Nettlaget

Mål:

- Forstå prinsippene bak nettlagets oppgaver:
  - Ruting
  - Skalerbarhet
  - Hvordan en ruter virker
- Hvordan dette er løst i Internett

Temaer:

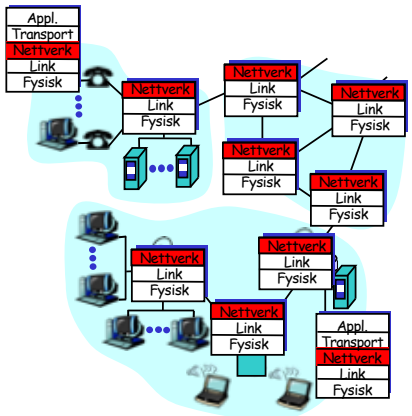
- Nettlagets oppgaver
- Rutingprinsipp: veivalg
- Hierarkisk ruting
- IP
- Internettets ruting protokoller
  - intra-domain
  - inter-domain

Nettlagets funksjoner

- Transportere pakker fra sender til mottaker.
- Nettlagsprotokoller i alle endemaskiner og rutere.

Tre viktige funksjoner:

- *Finne en sti:* veien fra kilde til destinasjon
- *switching:* flytte pakker fra input porten til output porten
- *call setup:* noen nettverk krever en initialiseringsfase før data kan sendes.



Nettverkets tjenestemodell

Hvilken modell skal man velge for den kanalen som transporterer pakker fra sender til mottaker?

Tjeneste abstraksjoner

- Garantert båndbredde?
- Ingen variasjon i forsinkelser (jitter)?
- Ingen pakketap?
- Levering i rekkefølge?
- Metningsfeedback til sender?

Den viktigste Abstraksjonen man må forholde seg til:

linjesvitsjing
eller
datagram?

Linjesvitsing – en «forbindelse»

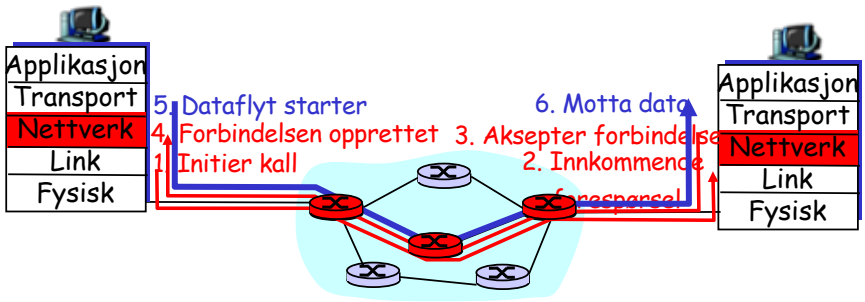
"Ligner på en telefonlinje hva gjelder...

- ytelse
- Hva nettverket må gjøre langs stien fra kilde til destinasjon

- Forbindelsen må settes opp før data kan sendes
- Hver pakke inneholder ID av forbindelsen (ikke av destinasjonen)
- *Hver* ruter må vite om hvilke forbindelser som går igjennom den.
- link, ruterressurser (båndbredde, buffere) kan allokeres til en forbindelse
  - Oppførsel som om det ikke var noen annen trafikk på nettet.

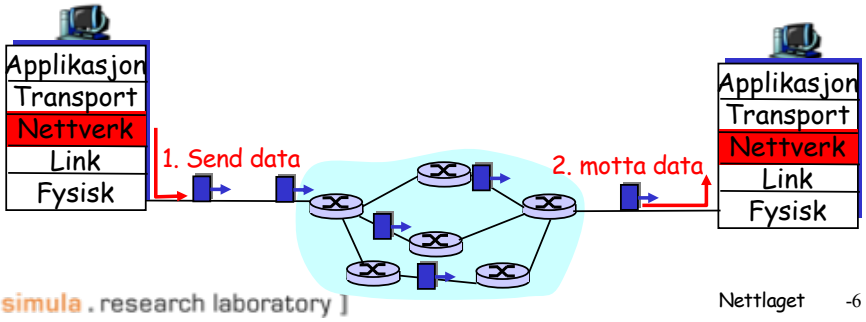
Linjesvitsjing (Cirquit Switching): signaleringsprotokoler

- Brukes til å sette opp, vedlikeholde og ta ned en linje (kalles Virtual Circuit – VC – på engelsk).
- Benyttes i en del lag 2 protokoller.
- Ikke benyttet i dagens Internett



Datagram nettverk: Internett modellen

- Ingen fase for oppretting av forbindelse
- rutere: ingen informasjon om ende til endeforbindelse
  - Ikke noe "forbindelsesbegrep" på nettverkslaget
- Pakker blir videresendt på bakgrunn av destinasjons ID.
  - Pakker mellom samme kilde og destinasjon kan ta forskjellige stier



Datagram OG linjesvitsjing: hvorfor?

Internett

- Utveksling av data mellom datamaskiner
  - "elastisk" tjeneste, ingen strikte timing krav.
- "smarte" endesystemer (datamaskiner)
  - Kan tilpasse seg, utføre kontroll, feilhåndtering
  - Enkelt nettverk, kompleksiteten er samlet i endesystemene
- Mange basalteknologier
  - Forskjellige karakteristika
  - Uniform tjeneste er vanskelig

ATM

- Utviklet fra telefoni
- Menneskelig konversasjon:
  - Strikt timing, pålitelighetskrav
  - Trenger tjenestegarantier
- "dumme" endesystemer
  - telefoner
  - Kompleksiteten i nettverkene

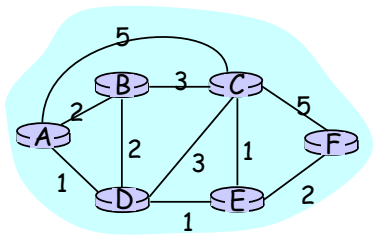
Ruting

Ruting protokoll

Mål: finne en "god" sti (sekvens av rutere) gjennom nettverket fra kilde til destinasjon

Graf-abstraksjon for rutingalgoritmer:

- Nodene i grafen er rutere
- Kantene er fysiske linker
  - Link kostnad: forsinkelse, $ kost, eller metningsnivå



- "god" sti:
  - Typisk minimum kost (for ett eller annet kost-begrep)
  - Andre definisjoner er mulige

Klassifikasjon av rutingalgoritmer

Global eller desentralisert informasjon?

Global:

- Alle rutere har all informasjon om topologi og link-kostnad
- "link state" algoritmer

Desentralisert:

- Ruter kjenner til sine nærmeste naboer, og deres link-kostnad.
- Iterativ prosess som utveksler informasjon med naboen
- "distansevektor" algoritmer

Statisk eller dynamisk?

Statisk:

- Stier (ruter) endrer seg langsomt over tid.

Dynamisk:

- Stier endrer seg hurtig
  - Periodisk oppdatering
  - Som reaksjon på endring i link-kostnad

En "Link-State" algoritme

Dijkstra's algoritme

- Topologi og linkkostnader er kjent for alle noder
  - Dette oppnås ved at alle noder gjør en "link state broadcast"
  - Alle noder har samme informasjon
- Hver node regner ut den stien som gir lavest kostnad fra seg selv til hver tenkelig destinasjon:
  - gir ruting tabell for den noden
- iterativ: etter k iterasjoner kjenner noden den billigste veien til k destinasjoner.

Notasjon:

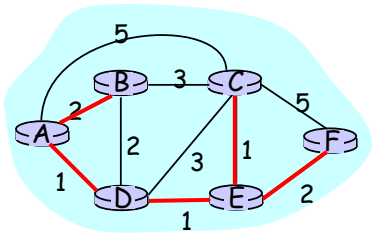
- c(i,j): link kostnad fra node i til node j. Settes initielt til uendelig dersom i og j ikke er naboer.
- D(v): nåværende beste kostnad til destinasjon v.
- A: noden selv
- N: settet av noder som vi nå har funnet billigste veien til.
- P(v): siste noden før v i den beste stien funnet til nå.

Dijkstra's Algoritme

```
1  Initialization:
2   N = {A}
3   for all nodes v
4     if v adjacent to A
5       then D(v) = c(A,v)
6       else D(v) = infty
7
8  Loop
9    find w not in N such that D(w) is a minimum
10   add w to N
11   update D(v) for all v adjacent to w and not in N:
12      D(v) = min( D(v), D(w) + c(w,v) )
13   /* new cost to v is either old cost to v or known
14    shortest path cost to w plus cost from w to v */
15 until all nodes in N
```


Dijkstra's algoritme: eksempel

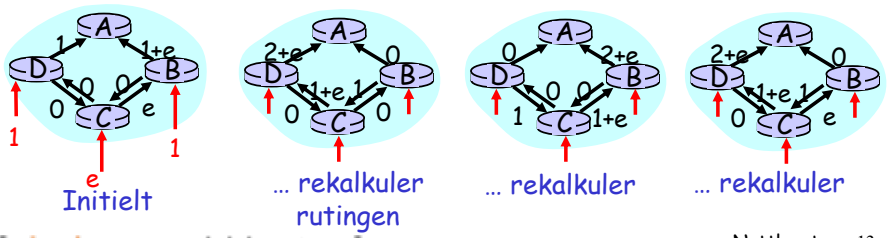
Step	start N	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
0	A	2,A	5,A	1,A	uendelig	uendelig
1	AD	2,A	4,D		2,D	uendelig
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E
4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					



Dijkstra's algoritme, diskusjon

Kompleksitet: n noder
- Hver iterasjon: må sjekke alle noder w som ikke er i N
- n*(n+1)/2 sammenligninger: O(n**2)
- Mulig å implementere mer effektivt: O(nlogn)

Oscillasjoner er mulige:
- e.g., linkkostnad = hvor mye trafikk som går på linken



Distansevektor algoritmen

iterativ:
- Fortsetter inntil ingen noder utveksler informasjon.
- *Selv-terminerende*: ingen sentral avgjørelse om at alg. er ferdig

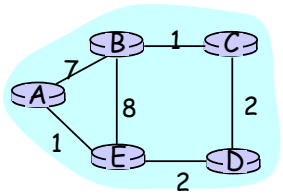
asynkron:
- Noder trenger *ikke* utveksle informasjon så lenge intet endrer seg

distribuert:
- Hver node kommuniserer bare med sine naboer

Distansetabellen
- Hver node har sin egen
- En rad for hver mulig destinasjon
- En kolonne for hver nabo (mulige utlinker)
- eksempel: i node X, for dest. Y via nabo Z:

$$D^X(Y,Z) = \text{distanse } \textit{fra } X \textit{ til } Y, \textit{ via } Z \text{ som neste hopp} = c(X,Z) + \min_w \{D^Z(Y,w)\}$$

Distansetabell: eksempel



$D^E(C,D) = c(E,D) + \min_w \{D^D(C,w)\}$
$= 2+2 = 4$

$D^E(A,D) = c(E,D) + \min_w \{D^D(A,w)\}$
$= 2+3 = 5$

Passerer E to ganger!

$D^E(A,B) = c(E,B) + \min_w \{D^B(A,w)\}$
$= 8+6 = 14$

Passerer E to ganger (E-B-C-D-E-A)!

Kostnad til destinasjon via

$D^E()$	A	B	D
A	1	14	5
B	7	8	5
C	6	9	4
D	4	11	2

destinasjon

Distansetabell gir rutingtabell

Kostnad til destinasjon via

$D^E()$	A	B	D
A	1	14	5
B	7	8	5
C	6	9	4
D	4	11	2

destinasjon

	Utgående link, kostnad
A	A,1
B	D,5
C	D,4
D	D,2

destinasjon

Distansetabell → Rutingtabell

Distansevektor ruting: overblikk

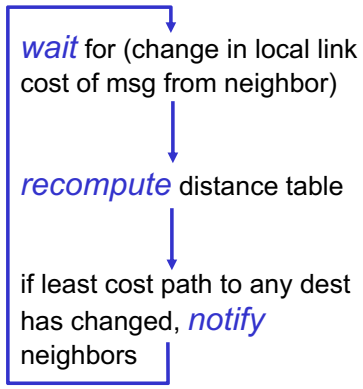
Iterativ, asynkron: Hver lokale iterasjon trigges av:

- endringer i lokal link-kost
- melding fra nabo om at dens minste konstands sti-tabell har endret seg

Distribuert:

- hver node sender oppdateringer til naboen *bare* når minste kostnads sti til en destinasjon har endret seg.
  - Naboene sender meldinger til *sine* naboer igjen dersom det er nødvendig.

Hver node:



Distansevektoralgoritmen:

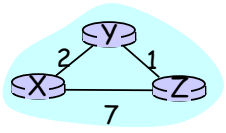
I alle noder, X:

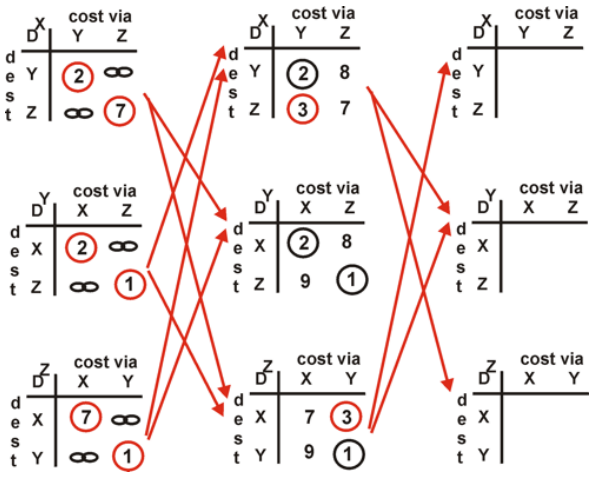
```
1  Initialization:
2   for all adjacent nodes v:
3      DX(*,v) = infty        /* the * operator means "for all rows" */
4      DX(v,v) = c(X,v)
5   for all destinations, y
6      send min_w DX(y,w) to each neighbor  /* w over all X's neighbors */
```

Distansevektoralgoritmen forts.

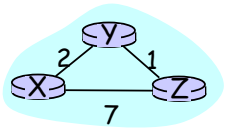
```
8  loop
9    wait (until I see a link cost change to neighbor V
10         or until I receive update from neighbor V)
11
12   if (c(X,V) changes by d)
13     /* change cost to all dest's via neighbor v by d */
14     /* note: d could be positive or negative */
15     for all destinations y:  DX(y,V) =  DX(y,V) + d
16
17   else if (update received from V wrt destination Y)
18     /* shortest path from V to some Y has changed  */
19     /* V has sent a new value for its  min_w DV(Y,w) */
20     /* call this received new value is "newval"     */
21     for the single destination y: DX(Y,V) = c(X,V) + newval
22
23   if we have a new min_w DX(Y,w)for any destination Y
24     send new value of min_w DX(Y,w) to all neighbors
25
26   forever
```

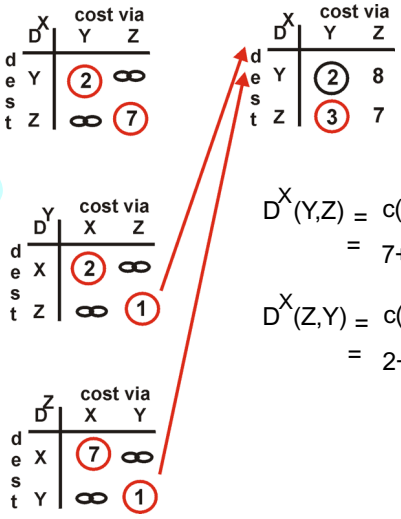

Distansevektoralgoritmen: eksempel





Distansevektoralgoritmen: eksempel





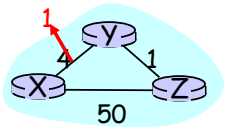
$$D^X(Y,Z) = c(X,Z) + \min_w\{D^Z(Y,w)\}$$
$$= 7+1 = 8$$

$$D^X(Z,Y) = c(X,Y) + \min_w\{D^Y(Z,w)\}$$
$$= 2+1 = 3$$

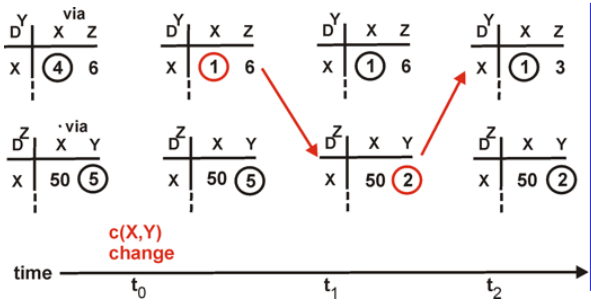
Distansevektor: endring i link-kostnad

Endring i link-kostnad:

- node oppdager endring i kostnad på lokal link.
- Oppdaterer distansetabellen (linje 15)
- dersom korteste sti endrer seg, si fra til naboene (lines 23,24)



"gode nyheter spres fort"

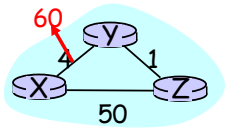


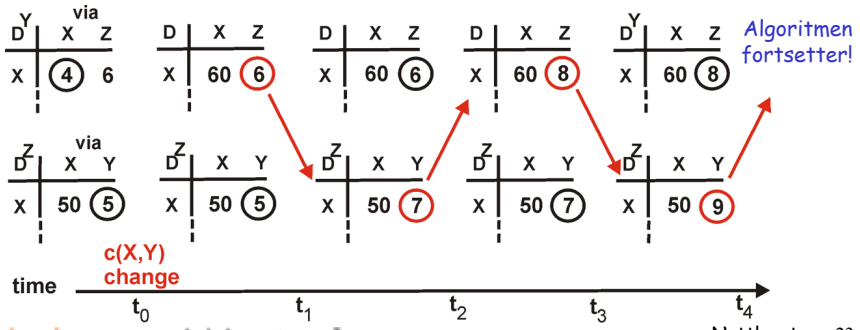
Algoritmen terminerer

Distansevektor: endring i link-kostnad

Endring i link kostnad:

- gode nyheter spres fort
- dårlige nyheter spres sakte - "telle til uendelig" problem!

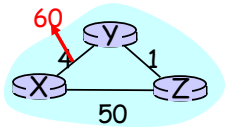


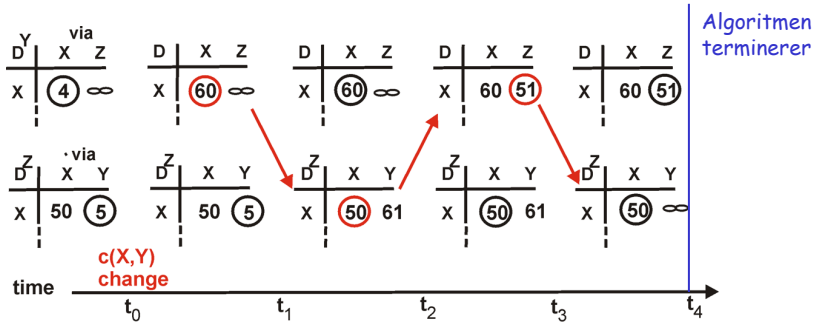


Distansevektor: "poisoned reverse"

Om Z ruter gjennom Y for å nå X :

- Z forteller Y at sin (Z's) distanse til X er uendelig (så Y ikke ruter til X via Z)
- løser dette "telle til uendelig" problemet?





Sammenligning av LS og DV algoritmene

Meldingskompleksitet
- LS: med n noder, E linker, O(nE) msgs sent hver
- DV: meldingsutveksling bare mellom naboer
  - konvergenstiden varierer

Konvergenshastighet
- LS: O(n**2) algoritme krever O(nE) meldinger
  - kan oscillere
- DV: konvergenstiden varierer
  - kan gi ruting-løkker
  - "telle til uendelig" problem

Robusthet: hva skjer dersom en ruter feiler?

LS:
- node kan melde om feil linkkostnad
- hver node regner bare ut sin egen tabell

DV:
- DV node kan melde om feil sti-kostnad
- hver node sin tabell brukes av andre
  - feil propagerer gjennom nettverket

Hierarkisk ruting

Til nå har vi forholdt oss til et idealisert bilde.
- Alle rutere identiske
- "flat" nettstruktur
- … *ikke* sant i praksis

skala: med 50 millioner destiasjoner:
- kan ikke lagre alle destinasjoner i rutingtabeller!
- Utveksling av rutingtabeller ville okkupere linkkapasiteten!

administrativ autonomi
- internet = nettverk av nettverk
- hver enkelt netverksadministrator ønsker å kontrollere ruting i sitt eget nettverk.

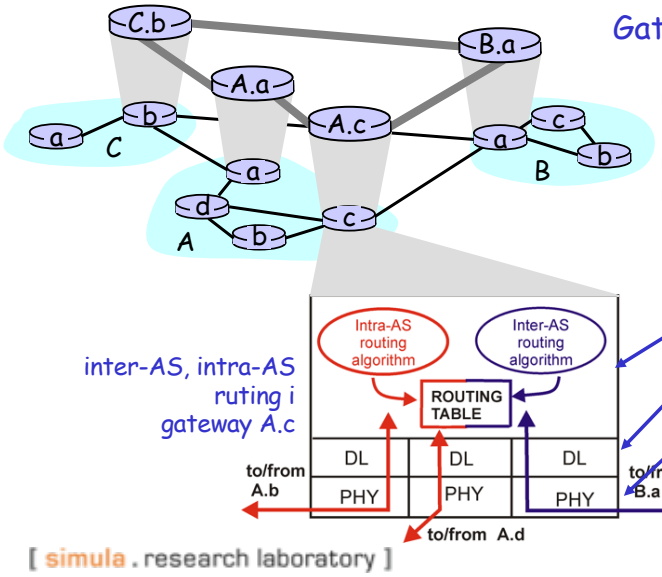
Hierarkisk ruting

- Samle rutere i regioner, "autonomous systems" (AS)
- rutere i samme AS kjører samme rutingprotokoll
  - "inter-AS" ruting protokoll
  - rutere i forskjellige AS kan kjøre forskjellige intra-AS routing protokoller

gateway rutere

- Spesielle rutere i et AS
- kjører intra-AS ruting protokoll med alle andre rutere i AS
- *også* ansvarlig for ruting til destinasjoner utenfor AS.
  - kjører *inter-AS ruting* protokoll med andre gateway rutere

Intra-AS og Inter-AS ruting

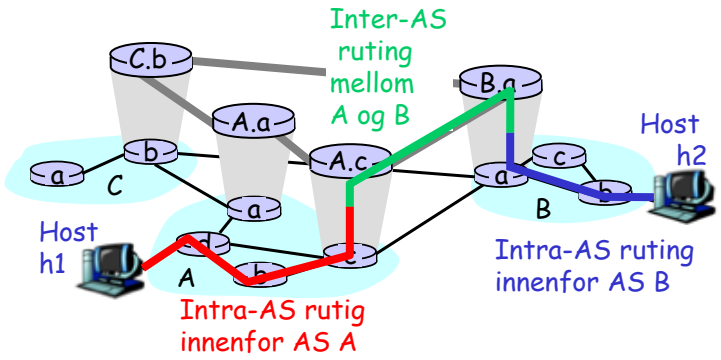


Gateways:
- kjører inter-AS ruting seg imellom
- kjører intra-AS ruting med andre rutere i sitt AS

inter-AS, intra-AS ruting i gateway A.c

nettlaget
linklaget
Fysisk lag

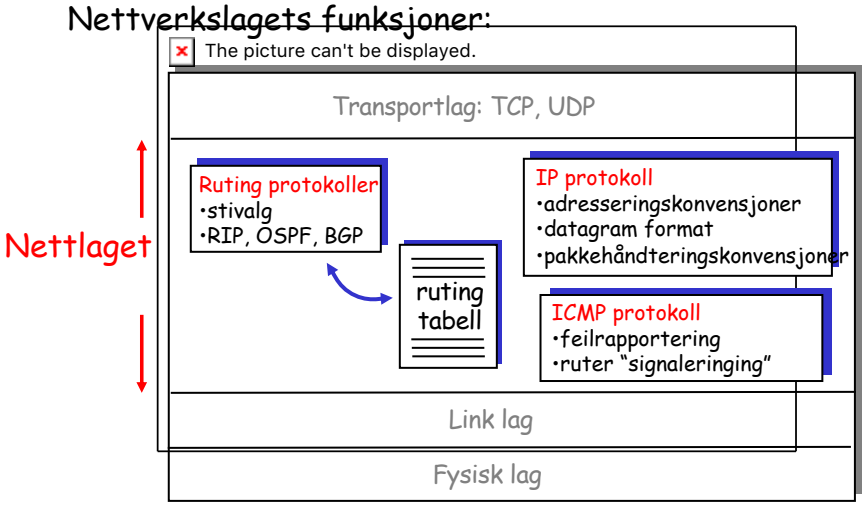
Intra-AS og Inter-AS ruting



- Vi skal studere inter-AS og intra-AS Internett ruting protokoller om et øyeblikk

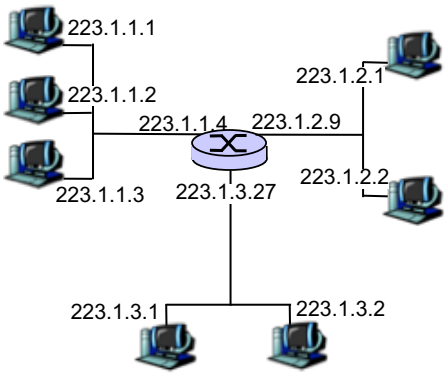
Nettlaget i Internett

Nettverkslagets funksjoner:



IP Adressering

- IP adresse: 32-bit identifikator for maskin, ruter *interface*
- *interface:* koblingen mellom maskin/ruter og fysisk link
  - en ruter har typisk mange interfaces
  - en maskin kan ha flere interfacer (men vanligvis bare ett)
  - IP adresser assosiert med interface, ikke maskin.

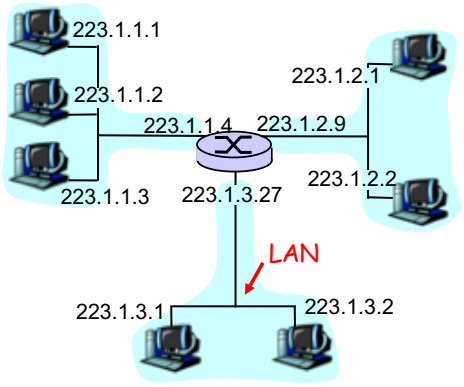


223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223 1 1 1

IP Adressering

- IP adresse:
  - nettverksdelen (høyeste bits)
  - "vertsmaskin" delen (laveste bits)
- *Hva er et nettverk ?* (fra IP-adresse synspunkt)
  - interfacer som har felles nettverksdel i adressen
  - kan nå hverandre fysisk uten å gå gjennom en IP-ruter

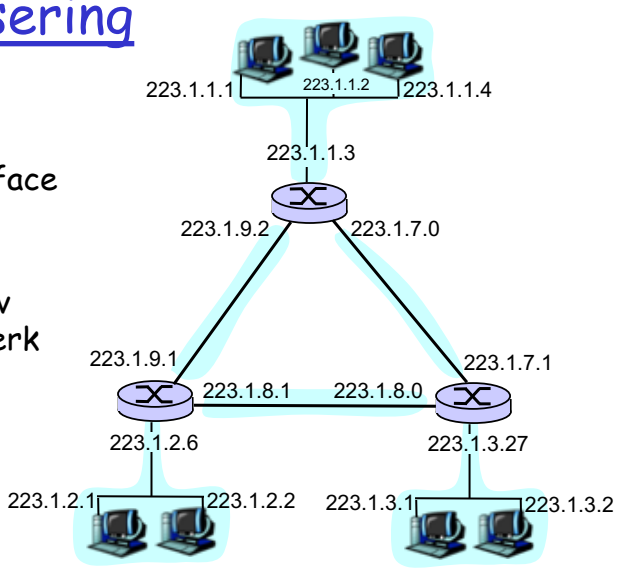


Nettverk som består av 3 IP nettverk (for IP adresser som starter med 223, er de første 24 bits nettverksadresse)

IP Adressering

Hvordan finne nettverket?

- Frikoble interface begrepet fra ruterbegrepet
- skape "øyer" av isolerte nettverk



Sammenkoblet system bestående av seks nettverk

IP Adresser