

Disciplina PSI 3472 – Prof. Emilio - 2019  
(com Hae e Márcio)

Prof. Dr. Emilio Del Moral Hernandez

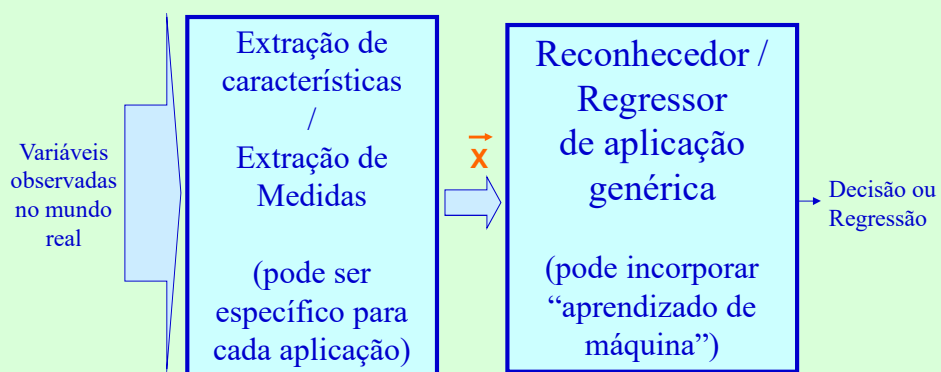
Contato: [emilio.delmoral@usp.br](mailto:emilio.delmoral@usp.br) / [emilio@lsi.usp.br](mailto:emilio@lsi.usp.br)  
Site do Grupo de Pesquisa: [www.lsi.usp.br/ICONE](http://www.lsi.usp.br/ICONE)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

3

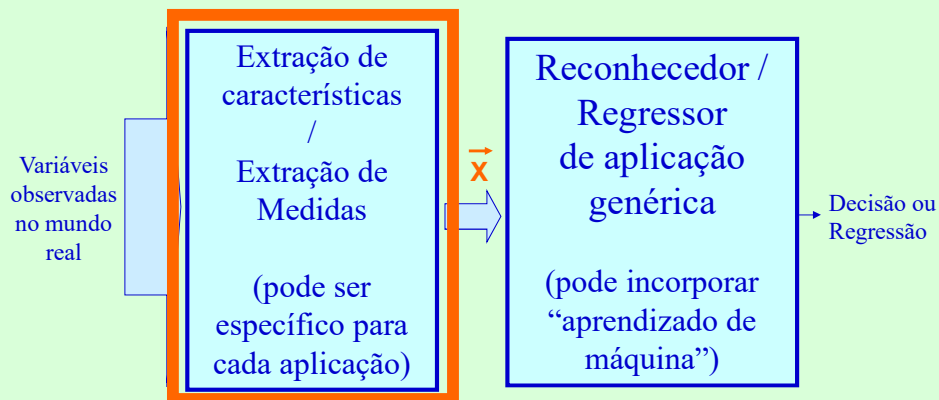
... Estratégias de solução em 2 estágios:  
Extrator + Decisor/Regressor



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

7

... O 1o estágio gera um Vetor de Medidas,  $\vec{X}$   
(o segundo estágio operará sobre tal vetor)



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

8

## Temas para hoje e amanhã ...

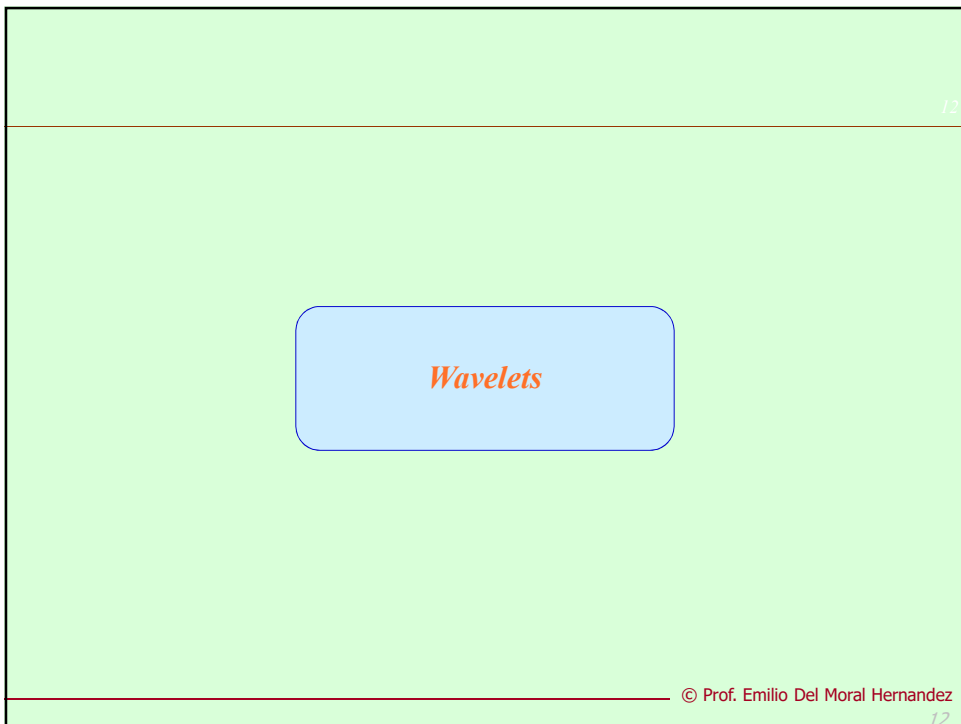
- Conceitos em wavelets e análise tempo-frequência
- Sistema auditivo, Sistema fonador, Mel Freq Cepstrum
- Disciplina PSI3501  
(post de Jupiter e Janus – e diversas disciplinas)
- All Features em tese de Liselene / Prof Miguel  
(post de trabalho de Liselene)
- Disciplinas eletivas de 5º ano e “eletivas de pós” – PSI3501, PSI3571, PSI5880, PSI5886 etc
- Explicitando dilemas de seleção de Características
- Alguns possíveis guias de seleção de características
- Dilemas arquitetura da RNAs ; Dilema de técnicas de extração de características ; Combinatória completa x combinatória parcial  
(post de trabalho de Massaki e colegas em Genéticos)
- Nosso Calendário imediato em PSI3472-2019

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

9



11



12

# O conceito de wavelets -

13

The collage features several elements: a slide titled "ATASYB2: APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SENSORES Y BIOSENSORES" with the sub-heading "Multiresolution Analysis Wavelets" by Jesús Manuel de la Cruz García; a Wikipedia article titled "Wavelet transform" with a table of contents; a logo for "CNPq" and "USP"; and a flyer for "Curso Inteligência Computacional para Sensores e Biosensores" by Prof. Jesús Manuel de la Cruz García.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

13

18

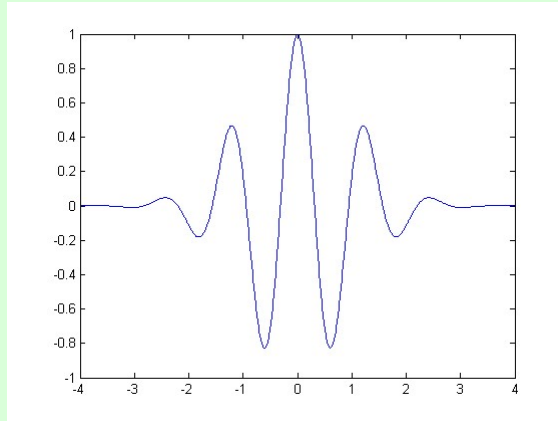
*Wavelets*

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

18

## O conceito de wavelets / ondículas / “ondinhas” / ondas localizadas

19

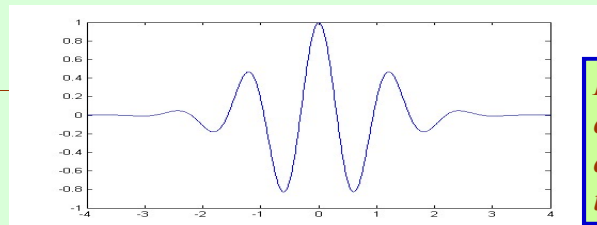


*Uma onda matriz típica*

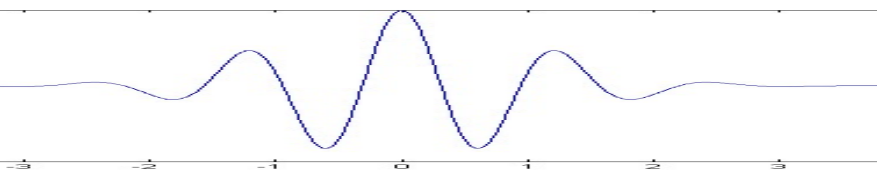
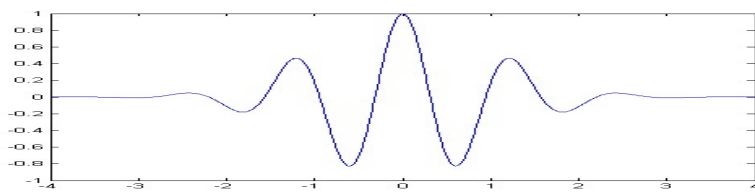
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

19

19



*Escalando a onda matriz em tempo com um fator “a”*

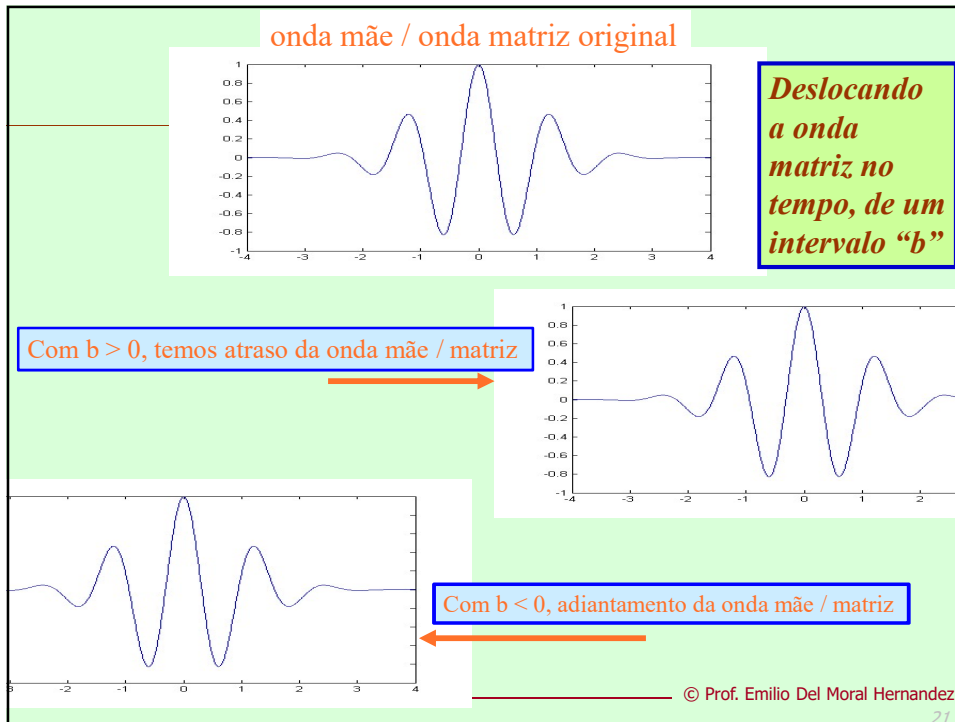


Com  $a > 1$ , temos expansão temporal da onda mãe / matriz

Moral Hernandez

20

20



21

### A análise

22

coeficientes wavelet

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left( \frac{t - b}{a} \right) dt.$$

deslocamento

escalamto

onda mãe sem escalamto ou atraso

sinal de tempo sob análise

+ detalhes em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Wavelet>

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

22

## A síntese a partir dos coeficientes wavelet

23

$$f(t) = \frac{1}{C} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a, b) \psi_{a,b}(t) da db,$$

↑ sinal de tempo sintetizado

coeficientes wavelet

↑ onda mãe deslocada de "b" e escalada de "a"

+ detalhes em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Wavelet>

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

23

23

## A análise em wavelets e a síntese

24

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi^* \left( \frac{t - b}{a} \right) dt.$$
$$f(t) = \frac{1}{C} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a, b) \psi_{a,b}(t) da db,$$

+ detalhes em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Wavelet>

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

24

24

## Algumas ondas mãe / ondas de matriz

26

Wavelets discretas [editar | editar código-fonte]

Coiflets

- Cohen-Daubechies-Feauveau wavelet
- Daubechies wavelet
- Haar wavelet
- Mathieu wavelet
- Legendre wavelet
- Villasenor wavelet
- Symlets

Wavelets contínuas [editar | editar código-fonte]

Reais

- Beta wavelet
- Hermitian wavelet
- Hermitian hat wavelet
- Mexican hat wavelet
- Meyer wavelet
- Shannon wavelet
- Gaussian wavelet
- Cos-gaussian wavelet
- Gabor wavelet

Complexas

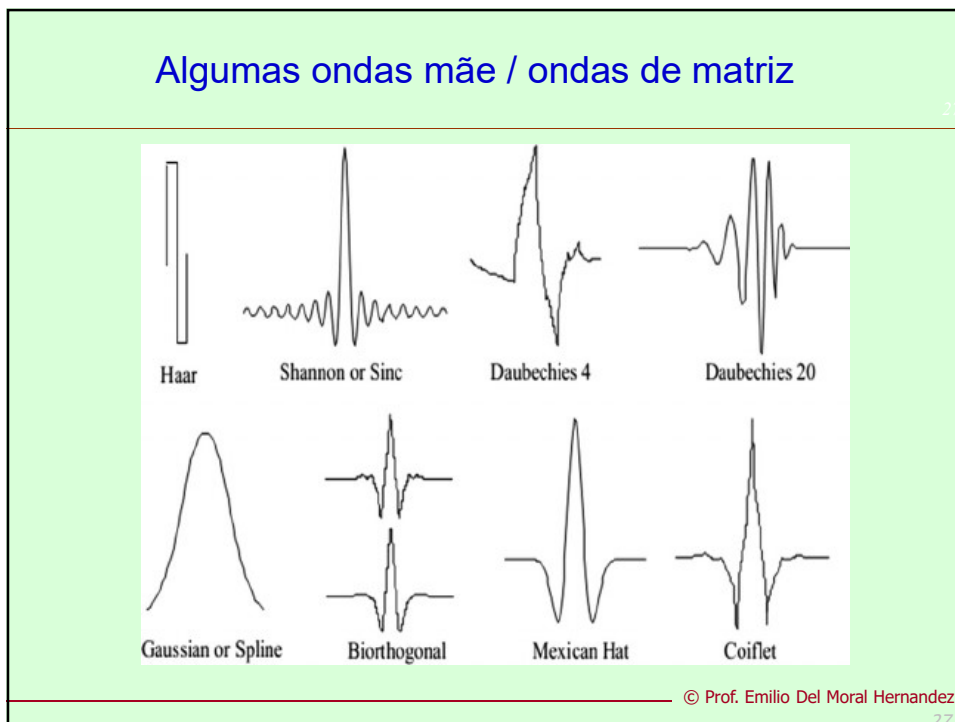
- Complex Mexican hat wavelet
- Morlet wavelet
- Shannon wavelet

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

26

## Algumas ondas mãe / ondas de matriz

27



27



# Algumas ondas mãe / ondas de matriz

**Lista** [editar | editar código-fonte]  
Abaixo encontram-se uma lista de wavelets.<sup>[quem?]</sup>

**Gaussian wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Também chamada de *derivative-gaussian wavelet*, é muito utilizada, devido à sua elevada regularidade, pois as derivadas de  $\Psi(u)$  até a ordem  $n - 1$  são nulas.

$$\psi(t) = \frac{d^n}{dt^n} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

**Cos-gaussian wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Também chamada de *cosine-gaussian wavelet*, é a parte real da *Morlet wavelet*.

$$\psi(t) = \cos(\omega_0 t) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

**Haar wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Ver artigo principal: *Transformada de Haar*  
Introduzida por Haar em 1910, não encontrou muita aplicação na prática por apresentar baixa regularidade.

$$\psi(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 < t < \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} < t < 1 \\ 0 & t > 1 \end{cases}$$

**Mexican hat wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Introduzida por Dennis Gabor, é a gaussiana com  $n = 2$ .

$$\psi(t) = (1 - t^2) \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

**Gabor wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Derivada da transformada de Fourier de curto termo e empregada por Morlet, Morlet e Grossmann na análise de padrões sonoros.

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

onde  $i$  é a unidade imaginária. A rigor, não atende ao critério (1a), mas se aproxima o suficiente para valores adequadamente grandes de  $\omega_0$ .

**Morlet wavelet** [editar | editar código-fonte]  
Derivada da Gabor wavelet, é dada por

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

28

# Algumas ondas mãe / ondas de matriz

Google  
wavelets

Todas **Imagens** Vídeos Notícias Shopping Mais Configurações Ferramentas Ver itens salvos SafeSearch

wavelet families daubechies morlet seismic biorthogonal wavelets gaussian wavelet complex gaussian matlab morlet wavelet

db2 db3 db4 db5 db6  
db7 db8 db9 db10

sym2 sym3 sym4 sym5  
sym6 sym7 sym8

db2 db3 db4 db5  
db6 db7 db8 db9 db10

sym2 sym3 sym4 sym5  
sym6 sym7 sym8

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

29

# O que é preciso na onda mãe?

30

Link Wikipedia para Wavelets.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas 25-Slides usados n... Link Wikipedia par... x Fazer logon

Compartilhar

### Características

Para ser considerada uma *wavelet*, uma função tem de atender as seguintes características:

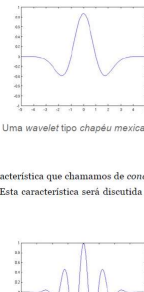
1. A área total sob a curva da função é 0, ou seja  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$  (1a)
2. A energia da função é finita, ou seja  $\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < L$   $L \in \mathbb{N}$  (1b)

Estas condições são equivalentes a dizer que  $\psi(t)$  é quadrado integrável ou que pertence ao conjunto  $L^2(\mathbb{R})$  das funções quadrado integráveis. As propriedades acima sugerem que  $\psi(t)$  tende a oscilar acima e abaixo do eixo  $t$ , e que tem sua energia localizada em uma certa região, já que ela é finita (*condição de regularidade*).

Essa característica de energia concentrada em uma região finita é que diferencia a análise usando *wavelets* da análise de Fourier, já que esta última usa as funções de seno e cosseno que são periódicas e infinitas. Uma outra forma de expressar a característica de regularidade é dizer que a transformação de *wavelet* é um operador local no domínio do tempo.

Para ser utilizada na análise de sinais uma função *wavelet* precisa também de outra característica que chamamos de *condição de admissibilidade*, e que permite a existência da "transformada inversa de *wavelet*". Esta característica será discutida mais abaixo.

Alguns exemplos de funções que atendem estas características são a função *wavelet* de Morlet (ver figura ao lado):

$$\psi(t) = e^{-t^2} \cos\left(\pi t \sqrt{\frac{2}{\ln 2}}\right) \approx e^{-t^2} \cos(2,885\pi t) \quad (2a)$$


© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

30

# O que é preciso na onda mãe?

31

Link Wikipedia para Wavelets.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas 25-Slides usados n... Link Wikipedia par... x Fazer logon

Compartilhar

### Transformada inversa de *wavelet*

Como usamos *wavelets* para transformar uma função, precisamos também da transformada inversa, de forma a recompor o sinal no domínio do tempo a partir da sua decomposição. Se chamarmos de  $\Psi(\omega)$  a transformada de Fourier da função  $\psi(t)$ :

$$\Psi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) e^{-i\omega t} dt = \sqrt{a} \cdot \Psi(a\omega) \cdot e^{-i\omega t} \quad \omega = \frac{2\pi}{a} \quad (4a)$$

e se  $W(a, b)$  for a transformada de *wavelet* da função  $f(t)$  usando a *wavelet*  $\psi(t)$ , então temos que a transformada inversa é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{C} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{|a|^2} W(a, b) \psi_{a,b}(t) da db, \quad (4b)$$

onde  $C = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega$ . (4c)

Este parâmetro  $C$  necessita ser finito e positivo, o que nos leva a uma nova restrição. Esta restrição sobre o valor de  $C$  é a *condição de admissibilidade* citada anteriormente.<sup>[nota 3]</sup>

### Transformada de *wavelet* discreta

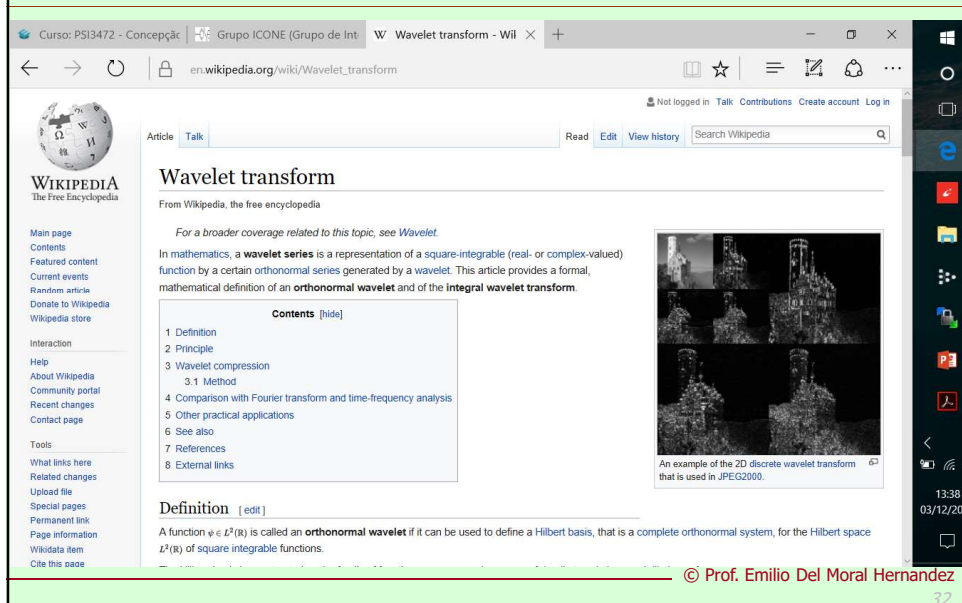
É derivada da transformada contínua fazendo-se  $a$  e  $b$  variáveis discretas, em lugar de contínuas, através de uma amostragem. O usual é tomar

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

31

## Wavelets ... Há muitos materiais públicos bons

32

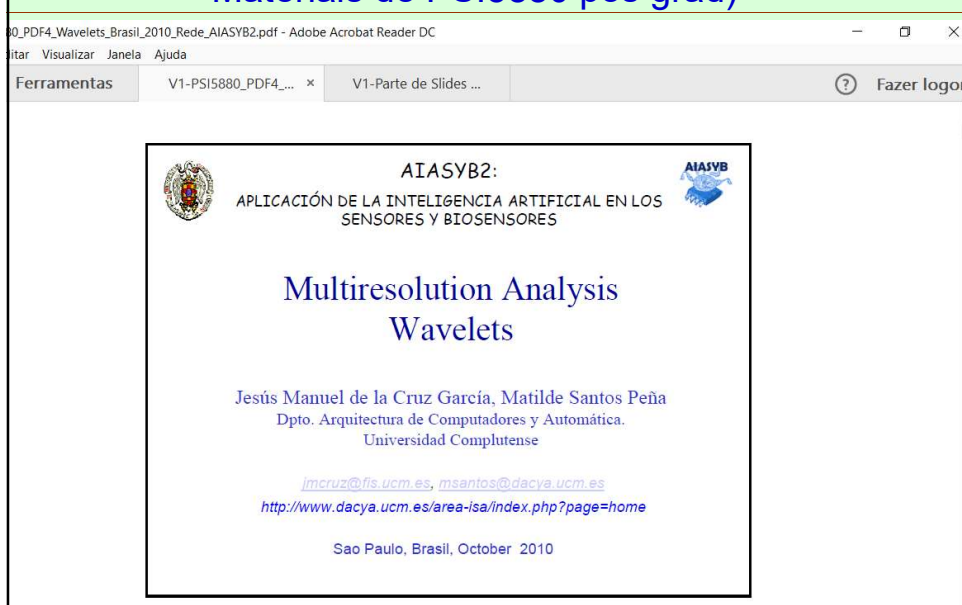


The screenshot shows a web browser window displaying the Wikipedia article for "Wavelet transform". The browser's address bar shows the URL "en.wikipedia.org/wiki/Wavelet\_transform". The page content includes the Wikipedia logo, a navigation sidebar on the left, and the main article text. The article title is "Wavelet transform" and it is described as "From Wikipedia, the free encyclopedia". A table of contents is visible, listing sections such as "Definition", "Principle", "Wavelet compression", and "Comparison with Fourier transform and time-frequency analysis". A small image on the right side of the page shows an example of a 2D discrete wavelet transform. At the bottom right of the browser window, there is a copyright notice: "© Prof. Emilio Del Moral Hernandez".

32

## Slides e referências adicionais sobre wavelets – Materiais de PSI5880 pós grad)

33



The screenshot shows a presentation slide titled "Multiresolution Analysis Wavelets". The slide is part of a presentation titled "AIASYB2: APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LOS SENSORES Y BIOSENSORES". The author is identified as "Jesús Manuel de la Cruz García, Matilde Santos Peña" from the "Dpto. Arquitectura de Computadores y Automática, Universidad Complutense". Contact information includes email addresses "jmcruz@fis.ucm.es" and "msantos@dacya.ucm.es", and a website URL "http://www.dacya.ucm.es/area-isa/index.php?page=home". The slide is dated "Sao Paulo, Brasil, October 2010". The slide is displayed in a window titled "00\_PDF4\_Wavelets\_Brasil\_2010\_Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC".

33

## Slides e referências adicionais sobre wavelets – Materiais de PSI5880 pós grad)

34



USP CNPq

**PSI5880 - Aplicação de Inteligência Computacional**

**Curso Inteligência Computacional para Sensores e Biosensores**  
20, 21, 25 e 27 de Outubro

**Ministrs.:** Prof. Matilde Santos Peñas  
Prof. Jesús Manuel de la Cruz García  
Faculdade de Informática  
Faculdade de Ciências Físicas  
Universidade Complutense de Madrid

**Datas:** 20, 21, 25 e 27 de Outubro de 2010

**Horário:** das 17h00 às 20h00

**Local:** B2-01

**Material:** [Support Vector Machines](#)  
[Fuzzy](#)  
[Genetic Algorithms](#)  
[Wavelets](#)

<http://www.lsi.usp.br/icone>

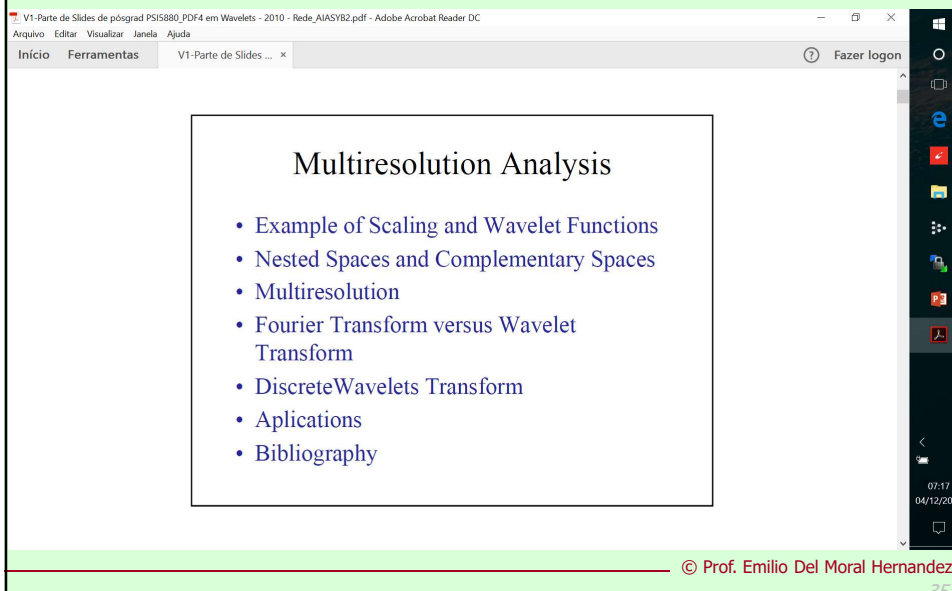
... E nesse link ... /psi5880/2010/PSI5880\_PDF4\_Wavelets\_Brasil\_2010\_Rede\_AIASYB2.pdf

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

34

## Amostras de slides dos Profs da UCM (Universidade Computense de Madrid) em análise com wavelets

35



V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

### Multiresolution Analysis

- Example of Scaling and Wavelet Functions
- Nested Spaces and Complementary Spaces
- Multiresolution
- Fourier Transform versus Wavelet Transform
- DiscreteWavelets Transform
- Applications
- Bibliography

07:17  
04/12/2017

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

35

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM (Universidade Computense de Madrid), colaboradores no curso PSI5880

36

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

## Fourier Transform versus Wavelet Transform

Sao Paulo, October 2010

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

36

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

37

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

### Fourier Analysis

- Breaks down a signal into constituent sinusoids of different frequencies

$$\text{Signal} = \sin(t) + -0.25 \sin(5t) + 0.3 \sin(7t)$$

- Transform our view of the signal from from time-based to frequency-based.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

37

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

- In transforming to the frequency domain, time information is lost:
  - When did a determined event took place?
- If it is a *stationary* signal this drawback isn't very important.
- Fourier analysis is not suited to detecting nonstationary or transitory characteristics:
  - drift,
  - trends,
  - abrupt changes: breakdown points, discontinuities in higher derivatives
  - beginnings and ends of events
  - self similarities.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

38

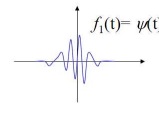
Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

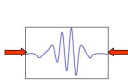
Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

### Scaling




$f_1(t) = \psi(t)$



$s = 1/a$   
 $a = 2$   
 $f_2(t) = \psi(2t)$

A low scale compresses the signal  $\Rightarrow$  Fast changing  $\Rightarrow$  High frequencies



$a = 1/2$   
 $f_3(t) = \psi(t/2)$

A high scale stretches the signal  $\Rightarrow$  Slow changing  $\Rightarrow$  Low frequencies

$f_1(1) = f_2(0.5) = f_3(2)$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

39

14

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

### Shifting

Si  $d = 5$ ,  $f_1(0) = f_2(5) = f_3(-5)$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides ... x Fazer logon

### Wavelet Properties

- Mother Wavelet:  $\psi(t)$
- Scaling and Shifting:  $\psi_{s,d}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-d}{s}\right)$
- Null mean value:  $\int \psi(t) dt = 0$
- Admissibility condition: (wave of limited wide)  $\int \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \Rightarrow |\Psi(0)|^2 = 0$
- Regularity condition: (concentrated in time)  $\int t^p \psi(t) dt \neq 0, p = 0, 1, \dots, N$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

42

The slide is titled "Steps to Compute the Coefficients". It shows a graph of a signal and a wavelet. The wavelet is compared to the signal at three different positions, labeled "1", "2", and "3". The correlation coefficients are given as  $C=0.0324$ ,  $C=0.0057$ , and  $C=0.1070$ . The process is labeled "shifting" and "3 shift".

1. Take a wavelet and compare it to a section at the start of the original signal
2. Calculate a number,  $C$ , that represents how closely correlated the wavelet is with this section of the signal
3. Shift the wavelet to the right and repeat steps 1 and 2 until you've covered the whole signal.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

42

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

43

The slide is titled "Steps to Compute the Coefficients". It shows a graph of a signal and a wavelet. The wavelet is compared to the signal at two different positions, labeled "1" and "2". The correlation coefficients are given as  $C=0.0324$  and  $C=0.1070$ . The process is labeled "shifting" and "4 scaling".

4. Scale (stretch) the wavelet and repeat steps 1 through 3
5. Repeat steps 1 through 4 for all scales

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

43



*... e nesses slides dos professores visitantes da UCM (Madrid) com quem colaboramos na nossa disciplina de pós PSI5880 há mais materiais em wavelets (tópicos avançados): versão em espaços discretos, interpretações na análise de frequência, interpretações de análise multiescala, ...*



visite ... <http://www.lsi.usp.br/icone>

... E seu sublink ... /psi5880/2010/PSI5880\_PDF4\_Wavelets\_Brasil\_2010\_Rede\_AIASYB2.pdf

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

45

Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880

V1-Parte de Slides de pósgrad PSI5880\_PDF4 em Wavelets - 2010 - Rede\_AIASYB2.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-Parte de Slides de ... x Fazer logon

### Discrete Wavelet Transform

- Scale and displacement are continuous variables
- We choose only a finite subset of scales and displacement
- *Discrete wavelet transform:*
  - Displacements and scales in powers of 2:

$$s^{-1} = 2^j, \quad d = k 2^j = k s^{-1}, \quad j \text{ and } k \text{ integers}$$

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{t - k 2^j}{2^j}\right) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k)$$

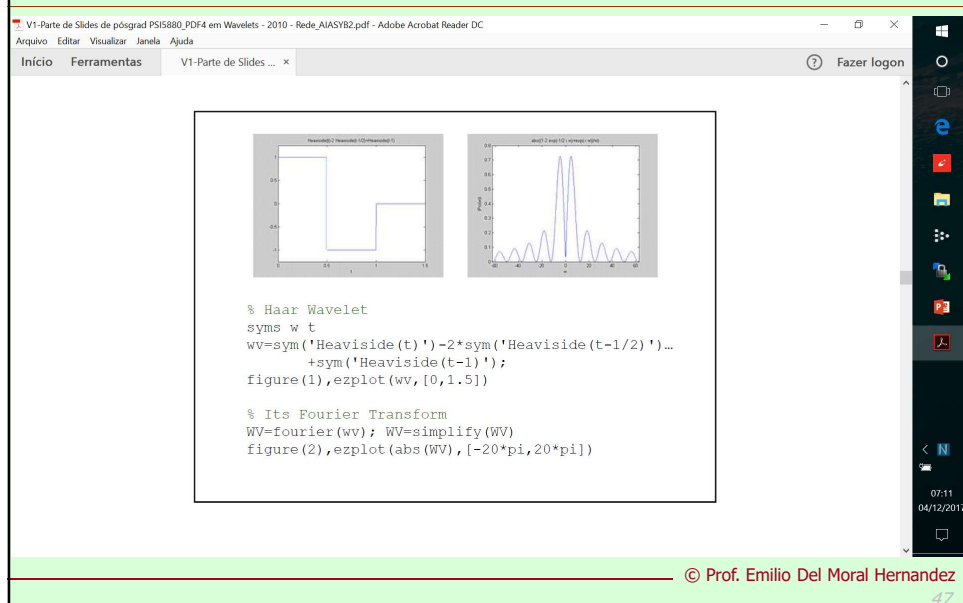
$$C(s, d) = C(j, k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n) 2^{-j/2} \psi(2^{-j}n - k)$$

07:10  
04/12/2017

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

46

## Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880



The slide displays two plots side-by-side. The left plot, titled 'Heaviside(t) - 2\*Heaviside(t-1/2)', shows a step function that is 1 for  $t < 0$ , -1 for  $0 < t < 1$ , and 1 for  $t > 1$ . The right plot, titled 'abs(WW)', shows the magnitude of the Fourier transform of the Haar wavelet, which is a sinc-like function centered at zero with a peak value of approximately 0.25.

```
% Haar Wavelet
syms w t
wv=sym('Heaviside(t)')-2*sym('Heaviside(t-1/2)')...
+sym('Heaviside(t-1)');
figure(1),ezplot(wv,[0,1.5])

% Its Fourier Transform
WV=fourier(wv); WV=simplify(WV)
figure(2),ezplot(abs(WV),[-20*pi,20*pi])
```

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

47

## Amostras de slides em análise wavelet, dos Profs da UCM - Madrid, colaboradores no nosso curso de pós PSI5880



The slide lists several applications of wavelet analysis in a bulleted format:

- Detecting Discontinuities
- Detecting Trends
- Detecting Self-Similarity
- Identifying Pure Frequencies
- Suppressing Signals
- De-Noiseing Signals
- Compressing Signals

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

48

## Para reflexão para a aula de amanhã ...

49

- Que semelhanças entre Wavelets e análise de Fourier você consegue explicitar? Escreva.
  - Que diferenças? Escreva.
- Que semelhanças entre Wavelets e CNNs unidimensionais você consegue explicitar? Escreva.
  - Que diferenças? Escreva.
- Que semelhanças entre CNNs e análise de Fourier você consegue explicitar? Escreva.
  - Que diferenças? Escreva.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

49

49

50

***Espectrograma –  
Conceito importante no cenário  
de análise tempo-frequência***

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

50

50

51

The screenshot shows the Wikipedia article for "Spectrogram". The page title is "Spectrogram" and it is from Wikipedia, the free encyclopedia. The article text includes a definition: "A **spectrogram** is a visual representation of the spectrum of frequencies of sound or other signal as they vary with time. Spectrograms are sometimes called **sonographs**, **voiceprints**, or **voicegrams**. When the data is represented in a 3D plot they may be called **waterfalls**." It also mentions that spectrograms are used in music, sonar, radar, and speech processing. A small spectrogram image is shown with a legend: "Typical spectrogram of the spoken words 'nineteenth century'. Frequencies are shown increasing up the vertical axis, and time on the horizontal axis. The lower frequencies are more dense because it is a male voice. The legend to the right shows that the color intensity increases with the density." A table of contents is visible on the left side of the article.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

51

51

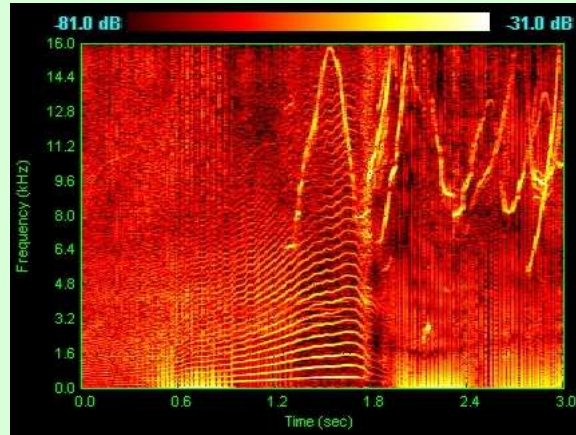
52

The screenshot shows the "Format" section of the Wikipedia article for "Spectrogram". The text states: "A common format is a graph with two geometric dimensions: one axis represents *time* or *RPM*, the other axis is *frequency*; a third dimension indicating the amplitude of a particular frequency at a particular time is represented by the intensity or color of each point in the image." It further explains that there are many variations of format, such as switching axes or using 3D surfaces. Below the text are eight small spectrogram images with captions: "Spectrogram of this recording of a violin playing. Note the harmonics occurring at whole-number multiples of the fundamental frequency.", "3D surface spectrogram of a part from a music piece.", "Spectrogram of a male voice saying 'ta ta ta'.", "Spectrogram of dolphin vocalizations; chirps, clicks and harmonizing are visible as inverted Vs, vertical lines and horizontal striations respectively.", and four other smaller spectrograms showing different audio signals.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

52

52



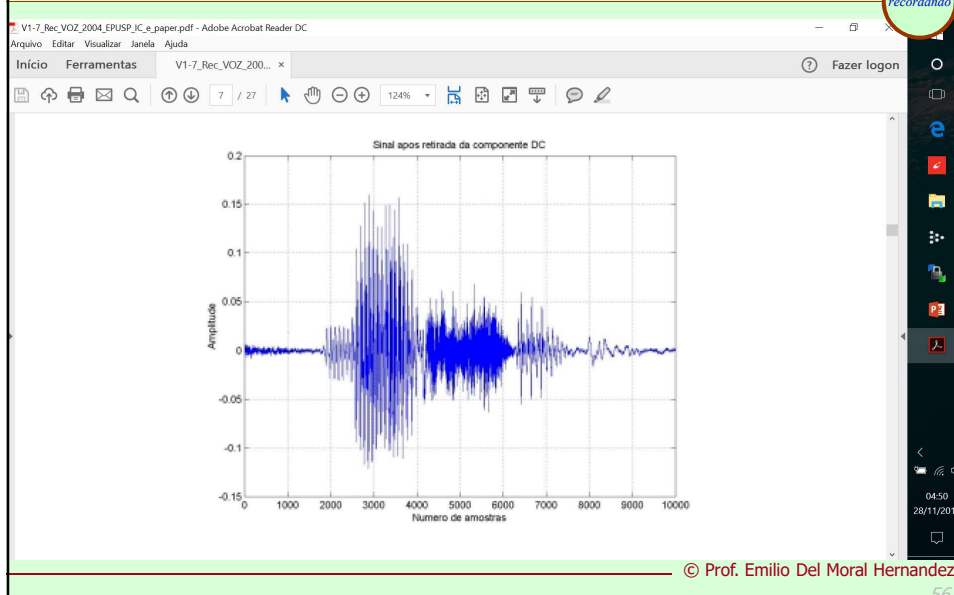
53

*Sistema auditivo,  
Sistema fonador,  
Mel Freq Cepstrum*

55

## TCC em Reconhecimento de comandos de voz (Daniel e Gabriel) – sobe, desce, esquerda, direita

recordando



56

## Medida de qualidade do reconhecedor de comandos de voz ensaiado ...

recordando

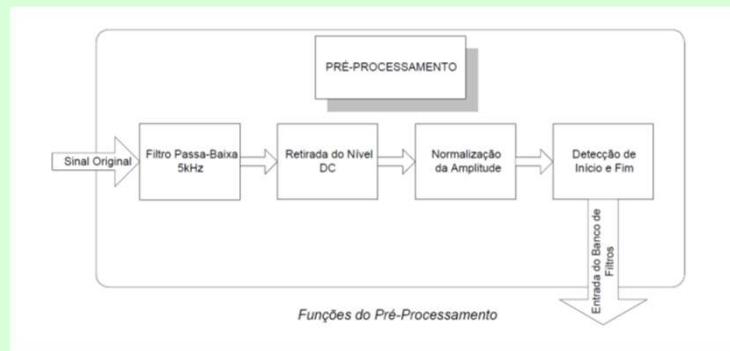
amostra \ resultado	SOBE	DESCE	ESQUERDA	DIREITA
SOBE	85%	0%	15%	0%
DESCE	0%	100%	0%	0%
ESQUERDA	0%	0%	80%	20%
DIREITA	0%	0%	10%	90%

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

57

## Exemplo de pré-processamentos num reconhecedor de comandos de voz - TCC de Daniel e Gabriel

recordando



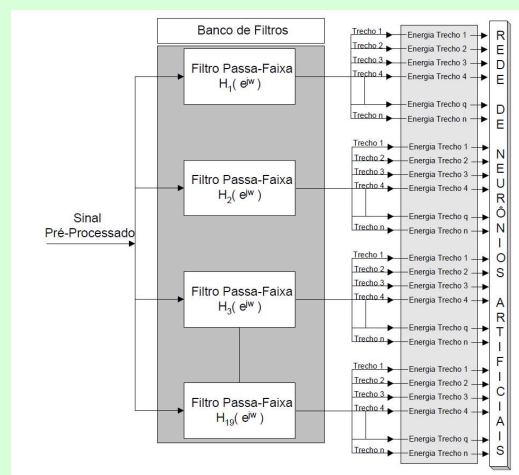
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

58

58

## TCC em Reconhecimento de comandos de voz (Daniel e Gabriel) – sobe, desce, esquerda, direita

recordando



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

59

59

## TCC em Reconhecimento de comandos de voz (Daniel e Gabriel) – sobe, desce, esquerda, direita

recordando

V1-7\_Rec\_VOZ\_2004\_EPUSP\_IC\_e\_paper.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas V1-7\_Rec\_VOZ\_200... x Fazer login

11 / 27 75%

Tabela 1

Frequências centrais e bandas de passagem do banco de filtros	
	0
Filtro 1	$f_{c1} = 50$ Hz
	100
Filtro 2	$f_{c2} = 150$ Hz
	200
Filtro 3	$f_{c3} = 250$ Hz
	300
Filtro 4	$f_{c4} = 350$ Hz
	400
Filtro 5	$f_{c5} = 450$ Hz
	510
Filtro 6	$f_{c6} = 570$ Hz
	630
Filtro 7	$f_{c7} = 700$ Hz
	770
Filtro 8	$f_{c8} = 840$ Hz
	920
Filtro 9	$f_{c9} = 1000$ Hz
	1080
Filtro 10	$f_{c10} = 1170$ Hz
	1270
Filtro 11	$f_{c11} = 1370$ Hz
	1480
Filtro 12	$f_{c12} = 1600$ Hz
	1720
Filtro 13	$f_{c13} = 1850$ Hz
	2000
Filtro 14	$f_{c14} = 2150$ Hz
	2320
Filtro 15	$f_{c15} = 2400$ Hz
	2600
Filtro 16	$f_{c16} = 2600$ Hz
	2800
Filtro 17	$f_{c17} = 3400$ Hz
	3700
Filtro 18	$f_{c18} = 4000$ Hz
	4400
Filtro 19	$f_{c19} = 4800$ Hz
	5300

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

60

## TCC em Reconhecimento de comandos de voz (Daniel e Gabriel) – sobe, desce, esquerda, direita

recordando

at Reader DC

00... x

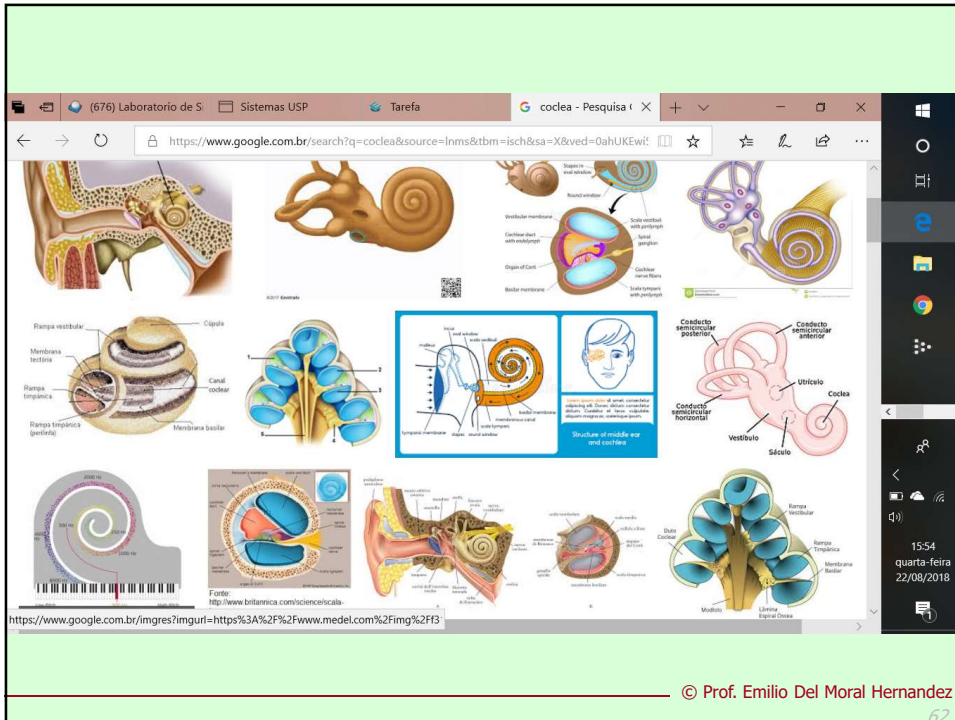
75%

Tabela 1

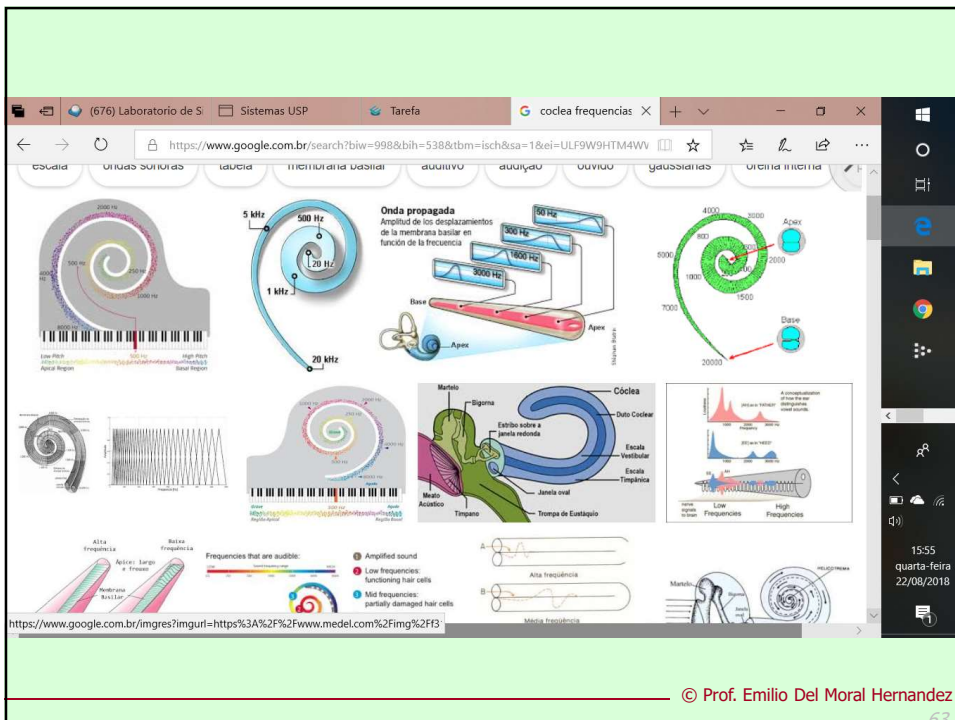
Frequências centrais e bandas de passagem do banco de filtros	
	0
Filtro 1	$f_{c1} = 50$ Hz
	100
Filtro 2	$f_{c2} = 150$ Hz
	200
Filtro 3	$f_{c3} = 250$ Hz
	300
Filtro 4	$f_{c4} = 350$ Hz
	400
Filtro 5	$f_{c5} = 450$ Hz
	510
Filtro 6	$f_{c6} = 570$ Hz

61





62



63

64

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

64

65

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

65

677 Laboratorio de S... Sistemas USP Tarefa mel frequency cep

https://www.google.com.br/search?biw=998&bih=538&tbn=isch&sa=1&ej=ULF9W9HTM4Wv

Time Domain Waveform

Spectrogram

MFCC Spectrogram

498 x 276 - music.ece.drexel.edu

Confusions Speech → Frame Blocking → Windowing → FFT → Mel-frequency Wrapping → Cepstrum → MFCC

MFCC

- Human perception of speech is linear until 1000 and logarithmic thereafter
- Cepstrum & Fourier Transform (logarithmic & Linear Transform) Speech Spectrogram
- Cepstrum coefficients are efficient short-term and LPC version of their linear prediction coefficients

https://www.google.com.br/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fmusic.ece.drexel.edu%2Ffiles%2

15:58 quarta-feira 22/08/2018

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

66

67

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

67

67

68

The screenshot shows a web browser window displaying the Wikipedia article for 'Mel-frequency cepstrum'. The browser's address bar shows the URL 'https://en.wikipedia.org/wiki/Mel-frequency\_cepstrum'. The article content includes a definition of the Mel-frequency cepstrum (MFC) as a representation of the short-term power spectrum of a sound, based on a linear cosine transform of a log power spectrum on a nonlinear mel scale of frequency. It also defines Mel-frequency cepstral coefficients (MFCCs) as coefficients that collectively make up an MFC. A numbered list of five steps describes how MFCCs are commonly derived: 1. Take the Fourier transform of a windowed excerpt of a signal. 2. Map the powers of the spectrum obtained above onto the mel scale, using triangular overlapping windows. 3. Take the logs of the powers at each of the mel frequencies. 4. Take the discrete cosine transform of the list of mel log powers, as if it were a signal. 5. The MFCCs are the amplitudes of the resulting spectrum. A 'Contents' table of contents is visible at the bottom of the article, listing '1 Applications'.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

68

69

The screenshot shows a presentation slide titled 'O que é o Cepstrum?'. The slide content includes a bulleted list: 'Eu não sei!', 'Definição formal:', and 'O módulo ao quadrado da transformada inversa de Fourier calculada sobre logaritmo de base 10 calculada sobre módulo ao quadrado da transformada de Fourier do sinal f(t)!'. The formal definition is represented by the mathematical equation: 
$$\left| F^{-1} \left\{ \log_{10} \left( \left| F \{ f(t) \} \right|^2 \right) \right\} \right|^2$$
. The slide footer indicates it is slide 27 of 56, presented at the Escola Politécnica da USP.

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

69

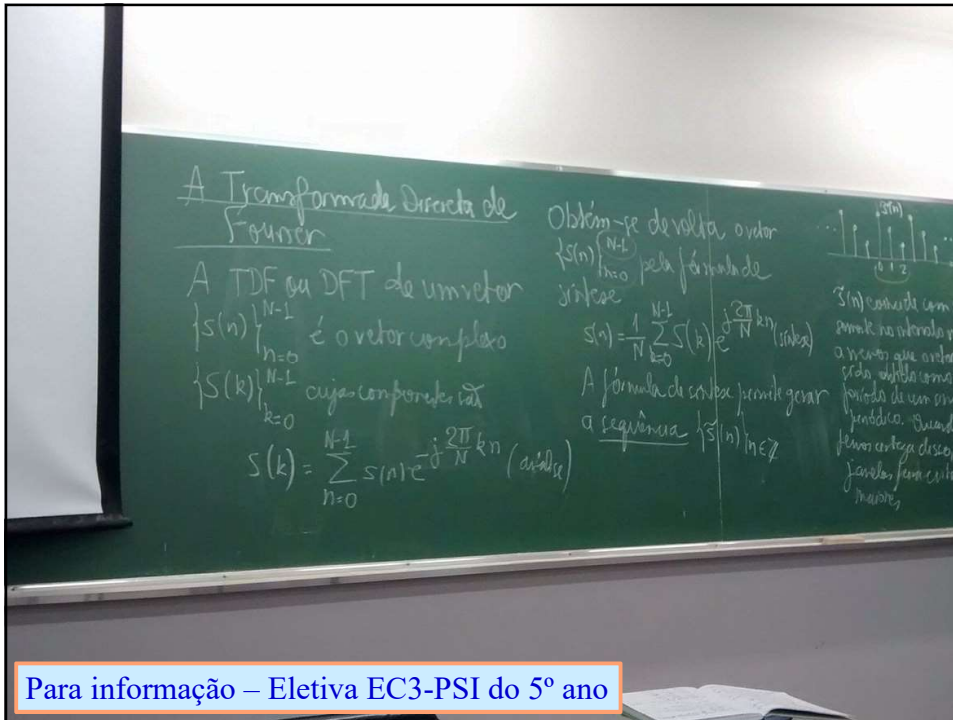
**Disciplina eletiva de 5º ano  
PSI3501 –  
Processamento de voz e  
aprendizado de máquina  
Profs Emilio e Miguel**

Para informação – Eletiva EC3-PSI do 5º ano

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

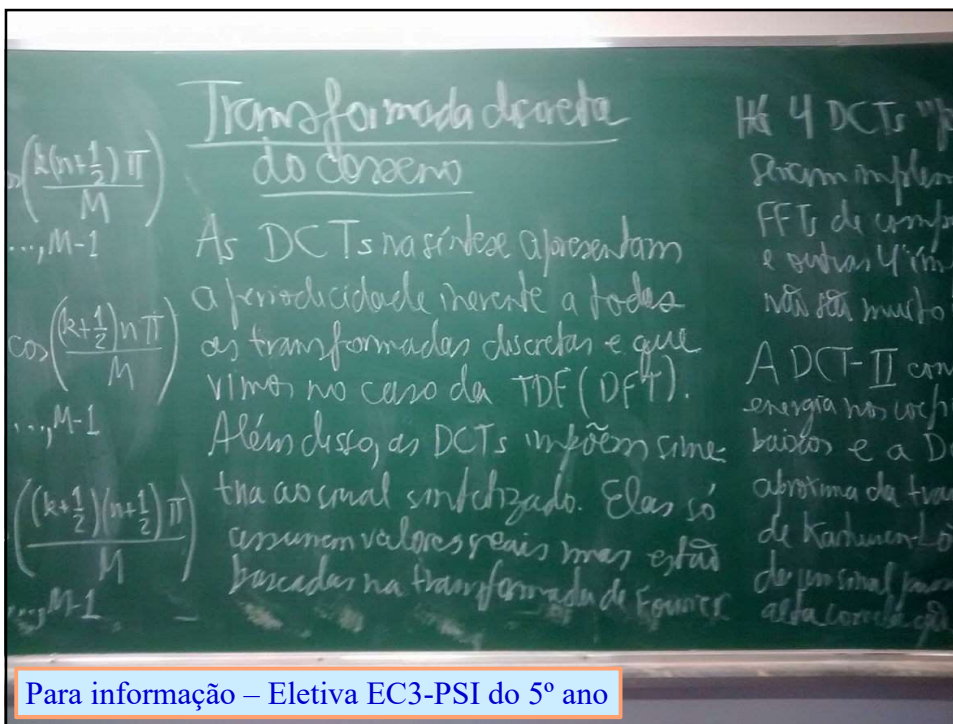


Para informação – Eletiva EC3-PSI do 5º ano



Para informação – Eletiva EC3-PSI do 5º ano

73



Para informação – Eletiva EC3-PSI do 5º ano

74

75

---

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

75

75

**PSI3472 – Análise de sinais de tempo**

76

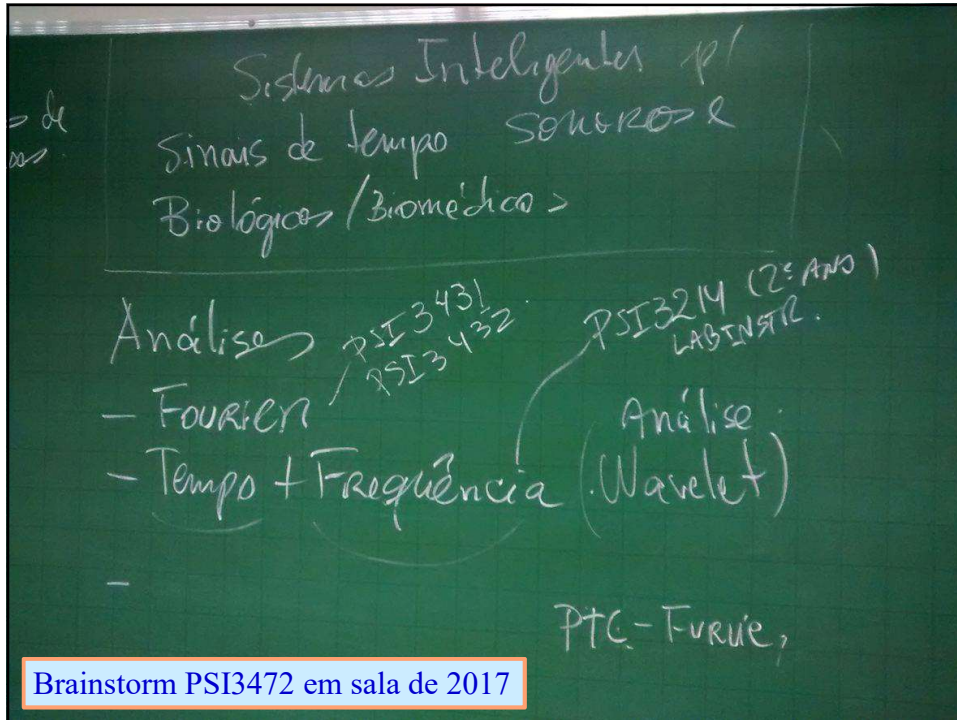
*Recordemos alguns aspectos já  
abordados neste curso e em cursos  
correlatos ...*

---

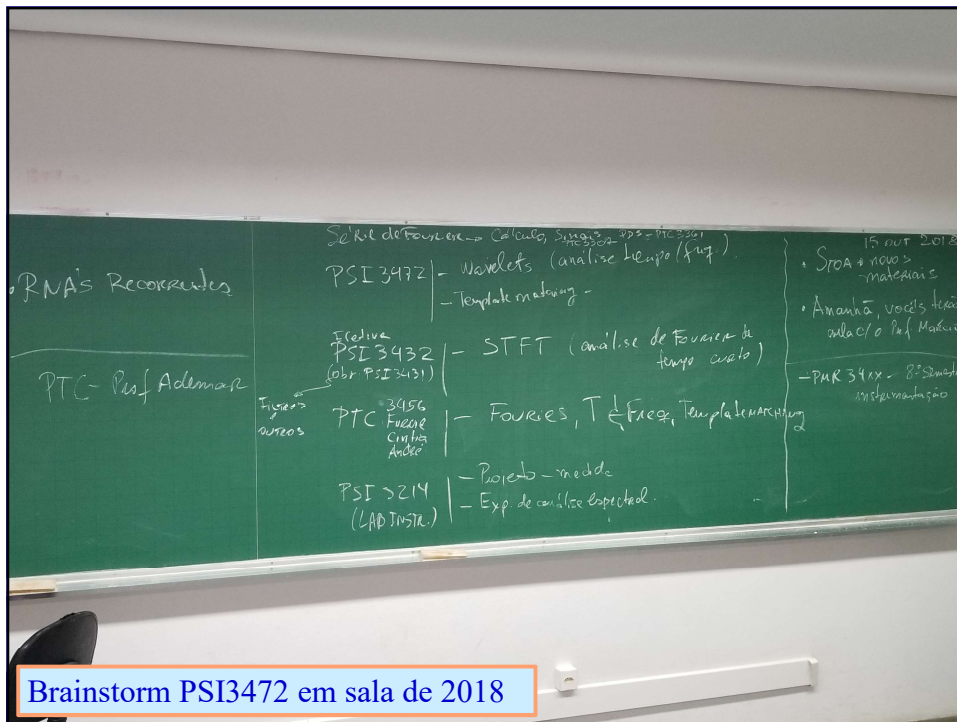
© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

76

76



77



78



*Alguns destaques para PSI3472-Sinais de Tempo  
Vindos da Tese de Liselene Borges -  
Extração de parâmetros característicos para  
detecção acústica de vazamento de água.  
(URL para baixar no e-disciplinas)*

79

## Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

Curso: PSI3472 - Conceção | Disciplina: PSI2672 do Grup | Sistemas de detecção e clas | Extração de parâmetros

teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/1de-19072011-110149/pt-br.php

**Biblioteca Digital USP**  
*Teses e Dissertações*

**Tese de Doutorado**

**DOI:** 10.11606/T.3.2011.196-19072011-110149

**Documento:** Tese de Doutorado

**Autor:** Borges, Liselene de Abreu (Catálogo USP)

**Nome completo:** Liselene de Abreu Borges

**E-mail:** E-mail

**Unidade da USP:** Escola Politécnica

**Área de Conhecimento:** Sistemas Eletrônicos

**Data de Defesa:** 2011-04-08

**Imprenta:** São Paulo, 2011

**Orientador:** Agneta Ramirez, Miguel (Catálogo USP)

**Banco examinadora:** Agneta Ramirez, Miguel (Presidente)  
Alciani, Aluísio  
Del Moral Hernandez, Emilio  
Figueroa, Robert Dura-Roberto  
Queiroz, Marcelo Gomes de

**Título em português:** Extração de parâmetros característicos para detecção acústica de vazamento de água.

**Palavras-chave em português:** Máquina de vetores de suporte  
Predição linear  
Processamento de sinais  
Vazamento de água

**Resumo em português:** Este trabalho apresenta a pesquisa sobre a extração de parâmetros característicos de sinais acústicos para fins de detecção automática de vazamento de água em tubulações enterradas. Os sinais acústicos foram adquiridos com o auxílio de um gravador eletrônico e também catalogados por técnicos especialistas em detecção acústica. De todos os sinais foram extraídos os modelos de predição linear percussiva de vários ordens, determinando-se como melhor a ordem 2. A partir de um conjunto de modelos de referência de sinais de vazamento, a distância média de Itakura dos outros modelos em relação a estas referências foram calculadas. Em conjunto com estas distâncias, quatro características espectrais são também extraídas do sinal a fim de compor o vetor de parâmetros característicos do sinal. Parte destes vetores de parâmetros característicos são utilizados para treinar o classificador de máquina de vetores de suporte. O restante dos dados são então, submetidos a este classificador que obtém a taxa de acerto de classificação em torno de 90%. Experimentos adicionais, utilizando modelos de predição linear, de ordem 10, obtiveram uma taxa de acerto em torno de 82%. Isso demonstra que estes novos parâmetros característicos propostos alcançam os objetivos deste trabalho, que são algoritmos com melhor base de acerto na detecção de vazamentos.

**Título em inglês:** Feature extraction for acoustic water leak detection.

**Palavras-chave em inglês:** Linear prediction  
Signal processing  
Support vector machine  
Water leak

**Resumo em inglês:** This work presents a research about feature extraction of acoustic signals for detection of water leak in buried pipes. Acoustic signals were acquired by means of an electronic geophone and also labeled by technicians specialized in acoustic water leak detection. For every signal, its linear predictive model was estimated for a range of prediction orders, concluding for the best order 2. Out of this group of models, some leaky ones are used as reference for calculating the Itakura

**Serviços**

- Estadísticas recomendadas
- Estadísticas
- Visualizações: 406
- Downloads: 296
- Conteúdo
- Formato MARC
- Formato OAI DC

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

80

82

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

Compartilhar

## Extração de parâmetros característicos para detecção acústica de vazamento de água

Aluna: Liselene de Abreu Borges  
Orientador: Miguel Arjona Ramirez

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

82

82

83

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

Compartilhar

## Sumário

- \* Motivação, Objetivos e Contribuições
- \* Detecção Acústica de Vazamento
- \* Sistemas de Detecção e Métodos de Avaliação dos Parâmetros
- \* Extração de Parâmetros Característicos
- \* Desenvolvimento da Pesquisa
- \* Conclusões e Propostas Futuras

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

83

83

84

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer login

5 / 35 63.6%

Compartilhar

## Os Tipos de Vazamentos

\* Tipos de vazamentos: (a) Inerentes, (b) Não Visíveis e (c) Visíveis;

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

84

## Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

85

### O procedimento de detecção do Vazamento

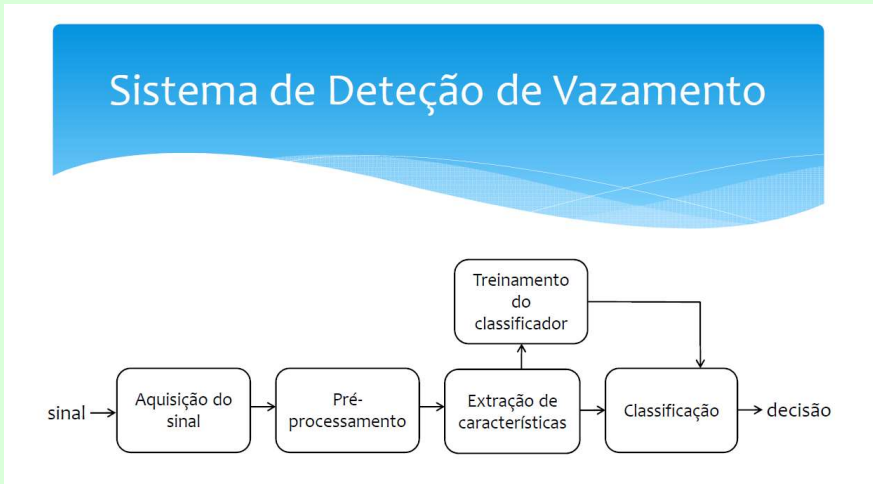
- \* Haste de escuta
- \* Correlacionador de ruído
- \* Geofone

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

85

Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

86



© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

86

86

87

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

87

87



88

### Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

89

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

#### Extração no domínio temporal

- \* Energia de curto Prazo

$$E_p = \sum_{m=0}^{p-1} |x(n)w(n-m)|^2$$

- \* Taxa de Cruzamento por zero

$$Z_p = \sum_{m=0}^{p-1} |\text{sgn}[x(m)] - \text{sgn}[x(m-1)]| w(n-m)$$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

89

89

## Exemplo de modelagem / reconhecimento automático de padrões ... (tese de Liselene / Prof Miguel)

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

23 / 35 63.6%

### Extração no domínio espectral

- \* Centróide Espectral (Ce)
- \* Largura de Espectro (Le)
- \* Fluxo Espectral
- \* Ponto de Roll-off (Pro)
- \* Taxa de Espalhamento

$$F_e = \sum_{k=1}^M [X(k) - X(m-1)]^2$$

$$T_e = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K [X(k) - \mu_x]^2}$$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

90

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

13 / 35 63.6%

Compartilhar

### Métodos de avaliação dos parâmetros individuais

- \* Avaliação individual de cada parâmetro característico através da estatística-M

$$\text{estatística}_M = \frac{|\mu_{p_{max}} - \mu_{p_{min}}|}{\sigma_{p_{min}} + \sigma_{p_{max}}}$$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

91

92

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

Compartilhar

## Medidas de desempenho

\* Acurácia, Sensibilidade e Especificidade:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\text{Total de Acerto de Vazamentos}}{\text{Total de Vazamentos}}$$

$$\text{Especificidade} = \frac{\text{Total de Acerto de NÃO Vazamentos}}{\text{Total de NÃO Vazamentos}}$$

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Total de Acerto de Vazamento} + \text{Total de Acerto de NÃO Vazamento}}{\text{Total de Vazamento} + \text{Total de NÃO Vazamento}}$$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

92

92

93

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

Início Ferramentas defesa08Abr2011\_L... x

Fazer logon

Compartilhar

## Pré-Processamento

Pré-processamento

```

    graph LR
      A[Sub-amostragem] --> B[Normalização]
      B --> C[Pré-ênfase]
      C --> D[Segmentação]
  
```

$x(n) \downarrow 4$

$\tilde{x}(n) = \frac{x(n) - \mu_x}{\sigma_x}$

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

93

93

94

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer login

27 / 35 63.6%

Compartilhar

## Avaliação Individual – sinal original

\* Estatística\_M = 0.60133

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

94

95

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer login

30 / 35 63.6%

Compartilhar

## Estatística\_M geral

Parâmetro característico	original	Pré-ênfase 1	Pré-ênfase 2
Energia de curto prazo	0.21186	0.10927	0.33954
Taxa de cruzamento por zero	0.21189	0.19588	0.32757
Centróide espectral	0.60133	0.80953	0.75399
Largura de espectro	0.83349	0.68455	0.33555
Fluxo espectral	0.89947	0.7221	0.46769
Ponto de roll-off	0.25491	0.06911	0.65232
Taxa de espalhamento	0.39558	0.17637	0.35039
Modelo AR ordem=10			
Dist. máx. Itakura-AR	0.09678	0.24098	0.34357
Dist. méd. Itakura-AR	0.09660	0.23716	0.35697
Dist. máx. espectral-AR	0.02684	0.423	0.39587
Dist. méd. espectral-AR	0.11491	0.43526	0.4826
Modelo PLP ordem=3			
Dist. máx. Itakura-PLP	0.24388	0.10265	0.13251
Dist. méd. Itakura-PLP	0.1826	0.15835	0.083096
Dist. máx. espectral-PLP	0.23262	0.197	0.20062
Dist. méd. espectral-PLP	0.21759	0.21076	0.072005

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

95



defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer login

31 / 35 63.6%

Compartilhar

## Resultado da classificação Individual

Parâmetro Característico	Sinal Original (t)	Sinal pré-ênfase v (t)	Sinal pré-ênfase z (t)
Energia de curto prazo	64.8936	64.8936	64.8936
Taxa de cruzamento por zero	64.8936	85.1064	87.234
1-Centróide espectral	77.6596	89.3617	86.1702
Largura de espectro	89.9917	87.234	91.4894
Fluxo espectral	88.2979	87.234	78.7334
Ponto de roll-off	86.8511	86.1702	87.234
Taxa de espalhamento	68.0851	64.8936	69.1489
Dist. máx. Itakura AR (ordem=10)	71.3014	64.8936	82.9782
Dist. méd. Itakura AR (ordem=10)	71.2766	64.8936	84.0416
Dist. máx. espectral AR (ordem=10)	64.8936	71.2766	69.1489
Dist. méd. espectral AR (ordem=10)	61.7021	64.8936	81.9149
Dist. máx. Itakura PLP (ordem=2)	64.8936	71.2766	68.0851
Dist. méd. Itakura PLP (ordem=2)	64.8936	67.0213	65.9574
Dist. máx. espectral PLP (ordem=2)	63.8298	68.0851	67.0213
Dist. méd. espectral PLP (ordem=2)	63.8298	65.9574	69.1489

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

96

defesa08Abr2011\_Liselene.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Arquivo Editar Visualizar Janela Ajuda

defesa08Abr2011\_L... x

Fazer login

32 / 35 63.6%

Compartilhar

## Resultado do classificação em grupo

Parâmetros característicos(t)	Acuracidade(t)	Sensibilidade(t)	Especificidade(t)
1,2,3,4,2	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,4,6,7	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,4,6	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,4,5	94.6909	93.9394	95.082
1,2,3,13	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,12	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,11	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,10	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,9	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,8	95.7447	93.9394	96.7213
1,2,3,4,13	96.8085	93.9394	98.3607
1,2,3,4,12,13	95.7447	96.9991	98.3607
1,2,3,4,12	96.8085	93.9394	98.3607
1,2,3,4,11	96.8085	93.9394	98.3607
1,2,3,4,10,11	94.6809	87.8788	93.3607
1,2,3,4,10	96.8085	93.9394	98.3607
1,2,3,4,8,9	95.7447	93.9394	96.7213

- 1-Centróide espectral
- 2-Largura de espectro
- 3-Fluxo espectral
- 4-Ponto de roll-off
- 5-Taxa de espalhamento
- 6-Dist. máx. Itakura AR
- 7-Dist. méd. Itakura AR
- 8-Dist. máx. espectral AR
- 9-Dist. méd. espectral AR
- 10-Dist. máx. Itakura PLP
- 11-Dist. méd. Itakura PLP
- 12-Dist. máx. espectral PLP
- 13-Dist. méd. espectral PLP

© Prof. Emilio Del Moral Hernandez

97