

IPv6-foredrag

Grunnleggende og viderekomne

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

29. november 2013



Foredragets filer II

- 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 67 2013-11-29 15:24:35Z trond \$
- Copyright © 2013 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: [Creative Commons](#), [Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0 Norge](#) (CC BY-SA 3.0)



Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
 - Subversion: `svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag`
 - Web: svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag
- [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



Oversikt av hele foredraget

Del 1: Kort om IPv6

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



Oversikt av hele foredraget

Del 2: IPv6-header

6 IPv6-header

Oversikt av hele foredraget

Del 3: IPv6 over Ethernet

7 IPv6 over Ethernet

Oversikt av hele foredraget

Del 4: Grunnleggende om adresser

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

Oversikt av hele foredraget

Del 5: Adresstyper

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

Oversikt av hele foredraget

Del 6: DNS

24 AAAA og PTR

25 A6



Oversikt av hele foredraget

Del 7: ICMPv6

26 ICMPv6

27 Multicast Listener Discovery

28 Neighbor Discovery

29 Router Renumbering

30 Inverse Neighbor Discovery

31 Version 2 Multicast Listener Report

32 Mobile IPv6

33 SEcure Neighbor Discovery (SEND)

34 Multicast Router Discovery

35 FMIPv6

36 RPL Control Message

37 ILNPv6 Locator Update Message

38 Duplicate Address



Oversikt av hele foredraget

Del 8: Neighbor Discovery

39 Router Solicitation

40 Router Advertisement

41 Neighbor Solicitation

42 Neighbor Solicitation

43 Redirect



Oversikt av hele foredraget

Del 9: DHCPv6

44 DHCPv6

45 Meldinger

46 DHCP Unique Identifier



Oversikt av hele foredraget

Del 10: Avansert multicast

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



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

29. november 2013

13 / 152

Oversikt av hele foredraget

Del 12: Noen RFC-er om IPv6

- 54 Noen RFC-er om IPv6



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

29. november 2013

15 / 152

Oversikt av hele foredraget

Del 11: Konfigurasjon av IPv6

- 51 Cisco IOS
 - IPv6-routing
 - ACL-er
 - DHCPv6
- 52 OS-konfig
- 53 Tunneloppsett



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

29. november 2013

14 / 152

Del I

Kort om IPv6



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

29. november 2013

16 / 152

Oversikt over del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 3 Andre nyttige ting ved IPv6
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 5 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

Hva er IPv6?

- 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:
 - $2^{32} = 4.294.967.296$
- Bare 3.702.258.688 IPv4-adresser kan bli brukt som offentlige IPv4-unicast-adresser
- Se Tronds utregning fra 2012:
<http://ximalas.info/2012/07/20/how-many-ipv4-addresses-are-there/>



Kort om IPv6

Hvorfor trenger vi IPv6?

- Mobilmarkedet viser en enorm vekst: smarttelefoner m.m.
- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- «[IPokalypsen](#)» er her!
- IANA gikk tom i [februar 2011](#)
 - APNIC gikk tom i [april 2011](#)
 - RIPE gikk tom i [september 2012](#)
- Dersom disse RIR-ene oppfører seg pent:
 - LACNIC kan holde på til [juni 2014](#)
 - ARIN kan holde på til [desember 2014](#)
 - AFRINIC kan holde på til [oktober 2020](#)
- Network Address Translation, Carrier-Grade NAT og Shared Address Space er bare støttebandasje med kort utløpstid
 - Glem det
 - Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse



Kort om IPv6

Hvorfor trenger vi IPv6?

- 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

- 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 (kan) brukes når prefikslengda er ulik 64 bit
- 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 (Path MTU)



Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved IPv6

- 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 råder
- «Vente-og-se»-holdning
- Store selskaper:
 - Kjøper opp små selskaper og hamstrer IPv4-blokker
 - Kjøper IPv4-blokker på ettermarkedet:
 - Microsoft → \$7,5 mill. → Nortel → 666.624 IPv4-adresser
 - Stikker hodet ned i sanda
- 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)
 - HTTP/S-tunnelering av rubb og stubb
- Før eller siden blir CGN for kostbar og komplisert å vedlikeholde
- 3G og 4G/LTE klarer kanskje å øke IPv6-presset (RFC 6459)
- IPv6 er det eneste tilgjengelige og realistiske alternativet



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 linknettet 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 subnettet og satt opp som servernett og ansattnett, m.m.
 - 128.39.172.0/24 ble subnettet 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::1/64 brukes hos HiG
 - 2001:700:0:11D::2/64 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
 - FSI-VLAN 30: 2001:700:1100:2::/64
 - FSI-VLAN 70: 2001:700:1100:3::/64
 - FSI-VLAN 80: 2001:700:1100:4::/64
- Sommeren 2007: [Genererte](#) og frivillig [registrerte](#) ULA-serien [FD5C:14CF:C300::/48](#) for FSI-VLAN som tidligere bare brukte [RFC 1918](#)-adresser
 - Fikk første HP-skriver med IPv6 og ville bruke IPv6
 - 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



Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser
- 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 av kjerneswitchen som er L3-router for nettverket ved FSI)
 - Basestasjoner og WLAN-kontroller (Før omlegginga)
 - UPS-er
 - Skrivere
 - VPN-klienter

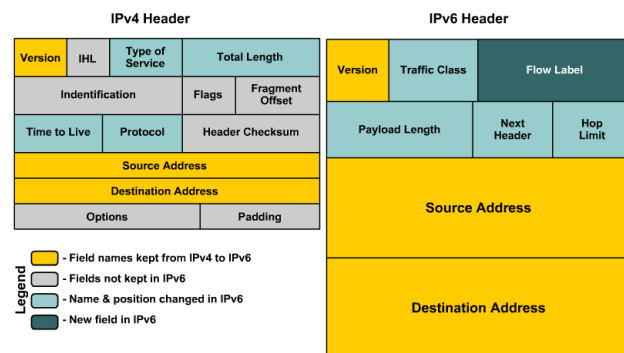


IPv6-header

Oversikt over del 2: IPv6-header I

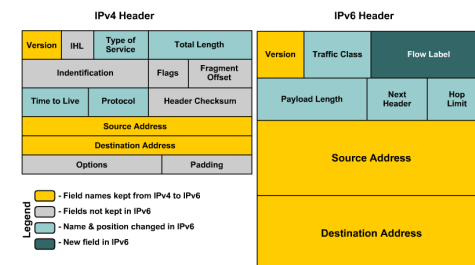
6 IPv6-header

IPv6-header

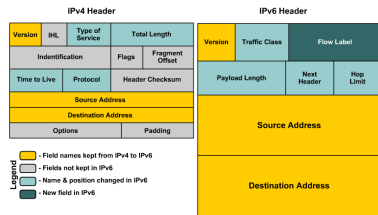


Hentet fra <http://www.tekkom.dk/mediawiki/images/5/5e/CCNP-108.png>

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



- 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

Del III

IPv6 over Ethernet

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

Oversikt over del 3: IPv6 over Ethernet I

7 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
- Overføring av hode og hale er vanligvis en oppgave for lag 1
- 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](#))

Del IV

Grunnleggende om adresser

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

Oversikt over del 4: Grunnleggende om adresser I

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

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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo

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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Ledende nuller

- Uninett:
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000
- 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: 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:
 - CCCCCC^{ug} (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 (heksadesimalt)
- CC-oktetten har verdien 00 (heksadesimalt)
- På binær form er dette 00000000 (CCCCC^{ug})
- 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 på 64 bit
 - Unntatt fra denne regelen er adresser som starter på (000)₂
- Grensesnittidentifikatorer kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig
- Angis grensesnittidentifikatoren manuelt, så angis som regel hele IPv6-adressa manuelt
- 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](#)



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)



Grunnleggende om adresser

Manuell grensesnittidentifikator

- Lav verdi for grensesnittidentifikatorer medfører at universal/local-bitet er satt til null:
 - ::53 (heksadesimalt)
 - ::0:0:0:53 (heksadesimalt)
 - ::0000000000000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
- Uten *invertering* av universal/local-bitet, måtte vi bruke manuelle grensesnittidentifikatorer på denne måten:
 - ::0200:0:0:53 (heksadesimalt)
 - ::0000000100000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
- Se her:
 - 2001:700:1100:1:0200:0:0:53 vs
 - 2001:700:1100:1::53



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
- Man må bare passe på verdien til universal/local-bitet
- 128 = 0128 = 0000000100101000 (heks, heks, bin)
- Dette gikk bra!



Grunnleggende om adresser

Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds lappis:
 - 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

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 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



Grunnleggende om adresser

Duplicate Address Detection — DAD

- 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
- 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», hva da?



Grunnleggende om adresser

Livsløpet til en adresse

- En generert adresse vil først være i tilstanden «tentative» (RFC 4862)
- Deretter gjennomføres DAD
- Går alt bra, så sjekker man om én eller flere routere er tilstede
- Sender «ICMPv6 Router Solicitation»
- Mottar «ICMPv6 Router Advertisement»



Grunnleggende om adresser

Livsløpet til en adresse

- Routeren annonserer:
 - «Hop limit»
 - Annonseringsflagg:
 - Om autokonf eller DHCPv6 skal brukes hos klienten
 - Om DHCPv6 skal brukes for andre opplysninger
 - «Home Agent» eller ikke «Home Agent»
 - Preferansenivå for denne routeren, Low, Medium, eller High
 - Routerannonseringens gyldighet (levetid)
 - Routerens lag-2-adresse
 - Linkens MTU
 - Informasjon om prefiks:
 - Flag: «On-link», «Autonomous», «Router address»
 - «Valid lifetime»
 - «Preferred lifetime»
 - IPv6-prefiks



Grunnleggende om adresser

Livsløpet til en adresse

```
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)
```



Grunnleggende om adresser

Livsløpet til en adresse

```
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)
  .... .. = 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
```



Grunnleggende om adresser

Livsløpet til en adresse

```
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::)
```



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 lyttesoketter for IPv4 og IPv6



Del V

Adresstyper



Oversikt over del 5: Adresstyper

- 17 Adresstyper
- 18 Link-local-adresser
- 19 Site-local-adresser
- 20 Offentlige unicast-adresser
- 21 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 22 Anycast-adresser
- 23 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](#))

Adressetyper

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 $64 - 48 = 16$ subnetbit $\rightarrow 2^{16} = 65536$ subnett
 - /56-bits prefiks gir $64 - 56 = 8$ subnetbit $\rightarrow 2^8 = 256$ subnett
- Eksempel: 2001:700:1100:1::1/128



Adressetyper

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



Adressetyper

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



Adressetyper

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/>
- Geoff Huston, 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:
 - Uttrykk nåværende øyeblikk som et 64-bit heltall i NTP-format ([RFC 5905](#))
 - 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
 - Sett sammen de to 64-bit heltallene til et 128-bit heltall
 - Beregn en SHA-1-hash som beskrevet i [RFC 3174](#). Resultatet er et heltall på 160 bit
 - Bruk de 40 minst signifikante bitene som global identifikator



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 foredraget for de viderekomne



Adresstyper

Multicast-adresser

- 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

Oversikt over del 6: DNS I

24 AAAA og PTR

25 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 IN PTR svabu.fig.ol.no.
- Se [RFC 3596](#)

DNS

A6

- 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



DNS

A6

- 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



DNS

A6

- 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.



DNS

A6

- 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.



DNS

A6

- 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.



DNS

A6

- 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



DNS

A6

- 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 fulstendige adressa 2001:700:1100:1::4



Del VII

ICMPv6



Oversikt over del 7: ICMPv6 I

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



ICMPv6

- Feilrapportering- og feilsøkingstjeneste for IPv6
- Definert: [RFC 4443](#) og [RFC 4844](#)
- ICMPv6-meldinger inneholder to tall som forteller noe om budskapetets 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



ICMPv6

- 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)



ICMPv6

Multicast Listener Discovery

- 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



ICMPv6

Mobile IPv6

- 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

ICMPv6

SEcure Neighbor Discovery (SEND)

- Definert: [RFC 3971](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
 - 148: Certification Path Solicitation
 - 149: Certification Path Advertisement

ICMPv6

Multicast Router Discovery

- Definert: [RFC 4286](#)
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
 - 151: Multicast Router Advertisement
 - 152: Multicast Router Solicitation
 - 153: Multicast Router Termination

ICMPv6

FMIPv6

- Definert: [RFC 5568](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
 - 154: FMIPv6

ICMPv6

RPL Control Message

- Definert: [RFC 6550](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
 - 155: RPL Control Message

ICMPv6

ILNPv6 Locator Update Message

- Definert: [RFC 6743](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
 - 156: ILNPv6 Locator Update Message

ICMPv6

Duplicate Address

- Definert: [RFC 6775](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
 - 157: Duplicate Address Request
 - 158: Duplicate Address Confirmation

Del VIII

Neighbor Discovery

Oversikt over del 8: Neighbor Discovery I

- 39 Router Solicitation
- 40 Router Advertisement
- 41 Neighbor Solicitation
- 42 Neighbor Solicitation
- 43 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

- Bla, bla, bla

Neighbor Discovery

Router Advertisement

- Bla, bla, bla

Neighbor Discovery

Neighbor Solititation

- Bla, bla, bla

Neighbor Discovery

Neighbor Solititation

- Bla, bla, bla

Neighbor Discovery

Redirect

- Bla, bla, bla

Del IX

DHCPv6

Oversikt over del 9: DHCPv6 I

44 DHCPv6

45 Meldinger

46 DHCP Unique Identifier

DHCPv6

- 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 forespørslene
- 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 restarte 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

Oversikt over del 10: Avansert multicast I

47 Multicastflaggene

48 Når T er satt til 1

49 Når PT er satt til 11

50 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

Del XI

Konfigurasjon av IPv6

Oversikt over del 11: Konfigurasjon av IPv6 I

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

52 OS-konfig

53 Tunneloppsett



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]
- 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 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 ∈ {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

- Bla, bla, bla



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/2003, men DNS-oppslag sendes over IPv4(!)
- IPv6 er påskrudd i Windows Vista/2008 og nyere versjoner
- Autokonfig med tilfeldig grensesnittidentifikator er mest vanlig



Konfigurasjon av IPv6

Tunneloppsett

- Bla, bla, bla



Noen RFC-er om IPv6

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](#)