

**T.C.**  
**HALIÇ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ PROGRAMI**



**YARASA MOTİVASYONLU SONAR İZLEME İÇİN**  
**İÇ KULAK MODELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hazırlayan**  
**Emrah GÜLÜM**

**Danışmanı**  
**Yrd. Doç. Dr. Turgay TEMEL**

**İstanbul – 2010**

**T.C.**  
**HALIÇ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yönetim Bilişim Sistemleri Programı Tezli Yüksek Lisans öğrencisi **Emrah GÜLÜM** tarafından hazırlanan “**Yarasa Motivasyonlu Sonar İzleme İçin İç Kulak Modeli**” adlı bu çalışma jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Tarihi : 28.06.2010

( Jüri Üyesinin Ünvanı , Adı , Soyadı ve Kurumu ) :

İmzası :

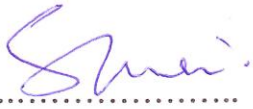
Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Turgay TEMEL  
Danışman-HAL.Üniv.Bilgisayar Müh. ABD Öğr.Üyesi

  
.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Yüksel BAL  
HAL.Üniv.Bilgisayar Müh.ABD Öğr.Üyesi

  
.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Taha İMECİ  
HAL.Üniv. Elektronik ve Hab.Müh. ABD Öğr.Üyesi

  
.....

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No.

KISALTMALAR LİSTESİ.....	IV
ŞEKİL LİSTESİ .....	V
ÖZET .....	VI
ABSTRACT .....	VII
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL YARASA İÇ KULAK YAPISI MODELİ .....	2
2.1. Yarasa Kulak (İşitme Sistemi) Fizyolojisi .....	2
2.2. Yarasa İşitme Sistemi İşleyişi .....	5
2.3. Yarasalar İçin Geçerli İç Kulak Modelleri.....	6
3. YARASALAR VE SONAR İZLEME.....	9
3.1. Sunuş .....	9
3.2. Yarasa .....	10
3.2.1. Mesafe.....	11
3.2.2. Yatay Açısı .....	12
3.2.3. Düşey Açısı.....	12
3.2.4. Bağlı Hız .....	12
3.2.5. Hedefin Şekli.....	12
3.2.6. Frekans Özellikleri .....	12
4. SONAR İZLEMELİ YARASALAR İÇİN İÇ KULAK YAPISI MODELİ.....	13
4.1. Sunuş .....	13
4.2. Doppler Kayması .....	13

4.3. Yarasalar İçin Genel İç Kulak Model Yapısı .....	15
4.4. Gammatone Filtre Grup Modeli.....	16
4.5. Yarasalar İçin Doppler Kayması ile Sonar İzleme ve Ekolokasyon Modeli ....	17
4.6. Yapay Sinir Ağı İle Doppler Kaymasının Bulunması.....	18
5. SONAR HEDEF TANIMA .....	20
5.1. Sunuş .....	20
5.2. Sunulan Dijital Koklea Modeli .....	21
5.3. Yarasa Çağrılarına Benzer Biyosonar Yankılar İçin Spike Tabanlı Özellik Üreten Algoritma.....	22
5.4. En Yakın Komşu Modeli.....	23
5.5. Deneyler ve Sonuçlar .....	24
6. SONUÇ .....	27
7. KAYNAKLAR.....	29
8. ÖZGEÇMİŞ.....	33

## ÖNSÖZ

Araştırmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışmanım Haliç Üniversitesi öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Turgay TEMEL'e, Sn.Koray KARACEHENNEM'e, Sn. Mesut BAŞGÖL'e, Sakura Dojo'nun her bir sakurasına ve bizlerin her daim açmamızı sağlayan hayat kaynağımıza sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca sabır ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, moral ve motivasyonumu en üst seviyede tutmaya çalışan eşim hanımefendiye ve biricik oğluma, ailelerimize teşekkür ederim.

İstanbul – 2010

Emrah GÜLÜM

## KISALTMALAR

<b><i>a</i></b>	: Güç çevirici aralık yarıçapı
<b>AM</b>	: Genlik modülasyonu
<b>ANN</b>	: Yapay sinir ağı
<b>BPF</b>	: Bant geçiren filtre
<b><i>c</i></b>	: ses hızı ( $c \sim 304$ m/s havada)
<b>CF</b>	: Sabit frekans
<b>dB.</b>	: Desibel
<b><i>f</i></b>	: Frekans
<b>FFT</b>	: Hızlı fourier dönüşümü
<b>FM</b>	: Frekans modülasyonu
<b>Hz.</b>	: Hertz
<b>IHC</b>	: İç kıl hücresi
<b>kHz.</b>	: Kilo Hertz
<b>ms.</b>	: Mili Saniye
<b><i>r</i></b>	: Mesafe-menzil
<b>OHC</b>	: Dış kıl hücresi
<b>R.</b>	: Rhinolophus
<b>SONAR</b>	: Ses ile yer ve boyut tespiti (SOund NAvigation and Ranging)
<b>SPL</b>	: Ses şiddeti seviyesi
<b>t</b>	: Zaman
<b>WA</b>	: Ağırlıklı ortalama
<b><math>\mu</math>s.</b>	: Mikro Saniye

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No.

Şekil 2.1.1. : <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> .....	3
Şekil 2.1.2. : Salyangoz kesit alan görünümü .....	4
Şekil 2.1.3. : Salyangoz iç kesit alanı görünümü.....	4
Şekil 3.1. : Bilinen önemli yarasa türleri.....	9
Şekil 3.2. : <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> .....	11
Şekil 4.2. : Ses dalgalarının bağıl hareket ile değişimi .....	14
Şekil 4.3. : n - kanallı genel filtre grup iç kulak modeli.....	15
Şekil 4.4. : 29 kanallı gammatone filtre grup yapısı özellikleri .....	17
Şekil 4.6.1. : Yapay sinir ağı ve filtre grup ile Doppler kayması hesaplanması .....	18
Şekil 4.6.2. : Yapay sinir ağı ile uydurulmuş akustik çukura karşılık gelen frekans sapması tayini tüm akustik çukur bölge için merkez frekans etrafında iki kanal için büyütülmüş detay .....	19
Şekil 5.1. : 1NN sınıflandırıcının gammatone filtre demeti sonucu elde edilen koklea modelinin sonuçları .....	25

## GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Emrah GÜLÜM  
Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği  
Programı : Yönetim Bilişim Sistemleri  
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Turgay TEMEL  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Haziran 2010

### YARASA MOTİVASYONLU SONAR İZLEME İÇİN İÇ KULAK MODELİ

#### ÖZET

Ses sinyallerinin nöral – spike olarak daha iyi gösterilebilmesi için, dijital ARMA tipi, yeni bir düşük – geçiş (low – pass) filtre önerilmiştir. Yarasaların ağaçlara göndermiş olduğu cıvıltı benzeri seslerin biyolojik özellikli vektörlere dönüştürülmesi ile elde edilen biyosonar yankılar ile, AR – tipi filtreler ile sınıflandırma karşılaştırması yapılmıştır. Daha sonrasında ise, yankı özellikli vektörlerden, parametrik ve parametrik olmayan sınıf koşullu yoğunluklar oluşturulmuştur. Bu modeller tek basamaklı ve döngü şeklinde sınıflandırma yapan sınıflandırma algoritmaları için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ARMA tipi filtrelerin tek – yankı sınıflandırma performansı üzerinde, AR – tipi filtreler göre daha hızlı ve etkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışma doğada, görsel duyuları gelişmemiş olmasına rağmen işitme sistemi ile karanlıkta ağaçlar arasında yeralan avlarını tespit ederek hareket halinde yakalama kabiliyeti gibi hayret verici yeteneklere sahip yarasalarda mevcut işitme sistemi içinde yer alan iç kulak yapısını tanıtmaktadır. Yarasa iç kulak yapısına karşılık gelen hedef tespit ve izleme yetenekleri incelenmektedir. Sistemik kulak tarafına hareketlerini kullanarak hedefin yerini tespit eden, paketler halinde sinyal gönderen böcekçil yarasaların birçok türü (*Rhinolophidae* ve *Hipposideridae* ailesindeki türler) tarafından kullanılan ses filtrelemesinin ve 3 boyutlu olarak hedef tespitinin nasıl yapıldığına dair bir iç kulak modeli oluşturulup kulak yapısı, algılama şekilleri modellenerek incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Yarasalar, Sonar, *Rhinolophus ferrumequinum*, Ekolojasyon, İç kulak.



## GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Emrah GÜLÜM  
Field : Computer Engineering  
Program : Management Information Systems  
Supervisor : Assoc.Prof.Dr. Turgay TEMEL  
Degree Awarded and Date : Master – June 2010

## INNER EAR MODEL FOR BAT MOTIVATED SONAR TRACKING

### ABSTRACT

For an improved neuro – spike representation of auditory signals within cochlea models, a new digital ARMA – type low – pass filter structure is proposed. It is compared to more conventional AR-type counterpart on a classification of biosonar echoes, in which echoes from various tree species insonified with a bat-like chirp call are converted to biologically plausible feature vectors. Next, parametric and non-parametric models of the class-conditional densities are built from the echo feature vectors. The models are deployed in single – shot and sequential – decision classification algorithms. The results indicate that the proposed ARMA filter structure offers an improved single – echo classification performance, which leads to faster sequential – decision making than its AR – type counterpart. In this thesis I studied the aural morphology that exists in the auditory system of the bats that have an amazing capability of hunting, while moving, after echolocating their prey in the darkness between the trees although their visual senses aren't well enough. Target locating and tracking capabilities that counterpart of bat aural morphology are investigated. This approach is applied to an investigation of the acoustical cues that may be exploited by several species of tone emitting insectivorous bats (species in the families *Rhinolophidae* and *Hipposideridae*) which localize prey using systematic pinnae scanning movements.

**Keywords :** Bats, Sonar, *Rhinolophus ferrumequinum*, Ecolocation, In ear

## 1. GİRİŞ

Dünya'da yapılan çalışmaların çoğu yapay davranışların belirli bir şekilde sensörlerle algılanıp bunların modellenerek oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Canlıların (yarasaların) fizyolojik özellikleri, biyolojik yapıları ve doğal yaşam şekilleri hayret uyandıracak şekilde olduğundan bu çalışmayı icra ettim.

Bu çalışmamda sunulan yaklaşım ise doğada bulunan birçok canlı türünden biri olan yarasalar üzerinde durularak, bunların doğal yaşam şekilleri, avlanmaları, görme yeteneklerinin çok düşük olmasına rağmen yönlerini nasıl tespit ettikleri incelenmeye çalışılmıştır.

Çalışmamın ilk bölümünde genel olarak yarasaların iç kulak yapısının modelini, işitme şeklinin kulak kepçesiyle algılanıp orta kulaktan geçmesi ve daha sonra iç kulağa gelerek burada işlenip beyne nasıl sinyal gönderdiğini, yarasalar için geçerli olan iç kulak modellerini inceledim.

İkinci bölümde ise görme yetilerinin çok düşük olmasına rağmen yarasaların yönlerini tespit etme şekilleri, avlarını bulma şekilleri; özellikle hareketli avlarını (çırpınan) yakalama şekilleri, yarasaların türlerini araştırarak bilgi vermeye çalıştım.

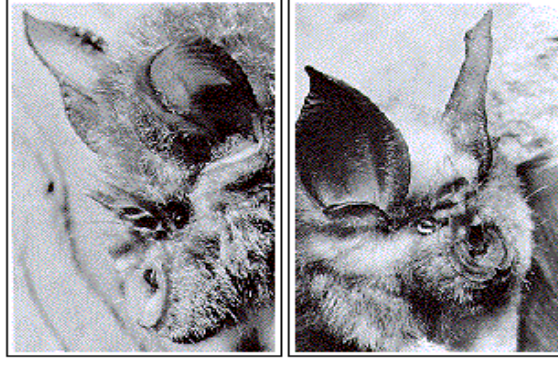
En son bölümde ise, yarasaların algılama şekillerini bir iç kulak modeli ile oluşturarak ileri çalışmalarım için ön hazırlık yaptım. Bu yaklaşımlardan yola çıkarak, birçok canlının hayret uyandıracak doğal hayatlarını, biyolojik yapılarını örnekleyerek modellemek şüphesizki bu çalışmadan sonra ışık tutacağına inanmaktayım. Bununla birlikte bu biyolojik sistem diğer biyolojik sistemler gibi yoğun bilimsel çalışmalar olmasına rağmen tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bu çalışma ileri düzey çalışmalara temel teşkil edecek şekilde bir iç kulak modeli oluşturarak, ön hazırlık çalışması şeklinde icra edilmiştir.

## 2. GENEL YARASA İÇ KULAK YAPISI MODELİ

Bu bölümde, yarasalara ait kulak morfolojisi tanıtılacak olup, işitme sistemi olarak yerine getirdiği fonksiyonlar açıklanacaktır. Yarasa türlerine göre kulak yapıları arasındaki benzerlik ve farklılıklara biyolojik ve fizyolojik açılarından değinilecek, sonar izleme olarak, hedef tespit ve tayin (navigation) ile ekolokasyon kabiliyetlerine sahip yarasalar için genel kulak yapısı açıklanacaktır. Bu bölümün amacı, literatür çalışmalarının kısmi bir özeti olarak mümkün olduğunca genel bir perspektif sunmaktır.

### 2.1. Yarasa Kulak (İşitme Sistemi) Fizyolojisi

Biyolojik olarak yarasa ve diğer memeliler, işitme sistemi olarak, hemen hemen aynı kulak yapısına sahiptir. Yarasa kulak yapısı dış, orta ve iç olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Pickles 1982). Yarasa dış kulağı, kulak kepçesi (pinnae) ve kulak kanalından oluşmakta olup, dışarıdan gelen akustik dalgaları iç kulağa yönlendiren bir anten görevi görmektedir. Yarasa dış kepçesi oldukça hareketli olup, değişik fonksiyonları yerine getirecek şekilde değişik yönlerde doğru hareket edebilmektedir. Örneğin çarpımalı frekans modülasyonlu işaret yayarak gelen yansıma (echo) kullanan CF – FM yarasalarının kulak kepçeleri oldukça büyük olup, bu şekilde büyük kulak kepçesi ile yüksek frekanslı olarak yayımladıkları işaretlerin havada ortaya çıkan kayıplarını kompanse edecek şekildedir. Böylece alınan akustik dalganın oluşturacağı basınçta en üst seviyelerde tutulabilmektedir (Obrist ve diğer. 1993).



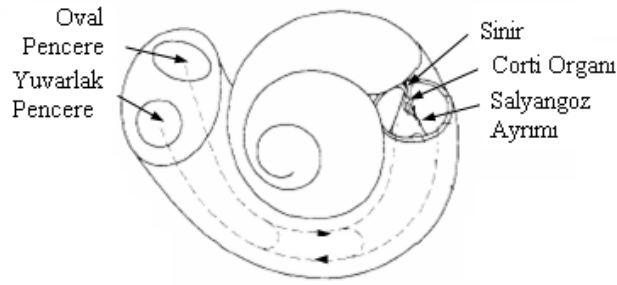
Kaynak : Nowak 1994  
Şekil 2.1.1.: *Rhinolophus ferrumequinum*

Kulak kepçesi ile alınan akustik dalgalar kulak kanalı yardımı ile kulak zarı ve ossicle kemiklerinden oluşan iç kulağa iletilir. Bu kısımda yer alan kulak zarı, iletilen akustik titreşimler ile titreştirilmekte ve bu titreşimler de kulak zarına iliştirilmiş olan ossicle kemiklerinin birbirlerine, akustik dalga özelliklerine uygun şekilde dokundurulmasını sağlamaktadır. Bu kemiklerden, alıcı kısmında yeralan, kendisine iletilen darbe (pulse) şeklindeki titreşimleri, yüzey dalgası oluşturacak şekilde kendisine tutturulmuş olan iç kulak zarını titreştirmektedir. Ossicle kemiklerinin bu yapı içinde akustik direnç (impedance) uyumluluğunu sağladığını da belirtelim.

İç kulak genel yapı itibarıyla, salyangoz (cochlea), ve ilgili diğer birimlerden oluşmaktadır. Bu kısımda, duymaya ilişkin, algılama ve ses kaynağını tanıyarak uzaysal ve zamansal bilgileri elde edip merkezi sinir sistemi ile birlikte işlenmesi sağlanmaktadır. İç kulak yapısında yeralan ve yüzeysel örtü şeklinde olan kaslar ise dış kulak ile elde edilen ses şiddetini geribesleme ile uyumlulaştırabilecek şekildedir (Nowak 1994).

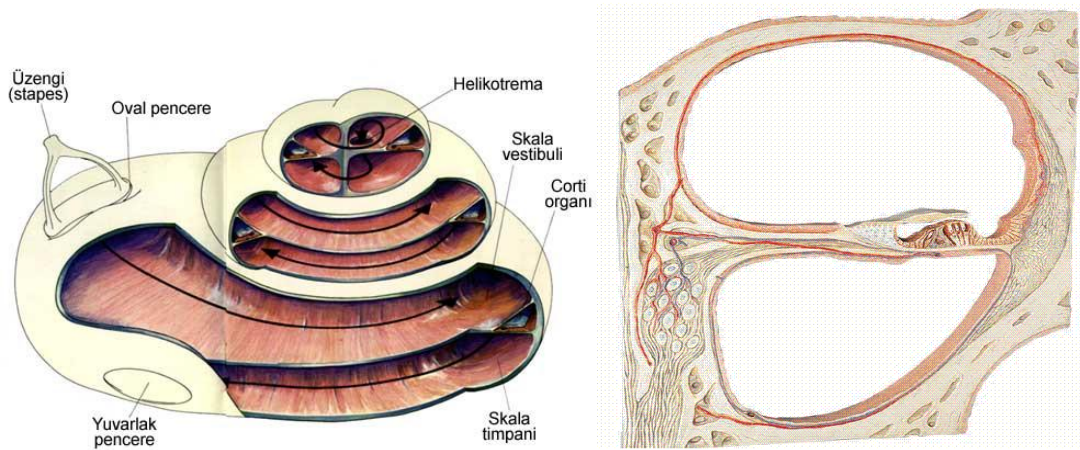
İç kulakta işitmeye ilgili kısım, kendi ekseni etrafında iki buçuk kez helezon gibi döndüğünde salyangoz (cochlea) adını alır. Bu yapı açılarak incelirse: tepe noktada birleşen, birbirinden ince zarlarla ayrılan üç kanal görülür. Bunlardan üstteki kanal oval pencereye bağlı olan vestibuli kanalıdır. Alttaki kanal ise yuvarlak pencereye bağlı olan timpani kanalıdır. Her ikisinin içinde perilemf sıvısı bulunur. Ortada cochlear kanalda ise endolenf sıvısı vardır. İşitmeyi sağlayan corti organı bu

kanalda yer alır. Bu hücreler vestibuli ve timpani kanalı ayıran zar üzerine yerleşmiştir. Serbest olan uçları, endolenf sıvısı içindedir. cochlear kanalındaki titreşimler bu serbest uçtaki reseptörlerle alınır ve beyne iletilir. İç kulak içinde yer alan salyangoz, içi sıvı dolu olup ortasından kesit olarak, üzerinde işitme sinir (nerve) yapıları bulunan bir zar (basilar membrane) ile ikiye ayrılmıştır (cochlea partition), Şekil 2.1.2. Salyangoz taban kısmı itibarıyla, zarla kaplı ve akustik dalga basıncı ile ortaya çıkan ve sıvıda oluşan yüzey dalgası gerilimini dengeleyen iki pencereye (oval and base windows) sahiptir. Pencere zarlarında oluşan akustik dalga yayılımını Şekil 2.1.2’de kesikli çizgi ile gösterilmiş olup. Salyangoz ayırım zarı üst kısımdan tabana doğru gidildikçe daralmakta, dolayısıyla da elektromekanik özellikleri değişmektedir.



Kaynak : Lyon ve Mead 1988

Şekil 2.1.2.: Salyangoz kesit alan görünümü



Kaynak : <http://www.baskent.edu.tr/~scanan/sesweb/images/koklea.jpg>

Şekil 2.1.3.: Salyangoz iç kesit alanı görünümü

Salyangoz oval pencerede sıvının fiziksel olarak akustik dalga nedeniyle meydana gelen yüzey hareketi sinirsel cevap (neuronal response) olarak dönüştürür. Salyangoz ayırım zarı ossicle kemikleri ile iletilen akustik dalga nedeniyle salınım hareketi yapmakta ve bu zarı kaplayan sıvıyı titreştirmektedir. Kesitten görülebilen zarın dolayısıyla sıvının hareketine ait salınım karakteristikleri örneğin dalga rezonans frekansı, sönümlenme faktörü ve genlik olarak, konuma bağlı olarak değişmektedir. Deneysel analiz sonuçları (Lyon ve Mead 1988), rezonans frekanslarının üst uçtan tabana doğru gidildikçe belirli bir şekilde düşüş göstermektedir.

## **2.2. Yarasa İşitme Sistemi İşleyişi**

Daha önce yarasalar için de geçerli olan genel işitme sistemi yani kulak fizyolojik olarak tanıtılmış idi. Dış kulak (veya yarasalar için kulak kepçesi – pinnae) aracılığıyla alınan akustik dalga veya uyarımlar kulak zarı titreştirilmekte idi. Akustik ses dalgasının kaynağının tespit edilmesi de yine burada yerine getirilmektedir. Salyangoz boyunca değişen elektromekanik özellikler ve dalga karakteristikleri, zar boyunca seçici olarak davranmakta dolayısıyla, kaynak özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Her bir konuma karşılık gelen bu seçicilik, salyangoz taban zarı üzerinde bulunan bir nevi sinir yapısı olan iç kıl hücresi (inner hair cell, IHC) tarafından tek yönlü eğilme hareketi ile algılanarak, elektrokimyasal maddeler salınmasına neden olmakta ve bu değişimler de uygun sinirsel darbe (neural pulse/spike) dizilerine dönüştürülerek beyine iletilmektedir. Beyinde bulunan işitme bölgesi (auditory cortex) de uyarımı değerlendirerek akustik ses dalgası kaynağını belirlemektedir (Carmena ve Hallam 2004).

Salyangoz taban zarı üzerinde iç kıl hücreleri yanında karşıt yüzey bölgesinde, dış kıl hücresi (outer hair cell, OHC) olarak adlandırılan ve sinir sisteminden gelen geribesleme ile uyarımı denetleyen yapılar da bulunmaktadır. Bu yapıların son zamanlarda ses dalga genlikleri üzerinde kontrol darbeleri de ürettiği belirlenmiştir (Hafner 2005).

### 2.3. Yarasarlar İçin Geçerli İç Kulak Modelleri

Herhangi bir akustik bir ses dalgası işitme sistemi tarafından iki işleme tabi tutulmaktadır: n işaret işleme ve biçimleme – genel anlamda filtreleme/süzme ve sinirsel kodların retimi. Genel olarak birinci işlemde, işaret dış ve orta kulak tarafından yerine getirilen işlemler; ki filtreleme olarak değerlendirilmektedir, iç kulak tarafından yerine getirilen benzer işlemler ile birlikte dūřunılmaktadır. Buna göre, i kulağa kadarki işaret biçimleme yani filtreleme işlemini yarasanın ürettiği akustik dalga frekansı merkez frekans (center frequency) olmak üzere dūřunlebilecek bir band – geçiren filtre (band-pass filter, BPF) ile modellemek mümkün olabilecektir (prefiltering).

İç kulak tarafından gerçekleştirilen filtreleme ise, özellikle salyangoz geometrik yapısında, konuma bağlı olarak değişim nedeniyle, filtreleme işlemi, konuma bağlı merkez frekansları ile oluşturulmuş filtre grubu (filterbank) ile modellenebilecektir. Bu filtrelerin oluşturduğu toplam etki ise bunların dnşim ifadelerinin çarpımı olacağından, dūřuk kenar frekansına sahip bir alçak geçiren filtre ile modellenecektir. İç kulaktaki kıl hücreleri tek yönlü algılama hareketi ise, yarı – dalga doğrultucu (half-wave rectification) ile modellenebilecektir. Akustik ses dalgası kaynak bilgisi ise elde edilen son dalga şeklinin uygun özelliklerinin örneklenmesi veya türetilmesi ve önceden belirlenmiş bir yapay sinir ağı (artificial neural network) mekanizması ile elde edilebilecektir (Patterson ve Holdsworth 1996, Wang 2006, Müller 2002, Kuc 2001, Temel 2010).

Literatürde yeralan işitme sistemi ve özelde ise iç kulak yapısına ait belli başlı modeller aşağıda verilmiştir:

- 1) Lyon tarafından (Lyon 1982)'de önerilmiş olan pasif iç kulak modeli harici istatistiksel dağılımlar oluşturacak şekilde ifade etmeye dayanmaktadır. Yukarıda kanıtlanmış olan filtreleme bloğu ile elde edilmiş olan işaretin band genişliği adaptif bir şekilde değiştirilebilen ve toplam etki band – geçiren filtre olarak dūřunlebilecek alçak – geçiren filtreler ile oluşturulduğu dūřunılmaktadır. Bu alçak – geçiren filtre ıktıları düzeltilerek sinirsel özellikler (features/pattern) elde edilmektedir.

- 2) Alınan ses dalgası işaretinin Mel – frekanslarının cepstral katsayılar olarak gösterimine dayalı parametrik bir model Davis tarafından (Davis ve diğer. 1980)'de önerilmiştir. Bu modelde, ses işareti Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) ile elde edilen Mel – aralıklı filtre grubundan geçirilmekte ve çıktılar logaritmik ölçeğe dönüştürülmekte ve çıktılara, kaynak tanımını verecek cosine dönüşüm uygulanmaktadır.
- 3) Meddis tarafından (Meddis 1986)'da önerilmiş olan iç kıl hücresi modeli, daha sonra Patterson tarafından (Patterson ve Holdsworth 1996)'da geliştirilmiş ve oldukça uygulama alanı bulan filtre – grup modelinin (filterbank model) ilk şeklidir. Patterson'un filtre – grup modelinde, salyangoz konumsal işaret blokları 4.derece gammatone yapısındadır. Bu filtre modelinde, her bir band – geçiren filtreye ait -3 dB (decibel) kalite faktörü sabit tutulmakta, fakat band genişliği ise metodik olarak düşürülmektedir. Meddis modelinde, her bir konumsal kanala ait iç kılın gerçekleştirdiği mekanikten sinirsel dönüşüm üzerinden yani alçak – geçiren filtre üzerinden biçimlendirme işlemi yapılmaktadır.

Konu ile ilgili araştırma ve literatür çalışmalarında, yarasalar, yayımladıkları akustik işaretlerin özelliklerine göre gruplanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen bulgular yarasaların, frekans – modülasyonlu (frequency modulation, FM) işaretleri yayımladıklarını ortaya koymuştur, (Griffin 1958, Griffin ve diğer. 1962). Bununla birlikte yarasalar, tiplerine göre, FM işaretlerini değişik biçimlerde üretmekte ve göndermektedir:

- 1- Sade – FM yarasalarının kulak yapıları fizyolojik olarak, genel memeli yapısına uygun şekilde tasarlanmış olup, karakteristik konumsal band – geçiren filtre gruplarında, her bir band – geçiren filtrenin merkez frekansı değişirken, kalite faktörünün değiştirildiği gözlenmiştir.
- 2- FM izlemeli sabit frekanslı (constant – frequency FM, CF – FM) yarasalarına ait iç kulak yapılarında ise FM yarasalarından farklı olarak, gönderilen işaret, işitsel çukur (auditory fovea) olarak adlandırılan ve hareketli nesnelerin tespit edilmesi ve Doppler frekansında meydana gelecek sapmaları karşılayacak bir frekans bölgesi yer almaktadır (Behrend ve diğer. 1999). İşitsel çukurun



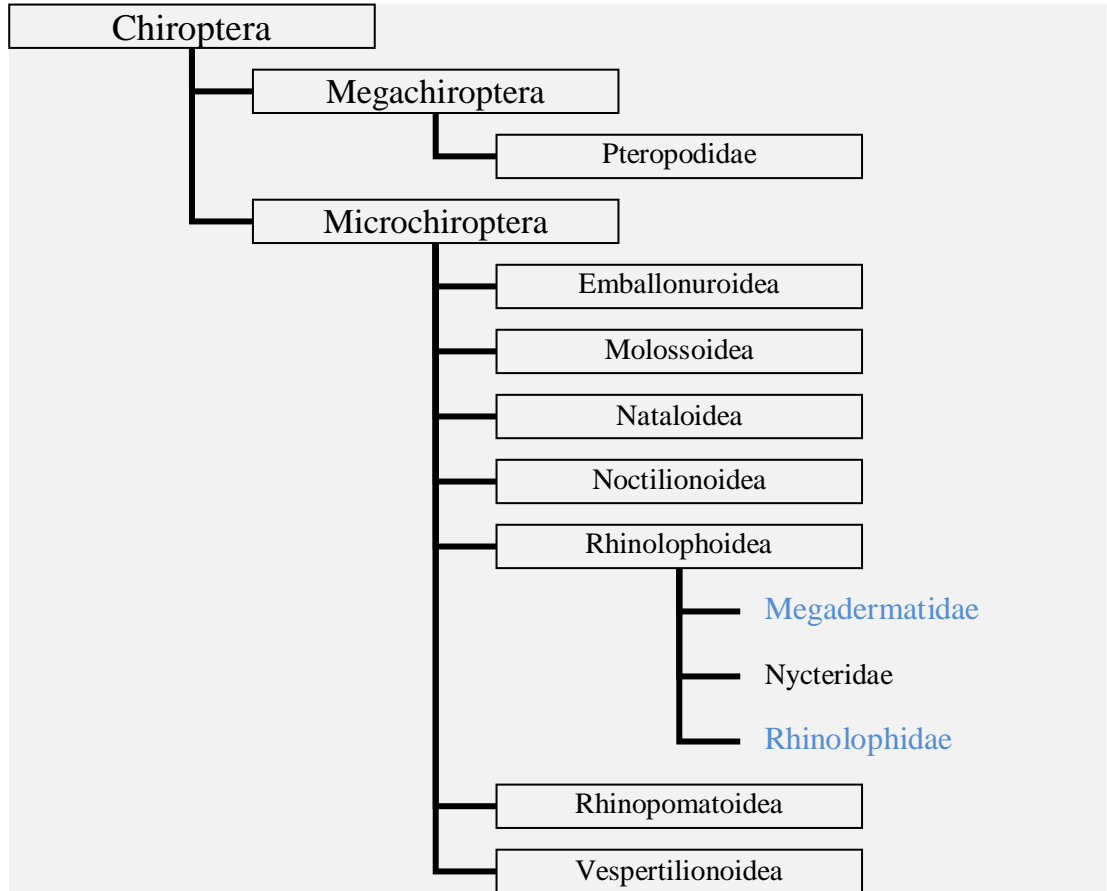
merkezine doğru, filtre kalite faktörü hızlı bir şekilde yükselerek, özellikle *Rhinolophus ferrumequinum*'lerde, 400 dB'e ulaşmaktadır. Bu frekans bölgesi dışında ise CF – FM yarasaları da genel yapıya uymaktadır.

Yarasalara ait iç kulak mimarisinde, akustikten sinirsel özelliklerin nasıl elde edildiği ve salınan akustik dalga özellikleri ile olan ilişki henüz tam anlaşılammış durumdadır. Bunun en önemli sebebi ise, beyinde yer alan, işitme ile ilgili inferior colliculus bölgesine oldukça yüksek sayıda yol ile ulaşıyor olmasıdır. İstisnai bir durum olarak, literatürde oldukça geniş şekilde araştırılmış olan ve yansımalara ait gecikme ve Doppler kaymalarına ait beyin haritası bilinen bıyıklı yarasa türünü belirtmek gerekir (Suga ve Jen 1977, Suga ve diğer. 1981).

### 3. YARASALAR VE SONAR İZLEME

#### 3.1. Sunuş

Yarasalar ağaçlık veya ormanlık alanlarda ve mağaralarda karanlıkta böcek vb. nesnelere konumlarını tespit ederek, insanları hayrette bırakacak şekilde keskinlikte ve hızlı bir şekilde avlanabilmektedir. Griffin'in (Griffin 1958, Griffin ve diğer. 1962) çalışmaları ile birlikte yarasaların kullanmakta olduğu ekolokasyon yani yarasalar tarafından yayımlanan akustik ses dalgalarının yansıması ve işlenmesine dayalı olarak nesnelere tespit edilerek konum bilgilerinin ortaya çıkarılması ve buna göre hareket edilmesi yaygın araştırma konularından birisidir (Suga 1990).



Şekil 3.1. : Bilinen önemli yarasa türleri

Doğada yarasalara benzer şekilde sonar işaretleri ile konum belirleyebilen yunus balıkları da ekolokasyon kabiliyetine sahiptir. Bununla birlikte bilinen 800'den fazla yarasa türü içinde belirli özellikleri taşıyanlar ekolokasyon yeteneği sergileyebilmektedir; bu da belirtilen özelliklerin incelenerek biyolojik motivasyonlu (biomimetic) yapıların gerçekleştirilmesini olanaklı kılacaktır.

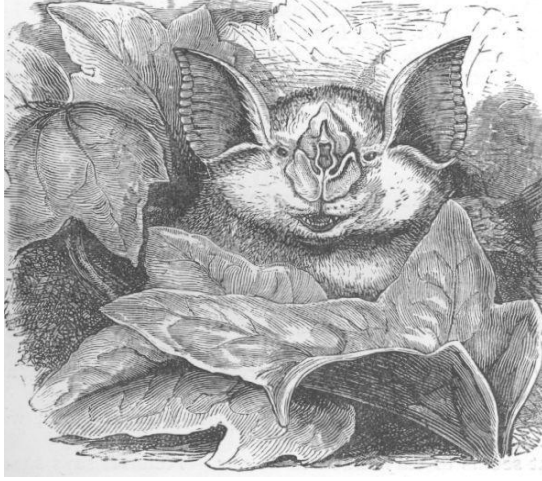
### 3.2. Yarasa

Ekolokasyon yeteneğine sahip yarasalar, ekolokasyon amaçlı olarak kullandıkları sonar işaretlerinin frekans – zaman değişimine göre iki gruba ayrılmaktadır: Frekans modülasyonlu (FM) ve FM – izlemeli sabit – frekans (CF – FM) yarasaları.

FM yarasaları, örneğin büyük kahverengi yarasa (*Eptesicus fuscus*), çok harmonikli çırpmalı (multi – harmonic chirps) FM işaretleri yayımlamaktadır. Yayımlanan işaretin süresi, frekans ve biçimi bu gruba giren yarasa türlerine göre değişebilmektedir. Bu yarasaların kullandığı FM işaretlerin frekans 200 kHz'e kadar çıkabilmektedir.

CF – FM yarasalarının kullandığı darbe (pulse) işaretlerinde uzun süreli sabit frekanslı bir ton işareti, merkez frekansı değişen FM işaretlerinden oluşan paketler takip etmektedir. Sabit frekanslı ton işareti ile FM parçalarının kapsadığı enerji seviyeleri yarasanın, hedefi özelliklerine ve davranışlarına göre değişebilmektedir, (Tian ve Schnitzler 1997). Ekolokasyon yarasaları üzerine yapılmış olan literatür çalışmalarının oldukça önemli bir bölümü CF – FM yarasalarını kapsamakta olup, bu çalışma da bu türleri kapsayacaktır.

CF – FM yarasalarından içinde yer alan *Rhinolophidae* ve *Hipposideridae* en çok çalışılmış türlerdir. Bu türler için bilinen belli başlı örnekler olarak Greater Horseshoe olarak bilinen *Rhinolophus ferrumequinum* ve Mustached yarasa *Pteronotus parnellii* verilebilir. Çoğu FM yarasa türü sonar işaret paketlerini ağızları ile yayımlar iken, *Rhinolophidae* türü yarasalar sonar ötesi (ultrasonar) işaretleri üretmekte ve bunu uygun şekilde biçimlendirerek odaklanmış halde yayımlama işlemi için burun deliklerini kullanmaktadır (Nowak 1994).



Kaynak : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Rhinolophus\\_ferrumequinum\\_ras.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Rhinolophus_ferrumequinum_ras.jpg)  
Şekil 3.2.: *Rhinolophus ferrumequinum*.

Akustik ses dalgalarının havada yayımı sırasında zayıflatıldıkları gerçeği ekolokasyon işleminin kısa menzilli karakteristik göstereceğini ima etmektedir. Daha yüksek frekanslı 83 kHz (Pye ve Roberts 1970) darbe paketi kullanan *Rhinolophus ferrumequinum* türü yarasaların yayımladıkları işaret için, tespit edilebilir hedef boyutları küçülüp hassasiyet ve çözünürlük artarken, zayıflama etkisi belirgin hale gelmektedir (Walker 1997, Jones 1999). Yarasanın yayımladığı işaret hedefe vardıktan sonra, hedef yüzeyince yansıtılacaktır. Bu durumda hedef yüzeyinin özellikleri önem kazanacaktır: tümsek ve sert yüzeyler gelen akustik dalgaları her yöne doğru dağıtacaktır. Hedeften yansıyan dalganın genliği, yansıtıcı yüzeyinden uzaklık  $r$  olmak üzere  $1/r^3$  ile azalacaktır. Yüzeyden dağılmanın etkisi de  $1/r^2$  ile kendini hissettirecektir (Walker 1997). Ayrıca, eğer yansıtıcı yüzey noktaları yarasadan farklı uzaklıklarda ise, tekrar yarasa tarafından elde edilen toplam dalga genliği, yansımaların toplamı olacaktır. Yansımanın belirli bir doğrultuda olması durumunda ise, faz kaymaları azalacağından, görece genlik değeri de artacaktır.

Bir ekolokasyon yarasasının yukarıda belirtilen yansımalar ile çevresi hakkında elde edebileceği belli başlı bilgi veya ipuçları (cues) aşağıda özetlenmiştir:

### 3.2.1. Mesafe

Yansıma ile gönderilen dalga arasındaki gecikme hedef veya yansıtıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır.

### **3.2.2. Yatay Açı**

İki kulak tarafından elde edilen yansımalar arasındaki zaman, yansıtıcı nesnenin gönderici doğrultuya göre yatayda ne kadar açıda bulunduğu bilgisini içerir.

### **3.2.3. Düşey Açı**

*Eptesicus fuscus* vb. FM yarasalarında kulak kepçesi ile elde edilen akustik dalgalar arası girişim (interference) ile elde edilebilir. CF – FM yarasalarında ise, bu açı dış kulak hareketine bağlı olarak elde edilebilmektedir.

### **3.2.4. Bağlı Hız**

Hareketli nesnelerin örneğin uçmakta olan böceklerin yarasaya göre bağlı hızı, yansıyan dalgada, gönderilen dalgaya göre gözlenen frekans kayması – Doppler – kayması (Doppler – shift) ile belirlenebilmektedir.

### **3.2.5. Hedefin Şekli**

Yansıyan dalga genliği yansıtıcı nesnenin şekli, büyüklüğü hakkında ipuçları içerebilmektedir.

### **3.2.6. Frekans Özellikleri**

Bir böceğe ait kanat hareketleri yarasanın gönderdiği işaretin frekansını modüle etmekte ve dolayısıyla frekans spektrumunda gözlenebilecek enerji bölgeleri oluşturmaktadır. Bu şekilde yarasaların kanatlı avlarını tespit ettikleri düşünülmektedir.

## 4. SONAR İZLEMELİ YARASALAR İÇİN İÇ KULAK YAPISI MODELİ

### 4.1. Sunuş

Önceki bölümde, yarasaların yayımladıkları akustik dalganın hedeflerden (genelde av) yansıması ile, hedeflere ait belirli özelliklerin tayin edilebildikleri ifade edilmişti. Hareketli veya hareketsiz olmalarından bağımsız olmak üzere, yarasanın bağıl hareketi ile ortaya çıkan Doppler frekans kaymasının hedef tespitinde kullanılabileceği bilinmektedir. Bu bölümde seçilmiş olan bir iç kulak – yani salyangoz – modeli ile bu hedef tespit ve tayini, özelde CF – FM yarasa türleri için, gammatone – filtre grup modeli için incelenmiştir.

### 4.2. Doppler Kayması

Bağıl hareketten kaynaklanan, bir işaretin frekans özelliklerinde görülen Doppler etkisi, yarasalar tarafından kullanılmaktadır. Özellikle CF – FM yarasaların kulak morfolojisinin Doppler etkisini kompanze edecek şekilde yapılandırıldığı deneysel olarak gözlenmiştir (Suga 1981). Dolayısıyla, bu etkinin incelenmesi ve yarasalar için bilinen modellerin uyarlanması, adaptif olarak gerçekleştirilmesi düşünülebilecek biomimetik hedef tespit ve tayin sistemlerinin gerçekleştirilmesinde önemlidir.

Yarasalar genel olarak darbant sonar işaretler yayımlamaktadırlar. Bununla birlikte Doppler kaymasının tespit edilmesine yönelik çalışmalar ise mümkün mertebe geniş sapmalar üzerinedir. Genel darbant Doppler kaymasını inceleyen literatür çalışmalarının sayısı bu nedenle azdır (Dooley ve Nandi 1999). Dooley ve Nandi çalışmalarında Doppler kayması, adaptif olarak, gönderilen ve alınan işaretler arasındaki gecikme cinsinden doğrusal tahmin metotları ile tespit edilmeye

çalışılmaktadır. Bu metodun yarasaların kullandığı darbant işaretler için kullanılması, biyolojik sistemler için uygulanabilir değildir.

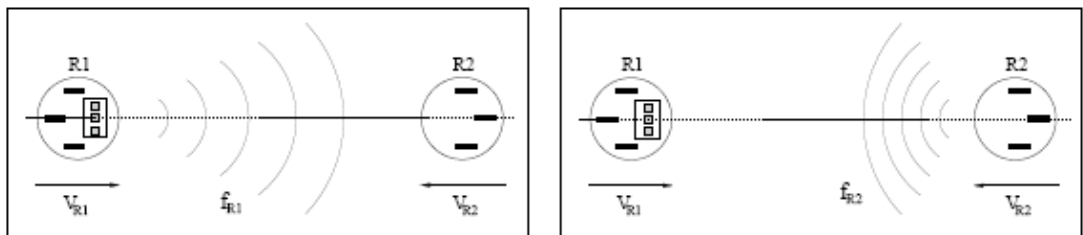
Doppler kayması 19. yüzyılda, Christian Doppler tarafından, uçuş hareketi sırasından ses dalgalarının yayınımlında dalga kaynağı ile alıcı arasında, bağıl hareket nedeniyle gözlenen farklılıkları açıklamak amacıyla kanıtlanarak ortaya atılmış ve başta meteorolojik tahmin (Snyder ve diğer. 1989) ve biomedikal (Böe ve Kristoffersen 1995) olmak üzere pek çok uygulama alanı bulmuştur.

Basit ve yeterince uzun süreli ton içeren işaret yayımlayan kaynaklar için Doppler kaymasını tayin etmek oldukça basit olmasına rağmen FM yarasalarında olduğu gibi frekans modülasyonlu ve çarpmalı frekans modülasyonlu işaret durumunda bu kaymalar da zaman ile değişecektir. Yaklaşık olarak havada 5 m/s hızla uçabilen 83 kHz etrafında değişen frekansta FM işaretleri yayımlayan *R. ferrumequinum* türü CF – FM yarasalarında Doppler kayması 2500 Hz'e kadar çıkabilmektedir.

Doppler kaymasını anlayabilmek için Şekil 4.2'de gösterildiği üzere birbirlerine göre  $v = V_{R1,2} - V_{R2,1}$  bağıl hızı ile hareket eden R1 ve R2 sistemleri gözönüne alınsın (Carmena 2001). Eğer bu iki sistemin hareket doğrultuları arasındaki açı ve kaynak frekansı  $f$  ve ses dalgası hızı  $c$  ise kaynak tarafında, hedeften yansıma sonucu algılanacak frekanstaki sapma yani Doppler kayması

$$\delta f = 2 \frac{v}{c} f \cos \varphi$$

olarak verilecektir.

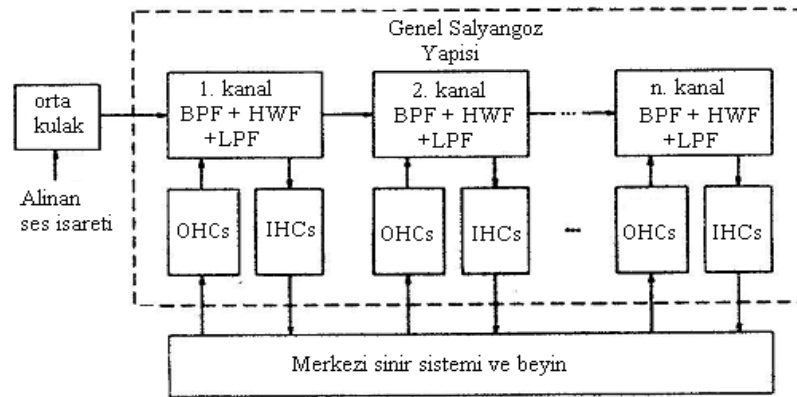


Kaynak : Carmena 2001

Şekil 4.2. : Ses dalgalarının bağıl hareket ile değişimi

### 4.3. Yarasalar İçin Genel İç Kulak Model Yapısı

Daha önce de ifade edildiği gibi literatürde değişik iç kulak modeli verilmiş idi. İyi bir model girişleri gerçek ses işareti iken çıkışında mümkün olduğunca bu sese benzer özellikleri kodlayan model olarak kanıtlanabilir (Lyon ve Mead 1988). Yarasaların iç kulak yapısı hemen hemen diğer memeliler ile aynıdır. Bununla birlikte CF – FM türü yarasalarda ise Doppler kayma etkisini salyangoz içinde kompanse edecek bir şekilde oluşmuş bir çukur bölgesi mevcuttur. Genel memeli iç kulak modeli takip edilerek ve yarasa türüne göre uygun uyarlamalar ile yarasaların işlevselliğine sahip yapılar üretmek mümkün olabilecektir. Buna göre yarasalar için kulak kepçesi (pinnae) ile alınan ve kulak kanalı ile taşınan ses işaretine orta kulakta akustik direnç benzeşimi (impedance matching) ve daha sonar da iç kulakta birleşik zaman – frekans (joint time – frequency) analizi ile bir kanal olarak düşünülebilecek işlem uygulanmaktadır. İç kulak ayrıca ses işaretlerini elektrokimyasal dönüşümden işitsel sinirsel kodlara dönüştürmektedir. Her konumsal işlem bölgesi bir kanal olarak düşünüldüğünde her bir kanala ait konuma bağlı frekans karakteristiklerinin modellenmesi, yarasa motivasyonlu sonar izlemenin efektif şekilde gerçekleştirilmesinde önem arzetmektedir. Bu tezde, alınan akustik işaretin, iç kulak modeli olarak, çok sayıda alt frekans bandlarından geçirilerek, bu bandlara karşılık gelecek olasılıksal dağılımların (probabilistic distribution) elde edilmesine olanak sağlayan filtre – grup yapısı incelenmiştir, Şekil 4.3.



Şekil 4.3.: n – kanallı genel filtre grup iç kulak modeli – Salyangoz ve işlemsel bloklar – BPF: Band geçiren filtreleme, HWR: yarı – dalga doğrultucu, LPF: Alçak geçiren filtreleme, OHC: Dış kulak kıl hücreleri, IHC: İç kulak kıl hücreleri.



Daha önce de açıklandığı gibi, salyangoz sıvısı ve zarının hareketinin, belirli bir konumda bulunan iç kulak kılı ile algılanması ile sinirsel işarete dönüştürülmekte idi. Ayrıca bu hareket tek yönlü olduğu için de toplam iç kulak işlem etkisinin yarı dalga doğrultucu – band – geçiren filtre – alçak geçiren filtre – sinirsel darbelere (spike) dönüşüm şeklinde olduğu belirtilmiş idi (Schroeder ve Hall 1974). Sinirsel darbe dönüştürme öncesi yapılan işlemin, band – geçiren filter çıkış işaretlerinin genlik demodülasyonu (amplitude demodulation) işlemine tabi tutulması olduğu görülmektedir. O halde bütün bu işlemin, uygun band – geçiren filtrelerin merkez frekanslarını ve kalite faktörü ( $Q$ ) seçimleri ile tamamen belirlenebileceği görülmektedir.

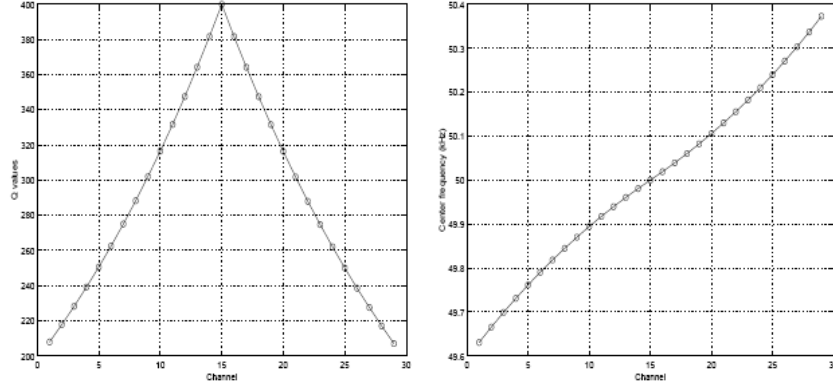
#### 4.4. Gammatone Filtre Grup Modeli

Bu kısımda filtre grup modelinden en çok bilinenlerden, gammatone filtre grup modeli özetlenecektir. Gammatone filtre grup modeli uniform olmayan (non – uniform) filtre grup modeli olarakta bilinir. Bu filtre grup modelinin, özellikle CF – FM yarasaları için geçerli olan çukur bölgesi etrafına ait frekans bölgesi etrafındaki yansıma özelliklerinin elde edilmesinde ve dolayısıyla Doppler frekans kaymalarının tespitinde geçerli olabileceği (Peremans ve diğer. 2000)’da gösterilmiştir. Genel olarak CF – FM yarasalar 50 kHz merkez frekanslı ve bu değer etrafında simetrik olarak değişecek şekilde sonar işareti yayımlamaktadır. Bu değer gözönüne alınarak, bu yarasalara ait salyangoz yapısında görülen çukur bölgesini modelleyecek şekilde, Şekil 4.4’ de (Carmena 2001), 29 adet bandgeçiren filtreden oluşan gammatone filtreden oluşmuş grup için, kalite faktörü  $Q$  (dB) salyangozdaki konuma bağlı olarak değişen merkez frekansına göre değişimi (solda) ve merkez frekans dağılımları ise (sağda) olmak üzere göstermektedir. Burada, kalite faktörü

$$Q = \frac{Q_{\max}}{\frac{|f - f_{fovea}|}{W_{fovea}} + 1}$$

Yukarıdaki eşitlikte,  $f_{fovea}$  ve  $W_{fovea}$  sırasıyla salyangoz çukur bölgesi merkez frekans ve badgenişliğini göstermektedir (Carmena 2001). Yukarıdaki ifade, filtre

band genişlikleri arttıkça, grup filtrelerinin merkez frekansları ve üstüste binme bölgeleri birbirlerinden eşit uzaklık ve genişlikte olacağını göstermektedir. Dolayısıyla, salyangoz çukur bölgesinden dolayı ortaya çıkabilecek farklılıkları daha kolay modellenebilmektedir (Slaney 1993).



Kaynak : Carmena 2001

Şekil 4.4.: 29 kanallı gammatone filter grup yapısı özellikleri

#### 4.5. Yarasa İçin Doppler Kayması ile Sonar İzleme ve Ekolokasyon Metodu

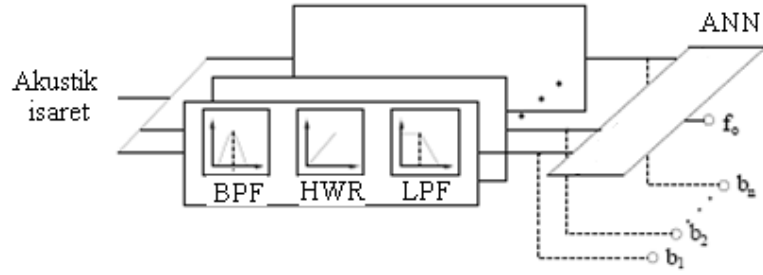
Kaynak tarafında, işaret yansıma işaretinde gözlenecek frekans kaymasının kaynak – hedef doğrultu açısını ve aradaki mesafeyi vereceği ifade edilmiş idi. Yarasa için verilmiş iç kulak modelini kullanarak ve Doppler kayması ile elde edilecek bilgiler ile sonar izleme gerçekleştirme mümkün olacaktır. Bununla birlikte, Doppler kaymasının, yarasa türleri için değişiklik gösterse de, yayımlanan işarete göre düşük olması, zaman ile değişimi, bu sapmanın belirlenmesini sorunlu kılmaktadır.

Sonar tayin ve tespit amaçlı olarak Doppler kayması kullanımı için düşünülecek sistem, algoritma ve/veya yöntemin de frekans hassasiyetinin (resolution) yüksek olması gerekecektir. Bu amaçla kullanılacak belli başlı yöntemler yapay sinir ağı (artificial neural network, ANN) ve ağırlıklı ortalama (weighted average, WA) olarak bilinmekte olup daha önce görüntü işleme amaçlı kullanılmıştır (Marr 1982).

Doppler kaymasını bulabilmek için öncelikle FM işareti için anlık taşıyıcı frekansının bulunması gerekmektedir. Yukarıda verilmiş metodların kullanımından bağımsız olarak alınmış olan yansıma işaretinin tek baskın frekans bileşeninin olduğu kabul edilmektedir. İzleyen bölümde bir yapay sinir ağı kullanarak Doppler kaymasının bulunmasına yönelik metod açıklanmıştır.

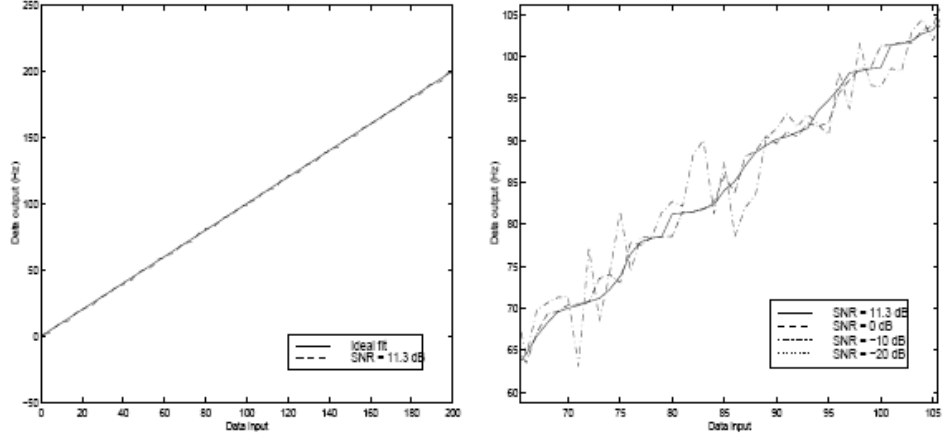
#### 4.6. Yapay Sinir Ağı İle Doppler Kaymasının Bulunması

Yansıma işaretinde yer alan frekans bilgilerinin elde edilmesi ve ayrıştırma işlemi yapay sinir ağı ile Şekil 4.6.1.'deki gibi gerçekleştirilebilir. Ana taşıyıcı frekans değeri yapay sinir ağı ile hesaplanmaktadır. Filtre grup çıkışları yapay sinir ağına girişine uygulanmaktadır.



Şekil 4.6.1.: Yapay sinir ağı ve filtre grup ile Doppler kayması hesaplanması.

50 kHz'lik bir akustik ton işaretinin, RoBat adı verilen hareketli bir robot ile 0.5 m/s hızla hareket ederken bir duvardan yansıtılması sonucu 29 kanallı gammatone filtre grubu için, geriye doğru yayınlı eğitilmiş (backpropagation) ileri yönde çok tabakalı perceptronlu (feed forward multi layer perceptron, FFMLP), merkez etrafında 9 giriş 3 ara seviye ve 1 çıkışlı yapay sinir ağı algoritması kullanılarak elde edilen çıktı değişimi 150 Hz ve bir miktar gürültü ilavesi ile oluşan sapma ile incelenmiş ve Şekil 4.6.2'de (sol) verilmiştir. Şeklin sağ kısmı seçilen ise salyangoz modelinde yer alan çukuru da kapsayacak şekilde iki kanal ile elde edilmiş olup, büyütülmüş halidir.



Şekil 4.6.2.: Yapay sinir ağı ile uydurulmuş akustik çukura karşılık gelen frekans sapması tayini (sol) tüm akustik çukur bölge için (sağ) merkez frekans etrafında iki kanal için büyütülmüş detay.

Şekilden görüldüğü gibi yapay sinir ağları daha önce verilmiş filtre grup yapıları ile birlikte kullanımları ile  $150/50000 <$  hassasiyetinde frekans sapmaları tespit edilebilmektedir. Gönderilen ve yansıyan dalgalar arası geçen zaman ile hedef uzaklığı ve belirlenmiş olan anlık frekans sapması ile de hedef doğrultusu ve bağlı hareketi tayin edilebilecektir.

## 5. SONAR HEDEF TANIMA

### 5.1. Sunuş

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, genel olarak, bir memelinin işitme sistemindeki sinyal işlenmesini simüle etmek 2 basamaktan oluşur. Salyangoz filtreleme – ön işleme ve akabinde kodlama (Dau ve Puschel 1996). Birinci basamakta, gelen veri dalgası bir band – pass filtre demetinden geçirilir ve bu filtrelerin merkez frekansları genellikle, 3dB kalite faktörü ve Q- 3dB sabitine göre sistematik olarak değişir. Bu genellikle gammatone filtre demetlerinden uyarlanmış bir modelledir (Patterson ve Holdsworth 1996). Her bir filtreden çıkan sonuç, sinirsel (nöral) darbe işaretleri yani spike katarlarını elde edebilmek için, bir yarı – dalga doğrultucu ve düşük geçirgen filtrelemeye tabi tutulur.

Spike katarlarından doğan çıktının gösteriminde, daha basit ve uygulanabilir basitlik içeren bir yaklaşım olarak ise, biriktir ve ateşle, (integrate and fire, I & F) modeli olarak ta bilinen ve salyangoz boyunca yere bağlı olarak bir zaman sabiti ve eşik değer içeren bir model yaygın olarak kullanılmaktadır (Lyon ve Mead 1988). I & F yapısına sahip pek çok dijital uygulama ise, tek kutuplu otomatik olarak gerileyen AR formatındadır (Carmena ve Hallam 2004). Modelin basitliğine ve gerçekleştirme için uygunluğuna rağmen, spike örüntülerini karakterize etmedeki etkisinden dolayı, faz ve cevaplardaki gecikmeler göz önüne alınarak bu yapının daha detaylı araştırılması gerekmektedir (Temel 2010).

Tezin bu kısmında, AR tipi filtrelemeye alternatif olabilecek, koklea içerisindeki I & F yapısındaki spike hareketlerini daha iyi bir gösterimle sunabilecek, (Temel 2010)'da önerilmiş olan ARMA yapısı ve yarasaların hedef tanıma ve konumlandırmada kullandıklarına inanılan belirli ağaçların tanınmasında

performansı incelenecektir. Basit olması nedeniyle hedef tanıma amaçlı olarak en – yakın komşuluk (nearest neighborhood) sınıflandırma algoritması kullanılacaktır.

## 5.2. Sunulan Dijital Koklea Modeli

Salyangoz boyunca belli bir konumdaki IHC tarafından tepki olarak üretilmiş nöral darbelerin gösteriminde kullanılan I&F – LPF modeline ait sayısal AR gösteriminde giriş  $x[n]$  ve çıkış  $y[n]$  işaretleri arasındaki bağıntı zaman bölgesinde aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$y[n]=1/(\tau f_s)x[n]-\exp\{-1/(\tau f_s)\}y[n-1]$$

(1)

Yukarıdaki çıkış için geriye dönük denklemde,  $f_s$  sürekli zamandan ayrık zamana geçişte kullanılan örnekleme frekansı,  $\tau$  salyangoz konumuna bağlı zaman gecikmesi, ve  $n$  ise ayrık zamanda  $n$ . örnek değer alındığı zaman değeridir. (Temel 2010)'da yukarıdaki filtreleme işlem ifadesi salyangoz içinde üretilen nöral darbelere ait zaman bilgisini saklamakta yetersiz kaldığı gösterilmiştir. Yukarıda verilmiş olan AR tipi filtreleme yerine yine (Temel 2010) tarafından ARMA tipi bir filtreleme işlemi

$$y[n]=1/(\tau f_s)\{x[n]+\beta x[n-1]\}+ \beta y[n-1]$$

(2)

olarak önerilmiştir. Görüldüğü üzere işlem giriş ve çıkış üzerine geriye dönük örneklerin kullanımına dayanmaktadır. Yukarıda verilen ifadede

$$\beta=(2\tau-1/f_s)/(2\tau+1/f_s)$$

(3)

olarak tanımlanmıştır.

### 5.3. Yarasa Çağrılarına Benzer Biyosonar Yankılar İçin Spike Tabanlı Özellik Üreten Algoritma

Yarasaların yayınladığı biyosonar ses işaretlerinden elde edilen yankıların, yankıyı oluşturan nesnenin tanımlanmasında yararlı olabilecek bir model Müller tarafından, bir salyangoz (cochlea) filtre grubu ile birlikte (Müller 2003)'de Denklem 1 de yer alan sayısal AR I&F – LPF için verilmiştir. Bu modele göre salyangoz modelini oluşturan herhangi bir kanal için, kullanılan LPF işleminin çıktısını kullanarak, Müller, birinci seviye artan eşik değerleri için bir dizi oluşturulduğunda, birinci seviye eşik değerleri arasındaki zaman aralıkları dikkate alarak, bu aralıkların pek çoğunun yüksek frekanstaki yankı taşıyıcıları tarafından oluşturulduğunu tespit etmiştir. İlgili kanal merkez frekansını  $f_c$  olmak üzere  $1.5/f_c$  den büyük ‘uzak aralık’ olarak adlandırılan ve ardı ardına gelen eşik değerlerinin arasındaki istatistiksel aralığa baktığında, bu aralıkların 4 çeşit yaprak arasında ayırt edici özelliği karakterize etmek için yeterli olduğunu göstermiştir. Bu çeşit aralıklardan oluşan kümelerin, bireysel yankı dönüşleri, birinci dereceden istatistik kullanılarak karakterize edilebilir.  $L$  kanal içerisindeki nöron sayısı iken eşik değerler kümesi  $\alpha_l$  ( $l = 1, \dots, L$ ) gözönüne alındığında, komşu eşikler arasındaki rastgele zaman aralıkları  $\Delta(\alpha_l, \alpha_{l+1})$  olsun. Buna göre  $I_l$ ,  $\Delta(\alpha_l, \alpha_{l+1}) > 1.5/f_c$  şartı sağlandığında 1 aksi halde 0 değerini alan bir fonksiyon iken, Müller’in (Müller 2005)’teki tanımına göre aşağıdaki üçlü özellik vektör (feature vector) gözönüne alınan ağaç yapılarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında yeterli bilgiyi içermektedir:

$$\begin{aligned} n &= \sum_l I_l \\ \bar{\alpha} &= \frac{1}{2n} \sum_l (\alpha_l + \alpha_{l+1}) I_l \\ \bar{\Delta} &= \frac{1}{n} \sum_l \Delta_{(\alpha_l + \alpha_{l+1})} I_l \end{aligned}$$

(4)

İzleyen kısımda, yukarıda verilen özellik vektörü kullanılarak, 4 farklı ağaçtan elde edilmiş yansıma işaretleri ile basit bir sınıflandırıcı olan en – yakın komşu algoritmasının kullanımı anlatılacaktır.

Bu ifadelere göre; uzak aralıkların sayısı, her bir yankının ortalama şiddeti ve bu aralıklar arasındaki ortalama mesafedir. Verilen bir yankı için, geri dönüş değeri, bu dönüşü yaratan hedefe ve üzerinde işlem yapılan modele bağlı olarak, özellik vektörü hesaplanmıştır. (Müller ve Kuc 2000) de olduğu gibi, pek çok durumda birincil parametreler, zaman sabiti ve bir kanal için verilen  $f_c$  değerine göre seçilmiştir. 85000 yankı verisine sahip veritabanı ile, 4 ağaç sınıfına ait özellik vektörlerinin yoğunluk fonksiyonlarının uni – modal olmadığı gösterilmiştir (Müller 2003).

#### 5.4. En Yakın Komşu Modeli

Parametrik olmayan bir sınıflandırıcı modeli olarak, en yakın komşu (1NN) algoritması (Cover ve Hart 1967), her bir özellik vektörü ( $x$ ), en benzer örneğin ait olduğu sınıfa ( $C_k$ ) atama yapmaktadır, yani

$$k = \underset{j}{\operatorname{argmin}} \|x - x_i\|_{\forall x_i \in C_j}.$$

(5)

Daha yüksek boyutlardaki,  $x$  vektörleri için ise, bu benzerlik, Mahalanobis normalizasyonu cinsinden ifade edilir :

$$\|x - x_i\|_{x_i \in C_j}^2 = (x - x_i)^T \Sigma_j^{-1} (x - x_i)$$

(6)



Denklem 6 da,  $(.)^T$  transpoz operasyonunu temsil eder. Alıştırma verisi üzerinde, ençok – benzerlik tahmini, covaryans matrisi,  $\Sigma_j$  kullanılarak yapılabilir, covaryans matrisi şu şekilde hesaplanabilir :

$$\hat{\Sigma}_j = \frac{1}{N_j - 1} \sum_{\forall x_i \in C_j} (x_i - \hat{\mu}_j)(x_i - \hat{\mu}_j)^T. \quad (7)$$

Denklem 7 de geçen,  $\mu$  ise  $C_j$  sınıfına ait  $N_j$  kadar elemanın ortalamasını verir ve şöyle hesaplanır :

$$\hat{\mu}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\forall x_i \in C_j} x_i. \quad (8)$$

Bu kadar basitliğe rağmen, en yakın – komşu modeli, parametrik modellere göre daha fazla hafıza ve hesaplama süresi gerektirdiğinden, bazı durumlarda kullanışsız olabilir.

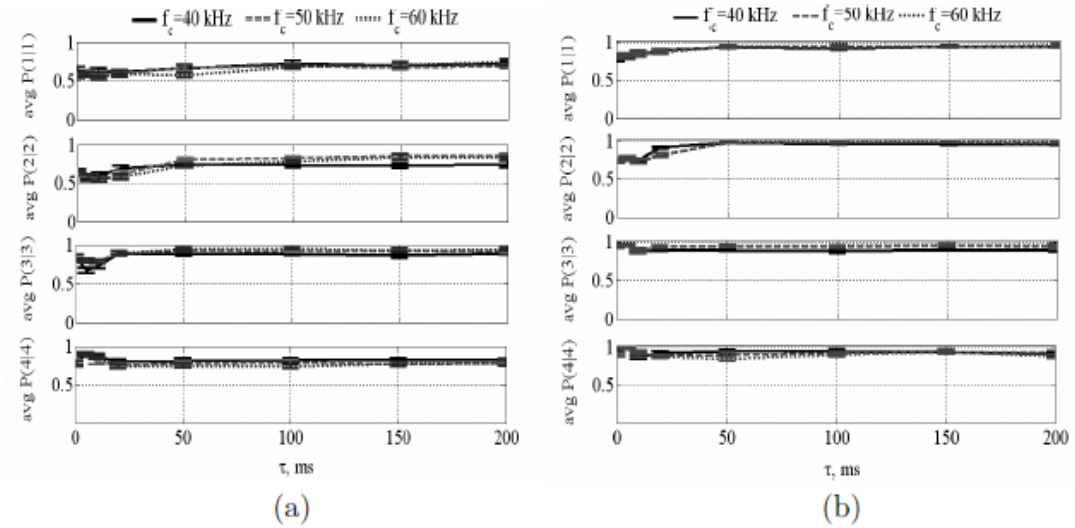
## 5.5. Deneyler ve Sonuçlar

Bu kısımda anlatılacak olan deneyler, geniş olarak diğer bazı önemli sınıflandırıcılar ile birlikte (Temel 2010)'da açıklanmıştır. Ekolokasyonun önemli bir işlemi hedef tanıma olduğundan, konu bütünlüğü açısından, basitlik amacıyla sadece tek örneğe (single – shot) dayalı, en – yakın komşu algoritması ile ilgili kısım verilecektir.

Deneylerde Acer, Carpinus, Platanus ve Telia cinsindeki 4 farklı ağaçtan 2100 yankı kullanılmıştır. Yarasaların kullandıklarına benzer şekilde, 120 kHz den, 20 kHz ye 3 ms içinde inilen FM işareti kullanılmıştır. Ağaçlar iki boyutta, 2 alıcının

mümkün olduğunca dik konumlandırılması ile taranmıştır. Yankılar ise  $f_s = 1$  MHz de örneklenmiştir. Sonar başlıklarda, 3 adet elektrostatik dönüştürücü kullanılmıştır. Bunlardan biri emisyon, diğer 2 si ise alıcı görevi görmektedir. Veriyi ön işleme işini, tek kanallı bir BPF filtre demeti kullanarak gerçekleştirilmiş, çıktı ise daha önce sunulmuş olan LPF'lere girdi olarak gönderilmiştir. Ön işlem sonrasında, özellik vektörleri bir önceki bölümde anlatılan algoritma ile üretilmiş ve L değeri için 1024 eşik değeri seçilmiştir. Seçilen her bir zaman sabiti için özellik vektörleri hem ARMA – LPF den, hem de klasik AR – LPF'lerden alınmıştır.

Her bir LPF için sınıflandırıcının performansı, *birini dışarıda bırak* metodu ile, 10 alt gruba ait 2100 özellik üzerinde yapılmıştır. Son tahlilde, güvenlik aralığı olarak % 95 seçilmiş, bundan sonraki bölümlerde, deney sonuçları bu güvenlik aralığına dayanarak verilecektir. Kullanılmış olan parametrik olmayan 1NN için sırasıyla  $f_c = 40$ , 50 ve 60 kHz için elde edilen sınıflandırma sonuçları Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Acer, Carpinus, Platanus ve Tilia ağaçları sırasıyla parantez içerisinde, 1, 2, 3 ve 4 olarak gösterilmiştir.



Kaynak : Temel 2010

Şekil 5.1. : 1NN sınıflandırıcının gammatone filtre demeti sonucu elde edilen koklea modelinin sonuçları, a) bilinen LPF ve b) önerilen LPF.

Yeni ARMA LPF ile elde edilen hedef tanıma ve sınıflandırma sonuçları, geleneksel AR LPF ile elde edilen sonuçlara göre en az % 20 veya daha iyi değerlere sahip olduğu görülmüştür (Temel 2010). Daha karmaşık fakat daha iyi öğrenme

dolayısıyla hedef tanıma performansı gösterebilecek, olasılıksal Bayesian (probabilistic Bayesian), veya önceki bölümde tanıtılmış olan yapay sinir ağı (artificial neural network) tarzı sınıflandırıcılar mümkün olmakla birlikte en – yakın komşuluk sınıflandırıcısı modelden bağımsız olmak gibi önemli bir avantaja sahiptir. Ayrıca 1NN yerine daha geniş sayıda, örneğin  $k > 1$ , özellik vektörü üzerinden, en çok doğru sınıflandırmaya dayalı en – yakın komşuluk (kNN) gibi daha yüksek ve aynı zamanda modelden bağımsız sınıflandırıcıların kullanımı, sınıflandırma performansını arttırmaktadır (Bishop 2006).

Yukarıda açıklanmış olan ve modelden bağımsız olacak şekilde sınıflandırma ve diğer sayılan algoritmalar tek örnek kullanmakta idi. Bununla birlikte, özellikle olasılıksal Bayesian modellere dayalı ardışıl (sequential) birden fazla örnek kullanarak belirli bir eşik (threshold) olasılıksal değerine göre çalışan sınıflandırıcı oluşturmakta mümkündür (Temel 2010). Teorik olarak ardışıl sınıflandırıcı kullanımı olasılıksal sınıflandırma değeri belirli bir eşik değeri aşmıyaya kadar gerekli örnek sayısını belirlemek mümkün olup (Dragalin ve diğer. 1999), bu tip sınıflandırıcılar ile oldukça yüksek performanslı hedef tanıma mümkündür. Bununla birlikte sınıflandırıcı modelinin yakınsamasını en kötü durumda dahi sağlayacak genişlikte bir bellek kullanmak gerekebilecektir.

## 6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, yarasa motivasyonlu darband sonar kullanan yarasalara ait morfolojik ve fizyolojik yapılar verilmiştir. Yarasalar biyolojik olarak yayımladıkları akustik işaretlerin yansımalarından elde edilen ipuçları ile buldukları ortam hakkında bilgi edinen ve yaşamlarını sürdüren canlılardır. Yarasaların donatıldıkları ve türlere göre değişiklik gösterse de hemen hemen benzer özellikler gösteren işaret üretme, gönderme, alma ve işleme mekanizmasının incelenmesi ile oldukça adaptif hareketli izleme ve takip sistemleri tasarlama imkânı da ortaya çıkabilecektir. Örneğin Edinburgh Üniversitesi (İngiltere) gibi olmak üzere yarasa motivasyonlu sonar işaretleri ile hedef tespit ve tayin kabiliyetine sahip RoBat gibi robot çalışmaları önemli ölçüde zikredilen prensiplere dayanmaktadır.

Yarasaların belirtilen kabiliyetleri, biyolojik olarak sahip oldukları kulak morfolojisi ile ilgilidir. Bölüm 2 bu amaçla gerekli biyolojik altyapıyı sağlamak ve okuyucuya gerekli temel bilgileri sunmaktadır.

Bölüm 3’de özelde yarasalar genelde ise diğer memelileri de kapsayacak şekilde iç kulak modellerini ele almıştır. Sonar izleme kabiliyetine sahip FM ve CF-FM yarasalarında görülen morfolojik ve fonksiyonel farklılıklar ele alınmış ve incelenmiştir. Özellikle CF-FM yarasaların üç boyutlu hedef tayin kabiliyetlerinin bilinen yöntemlere uygulanabilirliği açıklanmıştır.

Bölüm 4’de ise sonar izleme ve ekolojasyon yeteneğine sahip yarasalar için geçerli olabilecek bir iç kulak modeli tanıtılmış ve bu modelin hareketli hedeflerin tespit ve tayininde kullanılmak üzere yapay sinir ağları ile birlikte kullanımı açıklanmıştır. Burada anlatılan çalışmalar, daha önce bu tez yürütücüsünün/danışmanının postdoktora çalışmasından esinlenmiş olup, ilgili çalışma sonuçları değişik dergi ve konferansta tanıtılmıştır. Tanıtılan iç kulak modelinin hedef tayin etmekte oldukça başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bölüm 5 işitsel sinyallerin nöral-spike tabanlı gösterimi üzerine iyileştirilmiş bir dijital düşük – geçirgen filtre örneği sunmaktadır. Bilinen mevcut koklea model filtreleri ile önerilen koklea model filtresi, yarasa benzeri canlılardan yayılan seslerin yankıları üzerine bir filtre demetinden özellik vektörü yaratmak için geçirilmiştir. Bütün sınıflandırıcı metodlar göz önüne alındığında, bilinen LPF'ye göre performans ve başarı olarak iyileştirmeler görülmüştür. Nöral spike kodları birbirinden bağımsız olduklarından, yeni filtrenin rastgele özellikleri de ortaya çıkarabilme avantajı vardır. ekolokasyonun yanında konumlandırılmış hedeflerin ya da nesnelere belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş yeni bir nöral spike üretim algoritmasını tanıtarak, oldukça basit bir sınıflandırıcı algoritması kullanımına uygulamaktadır. Ayrıca klasik olarak bilinen nöral spike algoritmasına göre hedef tanıma algoritmasını kullanan aynı tarz bir sınıflandırıcıya göre performans karşılaştırması yapmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Behrend, O., Kössl, M., and Schuller, G. (1999). Binaural influences on Doppler shift compensation of the horseshoe bat *Rhinolophus rouxi*. *J Comp Physiol A*, 185:529–538.
- Bishop C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning, Recognition*, Springer.
- Böe, S. and Kristoffersen, K. (1995). Predictive Analog to Digital Conversion of Doppler Ultrasound signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 42(3).
- Carmena, J. (2001). Towards a bionic bat: A biomimetic investigation of active sensing, Doppler-shift estimation, and ear morphology design for mobile robots. *PhD Thesis*, Edinburgh University.
- Carmena J. M., Hallam J. C. T.(2004). The use of Doppler in Sonar-based mobile robot navigation: inspirations from biology, *Information Sciences*, 161, 1-2, pp. 71-94.
- Cover T. M., Hart P. E.(1967). Nearest neighbor pattern classification, *IEEE Trans. Inform. Theory*, IT-13, Jan. 1967, pp. 21-27.
- Dau T., Puschel D.(1996). A quantitative model of the "effective" signal processing in the auditory system. I. model structure, *J. Acoust. Soc. America*, 99, 6, pp. 3615-3622.
- Davis S. B., Mermelstein P.(1980). Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuous spoken sentences, *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Processing*, 28, 4, pp. 357-366.
- Destexhe A., Marder E.(2004). Plasticity in single neuron and circuit computations, *Nature Insight Rev. Articles*, 431, pp. 789-795.
- Dooley, S. R. and Nandi, A. K. (1999). Adaptive time delay and Doppler shift estimation for narrowband signals. *IEE Proc.-Radar, Sonar Navig.*, 146(5):243–250.
- Dragalin V., Tartakovsky A., Veeravalli V. V. (1999). Multihypothesis sequential probability ratio tests, I: Asymptotic optimality, *IEEE Trans. Inform. Theory*, 45, pp. 2448-2461.

- Elliot P.(2004). Echolocation in Bats and Dolphins, *Biological Conservation*, 120, 4, p. 600.
- Gong G.(1986). Cross-validation, the jackknife, and the bootstrap: Excess error estimation in forward logistic regression, *Journal of the American Statistical Association*, 81, 393, pp. 108-13.
- Griffin, D. R. (1958). *Listening in the Dark: The Acoustic Orientation of Bats and Men*. Yale University Press.
- Griffin, D. R., Dunning, D. C., Cahlander, D. A., and Webster, F. A. (1962). Correlated orientation sounds and ear movements of horseshoe bats. *Nature*, 196:1185–1186.
- Grunwald J. E., Schörnich S., Wiegrebe L.(2004). Classification of natural textures in echolocation, *Proc. the National Academy of Sciences*, 101, pp. 5670-5674.
- J. M. Carmena, and J. C. T. Hallam (2004). "The use of Doppler in Sonar-based mobile robot navigation: inspirations from biology," *Information Sciences*, vol. 161, no. 1-2, pp. 71-94.
- Jones, G. (1999). Scaling of echolocation call parameters in bats. *J. Exp. Biology*, 23:3359–3367.
- Kim S. - M., Wang S.(2003). A Wiener filter approach to the binaural reproduction of stereo sound, *J. Acoust. Soc. America*, 114, 6, pp. 3179-3188.
- Kuc R.(2001). Transforming echoes into pseudo-action potentials for classifying plants, *J. Acoust. Soc. America*, 110, 4, pp. 2198-2206.
- Llyod S. P.(1982). Least squares quantization in PCM, *IEEE Trans. Inform. Theory*, IT-28, pp. 129-137.
- Lyon R. F.(1982). A computational model of filtering, detection, and compression in cochlea. In *Proc. IEEE Intl. Conf. on Acoust., Speech, Signal Processing*, pp. 1282-1285.
- Lyon, R. F. and Mead, C. (1988). An Analog Electronic Cochlea. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 36(7):1119–1134.
- Marr, D. (1982). *Vision*. W.H. Freeman and Company.
- Meddis R.(1986). Simulation of mechanical to neural transduction in the auditory receptor, *J. Acoust. Soc. America*, 79, 3, pp. 702-711.
- Müller R., Kuc R.(2000). A parsimonious signal representation of random echoes based on a biomimetic spike code. In *Proc. ICSC Symp. on Intelligent Systems and Applications*, pp. 915-921.
- Nowak, R. M. (1994). *Walker's Bats of the World*. Johns Hopkins University Press.

- Obrist, M. K., Fenton, M. B., Eger, J. L., and Schlegel, P. A. (1993). What ears do for bats: A comparative study of pinna sound pressure transformation in chiroptera. *J. Experimental Biology*, 180:119–152.
- Perkel D. H., Gerstein G. L., Moore G. P. (1967). Neuronal trains and stochastic point processes: II. Simultaneous spike trains, *Biophysical Journal*, 7, 4, pp. 419-440.
- Patterson R. D., Holdsworth J. (1996). A functional model of neural activity patterns and auditory images. In: *Advances in Speech, Hearing and Language Processing*, William A. Ainsworth Ed., JAI Press, London, 3.
- Peremans, H. (2000). Historic overview of ultrasonic sensing in mobile robotics. In *Proceedings of the Workshop on Biomimetic Ultrasound*, page 6, Edinburgh.
- Pickles, J. O. (1982). *An introduction to the physiology of hearing*. Academic Press, London.
- Pye, J. D. and Roberts, L. H. (1970). Ear Movements in a Hipposiderid Bat. *Nature*, 225:285–286.
- R. F. Lyon (1982). "A computational model of filtering, detection, and compression in cochlea," in *Proc. IEEE Intl. Conf. on Acoust., Speech, Signal Processing*, pp. 1282-1285.
- R. F. Lyon, and C. Mead (1988). "An analog electronic cochlea," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Processing*, vol. 36, no. 7, pp. 1119-1134.
- R. D. Patterson, and J. Holdsworth (1996). "A functional model of neural activity patterns and auditory images," in *Advances in Speech, Hearing and Language Processing*, William A. Ainsworth Ed., vol. 3, JAI Press.
- R. Kuc (2001). "Transforming echoes into pseudo-action potentials for classifying plants," *J. Acoust. Soc. America*, vol. 110, no. 4, pp. 2198-2206.
- R. Meddis (1986). "Simulation of mechanical to neural transduction in the auditory receptor," *J. Acoust. Soc. America*, vol. 79, no. 3, pp. 702-711.
- R. Müller (2003). "A computational theory for the classification of natural biosonar targets based on a spike code," *Network: Comput. Neural Syst.*, vol. 14, pp. 596-612.
- Sanderson M. I., Neretti N., Intrator N., Simmons J. A. (2003). Evaluation of an auditory model for echo delay accuracy in wideband biosonar, *J. Acoust. Soc. America*, 114, 3, pp. 1648-1959.
- S. B. Davis, and P. Mermelstein (1980). "Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuous spoken sentences," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Processing*, vol. 28, no. 4, pp. 357-366.
- Schroeder, M. R. and Hall, J. L. (1974). Model for mechanical to neural transduction in the auditory receptor. *J. Acoust. Soc. America*, 55:1055–1060.



- Snyder, D. L., O'Sullivan, J. A., and Miller, M. I. (1989). The Use of Maximum-Likelihood Estimation for Forming Images of Diffuse Radar Targets from Delay-Doppler Data. *IEEE Trans. Info. Theory*, 35(3):536–548.
- Suga, N. (1990). Biosonar and neural computation in bats. *Scientific American*, pages 60–68.
- Suga, N. and Jen, P. H.-S. (1977). Further studies on the peripheral auditory system on 'CFFM' bats specialized for fine frequency analysis of doppler-shifted echoes. *J. Experimental Biology*, 69:207–232.
- Suga, N., Niwa, H., and Taniguchi, I. (1981). *Representation of biosonar information in the auditory cortex of the mustached bat, with emphasis on representation of target velocity information*, volume 56, pages 829–867. NATO ASI Series.
- Temelö T. (2010). "A New Digital Cochlea Model Neuro-Spike Representation of Auditory Signals and its Application to Classification of Bat-like Biosonar Echoes", *Neural Network World*, vol. 20, no. 2, pp. 223-239.
- Tian, B. and Schnitzler, H.-U. (1997). Echolocation signals of the greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum*) in transfer flight and during landing. *J. Acoust. Soc. America*, 101(4):2347–64.
- V. V. Hafner (2005). "Cognitive Maps in Rats and Robots," *Adaptive Behavior - Animals, Animats, Software Agents, Robots, Adaptive Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 87-96.
- Walker, V. A. (1997). *One tone, two ears, three dimensions: An investigation of qualitative echolocation strategies in synthetic bats and real robots*. PhD thesis, University of Edinburgh.
- Wang M.(2006). *Natural Landmark Classification with a Biosonar based Mobile Robot*, Ph.D dissertation, Dept. Comp. Sci., Univ. of Tuebingen, Germany.
- Zeddies D. G., Siegel J. H.(2004). A biophysical model of an inner hair cell, *J. Acoust. Soc. America*, 116, 1, pp. 426-441.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da, lise öğrenimini Çok Programlı Astsubay Hazırlama Okul Komutanlığı Balıkesir'de elektronik eğitimi alarak tamamladı. Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümünden 2008 yılında, Haliç Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yönetim Bilişim Sistemleri Programından 2010 yılında mezun oldu. 2000 yılından itibaren T.S.K.'nde profesyonel asker olarak görev yapmaktadır.