

Mobilná aplikácia na výpočet akustických difúzorov

Oliver Béreš

3AIB, 2017 – 2018

Abstrakt: Práca je zameraná na umožnenie zručnejším ľuďom v nie veľmi priaznivej finančnej situácii si vyrobiť svoj vlastný akustický difúzor, ktorého ceny v obchodoch sú veľmi vysoké. Aplikácia taktiež umožňuje výrobu akustického difúzora podľa vlastných potrieb (či už ohľadom veľkosti, dostupných materiálov alebo frekvencie, na kt. ho chceme navrhnuť). Má jednoduché ovládanie a mnoho výhod oproti už existujúcim počítačovým aplikáciám.

Kľúčové slová: akustický difúzor, akustika, QRD, 2D QRD, Skyline

Zoznam skratiek a značiek

c – rýchlosť zvuku (m/s), obvykle 343m/s

N – počet šachiet difúzora (alebo hranolov v 1 rade), prvočíslo

s – sekvenčné čísla difúzora (integers)

s_n – sekvenčné číslo n-tej šachty difúzora (integer)

$s_{n,m}$ – sekvenčné číslo hranola na pozícii [n,m] (integer)

w – šírka jednej šachty (alebo jedného hranola) difúzora (m)

d_n – hĺbka n-tej šachty difúzora (m)

$h_{n,m}$ – výška hranola na pozícii [n,m] (m)

DF – „design frekvencia“, teda frekvencia, na ktorú je difúzor navrhnutý (hz)

wl - „wave length“, teda vlnová dĺžka (m)

1 Úvod

Akustika miestností je téma, ktorá zahŕňa len úzku skupinku ľudí. Väčšina z nás si vôbec neuvedomuje, aká je akustika v miestnostiach kde sa nachádzame a ani sa nezamýšľa nad tým, či by ju nebolo treba aspoň čiastočne upraviť.

Viete, že zvuky, ktoré počujete v obyčajných miestnostiach s neupravenou akustikou popravde nie sú ani reálne také, aké boli vydané zdrojom? Berme do úvahy len jednoduchý tleskot. Zvuk sa vytvorí narazením dvoch rúk do seba, čo trvá fakt len veľmi krátku chvíľu. Tak prečo počujeme ten zvuk aj niekoľko sekúnd? Za všetko môže ozvena a odražanie sa zvukových vln od okolitých objektov a stien. Vďaka tomu sa daný zvuk deformuje a jeho trvanie sa predlží, čo spôsobí to, že vy ho počujete už v úplne inej podobe.

Našťastie, existujú riešenia na úpravu akustiky v miestnostiach, ktoré môžu tieto nepriaznivé faktory eliminovať až na minimum. Medzi takéto riešenia patria napríklad strategické rozmiestnenie akustických pien (ktoré slúžia ako pohlcovače zvuku) alebo akustických difúzorov (ktoré slúžia ako rozrážачe zvuku).

V tých najlepších štúdiách, najväčších koncertných a operných sálach a v tých najprofesionálnejších počúvacích miestnostiach sa používajú hlavne akustické difúzory (väčšinou v kombinácii aj s akustickými penami). Difúzory samotné sú obvykle vyrábané z dreva a sú to zložité a matematicky komplikovane prepočítané pomôcky, ktorým sa ich zložitosť výroby odráža aj na cene.

Práve cena akustických difúzorov bola hlavným zárodkom a **motiváciou** mojej idey vytvoriť mobilnú aplikáciu na výpočet týchto vecí a tým pádom umožniť sebe (*a neskôr aj iným zručnejším ľuďom po celom svete*) si tieto veci vyrobiť aj doma.

Medzi moje hlavné **ciele** patrilo naštudovanie teórie skrývajúcej sa za viacerými akustickými difúzormi (*aby aplikácia umožňovala vyrobiť rôzne typy*), následne naprogramovanie počítania, vytvorenie jednoduchého grafického prostredia pre používateľov a tým pádom, umožnenie vyrobiť si vlastný akustický difúzor podľa vlastných potrieb pre hocikoho, kto má o to záujem.

2 Akustické Difúzory

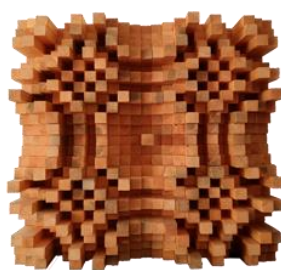
Sú to objekty rôzne od rovnej plochy, ktoré sú väčšinou matematicky dôkladne prepočítané na danú frekvenciu. Základnou funkciou akustického difúzora je rozbiť zvukovú vlnu ktorá naňho narazí a následne rovnomerne rozdistribuovať po celej miestnosti, tým pádom nevzniká odraz zvuku veľkej energie v jednom smere, ale odraz do rôznych smerov pričom každá vlna má malú energiu (*ktorá sa skôr vytratí a nevzniká tak ozvena ale zostáva zachovaná aj energia zvuku, akurát je lepšie rozložená po miestnosti. V prípade pohltení tých zvukových vln by sa tá energia vytratila a žiadny hudobný nástroj by neznal tak, ako má*). Základy teórie QRD difúzorov položil známy fyzik M. R. Schroeder. Neskôr vo výskumoch a experimentoch pokračovali aj mená ako Trevor J. Cox, Peted D'Antonio a ďalší.

Po dôkladnom preskúmaní už existujúcich počítačových aplikácií (*napr. QRDude, Acoustic Calculator*) som sa rozhodol urobiť niečo, v čom sa nachádza to dobré už z existujúcich aplikácií a to, čo tam nefunguje dobre alebo sa to dá nejako vylepšiť, som v tej svojej zahrnul už opravené alebo vylepšené.

Moja aplikácia ponúka možnosť si vyrobiť 3 typy difúzorov (*Prienik oboch známych PC aplikácií na výpočet difúzorov*), a to: **QRD** (tzv. *Quadratic Residue Diffuser*), **2D QRD** (*Two Dimensional Quadratic Residue Diffuser*) a tzv. **Skyline** difúzor.



QRD



2D QRD



Skyline

Obrázok č. 1 – 3 typy akustických difúzorov aj s ilustračným obrázkom

Difúzor s označením **QRD** je asi ten najčastejšie používaný v profesionálnych inštaláciách. Je jednoduchý na stavbu, má dobré a celkom jednoducho vypočítateľné vlastnosti a aj napriek nevyzývavému dizajnu dokáže po zvukovej stránke urobiť naozaj veľa.

Difúzor s označením **2D QRD** je asi to najkrajšie s pomedzi difúzorov. Po posunutí vygenerovaných sekvenčných čísiel v dvojrozmernom poli sa dá vyrobiť perfektne symetrický a veľmi zaujímavý difúzor. Od QRD sa líši hlavne tým, že dokáže rozrážať zvukové vlny aj vertikálne, aj horizontálne, čím má lepšie zvukové vlastnosti od jeho jednorozmerného súrodenca. Nevýhoda je okrem enormných cien (*až cez 5000€*) hlavne to, že keď si vyrobíte tento typ difúzora, je veľmi ťažký (*niektoré prekročia aj hranicu 300kg*) a tým pádom vzniká problém: Ako to zavesiť na stenu?

Difúzor s označením **Skyline** by som nazval takým ľudovým difúzorom. Je asi najčastejšie robený DIY (*do it yourself*) difúzor a existuje veľa youtube videí s tutoriálom na to, ako si niečo také vyrobiť (*pomocou PC aplikácie: Acoustic Calculator*). Väčšina však netuší, že tá aplikácia nepracuje úplne správne ale aj napriek svojim chybám patrí medzi najznámejšie medzi ľuďmi, ktorí sa do toho moc nerozumejú.

2.1 QRD – Teória

Základom tohto difúzora sú takzvané šachty. Tie sú väčšinou rôznej hĺbky a počet tých šachiet je prvočíslo. Ďalšia vec ktorú si môžeme všimnúť je, že každá šachta je od tej druhej oddelená tenkým plátom dreva (*to drevo má byť čo najtenšie ale nie až tak tenké aby zvukové vlny narážajúce naň spôsobili vibrácie a tým pádom ten difúzor môže z časti pracovať ako pohlcovač zvuku, čo nechceme!*). Prvý výpočet pri tomto difúzore spočíva na výpočte sekvencie (*sekvenčné číslo je v podstate násobkom určitej veľkosti, ktorá sa dopočíta neskôr*). Vypočítame si ho pomocou vzorca:

$$s_n = n^2 \text{ modulo } N$$

V prípade difúzora s počtom šachiet 7, nám vyjdú sekvenčné čísla = [0, 1, 4, 2, 2, 4, 1], čo ak si QRD difúzor na obrázku č. 1 zrkadlovo otočíme, a predstavíme si, že každé sekvenčné číslo je násobkom nejakej veľkosti a udáva hĺbku danej šachty, tak vidíme že nám to pekne sedí (*prvá šachta nulovej hĺbky, druhá je hĺbky 1 čo je trošku hlbšie ako tá nulová, atď...*). Ak už máme vypočítanú sekvenciu, môžeme vypočítať pomocou nej aj hĺbku každej jednej šachty a to vzorcom:

$$d_n = \frac{s_n * wl(df)}{2N}$$

Ďalším krokom je výpočet šírky jednej šachty. Táto časť je tá najzaujímavejšia, keďže tu musí byť splnených veľa podmienok, aby sme postavili dobre vypočítaný difúzor. M. R. Schroeder odporúča výpočet šírky šachty vzorcom:

$$w = wl(DF) * 0.137$$

Keďže šírka šachty udáva horné frekvenčné ohraničenie difúzora a zároveň od tej závisí aj to dolné ohraničenie, tento jednoduchý vzorec nebude postačovať. Po neskorších experimentoch sa ukázalo, že šírka šachty má svoje minimum pre dané hĺbky a tak sa sformulovali 2 pravidlá.

Pravidlo č.1: šírka šachty by mala byť minimálne 2,5 cm pre hĺbky šachiet do 40cm. Pri hĺbkach väčších ako 40cm, sa vypočíta minimálna šírka šachty tak, že sa najhlbšia šachta difúzora vydeli číslom 16.

Pravidlo č.2: šírka celej periódy ($N * \text{šírka šachty} + (N-1) * \text{hrúbka oddeľovacieho dreva medzi šachtami}$) musí byť väčšia alebo rovná vlnovej dĺžke dizajn frekvencie $wl(DF)$.

To celé v jednoduchosti znamená, že treba dodržať tieto 2 kroky (*ktoré mám implementované aj v aplikácii*) keď chcete postaviť difúzor s najlepším frekvenčným rozsahom.

Horné frekvenčné ohraničenie difúzora sa vypočíta ako: $c / (2 * w)$ a dolné ohraničenie je o oktávu nižšie od dizajn frekvencie, čo znamená: $DF / 2$. Minimálna vzdialenosť počúvacieho miesta od difúzora je daná vzorcom: $3 * wl(DF)$.

2.2 2D QRD - Teória

Základom tohto difúzora sú drevené hranoly rôznych dĺžok poukladané v 2-rozmernom priestore, ktorý je symetrický (*tj. počet hranolov v riadku sa rovná počtu hranolov v stĺpci*). Počet hranolov N v jednom riadku musí byť prvočíslo. Aj v tomto prípade sa môžu použiť oddeľovacie drevené pláty medzi jednotlivými hranolmi, ale kvôli náročnosti vyhotovenia tohto prevedenia (keďže je to v 2 smeroch) sa to väčšinou vynecháva a hranoly sa lepia tesne ku sebe. Takisto ako aj pri QRD, aj tu sa najprv musí vypočítať sekvencia, ale už v 2 smeroch, na čo sa používa vzorec:

$$s_{n,m} = (n^2 + m^2) \text{ modulo } N$$

Následne, pomocou sekvenčných čísiel v daných pozíciách n, m môžeme vypočítať výšku daného hranola vzorcom:

$$h_{n,m} = \frac{(s_{n,m} * wl(DF))}{2N}$$

Pre šírku hranola platia rovnaké 2 pravidlá, ako aj pri QRD, akurát do šírky periódy nezapočítavame tenké oddeľovacie drevo medzi hranolmi, keďže ho nevyužívame! To znamená, že šírka periódy 2D QRD difúzora sa vypočíta ako: ($N * \text{šírka hranola}$). Horné aj dolné frekvenčné ohraničenie difúzora sa počíta rovnako ako pri QRD (*akurát sa berie do úvahy šírka hranola, nie šachty!*) a pre vzdialenosť počúvacieho miesta od difúzora platia tiež rovnaké pravidlá.

2.3 Skyline – Teória

Základom tohto difúzora sú tiež drevené hranoly viacerých dĺžok, ale tu sa vyskytujú len 4 rôzne dĺžky pre každý prípad. Počet hranolov N v jednom riadku je stále 12, a takisto aj v stĺpci (ak neberieme do úvahy nulové hranoly, vid' Obrázok č.2). Sekvencia tohto difúzora sa nepočíta, ale je už dopredu daná (na základe určitých výskumov a experimentov) a vyzerá takto:

0	3	4	1	2	3	3	1	4	2	3	3
3	0	1	4	2	1	1	3	3	2	1	1
3	1	1	3	1	3	2	2	1	0	2	2
2	2	2	2	0	4	3	2	3	2	1	1
3	3	1	1	3	1	1	3	4	3	1	3
2	3	2	1	2	0	3	2	4	2	1	0
2	3	2	1	3	1	2	2	3	1	3	4
2	0	2	4	4	0	1	2	1	4	2	2
3	4	1	0	1	3	3	1	0	2	3	3
1	3	3	1	2	4	1	2	0	1	3	1
2	1	2	3	1	3	3	2	4	2	3	4
2	4	2	3	3	1	1	2	0	3	1	0

Obrázok č.2 – Pevne daná dvoj-rozmerná sekvencia Skyline difúzora

Výška hranolov sa nasledovne vypočíta pre každú pozíciu $[n,m]$ podľa vzorca:

$$h_{n,m} = \frac{\left(\frac{1}{2}wl(DF)\right)}{4 * s_{n,m}}$$

Pre šírku hranola platia rovnaké 2 pravidlá, ako aj pri 2D QRD. Takisto nepočítame s tenkými oddelovacími plátni medzi každým hranolom a to znamená, že šírka periódy Skyline difúzora sa vypočíta ako: **(12 * šírka hranola)**. Horné aj dolné frekvenčné ohraničenie difúzora sa počíta rovnako ako pri 2D QRD a pre vzdialenosť počúvacieho miesta od difúzora platia tiež rovnaké pravidlá.

3 Záver

Bola vytvorená aplikácia pre zariadenia s operačným systémom android, ktorá umožňuje si vyrobiť hociktorý z vyššie zmienených difúzorov. Aplikácia vám povie presné špecifikácie vypočítaného difúzora, vypíše každý jeden kus dreva (jeho sekvenčné číslo, jeho dĺžku a aj počet, koľko je z neho potrebných) a pomôže nám aj pri stavbe, a to tak, že nám v dvojrozmernom poli pre danú pozíciu stále povie, aký kus dreva tam treba prilepiť. Každý počítaný difúzor sa dá uložiť a následne si aplikácia pamätá, kde ste prestali pracovať, teda môžete hocikedy pokračovať ďalej.

Prostredie samotnej aplikácie bolo robené tak, aby bolo čo najviac user-friendly a ľahko pochopiteľné. Na každej stránke (activity v androide) sa nachádza v pravom hornom rohu ikonka s otáznikom, na ktorú ak klikneme, tak sa nám zobrazia pre danú stránku vysvetlivky, ktoré pomôžu novému používateľovi sa zorientovať a pochopiť niektoré funkcie aplikácie.

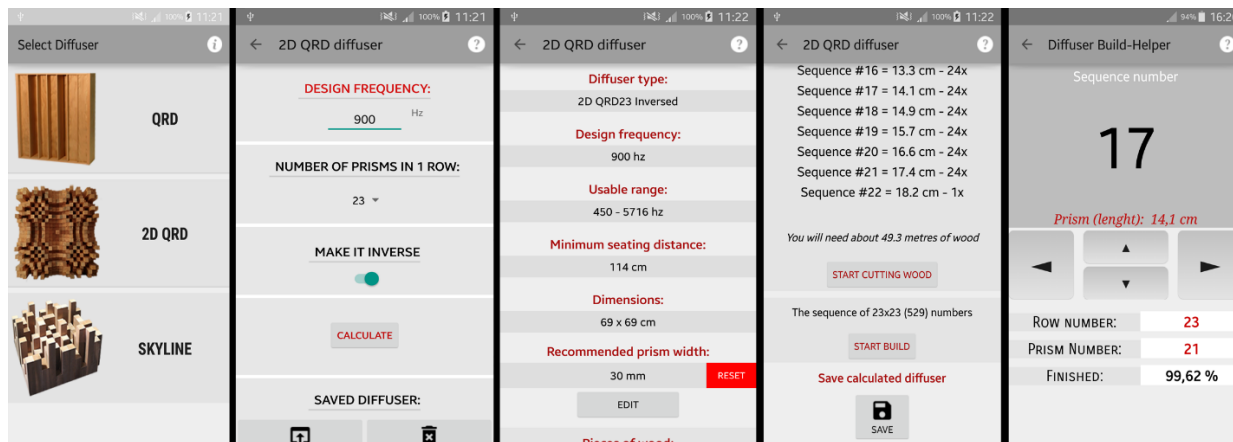
Na rozdiel od PC aplikácií na výpočet akustických difúzorov sa v tejto opravilo a vyladilo veľa nezrovnalostí, napr:

1. Je použité presnejšie zaokrúhľovanie pri výpočtoch (presnejšie postavený difúzor)
2. Aplikácia radí používateľom z mojich vlastných skúseností pri stavbe difúzora a tým pádom si môžu dať väčší pozor a vyhnúť sa niektorým chybám
3. Je použité optimalizovanie celkovej hĺbky difúzora, ak sa zmení dizajn frekvencia na vyššiu (čo znamená úsporu dreva v porovnaní s inými aplikáciami, a teda aj úspora peňazí)
4. Aplikácia zahŕňa prostredie aj pre rezanie dreva (píše koľko kusov hranola danej dĺžky je už vyrezaných a koľko je ešte potrebných) a takisto aj prostredie pre stavbu difúzora (tj. keď staviate napríklad difúzor s počtom hranolov v jednom riadku $N = 101$, to je $101 * 101 = 10\,201$ kusov hranola. Počítačové aplikácie vám vypíšu všetky kusy naraz na obrazovku, pričom tá moja vám ukazuje riadok a stĺpec, na ktorom sa

nachádzate a vypisuje vám údaje len o jednom kuse hranola (jeho sekvenčné číslo a jeho dĺžku) na obrazovku, to aktuálne ktoré práve robíte. Tým minimalizujem možnosť pomýlenia sa pri stavbe difúzora a takisto som tým zabezpečil to najlepšie a zároveň najjednoduchšie prostredie pre daný účel).

Keďže je aplikácia prístupná celému svetu (cez google play), chystám sa do nej časom dodať ešte aj iné typy difúzorov na výpočet a následnú stavbu. Takisto sa chystám aplikáciu udržiavať a v prípade vzniknutého problému to ihneď riešiť a dať do poriadku.

Na obrázku č.3 môžete vidieť pár screenshotov z už hotovej aplikácie.



Obrázok č.3 - Aplikácia na google playi: <https://play.google.com/store/apps/details?id=acoustic.oliver.diffusers>

Pod'akovanie

Bill Collison – pomoc pri vysvetlení toho, ako fungujú niektoré veci v jeho aplikácii (*QRDude*).

RNDr. Ľubomír Antoni, PhD. – pomoc a vedenie bakalárskej práce.

Zdroje

1. Bill Collison (the creator of QRDude), jeho web stránka: www.subwoofer-builder.com/qrd
2. Acoustic Absorbers and Diffusers, theory, design and application 2nd edition (Trevor J. and Peter D'Antonio)
3. THE DESIGN AND APPLICATION OF MODULAR, ACOUSTIC DIFFUSING ELEMENTS (R. Walker, B.Sc.(Eng)., C.Eng., M.I.E.E)
4. The QRD Diffractal: A New One- or Two-Dimensional Fractal Sound Diffusor (D'Antonio, Peter Konnert, John)