

RealSimPLE:

Strängar



Laborationsanvisningar till monokordet

Illustrerar hur vibrationerna i strängen påverkas av strängens mekaniska egenskaper och av hur strängen sätts i rörelse

RealSimPLE bor på nätet:

För gymnasiet: svenska och engelska: <http://www.speech.kth.se/realsimple>

För college och universitet: <http://ccrma.stanford.edu/realsimple>

Frågor om RealSimPLE kan e-postas till hellmer@kth.se .



RealSimPLE - Reality and Simulations in a Pedagogical Learning Environment - är ett forsknings- och utvecklings-samarbete mellan KTH, Stanford University och Vetenskapens Hus. Det finansieras med anslag genom Wallenberg Global Learning Network. www.wgln.org av Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse. www.kaw.se



Kungliga Tekniska Högskolan - Skolan för Datavetenskap och kommunikation, avd. för Tal, musik och hörsel - Musikakustik www.speech.kth.se



Stanford University, Kalifornien, USA - Dept of Music, Center for Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA). <http://ccrma.stanford.edu>



Vetenskapens Hus, KTH Albanova, www.vetenskapenshus.se

Innehåll

Förberedelser	4
Strängen	6
Mätning av strängspänning	6
Pulsutbredning	6
Strängens resonanser	8

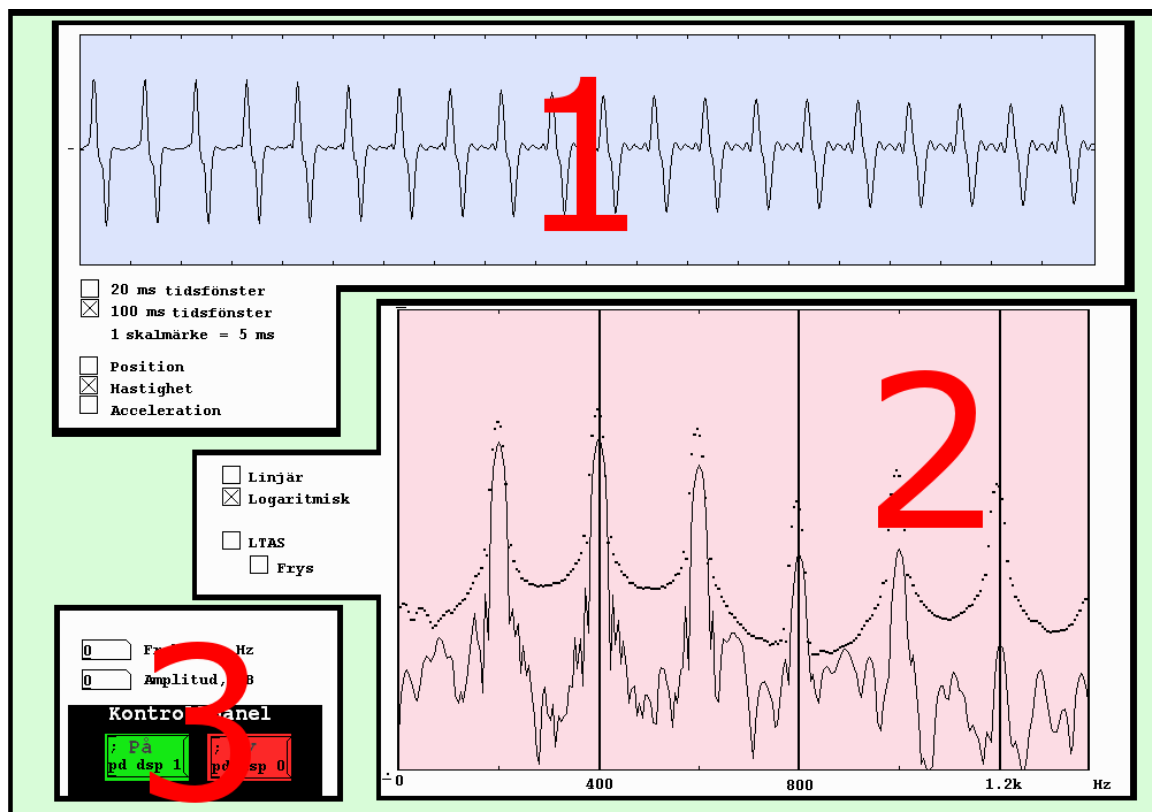
Förberedelser

Denna laboration kräver RealSimPLEs monokord. För bygganvisningar se RealSimPLEs hemsida. Om PureData inte finns installerat på datorn måste du först installera det. Se RealSimPLEs hemsida för installationsanvisningar.

Anslut först monokordet till datorns ljudkort. Koppla krokodilklämmor direkt till stängen i varsin ände av monokordet, den ena mellan stämskruven i delen C2 och dess närmaste brygga i delen B2 och den andra mellan infästningen i delen C1 och bryggan i B1. Koppla sedan dessa två klämmor med laboratoriekabel och nödvändiga adaptrar till datorns mikrofoningång (rosa jack).

Starta programmet Pd.exe (PureData) och välj: File -> Open...

Välj filen Monokord.pd och klicka på Open.



Monokord.pd-modellen.

1: Oscilloskop. Kan ställas mellan 20 ms och 100 ms tidsfönster samt att visa antingen strängens position, hastighet eller acceleration i magnetfältet. När strängen knäpps kommer de första 20 eller 100 ms av strängens position, hastighet eller acceleration i magnetfältet att visas.

2: Spektroskop. Visar strängens rörelse som en funktion av frekvensen. Y-axeln visar amplitud exponentiellt eller linjärt. Knappen LTAS (Long Time Average Spectrum) visar ett genomsnittsspektrum i vilket det är enklare att se amplituden hos individuella resonanser. Markerar rutan märkt Freeze stannar LTAS-spektrumet tills rutan avmarkeras.

3: Kontrollpanel. Används för att starta och stoppa modellen. Visar även strängens grundtonsfrekvens samt amplitud.

Modellen är anpassad till att strängen är stämd till ca 200 Hz.

Strängen

De huvudsakliga akustiska egenskaperna hos en vibrerande sträng är ρ massa per längdenhet [kg/m], spänning T [N], och längd l [m].

Mätning av strängspänning

1. Drag den spända strängen ur jämviktsläget på mitten (med dynamometer eller vikt) och mät hur mycket den dras ur jämviktsläget på mitten. Beräkna strängens spänning.

$$T = \frac{F}{4} \cdot \frac{l}{h}$$

Storhet	Symbol	Sort	Ditt resultat
dragkraft	F	N	
stränglängd	l	m	
förskjutning från jämviktsläget	h	m	

Ditt svar

strängspänning	T	N	
----------------	-----	---	--

Pulsutbredning

När strängen knäpps eller slås an, uppstår två pulser som flyttar sig längs strängen i motsatta riktningar. Hastigheten för dessa pulser bestäms av strängspänningen (T) och massa per längdenhet (ρ , rho). Den sammanlagda tiden från anslaget, till reflexion mot det närmaste strängstödet, till nästa reflexion mot det bortre strängstödet, och tillbaka till anslagspunkten är lika med tiden för en grundtonsperiod.

2. Mät periodtiden för pulsens utbredning från anslagspunkten via båda strängstöden och tillbaka. Till hjälp har du oscilloskopet i Pd-modellen. Beräkna sedan utbredningshastigheten hos pulsen.

$$c = \frac{2l}{t}$$

Storhet	Symbol	Sort	Ditt resultat
stränglängd	l	m	
periodtid	t	s	

Ditt svar

utbredningshastighet	c	m/s	
----------------------	-----	-----	--

3. Väg en strängkopia och beräkna vikten (massan) per meter. Om en våg inte finns att tillgå så kan det ungefärliga värdet 2.4 g/m användas. Beräkna pulsens utbredningshastighet med formeln för sambandet mellan strängens massa och spänning. Stämmer detta med den uppmätta hastigheten?

$$c = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

Storhet	Symbol	Sort	Ditt resultat
strängspänning	T	N	
massa per längdenhet	ρ	kg/m	

Ditt svar

utbredningshastighet	c	m/s	
----------------------	-----	-----	--

Grundfrekvensen f är lika med inversen av periodtiden t , alltså $1/t$. Sträckan som pulsen utbreder sig under en periodtid är densamma som våglängden för strängens grundfrekvens, eller två stränglängder.

4. a: Det finns en grundläggande formel för sambandet mellan frekvens, våglängd och utbredningshastighet. Hur lyder den?

Räkna ut våglängden i strängen för strängens grundton!

Storhet	Symbol	Sort	
frekvens	f	Hz	
utbredningshastighet	c	m/s	

Ditt svar

våglängd	λ	m	
----------	-----------	---	--

b: Samma formel kan tillämpas för att räkna ut våglängden för denna frekvens i luft. Ljudets hastighet i rumstempererad luft är ungefär 344 m/s, hur lång är våglängden i luft för strängens grundton?

Storhet	Symbol	Sort	
frekvens	f	Hz	
ljudets hastighet	c	m/s	

Ditt svar

våglängd	λ	m	
----------	-----------	---	--

Animeringar av strängens rörelser samt fler uppgifter till vågutbredning i strängar finns på:

<http://ccrma.stanford.edu/realsimple/travelingwaves/>

<http://phet.colorado.edu/simulations/stringwave/stringWave.swf>

(på engelska)

Strängens resonanser

Om strängen drivs med en signal på en enda frekvens som är lika med grundfrekvensen, så vibrerar hela strängen i fas med denna signal. På mitten vibrerar strängen maximalt och vi får vad som kallas en vibrations**buk** där. I ändarna vibrerar inte strängen, därför att den sitter fast; man säger att vi har *nod*punkter där. Med andra ord, randvilkoren för den spända strängen säger att vi måste ha vibrationsnoder vid ändarna. Men de villkoren kan vara uppfyllda för mer än en frekvens på samma gång!

5. Titta nu på spektroskopet och knäpp på strängen, så att du ser den anslagna strängens spektrum. Strängens resonanser syns nu som smala toppar. Finns det ett samband mellan resonansernas frekvenser och den spända strängens grundfrekvens?

$$f_n = n * f_1, n = 1, 2, 3, \dots$$

Vilken är frekvensen hos den n:te resonansen?

Storhet	Symbol	Sort	Ditt resultat
Grundfrekvensen	f_1	Hz	

Ditt svar

den n:te strängresonansen	f_n	Hz	
---------------------------	-------	----	--

Utan teoretisk härledning verkar det rimligt att flera halva våglängder längs strängen ger resonanser då detta överensstämmer med randvilkoren - inga vibrationer vid stöden. Således skulle en resonans även kunna ha flera bukar och noder. Detta skulle endast inträffa vid specifika frekvenser, resonansfrekvenserna. Vibrationerna för en resonans kan ej uppmätas i resonansens noder. Samma resonans kan ej exciteras i en nod. En resonans exciteras maximalt i en buk.

6. Knäpp strängen vid mitten, vid en tredjedel och vid en fjärdedel av stränglängden och observera skillnaderna i spektrumet. Förklara hur spektrumet påverkas och varför.
7. Vid vilka positioner längs strängen finns vibrationsbukarna och vibrationsnoderna för de tre lägsta resonanserna? Vilka är resonansernas frekvenser?

Att slå an strängen med ett hårdare eller mjukare material påverkar också spektrumet. Bara genom att lyssna till strängen är det möjligt att avgöra om den blev anslagen av ett hårt eller mjukt material.

8. Slå an strängen vid cirka en åttondel av stränglängden med en träpenna (hårt material) och sedan med en pianohammare eller med ett suddgummi fäst vid pennan (mjukt material). Vilka egenskaper hos ljudet är olika för de två anslagen?
9. Slå an strängen igen precis som i uppgift 6 och titta nu på resonanserna. Är frekvenserna desamma?

Se nu istället på signalen i tidsdomänen istället för frekvensdomänen.

10. Slå an strängen vid mitten, vid en tredjedel och vid en fjärdedel av stränglängden. Påverkas signalen av detta? Förklara.
11. Slå an strängen vid cirka en åttondel av stränglängden med en träpenna och sedan med en pianohammare eller med ett suddgummi fäst vid pennan. Hur påverkas signalen?

En efterföljande laboration som ger en större förståelse för spektral representation av den knäppta strängens vibration och hur ljudet förändras då det spektrala innehållet ändras finns på:

<http://ccrma.stanford.edu/realsimple/harmonics/>

(på engelska)