Công nghệ nhận dạng và tổng hợp tiếng nói

Trịnh Văn Loan – ĐHBK Hà Nội

1

1

Tài liệu tham khảo

- An Introduction to Digital Speech Processing
  Lawrence R. Rabiner, Ronald W. Schafer, Now.2007
- Digital Processing of Speech Signals
  Lawrence R. Rabiner, Ronald W. Schafer, Prentice-Hall , 1978
- Discrete-Time Processing of Speech Signals
  John R. Deller, John G. Proakis, Hansen John H. L.. IEEE Press, 2000
- Fundamentals of Speech Recognition
  Lawrence Rabiner, Biing-Hwang Juang, Pearson College Div, 1993
- Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach (Signals and Communication Technology
  Dong Yu, Li Deng, Springer, 2015
- Text-to-Speech Synthesis
  Paul Taylor, Cambridge University Press, 2009
- Improvements of Vietnamese Hidden Markov Model based speech synthesis
  Duy Khanh Ninh, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020
  Nguyễn Hữu Quỳnh, Hà Nội, 1994
- Dẫn luận Ngôn ngữ học
  Nguyễn Thiện Giáp, Đoàn Thiện Thuật , Nguyễn Minh Thuyết, Hà Nội, 1994

2

2

1. Các khái niệm cơ bản

- Xử lý tiếng nói là gì ?
- Xử lý tiếng nói bao hàm các lĩnh vực:
  - Nhận dạng tiếng nói
  - Nhận dạng người nói
  - Mã hóa và giải mã tiếng nói
  - Tổng hợp tiếng nói
  - Tăng cường chất lượng tín hiệu tiếng nói

3

3

- Các ứng dụng của xử lý tiếng nói
  - Tương tác người – máy
  - Viễn thông
  - Các công nghệ trợ giúp (khiếm thính, khiếm thị, học ngôn ngữ)
  - Khai thác dữ liệu âm thanh
  - An ninh, bảo mật
- Các lĩnh vực khoa học liên quan
  - Xử lý tín hiệu số
  - Xử lý ngôn ngữ tự nhiên
  - Học máy
  - Ngữ âm học
  - Tương tác người máy
  - Tâm lý học cảm thụ

4

4

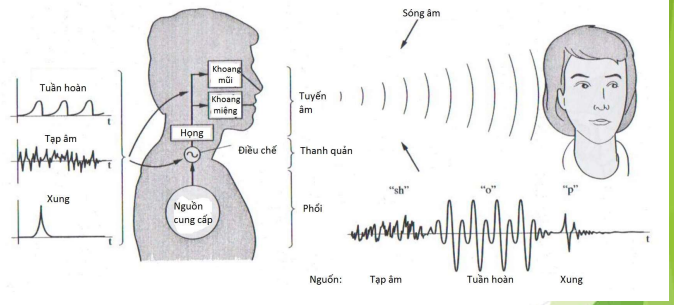
1.2 Các khái niệm cơ bản về tiếng nói

- Phân biệt tiếng nói và âm thanh

  Tiếng nói được phân biệt với các âm thanh khác bởi các đặc tính âm học có nguồn gốc từ cơ chế tạo tiếng nói.
- Có các nguồn âm
  - Tuần hoàn (dây thanh rung)
  - Tạp âm (dây thanh không rung)
  - Xung

5

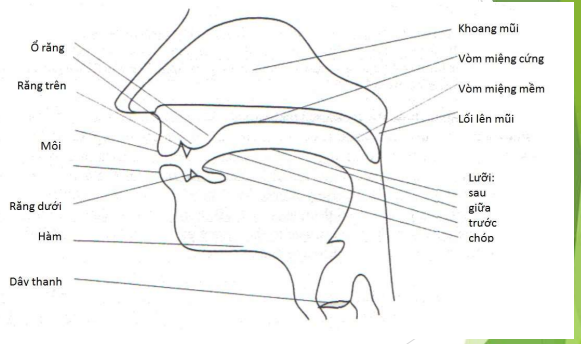
5



6

6

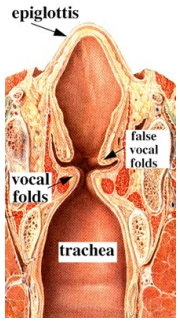
Bộ máy phát âm



7

7

Bộ máy phát âm

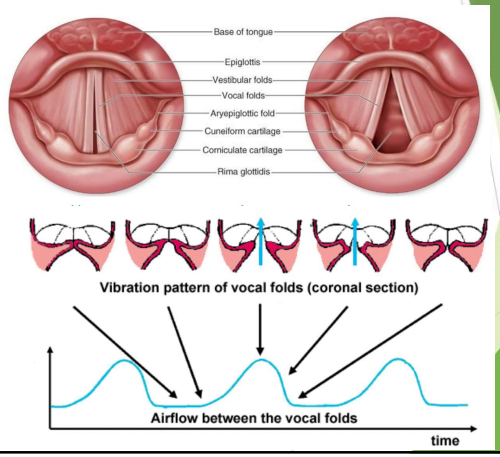


NASAL CAVITY: Khoang mũi
SOFT PALATE: Vòm miệng mềm
EPIGLOTTIS: Nắp thanh quản
VOCAL FOLDS (CORDS): Dây thanh
OESOPHAGUS: Thực quản
TRACHEA: Khí quản
PHARYNX: Họng

8

8

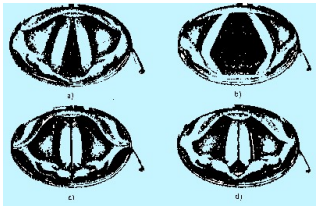
Dây thanh và Thanh môn



9

Thanh môn

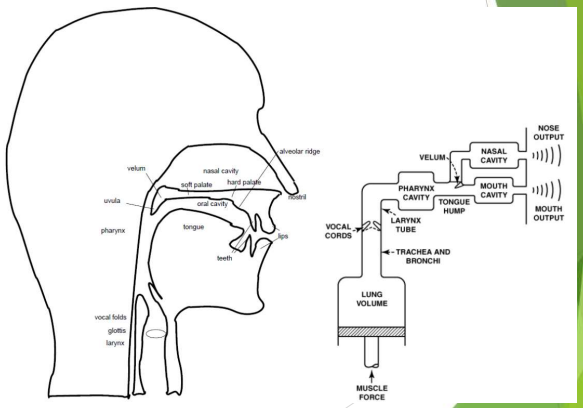
- Ở các vị trí hít, thở,phát âm, nói thì thào



10

10

Sơ đồ khối bộ máy phát âm



11

Hệ thống thính giác

- Hệ thống thính giác có 2 thành phần quan trọng:
  - Cơ quan thính giác ngoại vi (tai)
    - Biến đổi áp suất âm thanh thành dao động cơ học kích thích tế bào thần kinh
  - Hệ thống thần kinh thính giác (não)
    - Trích xuất các thông tin cảm nhận được ở mức độ khác nhau

12

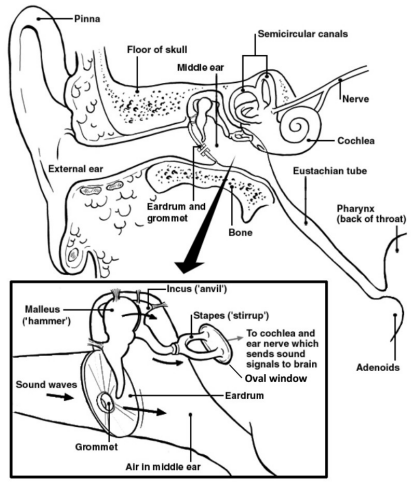
12

Hệ thống thính giác

- Tai có thể được phân chia
  - Tai ngoài:
    - Bao gồm loa tai, ống tai ngoài và màng nhĩ
    - Biến đổi áp suất âm thanh thành rung động
  - Tai giữa
    - Gồm các xương: xương búa, xương đe và xương bàn đạp
    - Vận chuyển rung động màng nhĩ vào tai trong
  - Tai trong:
    - Gồm ốc tai
    - Biến đổi các rung động thành các xung kích thích màng đáy
    - Màng đáy có thể được mô hình hóa như băng bộ lọc

13

13

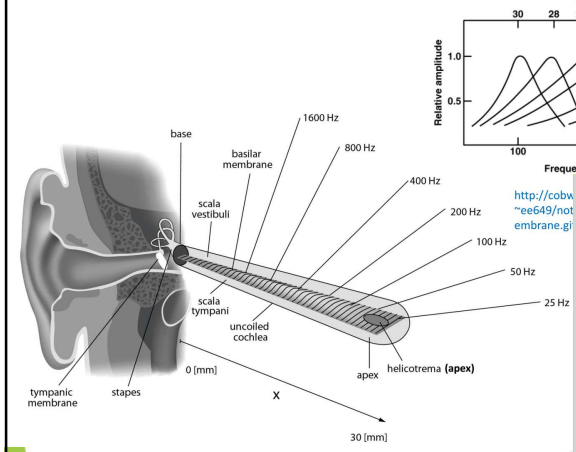


Pinna: Loa tai
Middle ear: Tai giữa
External ear: Tai ngoài
Eardrum: Màng nhĩ
Cochlea: Ốc tai
Nerve: Dây thần kinh

Malleus: Xương búa
Incus: Xương đe
Stapes: Xương bàn đạp
To cochlea and ear nerve which sends sound signals to brain: Dẫn tới ốc tai và thần kinh tai gửi tín hiệu âm thanh tới não
Oval window: Cửa sổ bầu dục

14

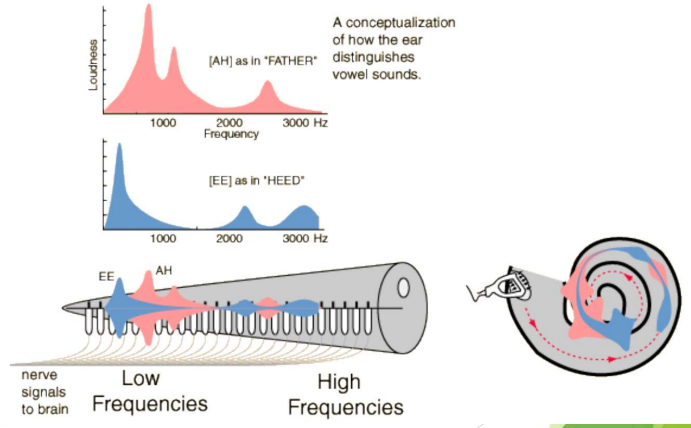
14



Scala vestibuli: Ống tiền đình
Basilar membrane: Màng đáy
Scala tympani: Màng định âm
Uncoiled cochlea: Ốc tai duỗi thẳng
Apex: Đỉnh
Stapes: Xương bàn đạp

15

15



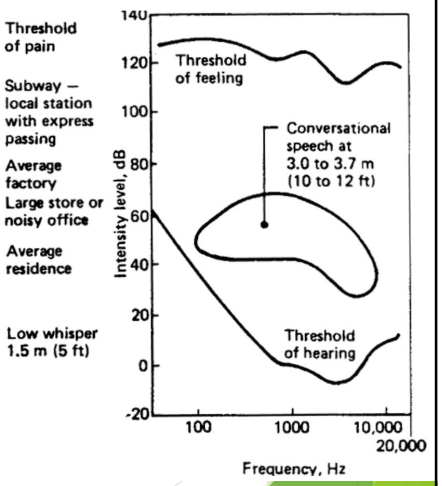
16

16

Con người có thể nghe được âm thanh tần số từ 16 Hz đến 18 kHz

Cường độ được đo bằng mức áp suất âm thanh dB (Sound Pressure Levels–SPL) Ngưỡng nghe: Cường độ cực tiểu còn cảm nhận được.

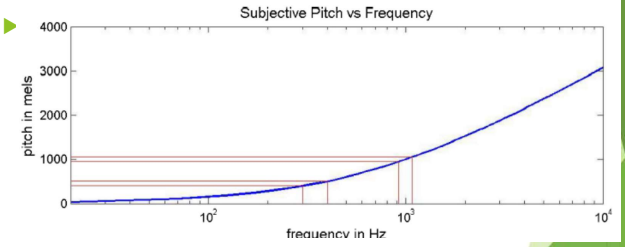
Dưới 1kHz và trên 5 kHz ngưỡng nghe tăng lên. Ngưỡng nghe gần như không đổi trong phần lớn phạm vi tần số tiếng nói (700 Hz- 7kHz)



17

Cảm nhận cao độ (pitch)

- Cao độ là F0 (tần số cơ bản) được cảm nhận, mang tính chủ quan
-

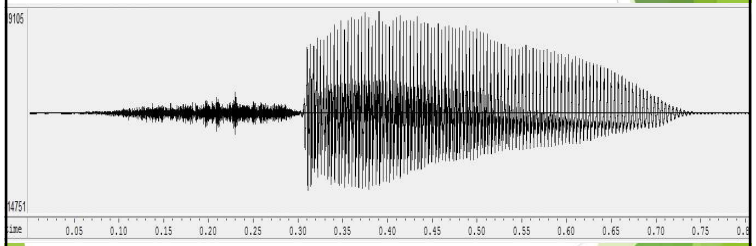


$$m = 2595log_{10}(1 + f/700)$$

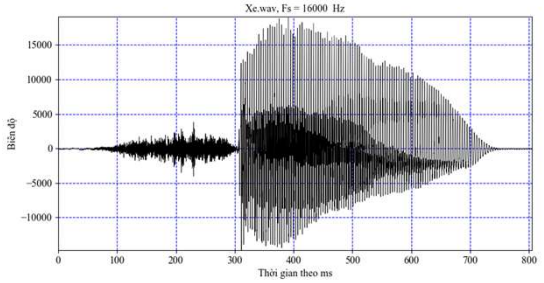
18

1.3 Một số phương pháp biểu diễn tín hiệu tiếng nói

- Dạng sóng theo thời gian



19



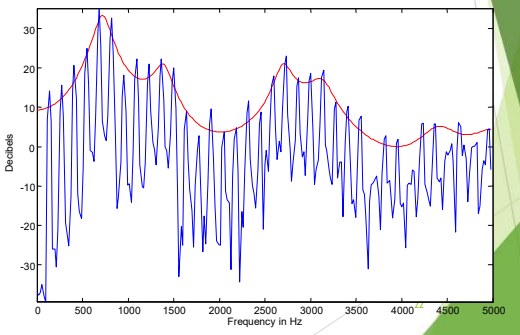
20

```python
import numpy as np
import scipy.io.wavfile as wf
import matplotlib.pyplot as plt

filename = "Xe.wav"
rate, data = wf.read(filename)
data = data.astype(np.int32)
# Timing axe
Time = np.linspace(0, 1000 * len(data) / rate, num=len(data))
fig = plt.figure(figsize=(10, 5))

# Hạn biên theo chiều X và Y
plt.xlim(Time[0], Time[-1])
plt.ylim(np.min(data), np.max(data))
plt.ylim(np.min(data), np.max(data))
plt.xticks(fontsize = 12,family = 'Times New Roman')
plt.yticks(fontsize = 12,family = 'Times New Roman')
plt.grid(color='b',linestyle='dashed')
plt.xlabel(u'Thời gian theo ms', fontsize = 12,family = 'Times New Roman')
plt.ylabel(u'Biên độ', fontsize = 12,family = 'Times New Roman')
plt.title(filename + ", Fs = " + str(rate)+ '  Hz', fontsize = 12,family = 'Times New Roman')
# Draw wave form
plt.plot(Time, data, color='k', linewidth = 0.5)
plt.show()
```

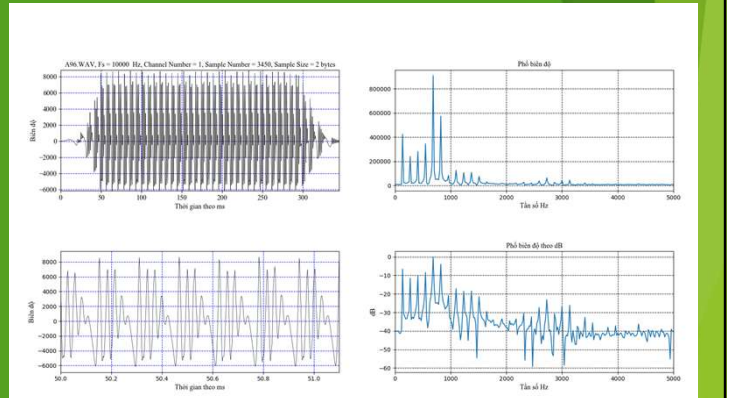
21

21

- Phổ tín hiệu tiếng nói



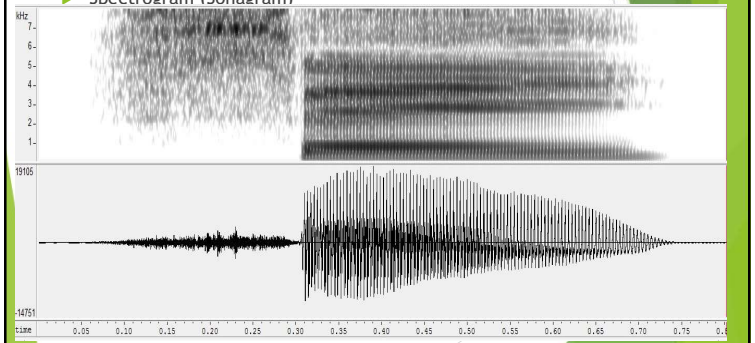
22



23

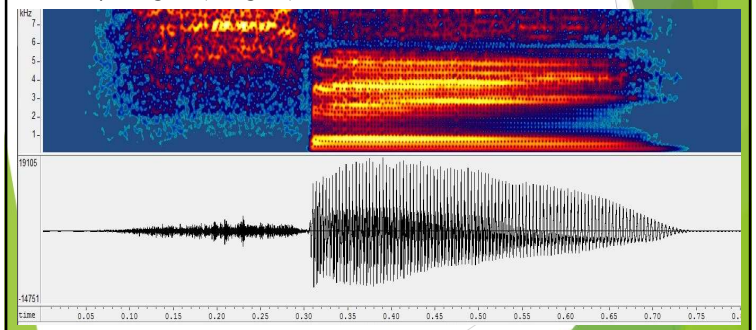
23

- Spectrogram (Sonagram)



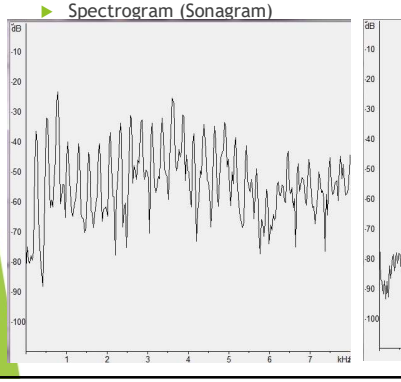
24

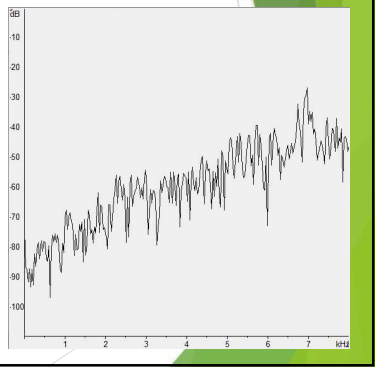
- Spectrogram (Sonagram)



25

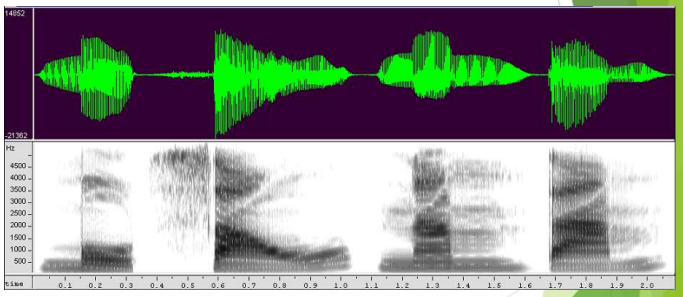
- Spectrogram (Sonagram)



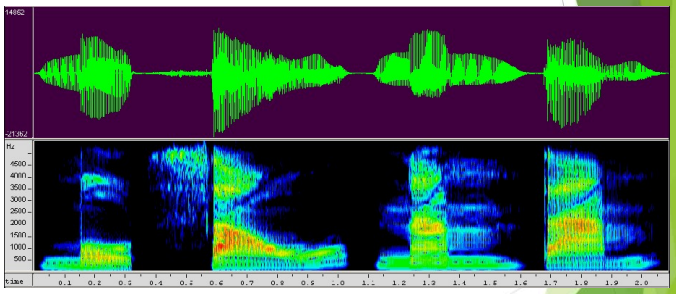


26

Ví dụ

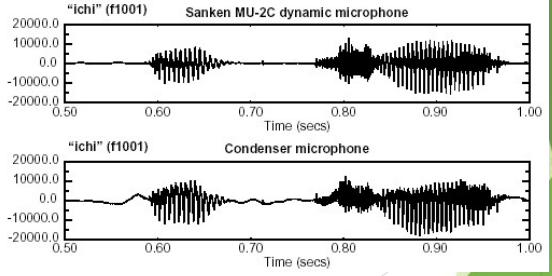


27



28

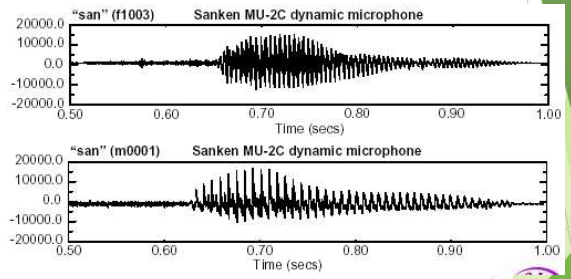
- Tín hiệu tiếng nói thu bằng micro khác loại



29

29

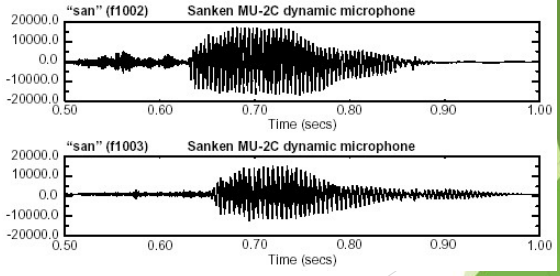
- Hai giọng khác nhau cho cùng một âm



30

30

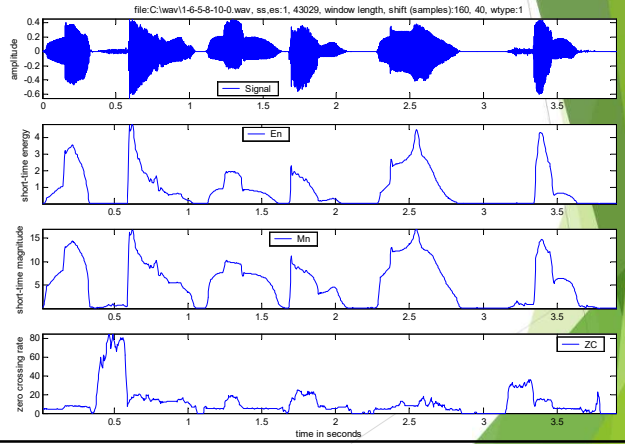
- Cùng người nói, cùng một âm



31

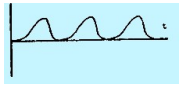
31

Năng lượng, tỷ lệ biến thiên qua giá trị không

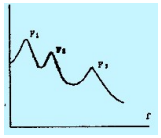


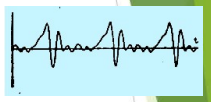
32

Tạo âm hữu thanh
Formant và antiformant

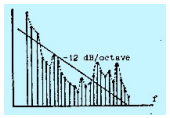


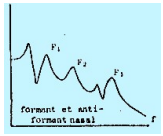
Tín hiệu nguồn hữu thanh



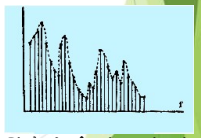


Tín hiệu âm hữu thanh





Phổ của nguồn hữu thanh

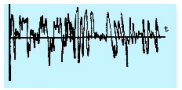


Phổ của âm hữu thanh

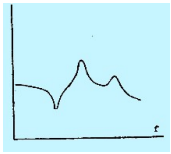
33

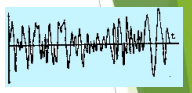
33

Tạo âm vô thanh

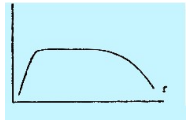


Tín hiệu nguồn vô thanh

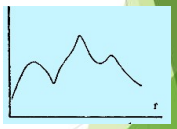




Tín hiệu âm vô thanh



Phổ của nguồn vô thanh



34

34

1.4 các đặc điểm cơ bản ngữ âm tiếng Việt

- Đơn âm tiết
- Có thanh điệu (6), biến đổi thanh điệu kèm theo biến đổi nghĩa
- Không biến đổi hình thái

35

35

- Hệ thống âm vị: 14 nguyên âm (11 nguyên âm đơn, 3 nguyên âm đôi, 22 phụ âm)

1	i,y	*ý chí*
2	ê	*ê chề*
3	e	*e dè*
4	a	*a ha*
5	ă	*mắt*
6	ơ	*bơ phờ*
7	â	*ân cần*
8	ư	*từ từ*
9	ô	*ôtô*
10	o	*co ro*
11	u	*lù mù*

1	ia,yê,ya,iê (đọc ia, yê)	*kia kìa, yêu kiều, khuya, tiên tiến*
2	ua,uô (đọc ua)	*tua rua, luôn*
3	ưa,ươ (đọc ưa)	*lưa thưa, lượt*

36

36

- Hệ thống âm vị: 22 phụ âm

1	b	*bồng bềnh*
2	p	*ốp ép*
3	v	*vẩn vơ*
4	ph	*phôi pha*
5	m	*mơ màng*
6	đ	*đất đai*
7	t	*tin tưởng*
8	th	*thơ thẩn*
9	d,gi	*duyên, giữ*
10	n	*nóng*
11	l	*long lanh*

12	tr	*trồng*
13	s	*sinh viên*
14	r	*rừng*
15	ch	*chông*
16	nh	*nhọc*
17	ng,ngh	*ngô nghê*
18	c,k,q	*con,kẹt,qua*
19	kh	*khúc*
20	g,gh	*gồ ghề*
21	h	*hả hê*
22	x	*xa xôi*

37

- Phân loại nguyên âm theo độ nâng của lưỡi và chuyển động của lưỡi

Độ nâng / Hàng	*cao*	*trung bình*	*thấp*
trước	i e	e	
giữa	ư	ơ â	a ă
sau	u ô	o	

38

38

- Phân loại nguyên âm theo độ mở của miệng và chuyển động của lưỡi

Hàng / Độ mở	***hàng trước***	***hàng sau không tròn môi***	***hàng sau tròn môi***
hẹp	i ia,yê,ya,iê	ư ưa	u ua
hơi hẹp	ê	ơ â	ô
hơi rộng	e		o
rộng		a ă	

39

39

- Âm tắc: tiếng nổ, phát sinh do luồng khí từ phổi đi ra bị cản trở hoàn toàn, phải phá vỡ sự cản trở đó để thoát ra.
- Âm xát: tiếng cọ xát, phát sinh do luồng không khí đi ra bị cản trở không hoàn toàn (chỉ bị khó khăn), phải lách qua một khe hở nhỏ và trong khi thoát ra như vậy phải cọ xát vào thành của bộ máy phát âm.
- Phụ âm bên: đầu lưỡi tiếp xúc với lợi chặn lối thoát của không khí, buộc nó phải lách qua khe hở ở hai bên cạnh lưỡi tiếp giáp với má mà ra ngoài tạo nên tiếng xát nhẹ (l).
- Luồng không khí thoát ra ngoài bị cản trở, tạo nên tiếng xát hay tiếng nổ, dạng tín hiệu không tuần hoàn gọi là tiếng động (ồn).
- Trong khi phát âm một số phụ âm, dây thanh cũng hoạt động đồng thời tạo nên tiếng thanh.
- Phụ âm có tỉ lệ tiếng động lớn hơn gọi là phụ âm ồn.
- Phụ âm có tỉ lệ tiếng thanh lớn hơn gọi là phụ âm vang.

40

40

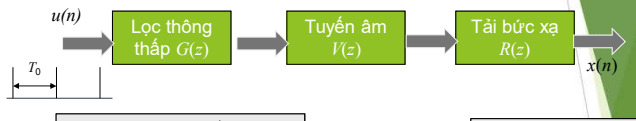
- Phân loại phụ âm theo tắc hay xát, hữu thanh hay vô thanh, mũi hóa

Phương thức cấu âm \ Vị trí cấu âm				Môi	Đầu lưỡi		Mặt lưỡi	Cuối lưỡi	Họng
					Răng	Vòm miệng			
Tắc	Ồn	Bật hơi			th				
		Không bật hơi	Vô thanh	p	t	tr	ch	c,k,qu	
			Hữu thanh	b	đ				
	Vang mũi			m	n		nh	ng,ngh	
Xát	Ồn	Vô thanh		ph	x	s		kh	h
		Hữu thanh		v	d,gi	r		g	
	Vang bên				l				

41

41

1.5 Mô hình tạo tiếng nói



$$G(z) = \frac{A}{(1+\alpha z^{-1})(1+\beta z^{-1})}$$

$$R(z) = C(1-z^{-1})$$

$$V(z) = \frac{B}{\prod_{k=1}^{K}(1+b_{1k}z^{-1}+b_{2k}z^{-2})}$$

42

Mô hình toàn điểm cực (AR)

$$T(z) = G(z)V(z)R(z) = \frac{\sigma}{A(z)}$$

- $A(z)$: Hàm truyền đạt của bộ lọc đảo

$$T(z) = \frac{\sigma}{A(z)}$$

$$A(z) = 1 + \sum_{i=1}^{2K+1} a_i z^{-i} \qquad A(z) = \sum_{i=0}^{p} a_i z^{-i} \qquad a_0 = 1$$

$$x(n) + \sum_{i=1}^{p} a_i x(n-i) = \sigma u(n)$$

P = 2K+1

43

43

Mô hình ARMA (Autoregressive Moving Average)

$$T(z) = \frac{\sigma_1}{A_1(z)} + \frac{\sigma_2}{A_2(z)} = \sigma\frac{C(z)}{A(z)}$$

$$C(z) = \sum_{i=0}^{q} c_i z^{-i} \qquad c_0 = 1$$

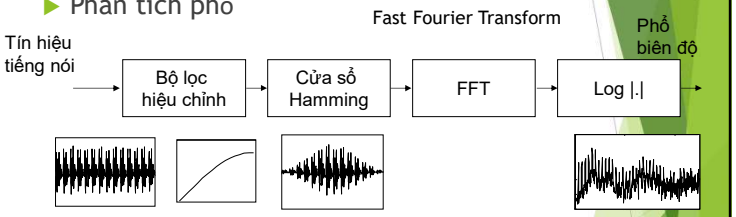
$$x(n) + \sum_{i=1}^{p} a_i x(n-i) = \sigma \sum_{i=0}^{q} c_i u(n-i)$$

44

44

1.6 Các kỹ thuật cơ bản xử lý tín hiệu tiếng nói

- Phân tích phổ

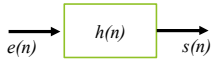


- Bộ lọc hiệu chỉnh $H(z) = 1 - az^{-1}$, $a = 0{,}95..0{,}98$

45

45

Xử lý đồng hình (homomorphic)

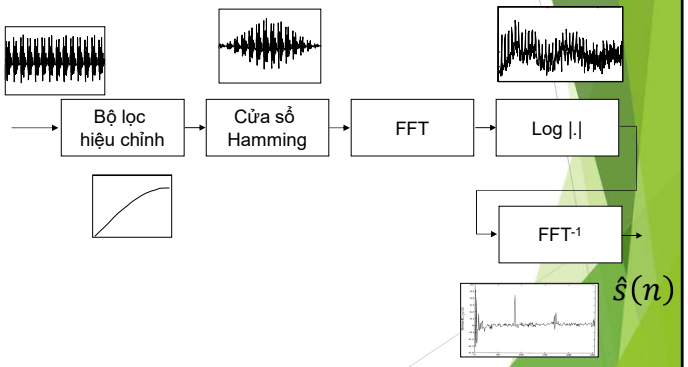


- $s(n) = h(n) * e(n) \rightarrow S(\omega) = H(\omega)E(\omega)$
- $\log S(\omega) = \log H(\omega) + \log E(\omega)$
- $\mathbb{F}^{-1}\{\log S(\omega)\} = \mathbb{F}^{-1}\{\log H(\omega)\} + \mathbb{F}^{-1}\{\log E(\omega)\}$
- $\hat{s}(n) = \hat{h}(n) + \hat{e}(n)$

46

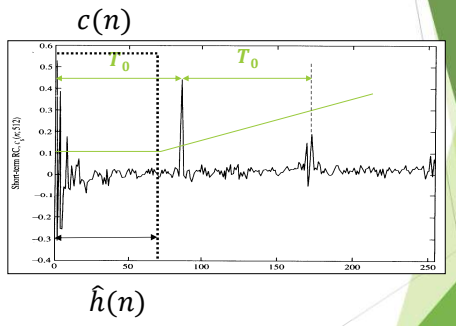
46

Sơ đồ khối xử lý đồng hình



47

Ví dụ



48

Tiên đoán tuyến tính (Linear Prediction Coding)

- Mô hình AR

$$x(n) + \sum_{i=1}^{p} a_i x(n-i) = \sigma u(n)$$

Tiên đoán

$$\hat{x}(n) = -\sum_{i=1}^{p} \hat{a}_i x(n-i)$$

Sai số tiên đoán

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n)$$

Sai số bình phương toàn phần

$$E = \sum_{n} e^2(n)$$

Tối thiểu hóa sai số

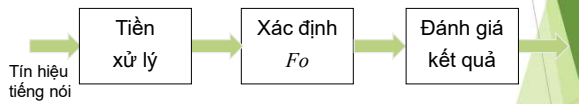
$$\frac{\partial E}{\partial \hat{a}_i} = 0, i = 1,2,\dots,p$$

49

49

Xác định tần số cơ bản

- Giá trị F_0 phụ thuộc vào giới tính và lứa tuổi
  - Giọng nam: 80..250 Hz
  - Giọng nữ: 150..500 Hz



50

Một số phương pháp xác định F_0

- Dựa vào hàm tự tương quan
- Dựa vào hàm vi sai biên độ trung bình
- Xử lý đồng hình

51

51

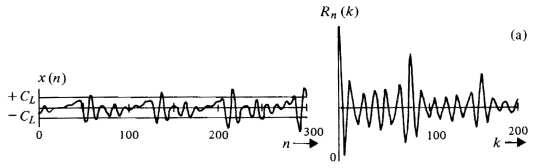
Dựa vào hàm tự tương quan

- Tính hàm tự tương quan $R(k)$ của tín hiệu tiếng nói $x(n)$

$$R(k) = \sum_{n=0}^{N-1-k} x(n)x(n+k) \quad k = 0,1,\dots,K$$

$Fs = 10\,kHz, N = 300, K = 150.$

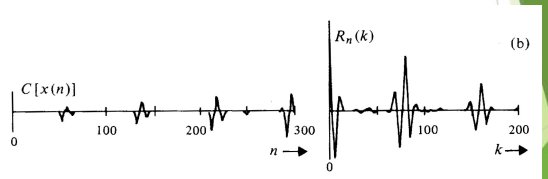
Tìm cực đại trong khoảng $(0, K)$



52

Phương pháp tự tương quan có cải tiến

- Hạn chế, loại bỏ $|x| < C_L$



53

53

Dựa vào hàm vi sai biên độ trung bình

(AMDF- Average Magnitude Difference Function)

$$D(k) = \sum_{m=0}^{N-1} |x(n+m) - x(n+m-k)| \quad k = 0,1,...,K$$

$$D(iP) = 0, \quad i = 0,1,... \qquad \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}|u(n)| \le \left[\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}u^2(n)\right]^{1/2}$$

$$D(k) = \lambda\left\{\frac{1}{N}\sum_{m=0}^{N-1}[x(n+m) - x(n+m-k)]^2\right\}^{1/2}$$

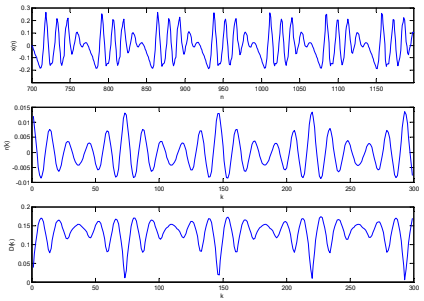
$$= \lambda\left\{\frac{1}{N}[2r(0) - 2r(k)]\right\}^{1/2} \qquad k = 0,1,...,K$$

với $\lambda < 1$

54

54

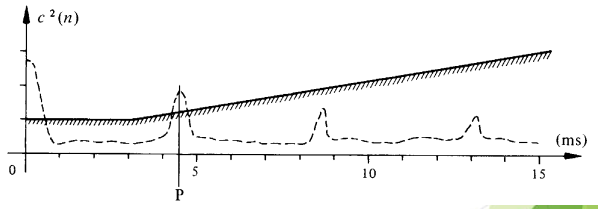
Ví dụ



55

55

Xử lý đồng hình



56

56

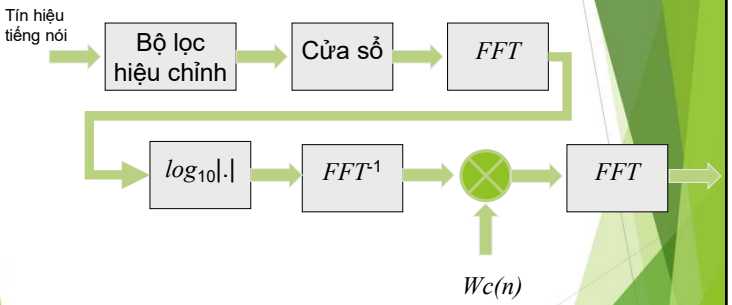
Xác định formant

- Tham số cần xác định
  - Formant F_k
  - Dải thông B_k
- Phương pháp
  - Xử lý đồng hình
  - LPC

57

57

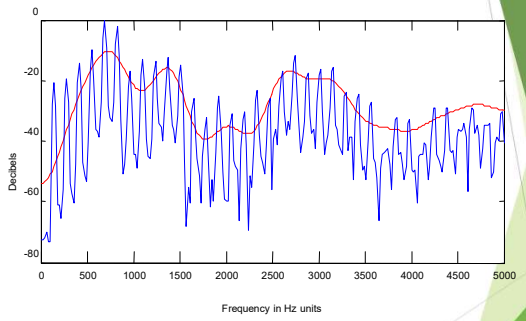
Xử lý đồng hình



58

58

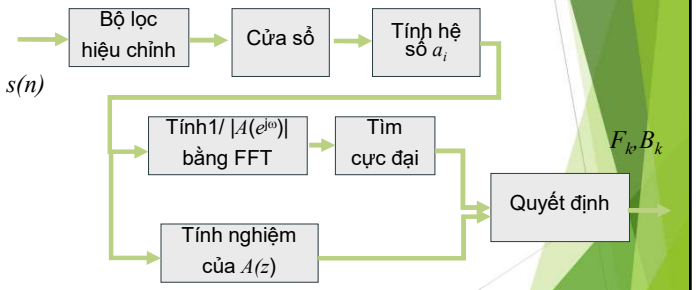
Xử lý đồng hình



59

59

Phương pháp LPC



60

60