

1 MATLAB Aufgabe 1. Erstellt: Thanassis Lykartsis, 11.05.2012, aktualisiert: Rick Plescher, 28.04.2014

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.

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

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 [5, vgl.]. 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. Verwenden Sie das grafische Kriterium: *Erster Gipfel vor dem Maximum/Minimum*.

(3 Punkte)

2) das Bassverhältnis BR (3).

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

Hinweis: Um die in Gleichung 3 benötigten Nachhallzeiten zu erhalten, muss die Impulsantwort vor Berechnung der Nachhallzeit in Oktavbändern gefiltert werden. Für die Filterung soll ein IIR-Filter benutzt werden (mit Hilfe der Matlab Funktion *butter()*). 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 des Butterworth-Filter soll 3 sein.

(2 Punkte)

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_{∞} , 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 $6 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (x, y, z). 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 α_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 (1, 0; 3, 0; 0) mit 80 dB Schallleistungspegel und plotten Sie die Verteilung im Raum farbkodiert über den Grundriss des Raums. (3 Punkte)

Abgegeben werden muss:

1) Ein schriftliches Protokoll mit einer kurzen Beschreibung der Aufgabenstellung und dem eigenen Lösungsweg.

Insbesondere ist auf die Einhaltung gängiger Formalitäten zu achten (Inhaltsverzeichnis, Abbildungsverzeichnis, Literaturverzeichnis). Jede Aufgabe soll mindestens mit einem Abschnitt im Protokoll enthalten und bearbeitet sein. Informationen zu den raumakustischen Parametern und der zu berechnenden Größen können der beigefügten Literatur entnommen werden.

2) Der geschriebene Code, sowie die verwendeten und generierten Grafiken.

Der MATLAB Code muss dokumentiert werden, so dass die Rechenschritte nachvollziehbar sind. Außerdem soll die Ausführbarkeit der Skripte sichergestellt werden (Ein nicht ausführbares Skript bekommt 1 Punkt Abzug). Des weiteren ist darauf zu achten das die geforderten Parameter folgende Variablennamen erhalten (und im WORKSPACE existieren):

- hRir: Impulsantwort von HFT 616 nicht Laufzeit befreit
<Anzahl der Samples,1 double>
- hRirCut: Impulsantwort von HFT 616 Laufzeit befreit
<Anzahl der Samples,1 double>
- energyDecayCurve: Energy Decay Curve aus der Impulsantwort des HFT 616
<Anzahl der Samples,1 double>
- RT60,RT30,RT20: Nachhallzeit HFT (jeweils)
<1,1 double>
- bassRatio: Bassverhältnis des Raumes
<1,1 double>
- reverberationTimeOctaves: Nachhallzeit der Oktaven mit $f_m = 125 \text{ Hz}, 250 \text{ Hz}, 500 \text{ Hz}, 1000 \text{ Hz}$
<1,4 double>
- C80: Klarheitsmaß im Raum HFT 616
<1,1 double>
- C50: Deutlichkeitsmaß im Raum HFT 616
<1,1 double>
- absCoeff: Absorptionsgrade der vier verschiedenen Oktavbänder
<1,4 double>

Gesamtpunktzahl: 13

Der Übungsabgabetermin ist der **Freitag, 6. Juni**. Die generierte .m Dateien (Skripte oder Funktionen) wie der schriftliche Teil als .pdf Datei müssen in eine .zip Archivdatei mit der Namenskonvention *Gruppe_Gruppennummer_Aufgabe_1.zip* komprimiert werden und an die E-mail Adresse:

rick.plescher@mailbox.tu-berlin.de

bis 12:00 Uhr am Abgabentag verschickt werden.

Womöglich benötigte MATLAB-Funktionen: *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.
- [4] DIN 18041 (2004): *Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, Berlin: Beuth, Mai 2004.
- [5] DIN EN ISO 3382-1 (2009): *Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 1: Aufführungsräume*, Berlin: Beuth, Oktober 2009.