

IPv6-foredrag

Grunnleggende

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet

29. september 2013

- 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
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:
`$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag-grunnleggende.tex 36`
`2013-09-29 21:54:07Z trond $`
- Foredraget er mekket ved hjelp av `GNU Emacs`, `AUCTeX`, `MiKTeX`, dokumentklassa `beamer`, `Subversion`, `TortoiseSVN` og `Adobe Reader`

1 Kort om IPv6

- Hva er IPv6?
- Hvorfor trenger vi IPv6?
- Andre nyttige ting ved IPv6
- IPv6 ved Fagskolen Innlandet

2 IPv6-header

3 IPv6 over Ethernet

4 Grunnleggende om adresser

- Adressedemo
- MAC-48-adresser
- Modda IEEE EUI-64-format
- Spesialadresser
- DNS

5 Adresstyper

- Link-local-adresser

- Site-local-adresser
- Offentlige unicast-adresser
- Unike, lokale, aggregerbare adresser
- Anycast-adresser
- Multicast-adresser

6 ICMPv6

- Multicast Listener Discovery
- Neighbor Discovery
- Router Renumbering
- Inverse Neighbor Discovery
- Version 2 Multicast Listener Report
- Mobile IPv6
- SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- Multicast Router Discovery
- FMIPv6

Oversikt III

- RPL Control Message
- ILNIPv6 Locator Update Message
- Duplicate Address

7 DHCPv6

8 OS-konfig

9 Tunneloppsett

10 Noen RFC-er om IPv6

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

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**

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 mye mer 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?

- 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

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

- 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 krøttesti
- Path MTU
- Sjekksum er overlatt til høyere lag

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

Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

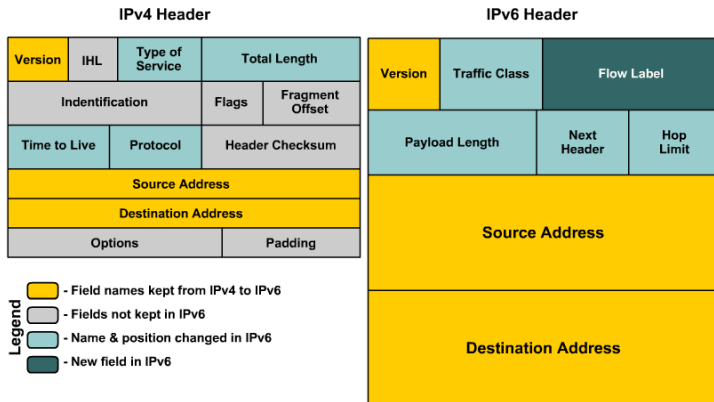
- 1994: Tildelt 128.39.174.0/24 av Uninett
- 1. juni 2005: Ny IT-ansvarlig, yours truly
- Høsten 2005: Fikk reservert IPv4-serien 128.39.172.0/23
- Påska 2006: Fikk reservert IPv6-serien 2001:700:1100::/48
- Før og etter pinsehelga 2006: Fiberlinjer fra serverrommet og til sentrale punkter i hver etasje i hovedbygningen
- Sommeren 2006: Nytt Cisco-gear som Catalyst 3560G og 2960
 - 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

- 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

- 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 mønster 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 førstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 48, 128.39.194.192/27 og 2001:700:1100:8008::/64

- 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

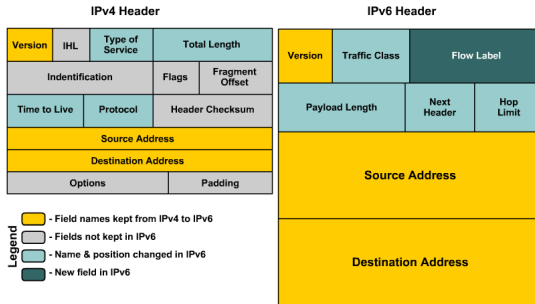
IPv6-header



Hentet fra

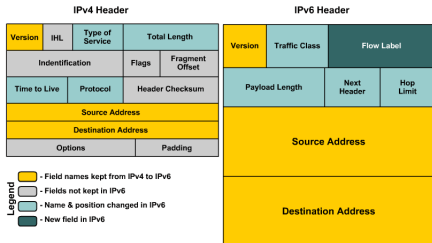
<http://www.tekkom.dk/mediawiki/images/5/5e/CCNP-108.png> FAGSKOLEN INNLANDET

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

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](#))

Grunnleggende om adresser

- 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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo

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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Hierarkisk struktur

- Uninett:

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

- FSI:

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

- IT-avdelingen@FSI:

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

- Tronds D531:

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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle adressene

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

Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Ledende nuller

- Uninett:

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

- 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: Fjernet ledende nuller

- Uninett:

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

- FSI:

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

- IT-avdelingen@FSI:

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

- 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-bitgrupper 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:
 - 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
 - Når g-bitet settes lik 1, så blir også u-bitet satt lik 1
 - Kombinasjonen ug = 01 er høyst uvanlig

Grunnleggende om adresser

MAC-48-adresser

- Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E
- CC-oktetten har verdien 00 (heksadesimalt)
- På binær form er dette 00000000 (CCCCCug)
- Vi ser at både u- og g-bitene er satt til 0
- Dette er en MAC-48-adresse som:
 - følger det vanlige mønsteret med produsent- og løpenummer
 - angir en individuell node
 - Dell Inc er produsenten 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
- 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 beholder sin vanlige betydning)
 - oktettene på midten er 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
 - 00 (heksadesimalt) → 00000000 (binært)
 - Invertér universal/local-bitet: 02:21:70:73:68:6E
 - 02 (heksadesimalt) → 00000010 (binært)
 - 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

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

Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- Manuell grensesnittidentifikator innebærer at universal/local-bitet 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)
- ::53 (heksadesimalt) → ::0:0:0:53 (heksadesimalt) →
::0000000000000000:00...00:0000000001010011 (binært)
- Uten *invertering* av universal/local-bitet, måtte vi bruke manuelle grensesnittidentifikatorer på formen ::0200:0:0:53 (heksadesimalt)
- ::0200:0:0:53 (heksadesimalt) →
::0000000100000000:00...00:0000000001010011 (binært)

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»)
- 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

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 lyttesocketer for IPv4 og IPv6

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

- A6-poster var foreslått som erstatning for AAAA-poster av [RFC 2874](#), men 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 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

Grunnleggende om adresser

DNS

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN ip6.uninett.no.
uninett IN A6 0 2001:700::
- Forklaring:
 - Kjeden starter med uninett.ip6.uninett.no.

Grunnleggende om adresser

DNS

- Et tenkt eksempel med A6:
 - \$ORIGIN ip6.uninett.no.
uninett IN A6 0 2001:700::
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 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.
- 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 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
- 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 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 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 sammensatte adressa 2001:700:1100:1::4

- 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

- 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

- 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](#))

- 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](#):
 - 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

Adresstyper

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

- 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)

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- Definert: <http://www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml> 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

- 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

ICMPv6

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

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

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

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla

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

Noen RFC-er om IPv6

- Adressearkitektur: [RFC 4291](#), [RFC 5952](#) og [RFC 6052](#)
- Unicastadresser: [RFC 3587](#)
- ULA: [RFC 4193](#)
- 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](#)