

Digitale Signalverarbeitung

Teil 1: Einführung

Gerhard Schmidt

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Technische Fakultät
Elektrotechnik und Informationstechnik
Digitale Signalverarbeitung und Systemtheorie



Inhalt der Vorlesung

Gesamtübersicht – Teil 1

☐ Einführung

- ☐ Vorlesungsdetails
- ☐ Einführung und Begriffserklärung

☐ Signale

- ☐ Signalarten
- ☐ Analog-Digital- und Digital-Analog-Umsetzungen
- ☐ Halteglieder
- ☐ Taktreduktion und Takterhöhung

☐ Spektren

- ☐ Definitionen
- ☐ Faltung und Faltungssätze
- ☐ Schnelle DFT-Berechnungen
- ☐ Spektralanalysen



Gesamtübersicht – Teil 2

- ☐ Digitale Filter
 - ☐ Beschreibungen
 - ☐ Zustandsraumdarstellung
 - ☐ Äquivalente Filterstrukturen
 - ☐ Realisierungen
 - ☐ Nichtrekursive Filterstrukturen
 - ☐ Kalman-Filter

Vorlage dieser Folien:

Die folgenden Folien beruhen größtenteils auf den Vorlesungsunterlagen von Prof. Dr.-Ing. Ulrich Heute. Ich bedanke mich für die prima Vorlage und die Erlaubnis zur Verwendung seiner Unterlagen zu dieser Vorlesung.



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Heute

Weiterführende Literatur (Auswahl):

- ❑ K.-D. Kammeyer, K. Kroschel: *Digitale Signalverarbeitung – Filterung und Spektralanalyse*, Teubner-Verlag, 4. Auflage, 2002
- ❑ A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer: *Zeitdiskrete Signalverarbeitung*, Oldenbourg-Verlag, 3. Auflage, 1999 (auch als englische Ausgabe verfügbar)
- ❑ J. G. Proakis, D. G. Manolakis: *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, 3. Auflage, 1996
- ❑ ... und viele, viele mehr ... (es empfiehlt sich auch mal in ein englisches Buch zu schauen)

Übersicht des nächsten Abschnitts

- ❑ **Einführung**
 - ❑ **Vorlesungsdetails**
 - ❑ **Einführung und Begriffserklärung**
- ❑ Signale
- ❑ Spektren
- ❑ Digitale Filter

Vorlesungsdetails – Teil 1

Vorlesungstermine

□ Vorlesung:



Vortragender: Gerhard Schmidt

□ Übung:



Vortragender: Eric Elzenheimer

Übung

□ Vorrechenübung

Prüfung

□ Mündliche Prüfung

□ Dauer ca. 30 Minuten

□ Prüfung üblicherweise in 3er-Gruppen

Vorlesungsdetails – Teil 2

ECTS-Punkte

□ 4

Vorlesungsunterlagen

- Werden während der Vorlesung bzw. Übung in gedruckter Form ausgeteilt
- Im Internet unter www.dss.tf.uni-kiel.de, dort dann in der *teaching*-Sektion als pdf-Dateien

Wen kann man bei Problemen ansprechen:

- Natürlich die Vorlesungsbetreuenden



Gerhard
Schmidt
(Prof.)



Eric
Elzenheimer
(Assistent)

... aber auch den Rest des DSS-Teams:

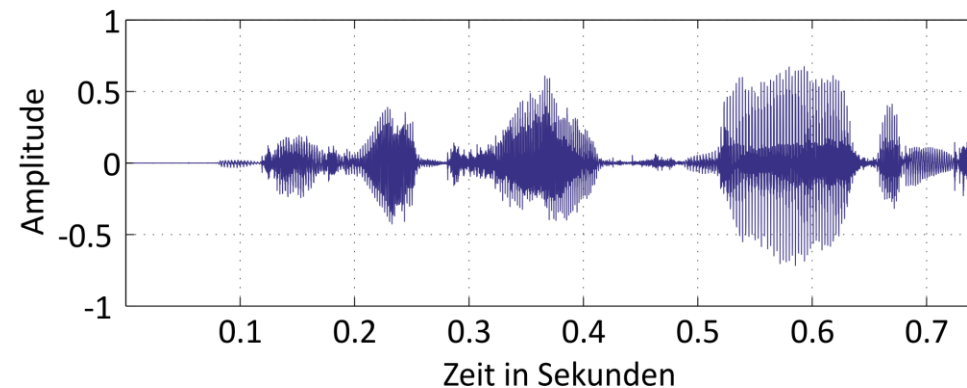


Was versteht man unter “Digitaler Signalverarbeitung” – Teil 1

Signal:

- Informationstragende, physikalische Größe, die sich über der Zeit, über dem Ort oder über einer anderen Variablen ändert
- Mathematisch: Funktion einer oder mehrerer Variablen, z.B. $v(t) = 5t$, $v(n) = 20n^2$, ...
- Beispiele: Temperatur über der Zeit $x(t)$, Helligkeit eines Bildes $l(x, y)$, Schalldruck $p(x, y, z)$ oder $p(x, y, z, t)$.

Sprachsignal:



Was versteht man unter “Digitaler Signalverarbeitung” – Teil 2

Signalverarbeitung

- ❑ Verarbeitung (Umsetzung, Veränderung) eines Signals mittels eines Systems
- ❑ Beispiele:
 - ❑ Signalmodifikation (Filterung, Interpolation, Geräuschreduktion, Entzerrung, ...)
 - ❑ Prädiktion, Transformation in eine andere Domäne (z.B. Fourier-Transformation)
 - ❑ Numerische Integration und Differentiation
 - ❑ Schätzen des Mittelwerts, der Korrelationsfunktion, der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, ...
- ❑ Die Systemeigenschaften (z.B. linear oder nichtlinear) bestimmen die Eigenschaften der gesamten “Signalverarbeitungsoperation”.
- ❑ Die Definition eines Systems sollte daher folgendes beinhalten:
 - ❑ eine Beschreibung der **Software**-Realisierung der Signalverarbeitung und
 - ❑ eine Beschreibung der **Hardware**, auf welcher die Signalverarbeitung umgesetzt werden soll.
 - ❑ Im allgemeinen Fall ist dies meist eine **Kombination von beidem**.

Begriffserklärungen – Teil 3

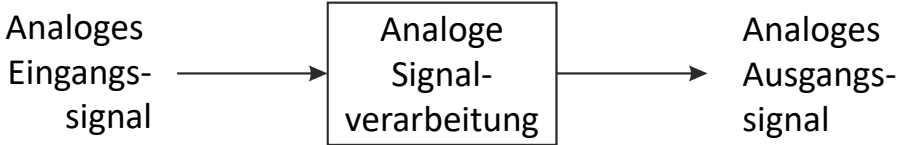
Was versteht man unter “Digitaler Signalverarbeitung” – Teil 3

Digitale Signalverarbeitung

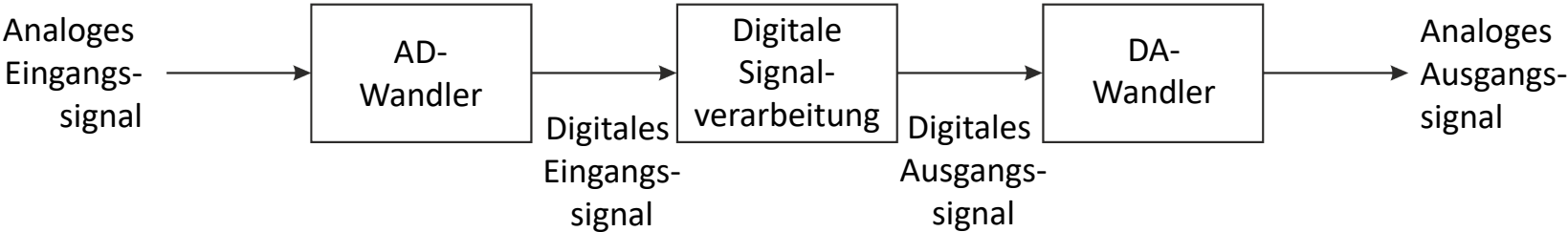
- ❑ Verarbeitung von Signalen mit digitalen Systemen
- ❑ Das beinhaltet:
 - ❑ Eine **Konvertierung** von der analogen Domäne zur digitalen und zurück („physikalische“ Signale sind analoge Signale)
 - ❑ Eine **mathematische Beschreibung** der signalverarbeitenden Operationen
 - ❑ Wir legen dabei besonderen Wert auf **recheneffiziente Algorithmen**, die schnell und einfach zu implementieren sind.

Basiselemente von Signalverarbeitungsarchitekturen – Teil 1

Analoge Signalverarbeitung:



Digitale Signalverarbeitung:



Zusammenhang zwischen analoger und digitaler Signalverarbeitung:

Insbesondere in der Anfangszeit der digitalen Signalverarbeitung (ca. 1970 ff.) wurden viele analoge (kontinuierliche) Systeme durch „gleichwertige“ digitale Systeme ersetzt, z.B.

- ❑ zur Simulation vor einer endgültigen (kontinuierlichen) Lösung oder auch
- ❑ zum unmittelbaren praktischen Ersatz der analogen Lösung.

Aber Vorsicht: ***Was ist eine „gleichwertige“ Lösung?***

- ❑ Kontinuierliche Signalverarbeitung (mit elektrotechnischen Mitteln) ist bekanntlich seit langem erfolgreich im Einsatz: LC-, RC-, Quarzfilter zur Frequenzselektion, Dioden- und Transistorschaltungen zur Multiplikation, Addition, Verstärkung, usw.
- ❑ Die Vor- (bzw. Nachteile) der digitalen Signalverarbeitung sind auf der nächsten Folie gegenübergestellt.

Vor- und Nachteile von analoger und digitaler Signalverarbeitung:

Eigenschaft	Digitale Verarbeitung	Analoge Verarbeitung
Dynamik	Nur durch den Aufwand begrenzt	Prinzipiell begrenzt
Genauigkeit	Begrenzt (Kosten steigen mit zunehmender Genauigkeit)	Unbegrenzt (Kosten steigen stark mit zunehmenden Anforderungen)
Fertigungstoleranz, zeitliche Konstanz	Problemlos	Problematisch
Kosten	Stark sinkende Tendenz	Niedrig
Frequenzbereich	$\omega_{\text{dig,min}} \ll \omega_{\text{ana,min}}, \omega_{\text{dig,max}} \ll \omega_{\text{ana,max}}$	
Linearphasige Frequenzgänge	Exakt realisierbar	Nur näherungsweise realisierbar
Komplexe Algorithmen	Realisierbar	Nur sehr eingeschränkt realisierbar

Man beachte aber, dass digitale Signalverarbeitung immer auch analoge Komponenten benötigt (Verstärker, etc.).

Allzweck-Rechner (PCs, Workstations, Großrechner, ..., Supercomputer)

- ☐ Sehr flexibel
- ☐ „Sofort“ einsetzbar
- ☐ Teuer
- ☐ Hohe Leistungsaufnahme
- ☐ Diese Rechnerklasse wurde früher hauptsächlich für Voruntersuchungen eingesetzt.
- ☐ Durch die Weiterentwicklungen der energiesparenden PC-Varianten (z.B. Atom-Chip von Intel), findet diese Systemklasse heute aber zunehmend auch Anwendung in Massenprodukten (Mobiltelefonen, Autoradios, etc.).
- ☐ Ein weitere Vorteil ist die Nähe zwischen Entwicklungsumgebung und Einsatzumgebung.

Mikroprozessoren

- ☐ Mittlere Flexibilität
- ☐ Mittlere Geschwindigkeit
- ☐ Geringer Entwicklungsaufwand
- ☐ Billig im Kleinserieneinsatz

Digitale Signalprozessoren (DSPs, spezialisierte Mikroprozessoren)

- ☐ Weniger Flexibilität
- ☐ Höherer Entwicklungsaufwand (oder relativ hoher Stückpreis)
- ☐ Höherer Geschwindigkeit
- ☐ Für Signalverarbeitungsoperationen optimierte Architektur

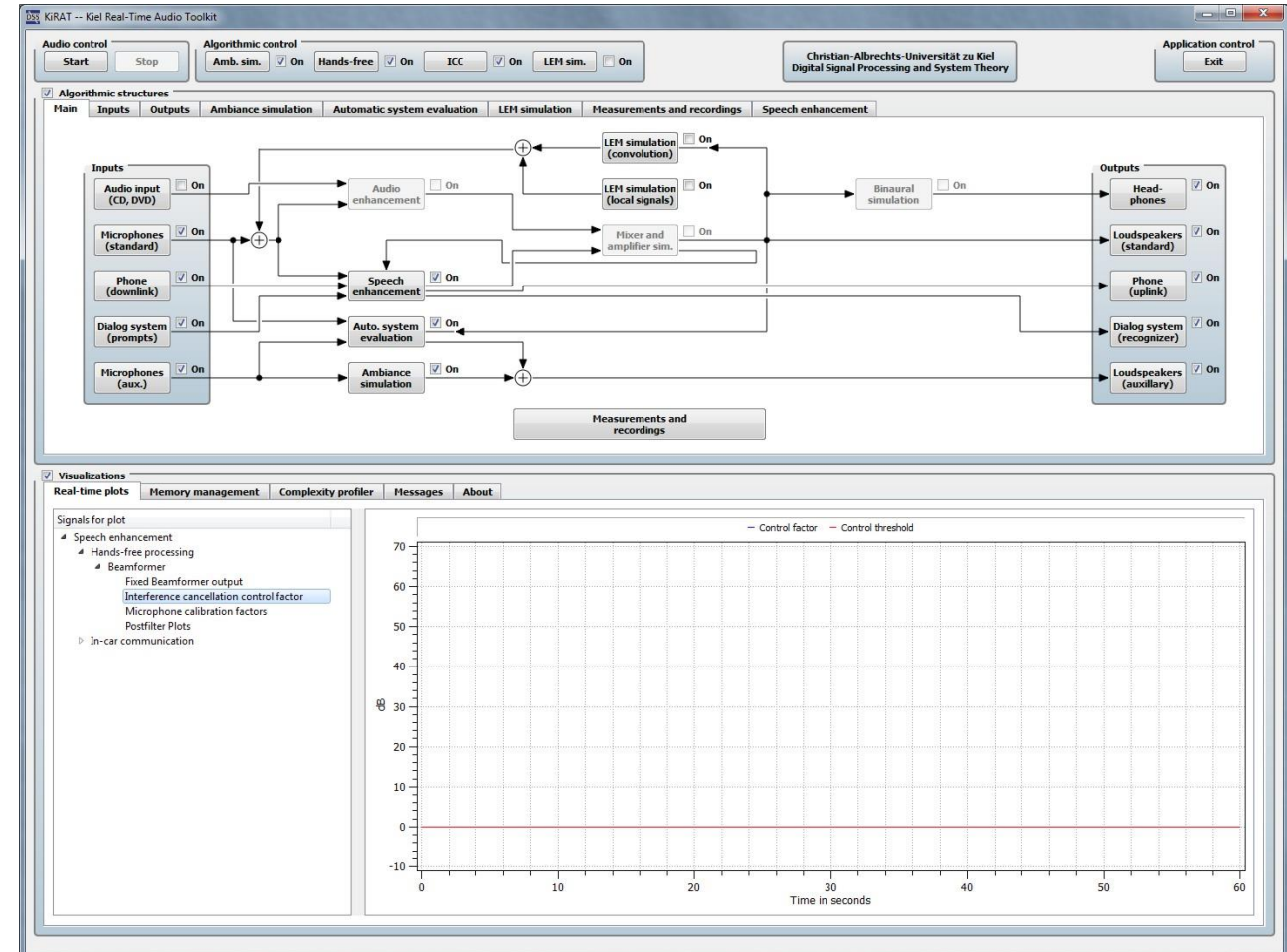
Spezialschaltungen (ASICs, FPGAs)

- ☐ Hohe Geschwindigkeit
- ☐ Hohe Parallelisierbarkeit
- ☐ Hohe Entwicklungskosten und Entwicklungsdauer

In vielen realen Systemen wird eine Kombination von mehreren Realisierungsmöglichkeiten (z.B. Mikrocontroller mit DSP und FPGA) eingesetzt.

Beispiel für einer Entwicklungsumgebung für digitale Signalverarbeitungssysteme

- ❑ PC-basiert
- ❑ Trennung in algorithmischen Kern und Analysemöglichkeiten
- ❑ Einführung eines „algorithmischen PALs (*processor abstraction layer*)“
- ❑ Hardwarenahe Algorithmenumsetzung



Themen der Vorlesung

Digitale Signale

- ❑ Variablen-Diskretisierung (**Abtastung**, führt zu diskreten Signalen)
- ❑ Amplituden- bzw. Wert-Diskretisierung (**Quantisierung**)

Digitale Systeme

- ❑ **Verarbeitung** diskreter Signale durch diskrete Systeme
- ❑ **Wert-Diskretisierung aller Systemparameter** und aller im System vorkommenden Signale (Quantisierungseffekte)

Systemrealisierungen

- ❑ Rechenvorschriften = **Algorithmen** (möglichst effizient, d.h. mit kleinem Rechenaufwand und großer Geschwindigkeit)
- ❑ Außerdem ist die **Empfindlichkeit** der Algorithmen **gegenüber Quantisierungseffekten** zu beachten.

Abschließende Zusammenfassung

- ❑ **Einführung**
 - ❑ **Vorlesungsdetails**
 - ❑ **Einführung und Begriffserklärung**
- ❑ Signale
- ❑ Spektren
- ❑ Digitale Filter