



Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Licenciatura em Engenharia de Informática e Multimédia

4º Semestre Lectivo 2014/2015

Disciplina de

Processamento de Imagem e Visão

1º Trabalho Laboratorial

Contagem e Classificação de Moedas

Discentes: Prof. Pedro Mendes Jorge

Discentes: Jorge Fernandes, nº 39372

Nuno Marcelino, nº 40268

Rita Ribeiro, nº 40289

Índice de temas

Introdução.....	3
Binarização	3
Operadores Morfológicos	4
Extracção de Componentes Conexos.....	5
Extracção de Características.....	6
Classificação de Objectos	6
Desenvolvimento	7
Binarização	7
Operadores Morfológicos	8
Extracção de Componentes Conexos e de Características.....	8
Classificação de objectos.....	8
Funções implementadas	11
getRGBImages	11
getImage	11
classifyObjects	11
Conclusão	12
Bibliografia	15

Índice de Figuras

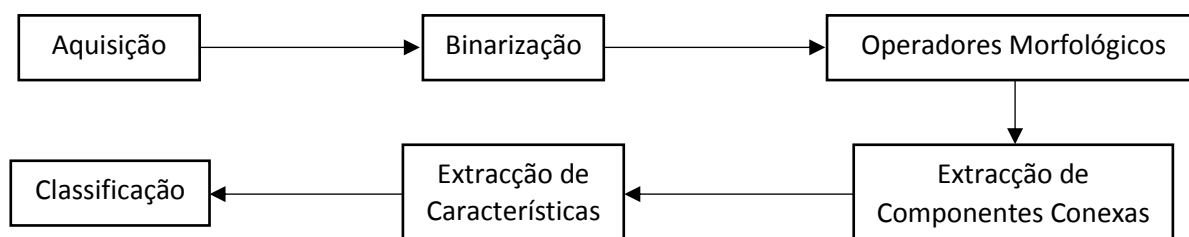
Figura 1 - Exemplo de Dilatação e Erosão	4
Figura 2 - Exemplo de Labelling	5
Figura 3 - Exemplo de Labelling de pixéis activos e de fundo.....	5
Figura 4 - Histograma das componentes R,G,B e Grayscale	7
Figura 5 - Imagem antes de depois da binarização	7
Figura 6 - Imagem submetida a uma erosão, seguida de uma dilatação.....	8
Figura 7 – Distribuição de Áreas das moedas	10
Figura 8 - Distribuição de Áreas das moedas (excluindo 1 cent)	10

Introdução

O presente trabalho prático tem como objectivo o desenvolvimento de um algoritmo capaz de contar automaticamente a quantia de dinheiro colocada em cima de uma mesa. O resultado será obtido através da análise de imagens de moedas dispostas sobre uma superfície, sob condições de captação semelhantes. Para que tal seja possível, outro objectivo é a familiarização com a biblioteca OpenCV.

Para atingir este objectivo, foi-nos fornecido um conjunto de imagens de moedas colocadas em cima de uma mesa de superfície homogénea e clara, observada por uma câmara, montada num tripé ajustado de modo a que o plano do sensor seja paralelo ao plano da mesa. O algoritmo tem de ser robusto o suficiente de modo a lidar com a presença de objectos estranhos, diferentes tipos de moedas, sombras e contacto entre objectos. O algoritmo vai ser desenvolvido com imagens de treino, e avaliado com imagens de teste.

O presente trabalho foi desenvolvido com base na sequência de eventos ilustrada na seguinte esquema:



Binarização

A complexidade de uma imagem e a correlação entre as 3 componentes RGB torna o processamento de imagens pesado e moroso, proporcional ao tamanho da imagem. Estes factores criam a necessidade de simplificação do problema. A Binarização consiste na tradução de valores de pixel descritos por um conjunto de componentes, RGB, GrayScale, entre outros, em apenas dois valores, Branco e Preto.

Para converter uma imagem com valores de pixéis muito diversos numa imagem com apenas dois é necessário usar métodos que optimizem a separação dos valores de modo a facilitar a extracção das características em estudo. O valor de cada pixel é analisado e categorizado com 0 ou com o valor máximo consoante seja superior ou inferior que um determinado limiar é. O resultado é uma imagem binária.

Operadores Morfológicos

O processamento morfológico de uma imagem é uma ferramenta bastante útil aplicada a uma imagem que serve para modificar a informação de modo a evidenciar a informação mais relevante para o processamento futuro.

Por vezes a Binarização de imagens é insuficiente para identificação de objectos. Tal acontece quando há regiões activas que a percepção visual humana distingue como sendo distintas mas que o processo de Binarização torna conexas. Isto leva à posterior má identificação de objectos.

Existem vários operadores morfológicos, mas todos eles derivam de apenas dois, a Erosão e a Dilatação. Estas operações são implementadas com recurso a um Elemento Estruturante. A nova imagem é calculada pixel a pixel pelo “and” lógico entre a imagem original e o elemento estruturante. Outras operações decorrentes destas são o fecho (dilatação seguida de erosão) e a abertura (erosão seguida de dilatação).

Um Elemento Estruturante é representado por uma imagem binária com a forma desejada que melhor servir o propósito da operação.

A Erosão como o nome indica erode as zonas de fronteira da imagem binarizada. A Dilatação pode ser considerada a operação inversa e dilata as zonas de fronteira de uma imagem.

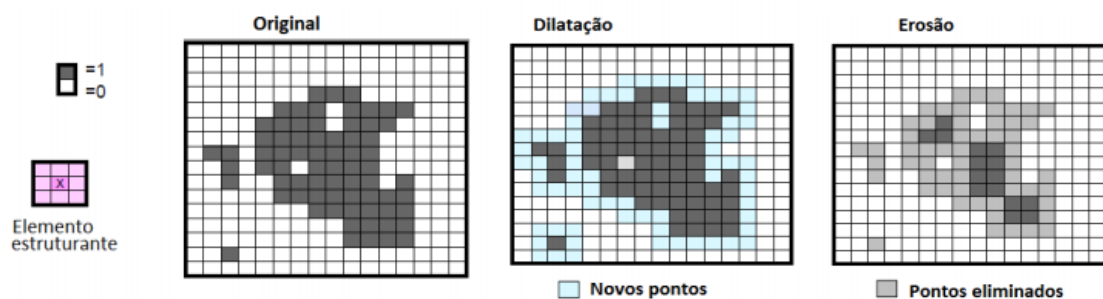


Figura 1 - Exemplo de Dilatação e Erosão

Extracção de Componentes Conexos

Depois de termos a imagem tratada, estando os diversos objectos em regiões não conexas, é necessário diferencia-los.

Para tal é usado o algoritmo de Extracção de Componentes Conexos (ECC). São atribuídas etiquetas (labels) a cada pixel, sendo que no final cada label corresponde a um objecto. Neste algoritmo cada pixel é avaliado com base na sua vizinhança. Vizinhança são os pixéis que estão em volta de um pixel, sendo as vizinhanças mais comuns as de 4 e 8 vizinhos. Se nenhum vizinho estiver etiquetado é dado um valor novo ao pixel, enquanto se algum dos vizinhos tiver uma etiqueta é atribuída essa etiqueta ao pixel e o pixel é avaliado como parte integrante do mesmo objecto. Todos os pixéis são avaliados de forma recursiva, podendo-se usar vizinhança de 4 ou de 8. Por vezes a mesma zona é avaliada com etiquetas diferentes. Para contornar essa situação, é guardada a informação sobre etiquetas equivalentes e substituído o seu valor no final, como ilustrado na figura 2.

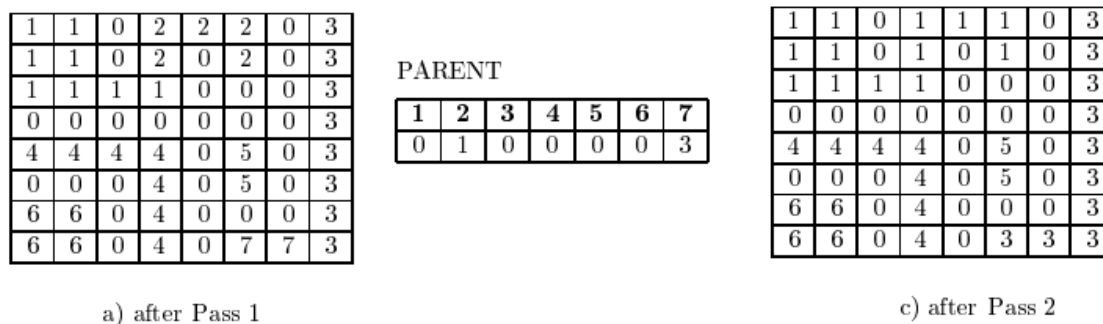


Figura 2 - Exemplo de Labeling

Para detectar eventuais “buracos” na imagem dentro de cada região, o algoritmo é corrido duas vezes: uma aos pixéis activos e outra aos pixéis de fundo. Assim, o fundo também é etiquetado permitindo detectar “buracos”. A figura 3 dá-nos um exemplo de uma imagem etiquetada com informação sobre objectos activos (etiquetas positivas) e vários fundos (etiquetas negativas).

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	2	2	0
0	1	-1	-1	-1	1	0	2	2	0
0	1	1	1	1	1	0	2	2	0
0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
0	3	3	3	0	2	2	2	2	0
0	3	-2	3	0	2	-3	-3	2	0
0	3	-2	3	0	2	-3	-3	2	0
0	3	3	3	0	2	2	2	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3 - Exemplo de Labeling de pixéis activos e de fundo

Extracção de Características

Apos a identificação dos objectos é possível extrair as suas características. Apesar de não se conseguir extrair muitas características é possível extrair um conjunto que pode ser bastante útil. Estas são propriedades geométricas como área, centroide, perímetro, circularidade, entre outros. Através deste tipo de características será possível identificar objectos semelhantes a moedas e distinguir as moedas. De seguida são apresentadas algumas fórmulas de cálculo destas características.

- Área $A = \sum_{(r,c) \in R} 1$
- Centróide $\bar{r} = \frac{1}{A} \sum_{(r,c) \in R} r \quad \bar{c} = \frac{1}{A} \sum_{(r,c) \in R} c$
- Pixels de perímetro $P_4 = \{(r,c) \in R | N_4(r,c) - R \neq \emptyset\}$
 $P_8 = \{(r,c) \in R | N_8(r,c) - R \neq \emptyset\}$
 - comprimento do perímetro $|P| = \left| \left\{ k | (r_{k+1}, c_{k+1}) \in N_4(r_k, c_k) \right\} \right|$
 $+ \sqrt{2} \left| \left\{ k | (r_{k+1}, c_{k+1}) \in N_8(r_k, c_k) - N_4(r_k, c_k) \right\} \right|$
- Circularidade (1) $C_1 = \frac{|P|^2}{A}$

Classificação de Objectos

Um Classificador de Objectos, como o nome indica, serve para identificar elementos de interesse numa imagem. O classificador é tanto melhor quando mais exacto for na separação e identificação de objectos, acontecimento este fortemente dependente das características extraídas do conjunto de treino.

Um classificador composto por várias características é mais robusto que um baseado em menos características e teoricamente vai identificar com mais precisão um item de interesse.

Podem ser classificados objectos com base em várias características, como a área, perímetro, circularidade, entre outros. Para além de características geométricas podem também ser classificados objectos com base na análise do espectro de cor da imagem.

Desenvolvimento

Binarização

No processo de Binarização, dividiu-se a imagem nas suas três componentes e optou-se por trabalhar com o componente “R” do RGB, pois é o que melhor diferencia as moedas com o fundo da imagem. Esta opção foi tomada com base nos histogramas das diferentes componentes RGB da imagem originais (da qual mostramos um exemplo na figura 4).

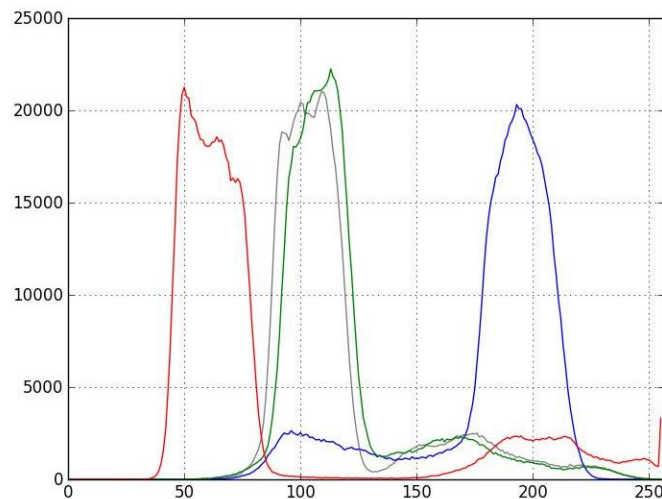


Figura 4 - Histograma das componentes R,G,B e Grayscale

Foram testados vários métodos para fazer a binarização (entre os quais o método Otsu estudado em aula), contudo o método usado pela função *threshold* do Open CV revelou melhores resultados. Este método recebe como parâmetro um limiar, que foi por nós obtido através de experimentação. Denotou-se contudo uma grande semelhança entre o valor por nós definido e o valor obtido pelo método de Otsu.

Este processo de binarização foi implementado na função *getImagem*.

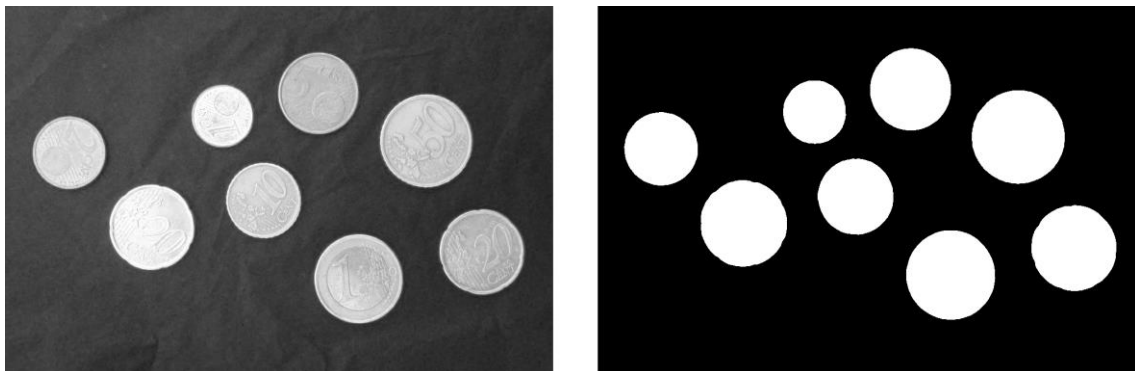


Figura 5 - Imagem antes e depois da binarização

Operadores Morfológicos

Apos a binarização aplicaram-se operadores morfológicos de modo a delimitar melhor cada objecto, dado que nalgumas imagens regiões referentes a moedas diferentes se encontram conexas. Na figura 6 é apresentado um exemplo de dois objectos que pareciam estar unidos e que através da aplicação destas operações ficaram bem delimitados. Neste exemplo aplicou-se uma erosão com um determinado elemento estruturante, seguido de uma dilatação com outro elemento estruturante.

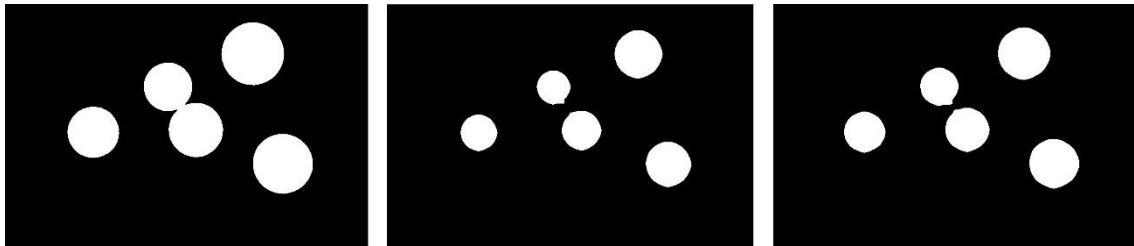


Figura 6 - Imagem submetida a uma erosão, seguida de uma dilatação

Este processo de alteração da estrutura foi implementado na função *getImagem*.

Extracção de Componentes Conexos e de Características

Para poder fazer-se a classificação dos objectos há que analisa-los de modo a recolher características distintivas. De modo a obter os componentes conexos usou-se a função do Open CV *findContours*, que permitiu fazer a recolha de informação sobre todos os contornos e relações de parentesco entre eles (de modo a identificar buracos). Após a análise dos resultados do estudo das características, denotaram-se relevantes para o presente trabalho a área, perímetro, circularidade e os momentos. A recolha destas características é feita na função *classifyObject* por nós implementada.

Classificação de objectos

Com base no problema de classificação de moedas e nas condições de aquisição semelhantes entre todas as imagens implementou-se o classificador analisando apenas duas características. São elas a circularidade, que permite fazer despiste entre moedas e outros objectos, e a área que permite distinguir as diferentes classes de moedas. De modo a descartar objectos estranhos, utilizou-se também a hierarquia das regiões conexas.

A área é calculada recorrendo ao OPENCV e à função *contourArea* que devolve a área em pixels de uma região proveniente da função *findContours*.

A circularidade é calculada recorrendo pela fórmula $C = \frac{P^2}{A}$ onde C, P e A equivalem à Circularidade, Área e Perímetro respectivamente. Os dados da tabela 1 foram obtidos através da extracção de características, efectuada com o OPENCV. Os valores numéricos correspondem a valores médios das diversas imagens do conjunto de treino.

	1 cent	2 cent	5 cent	10 cent	20 cent	50 cent	1 euro
Área	5674.75	8562.75	11263	9572.37	12887.88	16002.38	14468.5
Perímetro	284.95	350.27	400.47	369.47	430.22	477.64	452.56
Circularidade	14.31	14.3285	14.23	14.26	14.36	14.25	14.15

Tabela 1 – Valores médios de características de cada moeda

Apesar de não existir no conjunto de treino nenhuma moeda de dois euros foi possível extrapolar as suas características relacionando as medidas reais das moedas com as observadas computacionalmente.

As primeiras duas linhas da tabela 2 são dados reais e as duas últimas são calculados dividindo as características correspondentes em pixéis pelas reais.

	1 cent	2 cent	5 cent	10 cent	20 cent	50 cent	1 euro	2 euro
Perímetro (mm)	16.25	18.75	21.25	19.75	22.25	24.25	23.25	25.75
Área (mm^2)	21.02	27.99	35.95	31.05	39.41	46.82	43.03	52.79
Ratio P	17.53	18.68	18.84	18.70	19.33	19.69	19.46	0.000
Ratio A	269.91	305.91	313.27	308.23	326.97	341.78	336.17	0.000

Tabela 2 – Relação de características reais e obtidas

Com base nestes dados implementamos no nosso classificador a classificação de moedas de dois euros apesar de não existir nenhuma no conjunto de treino. A área de uma moeda de uma moeda de dois euros usando o mesmo classificador rondará os 18477 pixéis.

Calcularam-se também as distribuições de áreas para as diferentes moedas, admitindo que se dispõe numa curva Gaussiana. Apresentam-se de seguida os resultados gráficos, a partir dos quais se puderam retirar os limiares de decisão.

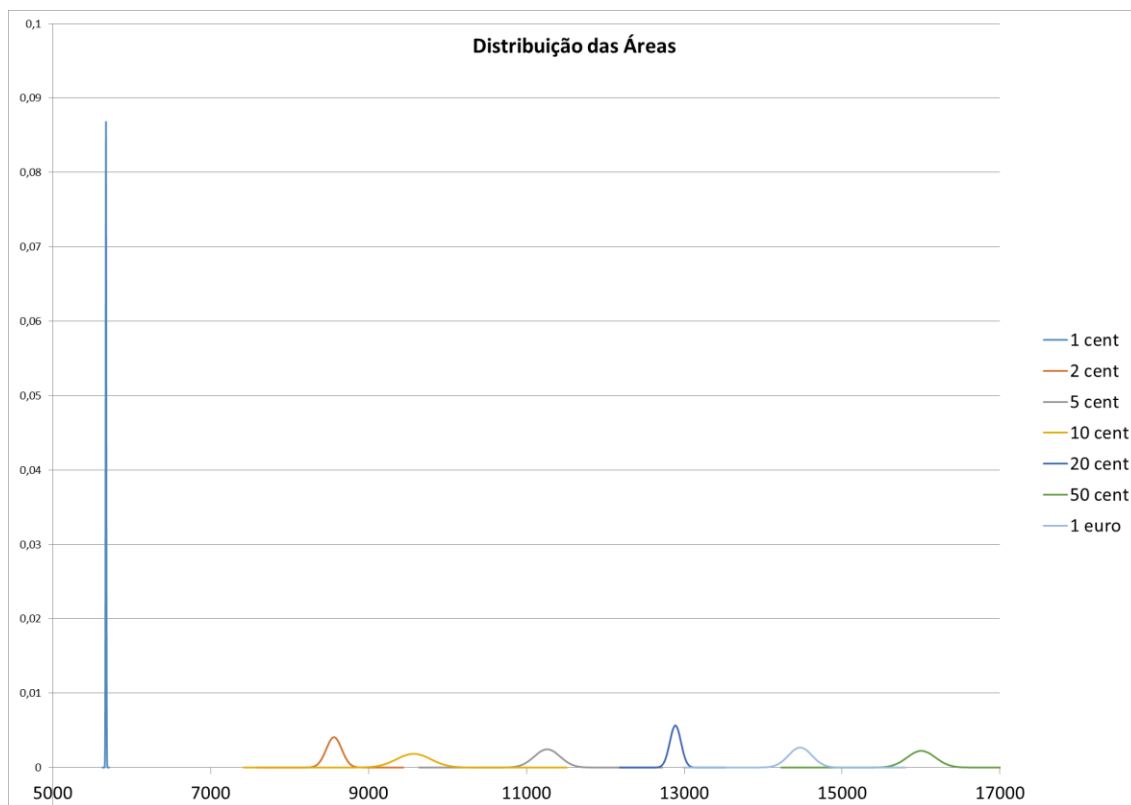


Figura 7 – Distribuição de Áreas das moedas

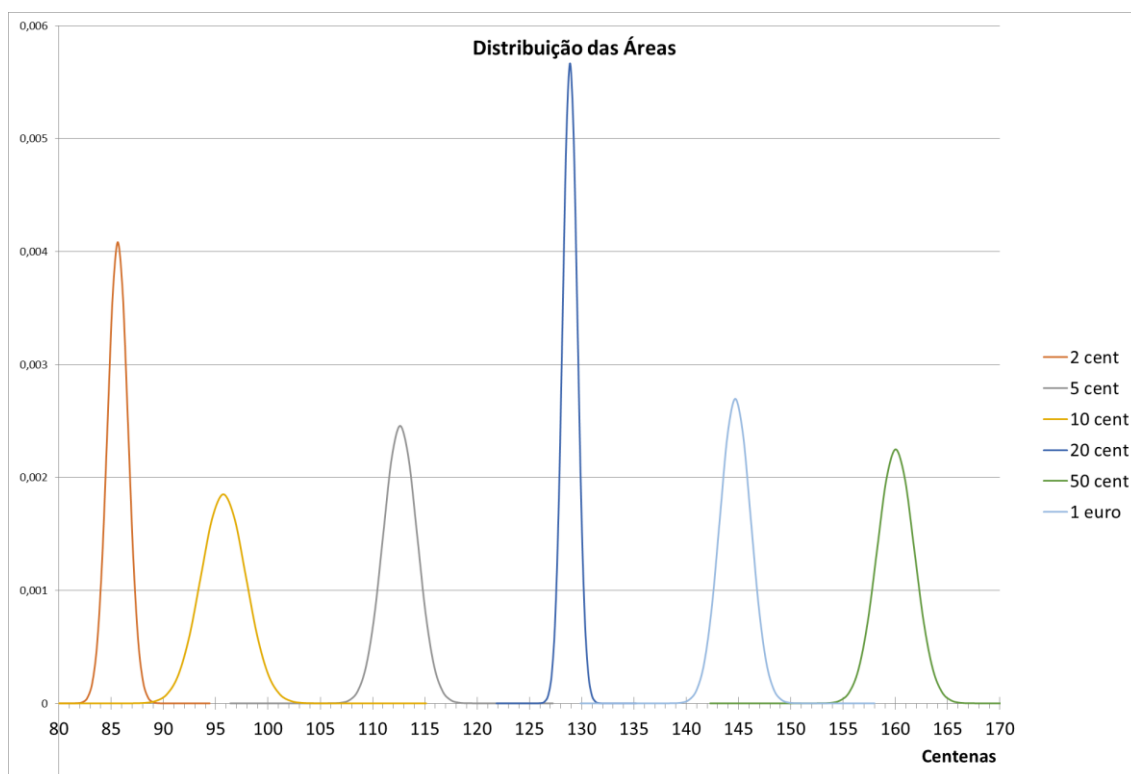


Figura 8 - Distribuição de Áreas das moedas (excluindo 1 cent)

Funções implementadas

getRGBImages

getRGBImages(src, hist=0, showR=0, showG=0, showB=0, showAll=0): red, green, blue

Recebe uma imagem a cores e decompõe-na nas suas componentes de cor R, G e B. Retorna três arrays bidimensionais, cada um correspondente a uma cor.

getImagem

getImagem(imgName, plotting = 0): dilate, img

Recebe o caminho de uma imagem. Usando a função *getRGBImages* decompõe a imagem nas três componentes de cor e trabalha sobre a componente de vermelho, aplicando operações morfológicas (blur, erosion e dilate). É retornada a imagem dilatada e a imagem original.

classifyObjects

classifyObjects(paths)

Recebe um array com um conjunto de caminhos para imagens. Para cada imagem verifica os contornos e hierarquia usando o método do Open CV *findContours*. Para todos os contornos de cada imagem é calculada a área (*contourArea*), o perímetro (*arcLength*), a circularidade, e se o contorno tem filhos ou pais. Se o contorno não tiver pais nem filhos e tiver um valor de circularidade susceptível de ser uma moeda, o contorno é avaliado. Essa avaliação consiste em comparar a área do contorno com as áreas de referência relativas aos tamanhos das diferentes moedas e a partir dessa comparação classificar a moeda, etiquetando-a e adicionando o valor da mesma à quantia presente na imagem. O resultado da função é gráfico, apresentando-se cada imagem com as moedas etiquetadas com o valor respectivo, assim como o valor da quantia total presente na imagem.

Conclusão

No término deste trabalho prático, denotou-se de grande importância a simplificação do problema como meio para a obtenção boas soluções. Dado que um computador não tem a capacidade inata para a classificação de objectos tal qual o homem, torna-se importante simplificar o problema, reduzindo os dados de entrada às componentes essenciais para a classificação. Deste modo, é possível obter características sólidas, lidando com uma menor complexidade computacional. Não é valeroso assim utilizar toda a informação presente na imagem quando apenas parte dela é conclusiva no processo de classificação pretendido.

Tornou-se também notável o facto de ao fazer esta simplificação das imagens (pelo processo de binarização), surgirem problemas, como o ruído, os quais tiveram de ser resolvidos pelo processamento da imagem com filtros e operadores morfológicos. Estes surgem então como meios de contornar a ambiguidade introduzida na binarização da foto.

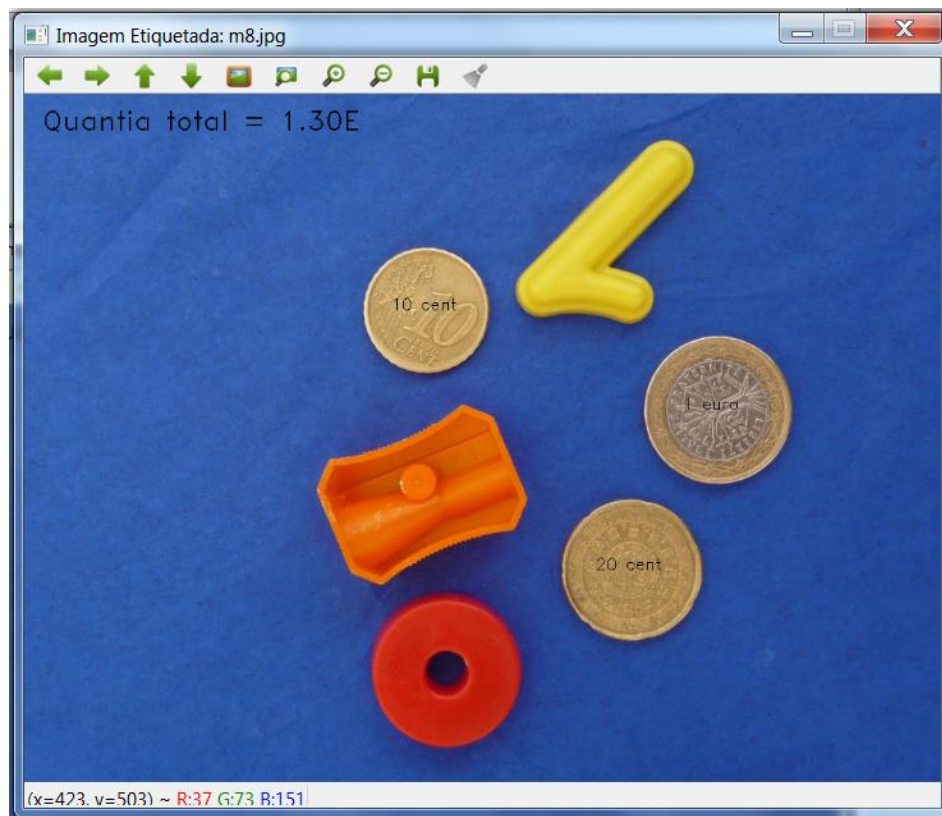
Todo este processo se foca no facto de manter apenas as características essenciais para caracterizar as moedas, no nosso caso a circularidade e área. Pôde constatar-se ainda que embora o processamento da imagem desfigure a imagem, o processo de classificação não é afectado, pois os objectos classificados são igualmente desfigurados nos conjuntos de treino e validação, mantendo-se deste modo a correlação entre as áreas e a classe a que pertence cada moeda.

Há que referir que a implementação abordada neste relatório apresenta uma enorme dependência às condições de obtenção da imagem sobre a qual se faz a extracção de características, não sendo robusto a alterações como mudanças de luminosidade, posição da camara, etc. Contudo, o desenvolvimento deste classificador revelou-se bastante importante e instrutivo como primeira abordagem a processamento de imagem, área esta de importância crescente na sociedade actual.

Outputs

Poderão ver-se de seguidas alguns outputs nos quais se pode verificar a capacidade de distinguir moedas doutros objectos, assim como reconhecer moedas conexas.





Bibliografia

- <http://www.bportugal.pt/pt-PT/NotaseMoedas/MoedasEuro/MoedasCorrentes/Paginas/Caracteristicas.aspx>
- Computer Vision - Shapiro e Stockman, 2000