



**T.C. İSTANBUL T CARET
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CİSİMLERİN İNTERAKTİF ODİYO-GÖRSEL
ANİMASYONU**

Elif EK İ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Rifat YAZICI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL 2021**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elif EKŞİ tarafından hazırlanan "**Cisimlerin İnteraktif Odiyo-Görsel Animasyonu**" adlı tez çalışması 03/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Rifat YAZICI İstanbul Ticaret Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Cem KASAPBAŞI İstanbul Ticaret Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Erdem YAVUZ Bursa Teknik Üniversitesi

Onay Tarihi: 15.03.2021

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 15.03.2021 tarih ve 2021/308 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 1. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Elif EKŞİ" (TC:67768034630) adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

15/03/2021

Elif EKŞİ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Ses Fiziği	2
1.2 Titreşim	4
1.2 Periyot	5
1.3 Frekans	5
1.4 Ses Perdesi (Pitch)	6
1.5 Genlik	7
1.6 Tını (Timbre)	7
1.7 Vurular (Beats)	9
1.8 Ses Yüksekliği (Loudness)	9
1.9 Ses Zarfı (Envelope)	10
1.10 Formant	11
2. LİTERATÜR ÖZETİ	12
3. FİZİK TABANLI SES SENTEZİ	15
3.1 Kütle Yay Sistemi	15
3.1.1 Kütle yay sistemi için ikinci dereceden diferansiyel denklem çözümleri	18
3.2 Sayısal Filtreler	22
3.2.1 FIR (Sonlu Dürtü Cevaplı) filtre	23
3.2.2 IRR (Sonsuz Dürtü Cevaplı) filtre	24
3.2.3 Sıfır ve Kutup (Zeroes and Poles)	25
4. ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER	26
4.1 Sönümlü Kütle Yay Sistemi	26
4.2 Sönümsüz Kütle Yay Sistemi	28
5. İKİ BOYUTLU SİSTEMLER: LEVHALAR	29
5.1 Düzlemsel İnce Levha	29
5.1.1 Düzlem levhanın serbest titreşim modlarının bulunması	30
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	37
EKLER	39
EK A. Uygulama Kodları	40
ÖZGEÇMİŞ	41

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Cisimlerin İnteraktif Odiyo-Görsel Animasyonu

Elif EKŞİ

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Rıfat YAZICI
2021, 41 sayfa

Günümüzde, dikdörtgen ince levha türü malzemeler, havacılık, mekanik, sivil ve denizcilik endüstrilerinde, otomotiv sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin titreşimleri halinde oluşturacakları ses radyasyonu istenmeyen gürültülere de sebep olmaktadır. Bu çalışmada dörtgensel ince bir levhanın titreşim hareketin matematiksel denklemleri düzlemsel iki boyutlu dalga denklem çözümleri ile birlikte türetilmiştir. Sönümlü kütle yay sisteminin titreşimi ile oluşan ses MATLAB programında sound fonksiyonu ile çalıştırılmış ince levha titreşim görüntüsü ile birlikte simüle edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fizik tabanlı ses simülasyonu, İnce levha titreşimi, Sönümlü kütle-yay sistemi ile üretilen ses

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Interactive Audio-Visual Animation of Objects

Elif EKŞİ

**Istanbul Commerce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Rıfat YAZICI
2021, 41 pages**

Nowadays, rectangular plate type materials are used in aerospace, mechanical, civil and marine industries, automotive industries. The sound radiation created by this material also causes noises. In this study, the mathematical equations of the vibrational motion of a thin rectangular plate are derived together with the planar two-dimensional wave equation solutions. The sound generated by the vibration of the damped mass spring system was simulated together with the thin plate vibration image operated with the sound function in the MATLAB program.

Keywords: Physics based sound simulation, Sound produced by damped mass-spring system, Thin plate vibration.

TEŞEKKÜR

Bu bitirme proje çalışması İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı kapsamında hazırlanmıştır. Yüksek Lisans çalışmam boyunca, beni yönlendiren, tecrübelerini paylaşan çok değerli hocam Prof. Dr. Rıfat YAZICI' ya teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda çalışmam boyunca benden desteklerini esirgemeyen adeta benimle birlikte çalışan sayın hocam Uzm. Öğrt. Görv. Fatma Nur AKI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini üzerimden eksik etmeyen babam Zeyyid EKŞİ ve annem Beyhan EKŞİ 'ye, kardeşlerime, bütün manevi desteği ile yanımda olan babaannem İlve EKŞİ' ye ve anneannem Fatma EKŞİ 'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Elif EKŞİ
İSTANBUL, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1 Mekanik dalgaya basit bir örnek.....	2
Şekil 1. 2 Sesi oluşturan öğeler.....	3
Şekil 1. 3 Kulak Anatomisi	4
Şekil 1. 4 Yaya bağlı bir kütlenin harekete geçirildikten sonraki titreşimi.....	5
Şekil 1. 5 Dalga Boyu	6
Şekil 1. 6 Ses Dalgası.....	7
Şekil 1. 7 Bir klarnetin ve bir trompetin frekans genlik analizleri.....	8
Şekil 1. 8 Beats.....	9
Şekil 1. 9 Ses Zarfının Safhaları	10
Şekil 3. 1 Kütle-yay sistemi	16
Şekil 3. 2 Kütle-yay damper sistemi	17
Şekil 3. 3 Kritik üstü sönüm.....	19
Şekil 3. 4 Kritik sönüm	20
Şekil 3. 5 Sönümlü harmonik hareket.....	21
Şekil 3. 6 Sönümlü salıncının zamana göre grafiği	22
Şekil 3. 7 Ayırık zamanlı sayısal filtre.....	23
Şekil 3. 8 İki noktalı değişken ortalamalı sayısal filtre.....	24
Şekil 4. 1 Kütle Yay Sistem	26
Şekil 4. 2 Kütle, sönümleme, yay sabiti matrisleri	27
Şekil 4. 3 Hız, İvme, Kuvvet vektörleri	28
Şekil 5. 1 Dörtgensel levha	29
Şekil 5. 2 L_x, L_y, h boyutlarında ince dörtgensel levha.	30
Şekil 6. 1 Üretilen dört-mod değeri için dörtgensel düzlem yüzeyin titreşim grafikleri	33
Şekil 6. 2 Sönümlü kütle-yay sistemi kullanılarak oluşan sesin grafiği	34
Şekil 6. 3 İki wav ses dosyasının grafiği.....	34
Şekil 6. 4 İki wav ses dosyasının korelasyon grafiği	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6. 1 Matlab programında kullanılan komutların açıklamaları	36
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1D	1 Boyutlu (1B)
2D	2 Boyutlu (2B)
3D	3 Boyutlu (3B)
ADSR	Envelope (Attack-Decay-Sustain-Release)
dB	Desibel
F	Frekans (Frequency) simgesi
FIR	Sonlu Dürtü Cevaplı Filtre (Finite Impulse Response)
Hz	Hertz
IRR	Sonsuz Dürtü Cevaplı Filtre (Infinite Impulse Response)
KHz	Kilo Hertz
ODE	Adi Diferansiyel Denklem (Ordinary Differential Equations)
PDE	Kısmi diferansiyel denklem (Partial Differential Equation)
T	Periyot (Period) simgesi
λ	Lamda. Dalga boyu (Wavelength) simgesi
ϕ	Faz açısı
E	Young Modülü
ρ	Maddenin yoğunluğu
ϑ	Poisson oranı

1. GİRİŞ

Fizik tabanlı görüntü ve ses simülasyonlarının oluşturulması konusundaki çalışmalar son on yılda devam eden güncel araştırma konularındandır. Sanal gerçeklik sistemleri, oyunlar, işitsel ekranlar, etkileşimli sanat uygulamaları, müzik aletlerinin simülasyonlarının yanı sıra sanal cerrahi ve eğitim simülasyonları gibi birçok uygulama cisimlerin fiziksel etkileşimlerinin görüntü ve ses simülasyonunu gerektirmektedir.

Bilgisayarların hesaplama güçlerinin, hızlarının artması ile cisimlerin interaktif görüntü ve ses simülasyonlarının üretimi günümüzde daha verimli hale gelmiştir. Simülasyonların fiziksel modele dönüştürülmesi, elde edilecek görüntü ve sesin daha gerçekçi olmasını sağlamaktadır. Ancak, grafik simülasyonlarına kıyasla, gerçekçi seslerin fiziksel modellere dayalı olarak simüle edilmesi son derece yüksek hesaplama maliyeti gerektirmesi nedeniyle hala araştırılmakta olan güncel bir konudur (Ekşi,2020).

Fizik tabanlı ses sentezi, katı cisim hareketleri aracılığıyla çarpışma seslerini sentezleme işlemidir. Temelleri titreşim teorisinin derinliklerinde yatmaktadır. Kısaca, bir nesneye vurulduğunda, üzerine uygulanan kuvvetler iki ana bileşene ayrılabilir. Birincisi, nesnenin tepki olarak nasıl hareket edeceğini (yani devrilir mi, yerde yuvarlanır mı, havaya fırlatılır mı?) belirleyen "dinamik kuvvet" dir. Bu "dinamik kuvvetler" tipik olarak modern etkileşimli uygulamalarda "fizik motorları" kullanılarak modellenir. İkinci bileşen elastik tepkidir (örneğin, germe, sıkıştırma veya titreşim). Sesin gerçek zamanlı olarak üretilmesi bu elastik kuvvetler aracılığıyla gerçekleşir. Tipik olarak bir nesneye vurulduğunda cisim titrer (Ekşi,2021).

Bu çalışmanın amacı, cisimlerin bilgisayar ortamında interaktif ses ve görüntü animasyonunu oluşturmaktır. Bu çalışmada iki boyutlu fiziksel bir yüzey titreşiminin görüntüsü ve oluşturduğu sesin simülasyonu hedeflenmiştir.

1.1 Ses Fiziği

Ses, bir enerji kaynağından yayılan titreşimlerin etkisi sonucu gaz, sıvı ve katı ortamlarda moleküllerin sıkışıp, gevşemesi ile ortaya çıkan enerjidir. Bu sıkışma ve gevşemeler ortamda yayılarak ses dalgalarını oluştururlar. Moleküllerin bir defa sıkışıp gevşeme hareketi içinde kalan mesafe sesin dalga boyunu belirler. Bir tek titreşimde pozitif ve negatif iki faz mevcuttur. Bir saniyedeki titreşim sayısı o sesin frekansını ifade eder. Ses dalgalarının genliği ise o sesin şiddetini oluşturur. Frekans hertz (Hz) cinsinden, bir saniye içinde meydana gelen tam dalga çevrimlerinin sayısı olarak adlandırılır. Normal insan kulağı her titreşim enerjisini ses olarak algılayamaz. Ancak 20-20.000 Hz. arası sesleri işitebilecek kapasitededir (Belgin, 2004).

Fizikçiler sesi, elastik bir ortam ya da nesne içinde bozulma olarak yayılan mekanik bir dalga olarak görürler (Şekil 1.1). Başka bir deyişle sesi parçacıkların dinlenme pozisyonları etrafında ileri geri hareketleri (mekanik salınım) olarak görürler. Elektromanyetik dalgalar ise birbirine bağlı olarak değişen manyetik ve elektrik alanların düzlemine dik olarak yayılan bir enerjidir (Réveillac, 2018).

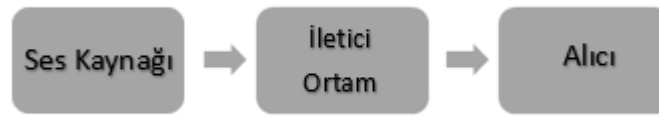


Şekil 1. 1 Mekanik dalgaya basit bir örnek (Réveillac, 2018)

Sesler titreşen nesneler tarafından üretilir. Bu nesneler kaynaktır ve sesin yayıldığı ortam sesi kulaklarımıza taşır. Bir ses kulaklarımıza ulaştığında, beynimiz onu algılamamızı, farkında olmamızı ve yorumlamamızı sağlar.

Çevremizdeki nesnelerin çoğu, darbe, sürtünme, hava akışları veya deformasyonlarla etkileşime girdiklerinde ses üretebilir. Titreşimi iletecek bir ortam olmadığından ses boşlukta yayılamaz. Farklı sesleri tanımlamak ve ayırt etmek için *yoğunluk*, *ses perdesi* ve *tını* gibi parametreler kullanılabilir. Ses olaylarının fiziğini inceleyen bilim alanı akustik olarak bilinmektedir. Amaçlarından bazıları, seslerin duyulabilirliğinin karakterize edilmesi, seslerin taşınması ve dönüştürülmesinin tanımlanması ve belirli bir sesin geçireceği deformasyonların belirlenmesidir (Cook, 2002).

“Genellikle, kulağımızı uyaran ve bu yolla beynimizde duyumlara yol açan etkilerin bir ses oluşturduğundan söz ederiz. Buna göre, bir sesin var olabilmesi için, çalışır durumda bir kulak ve beynin (alıcı sistem) bulunması, onları uyarabilecek nitelikteki etkenlerin bir yerlerde oluşması (ses kaynağı) ve bu etkenlerin, oluştukları yerden kulağa kadar, kulağı uyarmaya yetecek bir şiddette iletilmesi (iletici ortam) gerekir (Şekil 1.2). Bu öğelerden herhangi birisi yoksa ses de yoktur” (Zeren, 2014, s.11) (Aktaran: Sevil, 2005).



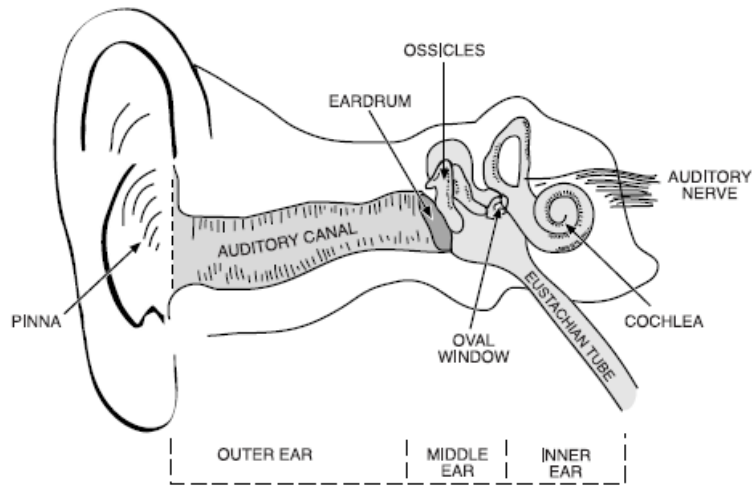
Şekil 1. 2 Sesi oluşturan öğeler

Dış ortamdan gelen ses dalgalarının karşılaştığı ilk organ kulak kepçesidir (auricula). Kulak kepçesi sesleri toplamaya ve dış kulak yoluna iletmeye yarar. Ayrıca yapısal özelliği nedeniyle sesi filtreleme ve artırmak görevi de vardır. Yetişkinde ortalama boyu 2,5 cm olan dış kulak yolu ses dalgalarını kulak zarına ileten bir yol ise de görevi sadece sesi iletmek değildir. Ses enerjisi bu yolda ilerlerken yükseltilerek kulak zarına iletilir. Bu durum dış kulak yolunun bir rezonatör olmasından kaynaklanır.

Kulak yolunun rezonans frekansı olan 3000-4000 Hz’ lerde bu yükselme en yüksek düzeye, özellikle 4000 Hz de 12 dB e ulaşır. Kulak zarı, dış kulak yolundan gelen ses dalgalarını kulak kemikcikleri aracılığıyla oval pencereye iletirken, bu ses dalgalarının yuvarlak pencereye ulaşmasını da engeller. Başka bir ifade ile, zar oval pencere için bir iletken, yuvarlak pencere için ise yalıtıcıdır. Ses dalgalarının orta kulak iletim

elemanlarından geçip iç kulak sıvılarında bir dalga hareketi meydana getirebilmeleri için oval ve yuvarlak pencereler birbirlerine zıt fazda titreşebilmelidir. Diğer bir anlatımla, sıvılar gazlar gibi sıkıştırılamayacağına göre, iç kulaktaki sıvı ortamını çevreleyen sert kemik dokusunun iki esnek penceresinden birisi olan oval pencereden içeriye ses dalgaları pompalanınca, diğer pencereden, yani yuvarlak pencereden dışarıya bombe yaparak atılmalıdır (Belgin, 2004).

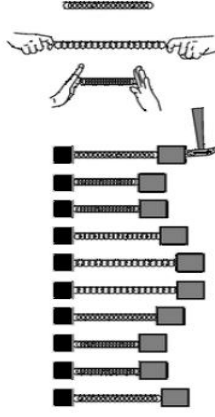
Kısaca, en yaygın alıcı kulaklardır. İletici ortamdan geçerek kulağa ulaşan ses dalgaları kulak kepçesi tarafından toplanır ve kulak yolundan geçerek kulak zarını titreştirir. Kulaktaki hareketini tamamlayan bu titreşimlerdeki bilgiyi işitme sinirleri toplar. İşitme sinirleri aldığı bilgileri elektrik sinyallerine dönüştürerek beyne ulaştırır ve böylece ses algılanmış olunur (Şekil 1.3).



Şekil 1. 3 Kulak Anatomisi (Parker,2009)

1.2 Titreşim

Bir maddesel noktanın veya bir cismin denge konumu etrafındaki salınımıdır (Şekil 1.4). Bir çay fincanına bir kaşıkla vurulduğunda, çay fincanı serbestçe titreşir ve bir basınç dalgasına karşılık gelen ortamda periyodik bir hareket oluşturur. Kulak zarı dalganın gücüyle hareket eder ve bunun sonucunda bir ses duyulur. Çay fincanı bir çarpma sonucu uyarıldıktan sonra oluşan titreşimlere serbest titreşimler denir (Picard-Limpens,2009).



Şekil 1. 4 Yaya bağlı bir kütlenin harekete geçirildikten sonraki titreşim (Picard-Limpens,2009).

Sürtünmenin ihmal edilebilir olduğunu ve kütlenin hareketinin tek boyutlu olduğunu varsayarsak, sadece potansiyel enerji ve kinetik enerji söz konusudur. Ses dalgasının taşıdığı enerji, maddenin ekstra sıkışmasının veya yanal yer değiştirmesinin potansiyel enerjisi ile ortamın salınımlarının kinetik enerjisi arasında ileri geri dönüşür. Küçük genlikli titreşimler her zaman sinüzoidaldir. Bu tür titreşime basit harmonik hareket denir. Basit harmonik harekette, periyot genlikle ilgili değildir.

$$T = 2\pi\sqrt{m/k} \quad (1.1)$$

Eşitlik 1.1’de m ve k sırasıyla yay sarkacının kütlesi ve yay sabitidir. Sinüzoidal dalgalar, periyodik dalgaların en önemli özel durumudur.

1.2 Periyot

Periyot, bir tam salınımı (bir döngü) tamamlamak için geçen saniye cinsinden süredir. Frekansın tersidir. Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) saniye ile birimlendirilir ve T ile sembolize edilir (Réveillac, 2018).

1.3 Frekans

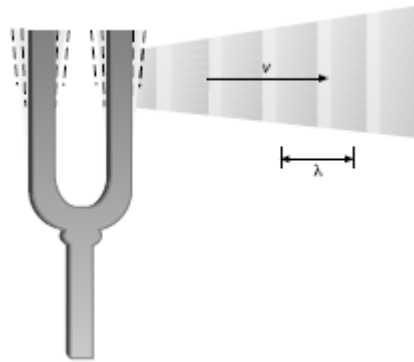
Frekans, bir saniye içindeki titreşim sayısıdır. Frekans, periyodun tersidir (Eşitlik 1.2). Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) Hertz ile birimlendirilir ve f ile sembolize edilir (Ballou, 2008).

$$T=1/f \quad (1.2)$$

1.4 Ses Perdesi (Pitch)

Ses perdesinin (pitch) fiziksel karşılığı frekanstır ve sesin en temel algısal özelliklerinden biridir. Ses titreşimlerinin sıklığı, perdeyi ya da sesin algılanan yüksekliğini veya düşüklüğünü etkiler. Ses perdesi bir filmde farklı seslerin seçilmesinde yardımcı olan faydalı bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda objelerin tanımlanmasını sağlar. Gümbürtülü sesler, içi boş objelerin çıkardığı sesleri anımsatabilir. Yüksek perdeli sesler ise (jingle bells zil sesleri gibi) düz ya da sert yüzeyli objeleri anımsatabilir (Bordwell, 2012).

Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü'nün (ANSI) tanımı şu şekildedir: “Pitch, sesin düşükten yükseğe doğru bir ölçekte işitsel duyum niteliğidir.” ANSI standardı ayrıca şunları ifade eder: “Ses perdesi (pitch) esas olarak ses uyarınının frekans içeriğine bağlıdır, fakat aynı zamanda ses basıncına ve uyarının dalga formuna da bağlıdır. Ses perdesi olarak algılanan sesler bir müzik aleti ve insan sesi tarafından üretilen müzik tonlarıdır. Örneğin, küçük bir davula vurulduğunda, daha büyük bir davuldan daha yüksek ses gelir. İnsanlar için duyulabilir frekans aralığı 20-20.000 Hz' dir (20 kHz). Bu aralık kişiden kişiye değişir ve yaşla birlikte değişir. Şekil 1.5 'te dalga boyu, bir ses dalgasının iki ardışık maksimumu arasındaki mesafedir (Russ, 2008).



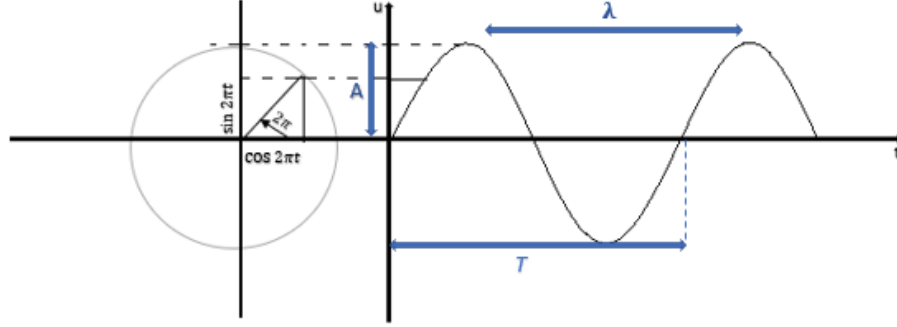
Şekil 1. 5 Dalga Boyu (Parker,2009)

Bu boy, periyodik bir dalganın art arda iki periyodu arasındaki ayrımı tanımlar (Şekil 1.6). Bu nedenle, bir periyot boyunca dalganın kat ettiği mesafeye de eşittir (Réveillac, 2018). Dalga boyunun formülü, (Eşitlik 1.3)'te verilmiştir.

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} \quad (1.3)$$

λ : Dalga boyu

v : m/s cinsinden ses hızı;



Şekil 1. 6 Ses Dalgası (Réveillac, 2018)

1.5 Genlik

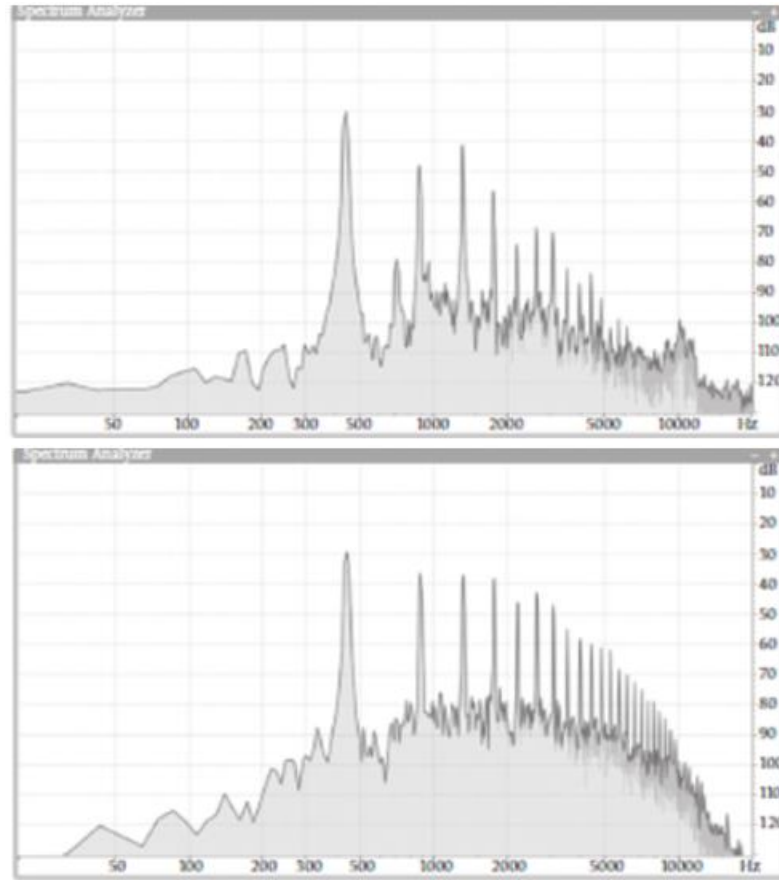
Genlik, periyodik harekette maksimum düzey olarak tanımlanabilir. Genlik, bir dalga'nın tepesinden çukuruna kadar olan düşey uzaklığın yarısıdır. Titreşimin genliği ne kadar fazla ise ses de doğru orantılı olarak şiddetli olacaktır. A ile sembolize edilir (Réveillac, 2018).

1.6 Tını (Timbre)

Tını, ses dalgası tarafından üretilen işitsel ve tonsal özellikler olarak tanımlanır. Bir sesi aynı yükseklikteki ve şiddetteki diğer seslerden ayıran nitelikler bütünüdür. Tını, ses rengi ve ton kalitesi olarak da adlandırılabilir. Bir enstrümanın tınısı, dalga boyuna, harmoniklerine, frekansına bağlıdır. Tını, sesin perdesinden ve yoğunluğundan bağımsız olarak farklı karakteri veya kalitesi olarak tanımlanır. Tını için birden fazla tanım bulunmaktadır:

- Farklı müzik enstrümanlarının çıkarttığı sesleri ayırt etmemizi sağlayan özelliğidir. (Önen, 2008:31)
- Sesin, gürlük ve frekans dışındaki özelliğidir. (Sethares, 2005:12)
- Sesin, üst tonları ile belirlenen niteliğidir. (Sethares,2005:12) (Aktaran: Güneşer, 2019).

Tını, kulaklarımızın günlük sesler, müzik aleti veya insanların sesleri gibi farklı sesleri ayırt etmesini ve tanımasını sağlayan sesin bir özelliğidir (Şekil 1.7). Ses dalgasının şekli ile yakından ilgilidir. Tını, işitme eylemi, sesleri yargılama yeteneğimiz, işitsel hafıza ve algı ile ilgili kavramları içerdiğinden, bugün hala tam olarak açıklamak için mücadele ettiğimiz karmaşık bir kavramdır. Tını kavramını temel frekans, harmonikler veya ses yüksekliği (ses yoğunluğu) açısından tanımlamak çok zordur. Tını karmaşık bir psikoakustik kavramdır. Sesler sert, donuk, kuru, sıcak ve daha birçok özellikte olabilir (Pejrolo, 2017).

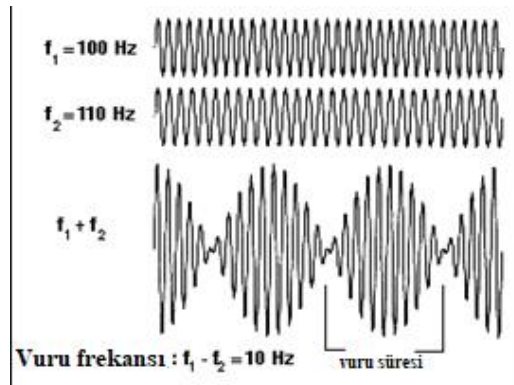


Şekil 1. 7 Bir klarnetin ve bir trompetin frekans genlik analizleri (Pejrolo, 2017)

1.7 Vurular (Beats)

İki dalga formu arasındaki küçük frekans farklılıkları farklı bir etki yaratabilir. İki dalga formunun aynı sıfır geçişinde ve aynı fazda başladığını varsayarsak, daha yüksek frekansa sahip dalga formu yavaş yavaş dalga formunun önüne geçecek ve fazı ileride olacaktır. Fark arttıkça, iki frekans, bazıları kulağa hoş gelen ve diğerleri hoş olmayan bir dizi frekans oranından geçecektir. İki frekans arasındaki oran bir aralık olarak adlandırılır; en kolay ve en ‘hoş’ aralık oktav olan 2: 1 oranıdır. Farklı frekanstaki iki ses dalgası kulağınıza yaklaştığında, alternatif yapıcı ve yıkıcı girişim sesin alternatif olarak yumuşak ve yüksek olmasına neden olur. Buna “vuru” üretme denir (Şekil 1.8). Vuru frekansı, (Eşitlik 1.4) ‘te olduğu gibi iki dalganın frekansındaki farkın mutlak değerine eşittir (Russ, 2008).

$$f_{beat} = |f_1 - f_2| \quad (1.4)$$



Şekil 1. 8 Beats

1.8 Ses Yüksekliği (Loudness)

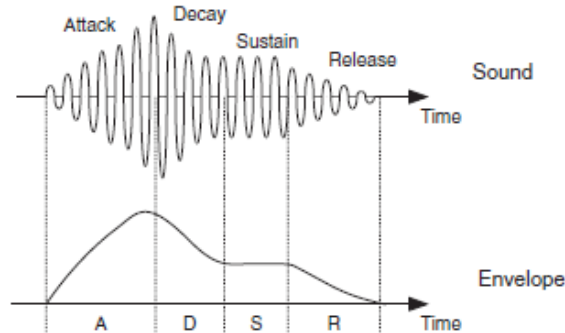
Bir tel titreştiğinde, telin boyutu ve hareket miktarı çevredeki ortama (genellikle hava) ne kadar enerji aktarıldığını belirler. Hava basıncında değişikliklere dönüşen enerji miktarı ne kadar büyük olursa, ses o kadar yüksek olur. Bu, bir ayar çatalı kullanılarak gösterilebilir: bir masa üstüne yerleştirildiğinde daha yüksekte olduğundan çok daha fazla miktarda hava ile temas etmektedir. Titreşen bir nesnenin hareket miktarına titreşimin genliği denir. Titreşen nesnenin ürettiği sesteki enerji miktarına sesin gücü veya yoğunluğu denir.

Güç watt cinsinden ölçülür, ancak birimlerde büyük değişikliklerden kaçınmak için yaygın olarak göreceli bir logaritmik ölçek kullanılır: dB veya desibel. Desibel, ses yoğunlukları veya ses basıncı seviyeleri arasındaki göreceli farkı göstermek için kullanılır. Ses gücü veya seviyesinin insanlar tarafından algılanması öznelidir: 1dB'lik ses gücünde bir değişiklik 'sadece duyulabilir' iken, bir şeyin iki kat daha yüksek çıkması için değişiklik yaklaşık 10dB'dir.

'Ses yüksekliği' belirli bir terimdir, yani bir ses yoğunluğu ölçer tarafından objektif olarak ölçülebilen yoğunluğun aksine bir sesin öznel yoğunluğu anlamına gelir. Ses sadece hava gibi bir iletim ortamından geçen basınç dalgaları olduğundan, oluşan basınç değişiklikleri açısından ölçülebilir. Ses yüksekliği kulağın tepkisine bağlı olduğundan, fonun farklı frekanslarda ve yoğunluklarda görünen ses yüksekliğinin öznel bir ölçümüne dayandığı fonlarda ölçülür (Russ, 2008).

1.9 Ses Zarfı (Envelope)

Ses zarfı, müzikal bir sesin zaman içerisinde değişen dinamik safhalarını tanımlar ve bu değişimler 4 safhada incelenir (Şekil 1.9). Bu safhalar sırası ile atak (attack), zayıflama (decay), uzama (sustain), sönümlenme (release) olarak isimlendirilir. Atak ve zayıflama değerleri, sesin nasıl başladığını kontrol eder. Atağın kaybolma süresi tamamlandığında, genlik uzama (sustain) seviyesine geçer. Uzama seviyesi, klavyede notaya basılı tutulurken sesin genliğini tanımlar. Uzama seviyesi tipik olarak seviyeyi yükseltmek yerine azaltan bir zayıflatıcıdır. Sönümleme süresi, nota serbest bırakıldıktan sonra ses seviyesinin susturulması için geçen süreyi tanımlar. Buna yavaşlama zamanı da denilebilir (Russ, 2008).



Şekil 1. 9 Ses Zarfının Safhaları (Russ, 2008)

1.10 Formant

Formant', 1900'lerin başında Latince 'den Almanca 'ya ve daha sonra da İngilizce 'ye alınmış, 'biçimlendirici' anlamına gelen bir terimdir. Ses bilgisi (fonetik), formant kelimesini ünlü (sesli) harflerin fonetik özelliğini belirleyen ve biçimlendiren frekanslar olarak tanımlar. En alt formant frekansı f_1 olarak etiketlenir. Ünlü harflerin formant frekans sayısı dört ile altı arasında değişir ama bir ünlü harfin anlaşılabilir olması için üç formant frekans (F_1 , F_2 ve F_3) yeterlidir. Telefon hatlarının frekans aralığının dar olması, iletilen sesin kaliteli olmaması ancak konuşmaların rahatlıkla anlaşılabilmesinin sebebi de budur. Telefon hatlarının frekans aralığı 300Hz – 3.5kHz'dir, bu da tüm ünlü harflerin ilk üç formant frekansını kapsamaktadır (Russ, 2008).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Zhang vd., (2005), makalesine göre günümüzde mevcut olan tüm ses sentezi yaklaşımları arasında, fizik tabanlı yöntemler önemli bir rol oynamaktadır. Ses, dünyamızın yaygın bir parçasıdır. Sanal ortamların inanılır olması için, sanal nesnelerin seslerinin doğru şekilde çoğaltılması gerekir. Bilgisayar grafikleri alanında, katı nesneler tarafından üretilen sesi hesaplayan standart çerçeve modal sentezdir. Bu yöntemler, bir cismin titreşimli yüzeyi tarafından üretilen frekansları hesaplamayı ve her bir frekans bandın neden olduğu akustik radyasyonu hesaplamayı içerir. Bununla birlikte, çok ince çubuk benzeri cisimler, doğrusal modal ses sentezi için zayıf adaylardır. İnce cisimler, simülasyon boyunca büyük yer değiştirmeleri ve şekil değişimleri yapabilme eğilimindedir.

Raghuvanshi vd., (2006), makalesine göre cisimlerin yüzey titreşimlerini gerçek zamanlı olarak ayırıklaştırılmış fiziksel modeller kullanarak modelleme kavramı ilk olarak Florens ve Cadoz (1991) tarafından önerilmiştir. Anılan çalışmada 3D (üç boyutlu) cisimleri modellemek için kütle ve sönümlü yay sistemi kullanan ve fiziksel temelli ses sentezi için CORDIS-ANIMA programını geliştirilmiştir.

Ekşi vd., (2020), makalesine göre fiziksel tabanlı ses sentezi yöntemleri, çarpışma gibi fiziksel etkileşimler esnasında oluşan sesi, cisimlerin malzeme cinsine ve geometrisine dayanan bazı faktörlere bağlı olarak ton ve tınların değişikliğini otomatik olarak üretebilmektedir.

Ren vd., (2013)'ün aktarımına göre Ses kaynaklarını simüle etmek için başka bir yaklaşım, görsel gerçekleştirme ile otomatik olarak senkronize olan gerçekçi sesleri sentezlemek için fiziksel tabanlı simülasyon kullanmaktır. Akışkanlar dinamiği ve aerodinamik gibi ilginç doğal olayların kullanılması ile seslerinin üretilmesi önerilmiştir.

Zhou vd., (2006) 'nın aktarımına göre dikdörtgen bir bölgede düzgün dağılmış yay kütlelerine sahip dikdörtgen levhaların serbest titreşimi incelenmiştir. Yüksek doğrulukta sayısal sonuçlar elde edilmiştir. Bir levhanın ve dağıtılmış yay kütleli sisteminin bazı benzersiz dinamik özellikleri gözlemlenmiş ve tartışılmıştır.

Anılan makale, düzgün dağılmış yay kütlesine sahip dikdörtgen levhaların serbest titreşim özelliklerini araştırmaktadır. Yay kütlesi, levhanın bir kısmını veya tamamını kaplayabilen dikdörtgen bir bölgededir. Düzgün dikdörtgen bir levha ile dağıtılmış yay kütlesi arasındaki titreşim etkileşimi, Ritz yöntemi ve Galerkin yönteminin birlikte kullanılmasıyla çözülür.

Zhou vd., (2012) makalesi ise, yaylı kütlelerle tutturulmuş ince dikdörtgen bir levhanın serbest titreşiminin tam bir çözümünü sunar. Levha, iki zıt kenarda basitçe desteklenir ve diğer kenarlarda elastik olarak desteklenir. Düzlemsel bir levha şeklindeki katı cismin kütle-yay modeli ile modellenmesi, levhanın titreşimi ile üretilen sesin simüle edilmesi amaçlanmıştır.

Ren vd., (2010) makalesine göre, farklı uzamsal çözünürlüklerde çeşitli yüzey özelliklerini yakalamak için yeni bir üç seviyeli temsil kullanarak ses sentezi için yeni bir temas modeli sunuldu. Bu yöntemin uygulanması basittir ve görsel-işitsel duyuşal çatışmaları en aza indirmek için etkilidir, böylece çok daha zengin ve değişken sesler sunar. Sesleri simüle etmek için dört yüzlü modelleri birleştirerek mevcut üçgen ağ yay-kütle yaklaşımını genişletme planlandı.

Baudet vd., (2007) makalesinde nesne ilk önce iki köşegenli dikdörtgen kütle yayı ağ elemanlarıyla ağ haline getirilir. Bu tür örgü elemanları için, basit bir kütle-yay sisteminin herhangi bir Poisson oranıyla malzeme davranışını doğru bir şekilde simüle edemediği gösterildi. Sonuç olarak, Poisson oranındaki hatayı telafi etmek için uzama kuvvetlerine ortogonal düzeltme kuvvetleri ekleme önerildi. Yapısal olarak, model Young modülü ve Poisson oranının küçük deformasyonlar için iyi karakterize edilmiştir.

Tanaka vd., (1998) esnek levha şeklinde cisimlerin serbest titreşimlerini integral denklem sürecini kullanarak çözmüştür. Myung (2003) levha yapılarının serbest titreşim analizi için sonlu elemanlar transfer sertlik katsayısı yöntemini geliştirmiştir.

Kumar vd., (2018) ince levhanın doğal frekans ve mod şekillerini çıkarmak için dinamik sertlik yöntemini kullandı.

Zaman vd., (2017), çalışmalarında ince bir levhanın titreşimi ile üretilen ses basıncı için matematik denklemleri türetmişler, ANYS simülasyon programında analiz etmişler ve MATLAB ile görselleştirmişlerdir. Dört rezonans frekansı tespit etmişler ve matematiksel modelin hatasının %10'un altında olduğunu tespit etmişlerdir.

Guguloth vd., (2019) makalesinde, ince dikdörtgen katı levhanın serbest titreşim analizi için sayısal analiz, kalınlığı değıştirerek basitçe desteklenen koşullar altında Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. FİZİK TABANLI SES SENTEZİ

Fiziksel ses, fiziksel tabanlı animasyon ve gerçek zamanlı sanal ortamlar için gerçekçi senkronize seslerin bilgisayar sentezi için ortaya çıkan önemli bir yaklaşımdır. Sesi sentezlemek için ses üretiminin fiziğine dayalı matematiksel modeller kullanır. Başka bir deyişle, fiziksel ses sentezi, bir nesnenin ürettiği ses yerine ses üreten nesneyi simüle etmek için bir model kullanır. Fizik tabanlı ses sentezinde birçok yöntem vardır. Bu tezde Kütle-yay sistemi detaylı olarak incelenmiş ve kullanılmıştır.

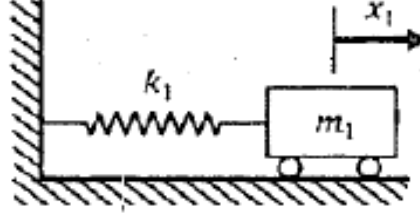
3.1 Kütle Yay Sistemi

Sonlu elemanlara benzer şekilde, kütle etkileşimi, hücresel veya parçacık sistemleri olarak da adlandırılan kütle-yay sistem, bir nesneyi küçük parçacıklara ayırarak onların kütle-yay çiftlerinden kurulmasını amaçlar. Kütle yay sistemleri tartışmasız tüm deforme olabilen modellerin en basit ve en sezgisel sistemidir. Sadece kütsüz bir yay ağı ile birbirine bağlanan nokta kütlelerinden oluşur ve her parçacığın hareketi daha sonra Newton'un ikinci yasası tarafından yönetilir. Bu nedenle, kütle-yay sistemleri sadece birleşik adi diferansiyel denklemler (ODE'ler) sisteminin çözümünü gerektirir (Picard-Limpens,2009).

Ayrık fiziksel modeller kullanılarak nesnelerin yüzey titreşimlerinin gerçek zamanda modellenmesi, Florens ve Cadoz, (1991) tarafından 3D (3 boyutlu) şekilleri modellemek için kullanılan sönümlü bir kütle yay sistemi ile tanıtılmıştır. CORDIS-ANIMA sistemi daha sonra fiziksel tabanlı ses sentezi için geliştirilmiştir. Bir kütle-yay modeli, bir nesnenin geometrisine ve birkaç malzeme parametresine dayanarak yüzey deformasyonuna yaklaşmak üzere inşa edilmiştir. Önceki yaklaşımlarda kullanılan FEM (Finite Element Model) modellerinden daha kaba yaklaşım yapmalarına rağmen, kütle-yay sistemlerinin ses üreten yüzeylerin mikro titreşimlerini uygun bir şekilde modellediği görülmektedir (Picard-Limpens,2009).

Sönümsüz Kütle Yay Sistemi

Şekil 3.1’de yaya bağlı bir kütleden oluşan mekanik bir sistem gösterilmektedir.



Şekil 3. 1 Kütle-yay sistemi (İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009)

$$F = -kx \quad (3.1)$$

Daima denge konumuna doğru yöneldiği ve bu yüzden yer değiştirmeye zıt olduğu için buna geri çağırıcı kuvvet denir (Eşitlik 3.1).

Eşitlik 3.1 ile birlikte, Newton’un ikinci yasasını bloğun hareketine uygulandığında,

$$F = -kx = ma$$

$$a = -\frac{k}{m}x \quad (3.2)$$

İvme, bloğun yer değiştirmesi ile orantılıdır ve yönü yer değiştirmenin yönüne zıttır (Eşitlik 3.2).

İkinci dereceden diferansiyel denklem Eşitlik 3.3’te verilmiştir.

$$w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$
$$\frac{d^2x}{dt^2} + w_0^2 x = 0 \quad (3.3)$$

Genelde, x eksenini boyunca hareket eden bir parçacığın, denge konumunda ölçülen x yer değiştirmesi Eşitlik 3.4’te verilmiştir.

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (3.4)$$

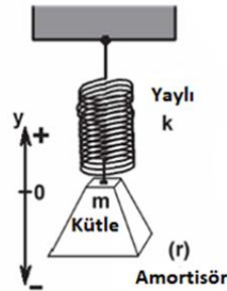
Hareketin genliği olan A , parçacığın pozitif x veya negatif x yönündeki en büyük yer değiştirmesidir. ω sabiti hareketin açısal frekansıdır. Sabit $aı\ \phi$ ye faz açısı denir.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.5)$$

x fonksiyonu periyodiktir ve ωt 'nin 2π radyan artmasıyla kendini tekrarlamaktadır.

T periyodu, parçacığın hareketinin bir tam devrini tamamlaması için geçen süredir. Frekans f ise parçacığın birim zamanda yaptığı titreşim sayısıdır (Eşitlik 3.5).

Ktle Yay Damper Sistemi



şekil 3. 2 Ktle-yay damper sistemi

şekil 3.2'de yaya bağlı bir ktleden oluşan mekanik bir sistem gösterilmektedir. Ktle m ile gösterilmiştir. İdeal bir yay, onu dinlenme konumundan çıkarmak için gerekli kuvvet ile karakterize edilir: Birim mesafe başına bu kuvvet k ile gösterilir. Ktlenin yer değiştirmesi, yukarı doğru yer değiştirme için pozitif ve aşağı doğru yer değiştirme için negatif değer alan bir y değerşeni ile gösterilir. Yayın sıkışması ve gerilmesi ısı kaybına ve ktle-yay üzerinde hava direnci gibi kayıplara yol açar. Toplam kayıplar r ile gösterilir (Eşitlik 3.6).

$$F=ma$$

$$-ky - mg - rv = ma \quad (3.6)$$

$-ky$ terimi F kuvveti altında hareket eden yay kuvvetini temsil eder. Ktle aşağı çekilirse, $-ky$ kuvveti pozitifdir, çünkü y negatiftir. $-mg$ terimi ktleye etkiyen yerçekimidir. $-rv$ terimi ise, v hızıyla orantılı olarak hareket eden sistemin kayıp kuvvetlerini yansıtır. Hız ve ivme için matematiksel ifadeler (Eşitlik 3.7) 'de verilmiştir (Cook, 2002).

$$v = dy/dt \quad a = \frac{dv}{dt} = d^2y/dt^2 \quad (3.7)$$

dy/dt ‘deki "d" farkı ifade eder. Hız, konumdaki farkın zamandaki farka bölünmesidir. İvme, hızdaki değişimin zamandaki farka veya zamanla ikinci konum değişim oranına bölünmesidir.

Değişim oranı ifadeleri (Eşitlik 3.8)’de verilmiştir.

$$-ky - r \frac{dy}{dt} = m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (3.8)$$

$$d^2y/dt^2 + (r/m) dy/dt + (k/m)y = 0$$

3.1.1 Kütle yay sistemi için ikinci dereceden diferansiyel denklem çözümleri

Eşitlik 3.9 ikinci dereceden homojen diferansiyel bir denklemdir.

$$d^2y/dt^2 + (r/m) dy/dt + (k/m)y = 0 \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9 ‘da (r/m) yerine γ ve (k/m) yerine ise ω^2 yazılırsa Eşitlik 3.10 elde edilir.

$$d^2y/dt^2 + \gamma dy/dt + \omega^2 y = 0 \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.10’un çözümü için $y=e^{rt}$ verildiğinde burada r sabit bir sayıdır. $y=e^{rt}$ ‘nin t’ye göre birinci ve ikinci türevleri alındığında Eşitlik 3.11 elde edilir.

$$dy/dt = re^{rt} \quad d^2y/dt^2 = r^2 e^{rt} \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11, Eşitlik 3.10 ile verilmiş denklemde yerine yazıldığında,

$$(r^2 + \gamma r + \omega^2) e^{rt} = 0 \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.12 elde edilir. Bu denklemde e^{rt} sıfıra eşit olamaz. $(r^2 + \gamma r + \omega^2)$ denklemini sıfıra eşit olmalıdır. Bu denkleme karakteristik denklem adı verilir. Bu denklemin iki kökü vardır (Eşitlik 3.12).

$$r_{1,2} = \frac{-\gamma \mp \sqrt{\gamma^2 - 4\omega_0^2}}{2} \quad (3.12)$$

Delta ($\Delta = \gamma^2 - 4\omega_0^2$) değerine göre bu diferansiyel denklemin çözümünde üç farklı durum söz konusudur:

1.Durum: $\Delta = \gamma^2 - 4\omega_0^2 > 0$

Bu durum kritik üstü sönüm olarak adlandırılır. Bu durumda r_1 ve r_2 gibi iki gerçekte (reel) kök vardır. Bu nedenle denklemin çözümü için,

$$y = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} \quad (3.13)$$

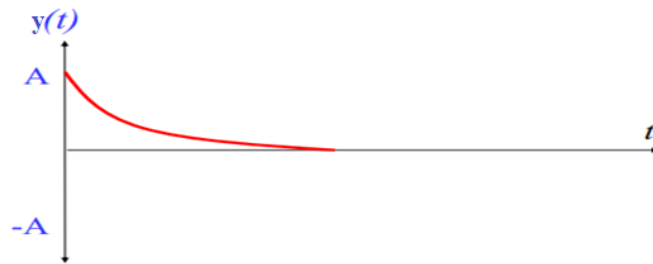
Eşitlik 3.13 yazılabilir. Bu ifadede r_1 ve r_2 kökleri için Eşitlik 3.14 yazılabilir.

$$r_{1,2} = \frac{-\gamma \mp \sqrt{\gamma^2 - 4\omega_0^2}}{2} \quad (3.14)$$

Bu durumda 3.13 ile verilen çözümde r_1 ve r_2 kökleri yerine yazıldığında Eşitlik 3.15 elde edilir.

$$y = e^{-\frac{1}{2}\gamma t} [C_1 e^{\frac{1}{2}\sqrt{\gamma^2 - 4\omega_0^2} t} + C_2 e^{-\frac{1}{2}\sqrt{\gamma^2 - 4\omega_0^2} t}] \quad (3.15)$$

Bu durumda hareket zamanla üstel olarak söner (Şekil 3.3)



Şekil 3. 3 Kritik üstü sönüm

2.Durum: $\Delta = \gamma^2 - 4\omega_0^2 = 0$

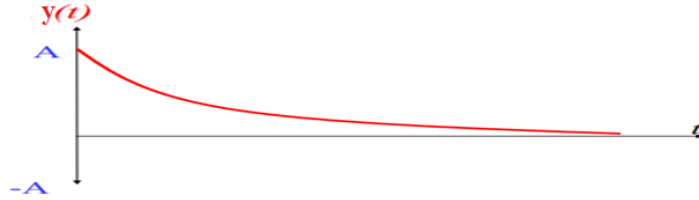
Bu durum kritik sönüm olarak adlandırılır. Bu durumda gerçek (reel) eşit iki kök vardır Eşitlik (3.16).

$$r_{1,2} = r = -\frac{1}{2}\gamma \quad (3.16)$$

Köklerin eşit olması durumunda Eşitlik 3.9'un çözümü için Eşitlik 3.17 yazılabilir.

$$y = (C_1 + C_2)e^{-\frac{1}{2}\gamma t} \quad (3.17)$$

Bu durumda zaman ilerledikçe y'nin değeri sıfıra yaklaşır (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Kritik sönüm

3.Durum: $\Delta = \gamma^2 - 4\omega_0^2 < 0$

Bu durum sönümlü harmonik hareket olarak adlandırılır. Bu durumda sanal iki kök

vardır Eşitlik (3.18). Bu kökler, $\alpha = \frac{\sqrt{\gamma^2 - 4\omega_0^2}}{2}$ olmak üzere,

$$r_1 = \frac{-\gamma}{2} + i\alpha \quad r_2 = \frac{-\gamma}{2} - i\alpha \quad (3.18)$$

İfade edilebilir. Burada r_1 ve r_2 birbirinin kompleks eşleniğidir. Bu durumda Eşitlik 3.9'un çözümü için Eşitlik 3.19 yazılabilir.

$$y = e^{-\frac{1}{2}\gamma t} [c_1 e^{i\alpha t} + c_2 e^{-i\alpha t}] \quad (3.19)$$

Eşitlik 3.20 Euler formülünden elde edilir.

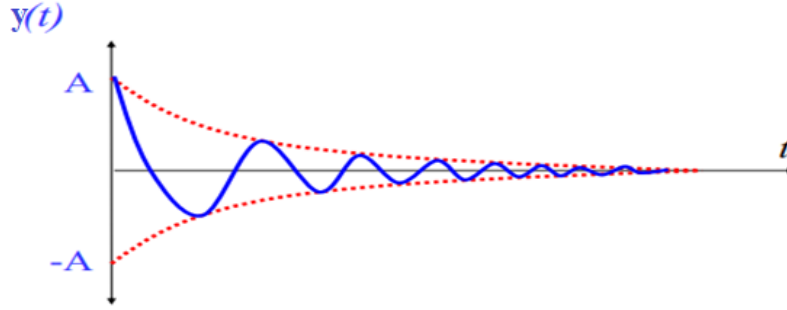
$$e^{iat} = \cos at + i \sin at \quad (3.20)$$

$$e^{-iat} = \cos at - i \sin at$$

Çözüm için Eşitlik 3.21 elde edilir.

$$y = e^{-\frac{1}{2}\gamma t} (C_1 \cos at + C_2 \sin at) \quad (3.21)$$

Bu durumda genliğin zaman içinde üstel olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 3.5).

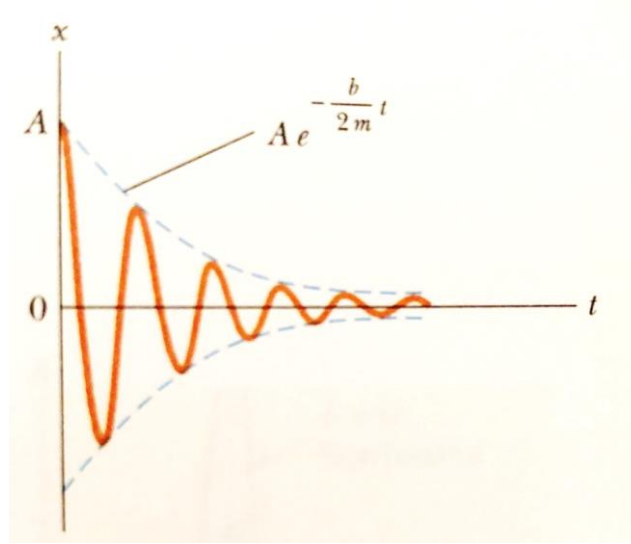


Şekil 3. 5 Sönümlü harmonik hareket

Kütle Yay Damper Sisteminin Çözümü

$$y(t) = y_0 e^{(-\frac{rt}{2m})} \cos \left(t \sqrt{\left(\frac{k}{m} - \left(\frac{r}{2m} \right)^2 \right)} \right) \quad (3.22)$$

Kütlenin yay sabiti ve kütle miktarı tarafından belirlenen tek bir frekansta yukarı ve aşağı salınacağını söylemenin matematiksel bir yoludur (Eşitlik 3.22). Salınımın frekansı da sönümlemeden etkilenir. Salınım, $\frac{r}{2m}$ sönümleme sabitine göre sıfıra düşecektir. Sezgisel olarak, kütleyi azaltırsak veya yayı daha sert hale getirirsek (k'yi arttırsak), sistem daha hızlı salınır. Sistemin sönümlemesi değiştirilirse, örneğin kütlenin bir duvara veya başka bir yüzeye sürtünmesine izin verilirse, salınımlar çok daha hızlı söner. Bu, r'yi artırmaya eşdeğerdir.



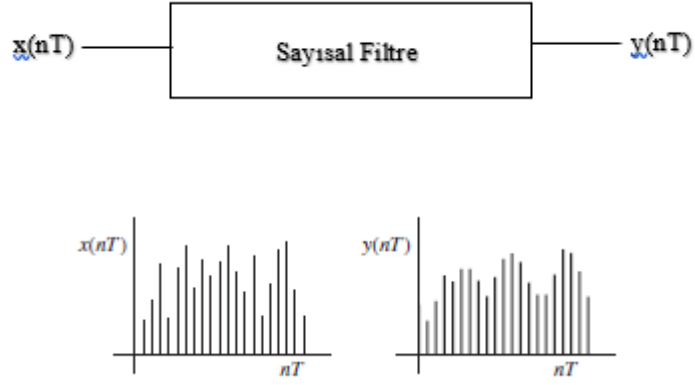
Şekil 3. 6 Sönümlü salıncıcının zamana göre grafiği (Serway,2012)

Şekil 3.6'daki kesikli mavi çizgi, titreşimli eğrinin zarfı olup, (3.22) eşitliğinde yer alan üstel çarpanı temsil etmektedir. Bu zarf, genliğin zamanla exponansiyel olarak azalacağını göstermektedir.

Bir nesnenin her bileşeninin her bir modu için bu sistemlerden birini modellemek zorunda olmak, gerçek zamanlı bir sistem için işlemci üzerinde oldukça aşırı bir yük olacaktır. Bu yükü azaltmanın bir yolu dijital filtreler kullanmaktır (Serway,2012).

3.2 Sayısal Filtreler

Sayısal filtre, girdi adı verilen bir sayı dizisini çıktı adı verilen başka bir sayı dizisine dönüştüren sayısal bir sinyal işlemcisidir. Sayısal filtreler, ayrık zamanlı işaretlerin filtrelenmesi için kullanılan sayısal sistemlerdir. En genel biçiminde bir sayısal filtre, ayrık bir zaman sinyali biçiminde bir girdi alacak ve Şekil 3.7 'de gösterildiği gibi tekrar ayrık bir zaman sinyali biçiminde bir çıktı üretecek bir sistemdir. Sayısal filtrelerin kökleri, bir yandan matematikçilerin farklı geometrik şekillerin alanları için formüller çıkarmaya çalışırken, diğer yandan astronomların gezegen ölçümlerini rasyonelleştirmeye ve yorumlamaya çalıştıklarında tarih 1600'lere kadar uzanmaktadır. Altmışlı yılların sonlarından itibaren, sayısal veri biçimindeki sinyallerin analizi ve işlenmesi sayısal sinyal işleme olarak bilinir ve bu sinyallerin işlenmesi için kullanılabilecek algoritmalar, bilgisayar programları veya sistemler tamamen sayısal filtreler olarak kurulur.



Şekil 3. 7 Ayırık zamanlı sayısal filtre

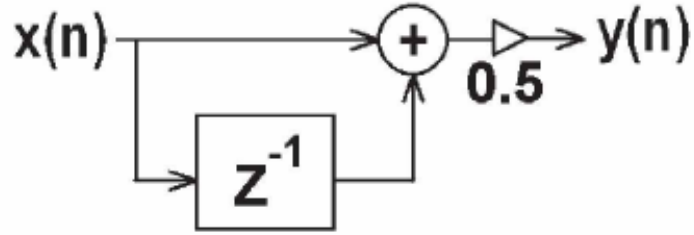
Sayısal filtreler yazılım ve donanım olmak üzere iki biçimde olabilir. Yazılımsal sayısal filtreler, 1940’larda ilk sayısal bilgisayarın ortaya çıkması ile kullanılmaya başlanmıştır. İlk sayısal bilgisayarlar, ayırık zamanlı işaretleri temsil eden sayı dizilerinin oluşturduğu fonksiyonlar için Newton, Stirling ve Everet gibi klasik nümerik analiz formülleri ile fark denklemlerinin çözümü, nümerik integral ve interpolasyon gibi işlemler için kullanılıyordu. Donanımsal, sayısal filtrenin devre yapısı özel amaçlı bir aygıta dönüştürülür. Sayısal filtreler dürtü cevaplarına göre, FIR (sonlu dürtü cevabı) filtreler ve IIR (sonsuz dürtü cevabı) filtreler olarak sınıflandırılırlar (Antoniou, 2005).

3.2.1 FIR (Sonlu Dürtü Cevaplı) filtre

Sonlu dürtü cevaplı filtreler, FIR filtreler olarak adlandırılır. Sonlu hafızaya sahiptir. Çıkışın eski değerleri tutulmaz. FIR filtresi her zaman kararlı, gerçekleştirilebilir ve belirli koşullar altında doğrusal bir faz tepkisi sağlar. FIR filtresinde tüm sinyallerin gecikmesi aynıdır ve sinyal frekansına bağlı değildir, bu nedenle grup gecikmesi sabittir. Dürtüsel sinyalleri işleyen filtreler için önemlidir, çünkü dürtüler geniş bir frekans bandı içerir; grup gecikmesi sabit değilse, bazı frekanslar diğerlerinden daha fazla geciktirilirse, dürtü dalga formunda üst üste gelecektir. Bu durum, sinyalin istenmeyen bir şekilde bozulmasıdır.

$$y(n) = 0.5 (x(n) + x(n-1)) \quad (3.23)$$

Böyle bir filtreye FIR (Sonlu Dürtü Cevabı) denir, çünkü girişlerinin yalnızca sınırlı sayıda gecikmeli versiyonunda çalışır (Eşitlik 3.23). FIR, filtrenin dürtü yanıtı yalnızca sınırlı sayıda sıfır olmayan çıktı örneği verir (bu durumda birbirinin ardışık iki değeri) anlamına gelir. Şekil 3.8’de filtrenin sinyal işleme blok diyagramı gösterilmektedir. İleri besleme kısmındaki z^{-1} bloğu, bir gecikme birim örneğini temsil eder (Cook,2002).



Şekil 3. 8 İki noktalı değişken ortalama sayısal filtre (Cook,2002)

3.3.2 IRR (Sonsuz Dürtü Cevaplı) filtre

Sonsuz dürtü cevaplı filtreler IIR filtreler olarak adlandırılır. Bu filtreler, geribeslemeli filtreler olarak da bilinir. IIR filtrelerinin darbe cevapları sonsuz sürelidir. Sonsuz dürtü cevaplı (IIR) filtreler FIR filtrelerinden daha verimlidir, çünkü belirli bir frekans cevabı için daha az gecikme elemanı, toplayıcı ve çarpan gerektirir. IIR filtrelerinin dezavantajı, doğrusal olmayan faz yanıtlarıdır (sabit olmayan grup gecikmesi). Sabit olmayan bir grup gecikmesi, tüm frekansların aynı gecikmeyi yaşamaması anlamına gelir. Bu nedenle, çok çeşitli frekanslara sahip bileşenler içeren dürtüler bir IIR filtresinden geçirildiğinde bozulur (Cook, 2002).

IIR ve FIR arasındaki matematiksel fark, IIR filtresinin filtre çıkışının bir kısmını girdi olarak kullanmasıdır. Bu, IIR filtresini özyinelemeli bir işlev haline getirir.

3.3.3 Sıfır ve Kutup (Zeroes and Poles)

Lineer bir sistemin transfer fonksiyonu, genelde $a_0, a_1, \dots, a_m$ ve $b_0, b_1, \dots, b_n$ sistemin modeli olan diferansiyel denklemdeki reel katsayılar olmak üzere, iki tane s 'e bağlı polinomun oranıdır (Eşitlik 3.24).

$$G(s) = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + a_{m-2} s^{m-2} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + b_{n-2} s^{n-2} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (3.24)$$

Bu denklem, pay ve paydanın kökleri şeklinde, K sabit bir çarpan veya kazanç faktörü, $z_1, z_2, \dots, z_m$ payın kökleri ve $p_1, p_2, \dots, p_n$ paydanın kökleri olmak üzere, aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Eşitlik 3.25).

$$G(s) = K \frac{(s-z_1)(s-z_2)\dots(s-z_m)}{(s-p_1)(s-p_2)\dots(s-p_n)} \quad (3.25)$$

Yukarıdaki bağıntıda payın kökleri sıfırlar ve paydanın kökleri ise kutuplar olarak adlandırılır. Sıfır değerleri, payı; dolayısıyla transfer fonksiyonunu sıfır yapan s değerleridir. Kutup değerleri, paydayı sıfır yapan, dolayısıyla transfer fonksiyonunu tanımsız yapan s değerleridir (Cook, 2002).

4. ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER

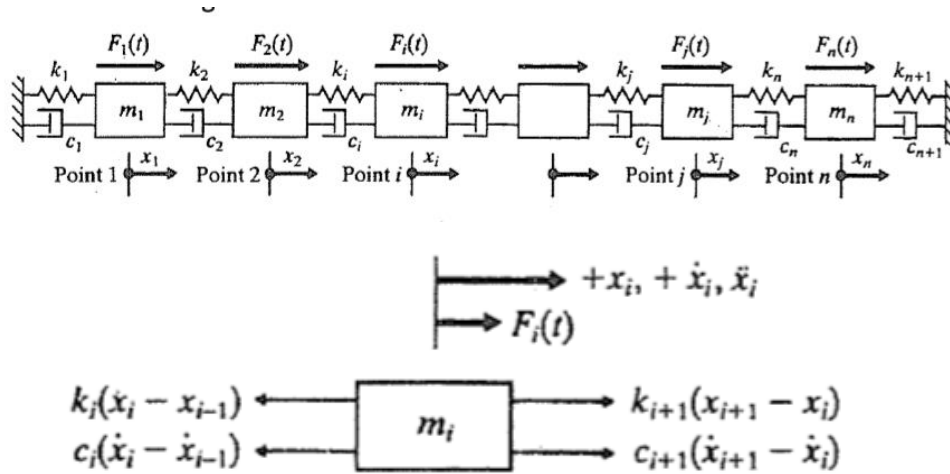
Çoğu mühendislik sistemi süreklidir ve sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahiptir. Sürekli sistemlerin titreşim analizi, oldukça zor olan kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirir. Aslında, birçok kısmi diferansiyel denklem için analitik çözümler mevcut değildir. Öte yandan, çok serbestlik dereceli bir sistemin analizi, nispeten basit olan bir dizi adi diferansiyel denklemin çözümünü gerektirir. Bu nedenle, analizin basitliği için, sürekli sistemler genellikle çok serbestlik dereceli sistemler olarak tahmin edilir. N serbestlik derecesine sahip bir sistem için, her biri kendi mod şekline bağlı n adet ilişkili doğal frekans vardır (İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009).

4.1 Sönümlü Kütle Yay Sistemi

Sönümlü sistem için hareket denklemi Eşitlik 4.1 'de verilmiştir.

$$m_1 \ddot{x}_1 = \sum_j F_{i,j} \text{ (kütle } m_i \text{)} \quad (4.1)$$

Şekil 4.1'de n tane yaya bağlı n tane kütleden oluşan mekanik bir sistem gösterilmektedir



Şekil 4. 1 Kütle Yay Sistem (İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009)

Şekil 4.1 için hareket denklemi Eşitlik 4.2 verilmiştir.

$$m_1 \ddot{x}_1 = -k_1(x_1 - x_{i-1}) + k_{i+1}(x_{i+1} - x_i) - c_i(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) + c_{i+1}(x_{i+1} - x_i) + F_i : \\ i=1,2,3, \dots, n-1 \quad (4.2)$$

n sönümlü kütle yay için hareket denklemi Eşitlik 4.3'te verilmiştir.

$$[m]\{\ddot{x}_1\} + [c]\{\dot{x}_1\} + [k]\{x_1\} = \{F\} \quad (4.3)$$

$[m]$: Kütle matrisi

$[c]$: Sönümleme matrisi

$[k]$: Yay sabiti matrisi

Şekil 4.2 'de sönümlü sistem için kütle, sönümleme ve yay sabiti matrisleri görülmektedir.

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n \end{bmatrix}$$

$$[c] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & (c_3 + c_4) & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & (c_n + c_{n+1}) \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & (k_n + k_{n+1}) \end{bmatrix}$$

Şekil 4.2 Kütle, sönümleme, yay sabiti matrisleri (İstanbul Teknik Üniversitesi,2009)

Şekil 4.3 'te ise sönümlü sistem için, hız, ivme ve kuvvet vektörleri bulunmaktadır.

$$\vec{x} = \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \dot{\vec{x}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) \end{Bmatrix},$$

$$\ddot{\vec{x}} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{x}_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ \vdots \\ F_n(t) \end{Bmatrix}$$

Şekil 4. 3 Hız, İvme, Kuvvet vektörleri (İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009)

4.2 Sönümsüz Kütle Yay Sistemi

Sönümsüz kütle yay hareket denklemi Eşitlik 4.4'te olduğu gibi ifade edilebilir.

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + K \frac{dx}{dt} = 0 \quad (4.4)$$

M: Kütle Matrisi

K: Yay Sabiti Matrisi

Çok serbestlik dereceli bir sistem için basit harmonik Eşitlik 4.5 'te olduğu gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} x(t) &= \bar{x} \sin(\omega t + \theta) \\ \dot{x} &= -\omega \bar{x} \cos(\omega t + \theta) = -\omega x \\ \ddot{x} &= -\omega^2 \bar{x} \sin(\omega t + \theta) = -\omega^2 x \end{aligned} \quad (4.5)$$

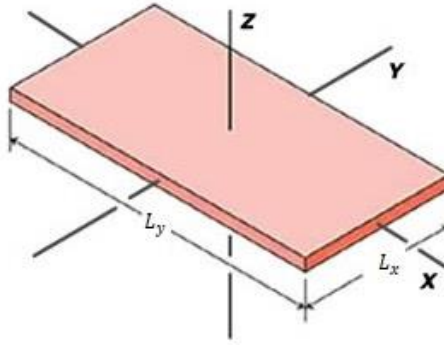
Hareket denkleminde bunları yerine yazılırsa Eşitlik 4.6 elde edilir.

$$-\omega^2 m \bar{x} \sin(\omega t + \theta) + k \bar{x} \sin(\omega t + \theta) = 0 \quad (4.6)$$

$$[K - M\omega^2] \bar{x} = 0$$

5. İKİ BOYUTLU SİSTEMLER: LEVHALAR

Levha, düzlem boyutlarına göre çok küçük kalınlığa sahip düzlemsel bir yapıdır (Şekil 5.1). Bir levha üzerine uygulanan kuvvetler, levhanın düzlemine diktir. Bu nedenle levha iki yönde bükülme ve burulma momenti ile uygulanan yüke direnir. Levha teorisi, tam üç boyutlu katı mekanik problemini iki boyutlu bir probleme indirgemek için uzunluk ölçeğindeki bu eşitsizlikten yararlanır. Levha teorisinin amacı, yüklere maruz kalan bir levhadaki deformasyon ve gerilmeleri hesaplamaktır. Klasik ince levha teorisi, Bernoulli tarafından kirişler için başlatılan varsayımlara dayanmaktadır. Ancak ilk olarak Love ve Kirchhoff tarafından levhalara ve kabuklara (shells) uygulanmıştır. Bu teori, Kirchhoff'un levha teorisi olarak bilinir. Levhaların analizleri, kalınlık-genişlik oranına göre iki kategoriye ayrılır: Kalın levha (Thick Plate) ve ince levha (Thin Plate) analizi (Bilbao,2009).



Şekil 5. 1 Dörtgensel levha

5.1 Düzlemsel İnce Levha

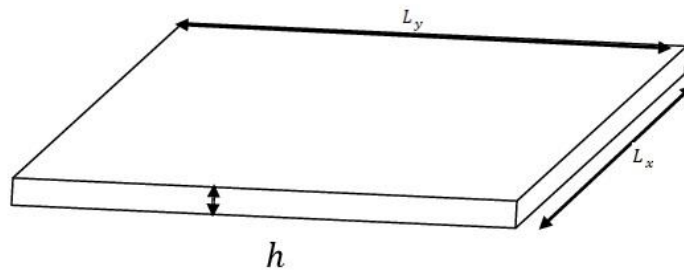
İnce levha teorisi, 1850'de Kirchhoff tarafından resmileştirilen varsayımlara dayanmaktadır ve aslında onun adı genellikle bu teori ile ilişkilendirilir, ancak ilk versiyon 1811'de Sophie Germain tarafından sunulmuştur. Titreşimli levhaların fiziki, 2 boyutlu dalga denklemi ile tanımlanan zardan çok daha karmaşıktır ve bu karmaşıklık, en basit ince doğrusal levha titreşimi durumunda bile, ortaya çıkan hareket denklemlerinde kendini gösterir. 2 boyutlu dalga denklemi çok basit bir

şekilde ifade edildiğinden, genellikle levhalar gibi sistemler için artan model karmaşıklığının daha fazla hesaplama işine dönüşmesi gerektiği varsayılır.

Gerçek zamanlı membran titreşiminin simülasyonu oldukça ürkütücüdür. Levhaların ürettiği sesler dünyası çok zengindir (Bilbao,2009).

5.1.1 Düzlem levhanın serbest titreşim modlarının bulunması

L_x ve L_y boyutlarında (x,y) düzlemi içinde yer alan dikdörtgen şekilde bir düzlem levhanın (Şekil 5.2) serbest titreşim modlarının hesaplaması şu şekildedir,



Şekil 5. 2 L_x , L_y , h boyutlarında ince dörtgensel levha.

L_x ve L_y boyutlarında kenarları olan dikdörtgen bir levhanın (yerçekiminin olmadığı durumlarda) hareketini bulmak için iki boyutlu dalga denklemi (5.1) ile verilmiştir,

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \quad (5.1)$$

Burada $z(x, y, t)$ levha üzerindeki bir noktanın (x, y) konumunda ve t zamanında dikey yer değiştirmesidir (Eşitlik 5.2). $z(x,y,t)$ fonksiyonunu bulmak için sadece X'e, sadece Y'ye ve sadece T'ye bağlı olan (bağımsız değişkenler x,y,t olduğu için) $X(x)$, $Y(y)$ ve $T(t)$ diye üç fonksiyonun çarpımı şeklinde olsun.

$$z(x, y, t) = X(x)Y(y)T(t) \quad (5.2)$$

$$\frac{\partial^2 [XYT]}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 [XYT]}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 [XYT]}{\partial t^2}$$

$$YT \frac{d^2 X}{dx^2} + XT \frac{d^2 Y}{dy^2} = \frac{1}{v^2} \frac{d^2 T}{dt^2} \quad (5.3)$$

(5.3) denkleminde eşitliğin her iki tarafı XYT ile bölünür.

$$\frac{v^2}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{v^2}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = \frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} \quad (5.4)$$

(5.4) denkleminde eşitliğin bir tarafında sadece t'ler eşitliğin diğer tarafında ise x'ler ve y'ler var. Eşitliğin iki tarafı bir sabite eşitlendiğinde,

$$\frac{v^2}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} + \frac{v^2}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = -\omega^2 \quad (5.5)$$

$$\frac{1}{T} \frac{d^2 T}{dt^2} = -\omega^2 \longrightarrow \frac{d^2 T}{dt^2} + \omega^2 T = 0 \quad (5.6)$$

Sol ve sağ tarafların her ikisi de bir sabite eşit olması gerektiğinden (5.7), Y(y) için (5.8) elde edilir.

$$\frac{1}{X} \frac{d^2 X}{dx^2} = -\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} - \frac{\omega^2}{v^2} = -k_x^2 \quad (5.7)$$

$$\frac{1}{Y} \frac{d^2 Y}{dy^2} = k_x^2 - \frac{\omega^2}{v^2} = -k_y^2 \quad (5.8)$$

$$k_x^2 + k_y^2 = \frac{\omega^2}{v^2} \quad (5.9)$$

Buna göre çözüm,

$$X(x) = A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)$$

$$Y(y) = C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)$$

$$T(t) = E \sin(\omega t) + F \cos(\omega t)$$

Bunlar $z(x,y,t) = X(x)Y(y)T(t)$ fonksiyonunda yerine yazıldığında iki boyutlu dalga denklem çözümü,

$$z(x,y,t) = [A \sin(k_x x) + B \cos(k_x x)][C \sin(k_y y) + D \cos(k_y y)] [E \sin(\omega t) + F \cos(\omega t)] \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10 elde edilir. Benzer şekilde, $z(L_x, y, t) = 0$ ve $z(x, L_y, t) = 0$ koşulları $\sin(k_x L_x) = 0$ ve $\sin(k_y L_y) = 0$ verir, dolayısıyla $k_x L_x = m\pi$ ve $k_y L_y = n\pi$, burada m ve n tamsayılarıdır (Eşitlik 5.11 ve Eşitlik 5.12).

$$k_x = \frac{m\pi}{L_x} \quad k_y = \frac{n\pi}{L_y} \quad (5.11)$$

$$z_{mn}(x, y, t) = [A_{mn}e^{Jw_{mn}t} + B_{mn}e^{-Jw_{mn}t}] \sin\left(\frac{m\pi x}{L_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{L_y}\right) \quad (5.12)$$

Genel çözüm, tüm olası m ve n değerlerinin toplamıdır, dolayısıyla nihai çözüm Eşitlik 5.13'te verilmiştir.

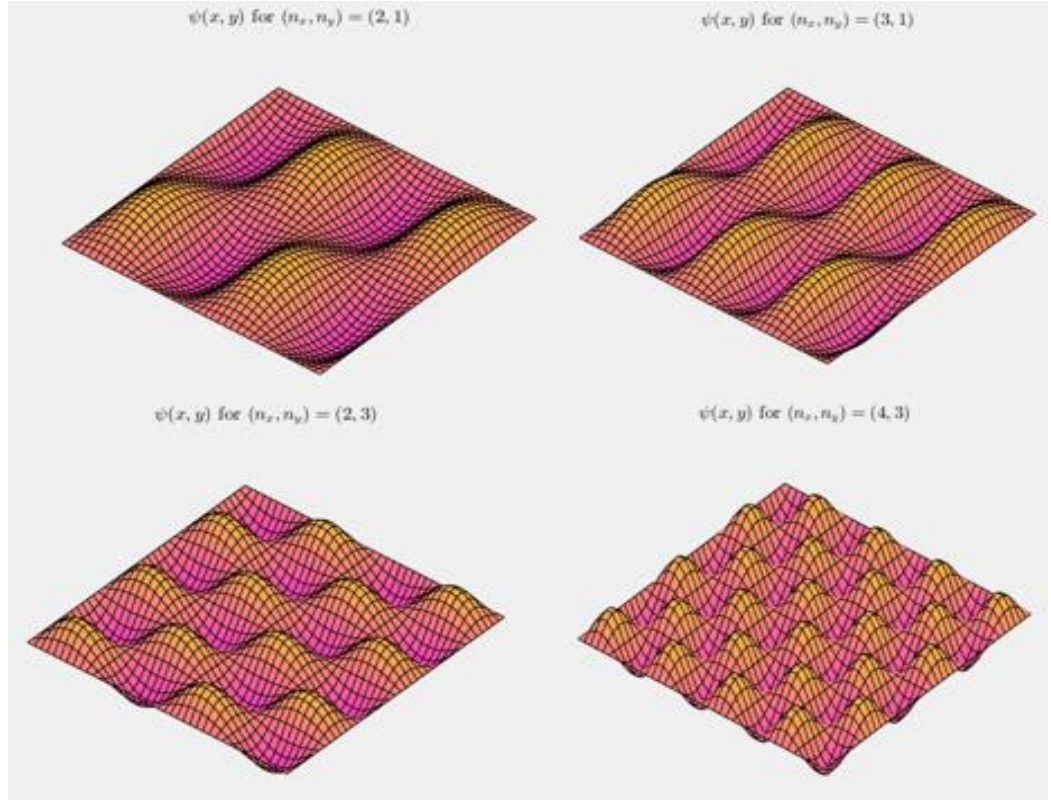
$$z(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin\left(\frac{m\pi x}{L_x}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{L_y}\right) (A_{mn}e^{Jw_{mn}t} + B_{mn}e^{-Jw_{mn}t}) \quad (5.13)$$

Bu çalışmada yukarıdaki varsayımlara sahip kenarlarından sabitlenen dörtgensel bir levhanın düzlemsel titreşim modları, analitik olarak izlenebilir bir denklem haline getirilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

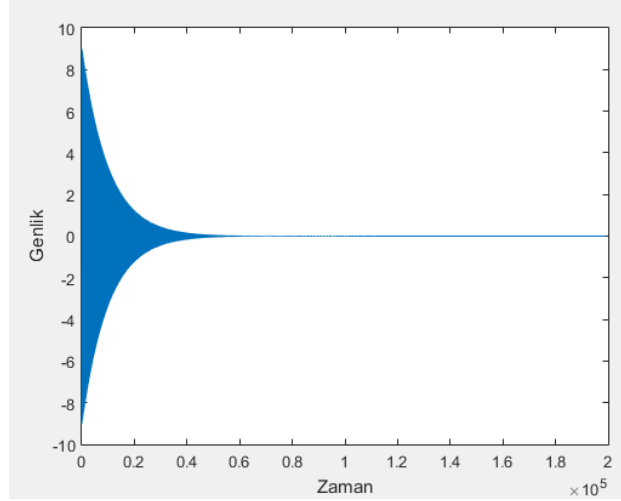
Bu araştırmada, sönümlü kütle-yay sistemi ile oluşan ses MATLAB programında sound fonksiyonu ile çalıştırılmış ve kenarlarından sabitlenmiş ince dörtgensel bir levhanın serbest titreşimi ile oluşacak görüntü birlikte simüle edilmeye çalışılmıştır. İki boyutlu yüzey titreşim denklemleri kullanılarak, yüzey titreşimi ile oluşacak sesin simülasyonu ise sönümlü-kütle yay sistemi eklenerek ve aynı anda çalıştırılarak oluşturulmuştur.

Şekil 6.1 'de Matlab programında üretilen ilk dört adet dikdörtgensel ince levhanın yüzey titreşim grafikleri görülmektedir.



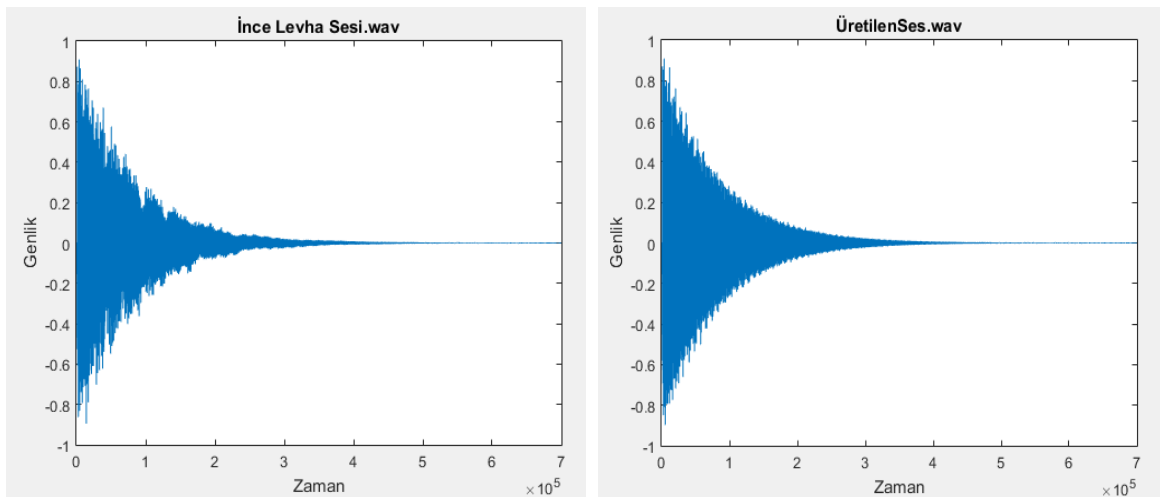
Şekil 6. 1 Üretilen dört-mod değeri için dörtgensel düzlem yüzeyin titreşim grafikleri

Korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü, derecesini ve önemini ortaya koyan istatistiksel yöntemdir. Bu çalışmada doğal ses ile sentetik sesin benzetim oranları istatistiksel olarak korelasyon yapılarak karşılaştırılmıştır. Şekil 6.2 ‘de sönümlü kütle-yay sisteminin titreşimi ile oluşan sesin grafiği görölmektedir.



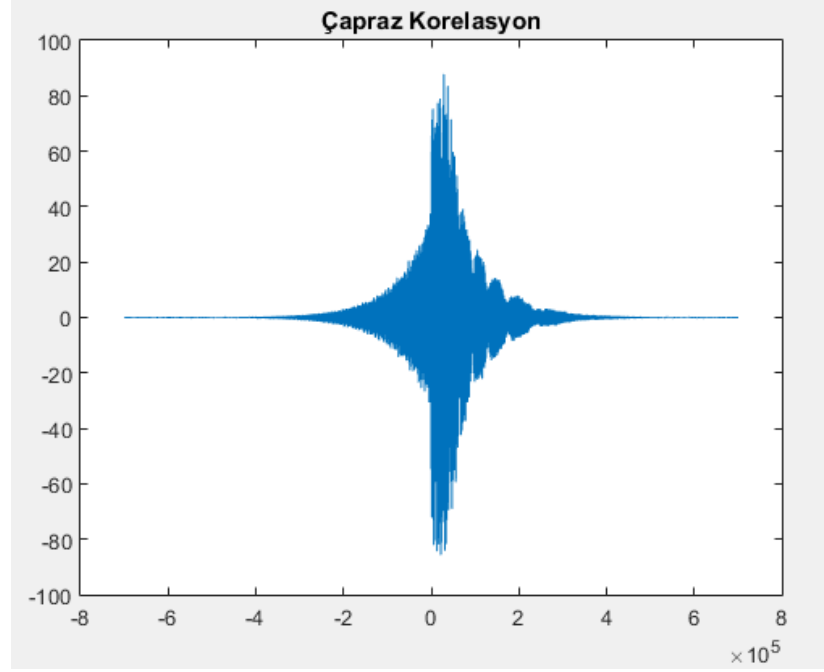
Şekil 6. 2 Sönümlü kütle-yay sistemi kullanılarak oluşan sesin grafiği

Üretilen ses, Matlab’ de wavwrite komutu kullanılarak wav dosyasına dönüştürölmüştür. Şekil 6.3 ‘te Quoc Bao Nguyen (2019)’in çalışmasındaki ince levha wav ses dosyasının grafiği (solda) ve üretilen ses wav dosyasının grafiği (sağda) görölmektedir.



Şekil 6. 3 İki wav ses dosyasının grafiği

Quoc Bao Nguyen (2019) alışmasında, ince levhanın gerçek-wav-ses dosyası ile üretilen-ses-wav dosyası Matlab’de xcorr komutu kullanılarak korelasyon yapılmıştır. Zamansal kaydırmanın 0 ve buna yakın olduğu alanlarda korelasyonun çok yüksek (-100 ile 100 arasında) olduğu görölmektedir. Kaydırmanın artması ile korelasyon düşmektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6. 4 İki wav ses dosyasının korelasyon grafiğı

Kodlama yapılırken kullanılan komutlar Çizelge 6.1’ de kısaca açıklanmıştır.

Çizelge 6. 1 Matlab programında kullanılan komutların açıklamaları

Komut	Açıklama
Meshgrid (x, y)	$z = f(x, y)$ fonksiyonunun 3 boyutlu çizimi için etki alanını oluşturmak için x ve y öğelerinin tüm kombinasyonlarını içeren ızgaralar üretir.
Surf(x,y,z)	Köşeleri x, y, z uzayında belirli noktalara koyar ve tüm köşeleri birleştirerek bir yüzey oluşturur.
plot (x, y)	y’deki verilerin, x’teki karşılık gelen değerlerin 2 boyutlu bir çizgi grafiğini oluşturur.
subplot ()	Bir pencerede birden fazla grafik göstermek için kullanılır
linspace(ilk eleman, son eleman, eleman sayısı)	İlk ve son elemanları ile eleman sayısı belli olan bir vektörün elemanlarını doğrusal (lineer olarak (eşit aralıklı) sıralamak için kullanılır.
sound (y)	Ses sinyali y’yi hoparlöre varsayılan 8192 hertz örnekleme hızında gönderir.
getframe()	Animasyon görüntüsünün elde edilmesi
title(‘’)	Grafiğe başlık yazmak için kullanılır.
axis normal	Orijinal eksen sınırlarının yapılandırılmasının sağlanması
axis([xmin xmax ymin ymax]):	Geçerli eksenlerin x ve y eksenleri için sınırları ayarlar.
clf	Mevcut eksenler için renk haritası limitlerini ayarlar.
xcorr (x, y)	İki ayrı zamanlı dizinin çapraz korelasyonunu döndürür. Çapraz korelasyon, bir x vektörü ile y vektörünün kaydırılmış (gecikmeli) kopyaları arasındaki benzerliği gecikmenin bir fonksiyonu olarak ölçer.
grid on	Grafik için ana ızgara çizgilerini görüntüler.
audioread(dosyaAdı)	dosyaAdı adlı dosyadan verileri okur ve örneklenmiş verileri, y’yi ve bu veriler için bir örnek oranı (Fs) döndürür.
xlabel (‘’)	Mevcut eksenlerin x eksenini veya bağımsız görselleştirmeyi etiketler.
ylabel (‘’)	Mevcut eksenlerin y eksenini veya bağımsız görselleştirmeyi etiketler
caxis [cmin cmax]:	Mevcut eksenler için renk haritası limitlerini ayarlar.

KAYNAKLAR

- Antoniou A., 2005. Digital Signal Processing, McGraw-Hill, 965p, California.
- Ballou, G.M., 2008. Handbook for Sound Engineers Fourth Edition, Focal Press, 1808p, USA.
- Baudet, V., Beuve, M., Jaillet, F., Shariat, B., & Zara, F. (2007). New mass-spring system integrating elasticity parameters in 2D.
- Belgin E., 2004. Çalışma yaşamında gürültü ve işitmenin korunması, Türk Tabipleri Birliği Yayınları, 117, Ankara.
- Bilbao S., 2009. Numerical Sound Synthesis: Finite Difference Schemes and Simulation in Musical Acoustics, Wiley, 456p, Singapur.
- Bordwell D., 2012. Film Art An Introduction, McGraw-Hill, 544p, USA.
- Cook P., 2002. Real Sound Synthesis for Interactive Applications, Routledge, 263p, USA.
- Florens, J. L., & Cadoz, C. 1991, The physical model: modeling and simulating the instrumental universe. In Representations of musical signals (pp. 227-268).
- Ekşi, E, Akı, F, Yazıcı, R. (2021). Sabitlenmiş Dörtgensel Bir Yüzeyin Titreşimi ve Üretilen Sesin Simülasyonu. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, Basımda.
- Ekşi, E, Akı, F, Yazıcı, R. (2020). Fizik Tabanlı Ses Sentezi Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2), 289-305. DOI: 10.46373/hafebid.782639.
- Guguloth, G. N., Singh, B. N., & Ranjan, V. (2019). Free vibration analysis of simply supported rectangular plates. Vibroengineering PROCEDIA, 29, 270-273.
- İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009, Two degree of freedom systems, Erişim Tarihi: 08.01.2021, <https://web.itu.edu.tr/~gundes/2dof.pdf>.
- Kumar, S., Ranjan, V., & Jana, P. (2018). Free vibration analysis of thin functionally graded rectangular plates using the dynamic stiffness method. Composite Structures, 197, 39-53.
- Myung Soo Choi (2003), Free vibration analysis of plate structures using finite element-transfer stiffness coefficient method. KSME International Journal, Vol. 17, Issue 6, 2003, p. 805-815.
- Parker B., 2009, Good Vibrations: The Physics of Music, JHU Press, 288p, USA.
- Pejrolo A., 2017. Creating Sounds from Scratch: A Practical Guide to Music Synthesis for Producers and Composers, Oxford University Press, 353p, Britain.

- Picard-Limpens, C. (2009). Expressive sound synthesis for animation, Université Nice Sophia Antipolis, Ph.D. Thesis, 176p, France.
- Quoc Bao Nguyen (2019), Sound synthesis of cymbals including thickness and shape variations, Erişim Tarihi: 10.12.2020
<https://perso.ensta-paris.fr/~touze/tapercymbals.html>
- Raghuvanshi, N., & Lin, M. C. (2006, March). Interactive sound synthesis for large scale environments. In Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games (pp. 101-108). ACM.
- Ren, Z., Yeh, H., & Lin, M. C. (2010, March). Synthesizing contact sounds between textured models. In 2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR) (pp. 139-146). IEEE.
- Ren, Z., Yeh, H., & Lin, M. C. (2013). Example-guided physically based modal sound synthesis. ACM Transactions on Graphics (TOG), 32(1), 1.
- Réveillac M., 2018, Musical Sound Effects Analog and Digital Sound Processing, Wiley-ISTE, 365p, Britain.
- Russ M., 2008, Sound Synthesis and Sampling, Routledge, 584p, United States of America.
- Serway R., Beichner R., 2012, Fen ve Mühendislik için Fizik, Çev. Çolakoğlu K., Palme Yayınları, 705, Ankara.
- Sevil U., 2005, Kemanda Yay ile Ses Üretimi ve Ses Üretiminin Teknik Analizi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80, İstanbul.
- Tanaka M., Yamagiwa K., Miyazaki K., Ueda T. (1988), Free vibration analysis of elastic plate structures by boundary element method. Engineering Analysis, Vol. 5, Issue 4, 1988, p. 182-188.
- Zaman, I., Rozlan, S. A. M., Yusoff, A., Madlan, M. A., & Chan, S. W. (2017). Theoretical modelling of sound radiation from plate. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 165, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- Zhang, Q., Ye, L., & Pan, Z. (2005, September). Physically-based sound synthesis on GPUs. In International Conference on Entertainment Computing (pp. 328-333). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zhou, D., & Ji, T. (2006). Free vibration of rectangular plates with continuously distributed spring-mass. International journal of solids and structures, 43(21), 6502-6520.
- Zhou, D., & Ji, T. (2012). Free vibration of rectangular plates with attached discrete sprung masses. Shock and Vibration, 19(1), 101-112.

EKLER

EK A. Uygulama Kodları

EK A. Uygulama Kodları

```
Lx = 4;
Ly = 4;
t=1:0.001:200;
c=0.2;
m=1;
k=10000
f=sqrt((k/m)-(c/2*m)^2)/2
nx = 4; ny = 3;
x= 0:0.1:Lx;
y= 0:0.1:Ly
[X, Y] = meshgrid(x,y);
Z=0.5*sin(pi*nx*X/Lx).*sin(pi*ny*Y/Ly);
y=10*(exp(-t*(c/2*m))).*cos(pi*sqrt((k/m)-((c/2*m)^2))*t);
sound (y);
T=linspace(0, 2*pi, 20);
for i=1:length(T)
    t = T(i);
    surf(X, Y, Z*cos(t));
    caxis([-1, 1]);
    colormap spring;
    axis normal;
    axis([0, Lx, 0, Ly, -1, 1]);
    M(i)=getframe;
end;

%% Korelasyon

[x,fs] = audioread('İnceLevha.wav');
[y,fs]=audioread('UretilenSes.wav');
sound(y,fs)
lx = length(x);
ly = length(y);
samples = 1:min(lx,ly);
plot (x(samples));
title('İnce Levha Sesi.wav');
plot (y(samples));
title('Uretilen Ses.wav');
[K1, lag1] = xcorr(x(samples),y(samples),'coeff');
figure(2);
plot(lag1/fs,K1);
ylabel('Genlik');
grid on
title('Çapraz korelasyon')
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif EKŞİ
Doğum Yeri ve Yılı : İSTANBUL, 27/06/1995
Medeni Hali : (Bekar)
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : elifeksi95@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise: : İstanbul Anadolu Lisesi, 2013
Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 2017
Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Yayınları

Ekşi, E, Akı, F, Yazıcı, R. (2020). Fizik Tabanlı Ses Sentezi Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (2), 289-305. DOI: 10.46373/hafebid.782639

Ekşi, E, Akı, F, Yazıcı, R. (2021). Sabitlenmiş Dörtgensel Bir Yüzeyin Titreşimi ve Üretilen Sesin Simülasyonu. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi tarafından kabul edilmiştir.