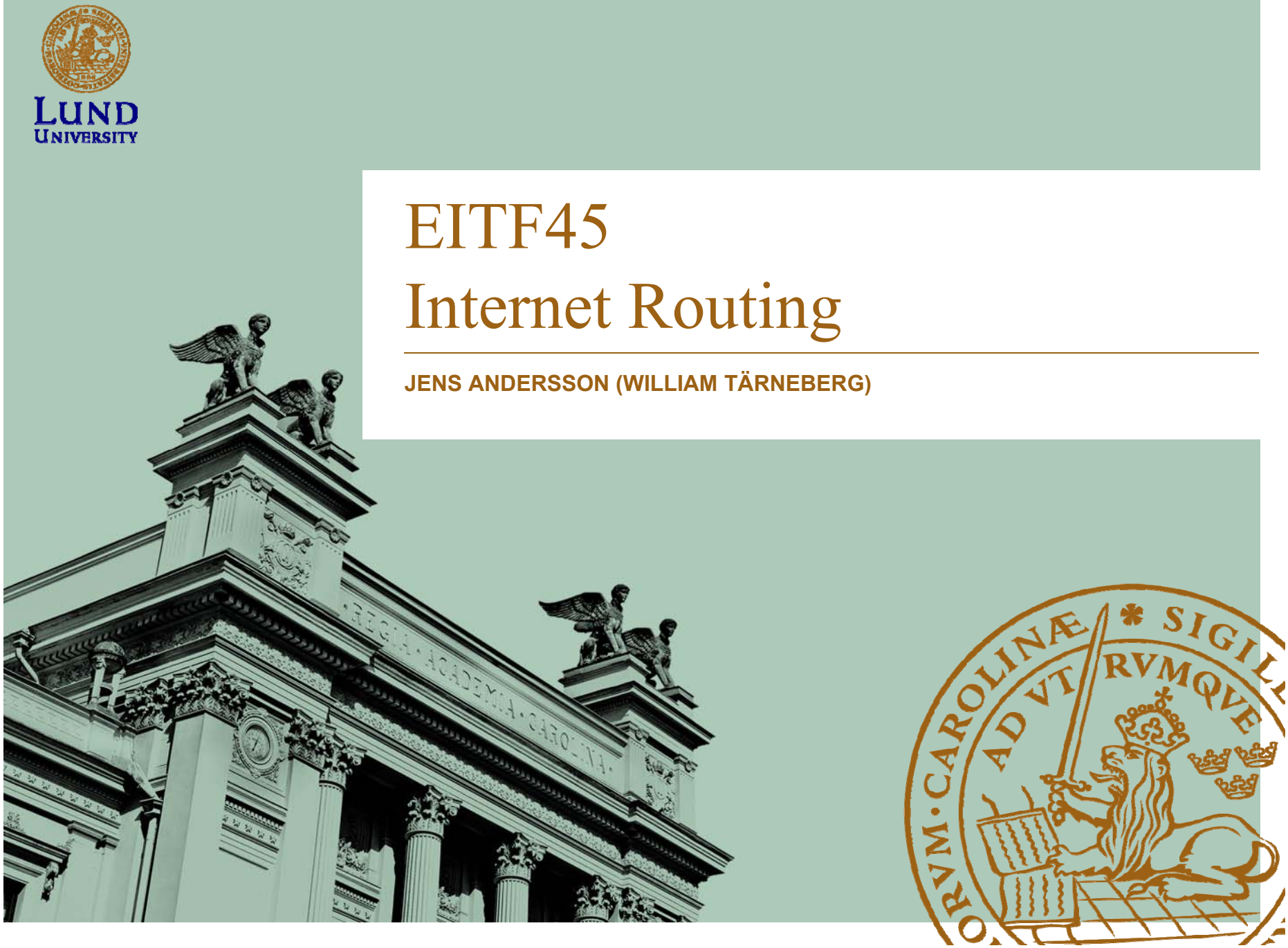


EITF45
Internet Routing

JENS ANDERSSON (WILLIAM TÄRNEBERG)

Läsanvisning

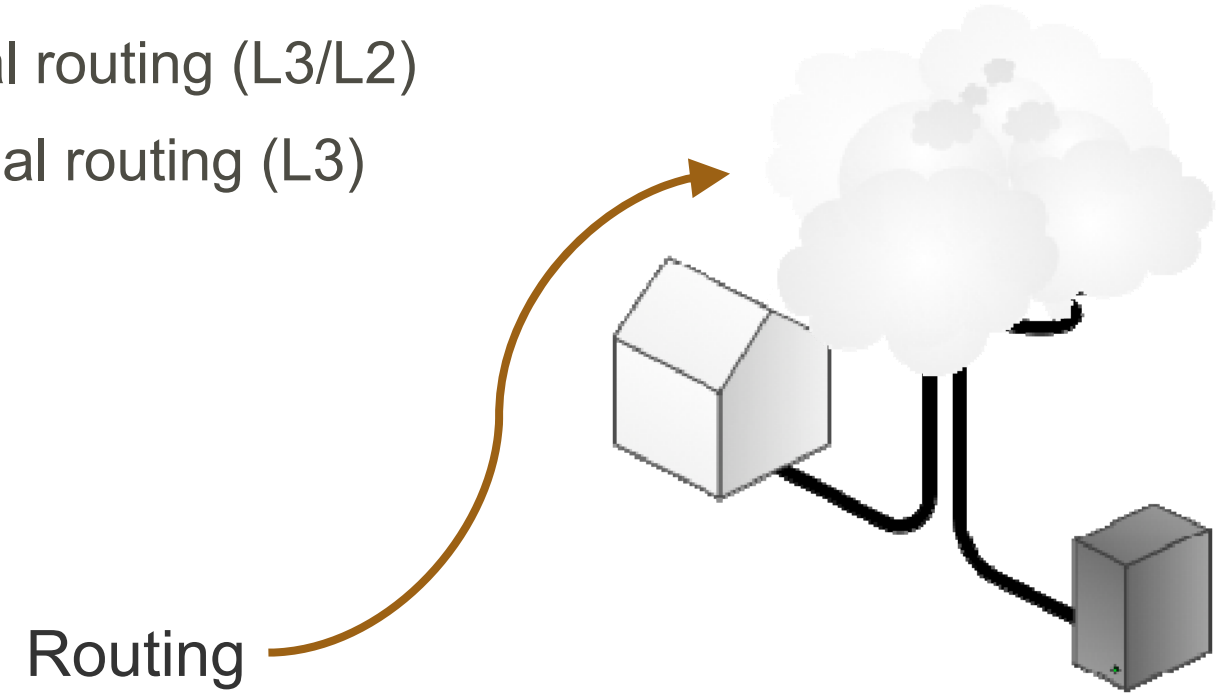
- Kihl & Andersson:
  - Kap 8, 9.3 – 9.4
- Stallings:
  - Kap 19.1 & 19.2
- Forouzan 5th ed
  - Kap 20.1 – 20.3, 21.1 – 21.2

Fråga: Kan två datorer ha samma IP-adress om de har olika nätmask?

- Alla IP-adresser måste vara unika
  - Masken enbart för att avgöra nät-id (*net id*)
- En IP adress består av nät-id och värd-id (*host id*)
- Gräns mellan nät-id och värd-id bestäms
  - Klassfullt
  - Klasslöst = nätmask
- 192.168.1.0/24 och 192.168.1.0/26 är två unika nät-id på två unika länkar
  - I routing gäller *longest match*
  - 192.168.1.0-192.168.1.63 kan därför inte dupliceras på 192.168.1.0/24

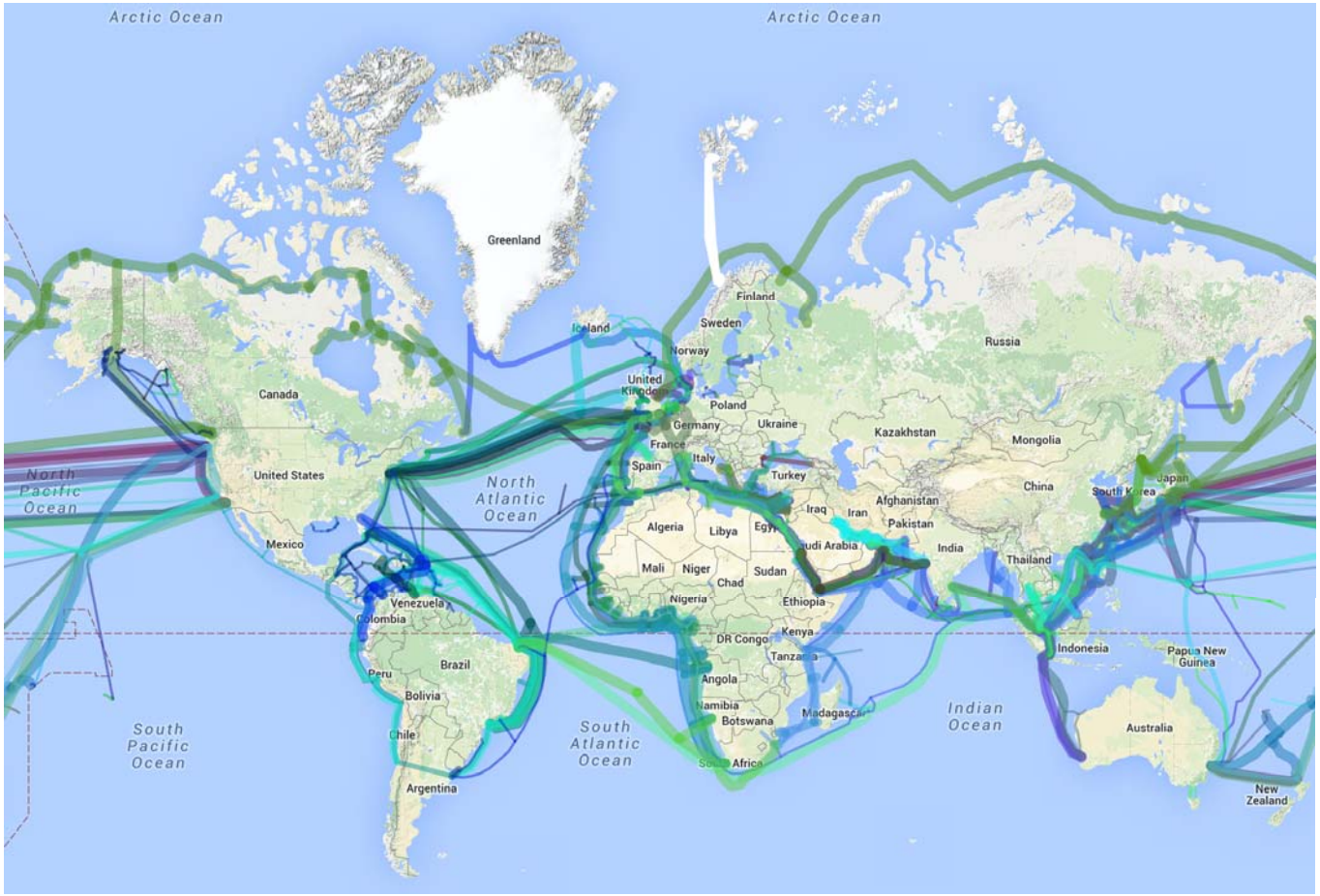
Agenda

- Internet
- Lokal routing (L3/L2)
- Global routing (L3)



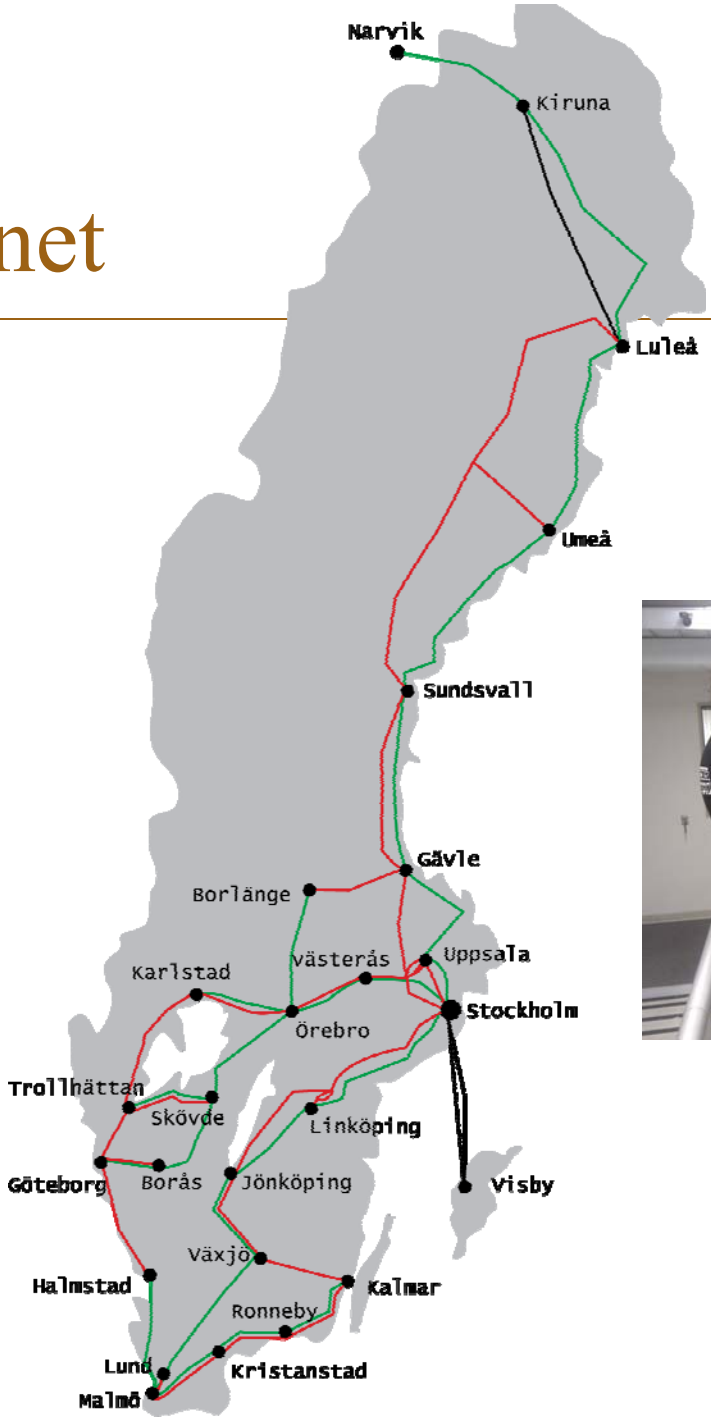
LUND UNIVERSITY

Fysiskt Internet – Globalt



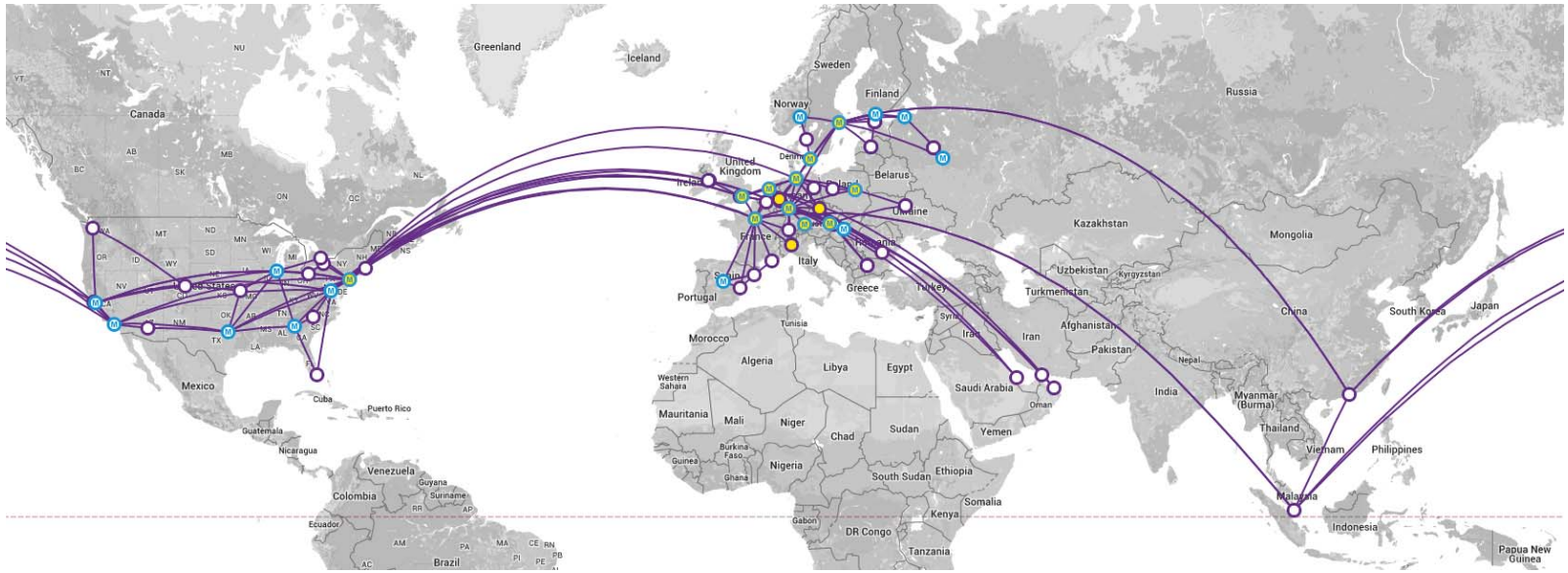
LUND UNIVERSITY

Backbone - Sunet



LUND UNIVERSITY

TeliaSoneras carrier network

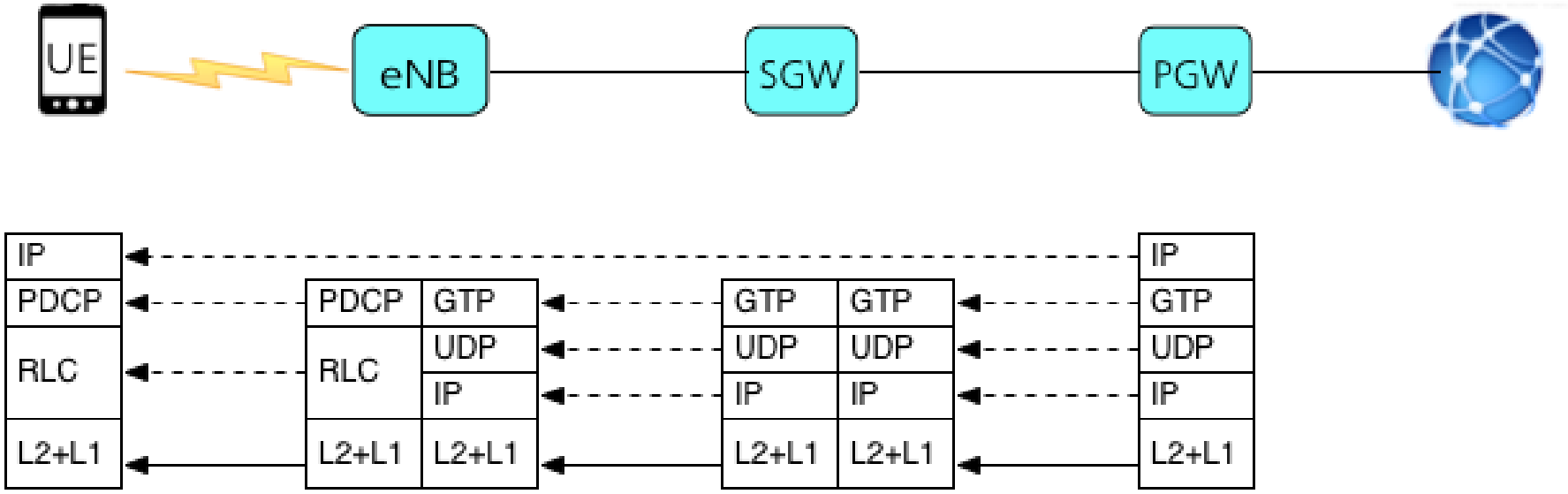


LUND UNIVERSITY

Virtuella Internet

LUND UNIVERSITY

Virtuellt Internet i LTE



LUND UNIVERSITY

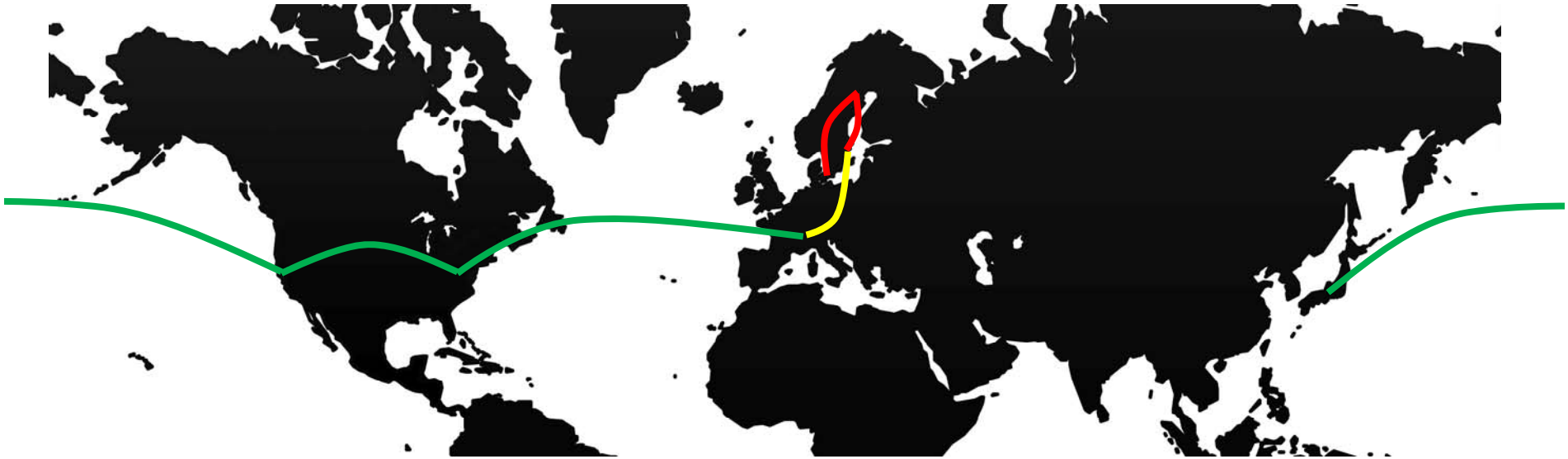
Traceroute

```
traceroute to www.japantimes.co.jp (54.178.172.143), 64 hops max, 52 byte packet
1  linksys64996 (10.166.117.223)  1.351 ms  1.228 ms  1.260 ms
2  c213-200-154-20.bredband.comhem.se (213.200.154.20)  2.069 ms  2.012 ms  1.78
3  213.200.165.97 (213.200.165.97)  4.605 ms  5.580 ms
4  213.200.163.33 (213.200.163.33)  3.958 ms
5  kbn-bb4-link.telia.net (80.91.253.244)  4.267 ms  5.590 ms
6  hbg-bb4-link.telia.net (62.115.112.49)  7.616 ms
7  ffm-bb1-link.telia.net (62.115.134.64)  24.637 ms  19.930 ms
8  ffm-b12-link.telia.net (62.115.142.47)  17.866 ms
9  ntt-ic-155239-ffm-b12.c.telia.net (213.248.72.10)  19.154 ms  19.458 ms  18.7
10  ae-5.r21.frnkge03.de.bb.gin.ntt.net (129.250.4.162)  17.665 ms  22.215 ms  1
11  ae-3.r22.londen03.uk.bb.gin.ntt.net (129.250.3.137)  26.374 ms  26.494 ms  2
12  ae-0.r23.londen03.uk.bb.gin.ntt.net (129.250.4.86)  34.629 ms  26.099 ms  26
13  ae-14.r22.osakjp02.jp.bb.gin.ntt.net (129.250.5.221)  286.609 ms  281.092 ms
14  ae-3.r23.osakjp02.jp.bb.gin.ntt.net (129.250.4.121)  298.383 ms  278.948 ms
15  ae-2.r01.osakjp02.jp.bb.gin.ntt.net (129.250.3.199)  278.661 ms  278.195 ms
16  ae-0.amazon.osakjp02.jp.bb.gin.ntt.net (61.200.82.122)  302.717 ms  304.344 r
17  27.0.0.250 (27.0.0.250)  290.503 ms
18  54.239.52.149 (54.239.52.149)  293.320 ms
19  27.0.0.67 (27.0.0.67)  300.398 ms
20  27.0.0.155 (27.0.0.155)  310.337 ms  306.450 ms  311.632 ms
```

Traceroute till Japan Times (Comhem)

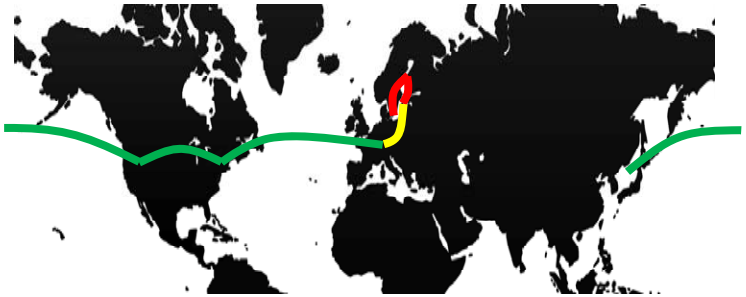
LUND UNIVERSITY

Traceroute till Japan Times (LTH/Sunet)



LUND UNIVERSITY

Inter Domain Routing = Policy Routing



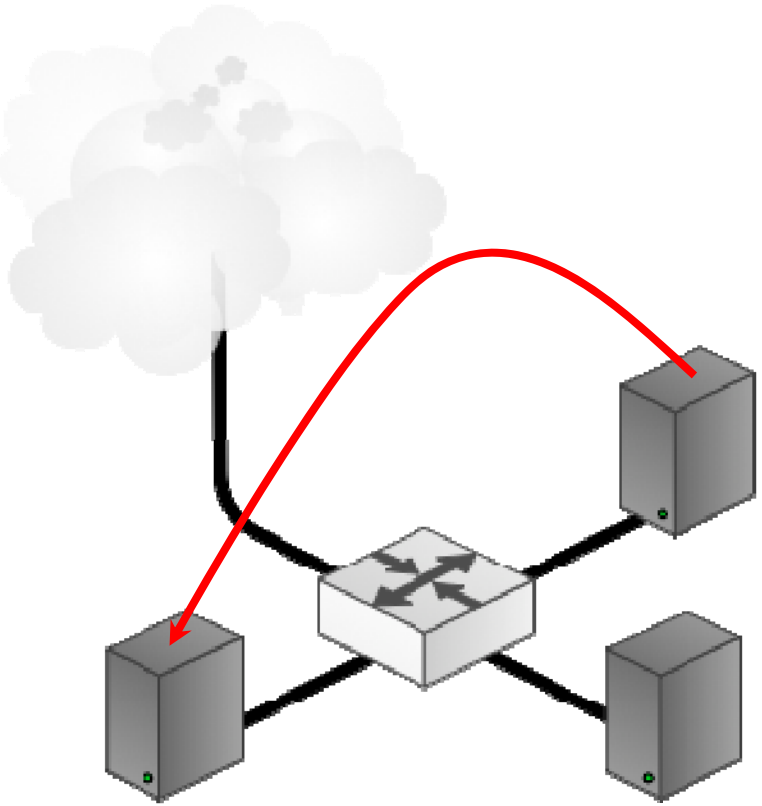
- Internet är ett nät av nät, inte ett nät
- Avtal, policy viktigare än konnektivitet
  - Vem har vi trafikutbyte med
  - Vem får bära vår trafik

Mer om Inter Domain Routing i ETSF10 Internetprotokoll

LUND UNIVERSITY

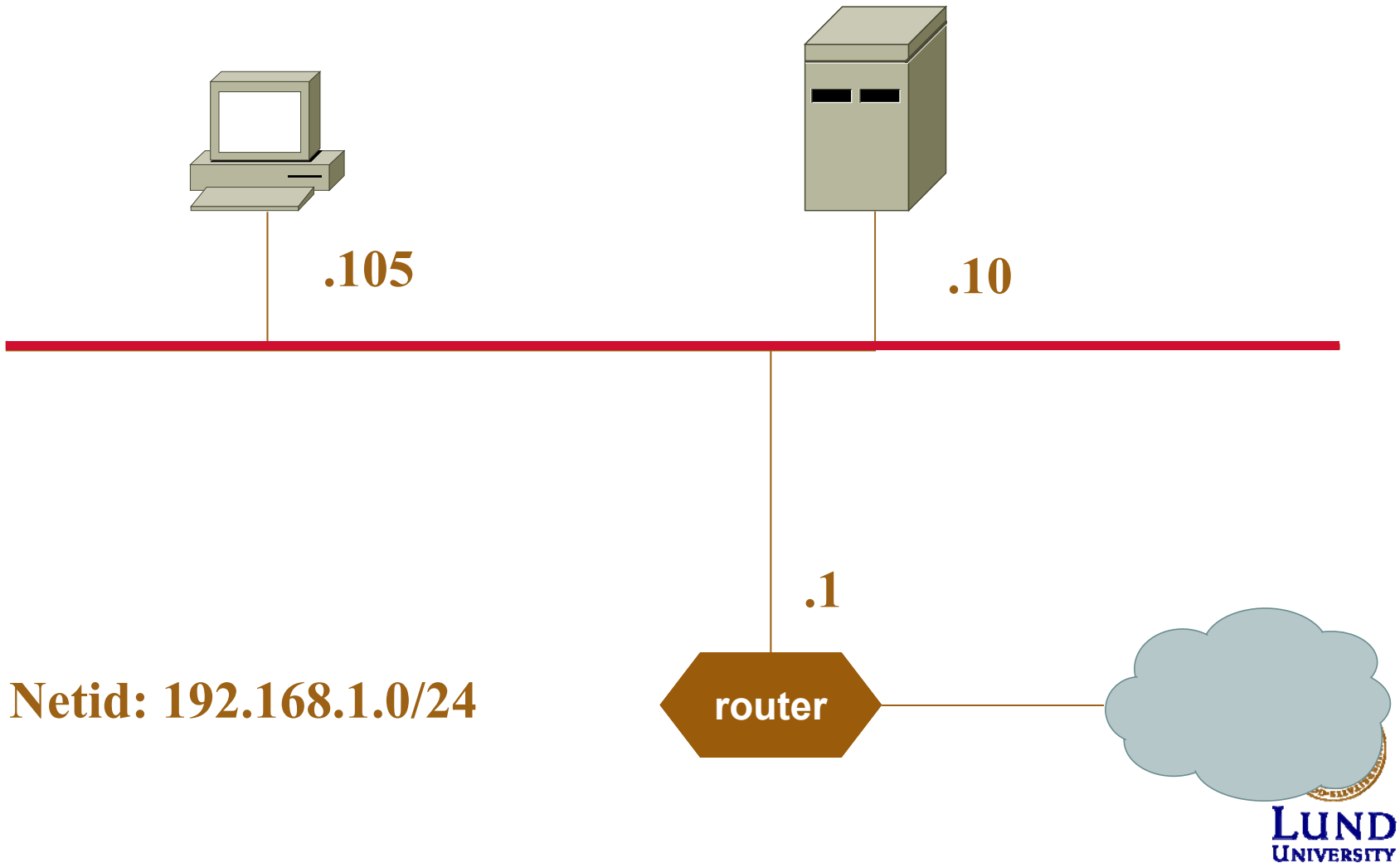
Lokal Routing

Lokal routing



LUND UNIVERSITY

Lokal Routing & ARP (1)

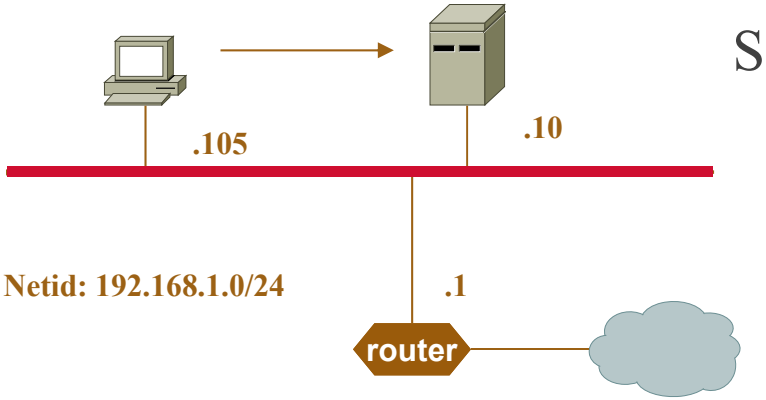


Slide 16

WT1 Remake image

William Tärneberg; 2015-09-16

Lokal Routing & ARP (2)



Sänd datagram till 192.168.1.10!

Är destinationen på samma nät?

Sändaren jämför egen nät-id med desitnationens nät-id.

i detta fall JA

Är destinationens MAC-adressen i ARP-cache?

om JA använd den

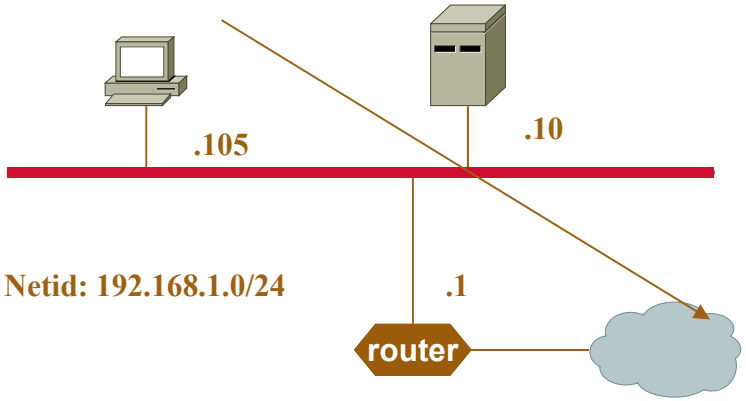
om nej använd ARP för destinationen

LUND UNIVERSITY

WT [2]1 Make pullet points as a sequence

William Tärneberg; 2015-09-16

Lokal Routing & ARP (3)



Sänd datagram till 10.0.100.35!

Är destinationen på samma nät?

Sändaren jämför egen nät-id med desitnationens nät-id.

i detta fall NEJ

Är def. gateway MAC-adressen känd och i ARP-cache?

om JA använd den

om NEJ använd ARP för def. gateway

LUND UNIVERSITY

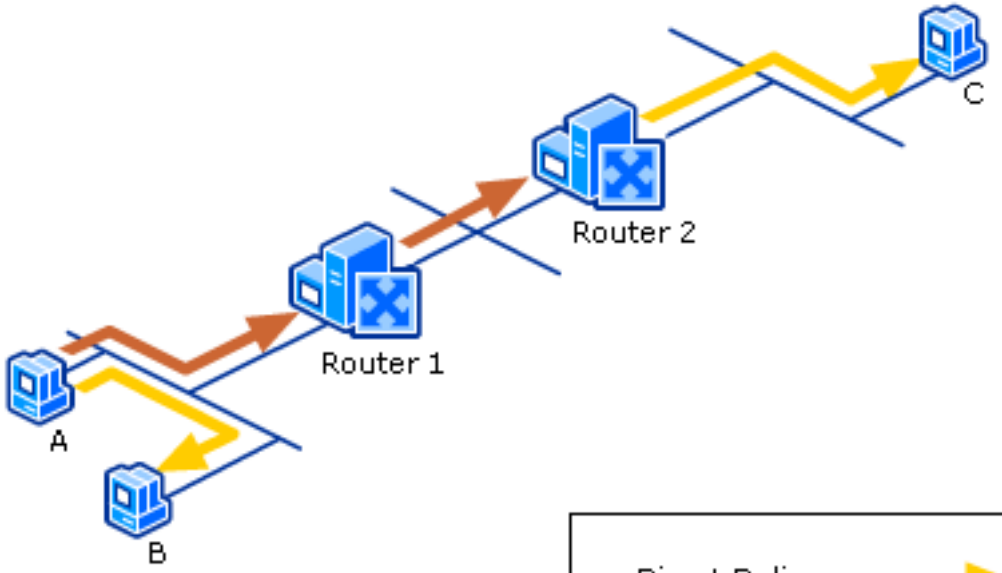
WT [3]1 Ny bild

William Tärneberg; 2015-09-16

Lokal routing och IPv6

- Fungerar analogt med IPv4 och ARP
- ARP ersätts med Neighbour Discovery Protocol i ICMPv6

ARP på alla länkar



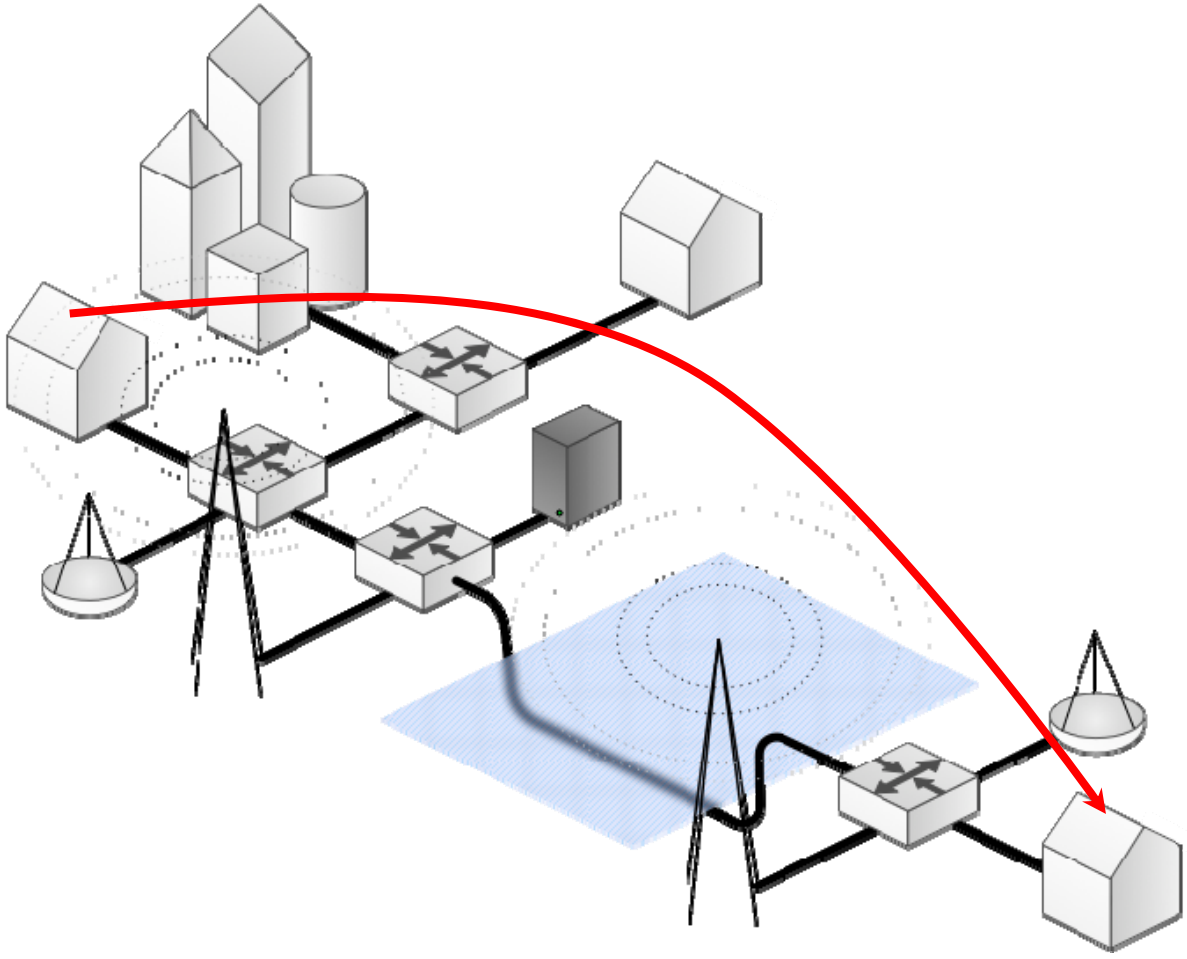
Från dator A till dator C

1. Dator A: ARP request (broadcast) “Router1”
2. Router 1: ARP reply med MAC
3. Router 1: ARP request (broadcast) “Router2”
4. Router 2: ARP reply med MAC
5. Router 2: ARP request (broadcast) “Dator C”
6. Dator C: ARP reply med MAC

LUND UNIVERSITY

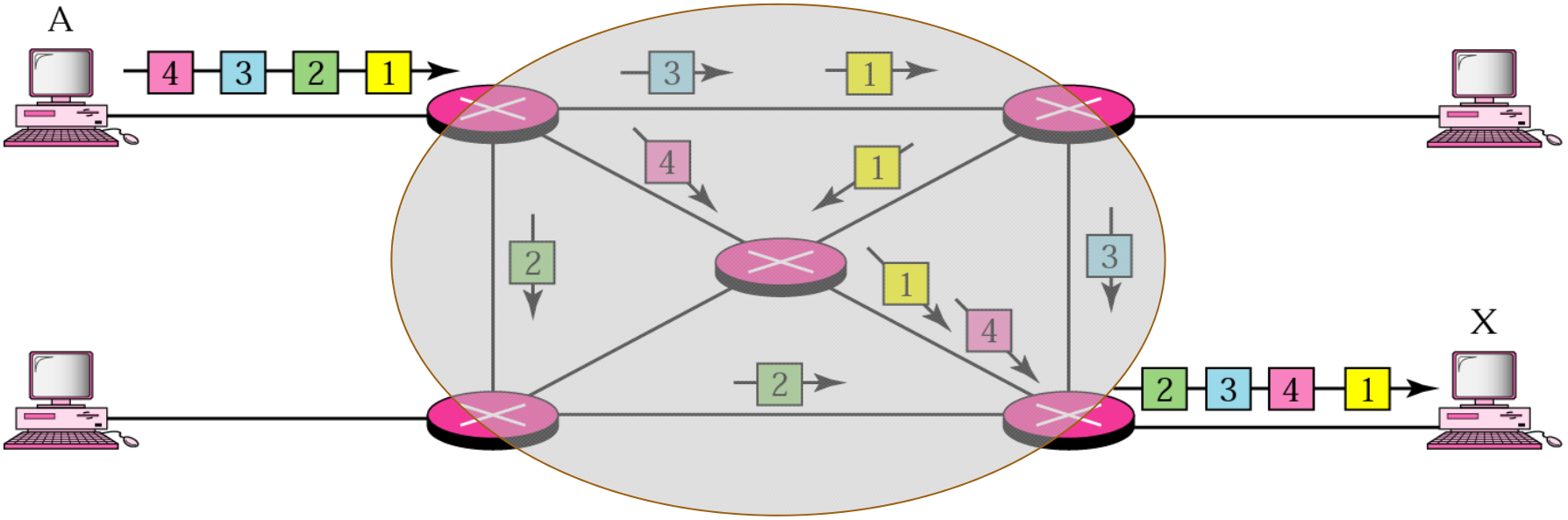
Global routing

Global routing



LUND UNIVERSITY

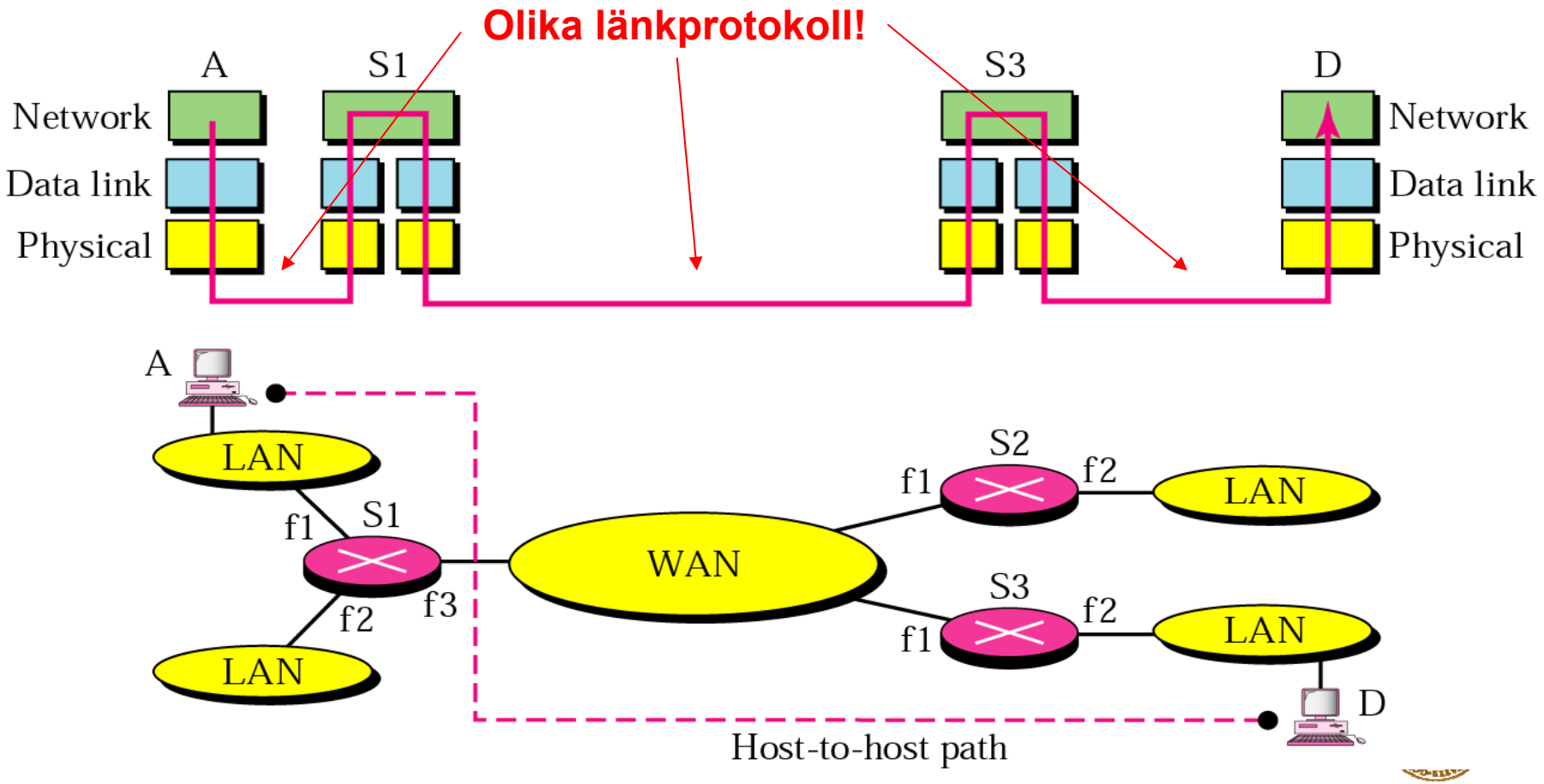
Datagram och nätet



- Paketen tar olika vägar
  - kan komma fram i oordning
- Dator A vet inte vilken väg paketet kommer att ta eller om det kommer fram (gäller IP-lagret)

LUND UNIVERSITY

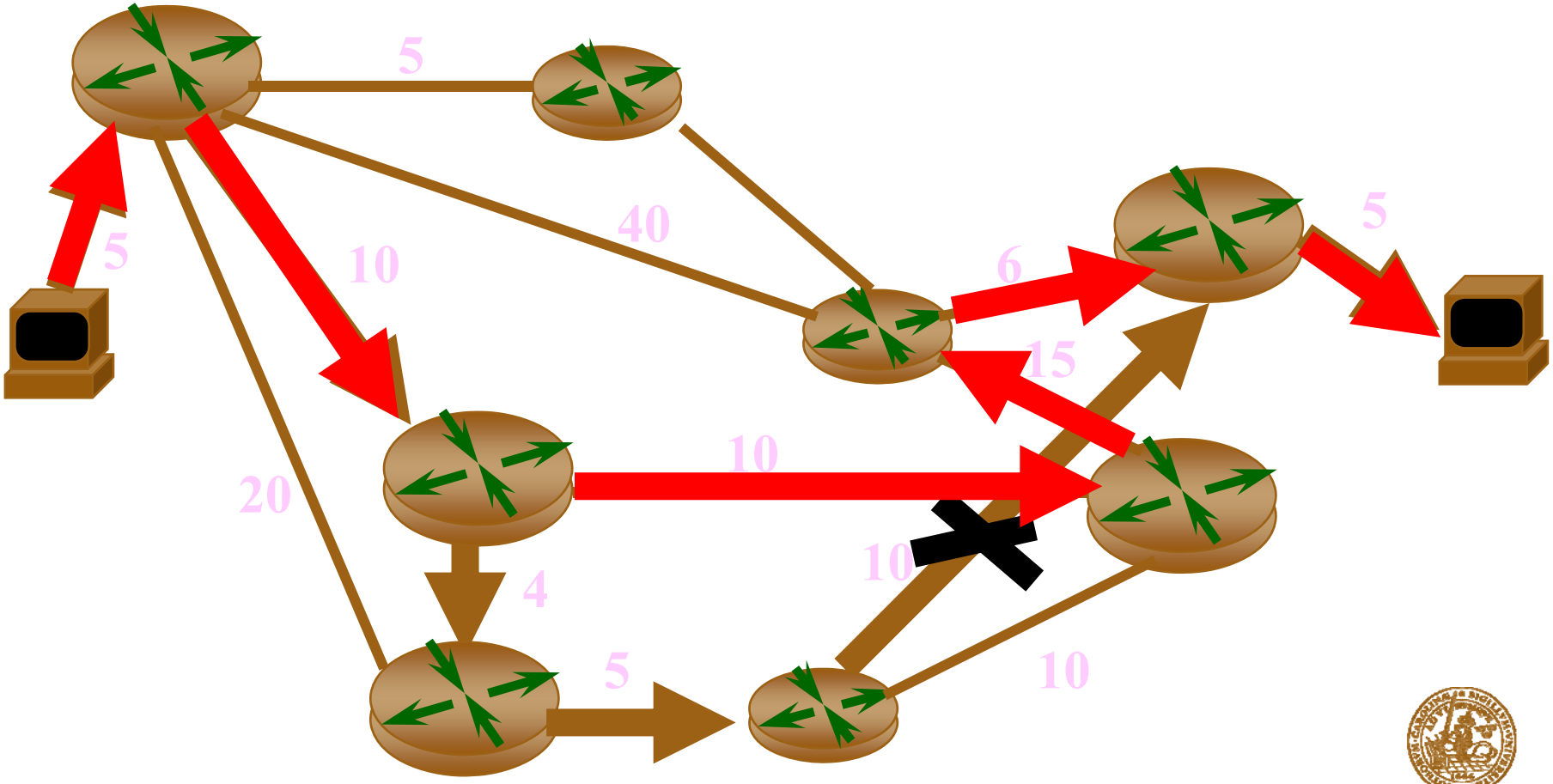
Nätverkslagret /Lager 3



WT [4]1 If time permits make a picture of the world, with satellite and water cable

William Tärneberg; 2015-09-16

Uppgift: Välj bästa väg!



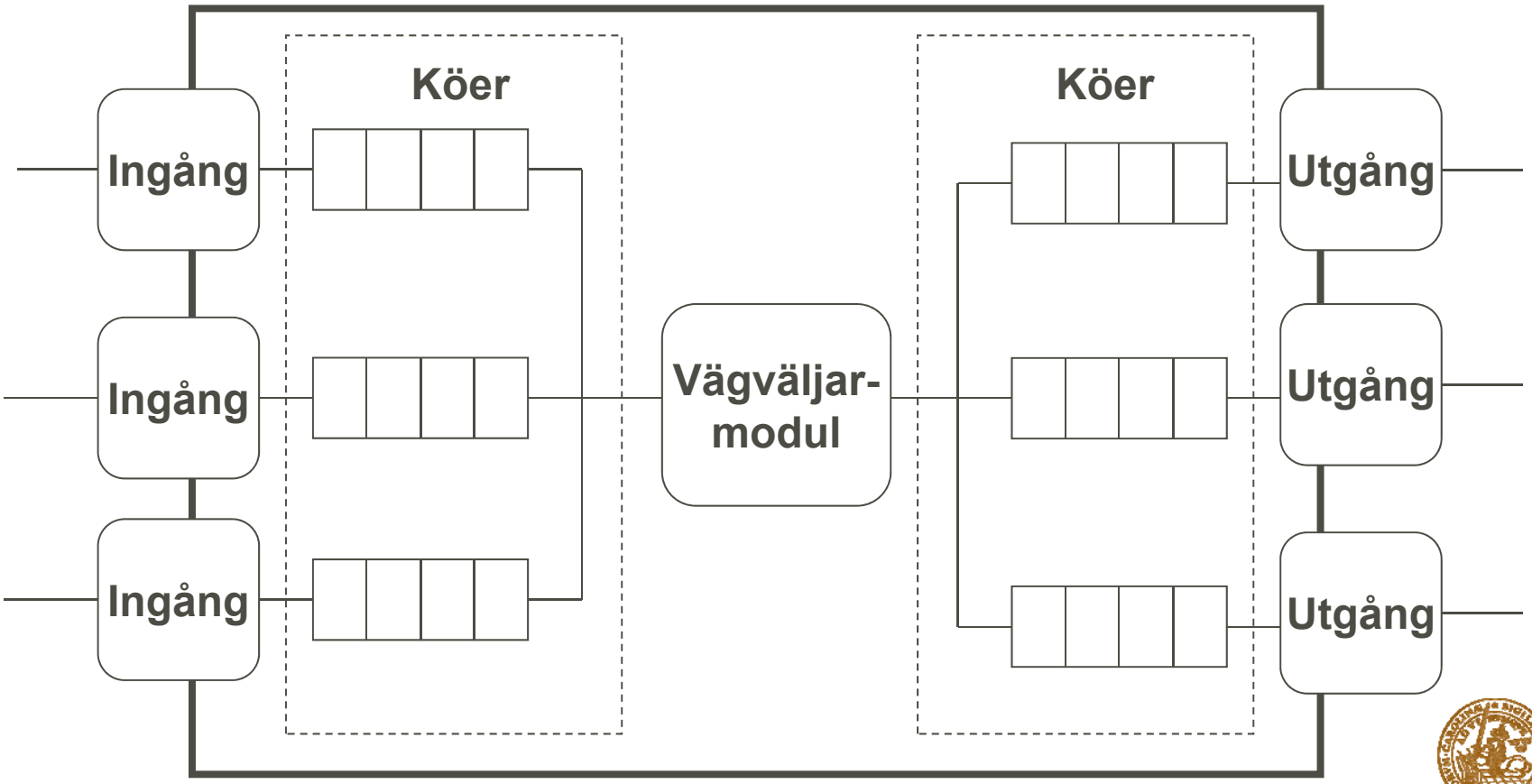
I alla lägen!

LUND UNIVERSITY

Routern

- En router förmedlar paket mellan nätverk baserat på nätverkslagrets adresser
- Routing-beslut fattas utifrån nät-identitet (net id), inte värd-identitet (*host id*)
- En router gör ”intelligenta” beslut om bästa väg för paketets vidare leverans mot slutdestinationen

Routern, schematiskt



LUND UNIVERSITY

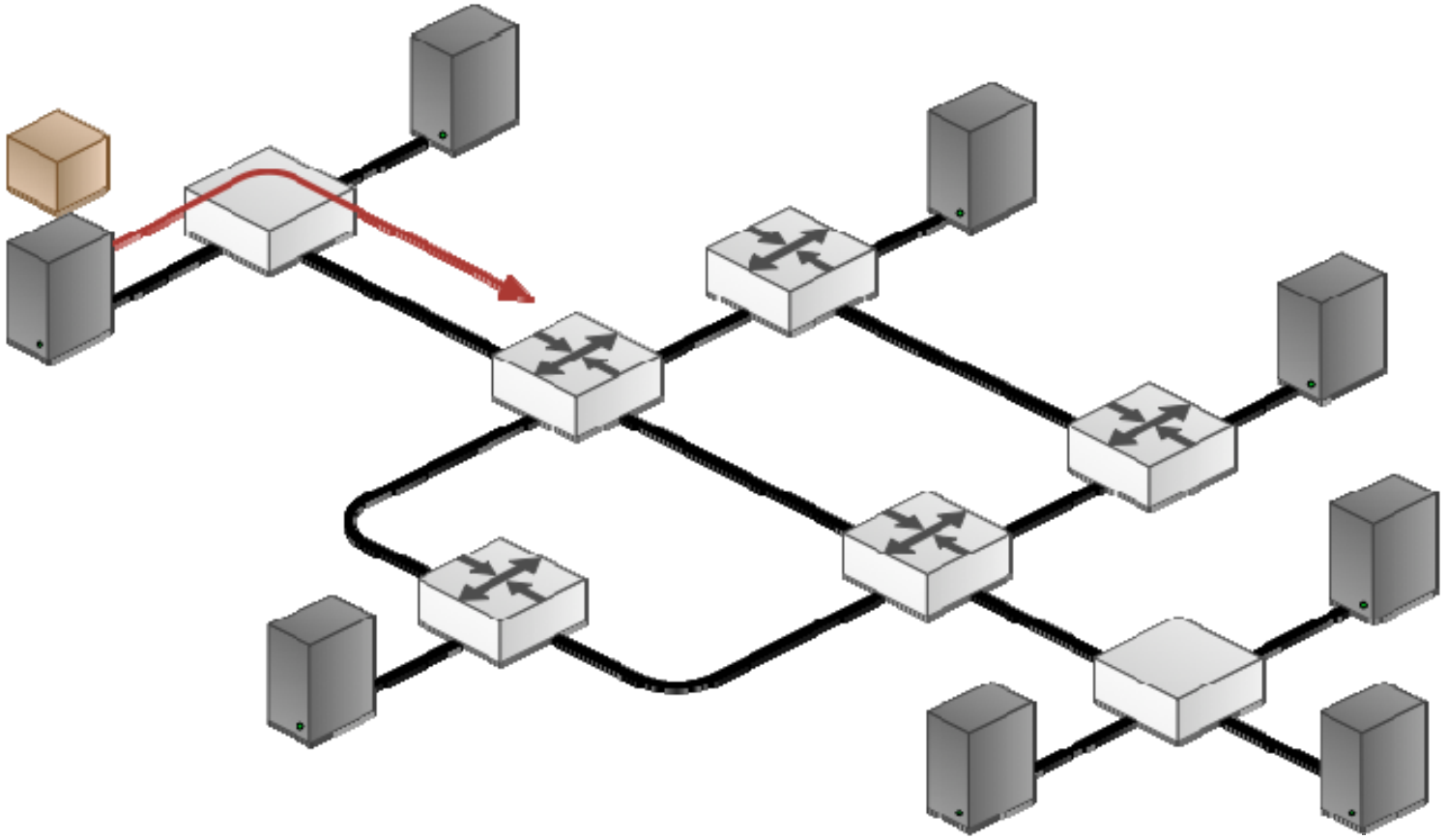
Routingprinciper

- Ingen “intelligens”
- Centraliserad
- Distribuerad

Ingen “intelligens”: Flooding

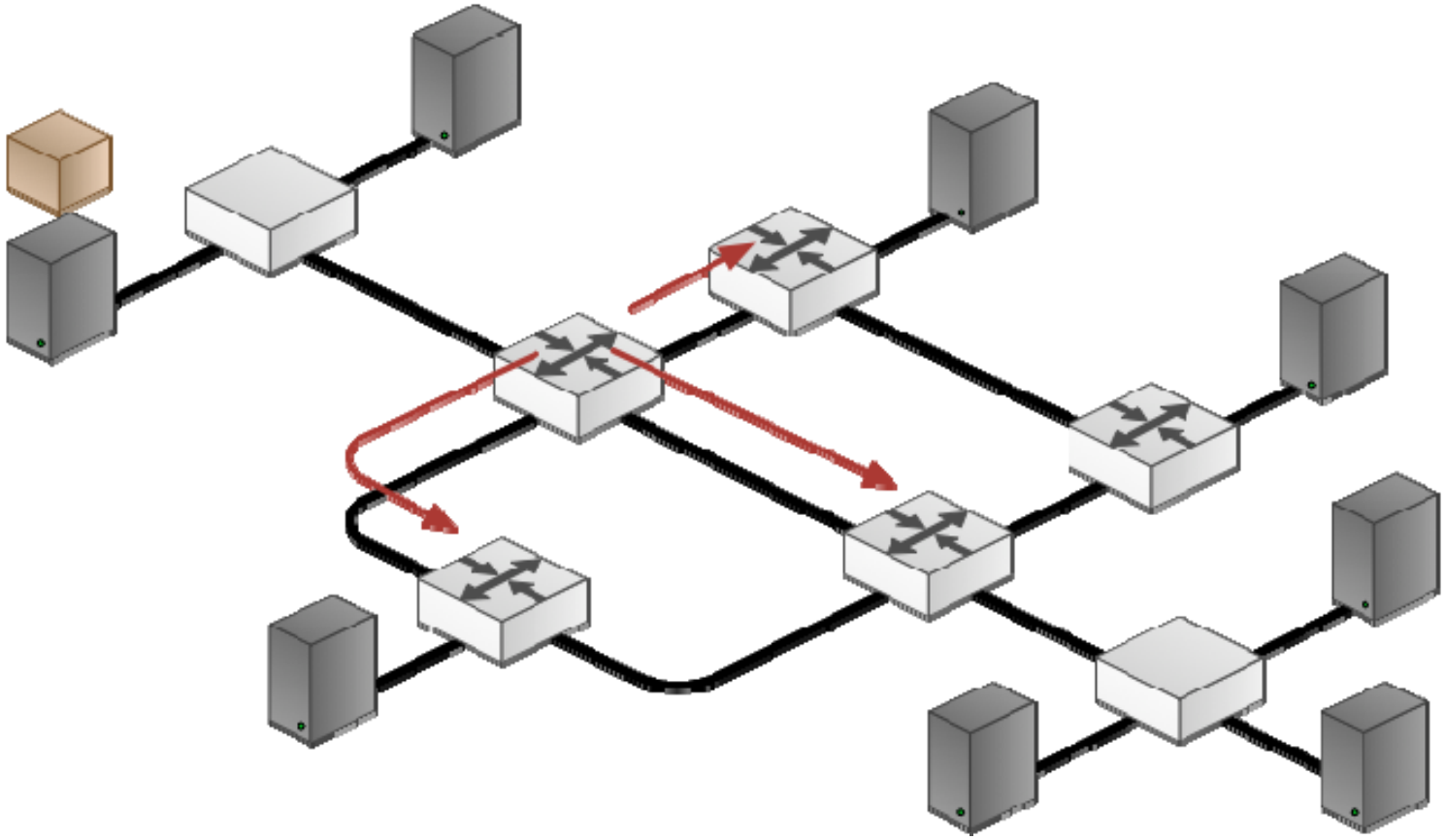
- Skicka ut all paket/datagram
  - På alla portar/interface/linkar
  - Utom ingress-porten/interfacet/linken

Flooding

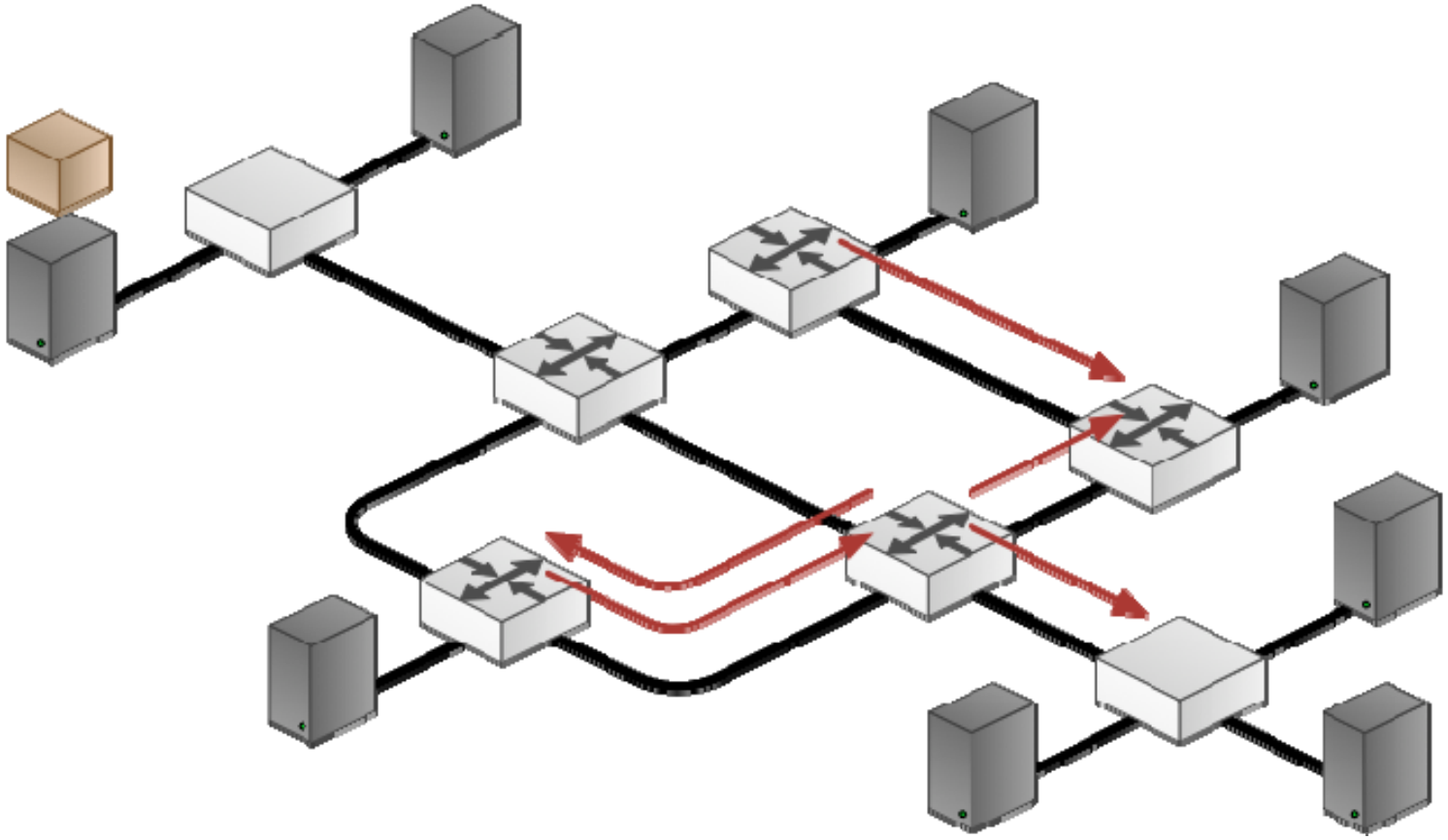


LUND UNIVERSITY

Flooding

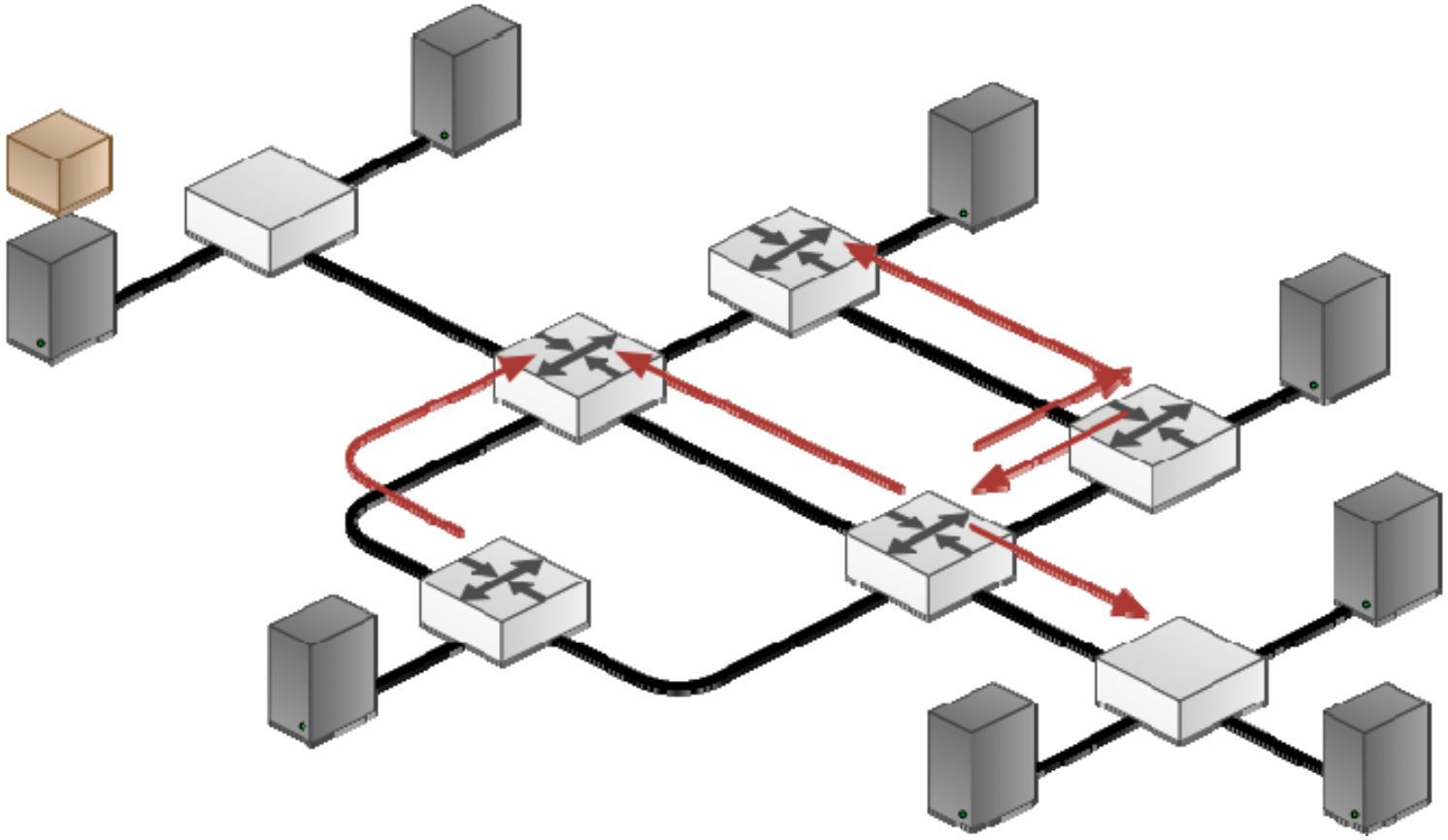


Flooding



LUND UNIVERSITY

Flooding



LUND UNIVERSITY

Ingen “intelligens”: Flooding

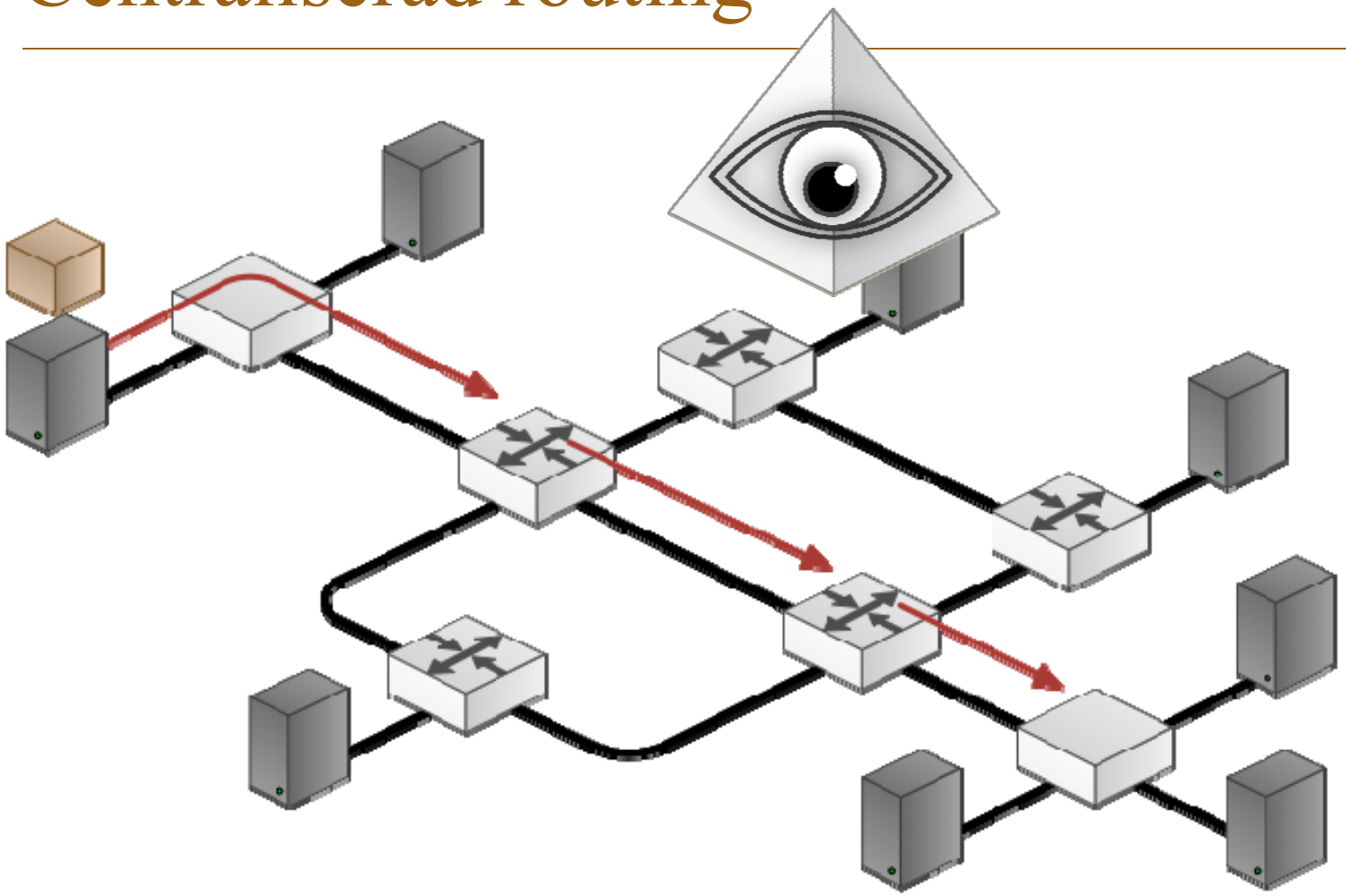
- Skicka ut all paket/datagram
  - På alla portar/interface/linkar
  - Utom ingress-porten/interfacet/linken
- Problem?
  - Paket som loopar
  - Onödig trafik
  - Två lösningar
    - »TTL-räknare
    - »Kom ihåg vilka paket som redan hanterats

Centraliserad routing

- Databas och algoritm centralt
  - Noderna i nätet uppdaterar den centrala funktionen
- Paketförmedlingen distribuerad
  - självklart! eller?

LUND UNIVERSITY

Centraliserad routing



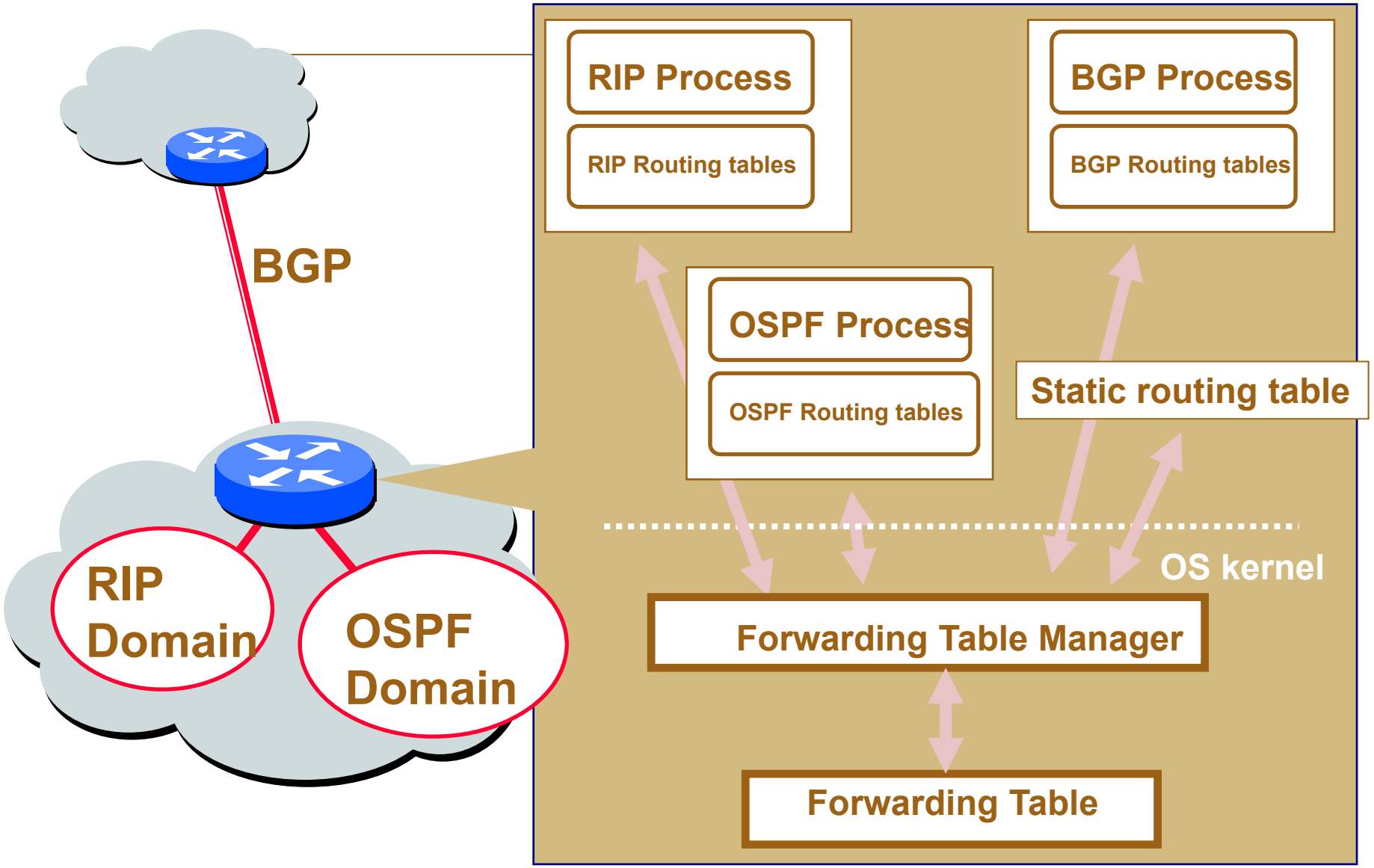
LUND UNIVERSITY

Distribuerad routing

- Routingprocessen distriburad till alla routrar
- Två metoder
  - **Distance Vector**
    - » Varje nods information om bästa vägar distribueras till nodens grannar
    - » Bästa väg e-2-e fås fram genom jämförelse med alla möjliga *next hop*
    - » Enkelt, låga krav på processor och minne
  - **Link State**
    - » Information om lokal om topologi flödas (*flooding*) till alla noder
    - » Bästa väg e-2-e till alla noder beräknas lokalt i varje nod (trädbyggnad)
    - » Komplicerat med krav på processorkraft och minne

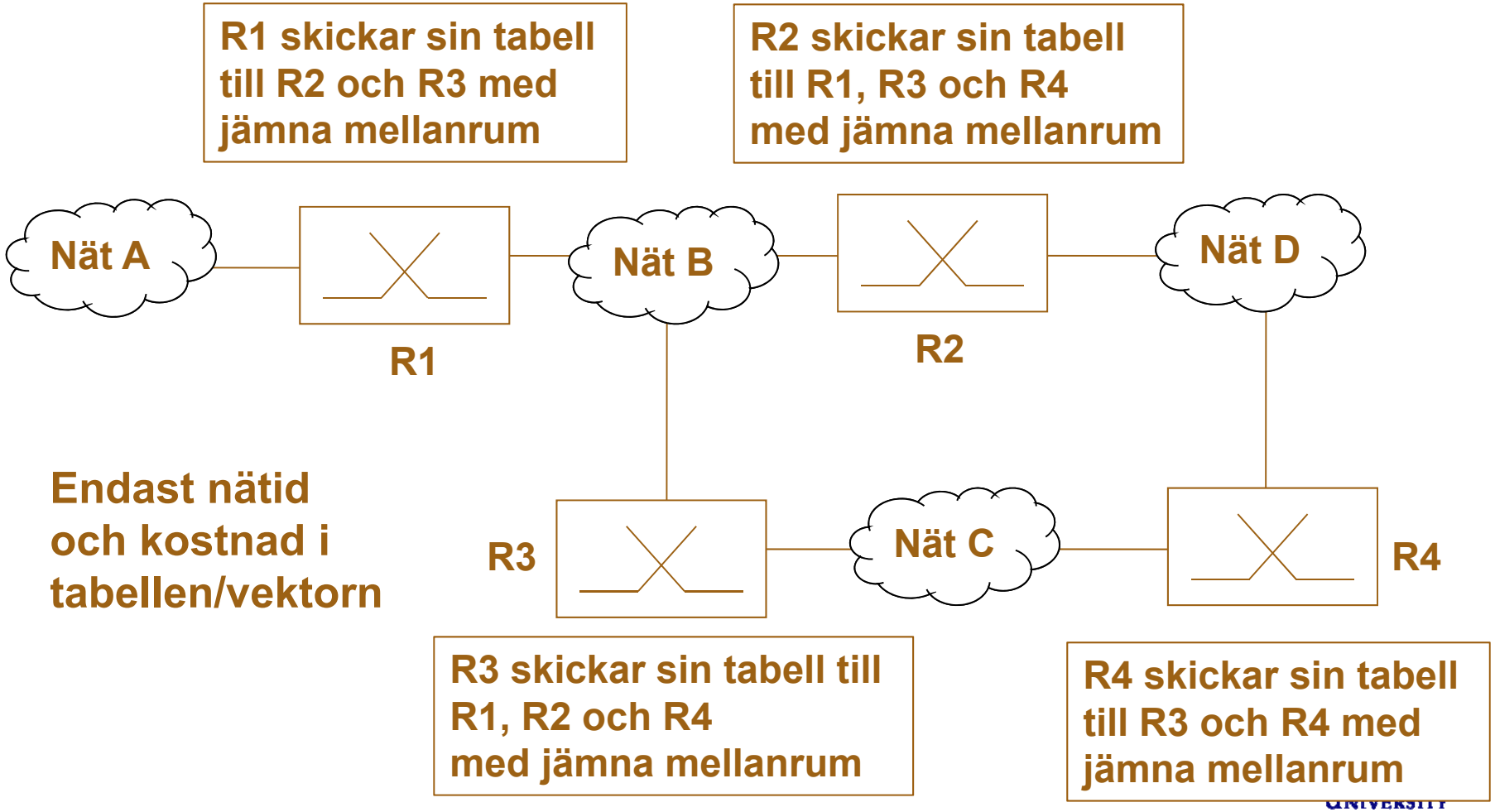
LUND UNIVERSITY

Routing Tables and Forwarding Table



Distance Vector

Distance Vector: Princip



Distance vector: princip

- Alla kända bästa vägar **skickas till grannar**
  - Periodiskt
  - Vid varje förändring
- Routingtabeller **uppdateras** vid
  - Info om nya noder
  - Ändrad kostnad eller vägar/*paths*
- ”Global kunskap sprids lokalt”

LUND UNIVERSITY

En distance vector

Allmänna fallet

Nod	Kostnad
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

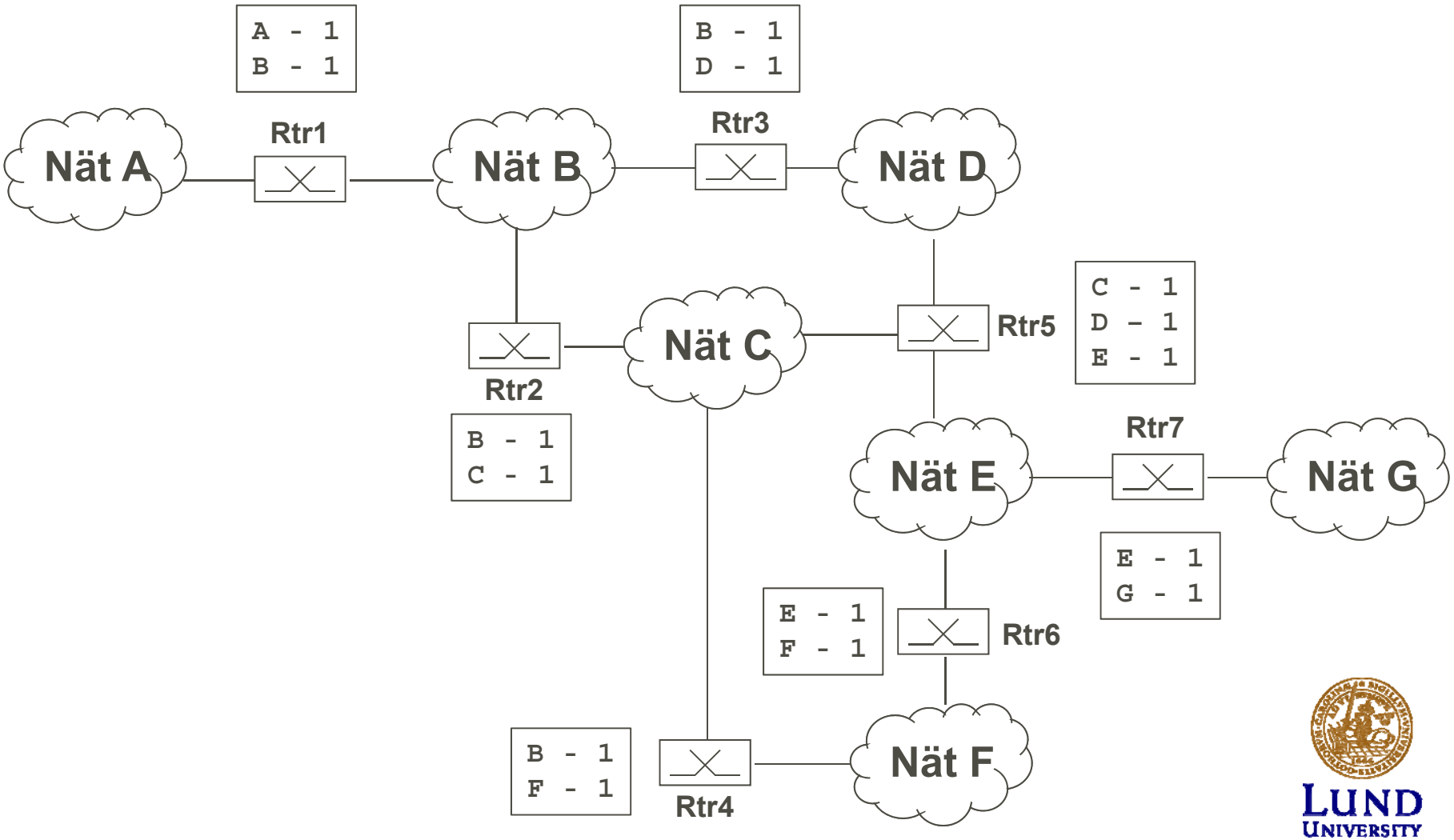
För routing

Destination	Kostnad
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

Next Hop = den som skickar vektorn

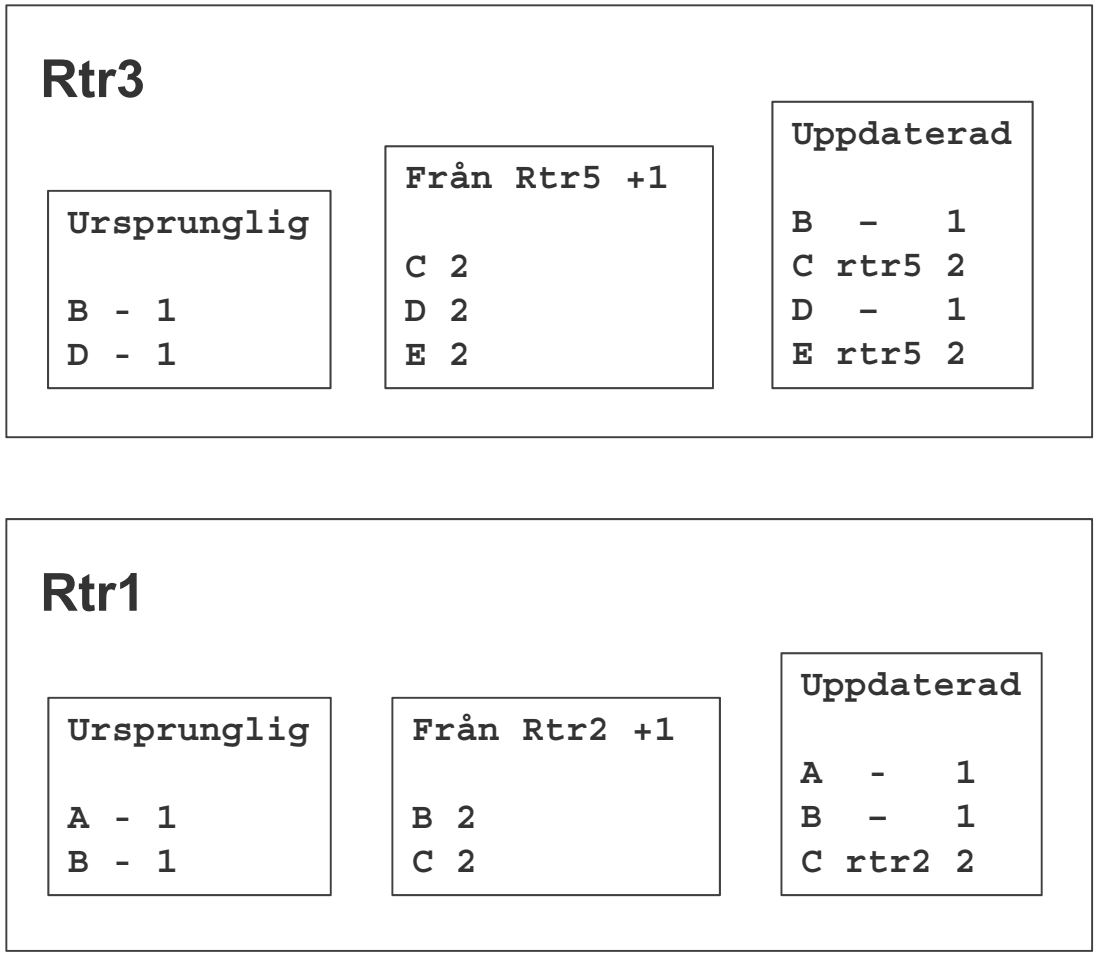
LUND UNIVERSITY

Exempel - Hop count



LUND UNIVERSITY

Uppdatering av routingtabell



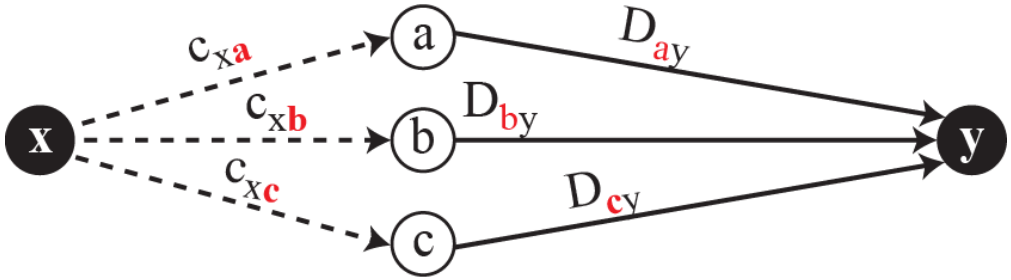
LUND UNIVERSITY

Bellman-Fords algoritm

```
(1)          if (advertised destination not in table) then
                    update table
(2)          else
(2.a)        if (advertised next-hop = next-hop in table) then
                    replace entry
(2.b)        else
(2.b.i)      if (advertised hop count < hop count in table) then
                    replace entry
(2.b.ii)     else
                    do nothing
```

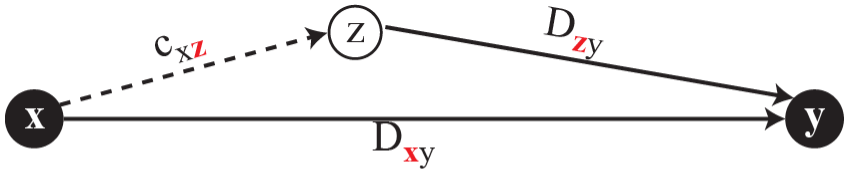
LUND UNIVERSITY

Bellman-Fords ekvation



a. General case with three intermediate nodes

$$D_{xy} = \min\{(c_{xa} + D_{ay}), (c_{xb} + D_{by}), (c_{xc} + D_{cy}) \ldots\}$$



b. Updating a path with a new route

$$D_{xy} = min\{D_{xy}, (c_{xz} + D_{zy})\}$$

Not! D_{xy} kan ändras utan att nod z tillkommit!

LUND UNIVERSITY

Distance Vector, funderingar

- Periodiska uppdateringar!?
  - Hur hitta grannar?
  - Hur upptäcka att en granne försvinner?
- Problem med länkar och noder (bortom grannar) som försvinner.
  - Finns inget naturligt sätt att säga ”avbrott”

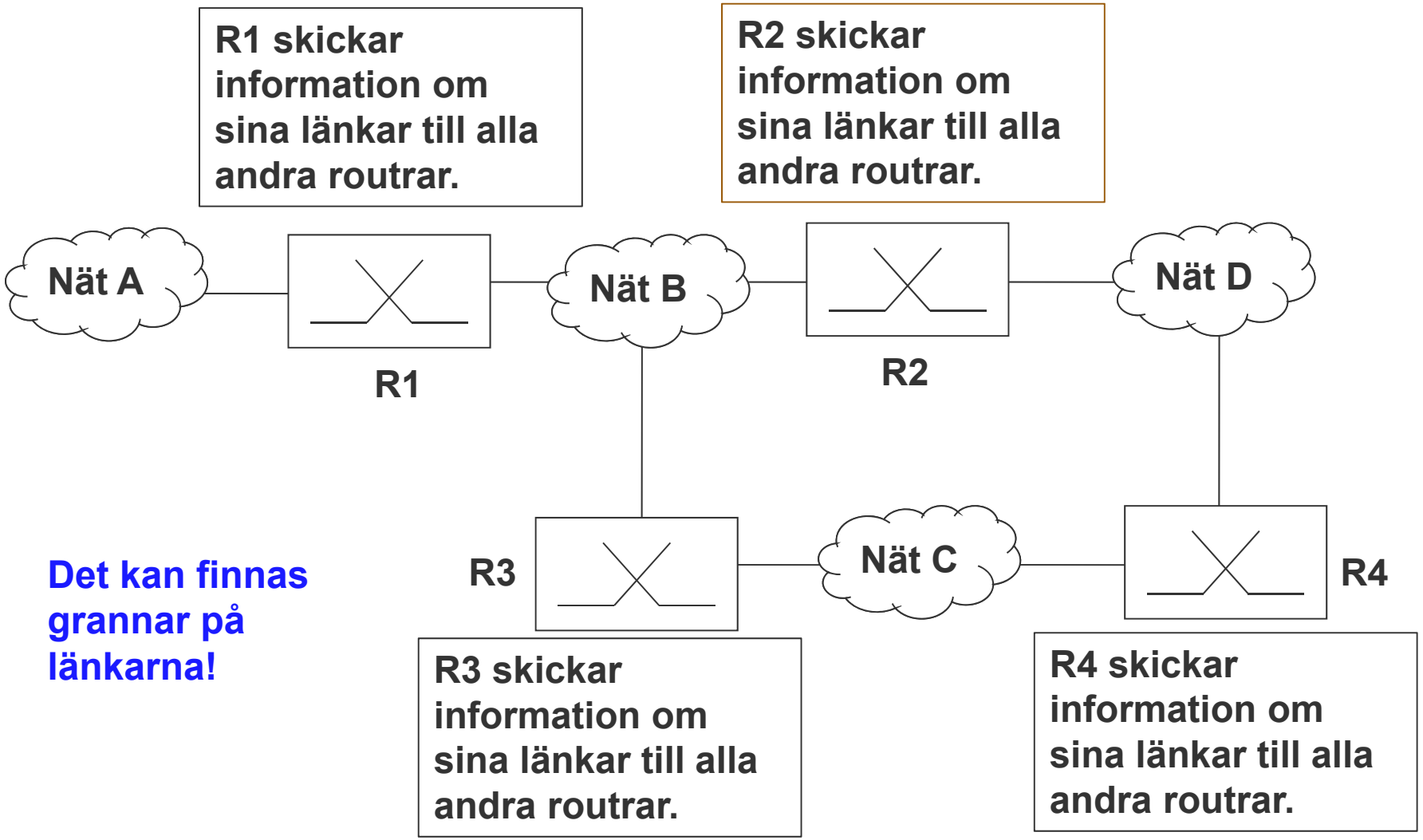
Mer i ETSF10 Internetprotokoll

Link State

Link state: princip

- **Lokal topologi** info **flödas** globalt (LSA)
  - Periodiskt (i praktiken mycket sällan, typ varje halvtimme)
  - Vid lokal förändring
- Skapa databas i varje node med alla kända link states
- Uppdatera routing-tabell när ny information läggs in i databasen (Shortest Path First)
- ”Lokal kunskap sprids globalt”

Link State: princip



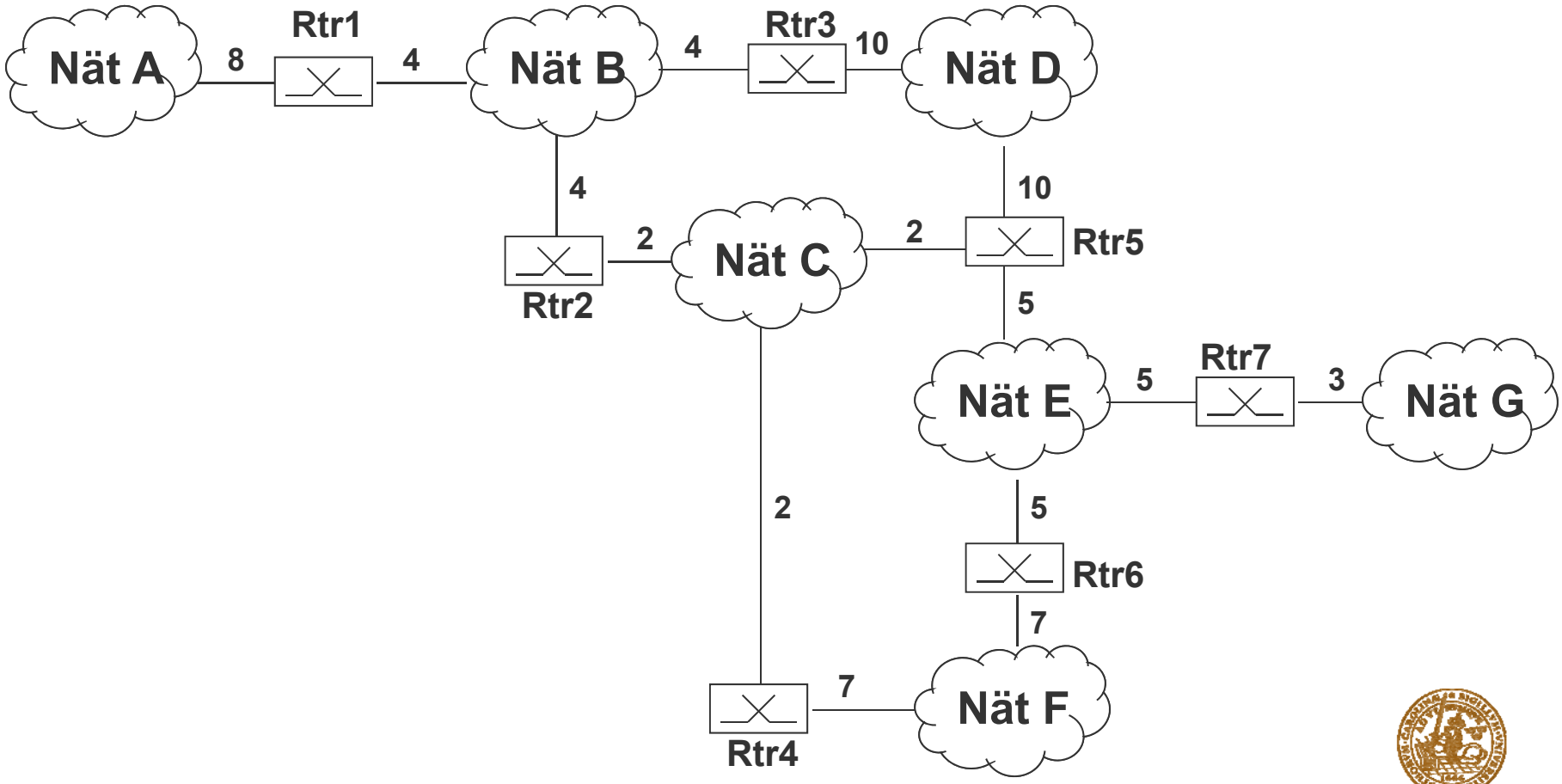
LSA (*Link State Advertisement*)

Advertiser	Network ID	Cost	Neighbour

Link State Databas, exempel

Advertiser	Network ID	Cost	Neighbour
Rtr 1	Net B	8	---
Rtr 1	Net B	4	Rtr 2
Rtr 1	Net B	4	Rtr 3
Rtr 2	Net B	4	Rtr 1
Rtr 2	Net C	2	Rtr 4
Rtr 2	Net C	2	Rtr 5
Rtr 3	Net B	4	Rtr 2
Rtr 3	Net B	4	Rtr 2
Rtr 3	Net D	10	Rtr 5
…..	…..	…..	…..

Link State: ett exempel



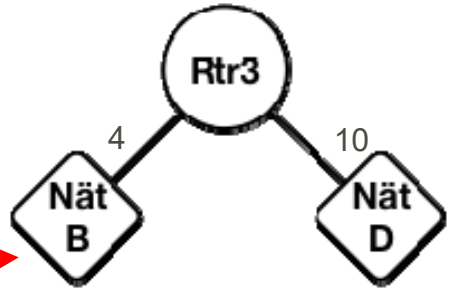
LUND UNIVERSITY

Dijkstras algoritm: Shortest Path First

1. Identify the root (the node itself)
2. Attach all neighbor nodes temporarily
3. Make link and node with least cumulative cost permanent
4. Choose this node
5. Repeat 2 and 3 until all nodes are permanent

LUND UNIVERSITY

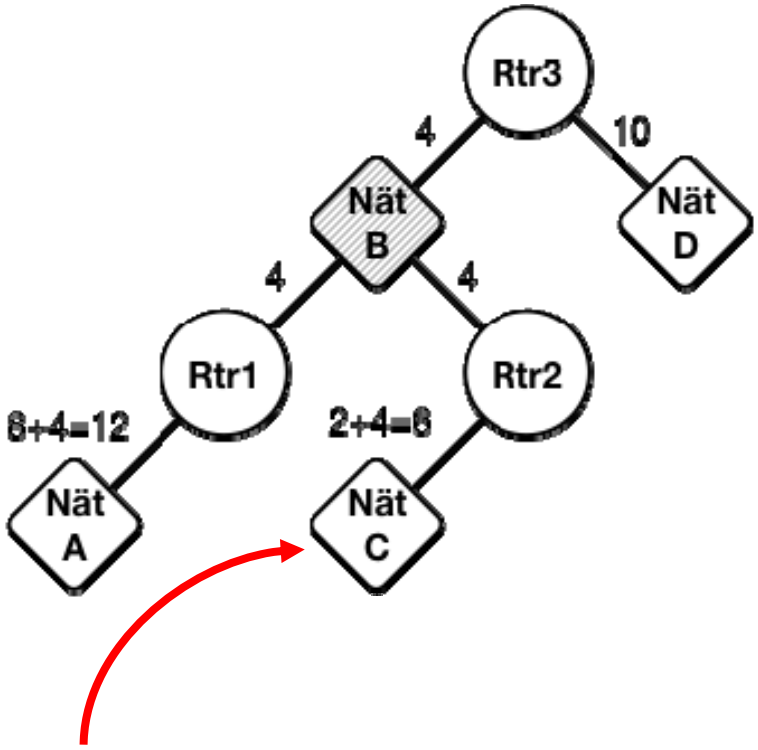
SFP Rtr 3: steg 1



“Billigast” -> Permanent

LUND UNIVERSITY

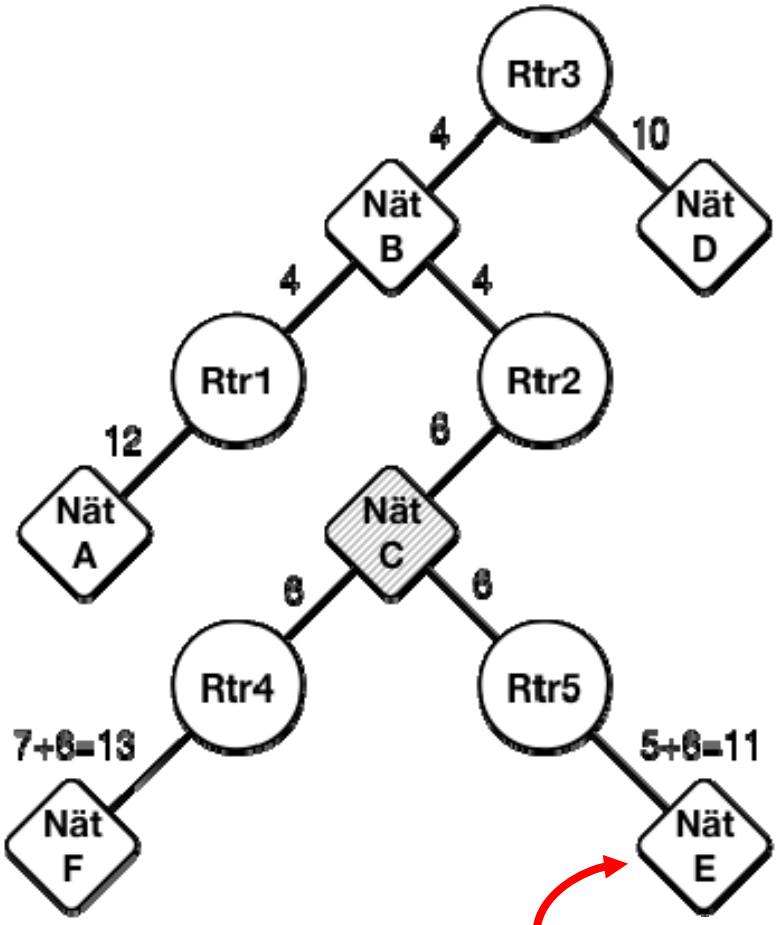
SFP Rtr 3: steg 2



“Billigast” -> Permanent

LUND UNIVERSITY

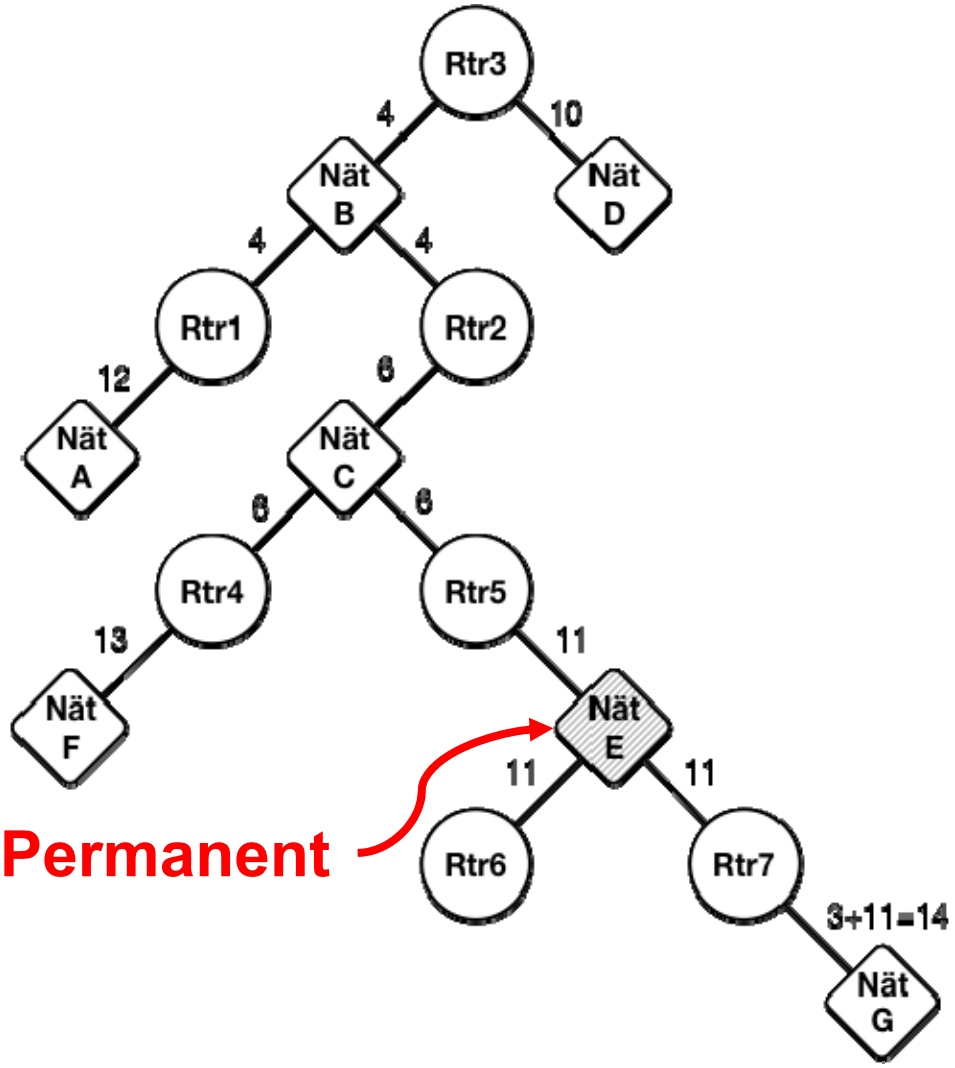
SFP Rtr 3: steg 3



“Billigast” -> Permanent

LUND UNIVERSITY

SFP Rtr 3: steg 4 (Slutlig)



“Billigast” -> Permanent

LUND UNIVERSITY

Routingtabell för rtr3

Network ID	Next-hop	Cost
Net A	Rtr1	12
Net B	-	4
Net C	Rtr2	6
Net D	-	10
Net E	Rtr2	11
Net F	Rtr2	13
Net G	Rtr2	14

Link State, funderingar

- Periodiska uppdateringar!?
- Problem med länkar och noder som försvinner.
- Hur hitta grannar?
- Hur upptäcka att en granne försvinner?

Mer i ETSF10 Internetprotokoll

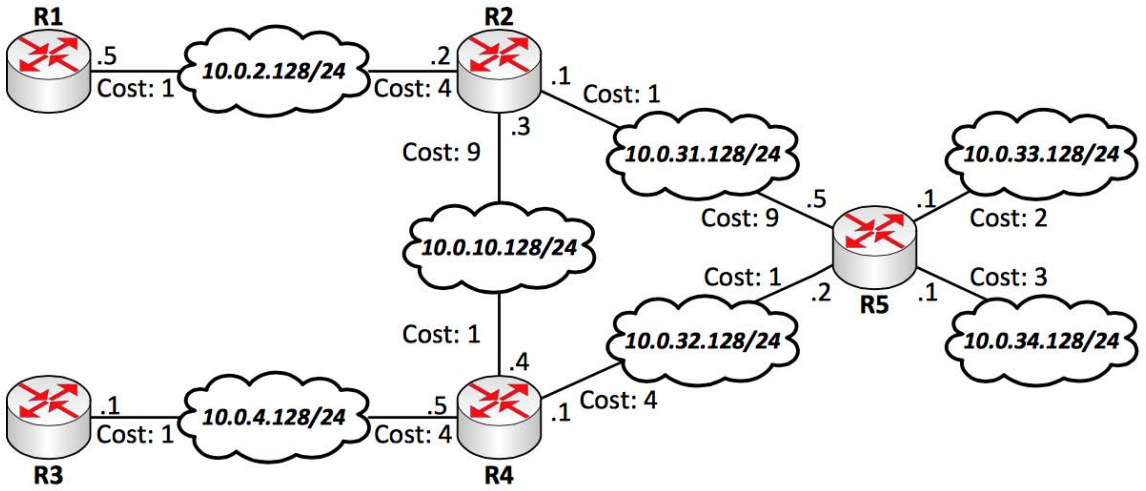
Tentan

- Kommer alltid en fråga om routing
- Enkel, men få som ens försöker

- Exempel:
  - Dijkstra
  - Konvergering av routing tabeller

Oktober 2014

7. **Nedanstående nätverk kommer att användas i denna uppgift.** **(15p)**



Vi antar först att nätet använder ett Distance Vector baserat routingprotokoll.

a. Beskriv grundprinciperna för Distance Vector baserade routingprotokoll. (2p)
b. Hur ser router R5:s initiala routingtabell ut? (1p)
c. Hur ser router R5:s slutgiltiga routingtabell ut efter att nätet konvergerat? (4p)
   Visa alla steg.

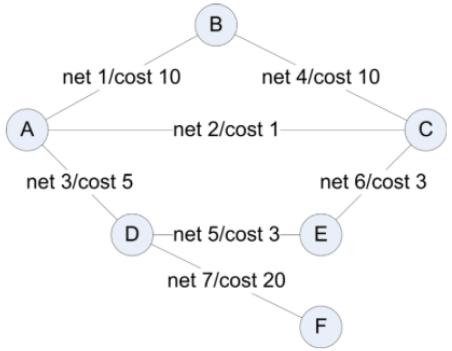
Vi antar nu att nätet istället använder ett Link State baserat routingprotokoll.

d. Beskriv grundprinciperna för Link State baserade routingprotokoll. (2p)
e. Beskriv innehållet i det första meddelande som router R5 skickar. (1p)
f. Hur ser R5:s slutgiltiga routingtabell ut efter att nätet konvergerat? (5p)
   Visa alla steg.

LUND UNIVERSITY

Oktober 2012

8. Given the network in the figure below. There are 6 routers and 7 networks (shown as links). The metric for each link is found in the figure. ***(15p)***



a. In the first exercise we assume that the routers are using a *distance vector based routing protocol*, but instead of just using hop count this version uses link cost (this is perfectly ok). **Consider the case where network 2 is not yet connected to router A.** The routing tables for router A and C are: (5p)

A's table			C's table		
Net	Cost	Next hop	Net	Cost	Next hop
1	10	n/a	1	20	B
3	5	n/a	2	1	n/a
4	20	B	3	11	E
5	8	D	4	10	n/a
6	11	D	5	6	E
7	25	D	6	3	n/a
			7	26	E

Now network 2 is connected to router A, and thus router A gets an update from router C. Show router A's table after implementing the update from router C. Show the steps router A takes in this process.

b. In the second exercise we instead assume that a link state based routing protocol is used. All links are active as shown in the figure above. Show the steps that router A performs to build a routing table. Describe the process of creating the shortest path tree using Dijkstra's algorithm and the routing table for A. (10p)

LUND UNIVERSITY

LUND
UNIVERSITY