UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologias

Análise e Transformação de Dados - Licenciatura em Engenharia Informática

Identificação de Dígitos Através de Características Extraídas de Sinais de Áudio

Trabalho Realizado por:
Nuno Batista e Francisco Lapa Silva

Março, 2024

META 1

1/2 - Importação dos sinais de áudio e representações visuais

De modo a importar os sinais de áudio com a função `audioread`, foi criada a função `getFeatures(exampleID, plt)`, que recebe como argumentos `exampleID`, que indica o índice das amostras a analisar e plt, que decide se os dígitos analisados devem ou não ser *plotted* (são *plotted* caso `plt == 1`). `getFeatures` é chamada, pela primeira vez, com o argumento `plt = 1`, ou seja, com o intuito de criar um *plot* de cada um dos sinais.

Dentro dessa função, um primeiro *for loop* itera pelos dígitos de 0 a 9, a cada iteração, a função `audioread` guarda os valores das amplitudes de cada um dos dígitos na variável `y` e o número de elementos de `y` em `rows`, deste modo, é possível concluir qual dos 10 sinais de áudio tem o maior número de amostras e guardar esse número na variável `maxRows` que, posteriormente, será usada para homogeneizar a duração dos sinais.

```
Ficheiro: getFeatures.mlx
% Find the duration of the longest audio
maxRows = 0;
for i = 0:9
      [y, ~] = audioread(sprintf("samples/%d_16_%d.wav", i, exampleID));
      [rows, ~] = size(y);

      if(maxRows < rows)
            maxRows = rows;
      end
end
```

De seguida, inicia outro *for loop* que também itera por todos os dígitos com o intuito de fazer os *plots*, no entanto, para efeitos de melhor análise posterior, este *plot* exclui o silêncio inicial de cada um dos exemplos e adiciona silêncio ao final para todos os sinais terem a mesma duração. Este processo é feito através da análise da energia em janelas de tempo. A energia de cada janela é guardada no array frameEnergy, que é preenchido pela função `getFrameEnergy`, de acordo com a fórmula da energia.

$$E = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |y[n]|^2$$

```
Ficheiro: getFrameEnergy.mlx
function [frameEnergy] = getFrameEnergy(y, frameSamples, numFrames)
% Calculate frame energy, the sum of squares of the samples in the frame
(not the integral because we are in the discrete domain)
      frameEnergy = zeros(numFrames, 1);
```

```
      % Iterate through every frame
      for j = 1:numFrames
            % The frame range is from the (j-1)th*frameSamples frame to
the (j+1)th*frameSamples frame
            frame = y((j - 1)*frameSamples + 1:j*frameSamples);
            % Get the frame's energy
            frameEnergy(j) = sum(frame .^ 2);
      end
end
```

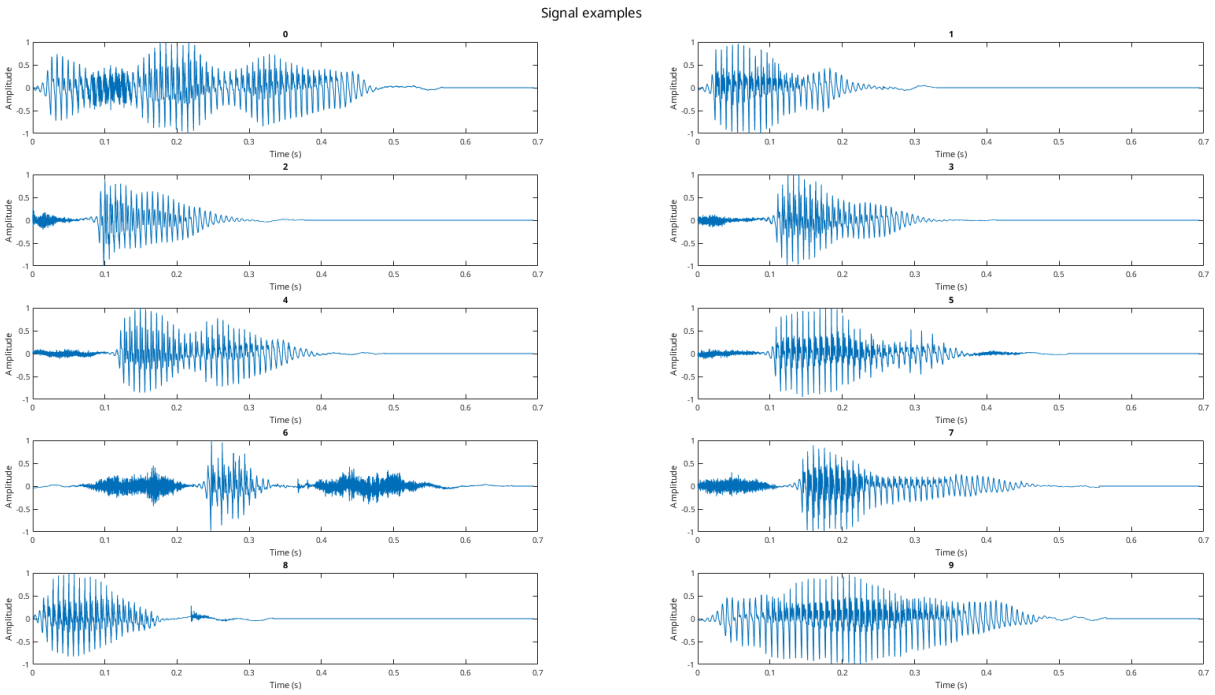
Basta, então, definir um *threshold* de energia e cortar todos as amostras antes da primeira que cumpre a restrição do *threshold* definido, bem como concatenar no final do sinal um vetor coluna cheio de elementos de valor 0 cujo número de elementos é igual à diferença entre o número de amostras do sinal de maior duração e o número de amostras do sinal atual (após o corte).

```
Ficheiro: getFetures.mlx
% frameEnergy is an array with the energy value of every frame
frameEnergy = getFrameEnergy(y, frameSamples, numFrames);

energyThreshold = 0.5;

% Find first index of the first frame with energy above threshold
startFrame = find(frameEnergy > energyThreshold, 1);
% Get the TIME index of the first frame with energy above threshold
startSample = (startFrame - 1) * frameSamples + 1;

% Trim y in order to remove low energy values
y = y(startSample:end);
% Add silence to the end of y
[curRows, ~] = size(y);
concatY = zeros(maxRows - curRows, 1);
y = [y; concatY + 0.5];
```

Finalmente, resta fazer o próprio *plot* do dígito na iteração atual. Obtendo assim o resultado final.

```
if plt == 1
      % Ts is the sampling period
      Ts = 1 / Fs;
      % t is the time vector
      t = (0:maxRows-1);
      % t is the time vector in seconds (starts at the first frame that
exceeds the energy threshold)
      t = (t .* Ts);
      subplot(5, 2, i + 1);
```

```
        plot(t, y');
        xlabel('Time (s)');
        ylabel('Amplitude');
        label = sprintf("%d", i);
        title(label);
end
```



3 - Análise de características temporais

A função `getFeatures` devolve a matriz 10x5 `resultFeatures`, que contém os resultados das análises de 5 características diferentes de cada um dos 10 dígitos (`resultFeatures(i + 1, x)` é o valor da característica x do dígito i). As características escolhidas foram:

1 - Energia total

2 - Desvio Padrão

3 - Amplitude máxima

4 - Taxa de cruzamento por zero

5 - Duração em segundos

Para calcular a energia total, basta utilizar a fórmula anteriormente referida, mas desta vez, para todos os elementos de `y`.

```
resultFeatures(i + 1, 1) = sum(abs(y) .^ 2)
```

É de referir que no início da análise de cada dígito, a amplitude é normalizada de modo a todos os valores entrarem no raio [-1, 1] tornando assim o valor do desvio padrão muito reduzido, portanto, o cálculo desta característica é realizado pela função `std` antes da normalização.

```
resultFeatures(i + 1, 2) = std(y);
```

O mesmo acontece com a amplitude máxima, que é dada pelo valor máximo de `y`.

```
resultFeatures(i + 1, 3) = max(y);
```

A taxa de cruzamento por zero é calculada pela função `zerocrossrate`, é importante ter em conta que é por causa da análise desta característica que foi tomada a decisão de fazer uma normalização no raio [-1 1] e não [0 1].

```
resultFeatures(i + 1, 4) = zerocrossrate(y);
```

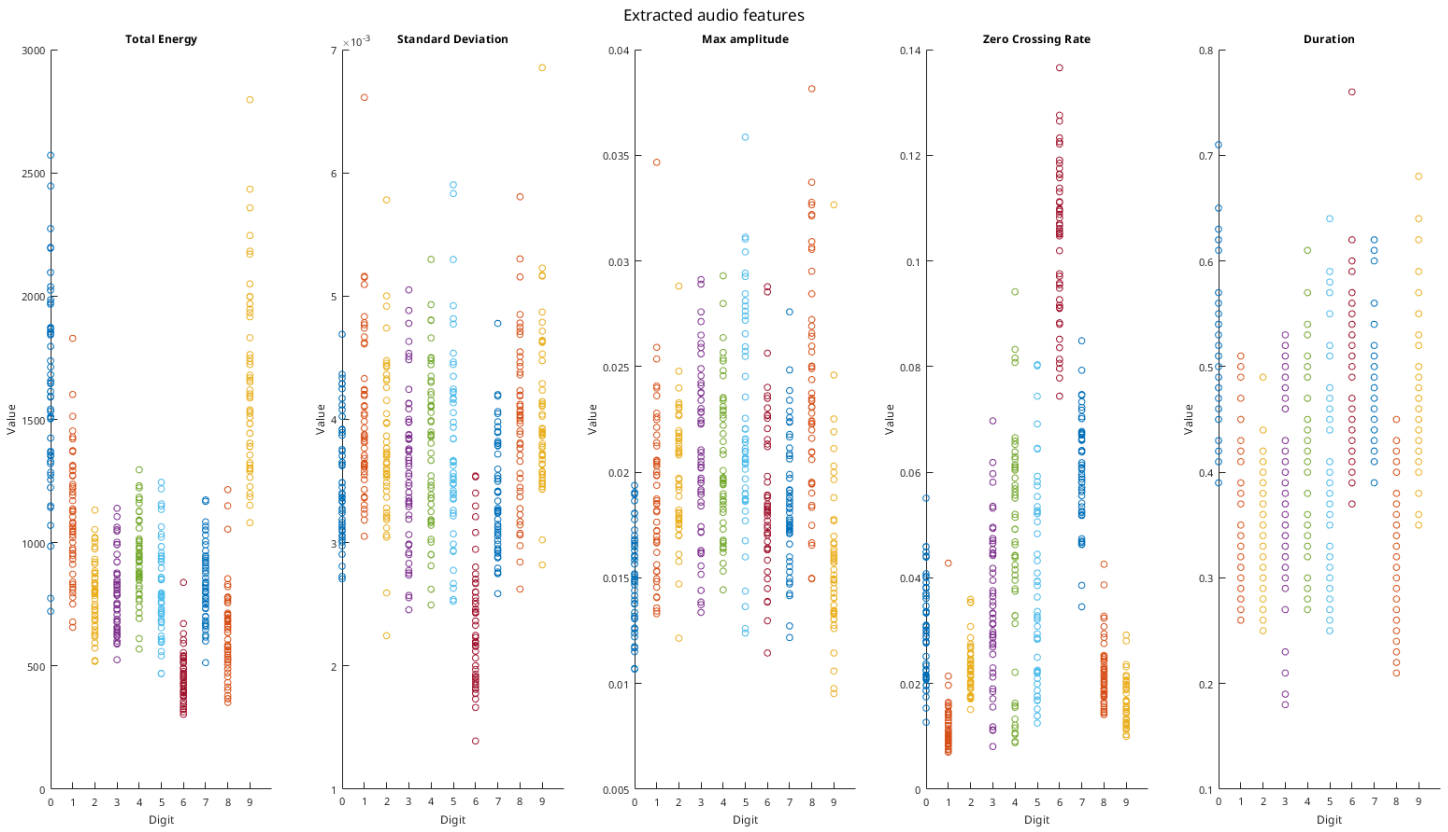
Para calcular a duração, é necessário remover o silêncio no final do sinal, para isso, procura-se a última janela com um valor de energia superior ao do *threshold* definido e divide-se a diferença entre a posição da última e da primeira amostra que cumprem a restrição do *threshold* pela taxa de amostragem `Fs`.

```
Ficheiro: getFeatures.mlx
energyThreshold = 0.1;
% Find first index of the first frame with energy above threshold
startFrame = find(frameEnergy > energyThreshold, 1);
% Get the TIME index of the first frame with energy above threshold
startSample = (startFrame - 1) * frameSamples + 1;

% Find the index of the last frame with energy above threshold
endFrame = find(frameEnergy > energyThreshold, 1, 'last');
% Get the TIME index of the last frame with energy above threshold
endSample = endFrame * frameSamples;

% Store the audio duration without silences in seconds
resultFeatures(i + 1, 5) = (endSample - startSample) / Fs;
```

Evidentemente, `resultFeatures` tem apenas as características de um conjunto de dígitos, no entanto, há 50 conjuntos, portanto, na função main, um *for loop* chama esta função com os IDs dos conjuntos restantes, ou seja, de 1 a 49 e guarda essas características na matriz 3D `audioFeatures`, onde `audioFeatures(x, y, z)` é o valor da característica `z` do dígito `y-1` do conjunto `x-1`.

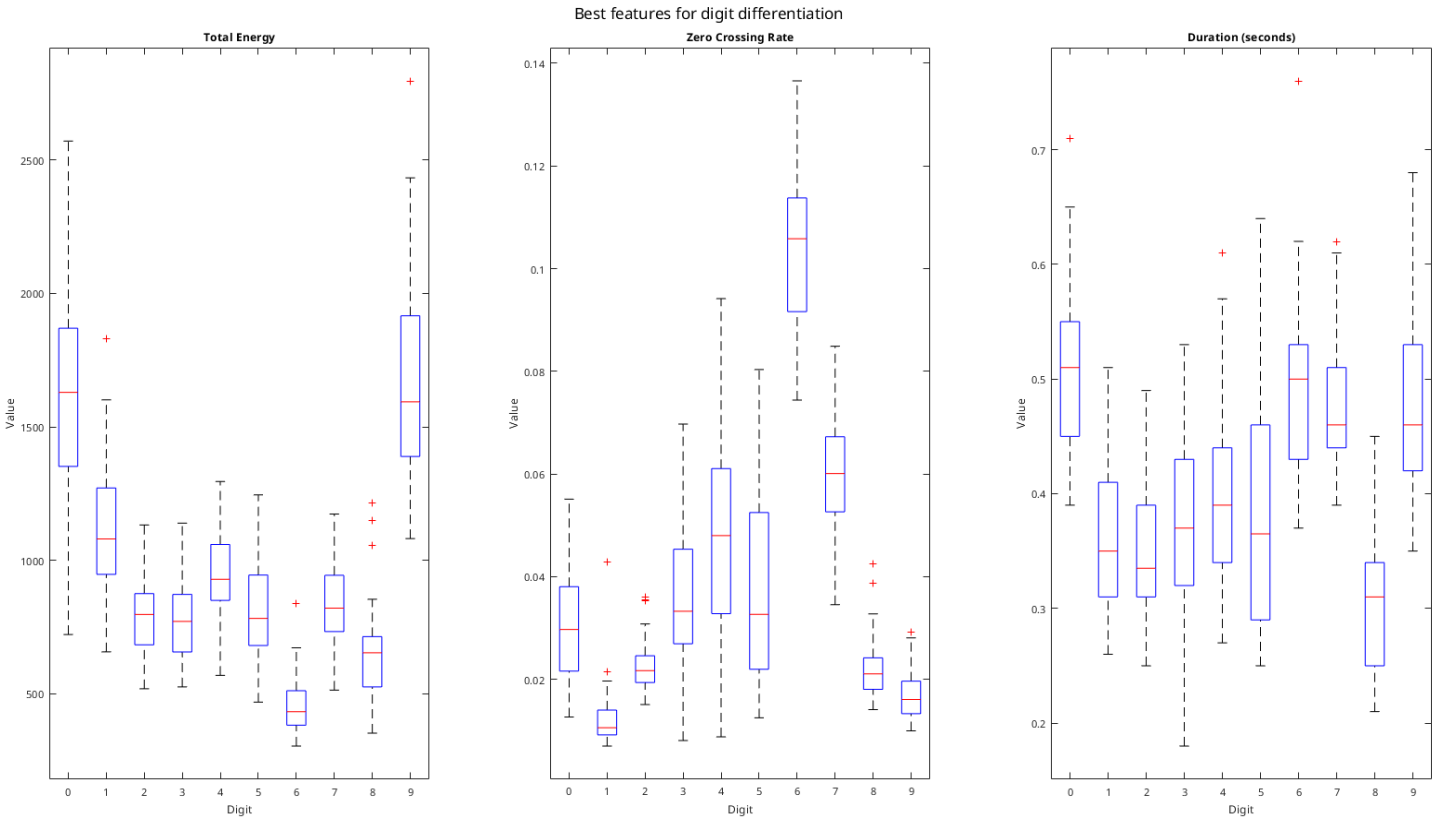
```
% i + 1 because MATLAB uses 1-based indexing but the audio file names
use 0-based indexing
for i = 1:49
      audioFeatures(i+1, :, :) = getFeatures(i, 0);
end
```

Por último, resta apresentar os resultados visualmente, obtendo o seguinte resultado com *scatter plots* 2D.



4 - Identificação das melhores características para descriminação dos dígitos

Tendo em conta os resultados obtidos no ponto anterior, a energia total, a taxa de cruzamento por zero e a duração foram consideradas as três características cujos valores mais diferem entre dígitos, levando a uma melhor descriminação dos mesmos, para representar estas três características visualmente, usam-se *box plots* 2D, obtendo assim o seguinte resultado.


Best features for digit differentiation
Total Energy
Zero Crossing Rate
Duration (seconds)
Value
Digit
2500
2000
1500
1000
500
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9