

Kanäle, Codecs und Medien

Jörg Cassens

Medieninformatik

WS 2019/2020



1 Kanäle und Medien

Lernziele

- Klares Verständnis der grundlegenden Gesetzmäßigkeiten bei der Digitalisierung
- Welche Probleme gibt es bei der
 - Codierung
 - Kompressionvon Mediendaten?
- Einführung universeller Kompressionsverfahren

Charakterisierung medialer Angebote

1. Sehen
 - Kulturell weit entwickelt bis zum Lesen von Texten
 - Visuelle Erscheinung zentrales Element vieler Medienangebote
2. Hören
 - Eng mit Umweltwahrnehmung verbunden, wenig bewußt
3. Riechen
 - Sehr wenig bewußt, beeinflusst Stimmungen
4. Schmecken
 - Hoch spezialisiert, wenig zur Übermittlung von Informationen geeignet
5. Tasten
 - Verschiedene Untergruppen (Druck, Berührung, Temperatur)

Bei Computern in der Praxis derzeit zumeist 1 und 2, vereinzelt 5.

Multimedia

“**Multimedia** ist der Trend, die verschiedenen *Kommunikationskanäle* des Menschen mit den Mittel der Informationswissenschaft über alle *Quellen [Modalitäten]* zu integrieren und als Gesamtheit für die Kommunikation zu nutzen”

Peter Henning (2003)

Ebenen

Wir können Medien auf verschiedenen Ebenen unterscheiden:

- **Präsentation & Aufnahme**
 - Die “technische Seite”
 - Hilfsmittel zur Ein- und Ausgabe von Informationen
 - Mögliche Fragen:
 - * Welche Aufnahmegeräte werden gebraucht (Mikrofon)?
 - * Welche Wiedergabegeräte werden benutzt (Monitor)?
- **Codierung**
 - Die Repräsentation
 - Form, in der die Information beschrieben wird
 - Mögliche Frage:
 - * Werden Texte oder Graphiken benutzt?
- **Wahrnehmung & Produktion**
 - Die “menschliche Seite”
 - Der genutzte/angesprochene Sinneskanal
 - Mögliche Fragen:
 - * Wie wird die Information wahrgenommen (Augen, Ohren)?
 - * Wie wird die Information ausgedrückt (Sprache, Gestik)?

Ebenen: Beispiele

- **Präsentation & Aufnahme – Medial**
 - Radio: monomedial
 - TV: multimedial
 - Stummfilmkamera: multimedial
- **Codierung – Codal**
 - Nur Text, nur Graphik: monocodal
 - Gemischt: multicodal
- **Wahrnehmung & Produktion – Modal**
 - Nur die Augen ansprechend: monomodal
 - Augen und Ohren ansprechend: multimodal

Problem: Unterschiedliche Belegung in unterschiedlichen Kontexten und Fachgebieten

Video 5.1: Modality, Codality, Mediality



📺 Kiss machine – The Big Bang Theory (1:33)

2 Digitalisierung

2.1 Analog und Digital

Analog und Digital

Analoges Signal: Deterministische und *kontinuierliche* Änderung einer physikalischen Größe entsprechend eines Meßwertes der zu übertragenden Größe.

Digitales Signal: Annäherung an den Meßwert in einem *festen Raster* über die Zeit oder den Raum mittels eines *endlichen Vorrats* möglicher Repräsentationen.

Grundprinzip Digitalisierung

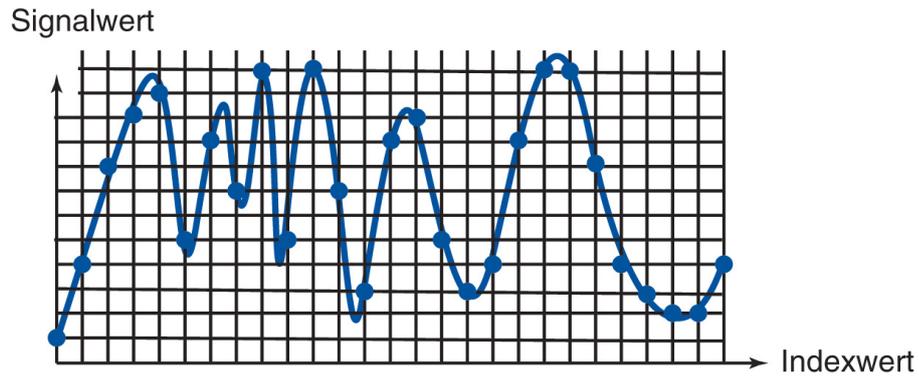


Abbildung 2.1: Grundprinzip der Digitalisierung

Signale und Störungen

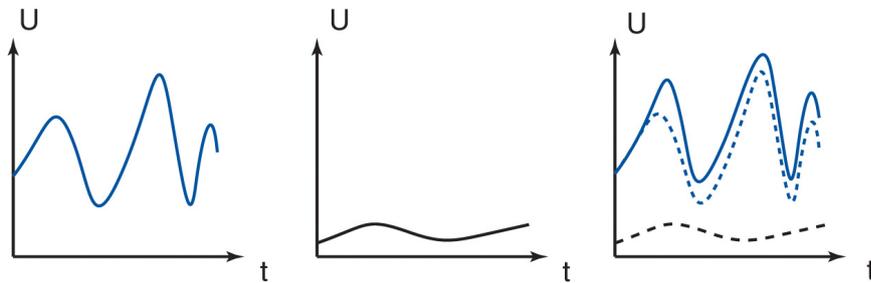


Abbildung 2.2: Analoges Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

Signale und Störungen

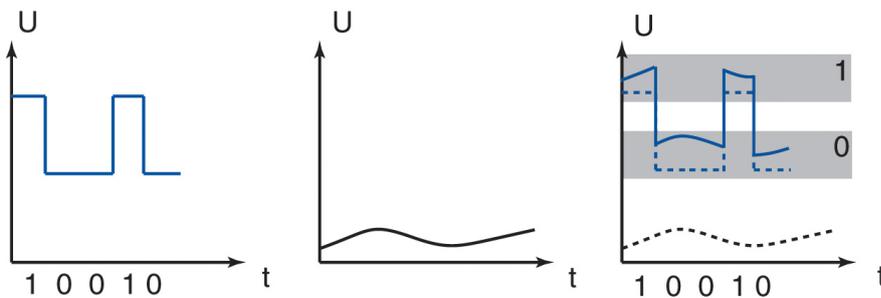


Abbildung 2.3: Digitales Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

Signale und Störungen

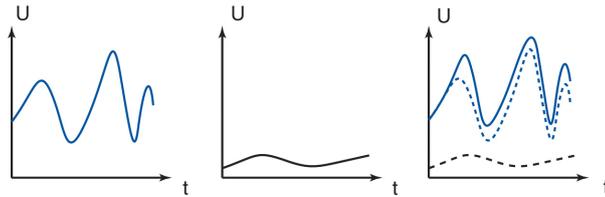


Abbildung 2.2: Analoges Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

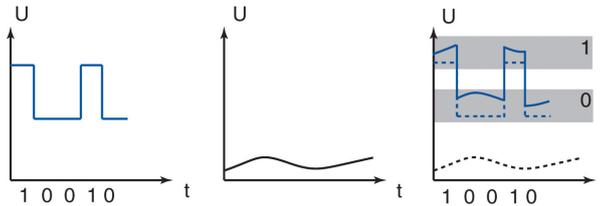


Abbildung 2.3: Digitales Signal und Störsignal: links Originalsignal, Mitte Störsignal, rechts resultierendes analoges Signal

2.2 Abtastung

Abtastung

- Jedes Signal, welches am Ende der Verarbeitungskette als mediales Angebot präsentiert wird, muß irgendwann in digitaler Form erscheinen
 - Synthese: das Ausgangsmaterial wird in digitaler Form hergestellt
 - Abtastung: ein analoges Signal wird in ein digitales umgewandelt
- Abtastung:
 - Wie häufig? → Sampling, Diskretisierung
 - Wie genau? → Quantisierung

Diskretisierung und und Quantisierung

Diskretisierung: Festes Raster von Meßpunkten gleichen Abstands auf der Achse oder den Achsen, auf der sich das analoge Signal verändert. Die Dichte wird als Abtastrate bezeichnet. Zu jedem Meßpunkt wird jeweils das Signal (Sample) bestimmt.

Quantisierung: Darstellung der ermittelten Meßwerte in einem festen Werteraster. Die Zahl der zur Verfügung stehenden Zahl der Bits wird auch als Auflösung der Digitalisierung bezeichnet.

Grundprinzip Digitalisierung

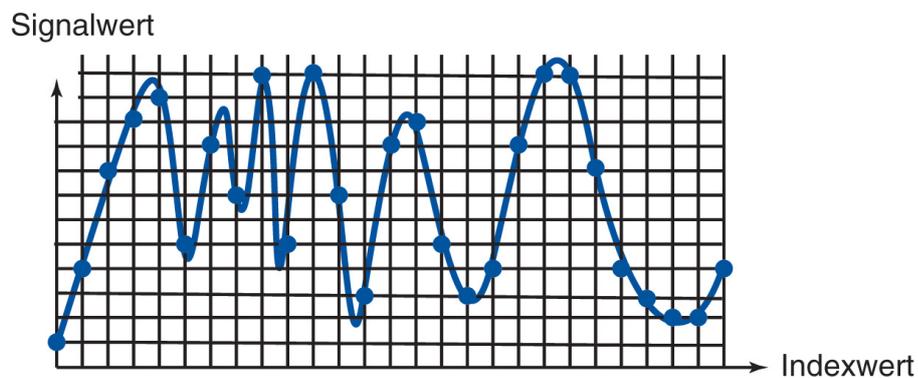


Abbildung 2.1: Grundprinzip der Digitalisierung

Man beachte die Abweichungen vom Originalsignal

Abtasttheorem I

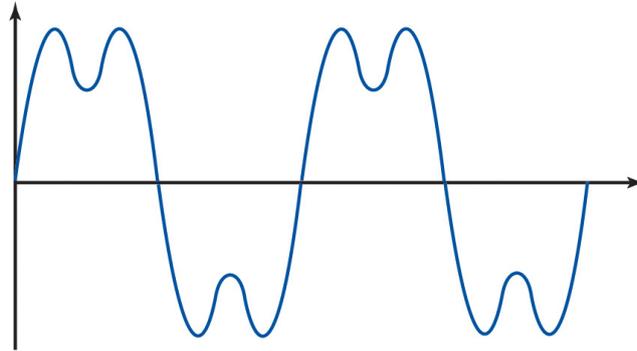


Abbildung 2.4: Ein periodisches Beispielsignal

Abtasttheorem II

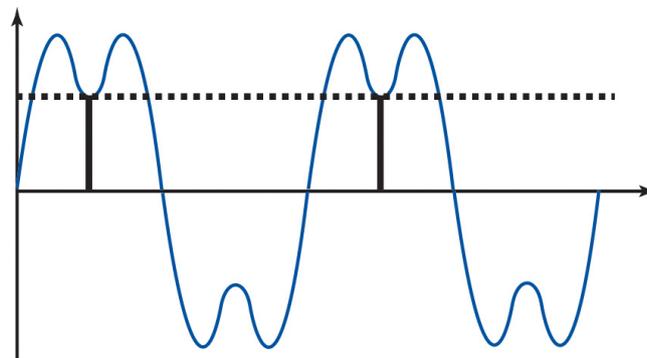


Abbildung 2.5: Abtastung mit zu niedriger Abtastrate I

Abtasttheorem III

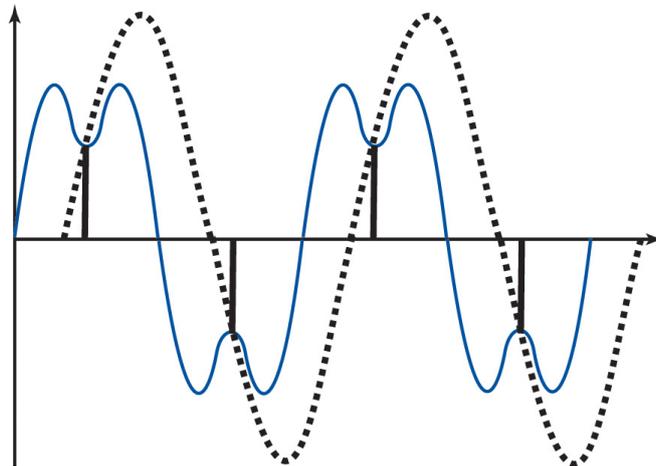


Abbildung 2.6: Abtastung mit zu niedriger Abtastrate II

Abtasttheorem IV

1. Ein reales Signal kann als Überlagerung verschiedener Grundsignale verschiedener Frequenzen aufgefaßt werden.
2. Für die Wahl der Abtastrate ist die Frequenz des im digitalen Signal enthaltenen Anteils mit der höchsten Frequenz entscheidend.

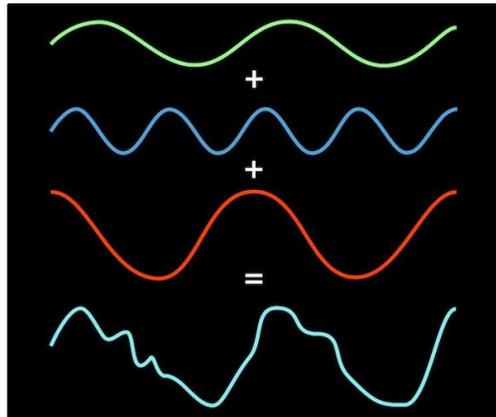
Abtasttheorem (Shannon, Nyquist, Whittaker, Kotelnikow): Wenn ein kontinuierliches Signal mit einer oberen Grenzfrequenz f_{max} mit einer Abtastrate von mehr als $2 * f_{max}$ abgetastet wird, kann man das Ursprungssignal ohne Informationsverlust aus dem abgetasteten Signal rekonstruieren.

Fourier-Transformation

- Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)
- Jede periodische Schwingung kann durch eine (unendliche) Summe von überlagerten Cosinus-Schwingungen angenähert werden
- Überlagerung harmonischer Schwingungen

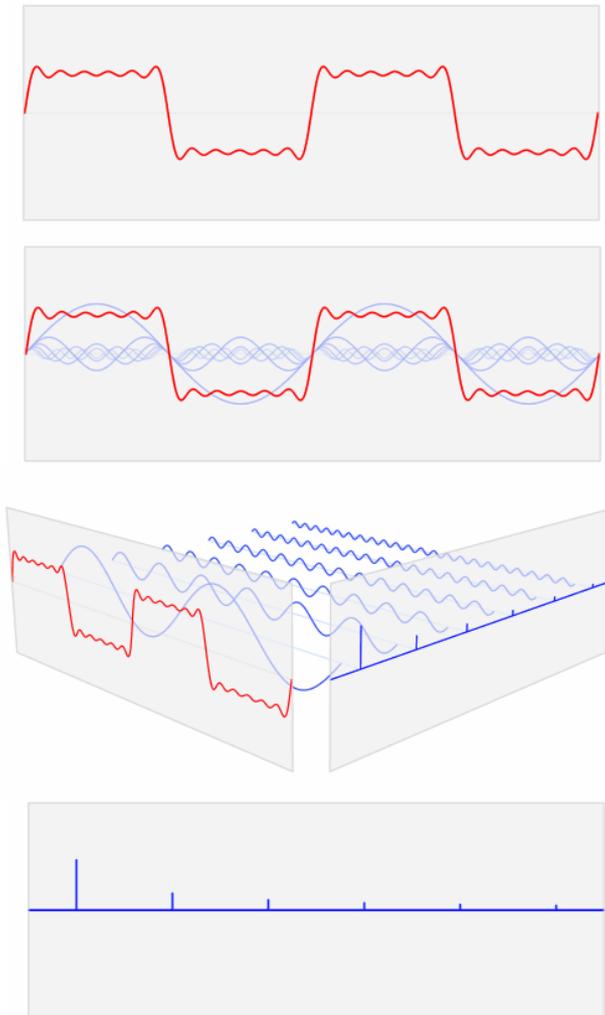
$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k * \cos(k\omega_0 t + \theta_k)$$

Beispiel



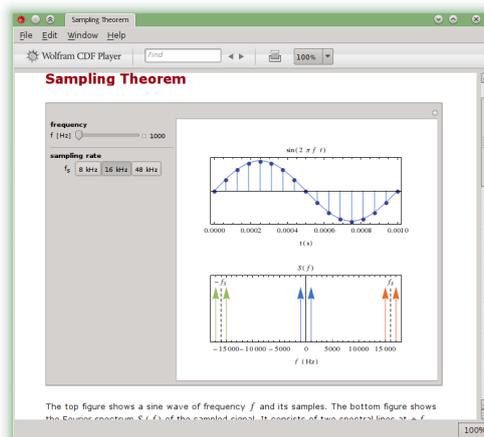
Christine Daniloff/MIT

Visualisierung



Lucas V. Barbosa

Abtasttheorem Revisited



demonstrations.wolfram.com/SamplingTheorem/

Annahmen

- Hohe Frequenzanteile enthalten häufig nur geringe Energie (Oberschwingungen bei Musikinstrumenten)
- Noch wichtiger: Begrenzung der menschlichen Sinne

- Daher: Bandbreitenbeschränkung, danach Abtastung mit dem doppelten der höchsten verbleibenden Frequenz
 - z.B.: Bandbreitenbeschränkung auf 5 bis 22000 Hz bei Audiosignalen auf einer CD

Aliasing

- Bei der Rekonstruktion können Signalanteile entstehen, die im Originalsignal nicht vorhanden waren
- Entsteht z.B. durch eine zu kleine Abtastrate
- Eine theoretisch mögliche vollständige Rekonstruktion kann durch Eigenschaften des Ausgabegerätes zu Aliasing-Effekten führen (Moiré-Effekt bei Graphik auf kleiner Auflösung)
- Abhilfe: Ausfiltern zu hoher Frequenzanteile (“Weichzeichner”)

2.3 Codierung

Information und Repräsentation I

- Information ist ein nichtstoffliches Phänomen, das durch die Interpretation bestimmter Zeichen oder Zeichenfolgen entsteht, die man die Repräsentation der betreffenden Information nennt.
- Beispiel Uhrzeit: Ziffernfolge eine Digitaluhr, analoge Uhr mit Zeigern, sprachliche Zeichen, Mengentheorie
- Informationstheorie nach Shannon analysiert Codierungen vor allem unter dem Aspekt des Auftretens eines bestimmten Zeichen eines Zeichenvorrats (stochastischer Ansatz)
- Grundlegend: Nachricht und Nachrichtenquelle.

Information und Repräsentation II

- Wir nehmen Texte als Beispiel
- Ein Bild oder Musikstück liegt aber ebenfalls als lange Folge von synthetisch erzeugten oder abgetasteten Zeichen vor
- Daher sind die folgenden Überlegungen für alle Medientypen relevant
- In der Informatik ist besonders die Repräsentation im Binärformat relevant, also als Abfolge von 0 und 1

Ausgangspunkt

Wir haben eine Codierung von Informationen in einem beliebigen Ausgangsformat und suchen eine möglichst effiziente Codierung im Binärformat

Definitionen

Zeichenvorrat: Endliche Menge von Zeichen.

Nachricht: Eine Nachricht im Zeichenvorrat A ist eine endliche Sequenz von Zeichen a aus A .

Codierung: Seien A und B Zeichenvorräte. Dann ist eine Codierung c von A in B eine Abbildung von Nachrichten aus A in Nachrichten aus B : $c(a) \rightarrow b, a \in A, b \in B$.

Im folgenden betrachten wir nur die Einzelzeichencodierung.

Nachrichtenquelle: Eine Nachrichtenquelle nach Shannon ist ein Zeichenvorrat A zusammen mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, die für jedes Zeichen $a \in A$ die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens angibt.

Wahrscheinlichkeit von $a \in A$ wird mit p_a bezeichnet, $0 \leq p_a \leq 1, \sum p_a = 1$

Beispiel Nachrichtenquelle I

Zeichen a	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125

Tabelle 2.1: Drei Beispiele für Nachrichtenquellen

- Unterschiedlicher Informationsgehalt der einzelnen Zeichen
 - Quelle 1: Nur A, bringt keine weiteren Informationen
 - Quelle 2: Jedes Zeichen bringt gleichen Informationsgehalt entsprechend der Auswahl eines Elements aus einer vierelementigen Menge
 - Quelle 3: A bringt weniger Informationen, es ist "weniger überraschend"
- Informationsgehalt beruht ausschließlich auf der Wahrscheinlichkeit des Auftretens, keine andere Verständnisebene notwendig

Beispiel Nachrichtenquelle II

- Wie kann man den Informationsgehalt messen?
- 1 Bit ist die Informationsmenge, die notwendig ist, um aus zwei Elementen eines auszuwählen (Entscheidungsgehalt)
 - 2 Bit = vier Elemente, 3 Bit = acht Elemente, ...

Zeichen a	A	B	C	D
Entscheidungsgehalt in Quelle 1 [Bit]	0	undefiniert	undefiniert	undefiniert
Entscheidungsgehalt in Quelle 2 [Bit]	2	2	2	2
Entscheidungsgehalt in Quelle 3 [Bit]	1	2	3	3

Tabelle 2.2: Beispiele für den Informationsgehalt von Zeichen

Auftrittswahrscheinlichkeit und Bit

- Gesucht: die Zahl, die zur Basis 2 angewendet die Zahl der Auswahlmöglichkeiten ergibt
- Zahl der Auswahlmöglichkeit Kehrwert der Wahrscheinlichkeit
- Umrechnung der Auftrittswahrscheinlichkeit in den Informationsgehalt in Bit:

$$x_a = \log_2 \left(\frac{1}{p_a} \right)$$

- Stochastische Betrachtung, also "krumme" Bitwerte möglich ($p = 0.3, 1.74$ Bit)

Entropie

- Entropie ist das "Maß der Unordnung"
- Quelle 2 ist chaotisch, alle Zeichen treten gleich häufig auf
- Quelle 3 gibt hingegen das A bevorzugt aus

Die **Entropie** einer Nachrichtenquelle ist der durchschnittliche Entscheidungsgehalt eines Zeichens der Nachrichtenquelle:

$$H = \sum_{a \in A} p_a * x_a = \sum_{a \in A} p_a * \log_2 \left(\frac{1}{p_a} \right)$$

Beispiel revisited

Zeichen a	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 1	1.0	0.0	0.0	0.0
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 2	0.25	0.25	0.25	0.25
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125

Tabelle 2.1: Drei Beispiele für Nachrichtenquellen

- Quelle 1: Entropie von 0
- Quelle 2: Entropie von 2
- Quelle 3: Entropie von 1,75

Wortlänge

Wortlänge: Die Menge der Wörter aus einem Zeichenvorrat A wird mit A^* bezeichnet. Für ein Wort $w \in A^*$ ist die Länge des Wortes die darin enthaltene Anzahl von Zeichen, bezeichnet mit $|w|$. Wenn eine Codierung c einem Zeichen $a \in A$ ein Wort $c(a) \in B^*$ zuweist, dann ist $|c(a)|$ die Wortlänge der Codierung von a .

- In einem Wort können Zeichen auch mehrfach auftreten

Wortlänge

- Wir sind in erster Linie an binären Codierungen interessiert
- Wenn wir wissen wollen, wieviel Platz die Codierung eines einzelnen Zeichens im Durchschnitt belegt, können alle möglichen Codierungen unter Einbeziehung der Auftrittswahrscheinlichkeit eines Zeichens betrachten

Die **durchschnittliche Wortlänge** L ist die nach Auftrittswahrscheinlichkeiten gewichtete Summe der Wortlängen aller Codierungen:

$$L = \sum_{a \in A} p_a * |c(a)|$$

Beispiel

Zeichen a	A	B	C	D
Codierung c_1	00	01	10	11
Codierung c_2	0	10	110	111

Tabelle 2.3: Zwei Beispiele für Codierungen

Beispiel: Codierung 1

Zeichen a	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Codierung c_1	00	01	10	11
Wortlänge	2	2	2	2
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 2 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 + 0.125 \cdot 2 = 2$				

Tabelle 2.4: Beispiel für eine redundante Codierung

- Die mittlere Wortlänge im Beispiel beträgt 2
- Die Entropie liegt wie vorher gesehen bei 1.75

Beispiel: Codierung 2

Zeichen a	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Codierung c_2	0	10	110	111
Wortlänge	1	2	3	3
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 3 + 0.125 \cdot 3 = 1.75$				

Tabelle 2.5: Beispiel für eine optimale Codierung

- Die mittlere Wortlänge im Beispiel beträgt 1.75
- Die Entropie liegt wie vorher gesehen bei 1.75

Redundanz

Redundanz: Die Redundanz R einer binären Codierung für eine Informationsquelle ist die Differenz der mittleren Wortlänge und der Entropie:

$$R = L - H$$

- Warum können L und H in einer Formel auftauchen?
- Wir können das machen, weil die Wortlänge bei Binärformaten die Größe in Bit angibt, dieser Wert also die gleiche Einheit hat wie die Entropie

Optimale Codierung

Zeichen a	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit p_a in Quelle 3	0.5	0.25	0.125	0.125
Codierung c_2	0	10	110	111
Wortlänge	1	2	3	3
Durchschnittliche Wortlänge $L = 0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.125 \cdot 3 + 0.125 \cdot 3 = 1.75$				

Tabelle 2.5: Beispiel für eine optimale Codierung

Eine **Codierung** einer Nachrichtenquelle heißt **optimal**, wenn die Redundanz der Codierung gleich Null ist.

3 Kompression

Klassifikation von Kompressionsverfahren I

Eine **Kompressionsverfahren**, das für alle Daten unabhängig von Ursprung und Bedeutung angewendet werden kann heißt **universell**. Verfahren, die nur auf Daten eines bestimmten Typs (Audio, Bild) anwendbar sind heißen **speziell**.

- Universell: zip, gzip, bzip2
- Speziell: z.B. Ausnutzen von Eigenschaften, wie die daß es in Photos häufig Flächen gleichen Farbtons gibt.

Klassifikation von Kompressionsverfahren II

Eine **Kompressionsverfahren** heißt **verlustbehaftet**, wenn bei der Kompression Informationen aus dem Original verloren gehen. Im Gegensatz stehen **verlustfreie** Methoden, die die vollständige und genaue Rekonstruktion des Originals ermöglichen.

	Universelle Verfahren	Spezielle Verfahren
Verlustfreie Verfahren	Beispiele: Huffman, LZW	Beispiele: PNG, AIFF
Verlustbehaftete Verfahren	(nicht sinnvoll)	Beispiele: JPEG, MP3

Tabelle 2.6: Klassifikation von Kompressionsverfahren

3.1 Stochastische Codierung

Huffman-Codierung I

- Universelle, verlustfreie Kompression
- Vertreter einer Gruppe von Verfahren, die auf Shannon's informationstheoretischen Überlegungen basiert
- Statistische oder stochastische Verfahren
- Ausgangspunkt: Shannonsche Informationsquelle mit einer Angabe von Auftrittswahrscheinlichkeiten
- Der Huffman Algorithmus konstruiert zu einer Nachrichtenquelle eine Codierung, die unter bestimmten Bedingungen optimal ist (wie beim Morse-Code: e=".", t="-", f="..-", q="--.-")

Huffman-Codierung II

- Problem: variable Codelänge
- Lösungsmöglichkeit
 - Trennzeichen
 - Aufbau (Morse Code: Pausen)
- Hier: Fano-Bedingung

Fano-Bedingung: Eine Codierung C eines Zeichenvorrats A in einen Zeichenvorrat B erfüllt die Fano-Bedingung, wenn für alle Zeichen x und y aus A gilt, daß das Wort $c(x)$ nicht Anfang des Wortes $c(y)$ ist, also keiner der verwendeten Codes Anfang eines anderen ist.

Codebaum

Zeichen a	A	B	C	D
Codierung c_1	00	01	10	11
Codierung c_2	0	10	110	111

Tabelle 2.3: Zwei Beispiele für Codierungen

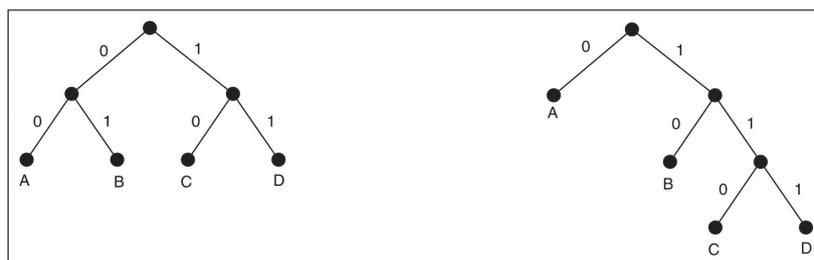


Abbildung 2.7: Codebäume für die Codierungen c_1 und c_2

Codebaum: Huffman

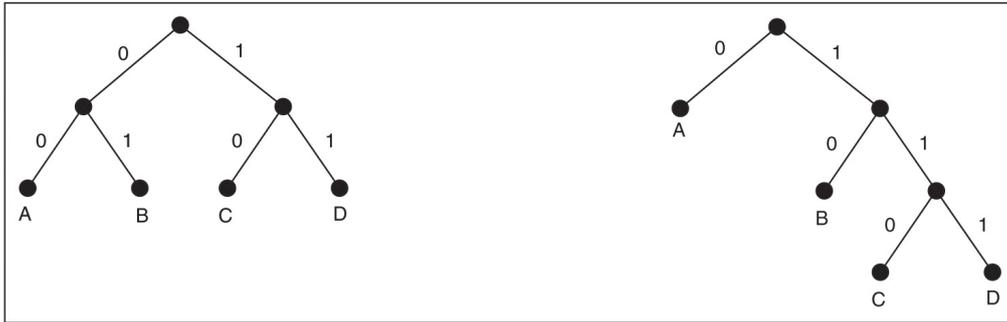


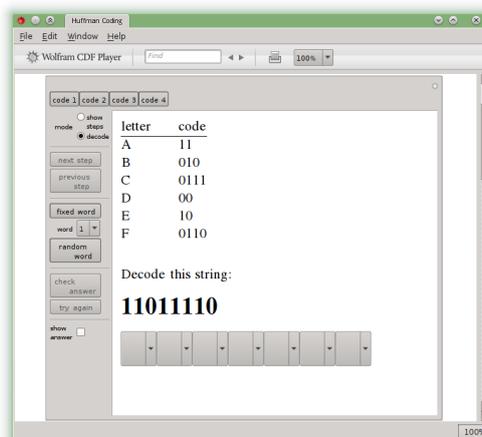
Abbildung 2.7: Codebäume für die Codierungen c_1 und c_2

- Grundidee Huffmans: bottom-up, Paare mit kleinsten Auftretswahrscheinlichkeiten als Startpunkt

Erster Durchlauf				
Zeichen	A	B	C	D
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.125	0.125
Zweiter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A	B		
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.25	0.25	
Dritter Durchlauf				
Zeichen/Baum	A			
Wahrscheinlichkeit	0.5	0.5		
Vierter Durchlauf				
Zeichen/Baum				
Wahrscheinlichkeit	1.0			

Tabelle 2.7: Ablauf des Huffman-Algorithmus

Huffman: Beispiel



demonstrations.wolfram.com/HuffmanCoding/

Arithmetische Codierung

- Huffman: Ideal wenn Wahrscheinlichkeiten Kehrwerte von Zweierpotenzen
- Entwicklung von Verfahren, die auf beliebigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen gute Ergebnisse liefern

LZW: Ablauf

1. Initialisiere das Wörterbuch mit allen Zeichenketten der Länge 1 und starte mit dem Eingabetext an Position 1
 2. Finde im Wörterbuch den längsten String W der ab der Startposition in der Eingabe auftaucht
 3. Gebe den Wörterbuch-Index für W aus und entferne W aus der Eingabe
 4. Füge W plus dem nächsten Zeichen in der Eingabe dem Wörterbuch hinzu
 5. Gehe zu Schritt 2
- In der Regel maximale Länge des Wörterbuchs festgelegt
 - Codes länger als zu codierende Zeichen (Länge in Bits), Kompression durch Wiederholung von Substrings

WB: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:na, 8:ana, 9:a_, 10:_b, 11:ban, 12:nd, 13:da

Eingabe	mem	?	WB	Ausgabe
b	b	j		
ba	ba	n	ba:5	1
ban	an	n	an:6	1,0
banana	na	n	na:7	1,0,3
banan	an	j		1,0,3
banana	ana	n	ana:8	1,0,3,6
banana_	a_	n	a_:9	1,0,3,6,0
banana_b	_b	n	_b:10	1,0,3,6,0,4
banana_ba	ba	j		1,0,3,6,0,4
banana_ban	ban	n	ban:11	1,0,3,6,0,4,5
banana_band	nd	n	nd:12	1,0,3,6,0,4,5,3
banana_banda	da	n	da:13	1,0,3,6,0,4,5,3,2
banana_bandan	an	j		1,0,3,6,0,4,5,3,2
banana_bandana	ana	j		1,0,3,6,0,4,5,3,2,8

LZW: Beispiel

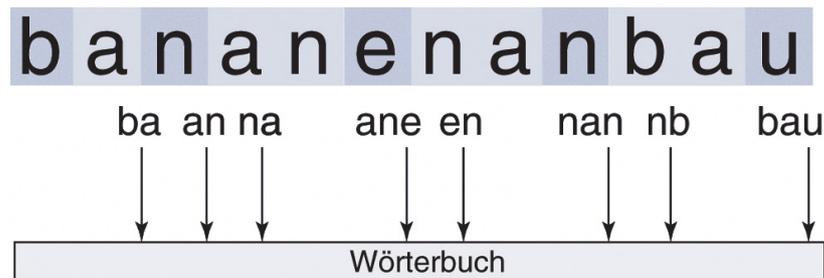


Abbildung 2.9: Ablauf des LZW-Algorithmus an einem Beispiel

Übung 5.2: LZW Kompression

- Initiales Wörterbuch:
 - 0:a, 1:b
- Kodiere:
 - abababab

LZW: Dekompression

- Nur das Ausgangs-Wörterbuch muß bekannt sein
 - Texte: ASCII?
 - Der Rest des Wörterbuches wird bei der Dekompression mit erstellt
1. Lese das nächste Zeichen
 2. Sehe im Wörterbuch nach und gebe das Zeichen aus
 3. Erster Buchstabe des gelesenen Teilwortes wird mit gemerktem Teilwort zu einem neuen Eintrag
 4. Dekodiertes Teilwort wird gemerkt
 5. Gehe zu Schritt 1

LZW: Dekompression Beispiel I

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:d, 3:n, 4:_, 5:ba, 6:an, 7:nd, 8:da, 9:ana, 10:a_, 11:_b, 12:ban

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
1	1=b			b
1,0	0=a	b	5:ba	ba
10,3	3=n	a	6:an	ban
103,2	2=d	n	7:nd	band
1032,6	6=an	d	8:da	bandan
10326,0	0=a	an	9:ana	bandana
103260,4	4=_	a	10:a_	bandana_
1032604,5	5=ba	_	11:_b	bandana_ba
10326045,3	3=n	ba	12:ban	bandana_ban
103260453,9	9=ana	n	13:na	bandana_banana

LZW: Dekompression Beispiel II

Wörterbuch: 0:a, 1:b, 2:ab, 3:ba, 4:aba,

Eingabe	?	mem	WB	Ausgabe
0	0=a			a
0,1	1=b	a	2:ab	ab
01,2	2=ab	b	3:ba	abab
012,4	4=???	ab	???	abab???
012,4	4=aba	ab	4:aba	abababa

- Die Situation, daß ein Eintrag noch nicht im Wörterbuch vorhanden ist, kann nur in einem Fall auftreten: Eingabestring der Form ab**ab**aba (Wiederholung)
- Das zuletzt eingetragene Teilwort (**aba**) wurde gleich nach Erstellung des Eintrags im Wörterbuch benutzt
- Wir nehmen unseren gemerkten Teilstring (ab) und fügen das erste Zeichen an das Ende an (aba), geben den Teilstring aus und fügen ihn im Wörterbuch hinzu

Video 5.2: LZW-Kodierung

Zeichenkette: rabarbarbarbara

Letztes Wort	Aktuelles Zeichen	Eintrag	Codeausgabe
r	a	ra = 256	114
a	b	ab = 257	97
b	a	ba = 258	98
a	r	ar = 259	97

ASCIIText: r = 114 b = 98 r = 114
5:00 / 9:21

ngocngo tran: LZW Kodierung (9:21)

Video 5.3: LZW-Dekodierung

Codewort: 114-97-98-97-114-258-260-259-261-97

Letztes Wort	Aktuelles Zeichen	Merke	Codeausgabe
	114		r
r	97	a	a
a	98	b	

Wörterbuch (ASCII)
a = 97 b = 98 r = 114 ra = 256
4:15 / 10:57

ngocngo tran: LZW Dekodierung (10:57)

4 Bildnachweis

Alle Abbildungen, wenn nicht anders angegeben, aus:
Malaka, Rainer; Butz, Andreas; Hussmann, Heinrich: *Medieninformatik – Eine Einführung*. ISBN 978-3-8273-7353-3, München: Pearson Studium, 2009.