3.3. Multicast

Warum ist Multicast wichtig für Multimedia?

- Multimedia-Anwendungen erfordern sehr oft eine 1:n - Kommunikation.

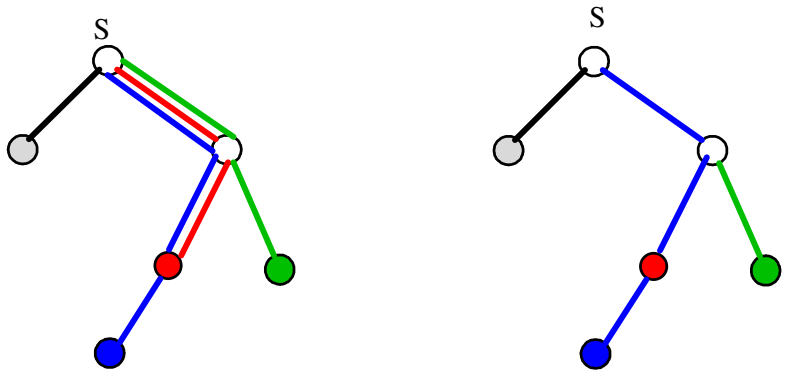
  Beispiele:
  - Videokonferenz
  - Tele-Kooperation (CSCW) mit gemeinsamen Arbeitsbereich
  - near-Video-on-Demand
  - Verteil-Kommunikation (Broadcast)

- Digitale Video- und Audioströme haben sehr hohe Datenraten (≥ 1,5 MBit/s). Eine Realisierung durch n einzelne Verbindungen würde die meisten Netze überlasten.

Motivation für Multicast

Mehr „Intelligenz“ im Netz verringert:

- die Last bei den Sendern
- die Last auf den Teilstrecken.



n Ende-zu-Ende-Verbindungen eine Multicast-Verbindung

Anforderungen an Multicast für Multimedia

- Unterstützung von isochronen Datenströmen mit **garantierter Dienstgüte** für eine vereinbarte Verkehrslast (Vertragsmodell, "flowspec")
  - Maximale Ende-zu-Ende-Verzögerung (delay)
  - Maximale Varianz in der Verzögerung (delay jitter)
  - Zuverlässigkeit
- Erfordert eine **Reservierung von Ressourcen** in allen Links und Knoten im Netz
  - Bandbreite
  - CPU-Leistung
  - Pufferplatz
  - "schedulability"
- Erfordert Konzepte und Protokolle für eine **Gruppenadressierung**
- Erfordert möglicherweise eine Vorwärts-Fehlerkorrektur (FEC)
- Erfordert Algorithmen für ein dynamisches Hinzufügen und Löschen von Teilnehmern

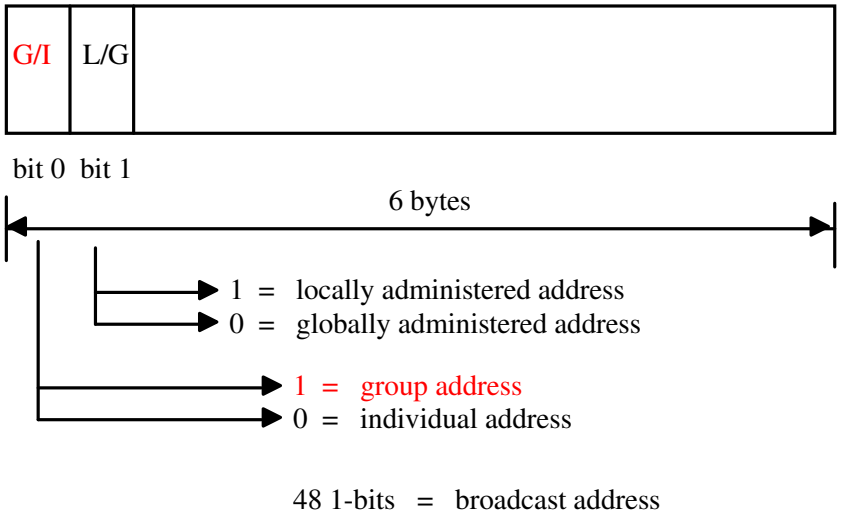
Multicast in LANs

Ethernet, Token Ring, FDDI

- Die Topologie hat Broadcast-Eigenschaft
- Die Schicht-2-Adressen nach IEEE 802.2 erlauben die Errichtung von Gruppenadressen für Multicast
- Aber: Ab Schicht 3 wurden in der Internet-Protokollarchitektur bisher nur Peer-to-Peer - Adressen unterstützt! Und im weltweiten Verbund (Internetwork) muss Multicast auch WAN-Strecken überbrücken.

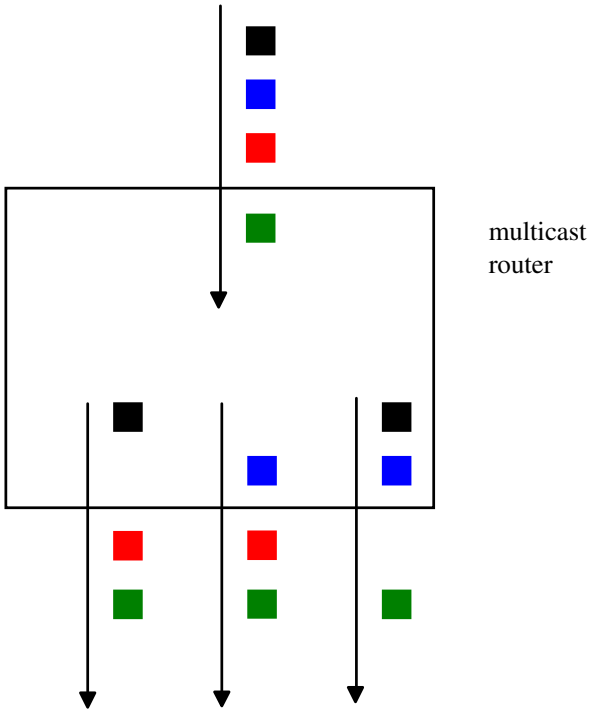
Adressformat in LANs

Nach IEEE 802 und ISO 8802



Multicast in der Netzwerkschicht

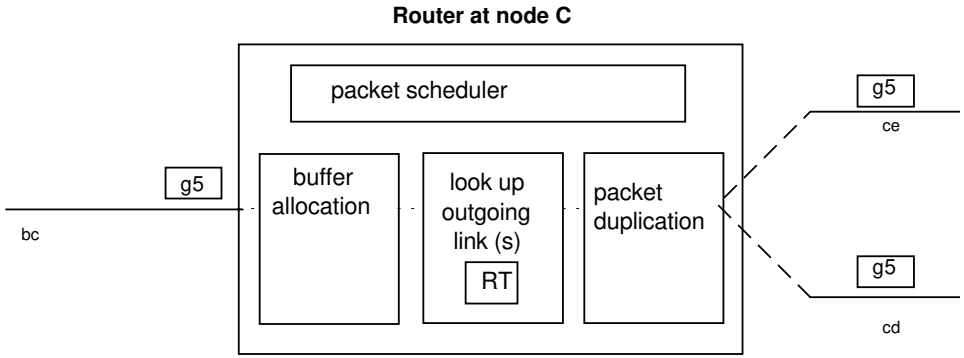
- Prinzip: Duplizierung von Paketen so "tief unten" im Multicast-Baum wie möglich
- Erfordert ein Multicast-Adressierungsschema in Schicht 3 und mehr "Intelligenz" in den Schicht 3 - Vermittlungs-stellen (Routern)
- verbindungslos oder verbindungsorientiert?



Router mit Multicast-Erweiterung

RT Routing Table

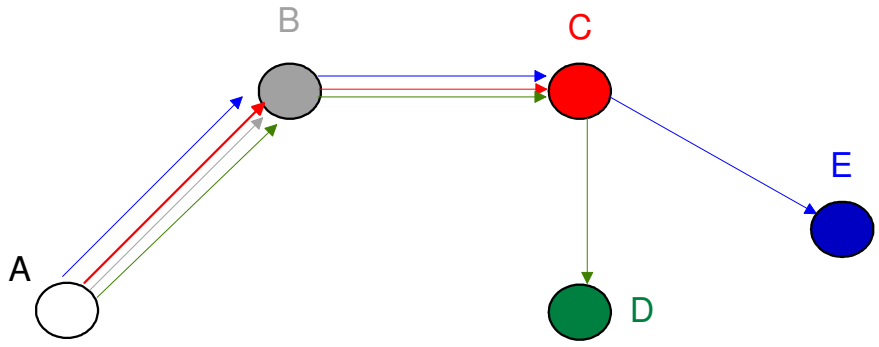
From C to	link	cost
g5	{ce, cd}	



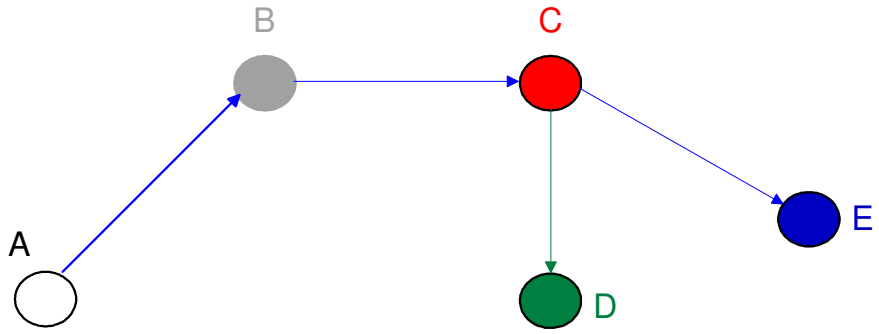
g5 = IP address of group 5

Multicast in unserem Beispiel

Annahme: alle Knoten sind Empfänger

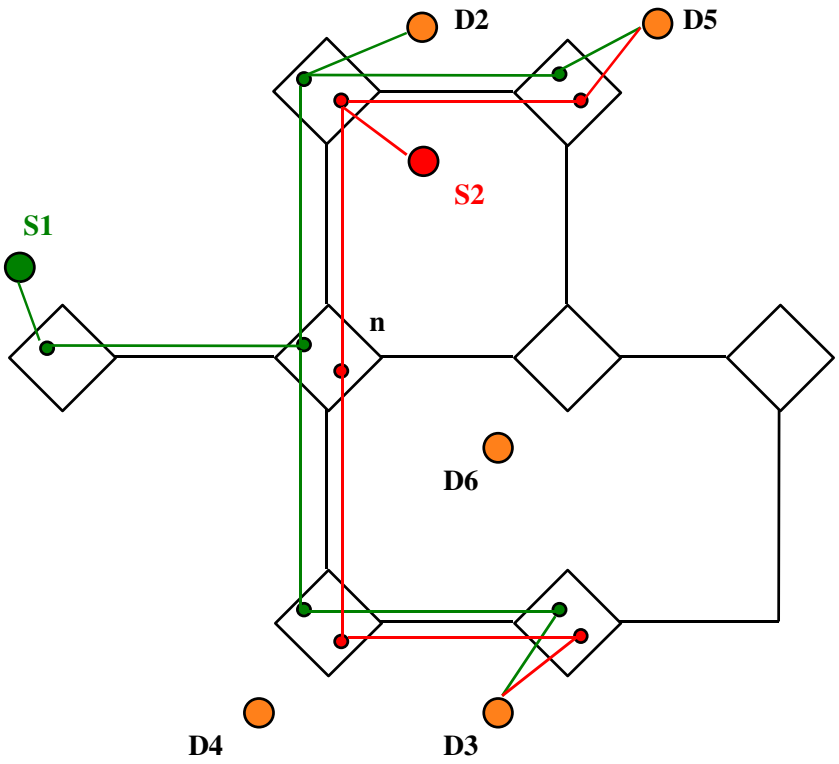


(a) vier Ende-zu-Ende-Verbindungen



(b) eine Multicast-Verbindung

Dynamic Join and Leave



3.4. Medienskalierung und Medienfilter

3.4.1. Medienskalierung (media scaling)

Definition

Skalierung = Anpassung des Datenvolumens einer verteilten Anwendung an die freien Kapazitäten der Ressourcen

Anforderungen:

- schnelle und exakte Anpassung an die freie Kapazität
- robust gegen Paketverlust
- universell einsetzbar (LAN, WAN, Kodierer, Multicast)

Angleichung bei Mangel an Ressourcen

Nicht-Verfügbarkeit von Ressourcen kann auftreten bei:

- Ressourcen, die nicht über QoS-Reservierungsmechanismen verfügen
- variablen Bitraten
- falscher Ressourcen-Bedarfsspezifikation der Anwendung

Ziele:

- Dynamische Angleichung der Ressourcennutzung, um eine Überlastung der Ressourcen zu vermeiden
- Verringerte Dienstgütequalität soll durch die Anwendung möglichst wenig wahrgenommen werden, z.B. durch Verminderung der Bildqualität statt der Bildwiederholrate

Transparente und nichttransparente Skalierung

Transparent:

- Skalierung nur innerhalb der Transportschicht, unsichtbar für das Anwendungsprogramm

Nicht transparent:

- Ein Dienstprimitiv wird zur Verfügung gestellt, das Anwendungsprogramm ist involviert

Skalierungsformen für Bewegtbilder

- zeitliche Skalierung
  Anzahl der übertragenen Bilder pro Sekunde (Frame-Rate) verringern

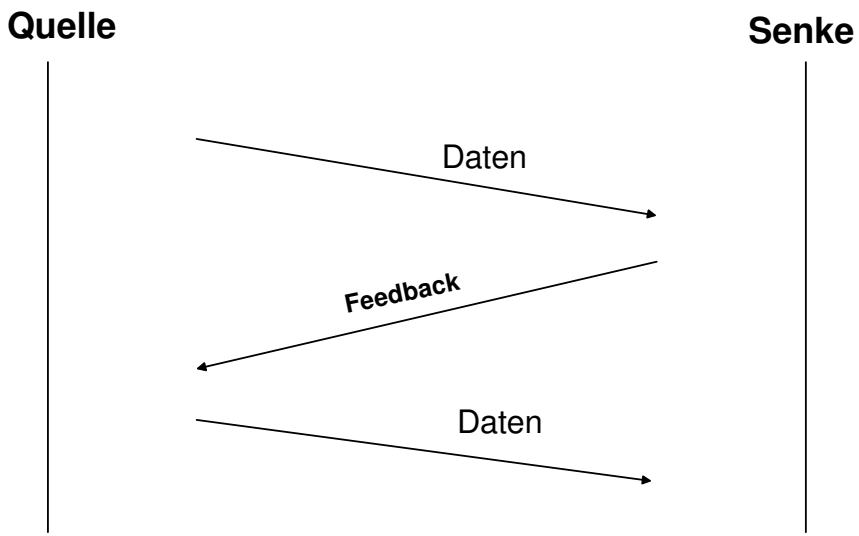
- räumliche Skalierung
  Reduzieren der Anzahl der Bildpunkte (kleineres Bild)

- Frequenzskalierung
  Bei der Frequenztransformation (z.B. DCT) werden Frequenzen weggelassen

- “Amplitudenskalierung“
  Die Farbtiefe der Pixel oder die Anzahl der Bits für die Graustufendarstellung wird reduziert

Prinzipieller Ablauf der Skalierung

- Monitoring
- Feedback
- Adaption



Skalierung vs. Reservierung

- Reservierung:
  - in immer mehr Netzwerken verfügbar
  - sollte auch in höheren Schichten angewendet werden
- Skalierung:
  - komplementäre Technik
  - für existierende Netzwerke geeignet, insbesondere auch für IP Version 4
  - benötigt eine geeignete Kodierung des Datenstroms, zum Beispiel eine hierarchische Video-Kodierung (in “layers“)

Reservierung und Skalierung können sich ergänzen. Beispiel: ein Bitstrom mit Reservierung überschreitet kurzfristig die Obergrenze der vereinbarten Bitrate. Dann wird der Strom beim Sender herunterskaliert.

Implementierung mittels “Layered Encoding“

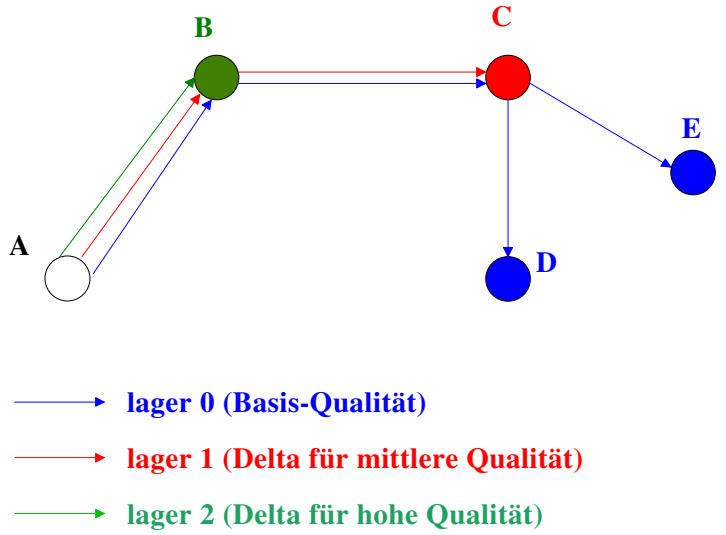
Ein Transport-Strom = n Netzwerk-Ströme

- Basis-Netzwerkstrom (layer 0)
  - Grobbild
  - Übertragung über reservierte und garantierte Bandbreite oder mit hoher Priorität der Pakete
- Zusätzliche Netzwerkströme (higher layers)
  - mehr Daten für bessere Bildqualität
  - Übertragung über eine “best-effort“-Verbindung oder mit niedrigerer Priorität der Pakete

Medienfilter (multicast filtering)

Unterschiedliche Empfänger erfordern unterschiedliche Qualitäten der Medienströme

- Neue Kompressionsverfahren (z.B. MPEG-2) bieten eine hierarchische Kodierung (in layers)
- Der Datenstrom kann in Unterströme geteilt werden
- Nur der Teil der Information, der bei einem Empfänger gewünscht wird, wird dorthin übertragen
- Irrelevante Teile werden von Filtern **im Inneren des Netzes** entfernt



Adaptive Anwendungen

Idee

Nicht das Netz paßt sich an den Bedarf der Anwendung an, sondern die Anwendung paßt sich an die aktuelle Belastungssituation des Netzes an. Dies verbessert vor allem den Betrieb von Multimedia-Anwendungen in Netzen ohne QoS-Unterstützung ("best effort networks"), wie zum Beispiel im Internet mit IPv4.

Beispiel

Während ein Video aus einer VoD-Datenbank abläuft, steigt die Netzbelastung, das Netz meldet Verstopfungsgefahr an alle Quellen. Daraufhin verändert die Video-Quelle die **Quantisierungstabelle** des MPEG-Encoders (vergrößert die Quantisierungsstufen) und generiert fortan eine niedrigere Bitrate bei niedrigerer Bildqualität.

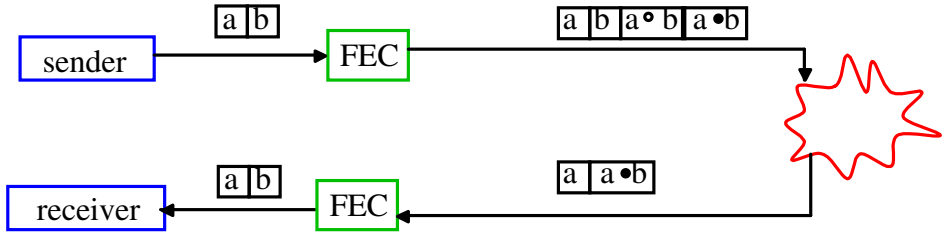
Man beachte den Unterschied zu den klassischen Kontrollalgorithmen, bei denen bei Netzverstopfung die Paketrate reduziert wird und somit die **Bildwiederholrate** beim Empfänger sinkt. Alternativen gibt es für das Netz nicht, da **nur die Quelle** die Video-Codierung in allen Parametern steuern kann.

3.5. Neue Algorithmen und Protokolle für Multimedia im Internet

3.5.1. Fehlerbehebung durch Vorwärts-Korrektur

Forward Error Correction (FEC)

- Schützt vor Paketverlusten, aber nicht vor Bitübertragungsfehlern
- Vermeidet eine Vergrößerung der Verzögerungsvarianz (des „delay jitters“)



Beispiel: AdFEC (Adaptive Forward Error Correction), LS Effelsberg, Technical Report TR-93-009, 1993, erhältlich via ftp, oder A. Albanese, M. Luby: PET - Priority Encoding Transmission, in: High-Speed Networking for Multimedia Applications, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp. 247 - 265

Ratenbasierte Flusskontrolle

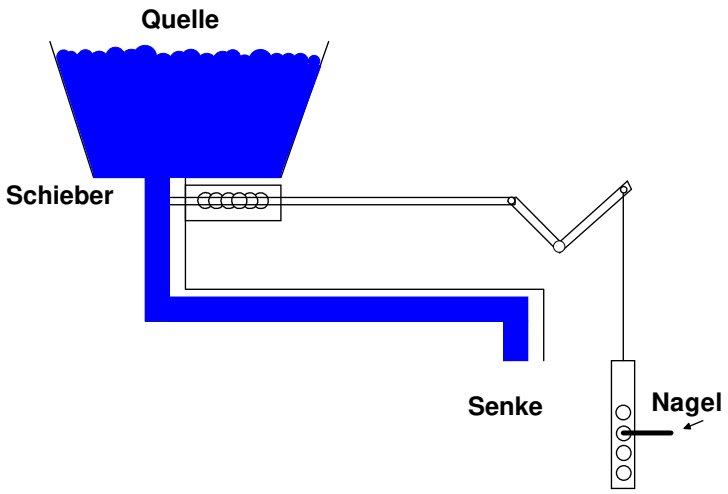
“Rate-based flow control“

Prinzip

Sender und Empfänger vereinbaren eine Datenrate, die dann kontinuierlich fließt. In vielen Protokollen kann die Datenrate während der Verbindung nachverhandelt werden.

Implementierung

“leaky bucket“



3.5.2. Protokoll-Beispiel: Multicast-IP

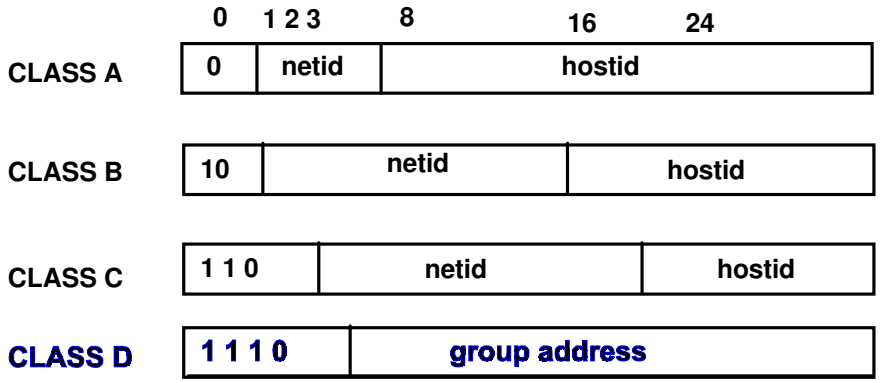
Schon heute gibt es Multicast im Internet. Dies wurde durch eine Erweiterung des IP-Protokolls der Version 4 erreicht ("Multicast IP"). Der Multicast-Backbone **MBone** im Internet ist ein Overlay-Netz der multicast-fähigen Router. Die Protokolle und der MBone sind allerdings als experimentell anzusehen, sie haben noch nicht Produkt-Qualität.

Prinzipien des Multicast-IP-Protokolls

- Übertragung von IP-Datenpaketen an eine Gruppen-adresse (IP-Adresse vom Typ D)
- verbindungslos (Datagrammdienst)
- Best-Effort-Prinzip (keine Dienstgütegarantien)
- keine Fehlerkontrolle
- keine Flusskontrolle
- **empfängerorientiert:**
  - Der Sender sendet Multicast-Pakete an die Gruppe
  - Der Sender kennt die Empfänger nicht, hat auch keine Kontrolle über diese
  - Jeder Host im Internet kann einer Gruppe beitreten
- Beschränkung des Sendebereiches ist nur durch den Time-To-Live-Parameter möglich (TTL = hop counter im Header des IP-Pakets)

Multicast-Adressen in IP

Multicast im Internet ist empfängerorientiert. Für eine Multicast-Session wird zunächst eine IP-Gruppenadresse vereinbart. Der Sender beginnt, an diese Adresse zu senden. Jeder Knoten im Internet kann entscheiden, ob er in eine existierenden Gruppe aufgenommen werden möchte. Die IP-Gruppenadresse wurde als IP-Adresse vom Typ D standardisiert:



Gruppenadressen werden dynamisch zugewiesen. Einen Mechanismus zur eindeutigen Vergabe einer Gruppenadresse gibt es in IP nicht! Darum müssen sich die höheren Schichten kümmern.

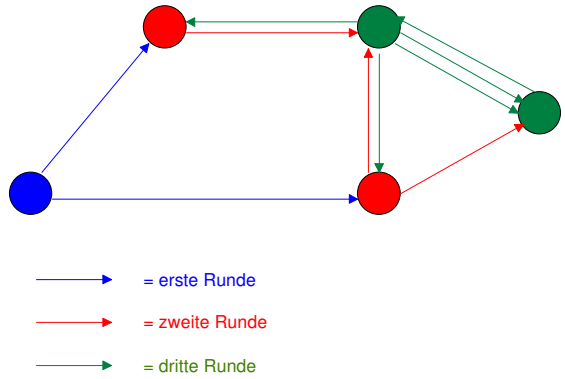
Routing-Algorithmen für Multicast

Flooding

Die einfachste Möglichkeit zum Erreichen aller Empfänger einer Gruppe wäre Flooding (Broadcasting).

Algorithmus Flooding

Wenn ein Paket eintrifft, wird eine Kopie auf jeder Ausgangsleitung weitergesandt außer derjenigen, auf der das Paket ankam.



Problem: Unendliche Anzahl von Duplikaten
Lösung: Streckenzähler ("hop counter") im Paketkopf

- Initialisierung mit dem Durchmesser des Netzes
- Dekrementieren um 1 auf jeder Teilstrecke
- Duplikate erhalten den Streckenzähler des Originals
- Zähler = 0: Paket wird vom Knoten weggeworfen

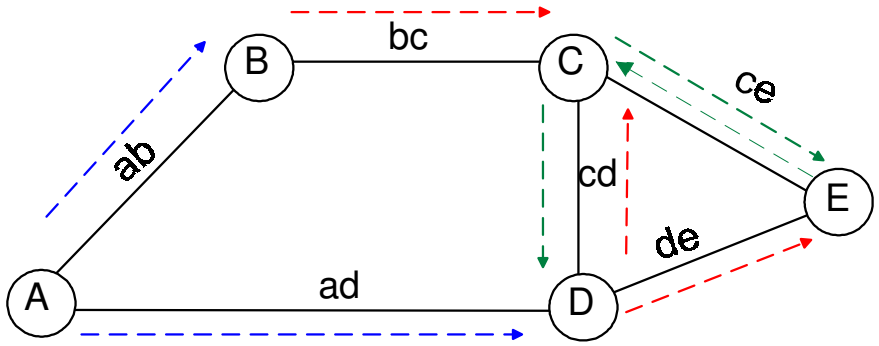
Reverse Path Broadcasting (RPB)

Effizienter als das Flooding ist der Reverse Path Broadcasting-Algorithmus (RPB). Er nutzt die Tatsache aus, dass jeder Knoten seinen kürzesten Pfad zum Sender aus der klassischen Routing-Tabelle kennt! Man bezeichnet diesen Pfad als **Reverse Path**.

Die erste Idee ist nun, dass ein Knoten nur diejenigen Pakete an seine Nachbarn weitergibt, die auf dem kürzesten Pfad vom Sender angekommen sind. Dieses Verfahren generiert wesentlich weniger Pakete als reines Flooding (Broadcasting).

Beispiel für Reverse Path Broadcasting
(unvollständiger Algorithmus)

Für unsere Beispieltopologie arbeitet der (bisher noch unvollständige) RPB-Algorithmus wie folgt:

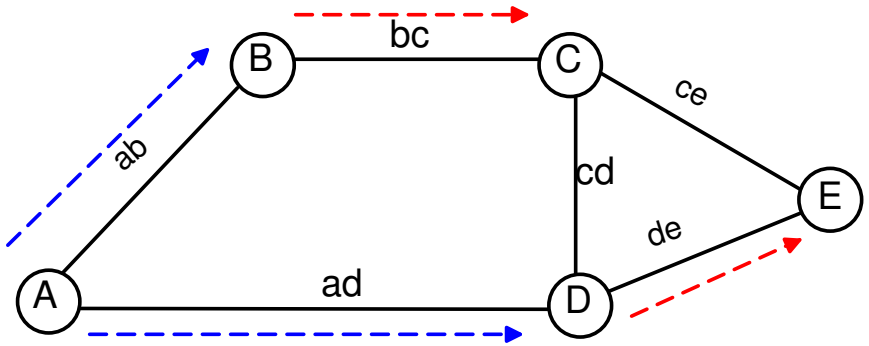


Wie wir sehen, entstehen noch immer überflüssige Pakete: die Knoten D und E erhalten jedes Paket zweimal, Knoten C sogar dreimal.

Reverse Path Broadcasting
(vollständiger Algorithmus)

Wenn jeder Knoten seinen Nachbarn etwas Zusatzinformation mitteilt, kann RPB weitere überflüssige Pakete verhindern. Die Zusatzinformation besteht in der Benennung des eigenen kürzesten Pfades zum Sender. In unserem Beispiel informiert E seine Nachbarn C und D darüber, dass *de* auf seinem kürzesten Pfad zu A liegt.

Den Paketfluss für den vollen RPB-Algorithmus zeigt dann die unten stehende Abbildung.



Truncated Reverse Path Broadcasting (TRPB)

Beschränkt die Auslieferung der Daten auf diejenigen Subnetzwerke, die Gruppenmitglieder enthalten. Als Subnetzwerke werden nur LANs betrachtet, die an Blättern des Routing-Baumes hängen.

Dazu wurde ein einfaches Protokoll definiert, mit dem Router die Hosts in ihrem LAN befragen können, ob sie an den Paketen einer bestimmten Gruppe interessiert sind (IGMP: Internet Group Management Protocol). Wenn ein Router in seinem LAN keinen interessierten Host vorfindet, wird er in Zukunft Pakete mit dieser Gruppenadresse nicht mehr auf sein LAN geben.

Vorteil

- Vermeidet überflüssige Pakete in den Blatt-LANs

Nachteil

- Eliminiert nur Subnetzwerke, verringert nicht den Datenverkehr innerhalb des Baumes

Reverse Path Multicasting (RPM)

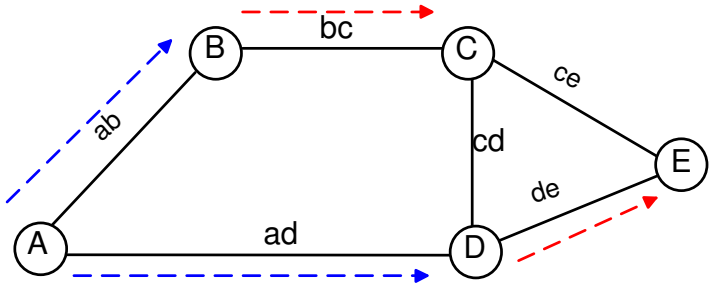
Der TRPB-Algorithmus etabliert Pfade zu allen Routern im Netz, ob sie Mitglied der Gruppe sein wollen oder nicht. Es ist offensichtlich sinnvoll, in der Datenphase einer Session den Routing-Baum so zurückzuschneiden, dass Pakete nur noch dorthin weitergeleitet werden, wo sie wirklich gebraucht werden.

Dies geschieht durch die Generierung von **prune messages**. Diese wandern im Baum von den Blättern zur Wurzel hin und teilen den Knoten der jeweils höheren Ebene mit, dass es weiter unten im Baum keine Empfänger mehr gibt. So wird aus dem Broadcast-Baum ein Multicast-Baum. Das Verfahren wird als Reverse Path Multicasting (RPM) bezeichnet. Im Internet werden die "prune messages" von den Routern generiert und weitergeleitet.

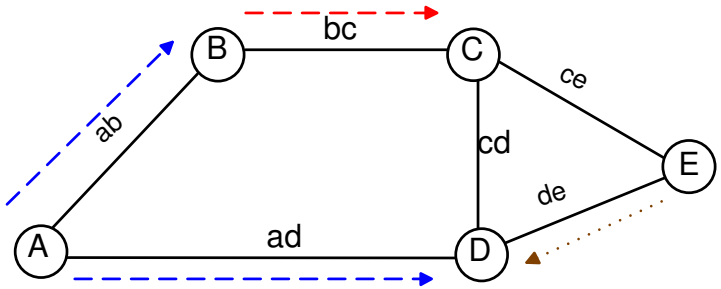
Algorithmus Pruning

- Ein Router, der als Kind-Links nur Blatt-Links ohne Gruppenmitglieder besitzt, sendet einen Non-Membership-Report (NMR) an den übergeordneten Router, d.h. an den vorhergehenden Router im Multicast-Baum.
- Router, die von allen untergeordneten Routern NMRs empfangen haben, senden ebenfalls einen NMR an den übergeordneten Router.
- NMRs enthalten eine Zeitangabe, nach der das Pruning wieder aufgehoben werden soll.
- NMRs können auch aufgehoben werden, wenn ein neues Gruppenmitglied an einem Link aktiv wird.

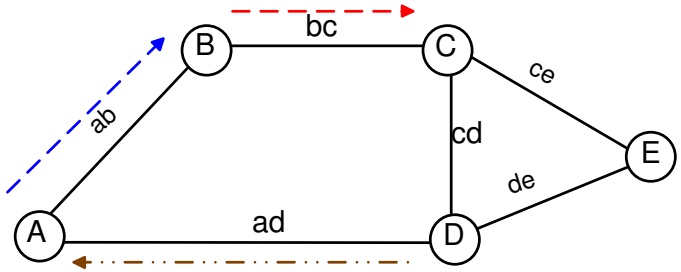
Beispiel für Reverse Path Multicasting



(a) Baum in der anfänglichen RPB Phase



(b) E hat eine "prune message" versandt



(c) D hat eine "prune message" versandt

Vor- und Nachteile von RPM

Vorteil

- Reduzierung des Datenverkehrs im Vergleich zu TRPB

Nachteile

- Periodischer Versand der Daten an **alle** Router weiterhin nötig, damit sie „es sich anders überlegen“ können
- Statusinformation in jedem Knoten für jede Gruppe und jeden Sender nötig

QoS-Based Routing

Multicast-Routing für IP ist ein aktuelles Forschungsthema. Noch weitgehend ungelöst ist das Problem eines Routings unter Einbeziehung von Dienstgüteanforderungen (“**QoS-based routing**“).

Multicast-Ausblick: IP Version 6

Die Multicast-Fähigkeit ist in das IP-Protokoll in Version 6 integriert worden.

Alle IP-Router können Gruppenadressen interpretieren und Multicast-Routing beherrschen.

Das IGMP-Protokoll ist in das klassische Internet Control Message Protocol (ICMP) integriert.

IP-Router können Pakete nach frei definierbaren Prioritäten schedulen. Sie enthalten Paketfilter, die beispielsweise für Layered Multicast eingesetzt werden können.

Die Unterstützung von QoS durch die Reservierung von Ressourcen in den Routern wird heftig diskutiert, aber es gibt noch keinen Konsens. Die „flow labels“ in den Headern der IP-Pakete ermöglichen zumindest die Zuordnung von Paketen zu einem Strom und die Verwaltung von „soft state“ in den Routern.