

IPv6-foredrag

Pent brukt 18-åring

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

4. desember 2013

Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
 - Subversion: `svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag`
 - Web: 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^AT_EX](#)-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.2on1.1610.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: Adressetyper

- 18 Adressetyper
- 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

Oversikt av hele foredraget

Del 11: Konfigurasjon av IPv6

- 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

Kort om IPv6

Antall adresser

- 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 krøtteri
 - 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**



Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 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



Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 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](#)

Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 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 ...

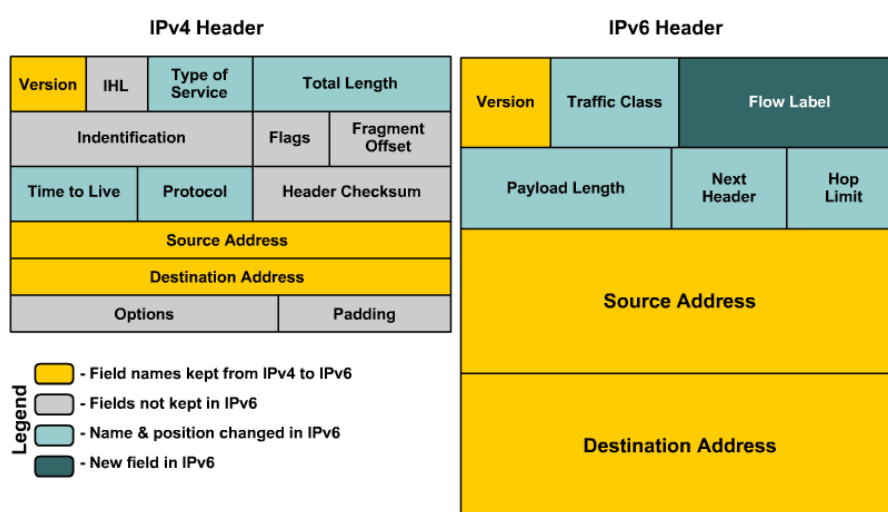
- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser (dual-stack)
- FSI-VLAN med offentlige IPv4-adresser bruker offentlige IPv6-adresser fra 2001:700:1100::/48-serien
- FSI-VLAN med private IPv4-adresser ([RFC 1918](#)) bruker private IPv6-adresser fra FD5C:14CF:C300::/48-serien
- Private adresser brukes 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

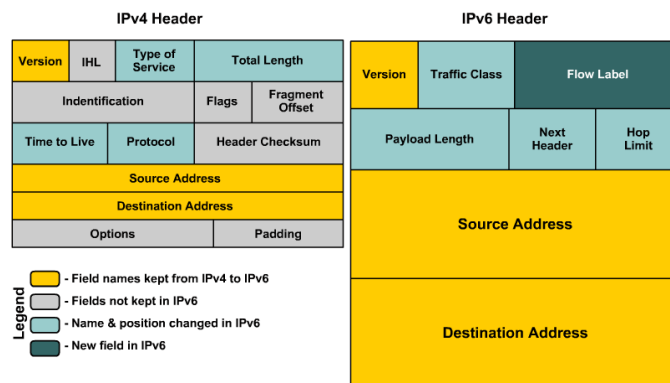
7 IPv6-header

IPv6-header



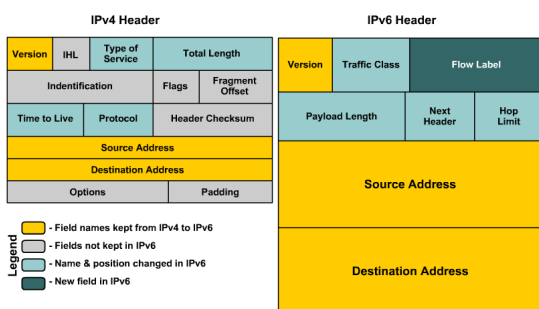
Hentet fra <http://www.tekkom.dk/mediawiki/images/5/5e/CCNP-108.png>

IPv6-header



- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (20 oktetter)
- IPv6-headeren har færre felter 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

IPv6 over Ethernet

- [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](#)

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

Grunnleggende om adresser

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

Grunnleggende om adresser

MAC-48-adresser

- 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: (binært)
 - CCCCCCug (heksadesimalt)
 - 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 (CCCCCCug)
- 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

Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- 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)
 - ::0000000100000000:00 ... 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

Grunnleggende om adresser

Tilfeldig grensesnittidentifikator

- [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

Grunnleggende om adresser

Spesialadresser

- 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

Grunnleggende om adresser

Spesialadresser

- 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

Grunnleggende om adresser

Duplicate Address Detection — DAD

- 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:FFaa:bbcc`, hvor *aa:bbcc* 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](#)

Del V

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

Adresstyper

- 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

Adresstyper

Link-local-adresser

- Definert: [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

Adresstyper

Site-local-adresser

- Definert: [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](#))

Adresstyper

Offentlige unicast-adresser

- 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

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

Adresstyper

Anycast-adresser

- Definert: [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](#)

Adresstyper

Multicast-adresser

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

Adresstyper

Multicast-adresser

- 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

DNS

AAAA og PTR

- 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 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
- 0:0:0:1::
- 0:0:1100::
- 2001:700::

```
svabu.fig.ol.no.
ext-servere.ip6.fig.ol.no.
fig.ip6.uninett.no.
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 ILNPv6 Locator Update Message
- 39 Duplicate Address

ICMPv6

- 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

ICMPv6

Neighbor Discovery

- 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 gjennomgås i detalj i foredraget for de viderekomne

ICMPv6

Router Renumbering

- 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

ICMPv6

Inverse Neighbor Discovery

- 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

ICMPv6

Version 2 Multicast Listener Report

- 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

ICMPv6

Multicast Router Discovery

- 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

ICMPv6

FMIPv6

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

ICMPv6

RPL Control Message

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

ICMPv6

ILNPv6 Locator Update Message

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

- Definert: [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

Neighbor Discovery

- 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

Neighbor Discovery

Redirect

- Bla, bla, bla

DHCPv6

Oversikt over del 9: DHCPv6 I

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

DHCPv6 I

Meldinger

- 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

DHCPv6 II

Meldinger

- 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

DHCPv6 III

Meldinger

- Relay-reply
 - Fra server/relay til relay

DHCPv6

DHCP Unique Identifier, DUID

- 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 forespørselene
- DHCPv6-serverne har, og oppgir, sine egne DUID og IAID i svarene

DHCPv6

DHCP Unique Identifier, DUID

- 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

DHCPv6

DHCP Unique Identifier, DUID

- 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

DHCPv6

DHCP Unique Identifier, DUID

- 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

Avansert multicast

Oversikt over del 10: Avansert multicast I

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

Avansert multicast

Multicastflaggene

- Bla, bla, bla

Avansert multicast

Når T er satt til 1

- Bla, bla, bla

Avansert multicast

Når PT er satt til 11

- Bla, bla, bla

Avansert multicast

Når RPT er satt til 111

- Bla, bla, bla

Konfigurasjon av IPv6

Oversikt over del 11: Konfigurasjon av IPv6 I

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

- 53 OS-konfig

Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-routing

- ❶ `configure terminal`
- ❷ `sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 default` (Rekonfigurere [TCAM](#))
- ❸ `end`
- ❹ `reload`
- ❺ `configure terminal`
- ❻ `interface interface-id`
- ❼ `no switchport` (Aktuelt for routergrensesnitt)
- ❽ `ipv6 address ipv6-address`
- ❾ `ipv6 nd ra suppress` (Aktuelt for routergrensesnitt)
- ❿ `exit`
- ⓫ `ip routing` (Nødvendig for IP-routing i det hele tatt)
- ⓬ `ipv6 unicast-routing`
- ⓭ `no ipv6 source-route`
- ⓮ `end`



Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-routing

- ❶ `interface GigabitEthernet0/49`
- ❷ `description Linknett mellom FiG og Uninett/HiG`
- ❸ `no switchport`
- ❹ `ip address 128.39.46.10 255.255.255.252`
- ❺ `ip access-group InetIPv4Inn in`
- ❻ `ip access-group InetIPv4Ut out`
- ❼ `ip pim sparse-mode`
- ❽ `ip igmp version 3`
- ❾ `ipv6 address 2001:700:0:11D::2/64`
- ❿ `ipv6 nd ra suppress`
- ⓫ `ipv6 traffic-filter InetIPv6Inn in`
- ⓬ `ipv6 traffic-filter InetIPv6Ut out`



Konfigurasjon av IPv6 I

Cisco IOS: ACL-er

- ❶ `configure terminal`
- ❷ `ipv6 access-list access-list-name`
- ❸ `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

- ❹ `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]`
- ❺ `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 III

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:
- $operator \in \{gt | lt | neq | eq | range\}$
- reflect er bare gyldig for permit-regler

Konfigurasjon av IPv6 IV

Cisco IOS: ACL-er

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

Konfigurasjon av IPv6 V

Cisco IOS: ACL-er

- 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

Konfigurasjon av IPv6 VI

Cisco IOS: ACL-er

- 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`

Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: DHCPv6

- `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`

Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: DHCPv6

- `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

Oversikt over del 12: Noen RFC-er om IPv6 I

54 Noen RFC-er om IPv6

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](#)

Noen RFC-er om IPv6

- 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](#)