

# Önálló Laboratórium II.

## Digitális hangszerhang-szintézis

BME-VIK-MIT MSc képzés

Pusztaházi Brúnó

Székely Dávid

Konzulens: Dr. Sujbert László

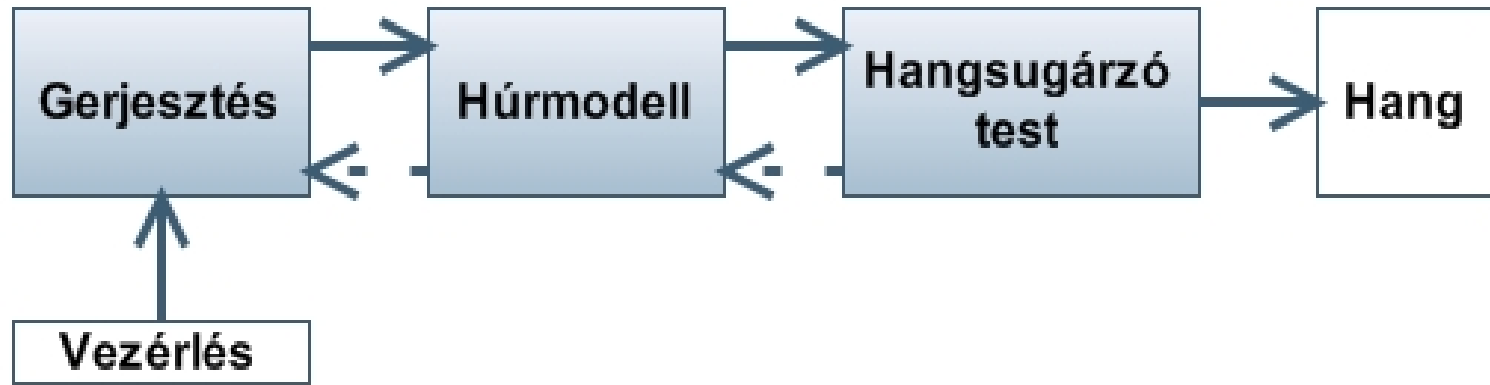
2009/2010 II. félév

# Céljaink

- Hangszer - elsősorban gitárhang - digitális szintézisére szolgáló eljárások megismerése, specifikusan a waveguide struktúrára koncentrálva
- Digitális jelfeldolgozásban elméleti és gyakorlati tapasztalatok gyűjtése
- A tapasztalatok alapján megvalósítás Matlab-ban és AD-Blackfin DSP processzor próbapanel segítségével

# Fizikai modell alapú hangszintézis

- Egy hangszer fizikai modellje:



- egy ideális húr rezgését egy 1D hullámgyenlet írja le
- ennek térben és időben diszkretizált megoldása az alábbi differencia egyenlet:

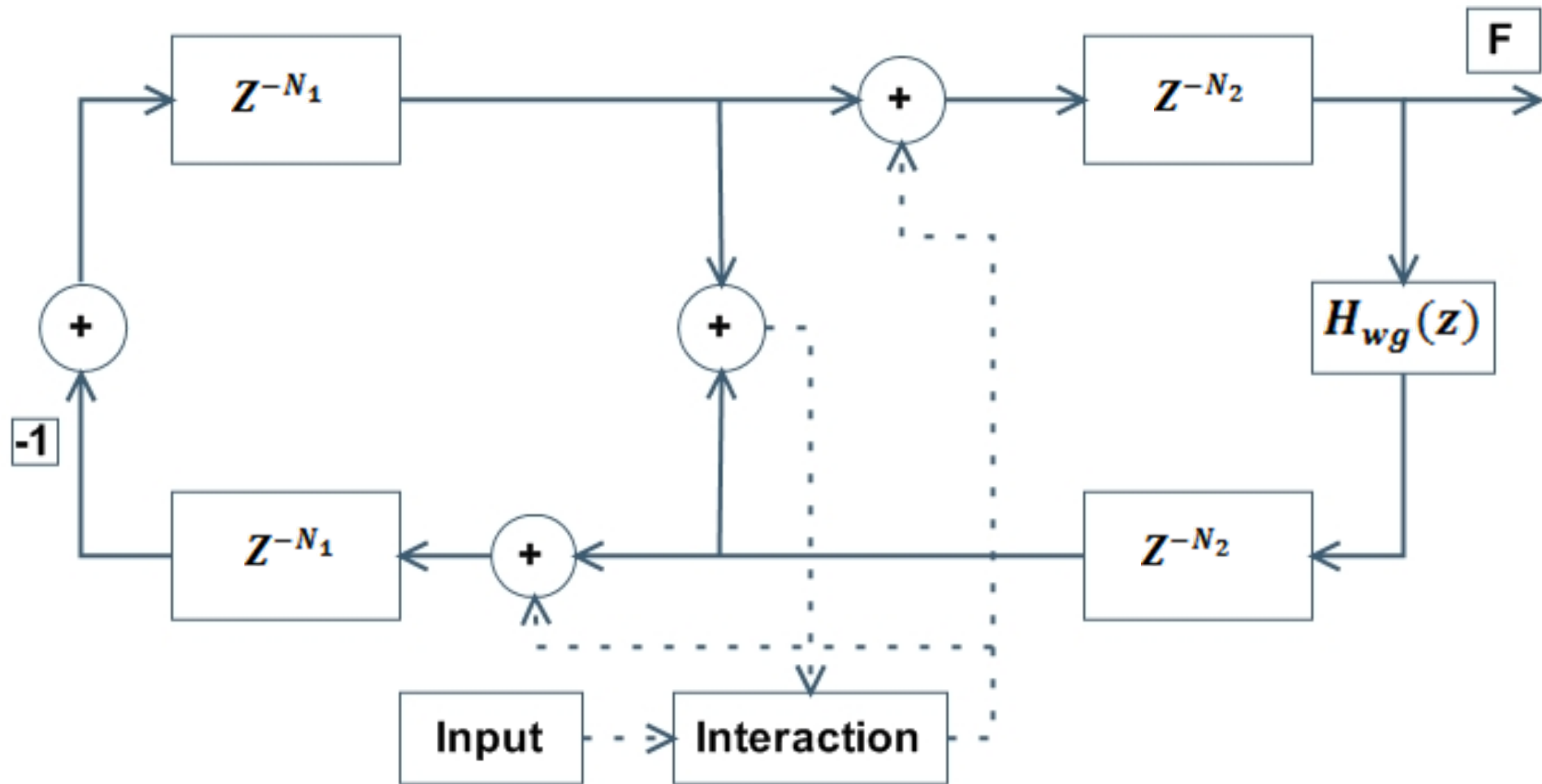
$$y(tn, xm) = y^+(n - m) + y^-(n + m)$$

# A feladataink

- Húrmodell: Előző félév munkájának továbbfejlesztése:  
Karplus-Strong -> teljes waveguide
- Gerjesztés: Pengetés modellezése.  
A pengetés erejétől és időtartamától függő módosítás kiszámítása
- Hangszertest: Frekvenciafüggő átvitel digitális modellezése

# Waveguide szintézis

- A húrmodellt waveguide-al valósítjuk meg.



# Waveguide szintézis

- A hurokban szereplő szűrő átvitele:

$$H_{wg}(z) = H_c(z) * H_{fd}(z) * H_v(z)$$

- $H_c(z)$  : a pengetés helyétől függő fésűszűrő
- $H_{fd}(z)$  : a törtrészkesleltető (hangolás)
- $H_v(z)$  : a veszteségi szűrő: előző félévi eredmények alapján elsőfokú Butterworth IIR szűrő.

# A gerjesztés modell

- Cél: a pengetés fizikai hatásainak modellezése
- A gerjesztést a Cuzzucoli-Lombardo modell egyszerűsítésével hoztuk létre

$$F(t) = F_0(t) - (M_d + \mu\Delta) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - R_d \frac{\partial y}{\partial t} - K_d y$$

- $F_0(t)$  : A pengető által kifejtett erő
- $-(M_d + \mu\Delta) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$  : a tömeg és nyomaték hatásából származó erő
- $-R_d \frac{\partial y}{\partial t}$  : csillapítási erő
- $-K_d y$  : a rendszer merevségéből származó erő

# A gerjesztés modell

- A pengetésből származó gerjesztést az alábbi differenciaegyenlet írja le:

$$h(n_P, m+1)c_0 = h(n_P, m-1)c_1 + \\ [h(n_P, m) + w(n_P, m)]c_2 + \\ w(n_P, m-1)c_3 + w(n_P, m+1)c_4 + F_0 c_5$$

- $h(n_p, m)$ : a pengetés helyén a kitérés
- $w(n_p, m)$ : a pengetés helyétől jobbra és balra haladó hullámok összege



# A gerjesztésmodell

- A megvalósított programokban kétféle változatát használjuk az egyenletnek:
- MATLAB: minden paraméter módosítható
- Blackfin DSP HW: csak a legszignifikánsabb paraméterek adhatók meg:
  - Pengetés helye
  - Gerjesztési erő jelalakja(felfutási és lefutási idő)

# A sugárzó test - modell

- A húrok hangjait a hangsugárzó test erősíti és színezi
- A modellünk egy 2000 tap-es FIR szűrő
- Együtthatóit egy valódi gitártest mérésével felvett impulzusválaszából származtatjuk

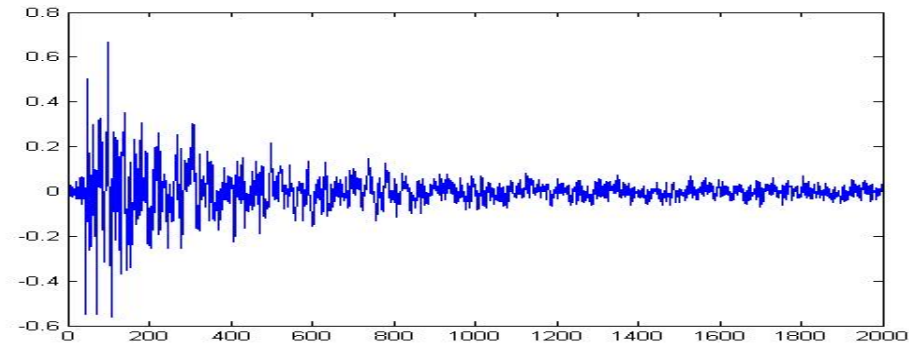
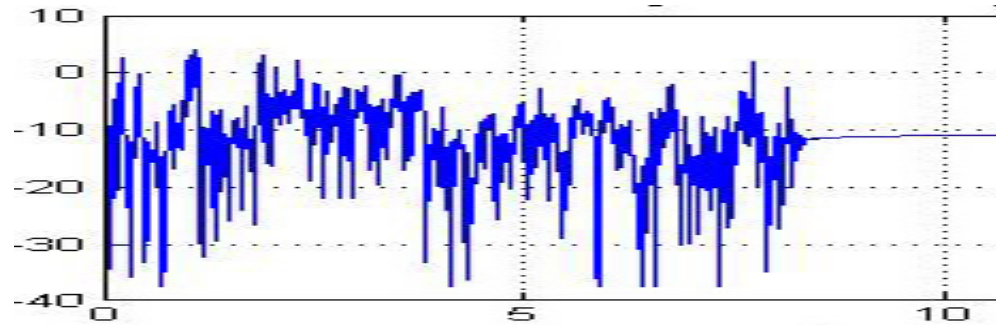
# A sugárzó test - mérés

- A mérési összeállítás:
  - Gerjesztés: impulzuskalapács gyorsulásmérővel
  - Mérendő objektum: egy klasszikusgitár-test
  - Válasz: mérőmikrofonnal felvett hang
- A mérési eljárás:
  - A gitártestet megfelelő ponton gerjesztjük
  - A több mérési eredményből a jók kiválasztása
  - Feldolgozás

# A sugárzó test - eredmény

- MATLAB-ban a jó mintákból spektrumot számolunk
- A spektrumokat átlagoljuk
- A két mérési eredményt elosztva kapjuk a végleges átviteli függvényt.
  
- A gitártest magasabb (7-8 kHz feletti) frekvenciákra a mechanikai adottságai miatt alig reagál
- Ezért sávkorlátoztuk az átvitelt
- Többszöri próbálgatás után 8 kHz-ben határoztuk meg a sávkorlátozás határfrekvenciáját

# Az átvitel és az impulzusválasz



# A megvalósított programok

- A hangszintézis megvalósítására két program készült:
  - MATLAB: részletes modell, dallam lejátszására alkalmas
  - Blackfin DSP HW: egyszerűsített modell, mely valós időben állítja elő a hangot
- Mindkét megvalósítás az előzőekben bemutatott modellt realizálja

# Eredmények, bemutató

- MATLAB file-ban definiált dallamot lejátszó program
- DSP HW dallam szintézis