

Kurzfassung der Dissertation:

Bayes'sche Lernverfahren für lineare und nichtlineare akustische Modelle mit Anwendungen in der Freisprechkommunikation

von

Sarmad Malik, 4. Juli 2012

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einkanaligen, mehrkanaligen, linearen und nichtlinearen Fällen der akustischen Echokompensation. Basierend auf einer geeigneten Modellbildung werden Schätzverfahren hergeleitet und implementiert, die ihre praktische Anwendung in Geräten mit Freisprecheinrichtung finden. Insbesondere werden hierbei einkanalige und mehrkanalige Darstellungen für lineare akustische Systeme sowie pseudo-mehrkanalige und Kaskadenmodelle für die einkanalige nichtlineare akustische Echokompensation im Frequenzbereich vorgestellt. Im nichtlinearen Fall lässt sich das Beobachtungsmodell um eine nichtlineare Abbildungsfunktion erweitern, die das Verhalten des Lautsprechers explizit berücksichtigt. Die Abbildung wird durch eine endliche Reihenentwicklung und ihre dazugehörigen Koeffizienten modelliert. Die separate Behandlung der nichtlinearen Koeffizienten und des Echopfads führt so zu einem Kaskadenmodell, während das Zusammenfassen beider Größen eine pseudo-mehrkanalige Darstellung ergibt.

Die vorgestellten Algorithmen zur Echokompensation werden mit Hilfe Bayes'scher Lernverfahren hergeleitet, die eine Beschreibung der Modellgrößen entweder als Zufallsvariablen oder aber als unbekannte deterministische Parameter ermöglichen. Auf diese Weise können *a priori* Annahmen bezüglich des zugrunde liegenden physikalischen Prozesses in die resultierenden adaptiven Algorithmen integriert werden. Durch die Erweiterung des Beobachtungsmodells um ein Markov-Modell erster Ordnung für die betrachteten zeitvarianten Zufallsvariablen, ergeben sich Strukturen eines Zustandsraummodells. Die eigentliche Schätzung der Bayes'schen Modellgrößen kann dann mit Hilfe des Expectation-Maximization-Algorithmus geschehen, der eine gemeinsame optimale Schätzung, sowohl der Zustände als auch der Parameter im Maximum-Likelihood-Sinne ermöglicht. Die in dieser Arbeit hergeleiteten Algorithmen zur Echokompensation enthalten damit einen Expectation-Schritt in dem die Posterior-Verteilung, d.h. der Mittelwert und die Kovarianz, der Zufallsgrößen geschätzt wird und einen Maximization-Schritt zur Punktschätzung der verbleibenden deterministischen Modellparameter. Im Fall von mehreren betrachteten Zufallsvariablen ergibt sich ein iteratives Variational-Bayes'sches Lernverfahren im Expectation-Schritt. Allgemein führt die Schätzung von vollständigen Posterior-Verteilungen der Zustände zu Lösungen, die robust gegen Ausreißer und Overfitting sind. Durch geeignete Approximationen und das Diagonalisieren der Frequenzbereichsverfahren ergeben sich letztendlich stabile Algorithmen, die einen geringen Rechenaufwand aufweisen.

Ein weiterer Teil der Arbeit befasst sich mit der Erweiterung der entwickelten Algorithmen um eine Bayes'sche Postfilter-Stufe zur Unterdrückung des Restechos und zur Verbesserung des Nutzsignals des lokalen Sprechers. Die Herleitung der Bayes'schen Postfilter basiert dabei auf der Optimierung geeigneter Kostenfunktionen, die marginalisiert werden bezüglich der geschätzten Posterior-Verteilung. Die vorgestellten Postfilter verwenden schließlich die bereits geschätzten Posterior-Verteilungen der vorherigen Zustandsraumschätzung, um so ganzheitliche Bayes'sche Algorithmen zur optimalen Echokompensation zu erhalten.

Im Laufe dieser Arbeit wurde eine Klasse Bayes'scher Verfahren zur Echokompensation hergeleitet, die je nach verwendetem Beobachtungsmodell unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Die umfangreichen Auswertungen mit realen Sprachsignalen und weißem Rauschen bei unterschiedlich starken Nichtlinearitäten, sich verändernden Echopfaden und kontinuierlichem Gegensprechen zeigen die Stärken der jeweiligen Algorithmen.