

Optimierung der Position von Aktuatoren und Sensoren für ein aktives Gegenschallsystem

Uli Krause¹, Delf Sachau¹, Colin Hinze¹ und Martin Wandel²

¹ Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr

² Airbus Operations GmbH

Einleitung

Entwickler moderner Antriebskonzepte, beispielsweise Rolls-Royce, untersuchen für Kurz- bzw. Mittelstreckenluftfahrzeuge der Zukunft den Propellerantrieb. Dieser erzeugt multitonales Lärm, dessen tieffrequenter Anteil trotz passiver Schalldämmung in die Kabine eindringt. Um bei geringem Gewicht den Komfort zu steigern, werden aktive Gegenschallsysteme untersucht. Damit ein aktives System möglichst wenig Lautsprecher und Mikrofone benötigt, werden deren Positionen und Anzahl optimiert [2,4].

Versuchsumgebung

Abbildung 1 zeigt den Versuchsstand. Das Lautsprecherarray erzeugt den sogenannten Primärschall, der den Triebwerkslärm simuliert. Abbildung 2 zeigt die Kabine, die 90 Lautsprecher und den Messroboter, welcher mit 51 Messmikrofonen bestückt ist.

Es werden Störungen im Flugbetrieb im Versuchsstand durch folgende vier Maßnahmen nachgestellt. Erstens bis drittens eine Verschiebung der Mikrofone um 4 cm in drei Raumrichtungen. Viertens eine Drehung der Primärquelle um 10°[1]. Für jede Störung misst der Roboter an 51 Stellen in der Kabine (siehe Abb. 2) Primärfeld und Übertragungsstrecken. Zusammen mit dem ungestörten nominellen Fall liegen somit fünf Datensätze vor.

Von diesen 2601 Messstellen werden 363 als mögliche Positionen für die sogenannten Fehlermikrofone des aktiven Systems freigegeben. Diese sind in Abbildung 3 farblich markiert.

Die adaptive Steuerung des aktiven Systems minimiert für jede Frequenz die quadratische Kostenfunktion

$$J = \underline{e}^H (1 - \beta) \underline{e} + \underline{u}^H \beta \underline{u}, \quad (3)$$

mit dem Schalldruck \underline{e} an den Fehlermikrofonen, der Lautsprecheransteuerung \underline{u} und dem Leakage-Faktor β . Das hochgestellte H bedeutet hermitesch und der Unterstrich kennzeichnet eine komplexe Größe.

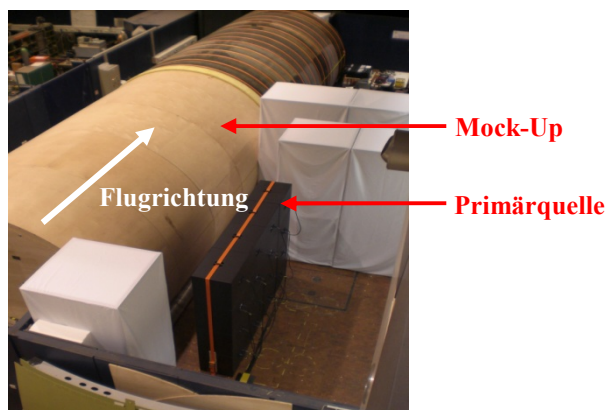


Abbildung 1: Der Versuchsstand mit Primärquelle

Ziel der Optimierung

Das Fehlerquadrat des Schalldrucks wird über die 691 Mikrofonpositionen des Monitorvolumens (siehe Abbildung 3) und die drei Frequenzen des multitonales Lärms aufsummiert.

Dazu werden alle fünf Fälle ausgewertet und der ungünstigste herangezogen. Nebenbedingung der Optimierung ist, dass maximal 60 Mikrofone eingesetzt werden und die Ansteuerung jedes Lautspechers einen vorgegebenen Grenzwert nicht überschreitet.

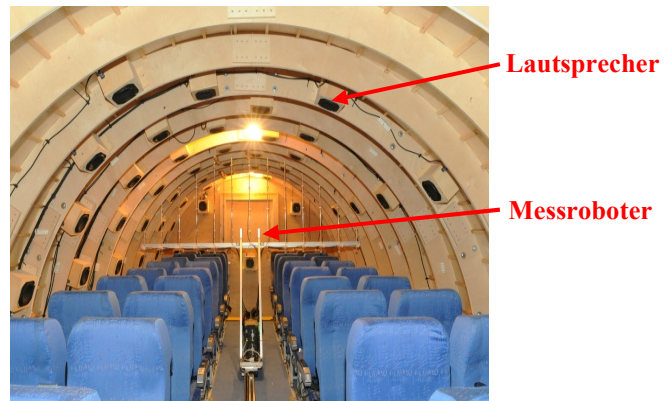


Abbildung 2: Innenraum des Versuchsstandes.

Methode

Das nichtlineare Problem wird mittels genetischer Optimierung (Matlab GA-Toolbox) gelöst. Hierbei wird für jedes sogenannte Individuum einer Population der Fitnesswert (Summe der Fehlerquadrate) ermittelt.

Das Individuum wird binär codiert, siehe Abbildung 4. Eine eins kennzeichnet verwendete Positionen. Für Lautsprecher stehen die ersten 90 und für Mikrofone die nächsten 363 Stellen. Die darauf folgenden Stellen erfassen die binär codierten Leakage-Faktoren β_1 , β_2 , β_3 für die drei Frequenzen.

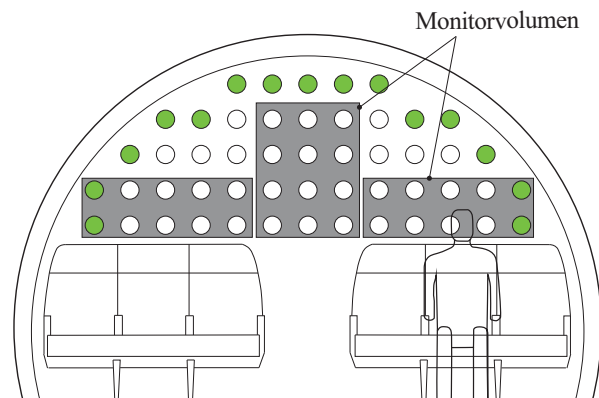


Abbildung 3: (grau)Monitorvolumen und (grün) Positionen an denen Fehlermikrofone zugelassen sind

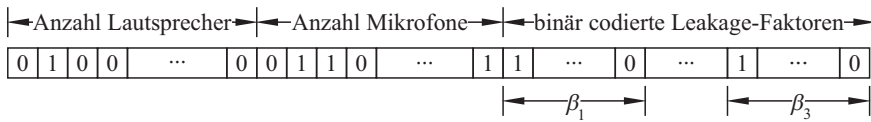


Abbildung 4: Binär codiertes Individuum

Ergebnisse

Für einen robusten Entwurf ergab sich aus der Optimierung ein aktives System mit 28 Lautsprechern und 60 Mikrofonen.

Abbildung 5 zeigt die Kastengrafik der mittleren Schalldruckpegelreduktion (Erwartungswert = blaue Linie). Der Kasten (grün) zeigt mit der oberen und unteren Kante die oberen und unteren Grenzen des 85%-Konfidenzintervalls.

Die horizontalen Linien außerhalb der Kästen zeigen die besten- bzw. schlechtesten erzielten Schalldruckpegelreduktionen aller fünf Fälle.

Für einen nominellen Entwurf ergab sich aus der Optimierung ein aktives System mit 29 Lautsprechern und 60 Mikrofonen.

Die Schalldruckpegelreduktion wird für den nominellen Entwurf ebenfalls für alle fünf Fälle bestimmt. Die schlechteste erzielte Schalldruckpegelreduktion des robusten Entwurfes ist um 5 dB besser als die des Nominellen. Die Schwankungsbreite ist im robusten Entwurf um 8 dB schmaler. Damit ist eine genauere Prognose der Schalldruckpegelreduktion möglich.

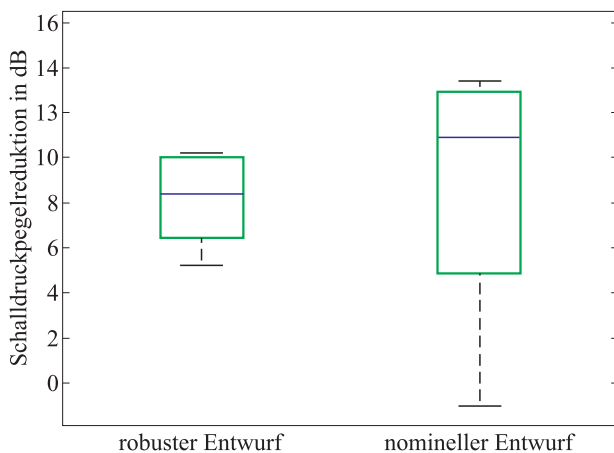


Abbildung 5: Vergleich der Entwürfe anhand der mittleren Schalldruckpegelreduktionen der fünf Datensätze im Monitorvolumen

Fazit

Die genetische Optimierung der Positionen von Sensoren und Aktoren unter Berücksichtigung von Störungen hat ein robustes Systemverhalten erzielt.

Der Mittelwert der Reduktion sinkt zwar, aber der Fall mit der kleinsten Schalldruckpegelreduktion ist größer als im nominellen Entwurf.

Literatur

- [1] Hinze, C.: Genetische Optimierung. Bachelor Thesis, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, 2014.

- [2] Kochan, K.; Sachau, D.: Robust active noise control in the loadmaster area of a military transport aircraft. *Journal of the Acoustical Society of America* 129 (5) (2011), 3011-3019.
- [3] Elliott, S.: *Signal Processing for Active Control*. Academic Press, London, 2001
- [4] Kochan, K.: *Robuste aktive Schallreduktion in Flugzeugen*. Dissertation, 2009.