

# Routing

Norman Wenzel

[nwenzel@informatik.tu-cottbus.de](mailto:nwenzel@informatik.tu-cottbus.de)

Unter Routing versteht man die Wegewahl im Netz, mit dem Ziel, eine möglichst günstige Verbindung für die Datenübertragung vom Sender zum Empfänger zu finden. Im Folgenden werden die wichtigsten verwendeten Algorithmen und einige Sonderformen des Routing vorgestellt.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	2
2. Routing-Algorithmen	2
2.1 Nichtadaptives Routing .....	3
2.1.1 Routing nach dem kürzesten Pfad .....	4
2.1.2 Flooding .....	5
2.2 Adaptives Routing .....	5
2.2.1 Distance Vector Routing .....	6
2.2.2 Link State Routing .....	7
3. Hierarchisches Routing	7
4. Multicast Routing	8
5. Routing für mobile Hosts	9
Literatur	10

# 1. Einführung

Die dritte Schicht des OSI-Referenzmodells, die Vermittlungsschicht, übernimmt die Vermittlung und Weiterleitung der Daten im Netz. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Wegewahl, auch Routing genannt.

Unter Routing versteht man das Finden des günstigsten Weges (Route) für die Übertragung von Datenpaketen und Nachrichten durch ein Netz. Hierbei werden unterschiedliche Kriterien berücksichtigt, beispielsweise die Wegstrecke, die Auslastung oder auch die Anzahl der zwischen Quelle und Ziel zu durchlaufenden Teilstrecken. Anhand dieser Routing-Metriken wird über verschiedene Routing-Algorithmen der optimale Weg zwischen Sender und Empfänger berechnet.

In internen Routing-Tabellen speichert ein Router jedes mögliche Ziel und die Ausgangsleitung, mit der dieses Ziel zu erreichen ist. Anhand dieser Einträge ist es möglich, den Weg zu jedem Knoten im Netz zu bestimmen. Hierbei gibt es zwei verschiedene Arten des Routing: das Hop-by-Hop-Routing und das Source-Routing.

Beim Hop-by-Hop-Routing wird für jedes Paket in jedem Knoten des Netzes (Router) der nächste Wegabschnitt neu bestimmt. Beim Source-Routing hingegen wird die Route des Pakets im Startknoten festgelegt und die Informationen über diesen Weg werden dem Paket mitgegeben. Im Internet findet vor allem das Hop-by-Hop-Routing Anwendung.

## 2. Routing-Algorithmen

Zur Erstellung und Aktualisierung der Routing-Tabellen werden sogenannte Routing-Algorithmen verwendet. Ziel dieser Algorithmen ist die Erstellung eines Senke-Baums (Sink Tree) für alle Router. Ein Sink Tree repräsentiert die optimalen Wege von allen Quellen zu einem bestimmten Ziel, wobei die Wurzel des Baumes den Zielrouter darstellt und die darunter liegenden Söhne sind die anderen Router des Netzes.

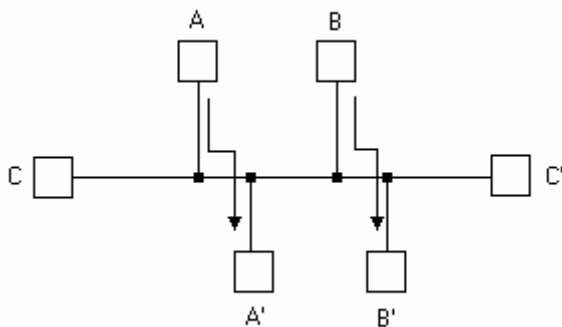
Wichtige Anforderungen an einen Routing-Algorithmus sind Genauigkeit, Einfachheit, Robustheit, Stabilität, Fairness und Optimalität.

Stabilität bedeutet, dass der Algorithmus irgendwann einen stabilen Zustand erreicht und diesen auch nicht mehr verlässt, egal, wie lange er noch weiterläuft.

Unter Robustheit versteht man, dass der Routing-Algorithmus auch Änderungen des Datenverkehrs und der Topologie des Netzes bewältigt und auch nach Ausfällen einzelner Router noch korrekt arbeitet.

Ein Algorithmus arbeitet fair, wenn er keine Verbindung benachteiligt und Optimalität bedeutet, dass der Algorithmus wirklich den optimalen Weg anhand der in der Metrik vorgegebenen Kriterien bestimmt.

Dass diese beiden Kriterien oft in Widerspruch stehen, verdeutlicht die folgende Abbildung. Angenommen, zwischen A und A', sowie zwischen B und B' fließt ausreichend Datenverkehr, um die horizontale Leitung vollständig auszulasten. Soll nun der Gesamtfluss maximiert werden, so dürfte kein Datenverkehr zwischen C und C' mehr stattfinden. Dies widerspricht allerdings dem Prinzip der Fairness. Hier sind oftmals Kompromisse zwischen Fairness und Optimalität vonnöten.



(Abb. 1)

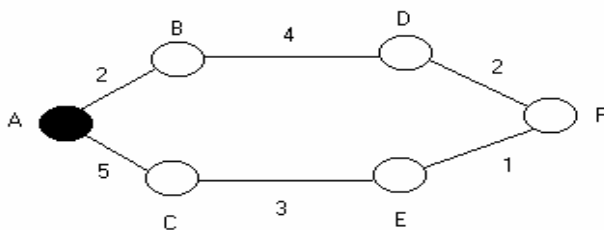
Routing-Algorithmen können in zwei Hauptgruppen gegliedert werden: adaptive und nichtadaptive Algorithmen.

## 2.1 Nichtadaptives Routing

Beim nichtadaptiven oder auch statischen Routing wird bei der Konfiguration des Netzes zu jedem Ziel eine Standardroute festgelegt. Diese wird offline berechnet und beim Booten des Netzes auf die Router geladen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Topologie des gesamten Netzes bekannt ist und feststeht, anhand welcher Metrik eine Route berechnet werden soll. Kommt es zu Veränderungen des Netzzustandes durch Ausfall oder Hinzufügen von Knoten, so muss das gesamte Netz neu konfiguriert werden und es müssen erneut alle Wege berechnet werden. Aus diesem Grund sind statische Routing-Algorithmen nur in kleinen Netzen und bei fester Netztopologie zweckmäßig.

## 2.1.1 Routing nach dem kürzesten Pfad

Einer der wichtigsten Algorithmen zur Berechnung der Standardrouten ist der Shortest-Path-Algorithmus nach Dijkstra. Hierbei wird ein Graph des Teilnetzes erstellt, wobei jeder Knoten im Graphen einen Router und jede Kante eine Verbindung zwischen den Knoten darstellt. Die Kanten werden anhand der zugrundeliegenden Metrik bewertet. Die Darstellung eines Netzgraphen zeigt Abbildung 2:



(Abb. 2)

Zur Berechnung des kürzesten Weges wird jeder Knoten mit der Entfernung zum Quellknoten auf dem besten bekannten Pfad beschriftet. Da diese am Anfang noch unbekannt ist, werden alle Knoten mit „unendlich“ beschriftet“. Diese Beschriftung ist jedoch nur provisorisch. Erst wenn feststeht, dass die Beschriftung den kürzesten Pfad von der Quelle zu einem Knoten angibt, dann wird sie permanent gesetzt.

Zu Beginn wird der Startknoten als permanent markiert. Anschließend werden dessen Nachbarknoten untersucht und mit der Entfernung zur Quelle beschriftet. Der Knoten mit der kleinsten Beschriftung wird permanent beschriftet und ist der neue Arbeitsknoten. Alle nun erreichbaren Knoten werden wieder provisorisch beschriftet. Eine Änderung der bisherigen provisorischen Beschriftungen ist möglich, wenn ein kürzerer Weg zu diesem Knoten gefunden wird.

Auf diese Weise wird der gesamte Graph untersucht, bis der Zielknoten permanent beschriftet wird, also der kürzeste Weg von der Quelle zur Senke gefunden wurde.

Dem Shortest Path-Algorithmus liegt das sogenannte Optimalitätsprinzip zu Grunde. Es besagt, dass wenn ein Router C auf dem optimalen Pfad von Router A zu Router B liegt, dann ist auch der Weg von C nach B optimal. Dies ist offensichtlich, denn gäbe es einen kürzeren Weg von C nach B, beispielsweise über den Router D, dann würde auch der Pfad von A nach B über D führen, da dieser ja der kürzeste Weg ist.

## 2.1.2 Flooding

Ein weiterer wichtiger Algorithmus ist Flooding (Fluten). Hierbei wird jedes in einem Router ankommende Paket dupliziert und über alle Ausgangsleitungen versendet, außer die, über die es angekommen ist. Auf diese Weise erreicht das Paket das Ziel auf allen möglichen Wegen, wodurch es natürlich auch immer den kürzesten Weg findet. Dabei funktioniert das Verfahren auch, wenn einzelne Knoten oder ganze Teile des Netzes ausfallen. Nachteilig ist die Vervielfachung der Nachrichten und die damit verbundene hohe Netzlast.

Damit jedoch nicht unendlich viele Duplikate entstehen muss das Fluten weiter optimiert werden. Dies geschieht beispielsweise durch Teilstreckenzähler, die in jedem Knoten um 1 verringert werden und das Paket verwerfen, wenn der Zähler null erreicht.

Eine weitere Möglichkeit ist das selektive Fluten. Hierbei werden die Pakete nicht auf allen Ausgangsleitungen weitergeschickt, sondern nur auf denen, die ungefähr in Richtung des Ziels laufen. Hierdurch verringert sich die Netzlast deutlich, ist aber natürlich immer noch sehr hoch.

Ein wichtiger Anwendungsbereich des Flooding ist die Bewertung anderer Routing-Algorithmen. Da beim Fluten immer der kürzeste Weg gefunden wird, kann man die Effizienz der anderen Algorithmen beurteilen.

Weiterhin wird Flooding bei militärischen Anwendungen eingesetzt, da hier die Gefahr besteht, dass im Falle eines Angriffs große Teile des Netzes ausfallen können. Aber selbst in diesem Fall würde das Fluten noch fehlerfrei funktionieren, da es alle verbliebenen Knoten erreicht.

## 2.2 Adaptives Routing

Beim adaptiven oder auch dynamischen Routing wird bei der Wegewahl der aktuelle Zustand des Netzes berücksichtigt. Die Routing-Entscheidungen werden abhängig von der Netzlast oder Veränderungen der Netztopologie in bestimmten Intervallen ebenfalls verändert und ständig aktualisiert.

Die beiden am häufigsten genutzten dynamischen Algorithmen sind das Distance Vector Routing und das Link State Routing

## 2.2.1 Distance Vector Routing

Beim Distance Vector Routing verwaltet jeder Router eine Tabelle (einen Vektor), in der für jedes Ziel die bestmöglich bekannte Entfernung und die zu verwendende Leitung gespeichert ist. Durch Austausch dieser Informationen mit den Nachbarknoten werden die Tabellen aktualisiert. Hierbei wird davon ausgegangen, dass jeder Router die Entfernung zu seinen Nachbarknoten kennt. Erhält er nun die Entfernungsvektoren seiner Nachbarknoten kann er die Entfernung zu jedem beliebigen Knoten errechnen, indem er die Entfernung bis zu seinem Nachbarknoten und von dort zum Zielknoten addiert. Die kürzeste Verbindung und der dafür zu verwendende Knoten werden nun in seiner Routingtabelle gespeichert. Periodisch wird dieser Vorgang wiederholt und bei Veränderungen die Routingtabelle aktualisiert.

Während sich gute Informationen (Wegverkürzungen) mittels Distance Vector Routing sehr schnell im Netz verbreiten lassen, reagiert der Algorithmus sehr träge auf schlechte Nachrichten. Der Grund hierfür ist, dass die Router keine Information darüber erhalten, wie der Pfad ihrer Nachbarn zu einem Ziel verläuft.

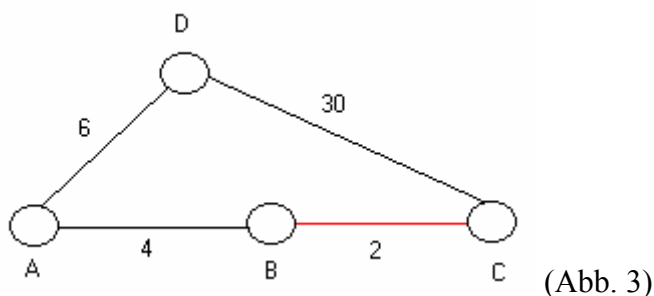


Abbildung 3 zeigt den Graphen eines Netzes, bei dem die Verbindung von B nach C ausgefallen ist. Nun erfährt B im ersten Aktualisierungsschritt, dass seine ursprüngliche Verbindung zu C nicht mehr existiert und prüft nun bei seinen Nachbarn, ob einer von ihnen einen Weg nach C kennt. Dies wäre der Fall bei A, der angeblich einen Weg der Länge 6 zu C kennt. Das dieser Weg über die soeben ausgefallene Verbindung führt und folglich eigentlich gar nicht mehr existiert bemerkt jedoch keiner der Knoten. B würde also in seiner Routing-Tabelle eintragen, dass es einen Weg der Länge 10 nach C gibt, der über den Knoten A verläuft. Im nächsten Aktualisierungsschritt würde A feststellen, dass sein Weg nach C länger geworden ist, da sich ja die Entfernung von B nach C erhöht hat. C ist also nun 14 Einheiten entfernt. Nun würde wiederum B den Wert in der Routing-Tabelle erhöhen und die beiden

Router würden sich gegenseitig so lange hochschaukeln, bis der Weg über D kürzer ist als der angeblich vorhandene über B.

Es werden also sehr viele Aktualisierungsschritte benötigt, bis wieder eine neue Leitung gefunden wird. Doch wäre nun diese alternative Route nicht vorhanden, so würde sich das Hochzählen der Router unendlich lange fortsetzen. Hieraus hat sich auch der Name für dieses Problem abgeleitet: *Count to Infinity*, also Zählen bis ins Unendliche.

## 2.2.2 Link State Routing

Aufgrund des eben angesprochenen Count-to-Infinity-Problems wird das Distance Vector Routing in der Praxis selten genutzt, sondern alternative Algorithmen, die dieses Problem vermeiden. Einer davon ist das Link State Routing, bei dem jeder Knoten ein Paket mit Informationen über die Entfernungen an alle anderen Router des Netzes verschickt. Aus diesen Informationen werden anschließend mit dem Shortest-Path-Algorithmus die kürzesten Pfade zu allen anderen Routern ausgerechnet.

Zuerst wird durch das Aussenden von sogenannten HELLO-Paketen von jedem Router ermittelt, wer seine Nachbarn sind. Anschließend errechnet der Router die Entfernung zu den Nachbarknoten, indem er ein ECHO-Paket an diese versendet und die Zeit bis zum Eintreffen einer Antwort misst. Aus diesen Informationen stellt der Router ein Link-State-Paket zusammen, welches durch einen leicht abgewandelten Flooding-Algorithmus an alle anderen Router im Netz versandt wird.

Aus diesen Informationen kann jeder Router nun einen Graph des Netzes aufbauen und mittels des Dijkstra-Algorithmus den kürzesten Weg zu allen anderen Knoten berechnen. Diese werden dann in der Routing-Tabelle abgespeichert. Dieses Vorgehen wird periodisch oder bei besonderen Ereignissen (Ausfall eines Knotens etc.) wiederholt.

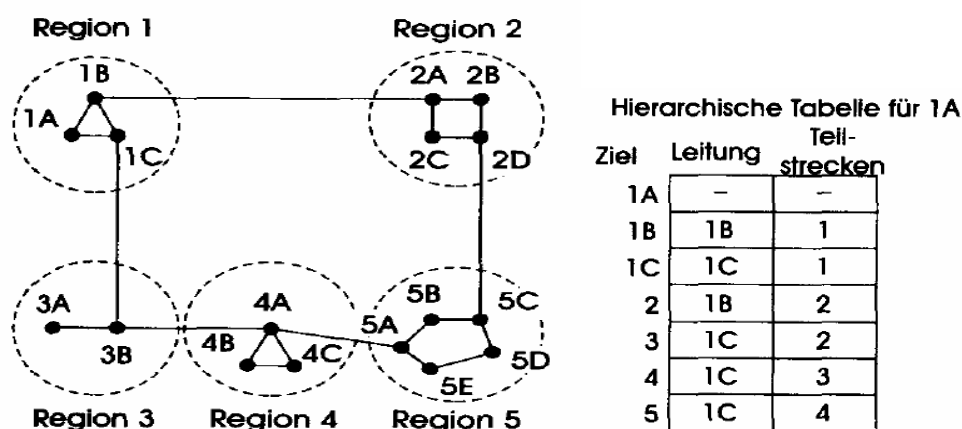
## 3 Hierarchisches Routing

Mit zunehmender Größe eines Netzes müssen immer mehr Informationen in den Routing-Tabellen gespeichert werden. Dies bedeutet nicht nur einen höheren Speicherverbrauch im Router, sondern auch einen größeren Zeitaufwand, um bestimmte Einträge in der Tabelle zu suchen. Aus diesem Grund werden große Netze in Regionen unterteilt. Je nach Größe ist auch

eine feinere Unterteilung in Cluster, Zonen und Gruppen möglich. Innerhalb einer Region weiß jeder Router, wie er die Pakete weiterleiten muss, aber die Struktur anderer Regionen ist ihm unbekannt. Deshalb verfügt jedes Teilnetz über einen Ausgangs- oder Grenzrouter, der mit den Grenzroutern der anderen Teilnetze kommuniziert. Das Routing zwischen den Netzen erfolgt im Internet über das Border Gateway Protokoll.

Durch das hierarchische Routing verringert sich die Anzahl der Einträge in den Routing-Tabellen jedes Routers deutlich. Der einzige Nachteil ist die ansteigende Pfadlänge, da durch die indirekte Verbindung zwischen den Routern Umwege möglich sind. Dieser Anstieg ist jedoch im Mittel vernachlässigbar klein.

Die folgende Abbildung zeigt die Aufteilung eines Netzes in 5 Regionen und die Kommunikation zwischen den Teilnetzen über die Grenzrouter der jeweiligen Region. Außerdem wird anhand der Routing-Tabelle für den Router 1A noch einmal deutlich, dass nur die Informationen zu den Knoten des eigenen Teilnetzes und der Weg in die anderen Regionen gespeichert wird. Wäre das Netz nicht hierarchisch organisiert würde die Routing-Tabelle mehr als doppelt so viele Einträge enthalten.



(Abb. 4)

## 4. Multicast Routing

Bei vielen Anwendungen, beispielsweise in der multimedialen Kommunikation, ist es notwendig, dass Daten an alle Mitglieder einer bestimmten Gruppe gesendet werden. Dies mag bei kleinen Netzen noch über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen möglich sein, aber bei größeren Netzen ist dieser Aufwand zu groß. Aus diesem Grund wird hierfür das sogenannte Multicasting verwendet. Multicast bedeutet, dass jeweils nur ein Paket pro Verbindung



übertragen wird und die Pakete entsprechend der Verteilungsstruktur in den entsprechenden Routern vervielfacht werden. Hierdurch wird die Netzlast deutlich reduziert.

Hierzu berechnet jeder Router einen Spannbaum, der alle anderen Router des Netzes einschließt. Sendet nun ein Prozess ein Multicast-Paket an eine Gruppe, so werden die Pakete nur auf den Zweigen des Spannbaums weitergeleitet, die zu Hosts der entsprechenden Gruppe führen und die anderen Zweige entfernt. Es entsteht ein Spannbaum, welcher nur die Gruppenmitglieder, an die die Nachricht gehen soll, umfasst.

Beim Multicasting ist die Verwaltung der Empfänger erforderlich. Die Gruppen müssen angelegt und gelöscht werden können und auch der Beitritt und das Verlassen von Gruppen müssen möglich sein. Hierbei wird zwischen dem senderinitiierten und dem empfängerinitiierten Multicast unterschieden.

Senderinitiiert bedeutet, dass der Sender alle Teilnehmer der Gruppe kennt. Er berechnet einen Spannbaum, der alle anderen Router im Teilnetz einschließt. Hierdurch sind geschlossene Gruppen möglich, denen man nur nach expliziter Einladung beitreten kann.

Beim empfängerinitiierten Multicast kennt der Sender die Empfänger nicht. Die Empfänger melden sich bei ihren jeweiligen Routern an, wodurch eine offene Gruppe entsteht, der jeder beitreten kann.

## **5. Routing für mobile Hosts**

Als mobilen Host bezeichnet man alle Hosts, die von ihrem Heimatstandort entfernt sind, aber trotzdem angemeldet sein möchten. Um Daten an einen solchen Host zu schicken, der beispielsweise über einen Laptop online ist und keinen festen Standort hat, muss das Netz ihn aber erst einmal finden.

Bei allen Hosts wird davon ausgegangen, dass sie über eine permanente Heimatadresse verfügen, mit der der Heimatstandort ermittelt werden kann.

Die Welt ist in bestimmte Bereiche unterteilt, wobei jeder Bereich einen oder mehrere Fremdagenten zur Überwachung der mobilen Hosts in diesem Bereich besitzt. Tritt ein mobiler Host in einen neuen Bereich ein, so muss er sich bei dessen Fremdagenten registrieren und hinterlässt dort seine Heimatadresse. Der Fremdagent teilt nun dem Heimatagenten des mobilen Hosts mit, dass dieser sich nun in seinem Bereich befindet. Erhält der Heimatagent ein Paket für diesen Host, so leitet er es an den Fremdagenten weiter und

weist den Sender an, zukünftig alle Pakete an den mobilen Host über den Fremdagenten zu senden. Der Fremdagent leitet schließlich das Paket an den Empfänger weiter.

## **Literatur**

[1] **Tanenbaum, Andrew S.:** *Computernetzwerke*, Prentice Hall, Pearson Studium, 2003.

[2] **König, H.:** Rechnernetze und Kommunikationssysteme I, WS 04/05, BTU Cottbus

[3] **<http://de.wikipedia.org/wiki/Routing>**