

## 1 MATLAB Aufgabe 1. Erstellt: Thanassis Lykartsis, 11.05.2012

Es wird eine gemessene Raumimpulsantwort des Raumes HFT 616 der TU Berlin bereitgestellt (Datei *impulsantwort.wav* in Downloadbereich). Die Abtastrate  $f_s$  beträgt 44100 Hz; die normalisierte Impulsantwort hat eine Länge von 2 Sekunden. Schreiben Sie ein Skript (oder eine Funktion) in Matlab, um aus der Impulsantwort folgende raumakustische Parameter zu extrahieren:

1) Die Nachhallzeit  $RT_{60}$  durch Rückwärtsintegration der quadrierten Impulsantwort (Schröder Methode nach [2]), Gl. (1). Die oben genannte Gleichung muss diskretisiert werden, um in MATLAB berechnet werden zu können. **(3 Punkte)**

$$R(t) = \int_t^\infty h^2(t)dt = \int_0^\infty h^2(t)dt - \int_0^t h^2(t)dt \quad (1)$$

*Hinweis:* Gl. (1) kann auch in Pegelform umgestellt werden, um besser darstellbare Ergebnisse zu bekommen. In diesem Fall spricht man von der Energy Decay Curve (EDC, siehe 2). Erzeugen und plotten Sie die EDC in MATLAB.

$$EDC(t) = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{\int_t^\infty h^2(t)dt}{\int_0^\infty h^2(t)dt}\right) \quad (2)$$

Wenn ein Pegelabfall von 60 dB nicht abzulesen ist um  $T_{60}$  zu berechnen, ist es empfehlenswert, die  $T_{20}$  oder  $T_{30}$  abzulesen und daraus auf die  $T_{60}$  mittels Multiplikation (entsprechend mit  $3 \cdot T_{20}$  oder  $2 \cdot T_{30}$ ) zu schließen. Die gegebene Impulsantwort ist nicht laufzeitbefreit, was heißt, dass man ein Kriterium für den Beginn des Direktschalls setzen muss, um die Nachhallzeit richtig berechnen zu können. Das kann z. B. ein Energiekriterium (*30 dB vor dem Minimum/Maximum*) oder ein graphisches Kriterium (*Erste Gipfel vor dem Maximum/Minimum*) sein.

2) das Bassverhältnis BR (3). **(2 Punkte)**

$$BR = \frac{T_{125Hz} + T_{250Hz}}{T_{500Hz} + T_{1000Hz}} \quad (3)$$

*Hinweis:* Um die in Gleichung 3 benötigten Nachhallzeiten zu erhalten, muss die Impulsantwort vor Berechnung der Nachhallzeit in Oktavbändern gefiltert werden. Für die Filterung kann ein IIR-Filter benutzt werden (z.B. mit Hilfe der Matlab Funktion *butter()*) oder der DSP-System Toolbox von Matlab). Für ein Oktavfilter der Mittenfrequenz  $f_m$  Hz gilt  $f_m = \sqrt{(f_u \cdot f_o)}$ , wobei  $f_u$  und  $f_o$  die untere und obere Grenzfrequenz (-3dB Frequenz) des Filters sind. Weiterhin gilt  $f_o = 2 \cdot f_u$  (Siehe [1]). Die Filterordnung sollte mindestens 4 betragen.

3) das Klarheitsmaß  $C_{80}$  (4). (1 Punkt)

$$C_{80} = 10 \cdot \log_{10} \frac{E_{80}}{E_{\infty} - E_{80}} dB = 10 \cdot \log_{10} \frac{\int_0^{0.08} h^2(t) dt}{\int_{0.08}^{\infty} h^2(t) dt} dB \quad (4)$$

4) und das Deutlichkeitsmaß  $C_{50}$  (5). (1 Punkt)

$$C_{50} = 10 \cdot \log_{10} \frac{E_{50}}{E_{\infty} - E_{50}} dB = 10 \cdot \log_{10} \frac{\int_0^{0.05} h^2(t) dt}{\int_{0.05}^{\infty} h^2(t) dt} dB \quad (5)$$

*Hinweis:* Die in Gleichungen 4 und 5 auftretenden Energien ( $E_{\infty}$ ,  $E_{50}$ ) sind die Gesamtenergie des Signals bzw. die Energie nach den ersten  $t$  ms bis zum Ausklingen der Impulsantwort. Sie können aus der Impulsantwort mit Quadratur und Integration, unter Berücksichtigung der richtigen Sampleanzahl gewonnen werden. Eine Filterung ist auch hier erforderlich ([3, S. 192])

5) Der Raum HFT 616 hat die Abmessungen von 6x4x3m. Berechnen Sie anhand der gegebenen Daten und die Nachhallzeiten  $T_{60}$  für die vier verschiedene Oktavbänder (125, 250, 500 und 1000 Hz) aus Aufgabenteil 2) die Absorptionsgrade  $\alpha_i$  mit Nutzung der Sabine'schen Formel (6). (2 Punkte)

$$T_{60} = 0,163 \frac{V}{\alpha \cdot S} \quad (6)$$

6) Vergleichen Sie die Nachhallzeiten für die vier Oktavbänder aus Aufgabenteil 2) mit den Empfehlungen aus der DIN Norm 18041 (siehe Downloadbereich) und diskutieren Sie kurz die Ergebnisse. (1 Punkt)

7) Berechnen Sie für diesen Raum die Schalldruckpegelverteilung (Direktfeld und Diffusfeld) einer omnidirektionalen Schallquelle an der Stirnseite des Raums mit 80 dB Schallleistungspegel und plotten Sie die Verteilung im Raum farbkodiert über den Grundriss des Raums. (3 Punkte)

**Abgegeben werden muss (dort wo es jeweils relevant ist):**

- 1) Eine kurze Beschreibung des raumakustischen Parameters und der zu berechnenden Größen (Informationen können der beigefügten Literatur entnommen werden).
- 2) Das Ergebnis der Berechnung als Zahl und falls erforderlich die benutzte Formel.
- 3) Der geschriebene Code, sowie die verwendete und generierte Grafiken. (Der MATLAB Code muss dokumentiert werden, so dass die Rechenschritte nachvollziehbar sind).
- 4) Eine kurze Diskussion der Ergebnisse.

**Gesamtpunktzahl: 13**

Der Übungsabgabetermin ist der **Freitag, 7. Juni**. Die generierte .m Dateien (Skripte oder Funktionen) wie der schriftliche Teil als .pdf Datei müssen in eine .zip Archivdatei mit der Namenskonvention

*Name\_1\_Name\_2\_Aufgabe\_1.zip* komprimiert werden und an die E-mail Adresse:

*alykartsis@mail.tu-berlin.de*

bis 12:00 Uhr am Abgabentag verschickt werden.

Die benötigten MATLAB-Funktionen sind: *plot()*, *sum()*, *cumsum()*, *int()*, *fft()*, *semilogx()*, *abs()*, *log10()*, *wavread()*, *cumtrapz()*, *trapz()*, *filter()*, *butter()*, *meshgrid()*, *imagesc()*, *find()*

## Literatur

- [1] Möser, M (2007): *Technische Akustik*. 7. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer.
- [2] Schroeder, M R (1965): „New method of measuring reverberation time.” In: *J. Acoust. Soc. Am.*, 37 S. 409–412.
- [3] Ahnert, Wolfgang und Hans-Peter Tennhardt (2008): „Raumakustik.” In: Stefan Weinzierl (Hrg.): *Handbuch der Audiotechnik*, 1. Auflage, Kap. 5. Berlin Heidelberg: Springer, S. 181-266