

Ein Lernprogramm für Betragsfrequenzgänge

Peter Casapicola, Bernhard Geiger

Signal Processing and Speech Communication Laboratory,
Graz University of Technology

Zusammenfassung—Das „Magnitude Response Learning Tool“ soll das Erlernen einer intuitiven Beziehung zwischen Pol-/Nullstellendiagramm und Betragsfrequenzgang unterstützen. Ziel ist es, aus dem Pol-/Nullstellendiagramm eines vorgegebenen Filters dessen Betragsfrequenzgang mit möglichst geringer Abweichung zum Originalbetragsfrequenzgang zu schätzen. Das Lerntool ist ein MATLAB-Skript mit grafischer Benutzerschnittstelle.

I. BESCHREIBUNG DER GRAFISCHEN BENUTZERSCHNITTSTELLE

In Abbildung 2 ist die grafische Benutzerschnittstelle zu sehen. Das wichtigste Element ist das Betragsfrequenzdiagramm (G): Nach dem Start einer neuen Runde wird in diesem Feld bei jedem Klick der linken Maustaste eine Stützstelle des geschätzten Betragsfrequenzdiagramms (rote Kurve) gesetzt. Die Stützstellen werden als rote Kreuze („+“) dargestellt. Der Betragsfrequenzgang wird zwischen den Stützstellen interpoliert. Ein Klick auf die rechte Maustaste löscht den zuletzt gesetzten Punkt.

Befindet sich der Mauszeiger über diesem Feld, wird der Standard-Pfeilcursor durch einen Fadenkreuz-Cursor ersetzt. Die Mauskoordinatenanzeige (x: / y:) gibt die aktuelle Position des Mauszeigers im Betragsfrequenzdiagramm an.

Nach Klick des Auswerteknopfs (oder Drücken der Enter-Taste) wird zusätzlich zum geschätzten der tatsächliche Betragsfrequenzgang als blaue Kurve, sowie die Extrema eingeblendet. Globale Maxima (immer normiert auf 1) sowie Minima werden durch ein blaues „o“ lokale Maxima und Minima werden durch einen grünen Stern „*“ gekennzeichnet.

Die weiteren Elemente der grafischen Benutzerschnittstelle sind:

- (A) Das Pol-/Nullstellendiagramm des vorgegebenen Filters. Polstellen sind als „x“ Nullstellen als „o“ dargestellt.
- (B) Auswahl der Schwierigkeitsstufe. Es können vier Schwierigkeitsstufen ausgewählt werden. Diese sind jeweils in acht Untergruppen mit unterschiedlichen Filtertypen unterteilt. Vor jeder Runde wird die aktuelle Untergruppe zufällig ermittelt. Die Auswahl der Schwierigkeitsstufe ist während einer laufenden Runde (zwischen Klick auf „Start“ und „Auswertung“ gesperrt. Somit ist es nicht möglich, während einer laufenden Runde die Schwierigkeitsstufe zu ändern. In allen Schwierigkeitsstufen wird der geschätzte Betragsfrequenzgang 2π -periodisch fortgesetzt. Da in den Schwierigkeitsstufen *DSP Rookie* und *DSP Intermediate* nur reelle Systeme verwendet werden, erfolgt hier ebenfalls eine symmetrische Ergänzung der Frequenzantwort.

Dieses Tool wurde im Zuge einer Bakkalaureatsarbeit erstellt. V0.1 © 2013

- (C) Startknopf; Ein Druck auf diesen Knopf startet einen neuen Durchgang.
- (D) Dieses Kontrollfeld dient zum Ein- bzw. Ausschalten des automatischen Feedbacks, siehe Abschnitt III „Datenverwaltung“.
- (E) Auswertung des eingestellten Betragsfrequenzgangs. Dieser Knopf wird erst nach Drücken des Startknopfs aktiv und wird inaktiv, sobald eine Auswertung durchgeführt wurde. Die Auswertung wird auch durch Betätigen der Enter-Taste gestartet

Auf die Ergebnisanzeige (F) wollen wir nun etwas genauer eingehen: Sie enthält die wesentlichen Resultate der Auswertung. Die Ergebnisse werden nach Klick auf den Auswerteknopf ermittelt.

- Schätzfehler: Der Schätzfehler gibt die Abweichung des gegebenen und geschätzten Betragsfrequenzgangs der aktuellen Runde an. Für eine detaillierte Beschreibung siehe Abschnitt II „Auswertungsverfahren und Ergebnisbewertung“.
- Interpolationspunkte: Dieses Feld zeigt die Anzahl der gesetzten Punkte des Betragsfrequenzgangs an.
- Runde: Anzeige der aktuellen Rundenzahl.
- Mittlerer Schätzfehler: Der mittlere Schätzfehler ist der Mittelwert der Schätzfehler aller Runden.
- Globales Maximum/Minimum: Diese Felder geben an, ob das globale Maximum/Minimum richtig („OK“) oder falsch („Fail“) geschätzt wurde.
- # Maxima/Minima: Diese Anzeige enthält die Anzahl der globalen und lokalen Maxima des vorgegebenen sowie des geschätzten Betragsfrequenzgangs.

Zusätzlich zu den oben aufgelisteten grafischen Elementen stehen in der Menüleiste noch zwei weitere Steuerelemente zur Verfügung: Mit „Beenden“ kann das Lerntool beendet werden, über die „Hilfe“ wird diese Bedienungsanleitung als PDF-Dokument in einem Standard-PDF-Viewer geöffnet.

II. AUSWERTUNGSVERFAHREN UND ERGEBNISBEWERTUNG

Eines der Bewertungskriterien für die korrekte Schätzung des Betragsfrequenzgangs einer Runde ist der Schätzfehler σ_e^2 .

Je kleiner dieser Wert ist, desto besser wurde der Betragsfrequenzgang geschätzt.

Ausgangspunkt des Fehlermodells ist folgende Struktur:

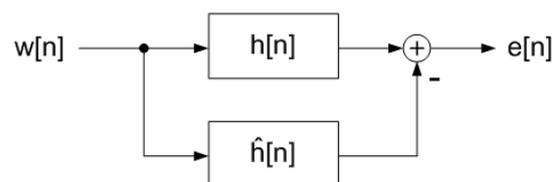


Abbildung 1. Fehlermodell

In diesem Fehlermodell entspricht $h[n]$ der Impulsantwort des geschätzten und $\hat{h}[n]$ der Impulsantwort des vorgegebenen Filters.

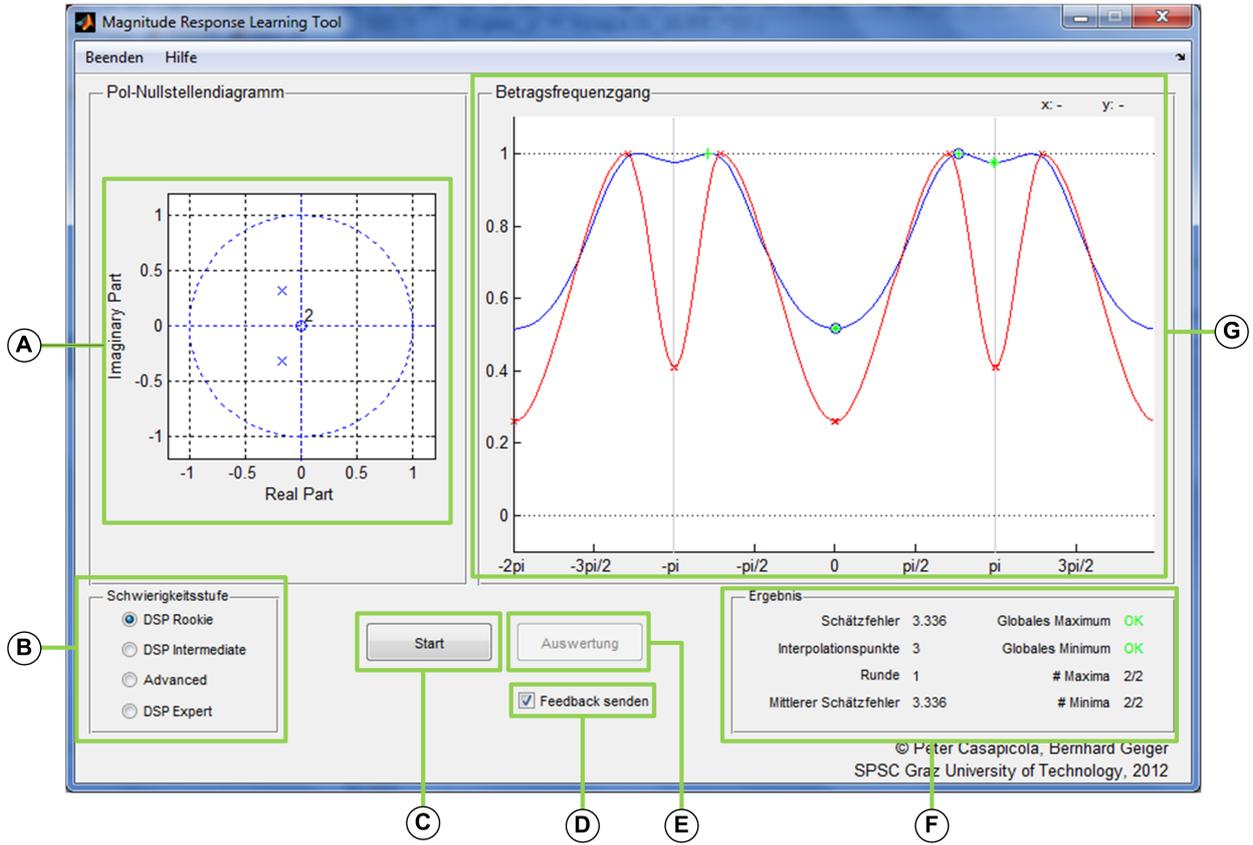


Abbildung 2. Grafische Benutzerschnittstelle

Die Bestimmung des Schätzfehlers erfolgt durch numerische Integration der Abweichung von geschätztem Frequenzgang $H(e^{j\theta})$ zu gegebenem Frequenzgang $\hat{H}(e^{j\theta})$.

$$\Delta H(e^{j\theta}) = |H(e^{j\theta})| - |\hat{H}(e^{j\theta})| \quad (1)$$

Es wird die Annahme getroffen, dass beide Filter denselben Phasengang φ aufweisen:

$$\varphi = \angle \hat{H}(e^{j\theta}) = \angle H(e^{j\theta}) \quad (2)$$

Unter der Annahme dass das Filter mit einem weißen Rauschsignal $w[n]$ gespeist wird, folgt für σ_e^2

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |H(e^{j\theta}) - \hat{H}(e^{j\theta})|^2 d\theta \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} ||H(e^{j\theta})|e^{j\varphi} - |\hat{H}(e^{j\theta})|e^{j\varphi}|^2 d\theta \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \underbrace{|e^{j\varphi}|^2}_{=1} ||H(e^{j\theta})| - |\hat{H}(e^{j\theta})||^2 d\theta \quad (5)$$

III. DATENVERWALTUNG

A. Datenserver

Zur statistischen Auswertung werden die Ergebnisse der einzelnen Runden anonym an einen TU-Server übermittelt, sofern das Auswahlkästchen "Feedback senden," aktiviert wurde. Um diese Daten zu personalisieren wird beim erstmaligen Start des Lerntools jedem/jeder Benutzer/in eine zufällig

generierte Identifikationsnummer zugewiesen. Die gesendeten Daten dienen zur statistischen Erfassung von Nutzung und Lernfortschritt der Benutzer/innen.

B. Lokale Datenspeicherung

Zusätzlich zur Serverübertragung werden die Ergebnisse lokal in der Datei *results.csv* in CSV-Format gespeichert. Die Datei befindet sich unter Windows im User-Verzeichnis im Ordner */Documents/MagResLTUserData/* bzw. */Eigene Dokumente/MagResLTUserData/*. Unter Linux und Mac befinden sich die Daten im Home-Verzeichnis unter */MagResLTUserData/*.

IV. SYSTEMVORAUSSETZUNGEN

Zum Ausführen des Lerntools wird MATLAB ab Version 7.0 sowie zur Anzeige des Hilfe-Dokuments ein PDF-Leseprogramm benötigt.