

Vorlesungsmodul Rechnernetze 1

- VorlMod ReNetze1 -

Matthias Ansorg

19. März 2003 bis 21. September 2003

Zusammenfassung

Studentische Mitschrift zur Vorlesung Rechnernetze 1 bei Prof. Dr. Wolfgang Schmitt (Sommersemester 2003) im Studiengang Informatik an der Fachhochschule Gießen-Friedberg. Eigentlich ist es noch die letzte Durchführung der Veranstaltung »Rechnernetze« nach Prüfungsordnung 1991. Die vorliegende studentische Mitschrift ist identisch zu [1] gegliedert, enthält jedoch nur Ergänzungen zum Stoff und eine Aufgabensammlung.

Die Veranstaltung besteht aus 2 SWS Vorlesung und 2 SWS Übungen. Es gibt 4 Übungsgruppen je max. 25 Personen, zu denen man sich per Internet anmelden kann. Es gibt in »Rechnernetze« kein Praktikum, nur Übungsaufgaben. Es ist nicht notwendig, sich für diese Veranstaltung ein Buch zu kaufen. Alle hier empfohlenen Bücher sind in der Bibliothek vorhanden. Diese Veranstaltung behandelt nur die prinzipielle Funktionsweise von Rechnernetzen, aber keine statistischen Aspekte der Netztechnologie, Verkehrslenkung usw.

Die Veranstaltung Rechnernetze enthält nach Prof. Schmitt »viel Stoff«. Die Stoffdichte sei deutlich höher als bei Vorlesungen im 1. Semester; es sei also nicht zu empfehlen, die Vorlesung nicht zu besuchen und zu versuchen, sich den Stoff in 14 Tagen selbst anzueignen, »das geht meistens schief«. Die Veranstaltungen Rechnernetze 1 und 2 nach Prüfungsordnung 2002 sind demgegenüber entzerrt und enthalten auch Stoff aus der derzeitigen Veranstaltung »Lokale Netze«.

- **Bezugsquelle:** Die vorliegende studentische Mitschrift steht im Internet zum Download bereit: Persönliche Homepage Matthias Ansorg <http://matthias.ansorgs.de/InformatikDiplom/Modul.ReNetze1.Schmitt>.
- **Lizenz:** Diese studentische Mitschrift ist public domain, darf also ohne Einschränkungen oder Quellenangabe für jeden beliebigen Zweck benutzt werden, kommerziell und nichtkommerziell; jedoch enthält sie keinerlei Garantien für Richtigkeit oder Eignung oder sonst irgendetwas, weder explizit noch implizit. Das Risiko der Nutzung dieser studentischen Mitschrift liegt allein beim Nutzer selbst. Einschränkend sind außerdem die Urheberrechte der angegebenen Quellen zu beachten.
- **Korrekturen und Feedback:** Fehler zur Verbesserung in zukünftigen Versionen, sonstige Verbesserungsvorschläge und Wünsche bitte dem Autor per e-mail mitteilen: Matthias Ansorg <<mailto:matthias@ansorgs.de>>.
- **Format:** Die vorliegende studentische Mitschrift wurde mit dem Programm L^AT_EX (graphisches Frontend zu L^AT_EX) unter Linux geschrieben und mit pdfL^AT_EX als pdf-Datei erstellt. Grafiken wurden mit dem Programm xfig unter Linux erstellt und als pdf-Dateien exportiert.
- **Dozent:** Prof. Dr. Wolfgang Schmitt.
- **Verwendete Quellen:**
- **Klausur:**
 - Die Klausur hat einen »Teil A«, in dem folgende Unterlagen verwendet werden dürfen: Vorlesungs- und Übungsunterlagen, Formelsammlung, ein Buch zum Thema Rechnernetze, Taschenrechner. Zu Teil A gehören zwei Drittel der Bearbeitungszeit und der Punkte.
 - Die Klausur hat einen »Teil B«, in dem überhaupt keine Hilfsmittel verwendet werden dürfen, weil Sachwissen abgefragt wird. Dieses Sachwissen ist wohl stets im Skript enthalten und bezieht sich hpts. auf Grundbegriffe, nicht auf Details. Zu Teil B gehören ein Drittel der Bearbeitungszeit und der Punkte.
 - Modalitäten der Klausur werden gegen Ende der Vorlesungszeit nochmals durchgesprochen.
 - Es gibt keine Hausübungen oder sonstigen formalen Teilnahmevoraussetzungen zur Klausur.
 - Die Übungsaufgaben enthalten eine Aufgabe, sich etwas Stoff aus dem Themenbereich »Internet« selbst anzueignen. Dieser Stoff kann in der Klausur abgefragt werden.

Inhaltsverzeichnis

I	Einführung	3
1	Vernetzung von Rechnern - Motivation und Anwendungen	3
2	Konzepte und Begriffe	4
2.1	Infrastrukturen und Komponenten	4
2.2	Vermittelte Kommunikation	4
2.2.1	Grundbegriffe	4
2.2.2	Durchschaltvermittlung	4
2.2.3	Teilstreckenvermittlung - Paketvermittlung	5
2.2.4	Zusammenfassung und Diskussion	5
2.3	Netztopologien	6
2.4	Client-Server-Paradigma	6
2.5	Funktionale Schichten im Netz	6
3	Problemstellungen	7
4	Historie der Rechnernetze: Internet und DFN	7
5	Standardisierung	7
5.1	Warum Standardisierung	7
5.2	Internationale Organisationen	7
5.3	Europäische Organisationen	7
5.4	Nationale Organisationen	7
5.5	Standardisierung für das Internet	7
6	Literatur	7
II	Digitale Übertragungstechnik	7
7	Einführung in die Informationstheorie	7
7.1	Kenngößen für Übertragungskanäle	7
7.2	Grundbegriffe der Informationstheorie	7
7.3	Kanalkapazität, Nachrichtenquader und Multiplexechniken	9
8	Beschreibung von Signalen im Zeit- und Frequenzbereich	10
8.1	Fourier-Reihe	10
8.2	Bandbreitebedarf bei digitaler Übertragung	11
9	Leitungen	11
10	Signalaufbereitung - Leitungskodes und Modulation	11
11	Betriebsarten	11
12	Kanalkodierung	11
13	Literatur	12
III	Systemarchitekturen für die offene Datenkommunikation	12
14	Funktionale Strukturierung von Systemen für die offene Datenkommunikation	12
15	Architekturprinzipien für offene Kommunikationssysteme	12
16	Literatur	12

17 Anhang A: FTAM - Öffnen einer entfernten Datei	13
18 Anhang B: Grundprinzipien des IP-Routings	13
IV Übertragungssteuerung	13
19 Grundlagen	13
20 Asynchrone Übertragung	13
21 Synchrone Übertragung	13
22 Übertragung im Paketformat	13
23 Literatur	13
V Aufgabensammlung	13
24 Aufgabensammlung Typ »Klausuraufgaben Teil A«	13
24.1 Optimalcode und maximaler Informationsfluss bei Farbinformationsübertragung	13
24.2 Schiebefensterprotokoll: Größen und Lage des Empfangsfensters	15
24.3 IP-Adressen: Netzklasse und Zahl adressierbarer Rechner	16
24.4 Entwicklung eines Fano-Codes	17
24.5 Fano-Code der deutschen Sprache	17
24.6 Informationsfluss	17
24.7 Entscheidungsgehalt: Matrikelnummer zu einem Namen suchen	18
24.8 Entscheidungsgehalt: Problem der 12 Kugeln	18
25 Aufgabensammlung Typ »Klausuraufgaben Teil B«	19
25.1 Begriffe erläutern inkl. Beispiel	19
25.2 Statische Struktur des ISO Referenzmodells	20
25.3 Begriffe in der dynamischen Struktur des ISO Referenzmodells	20
25.4 Vertikale Kommunikation im OSI-Referenzmodell	21
25.5 Aussagen ergänzen	21
25.6 Kodierungsarten erläutern	21
25.7 Wahr oder falsch?	22
25.8 Verbindungstopologien erläutern	23
25.9 Das Internet Architecture Board	24

Abbildungsverzeichnis

Teil I

Einführung

1 Vernetzung von Rechnern - Motivation und Anwendungen

BDE Betriebsdatenerfassung. Die produzierten Stückzahlen und dafür benötigte Ressourcen werden durch Computer erfasst.

2 Konzepte und Begriffe

2.1 Infrastrukturen und Komponenten

Host Ein Begriff aus der Arpanet-Technologie; alle Rechner eines Netzes, auf denen Anwendungen laufen können, bezeichnet man als Hostrechner (kurz Host) bzw. Arbeitsrechner.

Protokolle können entweder in Hardware oder in Software implementiert werden. Die einfachen Protokolle der unteren Protokollschichten, in denen Geschwindigkeit wichtig ist, werden in Hardware implementiert. Einige Netzwerke, die zuerst nur als firmeninterne Netze gedacht waren, werden nun kostenpflichtig der Öffentlichkeit angeboten, etwa das Netz von Mannesmann-Arcor.

2.2 Vermittelte Kommunikation

2.2.1 Grundbegriffe

Vermittelte Kommunikation in einem Netz bedeutet einen Prozess, der sicherstellt, dass Nachrichten aufgrund einer Adressinformation zuverlässig von einer Quelle zu einem Ziel gelangen. Dagegen sind Standleitungen zwischen nur zwei Teilnehmern, Fernsehen und Rundfunk keine Netze mit vermittelter Kommunikation.

Verbindung (eigtl. Nachrichtenverbindung) bezeichnet die für eine bestimmte Zeit, die Verbindungsdauer, zur Verfügung gestellten Systemressourcen zur Kopplung von mindestens zwei Endsystemen zum Zwecke des Informationsaustauschs. Verbindung beschreibt damit den Kontext einer Kommunikation. Verbindung bedeutet nicht mehr wie früher, dass irgendwelche Kontakte mechanisch oder elektronisch durchgeschaltet werden. Es ist das typische Merkmal einer Verbindung, dass mit ihr Zustände assoziiert werden können (etwa früher den Zustand eines Koppelnetzes, in dem die Kontakte durchgeschaltet wurden). Wenn eine Verbindung dauerhaft besteht, bezeichnet man sie als Festverbindung.

Endsysteme (ES) sind für Rechnernetze meist Rechner, genauer die Anwendungssysteme in Rechnern. Jedoch können prinzipiell auch Telefone, Faxgeräte, Drucker usw. Endsysteme sein. Endsysteme für die Datenkommunikation (also nicht Telefone usw.) bezeichnet man als Datenendeinrichtung (DEE bzw. DTE: Data Terminal Equipment).

Grundidee der lokalen Netze war, die Vermittlungsaufgabe nicht in einem Gerät (genannt Vermittlungsstelle, auch Switch oder Router) zu konzentrieren, sondern auf mehrere Geräte zu verteilen. Die Vermittlung findet verteilt statt, es gibt keine Knoten: jede DEE prüft, ob eine Nachricht an sie gerichtet ist, und behält sie in diesem Fall. Lokale Netze haben keine zentrale Instanz!

Die verschiedenen Netze arbeiten mit unterschiedlichsten Technologien, die die verschiedenen Formen der Verbindungstopologien unterschiedlich gut unterstützen. Um zwei beliebige Netze mit möglicherweise unterschiedlicher Technologie miteinander zu verbinden, braucht man einen Netzübergang, den Gateway (auch genannt Intermediate System (IS) oder Interworking Unit (IWU)).

2.2.2 Durchschaltevermittlung

Es gibt zwei bedeutende Vermittlungstechnologien: die Durchschaltevermittlung und die Paketvermittlung. Bei der Durchschaltevermittlung steht in jeder Vermittlungsstelle ein Koppelnetz und eine Koppelnetzsteuerung zur Verfügung. Logisch besteht das Koppelnetz aus einer Matrix von Eingangs- und Ausgangsleitungen. Es ist nicht möglich, eine Verbindung mit einer abgehenden Leitung herzustellen: das Koppelnetz ist in einem solchen Fall blockiert. Die Koppelnetzsteuerung verarbeitet Adressinformationen und legt im Koppelnetz die unterschiedlichen Schalter um. Die mechanische Durchschaltevermittlung im Telefonnetz war komplett dezentral organisiert: eine Vermittlungsstelle schaltet nur für eine Teilstrecke (Link) durch. Die Teilnehmeranschlussleitungen heißen »subscriber link«. Problem der Durchschaltevermittlung ist, dass während einer Verbindung permanent Leitungsressourcen belegt sind. Jedoch ist Durchschaltevermittlung eine vernünftige Technik für die analoge Fernsprechtechnik, denn bei einem Gespräch ist eine Leitung gut ausgelastet. Jedoch wird vom Teilnehmer bis zur ersten Vermittlungsstelle jeweils eine Hin- und eine Rückleitung zur Verfügung gestellt, von denen beim Gespräch jeweils nur eine ausgenutzt wird, was Ressourcenverschwendung ist.

Durchschaltevermittlung kennt nur die verbindungsorientierte Kommunikation. Es ist eine robuste und zuverlässige Technik, hat jedoch den Nachteil, dass Tarifierung zeitabhängig geschehen muss und deshalb für viele Anwender der Datenkommunikation zu teuer ist.

2.2.3 Teilstreckenvermittlung - Paketvermittlung

Bei der Paketvermittlung gibt es wiederum zwei verschiedene Prinzipien. Zuerst jedoch das gemeinsame Grundprinzip: das Vermittlungselement ist nicht mehr ein Koppelnetz, sondern ein Paketspeicher. Leitungen können so für Pakete von vielen Quellen verwendet werden. Eine Obergrenze ist nach einer Faustregel eine Netzauslastung von 80%. Die sog. »Wegelenkungstabelle« ist eine »Routingtabelle«. Wenn die Datenvermittlungsstelle durch einen PC und Software realisiert ist, bezeichnet man das als »Router«. Vermittlungsstellen der Paketvermittlung heißen Datenpaketvermittlungsstellen.

Verbindungsorientierte Paketvermittlung Pakete können über mehrere verschiedene Pfade gelenkt werden. Um zu garantieren, dass alle Pakete den gleichen Weg nehmen, muss man die Routingtabellen entsprechend anpassen; diese Bereitstellung von Ressourcen ist eine Verbindung. Man bezeichnet sie als virtuelle Verbindung, weil keine physikalischen Leitungen durchgeschaltet werden. Wenn alle Datenpakete den gleichen Weg nehmen sollen, gibt es ein Verbindungsaufbaupaket, das die Zieladresse und Absenderadresse enthält. Auf seinem Weg zum Ziel baut es in den Datenpaketvermittlungsstellen entsprechende Einträge in den Routingtabellen auf. Dabei werden logische Kanalnummern (LCN) verwendet: kurze temporäre Adressen, die nur für die Dauer der Verbindung relevant sind. Das Prinzip der virtuellen Verbindung wurde in X.25 (also auch AX.25, dem Packetradio-Netz) verwendet. Dann war er veraltet, erlebte aber in der Internet-Technologie eine Renaissance. Denn der Vorteil ist, dass die Vermittlung aller Pakete außer des ersten sehr schnell geschehen kann, nämlich in Hardware realisiert.

Verbindungslose Paketvermittlung Jeder Netzteilnehmer benötigt zumindest für die Dauer der Verbindung eine netzweit eindeutige Adresse, etwa die IP-Adressen. Der Header jedes Datenpakets enthält nun diese vollständige Adresse, keine logische Kanalnummer o.ä. Eine sich dynamisch ändernde Routingtabelle gibt nun an, wohin Pakete mit bestimmten Zieladressen geschickt werden müssen. So muss in jedem Netzknoten aber die gesamte Adresse ausgewertet werden, was das Routing gegenüber verbindungsorientierter Kommunikation verlangsamt. Die Prinzipien zur dynamischen Anpassung der Routingtabellen sind Sache der Routingprotokolle und werden hier nicht behandelt. Die Routingtabellen sind einigermaßen stabil, d.h. nicht jedes Paket nimmt einen anderen Weg. Verbindungslos übermittelte Datenpakete heißen Datagramme, die verbindungslose Kommunikation heißt deshalb auch Datagrammkommunikation.

2.2.4 Zusammenfassung und Diskussion

Durchschaltevermittlung ist hervorragend für kontinuierliche Bitströme geeignet. Das ist jedoch kein typisches Einsatzprofil für Datenkommunikation. Hier ist die Paketvermittlung wesentlich besser geeignet. Sie besitzt verschiedene Ausprägungen, etwa ATM mit den sehr kurzen 53-Byte-Paketen.

Die Durchschaltevermittlung ist eine interessante Technik für Dienste mit hohen Anforderungen an die Zeittransparenz¹ wie etwa Sprach- und Videoübertragung. Die Durchschaltevermittlung gilt technisch eher als Auslaufmodell, wird jedoch aufgrund der getätigten Investitionen noch etliche Zeit in Betrieb bleiben.

Paketvermittlung weist eine schlechte bis sehr schlechte Zeittransparenz auf. Somit ist etwa Voice-over-TCP/IP technisch schwierig: entweder darf das Netz nur gering ausgelastet sein oder Sprachpakete müssen bevorzugt behandelt werden. Dazu müssten Prioritäten eingeführt werden, was zur Zeit in der Diskussion ist.

ATM (asynchronous transfer mode) wird beispielsweise bei Internet-Backbones eingesetzt. Jedoch wird ATM ebenfalls als Auslaufmodell betrachtet, um TCP/IP als einheitliches Transportprotokoll einzusetzen, trotz seiner Nachteile in einigen Einsatzbereichen.

Bei verbindungsorientierter Paketvermittlung kann wie bei der Durchschaltevermittlung eine mittlere Bitrate bestimmt werden, die in sog. Datendurchsatzklassen garantiert wird.

Grundideen der virtuellen Verbindung (aus X.25) werden heute im Internet implementiert, um etwa Voice-over-TCP/IP realisieren zu können (sog. »digital backswitching« o.ä.).

Die Fehlererkennung bei IP muss in den DEE (Dateneneinrichtungen) erfolgen. Das ist heute eigentlich kein Problem mehr, da die DEEs deutlich leistungsfähiger geworden sind und die Fehlerraten hardwaremäßig heute wesentlich geringer sind.²

¹Garantierte Datenübertragungsraten und damit berechenbare Übertragungsdauer.

²Diesen Stoff inkl. den im Skript genannten Dingen für die Klausur wissen.

2.3 Netztopologien

Das was an Netzen am meisten Geld kostet, ist das Verlegen der Kabel. Deshalb ist man bestrebt, Netztopologien zu entwickeln, die mit wenig Kabelstrecken auskommen.

Aus einer Sternstruktur kann durch andere Schalttechnik ein Ring gemacht werden, während Busstruktur nicht derart flexibel ist. Die Verkabelungsstruktur geht heute Richtung Sterntopologie, die logische Struktur kann davon abweichen.

2.4 Client-Server-Paradigma

Ein Server wird nicht von sich aus aktiv, nimmt nie von sich aus Kontakt zu einem Client auf: der Diener (»Server«) wartet auf Aufträge.

Eine Serveranwendung:

- Man unterscheidet grundsätzlich zwei Typen von Servern:
 - iterativer Server
 - Concurrent Server: er erzeugt pro Auftrag einen Thread, um so mehrere Clients parallel bedienen zu können.
- wartet nach der Aktivierung darauf, von einem Client kontaktiert zu werden.

Eine Clientanwendung:

- ist ein Anwendungsprogramm, das i.A. vom Benutzer für eine Sitzung aktiviert wird und u.U. mehrere Zwecker erfüllen kann. Zum Beispiel ein Browser.
- läuft auf einem lokalen PC (Host) eines Benutzers ohne besondere Ansprüche an Hardware und Betriebssystem.

Das Client-Server-Konzept ist zunächst einmal ein Softwarekonzept. Es wird auch dazu verwendet, in Netze eine für Anwender akzeptable Struktur hineinzubringen. Man kann Server verwenden, um günstigere Lösungen zu finden: teure Dinge werden nur einmal zur Verfügung gestellt und von vielen über das Netz genutzt.

2.5 Funktionale Schichten im Netz

Schicht 7 (Anwendung)

Schicht 6 (Darstellung)

Schicht 5 (Sitzung) Dazu gehört etwa die Vereinbarung, dass die Sitzung verschlüsselt sein soll o.ä.

Schicht 4 (Transport) bildet die Schnittstelle zwischen Anwendung (Schichten 5-7) und Netz (Schichten 1-3).

Schicht 3 (Vermittlung) Beinhaltet auch Fragmentierung und Defragmentierung, wie es etwa von IP V.4 zur Verfügung gestellt wird.

Schicht 2 (Sicherung) Abschnittsweise Sicherung von Daten während des Transports, wichtig etwa für Funkverbindungen.

Schicht 1 (Bitübertragung)

Für LANs wird ein erweitertes OSI-Schichtenmodell verwendet. Jede Schicht im OSI-Schichtenmodell bietet ihrer darüberliegenden Schicht ein Bündel von Diensten mit einer Schnittstelle (service access point) an, d.h. man kann dieses Modell mit dem Client/Server-Paradigma strukturieren. Es müssen nicht immer alle Schichten vorhanden sein.

Das Internetmodell ist einfacher als das OSI-Schichtenmodell und hat sich in der Implementierung durchgesetzt. Die vom OSI-Schichtenmodell eingeführten Begriffe nutzt man allerdings in der fachlichen Kommunikation zum Thema Rechnernetze (etwa »Schicht-7-Dienst«). Geschichtete Protokolle sind theoretisch gesehen gekoppelte endliche Automaten.

3 Problemstellungen

4 Historie der Rechnernetze: Internet und DFN

5 Standardisierung

5.1 Warum Standardisierung

5.2 Internationale Organisationen

5.3 Europäische Organisationen

5.4 Nationale Organisationen

5.5 Standardisierung für das Internet

6 Literatur

Teil II

Digitale Übertragungstechnik

7 Einführung in die Informationstheorie

7.1 Kenngrößen für Übertragungskanäle

7.2 Grundbegriffe der Informationstheorie

Redundanz ist zum einen der unnötige Teil einer Nachricht, zum anderen besteht bei Übertragung von reiner Information jedoch keine Möglichkeit mehr, Übertragungsfehler zu erkennen. Deshalb wird vor der Übertragung zuerst Redundanz entfernt (wie etwa die unregelmäßig auftretende Redundanz der deutschen Sprache) und danach wieder »nützliche Redundanz« hinzugefügt, die zur Erkennung und Behebung von Übertragungsfehlern dient.

Moderne Kompressionsverfahren nutzen neben der Entropiekodierung (bei der Redundanz entfernt wird) die Entfernung von Irrelevanz (das sind für den Menschen nicht wahrnehmbare Informationen wie etwa Töne über 20kHz oder Bewegtbilder über 24 Frames/sek). Weiterhin kann man auch Koordinatentransformation nutzen: man stellt Information in geeigneteren Koordinatensystemen dar, etwa in gedrehten und verschobenen Systemen. Alle Verfahren zusammengenommen werden als Quellkodierung bezeichnet.

Hochauflösendes Fernsehen: Es hätte doppelt so viele Punkte wie herkömmliches Fernsehen. Ohne Kompression wären hier 2 GBit/s als Bitrate nötig. Auf Kabelnetzen sind bisher 155 MBit/s machbar. Durch Kompression ist hochauflösendes Fernsehen problemlos auf Kabelnetzen übertragbar, ohne wesentliche Qualitätseinbußen.

Bildfernsprecher über ISDN ist ebenfalls möglich, jedoch sind 64 kBit/s zu wenig, um hier nur durch Entfernen von Redundanz und Irrelevanz auszukommen. Man entfernt hier auch Information.

Wichtige Formel in Rechnungen mit Größen der Informationstheorie:

$$\log_2 x = \frac{\log_{10} x}{\log_{10} 2} \approx \frac{\log_{10} x}{0,301} \approx 3,322 \cdot \log_{10} x$$

Informationsgehalt eines Zeichens

Entropie der Quelle Der Informationsgehalt jedes Zeichens geht mit der Wahrscheinlichkeit dieses Zeichens in diese Größe ein:

$$H(X) = E(H(x_i)) = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (1)$$

So ergibt sich der »mittlere Informationsgehalt eines Zeichens« als Größe zur Charakterisierung der Quelle³. Die Entropie der Quelle heißt darum auch »mittlerer Informationsgehalt der Quelle«. Eine Möglichkeit, dafür errechnete Werte zu prüfen:

$$H(X) \stackrel{!}{\leq} H_0 = \log_2 N$$

In Rechnernetzen will man die Entropie der Quellen minimieren, d.h. den Zahlenwert $H(X)$ maximieren, um möglichst wenig Redundanz zu transportieren. Kryptologen dagegen wollen die Entropie der Quellen maximieren, um jeden statistischen Ansatz zu verhindern. Statistische Ansätze nämlich sind immer Ansätze, die Verschlüsselung zu knacken.

Markovsche Entropie der Quelle Wenn Zeichen in Zeichenfolgen voneinander statistische abhängig sind, liegt keine unabhängige Quelle vor. Dann muss die »Markovsche Entropie der Quelle« statt der »Entropie der Quelle« verwendet werden. Es gilt stets:

$$H_M(X) \leq H(X)$$

Entscheidungsgehalt der Quelle Der Maximalwert der Entropie der Quelle ist der Entscheidungsgehalt der Quelle H_0 . Er gibt an, wieviele Binärentscheidungen mit einem Zeichen der Quelle ausdrückbar sind. Er ergibt sich aus Gleichung 1 für die Gleichverteilung, d.h. wenn alle N Zeichen der Quelle mit gleicher Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{N}$ auftreten:

$$H_0 = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \cdot \log_2 \frac{1}{\frac{1}{N}} = N \cdot \frac{1}{N} \cdot \log_2 N = \log_2 N$$

Redundanz Die Redundanz einer Quelle $R = H_0 - H(X)$ gibt an, wieviel vom Entscheidungsgehalt der Quelle H_0 ungenutzt ist. Das entspricht der Menge überflüssiger Information eines Codes mit $\bar{l} = H_0$ gegenüber einem Code mit $\bar{l} = H(X)$ (Optimalkode), d.h. der Koderedundanz eines Codes mit $\bar{l} = H_0$.

relative Redundanz Der relative Anteil der Redundanz am Entscheidungsgehalt der Quelle heißt die relative Redundanz r :

$$r := \frac{R}{H_0} = 1 - \frac{H(X)}{H_0}$$

Markovsche Redundanz Markov war ein bekannter russischer Mathematiker, der hauptsächlich auf dem Gebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung arbeitete. Er definierte ein Redundanz, die das Auftreten von Bigrammen (bedingte Wahrscheinlichkeiten) berücksichtigte.

Koderedundanz Die Koderedundanz $R_C = \bar{l} - H(X)$ gibt an, wieviel vom »Entscheidungsgehalt des Codes« \bar{l} ungenutzt ist, d.h. wieviel überflüssige Information der Kode enthält. Optimalkodes enthalten keine Koderedundanz, denn für sie gilt $\bar{l} \approx H(X)$.

Mittlere Kodewortlänge $\bar{l} = \sum_{i=1}^N p_i \cdot l_i$, $[\bar{l}] = \text{bit}$. Interpretierbar als die Anzahl der Binärentscheidungen, die im Mittel mit einem Zeichen ausdrückbar sind, sozusagen der »Entscheidungsgehalt des Codes«.

³Gleichung 1 gilt nur für unabhängige Quelle. Bestehen dagegen Abhängigkeiten in Zeichenfolgen, so ist die Markovsche Entropie der Quelle zu verwenden.

Informationsfluss Bei unabhängigen Quellen mit der Entropie der Quelle $H(X)$:

$$I := \frac{H(X)}{\tau} = v_s \cdot H(X) \quad (2)$$

Bei abhängigen Quellen mit der Markovschen Entropie der Quelle $H_M(X)$:

$$I := \frac{H_M(X)}{\tau} = v_s \cdot H_M(X)$$

Die Einheit ist jeweils $[I] = 1\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$. Der Informationsfluss gibt die pro Sekunde übermittelte »reine« (redundanzlose) Information an⁴; die Schrittgeschwindigkeit dagegen gibt die pro Sekunde übermittelten (redundanzbehafteten) Zeichen an und die Bitrate die pro Sekunde übermittelten (redundanzbehafteten) Bits. Die Kanalkapazität C ist der theoretische Maximalwert des Informationsflusses. Also kann man über den Informationsfluss ermitteln, wie gut C bzw. v ausgenutzt wird.

mittlere Sendezeit eines Zeichens

$$\tau = \sum_{i=1}^N \tau_i p_i \quad (3)$$

Die Übertragungszeit eines Bits ist $\frac{1}{v}$, also $\tau_i = \frac{1}{v} \cdot l_i$. Damit wird:

$$\tau = \sum_{i=1}^N \frac{1}{v} l_i p_i = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^N l_i p_i = \frac{1}{v} \bar{l} = \frac{\bar{l}}{v} \quad (4)$$

\bar{l} beeinflusst τ und macht es damit verwendeten Kode abhängig.

Schrittgeschwindigkeit

$$v_s = \frac{1}{\tau}$$

$$[v_s] = \text{s}^{-1} = \text{Baud}$$

v_s gibt die mittlere Anzahl der Zeichen pro Sekunde an. Wie τ ist v_s vom verwendeten Kode abhängig. Baud (»b'ohht«) ist eine Pseudoeinheit, die für s^{-1} und nicht für $\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$ steht, wie oft gesehen. Nur wenn die Zeichen einzelne Bits sind, ist $v_s \cdot \text{bit} = v$. In diesem Spezialfall ist dann auch τ gleich der Sendezeit eines Bits.

Bitrate Auch genannt Signalisierungsrate (»signalling rate«). Formelzeichen: v . $[v] = 1\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$. Bei ungestörter Übertragung ist $C = v_{max}$. Durch Störfaktoren sinkt C ; bei gestörter Übertragung ist also $C < v_{max}$.

7.3 Kanalkapazität, Nachrichtenquader und Multiplextechniken

Kanalkapazität

Die Kanalkapazität C der maximale Informationsfluss, der fehlerfrei über einen gestörten Kanal übertragen werden kann. Damit der Informationsfluss maximal wird, muss der verwendete Kode natürlich auch redundanzfrei sein! Aufgrund der Störungen muss $v > C$ sein, um C voll auszunutzen. Definition:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \cdot \text{bit}$$

B Bandbreite. Je größer die Bandbreite, desto mehr Information kann übertragen werden.

P_S Signalleistung. Sie ist statistisch unabhängig von P_N , d.h. nicht damit korreliert.

P_N Rauschleistung, von engl. »noise«.

⁴Deshalb ist $[I] \neq \text{Zeichen} \cdot \text{s}^{-1}$, denn Zeichen enthalten ja immer auch Redundanz!

Für praktisch verwertbare Systeme muss sein $P_S \gg P_N$. Deshalb können folgende Näherungsformeln angegeben werden:

$$\begin{aligned} C &\approx \frac{B}{3} \cdot 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \cdot \text{bit} \\ &\approx \frac{1}{3} \cdot B \cdot 10 \cdot \lg \frac{P_S}{P_N} \cdot \text{bit} = \frac{1}{3} \cdot B \cdot a_N \cdot \text{bit} \end{aligned}$$

Als sog. »zugeschnittene Größengleichung« (d.h. mit im Nenner angegebenen Einheiten) stellt man diese Formel von Shannon gerne so dar:

$$\frac{C}{\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}} \approx \frac{1}{3} \cdot \frac{B}{\text{Hz}} \cdot \frac{a_N}{\text{dB}}$$

Somit hängt die Kanalkapazität proportional von der Bandbreite B und dem Signal-Geräuschabstand a_N ab. Dies ist jedoch nur ein einfaches Modell. Mit solchen Modellen ist es jedoch möglich, Leitungskapazitäten zu planen, denn so sind theoretische Obergrenzen für die Übertragung errechenbar.

Nachrichtenquader

Aus der Shannon-Formel kann als Modellvorstellung der sog. »Nachrichtenquader« entwickelt werden: Im Nachrichtenquader entspricht die Fläche in der a_N/B -Ebene der Kanalkapazität.

Multiplextechniken

Wenn man die gesamte Kanalkapazität nicht alleine nutzen kann, gibt es vier Möglichkeiten, die Kapazität zu teilen:

Frequenzmultiplex (FDMA, frequency division multiplex access) Die Bandbreite wird in mehrere Kanäle unterteilt. Im Bereich der Telefonie bis in die 80er Jahre angewandt. Heute wieder verwendet bei optischen Systemen, sog. Wellenlängenmultiplex, außerdem auch bei GSM Mobilfunk. Frequenz-Multiplex wird durch Modulation und Demodulation realisiert.

Zeitmultiplex (TDMA, time division multiplex access) Die Pakettechnik ist genau genommen eine Sonderform des Zeitmultiplex. Allen Teilnehmern wird alternierend die volle Kanalkapazität für eine kurze Zeitspanne zugeteilt. Beim PCM-30 System gibt es 32 solcher sog. »Zeitschlitze«, in denen jeweils 8 bit übertragen werden, von denen jedoch nur 30 Nutzkanäle sind. ISDN etwa verwendet PCM-30 Zeitmultiplex: Alle $125\mu\text{s}$ werden 8 bit übertragen, wodurch sich 64kBit als Grund-Bitrate von ISDN ergeben.

SpreadSpectrum (CDMA, code division multiplex access) Auch der Signal-Rauschabstand kann unterteilt werden. Jedem Teilnehmer wird dabei die gesamte Zeit, das gesamte Frequenzband, aber nur eine kleine Leistung zugeteilt. Die Kommunikationspartner erkennen einander am Code, d.h. »jeder spricht eine andere Sprache«. Die Technologie ist recht aufwendig, weil die Leistung für alle Kanäle gleich sein muss. Angewandt lange Zeit im militärischen Bereich, in Zukunft wird es die wesentliche Technik im UMTS-Mobilfunk. Ein Grund, diese Technik auszuwählen, ist die softwarefreundliche Möglichkeit zur Implementierung. Denn die Signalverarbeitung findet heute hauptsächlich in Software statt, in speziellen Signalprozessoren, d.h. als »Softmodem« mit nur einem D/A-Wandler als Abschluss.

Raummultiplex (SDMA, space division multiplex access) Dies bedeutet, pro Kanal einfach eine Leitung zu legen. Angewendet hauptsächlich bei der Hausverkabelung.

8 Beschreibung von Signalen im Zeit- und Frequenzbereich

5

8.1 Fourier-Reihe

⁵Dieses Kapitel wurde in der Veranstaltung nicht so ausführlich besprochen wie in [1] dargestellt.

8.2 Bandbreitebedarf bei digitaler Übertragung

9 Leitungen

Die Bandbreite ist die Breite des Frequenzbereichs, der ohne nennenswerte Dämpfung übertragen werden kann (sog. Durchlassbereich):

$$B := f_{go} - f_{gu}$$

f_{go} obere Grenzfrequenz

f_{gu} untere Grenzfrequenz

f_{go} und f_{gu} sind die Frequenzen, bei denen die Signaldämpfung einen definierten Maximalwert erreicht. Bei Lichtwellenleitern ist dieser Wert durch die Halbierung der Signalleistung am Ende einer 1km langen Übertragungsstrecke definiert. Deshalb hat die Bandbreite bei Lichtwellenleitern die Einheit $[B] = \text{MHz} \cdot \text{km}$: das Produkt aus Leitungslänge und der Breite des verwendeten Frequenzbereichs darf maximal B sein. Beispiel: Bei Monomode-Glasfaserkabel ist typischerweise $B = 800\text{MHz} \cdot \text{km}$; ist die Leitung 1km lang, kann also mit einem 800MHz breiten Frequenzbereich gearbeitet werden; ist die Leitung 2km lang, kann nur noch mit einem 400MHz breiten Frequenzbereich gearbeitet werden.

10 Signalaufbereitung - Leitungskodes und Modulation

11 Betriebsarten

12 Kanalkodierung

Bezeichnungen beim zyklischen Hammingcode

C gesendetes Kodewort. Es ist das, was übertragen wird, bestehend aus X und R .

$C(u)$ als Polynom interpretiertes Kodewort

C' empfangenes Kodewort. Kann durch Übertragungsfehler vom gesendeten Kodewort C abweichen.

$C'(u)$ als Polynom interpretiertes empfangenes Kodewort

$F(u)$ Fehlerpolynom, das die Abweichung von $C'(u)$ zu $C(u)$ angibt

$G(u)$ Generatorpolynom

$Q(u)$ das ganzrationale Ergebnis der Polynomdivision $\frac{X(u) \cdot u^k}{G(u)}$

$Q'(u)$ das ganzrationale Ergebnis der Polynomdivision $\frac{Q'(u)}{G(u)}$

R Kontrollstellen

$R(u)$ als Polynom interpretierte Kontrollstellen. Bezeichnung mit R , weil $R(u)$ als Restpolynom bei der Polynomdivision $\frac{X(u) \cdot u^k}{G(u)}$ entsteht?

X Nachrichtenwort

$X(u)$ als Polynom interpretiertes Nachrichtenwort X

$Z(u)$ Fehlersyndrom. Restpolynom bei der Polynomdivision $\frac{C'(u)}{G(u)}$. Am Fehlersyndrom werden Übertragungsfehler erkannt.

Kodierung und Dekodierung beim zyklischen Hammingkode

1. Wähle ein Generatorpolynom vom Grad k .
2. Kodierung mit Hilfe der Polynomdivision

$$\frac{X(u) \cdot u^k}{G(u)} = Q(u) + \frac{R(u)}{G(u)} \text{ mod } 2 \quad (5)$$

3. Das vollständige Kodewort ist damit:

$$C(u) = X(u) \cdot u^k + R(u) \text{ mod } 2$$

4. Dekodierung:

$$\frac{C'(u)}{G(u)} = Q'(u) + \frac{Z(u)}{G(u)} \text{ mod } 2$$

- (a) Ohne Übertragungsfehler ist $Z(u) = 0$. Begründung: ohne Übertragungsfehler ist $C'(u) = C(u) = X(u) \cdot u^k + R(u) \text{ mod } 2$. Dieser Term ist aber ohne Rest durch $G(u)$ teilbar, wie aus Gleichung 5 folgt⁶:

$$\begin{aligned} \frac{X(u) \cdot u^k}{G(u)} &= Q(u) + \frac{R(u)}{G(u)} \text{ mod } 2 \\ \Leftrightarrow \frac{X(u) \cdot u^k}{G(u)} + \frac{R(u)}{G(u)} &= Q(u) + \frac{R(u)}{G(u)} - \frac{R(u)}{G(u)} \text{ mod } 2 \\ \Leftrightarrow \frac{X(u) \cdot u^k + R(u)}{G(u)} &= Q(u) \text{ mod } 2 \end{aligned}$$

- (b) Mit Übertragungsfehler ist $Z(u) \neq 0$ ⁷. Denn zufällig gewählte $C'(u)$ sind i.A. nicht Vielfache von $G(u)$, so dass ein Divisionsrest $Z(u)$ bleibt.

13 Literatur

Teil III

Systemarchitekturen für die offene Datenkommunikation

14 Funktionale Strukturierung von Systemen für die offene Datenkommunikation

15 Architekturprinzipien für offene Kommunikationssysteme

16 Literatur

⁶Man berücksichtige, dass Addition und Subtraktion in Z_2 stets zum selben Ergebnis führen, also austauschbar sind!

⁷Außer bei solchen Übertragungsfehlern, bei denen für das Fehlerpolynom gilt $F(u) = n \cdot G(u)$, $n \in \mathbb{N}$.

17 Anhang A: FTAM - Öffnen einer entfernten Datei

18 Anhang B: Grundprinzipien des IP-Routings

Teil IV

Übertragungssteuerung

19 Grundlagen

20 Asynchrone Übertragung

Vgl. hierzu auch die Aktualisierung des Skriptes durch [2]. Darin werden die Modulationsverfahren FSK, PSK, QAM, PAM genannt; sie sind beschrieben in [1, Teil 2, Kap. 4.2].

21 Synchrone Übertragung

22 Übertragung im Paketformat

23 Literatur

Teil V

Aufgabensammlung

24 Aufgabensammlung Typ »Klausuraufgaben Teil A«

Dieser Teil enthält alle Aufgaben aus Teil A (»mit Hilfsmittel«) der Klausuren [4], [5], [6] und einige selbst erfundene Aufgaben im gleichen Stil. Diese Aufgabensammlung ist noch nicht als alleinige Vorbereitung auf den Teil A der Klausur geeignet. Die Aufgabenreihenfolge ist ohne Bedeutung.

24.1 Optimalcode und maximaler Informationsfluss bei Farbinformationsübertragung

Aufgabe Quelle: [6, Teil A, Aufg. 1]. Eine Informationsquelle verfügt u.a. über 16 Farben x_i , die unabhängig voneinander auftreten. Die Auftrittswahrscheinlichkeiten für die Farben sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Farbe	$P(x_i) = p_i$
x_1	$\frac{1}{4}$
x_2, x_3	$\frac{1}{8}$
$x_4 \dots x_7$	$\frac{1}{16}$
$x_8 \dots x_{14}$	$\frac{1}{32}$
x_{15}, x_{16}	$\frac{1}{64}$

Die Farbinformation soll binär kodiert und mit einer Bitrate von $64kbit/s$ übertragen werden.

1. Welche Zeit τ_F braucht man im Mittel mindestens, um bei optimaler Kodierung die Information »Farbe x_i « ($i = 1 \dots 16$) zu übertragen?
2. Geben Sie für die Informationsquelle »Farbe« einen Optimalcode an. Prüfen Sie durch Berechnung der mittleren Kodewortlänge, ob ihr Ergebnis aus 1. zutrifft.
3. Welcher Informationsfluss wäre theoretisch maximal erreichbar, wenn für die Übertragung der Farbinformation ein Übertragungskanal mit $48kHz$ Bandbreite und $6dB$ Signal-/Geräuschabstand zur Verfügung stehen würde?

Lösung

1. Mittlerer Informationsgehalt eines Zeichens x_i (sog. »Entropie der Quelle«):

$$\begin{aligned}
 H(X) &= E[H(x_i)] = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} \\
 &= \sum_{i=1}^{16} p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i}
 \end{aligned}$$

Berechnung mit Hilfe der folgenden Tabelle:

Farbe	p_i	$\frac{1}{p_i}$	$\log_2 \frac{1}{p_i}$	$\sum_{i=1}^j p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i}$
x_1	$\frac{1}{4}$	4	2	$p_1 \cdot \log_2 \frac{1}{p_1} = \frac{1}{2} bit$
x_2, x_3	$\frac{1}{8}$	8	3	$\sum_{i=2}^3 p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = 2 \cdot \frac{3}{8} bit$
$x_4 \dots x_7$	$\frac{1}{16}$	16	4	$\sum_{i=4}^7 p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = 4 \cdot \frac{1}{4} bit$
$x_8 \dots x_{14}$	$\frac{1}{32}$	32	5	$\sum_{i=8}^{14} p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = 7 \cdot \frac{5}{32} bit$
x_{15}, x_{16}	$\frac{1}{64}$	64	6	$\sum_{i=15}^{16} p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = 2 \cdot \frac{3}{32} bit$

Damit ist:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{16} p_i \cdot \log_2 \frac{1}{p_i} = \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + 1 + \frac{35}{32} + \frac{3}{16} \right) bit = \frac{113}{32} bit = 3,53125bit \quad (6)$$

τ_F ist die mittlere Sendezeit eines Zeichens, d.i. die Zeit um den mittleren Informationsgehalt eines Zeichens von $3,53125bit$ zu übertragen.

$$H(X) = v \cdot \tau_F \Leftrightarrow \tau_F = \frac{H(X)}{v} = \frac{3,53125bit}{64000bit \cdot s^{-1}} = 5,518 \cdot 10^{-5} s$$

2. Kapitel 24.4 stellt das hier angewandte Verfahren zur Entwicklung eines Optimalcodes vor.

x_i	p_i	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
x_1	$\frac{1}{4}$	0	0				
x_2	$\frac{1}{8}$	0	1	0			
x_3	$\frac{1}{8}$	0	1	1			
x_4	$\frac{1}{16}$	1	0	0	0		
x_5	$\frac{1}{16}$	1	0	0	1		
x_6	$\frac{1}{16}$	1	0	1	0		
x_7	$\frac{1}{16}$	1	0	1	1		
x_8	$\frac{1}{32}$	1	1	0	0	0	
x_9	$\frac{1}{32}$	1	1	0	0	1	
x_{10}	$\frac{1}{32}$	1	1	0	1	0	
x_{11}	$\frac{1}{32}$	1	1	0	1	1	
x_{12}	$\frac{1}{32}$	1	1	1	0	0	
x_{13}	$\frac{1}{32}$	1	1	1	0	1	
x_{14}	$\frac{1}{32}$	1	1	1	1	0	
x_{15}	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	1	0
x_{16}	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	1	1

Die mittlere Kodewortlänge beträgt:

$$\begin{aligned} \bar{l}_F &= \sum_{i=1}^{16} p_i \cdot l_i \\ &= \frac{1}{4} \cdot 2bit + 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot 3bit + 4 \cdot \frac{1}{16} \cdot 4bit + 7 \cdot \frac{1}{32} \cdot 5bit + 2 \cdot \frac{1}{64} \cdot 6bit = 3,53125bit \end{aligned}$$

Die mittlere Kodewortlänge des Fano-Kodes entspricht genau dem mittleren Informationsgehalt eines Zeichens $H(X)$. Das bestätigt das Ergebnis für $H(X)$ aus Gleichung 6.

3. Nach Gleichung 2 ist der Informationsfluss:

$$I = \frac{H(X)}{\tau}$$

Die mittlere Sendezeit τ ist nach Gleichung 4 $\tau = \frac{\bar{l}}{v}$. Damit wird:

$$I = \frac{H(X) \cdot v}{\bar{l}}$$

Die Bitrate v gibt die pro Sekunde übertragenen Bits bei ungestörter Übertragung an und könnte beliebig gewählt werden. Jeder reale Kanal ist aber gestört: durch Dämpfung bandbreitenbegrenzt und durch ein Störsignal überlagert. Deshalb können pro Sekunde nur $C \approx \frac{1}{3} \cdot B \cdot a_N$ Bits fehlerfrei übertragen werden und v ist durch diese Größe zu ersetzen:

$$I \approx \frac{H(X) \cdot C}{\bar{l}} = \frac{H(X) \cdot B \cdot a_N}{3\bar{l}} = \frac{1}{3} \cdot B \cdot a_N = C$$

Bei redundanzlosem Kode wie hier ist $H(X) = \bar{l}$. Dann, und nur dann ist der maximale Informationsfluss gleich der Kanalkapazität:

$$I \approx \frac{H(X) \cdot B \cdot a_N}{3\bar{l}} = \frac{1}{3} \cdot B \cdot a_N = C$$

Und in Zahlen für diese Aufgabe:

$$I \approx C = \frac{1}{3} \cdot 48000s^{-1} \cdot 6dB = 96000bit \cdot s^{-1}$$

24.2 Schiebefensterprotokoll: Größen und Lage des Empfangsfensters

Aufgabe Quelle: [6, Teil A, Aufg. 3].

Lösung

1.

- Modulus $M = 8$
- Größe des Sendefensters: $W_S = M - 1 = 7$
- Größe des momentanen Sendefensters: $W_{Sm} = 4$
- Quittungszähler: $V_A(A) = 0$
- Sendefolgezähler: $V_A(S) = 3$

2.

- Das Empfangsfenster beinhaltet die vier Zahlen 7, 0, 1, 2.

3. Wir gehen davon aus, dass die Situation vor Empfang des Datenrahmens von B so war wie in den ersten beiden Teilen der Aufgabe beschrieben.

- Quittungszähler: $V_A(A) = N(R) = 2$
- Sendefolgezähler: $V_A(S) = 3$
- Lage des Sendefensters: Enthält die Empfangsfolgenummern 2, \dots , 7, 0. Einziges unquittiertes Paket ist 2.
- Empfangsfolgezähler: $V_A(R) = 7$
- Lage des Empfangsfensters: Enthält die Empfangsfolgenummern 7, 0, 1, 2. Der Datenrahmen mit $N(S) = 1$ wurde zwischengespeichert.

24.3 IP-Adressen: Netzklasse und Zahl adressierbarer Rechner

Aufgabe Quelle: [6, Teil A, Aufg. 4]. Ein ISP (*Internet Service Provider*) stellt zwei Kunden A und B jeweils ein Kontingent von IP-Adressen zur Verfügung. Die Kontingente sind jeweils durch eine IP-Adresse und eine Subnetzmaske definiert:

- Kunde A : IP-Adresse: 134.215.32.32, Subnetzmaske: 255.255.255.224
- Kunde B : IP-Adresse: 134.215.32.64, Subnetzmaske: 255.255.255.224

1. Welcher Klasse gehören die IP-Adressen an?

2. Geben Sie für jeden Kunden jeweils die niedrigste und höchste verfügbare Rechner-Adresse in dezimaler Notation an. Wieviele Rechner kann jeder Kunde adressieren?

Lösung

1. Beide IP-Adressen gehören zu einem Klasse-B-Netzwerk. Genauer: Es sind Netzwerkadressen von Subnetzen in Klasse-B-Netzwerken.

2. $224_{10} = 1110000_2$. Nur die letzten 5bit gehören also zur hostid. Die Adressen 00000 (»alle Rechner im bezeichneten Teilnetz⁸«) und 11111 (»alle Rechner im bezeichneten Netz«) sind reserviert, also bleiben $2^5 - 2 = 30$ Adressen für jeden Kunden, um Rechner zu adressieren. Davon sind die höchsten und niedrigsten jeweils:

- Kunde A : 134.215.32.33 bis 134.215.32.62
- Kunde B : 134.215.32.63 bis 134.215.32.94

⁸Sog. Berkeley-Broadcast. Eine durch BSD-Unix eingeführte, nicht im RFC standardisierte Broadcastadresse.

24.4 Entwicklung eines Fano-Codes

Dieses Verfahren ist nicht im Skript [1] beschrieben. Man notiert in einer Tabelle als gegebene Werte die Zeichen x_i und die Wahrscheinlichkeiten p_i , mit denen sie auftreten, jeweils in einer eigenen Spalte, sortiert nach fallenden p_i .

Man teilt die Tabelle dann rekursiv jeweils in zwei Bereiche, so dass die Summe der P_i in beiden Bereichen etwa gleich groß ist. Die erste Teilung teilt also in zwei Bereiche mit $\sum p_i = \frac{1}{2}$, die zweite Teilung teilt jeden dieser Bereiche in zwei Bereiche mit $\sum p_i = \frac{1}{4}$ usw. Dies geschieht so lange, bis jeder Bereich nur noch eine Zeile der Tabelle enthält. Jeder Bereich hat in den Kodewörtern die Entsprechung, dass ein Bit für diesen Bereich konstant ist und in den anderen Bereichen entweder nicht auftritt oder den gegenteiligen Wert hat.

Beispiel:

x_i	p_i	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
x_1	$\frac{1}{4}$	0	0				
x_2	$\frac{1}{4}$	0	1				
x_3	$\frac{1}{8}$	1	0	0			
x_4	$\frac{1}{8}$	1	0	1			
x_5	$\frac{1}{8}$	1	1	0			
x_6	$\frac{1}{16}$	1	1	1	0		
x_7	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	0	0
x_8	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	1	1
x_9	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	1	0
x_{10}	$\frac{1}{64}$	1	1	1	1	1	1

Ist die mittlere Wortlänge tatsächlich kürzer als bei Codes mit einheitlicher Länge?

- Ein Kode mit 10 Kodewörtern hat bei einem Kode mit 4 Bit fester Länge die mittlere Wortlänge $\bar{l}_4 = 4$ bit.
- Der Fano-Code im Beispiel hat die mittlere Wortlänge

$$\begin{aligned} \bar{l}_F &= \sum_{i=1}^{10} p_i \cdot l_i \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 2 + 3 \cdot \frac{1}{8} \cdot 3 + \frac{1}{16} \cdot 4 + 4 \cdot \frac{1}{64} \cdot 6 = 1 + \frac{9}{8} + \frac{1}{4} + \frac{3}{8} = \frac{22}{8} = \frac{11}{4} = 2,75 \text{bit} \end{aligned}$$

Damit ist der mittlere Kodieraufwand 1,25bit geringer als bei einem 4bit-Kode. Der mittlere Kodieraufwand ist gleich der Entropie der Quelle (hier ohne Beweis). Codes, die diesen minimalen Aufwand realisieren, sind sog. »Optimalcodes«, beispielsweise der Fano-Kode und der Huffman-Kode.

In diesem Kontext ist auch der Informationsgehalt der einzelnen Zeichen interpretierbar: er gibt die Menge der Bit an, mit der dieses Zeichen in einem Optimalcode kodiert werden muss.

Der Fano-Code benötigt im Gegensatz zum Morsecode keine Trennzeichen, denn kein Kodewort ist als Anfang eines anderen Kodewortes enthalten. Dies wird im Kodebaum deutlich: Kodeworte sind nur Blätter, nie Knoten. Verfolgt man eingehende Bits mit einem Kodezeiger im Kodebaum, so erkennt man ein Kodewort daran, dass der Folgezeiger NULL ist, d.h. dass man sich in einem Blatt befindet.

Der Huffman-Code entspricht von der Idee her dem Fano-Kode, jedoch wird der Kodebaum andersherum, d.h. »von unten nach oben« aufgebaut. Das ist algorithmisch geschickter, denn die Teilung in Bereiche ist beim Fano-Code nicht immer eindeutig.

Sowohl Huffman-Code als auch Fano-Code legen keinen eindeutigen Kode fest (gleich wahrscheinliche Kodewörter sind austauschbar). Beide sind jedoch gleich effizient bezogen auf die Kode-Redundanz.

24.5 Fano-Code der deutschen Sprache

Siehe [1, Digitale Übertragungstechnik, Rückseite]. Der Fano-Code erreicht hier nicht den theoretisch machbaren Wert, weil die angegebenen Wahrscheinlichkeiten nicht genau, sondern nur gerundet angegeben werden können.

24.6 Informationsfluss

Quelle: [3, InformationsTheorie, Aufg. INF2e]. Die Bitrate betrage $v = 9600 \text{bit/s}$. Wie groß ist der Informationsfluss I für 4bit-Kode und Fano-Kode?

$$\begin{aligned}\tau_4 &= \frac{4\text{bit} \cdot s}{9600\text{bit}} = 0,41\bar{6}ms \\ \tau_F &= \frac{2,75\text{bit} \cdot s}{9600\text{bit}} = 0,2864ms \\ I_4 &= \frac{H(x)}{\tau_4} = \frac{2,75\text{bit}}{0,41\bar{6}ms} = 6,6\text{kbit} \cdot s^{-1} \\ I_F &= \frac{H(x)}{\tau_F} = \frac{2,75\text{bit}}{0,2864ms} = 9,6\text{kbit} \cdot s^{-1}\end{aligned}$$

Bei einem 4bit-Kode überträgt man nur mit $6,6\text{kbit} \cdot s^{-1}$ Information, mit dem Rest, immerhin $\frac{1}{3}$ der Bitrate, Redundanz, d.h. überflüssige Daten.

24.7 Entscheidungsgehalt: Matrikelnummer zu einem Namen suchen

Aufgabe Quelle: [3, InformationsTheorie, Aufg. INF3]. In einer Datei seien die Namen von $N = 512$ Studierenden mit ihren Matrikelnummern abgelegt. Entwerfen Sie einen Suchalgorithmus, mit dem die Anfrage nach der Matrikelnummer eines Studenten mit möglichst wenigen Entscheidungsschritten beantwortet werden kann. Skizzieren Sie den Entscheidungsbaum und interpretieren Sie anhand des Ergebnisses den Begriff »Entscheidungsgehalt einer Quelle«.

Lösung Modell: eine unabhängige Informationsquelle mit $N = 512$ Zeichen, die alle gleich wahrscheinlich sind. Um ein Zeichen zu dekodieren (d.i. eine Matrikelnummer zu finden) benötigt man dann $H_0 = \log_2 512 = 9$ Entscheidungen.

24.8 Entscheidungsgehalt: Problem der 12 Kugeln

Aufgabe Quelle: [3, InformationsTheorie, Aufg. INF4]. Es sei eine Menge von 12 gleichaussehenden Kugeln gegeben. Genau eine von diesen Kugeln ist entweder leichter oder schwerer als die anderen Kugeln. Um dies festzustellen, steht eine Balkenwaage zur Verfügung, die eines der drei Ergebnisse »rechts schwerer«, »links schwerer« oder »gleich schwer« liefert.

1. Begründen Sie mit Mitteln der Informationstheorie, dass die gesuchte Kugel mit drei Wägungen gefunden werden kann. Mit diesen drei Wägungen soll auch entschieden werden, ob die betreffende Kugel schwerer oder leichter ist, als die anderen Kugeln.
2. Geben Sie ein Verfahren zur Ermittlung der gesuchten Kugel durch drei Wägungen an⁹.

Lösung

1. Aufgabenteil 1

- (a) Wieviel Binärentscheidungen (»Bits«) braucht man, um eine der zu unterscheidenden Situationen zu definieren? Vorgehen:
 - i. Bestimme die Gesamtzahl N der zu unterscheidenden Situationen. Jede Kugel könnte diejenige mit abweichendem Gewicht sein - das sind 12 Zustände. Außerdem soll unterschieden werden, ob die Kugel leichter oder schwerer ist - damit verdoppelt sich die Zahl der Zustände auf $N_K = 24$.
 - ii. Bestimme den Entscheidungsgehalt H_0 einer Quelle, die N Situationen unterscheiden kann.

$$H_{0_K} = \log_2(24) = 4,58\text{bit}$$

- (b) Wieviele Binärentscheidungen (»Bits«) liefert eine Untersuchung? Vorgehen parallel zu oben:
 - i. Bestimme die Gesamtzahl N der möglichen Ergebnisse einer Untersuchung. Hier ist $N_W = 3$, denn eine Wägung kann die Ergebnisse kleiner, größer oder gleich liefern.
 - ii. Bestimme den Entscheidungsgehalt H_0 einer Quelle, die N Ergebnisse unterscheiden kann.

$$H_{0_W} = 1,58\text{bit}$$

⁹Dieser Aufgabenteil würde in einer Klausur fehlen.

- (c) Wieviele Untersuchungen m sind nötig, um die gegebene Situation in der Menge der zu unterscheidenden Situationen zu erkennen? Eine Wägung reicht offensichtlich nicht aus, da ihr Entscheidungsgehalt H_{0w} unter H_{0k} liegt, womit die Situation definiert wurde.¹⁰

$$m = \left\lceil \frac{H_{0k}}{H_{0w}} + 1 \right\rceil = \left\lceil \frac{4,58bit}{1,58bit} + 1 \right\rceil = [2,899 + 1] = 3 \quad (7)$$

2. Aufgabenteil 2

25 Aufgabensammlung Typ »Klausuraufgaben Teil B«

Dieser Teil enthält alle Aufgaben aus Teil B (»ohne Hilfsmittel«) der Klausuren [4], [5], [6] und einige selbst erfundene Aufgaben im gleichen Stil. Diese Aufgabensammlung ist noch nicht als alleinige Vorbereitung auf den Teil B der Klausur geeignet. Durch die Frage- und Antwortform ist der bisher in dieser Aufgabensammlung enthaltene Stoff jedoch sehr gut zum Auswendiglernen für die Klausur aufbereitet.

25.1 Begriffe erläutern inkl. Beispiel

Aufgabe Quelle: [6, Teil B, Aufg. 1]. Erläutern Sie die folgenden Begriffe (charakteristische Eigenschaften, Aufgabe, ...) und geben Sie jeweils ein Beispiel an:

1. Verbindung, verbindungsorientierte Kommunikation
2. Multicast, Broadcast
3. Protokoll

Lösung

1. Verbindung. Eine (Nachrichten-)Verbindung ist der Kontext einer Kommunikation: sie bezeichnet für die Verbindungsdauer zur Verfügung gestellte Systemressourcen, die es mindestens zwei Endsystemen ermöglichen, Informationen auszutauschen. Die Ressourcen werden in einer Verbindungsaufbauphase belegt und in einer Verbindungsabbauphase wieder freigegeben. Eine dauerhafte Verbindung ist eine Festverbindung. Beispiel: Der Empfang von e-mails erfordert eine Verbindung; mit ihr sind Ressourcen wie Bandbreite, Speicherplatz, Zähler und andere Zustandsvariablen assoziiert.
Verbindungsorientierte Kommunikation. Paketvermittlung kann verbindungslos oder verbindungsorientiert sein, das entspricht einer verbindungslosen bzw. verbindungsorientierten Kommunikation. Verbindungsorientierte Kommunikation beginnt dabei mit dem Aufbau einer Verbindung durch ein Verbindungsaufbaupaket, das einen Leitweg festlegt, über den alle nachfolgenden Pakete übertragen werden. Die nachfolgenden Pakete enthalten daher nicht mehr die Adressinformation der Ziel-DEE. Beispiel für verbindungsorientierte Paketvermittlung: X.25 und das davon abgeleitete Packetradio-Protokoll der Amateurfunker AX.25 (»Amateur-X.25«).
2. Multicast, Broadcast. Zwei Beispiele für Verbindungstopologien, d.h. verschiedener Arten von Verbindungen in einem Kommunikationsnetz. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl der Sender und Empfänger und durch die Kommunikationsrichtung:
 - Multicast: Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation. Ein Sender sendet an $n < N$ Empfänger. Beispiel: Eine Nachricht wird an eine Gruppe von Rechnern verteilt, etwa bei der Aktualisierung von Börsenkursen.
 - Broadcast: entspricht Multicast für $n = N$. Ein Sender sendet an N Empfänger, d.i. an alle möglichen Empfänger im Netz. Beispiel: Rundfunk.
3. Protokoll. Legt die Kommunikationsregeln zwischen Rechnern fest. Es definiert:
 - Format und Reihenfolge der Nachrichten zwischen den Kommunikationspartnern.
 - Ablaufsteuerung: was hat ein Kommunikationspartner zu tun bei Ereignissen wie etwa Senden und Empfang von Nachrichten?

Beispiel: Das Internet-Protokoll IP; es wird als Protokoll der Netzwerkschicht in Internets verwendet.

¹⁰Die Symbolik mit Gaußklammer $[x + 1]$ in Gleichung 7 wählt immer die nächstgrößere ganze Zahl nach x . Denn es gibt ja nur ganze Bits ...

25.2 Statische Struktur des ISO Referenzmodells

Aufgabe Quelle: [6, Teil B, Aufg. 2a], identisch mit [5, Teil A, Aufg. 2a]. Erläutern Sie stichwortartig (evtl. mit Hilfe einer Skizze) die statische Struktur des ISO Referenzmodells für offene Systeme. Gehen Sie insbesondere auf die folgenden Begriffe ein:

- Schicht, Instanz, Partnerinstanzen
- Dienst, Dienstzugangspunkt (SAP)
- Schicht-N-Protokoll, Dienstprotokoll.

Lösung Die geeignete Skizze ist [1, Teil 3, S. 22]. Erläuterungen:

Schicht Entspricht der »Abstraktionsebene« der Softwaretechnik. Jede Schicht beinhaltet thematisch kohärente Funktionen. Diese bietet sie der über ihr liegenden Schicht als Server an und implementiert sie, indem sie als Client Dienste der unter ihr liegenden Schicht nutzt.

Instanz Die einzelnen Funktionsblöcke der Schichten heißen allgemein Instanzen. Instanzen können als Hardware- und / oder Softwarekomponenten implementiert sein.

Partnerinstanzen Instanzen derselben Schicht N in verschiedenen Systemen. Ein Schicht- N -Protokoll regelt ihre Kommunikation.

Dienst Eine andere Bezeichnung für eine Funktion in einer Schicht; sie wurde übernommen aus der Client-Server-Terminologie, schließlich ist jede Schicht ein Server für die über ihr liegende Schicht.

Dienstzugangspunkt Nur dort bieten die Instanzen eines Diensterbringers den Instanzen eines Dienstnutzers Dienste an. Dienstzugangspunkte und Instanzen sind durch ein Namenskonzept eindeutig gekennzeichnet: jeder N -Dienstzugangspunkt erhält eine N -Adresse, jede N -Instanz erhält einen N -Namen.

Schicht-N-Protokoll Definiert die Regeln, nach denen Systeme in ihrer Schicht N kommunizieren müssen.

Dienstprotokoll Ein Protokoll zur Kommunikation zwischen zwei vertikal benachbarten Instanzen, also Instanzen desselben Systems.

System Man unterscheidet:

Endsystem Beispiel: Rechner. Es enthält Anwendungsinstanzen.

Transitsystem Beispiel: Kommunikationsnetz. Es verbindet Endsysteme.

25.3 Begriffe in der dynamischen Struktur des ISO Referenzmodells

Aufgabe Quelle: [6, Teil B, Aufg. 2b], identisch mit [5, Teil B, Aufg. 2b] und z.T. enthalten in [4, Teil 2, Aufg.2b]. Erläutern Sie die zur Beschreibung der dynamischen Struktur des Referenzmodells üblicherweise verwendeten Begriffe:

- Protokolldateneinheit (PDU), Protokollsteuerinformation (PCI)
- Dienstprimitiv, Schnittstellensteuerinformation (ICI), Dienstdateneinheit (SDU).

Lösung

Protokolldateneinheit (PDU) Eine N -PDU enthält zu übertragende Daten aus Sicht der Schicht N und zusätzliche Steuerinformationen, um sie über ein N -Protokoll zu übertragen. Die Daten sind dabei ein $N + 1$ -PDU, die zusätzlichen Steuerinformationen ein N -PCI.

Protokollsteuerinformation (PCI) Bei der Kommunikation zwischen Partnerinstanzen der Schicht N zusätzlich zu den Nutzdaten verwendete Informationseinheit, die Steuerinformationen enthält, wie sie vom Schicht- N -Protokoll für eine ordnungsgemäße Kommunikation verlangt werden.

Dienstprimitiv Einheit zur Kommunikation mit N -SAPs. Besteht aus N -ICI und N -SDU.

Schnittstellensteuerinformation (ICI) Bei der Kommunikation mit N -SAPs zusätzlich zu den Nutzdaten verwendete Informationseinheit, die das Verhalten der aufgerufenen Schnittstellenfunktion steuert. N -ICIs dienen der Kommunikation mit Instanzen der Schicht N . Sie werden in Schicht N ausgewertet und dann entfernt.

Dienstdateneinheit (SDU) Daten werden an eine Schicht N in Form von N -SDUs übertragen. Eine N -SDU enthält i.A. eine $N + 1$ -PDU, wird mit einer N -ICI zu einem Dienstprimitiv ergänzt und dann an den N -SAP übergeben.

25.4 Vertikale Kommunikation im OSI-Referenzmodell

Aufgabe Quelle: [4, Teil B, Aufg. 2a]. Es soll das Prinzip der vertikalen Kommunikation zwischen zwei OSI-Schichten erläutert werden. Ergänzen Sie das unten stehende Bild, indem Sie die Begriffe (bzw. deren Abkürzung) Protokolldateneinheit (*PDU - Protocol Data Unit*), Protokollsteuerinformation (*PCI - Protocol Control Information*), Dienstprimitiv (*Service Primitives*), Dienstdateneinheit (*SDU - Service Data Unit*), Schnittstellensteuerinformation (*ICI - Interface Control Information*) und Dienstzugangspunkt (*SAP - Service Access Point*) an den richtigen Stellen eintragen.

Lösung Die Lösung (das beschriftete Bild) ist [1, Teil 3, Kap.2.2, Bild 2.2].

25.5 Aussagen ergänzen

Aufgabe Quelle: [6, Teil B, Aufg. 3]. Ergänzen Sie die folgenden Sätze: (Siehe unter »Lösung«; die Einfügungen sind hervorgehoben).

Lösung

1. Eine DÜE für analoge Netze heißt *Modem*.
2. Das Socket-API ist eine Schnittstelle zwischen *Anwendung* und *Transportschicht des Internet, also TCP oder UDP*.
3. Fehlerbehandlung und Flusskontrolle zwischen DEE und Netzknoten sind im OSI-Referenzmodell Funktionen der *Sicherungsschicht*.
4. Die vom IP-Protokoll bereitgestellten Kerndienste sind
 - *Aufteilen (fragmentation) und Zusammensetzen (reassembly) von IP-Datagrammen in Fragmente.*
 - *Wegelenkung (routing)*
 - *Melden von Fehlern (error reporting)*
5. Als Internet Draft bezeichnet man *die erste Publikation auf dem Weg zu einem Internet-Standard; es sind fachliche Diskussionsbeiträge und Entwürfe von max. 6 Monaten Gültigkeit.*

25.6 Kodierungsarten erläutern

Aufgabe Quelle: [5, Teil B, Aufg. 1]. Erläutern Sie die folgenden Begriffe (Aufgabe, Zweck, ...) und geben Sie jeweils ein Beispiel an:

1. Quellkodierung
2. Leitungskodierung
3. Kanalkodierung

Lösung Hier in ihrer realen Reihenfolge statt der der Aufgabenstellung:

Quellkodierung Quelle: [1, Teil 2, Kap. 1.2, S.8]. Quellkodierung bedeutet, unnütze Redundanz zu entfernen, um Übertragungsressourcen zu sparen. Beispiel: Umkodierung in einen Optimalcode wie den Fano-Kode komprimiert die anfallenden Daten.

Kanalkodierung Quelle: [1, Teil 2, Kap. 1.2, S.8], [1, Teil 2, Kap. 6]. Kanalkodierung hat die Aufgabe, der zu übertragenden Information nützliche Redundanz hinzuzufügen und diese zur Fehlererkennung und automatischen Fehlerkorrektur zu verwenden. Dazu werden fehlererkennende und fehlerkorrigierende Codes eingesetzt, z.B. der zyklische Hamming-Kode. Bei der Kodierung werden dabei durch eine Polynomdivision durch ein Generatorpolynom $G(u)$ an m Nachrichtenstellen je k Kontrollstellen angehängt. Bei der Dekodierung kann man durch Polynomdivision der gesamten Nachricht inkl. Kontrollstellen durch $G(u)$ erkennen, ob die Nachricht verfälscht wurde.

Leitungskodierung Quelle: [1, Teil 2, Kap. 4.1]. Aufbereitung der Digitalsignale zur Übertragung im Basisband. Im Gegensatz zu den Digitalsignalen sollte ein Leitungskode die folgenden Signaleigenschaften gewährleisten:

Gleichstromfreiheit. Das Signal hat keine Gleichspannungsanteile und auch möglichst wenige niederfrequente Anteile; niederfrequente Anteile haben nämlich Potentialimpulse längerer Dauer, was einem entsprechend langen Gleichspannungsanteil entspricht. Mit Gleichspannungsanteilen würde Gleichstrom fließen. Selbst wenn die positiven und negativen Potentialimpulse eines Signals sich nicht völlig ausgleichen, also Gleichspannung in eine Richtung überbleibt, fließt Gleichstrom.

Geringe Amplitudenverzerrung. Der Hauptanteil des Amplitudenspektrums soll bei möglichst niedrigen Frequenzen liegen. Ein Amplitudenspektrum erhält man, indem man einen Teil der Kommunikation als periodisches Signal betrachtet und eine Fourier-Analyse darauf anwendet. Sie zeigt, aus welchen Frequenzen mit jeweils welcher Amplitude man dieses Signal zusammensetzen könnte. Hochfrequente Anteile werden stärker gedämpft; enthält ein Signal viele hochfrequente Anteile, so ist die Amplitudenverzerrung durch die Dämpfung stärker.

Bitfolgeunabhängigkeit. Das Signal soll auch bei beliebig langen Nullfolgen genügend »Taktinformation« enthalten, um eine sichere Taktrückgewinnung zu ermöglichen.

Beispiel für einen Leitungskode: AMI (Alternate Mark Inversion). 0 wird als Null-Potential kodiert, 1 alternierend als High- und Low-Potential. Der Kode besitzt Return-To-Zero Format und Gleichstromfreiheit, aber keine Bitfolgeunabhängigkeit.

25.7 Wahr oder falsch?

Aufgabe Quelle: [5, Teil B, Aufg. 3], [4, Teil B, Aufg. 3]¹¹. Stimmt es, dass: (Aussagen wurden unter »Lösung« übernommen) Kreuzen Sie die nach Ihrer Ansicht richtige Antwort an.

Lösung

1. Verbindungsorientierte Kommunikation auch ohne Verbindungsaufbau auskommt? *nein*
2. IETF das verantwortliche Gremium für die Verabschiedung von Internetstandards (RFCs) ist? *ja*
3. 100 Baud in jedem Falle 100 bit/s entsprechen? *nein*
4. Die Entropie einer Informationsquelle ein Maß für den minimalen Kodierungsaufwand (minimale mittlere Kodewortlänge) für deren Zeichenvorrat ist? *ja*
5. Lichtwellenleiter mit Gradientenprofil (Gradientenindexfasern) eine geringere Bandbreite als Monomodefaser haben? *ja*
6. Die Primärverkabelung den gebäudeübergreifenden Bereich eines Netzes betrifft? *ja*
7. Die parallele Schnittstelle im PC eine größere Reichweite hat als die serielle Schnittstelle? *nein*

¹¹Jede dieser Aufgaben enthielt nur je 10 der 20 hier aufgenommenen Aussagen.

8. Das ARQ-Verfahren Selective Repeat im Empfänger einen größeren Speicherbedarf hat als Go-Back-N?
ja
9. Das Internet-Protokoll verbindungsorientiert arbeitet? *nein*
10. ICMP ein Protokoll der Anwendungsschicht im Internet ist? *nein*¹²
11. ITU-T ein Standardisierungsgremium für (vorzugsweise) Belange der Telekommunikation ist? *ja*; [1, Teil 1, Kap. 5.2]
12. Quellkodierung zum Zwecke der Fehlererkennung eingesetzt wird? *nein*
13. Kanalkapazität und Bitrate immer bedeutungsgleiche Begriffe sind? *nein*
14. einem 4B3T-kodiertem Signal von 90 kBaud eine Bitrate von 120 kbit/s entspricht? *ja*; [1, Teil 2, Kap. 4.1]
15. Lichtwellenleiter mit Gradientenprofil (Gradientenindexfasern) eine höhere Bandbreite als Monomodefasern haben? *nein*; [1, Teil 2, Kap. 3]
16. ARP und RARP Protokolle der Anwendungsschicht im Internet sind? *nein* ([1, Teil 3, Kap. 1.3.1]), sondern der *Netzwerkschicht* [1, Teil 3, Kap. 1.3.2]
17. ein Protokollstack ein Kellerspeicher für die programmtechnische Abarbeitung von Kommunikationsprotokollen ist? *nein*; [1, Teil 3, Kap. 1.2.1]
18. Dienstprimitive in OSI-Systemen dem Informationsaustausch zwischen benachbarten Instanzen desselben Systems dienen? *ja*; [1, Teil 3, Kap.2.2]
19. das Protokoll TCP verbindungsorientiert arbeitet? *ja*; [1, Teil 3, Kap. 1.3.1]
20. in einer Kollisionsdomäne eines CSMA/CD-LANs zu einem Zeitpunkt mehrere Sendeoperationen kollisionsfrei abgewickelt werden können? *nicht in* [1, Teil 2, Kap. 5]

25.8 Verbindungstopologien erläutern

Aufgabe Quelle: [4, Teil B, Aufg. 1]. Erläutern Sie die folgenden Verbindungsformen (evtl. mit Skizzen) und geben Sie jeweils ein Beispiel an: Unicast, Multicast, Broadcast, Concast, Multipeer.

Lösung Quelle: [1, Teil 1, Kap. 2.2.1]. Verbindungstopologien sind verschiedene Arten von Verbindungen in einem Kommunikationsnetz. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl der Sender und Empfänger und durch die Kommunikationsrichtung. Die Gesamtzahl der Kommunikationspartner in einem Kommunikationsnetz sei N .

Unicast: ($1 : 1$ -Kommunikation; Punkt-zu-Punkt-Kommunikation) Ein Sender sendet an genau 1 Empfänger.

Beispiel: e-mail von einem Sender an einen Empfänger.

Multicast: ($1 : n$ -Kommunikation; Punkt-zu-Mehrpunkt-Kommunikation) Ein Sender sendet an $1 < n < N$ Empfänger.

Beispiel: Eine Nachricht wird an eine Gruppe von Rechnern verteilt, etwa bei der Aktualisierung von Börsenkursen.

Broadcast: ($1 : N$ -Kommunikation) Ein Sender sendet an N Empfänger. Entspricht Multicast mit $n = N$.

Beispiel: Rundfunk.

Concast: ($m : 1$ -Kommunikation; Concentration) $1 < m < N$ Sender senden an genau 1 Empfänger.

Beispiel: Mehrere Rechner senden ihre Ergebnisse zur Weiterverarbeitung an einen zentralen Rechner.

Multipeer: ($m : n$ -Kommunikation; Mehrpunkt-Kommunikation) $1 < m < N$ Sender senden an $1 < n < N$ Empfänger.

Beispiel: Konferenzschaltungen für die Gruppenkommunikation.

¹²ICMP (Internet Control Message Protocol) ist ein Protokoll der Netzwerkschicht.

25.9 Das Internet Architecture Board

Aufgabe Quelle: [3, InternetGrdlg, Hausaufg. 1a]. Informieren Sie sich in einem Lehrbuch über das Internet oder mit Hilfe des WWW-Dienstes im Internet über: Das *Internet Architecture Board* (IAB) und seine untergeordneten Organisationen.

Lösung Quelle: Homepage des IAB <http://www.iab.org>. Das IAB ist ein Komitee der IETF mit den Aufgaben:

- die Positionen »IETF Chair« und »IESG Area Directors« entsprechend der Nomination durch das »IETF Nominating Committee« bestätigen
- die Architektur der IETF-Produkte (Protokolle, Verfahrensweisen) überwachen und ggf. kommentieren
- überwachen, dass der Prozess der Standardisierung im Internet ordnungsgemäß verläuft
- Beschwerden über Entscheidungen der IETF entgegennehmen und entscheiden
- Management der RFC-Veröffentlichungen als Herausgeber
- Management der IETF Protokollparameter-Registratur, die von der IETF IANA betrieben wird
- Interessenvertretung des IETF in anderen Standardisierungsorganisationen
- Beraterrolle gegenüber ISOC, wo sich Verwalter und Beamte des Internet treffen.
- die Position »IRTF Chair« der »Internet Research Task Force« im Zweijahresrhythmus neu besetzen

Literatur

- [1] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: »Rechnernetze«; Version vom 2002-06-02. Das offizielle Skript zur Veranstaltung »Rechnernetze« bei Prof. Dr. Wolfgang Schmitt, wie es auch in der Vorlesung präsentiert und durchgesprochen wird. Es wird in den Übungen Veranstaltung Rechnernetze verkauft. Es enthält Material aus anderen Dokumenten und ist deshalb nicht im Internet erhältlich noch darf es ins Internet gestellt werden.
- [2] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: Ergänzungsblätter V 1.0 zur Veranstaltung Rechnernetze. Ein zweiseitiges Dokument, das den Teil »Übertragungssteuerung« von [1] ergänzt. Quelle: <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/Rechnernetze/Hilfsblaetter.pdf>, referenziert auf der Homepage von Prof. Dr. W. Schmitt <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/AbrufSS03.html>.
- [3] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: »Übungen zu Rechnernetze«. Quelle: die 5 Übungsblätter und Lösungen zu 2 Übungsblättern sind referenziert auf der Homepage von Prof. Dr. W. Schmitt <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/AbrufSS03.html>. Hier gewählte Bezeichnungsweise der einzelnen Dokumente:

Datenuübertragung »Digitale Übertragungstechnik«

Fehlerbehandlung »Mechanismen für die gesicherte Datenübertragung (Data Link Control Protocols - DLCP)«

InformationsTheorie »Informationstheorie«

InternetGrdlg »Internet Grundlagen«

InternetGrdlg.Lsg »Internet Grundlagen - Lösungen«

InternetProtokoll »Internetprotokoll - IP«

InternetProtokoll.Lsg »Internetprotokoll - IP Lösungen«

- [4] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: Klausur in Rechnernetze Sommersemester 2000. Quelle: http://homepages.fh-giessen.de/~hg11474/dateien/fh/Rechnernetze/Rnetze_Klausur_SS00.doc, referenziert auf der Homepage von Martin Müller <http://homepages.fh-giessen.de/~hg11474/dateien/fh/Rechnernetze/>.

- [5] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: Klausur in Rechnernetze Sommersemester 2001. Quelle: <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/Rechnernetze/SS01.pdf>, referenziert auf der Homepage von Prof. Dr. W. Schmitt <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/AbrufSS03.html>.
- [6] Prof. Dr. Wolfgang Schmitt: Klausur in Rechnernetze Sommersemester 2002. Quelle: <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/Rechnernetze/SS02.pdf>, referenziert auf der Homepage von Prof. Dr. W. Schmitt <http://homepages.fh-giessen.de/~hg6421/AbrufSS03.html>.
- [7] Martin Müller: »Datenübertragung zwischen zwei Stationen«. Quelle: http://homepages.fh-giessen.de/~hg11474/dateien/fh/Rechnernetze/Datenuebertragung_zwischen_zwei_Stationen.pdf, referenziert auf der Homepage von Martin Müller <http://homepages.fh-giessen.de/~hg11474/dateien/fh/Rechnernetze/>.
- [8] Boris: »Inhaltsverzeichnis des Skriptes von Prof. Müller«; ein Inhaltsverzeichnis zum Skript zur Veranstaltung Rechnernetze bei Professor Bernd Müller. Quelle: http://www.rolfhub.de/de/study/rechnernetze/Inhaltsverzeichnis_RN-Script_Mueller.xls, referenziert auf der Homepage von Rolf H. Viehmann <http://www.rolfhub.de/de/study.ws0203.phtml>. Für die Veranstaltung bei Prof. Müller nicht zu gebrauchen, da die Skripte voneinander unabhängig sind.
- [9] Prof. Dr. Thomas Letschert: Skript zur Veranstaltung Rechnernetze. Quelle: Alle 12 Teile sind in HTML und Postscript referenziert auf <http://homepages.fh-giessen.de/~hg51/RN/Skript/>. Es ist nur eine Stichwortsammlung und somit höchstens eine Ergänzung zu [1].
- [10] D. E. Comer: »Computernetzwerke und Internets«; Pearson Education Deutschland GmbH; 2002. Ein sehr gutes Buch, um einen Überblick über Rechnernetze zu erhalten.
- [11] D. Conrads: »Datenkommunikation«; F. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden; 1996.
- [12] F. Halsall: »Data Communications, Computer Networks and Open Systems«; Addison Wesley.