



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Virtuális analóg szintetizátor megvalósítása

Témalaboratórium dokumentáció
2022/23. I. félév

Csikós Attila

III. évf., villamosmérnök szakos hallgató
BSc, Beágyazott információs rendszerek ágazat

Konzulens:

Dr. Bank Balázs docens
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	3
A FELADAT PONTOSÍTÁSA	3
OSZCILLÁTOR	5
SZŰRŐ.....	8
SZINTETIZÁTOR	10
ÖSSZEFOGLALÁS.....	10
IRODALOMJEGYZÉK.....	11
MELLÉKLET	12

Bevezetés

A félév során kitűzött cél egy olyan program megírása, mely képes modellezni a régi analóg szintetizátorok hangalkotási módszereit.

Fontos szempont volt, hogy az elkészített digitális verzió megőrizze az analóg hangszer jellegzetességét, mindeközben törekedve arra, hogy minél inkább átlapolódás- és zajmentes legyen a generált jel.

A módszer, amit alapul vettem, a szubtraktív szintézis, melynek lényege, hogy egy harmonikusokban gazdag spektrumú jel generálását követően azt az általunk kiválasztott és tervezett algoritmusokkal, szűrőkkel módosítjuk. Egy ilyen jól megtervezett és elvégzett folyamat végén meg kell kapnunk az általunk kívánt jelet. Ebben a dokumentációban az előbb felsorolt elvek és ötletek alapján megtervezett példámot fogom bemutatni.

A feladat pontosítása

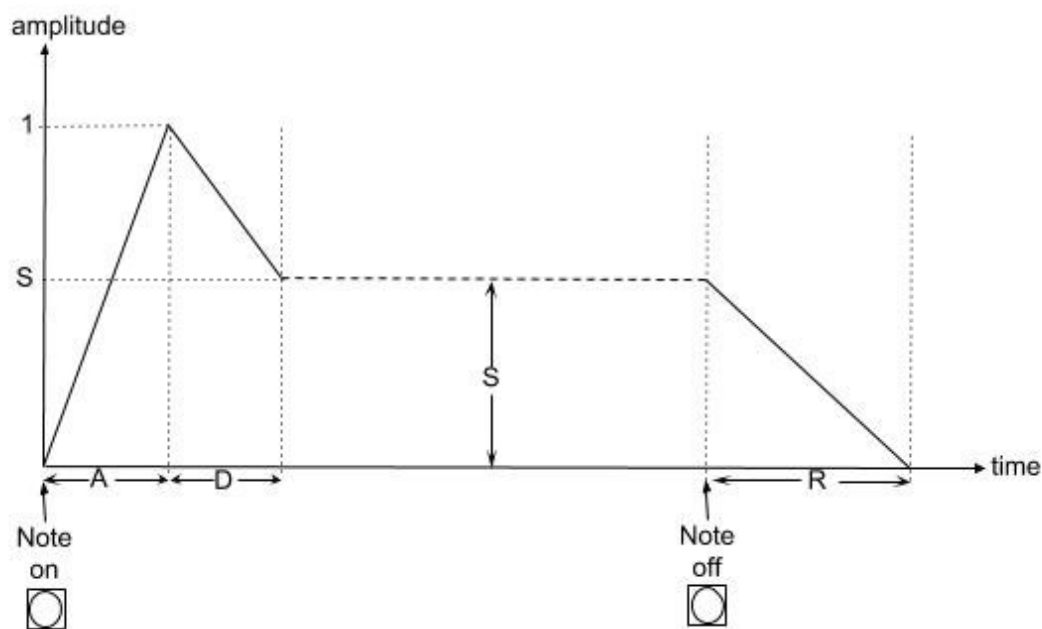
A projekt elkészítéséhez pontosítanom kell a célkitűzésemet. Ezért a hozzám legközelebb álló szintetizátort választottam modellezésem céljául, ami a Roland TB-303 analóg szintetizátor.



1.Kép
Roland TB-303 szintetizátor

Az 1980-as években kiadott gép nem nyerte el a tervezett vevőréteg tetszését, mivel eredeti céljában, a basszus gitár helyettesítésében nem volt sikeres. Később viszont az elektronikus zene korai alkotóinak kezébe kerülve egy, a mai napig meghatározó hangot teremtett. Innen ered az Acid-House, -Techno és Psy-Trance jellegzetes hangja.

Az alapos modellezéshez meg kell ismernünk a szintetizátoron belüli elemeket és azoknak jellemzőit. Összesen egy darab oszcillátor található benne, ellenben két opciónk is van, amivel kiválaszthatjuk, hogy fűrész- vagy négyszög jelet szeretnénk generálni, majd felhasználni a hangalkotáshoz. A kiválasztott jelalak ezután egy 24 dB/oktáv-os aluláteresztő szűrőn fog áthaladni, melynek állítható a játék közbeni törésponti frekvenciája és rezonanciája. A jelutunk ezután egy amplitúdó burkológörbe modulátoron fog keresztülhaladni, melynek csak a Decay-paraméterét lehetett állítani.



1.Ábra
Amplitúdó burkológörbe modulátor ábrája
A - Attack, D - Decay, S - Sustain, R - Release

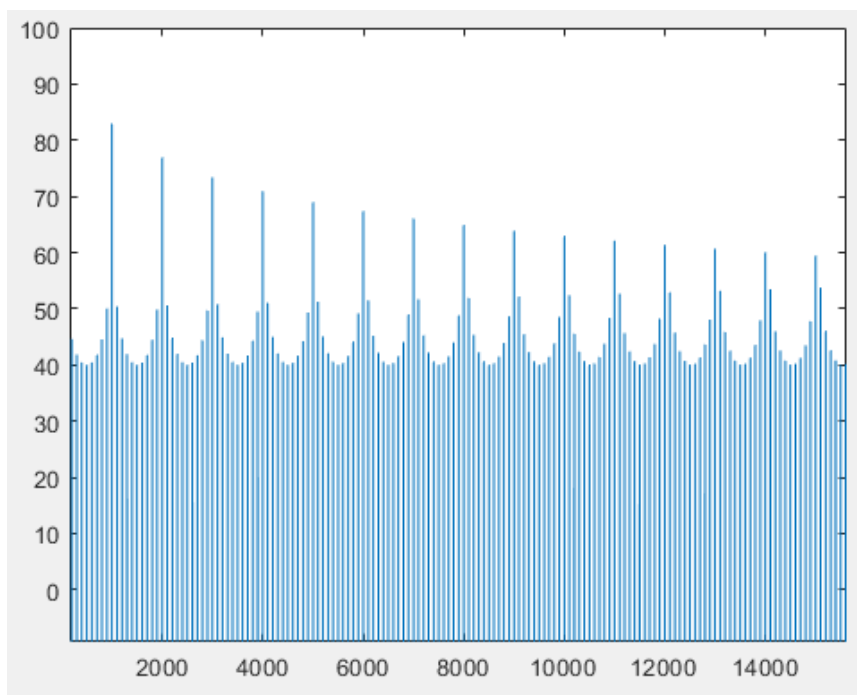
Emellett még fontos tulajdonsága a szintetizátornak, hogy billentyűket használó élő játék helyett itt előre be kell programozni a lejátszandó hangjegyeket. Miközben a megadott maximális tizenhat hangból álló dallamot játssza vissza a szintetizátor, a felhasználó szabadon állíthatja a már felsorolt paramétereket, így elérve a folyamatosan változó különleges hangzást, amelyet szeretnék modellezni.

Ebben a félévben a témalabor keretein belül MATLAB programkódként sikerült

megvalósítanom egy fűrészelet generáló oszcillátort és egy aluláteresztő szűrőt, melynek állítható a törésponti frekvenciája és a rezonanciája. Ezen elemek tervezésének nehézségeit és lépéseit fogom bemutatni az elkövetkezendő pontokban.

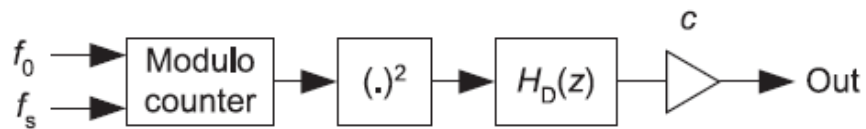
Oscillátor

Az oszcillátor tervezés elején egy egyszerű modulo függvénnyel próbáltam megvalósítani a fűrészelet hullámformát. Tehát gyakorlatilag egy számlálóval akartam jelet generálni, amely -1 és +1 között egyenletesen halad az alapfrekvencia (f_0) és a mintavételi frekvencia (f_s) paraméterek által meghatározott lépésközönként, majd +1 értéket elérve azonnal visszaugrik -1-re, ezzel újra kezdve a ciklust. Ha frekvenciatartományban megvizsgáljuk az így kapott jelünket, láthatjuk, hogy nagyon kicsi a dekádönkénti csökkenése a spektrumnak.



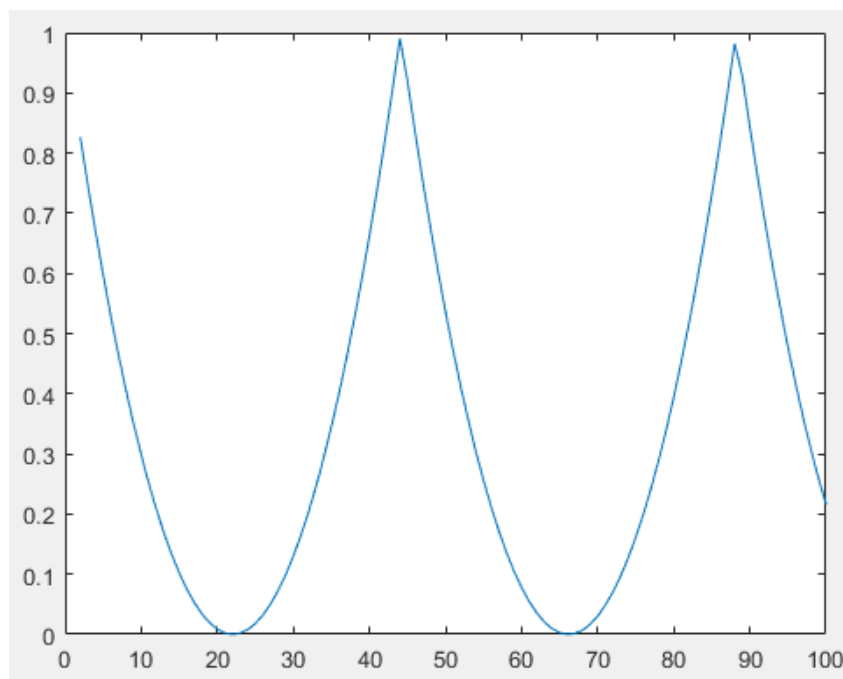
2. Ábra
Modulo függvénnyel generált fűrészelet jel spektruma

Egy ilyen módon képzett magasabb alapfrekvenciájú jelünket meghallgatva észrevehetjük, hogy nem tiszta a hang, mivel az átlapolódás miatt nem kívánt harmonikusok is megjelennek. Ennek javítása érdekében használnunk kell egy spektrum meredekséget módosító algoritmust. Ilyen algoritmus a DPW (Differentiated Parabolic Waveform).

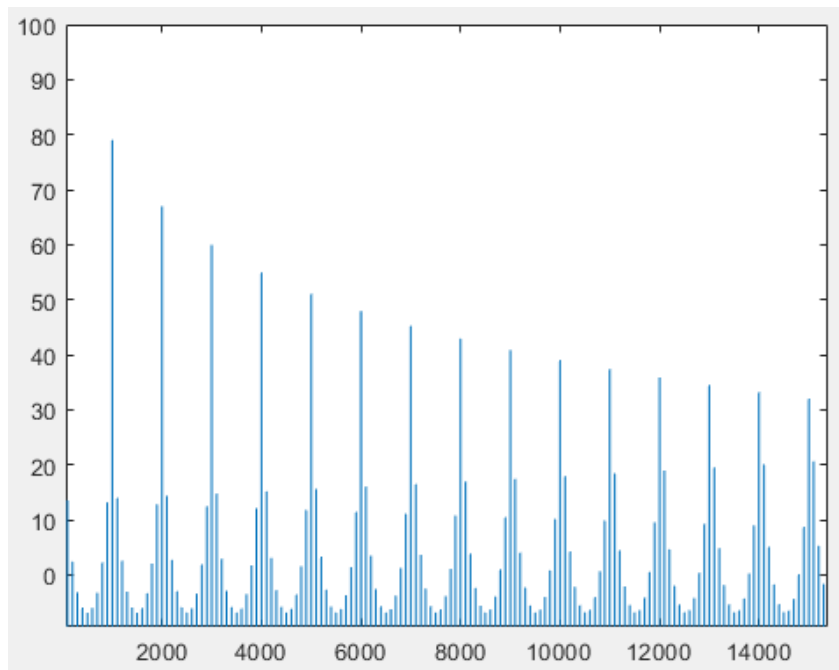


3. Ábra
DPW algoritmus blokkvázlata
[1] forrásból átvett ábra

A folyamat lényege, hogy a már legenerált jelünket integráljuk, ezzel egy parabolikus hullámformát kapva, mely spektrumának dekádonkénti csökkenése nagyobb, mint a szimpla fűrészelének, így az átlapolódás is csökken.

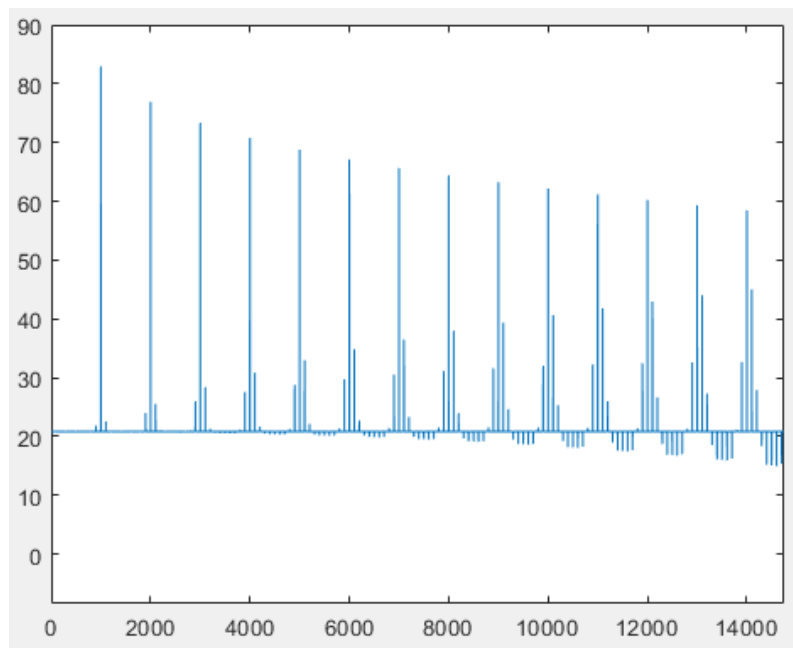


4. Ábra
Parabolikus hullámforma

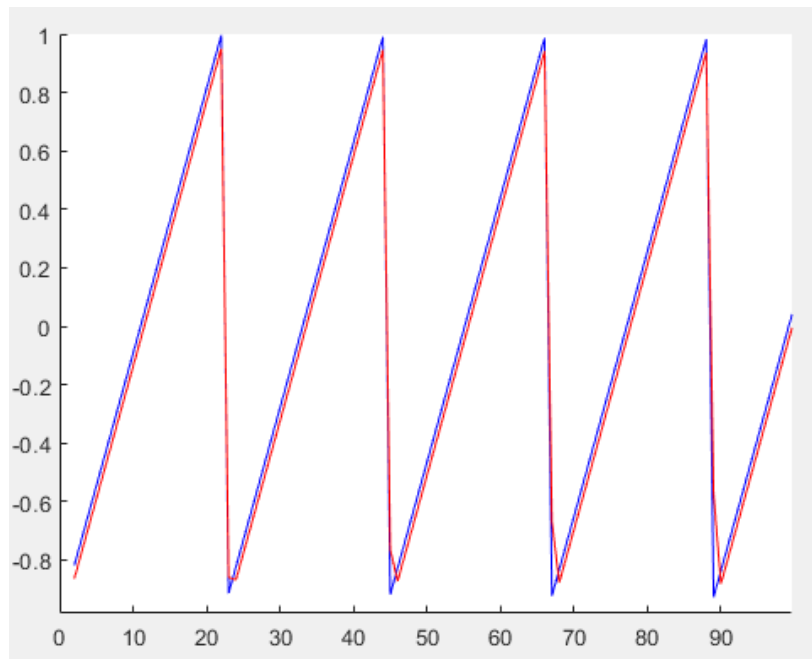


5. Ábra
Parabolikus jel spektruma

Ahhoz, hogy a jelünket visszaállítsuk a kívánt hullámformára diszkrét időben differenciálnunk kell a parabolikus jelet, ami gyakorlatilag egy $H_D(z) = 1 - z^{-1}$ átviteli karakterisztikájú szűrővel való módosítást jelent. Végül pedig skálázzuk a $c = \frac{f_s}{4f_0}$ együtthatóval.



6. Ábra
DPW algoritmussal készült jel spektruma

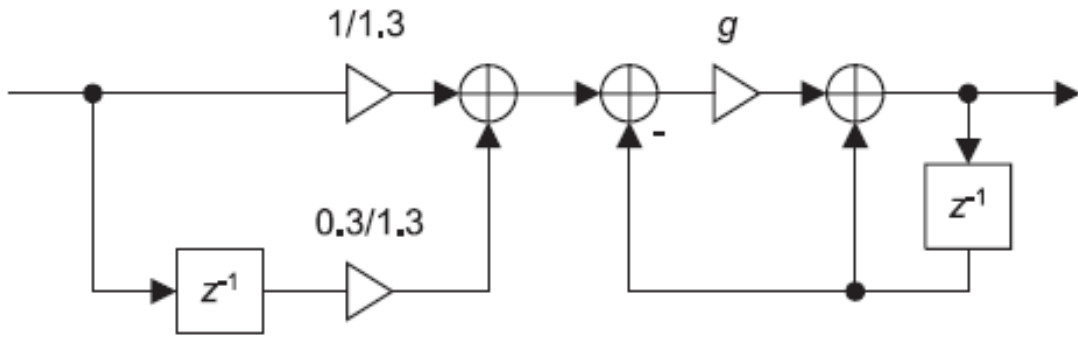


7. Ábra
 Kék színnel – Modulo függvény által generált hullámforma
 Piros színnel – DPW algoritmus végére kapott hullámforma

A 7. ábrán látható, hogy az algoritmus végére a hullámforma +1 -1 átmenetébe bekerül egy törés, mellyel a meredekség, azzal pedig az átlapolódás is csökken.

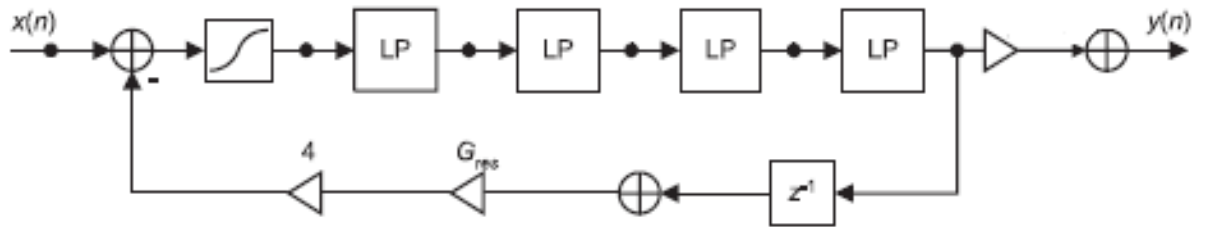
Szűrő

A szűrő tervezésnél fontos volt, hogy egy olyan aluláteresztő szűrőt hozzak létre, melynek törésponti frekvenciája és rezonanciája is változtatható. Ezért választásom a forrásban megjelölt [1] cikkben leírt digitális rezonáns Moog szűrőre esett. Ennek alapeleme egy egypólusú aluláteresztő szűrő.



$$y(n) = g \frac{1}{1.3} x(n) + g \frac{0.3}{1.3} x(n-1) + y(n-1) - g y(n-1)$$

8. Ábra
Egypólusú aluláteresztő szűrő blokkvázlata és karakterisztikája
[1] forrásból átvett ábra



9. Ábra
Négypólusú rezonáns aluláteresztő szűrő blokkvázlata
[1] forrásból átvett ábra

Négy darab egypólusú sorba kapcsolásával létrejött egy négypólusú aluláteresztő szűrő, melyet ha kiegészítünk egy G_{res} együtthatós visszacsatolt ággal, akkor rezonáns lesz. A törésponti frekvenciát és a rezonancia paramétert a cikkben [1] leírt és az ábrákon látható g és G_{res} együtthatók segítségével állíthatók.

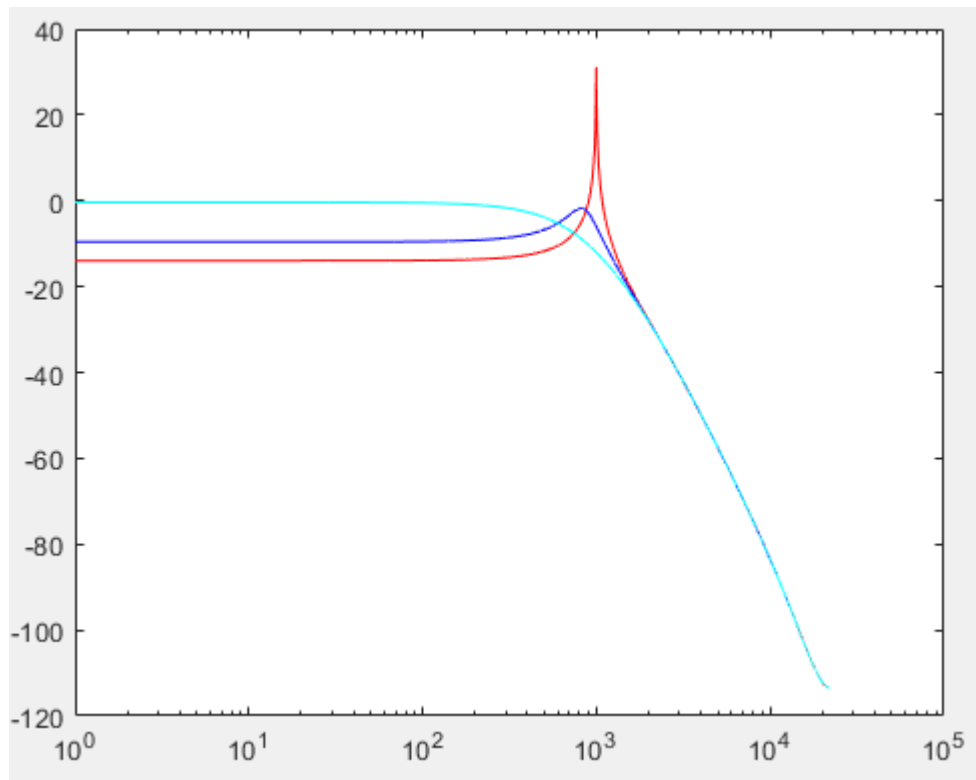
$$w_c = \frac{2\pi f_c}{f_s}, \text{ ahol } f_c \text{ törésponti frekvencia}$$

$$g = 0,9892w_c - 0,4342w_c^2 + 0,1381w_c^3 - 0,0202w_c^4$$

$$0 < C_{res} < 1 \text{ rezonancia paraméter}$$

$$G_{res} = C_{res} (1.0029 + 0.0526w_c - 0.0926w_c^2 + 0.0218w_c^3)$$

Emellett a 9. ábrán is látható, hogy bekerült egy nem-lineáris tag is a szűrőnkbe, ezzel elérve, hogy jobban hasonlítson az ezen átszűrt jelünk hangja az igazi, analóg Moog szűrőjéhez.



10. Ábra
Az elkészült szűrő Bode-diagrammja
Cián: $C_{res} = 0.01$, Kék: $C_{res} = 0.5$, Piros: $C_{res} = 0.99$ rezonancia paraméterrel

Szintetizátor

Ahhoz, hogy egy könnyen használható modellt kapjunk, az oszcillátort és a szűrőt megvalósító kódot egy MATLAB Live Function keretein belül összeillesztettem. Ezzel értem el, hogy néhány paraméter megadásával egyszerűen meg tudjuk szólaltatni a virtuális analóg szintetizátorunkat. A Live Function kódja és paramétereinek leírása megtalálható a Melléklet részben.

Összefoglalás

A munkám során el tudtam mélyíteni a témalabor során tanult jelfeldolgozási és MATLAB ismereteimet. Sikeresen tudtam modellezni egy analóg szintetizátor hangszintézisét, mivel megalkottam két főbb elemét: az oszcillátort és a szűrőt. Belátást szereztem a digitális jelgenerálás nehézségeibe és megoldásaiba is egyaránt.

A feladat ettől függetlenül még nem tökéletes, hisz vannak továbbfejlesztési lehetőségek, mint például annak megoldása, hogy valós időben változtatható legyen a törésponti frekvencia és a

rezonancia, emellett a burkológörbe generátor is megvalósításra vár, vagy esetleg egy másik platformra, akár DSP kártyára megvalósítás is lehetséges.

Irodalomjegyzék

[1] Vesa Välimäki and Antti Huovilainen. Oscillator and filter algorithms for virtual analog synthesis. Computer Music Journal, 30(2):19 31, June 2006.

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Roland_TB-303

[3] Ambrits Dániel. Hatékony oszcillátor algoritmusok analóg szintetizátor modellezésre. TDK dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2013.

Melléklet

Megszólaló hangjegyek frekvenciáinak vektora: fx

Hangjegyek száma: n_notes

Törésponti frekvencia: fc

Rezonancia együttható: C_res

```
function [melody] = synth_v2(fx,n_notes,fc,C_res)
```

```
fs=44100;
```

```
N=5512;
```

```
phase=0;
```

```
z1=0;
```

```
saw_wave=zeros(1,n_notes*N);
```

```
melody=zeros(1,n_notes*N);
```

```
for j=1:n_notes
```

```
    delta=fx(j)/fs;
```

```
    c=fs/(4*fx(j));
```

```
    dpw_s=zeros(1,N);
```

```
    for i=1:N
```

```
        phase = mod(phase + delta,1);
```

```
        bphase = 2 * phase-1;
```

```
        sq = bphase^2;
```

```
        dsq = sq-z1;
```

```
        z1 = sq;
```

```
        dpw_s(i) = c * dsq;
```

```
    end
```

```
    saw_wave( (j-1)*N+1 : j*N )=dpw_s;
```

```
end
```

```
wc=(2*pi*fc)/fs;
```

```
g=0.9892*wc-0.4342*wc^2+0.1381*wc^3-0.0202*wc^4;
```

```
%C_res=0.15;  %% 0 < C_res < 1  %%
```

```
G_res=C_res*(1.0029 + 0.0526*wc - 0.0926*wc^2 + 0.0218*wc^3);
```

```
y4=zeros(1,n_notes*N);
```

```

x1_d=0;
y1_d=0;
x2_d=0;
y2_d=0;
x3_d=0;
y3_d=0;
x4_d=0;
y4_d=0;

%% y(n) = g*(1/1.3) * x(n) + g*(0.3/1.3) * x(n-1) + y(n-1) - g * y(n-1);

for j=1:n_notes*N

    input=tanh(saw_wave(j) - 4*G_res*y4_d);
    x1 = input;
    y1 = g*(1/1.3) * x1 + g*(0.3/1.3) * x1_d + y1_d - g * y1_d;
    x1_d = x1;
    y1_d = y1;

    x2 = y1;
    y2 = g*(1/1.3) * x2 + g*(0.3/1.3) * x2_d + y2_d - g * y2_d;
    x2_d = x2;
    y2_d = y2;

    x3 = y2;
    y3 = g*(1/1.3) * x3 + g*(0.3/1.3) * x3_d + y3_d - g * y3_d;
    x3_d = x3;
    y3_d = y3;

    x4 = y3;
    y4(j) = g*(1/1.3) * x4 + g*(0.3/1.3) * x4_d + y4_d - g * y4_d;
    x4_d = x4;
    y4_d = y4(j);

end

melody=y4;
sound(melody,fs);

end

```