

Trường Đại Học Bách Khoa - Đại Học Đà Nẵng

# BÁO CÁO BÀI TẬP NHÓM XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ

GVHD: TS. Ninh Khánh Duy

Nhóm 10 - 21Nh10

- Nguyễn An Hưng
- Nguyễn Cửu Nhật Quang
- Nguyễn Thúc Hoàng
- Nguyễn Văn Trường Sơn

## BẢNG PHÂN CÔNG CÔNG VIỆC

Thành viên	Nhiệm vụ
Nguyễn An Hưng (Trưởng Nhóm)	Phân chia công việc cho từng thành viên, quản lý tiến độ công việc, set-up source code chung cho toàn bộ dự án, làm slide. Làm bài 3 phần cải thiện độ chính xác
Nguyễn Thúc Hoàng	Làm slide và làm bài 1
Nguyễn Cửu Nhật Quang	Làm slide và làm bài 2
Nguyễn Văn Trường Sơn	Làm slide và làm bài 3 phần MFCC

# NỘI DUNG

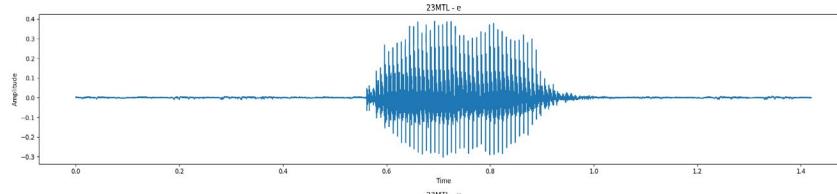
- **PHẦN 1: PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHỔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI**
  - Xuất ảnh phổ băng rộng (wide - spectrogram)
  - Xuất bảng dữ liệu bộ 3 tần số Formant (thủ công & thuật toán ước tính tự động)
- **PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT**
  - Thuật toán và các bước tiến hành
  - Kết quả thực nghiệm
  - Nhận xét và kết luận
- **PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**
  - Xây dựng phương pháp trích xuất đặc trưng sử dụng đặc trưng phổ MFCC
  - Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC
  - Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means (clustering)
  - Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp KNN (K-Nearest Neighbors)
  - Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp CatBoost
- **PHẦN 4: SO SÁNH VÀ TỔNG KẾT**

PHẦN 1: PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHÔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI

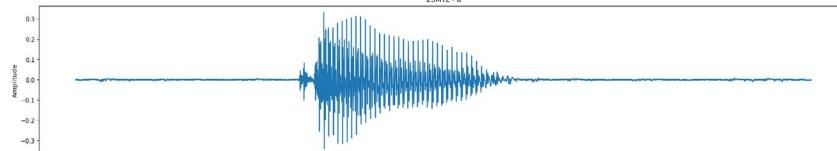
# Xuất ảnh phô bắng rộng (wide - spectrogram)

Người nói: 23MTL

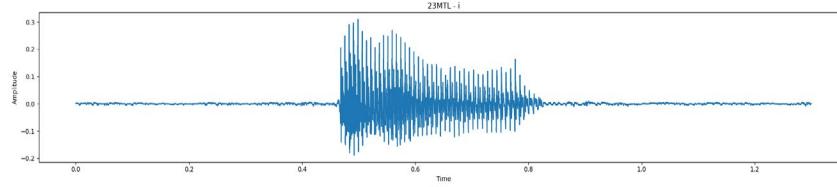
/e/



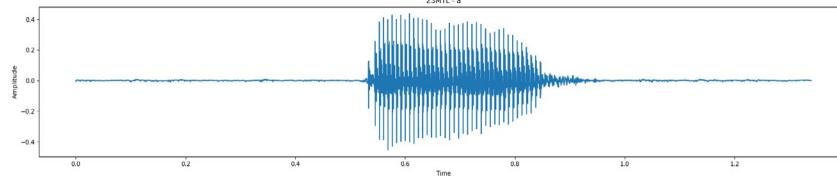
/u/



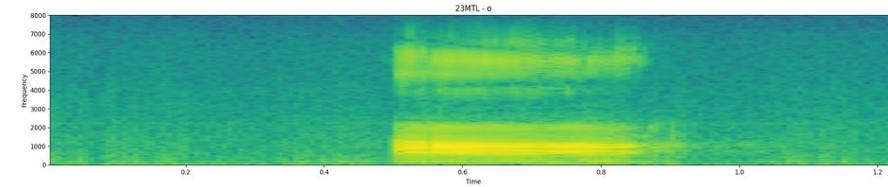
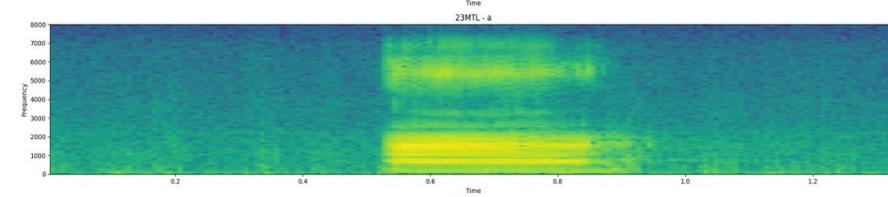
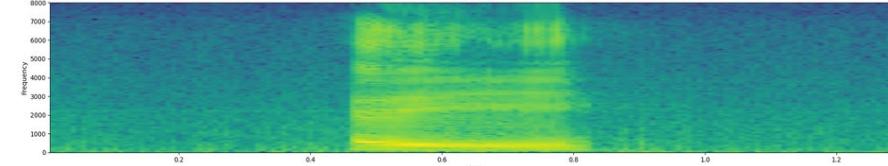
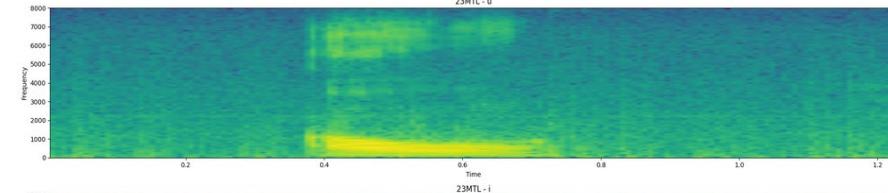
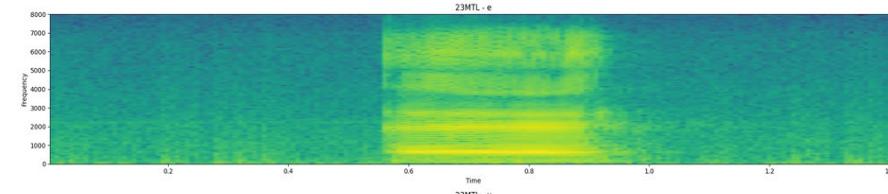
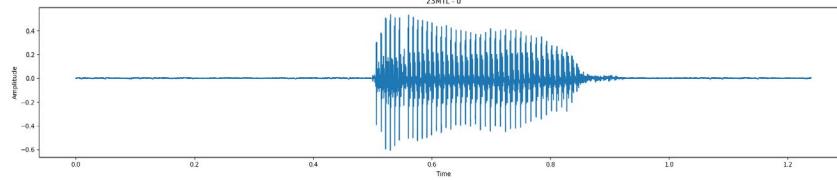
/i/



/a/



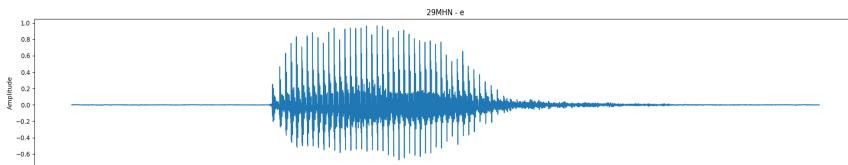
/o/



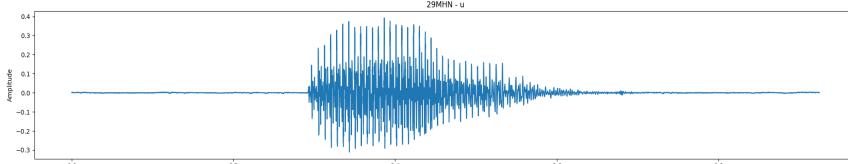
**PHẦN 1: PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHÔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI**  
**Xuất ảnh phô bắng rộng (wide - spectrogram)**

Người nói: 29MHN

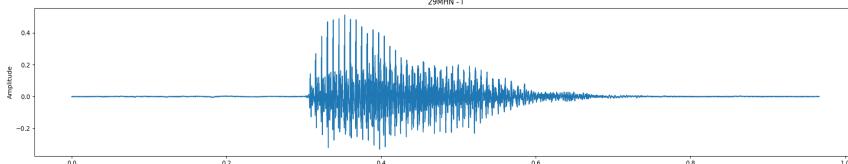
/e/



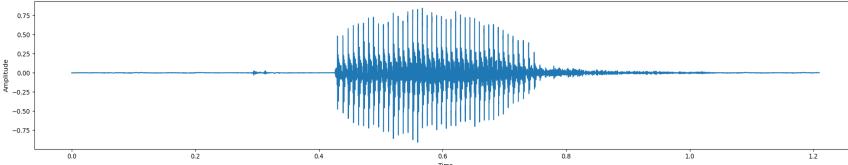
/u/



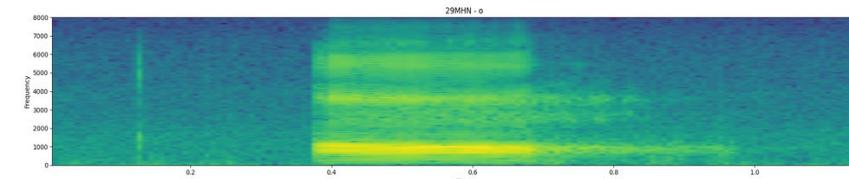
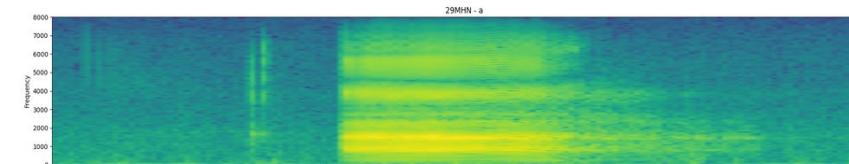
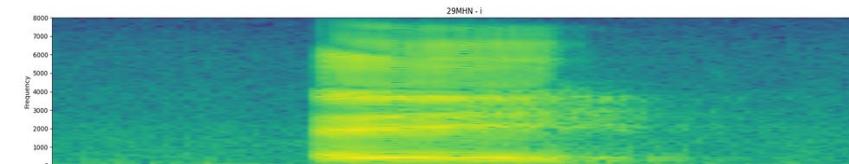
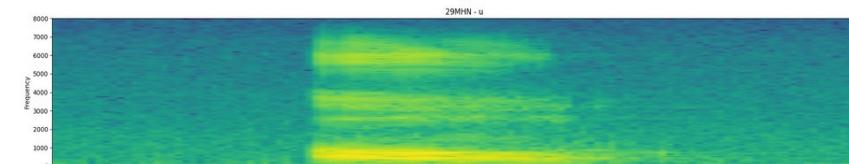
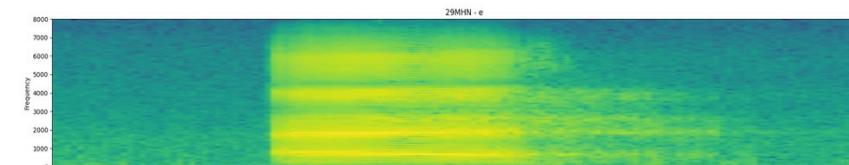
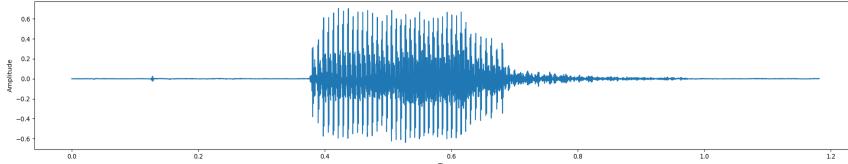
/i/



/a/

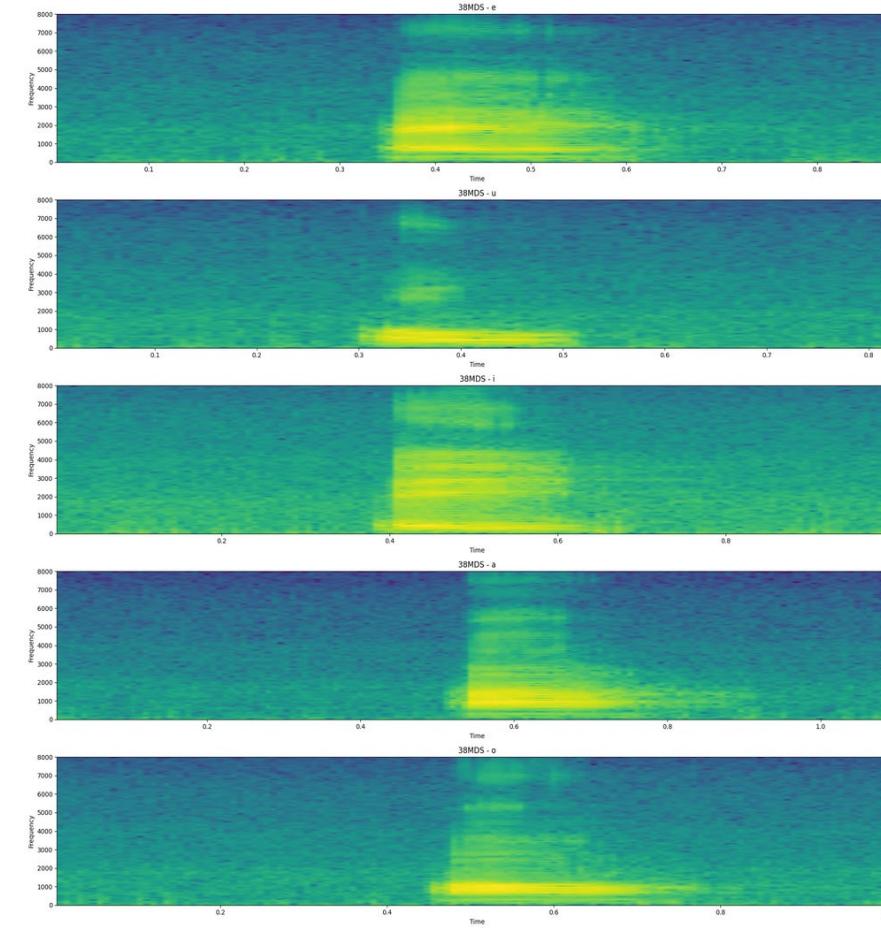
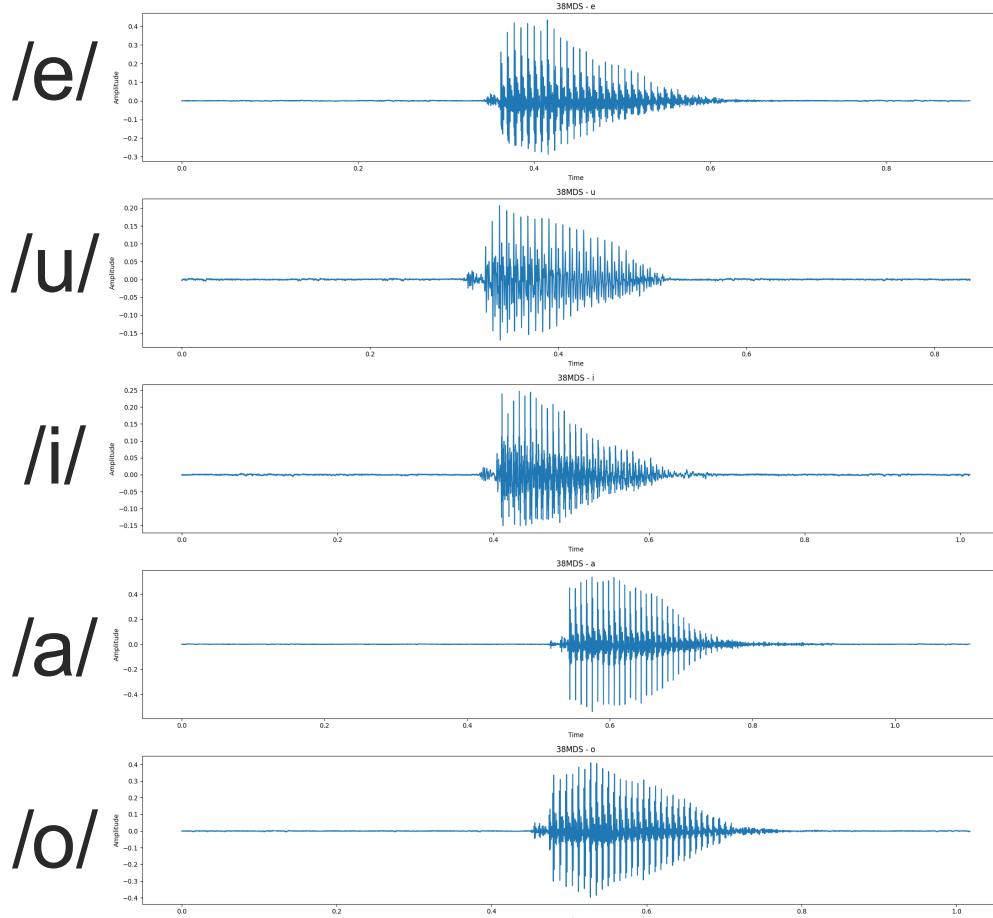


/o/



**PHẦN 1: PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHÔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI**  
**Xuất ảnh phô bắng rộng (wide - spectrogram)**

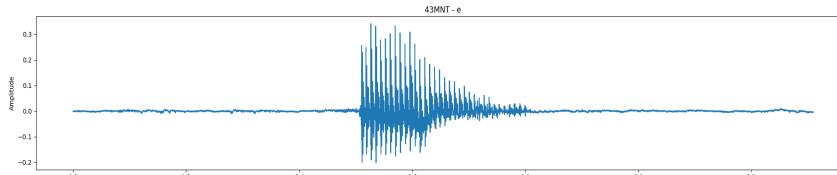
Người nói: 38MDS



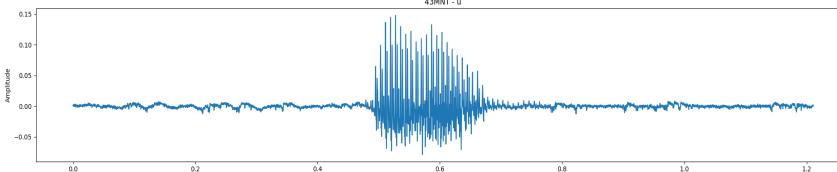
**PHẦN 1: PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHÔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI**  
**Xuất ảnh phô bắng rộng (wide - spectrogram)**

Người nói: 43MNT

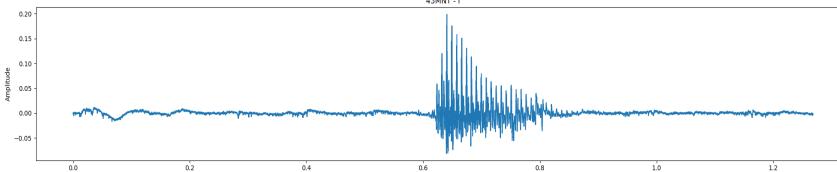
/e/



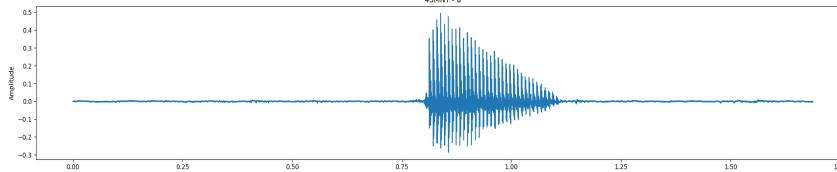
/u/



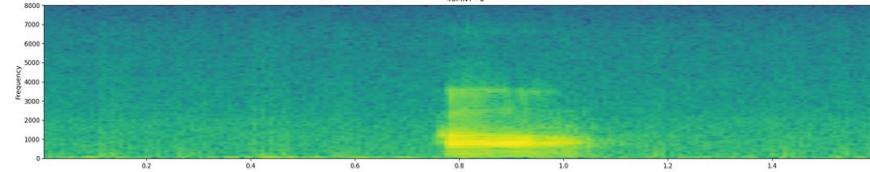
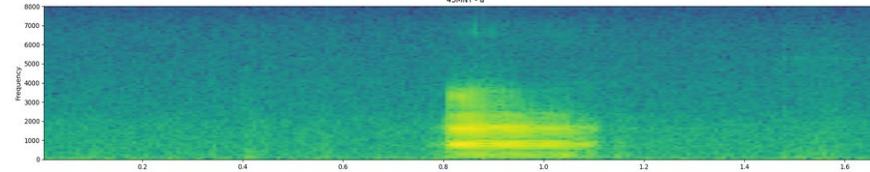
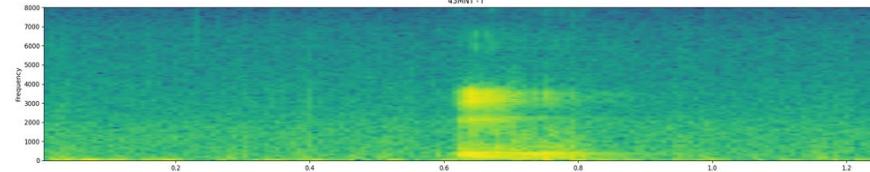
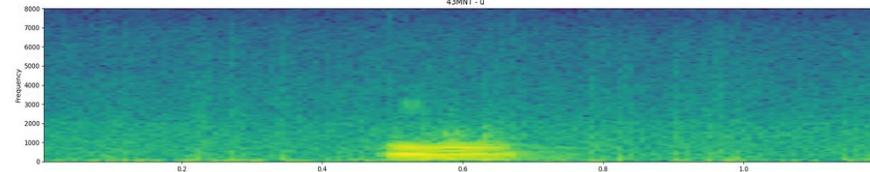
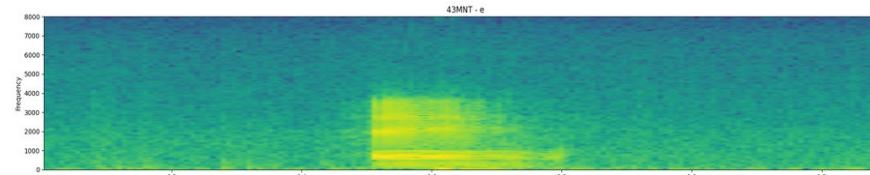
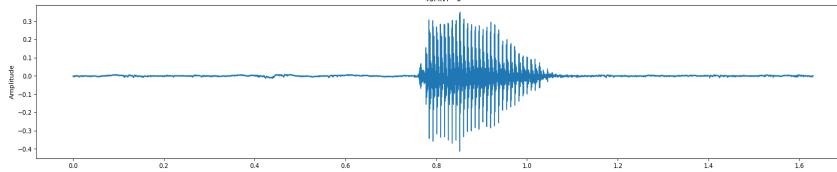
/i/



/a/



/o/

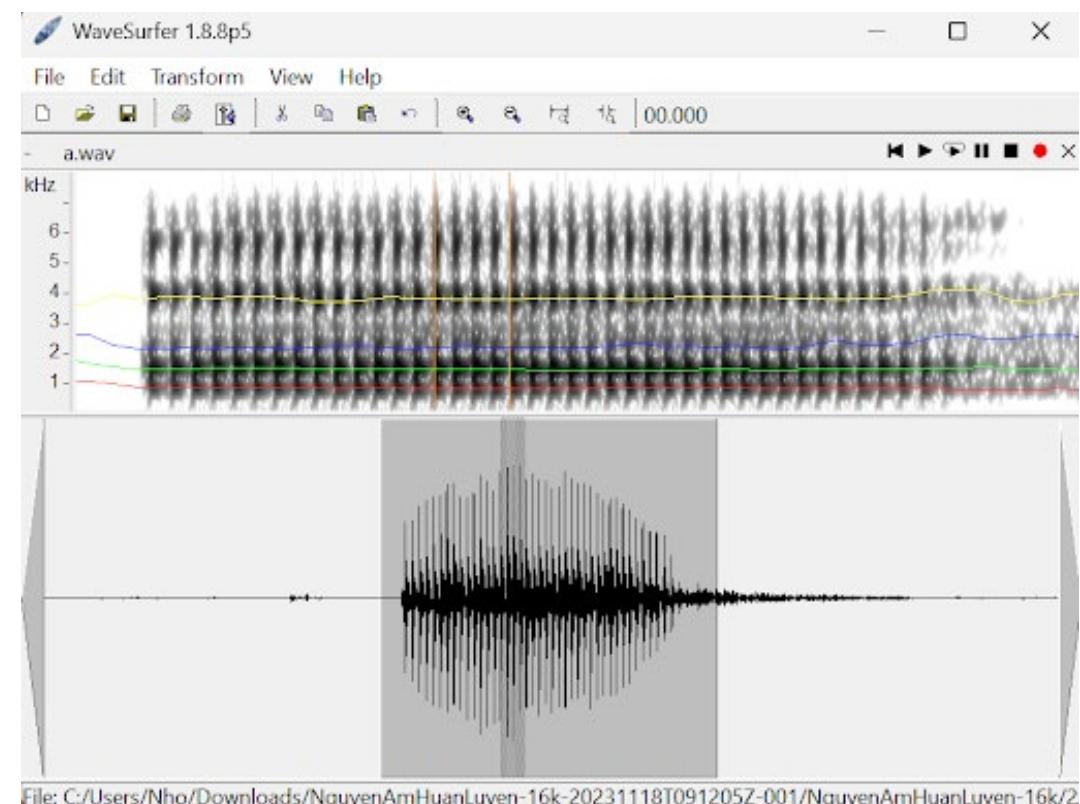


**PHẦN 1:** PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHỔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI

# Xuất bảng dữ liệu bộ 3 tần số Formant (thủ công & thuật toán ước tính tự động)

Dữ liệu bộ 3 tần số formant 5 nguyên âm của 1 người nói

```
Statistics for data in pane 1
Column 0 mean: 854.678772 sd: 3.758072
Column 1 mean: 1484.319661 sd: 2.846339
Column 2 mean: 2210.901204 sd: 23.627358
Column 3 mean: 3806.316895 sd: 16.242733
-----
Statistics computed between 0.5432784576534576 and 0.573356157731
1577
```



Minh họa khảo sát tín hiệu người nói: 29MHN  
(Đo thủ công bằng phần mềm WaveSurfer)

File: C:/Users/Nho/Downloads/NguenAmHuanLuyen-16k-20231118T091205Z-001/NguenAmHuanLuyen-16k/2

**PHẦN 1:** PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHỔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI

# Xuất bảng dữ liệu bộ 3 tần số Formant (thủ công & thuật toán ước tính tự động)

Đo thủ công bằng WaveSurfer

		/a/	/e/	/i/	/o/	/u/
29MHN	F1mean(Hz)	856	727	433	740	488
	F2mean(Hz)	1478	1772	1941	979	770
	F3mean(Hz)	2202	2438	2610	2384	2559

Sử dụng LPC

		/a/	/e/	/i/	/o/	/u/
29MHN	F1mean(Hz)	834	663	408	728	481
	F2mean(Hz)	1464	1828	2047	960	633
	F3mean(Hz)	2366	2548	2799	2745	2840

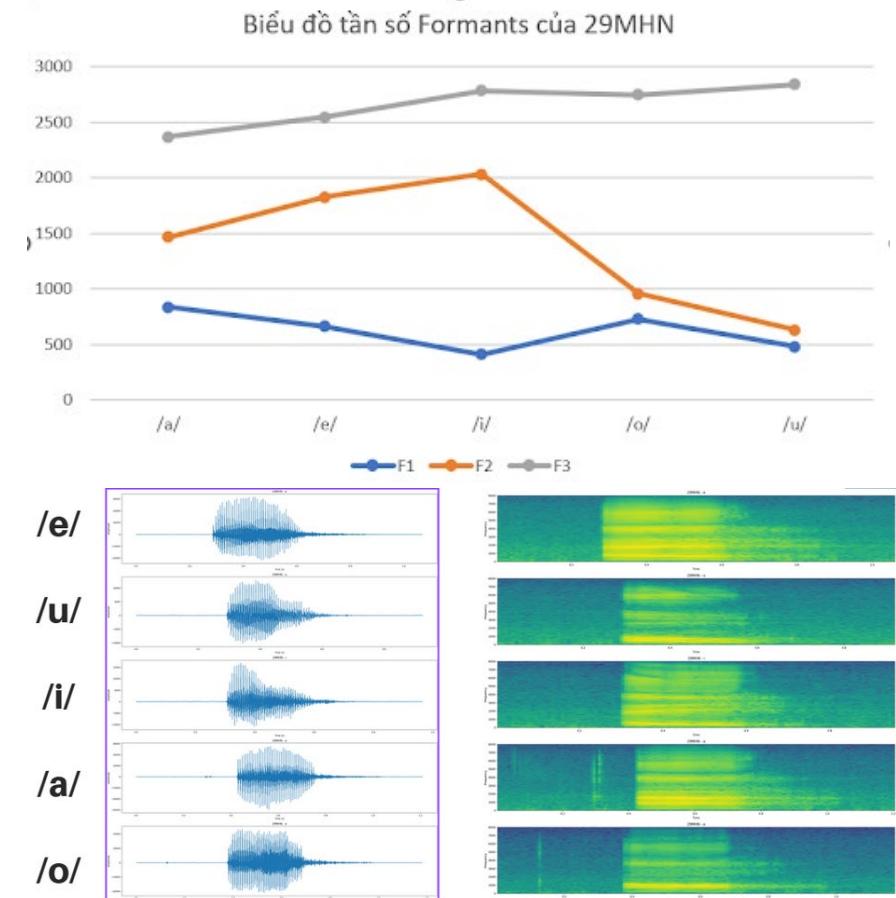
Kết quả khảo sát tín hiệu người nói: 29MHN

**PHẦN 1:** PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG PHỔ CÁC NGUYÊN ÂM NHIỀU NGƯỜI NÓI

# Xuất bảng dữ liệu bộ 3 tần số Formant (thủ công & thuật toán ước tính tự động)

## NHẬN XÉT:

- Tần số F1 và F3 của 5 nguyên âm có sự khác biệt không đáng kể ( $\Delta \sim 500\text{Hz}$ ).
- Tần số F2 của 5 nguyên âm có sự khác biệt đáng kể ( $\Delta \sim 1400\text{Hz}$ ).
- Nguyên âm /i/ có tần số F1 thấp nhất
- Nguyên âm /o/ và /u/ có sự khác biệt đáng kể giữa F2 và F3

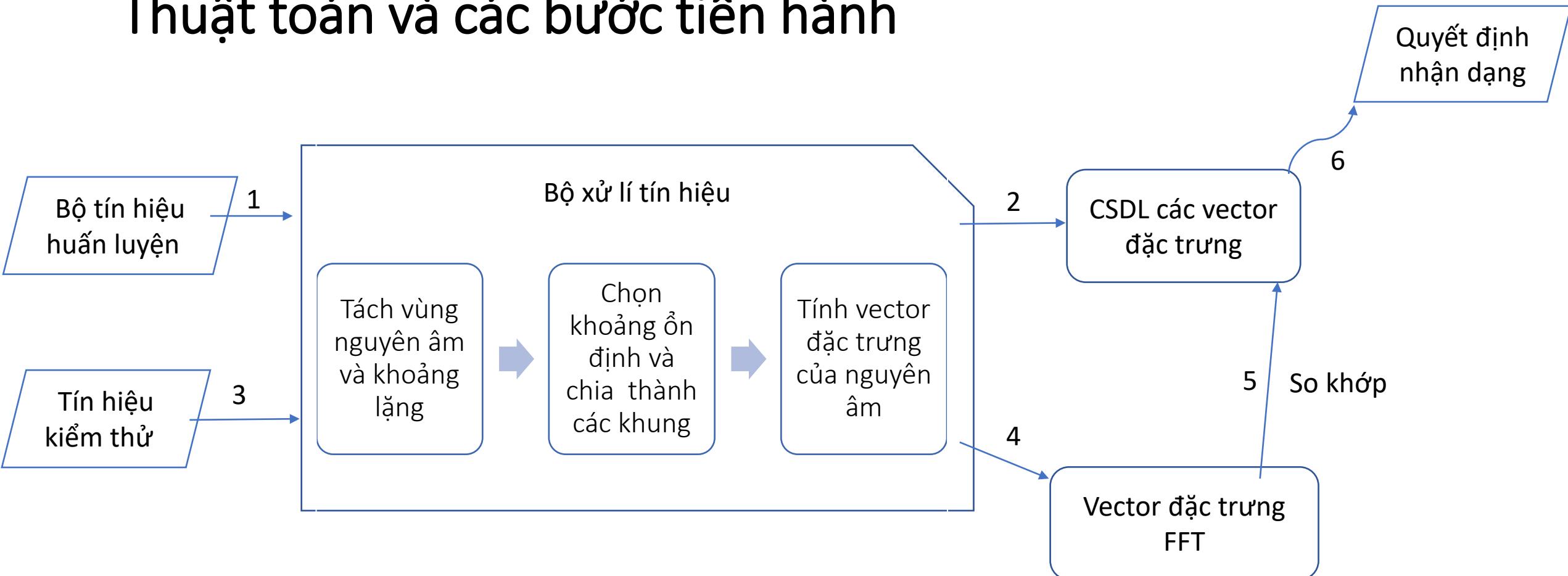


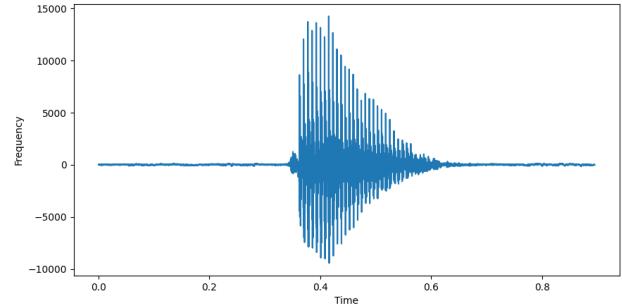
## PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

- Thuật toán và các bước tiến hành
- Kết quả thực nghiệm
- Nhận xét và kết luận

## PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

# Thuật toán và các bước tiến hành

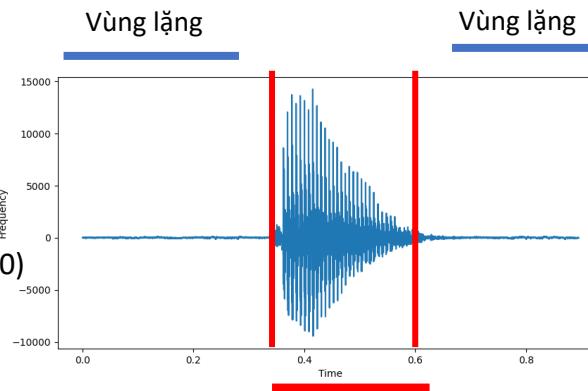




INPUT

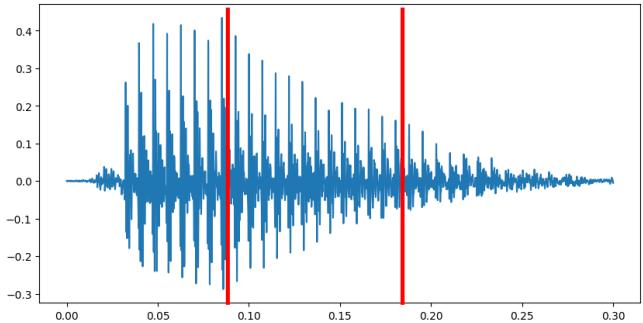
$$\varepsilon_i = STE(X_i)$$

(thr:0.01, w\_len:0.03, ovrlap: 0.0)



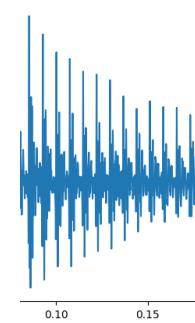
Vùng âm thanh

$$\varepsilon_i > STE_{threshold}$$

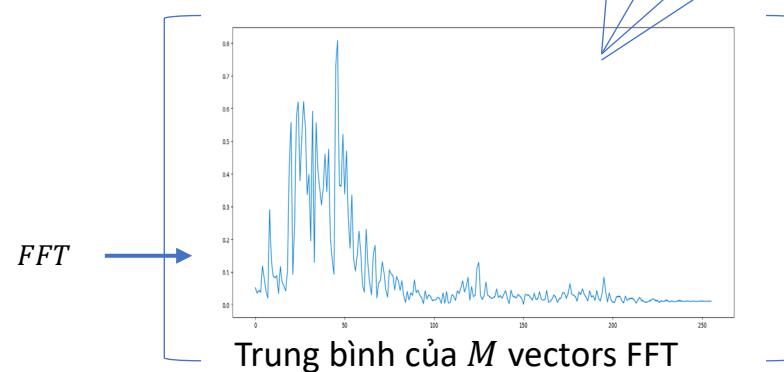


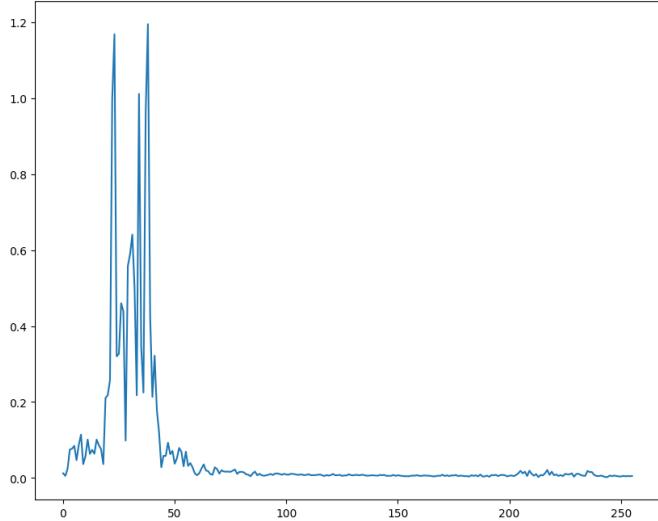
Vùng âm thanh

Chọn phần ổn định

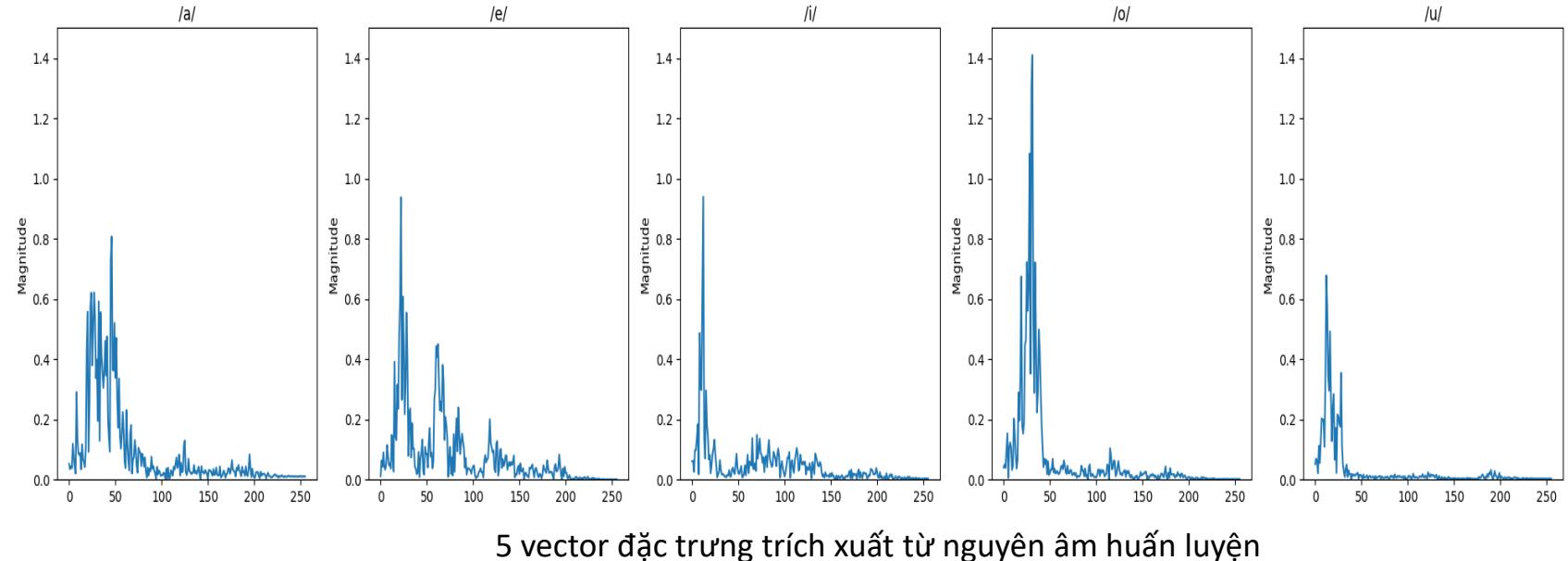


Chia thành  $M$  frames





Vector đặc trưng của nguyên âm kiểm thử



5 vector đặc trưng trích xuất từ nguyên âm huấn luyện

**Tính khoảng cách Euclidean**

- $d_k = \sum_{i=1}^{NFFT} |v_i - Vt_i|$

**Dự đoán nhãn với khoảng cách nhỏ nhất**

- $\min(d) \Rightarrow label_{predict}$

**Kiểm tra kết quả**

- So sánh  $label_{input}$  và  $label_{predict}$

**PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT**

## Kết quả thực nghiệm

*Bộ tham số sử dụng:*

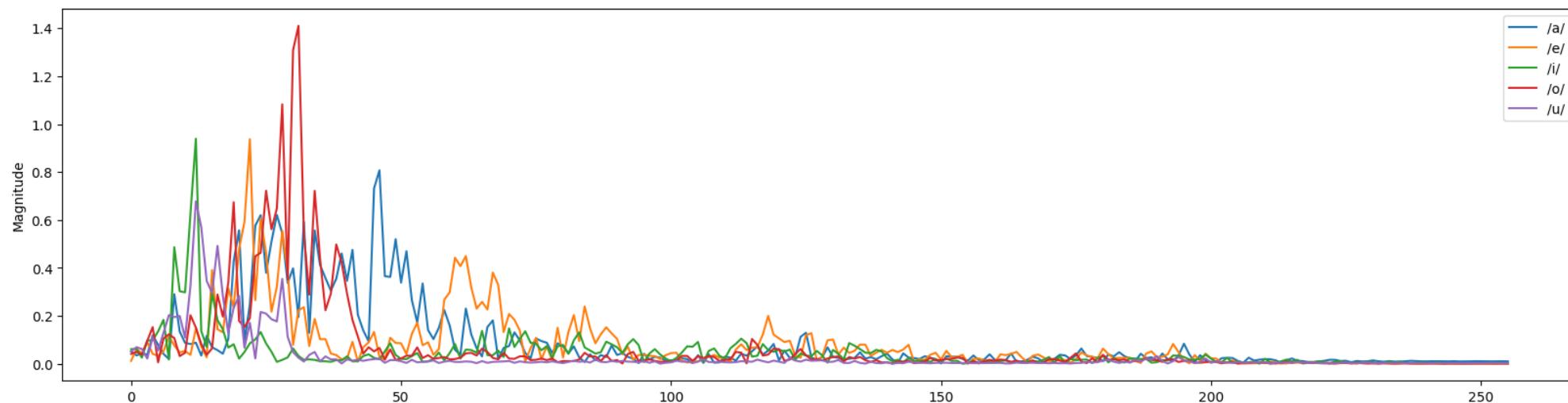
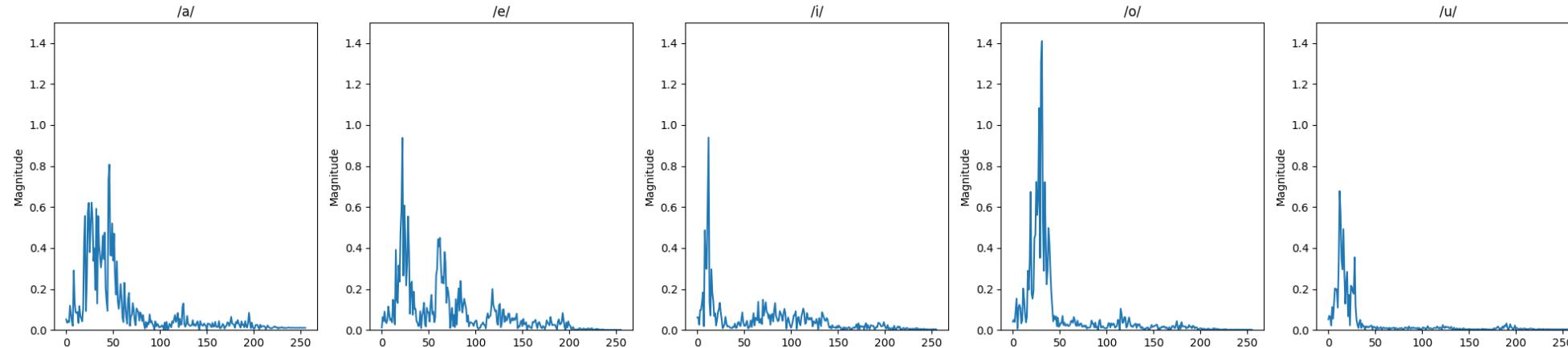
1. Phân biệt vùng nguyên âm và vùng khoảng lặng bằng Short-Time Energy
  - Kích thước khung: 30ms
  - Độ dịch khung: 30ms
  - STE threshold: 0.01
2. Tính vector đặc trưng bằng FFT
  - Khoảng ổn định: 1/3 chính giữa vùng nguyên âm
  - Kích thước khung: 60ms
  - Số khung:  $M = 3$
  - Hàm cửa sổ: Triangular window (Bartlett window)

## PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

# Kết quả thực nghiệm

N<sub>FFT</sub> = 512

Vector đặc trưng với FFT (N = 512)

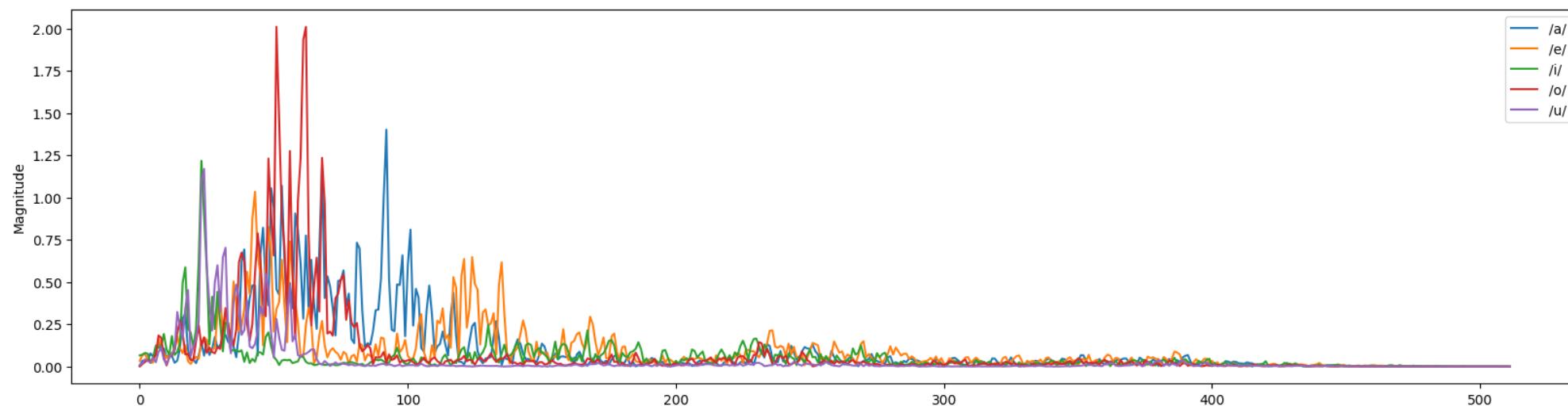
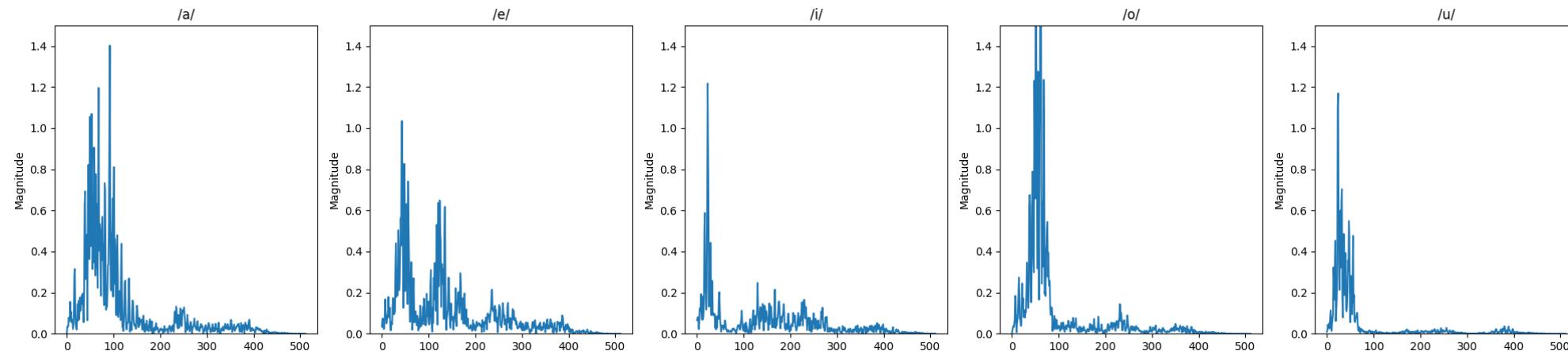


## PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

# Kết quả thực nghiệm

N\_FFT = 1024

Vector đặc trưng với FFT (N = 1024)

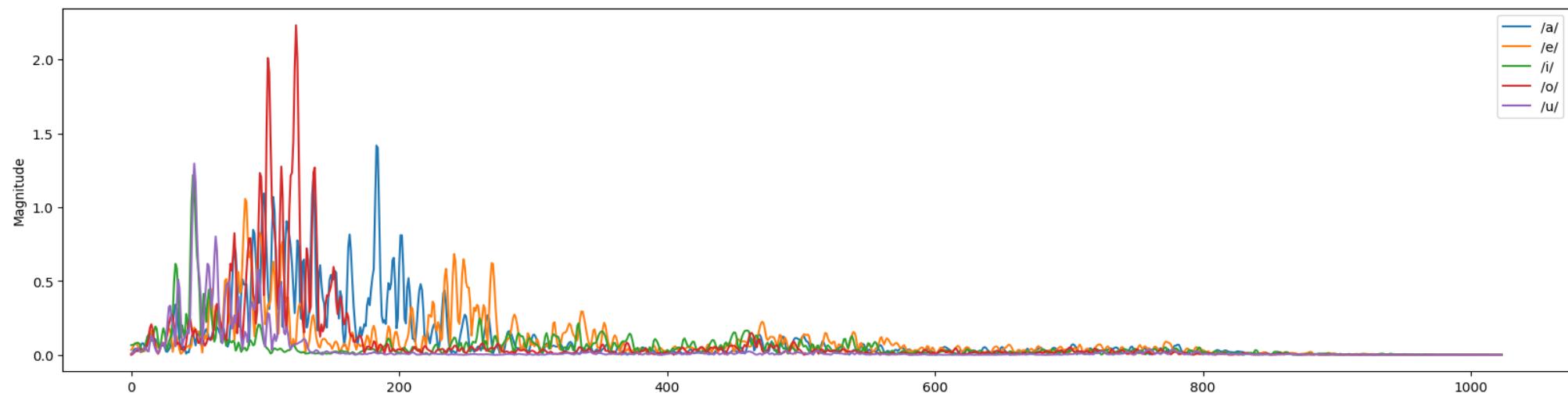
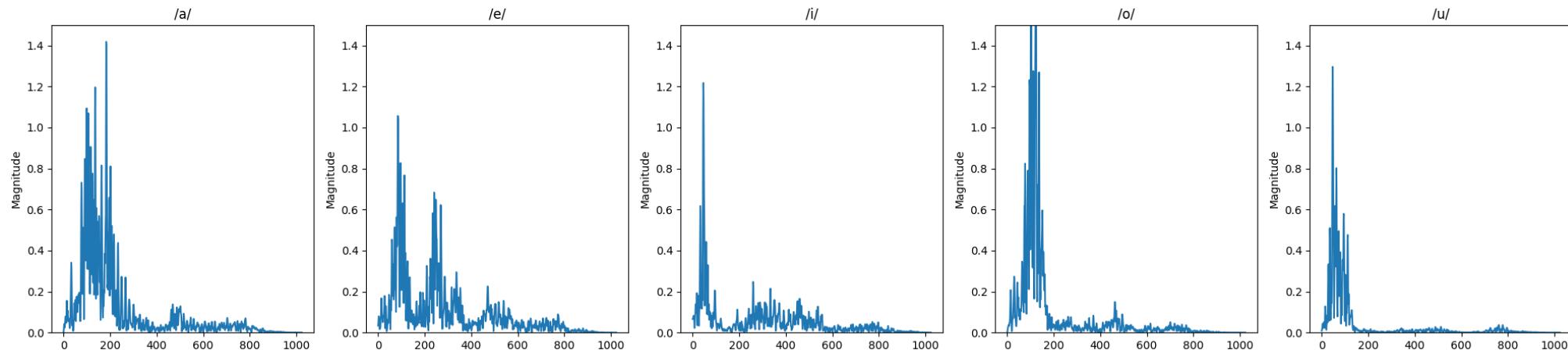


PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

# Kết quả thực nghiệm

N\_FFT = 2048

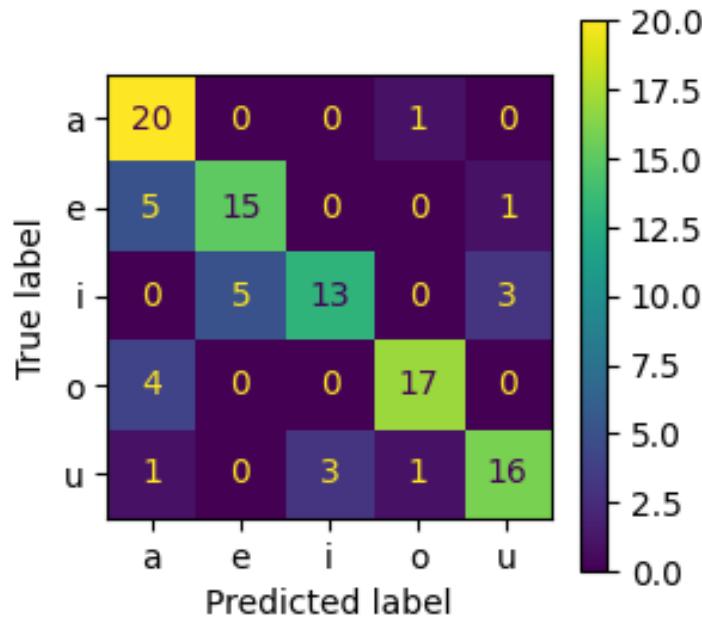
Vector đặc trưng với FFT (N = 2048)



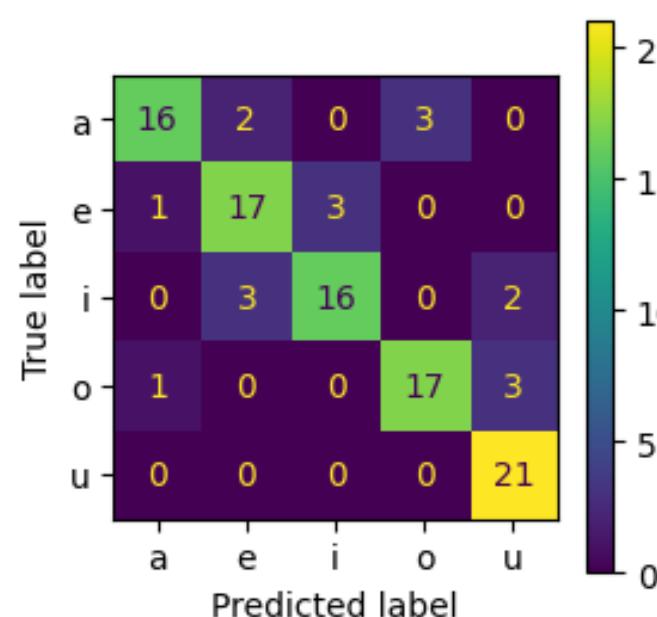
PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

## Kết quả thực nghiệm

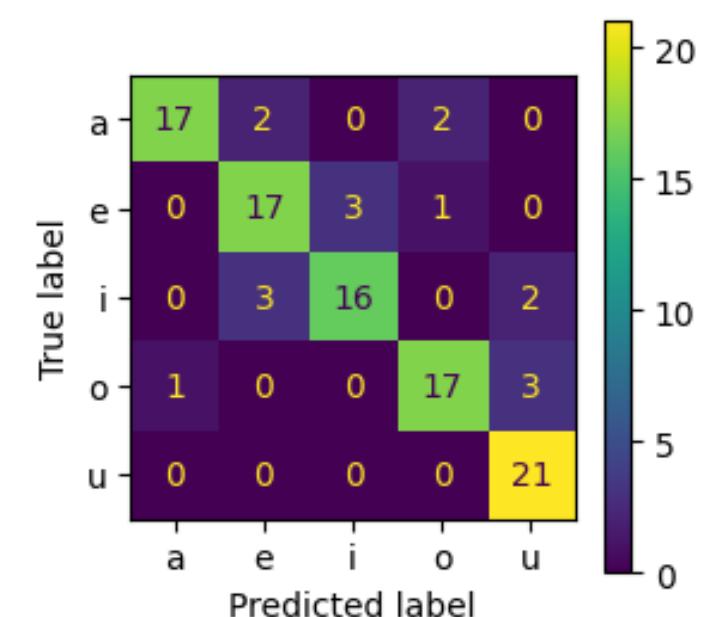
(N\_FFT = 512)



(N\_FFT = 1024)



(N\_FFT = 2048)



Ma trận nhầm lẫn

## PHẦN 2: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI DÙNG ĐẶC TRƯNG PHỔ FFT

# Nhận xét và kết luận

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
N_FFT = 512	95,24%	71,43%	61,90%	80,95%	76,19%	77,14%
N_FFT = 1024	76,19%	80,95%	76,19%	80,95%	100%	82,86%
N_FFT = 2048	80,95%	80,95%	76,19%	80,95%	100%	83,81%

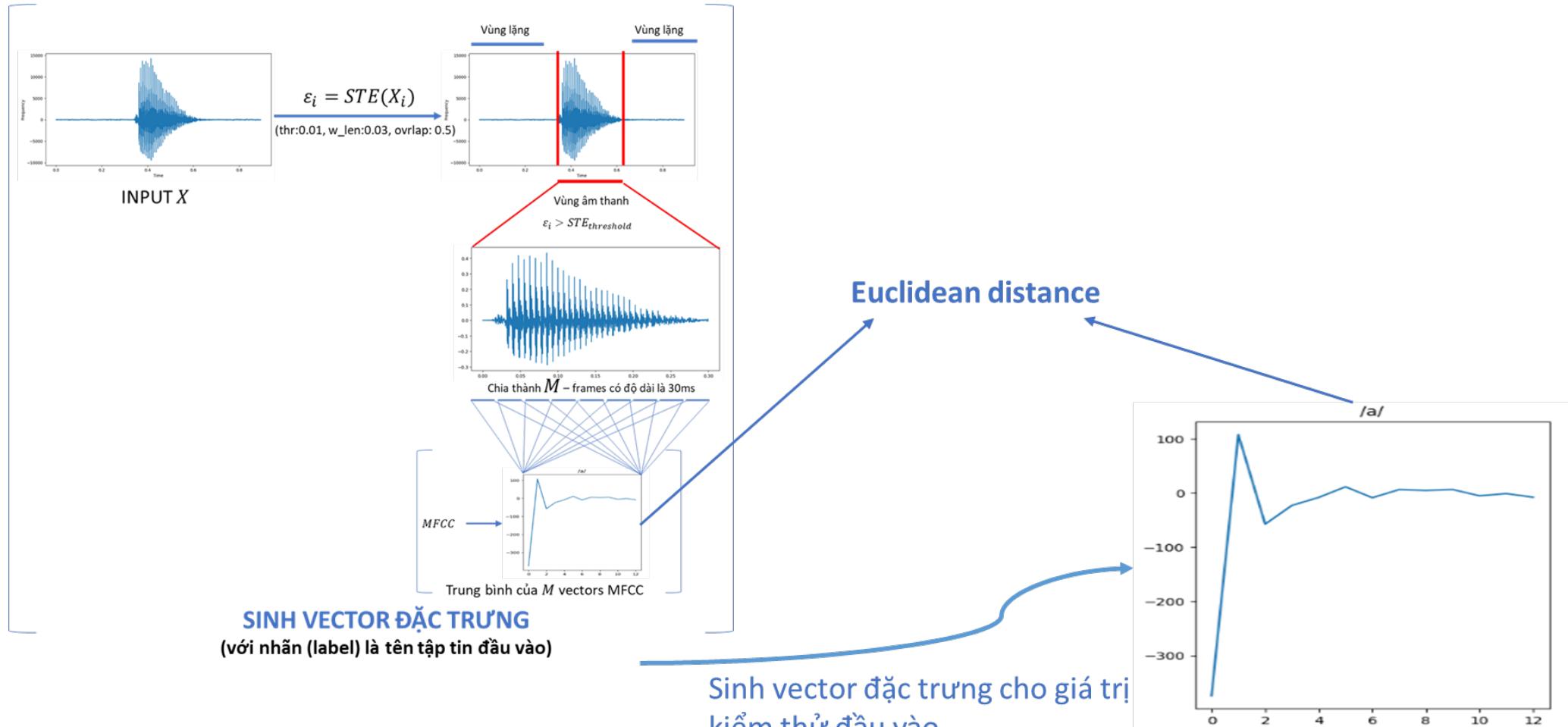
- Nguyên âm /i/ có độ dự đoán chính xác trung bình thấp nhất (71.42%).
- Nguyên âm /u/ có độ dự đoán chính xác trung bình cao nhất (92.06%).
- Độ dự đoán chính xác trung bình khi N\_FFT = 512 nhỏ nhất, N\_FFT = 1024 và 2048 có độ chính xác cao hơn.
- Với N\_FFT = 1024 và 2048, kết quả trung bình tương tự nhau (chênh lệch không đáng kể).
- Nhìn chung độ dự đoán chính xác trung bình khá cao (81.27%).

## **PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**

- Xây dựng phương pháp trích xuất đặc trưng sử dụng đặc trưng phổ MFCC
- Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC
- Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means clustering
- Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp KNN (K-Nearest Neighbors)
- Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp CatBoost

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

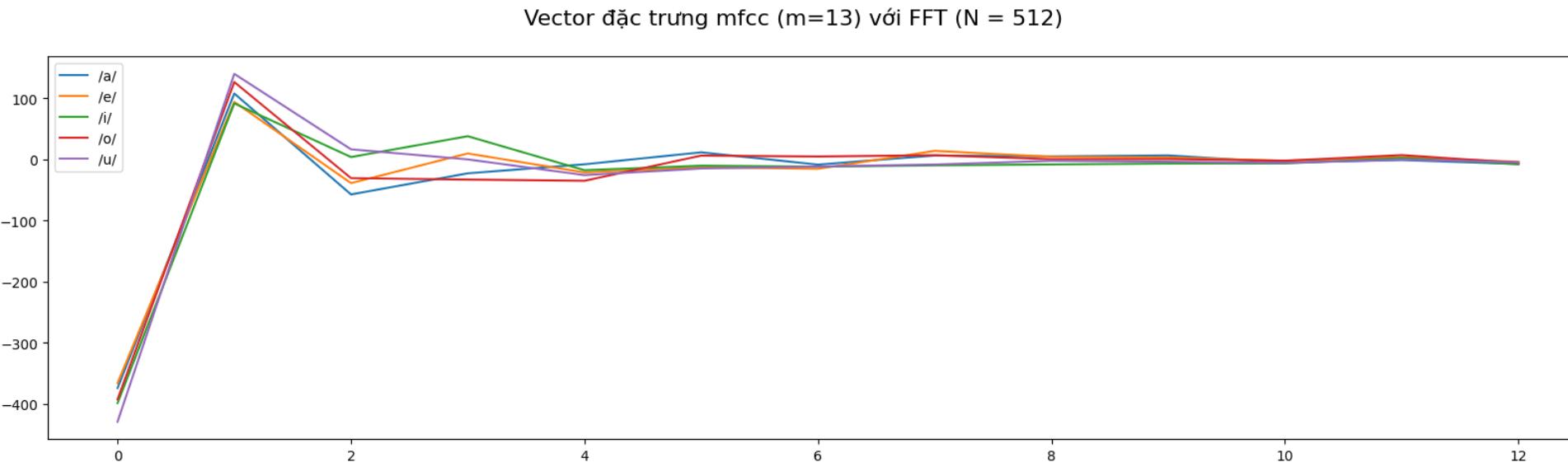
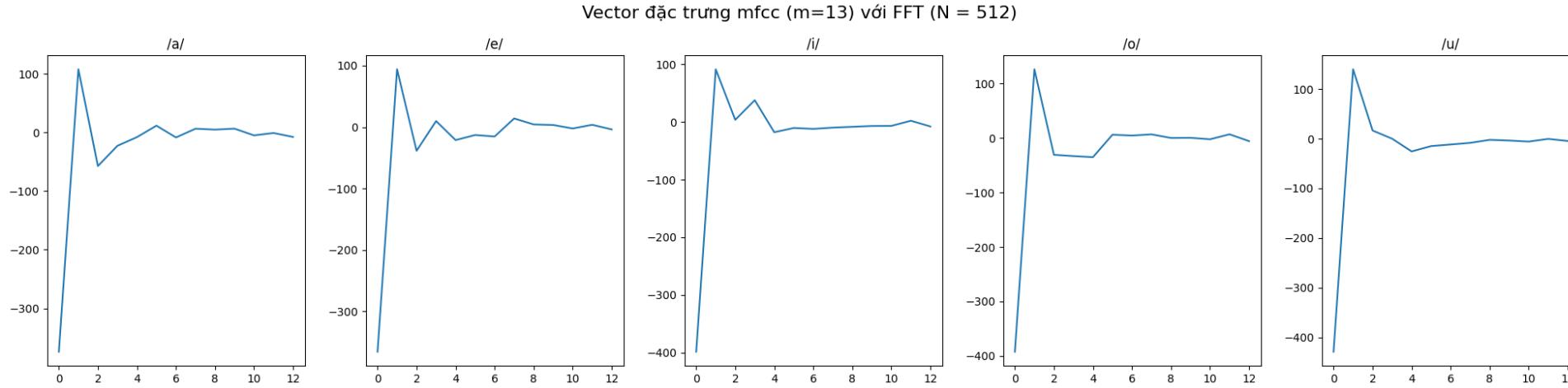
### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC



**Thực hiện với những nhãn khác (còn lại)**  
Sau đó xem xét giá trị Euclidean distance thấp nhất là nhãn của đầu vào

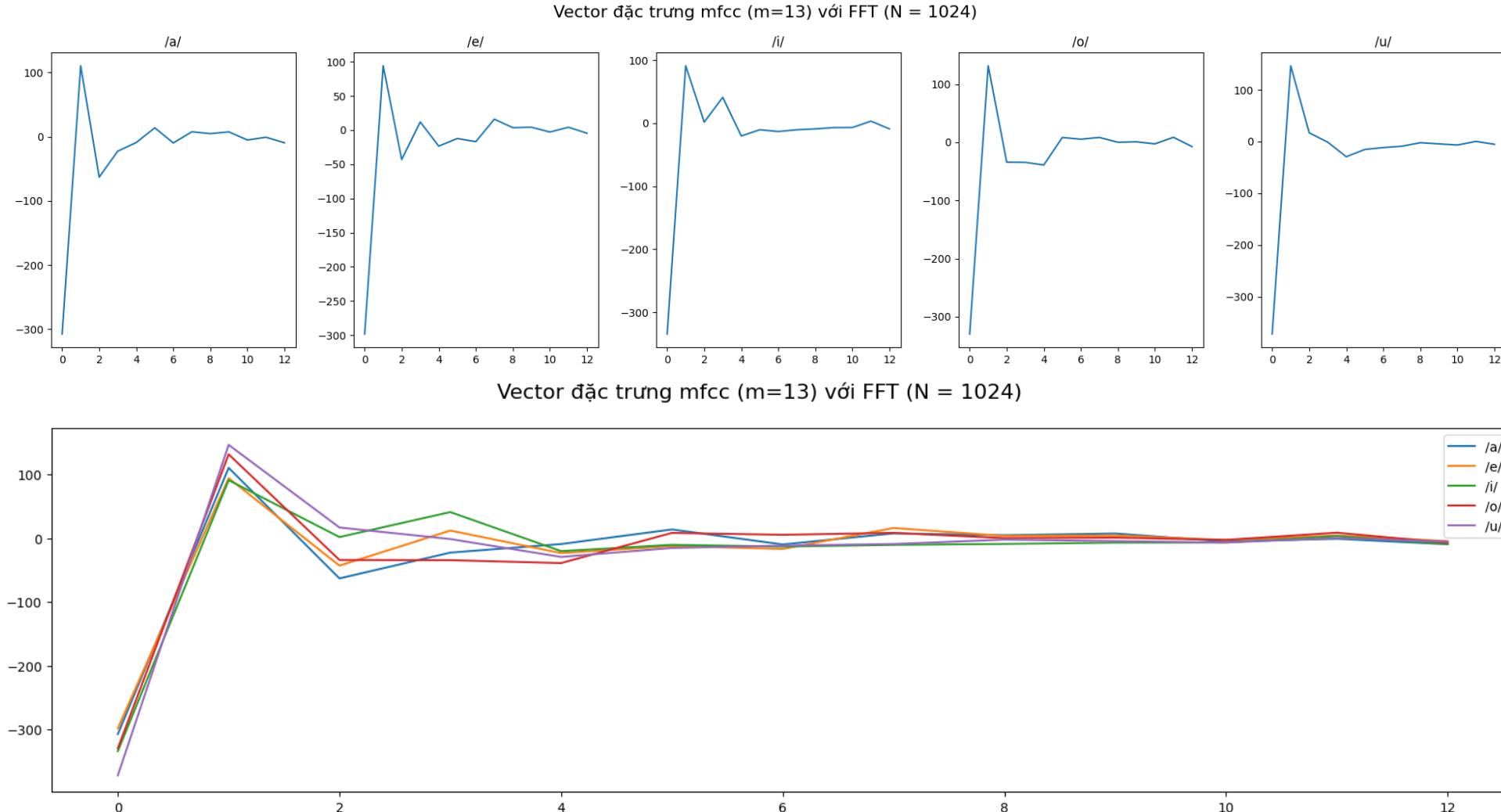
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC



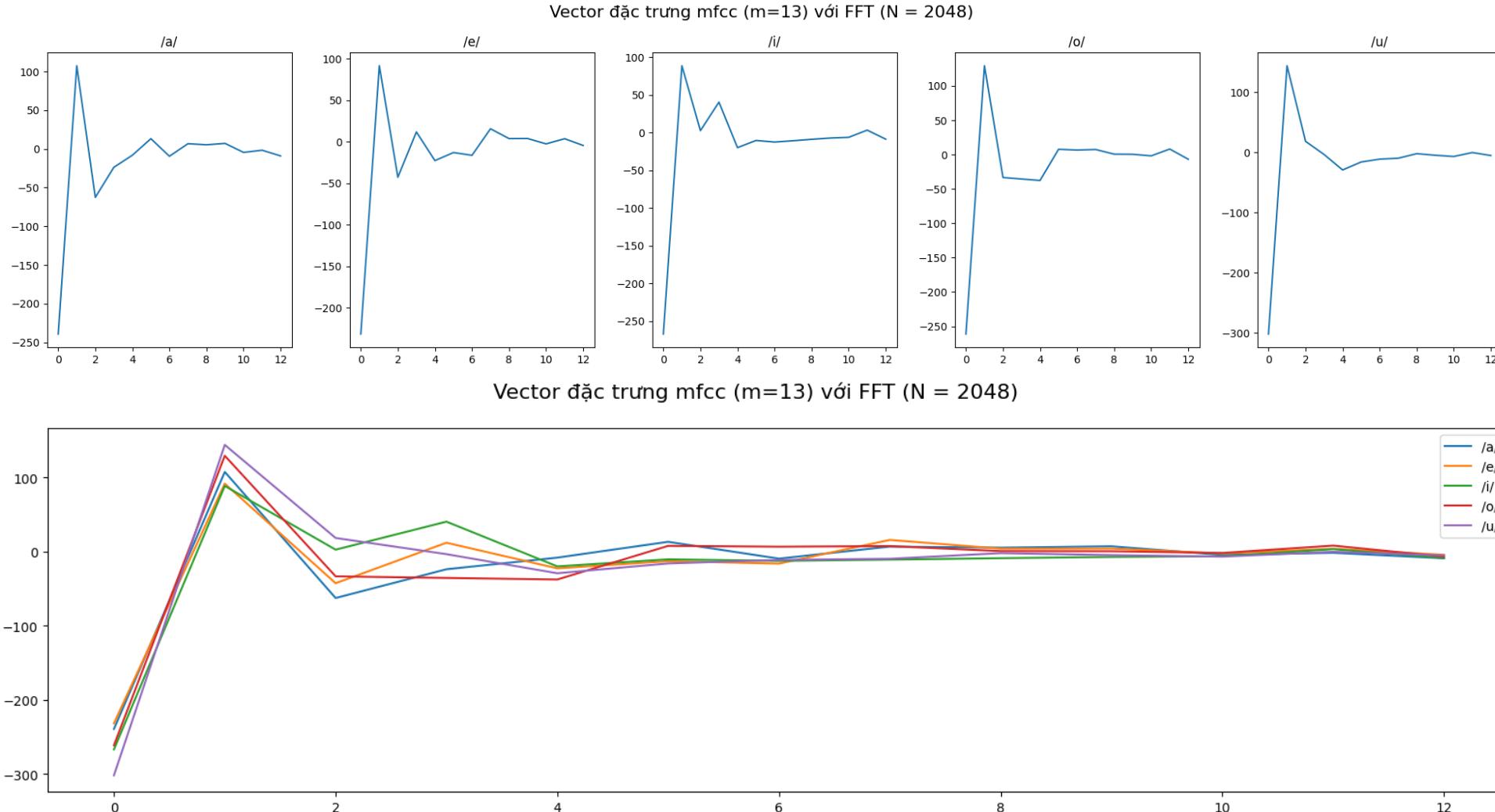
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC



## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

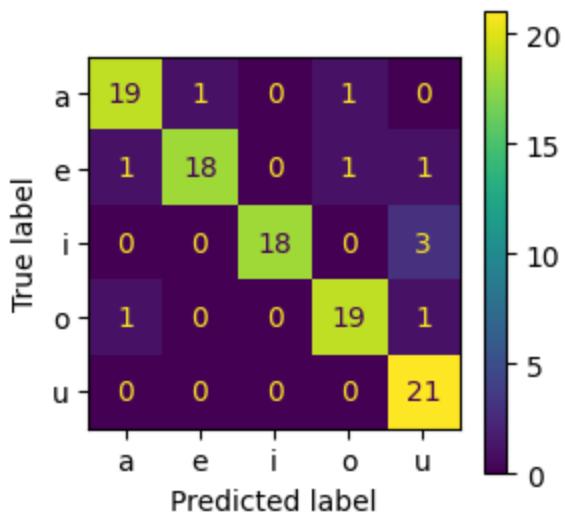
### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC



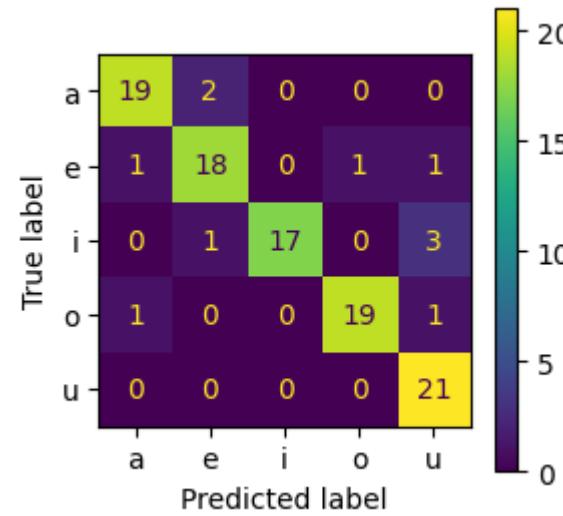
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC

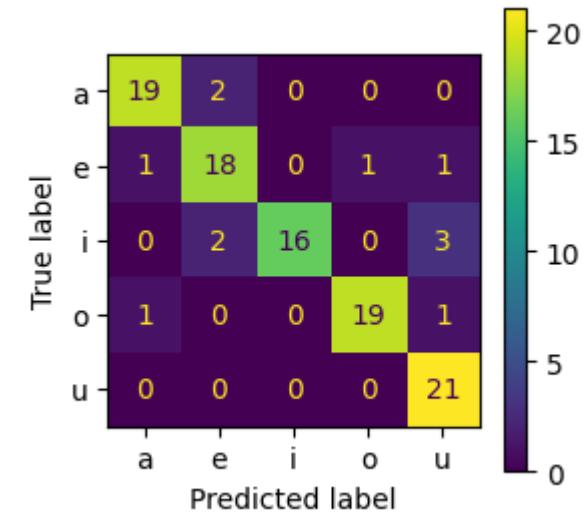
Kết quả thực nghiệm (Confusion Matrix)



(N\_FFT = 512)  
(acc: 0.904761904762)



(N\_FFT = 1024)  
(acc: 0.895238095238)



(N\_FFT = 2048)  
(acc: 0.885714285714)

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC

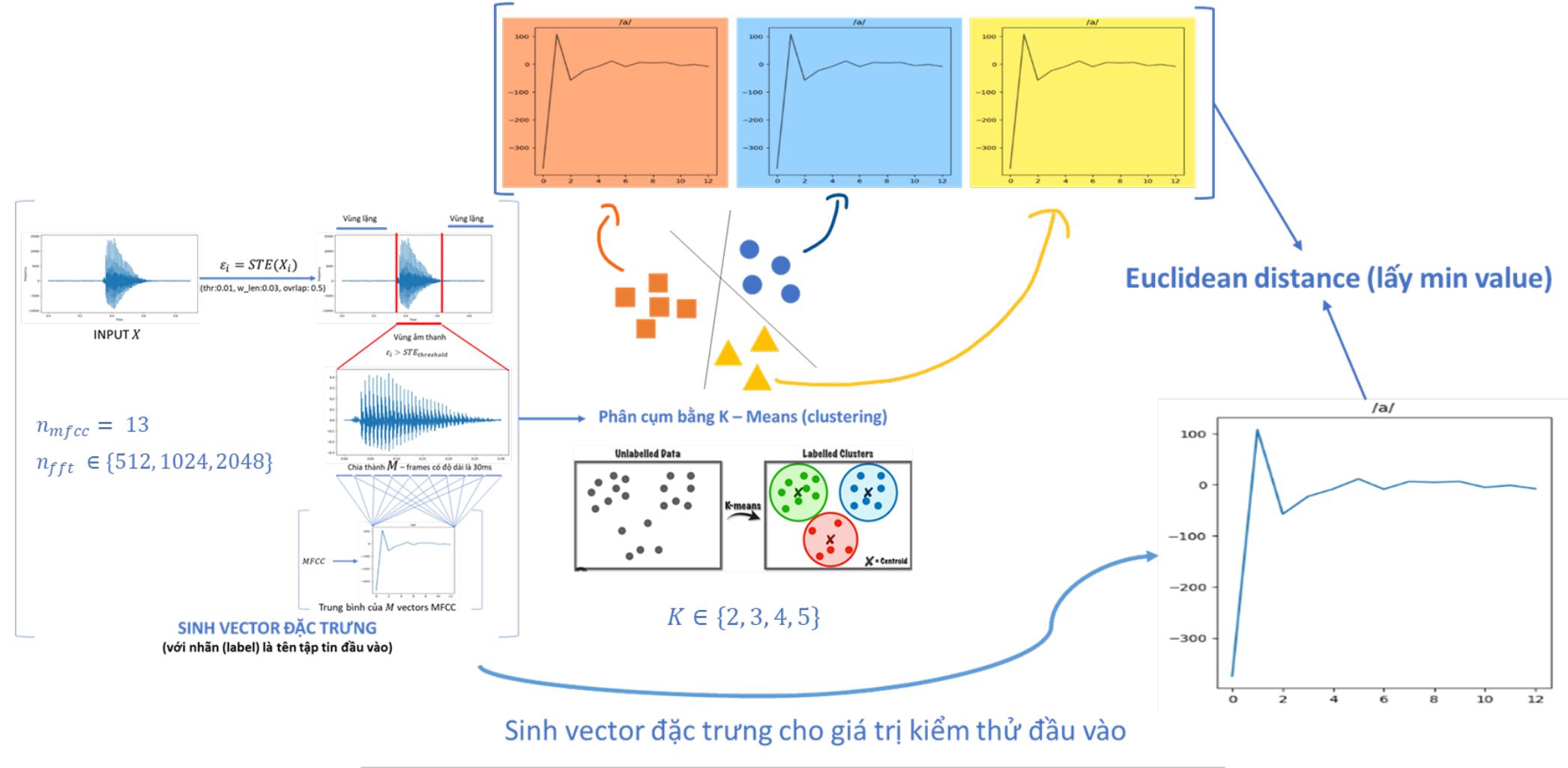
Tổng hợp & nhận xét (trên tập kiểm thử)

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
N_FFT = 512	90,48%	85,71%	85,71%	90,48%	100%	90,48%
N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	80,95%	90,48%	100%	89,52%
N_FFT = 2048	90,48%	85,71%	76,19%	90,48%	100%	88,57%

- Độ chính xác dự đoán trung bình của **N\_FFT = 512 là cao nhất với acc: 90.48%**, thấp nhất là N\_FFT = 2048 với acc: 88.57% .
- Độ chính xác dự đoán nguyên âm /u/ là 100%, /a/ và /o/ là 90.48%, /e/ và /i/ là 85.71% (Tại N\_FFT = 512)

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means



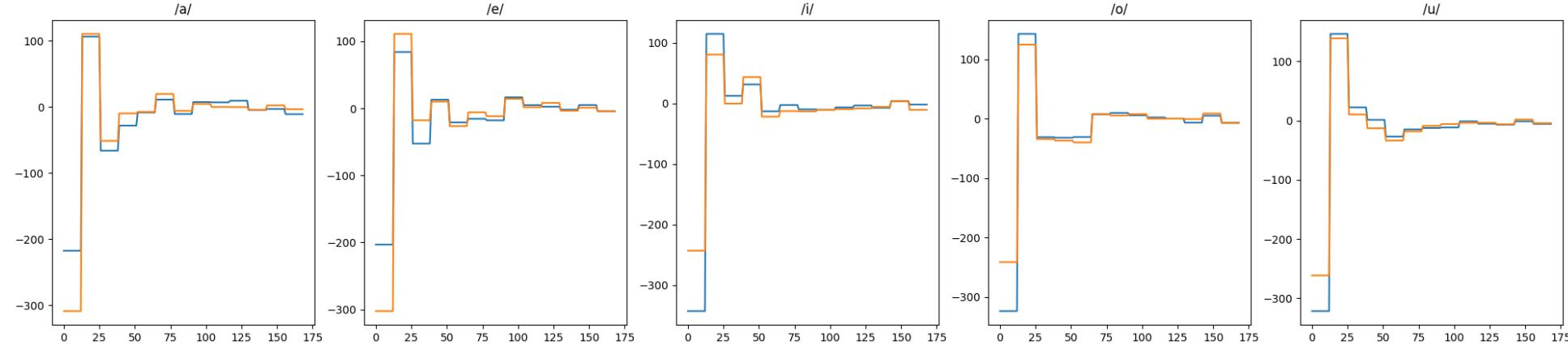
Thực hiện với những nhãn khác (còn lại)

Sau đó xem xét giá trị Euclidean distance thấp nhất là nhãn của đầu vào

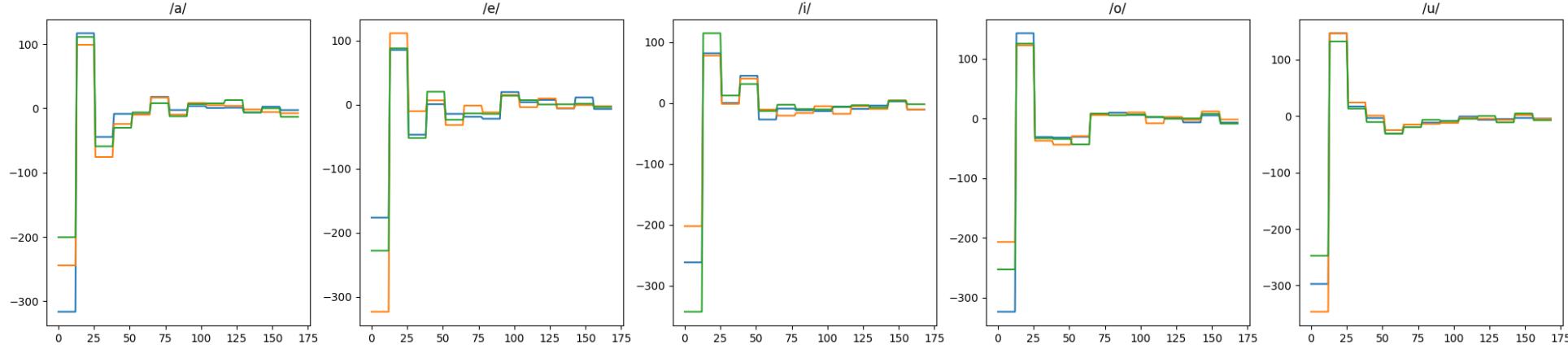
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means

Vector đặc trưng mfcc ( $m=13$ ) với FFT ( $N = 2048$ ) - Phân cụm  $K = 2$



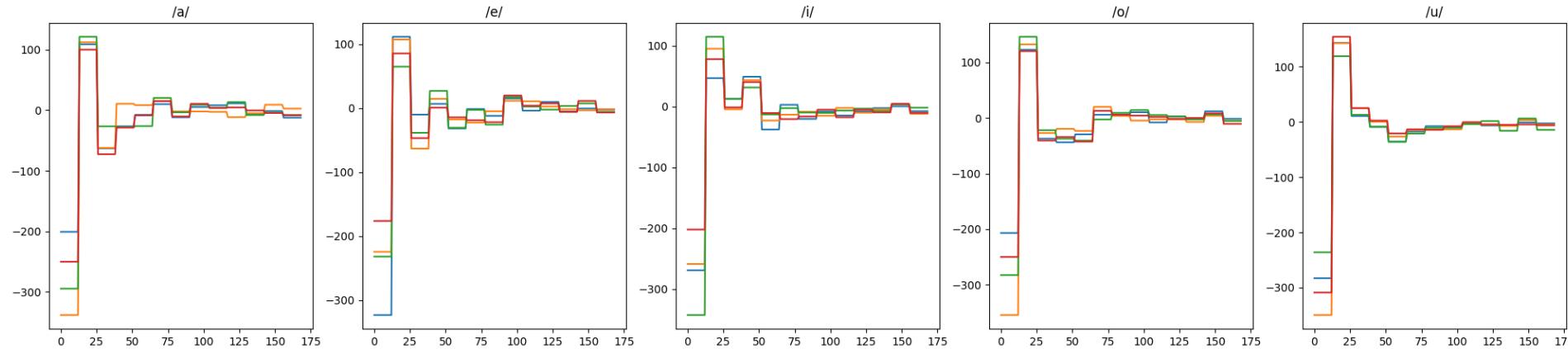
Vector đặc trưng mfcc ( $m=13$ ) với FFT ( $N = 2048$ ) - Phân cụm  $K = 3$



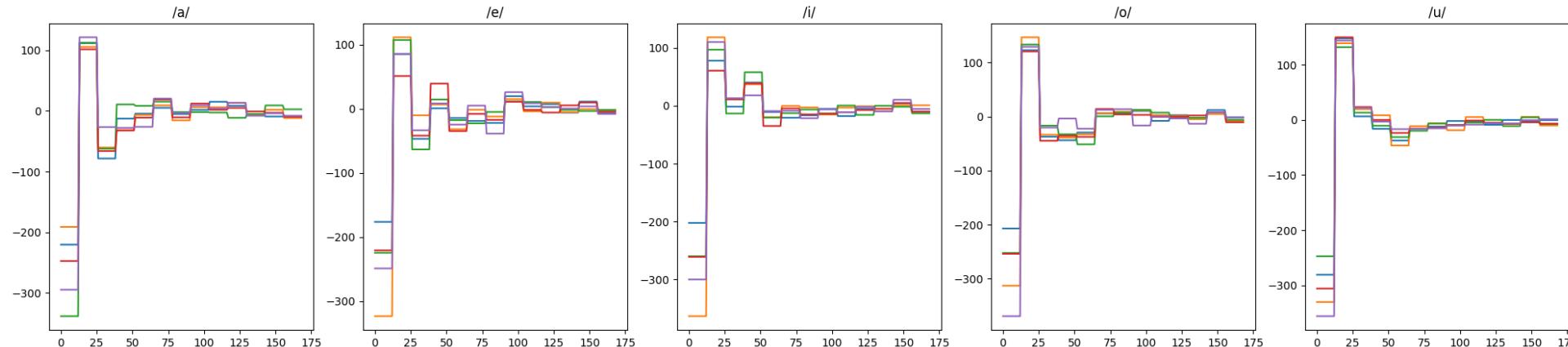
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means

Vector đặc trưng mfcc ( $m=13$ ) với FFT ( $N = 2048$ ) - Phân cụm  $K = 4$



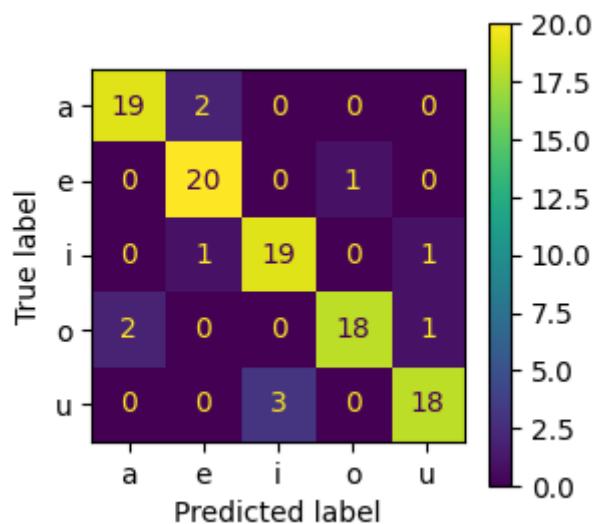
Vector đặc trưng mfcc ( $m=13$ ) với FFT ( $N = 2048$ ) - Phân cụm  $K = 5$



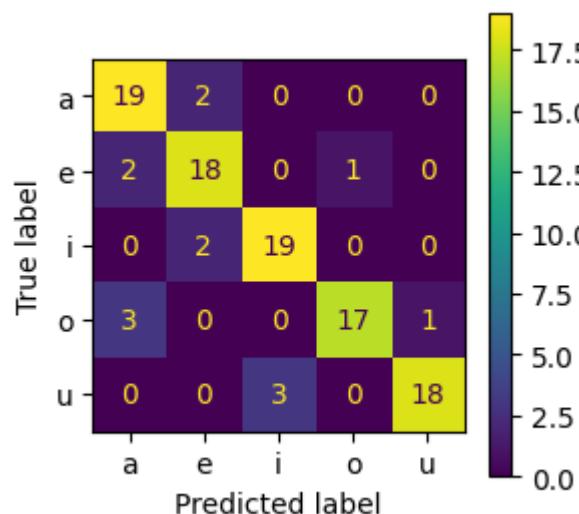
## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means

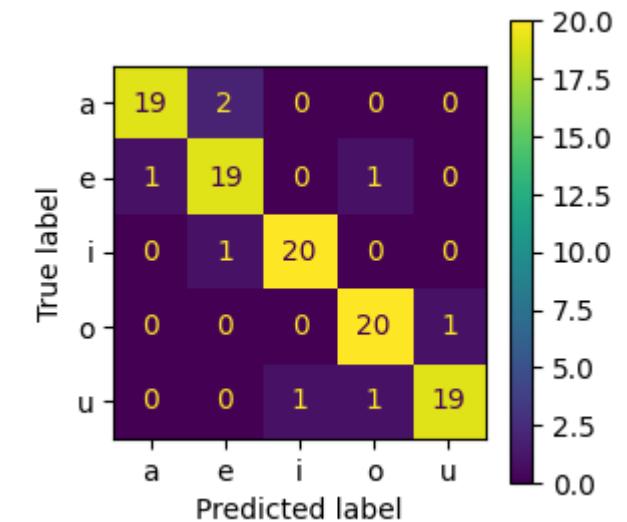
Kết quả thực nghiệm tốt nhất (Confusion Matrix)



(N\_FFT = 512, K = 5)  
(acc: 0.895238095238)



(N\_FFT = 1024, K = 5)  
(acc: 0.8666666666667)



(N\_FFT = 2048, K = 5)  
(acc: 0.923809523809)

**PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**  
**Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means**

**Bảng tổng hợp kết quả độ chính xác sau lần 1**  
**(PP. K – means có sự khác nhau sau mỗi lần chạy)**

		/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
K = 2	N_FFT = 512	95,24%	85,71%	90,48%	85,71%	90,48%	89,52%
	N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	90,48%	85,71%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	90,48%	85,71%	76,19%	90,48%	90,48%	86,67%
K = 3	N_FFT = 512	95,24%	85,71%	90,48%	95,24%	90,48%	91,43%
	N_FFT = 1024	90,48%	80,95%	85,71%	95,24%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	90,48%	80,95%	76,19%	95,24%	90,48%	86,67%
K = 4	N_FFT = 512	85,71%	90,48%	90,48%	90,48%	90,48%	89,53%
	N_FFT = 1024	85,71%	90,48%	85,71%	85,71%	90,48%	87,62%
	N_FFT = 2048	85,71%	90,48%	85,71%	85,71%	90,48%	87,62%
K = 5	N_FFT = 512	85,71%	95,24%	80,95%	90,48%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 1024	90,48%	90,48%	95,24%	80,95%	90,48%	89,53%
	N_FFT = 2048	85,71%	90,48%	90,48%	90,48%	100%	91,43%

**PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**  
**Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means**

**Bảng tổng hợp kết quả độ chính xác sau lần 2**  
**(PP. K – means có sự khác nhau sau mỗi lần chạy)**

K-Means		/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
K = 2	N_FFT = 512	85,71%	85,71%	95,24%	80,95%	95,24%	88,57%
	N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	90,48%	85,71%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	90,48%	85,71%	76,19%	85,71%	90,48%	85,71%
K = 3	N_FFT = 512	95,24%	85,71%	90,48%	90,48%	90,48%	90,48%
	N_FFT = 1024	90,48%	80,95%	90,48%	90,48%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	90,48%	80,95%	80,95%	95,24%	90,48%	87,62%
K = 4	N_FFT = 512	85,71%	90,48%	95,24%	85,71%	85,71%	88,57%
	N_FFT = 1024	85,71%	90,48%	80,95%	80,95%	90,48%	85,71%
	N_FFT = 2048	85,71%	90,48%	80,95%	85,71%	90,48%	86,67%
K = 5	N_FFT = 512	85,71%	95,24%	90,48%	85,71%	85,71%	88,57%
	N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	80,95%	80,95%	90,48%	85,71%
	N_FFT = 2048	90,48%	90,48%	95,24%	90,48%	85,71%	90,48%

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means

**Bảng tổng hợp kết quả độ chính xác tốt nhất sau nhiều lần chạy thử nghiệm**  
**(PP. K – means có sự khác nhau sau mỗi lần chạy)**

K-Means		/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
K = 2	N_FFT = 512	95,24%	85,71%	95,24%	85,71%	95,24%	91,43%
	N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	90,48%	85,71%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	90,48%	85,71%	76,19%	85,71%	90,48%	85,71%
K = 3	N_FFT = 512	90,48%	80,95%	85,71%	95,24%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 1024	85,71%	80,95%	85,71%	95,24%	90,48%	87,62%
	N_FFT = 2048	85,71%	80,95%	80,95%	95,24%	90,48%	86,67%
K = 4	N_FFT = 512	90,48%	95,24%	80,95%	85,71%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 1024	85,71%	90,48%	90,48%	85,71%	90,48%	88,57%
	N_FFT = 2048	85,71%	90,48%	85,71%	85,71%	90,48%	87,62%
K = 5	N_FFT = 512	90,48%	95,24%	90,48%	85,71%	85,71%	89,52%
	N_FFT = 1024	90,48%	85,71%	90,48%	80,95%	85,71%	86,67%
	N_FFT = 2048	90,48%	90,48%	95,24%	95,24%	90,48%	92,38%

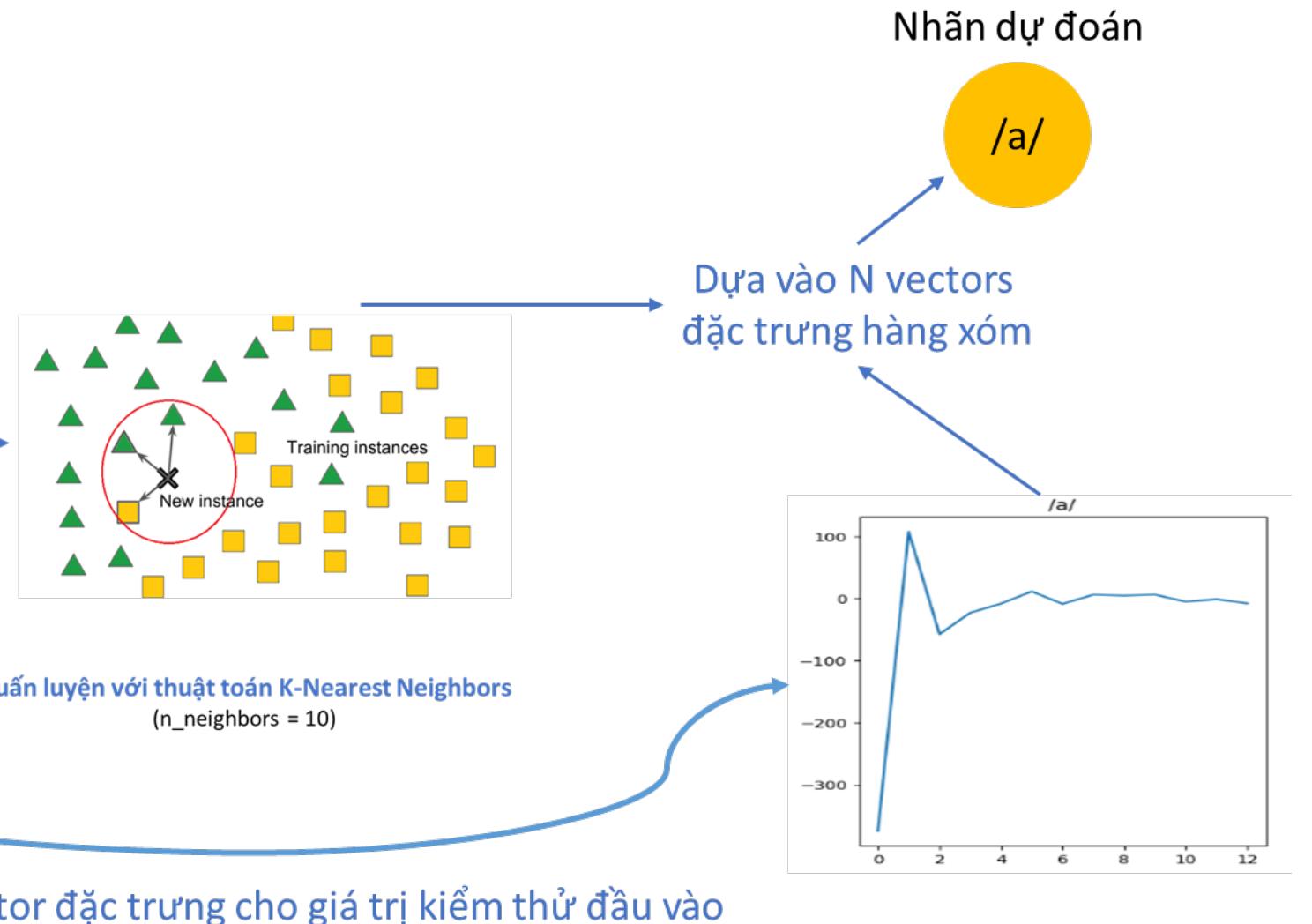
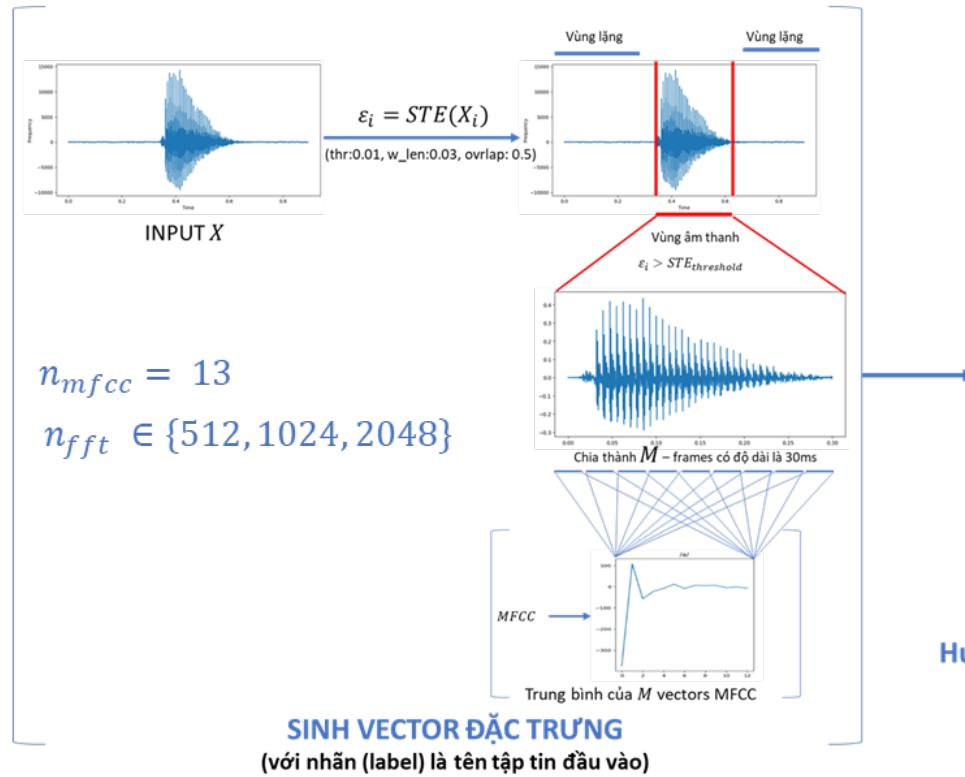
**PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**  
**Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp K-means**

## NHẬN XÉT

- Phương pháp kết hợp với K-means (trong đó K-means dùng để phân cụm) **có sự thay đổi kết quả sau những lần chạy khác nhau.**
- Các nhóm được phân cụm có các vectors đặc trưng khác nhau.
- Độ chính xác trung bình các nhãn là **92.38% (N\_FFT = 2048, K = 5)** – (Cao nhất trong N lần chạy)
- Ở kết quả tốt nhất cho thấy **cả 5 âm đều cho độ chính xác trên 90%**, trong đó **/i/ và /o/ cho kết quả trên 95%**

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

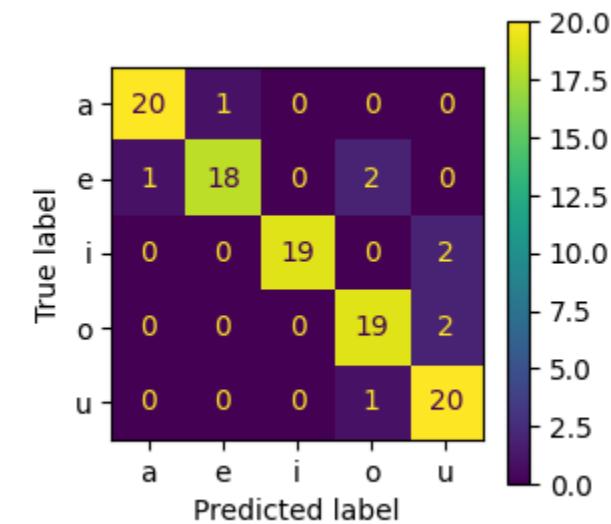
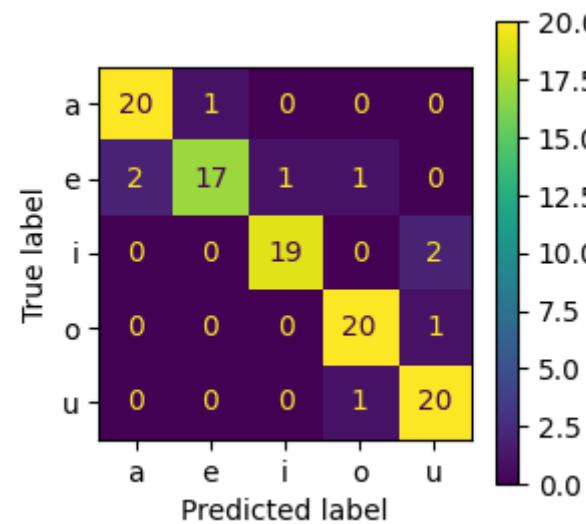
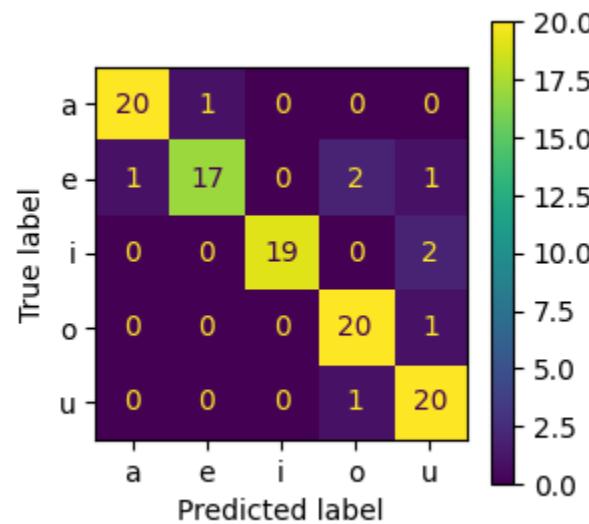
### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp KNN



## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp KNN

#### Kết quả thực nghiệm (Confusion Matrix)



## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp KNN

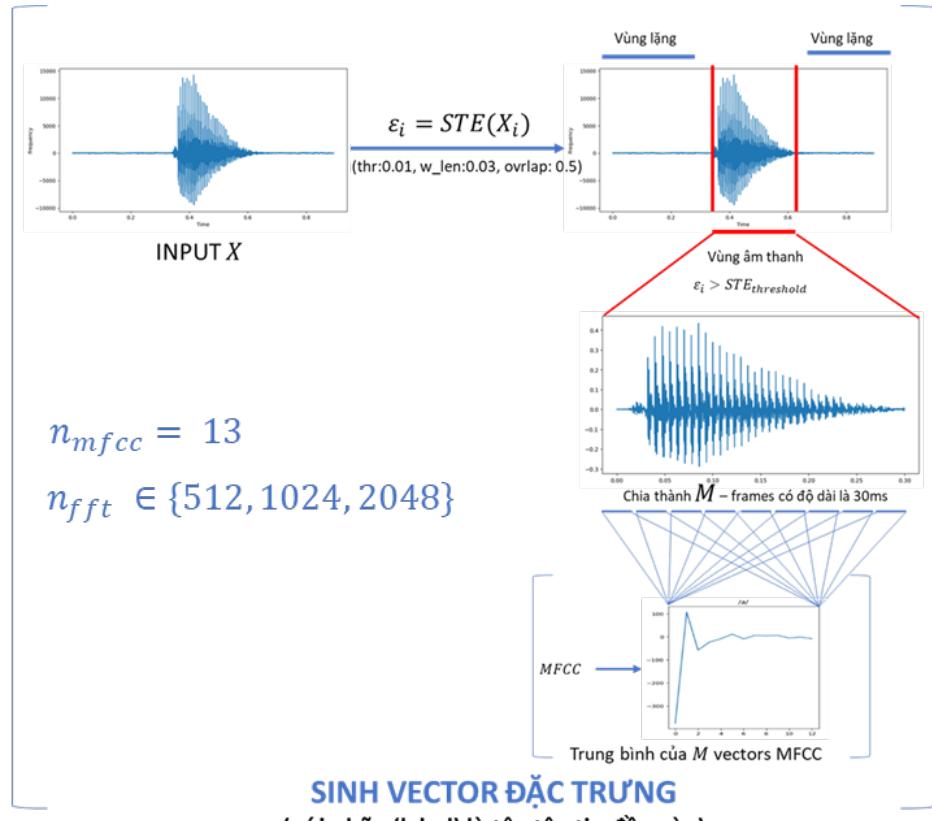
Tổng hợp & nhận xét (trên tập kiểm thử)

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
N_FFT = 512	95,24%	80,95%	90,48%	95,24%	95,24%	91,43%
N_FFT = 1024	95,24%	80,95%	90,48%	95,24%	95,24%	91,43%
N_FFT = 2048	95,24%	85,71%	90,48%	90,48%	95,24%	91,43%

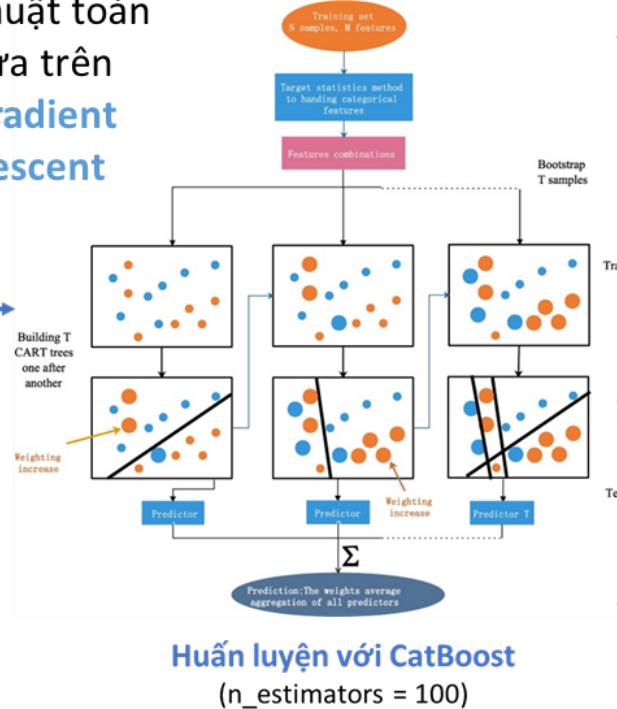
- Độ chính xác trung bình của cả 3 tham số NFFT đều không có thay đổi, tuy nhiên **các nhãn (nguyên âm) lại có thay đổi về kết quả dự đoán.**
- Kết quả dự đoán không thay đổi với mỗi lần chạy thuật toán KNN (Tổng quan).
- Nguyên âm /a/ và /u/ có độ dự đoán chính xác cao nhất 95,24% và /e/ có độ chính xác thấp nhất 85.71%. (Xét N\_FFT = 2048)

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

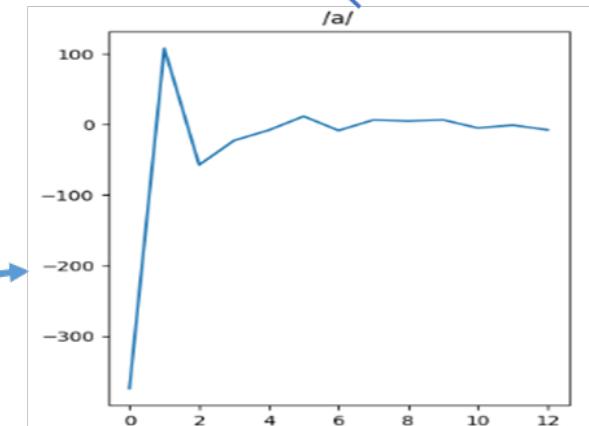
### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp CatBoost



Thuật toán  
dựa trên  
**Gradient  
Descent**



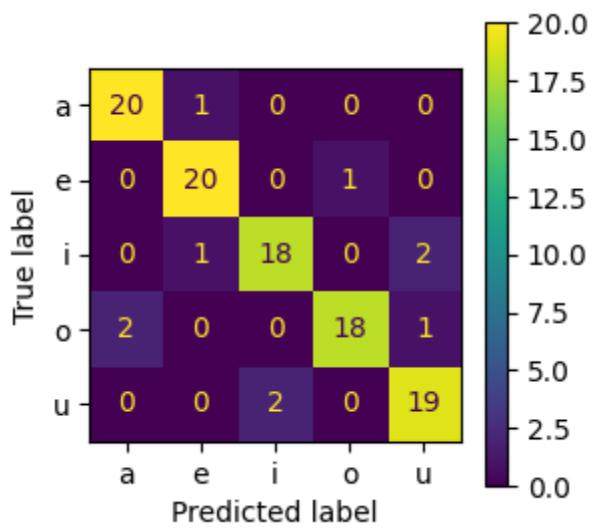
Nhận dự đoán



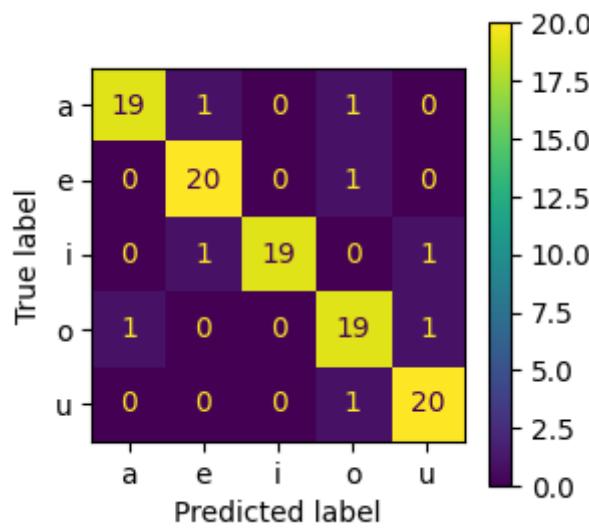
Sinh vector đặc trưng cho giá trị kiểm thử đầu vào

**PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC**  
**Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp CatBoost**

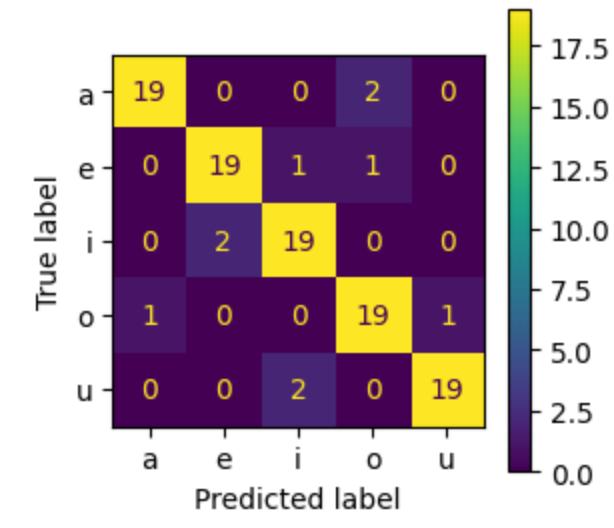
**Kết quả thực nghiệm (Confusion Matrix)**



(N\_FFT = 512)  
(acc: 0.904761904762)



(N\_FFT = 1024)  
(acc: 0.92380952381)



(N\_FFT = 2048)  
(acc: 0.904761904762)

## PHẦN 3: NHẬN DẠNG NGUYÊN ÂM KHÔNG PHỤ THUỘC NGƯỜI NÓI ĐẶC TRƯNG PHỔ MFCC

### Mô hình nhận dạng sử dụng đặc trưng phổ MFCC kết hợp CatBoost

Tổng hợp & nhận xét (trên tập kiểm thử)

	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/	Độ chính xác trung bình (%)
N_FFT = 512	95,24%	95,24%	85,71%	85,71%	90,48%	90,48%
N_FFT = 1024	90,48%	95,24%	90,48%	90,48%	95,24%	92,38%
N_FFT = 2048	90,48%	90,48%	90,48%	90,48%	90,48%	90,48%

- Độ chính xác dự đoán trung bình khi kết hợp **CatBoost cho kết quả trên 90%**.
- Độ chính xác dự đoán trung bình khi sử dụng **CatBoost cao nhất là 92,38%** với N\_FFT = 1024
- Độ chính xác dự đoán của các nguyên âm (nhãn) đều trên 90%**
- Độ chính xác dự đoán cao nhất là hai nguyên âm /e/ và /u/ là 95.24%.** (Xét N\_FFT = 1024)

## PHẦN 4: SO SÁNH VÀ TỔNG KẾT

Phương pháp nhận dạng	Thời gian chạy	Độ chính xác	So với FFT
FFT	1.33s	83.81%	
MFCC	1p8s	90.48%	↑ 6.67%
MFCC + K-means (Clustering)	1p9s	92.38%	↑ 8.57%
MFCC + KNN	59s	91.43%	↑ 7.62%
MFCC + CatBoost	54s	92.38%	↑ 8.57%

- Hai phương pháp kết hợp MFCC với **K-means** và **CatBoost** đều có kết quả cao là 92.38%, tuy nhiên **K-means bị ảnh hưởng bởi các lần chạy khác nhau**, còn CatBoost thì không.
- Phương pháp kết hợp cho kết quả tốt hơn so với việc không sử dụng.
- Thời gian chạy các thuật toán cho thấy:
  - FFT chạy nhanh nhất trong các phương pháp => phù hợp sử dụng trên các thiết bị nhỏ gọn, cấu hình yếu.
  - MFCC và MFCC + K-means phải duyệt hết toàn bộ mẫu feature vectors huấn luyện nên thời gian dự đoán lâu nhất.
  - MFCC + KNN & MFCC + CatBoost cho tốc độ cao hơn MFCC và MFCC + K-means vì chỉ dự đoán dựa vào tham số huấn luyện.

\* Thời gian chạy được tính toán trên máy tính: Windows 11 ProW (WSL2 - Ubuntu)- CORE I7 6820HQ (single core) – 32GB RAM

# THANK YOU FOR LISTENING...

QUESTION & ANSWER

GIT: <https://github.com/DUT-21TDT/XLTHS>