7. Digitale Tonverarbeitung

7.1 Akustische Grundlagen der Audiotechnik
7.2 Audio-Aufnahme- und Wiedergabetechnik
7.3 Analoge Audio-Verarbeitungsketten
7.4 Digitale Audiotechnik
7.5 Software zur Tonverarbeitung
speziell: Tonverarbeitung in Java

Java Sound

Literatur:
http://java.sun.com/products/java-media/sound/
http://www.jsresources.org
http://www.tritonus.org

Java Sound API

- "Low-level" API
  - zur Steuerung der Ein- und Ausgabe von Tonmedien
  - umfasst Funktionen für digitale Audioinformation und für MIDI-Daten
  - erweiterbare Basis, keine ausgefeilten Editor-Funktionen o.ä.
- Verwandte Java-Technologien:
  - Java Media Framework (JMF)
    - » auf höherer Ebene angesiedelt
    - » einfachere Lösung für Abspielen von Tonmedien
    - » Synchronisation mit anderen Medien (v.a. Video)
- Pakete des Java Sound APIs (in Standard-Java-Installation enthalten):
  - **`javax.sound.sampled`**
  - **`javac.sound.midi`**

Entwicklung der Sound-Unterstützung in Java

- Java 1.0 und 1.1:
  - sehr einfache Unterstützung durch die Schnittstelle `java.applet.audioclip`
- Java 2-Plattform (ab 1.2)
  - Java Sound seit Version 1.3 (noch nicht in 1.2)
  - Keine Änderungen in Java 1.4
- Umfangreichere Sound-Unterstützung angeblich in Vorbereitung

Klassifikation von digitaler Audioverarbeitung

- Entstehungsprozess des Materials
  - Weiterverarbeitung von ursprünglich analogem Tonmaterial *(sampled)*
  - Digitale Erzeugung von Musik *(MIDI)*
- Zeitlicher Verlauf
  - Realzeit-Behandlung:
    - » Weitersenden empfangener Information in kurzer Zeit, ungefähr mit der gleichen Rate wie Daten empfangen werden *(online)*
    - » Operationen werden beendet, bevor alle Daten bekannt sind
  - Speicher-basierte Behandlung:
    - » Laden der gesamten Information (evtl. stufenweise) in den Computerspeicher
    - » Operationen werden erst begonnen, wenn alle Daten bekannt sind *(offline)*

Digitales Audio in Java Sound

- Hauptfokus in **`javax.sound.sampled`**:
  - Transport von Audiodaten (Aufnahme und Wiedergabe)
  - Verwaltung von Puffern
  - Mischen von Daten
  - Steuerung: Start, Anhalten, Aussetzen
- Prinzipiell mit der Schnittstelle möglich:
  - Direkte Bearbeitung von Sample-Information (z.B. selbstgeschriebene Synthesizer- und Filter-Funktionen)
- Default-Implementierung eingeschränkt in Funktionalität:
  - z.B. Einlesen von WAV-Dateien, aber nicht von MP3- oder MPEG4-AAC-Dateien
  - Erwartung von Sun: Fremdhersteller-Aktivität
    - » siehe "Tritonus"-OpenSource-Initiative!

Audio-Formate

- Java Sound befasst sich mit formatierten Audio-Daten
- Ein Audio-Format wird durch ein Objekt der Klasse **`AudioFormat`** beschrieben und enthält die folgenden Angaben:
  - Codierungsverfahren (normalerweise Pulscode-Modulation (PCM))
    - » Zusammenhang zwischen Klangdruck und Signal: (PCM/linear, µ-Gesetz, a-Gesetz)
    - » Bei PCM: Samplewerte mit/ohne Vorzeichen *(signed/unsigned)*
  - Anzahl von Kanälen (z.B. 2 für Stereo)
  - Abtastrate (samples/second)
  - Auflösung (bits/sample)
  - Paketgrösse *(frame size)* (bytes)
  - Paketrate *(frame rate*) (frames/s)
  - Byte-Lesereihenfolge *(byte order)* (big-endian/little-endian) (Wo steht das höchstwertige Bit?)

AudioInputStream

- **javax.sound.sampled.AudioInputStream**
- Abgeleitet von der abstrakten Oberklasse **java.io.InputStream**
  - Byteweise lesbare Datenströme
  - **read(), skip(), close()**
  - **markSupported(), mark(), reset():**
    Springen zu markierter Position
- Methoden zum Öffnen einer Audiodatei:
  javax.sound.sampled.AudioSystem
  - **AudioInputStream getAudioInputStream(File file)**
  - Formatkonversionen beim Öffnen festlegbar
- Ein AudioInputStream hat immer ein festgelegtes **AudioFormat**
  - Das Format wird z.B. beim Öffnen einer Audio-Datei festgelegt und im Streamobjekt gespeichert.
  - **AudioFormat getFormat()**

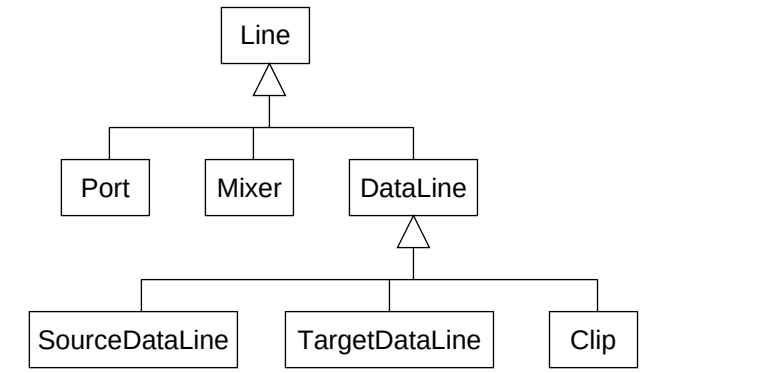
Beispiel: Öffnen einer Audio-Datei

```
import javax.sound.sampled.*;
...

public static void main(String[] args) {

  String  strFilename = args[0];
  File soundFile = new File(strFilename);
  AudioInputStream audioInputStream = null;
  try {
    audioInputStream =
      AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
  }
  catch (Exception e) {};
  AudioFormat audioFormat =
    audioInputStream.getFormat();
  System.out.println(audioFormat);
...
}
```

Port und Mixer

- Ein *Port* beschreibt einen Ein- oder Ausgang für einen Strom von Audio-Daten zu einem (virtuellen oder physikalischen) Gerät
- Eine *DataLine* beschreibt einen Datenstrom, der steuerbar ist (Start/Stop).
- Ein *Mixer* ist die Java-Sound-Abstraktion für alle tonverarbeitenden Komponenten mit Ein- und Ausgabeports
  - Kann einem realen physikalischen Gerät entsprechen oder rein in Software realisiert werden
  - Wichtiger Spezialfall eines Mixer-Objekts: Mischpult-Funktion
  - Anwendungsprogramme können Daten entweder auf Eingabe-Ports abliefern oder auf Ausgabeports abholen (streaming)
  - Alternativ können Daten für Eingabeports aus Dateien gelesen werden und für Ausgabeports in Dateien geschrieben werden (audio files)
- Das Konzept der *Line* verallgemeinert Ein- und Ausgabeports und Mixer zu beliebigen Bestandteilen einer "Audio-Pipeline"

Line-Klassenhierarchie



Gepufferte Wiedergabe einer Audioquelle

Gepufferte Aufnahme einer Audioquelle

Wiedergabe einer Audioquelle, die komplett in den Speicher vorgeladen wird

Audio-Ressourcenverwaltung

- Typischerweise ist Audioverarbeitung an Systemressourcen gebunden
  - Installierte Geräte
  - Pufferspeicher in Systembereichen
- Erzeugung eines Line-Objekts ausschließlich über zentrale Verwaltung:
  - **`javax.sound.sampled.AudioSystem`**
- Anfragefunktionen, welche Ressourcen vorhanden sind
  - Es gibt immer einen Standard-Mixer, der auf das eingebaute Hardware-Audio-System abgebildet wird
- Erzeugung eines speziellen Line-Objekts
- Zur Beschreibung von Line-Objekten:
  - **`javax.sound.sampled.Line.Info`** mit Unterklassen:
    - » **`DataLine.Info, Port.Info`**
  - **`javax.sound.sampled.Mixer.Info`**

Beispiel: Abfrage der Audio-Systemressourcen

```
import javax.sound.sampled.*;

public class LineInfoQuery {

  public static void main (String[] args) {
    System.out.println("Mixers available:");
    Mixer.Info[] mixers = AudioSystem.getMixerInfo();
    for (int i = 0; i < mixers.length; i++) {
      System.out.println(mixers[i]);
    };
    System.out.println("System default mixer:");
    Mixer stdMixer = AudioSystem.getMixer(null);
    System.out.println(stdMixer.getMixerInfo());
        System.out.println("Supported source line types
          in default mixer:");
    Line.Info[] lineTypes = stdMixer.getSourceLineInfo();
    for (int i = 0; i < lineTypes.length; i++) {
      System.out.println(lineTypes[i]);
    ...
}
```

Erzeugung eines Line-Objekts

- Anfrage an AudioSystem, unter Angabe von LineInfo-Information für das gewünschte Line-Objekt
  - welcher Typ:
    - » SourceDataLine (Wiedergabe)
    - » Clip (wiederholte Wiedergabe)
    - » TargetDataLine (Aufnahme)
  - welches Audioformat

- Beispiel (Ausgabe von Audioinformation):

```
DataLine.Info info = new DataLine.Info
    (SourceDataLine.class, audioFormat)
AudioSystem.getLine(info);
```


Operationen zur Nutzung eines Line-Objekts

- Bisher nur die Verfügbarkeit des gewünschten Typs von **`Line`** geprüft.
- Nächste Schritte:
  - Reservierung der Ressource
    - » insbesondere des benötigten Pufferbereichs
    - » kann bei gleichzeitigen Anforderungen anderer Programme an Ressourcenmangel scheitern
  - Bei **`DataLine`** (d.h. steuerbarem Strom):
    - » verschiedene Zustände:
      running = true/false (Übertragung ein/aus)
    - » Bei Erzeugung: running = false
    - » Starten durch **`start()`**

Die meisten folgenden Beispiele basieren auf www.jsresources.org !

Beispiel: Öffnen einer Audio-Line zur Wiedergabe

```
public static void main(String[] args) {
  String strFilename = args[0];
  File soundFile = new File(strFilename);
  AudioInputStream audioInputStream = null;
  try {
    audioInputStream =
      AudioSystem.getAudioInputStream(soundFile);
  }
  catch (Exception e) {};
  AudioFormat audioFormat = audioInputStream.getFormat();
  SourceDataLine line = null;
  DataLine.Info info =
    new DataLine.Info(SourceDataLine.class, audioFormat);
  try {
    line = (SourceDataLine) AudioSystem.getLine(info);
    line.open(audioFormat);
  }
  catch (Exception e) {};
  line.start();
  ...
}
```


Beispiel: Audiowiedergabe aus Datei

```
...
  int nBytesRead = 0;
  byte[] abData = new byte[EXTERNAL_BUFFER_SIZE];
  while (nBytesRead != -1) {
    try {
      nBytesRead =
        audioInputStream.read(abData, 0, abData.length);
    }
    catch (Exception e) {};
    if (nBytesRead >= 0) {
      int nBytesWritten = line.write(abData, 0, nBytesRead);
    }
  }
...
```

Beispiel: Aufnehmen von Audio-Daten (1)

```
public static void main(String[] args) {

  String  strFilename = args[0];
  File outputFile = new File(strFilename);
  AudioFormat audioFormat = new AudioFormat(
    AudioFormat.Encoding.PCM_SIGNED, 44100.0F,
    16, 2, 4, 44100.0F, false);
  DataLine.Info info = new DataLine.Info(
    TargetDataLine.class, audioFormat);
  TargetDataLine  targetDataLine = null;
  try {
    targetDataLine =
      (TargetDataLine) AudioSystem.getLine(info);
    targetDataLine.open(audioFormat);
  }
  catch (Exception e) {}
  AudioFileFormat.Type targetType =
    AudioFileFormat.Type.WAVE;
  ...
```


Beispiel: Aufnehmen von Audio-Daten (2)

```
...
  SimpleAudioRecorder1 recorder = new SimpleAudioRecorder1(
    targetDataLine, targetType, outputFile);
  System.out.println(
    "Press ENTER to start the recording.");
  try {
    System.in.read();
  }
  catch (Exception e) {}
  recorder.start();
  System.out.println("Recording...");
  System.out.println("Press ENTER to stop the recording.");
  try {
    System.in.read();
  }
  catch (Exception e) {}
  recorder.stopRecording();
  System.out.println("Recording stopped.");
  System.exit(0);
}
```

Nebenläufigkeit in Java: Threads

- Häufig laufen in der Medientechnik mehrere Verarbeitungsketten nebeneinander ab
  - Beispiel: Aufnahme eines Audiosignals || Warten auf Ende-Befehl
- Java-Threads:
  - "leichtgewichtige Prozesse" – innerhalb eines Betriebssystemprozesses
  - Jeder Thread implementiert die Schnittstelle **`java.lang.Runnable`**
  - Einzige Methode in **`Runnable:`**

    `public void run()`
  - Standard-Implementierung von **`Runnable:`**

    `java.lang.Thread implements Runnable`
  - Starten eines Threads - d.h. der **`run()`**-Methode:

    `t.start()`

Beispiel: Ein nebenläufiger Java-Audio-Recorder

```
public class SimpleAudioRecorder1 extends Thread {
  private TargetDataLine          m_line;
  private AudioFileFormat.Type    m_targetType;
  private AudioInputStream        m_audioInputStream;
  private File                    m_outputFile;

  public SimpleAudioRecorder1(TargetDataLine line,
      AudioFileFormat.Type targetType, File file) {
    m_line = line;
    m_audioInputStream = new AudioInputStream(line);
    m_targetType = targetType;
    m_outputFile = file;
  }
  ...
  public void run() {
    try {
      AudioSystem.write(
        m_audioInputStream, m_targetType, m_outputFile);
    }
    catch (Exception e) {}
  } ...
}
```

Starten und Anhalten der Aufnahme

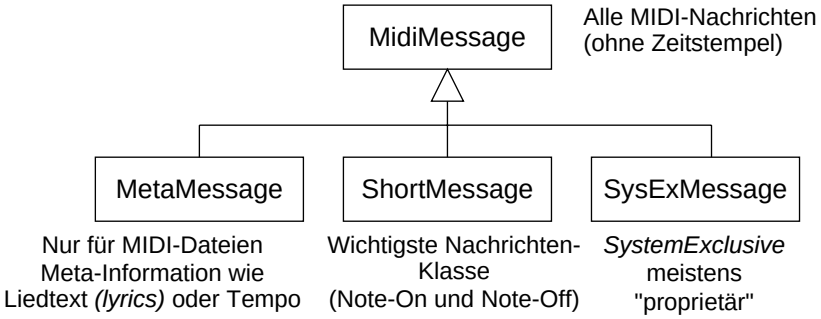
```
public class SimpleAudioRecorder1 extends Thread {
  private TargetDataLine           m_line;
  private AudioFileFormat.Type     m_targetType;
  private AudioInputStream         m_audioInputStream;
  private File                     m_outputFile;

  ...

  public void start() {
    m_line.start();  // Startet die Aufnahme im Audio-System
                     // (TargetDataLine)
    super.start();   // Startet den Datentransfer-Thread
                     // d.h. self.run()
  }

  public void stopRecording() {
    m_line.stop();
    m_line.close();
  }
```


Beispiel: Direkte Bearbeitung von Samples

```
public class SineOscillator extends AudioInputStream {

  public SineOscillator
      (float fSignalFrequency, float fAmplitude,
      AudioFormat audioFormat, long lLength) {
    super(new ByteArrayInputStream(new byte[0]),
      new AudioFormat(AudioFormat.Encoding.PCM_SIGNED,...), lLength);
    ...
    m_abData = new byte[nBufferLength];
    for (int nFrame = 0; nFrame < nPeriodLengthInFrames; nFrame++) {
      float   fPeriodPosition =
        (float) nFrame / (float) nPeriodLengthInFrames;
      float   fValue =
        (float) Math.sin(fPeriodPosition * 2.0 * Math.PI);
      int nValue = Math.round(fValue * fAmplitude);
      int nBaseAddr = (nFrame) * getFormat().getFrameSize();
      m_abData[nBaseAddr + 0] = (byte) (nValue & 0xFF);
      m_abData[nBaseAddr + 1] = (byte) ((nValue >>> 8) & 0xFF);
      m_abData[nBaseAddr + 2] = (byte) (nValue & 0xFF);
      m_abData[nBaseAddr + 3] = (byte) ((nValue >>> 8) & 0xFF);
    }
    m_nBufferPosition = 0;
  }
```

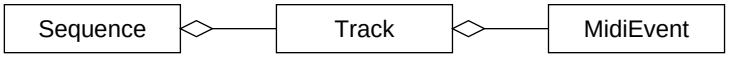
MIDI-Audio in Java Sound

- Paket **`javax.sound.midi`**



MIDI-Ereignisse in Java Sound

- **`javax.sound.midi.MidiEvent`**
  - enthält **`MidiMessage`**
  - und Zeitstempel
- **`javax.sound.midi.Track`**
  - Strom von **`MidiEvent`**s
  - Kann 16 Kanäle addressieren
- **`javax.sound.midi.Sequence`**
  - Repräsentiert musikalische Einheit (z.B. Musikstück)
  - enthält Information über Zeitbasis
  - enthält einen oder beliebig viele MIDI-Tracks



MIDI-Ressourcenverwaltung

- Analog zu Audio-Verarbeitungsressourcen

- **`javax.sound.midi.MidiSystem`**
  - Zentrale Verwaltung aller MIDI-bezogenen Systemressourcen
- Typen von MIDI-Systemressourcen:
  - **`Sequencer:`** Gerät/Objekt zur Aufnahme und Wiedergabe von MIDI-Ereignis-Sequenzen; benutzt Transmitter und Receiver
  - **`Transmitter:`** Schnittstellenobjekt zum Senden von MIDI-Ereignis-Sequenzen
  - **`Receiver:`** Schnittstellenobjekt zum Empfangen von MIDI-Ereignis-Sequenzen
  - **`Synthesizer:`** Objekt zur Klangerzeugung

- Die eigentlichen MIDI-Nachrichten sind in der Klasse **`MidiChannel`** codiert.

Beispiel: MIDI-Player in Java (1)

```
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import javax.sound.midi.*;

public class SimpleMidiPlayer1 {

  private static Sequencer sm_sequencer = null;
  private static Synthesizer sm_synthesizer = null;

  public static void main(String[] args) {

    String strFilename = args[0];
    File midiFile = new File(strFilename);
    Sequence sequence = null;
    try {
      sequence = MidiSystem.getSequence(midiFile);
      sm_sequencer = MidiSystem.getSequencer();
    }
    catch (Exception e) {};
    ...
```

Beispiel: MIDI-Player in Java (2)

```
  ...
    try {
      sm_sequencer.open();
      sm_sequencer.setSequence(sequence);
    }
    catch (Exception e) {}
    if (! (sm_sequencer instanceof Synthesizer)) {
      try {
        sm_synthesizer = MidiSystem.getSynthesizer();
        sm_synthesizer.open();
        Receiver synthReceiver =
          sm_synthesizer.getReceiver();
        Transmitter seqTransmitter =
          sm_sequencer.getTransmitter();
        seqTransmitter.setReceiver(synthReceiver);
      }
      catch (Exception e) {}
    }
    sm_sequencer.start();
  }
}
```


MIDI-Synthesizer: Abspielen einer Note (1)

```
import javax.sound.midi.*;

public class SynthNote1 {

  public static void main(String[] args) {
    int     nNoteNumber = 0;        // MIDI key number
    int     nVelocity = 0;
    int     nDuration = 0;
    nNoteNumber = Integer.parseInt(args[0]);
    nNoteNumber = Math.min(127, Math.max(0, nNoteNumber));
    nVelocity = Integer.parseInt(args[1]);
    nVelocity = Math.min(127, Math.max(0, nVelocity));
    nDuration = Integer.parseInt(args[2]);
    nDuration = Math.max(0, nDuration);
    Synthesizer     synth = null;
    try {
      synth = MidiSystem.getSynthesizer();
      synth.open();
    }
    catch (Exception e) {};
    ....
```

MIDI-Synthesizer: Abspielen einer Note (2)

```
    ...
    MidiChannel[] channels = synth.getChannels();
    channels[0].noteOn(nNoteNumber, nVelocity);
    try {
      Thread.sleep(nDuration);
    }
    catch (InterruptedException e) {}
    channels[0].noteOff(nNoteNumber);
    System.exit(0);
  }
}
```