IPv6-foredrag

21 år, men ennå ikke den største suksessen

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

19. oktober 2017



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. oktober 2017 2 / 207

Foredragets filer II

- Foredraget er mekka ved hjelp av GNU Emacs, AUCTEX, pdfTEX fra MiKTEX, LATEX-dokumentklassa beamer, Dia, GIMP, Inkscape, Wireshark, Subversion, TortoiseSVN og Adobe Reader
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:
 \$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.tex 208 2017-10-19 14:27:38Z trond \$
- Driverfila for denne PDF-fila bærer denne identifikasjonen:
 \$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.handout.1610.tex 78 2013-12-04 09:53:24Z
 trond \$
- Copyright © 2017 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: Creative Commons, Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0
 Norge (CC BY-SA 3.0)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 3 / 207

Oversikt av hele foredraget Del 1: Kort om IPv6

Hva er IPv6?

2 Antall adresser

3 Hvorfor trenger vi IPv6?

4 Hvorfor brukes ikke IPv6?

IPv6 brukes likevel

6 Andre nyttige ting ved IPv6



Del 2: IPv6 i inn- og utland

- IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- 8 IPv6 andre steder i Norge
- IPv6 i utlandet
- 10 Google Chrome og IPvFoo
- Mozilla Firefox og IPvFox



5 / 207

Del 3: IPv6-header

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



Del 4: IPv6 over Ethernet

14 IPv6 over Ethernet

15 IPv6 over andre lag-2-typer



7 / 207

T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017

Del 5: Grunnleggende om adresser

- 16 Grunnleggende om adresser
- Adressedemo
- 18 MAC-48-adresser
- Modda IEEE EUI-64-format
- 20 Manuell grensesnittidentifikator
- 21 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser
- 23 Duplicate Address Detection DAD
- 24 IPv6-adresser i URL-er



Del 6: Adressetyper

- 25 Adressetyper
- 26 Link-local-adresser
- 27 Site-local-adresser
- 28 Offentlige unicast-adresser
- 29 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 30 Anycast-adresser
- Multicast-adresser



Oversikt av hele foredraget Del 7: DNS

32 AAAA og PTR

33 A6



Del 8: ICMPv6

- 34 ICMPv6
- 35 Multicast Listener Discovery
- 36 Neighbor Discovery
- Router Renumbering
- 38 Node Information
- 39 Inverse Neighbor Discovery
- 40 Version 2 Multicast Listener Report
- 41 Mobile IPv6
- SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 43 Experimental Mobility Type
- 44 Multicast Router Discovery
- 45 FMIPv6
- 46 RPL Control Message
- 47 ILNPv6 Locator Update Message
- 48 Duplicate Address



Del 9: Neighbor Discovery

- 49 Router Solicitation
- 50 Router Advertisement
- **51** Neighbor Solicitation
- 52 Neighbor Advertisement
- Redirect



Oversikt av hele foredraget Del 10: DHCPv6

64 DHCPv6

65 Meldinger

55 DHCP Unique Identifier



Del 11: Avansert multicast

57 Multicastflaggene

58 Når T er satt til 1

59 Når PT er satt til 11

60 Når RPT er satt til 111



Del 12: Konfigurasjon av IPv6

- 61 Cisco IOS
 - IPv6-unicast-routing
 - IPv6-multicast-routing
 - ACL-er
 - DHCPv6
 - Sperre for fremmed routerannonsering
 - Sperre for falske DHCPv6-servere
 - Kombinert ACL for kantporter
- 62 Cisco AireOS
- 63 OS-konfig



Del 13: Noen RFC-er om IPv6

64 Noen RFC-er om IPv6



Del 14: Noen bøker om IPv6





Del I

Kort om IPv6



Oversikt over del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Antall adresser
- 3 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- IPv6 brukes likevel
- 6 Andre nyttige ting ved IPv6



Kort om IPv6 Hva er <u>IPv6?</u>

- En lag-3-protokoll
- Erstatning for IPv4
- Har eksistert siden desember 1995, først spesifisert i RFC 1883
- Har 128-bit adresser
- Automatisk adressekonfigurasjon uten bruk av DHCPv6
- Enkel grunnheader med fast lengde
- Flere utvidelsesheadere, men riktig rekkefølge er viktig
- Nye versjoner av ICMP og DHCP: ICMPv6 og DHCPv6
- Innebygd kobling mellom adressene i lagene 2 og 3
 - ARP og RARP ble funnet opp i ettertid for IPv4
 - ICMPv6 håndterer koblingene mellom link-adresser og IPv6-adresser



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 20 / 207

Antall adresser

- Totalt antall IPv6-adresser:
- $2^{128} = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456$
- 1/8 av dette 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:
- Ca. 7,6 mrd. mennesker på Jorda
- Mindre enn 3.702.258.432 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/



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 21 / 207

Hvorfor trenger vi IPv6?

- Mobilmarkedet viser en enorm vekst: smarttelefoner, nettbrett m.m.
- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- «IPokalypsen» er her! (Geoff Huston, APNIC)
- IANA gikk tom 3. februar 2011
- 4 av 5 RIR-er er tomme:
 - APNIC gikk tom 19. april 2011
 - RIPE NCC gikk tom 14. september 2012
 - LACNIC gikk tom 10. juni 2014
 - ARIN gikk tom 24. september 2015
- Dersom AFRINIC oppfører seg pent, så kan AFRINIC holde på til 3. oktober 2018



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 22 / 207

Hvorfor brukes ikke IPv6?

- Markedskreftene bestemmer
- Mange inntar en «vente-og-se»-holdning
 - homenet.no vil ikke tilby IPv6 før det er full krise
- Store og mellomstore selskaper:
 - Kjøper opp små selskaper og hamstrer IPv4-blokker
 - Kjøper IPv4-blokker på ettermarkedet/konkursbo:
 - Microsoft \$7,5 mill. \rightarrow Nortel + \$7,5 mill. 666.624 IPv4-adresser \rightarrow Microsoft + 666.624 IPv4-adresser
 - Altibox \$1,3 mill. \rightarrow U.K. Department for Work and Pensions + \$1,3 mill. 131.072 IPv4-adresser \rightarrow Altibox + 131.072 IPv4-adresser (Ref. 1, 2, 3)
 - Prisen for brukte IPv4-adresser har gått ned fra \$11,25/adresse til \$10/adresse



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 23 / 207

Hvorfor brukes ikke IPv6?

• Telebransjen satser fortsatt hardt på IPv4:

• (Edge) NAT i CPE	(RFC 3022)
Carrier-Grade NAT (CGN) i stamnett	(RFC 6264)
• Shared Address Space etter behov i stamnett (100.64.0.0/10)	(RFC 6598)
• (Litt off-topic: HTTP/S-tunnelering av rubb og stubb)	, ,

- Glem det!
- Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse
- Før eller siden blir CGN for kostbart og komplisert å vedlikeholde
 - CGN gjør det mer komplisert å spore abonnenter
- 3G og 4G/LTE klarer kanskje å øke IPv6-presset (RFC 6459)
- 464XLAT er en mulig avslutningsstrategi for IPv4

(RFC 6877)

IPv6 er det eneste tilgjengelige og realistiske alternativet til IPv4



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 24 / 207

IPv6 brukes likevel

- Apple annonserte at IPv6 blir et krav for apper i «App Store» fra og med iOS 9
- Facebook hevder at newsfeeden lastes inn 30–40 % raskere med IPv6
- Microsoft hevder at man får best opplevelse med «Xbox One» med IPv6
- Mer enn 50 % av kundetrafikken hos T-Mobile US går med 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 må brukes når prefikslengda er ulik 64 bit



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 26 / 207

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
- Uninetts prefiks er en del av 2001:600::/23 som RIPE NCC fikk av IANA, 1. juli 1999



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 27 / 207

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)
 - Sende store nok pakker og redusere størrelsen og prøve på nytt dersom «Packet too big» mottas
- IPsec ble spesifisert som en del av IPv6
 - Finnes også for IPv4
 - Må konfigureres før den begynner å virke
 - Tilbyr:
 - 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. oktober 2017 28 / 207

Del II

IPv6 i inn- og utland



Oversikt over del 2: IPv6 i inn- og utland

- IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- 8 IPv6 andre steder i Norge
- 9 IPv6 i utlandet
- 10 Google Chrome og IPvFoo
- Mozilla Firefox og IPvFox



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. oktober 2017 31 / 207

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 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

(ytre servernett) (indre servernett)

FSI-VLAN 50: 2001:700:1100:2::/64

(IT-kontornett)

FSI-VLAN 70: 2001:700:1100:3::/64
 FSI-VLAN 80: 2001:700:1100:4::/64

`(IT-lekenett)

- 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 utnytte dette
 - Noen år senere: IPv6-adresser på kantswitchene med Cisco IOS 12.2(40)SE
- Høsten 2008: DHCPv6-server i kjerneswitchen med Cisco IOS 12.2(46)SE



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 32 / 207

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
- Vinterferien 2015: La om datalabseriene, siden antallet av datalab er skikkelig knøttete
- Desember 2015: Ny kjerneswitch: Cisco Catalyst 4500E med Supervisor 8-E
- Høsten 2016: NAT44-routere for WLAN; supplement til offentlige IPv4-adresser



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 33 / 207

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 f\u00f8rstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 40 som tilbyr 128.39.194.0/26 og 2001:700:1100:8001::/64
- Førsteklasse data ønsker det samme tilbudet; så vi får se . . .



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 34 / 207

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 av kjerneswitchen som er L3-switch for nettverket ved FSI
 - UPS-er
 - Lights-out management
 - Skrivere
 - Virtualiseringsservere
 - VPN-klienter



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 35 / 207

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
- digi.no tok i bruk IPv6, 26. februar 2015
- yr.no er tilgjengelig med IPv6, 2a02:26f0:2400:19d::1f27



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 36 / 207

IPv6 i inn- og utland

- World IPv6 Day, 8. juni 2011
 - Målet var å teste IPv6 i 24 timer
 - Mer enn 400 deltakere
 - AOL, Akamai Technologies, BBC, Cisco, Comcast, Facebook, Google, Huawei, Juniper Networks, Limelight Networks, Mapquest, Mastercard, Microsoft, T-Online, Telmex, US Department of Commerce, Vonage, Yahoo, Yandex, YouTube og ...
- World IPv6 Launch, 6. juni 2012
 - Denne dagen ble IPv6 slått på for alltid



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 37 / 207

IPv6 i utlandet

- Facebook er tilgjengelig med IPv6
 - 2a03:2880:2130:cf05:face:b00c:0:1 og
 - 2a03:2880:2110:df07:face:b00c:0:1
- Google er tilgjengelig med IPv6
 - 2a00:1450:400c:c00::5e,
 - 2a00:1450:400c:c00::8a og
 - 2a00:1450:4010:c04::63
- LinkedIn er tilgjengelig med IPv6
 - 2620:109:c007:102::5be1:f881
- Snapchat er tilgjengelig med IPv6
 - 2a00:1450:400c:c00::79
- Wikipedia er tilgjengelig med IPv6
 - 2620:0:862:ed1a::1



IPv6 i inn- og utland

Google Chrome og IPvFoo

- IPvFoo for Google Chrome lar deg se hvilke IP-adresser som innholdet ble hentet fra
- Her er et eksempel fra http://vg.no/:

ⅎ	www.vg.no	2001:67c:21e0::16	
■	1.vgc.no	2001:67c:21e0::c	
■	ajax.googleapis.com	2a00:1450:400c:c05::5f	
■	api.vg.no	2001:67c:21e0::52	
ⅎ	cdn.rikstoto.no	138.91.53.43	
₽	cdn.vgc.no	2001:67c:21e0::c	
ⅎ	click.vgnett.no	2001:67c:21e0::30	
₽	direkte.vg.no	2001:67c:21e0::dd05	
ⅎ	imbo.vgc.no	2001:67c:21e0::115	
₽	imbo.vgtv.no	2001:67c:21e0::207	
a	pbs.twimg.com	199.96.57.7	
₽	rikstototest1cdn.cloudapp.net	191.235.131.145	
ď	static.godt.no	2001:67c:21e0::16	
₽	touch.vg.no	2001:67c:21e0::16	
■	vgc.no	2001:67c:21e0::c	
₽	widget.tippebannere.no	109.239.231.66	
ⅎ	www.godt.no	2001:67c:21e0::f00d	



IPv6 i inn- og utland

Mozilla Firefox og IPvFox

- IPvFox gjør det samme for Mozilla Firefox som IPvFoo gjør for Google Chrome
- Her er enda et eksempel fra http://vg.no/:

64 http://www.vg.no 2001:67c:21e0::16 http://1.vgc.no 2001:67c:21e0::c http://touch.vg.no 2001:67c:21e0::16 http://cdn.vgc.no 2001:67c:21e0::c http://dick.vgnett.no 2001:67c:21e0::30 http://vg-no.c.richmetrics.com 54.247.117.59 http://logc189.xiti.com 62.161.94.220 https://svnc.richmetrics.com 54.217.209.197 http://aka-cdn-ns.adtechus.com 158.36.130.81 http://api.vg.no 2001:67c:21e0::52 http://widget.tippebannere.no 109.239.231.66 http://direkte.vg.no 2001:67c:21e0::dd05 http://www.godt.no 2001:67c:21e0::f00d http://vg.tns-cs.net 77,88,106,101 http://static.godt.no 2001:67c:21e0::16 http://adserver.adtech.de 195,93,85,9 http://beacon-2.newrelic.com 50.31.164.168 http://imbo.vac.no 2001:67c:21e0::115 http://track.adform.net 37, 157, 6, 227 http://plug.plapre.no 195, 159, 29, 230 http://track.adform.net 152, 115, 75, 197 http://aka-cdn-ns.adtech.de 158.36.130.75



40 / 207

Del III

IPv6-header



Oversikt over del 3: IPv6-header I

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



IPv4-header

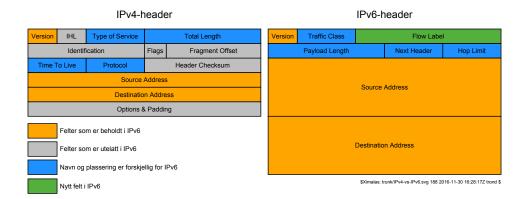
Version	IHL	Type of Service	Total Length						
	Identif	ication	Flags Fragment Offset						
Time To Live		Protocol		Header Checksum					
Source Address									
Destination Address									
Options & Padding									
Felter som er beholdt i IPv6									
	Felter som er utelatt i IPv6								
	Navn og plassering er forskjellig for IPv6								
	Nytt felt i IPv6								

IPv6-header

Version	Traffic Class	Flow Label						
Payload Length Next Header Hop Limit								
Source Address								
Destination Address								

\$Ximalas: trunk/IPv4-vs-IPv6.svg 188 2016-11-30 16:28:17Z trond \$

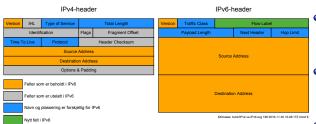




- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (40/20 oktetter)
- IPv6-headeren har færre felter enn IPv4-headeren
- De utelatte feltene er i stor grad flyttet over til egne utvidelsesheadere



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 44 / 207



- 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



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



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



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



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.:

http://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 49 / 207

Destination Options Header

• Protokollnummer: 60



Routing Header

• Protokollnummer: 43



Fragment Header

• Protokollnummer: 44



Authentication Header

Protokollnummer: 51



Encapsulating Security Payload

Protokollnummer: 50



54 / 207

Mobility Header

Protokollnummer: 135



Del IV

IPv6 over Ethernet



Oversikt over del 4: IPv6 over Ethernet I

14 IPv6 over Ethernet

15 IPv6 over andre lag-2-typer



19. oktober 2017

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 f
 ølger 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)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 58 / 207

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

```
Ethernet II, Src: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40), Dst: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)

Destination: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)

Address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)

.....0 .... = LG bit: Globally unique address (factory default)

.....0 .... = IG bit: Individual address (unicast)

Source: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)

Address: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)

....0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)

....0 .... = LG bit: Individual address (unicast)

Type: IPv6 (0x86dd)
```

- Presentert som heksadesimale oktetter/byter:
- 00 17 E0 77 14 57 00 26 18 F2 72 40 86 DD
 - 00 17 E0 77 14 57 er MAC-48-adressa til mottakeren, routeren
 - 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa til avsenderen, klienten
 - 86 DD angir at et IPv6-datagram følger etter i lag 3



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



Del V

Grunnleggende om adresser



Oversikt over del 5: Grunnleggende om adresser I

- 16 Grunnleggende om adresser
- Adressedemo
- 18 MAC-48-adresser
- 19 Modda IEEE EUI-64-format
- 20 Manuell grensesnittidentifikator
- 21 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- Spesialadresser
- 23 Duplicate Address Detection DAD
- 24 IPv6-adresser i URL-er



- 128 bit
- Heksadesimal notasjon
- 16 og 16 bit grupperes og skilles 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)



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:



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:



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:



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:



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



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:



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

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

Uninett:

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

2001.700.1100.3.221.7011.1173.000



Adressedemo: Erstattet med dobbelkolon

```
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

Uninett:

2001:700::

FAGSKOLEN TO NOT A NOTE TO

Adressedemo: Kompakt form

```
• Uninett: 2001:700::
```

FSI:

```
2001:700:1100::
```

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

• Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:



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. oktober 2017

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



19. oktober 2017

MAC-48-adresser

- MAC-48-adresser har følgende oppbygging, gitt av IEEE 802-2001:
 - CC:cc:cc:nn:nn (heksadesimalt)
 - Den første halvparten er produsentnummer: CC:cc:cc
 - Den andre halvparten er løpenummer: nn:nn:nn
- Den første oktetten i produsentnummeret, CC, har en spesiell oppbygging:
- CCCCCCug (binært)
 - Når u-bitet er satt til 0 (null), så gjelder formatet som er oppgitt her, altså CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
 - Når u-bitet er satt til 1, så er alle C- og c-sifrene løpenummer, mens u- og g-bitene beholder sine spesielle betydninger
 - Når g-bitet er 0 så angir adressa en individuell node, og når g-bitet er 1 så er adressa en multicastgruppe



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 75 / 207

MAC-48-adresser

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

(heksadesimalt)

(CCCCCCug)

- På binær form er dette 00000000
- Vi ser at både u- og g-bitene er satt til 0
- Dette er en MAC-48-adresse som:
 - følger det vanlige mønsteret med produsent- og løpenummer
 - angir en individuell node
 - er produsert av «Dell Inc» ifølge OUI-lista hos IEEE (søk i fila etter 00-21-70)



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 76 / 207

- Unicast-adresser består av 2 ting:
 - Prefiks
 - ② 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 77 / 207

- 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 78 / 207

- 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



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



Manuell grensesnittidentifikator

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

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

```
    ::0200:0:0:53 (heksadesimalt)
    ::0000001000000000:00 ... 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 81 / 207

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!



Manuell grensesnittidentifikator

Verdiene

- 0 = 0000
- 1 = 0001,
- 4 = 0100,
- 5 = 0101,
- 8 = 1000,
- 9 = 1001,
- C = 1100, og
- D = 1101,

medfører 0 i u-bitet



Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds gamle Dell Latitude D531:

```
• 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E
• 2001:700:1D00:8:221:70FF:FE73:686E
```

- 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
- Disse byttes ut typisk hver dag:
 - 2001:700:1100:3:F503:1E6F:5F2F:F5F2
 2001:700:1000:8:F503:1E6F:5F2F:F5F2
- Man må bare passe på u/l-bitet og passe seg for adressekollisjon

```
(IT-avdelingen@FSI)
(public-nettet@NTNU)
```

```
(IT-avdelingen@FSI) (public-nettet@NTNU)
```

```
(IT-avdelingen@FSI) (public-nettet@NTNU)
```



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
 - 3 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 85 / 207

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 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



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. oktober 2017 87 / 207

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



Spesialadresser

- IPv4-mapped IPv6 addresses: ::FFFF: w. x. y. z
 - ullet 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 89 / 207

- Når en unicast-adresse er generert skal man alltid sjekke at ingen andre bruker den samme adressa
 (RFC 4862)
- 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 . . .



Grunnleggende om adresser Duplicate Address Detection — DAD

- ... trodde vi ...
- «Danger, Will Robinson!»
- Det er et stort potensiale for Denial of Service DoS
- 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 uforstyrra
- Dersom det er 2 eller flere «slabbedasker» i samme nettverk, hva da?
- Problemet kan løses med «SEcure Neighbor Discovery» (SEND), RFC 3971



(RFC 3756)

T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 91 / 207

IPv6-adresser i URL-er

- http://[2001:db8:x:y::z]/bla/bla
- http://[2001:db8:x:y::z]:portnummer/bla/bla
- https://[2001:db8:x:y::z]/bla/bla
- https://[2001:db8:x:y::z]:portnummer/bla/bla
- Osv.



Del VI

Adressetyper



Oversikt over del 6: Adressetyper

- 25 Adressetyper
- 26 Link-local-adresser
- Site-local-adresser
- 28 Offentlige unicast-adresser
- 29 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 30 Anycast-adresser
- Multicast-adresser



- 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



Link-local-adresser

- Definert: RFC 4291
- Bruksområde:
 - Lokal kommunikasjon internt i VLAN-et
 - Sentral for autokonfigurasjon (av unicastadresser)
 - Blir ikke videresendt av routere til andre VLAN eller til internett
 - Kan brukes i ad-hoc-nett
- Prefiks: FE80::/10
- De neste 54 bitene skal settes til null
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: FE80::221:70FF:FE73:686E



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: FECO::DEAD:BEEF:1337
- Ikke bruk site-local-adresser (RFC 3879)
- Site-local-adresser er erstatta med ULA (RFC 4193)



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-, /56- eller /62-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
 - /62-bits prefiks gir 128 64 62 = 2 subnetbit $\rightarrow 2^2 = 4$ subnett
- Eksempel: 2001:700:1100:1::1/128



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



- 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



- SixXS tilbyr bl.a.:
 - Generering 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 101 / 207

- Her er algoritmen fra RFC 4193 for å generere de 40 tilfeldige bitene:
 - 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 RFC 4291
 - 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
 - Beregn en SHA-1-hash som beskrevet i RFC 3174. Resultatet er et heltall på 160 bit
 - Sruk 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 102 / 207

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. oktober 2017 103 / 207

Multicast-adresser

Definert: RFC 4291

• Bruksområde: én-til-mange-kommunikasjon

Prefiks: FF::/8

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

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



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 11



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 105 / 207

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



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 bitene
 - Det går ganske bra i praksis
 - Se RFC 2464 og RFC 6085



Del VII

DNS



Oversikt over del 7: DNS I









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:

• Se RFC 3596



- A6-poster var foreslått som erstatning for AAAA-poster av RFC 2874, men ble endret til eksperimentell av RFC 3363, og senere til historisk av RFC 6563
- RFC 3364 diskuterer fordeler og ulemper med AAAA og A6
- En A6-post består av 2–3 ting:
 - Prefikslengde fra og med 0 til og med 128
 - Utdrag av IPv6-adressa
 - 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 kjede
 - 128, så er det ikke lov å oppgi noen IPv6-adresse, fordi man henviser til et helt annet navn, tydeligvis et overflødig alternativ til CNAME



- Avsnittene 3.1.1 og 3.1.3 i RFC 2874 er ikke enige med hverandre når prefikslengda settes til 128
 - Avsnitt 3.1.1: The address suffix component SHALL NOT be present if the prefix length is 128.
 - Avsnitt 3.1.3: 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?
- Vil du leke med A6 i et lukket miljø, så sjekk ut ISC BIND 9.2.x



```
• Et tenkt eksempel med A6:
```

```
• $ORIGIN ip6.uninett.no.
uninett IN A6 0 2001:700::
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett

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

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



- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no. svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6
- Forklaring:
 - svabu.fig.ol.no. oppgir ::4, mangler de 64 mest signifikante bitene og henviser til ext-servere.ip6.fig.ol.no.



115 / 207

- 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.



- 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.



- 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::



```
• Et tenkt eksempel med A6:
```

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

$ORIGIN ip6.uninett.no.
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett
uninett IN A6 0 2001:700::
```

• Vi har påvist følgende adressekjede:

```
    0000:0000:0000:0000::4
    0000:0000:0000:0001::
    0000:0000:1100:0000::
    2001:0700:0000:0000::
    svabu.fig.ol.no.
    ext-servere.ip6.fig.ol.no.
    fig.ip6.uninett.no.
    uninett.ip6.uninett.no.
```

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



19. oktober 2017

Del VIII

ICMPv6



Oversikt over del 8: ICMPv6 I

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



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



- 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
 - 129: Echo reply
 - 200: Private eksperimenter
 - 201: Private eksperimenter
 - 255: Reservert for utvidelse av informative meldinger

(ping) (pong)



19. oktober 2017

Multicast Listener Discovery

- Definert: RFC 2710
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
 - 130: Multicast Listener Query
 - 131: Multicast Listener Report
 - 132: Multicast Listener Done
- Brukes for å fortelle routere hvilke multicastadresser man vil motta trafikk for



Neighbor Discovery

- Definert: RFC 4861
- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
 - 133: Router Solicitation
 - 134: Router Advertisement
 - 135: Neighbor Solicitation
 - 136: Neighbor Advertisement
 - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere
- Neighbor Discovery gjennomgås i detalj i del 8



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 125 / 207

Router Renumbering

- Definert: RFC 2894
- 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



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. oktober 2017 128 / 207

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)



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 131 / 207

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»



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



FMIP_v6

• 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



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



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 IX

Neighbor Discovery



Oversikt over del 9: Neighbor Discovery I

- 49 Router Solicitation
- 50 Router Advertisement
- Meighbor Solicitation
- 52 Neighbor Advertisement
- Redirect



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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 141 / 207

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)
        .... .0.. = 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
        MTII: 1500
```

- 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



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)
        .... .0.. = 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
        MTII: 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



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
   Reserved
   Prefix: it.ip6.fig.ol.no (2001:700:1100:3::)
```

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



Router Advertisement

```
Type: Recursive DNS Server (25)
Length: 5 (40 bytes)
Reserved
Lifetime: 400
Recursive DNS Servers: 2001:700:1100:1::3 (2001:700:1100:1::3)
Recursive DNS Servers: 2001:700:1100:1::2 (2001:700:1100:1::2)
```

- ICMPv6 Option (Recursive DNS Server 2001:700:1100:1::3 2001:700:1100:1::2 RDNSS Recursive DNS Server
 - Routeren kan også oppgi
 DNS-serveradresser i routerannonseringa
 - Se RFC 8106
 - Dette kan sameksistere med DHCPv6
 - Det er fordelaktig med like verdier, begge steder
 - DHCPv6 kan i tillegg angi DNS-domenet for ukvalifiserte navn
 - Microsoft Windows 10 Creators Update (1703) vil angivelig bruke RDNSS dersom DNS-opplysninger ikke kan hentes fra DHCPv6

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
   Pavload 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 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 = Flowlabel: 0x00000000
   Pavload 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: DellEsgP 52:67:e2 (00:0b:db:52:67:e2)
```



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 148 / 207

Redirect

```
Target Address
          Destination Address
 Options ...
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-
```

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



Del X

DHCPv6



Oversikt over del 10: DHCPv6 I

64 DHCPv6

65 Meldinger

50 DHCP Unique Identifier



- 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, RFC 7083 og RFC 7550
- Kommunikasjonen foregår først med multicast og UDP, og kan senere bytte til unicast og UDP
- Klientene bruker port 546, mens serverne og 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



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. oktober 2017 153 / 207

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 154 / 207

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



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



Meldinger

- Relay-forward
 - Fra relay til relay/server
 - Brukes av relay for å videresende forespørsler fra klienter eller andre relay til en ny relay eller server
- Relay-reply
 - Fra server/relay til relay
 - Brukes av server for å videresende svar tilbake til klienter gjennom relay(kjeden)



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 158 / 207

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



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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 160 / 207

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 161 / 207

Del XI

Avansert multicast



Oversikt over del 11: Avansert multicast I

57 Multicastflaggene

58 Når T er satt til 1

59 Når PT er satt til 11

60 Når RPT er satt til 111



T. Endrestøl (FSI/IT)

Multicastflaggene

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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 164 / 207

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



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, $0 < plen \le 64$
- Nettverksprefikset er unicast-prefikset for subnettet ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til RFC 3307



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)



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
- Nettverksprefikset er unicast-prefikset for subnettet ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til RFC 3307



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 168 / 207

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 Loopback1
 ipv6 address 2001:700:1100::1/128



Del XII

Konfigurasjon av IPv6



Oversikt over del 12: Konfigurasjon av IPv6 I

- 61 Cisco IOS
 - IPv6-unicast-routing
 - IPv6-multicast-routing
 - ACL-er
 - DHCPv6
 - Sperre for fremmed routerannonsering
 - Sperre for falske DHCPv6-servere
 - Kombinert ACL for kantporter
- 62 Cisco AireOS
- 63 OS-konfig



Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (nye Catalyst-switcher)

- configure terminal
- 2 ipv6 unicast-routing
- o no ipv6 source-route
- end

(Er unødvendig i nyere IOS)



Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (gamle Catalyst-switcher)

- configure terminal
- 2 sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 default
- end
- reload
- 5 configure terminal
- ip routing
- ipv6 unicast-routing
- o no ipv6 source-route
- end

(Rekonfigurere TCAM)

(Nødvendig for IP-routing i det hele tatt)

(Er unødvendig i nyere IOS)

19. oktober 2017



Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (routerporter)

- 1 interface TenGigabitEthernet1/2
- ② description Linknett mellom FSI og Uninett/NTNU i Gjøvik
- one of the state of the s
- 4 ipv6 address 2001:700:0:8074::2/64
- ipv6 nd ra suppress
- o no ipv6 redirects
- ono ipv6 unreachables
- ipv6 multicast boundary scope 8
- ipv6 traffic-filter InetIPv6Inn in
- ipv6 traffic-filter InetIPv6Ut out



19. oktober 2017

Default route:

```
ipv6 route ::/0 TenGigabitEthernet1/2 2001:700:0:8074::1 name FiG-Uninett
```

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
```

Statisk routing av returtrafikk til VPN-klientene:

```
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A001::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::2
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A002::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::3
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A003::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::4
```



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 175 / 207

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (sluttbrukernett)

- interface Vlan40
- ② description Klasserom 100
- ipv6 address FE80::1 link-local
- ipv6 address 2001:700:1100:8001::1/64
- ipv6 nd other-config-flag
- ipv6 nd router-preference High
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2
- o no ipv6 redirects
- o no ipv6 unreachables
- ipv6 dhcp server offisiell
- 🚇 ipv6 traffic-filter Vlan40IPv6InnFra in
- ipv6 traffic-filter Vlan40IPv6UtTil out



19. oktober 2017

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (trådløst sluttbrukernett)

- 1 interface Vlan50
- description Trådløst studentnett
- ipv6 address FE80::1 link-local
- 4 ipv6 address 2001:700:1100:5::1/64
- ipv6 nd other-config-flag
- ipv6 nd router-preference High
- 1 ipv6 nd ra solicited unicast
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2
- u no ipv6 redirects
- no ipv6 unreachables
- ipv6 dhcp server offisiell
- ipv6 traffic-filter Vlan50IPv6InnFra in
- ipv6 traffic-filter Vlan50IPv6UtTil out



Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (servernett uten autokonfig)

- 1 interface Vlan20
- ② description Ytre servernett
- ipv6 address FE80::1 link-local
- 4 ipv6 address 2001:700:1100:1::1/64
- ipv6 nd prefix default 2592000 604800 no-autoconfig
- ipv6 nd other-config-flag
- ipv6 nd router-preference High
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3
- ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2
- u no ipv6 redirects
- no ipv6 unreachables
- ipv6 dhcp server offisiell
- ipv6 traffic-filter Vlan20IPv6InnFra in
- ipv6 traffic-filter Vlan20IPv6UtTil out



Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (moderne kommandoer)

- Global konfigurasjon: ipv6 multicast-routing
- ② Begrense utbredelse av intern multicasttrafikk interface TenGigabitEthernet1/2 ipv6 multicast boundary scope 8 Bare trafikk med rekkevidde større enn 8 slipper ut på internett, og inn fra internett



Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- Kan du ikke bruke ipv6 multicast boundary scope, så må du bruke ACL-er og sperre for uaktuelle rekkevidder og alle mulige kombinasjoner av flagg! (Bare for å være føre var.)
- ② Derfor burde flagg og rekkevidde ha omvendt rekkefølge i multicastadressene, men det toget har forlengst gått . . .



• Alle flagg, og rekkevidde lik 3

```
deny ipv6 any FF03::/16
deny ipv6 any FF13::/16
deny ipv6 any FF23::/16
deny ipv6 any FF33::/16
deny ipv6 any FF43::/16
deny ipv6 any FF53::/16
deny ipv6 any FF63::/16
deny ipv6 any FF73::/16
deny ipv6 any FF83::/16
deny ipv6 any FF93::/16
deny ipv6 any FFA3::/16
deny ipv6 any FFB3::/16
deny ipv6 any FFC3::/16
deny ipv6 any FFD3::/16
deny ipv6 any FFE3::/16
deny ipv6 any FFF3::/16
```

• Alle flagg, og rekkevidde lik 4

```
deny ipv6 any FF04::/16
deny ipv6 any FF14::/16
deny ipv6 any FF24::/16
deny ipv6 any FF34::/16
deny ipv6 any FF44::/16
deny ipv6 any FF54::/16
deny ipv6 any FF64::/16
deny ipv6 any FF74::/16
deny ipv6 any FF84::/16
deny ipv6 any FF94::/16
deny ipv6 any FFA4::/16
deny ipv6 any FFB4::/16
deny ipv6 any FFC4::/16
deny ipv6 any FFD4::/16
deny ipv6 any FFE4::/16
deny ipv6 any FFF4::/16
```



• Alle flagg, og rekkevidde lik 5:

```
deny ipv6 any FF05::/16
deny ipv6 any FF15::/16
deny ipv6 any FF25::/16
deny ipv6 any FF35::/16
deny ipv6 any FF45::/16
deny ipv6 any FF55::/16
deny ipv6 any FF65::/16
deny ipv6 any FF75::/16
deny ipv6 any FF85::/16
deny ipv6 any FF95::/16
deny ipv6 any FFA5::/16
deny ipv6 any FFB5::/16
deny ipv6 any FFC5::/16
deny ipv6 any FFD5::/16
deny ipv6 any FFE5::/16
deny ipv6 any FFF5::/16
```

Alle flagg, og rekkevidde lik 6:

```
deny ipv6 any FF06::/16
deny ipv6 any FF16::/16
deny ipv6 any FF26::/16
deny ipv6 any FF36::/16
deny ipv6 any FF46::/16
deny ipv6 any FF56::/16
deny ipv6 any FF66::/16
deny ipv6 any FF76::/16
deny ipv6 any FF86::/16
deny ipv6 any FF96::/16
deny ipv6 any FFA6::/16
deny ipv6 any FFB6::/16
deny ipv6 any FFC6::/16
deny ipv6 any FFD6::/16
deny ipv6 any FFE6::/16
deny ipv6 any FFF6::/16
```



• Alle flagg, og rekkevidde lik 7:

```
deny ipv6 any FF07::/16
deny ipv6 any FF17::/16
deny ipv6 any FF27::/16
deny ipv6 any FF37::/16
deny ipv6 any FF47::/16
deny ipv6 any FF57::/16
deny ipv6 any FF67::/16
deny ipv6 any FF77::/16
deny ipv6 any FF87::/16
deny ipv6 any FF97::/16
deny ipv6 any FFA7::/16
deny ipv6 any FFB7::/16
deny ipv6 any FFC7::/16
deny ipv6 any FFD7::/16
deny ipv6 any FFE7::/16
deny ipv6 any FFF7::/16
```

Alle flagg, og rekkevidde lik 8:

```
deny ipv6 any FF08::/16
deny ipv6 any FF18::/16
deny ipv6 any FF28::/16
deny ipv6 any FF38::/16
deny ipv6 any FF48::/16
deny ipv6 any FF58::/16
deny ipv6 any FF68::/16
deny ipv6 any FF78::/16
deny ipv6 any FF88::/16
deny ipv6 any FF98::/16
deny ipv6 any FFA8::/16
deny ipv6 any FFB8::/16
deny ipv6 any FFC8::/16
deny ipv6 any FFD8::/16
deny ipv6 any FFE8::/16
deny ipv6 any FFF8::/16
```



• Hadde bare flagg og rekkevidde byttet plass i spesifikasjonen:

```
deny ipv6 any FF30::/12
deny ipv6 any FF40::/12
deny ipv6 any FF50::/12
deny ipv6 any FF60::/12
deny ipv6 any FF70::/12
deny ipv6 any FF80::/12
```

- Dette ville bare gitt 6 regler i ACL-ene
- Det er en sterk kontrast til de 96 reglene som vi må bruke i ACL-ene når vi ikke kan bruke ipv6 multicast boundary scope 8



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 184 / 207

Konfigurasjon av IPv6 I

- configure terminal
- ipv6 access-list access-list-name
- 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]



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 185 / 207

- 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]
- 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]

 FAG

- o 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]
- 3 remark comment
- exit
 Husk:
 operator ∈ {gt | lt | neq | eq | range}
 reflect er bare gyldig for permit-regler



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
 - 6 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



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 189 / 207

Konfigurasjon av IPv6 VI

- 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
 - 3 permit icmp any any nd-ns
 - 4 permit icmp any any router-advertisement
 - permit icmp any any router-solicitation
 - odeny ipv6 any any log
 - 1 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



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 Vlan40
 - ipv6 dhcp server offisiell



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 Cisco IOS: DHCPv6

- ipv6 dhcp pool dynamisk-utdeling-vlan60
 - address prefix 2001:700:1100:6::/64
 - 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 Vlan60
 - ipv6 address 2001:700:1100:6::1/64
 - ipv6 nd managed-config-flag
 - ipv6 nd other-config-flag
 - ipv6 nd router-preference High
 - ipv6 dhcp server dynamisk-utdeling-vlan60



Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Sperre for fremmed routerannonsering

- Fremmed routerannonsering må sperres i inngående retning på kantporter
- Nyere IOS har egne kommandoer for dette:
 - interface range GigabitEthernet3/1 48
 - ipv6 nd raguard
- Eldre IOS må bruke port-ACL-er for å oppnå det samme:
 - ipv6 access-list sperre-fremmed-RA
 - deny icmp any any router-advertisement
 - 2 permit ipv6 any any
 - interface range GigabitEthernet3/1 48
 - \bullet ipv6 traffic-filter sperre-fremmed-RA in



Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Sperre for falske DHCPv6-servere

- Falske DHCPv6-servere må sperres på veg inn i kantportene, og det beste er å bruke port-ACL-er:
 - ipv6 access-list sperre-falske-dhcpv6-servere
 - 1 deny udp any eq 547 any
 - 2 permit ipv6 any any
 - interface range GigabitEthernet3/1 48
 - ipv6 traffic-filter sperre-falske-dhcpv6-servere in



Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Kombinert ACL for kantporter

- Kombinert ACL for kantporter
 - ipv6 access-list kantporter
 - deny icmp any any router-advertisement
 - 2 deny udp any eq 547 any
 - permit ipv6 any any
 - interface range GigabitEthernet3/1 48
 - ipv6 traffic-filter kantporter in



Konfigurasjon av IPv6 Cisco AireOS

- Cisco AireOS forlanger at routeren oppgis med link-local-adresse
- Routeren vil vanligvis bruke en autogenerert link-local-adresse
 - For eksempel: FE80::86B2:61FF:FE44:2F7F
- Denne adressa vil forandre seg ved utskiftning av routeren
- Det er lurt å sette en fast link-local-adresse i routeren:
 - interface Vlan100
 - 2 ipv6 address FE80::1 link-local
 - ipv6 address FD5C:14CF:C300:100::1/64
- Deretter konfigureres WLAN-kontrolleren omtrent slik:
 - Oconfig interface vlan management 100
 - 2 config ipv6 interface address management primary fd5c:14cf:c300:100::2 64 fe80::1



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 197 / 207

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 XP og 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
 - Windows (Server) eldre enn 8 og 2012 må ha IPv4 i tillegg til IPv6 for å kommunisere med Microsofts globale oppdateringsservere; dette skyldes manglende AAAA for download.windowsupdate.com
- 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

AGSKOLEN N N L A N D E T

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" 2001:700:1100:8001::1337
 - netsh interface ipv6 set route ::/0 "Lokal tilkobling" 2001:700:1100:8001::1
- Konfigurasjon gjennom grafisk grensesnitt i «Kontrollpanelet» er også mulig



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 199 / 207

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 2001:700:1100:8001::1337 prefixlen 64
 - route add -inet6 default 2001:700:1100:8001::1
- Slike innstillinger lagres permanent i /etc/rc.conf:
 - ifconfig_em0_ipv6="inet6 2001:700:1100:8001::1337 prefixlen 64"
 - ipv6_defaultrouter="2001:700:1100:8001::1"
- Aktivering av midlertidige adresser:
 - sysctl net.inet6.ip6.use_tempaddr=1
 - sysctl net.inet6.ip6.prefer_tempaddr=1
- Lagres vanligvis som to linjer i /etc/sysctl.conf:
 - net.inet6.ip6.use_tempaddr=1
 - net.inet6.ip6.prefer_tempaddr=1



Del XIII

Noen RFC-er om IPv6



Oversikt over del 13: Noen RFC-er om IPv6 I

64 Noen RFC-er om IPv6



Noen RFC-er om IPv6

- IPv6-spesifikasjon: RFC 2460, RFC 5095, RFC 5722, RFC 5871, RFC 6437, RFC 6564, RFC 6935 og RFC 6946
- ICMPv6: RFC 4443 og RFC 4884
- Neighbor Discovery: RFC 4861, RFC 5942 og RFC 6980
- Krav til IPv6-noder: RFC 6434
- Path MTU: RFC 1981
- DHCPv6: RFC 3315, RFC 3319, RFC 3633, RFC 3646, RFC 3736, RFC 4361, RFC 5494, RFC 6221, RFC 6422, RFC 6644 og RFC 7083
- Overføring av IPv6-pakker over Ethernet: RFC 2464 og RFC 6085
- Adressearkitektur: RFC 4291, RFC 5952 og RFC 6052
- Unicastadresser: RFC 3587
- ULA: RFC 4193



Noen RFC-er om IPv6

- Autokonfigurering av adresser: RFC 4862
- 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



Del XIV

Noen bøker om IPv6



Oversikt over del 14: Noen bøker om IPv6 I

65 Noen bøker om IPv6



Noen bøker om IPv6

- «IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6, 2nd Edition» av Rick Graziani, Cisco Press, 2017, ISBN-13: 978-1-58714-477-6
 - Unngå førsteutgaven og unngå første opplag av andreutgaven pga. for mange skrivefeil
- «IPv6 for Enterprise Networks» av Shannon McFarland, Muninder Sambi, Nikhil Sharma og Sanjay Hooda, Cisco Press, 2011, ISBN-13: 978-1-58714-227-7
- «IPv6 Address Planning: Designing an Address Plan for the Future» av Tom Coffeen, O'Reilly Media, 2014, ISBN-13: 978-1-49190-276-9
- «TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, 2nd Edition» av Kevin R. Fall og W. Richard Stevens, Addison-Wesley Professional, 2011, ISBN-13: 978-0-32133-631-6
- «Unix Network Programming, Volume 1: The Sockets Networking API, 3rd Edition» av W. Richard Stevens, Bill Fenner, Andrew M. Rudoff, Addison-Wesley Professional, 2003, ISBN-13: 978-0-13141-155-5
 - SCTP har i ettertid fått nye navn på flere konstanter



T. Endrestøl (FSI/IT) IPv6-foredrag 19. oktober 2017 207 / 207