IPv6-foredrag

Grunnleggende og viderekomne

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet

7. november 2013



Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
 - Subversion: svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag-grunnleggende
 - Web: svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag-grunnleggende/
- ipv6-foredrag-grunnleggende.foredrag.pdf vises på lerretet
- ipv6-foredrag-grunnleggende.handout.pdf er mye bedre for publikum å se på
- ipv6-foredrag-grunnleggende.handout.2on1.pdf er velegnet til utskrift
- *.169.pdf-filene er i 16:9-format, mens *.1610.pdf-filene er i 16:10-format



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 2 / 131

Foredragets filer II

- Foredraget er mekket ved hjelp av GNU Emacs, AUCT_EX, MiKT_EX, dokumentklassa beamer, Subversion, TortoiseSVN og Adobe Reader
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:
 \$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag-grunnleggende.tex 48 2013-11-07 14:02:23Z
 trond \$



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 IPv6 ved Fagskolen Innlandet



4 / 131

Del 2: IPv6-header

5 IPv6-header



5 / 131

Del 3: IPv6 over Ethernet

6 IPv6 over Ethernet



Del 4: Grunnleggende om adresser

- Grunnleggende om adresser
- 8 Adressedemo
- MAC-48-adresser
- Modda IEEE EUI-64-format
- Manuell grensesnittidentifikator
- Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser



Del 5: Adressetyper

- 4 Adressetyper
- Link-local-adresser
- Site-local-adresser
- 17 Offentlige unicast-adresser
- 18 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 19 Anycast-adresser
- 20 Multicast-adresser



Oversikt av hele foredraget Del 6: DNS

21 AAAA og PTR

22 A6



Oversikt av hele foredraget Del 7: ICMPv6

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 10 / 131

Del 8: Neighbor Discovery

- **36** Router Solicitation
- 37 Router Advertisement
- **38** Neighbor Solicitation
- 39 Neighbor Solicitation
- 40 Redirect



Oversikt av hele foredraget Del 9: DHCPv6

41 DHCPv6

42 Meldinger

43 DHCP Unique Identifier



Del 10: Avansert multicast

- 44 Multicastflaggene
- 45 Når T er satt til 1

46 Når PT er satt til 11

47 Når RPT er satt til 111



Del 11: OS-konfig og tunneloppsett

48 OS-konfig

49 Tunneloppsett



Del 12: Noen RFC-er om IPv6

50 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 Andre nyttige ting ved IPv6

4 IPv6 ved Fagskolen Innlandet



Kort om IPv6 Hva er IPv6?

- En lag-3-protokoll ment å erstatte IPv4
- Har eksistert siden desember 1995, 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 18 / 131

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:
- $\bullet \ 2^{32} = 4.294.967.296$
- 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/



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 19 / 131

Hvorfor trenger vi IPv6?

- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- 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
- NAT (RFC 2663), CGN (RFC 6264) og Shared Address Space (RFC 6598) er bare støttebandasje med kort utløpstid
 - Glem det
 - Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 20 / 131

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 21 / 131

Andre nyttige ting ved IPv6

- IPsec ble spesifisert som en del av IPv6
 - Må konfigureres før den begynner å virke
 - Tilbyr kryptert overføring (ESP), og bekreftelse av avsenders identitet og beskyttelse mot gjentakelse («replay») (AH)
 - Finnes også for IPv4
 - Ble omgjort fra krav til anbefaling av RFC 6434
- Fragmentering skal gjøres hos avsender
- Avsender må sjekke veien og måle smaleste krøttersti
- Path MTU
- Sjekksum er overlatt til høyere og lavere lag



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 22 / 131

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 23 / 131

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
 - 128.39.46.8/30 ble satt opp som linknett mellom HiG/Uninett og 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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 25 / 131

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Høsten 2010: Enda en IPv4-serie ble innført: 128.39.194.0/24
 - 128.39.172.0/23 brukes til klienter på trådløst studentnett
 - 128.39.194.0/24 brukes til datalab etter samme m
 ønster som for 128.39.172.0/24
- I dag er de fleste brukere 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 f\u00f8rstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 48, 128.39.194.192/27 og 2001:700:1100:8008::/64



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
 - UPS-er
 - Skrivere
 - VPN-klienter



Del II

IPv6-header

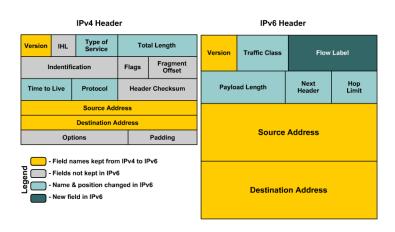


Oversikt over del 2: IPv6-header I

IPv6-header



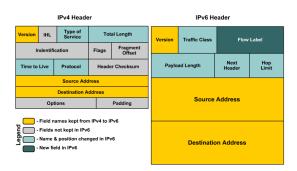
IPv6-header



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 30 / 131

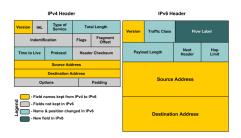


- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (20 oktetter)
- IPv6-headeren har færre felter enn IPv4-headeren
- De utelatte feltene er i stor grad flyttet over til egne utvidelsesheadere



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 31 / 131

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



IPv6-header

- 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



Del III

IPv6 over Ethernet



Oversikt over del 3: IPv6 over Ethernet I

6 IPv6 over Ethernet



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)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 36 / 131

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 .... = LG 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 37 / 131

Del IV

Grunnleggende om adresser



Oversikt over del 4: Grunnleggende om adresser I

- Grunnleggende om adresser
- 8 Adressedemo
- MAC-48-adresser
- Modda IEEE EUI-64-format
- Manuell grensesnittidentifikator
- 12 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser



- 128 bit
- Heksadesimal notasjon
- 16 bit grupperes, adskilt med kolon
- Ledende nuller kan sløyfes
- To eller flere 16-bit-blokker med nuller kan slås sammen til :: (dobbelkolon), bare én gang pr. adresse
- Prefikslengde angis ved å slenge på en skråstrek og antall signifikante bit fra venstre mot høyre



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:



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:



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:



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:



2001:700:0:0:0:0:0:0

Adressedemo: Fjernet ledende nuller

Uninett:

```
FSI:
2001:700:1100:0:0:0:0
IT-avdelingen@FSI:
2001:700:1100:3:0:0:0
Tronds D531:
```



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:



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

2001:700:0:0:0:0:0:0

FSI:
2001:700:1100:0:0:0:0:0

IT-avdelingen@FSI:

Uninett:

2001:700:1100:3:0:0:0:0

• Tronds D531: 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



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
```



Adressedemo: Kompakt form

Uninett:

```
2001:700::

FSI:
2001:700:1100::

IT-avdelingen@FSI:
2001:700:1100:3::

Tronds D531:
```

Adressedemo: Vis prefikslengde

Uninett: 2001:700::/32
FSI: 2001:700:1100::/48
IT-avdelingen@FSI: 2001:700:1100:3::/64

Tronds D531:



Adressedemo: Kompakte adresser med prefikslengde

• Uninett: 2001:700::/32

FSI:

2001:700:1100::/48

IT-avdelingen@FSI: 2001:700:1100:3::/64

• Tronds D531:



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:
 - CCCCCCug (binært)
 - Når u-bitet er satt til 0 (null), så gjelder formatet som er oppgitt her, altså
 CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
 - Når u-bitet er satt til 1, så er alle C- og c-sifrene løpenummer, mens u- og g-bitene beholder sine spesielle betydninger
 - Når g-bitet er 0 så angir adressa en individuell node, og når g-bitet er 1 så er adressa en multicastgruppe
 - Når g-bitet settes lik 1, så blir også u-bitet satt lik 1
 - Kombinasjonen ug = 01 er høyst uvanlig



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 52 / 131

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
 - Dell Inc er produsenten ifølge OUI-lista hos IEEE (søk i fila etter 00-21-70)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 53 / 131

- Unicast-adresser består av 2 ting:
 - Prefiks
 - Grensesnittidentifikator
- Grensesnittidentifikatorer er på 64 bit
- Grensesnittidentifikatorer kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig (RFC 4941)
- Angis grensesnittidentifikatoren manuelt, så angis som regel hele IPv6-adressa manuelt
- Grensesnittidentifikatorer følger IEEE EUI-64-formatet med to unntak:
 - universal/local-bitet brukes med invertert betydning/verdi
 - (gruppebitet mister sin vanlige betydning)
 - oktettene på midten er FF:FE ved automatisk konvertering fra MAC-48 til EUI-64



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 54 / 131

- 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 fra router: 2001:700:1100:3::/64
 - Fullstendig adresse: 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 55 / 131

- 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
- Siden IPv6 bruker universal/local-bitet med invertert betydning/verdi, så er arbeidsuhellet akseptert
- Se RFC 4291



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 56 / 131

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 setter man en lav verdi for manuelle grensesnittidentifikatorer
- For eksempel ::53 (DNS-tjener, kanskje)



Manuell grensesnittidentifikator

• ::53 (heksadesimalt)

• ::0:0:0:53 (heksadesimalt)

 Uten invertering av universal/local-bitet, måtte vi bruke manuelle grensesnittidentifikatorer på denne måten:

• ::0200:0:53 (heksadesimalt)

• ::000000100000000:00...00:000000001010011 (binært)

• 2001:700:1100:1:0200:0:0:53 vs 2001:700:1100:1::53

AGSKOLEN *

Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds lappis:

```
    2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E
    2001:700:1D00:8:221:70FF:FE73:686E
    (IT-avdelingen@FSI)
    (public-nettet@HiG)
```

- RFC 4941 beskriver tilfeldig grensesnittidentifikator
- Generér to autokonfigurerte IPv6-adresser:
 - Konstant grensesnittidentifikator
 - Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Velg å bruke adressa med tilfeldig grensesnittidentifikator i størst mulig grad
- Aksepter også innkommende trafikk for adressa med konstant grensesnittidentifikator



Tilfeldig grensesnittidentifikator

- RFC 4941 angir metode for generering av tilfeldig grensesnittidentifikator:
 - Sett sammen historisk verdi fra forrige runde (eller et tilfeldig 64-bit heltall) med den konstante grensesnittidentifikatoren
 - 2 Beregn MD5-hash av resultatet fra trinn 1
 - Bruk de 64 mest signifikante bitene og sett det sjette mest signifikante bitet til null (indikerer lokalgitt grensesnittidentifikator)
 - 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
 - Lagre de 64 *minst* signifikante bitene fra trinn 2 som historisk verdi for bruk den neste gangen algoritmen brukes



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 60 / 131

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»)
- Loopbackadressa: 0:0:0:0:0:0:0:1/128 eller ::1/128
 - Velkjent adresse for å snakke med seg selv
- Dokumentasjonsprefiks: 2001:db8::/32
 - Brukes for generell beskrivelse av IPv6-oppsett i lærebøker og annen generell dokumentasjon
 - Forbudt å bruke på det offentlige internettet
 - Bør blokkeres i inngående og utgående ACL-er for internettgrensesnittet til routere



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_V60NLY med setsockopt(2) for lyttesocketen
 - Forbudt av sikkerhetshensyn i enkelte OS-er som OpenBSD, se OpenBSDs ip6(4)
 - Tjenestene må da åpne separate lyttesocketer for IPv4 og IPv6



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 62 / 131

Del V

Adressetyper



Oversikt over del 5: Adressetyper

- 4 Adressetyper
- Link-local-adresser
- Site-local-adresser
- 17 Offentlige unicast-adresser
- 18 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 19 Anycast-adresser
- 20 Multicast-adresser



Adressetyper

- Det finnes flere adressetyper 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 65 / 131

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 66 / 131

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 grensesnittidentifikatoren 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



- 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
- SixXS tilbyr:
 - Generering av ULA-prefiks: http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/
 - Registrering av ULA-prefiks: http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/list/



- Reelt prefiks: FD00::/8
- De neste 40 bitene genereres tilfeldig, gjerne som beskrevet i RFC 4193:
 - 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, kan du lage en fra en 48-bit MAC-adresse som angitt i RFC 3513.
 - 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.
- 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 70 / 131

Adressetyper

Anycast-adresser

• Definert: RFC 4291

Bruksområde: felles adresse for distribuerte tjenester

• Prefiks: ingen, allokeres fra dine egne unicast-adresser

• Eksempel: 2001:700:1100::/128 anycast



Adressetyper

Multicast-adresser

• Definert: RFC 4291

• Bruksområde: én-til-mange-kommunikasjon

Prefiks: FF::/8

• Flagg f og rekkevidde r er innebygget i adressa: FFfr::/16

• Eksempel: FF0E::101/128 (global multicast-adresse for NTP)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 72 / 131

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 73 / 131

Adressetyper

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

21 AAAA og PTR

22 A6



- Navn-til-IPv6-adresser bruker AAAA-poster
 - Eksempel:

```
$ORIGIN fig.ol.no.
svabu IN AAAA 2001:700:1100:1::4
```

- IPv6-adresser-til-navn bruker PTR-poster plassert i ip6.arpa.
 - Eksempel:

• 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:
 - Prefikslengde fra og med 0 til og med 128
 - Utdrag av IPv6-adressa
 - 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.
       IN A6 32 0:0:1100:: uninett
uninett TN 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 sammensatte adressa 2001:700:1100:1::4



Del VII

ICMPv6



Oversikt over del 7: ICMPv6 I

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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 87 / 131

- 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)

AGSKOLEN N N L A N D E T

Multicast Listener Discovery

- Definert: RFC 2710
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
 - 130: Multicast Listener Query
 - 131: Multicast Listener Report
 - 132: Multicast Listener Done



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 vil bli gjennomgått i detalj i foredraget for de viderekomne



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 90 / 131

Router Renumbering

- Definert: http: //www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml som oppgir Matt Crawford som referanse
- Angir én ny ICMPv6-melding:
 - 138: Router Renumbering
- http:
 - //www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml angir følgende undertyper:
 - 0: Router Renumbering Command
 - 1: Router Renumbering Result
 - 255: Sequence Number Reset
- Jeg har hittil ikke klart å finne ut noe mer om denne ICMPv6-meldinga



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 92 / 131

Version 2 Multicast Listener Report

- Definert: RFC 3810
- Angir én ny ICMPv6-melding:
 - 143: Version 2 Multicast Listener Report



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



SEcure Neighbor Discovery (SEND)

- Definert: RFC 3971
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
 - 148: Certification Path Solicitation
 - 149: Certification Path Advertisement



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 95 / 131

Multicast Router Discovery

- Definert: RFC 4286
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
 - 151: Multicast Router Advertisement
 - 152: Multicast Router Solicitation
 - 153: Multicast Router Termination



• Definert: RFC 5568

• Angir én ny ICMPv6-melding:

• 154: FMIPv6



RPL Control Message

• Definert: RFC 6550

• Angir én ny ICMPv6-melding:

• 155: RPL Control Message



ILNPv6 Locator Update Message

• Definert: RFC 6743

• Angir én ny ICMPv6-melding:

• 156: ILNPv6 Locator Update Message



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

- **36** Router Solicitation
- 37 Router Advertisement
- 38 Neighbor Solicitation
- 39 Neighbor Solicitation
- 40 Redirect



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 103 / 131

Router Solititation



Router Advertisement





Neighbor Solititation





Neighbor Solititation

•



7. november 2013

Redirect





7. november 2013

Del IX

DHCPv6



Oversikt over del 9: DHCPv6 I

41 DHCPv6

42 Meldinger

43 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 111 / 131

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
- Reply
 - Fra server til klient



DHCPv6 II

Meldinger

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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 114 / 131

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



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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 117 / 131

Del X

Avansert multicast



Oversikt over del 10: Avansert multicast l

44 Multicastflaggene

45 Når T er satt til 1

46 Når PT er satt til 11

47 Når RPT er satt til 111



Multicastflaggene

• Bla, bla, bla



Når T er satt til 1

• Bla, bla, bla



Når PT er satt til 11

• Bla, bla, bla



Når RPT er satt til 111

• Bla, bla, bla



Del XI

Konfigurasjon av IPv6



Oversikt over del 11: Konfigurasjon av IPv6 I

48 OS-konfig

49 Tunneloppsett



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 126 / 131

Konfigurasjon av IPv6 Tunneloppsett

• Bla, bla, bla



Del XII

Noen RFC-er om IPv6



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

50 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
- Random interface ID: 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 7. november 2013 131 / 131