

Domača naloga 3. (samostojno reševanje):

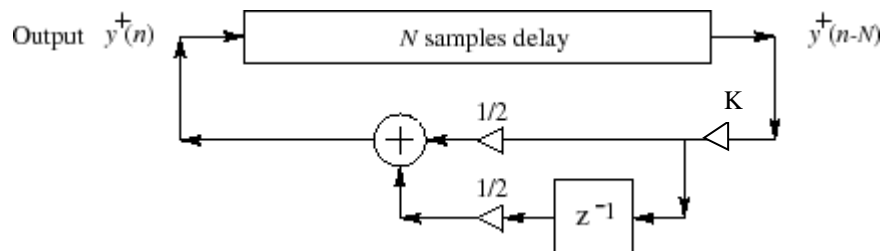
3. Primer modeliranja procesa tvorbe zvoka: Karplus-Strongov model strunskih instrumentov

V tej nalogi nadaljujemo s sintezo zvoka različnih instrumentov. Model, ki ga bomo danes spoznali ni za nas zanimiv samo s stališča sinteze zvoka, ampak tudi z vidika realizacije rekurzivnih sistemov, nizkoprepustne povratne povezave itd... Uporablja se za sintezo strunskih instrumentov.

Za praktični implementacijo bomo uporabili najenostavnejšo različico modela za sintezo zvoka strunskih instrumentov, ki sta ga oblikovala avtorja Karplus in Strong v članku “**Digital Synthesis of Plucked-String and Drum Timbres**”, objavljenem v reviji Computer Music Journal v letu 1983.

Model je zelo enostaven, sestavljajo ga:

- **zakasnitveni medpomnilnik** (za N vzorcev),
- **množilnik** (K),
- preprost **nizkoprepustni filter**, ki povpreči 2 vzorca: $y(n)=0.5x(n)+0.5x(n-1)$.



Slika: Shema enostavnega Karplus-Strong modela strunskih instrumentov.

Model bi lahko predstavili tudi z **diferenčno enačbo** :

$$y(n)=x(n) + K 0.5 y(n-N) + K 0.5 y(n-N-1)$$

Posebnosti uporabe modela – npr. želimo izračunati L vzorcev izhodnega signala :

- **začetno stanje sistema**: zakasnitveni medpomnilnik je na začetku prazen (vsebuje same ničle)
- vhodni signal $x(n)$: model pravilno vzbudimo tako, da $x(n)$ najprej vsebuje N vzorcev normaliziranega **zaporedja naključnih števil** (med -1 in 1) in potem še same ničle do končne dolžine L vzorcev. Prvih N vzorcev zaporedja $x(n)$ dobimo v

Scilabu takole :

```
x = 2*rand(1,N);
```

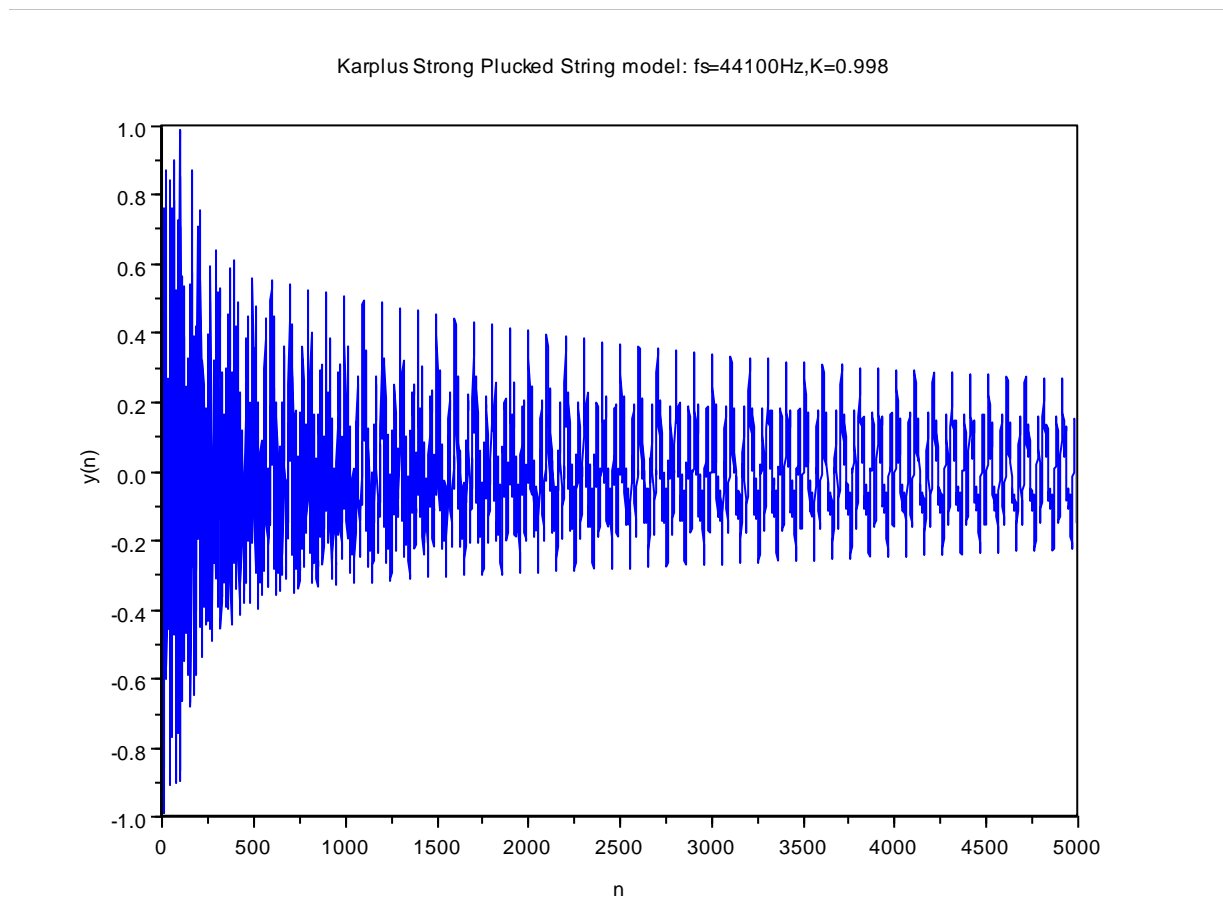
```
x = x - mean(x);
```

- **osnovna frekvenca izhodnega signala F_0** je določena s parametri F_s , N in zakasnitvijo nizkoprepustnega filtra d (d bomo zaenkrat zanemarili, je pa v naši implementaciji enak 0.5 – razlaga bo podana v nadaljevanju vaj in predavanj):

$$F_0 = \frac{F_s}{N + d}$$

- vrednosti parametrov:
 - K se običajno giblje med 0.95 in 1.
 - začetno stanje sistema: zakasnitveni medpomnilnik je na začetku prazen (vsebuje same ničle)

Primer uporabe modela ($F_s=44100$ Hz, $K=0.998$):



Naloga 3.1:

- Napišite **funkcijo v Scilabu**, ki bo sintetizirala zvok strunskega instrumenta po opisanem modelu.

```
function [signal]=plucked_string(f,K,nsamp,fs)
// fs      ... frekvenca tona
// K       ... ojačanje povratne vezave
// nsamp   ... število zgeneriranih vzorcev
// fs      ... frekvenca vzorčenja
```

- Zgenerirajte **nekaj primerov** izhodnih signalov ob $F_s=44100$ Hz in frekvenci osnovnega tona 440Hz (nota "A4"). Na kratko opišite, kako vrednost parametra K vpliva na delovanje modela in njegovo stabilnost?
- Kaj se zgodi, če model vzbudimo z drugimi signali (npr. toni različnih frekvenc, enotin impulz, itd...)? Opišite svoja opažanja.
- Kakšna je dejanska osnovna frekvenca signala, ki jo dobimo s tem modelom? Ali pri tem pride do napake? Če da, ocenite napako. Opišite, kako se napaka spreminja v odvisnosti od osnovne frekvence tona in drugih parametrov sistema? Kako bi v praksi napako lahko zmanjšali – opišite kakšno od možnosti (Namig: raziščite obstoječo literaturo) ?
- Poskušajte **razložiti delovanje modela** – kako se sploh oblikuje zvok, podoben kot pri struni? Kakšna je pri tem vloga nizkoprepustnega filtra v povratni povezavi? Poskusite model izvesti brez tega filtra – s trivijalno (enostavno, brez operacij) povratno povezavo. Kaj se zgodi?

V rešitve nalog smiselno vključite čimveč lastnih komentarjev, razlag in idej.

Ostali viri :

- Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Karplus-Strong_string_synthesis
- Harmony Central:
 - http://www.harmony-central.com/Synth/Articles/Physical_Modeling/
- Nekaj zanimivejših gradiv v zvezi s Karplus-Strong modelom:
 - <http://www.music.mcgill.ca/~amburns/physique/introduction.html>
- Obširnejši gradivi na temo generiranja zvokov in ostalih zvočnih efektov:
 - <http://ccrma.stanford.edu/~jos/Mohonk05/Mohonk05.html>
 - <http://www-ccrma.stanford.edu/~jos/waveguide/>

Naloga 3.2:

Imamo LČI sistem z odzivom na enotin impulz :

$$h(n) = a^n u(n), \quad |a| < 1,$$

Na njegov vhod damo signal $x(n)=u(n)$.

- Določite izhodni signal $y(n)$?
- Določite še njegovo limito : $\lim_{n \rightarrow \infty} y(n) = ?$

Nasvet: seštevek geom. vrste...