

Vergleich von Mikrofonarrayverfahren zur Schallquellencharakterisierung

Gert Herold, Ennes Sarradj

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg, Lehrstuhl Technische Akustik, Email: gert.herold@b-tu.de

Einleitung

Stationäre Schallquellen können durch ihre Position, ihre Stärke (z. B. in Form des Schalldruckpegels in einer bestimmten Richtung und Entfernung zur Quelle), ihre Richtcharakteristik sowie ihre Kohärenz zueinander beschrieben werden.

Mithilfe von auf Mikrofonarraymessungen basierenden Verfahren kann neben der Bestimmung der Position der Schallquellen der durch sie abgestrahlte Schall auch quantitativ erfasst werden. Je nach verwendetem Modell für die Schallausbreitung werden hierfür bestimmte Annahmen getroffen. In der Anwendung wird hierbei zu meist davon ausgegangen, dass alle Quellen omnidirektional abstrahlen und unkorreliert sind.

Die in diesem Beitrag verglichenen Verfahren arbeiten im Frequenzbereich und basieren auf der Auswertung der Kreuzspektralmatrix (CSM).

Theorie

Beim klassischen Beamforming im Frequenzbereich wird die Phase der transformierten Mikrofon signale so verschoben, dass diese auf einen gewählten Punkt im Raum „fokussieren“, d. h. die Laufzeit zwischen Fokus punkt und Mikrofonen wird ausgeglichen. Dies wird für ein Gitter aus beliebig vielen verteilten Fokus punkten durchgeführt, sodass sich eine Quellkarte ergibt, die Aufschluss auf die Verteilung der Schallquellen gibt. Das so erhaltene noch recht grobe Ergebnis entspricht einer Faltung der tatsächlichen Quellverteilung mit einer Punktspreizfunktion (PSF) und kann mit Hilfe geeigneter Algorithmen verbessert werden.

Algorithmen

Für das DAMAS-Verfahren [1] wird ein Gleichungssystem aufgestellt, das die PSF aller Fokusgitterpunkte beinhaltet, und mittels eines Gauss-Seidel-Algorithmus gelöst, sodass sich eine entfaltete Quellkarte ergibt.

Der CLEAN-Algorithmus [2] sucht die Maxima aus dem mit Beamforming-Ergebnis und subtrahiert die jeweils zugehörige PSF.

CLEAN-SC [4] arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip, jedoch wird hier nicht die PSF, sondern mit dem gefundenen Maximum kohärente Anteile abgezogen.

Das Orthogonale Beamforming [3] nutzt eine Eigenwertzerlegung der CSM zur Bestimmung von Stärke und Position unkorrelierter Quellen.

Das vom Beamforming unabhängige Covariance Matrix Fitting [5] löst ein konvexes Optimierungsproblem, welches aus der CSM mit entfernter Hauptdiagonale und der Übertragungsmatrix von angenommenen Quell- zu den Mikrofonpositionen aufgestellt wird.

Referenz-Setup

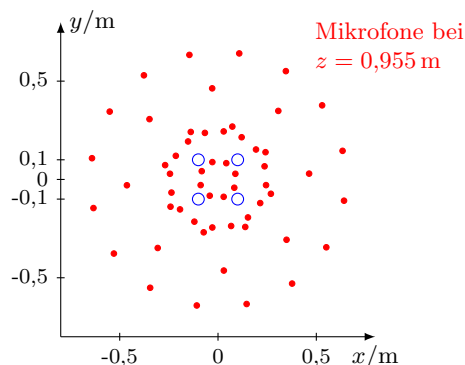


Abbildung 1: Schematische Draufsicht des verwendeten Versuchs- und Simulationsaufbaus. In rot sind die Mikrofone dargestellt; die blauen Kreise repräsentieren die Lautsprecher.

Der verwendete Aufbau (siehe Abb. 1) besteht aus vier Hochtönern, die im Abstand von 20 cm quadratisch angeordnet sind und unkorreliertes weißes Rauschen abstrahlen, mit einer Pegeldifferenz von je 6 dB zwischen den Lautsprechern (absteigend im Uhrzeigersinn). Das Array befindet sich 95,5 cm über den Lautsprechern, besteht aus 56 Mikrofonen und hat einen Maximaldurchmesser von 130 cm. Gemessen wurde über einen Zeitraum von 40 s mit einer Abtastfrequenz von 51200 Hz.

Für die ebenfalls durchgeführten Simulationen wurden Punktschallquellen mit Monopolcharakteristik betrachtet, die weißes Rauschen abstrahlen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden auf einem regelmäßigen kartesischen Fokusgitter von 0,6 m \times 0,6 m mit einer Auflösung von 2 cm berechnet. Für den quantitativen Vergleich wurden die Schalldrücke über einen Bereich von 4 cm um die jeweiligen Lautsprecherpositionen integriert.

Die Auswertung einer Messung mit unterschiedlich stark abstrahlenden Lautsprechern ist in Abbildung 2 exemplarisch dargestellt. Aufgetragen sind die mit den Verfahren DAMAS, CLEAN-SC und CMF errechneten Quellkarten für drei verschiedene Terzbänder. Gut sichtbar sind die vier Quellen. Die lauteste Quelle befindet sich rechts unten und wird in allen dargestellten Fällen korrekt gefunden. Unterschiede sind vor allem in Form und Ausbreitung der Quellen sichtbar, wobei CLEAN-SC verfahrensbedingt sehr klare Punktquellen detektiert. Die Integrationsbereiche sind mit schwarzen Kreisen gekennzeichnet und die zugehörigen aufsummierten Terzpegel darunter aufgetragen.

Abbildung 3 zeigt das Terzspektrum an den vier Integrationsbereichen für alle Verfahren, wobei die Anord-

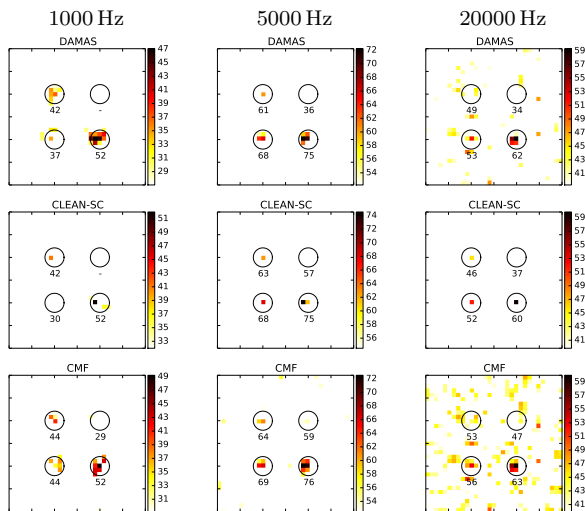


Abbildung 2: Quellkarten der Terzbänder bei 1 kHz, 5 kHz und 20 kHz für drei Verfahren. Messung mit vier Lautsprechern mit je 6 dB Pegeldifferenz (alle Werte in dB).

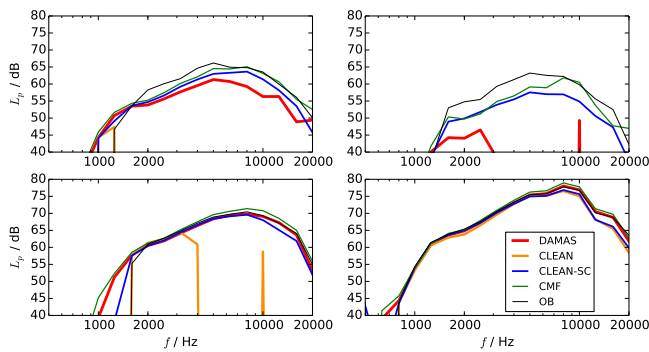


Abbildung 3: Terzspektren integriert über einen Bereich von 4 cm um den Quellmittelpunkt. Lautsprecher mit 6 dB Pegeldifferenz.

nung der Diagramme der der Quellen entspricht. Es ist erkennbar, dass nur die stärkste Quelle von allen Verfahren problemlos gefunden wird. Das CLEAN-Verfahren versagt bei allen Sekundärquellen. Die schwächste Quelle kann vom DAMAS-Verfahren nicht mehr korrekt erkannt werden. Generell stimmen die ermittelten Pegel der unterschiedlichen Verfahren nicht immer überein. Dieses Phänomen tritt auch bei der Auswertung rein simulierter Daten auf, wie aus Abb. 4 deutlich wird. Dargestellt ist der Fall vier gleichstark abstrahlender Quellen. Das CLEAN-Verfahren berechnet über den betrachteten Frequenzbereich stets einen Pegel, der signifikant unter dem erwarteten (grau gestrichelte Linie) liegt. Die anderen Verfahren liegen bei Frequenzen ab 3 kHz wesentlich näher am erwarteten Ergebnis, aber auch hier treten Abweichungen von bis zu 2 dB auf. Bei tiefer werdenden Frequenzen arbeiten die meisten Verfahren im hier betrachteten Referenzfall nicht mehr zuverlässig. Zunächst versagt das Orthogonale Beamforming, dann CLEAN-SC und schließlich DAMAS. CMF ist hier bis zum niedrigsten betrachteten Terzband bei 500 Hz stabil.

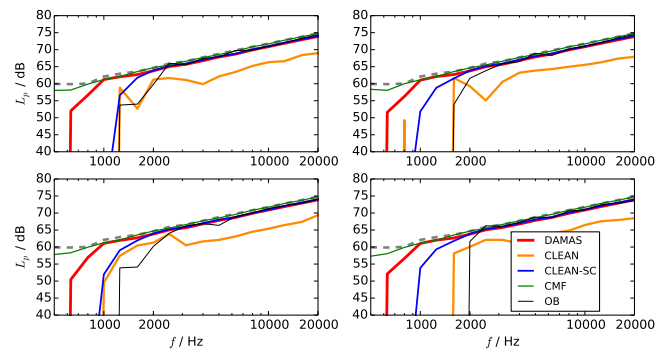


Abbildung 4: Terzspektren integriert über die Quellbereiche. Simulierte Quellen mit gleichem Pegel; die gestrichelte Linie zeigt den tatsächlich erwarteten Wert.

Zusammenfassung

Um Mikrofonarrays als präzises Messinstrument für die Charakterisierung von Schallquellen verwenden zu können, müssen die verarbeitenden Verfahren ein exaktes und eindeutiges Ergebnis für eine gegebene Konfiguration liefern. In diesem Beitrag wurden anhand einer Beispielanwendung Unterschiede verschiedener vorhandener Verfahren aufgezeigt, die damit nicht in jedem Fall ein verlässliches Ergebnis liefern. Der berechnete Schalldruckpegel weicht je nach verwendetem Algorithmus, untersuchtem Frequenzband und Dynamikbereich der Quellpegel vom tatsächlichen Schalldruckpegel ab. Die möglichen Einflussparameter können jedoch bei weitem nicht durch den hier untersuchten Spezialfall abgebildet werden. Um Aussagen zur Verlässlichkeit eines Verfahrens bei Anwendung auf ein beliebiges gegebenes Problem machen zu können ist daher eine systematische Parametervariation und eine Definition von Qualitätskriterien notwendig.

Literatur

- [1] T.F. Brooks & W.M. Humphreys: A deconvolution approach for the mapping of acoustic sources (DAMAS) determined from phased microphone arrays. *Journal of Sound and Vibration* (2006), 294(4–5), 856–879
- [2] J. Högbom: Aperture synthesis with a non-regular distribution of interferometer baselines. *Astronomy and Astrophysics Supplement* (1974), 15(3), 417–426
- [3] E. Sarradj: A fast signal subspace approach for the determination of absolute levels from phased microphone array measurements. *Journal of Sound and Vibration* (2010), 329(9), 1553–1569
- [4] P. Sijtsma: CLEAN based on spatial source coherence. *International Journal of Aeroacoustics* (2007), 6(4), 357–374, 2007
- [5] T. Yardibi, J. Li, P. Stoica, & L. N. Cattafesta: Sparsity constrained deconvolution approaches for acoustic source mapping. *The Journal of the Acoustical Society of America* (2008), 123(5), 2631–2642