellet: 0x1310439B s, 319832987 s, 10.1351038909 år etter 1. januar 2000 UTC, altså 18. februar 2010, kl. 18:29:47 UTC
- 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa for systemet som dette eksempelet er hentet fra

- Type 3 kan se slik ut:

00 03 00 01 00 26 18 F2 72 40

- 00 03 angir at dette er DUID type 3.
- 00 01 angir at det kommer en MAC-48-adresse til slutt
- 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa for systemet som dette eksempelet er hentet fra

- Type 1 er vanlig i Windows, og lagres i Dhcpv6DUID i `HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\services\TCPIP6\Parameters`
- Type 3 er enklere og mer forutsigbart, og det beste valget for statisk tildeling av IPv6-adresse med tanke på reinstallasjon av OS
- Jeg har ikke funnet noen måte å tvinge en bestemt DUID-type i Windows, annet enn å sette Dhcpv6DUID manuelt eller gjennom skript, og naturlig nok restartet Windows etterpå
- **Dibbler** og Unix-systemer er tradisjonelt langt snillere, og lar oss angi i konfigurasjonen de gangene vi ønsker DUID-LL istedet for DUID-LLT

# Del X

## Avansert multicast

48 Multicastflaggene

49 Når T er satt til 1

50 Når PT er satt til 11

51 Når RPT er satt til 111



- Bla, bla, bla

# Avansert multicast

Når T er satt til 1

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla

## Konfigurasjon av IPv6

- 52 Cisco IOS
  - IPv6-routing
  - ACL-er
  - DHCPv6

- 53 OS-konfig

# Konfigurasjon av IPv6

## Cisco IOS: IPv6-routing

- 1 configure terminal
- 2 `sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 default` (Rekonfigurere TCAM)
- 3 end
- 4 reload
- 5 configure terminal
- 6 interface *interface-id*
- 7 no switchport (Aktuelt for routergrensesnitt)
- 8 `ipv6 address ipv6-address`
- 9 `ipv6 nd ra suppress` (Aktuelt for routergrensesnitt)
- 10 exit
- 11 `ip routing` (Nødvendig for IP-routing i det hele tatt)
- 12 `ipv6 unicast-routing`
- 13 `no ipv6 source-route`
- 14 end

# Konfigurasjon av IPv6

## Cisco IOS: IPv6-routing

- 1 `interface GigabitEthernet0/49`
- 2 `description Linknett mellom FiG og Uninett/HiG`
- 3 `no switchport`
- 4 `ip address 128.39.46.10 255.255.255.252`
- 5 `ip access-group InetIPv4Inn in`
- 6 `ip access-group InetIPv4Ut out`
- 7 `ip pim sparse-mode`
- 8 `ip igmp version 3`
- 9 `ipv6 address 2001:700:0:11D::2/64`
- 10 `ipv6 nd ra suppress`
- 11 `ipv6 traffic-filter InetIPv6Inn in`
- 12 `ipv6 traffic-filter InetIPv6Ut out`



# Konfigurasjon av IPv6 I

## Cisco IOS: ACL-er

- 1 configure terminal
- 2 ipv6 access-list *access-list-name*
- 3 deny | permit *protocol* {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} [*operator port-number*] {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [*operator port-number*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*flow-label value*] [*fragments*] [*hbh*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*sequence value*] [*time-range name*] [*undetermined-transport*]

# Konfigurasjon av IPv6 II

## Cisco IOS: ACL-er

```
4 deny | permit tcp {source-ipv6-prefix/prefix-length | any |
host source-ipv6-address} [operator port-number]
{destination-ipv6-prefix/prefix-length | any |
host destination-ipv6-address} [operator port-number]
[ack] [dest-option] [dest-option-type value] [dscp value]
[established] [fin] [flow-label value] [hbh] [log] [log-input]
[mobility] [mobility-type value] [psh]
[reflect access-list-name] [routing] [routing-type value]
[rst] [sequence value] [syn] [time-range name] [urg]
```

# Konfigurasjon av IPv6 III

## Cisco IOS: ACL-er

- 5 deny | permit udp {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} [*operator port-number*] {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [*operator port-number*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*flow-label value*] [*hbh*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*sequence value*] [*time-range name*]

# Konfigurasjon av IPv6 IV

## Cisco IOS: ACL-er

- 6 deny | permit icmp {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any |  
host *source-ipv6-address* }  
{*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any |  
host *destination-ipv6-address* } [{*icmp-type* [*icmp-code*]} |  
*icmp-message*] [dest-option] [dest-option-type *value*]  
[dscp *value*] [flow-label *value*] [log] [log-input] [mobility]  
[mobility-type *value*] [reflect *access-list-name*] [routing]  
[routing-type *value*] [sequence *value*] [time-range *name*]
- 7 evaluate *reflexive-access-list-name* [sequence *value*]
- 8 remark *comment*
- 9 exit

Husk:

*operator* ∈ {gt | lt | neq | eq | range}

reflect er bare gyldig for permit-regler

# Konfigurasjon av IPv6 V

Cisco IOS: ACL-er

- 10 interface *interface-id*
- 11 ipv6 traffic-filter *access-list-name* {in | out}
- 12 end

- Alle IPv6-ACL-er har følgende 5 regler innebygget (eng. implicit) på slutten:
  - 1 `permit icmp any any nd-na`
  - 2 `permit icmp any any nd-ns`
  - 3 `permit icmp any any router-advertisement`
  - 4 `permit icmp any any router-solicitation`
  - 5 `deny ipv6 any any`
- Disse reglene tillater Neighbor Discovery, og blokkerer all annen IPv6-trafikk
- Dine egne regler kommer *alltid* før de 5 reglene over, og kanskje må du kopiere de innebygde reglene og gjøre dine egne justeringer, for eksempel slå på logging av blokkert trafikk

- Ønsker du logging av blokkert trafikk, men vil samtidig ikke blokkere Neighbor Discovery, så må du gjøre slik:

```
1 remark Øvrige regler kommer før denne linja
2 permit icmp any any nd-na
3 permit icmp any any nd-ns
4 permit icmp any any router-advertisement
5 permit icmp any any router-solicitation
6 deny  ipv6 any any log
7 remark Her kommer de skjulte, implisitte reglene
8 permit icmp any any nd-na
9 permit icmp any any nd-ns
10 permit icmp any any router-advertisement
11 permit icmp any any router-solicitation
12 deny  ipv6 any any
```

- `ipv6 dhcp pool offisiell`
  - `dns-server 2001:700:1100:1::3`
  - `dns-server 2001:700:1100:1::2`
  - `domain-name fig.ol.no`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::2`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::3`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::4`
  - `information refresh 0 2`
- `interface Vlan48`
  - `ipv6 dhcp server offisiell`



- `ipv6 dhcp pool ULA`
  - `dns-server 2001:700:1100:1::3`
  - `dns-server 2001:700:1100:1::2`
  - `domain-name fig.netlocal`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::2`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::3`
  - `sntp address 2001:700:1100:1::4`
  - `information refresh 0 2`
- `interface Vlan31`
  - `ipv6 dhcp server ULA`

# Konfigurasjon av IPv6

## OS-konfig

- De fleste moderne operativsystemer har IPv6-støtte
- Windows 2000 har en eksperimentell IPv6-protokoll, men mangler DNS-oppslag for AAAA
- IPv6 må installeres manuelt i Windows XP og Server 2003
  - DNS-oppslag sendes alltid over IPv4
- IPv6 er påskrudd i Windows Vista, Server 2008 og nyere versjoner
- Linux og \*BSD har hatt IPv6-støtte i lang tid
- Autokonfig med tilfeldig grensesnittidentifikator er det mest vanlige for skrivebordssystemer
- Manuell konfigurasjon er mest vanlig for serversystemer

# Konfigurasjon av IPv6

## OS-konfig

- Windows: netsh interface ipv6 set address  
*"navn-på-grensesnitt" IPv6-adresse*
  - netsh interface ipv6 set address Lokal tilkobling"  
2001:700:1100:8008::1337
- Konfigurasjon gjennom grafisk grensesnitt i «Kontrollpanelet» er også mulig
- \*BSD: ifconfig *navn-på-grensesnitt inet6 IPv6-adresse*  
prefixlen *prefikslengde*
  - ifconfig em0 inet6 2001:700:1100:8008::1337 prefixlen 64
- Vanligvis lagres slike innstillingene permanent, for eksempel i  
/etc/rc.conf

# Del XII

## Noen RFC-er om IPv6

## 54 Noen RFC-er om IPv6

- IPv6-spesifikasjon: RFC 2460, RFC 5095, RFC 5722, RFC 5871, RFC 6437, RFC 6564, RFC 6935 og RFC 6946
- ICMPv6: RFC 4443 og RFC 4884
- Neighbor Discovery: RFC 4861, RFC 5942 og RFC 6980
- Krav til IPv6-noder: RFC 6434
- Path MTU: RFC 1981
- DHCPv6: RFC 3315, RFC 4361, RFC 5494, RFC 6221, RFC 6422 og RFC 6644
- Overføring av IPv6-pakker over Ethernet: RFC 2464 og RFC 6085
- Adressearkitektur: RFC 4291, RFC 5952 og RFC 6052
- Unicastadresser: RFC 3587
- ULA: RFC 4193

- Autokonfigurering av adresser: [RFC 4862](#)
- Tilfeldig grensesnittidentifikator: [RFC 4941](#)
- Prefiks-baserte multicastadresser: [RFC 3306](#), [RFC 3956](#) og [RFC 4489](#)
- IPsec: [RFC 4301](#), [RFC 4302](#), [RFC 4303](#), [RFC 4304](#), [RFC 4307](#), [RFC 4308](#), [RFC 4309](#), [RFC 4312](#), [RFC 4835](#) og [RFC 5996](#)
- For programmerere av nettverksprogrammer: [RFC 4038](#)
- Grunnleggende krav til IPv6-routere hos sluttbrukere (CER): [RFC 7084](#)