## IPv6-foredrag

Pent brukt 19-åring

#### Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

19. februar 2015



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 1 / 182

### Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
  - Subversion: svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag
  - Web: svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag
  - Begge metodene er tilgjengelig med både IPv4 og IPv6
- ipv6-foredrag.foredrag.pdf vises på lerretet
- ipv6-foredrag.handout.pdf er mye bedre for publikum å se på egenhånd
- ipv6-foredrag.handout.2on1.pdf og ipv6-foredrag.handout.4on1.pdf er begge velegnet til utskrift
- \*.169.pdf-filene er i 16:9-format
- \*.1610.pdf-filene er i 16:10-format



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 2 / 182

### Foredragets filer II

- Foredraget er mekket ved hjelp av GNU Emacs, AUCTEX, pdfTEX fra MiKTEX, LATEX-dokumentklassa beamer, Dia, Inkscape, Wireshark, Subversion, TortoiseSVN og Adobe Reader
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:
  - \$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.tex 115 2015-02-19 12:54:49Z trond \$
- Driverfila for denne PDF-fila bærer denne identifikasjonen:
- \$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.handout.4on1.1610.tex 78 2013-12-04 09:53:24Z trond \$
- Copyright © 2015 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: Creative Commons, Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0 Norge (CC BY-SA 3.0)

#### Oversikt av hele foredraget Del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Antall adresser
- 3 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 6 Andre nyttige ting ved IPv6
- 6 IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- IPv6 andre steder i Norge



FAGSKOLEN Y

# Oversikt av hele foredraget

Del 2: IPv6-header

- 8 IPv6-header
  - Flow Label
- Utvidelsesheadere
  - Hop-by-hop Options Header
  - Destination Options Header
  - Routing Header
  - Fragment Header
  - Authentication Header
  - Encapsulating Security Payload
  - Mobility Header



FAGSKOLEN IN N LANDET

IPv6-foredrag 19. februar 2015 5 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT)

Oversikt av hele foredraget

Del 3: IPv6 over Ethernet

- 1 IPv6 over Ethernet
- IPv6 over andre lag-2-typer



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 6 / 182

# Oversikt av hele foredraget

Del 4: Grunnleggende om adresser

- Grunnleggende om adresser
- Adressedemo
- MAC-48-adresser
- 15 Modda IEEE EUI-64-format
- 16 Manuell grensesnittidentifikator
- Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser
- Duplicate Address Detection DAD

### Oversikt av hele foredraget

Del 5: Adressetyper

- 20 Adressetyper
- 21 Link-local-adresser
- 22 Site-local-adresser
- Offentlige unicast-adresser
- 24 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 25 Anycast-adresser
- 26 Multicast-adresser



#### Oversikt av hele foredraget Del 6: DNS

- 27 AAAA og PTR
- 28 A6



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 9 / 182

### Oversikt av hele foredraget Del 7: ICMPv6

- 29 ICMPv6
- Multicast Listener Discovery
- 31 Neighbor Discovery
- Router Renumbering
- 33 Node Information
- Inverse Neighbor Discovery
- 35 Version 2 Multicast Listener Report
- 36 Mobile IPv6
- SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 38 Experimental Mobility Type
- Multicast Router Discovery
- 40 FMIPv6
- 41 RPL Control Message
- 42 ILNPv6 Locator Update Message
- 43 Duplicate Address



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 10 / 182

# Oversikt av hele foredraget

Del 8: Neighbor Discovery

- 44 Router Solicitation
- 45 Router Advertisement
- 46 Neighbor Solicitation
- Meighbor Advertisement
- 48 Redirect

### Oversikt av hele foredraget Del 9: DHCPv6

- 49 DHCPv6
- Meldinger
- **1** DHCP Unique Identifier
- 52 Identity association
- 63 Identity association identifier





## Oversikt av hele foredraget

Del 10: Avansert multicast

- 64 Multicastflaggene
- 55 Når T er satt til 1
- 56 Når PT er satt til 11
- 67 Når RPT er satt til 111

FAGSKOLEN IN N LANDET

Oversikt av hele foredraget

Del 12: Noen RFC-er om IPv6

60 Noen RFC-er om IPv6

### Oversikt av hele foredraget

Del 11: Konfigurasjon av IPv6

- 68 Cisco IOS
  - IPv6-unicast-routing
  - IPv6-multicast-routing
  - ACL-er
  - DHCPv6
- 69 OS-konfig

FAGSKOLEN IN N LA N D E T

Del I

Kort om IPv6





### Oversikt over del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- Antall adresser
- 3 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 6 Andre nyttige ting ved IPv6
- 6 IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- IPv6 andre steder i Norge



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 17 / 182

#### Kort om IPv6 Hva er IPv6?

- En lag-3-protokoll ment å erstatte IPv4
- Har eksistert siden desember 1995, først spesifisert i RFC 1883
- Enkel grunnheader med fast lengde
- Flere utvidelsesheadere, riktig rekkefølge er viktig
- 128-bit adresser
- Ny version 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

19. februar 2015 18 / 182

### Kort om IPv6

Antall adresser

- 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 er det mange flere IPv6-unicast-adresser enn det er IPv4-adresser:
- 2<sup>32</sup>

4.294.967.296

- Mindre enn 3.702.258.688 IPv4-adresser kan bli brukt som offentlige IPv4-unicast-adresser
- Se Tronds utregning fra juli 2012:

http://ximalas.info/2012/07/20/how-many-ipv4-addresses-are-there/

#### Kort om IPv6

Hvorfor trenger vi IPv6?

- Mobilmarkedet viser en enorm vekst: smarttelefoner, nettbrett m.m.
- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- «IPokalypsen» er her!
- IANA gikk tom 3. februar 2011
  - APNIC gikk tom 19. april 2011
  - RIPE gikk tom 14. september 2012
  - LACNIC gikk tom 10. juni 2014
- Dersom disse RIR-ene oppfører seg pent:
  - ARIN kan holde på til 20. mai 2015
  - AFRINIC kan holde på til 13. januar 2019(!)





### Kort om IPv6

Hvorfor brukes ikke IPv6?

- Markedskreftene bestemmer
- «Vente-og-se»-holdning
- Stikker hodet ned i sanda
- Store selskaper:
  - Kjøper opp små selskaper og hamstrer IPv4-blokker
  - Kjøper IPv4-blokker på ettermarkedet/konkursbo:
    - $\bullet \ \mathsf{Microsoft} \to \$7,\! \mathsf{5} \ \mathsf{mill.} \to \mathsf{Nortel} \to \mathsf{666.624} \ \mathsf{IPv4}\text{-}\mathsf{adresser} \to \mathsf{Microsoft}$
    - $\bullet$  Altibox  $\rightarrow$  \$1,3 mill.  $\rightarrow$  ?  $\rightarrow$  130.000 IPv4-adresser  $\rightarrow$  Altibox
  - Stykkprisen for IPv4-adresser har gått ned fra \$11,25/adresse til \$10/adresse



# Kort om IPv6

Hvorfor brukes ikke IPv6?

• Telebransjen satser fortsatt hardt på IPv4:

• (Edge) NAT i CPE	(RFC 1631)
Carrier-Grade NAT i stamnett	(RFC 6264)
<ul> <li>Shared Address Space etter behov i stamnett (100.64.0.0/10)</li> </ul>	(RFC 6598)

- Glem det!
- Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse
- Før eller siden blir CGN for kostbart og komplisert å vedlikeholde
- 3G og 4G/LTE klarer kanskje å øke IPv6-presset (RFC 6459)
- IPv6 er det eneste tilgjengelige og realistiske alternativet til IPv4



### 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 brukes når prefikslengda er ulik 64 bit

### Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved 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	

- Uninett trenger bare å annonsere dette IPv6-prefikset:
- 2001:700::/32





Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 23 /

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredra

19. februar 2015

#### Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved IPv6

- Sjekksum er overlatt til høyere og lavere lag
- Fragmentering skal gjøres hos avsender, og ikke underveis
  - Avsender må sjekke veien lengre fremme og måle smaleste krøttersti
  - Path Maximum Transmission Unit Discovery (Path MTU, PMTUD)
- IPsec ble spesifisert som en del av IPv6
  - Finnes også for IPv4
  - Må konfigureres før den begynner å virke
  - Tilbvr:
    - Kryptert overføring (ESP), og/eller
    - Bekreftelse av avsenders identitet og beskyttelse mot gjentakelse («replay») (AH)
  - Ble omgjort fra krav til anbefaling for IPv6 av RFC 6434



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 25 / 182

### Kort om IPv6 IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 1994: Tildelt 128.39.174.0/24 av Uninett
- 1. juni 2005: Ny IT-ansvarlig, yours truly
- Høsten 2005: Fikk reservert IPv4-serien 128.39.172.0/23
- Påska 2006: Fikk reservert IPv6-serien 2001:700:1100::/48
- Før og etter pinsehelga 2006: Fiberlinjer fra serverrommet og til sentrale punkter i hver etasje i hovedbygningen
- Sommeren 2006: Nytt Cisco-gear som Catalyst 3560G og 2960 (Cisco IOS 12.2(25)SEB4)
  - 128.39.46.8/30 ble linknettet mellom HiG/Uninett og FSI
    - 128.39.46.9 ble brukt ved HiG
    - 128.39.46.10 ble brukt ved FSI
  - 128.39.174.0/24 ble delt opp i flere subnett og satt opp som servernett og ansattnett, m.m.
  - 128.39.172.0/24 ble delt opp i flere subnett og satt opp som nett for datalab
  - 128.39.173.0/24 ble satt opp for inntil 252 IPv4-klienter på trådløst studentnett



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 26 / 182

### 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 ble brukt ved HiG
  - 2001:700:0:11D::2 ble brukt ved ESI.
- 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
- Andre FSI-VLAN fikk IPv6 i ukene og månedene etterpå
- Sommeren 2007: Genererte og frivillig registrerte ULA-serien FD5C:14CF:C300::/48
  - Brukes i FSI-VLAN for internt bruk
    - Fikk første HP-skriver med IPv6-støtte og ville bruke IPv6
    - Noen år senere: IPv6-adresser på kantswitchene med Cisco IOS 12.2(40)SE

### Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Høsten 2010: Enda en IPv4-serie ble innført: 128.39.194.0/24
  - 128.39.194.0/24 brukes til datalab med samme subnetting (inndeling) som den gamle 128.39.172.0/24-serien hadde i 2006
  - 128.39.172.0/23 brukes nå for inntil 508 IPv4-klienter på trådløst studentnett
- Våren 2014: Tok i bruk nye linknett fordi fig-gsw.fig.ol.no ble tilkoblet gjovik-gw1.uninett.no
  - IPv4-linknett: 128.39.70.168/30
    - 128.39.70.169 brukes ved HiG
    - 128.39.70.170 brukes ved FSI
  - IPv6-linknett: 2001:700:0:8074::/64
    - 2001:700:0:8074::1 brukes ved HiG
    - 2001:700:0:8074::2 brukes ved FSI





FAGSKOLEN IN N L A N D E T

(vtre servernett)

(indre servernett)

(IT-kontornett)

(IT-lekenett)

FAGSKOLEN

#### Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- I dag er de fleste brukere ved FSI kasta over i nettet til Oppland fylkeskommune (OFK)
- Dette skjedde etter ombygginga av skolen 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 som tilbyr 128.39.194.192/27 og 2001:700:1100:8008::/64
- Førsteklasse data ønsker det samme tilbudet: så vi får se ...



19. februar 2015 29 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag

### Kort om IPv6

IPv6 andre steder i Norge

- Mesteparten av Uninett og deres kunder bruker IPv6
- Oppland FK har ingen planer om å innføre IPv6
- Hordaland FK har satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2a02:20a0:0:3::81:130
- Vest-Agder FK har også satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2001:67c:28ac:1::2
- Nasjonal kommunikasjonsmyndighet har satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2a02:228:105:d000::10
- VG tok IPv6 i bruk i 2010. 2001:67c:21e0::16
- Amedia AS' (tidl. A-pressen) mange (nett)aviser ble tilgjengelig med IPv6 samtidig med VG

#### Kort om IPv6

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser (dual-stack)
- 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 for kjerneswitchen som er L3-router for nettverket ved FSI
  - Gamle basestasjoner (AIR-LAP1231G-E-K9) og gammel WLAN-kontroller (AIR-WLC4402-25-K9)
    - Den nyeste WLAN-kontrolleren (AIR-CT5508-K9) og de nyere basestasjonene (AIR-LAP1242AG-E-K9) er dytta inn i OFK-nettet
  - UPS-er
  - Skrivere
  - VPN-klienter



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 30 / 182

### Del II

### IPv6-header





#### Oversikt over del 2: IPv6-header I

- 8 IPv6-header
  - Flow Label
- Utvidelsesheadere
  - Hop-by-hop Options Header
  - Destination Options Header
  - Routing Header
  - Fragment Header
  - Authentication Header
  - Encapsulating Security Payload
  - Mobility Header



#### IPv6-header

#### IPv4-header

# IPv6-header



FAGSKOLEN In n landet

## IPv6-header

#### IPv4-header IPv6-header Type of Service Total Length Traffic Class Flow Label Fragment Offset Payload Length Next Header Hop Limit Identification Header Checksum Protocol Source Address Source Address Destination Address Options & Padding elter som er beholdt i IPv6 Destination Address Felter som er fjernet fra IPv6 avn og plassering er forskjellig for IPv6 \$Ximalas: trunk/IPv4-vs-IPv6.svg 97 2014-09-29 13:04:08Z trond \$ Nytt felt i IPv6

- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (40/20 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, se neste slide
- 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 35 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 36 / 3

FAGSKOLEN IN N LANDET

### IPv6-header

#### Flow Label

- Flow Label-feltet kan brukes av sanntidsapplikasjoner
- Flow Label-verdien angir pakker som tilhører samme sesjon
- Routere bør videresende pakker med samme verdi i Flow Label-feltet fra samme avsender på samme grensesnitt, slik at rekkefølgen bevares
- Verdien 0 (null) brukes for individuelle pakker
- Routere bør videresende pakker med 0 i Flow Label-feltet fra samme avsender på samme grensesnitt, slik at rekkefølgen bevares
- Tilfeldig valgte verdier brukes for pakker som hører sammen
- Flow Label-feltet kan også brukes til å smugle data sammen med legitim trafikk, eller merke slik trafikk, se avsnitt 6.1 i RFC 6437
- Se RFC 2460, RFC 3595, RFC 6294, RFC 6436 og RFC 6437



# Utvidelsesheadere

- Utvidelsesheaderne finnes i stort antall:
  - Hop-by-hop Options Header
  - 2 Destination Options Header
  - 8 Routing Header
  - Fragment Header
  - Authentication Header
  - 6 Encapsulating Security Payload
  - Mobility Header
- Se RFC 2460, RFC 4302, RFC 4303, RFC 6275 og RFC 7045



øl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. febr

#### Utvidelsesheadere

Hop-by-hop Options Header

- Protokollnummer: 0
- Hop-by-hop Options Header må komme før andre Options Headere og før payload
- Alle ledd bør undersøke Hop-by-hop Options Header og dens innhold
- Høyhastighetsroutere vil enten ignorere H-b-H eller la en saktegående routingprosess ta seg av slike pakker

#### Utvidelsesheadere

Hop-by-hop Options Header

- Valgene Pad1 og PadN er definert i RFC 2460
- Andre valg: Jumbo Payload (RFC 2675), RPL Option (RFC 6553), Tunnel Encapsulation Limit (RFC 2473), Router Alert (RFC 2711), Quick-Start (RFC 4782), CALIPSO (RFC 5570), SMF\_DPD (RFC 6621), Home Address (RFC 6275), ILNP nonce (RFC 6744), Line-Identification Option (RFC 6788), IP DFF (RFC 6971)
- Ref :





#### Utvidelsesheadere

Destination Options Header

• Protokollnummer: 60

#### FAGSKOLEN IN N L A N D E T

### Utvidelsesheadere

Routing Header

Protokollnummer: 43



### Utvidelsesheadere

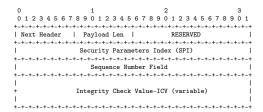
Fragment Header

+-								
-1	Next He	ader	1	Reserved	1	Fragment	Offset	Res M
+-								
Identification								
+-								

Protokollnummer: 44

## Utvidelsesheadere

Authentication Header



• Protokollnummer: 51





#### Utvidelsesheadere

**Encapsulating Security Payload** 

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2

• Protokollnummer: 50



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 45 / 182

# Del III

### IPv6 over Ethernet

### Utvidelsesheadere

Mobility Header

+-+-+-+	-+-+-+-+-+	-+-+-+-	+-+-+-	-+-+	-+-+-+	-+-+-	+-+-+	-+-+-+-+	-+-
Paylo	ad Proto	Header	Len	1	мн ту	pe	- 1	Reserved	
+-+-+-+	-+-+-+-+-+	-+-+-	+-+-+-	+-+	-+-+-+	-+-+-	+-+-+	-+-+-+-+	-+-
1	Checksu	ım		1					
+-+-+-+	-+-+-+-+-+	-+-+-	+-+-+-	+					
1									
		Me	ssage	Dat	a.				
1									
+-+-+-+	-+-+-+-+-+	-+-+-	+-+-+-	+-+	-+-+-+	-+-+-	+-+-+	-+-+-+-+	-+-

• Protokollnummer: 135



### Oversikt over del 3: IPv6 over Ethernet I

10 IPv6 over Ethernet

IPv6 over andre lag-2-typer





#### 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
- 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)



### IPv6 over andre lag-2-typer

• FDDI: RFC 2467

Token Ring: RFC 2470

Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks: RFC 2491

ATM: RFC 2492
 ARCnet: RFC 2497
 Frame Relay: RFC 2590

• IEEE 1394 (FireWire): RFC 3146

• Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN): RFC 4919

Point-to-point protocol (PPP): RFC 5072
Brevduer: RFC 6214, basert på RFC 1149

#### IPv6 over Ethernet

Programmet Wireshark fremstilte følgende lag-2-informasjon om en utsendt IPv6-pakke:

- 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 etter i lag 3



#### Del IV

Grunnleggende om adresser





Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 51 /

T Endrestal (ESI/IT) IPu6-foredrag 19 februar 2015 52

### Oversikt over del 4: Grunnleggende om adresser I

- Grunnleggende om adresser
- Adressedemo
- MAC-48-adresser
- 15 Modda IEEE EUI-64-format
- 16 Manuell grensesnittidentifikator
- Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser
- 19 Duplicate Address Detection DAD



 • 128 bit

Heksadesimal notasjon

Grunnleggende om adresser

- 16 og 16 bit grupperes og adskilles med kolon
- Ledende nuller kan sløyfes
- To eller flere sammenhengende 16-bitblokker med nuller kan slås sammen til :: (dobbelkolon), bare én gang pr. adresse
- Prefikslengde angis ved å sette på en skråstrek og oppgi riktig antall av signifikante bit fra venstre mot høyre i adressa
  - Dette er helt likt CIDR-notasjon for IPv4 (RFC 4632)



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 54 / 182

#### 19. ICDI dai 2013 34 / 102

### 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 i IT-avdelingen@FSI:

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 i IT-avdelingen@FSI:

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





Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 55 /

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

.9. februar 2015

56 / 182

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 i IT-avdelingen@FSI:

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 i IT-avdelingen@FSI:

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



IPv6-foredrag

19. februar 2015 58 / 182

FAGSKOLEN IN N L A N D E T

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 57 / 182

T. Endrestøl (FSI/IT)

### 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 i IT-avdelingen@FSI:

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 i IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E





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

Uninett:

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

• FSI:

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

IT-avdelingen@FSI:

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

• Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:

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 i IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

FAGSKOLEN INNLANDET

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 61 / 182

IPv6-foredrag

19. februar 2015 62 / 182

FAGSKOLEN IN N LAND ET

### Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Kompakt form

Uninett:

2001:700::

• FSI:

2001:700:1100::

IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3::

• Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

## Grunnleggende om adresser

T. Endrestøl (FSI/IT)

Adressedemo: Vis prefikslengde

Uninett:

2001:700::/32

FSI:

2001:700:1100::/48

IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3::/64

• Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128





19. februar 2015 63 / 182

Adressedemo: Kompakte adresser med prefikslengde

Uninett:

2001:700::/32

FSI:

2001:700:1100::/48

IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3::/64

• Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:

2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 65 / 182

### 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:

(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



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 66 / 182

### Grunnleggende om adresser

MAC-48-adresser

- Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E.
- CC-oktetten har verdien 00

(heksadesimalt)

(CCCCCCug)

FAGSKOLEN

- Vi ser at både u- og g-bitene er satt til 0
- Dette er en MAC-48-adresse som:

På binær form er dette 00000000

- følger det vanlige mønsteret med produsent- og løpenummer
- angir en individuell node
- er produsert av «Dell Inc» ifølge OUI-lista hos IEEE (søk i fila etter 00-21-70)

# Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- Unicast-adresser består av 2 ting:
  - Prefiks
  - Grensesnittidentifikator
- Bestemt av RFC 4941
- Grensesnittidentifikatorer er alltid på 64 bit
  - Dette gjelder ikke for adresser som starter på 000 (binært)
- Grensesnittidentifikatorer kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig
- Angis grensesnittidentifikatoren manuelt, så angis som regel en fullstendig IPv6-adresse
- Grensesnittidentifikatorer følger IEEE EUI-64-formatet med to unntak:
  - Universal/local-bitet brukes med invertert betydning/verdi
    - Gruppebitet mister sin vanlige betydning i forbindelse med grensesnittidentifikatorer
  - Oktettene på midten skal være FF:FE ved automatisk konvertering fra MAC-48 til EUI-64



Modda IEEE EUI-64-format

• Grensesnittidentifikatorer lages fra MAC-48-adresser etter oppskriften i RFC 4291:

• Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E

• Invertér universal/local-bitet: 02:21:70:73:68:6E

• Før: 00 (heksadesimalt) = 00000000 (binært)

• Etter: 00000010 (binært) = 02 (heksadesimalt)

• Sett inn FF:FE på midten: 02:21:70:FF:FE:73:68:6E

• Ta bort overflødig kolon og nuller: 221:70FF:FE73:686E

• Høyreskift hele stasen: ::221:70FF:FE73:686E

• Nå er grensesnittidentifikatoren klar til å bli kombinert med ønsket prefiks

• Prefiks annonsert av router: 2001:700:1100:3::/64

• Fullstendig adresse: 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- OBS! Arbeidsuhell!
- Det skulle egentlig ha vært FF:FF i stedet for FF:FE
  - MAC-48 → EUI-64 skal bruke FF:FF
  - EUI-48 → EUI-64 skal bruke FF:FE
- Se http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/eui.pdf
- Fordi IPv6 bruker universal/local-bitet med invertert betydning/verdi, så er arbeidsuhellet akseptert
- Se RFC 4291
- IEEE 802.15 WPAN, IEEE 1394 FireWire, og ZigBee bruker EUI-64-adresser i lag 2



 IPv6-foredrag 19. februar 2015 70 / 182

### Grunnleggende om adresser

Manuell grensesnittidentifikator

- Manuell grensesnittidentifikator innebærer at universal/local-bitet som regel er satt til 0
- De øvrige 63 bitene kan være hva som helst, bare verdien ikke skaper adressekollisjon i samme VLAN
- Normalt bruker man manuelle grensesnittidentifikatorer satt til lave verdier
- For eksempel ::53 (DNS-tjener, kanskje)
- Samme eksempel, men med et vilkårlig prefiks: 2001:db8:1234:8::53

### Grunnleggende om adresser

T. Endrestøl (FSI/IT)

Manuell grensesnittidentifikator

• Lav verdi for grensesnittidentifikatorer gjør at universal/local-bitet blir satt til null:

• ::53 (heksadesimalt)

• Veldig praktisk for lokalgitte adresser, ikke sant?

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

• ::0200:0:0:53

(heksadesimalt)

• ::000000<mark>1</mark>000000000:00 ... 00:000000001010011

(binært)

- Tungvint og upraktisk, ikke sant?
- Se her:
  - 2001:db8:1234:1:0200:0:0:53 vs
  - 2001:db8:1234:1::53
  - Ja til den siste, nei til den forrige

FAGSKOLEN Y

FAGSKOLEN IN N L A N D E T

Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 71 /

SI/IT) IPv6-f

19. februar 2015

Manuell grensesnittidentifikator

• Det er ingenting i veien for å «kode» IPv4-adressa inn i IPv6-adressa:

• 2001:700:1100:3:128:39:174:67 (excelsior.fig.ol.no)

• Man må bare passe på verdien til universal/local-bitet

• 128 = 0 1 2 8 = 0000 0001 0010 1000 (heks, heks, bin)

• u-bitet er 0, altså en lokalgitt adresse

Dette gikk bra!

### FAGSKOLEN X

### Grunnleggende om adresser

Manuell grensesnittidentifikator

- Verdiene
  - 0000 = 0,
  - 0001 = 1,
  - 0100 = 4,
  - 0101 = 5,
  - 1000 = 8,
  - 1001 = 9,
  - 1100 = C og
  - 1101 = D,
- gir alle 0 i u-bitet



### Grunnleggende om adresser

Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds D531-læppis:
  - 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E (IT-avdelingen@FSI) • 2001:700:1D00:8:221:70FF:FE73:686E (public-nettet@HiG)
- RFC 4941 beskriver bruk av tilfeldig grensesnittidentifikator
- Med tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - 2001:700:1100:3:B9D9:B729:6CDD:4E5
     2001:700:1D00:8:B9D9:B729:6CDD:4E5
     (IT-avdelingen@FSI)
     (public-nettet@HiG)
- Disse byttes ut typisk hver dag:
  - 2001:700:1100:3:F503:1E6F:5F2F:F5F2
     2001:700:1D00:8:F503:1E6F:5F2F:F5F2
     (IT-avdelingen@FSI)
     (public-nettet@HiG)
- Man må bare passe på u/l-bitet og passe seg for adressekollisjon

## Grunnleggende om adresser

Tilfeldig grensesnittidentifikator

- RFC 4941 angir en metode for generering av tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - Sett sammen historisk verdi fra forrige runde (eller et tilfeldig 64-bit heltall) med den konstante grensesnittidentifikatoren til et 128-bit heltall
  - 2 Beregn MD5-hash av resultatet fra trinn 1
  - Bruk de 64 mest signifikante bitene og sett det sjuende mest signifikante bitet til null (dette indikerer en 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 denne algoritmen brukes





Spesialadresser

- Nulladressa:
  - 0:0:0:0:0:0:0:0/128 eller ::/128
    - 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»)
  - 0:0:0:0:0:0:0:0/0 eller ::/0
    - Brukes for å angi default route
  - Tilsvarer 0.0.0.0/32 og 0/32, og 0.0.0.0/0 og 0/0 i IPv4



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 77 / 182

# Grunnleggende om adresser

Spesialadresser

- Dokumentasjonsprefiks: 2001:db8::/32
  - Brukes for beskrivelse av IPv6-oppsett i lærebøker og annen generell dokumentasjon (RFC 3849)
  - Forbudt å bruke på det offentlige internettet
  - Bør blokkeres i inngående og utgående ACL-er for internettgrensesnittet til routere

### Grunnleggende om adresser

Spesialadresser

- Loopbackadressa: 0:0:0:0:0:0:0:1/128 eller ::1/128
  - Velkjent adresse for å snakke med tjenester i samme node
  - Tilsvarer 127.0.0.1/32 i IPv4



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 78 / 182

### 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\_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
- RFC 6890 inneholder en oversikt over alle spesialadresser for både IPv4 og IPv6





Duplicate Address Detection — DAD

- Når en unicast-adresse er generert skal man alltid sjekke at ingen andre bruker den samme
- Dette gjøres ved å sende en «ICMPv6 Neighbor Solicitation-melding» til den genererte adressas «Solicited-node multicast address»
- ICMPv6-meldinga inneholder den genererte adressa i feltet for «Target Address» (RFC 4861)
- En «Solicited-node multicast address» er på formen FF02::1:FFaa:bbcc, hvor aabbcc er de 24 minst signifikante bitene fra den opprinnelige adressa (RFC 4291)
- Sett at den genererte adressa er 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E
- «Solicited-node multicast address» vil da være FF02::1:FF73:686E
- Vanligvis kommer det ikke noe svar på slike ICMPv6-meldinger . . .



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 81 / 182

### Del V

# Adressetyper

### Grunnleggende om adresser

Duplicate Address Detection — DAD

- ... trodde vi ...
- «Danger, Will Robinson!»
- Det er et stort potensiale for Denial of Service DoS

(RFC 3756)

- En «slabbedask» kan velge å svare på DAD og nekte oss å bruke enhver adresse
- Svaret kommer i form av en «ICMPv6 Neighbor Advertisement»-melding som forteller oss at en annen node bruker den samme adressa (RFC 4862)
- Resultat: «slabbedasken» kan bruke nettverket uforstvrra
- Dersom det er 2 eller flere «slabbedasker» i samme nettverk, hva da?
- Problemet kan løses med «SEcure Neighbor Discovery» (SEND), RFC 3971



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 82 / 182

### Oversikt over del 5: Adressetyper

- 20 Adressetyper
- 2 Link-local-adresser
- 22 Site-local-adresser
- Offentlige unicast-adresser
- 24 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 25 Anycast-adresser
- 26 Multicast-adresser



FAGSKOLEN T

- 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

19. februar 2015 85 / 182

Prefiks: FE80::/10

Definert: RFC 4291

Bruksområde:

Adressetyper Link-local-adresser

De neste 54 bitene skal settes til null

Kan brukes i ad-hoc-nett

• De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format

• Blir ikke videresendt av routere til andre VLAN eller til internett

Eksempel: FE80::221:70FF:FE73:686E

Lokal kommunikasjon internt i VLAN-et

• Sentral for autokonfigurasjon (av unicastadresser)



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 86 / 182

#### Adressetyper

Site-local-adresser

- Definert: RFC 3513
- Bruksområde: private adresser på lik linje med RFC 1918
- Prefiks: FEC0::/10
- De neste 54 bitene brukes til subnet-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: FEC0::DEAD:BEEF:1337
- Ikke bruk site-local-adresser (RFC 3879)
- Site-local-adresser er erstatta med ULA (RFC 4193)

### Adressetyper

Offentlige unicast-adresser

- Definert: RFC 4291 og RFC 3587
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon på det offentlige internett
- Prefiks: 2000::/3
- De neste bitene allokeres hierarkisk, minimum i 4-bitblokker, men gjerne i 8- eller 16-bitblokker
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Det er vanlig at kundene blir tildelt /48- eller /56-bits prefiks av ISP-ene:
  - /48-bits prefiks gir 128 64 48 = 16 subnetbit  $\rightarrow 2^{16} = 65536$  subnett
  - /56-bits prefiks gir 128 64 56 = 8 subnetbit  $\rightarrow 2^8 = 256$  subnett
- Eksempel: 2001:700:1100:1::1/128





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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 89 / 182

#### Adressetyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

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



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 90 / 182

#### Adressetyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- SixXS tilbyr bl.a.:
  - Generaring av ULA-prefiks: http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/
  - Registrering av ULA-prefiks: http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/list/
- George Michaelson, seniorforsker ved APNIC, har oppdaget ULA-adresser i fri dressur ute på internett:
  - Tydeligvis klarer ikke folk å lese RFC-ene og holde seg til de fastsatte reglene
  - http://www.sixxs.net/archive/docs/IEPG2013\_ULA\_in\_the\_wild.pdf

### Adressetyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Her er algoritmen fra RFC 4193 for å generere de 40 tilfeldige bitene:
  - 1 Uttrykk nåværende øyeblikk som et 64-bit heltall i NTP-format (RFC 5905)
  - 2 Bruk en EUI-64-identifikator fra systemet som kjører denne algoritmen
    - Mangler du en EUI-64-identifikator, så kan du lage en fra en 48-bit MAC-adresse som angitt i
    - Kan du ikke lage en EUI-64-identifikator, så bruk en annen unik verdi som serienummeret til systemet
  - 3 Sett sammen de to 64-bit heltallene til et 128-bit heltall
  - 4 Beregn en SHA-1-hash som beskrevet i RFC 3174. Resultatet er et heltall på 160 bit
  - 5 Bruk de 40 minst signifikante bitene som global identifikator
- Har man tilgang på tilfeldige tall av god kvalitet, så kan man bruke de i stedet for metoden over





Anycast-adresser

• Definert: RFC 4291

- Bruksområde: felles adresse for distribuerte tjenester, routerne bestemmer hvilken server som er nærmest og sender trafikken dit
- Prefiks: ingen, allokeres fra dine egne unicast-adresser og markeres som en anycast-adresse hos routerne og serverne
- Alle IPv6-adresser hvor alle bit i grensesnittidentifikatoren satt til null, er reservert som «Subnet-Router anycast address»
- Denne anycast-adressa brukes når man vil kontakte én av potensielt flere routere i subnettet der du er
- Eksempel: 2001:700:1100:1::/128 anycast
- Se også RFC 2526



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 93 / 182

# Definert: RFC 4291

• Bruksområde: én-til-mange-kommunikasjon

• Prefiks: FF::/8

Adressetyper

Multicast-adresser

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

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



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

#### 19. februar 2015 94 / 182

### Adressetyper

Multicast-adresser

Flaggene heter ORPT

- (null, err, pe, te)
- Flagget T angir med 0 at adressa er velkjent (definert av IANA), og med 1 at adressa er midlertidig (lokalt definert)
- Flagget P angir med 1 at adressa inneholder et unicast-prefiks og skal følge reglene i **RFC 3306**
- Flagget R angir med 1 at adressa også inneholder et møtepunkt («rendezvous point») og skal følge reglene i RFC 3956
- Flaggene P og R gjør det enkelt å lage egne multicast-adresser for internt bruk i organisasjonen
- Bruk av flaggene R, P og T gjennomgås i detalj i del 10

### 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





Multicast-adresser

- Noen kjente IPv6-multicastadresser:
  - FF02::1 All nodes on the local network segment
  - FF02::2 All routers on the local network segment
  - FF02::5 OSPFv3 All SPF routers
  - FF02::6 OSPFv3 All DR routers
  - FF02::8 IS-IS for IPv6 routers
  - FF02::9 RIP routers
  - FF02::A EIGRP routers
  - FF02::D PIM routers
  - FF02::16 MLDv2 reports
  - FF02::1:2 All DHCP servers and relay agents on the local network segment
  - FF02::1:3 All LLMNR hosts on the local network segment
  - FF05::1:3 All DHCP servers on the local network site
  - FF0x::C Simple Service Discovery Protocol
  - FF0x::FB Multicast DNS
  - FF0x::101 Network Time Protocol
  - FF0x::108 Network Information Service
  - FF0x::114 Used for experiments



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 97 / 182

### Del VI

### DNS

#### Adressetyper

Multicast-adresser

- Kobling av multicast-adresser til lag-2-adresser:
  - Eksempel:
    - IPv6: FF02::1 = FF02::0000:0001
    - MAC-48: 33:33:00:00:00:01
    - De 32 minst signifikante bitene kopieres fra IPv6-adressa og til MAC-48-adressa
    - Dette gir en viss overlapp for de multicast-adresser som tilfeldigvis slutter på de samme 32
    - Det går ganske bra i praksis
    - Se RFC 2464 og RFC 6085



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 98 / 182

### Oversikt over del 6: DNS I

27 AAAA og PTR





FAGSKOLEN IN N LANDET





FAGSKOLEN Y

#### DNS

#### AAAA og PTR

Navn-til-IPv6-adresser bruker AAAA-poster

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

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

```
$ORIGIN 1.0.0.0.0.0.1.1.0.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa.
4.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0 IN PTR svabu.fig.ol.no.
```

Se RFC 3596



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 101 / 182

#### DNS

A6

- A6-poster var foreslått som erstatning for AAAA-poster av RFC 2874, men er endret til eksperimentell av RFC 3363
- RFC 3364 diskuterer fordeler og ulemper med AAAA og A6
- En A6-post består av 2-3 ting:
  - Prefikslengde fra og med 0 til og med 128
  - 2 Utdrag av IPv6-adressa
  - 3 Navn som henviser til resten av adressa
- Settes prefikslengda til:
  - 0, så er det ikke lov å oppgi noen henvisning, fordi dette navnet er det øverste eller det eneste nivået i en kiede
  - 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 102 / 182

#### DNS

- Avsnittene 3.1.1 og 3.1.3 i RFC 2874 er ikke enige med hverandre når prefikslengda settes til 128
  - Avsnitt 3.1.1:
    - The address suffix component SHALL NOT be present if the prefix length is 128.
  - - The IPv6 address MAY be be[sic] absent if the prefix length is 128.
- Med andre ord, avsnitt 3.1.1 forbyr IPv6-adresse når prefikslengda er 128, mens avsnitt 3.1.3 sier at IPv6-adresse kan utelates i det samme tilfellet.
- Er det noe rart at noen av oss kan bli forvirra?

### DNS

A6

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN ip6.uninett.no. uninett IN A6 0 2001:700:: IN A6 32 0:0:1100:: uninett fig \$ORIGIN fig.ol.no. ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.

svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6

• Vi vil vite IPv6-adressa for svabu.fig.ol.no. og vi vil bruke A6-poster for å finne svaret





#### DNS

A6

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.

svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6

- Forklaring:
  - svabu.fig.ol.no. oppgir :: 4, mangler de 64 mest signifikante bitene og henviser til ext-servere.ip6.fig.ol.no.



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. oppgir 0:0:1100::, mangler de 32 mest signifikante bitene og henviser til uninett.ip6.uninett.no.

#### DNS

A6

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.

```
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
```

- Forklaring:
  - ext-servere.ip6.fig.ol.no. oppgir 0:0:0:1::, mangler de 48 mest signifikante bitene og henviser til fig.ip6.uninett.no.



Endroctel (ESI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 106 / 182

edrag 1

### DNS

A6

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.

```
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
```

```
$ORIGIN ip6.uninett.no.
```

```
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett uninett IN A6 0 2001:700::
```

• Forklaring:

• Kjeden slutter med uninett.ip6.uninett.no. og her angis de 32 mest signifikante bitene, 2001:700::





. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 107 /

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015

A6

• Et tenkt eksempel med A6:

• \$ORIGIN fig.ol.no.

svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6 ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.

\$ORIGIN ip6.uninett.no.

IN A6 32 0:0:1100:: uninett

uninett IN A6 0 2001:700::

• Vi har påvist følgende adressekjede:

• 0000:0000:0000:0000::4

• 0000:0000:0000:0001::

• 0000:0000:1100:0000::

• 2001:0700:0000:0000::

• Bitvis-OR gir den fullstendige adressa 2001:700:1100:1::4

FAGSKOLEN IN N LANDET

svabu.fig.ol.no.

fig.ip6.uninett.no.

ext-servere.ip6.fig.ol.no.

uninett.ip6.uninett.no.

T. Endrestøl (FSI/IT) 19. februar 2015 109 / 182 Del VII

### ICMPv6



110 / 182

### Oversikt over del 7: ICMPv6 I

- 29 ICMPv6
- 30 Multicast Listener Discovery
- Meighbor Discovery
- Router Renumbering
- Node Information
- 34 Inverse Neighbor Discovery
- 35 Version 2 Multicast Listener Report
- 36 Mobile IPv6
- 37 SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 38 Experimental Mobility Type
- Multicast Router Discovery
- 40 FMIPv6
- 41 RPL Control Message
- 42 ILNPv6 Locator Update Message
- 43 Duplicate Address



ICMPv6

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

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
| Type | Code | Checksum
Message Body
```



- Fra RFC 4443
- 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

(ping)

• 129: Echo reply

• 200: Private eksperimenter

• 201: Private eksperimenter

• 255: Reservert for utvidelse av informative meldinger



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 113 / 182

(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

IPv6-foredrag

Brukes for å fortelle routere hvilke multicastadresser man vil motta trafikk for

19. februar 2015 114 / 182

FAGSKOLEN IN N L A N D E T

#### **Neighbor Discovery**

ICMPv6

• Definert: RFC 4861

- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
  - 133: Router Solicitation
  - 134: Router Advertisement
  - 135: Neighbor Solicitation
  - 136: Neighbor Advertisement
  - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere
- Neighbor Discovery gjennomgås i detalj i del 8

#### ICMPv6

Router Renumbering

Definert: RFC 2894

T. Endrestøl (FSI/IT)

- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 138: Router Renumbering
- RFC 2894 angir følgende underkoder:
  - 0: Router Renumbering Command
  - 1: Router Renumbering Result
  - 255: Sequence Number Reset





#### Node Information

- Definert: RFC 4620
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 139: Node Information Query
  - 140: Node Information Reply
- RFC 4620 angir følgende underkoder for type 139:
  - 0: Datafeltet inneholder en IPv6-adresse
  - 1: Datafeltet inneholder et navn
  - 2: Datafeltet inneholder en IPv4-adresse
- RFC 4620 angir følgende underkoder for type 140:
  - 0: Vellykket svar
  - 1: Svaret vil ikke bli avslørt
  - 2: Underkoden i forespørselen er ukjent



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 117 / 182

#### 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



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 118 / 182

### ICMPv6

Version 2 Multicast Listener Report

- Definert: RFC 3810
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 143: Version 2 Multicast Listener Report
- Utvider MLDv1 (RFC 2710) med slik at bare bestemte avsendere er interessante (Source-Specific Multicast, RFC 3569)

### 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
- Brukes for å tilrettelegge for digitale nomader





SEcure Neighbor Discovery (SEND)

- Definert: RFC 3971
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 148: Certification Path Solicitation
  - 149: Certification Path Advertisement
- Med SEND unngås DoS-problemene til Neighbor Discovery
- Routerne deler ut kryptografisk genererte adresser RFC 3972
- Dette krever sertifikatstruktur (RPKI, RFC 6494) i routere og i klienter
- Ikke implementert i Cisco IOS 12.2(55)SE for Catalyst 3560G
- Ikke spesielt aktuelt for FSI, for annet enn ansattnett, på grunn av den administrative byrden



# ICMPv6

Experimental Mobility Type

- Definert: RFC 4065
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 150: Experimental Mobility Type
- «The Seamoby Candidate Access Router Discovery (CARD) protocol [RFC 4066] and the Context Transfer Protocol (CXTP) [RFC 4067] are experimental protocols designed to accelerate IP handover between wireless access routers»



### ICMPv6

Multicast Router Discovery

- Definert: RFC 4286
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
  - 151: Multicast Router Advertisement
  - 152: Multicast Router Solicitation
  - 153: Multicast Router Termination
- Catalyst 3560G har ikke støtte for annet enn IPv4-multicast
- Ved FSI har vi ikke fått testet IPv6-multicast

### ICMPv6

FMIPv6

- Definert: RFC 5568
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 154: FMIPv6, Fast handovers, Mobile IPv6





RPL Control Message

• Definert: RFC 6550

• Angir én ny ICMPv6-melding:

• 155: RPL Control Message

• IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks



IPv6-foredrag T. Endrestøl (FSI/IT) 19. februar 2015 125 / 182

#### ICMPv6

ILNPv6 Locator Update Message

Definert: RFC 6743

Angir én ny ICMPv6-melding:

• 156: ILNPv6 Locator Update Message

Identifier-Locator Network Protocol

• En eksperimentell måte å håndtere digitale nomader



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 126 / 182

#### ICMPv6

**Duplicate Address** 

- Definert: RFC 6775
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 157: Duplicate Address Request
  - 158: Duplicate Address Confirmation
- Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs)

### Del VIII

# Neighbor Discovery





### Oversikt over del 8: Neighbor Discovery I

- 44 Router Solicitation
- 45 Router Advertisement
- 46 Neighbor Solicitation
- 47 Neighbor Advertisement
- 48 Redirect

FAGSKOLEN IN N LANDET

T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag 19. februar 2015 129 / 182

# **Neighbor Discovery**

Router Solititation

```
Internet Control Message Protocol v6
   Type: Router Solicitation (133)
   Code: 0
   Checksum: 0xc065 [correct]
   Reserved: 00000000
   ICMPv6 Option (Source link-layer address: 00:21:70:73:68:6e)
       Type: Source link-layer address (1)
       Length: 1 (8 bytes)
       Link-layer address: Dell_73:68:6e (00:21:70:73:68:6e)
```

- Avsenders IPv6-adresse er enten ::/0 eller en av utgående grensesnitts IPv6-adresser
- Mottakers IPv6-adresse er vanligvis FF02::2
- «Hop Limit» i IPv6-headeren skal settes til 255
- Det er god sedvane å angi sin egen lag-2-adresse i ICMPv6-meldinga

### **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



IPv6-foredrag

19. februar 2015 130 / 182

### **Neighbor Discovery**

Router Advertisement

MTU: 1500

```
Internet Control Message Protocol v6
    Type: Router Advertisement (134)
   Code: 0
   Checksum: Oxfa8c [correct]
   Cur hop limit: 64
    Flags: 0x48
       0... = Managed address configuration: Not set
       .1.. .... = Other configuration: Set
       ..O. .... = Home Agent: Not set
       ...0 1... = Prf (Default Router Preference): High (1)
       .... .O.. = Proxy: Not set
       .... ..0. = Reserved: 0
    Router lifetime (s): 1800
    Reachable time (ms): 0
    Retrans timer (ms): 0
    ICMPv6 Option (Source link-layer address: 00:17:e0:77:14:57)
       Type: Source link-layer address (1)
       Length: 1 (8 bytes)
       Link-layer address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
    ICMPv6 Option (MTU: 1500)
       Type: MTU (5)
       Length: 1 (8 bytes)
       Reserved
```

- Avsenders IPv6-adresse må være routerens link-local-adresse for utgående grensesnitt
- Mottakers IPv6-adresse er enten adressa til den noden som sendte «Router Solicitation» eller til FF02::1 for generell annonsering
- «Hop Limit» i IPv6-headeren skal settes til 255





### **Neighbor Discovery**

Router Advertisement

```
Internet Control Message Protocol v6
    Type: Router Advertisement (134)
    Code: 0
    Checksum: Oxfa8c [correct]
    Cur hop limit: 64
    Flags: 0x48
        0... = Managed address configuration: Not set
        .1.. .... = Other configuration: Set
        ..O. .... = Home Agent: Not set
        ...0 1... = Prf (Default Router Preference): High (1)
        .... .O.. = Proxy: Not set
       .... ..0. = Reserved: 0
    Router lifetime (s): 1800
    Reachable time (ms): 0
    Retrans timer (ms): 0
    ICMPv6 Option (Source link-layer address: 00:17:e0:77:14:57)
        Type: Source link-layer address (1)
        Length: 1 (8 bytes)
        Link-layer address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
    ICMPv6 Option (MTU: 1500)
       Type: MTU (5)
        Length: 1 (8 bytes)
        Reserved
        MTU: 1500
```

- Routeren er snill og oppgir:
  - Autokonfigurasjon av adresser skal utføres
  - Andre opplysninger er tilgjengelig med DHCPv6
  - Dette er ingen «Home Agent»
  - Routerens preferansenivå er «High»
  - Annonseringens levetid er 1800 s = 30 min
  - Routerens lag-2-adresse
  - Linkens MTU-verdi



IPv6-foredrag 19. februar 2015 133 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT)

### **Neighbor Discovery**

Router Advertisement

```
ICMPv6 Option (Prefix information: 2001:700:1100:3::/64)
    Type: Prefix information (3)
    Length: 4 (32 bytes)
   Prefix Length: 64
   Flag: 0xc0
       1... = On-link flag(L): Set
       .1.. .... = Autonomous address-configuration flag(A): Set
       ..0. .... = Router address flag(R): Not set
        ...0 0000 = Reserved: 0
    Valid Lifetime: 2592000
    Preferred Lifetime: 604800
    Prefix: it.ip6.fig.ol.no (2001:700:1100:3::)
```

- Routeren oppgir følgende om 2001:700:1100:3::/64
  - Prefikset er direkte tilgjengelig
  - Autokonfigurasjon er tillatt
  - Genererte adresser er gyldige i 30 dager, med foretrukket levetid på 7 dager



IPv6-foredrag 19. februar 2015 134 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT)

### **Neighbor Discovery**

**Neighbor Solititation** 

```
Internet Protocol Version 6, Src: 2001:700:1100:3:226:18ff:fef2:7240, Dst: ff02::1:ff52:67e2
   0110 .... = Version: 6
   .... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
   .... .... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
   Payload length: 32
   Next header: ICMPv6 (58)
   Hop limit: 255
   Source: pc226-02-w7.fig.ol.no (2001:700:1100:3:226:18ff:fef2:7240)
   Destination: ff02::1:ff52:67e2
Internet Control Message Protocol v6
   Type: Neighbor Solicitation (135)
   Code: 0
   Checksum: 0x4571 [correct]
   Reserved: 00000000
   Target Address: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
   ICMPv6 Option (Source link-layer address: 00:26:18:f2:72:40)
       Type: Source link-layer address (1)
       Length: 1 (8 bytes)
       Link-layer address: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
   • I dette tilfellet ville
```

- ① 2001:700:1100:3:226:18FF:FEF2:7240 sjekke om
- 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 fortsatt var i live
- Forespørselen ble sendt til «Solicited-node multicast-adressa» FF02::1:FF52:67E2



## **Neighbor Discovery**

Neighbor Advertisement

```
Internet Protocol Version 6, Src: 2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2, Dst: 2001:700:1100:3:226:18ff:fef2:7240
   0110 .... = Version: 6
   .... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
   .... .... 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
   Payload length: 32
   Next header: ICMPv6 (58)
   Hop limit: 255
   Source: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
   Destination: pc226-02-w7.fig.ol.no (2001:700:1100:3:226:18ff:fef2:7240)
Internet Control Message Protocol v6
   Type: Neighbor Advertisement (136)
   Code: 0
   Checksum: 0x157e [correct]
   Flags: 0x60000000
      0... = Router: Not set
      .1.. ... = Solicited: Set
      ..1. .... = Override: Set
      Target Address: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
   ICMPv6 Option (Target link-layer address: 00:0b:db:52:67:e2)
      Type: Target link-layer address (2)
      Length: 1 (8 bytes)
      Link-layer address: Del1EsgP_52:67:e2 (00:0b:db:52:67:e2)
```



19. februar 2015 135 / 182

### **Neighbor Discovery**

Neighbor Advertisement

- 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 sendte svar tilbake til
   2001:700:1100:3:226:18FF:FEF2:7240 med klar beskjed om at
  - Den er ikke en router
  - Dette er et svar på en forespørsel og ikke en tilfeldig annonsering
  - Gamle opplysninger om 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 skal slettes
  - Lag-2-adressa er stadig 00:0B:DB:52:67:E2

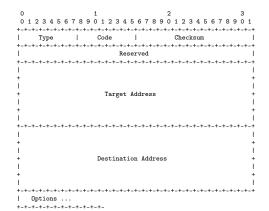


# Del IX

### DHCPv6

# Neighbor Discovery

Redirect



• Jeg har hittil ikke sett en eneste ICMPv6 redirect-melding



### Oversikt over del 9: DHCPv6 I

- 49 DHCPv6
- Meldinger
- 51 DHCP Unique Identifier
- 1 Identity association
- 53 Identity association identifier





#### DHCPv6

- DHCPv6 er definert i RFC 3315 med oppdateringer fra RFC 3319, RFC 3633, RFC 3646, RFC 3736, RFC 4361, RFC 5007, RFC 5494, RFC 6221, RFC 6422, RFC 6603, RFC 6644 og RFC 7083
- Kommunikasjonen foregår først med multicast og UDP, og kan senere bytte til unicast og
- Klientene bruker port 546 og serverne/relay-agentene bruker port 547
- Klientene bruker sin egen link-local-adresse som avsender og multicast-adressa FF02::1:2 som mottaker
- Relay-agentene videresender til multicast-adressa FF05::1:3, med mindre de kjenner og vil bruke unicast-adressa til serveren
- Serverne svarer med sin link-local-adresser som avsender og klientens link-local-adresse som mottaker



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 141 / 182

#### DHCPv6

#### Meldinger

- Solicit
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å oppdage servere
- Advertise
  - Fra server/relay til klient
  - Brukes for å varsle klienten om tjenestetilbudet
- Request
  - Fra klient til spesifikk server
  - Bruker for å etterspørre om adresser og andre opplysninger fra en bestemt server
- Confirm
  - Fra server/relay til klient
  - Brukes for å bestemme om tidligere oppgitt adresse fortsatt er gyldig



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 142 / 182

### DHCPv6

#### Meldinger

- Renew
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å fornye leieavtalen og oppdatere andre opplysninger
- Rebind
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes til annonsering i etterkant av en renew-melding, dersom det ikke kom noe svar på fornyelsen

#### DHCPv6

#### Meldinger

- Reply
  - Fra server til klient
  - Serveren sender tildelt adresse og andre opplysninger i en reply-melding som svar på solicit-, request-, renew- og rebind-meldinger
  - Serveren sender konfigurasjonsparametre i en reply-melding som svar på en information-request-melding
  - Serveren sender en reply-melding som svar på en confirm-melding for å bekrefte eller avkrefte at adressa tilordnet klienten er gyldig eller ikke
  - Serveren sender en reply-melding for å kvittere for mottatt release- eller decline-meldinger
- Release
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å frigjøre en utleid adresse





#### DHCPv6

Meldinger

- Decline
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å fortelle at en eller flere utdelte adresser allerede er tatt i bruk i nabolaget til klienten
- Reconfigure
  - Fra server til klient
  - Brukes for å gjøre klienten oppmerksom på nye opplysninger og at klienten må gjennomføre renew/reply- eller information-request/reply-transaksjoner for å få de nye opplysningene
- Information-request
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å be om konfigurasjonsparametre uten å bli tildelt en adresse



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 145 / 182

IPv6-foredrag

FAGSKOLEN IN N L A N D E T

T. Endrestøl (FSI/IT)

• Brukes av server for å videresende svar tilbake til klienter gjennom relay(kjeden)

• Brukes av relay for å videresende forespørsler fra klienter eller andre relay til en ny relay eller

19. februar 2015 146 / 182

### DHCPv6

DHCP Unique Identifier, DUID

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

#### DHCPv6

DHCPv6

Relay-forward

Relay-reply

server

• Fra relay til relay/server

• Fra server/relay til relay

Meldinger

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, DUID-EN
  - 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
- Denne verdien må slettes før man lager et image av oppsettet, ellers vil alle maskinene identifisere seg som den samme klienten
- Type 3 er enklere og mer forutsigbart, og er det beste valget for statisk tildeling av IPv6-adresse via DHCPv6, spesielt 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



### DHCPv6

Identity association, IA

- RFC 3315
- Bla, bla, bla

#### DHCPv6

Identity association identifier, IAID

- RFC 3315
- Bla, bla, bla





### Del X

### Avansert multicast

### Oversikt over del 10: Avansert multicast I

64 Multicastflaggene

65 Når T er satt til 1

66 Når PT er satt til 11

57 Når RPT er satt til 111





#### Avansert multicast

Multicast flaggene

- 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
- $\bullet$  Flaggene P og R gjør det enkelt å lage egne multicast-adresser for internt bruk i organisasjonen

## Avansert multicast

Når T er satt til 1



- Adresseformatet er gitt av RFC 4291
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi
- De 112 øvrige bitene kan settes fritt
- Eksempel:
  - FF12:DEAD:BEEF:CAFE:0:FACE:BOOC:1
  - En midlertidig, link-local multicast-adresse





# Avansert multicast

Når PT er satt til 11



- Adresseformatet er gitt av RFC 3306
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi, og rekkevidden skal ikke overskride utbredelsen av det angitte nettverksprefikset
- Feltet «plen» settes til prefikslengden til nettverksprefikset for subnettet ditt,
   0 < plen ≤ 64</li>
- Nettverksprefikset er unicast-prefikset for subnettet ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til RFC 3307



### 18

# Avansert multicast

Når RPT er satt til 111

- Adresseformatet er gitt av RFC 3956
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi, og rekkevidden skal ikke overskride utbredelsen av det angitte nettverksprefikset
- Feltet «RIID» settes til møtepunktets grensesnittidentifikator
  - Feltet «RIID» kan ikke være 0, for dette skaper konflikt med «Subnet-Router Anycast Address» fra RFC 3513
- Feltet «plen» settes til prefikslengden til nettverksprefikset for subnettet ditt,
   0 < plen < 64</li>
- Nettverksprefikset er unicast-prefikset for subnettet ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til RFC 3307



#### Avansert multicast

Når PT er satt til 11

- Eksempler:
  - FF3E:0030:2001:700:1100:0:1337:1337
  - Den første adressa er begrenset til internett (global, 48-bit)
  - FF38:0030:2001:700:1100:0:1337:1337
  - Den andre adressa er begrenset til FSI, gitt at FSI er utgangspunktet (organizational-local, 48-bit)
  - FF32:0040:2001:700:1100:3:1337:1337
  - Den tredje adressa er begrenset til IT-avdelingen ved FSI, gitt at IT-avdelingen er utgangspunktet (link-local, 64-bit)



19. februar 2015 158 / 182

T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag

#### Avansert multicast

Når RPT er satt til 111



- Eksempel:
  - FF78:0130:2001:700:1100:0:1337:1337
    - Denne adressa er begrenset til organization-local
    - Nettverksprefikset er 2001:700:1100::/48
    - Møtepunktets adresse er 2001:700:1100::1
    - Møtepunktets adresse må konfigureres på et loopbackgrensesnitt i Fagskolens ytterste IPv6-multicast-router
    - interface Loopback0 ipv6 address 2001:700:1100::1



F. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 159 / 182 T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 160 / 3

### Del XI

# Konfigurasjon av IPv6

### Oversikt over del 11: Konfigurasjon av IPv6 I



- 58 Cisco IOS
  - IPv6-unicast-routing
  - IPv6-multicast-routing
  - ACL-er
  - DHCPv6
- **59** OS-konfig



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 161 / 182

Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing

IPv6-foredrag

19. februar 2015 162 / 182

FAGSKOLEN IN N L A N D E T

### Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing

- configure terminal
- 2 sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 default

(Rekonfigurere TCAM)

- end
- 0 reload
- onfigure terminal
- ip routing

ipv6 unicast-routing

o no ipv6 source-route

(Er unødvendig i nyere IOS)

(Nødvendig for IP-routing i det hele tatt)

end

FAGSKOLEN Y

- 1 interface GigabitEthernet0/49
- 2 description Linknett mellom FiG og Uninett/HiG
- one of the state of the s
- 4 ip address 128.39.70.170 255.255.255.252
- ip access-group InetIPv4Inn in
- ip access-group InetIPv4Ut out
- ip pim sparse-mode
- ip igmp version 3
- 9 ipv6 address 2001:700:0:8074::2/64
- ipv6 nd ra suppress
- ipv6 traffic-filter InetIPv6Inn in
- ipv6 traffic-filter InetIPv6Ut out





### Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing

Default route:

```
ipv6 route ::/0 GigabitEthernet0/49 2001:700:0:8074::1
```

2 Nullroute linknettet, og offisielle og private adresser:

```
ipv6 route 2001:700:0:8074::/64 Null0
ipv6 route 2001:700:1100::/48  Null0
ipv6 route FD5C:14CF:C300::/48  Null0
```

3 Statisk routing av returtrafikk til VPN-klientene:

```
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A000::/52 Vlan29 2001:700:1100:F002::2
```



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 165 / 182

### Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing

- interface Vlan48
- 2 description Klasserom 100
- 3 ip address 128.39.194.193 255.255.255.224
- 4 ip access-group Vlan48IPv4UtTil out
- **5** ip helper-address 128.39.174.42
- ip pim sparse-dense-mode
- ip igmp version 3
- ipv6 address 2001:700:1100:8008::1/64
- ipv6 nd other-config-flag
- u ipv6 nd router-preference High
- ipv6 dhcp server offisiell
- ipv6 traffic-filter Vlan48IPv6UtTil out



T. Endrestøl (FSI/IT)

IPv6-foredrag

19. februar 2015 166 / 182

### Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing

Global konfigurasjon:

```
ipv6 multicast-routing
```

2 Begrense utbredelse av intern multicasttrafikk

```
interface GigabitEthernet0/49
ipv6 multicast boundary scope 8
```

Bare trafikk med rekkevidde større enn 8 slipper ut på og inn fra internett

### Konfigurasjon av IPv6 I

Cisco IOS: ACL-er

- configure terminal
- 2 ipv6 access-list access-list-name
- 3 deny | permit protocol {source-ipv6-prefix/prefix-length | any | host source-ipv6-address \} [operator port-number] {destination-ipv6-prefix/prefix-length | any | host destination-ipv6-address \ [operator port-number] [dest-option] [dest-option-type value] [dscp value] [flow-label value] [fragments] [hbh] [log] [log-input] [mobility] [mobility-type value] [reflect access-list-name] [routing] [routing-type value] [sequence value] [time-range name] [undetermined-transport]





# Konfigurasjon av IPv6 II

Cisco IOS: ACL-er

- deny | permit tcp { source-ipv6-prefix/prefix-length | any | host source-ipv6-address } [operator port-number] { destination-ipv6-prefix/prefix-length | any | host destination-ipv6-address \ [operator port-number] [ack] [dest-option] [dest-option-type value] [dscp value] [established] [fin] [flow-label value] [hbh] [log] [log-input] [mobility] [mobility-type value] [psh] [reflect access-list-name] [routing] [routing-type value] [rst] [sequence value] [syn] [time-range name] [urg]
- 6 deny | permit udp { source-ipv6-prefix/prefix-length | any | host source-ipv6-address } [operator port-number] {destination-ipv6-prefix/prefix-length | any | host destination-ipv6-address \ [operator port-number] [dest-option] [dest-option-type value] [dscp value] [flow-label value] [hbh] [log] [log-input] [mobility] [mobility-type value] [reflect access-list-name] [routing] [routing-type value] [sequence value] [time-range name]

FAGSKOLEN Y

T. Endrestøl (FSI/IT)

19. februar 2015 169 / 182

# Konfigurasjon av IPv6 III

Cisco IOS: ACL-er

- deny | permit icmp { source-ipv6-prefix/prefix-length | any | host source-ipv6-address } { destination-ipv6-prefix/prefix-length | any | host destination-ipv6-address \[ \{ icmp-type [icmp-code] \} \| icmp-message \] [dest-option] [dest-option-type value] [dscp value] [flow-label value] [log] [log-input] [mobility] [mobility-type value] [reflect access-list-name] [routing] [routing-type value] [sequence value] [time-range name]
- evaluate reflexive-access-list-name [sequence value]
- 1 remark comment
- exit Husk:  $operator \in \{ gt \mid lt \mid neq \mid eq \mid range \}$ reflect er bare gyldig for permit-regler



IPv6-foredrag

# Konfigurasjon av IPv6 IV

Cisco IOS: ACL-er

- interface interface-id
- ipv6 traffic-filter access-list-name {in | out}
- end

## Konfigurasjon av IPv6 V

Cisco IOS: ACL-er

- Alle IPv6-ACL-er har følgende 5 regler innebygget (eng. implicit) på slutten:
  - permit icmp any any nd-na
  - 2 permit icmp any any nd-ns
  - permit icmp any any router-advertisement
  - permit icmp any any router-solicitation
  - deny ipv6 any any
- Disse reglene tillater Neighbor Discovery, og blokkerer all annen IPv6-trafikk
- Dine egne regler kommer alltid før de 5 reglene over, og kanskje må du kopiere de innebygde reglene og gjøre dine egne justeringer, for eksempel slå på logging av blokkert trafikk





### Konfigurasjon av IPv6 VI

Cisco IOS: ACL-er

 Ønsker du logging av blokkert trafikk, men vil samtidig ikke blokkere Neighbor Discovery, så må du gjøre slik:

```
1 remark Øvrige regler kommer før denne linja
2 permit icmp any any nd-na
permit icmp any any nd-ns
permit icmp any any router-advertisement
permit icmp any any router-solicitation
6 deny ipv6 any any log
7 remark Her kommer de skjulte, implisitte reglene
1 permit icmp any any nd-na
permit icmp any any nd-ns
permit icmp any any router-advertisement
```

permit icmp any any router-solicitation

@ deny ipv6 any any



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. februar 2015 173 / 182

### FAGSKOLEN IN N LANDET

### Konfigurasjon av IPv6 Cisco IOS: DHCPv6

- ipv6 dhcp pool offisiell
  - dns-server 2001:700:1100:1::3
  - dns-server 2001:700:1100:1::2
  - domain-name fig.ol.no
  - sntp address 2001:700:1100:1::2
  - sntp address 2001:700:1100:1::3
  - sntp address 2001:700:1100:1::4
  - information refresh 0 2
- interface Vlan48
  - ipv6 dhcp server offisiell



IPv6-foredrag 19. februar 2015 174 / 182

#### Konfigurasjon av IPv6 Cisco IOS: DHCPv6

• ipv6 dhcp pool ULA

- dns-server 2001:700:1100:1::3
- dns-server 2001:700:1100:1::2
- domain-name fig.netlocal
- sntp address 2001:700:1100:1::2
- sntp address 2001:700:1100:1::3
- sntp address 2001:700:1100:1::4
- information refresh 0 2
- interface Vlan31
  - ipv6 dhcp server ULA

# 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 og Server 2003
  - DNS-oppslag sendes alltid over IPv4
  - Noe av AD-trafikken sendes alltid over IPv4
  - RDP-server i Server 2003 kan bare bruke IPv4
- IPv6 er påskrudd i Windows Vista, Server 2008 og nyere versjoner
  - DNS-oppslag kan nå sendes over IPv6
  - Nyere Windows kan fint fungere med bare IPv6
- Linux og \*BSD har hatt IPv6-støtte i lang tid
- Autokonfig med tilfeldig grensesnittidentifikator er det mest vanlige for skrivebordssystemer
- Manuell konfigurasjon er mest vanlig for serversystemer





# Konfigurasjon av IPv6

OS-konfig

- Windows:
  - netsh interface ipv6 set address "navn-på-grensesnitt" IPv6-adresse
  - netsh interface ipv6 set route ::/0 "navn-på-grensesnitt" routerens-IPv6-adresse
- Eksempel:
  - netsh interface ipv6 set address "Lokal tilkobling" 2001:700:1100:8008::1337
  - netsh interface ipv6 set route ::/0 "Lokal tilkobling" 2001:700:1100:8008::1
- Konfigurasjon gjennom grafisk grensesnitt i «Kontrollpanelet» er også mulig



### Del XII

## Noen RFC-er om IPv6

### Konfigurasjon av IPv6 OS-konfig

- \*BSD:
  - ifconfig navn-på-grensesnitt inet6 IPv6-adresse prefixlen prefikslengde
  - route add -inet6 default routerens-IPv6-adresse
- Eksempel:
  - ifconfig em0 inet6 2001:700:1100:8008::1337 prefixlen 64
  - route add -inet6 default 2001:700:1100:8008::1
- Vanligvis lagres slike innstillingene permanent, for eksempel i /etc/rc.conf



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

Moen 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 3319, RFC 3633, RFC 3646, RFC 3736, RFC 4361, RFC 5494, RFC 6221, RFC 6422, RFC 6644 og RFC 7083

IPv6-foredrag

• 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

T. Endrestøl (FSI/IT)



19. februar 2015 181 / 182

### Noen RFC-er om IPv6

- Autokonfigurering av adresser: RFC 4862
  Tilfeldig grensesnittidentifikator: RFC 4941
- Prefiks-baserte multicastadresser: RFC 3306, RFC 3956 og RFC 4489
- IPsec: RFC 4301, RFC 4302, RFC 4303, RFC 4304, RFC 4307, RFC 4308, RFC 4309, RFC 4312, RFC 4835 og RFC 5996
- For programmerere av nettverksprogrammer: RFC 3493, RFC 3542 og RFC 4038
- Grunnleggende krav til IPv6-routere hos sluttbrukere (CER): RFC 7084

