

# Übung 7

Abgabe: 10. Januar 2023

## Aufgabe 7.1: Routing-Metriken (0,5 + 0,5 + 0,5 = 1,5 Punkte)

Routing-Algorithmen haben die Aufgabe, günstigste Pfade durch ein komplexes Netzwerk zu bestimmen. Für die Ermittlung des günstigsten Pfades ist es notwendig, die Kostenwerte der einzelnen Teilstrecken zu einem Gesamtmaß zu kombinieren, welches die Güte des entsprechenden Pfades wiedergibt. Hierbei wird eine *Routing-Metrik* benötigt, die vorgibt, wie aus den Kosten der Teilstrecken die Gesamtkosten eines Pfades berechnet werden.

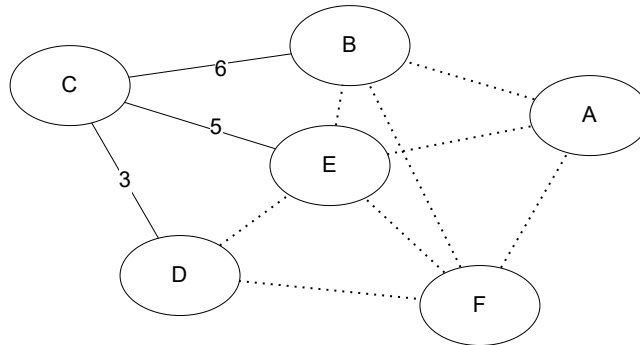
Beispielsweise ist *Hop Count* eine Routing-Metrik, bei der die Kosten jeder Teilstrecke als 1 angenommen werden. Die Metrik *Hop Count* ist additiv, d.h., zur Bestimmung der Güte eines Pfades wird die Anzahl der zurückzulegenden Teilstrecken gezählt. Je kleiner der Wert *Hop Count* eines Pfades ist, desto besser ist der Pfad.

*Geben Sie für die folgenden Kostenkriterien jeweils eine Metrik an, die aus den Kostenwerten der Teilstrecken eine Gesamtbewertung eines Pfades berechnet. Geben Sie auch an, ob ein größerer oder ein kleinerer Wert gleichbedeutend mit einem besseren Pfad ist.*

- a) Latenz
- b) Paketfehlerrate
- c) Datenrate

### Aufgabe 7.2: Distance-Vector-Routing (1,5 Punkte)

Betrachten Sie das folgende Netzwerk:



Es werde Distance-Vector-Routing verwendet, und Router *C* habe gerade die folgenden Abstandsvektoren empfangen:

- von Router *B*:  $DV_B = ((A, 5), (B, 0), (C, 8), (D, 12), (E, 6), (F, 2))$
- von Router *D*:  $DV_D = ((A, 16), (B, 12), (C, 6), (D, 0), (E, 9), (F, 10))$
- von Router *E*:  $DV_E = ((A, 7), (B, 6), (C, 3), (D, 9), (E, 0), (F, 4))$

Diese Abstandsvektoren geben jeweils die Pfadkosten der Quelle des jeweiligen Vektors hin zu allen anderen Knoten im Netz (*A* bis *F*) an.

Als Kostenmaß wird die aktuelle Auslastung der Knoten verwendet. Die zugehörige Metrik ist additiv, d.h. zur Berechnung der Güte eines Pfades werden die Einzelwerte aufaddiert. Pfade mit kleineren Werten werden bevorzugt. Die aktuelle Auslastung der Nachbarn von *C* ist im obigen Netzwerk dargestellt.

Geben Sie die Routing-Tabelle an, die *C* aufgrund dieser Informationen berechnet. Stellen Sie jeden Eintrag der Routing-Tabelle in der Form Ziel, Next Hop, Kosten dar:

Ziel	Next Hop	Kosten
...	...	...
...	...	...

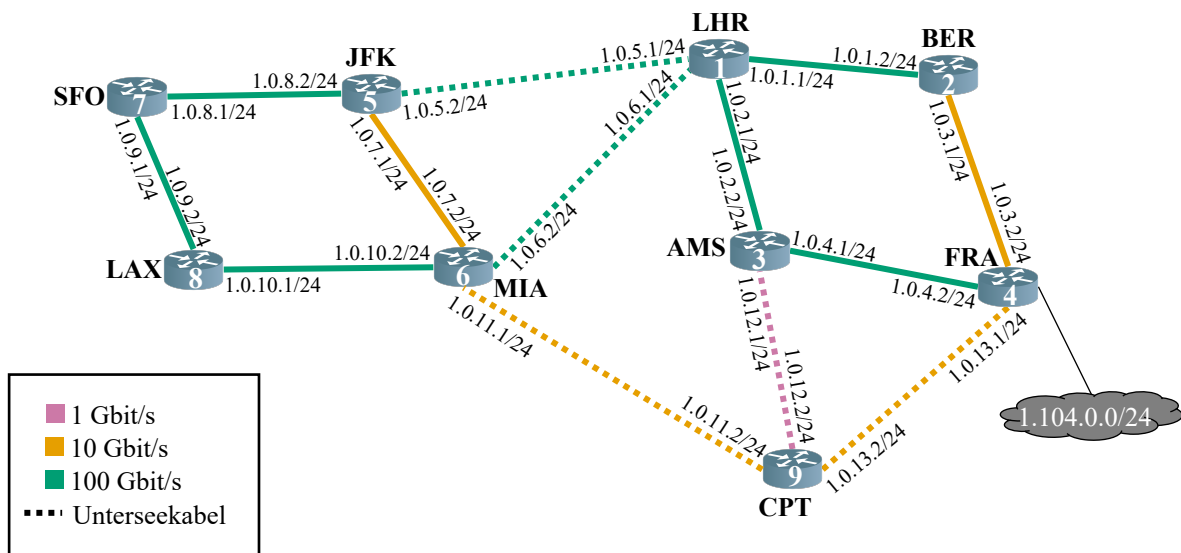
### Aufgabe 7.3: Link State Routing – OSPF (2 + 1,5 + 1 = 4,5 Punkte)

In der Vorlesung haben wir bereits knapp Open Shortest Path First (OSPF) kennengelernt. OSPF ist ein Link State Routing (LSR)-Protokoll, das als Interior Gateway Protocol (IGP) eingesetzt wird, d.h. innerhalb eines Autonomen Systems (AS), also z.B. innerhalb der RWTH oder innerhalb eines ISPs, aber nicht zwischen diesen. OSPF unterstützt komplexe Topologien und berechnet kürzeste Routen anhand von Kosten einzelner Interfaces.

Nehmen Sie im Folgenden an: Alle Router befinden sich in derselben logischen Area, d.h. Link State Advertisement (LSA) werden durch das gesamte Netzwerk geflooded, sodass jeder Router die Kosten jedes Interfaces und die über jeden Router erreichbaren Netze kennenlernt. Jeder OSPF-Router erlaubt es, Kosten als Ganzzahl zwischen 1 – 65535 für jedes seiner Interfaces zu definieren. Falls OSPF für ein Ziel mehrere Pfade mit den gleichen minimalen Gesamtkosten findet, verteilt es den Traffic gleichmäßig auf diese Pfade (Load Balancing).

In dieser Aufgabe übernehmen Sie die Rolle des Netzwerk-Operators. Ihre Aufgabe ist es, Ihren Kunden die beste Performance zu liefern, indem Sie Latenz minimieren und Stau vermeiden.

Sie haben folgende Topologie gegeben:



Über jeden Router ist ein Netzwerk erreichbar, wie exemplarisch an Router **FRA** gezeigt, dessen Netzwerkbereich sich durch die Router-ID (= Zahl im Router, im Fall von **FRA** ist diese 4) wie folgt konstruiert:  $1.100+ID.0.0/24$ , also im Beispiel von **FRA**:  $1.104.0.0/24$ . An jedem Link ist die IP-Adresse des Interfaces angegeben, mit dem dieser Router über diesen Link kommuniziert. (Gleichzeitig ist die verwendete Netzmaske mit angegeben, damit Sie sehen können, in welchen Netzen die Adressen liegen.)

Beachten Sie die verschiedenen Bandbreiten (Farbe) und Linktypen (Strichtyp). Unser Netzwerk erstreckt sich über drei Kontinente und daher haben wir die Router in unserem Netzwerk mithilfe von Flughafen-Codes nach den Städten benannt, in denen sie stehen: **SFO** = San Francisco, **LAX** = Los Angeles, **JFK** = New York, **MIA** = Miami, **LHR** = London, **AMS** = Amsterdam, **BER** = Berlin, **FRA** = Aachen, **CPT** = Kapstadt.

a) Wählen Sie OSPF-Kosten so, dass alle der folgenden drei Bedingungen erfüllt sind.

- i) Ihre oberste Priorität sollte es sein, Latenz zu minimieren. Wählen Sie die Kosten so, dass Netzwerkverkehr niemals zwei Unterseekabel (gestrichelte Linien) durchläuft, wenn es eine Alternative gibt; z.B. wollen Sie nicht, dass Traffic von **JFK** nach **MIA** über Europa geroutet

wird, sondern auf dem selben Kontinent bleibt.

- ii) Um Stau zu vermeiden, wählen Sie die Kosten im Weiteren so, dass Pfade mit hoher Kapazität bevorzugt werden (z.B. Traffic von LHR nach CPT sollte den Pfad LHR-AMS-FRA-CPT wählen).
- iii) Um ihre Kapazität zu erhöhen, wollen Sie Verkehr zwischen LAX und FRA über die Pfade LAX-SFO-JFK-LHR-AMS-FRA und LAX-MIA-LHR-AMS-FRA load-balancen.

*Geben Sie für jedes Interface die Kosten an, indem Sie die Topologie abzeichnen<sup>1</sup> und die Interface-IP-Adressen durch die Kosten, die Sie gewählt haben, ersetzen. Falls Sie für beide Interfaces eines Links dieselben Kosten verwenden, ist es ausreichend, die Kosten einmalig an jeden Link zu schreiben. Beschreiben Sie knapp Ihre Herangehensweise an das Problem.*

- b) *Geben Sie die über OSPF gelernte Routingtabelle für Router 1 (LHR) in London an. Ihre Routingtabelle sollte für jedes an einen Router angeschlossene Netzwerk die Informationen über das Netzwerk und seine Netzmaske, sowie die IP-Adresse des nächsten Routers und die Gesamtkosten des Pfads enthalten. Es reicht, wenn Sie die Routen mit den geringsten Kosten in Ihrer Routingtabelle aufführen.*

Z.B. könnte ein Eintrag in der Routingtabelle von Router JFK für das Netz, das an FRA angeschlossen ist, wie folgt aussehen:

1.104.0.0/24 via 1.0.5.1 cost 1337

- c) *Traffic, der aus 1.108.0.0/24 in das Netz 1.105.0.0/24 geht, ist sehr kritisch und benötigt eine niedrige Latenz, und soll daher nicht über SFO sondern über MIA geroutet werden, wo Sie aus Erfahrung wissen, dass so gut wie kaum Verkehr existiert, da der Link zwischen JFK und MIA mit seiner vergleichsweise geringeren Kapazität kaum genutzt wird. Anderer Traffic, der aus 1.108.0.0/24 in andere Netze geht, soll davon aber nicht beeinflusst werden und weiterhin über SFO/MIA laufen. An welchen Routern würden Sie welche Einstellungen vornehmen, so dass der Traffic den gewünschten Weg nimmt? Welche möglichen Nachteile hat Ihre Lösung?*

---

<sup>1</sup>Wir haben die Topologie als PDF und Powerpoint im Lernraum für Sie hinterlegt.

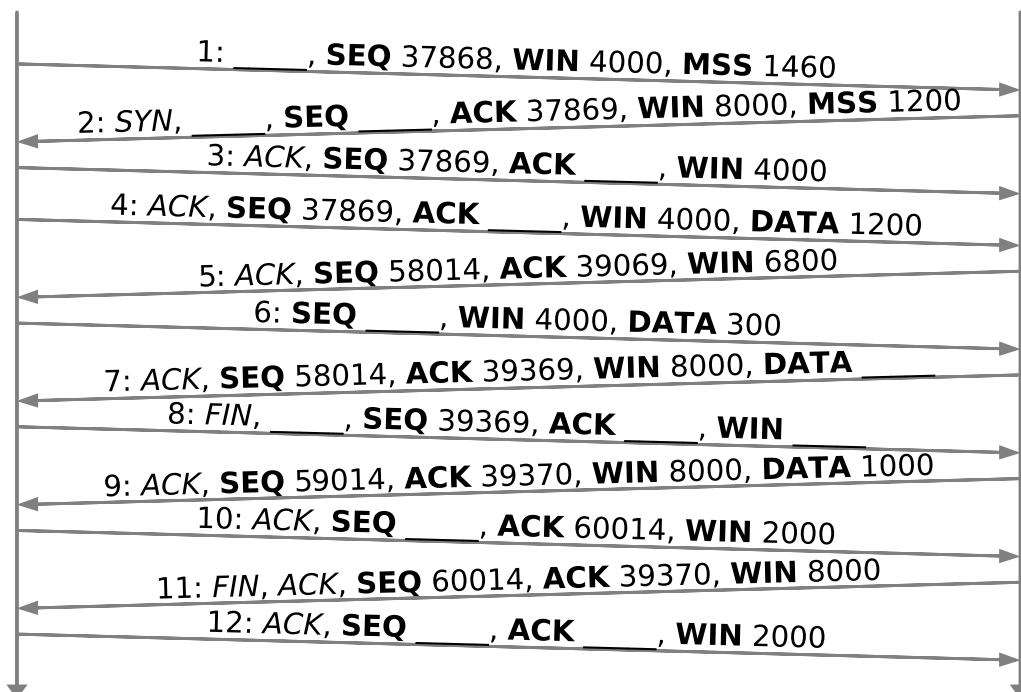
**Aufgabe 7.4: TCP-Verbindung (5,5 + 2 = 7,5 Punkte)**

a) Betrachten Sie die unten stehenden Auszüge eines Zeitdiagramms einer TCP-Verbindung. Die Pfeile stellen die Übertragung einzelner Segmente dar. Das Format der Beschriftungen ist:

<N>: {<FLAG>,\* SEQ <S>, [ACK <A>],[ WIN <W>,[ MSS <M>],[ DATA <D>]

wobei N die Segmente lediglich zu Referenzzwecken durchnummeriert. Mit FLAG werden die Flags SYN, ACK und FIN genau dann angegeben, wenn sie gesetzt sind. S ist die Sequenznummer, A die Bestätigungsnummer (sofern gesetzt), W die Window Size und M die Maximum Segment Size (sofern gesetzt). Wenn DATA <D> angegeben ist, enthält die Nachricht D Byte Payload. Das Auslesen von Daten aus den Empfangspuffern durch die Applikationen ist hier nicht dargestellt. Vor der ersten Nachricht besteht keine Verbindung, nach der letzten Nachricht soll die Verbindung auf beiden Seiten korrekt abgebaut sein.

Füllen Sie die Lücken in den Beschriftungen der Pfeile mit den notwendigen Angaben.



b) Betrachten Sie eine TCP-Instanz, die mit einer Datenrate von 1 Gbit/s ihre Nutzdaten versenden kann. Jeglicher Overhead durch den TCP-Header soll vernachlässigt werden, alle Segmente werden korrekt ausgeliefert; Bestätigungen werden ohne Verzögerung versendet.

Die Round-Trip-Time sei 100ms, Sequenznummern dürfen erst nach 60 Sekunden erneut verwendet werden. Wie viele Bits müssten die Felder Sequence Number und Window jeweils haben, um in diesem Szenario durchgehend senden zu können?