

UNTERSUCHUNG DER BEDEUTUNG VON APERIODIZITÄTEN IN QUASI-STATIONÄREN SIGNALEN AKUSTISCHER MUSIKINSTRUMENTE FÜR EINEN NATÜRLICHEN KLANGEINDRUCK

Markus Sapp, Jörg Becker, Floriano Marrone

Institut für Elektrische Nachrichtentechnik, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Germany
Tel: +49-241-807676; Fax: +49-241-8888196
e-mail: akustik@ient.rwth-aachen.de

1 Einleitung

Viele Untersuchungen zum Thema Klangsynthese beschäftigen sich damit, Klänge akustischer Instrumente möglichst genau nachzubilden. Eine andere interessante Anwendung von Klangsynthese ist die Erzeugung neuartiger Klänge ohne akustisches Vorbild. Dabei ist es reizvoll, diese Klänge so zu gestalten, daß ein Zuhörer sie nicht als unnatürlich empfindet, sondern der Eindruck entsteht, auch diese neuartigen Klänge seien auf akustischem Weg erzeugt worden.

Um dies zu erreichen, muß zunächst untersucht werden, welche Eigenschaften der im allgemeinen als natürlich empfundenen Signale akustischer Musikinstrumente für diesen natürlichen Eindruck bedeutend sind. Wenn es gelingt, diese Signale so nachzubilden, daß der natürliche Eindruck erhalten bleibt, dann kann in einem zweiten Schritt versucht werden, auch Klängen ohne akustisches Vorbild diese Eigenschaften aufzuprägen.

In der hier vorgestellten Arbeit wurde für den Fall quasi-stationärer Signale untersucht, welche Arten von Fluktuationen und Mikrovariationen für diesen natürlichen Klangeindruck von Bedeutung sind.

2 Analyse von Signalen akustischer Instrumente

2.1 Instrumentenaufnahmen

Um die nicht direkt vom Spieler beeinflussbaren Aperiodizitäten untersuchen zu können, wurden Aufnahmen verschiedener klassischer Instrumente erstellt, wobei die Instrumentalisten instruiert wurden, die Töne möglichst konstant und ohne bewußte Modulationen wie Vibrato oder Tremolo zu spielen. Aus diesen Aufnahmen wurden für die nachfolgenden Analysen und Hörversuche jeweils etwa 5 Sekunden lange Ausschnitte aus der quasi-stationären Signalphase extrahiert.

Folgende Instrumente wurden sowohl in verschiedenen Tonhöhen als auch mit verschiedenen Lautstärken aufgenommen: Querflöte, Blockflöte, Tin Whistle, Klarinette, Oboe, Trompete, Horn, Violine und Bratsche. Die Aufnahmen wurden in einem reflexionsarmen Raum erstellt und enthalten daher nur das direkte Instrumentensignal ohne Rauminformation.

2.2 Analyse

Aus den oben beschriebenen Signalausschnitten wurden mit Hilfe einer Phase-Vocoder-Analyse ([1],[2]) die Amplituden- und Frequenzverläufe der einzelnen Harmonischen gewonnen. In Abbildung 1 sind als Beispiel die Amplitudenverläufe im Signal einer Querflöte dargestellt, wobei die starken schnellen Schwankungen die geräuschhaften Signalanteile widerspiegeln. Die im folgenden beschriebenen, mit Matlab durchgeführten Analysen der Phase-Vocoder-Daten dienen als Grundlage für das in Abschnitt 3 beschriebene Modell zur Nachbildung der zeitlichen Amplituden- und Frequenzvariationen.

Sowohl für die Amplituden- als auch für die Frequenzschwankungen wurden Spektrum, Verteilungsdichtefunktion sowie die Kreuzkorrelation zwischen den Schwankungen der verschiedenen Harmonischen bestimmt. Wie an dem als Beispiel dargestellten Spektrum der relativen

Amplitudenvariationen in Abbildung 2 zu sehen ist, sind die relativen Schwankungen der Amplituden für schwach ausgeprägte Harmonische größer und nehmen allgemein mit steigender Ordnung der Harmonischen leicht zu. Das Spektrum der Amplitudenschwankungen hat Tiefpaß-Charakter mit einer Flankensteilheit von etwa 12 dB/Okt. für stark ausgeprägte Harmonische. Bei Harmonischen mit geringer Amplitude, wie z.B. die 4. Harmonische in Abbildung 1 bzw. 2, ist die Flankensteilheit geringer.

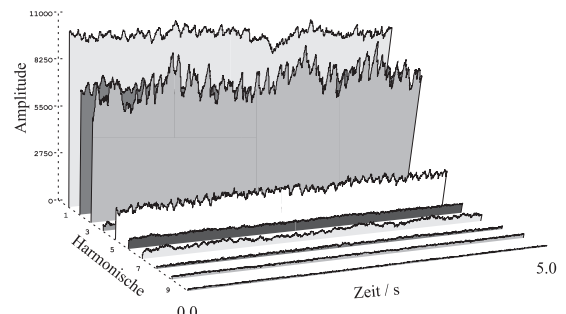


Abbildung 1: Querflöte 444 Hz: zeitlicher Verlauf der Amplituden für 1. bis 10. Harmonische

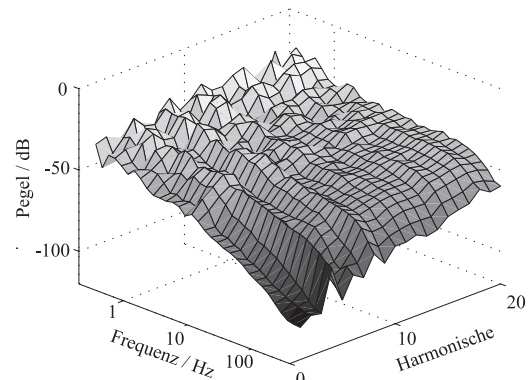


Abbildung 2: Querflöte 444 Hz: Spektrum der relativen Amplitudenschwankungen für 1. bis 20. Harmonische

Die Verteilungsdichtefunktionen der Amplituden- und Frequenzschwankungen sind näherungsweise dreieck- bis gaußförmig. Die Schwankungen der Amplituden bzw. der Frequenzen der einzelnen Harmonischen zeigen nur eine minimale Korrelation untereinander.

3 Modell zur Synthese von Aperiodizitäten

Zur Nachbildung der untersuchten zeitlichen Variationen der Amplituden und Frequenzen der einzelnen Harmonischen wurde das in Abbildung 3 dargestellte Modell auf Basis einer additiven Synthese entwickelt. Bei diesem Modell wird zu den mittleren Amplituden und mittleren Frequenzen der Harmonischen je ein gemäß Abbildung 4 generiertes Signal zur Nachbildung der Mikrovariationen addiert.

Aus den mit diesem Modell simulierten Analysedaten können, genau wie aus den Originaldaten oder aus vereinfachten Variationen davon, per additiver Synthese Audiosignale berechnet werden.

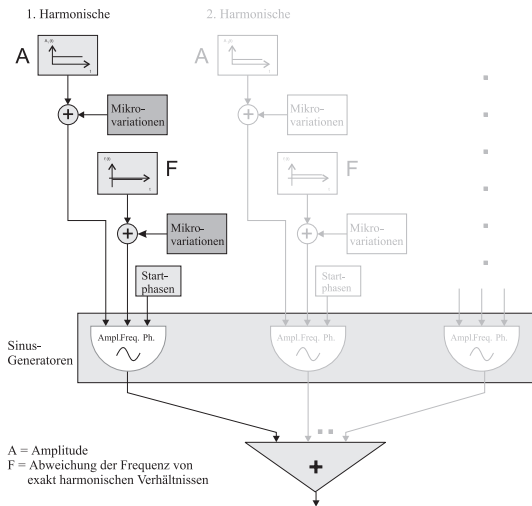


Abbildung 3: Blockschaltbild des Synthesemodells

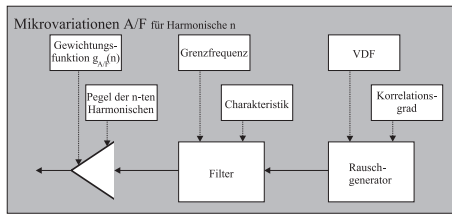


Abbildung 4: Block zur Nachbildung von Mikrovariationen

Als Eingangsdaten benötigt das Modell die mittleren Amplituden und die mittleren Frequenzabweichungen für jede Harmonische. Die erzeugten Mikrovariationen basieren auf einem gefilterten Rauschsignal mit geeigneter Amplitudenskalierung, wobei der Grad der Korrelation zwischen den Modulationen der einzelnen Harmonischen wählbar ist. Als Filter kommt ein Tiefpaß 2.Ordnung zum Einsatz, dessen Grenzfrequenz von der Nummer der Harmonischen sowie von ihrer mittleren Amplitude abhängt. Im Fall der Amplitudenvariation ist die Skalierung des Rauschsignals proportional zur mittleren Amplitude der Harmonischen und wird zusätzlich von einer Skalierungsfunktion der Form $g(n) = n^\alpha$ in Abhängigkeit von der Nummer n der Harmonischen variiert. Im Fall der Frequenzvariation ist die Skalierung des Signals proportional zur Nummer der Harmonischen.

4 Hörversuche

Um die Bedeutung der gefundenen Aperiodizitäten für einen natürlichen Klangeindruck zu untersuchen, wurden Hörversuche durchgeführt, in denen unterschiedlich stark vereinfachte bzw. mit verschiedenen Modellparametern simulierte Variationen der quasi-stationären Ausschnitte aus den Instrumentenaufnahmen verglichen wurden.

Dabei sollte nicht die Ähnlichkeit mit der ursprünglichen Aufnahme, sondern die Natürlichkeit des Klanges beurteilt werden. Der Begriff *natürlich* wurde hierbei als *nicht synthetisch* und *glaubwürdig nach akustischer Quelle klingend* definiert.

Die Hörversuche erfolgten in Form von A/B-Vergleichen für alle Paarungen innerhalb von Blöcken mit mehreren Signalen, die sich nur in einem Parameter unterscheiden. Die Versuchspersonen hatten für jedes Paar zu entscheiden, welches Signal natürlicher klingt. Die Auswertung erfolgte nach einem Punktesystem, bei dem das als natürlicher empfundene Signal zwei Punkte erhielt, während im Fall eines Unentschieden beide Signale des Vergleichs je einen Punkt bekamen. Der in den Ergebnisdigrammen aufgetragene Natürlichkeitsindex ist die auf das erreichbare Maximum normierte Punktzahl.

In den Hörversuchen zeigte sich, daß bei quasi-stationären Signalen Amplitudenvariationen deutlich wichtiger für einen natürlichen Klangeindruck sind als Frequenzvariationen.

Die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse des Vergleichs verschieden skaliert Variationen der originalen Amplitudenschwankungen ohne Frequenzschwankungen zeigen mit dem deutlichen Maximum bei 1, also der originalen Schwankungsstärke, daß eine passende Größenordnung der Mikrovariationen ein wichtiger Parameter für die Natürlichkeit

des Klanges ist. Der entsprechende Vergleich für modellierte Amplitudenvariationen lieferte vergleichbare Ergebnisse. Der Vergleich von modellierten und originalen Amplitudenschwankungen ohne Frequenzvariationen in Abbildung 6 zeigt, daß sich mit Hilfe des Modells auch im direkten Vergleich natürlich erscheinende Klänge erzeugen lassen. Die schlechteren Ergebnisse für die Nachbildung des Klarinettenklanges liegt darin begründet, daß die Modellierung der Variationen zwar auf den mittleren Amplituden und Frequenzen des jeweiligen Instruments basierte, ansonsten jedoch ein gemeinsamer, ursprünglich für die Querflöte optimierter Satz von Modellparametern verwendet wurde.

Ein weiterer Vergleich machte deutlich, daß die Korrelation der Amplitudenschwankungen der einzelnen Harmonischen gering sein sollte.

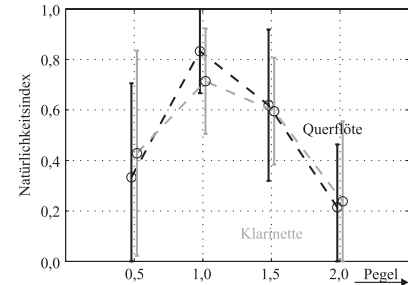


Abbildung 5: Vergleich verschieden skaliert Versionen der originalen Amplitudenschwankungen

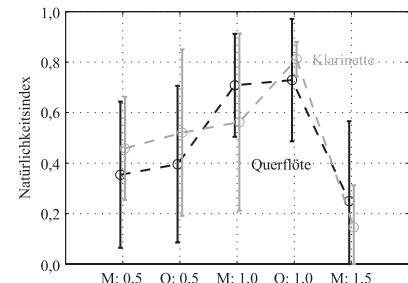


Abbildung 6: Vergleich von originalen und modellierten Amplitudenschwankungen

5 Zusammenfassung und Ausblick

In der hier vorgestellten Arbeit wurden die vom Instrumentalisten nahezu unbeeinflussbaren Mikrovariationen in den quasi-stationären Phasen der Signale von verschiedenen akustischen Instrumenten untersucht. Die Untersuchungen auf Basis einer Phase-Vocoder-Analyse zeigen, daß diese Variationen breitbandig sind und im Fall starker Harmonischer ein meist tiefpaßförmiges Spektrum haben.

Es wurde ein Modell zur Nachbildung der untersuchten Mikrovariationen und Aperiodizitäten entwickelt, mit dem sich auf Basis der mittleren Amplituden und mittleren Frequenzabweichungen der einzelnen Harmonischen quasi-stationäre Signale erzeugen lassen. Hörversuche mit unterschiedlich variierten Originalschwankungen und mit verschieden modellierten Amplituden- und Frequenzschwankungen haben gezeigt, daß das Modell mit geeigneten Parametern in der Lage ist, natürlich erscheinende Klänge zu erzeugen.

Zur Zeit wird die Abhängigkeit der Mikrovariationen von Lautstärke und Tonhöhe untersucht. Weitere laufende Untersuchungen beschäftigen sich mit den für einen natürlichen Klangeindruck bedeutenden Eigenschaften transients Signalphasen sowie mit der Analyse von bewußten Modulationen wie Vibrato und Tremolo.

Literatur

- [1] S. McAdams, J. W. Beauchamp, and S. Meneguzzi, "Discrimination of musical instrument sounds resynthesized with simplified spectrotemporal parameters," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 105, no. 2, pp. 882-897, 1999.
- [2] J. W. Beauchamp, "SNDAN: Sound analysis, graphics, modification, and synthesis routines for UNIX." Internet: <http://ems.music.uiuc.edu/cmp/software/sndan.html>.