



Reproduzierbarkeit in der Wissenschaft

Hintergründe und Erfahrungen

Sascha Spors

Universität Rostock, Institut für Nachrichtentechnik

Treffen des Fachausschusses virtuelle Akustik
Deutsche Gesellschaft für Akustik
15. November 2015, Berlin

Reproduzierbarkeit

- Grundanforderung an wissenschaftliche Experimente, Messungen und Analysen
- Macht ein wissenschaftliches Ergebnis erst glaubwürdig
- Fehlende Reproduzierbarkeit → Retraction Watch

Paradigmenwechsel in der Wissenschaft [Donoho, 1998]

'The idea is: An article about computational science in a scientific publication is not the scholarship itself, it is merely advertising of the scholarship. The actual scholarship is the complete ... set of instructions [and data] which generated the figures.'

Reproduzierbarkeit von Forschungsergebnissen?

Typische Arbeitsschritte in der akustischen Signalverarbeitung

1. Idee, Problemstellung
2. Mathematische Herleitungen, Algorithmus
3. Numerische Simulation
 - 3.1 Implementierung
 - 3.2 Daten, Messungen
4. Evaluation des Algorithmus
5. Veröffentlichung

Beispiel zur Reproduzierbarkeit

Sascha Spors, Frank Schultz, and Hagen Wierstorf. Non-smooth secondary source distributions in wave field synthesis. In German Annual Conference on Acoustics (DAGA), March 2015.

Non-Smooth Secondary Source Distributions in Wave Field Synthesis

Sascha Spors¹, Frank Schultz¹ and Hagen Wierstorf²

¹ Institute of Communications Engineering, Universität Rostock, Germany

² Assessment of IP-based Applications, Technische Universität Berlin, Germany

Email: Sascha.Spors@uni-rostock.de

Introduction

Wave Field Synthesis (WFS) is a well-established sound field synthesis (SFS) technique that uses a dense distribution of loudspeakers (secondary sources) arranged around an extended listening area. The physical foundation of WFS assumes a smooth contour on which the secondary sources are located. Practical systems are often of rectangular shape, which constitutes a non-smooth secondary source contour. The resulting effects on the synthesized sound field are investigated in this paper. In order to isolate the artifacts of one edge from other aspects, semi-infinite rectangular arrays are considered. It is shown that edges can result in considerable amplitude and spectral deviations. These results are supplemented by a case-study where an existing array is investigated.

Wave Field Synthesis

The physical background of SFS is given by the Helmholtz integral equation (HE) [1]. This fundamental acoustic principle states that the sound field in a region V is uniquely given by the pressure and its direction gradient on the region's boundary ∂V , that has to be smooth and simply connected. Furthermore the volume has to be free of sources and scattering objects. The straightforward application of the HE to SFS would require the usage of two types of loudspeakers realizing ideal monopole and dipole secondary sources. Various solutions have been developed for monopole-only SFS, for instance the single layer potential or equivalent scattering approach [2]. WFS applies a stationary-phase approximation to the HE to achieve monopole-only reproduction [3]. The applied approximations hold for large distances between the secondary sources and the listener and/or for high-frequencies. The synthesized sound field $P(\mathbf{x}, \omega)$ reads in the temporal spectrum domain [4]

$$P(\mathbf{x}, \omega) = \int_{\partial V} \int_{-\infty}^{\infty} -2i\alpha(\mathbf{x}_0) \frac{\partial S(\mathbf{x}_0, \omega)}{\partial n(\mathbf{x}_0)} G(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega) dA(\mathbf{x}_0) \quad (1)$$

for $\mathbf{x} \in V$ and $\mathbf{x}_0 \in \partial V$ and inward pointing normal. The desired sound field (primary/tertiary source) is denoted by $S(\mathbf{x}_0, \omega)$. $\alpha(\mathbf{x}_0)$ denotes a scalar function for the selection of active secondary sources, $G(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega)$ the Green's function and $D(\mathbf{x}_0, \omega)$ the secondary source driving function. For SFS the Green's function is realized by loudspeakers placed on ∂V . For two-dimensional synthesis the Green's function constitutes a line source and for three-dimensional a point source. Practical ex-

amples consist often of a contour ∂V embedded in a plane, ideally leveled with the ears of the listener. Instead of line sources, point sources are used resulting in a dimensionally mismatch. Such configurations employ so called 2.5-dimensional synthesis. In order to avoid the resulting artifacts, the effect of non-smooth secondary source contours is investigated for the two-dimensional case first. Due to the geometry of typical listening rooms, most loudspeaker arrays are of rectangular shape. Their edges violate the assumptions made on ∂V for the HE. In order to isolate the effects of an edge, a step-like transition from a linear secondary source contour with infinite length to a semi-infinite rectangular secondary source contour is performed in the next section.

Semi-Infinite Rectangular Secondary Source Distribution

The synthesized sound field for an infinitely long linear secondary source distribution located on the x -axis is given as [5]

$$P(\mathbf{x}, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} D(x_0, \omega) G(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega) dx_0 \quad (2)$$

with $\mathbf{x} = (x, y)^T$ and $\mathbf{x}_0 = (x_0, 0)^T$. In order to derive the sound field for a semi-infinite rectangular secondary source distribution two steps are performed: (i) truncation of the infinitely long secondary source distribution and (ii) superposition with a 90° rotated and truncated linear secondary source distribution. The first step is modeled by introducing the driving function with the Heaviside step function $v(x_0)$ [6]

$$P(\mathbf{x}, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} v(x_0) D(x_0, \omega) G(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0, \omega) dx_0 \quad (3)$$

A spatial Fourier transformation with respect to x_0 results in

$$\hat{P}(k_x, y, \omega) = \hat{D}(k_x, \omega) G(k_x, y, 0, \omega), \quad (4)$$

where k_x denotes the wavenumber and the subscript e quantifies for the semi-infinite case. The wavenumber-frequency spectrum $\hat{D}_e(k_x, \omega)$ of the truncated driving function is given as

$$\hat{D}_e(k_x, \omega) = \frac{1}{2\pi} (e^{-ik_x l} + \frac{1}{ik_x}) v_{\infty} D(k_x, \omega) \quad (5)$$

For the propagating part, the spectrum $\hat{G}(k_x, y, 0, \omega)$ of the Green's function is localized in $|y| < k_x$. This

- Artikel auf Webserver
 - Vortrag auf Speaker Deck
 - Implementierung auf GitHub
- DOI: 10.5281/zenodo.33662

Reproduzierbarkeit von Forschungsergebnissen?

Typische Arbeitsschritte für einen Hörversuch

1. Idee, Problemstellung
2. Design des Hörversuchs
3. Erzeugung von Stimuli
 - 3.1 Implementierung
 - 3.2 Daten, Messungen
4. Graphisches Benutzerinterface
5. Antworten der Versuchspersonen
6. Statistische Auswertung
7. Veröffentlichung

Beispiel zur Reproduzierbarkeit

Hagen Wierstorf, Perceptual Assessment of Sound Field Synthesis, 2014, Technische Universität Berlin.

PERCEPTUAL ASSESSMENT OF SOUND FIELD SYNTHESIS

vorgelegt von
Dipl.-Phys.
HAGEN WIERSTORF
geb. in Rotenburg (Wümme)

von der Fakultät IV – Elektrotechnik und Informatik
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften
– Dr. rer. nat. –

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Sebastian Möller
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Raake
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Sascha Spors
Gutachter: Prof. Dr. Steven van de Par

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 23. September 2014

Berlin 2014
D 83
CC BY 3.0 DE

- Dissertation
- Skripte und Daten

Reproduzierbarkeit

Einteilung der Reproduzierbarkeit [Stodden, 2013]

- Empirisch
- Mathematisch/Technisch (*'Computational'*)
 - Mathematik, Logik → Deduktiv
 - Statistische Analyse kontrollierter Experimente → Empirisch
 - Komplexe Simulationen, Analyse großer Datenbestände → Software, Daten
- Statistisch

Viele wissenschaftliche Erkenntnisse basieren wesentlich auf Daten/Software

- Mangelhafter interner Umgang mit Daten (Dokumentation, Versionsmanagement)
- Selten Veröffentlichung der Daten/Software (9% / 21% [Ioannidis, 2011])

Weltweites Interesse

- Diverse Konzepte und Studien [Stodden et al., Donoho et al., ...]
- Richtlinien bei Drittmittelgebern
 - NSF: Data Management Plan, *'expects investigators to share...data...software...'*
 - DFG: *'Umgang mit dem im Projekt erzielten Forschungsdaten'*
 - ...
- Richtlinien bei Zeitschriften/Konferenzen
 - Science: Data Handling Plan
 - Häufig Bereitstellung von Speicherplatz für zusätzliche Ressourcen (Daten, Code)
 - Noch selten als Voraussetzung für Publikation [Stodden et al. 2013]
- Workshops, Konferenzen
- Portale, BLOGs, ...

Ergebnisse aus Studien und Umfragen

Survey of the Machine Learning Community [Stodden 2010]

Vorbehalte (Daten/Code)

- Zeitlicher Aufwand für Aufbereitung und Dokumentation (54% / 77%)
- Beantwortung von Nutzeranfragen (34% / 52%)
- Fehlende Anerkennung/Incentives (42% / 44%)
- Potentielle Verwertbarkeit für Patente (-% / 40%)
- Gesetzliche Vorgaben, z.B. Copyright (41% / 34%)

Nutzen (Daten/Code)

- Unterstützung des wissenschaftlichen Fortschrittes (81% / 91%)
- Andere zum Teilen animieren (79% / 90%)
- Wertvolles Mitglied der Community sein (79% / 86%)
- Einen Standard für das Gebiet setzen (76% / 82%)
- Den Stellenwert des Gebiets verbessern (74% / 85%)

Wohin mit den Daten und Implementierungen?

Generische Repositorien

- GitHub
- Bitbucket
- ...

Portale/Repositorien für Reproducible Research

- Zenodo - Research. Shared.
- Research Compendia
- Reproducible Research
- ResearchGate

Lizenzmodelle

Open Source Lizenzen (Auswahl)

- GNU Public License (GPL)
- BSD License
- MIT License

Creative Commons Lizenzen (Auswahl)

- mit/ohne Namensnennung
- mit/ohne kommerzieller Nutzung
- mit/ohne Bearbeitung

Reproducible Research Standard (RSS) [Stodden, 2009]

- Text, Abbildung → Creative Commons (mit Namensnennung)
- Software → GPL, BSD, MIT
- Daten → Creative Commons (mit Namensnennung), public domain

Eigene Veröffentlichungen (Auswahl)

Software und Toolboxen

- SoundScape Renderer (2010)
- Audio Processing Framework (2012)
- Sound Field Synthesis Toolbox (2011)
- Two!Ears Modell (2014)
- Sound Field Analysis Toolbox (2011)
- RAZOR 9-DOF Tracker (2011)

Datenbanken

- KEMAR HRIRs und BRIRs (2011)
- Two!Ears Datenbank (2014)
- KEMAR Array BRIRs (2014)

Software, Daten und ergänzende Materialien zu Artikeln

- Spatial Audio BLOG (2012), (2010-2012)
- github.com/sfstoolbox und github.com/spatialaudio

Aktuelle Projekte und Ideen

- Open Educational Resources → Vorlesung Digital Signal Processing
- Reproducible Electronic Documents → Jupyter Notebooks
- Anleitung zu Reproducible Research in studentische Abschlussarbeiten
- Matthias Geier: Notizen zur Audiosignalverarbeitung

Schlussfolgerungen

Herausforderungen

- Aufwand bei der Dokumentation und Aufbereitung
- Verlust der Kontrolle über Daten/Software
- Eingeschränkte kommerzielle Verwertung

Vorteile

- Archivierung, Dokumentation und Wiederverwertbarkeit eigener Daten/Software
- Weniger Fehler in Software, Kontrolle und Erweiterungen durch Dritte
- Zitationen, Anerkennung
- Belebung des Forschungsgebietes

⇒ **Globaler Trend zum Teilen** (*'Shareconomy, Crowd Sourcing, ...'*)