

GRNVS Tutorium 09 - SS21

Fabian Sauter

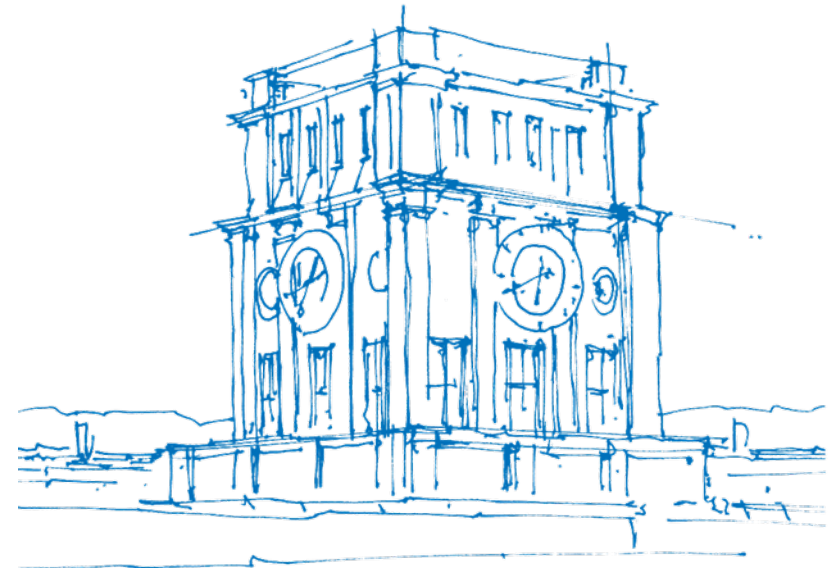
Technische Universität München

Grundlagen: Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste

Garching, 21.06.2021

Slides & Notes: <http://grnvs.uwpx.org>

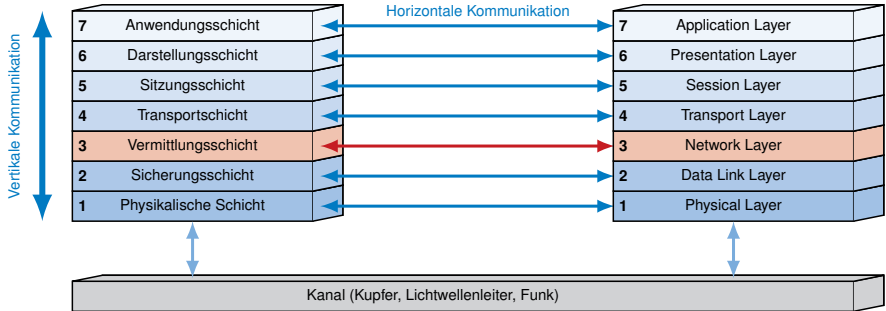


TUM Uhrenturm

Wiederholung

Kapitel 3: Vermittlungsschicht

Einordnung im ISO/OSI-Modell



Vermittlungsarten

Adressierung im Internet

Wegwahl (Routing)

- Statisches Routing

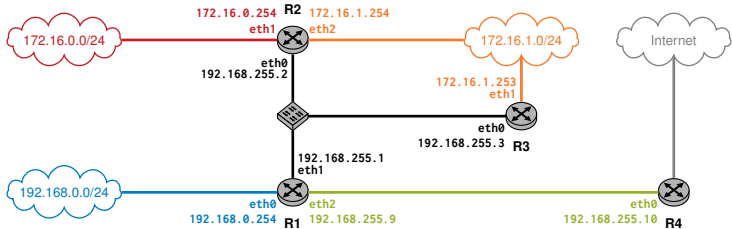
- Dynamisches Routing

- Autonome Systeme

Zusammenfassung

Literaturangaben

Wir betrachten im Folgenden das unten abgebildete Beispielnetzwerk:

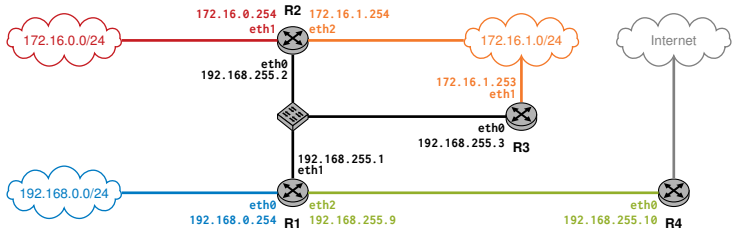


- Die Farben der Links und Interface-Adressen verdeutlichen die einzelnen Subnetze
- Das Netzwerk 192.168.255.0/29 (schwarz) verfügt über 6 nutzbare Hostadressen
- Das Netzwerk 192.168.255.8/30 (grün) ist ein **Transportnetz** mit nur 2 nutzbaren Hostadressen
- Die übrigen Netze sind /24 Netze mit jeweils 254 nutzbaren Hostadressen

Frage: Wie entscheidet R1, an welchen **Next-Hop** ein Paket weitergeleitet werden soll?

Statisches Routing

Routing Table



Beispiel: Routing-Tabelle für R1

Destination	NextHop	Costs	Iface
192.168.255.8/30	0.0.0.0	0	eth2
192.168.255.0/29	0.0.0.0	0	eth1
192.168.0.0/24	0.0.0.0	0	eth0
172.16.1.0/24	192.168.255.3	1	eth1
172.16.0.0/23	192.168.255.2	1	eth1
0.0.0.0/0	192.168.255.10	0	eth2

- Die Netze 172.16.{0,1}.0/24 wurden zusammengefasst
- Die Route 0.0.0.0 wird auch als **Default Route** bezeichnet
- Interessant: R1 kennt zwei (eigentlich sogar drei) Routen zum Netz 172.16.1.0/24 !

Statisches Routing

Longest Prefix Matching

1. R1 berechnet das logische AND aus der Zieladresse des Pakets und den Subnetzmasken (welche aus der Präfixlänge hervorgehen) in seiner Routingtabelle.
2. Das Ergebnis wird mit dem Eintrag in der Spalte „Destination“ verglichen.
3. Stimmt das Ergebnis damit überein, werden Gateway und zugehöriges Interface bestimmt.
4. Nachdem die MAC-Adresse des Gateways ggf. via ARP aufgelöst wurde, wird das Paket mit einem neuen Ethernet-Header versehen und weitergeleitet.

Beispiel: R1 erhalte ein Paket mit der Zieladresse 172.16.1.23.

	Destination	NextHop	Costs	Iface
→	192.168.255.8/30	0.0.0.0	0	eth2
	192.168.255.0/29	0.0.0.0	0	eth1
	192.168.0.0/24	0.0.0.0	0	eth0
	172.16.1.0/24	192.168.255.3	1	eth1
	172.16.0.0/23	192.168.255.2	1	eth1
	0.0.0.0/0	192.168.255.10	0	eth2

IP-Adresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010111	172.16.1.23
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 11111100	255.255.255.252
Netzadresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010100	172.16.1.20

⇒ kein Match, da 172.16.1.20 $\neq$ 192.168.255.8

Statisches Routing

Longest Prefix Matching

1. R1 berechnet das logische AND aus der Zieladresse des Pakets und den Subnetzmasken (welche aus der Präfixlänge hervorgehen) in seiner Routingtabelle.
2. Das Ergebnis wird mit dem Eintrag in der Spalte „Destination“ verglichen.
3. Stimmt das Ergebnis damit überein, werden Gateway und zugehöriges Interface bestimmt.
4. Nachdem die MAC-Adresse des Gateways ggf. via ARP aufgelöst wurde, wird das Paket mit einem neuen Ethernet-Header versehen und weitergeleitet.

Beispiel: R1 erhalte ein Paket mit der Zieladresse 172.16.1.23.

	Destination	NextHop	Costs	Iface
→	192.168.255.8/30	0.0.0.0	0	eth2
	192.168.255.0/29	0.0.0.0	0	eth1
	192.168.0.0/24	0.0.0.0	0	eth0
	172.16.1.0/24	192.168.255.3	1	eth1
	172.16.0.0/23	192.168.255.2	1	eth1
	0.0.0.0/0	192.168.255.10	0	eth2

IP-Adresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010111	172.16.1.23
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 11111000	255.255.255.248
Netzadresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010000	172.16.1.16

⇒ kein Match, da 172.16.1.16 $\neq$ 192.168.255.0

Statisches Routing

Longest Prefix Matching

1. R1 berechnet das logische AND aus der Zieladresse des Pakets und den Subnetzmasken (welche aus der Präfixlänge hervorgehen) in seiner Routingtabelle.
2. Das Ergebnis wird mit dem Eintrag in der Spalte „Destination“ verglichen.
3. Stimmt das Ergebnis damit überein, werden Gateway und zugehöriges Interface bestimmt.
4. Nachdem die MAC-Adresse des Gateways ggf. via ARP aufgelöst wurde, wird das Paket mit einem neuen Ethernet-Header versehen und weitergeleitet.

Beispiel: R1 erhalte ein Paket mit der Zieladresse 172.16.1.23.

	Destination	NextHop	Costs	Iface
	192.168.255.8/30	0.0.0.0	0	eth2
	192.168.255.0/29	0.0.0.0	0	eth1
→	192.168.0.0/24	0.0.0.0	0	eth0
	172.16.1.0/24	192.168.255.3	1	eth1
	172.16.0.0/23	192.168.255.2	1	eth1
	0.0.0.0/0	192.168.255.10	0	eth2

IP-Adresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010111	172.16.1.23
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000	255.255.255.0
Netzadresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00000000	172.16.1.0

⇒ kein Match, da 172.16.1.0 $\neq$ 192.168.0.0

Statisches Routing

Longest Prefix Matching

1. R1 berechnet das logische AND aus der Zieladresse des Pakets und den Subnetzmasken (welche aus der Präfixlänge hervorgehen) in seiner Routingtabelle.
2. Das Ergebnis wird mit dem Eintrag in der Spalte „Destination“ verglichen.
3. Stimmt das Ergebnis damit überein, werden Gateway und zugehöriges Interface bestimmt.
4. Nachdem die MAC-Adresse des Gateways ggf. via ARP aufgelöst wurde, wird das Paket mit einem neuen Ethernet-Header versehen und weitergeleitet.

Beispiel: R1 erhalte ein Paket mit der Zieladresse 172.16.1.23.

	Destination	NextHop	Costs	Iface
	192.168.255.8/30	0.0.0.0	0	eth2
	192.168.255.0/29	0.0.0.0	0	eth1
	192.168.0.0/24	0.0.0.0	0	eth0
→	172.16.1.0/24	192.168.255.3	1	eth1
	172.16.0.0/23	192.168.255.2	1	eth1
	0.0.0.0/0	192.168.255.10	0	eth2

IP-Adresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00010111	172.16.1.23
Subnetz Maske	11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000	255.255.255.0
Netzadresse	10101100 . 00010000 . 00000001 . 00000000	172.16.1.0

⇒ Match, da $172.16.1.0 = 172.16.1.0$ ⇒ Gateway ist 192.168.255.3

Mittels [Routing-Protokollen](#) können Router miteinander kommunizieren und Routen untereinander austauschen. Routingprotokolle können nach Ihrer Funktionsweise wie folgt gruppiert werden:

Distanz-Vektor-Protokolle

- Router kennen nur Richtung (NextHop) und Entfernung (Kosten) zu einem Ziel (vgl. Straßenschild mit Richtungs- und Entfernungsangabe).
- Router haben keine Information über die Netzwerktopologie.
- Router tauschen untereinander lediglich kumulierte Kosten aus (z. B. den Inhalt Ihrer Routingtabellen).
- Funktionsprinzip basiert auf dem [Algorithmus von Bellman-Ford](#), der kürzeste Wege ausgehend von einem Startknoten ermittelt und sich leicht verteilt implementieren lässt.

Link-State-Protokolle

- Router informieren einander zusätzlich zu den Kosten auch darüber, wie ein Ziel erreichbar ist.
- Häufig komplexe Nachbarschaftsbeziehungen und Update-Nachrichten.
- Router erhalten so vollständige Topologieinformationen.
- Basierend auf den Topologieinformationen bestimmt jeder Router kürzeste Pfade, z. B. mittels [Dijkstras Algorithmus](#).

Eigenschaften des Algorithmus von Bellman-Ford:

- Im n -ten Durchlauf der while-Schleife werden alle Pfade der Länge höchstens n berücksichtigt (vergleiche min-plus-Produkt in n -ter Potenz).
- Keine komplexen Datenstrukturen notwendig.
- Verteilte (dezentrale) Implementierung ohne Kenntnis der Topologie möglich.
- Laufzeit in $\mathcal{O}(|N| \cdot |E|)$.

Eigenschaften des Algorithmus von Dijkstra:

- Es werden immer Pfade über den im jeweiligen Schritt am günstigsten erreichbaren Knoten gesucht (Greedy-Prinzip).
- Wurde ein Knoten abgearbeitet, so ist garantiert, dass der kürzeste Pfad zu diesem Knoten gefunden ist.
- Ressourcenintensiver als der Algorithmus von Bellman-Ford, da komplexere Datenstrukturen notwendig sind (Priority Queue).
- Vollständige Kenntnis der Netzwerktopologie erforderlich.
- Asymptotisch bessere Laufzeit.
- Laufzeit in $\mathcal{O}(|E| + |N| \log_2 |N|)$.

Dynamisches Routing

Übersicht: Ausgewählte Routing-Protokolle

Distanz-Vektor-Protokolle

- **RIP (Routing Information Protocol)**

Sehr einfaches Protokoll, Hop-Count als einzige Metrik, geeignet für eine geringe Anzahl von Netzen, wird von den meisten Routern unterstützt (sogar einige Heimgeräte)

- **IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)**

Proprietäres Routing Protokoll von Cisco, unterstützt komplexere Metriken als RIP

- **EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)**

Proprietäres Routing Protokoll von Cisco, Nachfolger von IGRP, deutlich verbesserte Konvergenzeigenschaften.

- **AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)**

Einsatz in kabellosen vermaschten Netzwerken, Routen werden nicht proaktiv ausgetauscht sondern on-demand gesucht (reaktives Protokoll)

Link-State-Protokolle

- **OSPF (Open Shortest Path First)**

Industriestandard für mittlere bis große Anzahl von Netzwerken

- **IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)**

Seltener eingesetztes, leistungsfähiges Routingprotokoll, welches unabhängig von IP ist, da es sein eigenes L3-Protokoll mitbringt

- **HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol)**

Ermöglicht Routing in IEEE 802.11s (Wireless Mesh Networks), wobei Routing-Entscheidungen hier allerdings auf Basis von MAC-Adressen anstatt von IP-Adressen getroffen werden ⁴

⁴ MAC-based Routing ist ein Spezialfall für (kabellose) Meshnetzwerke, in dem sich nicht alle Knoten direkt erreichen aber dennoch eine gemeinsame Broadcast-Domain bilden.

Ablauf:

- Aufgabe 1
- Aufgabe 2
- Aufgabe 3

Studenten zählen

(Nur als Erinnerung für mich.)