

Neue Tonabnahmesysteme für Streich- und Zupfinstrumente

Holger Schiema¹, Herbert König², Frank Josten³

¹ IfM - Institut für Musikinstrumentenbau e.V., an der TU- Dresden, 08267 Zwota, E-Mail: post@ifm-zwota.de
^{2,3} AER Audio Electric Research GmbH, 34277 Fulda, E-Mail: info@aer-amps.com

Einleitung

Es gibt viele musikalische Aufführungssituationen und Applikationen in denen die Schalleistung akustischer Instrumente (hier Streich- und Zupfinstrumente), besonders als Soloinstrument, zur Beschallung des Publikums nicht ausreicht. Verstärkersysteme und Lautsprecheranlagen lösen das Problem, jedoch muss ein Tonabnahmesystem als Bindeglied zwischen Instrument und Elektronik zunächst für eine hochwertige Transformation von mechanischen in elektrische Informationen sorgen.

Das hier vorgestellte System leistet dieses unter besonderer Berücksichtigung:

- der instrumentenspezifisch ermittelten, optimalen Sensorpositionen
- der ermittelten Eigenschaften und Betriebszustände der verwendeten Sensoren
- des enormen Dynamikumfangs (> 130 dB) der Sensorsignale sowohl in der analogen, als auch in der digitalen Domäne

und erzielt somit eine hohe Authentizität des Klangcharakters bei der Wiedergabe der hier untersuchten Instrumente: Gitarre, Geige, Guzheng (chinesische Harfe), Er-Hu (chinesische Geige) und Pipa (chinesische Laute).

Ermittlung optimaler Sensorpositionen

Um die an den zu untersuchenden Instrumenten optimalen Sensorpositionen zu bestimmen wurden Modalanalysen, Frequenzkurvenmessungen, etc. vorgenommen. Es ergeben sich folgende Ergebnisse:

Gitarre :

- Das Hauptaufnehmermikrofon sollte sich am Unterklotz befinden. Das Hauptaufnehmermikrofon kann durch ein zweites Aufnehmermikrofon im Bereich Zarge Oberbug unterstützt werden.
- Ein als Tonabnehmer verwendeter Schwingungsaufnehmer sollte sich etwa in der Mitte des Unterbugbereiches in der Nähe einer deutlichen Versteifung befinden.
- Man kann anhand der Übertragungskurven aussagen, dass ein Stegeinbautonabnehmer, dessen Position unter der Stegeinlage ja festgeschrieben ist, bei korrektem Einbau ein nahezu lineares Übertragungsverhalten im interessanten Frequenzbereich aufweist. Für einen hinsichtlich der Übertragungsfunktion möglichst authentischen Tonabnehmer wäre also ein Stegeinbautonabnehmer in Verbindung mit einer Schaltung, die die mittlere Übertragung der Gitarre ins Fernfeld simuliert eine erste, auch vom Aufwande her recht brauchbare Lösung. Für die Sicherung der Funktionalität ist dabei die Kontrolle des korrekten Einbaus anhand einer Übertragungsmessung unerlässlich!

Geige:

- Betrachten wir konkrete Einzelpunkte, so erscheinen die Orte nahe der Zarge bei 0° (Taille) und 270° (Unterklotz) für das Aufnehmermikrofon im Inneren des Geigenkorpus am besten geeignet. Die Verwendung von mehreren Mikrofonen im Geigenkorpus ist nicht sinnvoll.
- Für Aufnehmer im bzw. am Steg sehen wir keine sinnvollen Möglichkeiten. Im Falle der Geige wäre also mit zwei Aufnehmern zu arbeiten: Einem Mikrofon im Korpus im Bereich des Unterklotzes und einem Schwingungsaufnehmer auf dem Boden unterhalb des f-Loches auf der Stimmstockseite.

Pipa:

- Im Ergebnis der Frequenzkurvenmessungen und Modalanalysen erscheint ein an der Decke angebrachter Schwingungsaufnehmer im Bereich des Steges ca. 2 cm in Richtung Hals (ähnlich zum Gitarrenfall) sinnvoll.

Er-Hu:

- Die Ergebnisse der Modalanalyse lassen den Schluss zu, dass Aufnehmer zum einen als Mikrofon im Korpus und zwar in der Zylinderwand sinnvoll erscheinen. Als zusätzlicher Aufnehmer käme ein optisches System, das das Resonanzfell berührungslos abtastet in Betracht.

Guzheng :

- Die Verwendung von Schwingungsaufnehmern (neben Mikrofonen) erscheint in jedem Fall sinnvoll.
- Der Einbau in die Stege oder Sättel erscheint nicht angebracht.
- Der Boden ist offensichtlich der günstigere Ort für Schwingungsaufnehmer.
- Es sollten zwei Schwingungsaufnehmer jeweils in der Nähe der beiden Brückenkonstruktionen außerhalb der Bodenmitte zum Einsatz kommen.

Betriebszustandsanalyse

Die Betriebszustände der Instrumente wurden durch manuelle Anspiele mit verschiedenen Spieltechniken realisiert. Dabei kamen auch extreme Techniken, wie Nutzen der Instrumente als Percussionsinstrument oder "Slap-Techniken" zum Einsatz. In den folgenden Zusammenfassungen der Instrumente Gitarre, Geige und Pipa werden jeweils die maximal festgestellten Größen unabhängig von der Spielart angegeben.

Gitarre	Innenschall		Deckenschwingung / ms ⁻²	TA-Signal / V
	Schalldruck / Pa	Pegel / dB		
Maximum	142 *	140 *	1720	8,88
Minimum	0,005	48	0,35	0,0009
Ruhe	0,003	43	0,25	0,0005

Es wurden folgende Dynamikbereiche für die zu nutzenden Zustände der Gitarre nachgewiesen:

- Schalldruck im Korpus 97 dB
- Deckenschwingung 77 dB
- Signal Stegeinbau-TA 85 dB.

Geige	Innenschall		Deckenschwingung / ms ⁻²
	Schalldruck / Pa	Pegel / dB	
Maximum	51	128	300
Minimum	0,2	80	0,5
Ruhe	0,04	66	0,15

Es ergeben sich also folgende Dynamikbereiche für die Aufnehmersignalverarbeitung im Falle der Geige:

- Schalldruck im Korpus 62 dB
- Deckenschwingung 66 dB

Pipa	Innenschall		Deckenschwingung / ms ⁻²
	Schalldruck / Pa	Pegel / dB	
Maximum	550	140*	2700
Minimum	0,09	73	0,6
Ruhe	0,015	57,5	0,5

Es ergeben sich also folgende Dynamikbereiche für die Aufnehmersignalverarbeitung im Falle der Pipa:

- Schalldruck im Korpus 91 dB
- Deckenschwingung 74 dB
- Schalldruck im Korpus 80 dB
- Deckenschwingung 62 dB

Eigenschaften der eingesetzten Sensoren

- Miniaturmikrofone

Als Sensor für Messungen im Innenraum (Korpus) der Instrumente wurden zwei Miniaturmikrofon der Firmen Sennheiser und Primo verwendet. Die Messungen an Gitarre, Geige und anfänglich auch für die Pipa erfolgten mit der Sennheiser Mikrofonkapsel. Später wurden jedoch die Messungen auf das Primo Mikrofon umgestellt, da höhere Schalldruckpegel (bis 137 dB) mit geringen Verzerrungswerten messbar sind (Zum Vergleich, die Sennheiser Kapsel liefert 130dB mit 1% Klirrfaktor). Um nahe der Maximalbelastung verwendbare Parameter für die Miniaturkapseln ermitteln zu können wurde ein Kalibrator für diese Mikrofontypen entwickelt und angefertigt.

- Kontakt Tonabnehmer

Im Rahmen der Projektarbeit wurden neue Typen von Kontakttonabnehmern entwickelt. Diese arbeiten nach dem piezoelektrischen Prinzip und wurden in Anlehnung an messtechnische Beschleunigungssensoren mit seismischen Masselementen ausgestattet. Hierbei kommen unterschiedliche Gehäusematerialien (Holz, Glasfaser und Kohlefaser) sowie unterschiedliche Masselemente zum Einsatz. Dieser Ansatz wurde von uns gewählt, weil die Messungen der Korpuschwingungen mittels Beschleunigungsaufnehmern gute Ergebnisse lieferten.

- Stegeinbau Tonabnehmer

Analog zu den Tests an Kontakttonabnehmern sollen im Rahmen des Projektes auch Tests an verschiedenen Bauformen von Stegeinbautonabnehmern getestet werden. Hierzu soll unter anderem ein Prüfverfahren für die Produktionskontrolle solcher Tonabnehmer entstehen.

Signalverarbeitung der Sensorsignale

Die Verarbeitung der ortsoptimierten Sensorsignale und ermittelten Betriebsparameter stellt aufgrund des enormen Dynamikbereichs besondere Anforderungen, sowohl an die analoge, als auch die digitale Signalverarbeitung. Der in der analogen Domäne benötigte minimale Rauschpegel wird hierbei durch besonders rauscharme aktive Bauteile, optimiertes Layout, eine hochwertige Spannungsversorgung, etc. erreicht. Zu dem ist die Betriebsspannung so ausgelegt, dass eine mehr als ausreichend hohe Ausgangsspannung der verwendeten Vorverstärker realisiert ist.

Um auch beim Übergang in die digitale Domäne eine Einengung der Originaldynamik zu vermeiden werden DSP gesteuerte, kaskadierte Digital-Wandler verwendet. Hier wird das analoge Eingangssignal in zwei Wege mit unterschiedlicher Verstärkung aufgeteilt, die jeweils von einem AD-Wandler bearbeitet werden. Dadurch lässt sich eine Erweiterung des Dynamikbereichs erreichen, die fast dem Verstärkungsunterschied der beiden Signalwege entspricht. Aufgrund der hohen Anzahl der zu optimierenden Modellparameter erfolgt deren Bestimmung mit Hilfe eines genetischen Algorithmus [1]. Bei diesen Rechenvorschriften wird versucht das Optimum nach dem Vorbild der Evolution zu finden. Dazu werden mehrere konkurrierende Populationen von Signalverarbeitungsalgorithmen mit zunächst zufällig gewählten Parametern erzeugt. Jeder individuelle Algorithmus wird bezüglich der Nähe zum authentischen Klang bewertet. Danach werden die Parameter einer neuen Generation durch Kreuzen der Parameter aus der vorherigen Generation erzeugt. Hierbei kommen Methoden der Selektion ("survival of the fittest"), Mutation (seltene, zufällige Änderungen) und Rekombination (Mischen der Parameter unterschiedlicher Individuen) zur Anwendung. Anschließend erfolgt eine erneute Signalbearbeitung durch alle Individuen und Bewertung der Ergebnisse. Dieses Verfahren wird wiederholt, bis eine gewisse Abweichung vom Original unterschritten wird und somit ein authentischer Klang entsteht.

Literatur

- [1] Schwefel, H.P., Bäck, Th.: Evolutionary Computation, Vol. 1, No. 1, Pages 1-23 (2007)
- [2] Meyer, J.: Zur Dynamik und Schalleistung von Orchesterinstrumenten, Acustica 71 (1990), 277-286
- [3] Esper, A. : Hörbarkeit mikrozeitlicher Strukturen im Musiksignal, Systemische Musikwissenschaft Bd. 3, Verlag Peter Lang
- [4] DAGA 2011 Homepage, URL: <http://www.daga-tagung.de/2011>

Das Projekt wird mit Mitteln des BMWi aus dem Titel: ZIM gefördert.