

Routing-Algorithmen im Internet

Nikolay Paleshnikov, Markus Witt

RWTH Aachen

January 30, 2015



Was ist Routing?

- Routing-Hierarchie

- Prinzipien der Netzwerkanalyse

Interior Gateway Protocols

- Distance-Vector Routing

- Link-State Routing

- Open Shortest Paths First

Exterior Gateway Protocol

- Netzwerkhierarchie

- Border Gateway Protocol

Zusammenfassung und offene Probleme

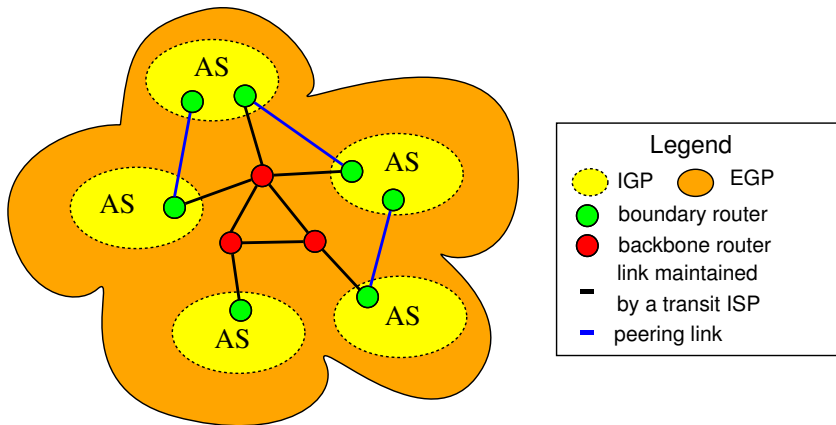
Was ist Routing?

Schlüsselbegriffe

- ▶ Router
- ▶ Datagramm
- ▶ dynamisches Routing
- ▶ Routing-Algorithmus
- ▶ Routingtabelle

Routing-Hierarchie

- ▶ autonomes System (AS) \rightarrow IGP
- ▶ Verbindung einzelner AS \rightarrow EGP



Prinzipien der Netzwerkanalyse

Netzwerkmodell als gewichteter Graph

Optimalitätsprinzip

Wenn der optimale Pfad von Router X nach Router Y über Router Z läuft, dann ist der optimale Pfad von Z nach Y ein Teilpfad davon.

zwei Hauptklassen von Routing-Algorithmen

- ▶ Distance-Vector
- ▶ Link-State

Distance-Vector Routing

Bellman-Ford-Gleichung

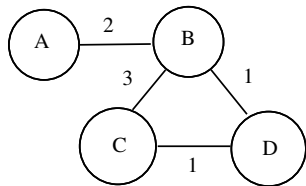
$$d_x(y) = \min_v \{c(x, v) + d_v(y)\}$$

$d_x(y)$	kostengünstigste Route von x nach y
v	beliebiger Nachbar von x
$c(x, v)$	Kantengewicht zwischen x und v
$d_v(y)$	kostengünstigste Route von v nach y

Zeitkomplexität: $\mathcal{O}(|v|)$

Distance-Vector Routing

Zeitpunkt T=1



Distance Vector of A

Destination	Cost
B	2

Distance Vector of B

Destination	Cost
A	2
C	3
D	1

Distance Vector of C

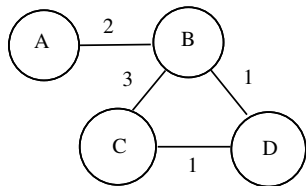
Destination	Cost
B	3
D	1

Distance Vector of D

Destination	Cost
B	1
C	1

Distance-Vector Routing

Zeitpunkt T=2



Distance Vector of A

Destination	Cost
B	2
C	5
D	3

Distance Vector of C

Destination	Cost
A	5
B	2
D	1

Distance Vector of B

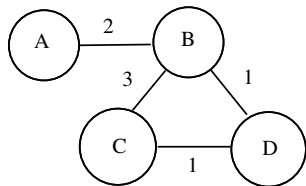
Destination	Cost
A	2
C	2
D	1

Distance Vector of D

Destination	Cost
A	3
B	1
C	1

Distance-Vector Routing

Zeitpunkt T=3



Distance Vector of A

Destination	Cost
B	2
C	4
D	3

Distance Vector of C

Destination	Cost
A	4
B	2
D	1

Distance Vector of B

Destination	Cost
A	2
C	2
D	1

Distance Vector of D

Destination	Cost
A	3
B	1
C	1

Distance-Vector Routing

Vorteile

- ▶ geringer Platzbedarf zur Speicherung der Routingtabellen
- ▶ geringer Kommunikationsaufwand

Distance-Vector Routing

Nachteile

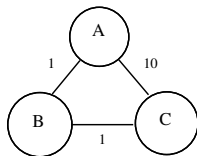


Figure: Bouncing Effect

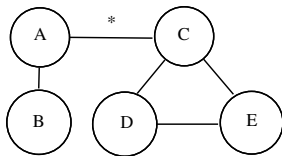


Figure: Count-to-infinity Problem

Link-State Routing

Algorithmus von Dijkstra

Gegeben:

- ▶ Startknoten s
- ▶ Knotenmenge N aus Knoten mit bereits zugewiesenem kürzesten Pfad
- ▶ Tabelle mit zur Zeit bekannten optimalen Pfaden $D(s, x)$ vom Startknoten s zu einem beliebigen Knoten x

Link-State Routing

Algorithmus von Dijkstra

Iterationsschritt:

- ▶ Wähle $t \in V \setminus N$ mit kleinster Distanz zum Startknoten $D(s, t)$
- ▶ Aktualisiere die Distanz von s zu jedem Nachbar v von t gemäß:

$$D(s, v) = \min\{D(s, v), D(s, t) + c(t, v)\}$$

- ▶ Füge t in N hinzu

Zeitkomplexität: $\mathcal{O}(|V|^2 + |E|)$

Link-State Routing

Vorteile

- ▶ schnelle Konvergenz
- ▶ loop-free
- ▶ keine Weitergabe von Rechenfehlern
- ▶ Unterstützung von mehreren optimalen Pfaden möglich

Link-State Routing

Nachteile

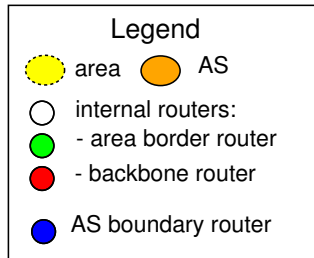
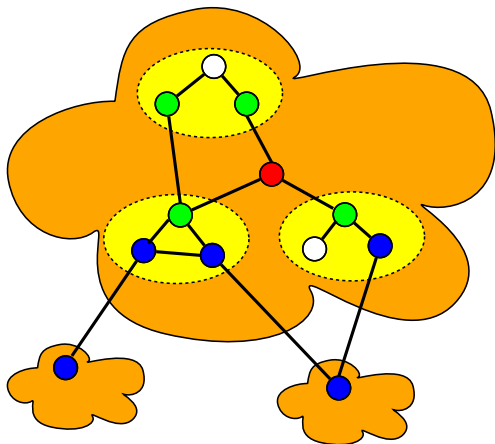
- ▶ hoher Kommunikationsaufwand
- ▶ komplizierte Berechnungen

Lösung

Aufteilung in *areas*

- ▶ innerhalb von *areas* → Link-State Routing
- ▶ dazwischen → zusammengefasste Routinginformation wie beim Distance-Vector Routing

Open Shortest Paths First



Open Shortest Paths First

Protokollaufbau

- ▶ Eindeutige RouterID
- ▶ Router verbunden über Link oder Netzwerk
- ▶ interne-/AS-Grenzrouter (ASBR)
- ▶ Informationsaustausch über Linkstatus und Kosten

Open Shortest Paths First

Paketinhalte

- ▶ 5 Pakettypen:
 - ▶ 2: database description
 - ▶ 3: link state request
 - ▶ 4: link state update
- ▶ 5 Advertisementstypen:
 - ▶ 1: router link advertisement
 - ▶ 5: AS external link advertisement

Open Shortest Paths First

Paketaustausch

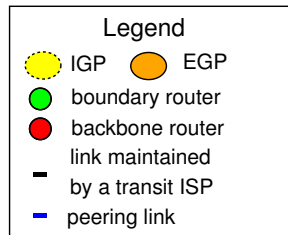
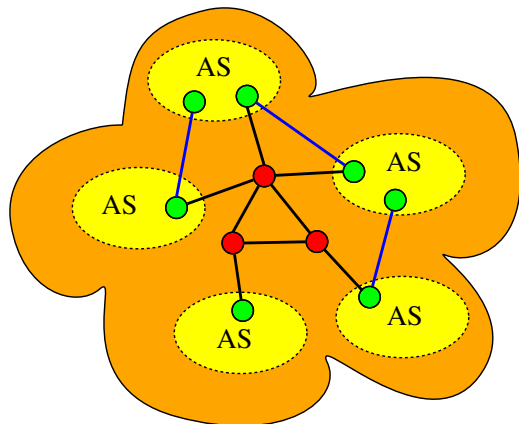
- ▶ A: database description
- ▶ B: link state acknowledgement
- ▶ B: link state request
- ▶ A: link state update
- ▶ B verteilt Updates zu seinen Nachbarn (flooding)

Open Shortest Paths First

Entwicklung

- ▶ RFC 2178: MD5, flooding update, MTU
- ▶ OSPFv3: IPv6

Netzwerkhierarchie



Border Gateway Protocol

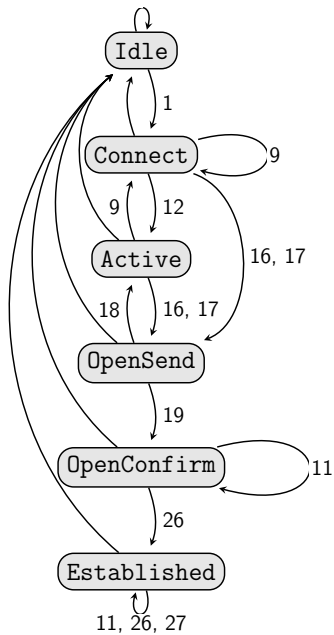
Protokollaufbau

- ▶ RouterID, AS#
- ▶ NLRI
- ▶ Statemachine für den Verbindungsstatus
- ▶ 4 Pakettypen
- ▶ Aufbau auf TCP

Border Gateway Protocol

Pakettypen

- ▶ OPEN
- ▶ UPDATE
- ▶ NOTIFICATION
- ▶ KEEPALIVE



Border Gateway Protocol

Austausch von NLRI

- ▶ NLRI:
 - ▶ Netzwerk in CIDR-Notation
 - ▶ AS-Pfad
 - ▶ next Hop
- ▶ local routing information base (loc-RIB)
- ▶ Pro Peer: Adj-RIB-In, Adj-RIB-Out
- ▶ Erzeugung der Routingtabelle

Zusammenfassung und offene Probleme

State-of-art

- ▶ OSPF → IGP → Link-State
- ▶ BGP → EGP → Distance-Vector

Ungeeignet bei

- ▶ hoher Mobilität von Hosts
- ▶ nicht vorhandener Netzwerkinfrastruktur
- ▶ unstabiler Netzwerktopologie