

# IPv6-foredrag

## Grunnleggende

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet

25. oktober 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/](http://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
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag-grunnleggende.tex 42 2013-10-25 13:50:01Z`  
trond \$
- Foredraget er mekket ved hjelp av [GNU Emacs](#), [AUCTeX](#), [MiKTeX](#), dokumentklassa [beamer](#), [Subversion](#), [TortoiseSVN](#) og [Adobe Reader](#)

# Oversikt I

- 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

# Oversikt II

- 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

## Oversikt III

- FMIPv6
- RPL Control Message
- ILNIPv6 Locator Update Message
- Duplicate Address

### 7 DHCPv6

- Meldinger
- DHCP Unique Identifier

### 8 OS-konfig

### 9 Tunneloppsett

### 10 Noen RFC-er om IPv6

## Del I

### Kort om IPv6

## 1 Kort om IPv6

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

# 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?

- 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 krøtteri
- Path MTU
- Sjekksum er overlatt til høyere og lavere 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

# 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

# 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 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



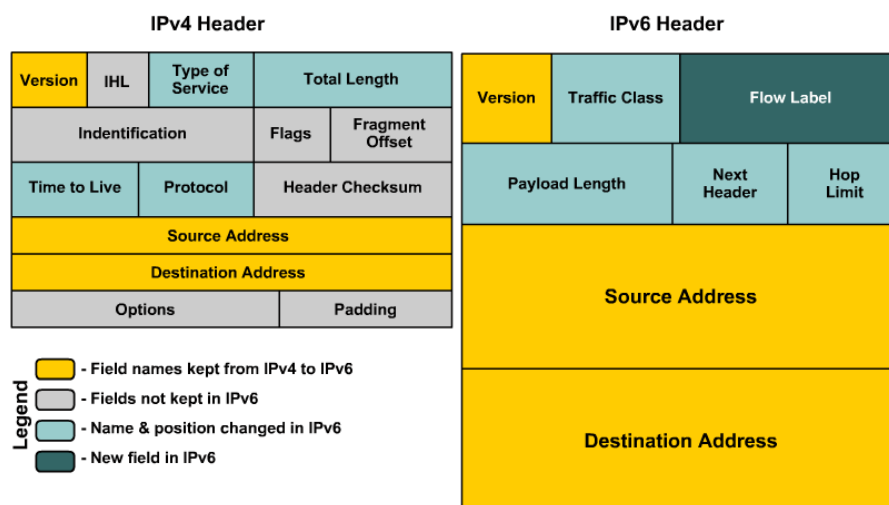
- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser
- FSI-VLAN med offentlige IPv4-adresser bruker offentlige IPv6-adresser fra 2001:700:1100::/48-serien
- FSI-VLAN med private IPv4-adresser ([RFC 1918](#)) bruker private IPv6-adresser fra FD5C:14CF:C300::/48-serien
- Private adresser brukes for alt utstyr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

## Del II

### IPv6-header

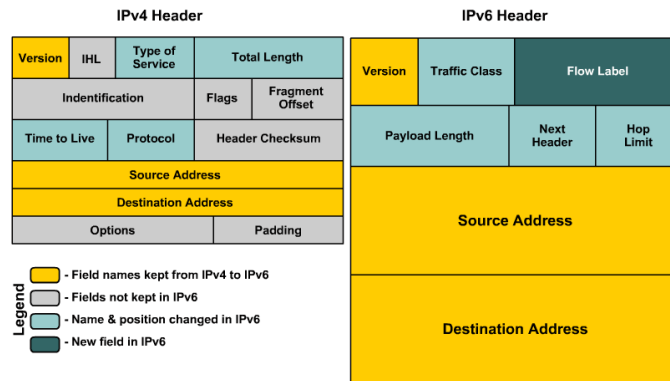
## 2 IPv6-header

## IPv6-header



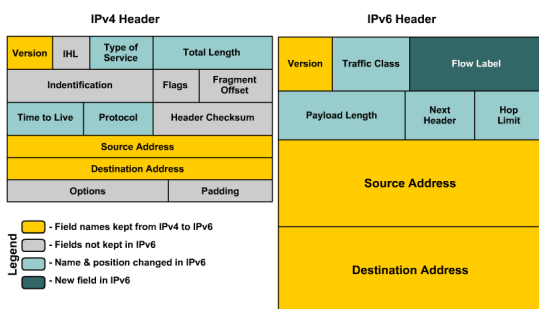
Hentet fra <http://www.teknom.dk/mediawiki/images/5/5e/CCNP-108.png>

# IPv6-header



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

# IPv6-header



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

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

- Utvidelsesheaderne finnes i stort antall:
  - 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

## 3 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](#))

## 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

## Del IV

### Grunnleggende om adresser

# Oversikt I

## 4 Grunnleggende om adresser

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

## 5 Adressetyper

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

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



# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle adressene

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

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Ledende nuller

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

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Fjernet ledende nuller

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

# Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle litt til

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

# Grunnleggende om adresser

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

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0
- 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:
  - 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

# 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
  - 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

# 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

- Skriv om tilfeldig IFID, [RFC 4941](#)

# Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- Manuell grensesnittidentifikator innebærer at universal/local-bitet som regel er satt til 0
- De øvrige 62 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)



# Grunnleggende om adresser

## Modda IEEE EUI-64-format

- ::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)
- 2001:700:1100:1:0200:0:0:53 vs 2001:700:1100:1::53

# 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

# Grunnleggende om adresser

## DNS

- 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 1.0.0.0.0.1.1.0.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa.`  
`4.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0 IN PTR svabu.fig.ol.no.`
- Se [RFC 3596](#)

# Grunnleggende om adresser

## DNS

- 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 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

# 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  
  
\$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 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.

# Grunnleggende om adresser

## DNS

- 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.

# Grunnleggende om adresser

## DNS

- 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.

# Grunnleggende om adresser

## DNS

- 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.

# Grunnleggende om adresser

## DNS

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

## 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 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](#))

# Adresstyper

## Offentlige unicast-adresser

- Definert: [RFC 4291](#) og [RFC 3587](#)
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon på det offentlige internett
- Prefiks: 2000::/3
- De neste bitene allokeres hierarkisk, minimum i 4-bitblokker, men gjerne i 8- eller 16-bitblokker
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Det er vanlig at kundene blir tildelt /48- eller /56-bits prefiks av ISP-ene
  - /48-bits prefiks gir  $64 - 48 = 16$  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

# Adresstyper

## Unike, lokale, aggregerbare adresser

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



# 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

# 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

# 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

- 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 V

### ICMPv6

## 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
- RPL Control Message
- ILNPv6 Locator Update Message
- Duplicate Address

## ICMPv6

- 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

# 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 vil bli gjennomgått i detalj i foredraget for de viderekomne

# ICMPv6

## 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

# 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 VI

### DHCPv6

# Oversikt I

## 7 DHCPv6

- Meldinger
- DHCP Unique Identifier

## 8 OS-konfig

## 9 Tunneloppsett

# 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
- Reply

# DHCPv6 II

## Meldinger

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

# DHCPv6

## DHCP Unique Identifier, DUID

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

# DHCPv6

## DHCP Unique Identifier, DUID

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

# DHCPv6

## DHCP Unique Identifier, DUID

- Type 1 kan se slik ut:

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

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

- Type 3 kan se slik ut:

00 03 00 01 00 26 18 F2 72 40

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

# DHCPv6

## DHCP Unique Identifier, DUID

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

## OS-konfig

- Bla, bla, bla

## Tunneloppsett

- Bla, bla, bla



# Del VII

## Noen RFC-er om IPv6

## Oversikt I

### 10 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](#)