

# IPv6-foredrag

## Grunnleggende

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet

20. september 2013



## Foredragets filer

- 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/)
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:  
`$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag-grunnleggende.tex 21`  
`2013-09-20 10:12:53Z 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
- Noen RFC-er om IPv6

## 2 IPv6-header

## 3 Grunnleggende om adresser

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

## 4 Adresstyper

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

## 5 ICMPv6

## 6 DHCPv6

## 7 OS-konfig

## 8 Tunneloppsett

## Kort om IPv6

### Hva er IPv6?

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

# Kort om IPv6

## Hvorfor trenger vi IPv6?

- 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
- Kortere rutingtabeller

# Kort om IPv6

## Hvorfor trenger vi IPv6?

- 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

- Fragmentering skal gjøres hos avsender
- Avsender må sjekke veien og måle smaleste krøtteri
- Path MTU
- Sjekksum overlatt til høyere lag
- 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 hovedetasjen
- Sommeren 2006: Nytt Cisco-gear som Catalyst 3560G og 2960
  - 128.39.174.0/24 ble brukt til servernett og ansattnett, m.m.
  - 128.39.172.0/24 ble brukt til datalab
  - 128.39.173.0/24 ble brukt til 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 [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 ombyggingen i 2011–2012
- Andreklasse data er velsignet med å kunne velge mellom FSI- og OFK-nettene
- Andreklasse data velger som regel det førstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 48, 128.39.194.192/27 og 2001:700:1100:8008::/64



# Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser
- FSI-VLAN med offentlige IPv4-adresser bruker offentlige IPv6-adresser fra 2001:700:1100::/48-serien
- FSI-VLAN med private IPv4-adresser ([RFC 1918](#)) bruker private IPv6-adresser fra FD5C:14CF:C300::/48-serien
- Private adresser brukes for alt utstyr som ikke har behov for internettforbindelse:
  - Switcher (med unntak av kjerneswitchen som er L3-router for nettverket ved FSI)
  - Basestasjoner og WLAN-kontroller
  - UPS-er
  - Skrivere
  - VPN-klienter



# Kort 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](#)
- 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](#)

# Kort om IPv6

## 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](#)
- For programmerere av nettverksprogrammer: [RFC 4038](#)



- Bla, bla, bla

## 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:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- 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:
  - 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
  - Bitet g angir med 0 at adressa angir ett individ, eller med 1 at adressa er en multicastgruppe
  - Når g settes lik 1, så blir også u satt lik 1

# 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 et enkeltindivid
  - Dell Inc er produsenten i følge [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 kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig ([RFC 4941](#))



# 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
  - 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 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](#)

- 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)
- Dermed er universal/local-bitet satt til 0 og dette indikerer en manuell grensesnittidentifikator

## 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

- Det finnes flere adresstyper med forskjellige bruksområder:
  - 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, kan brukes i ad-hoc-nett, blir ikke videresendt til andre VLAN eller til internett
- 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
- Eksempel: 2001:700:1100:1::1/128

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

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

# Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Reelt prefiks:  $FD00::/8$
- De neste 40 bitene genereres tilfeldig, gjerne som beskrevet i [RFC 4193](#)
- De neste 16 bitene brukes til subnett-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel:  $FD5C:14CF:C300:31::1/128$

# Adresstyper

## 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

- 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](#)

- 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

- Bla, bla, bla

- Bla, bla, bla



- Bla, bla, bla

## Tunneloppsett

- Bla, bla, bla