



Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia

**Disciplina de Projeto em Informação Geográfica
2012/2013**

**Detecção e georreferenciação de
sinalização de trânsito vertical:**
desenvolvimento de um *software* protótipo.

Rui Nunes

fc32092@alunos.fc.ul.pt

Lisboa, Janeiro de 2013

Índice

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 8 |
| 2. Processamento digital de imagem | 9 |
| 2.1. Conversão do espaço de cores | 9 |
| 2.1.1. <i>RGB</i> | 9 |
| 2.1.2. <i>HSV</i> | 10 |
| 2.1.3. <i>Conversão RGB para HSV</i> | 10 |
| 2.2. Segmentação por pixel | 12 |
| 2.2.1. <i>Análise do histograma</i> | 12 |
| 2.3. Filtragem da imagem segmentada | 14 |
| 2.3.1. <i>Filtragem por morfologia matemática</i> | 14 |
| 2.3.2. <i>Filtragem de objetos baseada em regiões</i> | 14 |
| 2.3.3. <i>Filtragem de objetos por forma</i> | 15 |
| 2.4. Filtragem por correlação cruzada normalizada | 15 |
| 3. Georreferenciação | 16 |
| 3.1. Método direto de obtenção de parâmetros de orientações externas (GPS/IMU) | 16 |
| 3.2. Orientação externa | 17 |
| 3.3. Orientação interna | 17 |
| 3.4. Matriz de rotação | 17 |
| 3.5. Transformação de coordenadas pixel em coordenadas foto | 18 |
| 3.5.1. <i>Coordenadas pixel em relação ao centro da foto</i> | 18 |
| 3.5.2. <i>Coordenadas foto em relação ao centro da imagem</i> | 18 |
| 3.6. Transformação de coordenadas foto para coordenadas terreno | 18 |
| 4. Resultados obtidos | 19 |
| 5. Referências bibliográficas | 21 |

Índice de figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1: Esquema do processo da fase de processamento digital de imagem | 9 |
| Figura 2: Cubo do espaço de cor RGB. | 9 |
| Figura 3: Cone hexagonal do espaço de cores HSV. | 10 |
| Figura 4: Imagem original RGB (esquerda) e imagem transformada HSV | 12 |
| Figura 5: Componente H e respectivo histograma..... | 12 |
| Figura 6: Componente S e respectivo histograma..... | 13 |
| Figura 7: Componente V e respectivo histograma..... | 13 |
| Figura 8: Componentes H , S e V após limiarização..... | 13 |
| Figura 9: Intersecção das componentes H e S. | 14 |
| Figura 10: Componente S após filtragem por região..... | 14 |
| Figura 11: Imagem binária pré-filtragem e imagem binária pós filtragem | 15 |
| Figura 12: Identificação da sinalização por correspondência de modelos. | 15 |
| Figura 13: Definição dos ângulos de orientação externa. | 17 |
| Figura 14: Esquema do sistema de coordenadas pixel em relação ao canto superior esquerdo da imagem. | 18 |
| Figura 15: Relação entre a imagem e o objecto para uma fotografia aérea..... | 19 |

Índice de tabelas:

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Coordenadas obtidas | 20 |
| Tabela 2: Diferença de coordenadas entre objetos sobrepostos | 20 |

Lista de acrónimos:

GPS/IMU – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global);

GNSS – *Global Navigation Satellite System* (Sistema Global de Navegação por Satélite);

RGB – *Red, Green, Blue* (Vermelho, Verde, Azul);

HSV – *Hue, Saturation, Value* (Tonalidade, Saturação, Valor);

Resumo

Assim, é neste documento apresentado um projeto desenvolvido no âmbito da cadeira de Projeto em Informação Geográfica que tem por objetivo a detecção automática e georreferenciação de sinalização vertical de sinalização rodoviária a partir de imagens de vídeo. O problema foi dividido em duas partes: detecção de formas através de algoritmos de processamento digital de imagem, e georreferenciação utilizando algoritmos matemáticos no campo da fotogrametria com apoio GPS/IMU.

1. Introdução

A sinalização rodoviária constitui um importante elemento visual na segurança rodoviária. Esta tem a função de regular o tráfego através de proibições e obrigações impostas ao condutor, avisando-o também sobre determinados perigos existentes na estrada. Embora este sistema de sinalização contemple certas leis criadas para regular o tráfego, não se trata de um sistema infalível, sujeito às condições humanas de atenção e civismo. Desta forma, é possível notar certos desrespeitos pela sinalização ou falta de atenção por parte dos condutores, que muitas vezes não reparam nestes elementos rodoviários. São assim verificados acidentes que poderiam ser evitados se o condutor tivesse noção de todo o ambiente que o rodeia.

Assim, têm sido desenvolvidos ao longo do tempo sistemas de apoio à navegação rodoviária. Atualmente o mais comum é o sistema de navegação rodoviário apoiado por GNSS já com uma grande quota no mercado. Outros sistemas como a deteção de obstáculos e a sua evitação são atualmente objeto de estudo que desde a década de 80 tem tido muitas contribuições [Escalera *et. al.*, 1997]. Os estudos em relação à detecção de sinais de trânsito são mais recentes mas crescem a um ritmo bastante rápido [Escalera *et. al.*, 1997].

Para a detecção de sinais deverão ser tidos em conta alguns aspetos importantes [Bahlmann *et. al.*, 2003]:

- O *design* do sinal é único e as variações existentes são muito pequenas;
- Os sinais apresentam na sua maioria características refletoras;
- Os sinais apresentam cores que podem ser facilmente distinguidas de outros objetos presentes na natureza;
- São normal e preferencialmente colocados de forma a terem boa visibilidade para o condutor.

Embora estes pressupostos sejam na sua maioria verificados são, por vezes, detetados alguns problemas:

- Alguns sinais colocados podem não corresponder às características referidas acima;
- As condições de iluminação ambiente poderão variar (dia, noite, mau tempo);
- Distorções presentes na imagem de captura do sinal provocadas pelo facto de a câmara estar em movimento;
- As condições físicas do sinal (posição e deterioração do sinal) podem variar.

Contudo, um sistema que seja capaz de detetar sinais será versátil e poderá ser utilizado em inúmeras aplicações. Por exemplo, em coordenação com os sistemas de navegação para avisar o condutor de certos perigos ou no futuro em veículos autónomos.

Assim, é neste documento apresentado um projeto desenvolvido no âmbito da cadeira de Projeto em Informação Geográfica que tem por objetivo a detecção automática e georreferenciação de sinalização vertical de sinalização rodoviária a partir de imagens de vídeo. O problema foi dividido em duas partes: detecção de formas através de algoritmos de processamento digital de imagem, e georreferenciação utilizando algoritmos matemáticos no campo da fotogrametria com apoio GPS/IMU.

2. Processamento digital de imagem

Nesta secção serão explicadas as técnicas de processamento digital de imagem utilizadas na execução do programa. O objectivo desta parte consiste em detetar a sinalização vertical de trânsito numa imagem. Assim, dentro de uma imagem e através de técnicas de processamento de imagem, deverão ser destacados objetos cuja cor e forma se assemelhem aos de um sinal de trânsito, que apresenta formas distintas da restante paisagem.

As imagens são obtidas através de um vídeo, captado no momento de aquisição de dados. Um vídeo é composto por uma sequência de imagens (*frames*) fixas, dando assim sensação de movimento.

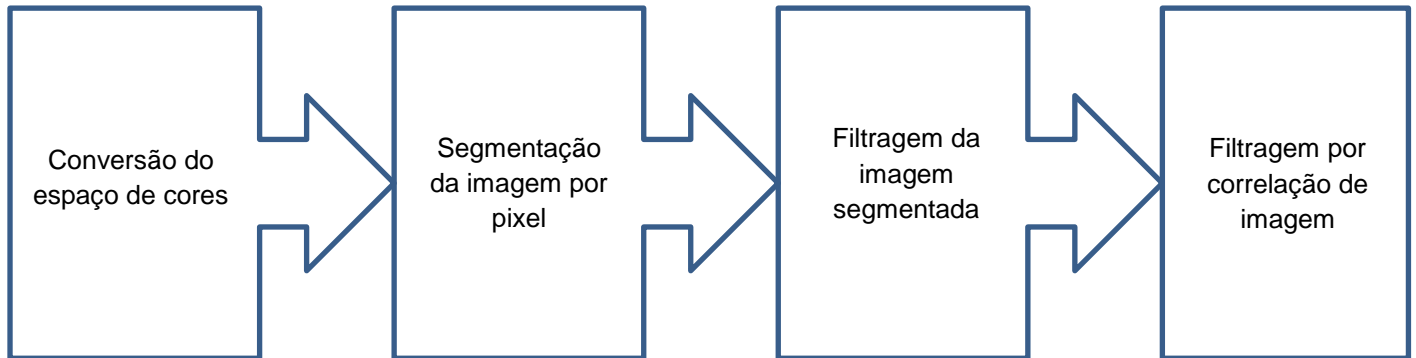


Figura 1: Esquema do processo da fase de processamento digital de imagem

2.1. Conversão do espaço de cores

A conversão do espaço de cores consiste em facilitar os processos de análise visual de uma imagem, preparando-a assim para vários tipos de tratamento digital.

2.1.1. RGB

O espaço de cores RGB (*Red, Green, Blue*) é um sistema que se caracteriza pela sua propriedade aditiva, ou seja, através da junção destas três cores, é possível obter as restantes. Este sistema é utilizado para a obtenção da visualização de imagens coloridas em dispositivos eletrónicos como a televisão, computadores e telemóveis, pois não necessita de qualquer tipo de transformação [Ford et. al, 1998]. Embora seja um sistema de fácil implementação, este caracteriza-se por uma perceção visual não linear, tal como acontece nas imagens do mundo real captadas pelo olho humano. Este espaço de cores pode ser visualizado como um cubo, cujos eixos representam cada uma das cores. Quando $R = 0$, $G = 0$, $B = 0$ é criada a cor preta. Quando $R = 256$, $G = 256$, $B = 256$ é criada a cor branca. Estas combinações de valores criarão outras cores.

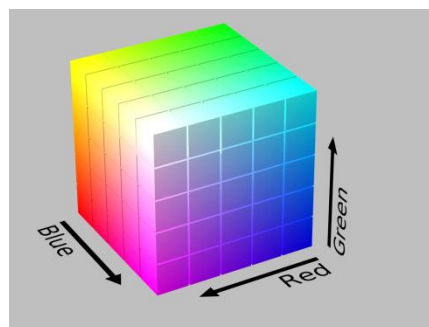


Figura 2: Cubo do espaço de cor RGB. (Fonte: Wikipedia)

2.1.2. HSV

O sistema de cores HSV (*Hue*, *Saturation*, *Value*) é um sistema derivado a partir de transformações lineares do sistema RGB. Este tem a vantagem de especificar as cores de uma maneira mais intuitiva e próxima de percepção que os seres humanos têm das cores, uma vez que neste sistema é separada a intensidade da imagem da informação de cor. Este espaço é uma espécie de deformação do espaço de cores RGB, apresentando uma geometria cónica hexagonal (Smith, 1978). O modelo cónico hexagonal é um modelo que tenta transformar o cubo RGB num modelo que emula o método de mistura de cores por artistas.

As suas componentes representam o seguinte:

- **Hue:** ângulo da posição do ponto no cilindro em relação ao seu eixo (*Value*). Representa a pureza da cor.
- **Saturation:** Distância do eixo do cilindro ao ponto que representa a cor. Representa o comprimento de onda dominante na cor do espectro.
- **Value:** Eixo do cilindro. Representa o brilho da cor e varia com a saturação.

Faz todo o sentido que na detecção de sinais de trânsito este espaço de cores seja utilizado, uma vez que permite influenciar as variações de luz e eliminar sombras que fariam com que a sua detecção fosse mais complicada no espaço de cores RGB.

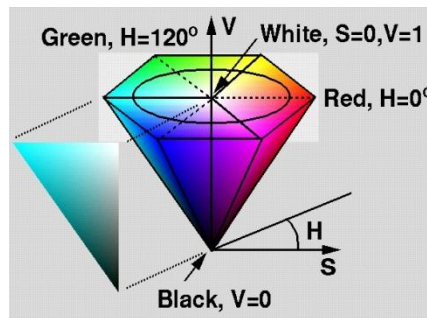


Figura 3: Cone hexagonal do espaço de cores HSV. (Fonte: http://projekt.ffi.no/unik-4660/lectures04/chapters/jpgfiles/HSV_cone.jpg)

2.1.3. Conversão RGB para HSV

A conversão de RGB para HSV é feita a partir do seguinte algoritmo [Smith, 1978] :

A componente Value (V) é obtida por:

$$V = \max(R, G, B) \quad (1)$$

A Componente de Saturação (S) é obtida por:

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (2)$$

Se a componente S for nula, então a componente H não está definida. Isso significa que a imagem introduzida é monocromática. Caso isso não aconteça, a componente H da imagem, é obtida por:

Se $R = \max(R, G, B)$ e $G = \min(R, G, B)$, então:

$$H = 5 + \frac{\max(R, G, B) - B}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (3)$$

Se $R = \max(R, G, B)$ e $G \neq \min(R, G, B)$, então:

$$H = 1 - \frac{\max(R, G, B) - G}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (4)$$

Se $G = \max(R, G, B)$ e $B = \min(R, G, B)$, então:

$$H = 1 + \frac{\max(R, G, B) - R}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (5)$$

Se $G = \max(R, G, B)$ e $B \neq \min(R, G, B)$, então:

$$H = 3 - \frac{\max(R, G, B) - B}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (6)$$

Se $R = \max(R, G, B)$, então:

$$H = 3 + \frac{\max(R, G, B) - G}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (7)$$

Caso nenhuma das anteriores se verifique:

$$H = 5 - \frac{\max(R, G, B) - R}{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)} \quad (8)$$

De seguida, o valor de H deverá ser convertido em graus:

$$H = H \times 60 \quad (9)$$

Os valores de V e S deverão estar compreendidos entre 0 e 1. A componente H apresentará valores entre 0° e 360°.



Figura 4: Imagem original RGB (esquerda) e imagem transformada HSV (direita).

2.2. Segmentação por pixel

A segmentação por pixel consiste em decompor uma imagem em regiões distintas com o objetivo de a simplificar. Desta forma certas características dos objetos serão mais perceptíveis quanto à sua forma e limites e a imagem é então mais fácil de analisar, uma vez que a maior parte dos objetos que não nos interessam são eliminados (filtragem).

Soares (2012), refere algumas vantagens e desvantagens deste método de segmentação:

Vantagens:

- Facilidade de implementação.
- Rapidez.
- Adequado para certos tipos de imagens.

Desvantagens:

- A segmentação é geralmente pouco eficaz.
- Não garante a coerência dos objetos.

2.2.1. *Análise do histograma*

Foi analisado o histograma da componente de saturação da imagem. Selecionou-se esta componente pois os objetos de cor azul e vermelha tornam-se bem visíveis. Uma vez que contém cores mais claras, significa que deverão ser eliminados pixels com valores inferiores (escuros).

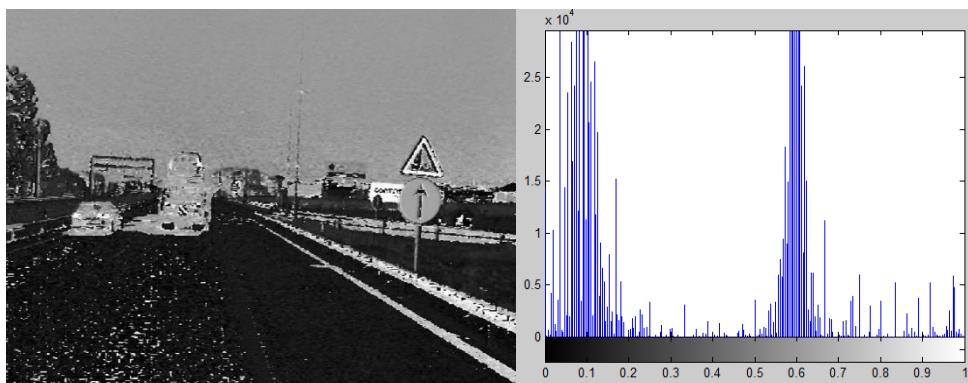


Figura 5: Componente H e respectivo histograma.

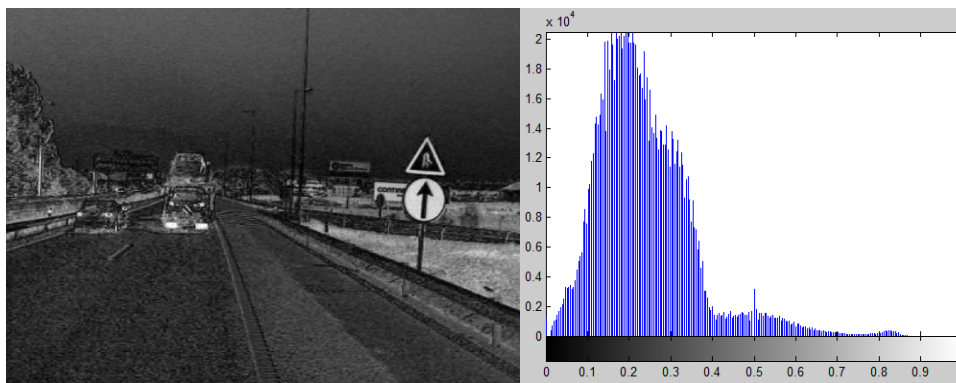


Figura 6: Componente S e respectivo histograma.

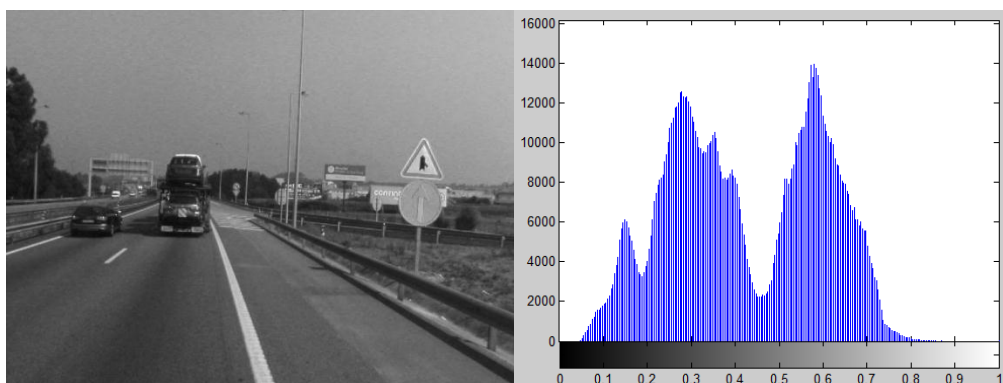


Figura 7: Componente V e respectivo histograma.

Pela análise do histograma, seleccionou-se o valor 0.6 para a limiarização, o que significa que todos os valores inferiores a este são apagados na imagem binária.

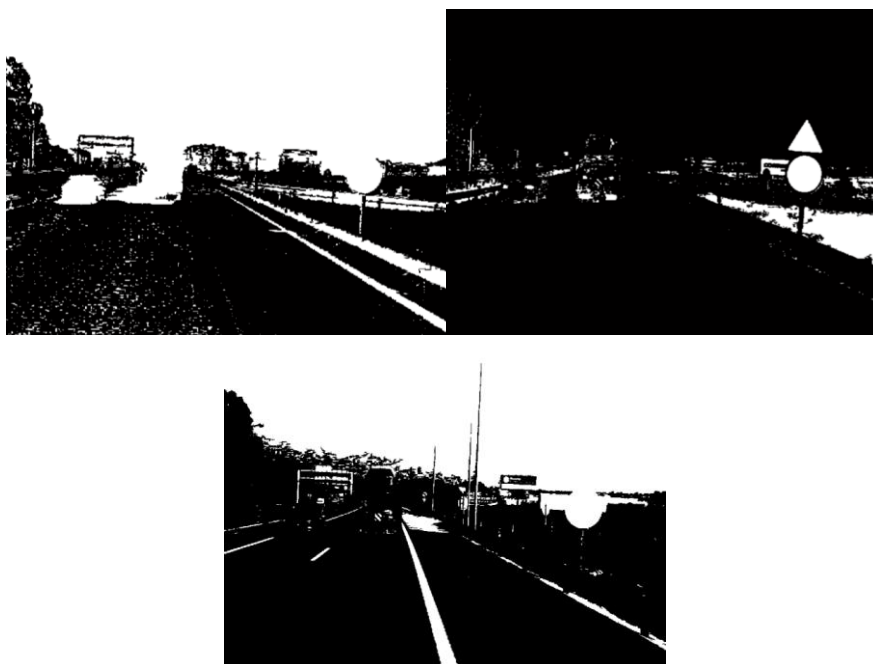


Figura 8: Componentes H (superior esquerdo), S (superior direito) e V (baixo) após limiarização.

Surge então uma imagem onde se podem notar os sinais desejados. Contudo, muitos outros objetos continuam presentes, constituindo ruído na imagem. Estes terão de ser filtrados segundo outros métodos, apresentados de seguida.

2.3. Filtragem da imagem segmentada

2.3.1. Filtragem por morfologia matemática.

A morfologia matemática destina-se essencialmente à análise espacial de estruturas (Soares, 2012). Esta teoria baseia-se na teoria da lógica de conjuntos.

Assim, da intersecção entre as componentes H e S da imagem, é criada uma nova imagem com menos ruído.



Figura 9: Intersecção das componentes H e S.

2.3.2. Filtragem de objetos baseada em regiões

A filtragem de objetos baseada em regiões consiste em detetar objetos que sejam constituídos por mais ou menos que um certo número de pixéis. Neste caso, objetos constituídos por menos que 1000 pixéis são eliminados.

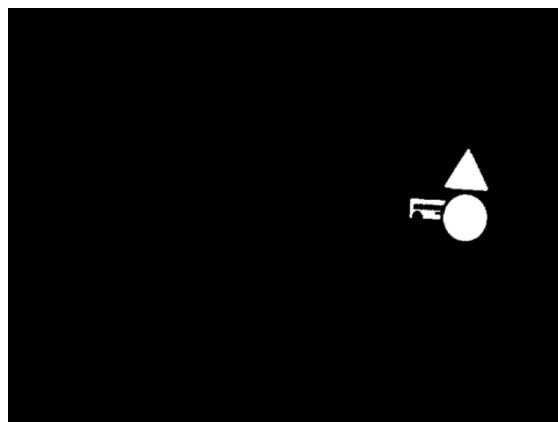


Figura 10: Componente S após filtragem por região.

2.3.3. Filtragem de objetos por forma

A filtragem de objetos pela sua forma, consiste em detetar objetos que apresentem uma forma específica. Para o efeito foi calculado um escalar que especifica a excentricidade de uma elipse que se aproxima da forma da região a ser estudada. O seu valor é o rácio da distância entre do seu semieixo maior.

No caso dos sinais redondos, estes terão uma excentricidade perto de zero.

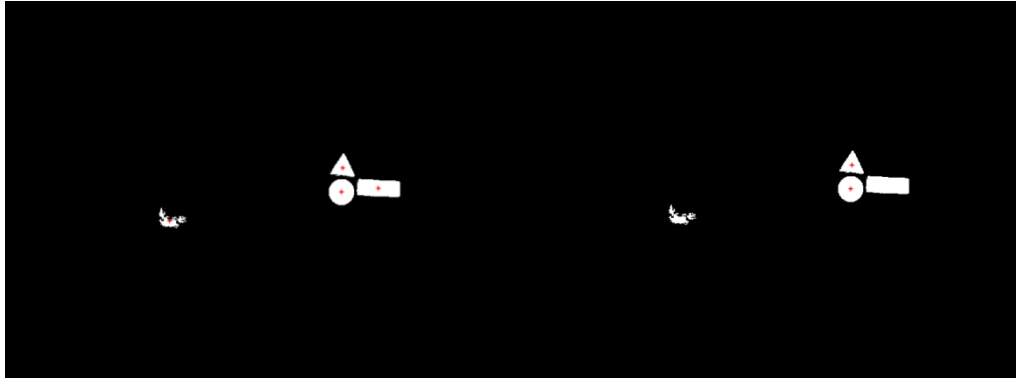


Figura 11: Imagem binária pré-filtragem (esquerda) e imagem binária pós filtragem (direita). Dois objetos que não representam os sinais, deixam de ser selecionados.

2.4. Filtragem por correlação cruzada normalizada

O último passo da filtragem consiste em efetuar uma correspondência dos sinais com o seu modelo, de modo a este ser corretamente identificado pelo seu nome. Essa correlação é efetuada através de uma correlação cruzada normalizada.



Figura 12: Identificação da sinalização por correspondência de modelos.

A correlação cruzada normalizada é uma técnica de reconhecimento de padrões onde um modelo (*template*) é movido sobre todas as possíveis posições da imagem que se pretende analisar. Em cada pixel é calculado um coeficiente que varia entre -1 e 1. Se o pixel apresentar um valor de coeficiente próximo de 1, significa que esse ponto poderá ser o melhor para correspondência.

O coeficiente é calculado através da seguinte equação:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (10)$$

Onde

- x_i Corresponde aos valores de intensidade de um pixel e sua vizinhança no modelo (*template*);
- y_i Corresponde aos valores de intensidade de um pixel e sua vizinhança na imagem a analisar;

- \bar{x} Corresponde à média de valores de intensidade na vizinhança do pixel no modelo (template);
- \bar{y} Corresponde à média de valores de intensidade na vizinhança do pixel na imagem a analisar.

3. Georreferenciação

3.1. Método direto de obtenção de parâmetros de orientações externas (GPS/IMU)

Para determinar as coordenadas objecto a partir das coordenadas presentes nas imagens, será efectuado o cálculo com recurso às equações de colinearidade e como tal são necessários os parâmetros de orientação externos e internos da câmara no momento em que as imagens foram obtidas. Os parâmetros de orientação interna são geralmente fornecidos pelos fabricantes das câmaras, mas poderão ser obtidos por calibração desta (caso das câmaras métricas).

Na fotogrametria, são usualmente empregues dois métodos para a obtenção das orientações externas (Redweik, 2011):

- Método direto (GPS/IMU)
- Método indireto (Aerotriangulação)

Neste trabalho foi utilizado o método direto. Este é um método recente que integra na fotogrametria a tecnologia GPS e a tecnologia IMU. Com a tecnologia GPS é possível obter as coordenadas do centro de projecção da fotografia no momento da sua captação. A aplicação IMU fornece para cada momento t , a atitude do corpo em movimento, nomeadamente (Redweik, 2011):

- Posição do corpo;
- Velocidade do corpo;
- Ângulos de orientação do corpo.

Estes resultados têm que ser transformados para o sistema de referência conveniente. Neste caso, a sua posição foi convertida para o sistema de coordenadas PT-TM06/ETRS89 através da transformação de Bursa-Wolf.

Redweik (2011), refere algumas vantagens e desvantagens desta tecnologia.

Vantagens:

- Obtenção direta dos 6 elementos de orientação externa de cada fotografia;
- Redução de custos globais de produção;
- Permite o processamento de blocos não regulares;
- Permite a orientação em zonas de fraco contraste;
- Permite o processamento de fotografias de pequeno formato.

Desvantagens:

- Sistema dispendioso na aquisição;
- Necessita de calibração;
- A calibração exige conhecimento de causa e treino;
- Calibração não estável a longo prazo;
- Processamento dos dados não habituais em cadeias de produção fotogramétrica estabelecidas.

3.2. Orientação externa

A orientação externa de uma fotografia descreve onde e como se posicionava o eixo fotográfico em relação ao espaço objeto no exato momento em que a fotografia foi obtida. Seis parâmetros definem a orientação externa:

- $X_0; Y_0, Z_0$: coordenadas do centro de projeção da imagem;
- *Heading* (ou *Yaw*), *Pitch*, *Roll*: ângulos de atitude do veículo.

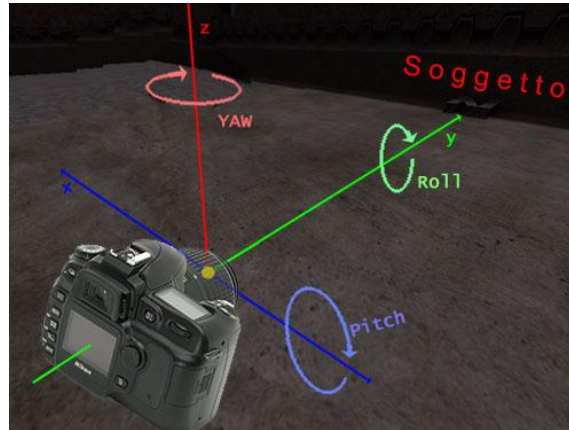


Figura 13: Definição dos ângulos de orientação externa. (Fonte: <http://www.photoactivity.com/Pagine/Articoli/017%20Stitch%20approfondimento/Yaw%20Pitch%20Roll.jpg>)

3.3. Orientação interna

Para a obtenção das coordenadas objecto segundo as equações de colinearidade, é também necessário conhecer os parâmetros de orientação externa da câmara. De um modo geral, estes parâmetros são fornecidos pelo fabricante do equipamento ou obtidos através de calibração (no caso das câmaras métricas). As orientações internas fornecidas são as seguintes:

Número de pixéis da imagem em x: 1280;

Número de pixéis da imagem em y: 960;

Constante da câmara: -6.089964;

x_0 : 0.001086;

y_0 : -0.005296;

Dimensão de um pixel: 0.00465×0.00465 .

3.4. Matriz de rotação

Uma matriz de rotação tem a função de alterar a direção de um vetor, através da sua rotação em torno de um eixo (eixo de rotação). A rotação é definida pelos elementos da matriz, ângulos de rotação provenientes dos parâmetros de orientação externa, que representam a atitude do veículo no momento de captura de fotografia. A matriz de rotação utilizada é a seguinte:

$$\begin{bmatrix} \cos(\text{pitch}) \times \cos(\text{heading}) & \cos(\text{roll}) \times \sin(\text{heading}) & \sin(\text{pitch}) \times \cos(\text{heading}) - \sin(\text{heading}) \times \sin(\text{roll}) \\ -\cos(\text{pitch}) \times \sin(\text{heading}) & \cos(\text{roll}) \times \cos(\text{heading}) & \sin(\text{heading}) \times \sin(\text{pitch}) + \sin(\text{roll}) \times \cos(\text{heading}) \\ \sin(\text{pitch}) & -\sin(\text{roll}) & \cos(\text{roll}) \times \cos(\text{pitch}) \end{bmatrix}$$

3.5. Transformação de coordenadas pixel em coordenadas foto

As coordenadas obtidas das imagens estão referidas ao canto da imagem. Assim a primeira etapa será referenciar os pontos que representam os centroides dos sinais em relação ao centro da imagem.

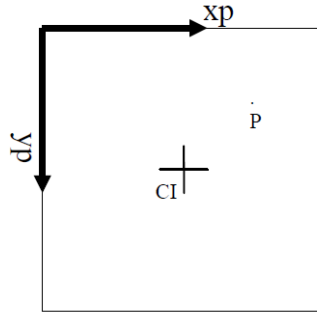


Figura 14: Esquema do sistema de coordenadas pixel em relação ao canto superior esquerdo da imagem. (Fonte: Redweik, 2012).

3.5.1. Coordenadas pixel em relação ao centro da foto.

$$x_{ci} = x_p - \frac{\text{número de pixels em } y}{2} \quad (11)$$

$$y_{ci} = \frac{\text{número de pixels em } x}{2} - y_p \quad (12)$$

Onde:

- (x_p, y_p) são as coordenadas pixel de um ponto referidas ao canto superior esquerdo da imagem;
- (x_{ci}, y_{ci}) são as coordenadas pixel de um ponto referidas ao centro da imagem.

3.5.2. Coordenadas foto em relação ao centro da imagem.

$$x = x_{ci} \times \text{número de pixels em } x \quad (13)$$

$$y = y_{ci} \times \text{número de pixels em } y \quad (14)$$

Onde (x, y) são as coordenadas foto de um ponto na imagem, referidas ao centro da imagem.

3.6. Transformação de coordenadas foto para coordenadas terreno

A transformação de coordenadas foto em coordenadas objecto é realizada através de equações de colinearidade. Estas equações (15) e (16) são a expressão analítica do princípio que supõe que a luz se propaga em linha recta e que no momento da captação de uma imagem, houve um raio luminoso retilíneo que partiu de um ponto no objecto, passou pelo centro óptico da lente da câmara e atingiu o sensor, onde foi formada a imagem [Redweik, 2011]. Isto significa que no momento da captura da imagem, existia colinearidade entre o centro de projecção, um ponto no objecto e a correspondente imagem na fotografia.

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{R(1,1) \times (x - x_0) + R(1,2) \times (y - y_0) + R(1,3) \times c}{R(3,1) \times (x - x_0) + R(3,2) \times (y - y_0) + R(3,3) \times c} \quad (15)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{R(2,1) \times (x - x_0) + R(2,2) \times (y - y_0) + R(2,3) \times c}{R(3,1) \times (x - x_0) + R(3,2) \times (y - y_0) + R(3,3) \times c} \quad (16)$$

O valor de Z é derivado das equações de colinearidade.

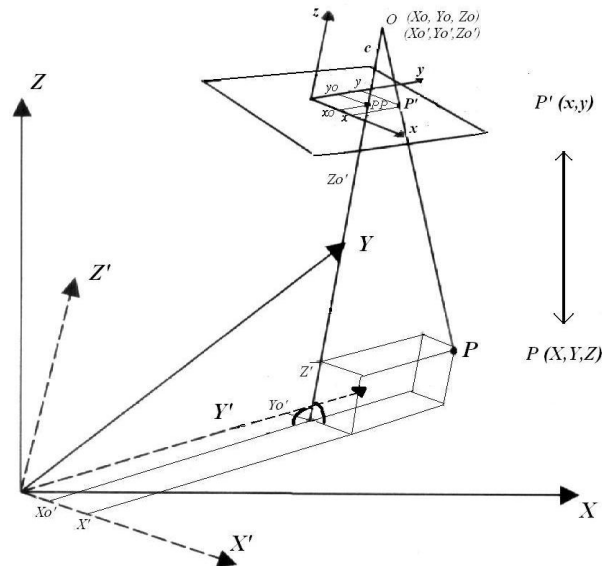


Figura 15: Relação entre a imagem e o objecto para uma fotografia aérea. (Fonte: Redweik, 2011)

Como já foi referido anteriormente, é necessário conhecer à partida os parâmetros de orientação externa e interna. Neste caso as coordenadas obtidas pelas equações de colinearidade não irão passar por um processo iterativo de ajustamento por mínimos quadrados. Para que o ajustamento possa ser aplicado, é necessário haver uma redundância de observações e como tal o número de pontos deverá ser superior a 3. Assim, tem-se 2 pontos por sinal, gerando 4 equações. O número mínimo de equações necessárias são 3, logo teremos um grau de liberdade. Assim, como temos pouca redundância, optou-se por não aplicar o ajustamento por mínimos quadrados.

4. Resultados obtidos

O trabalho desenvolvido neste projeto teve como principal motivação o desenvolvimento de uma ferramenta protótipo que poderá ser parte integrante de um sistema com uma aplicação mais global. Serão em seguida analisados os resultados obtidos.

A metodologia utilizada para a detecção dos objetos, revelou ser adequada para o problema proposto, uma vez que todos os sinais que se pretendiam destacar foram incluídos. Pode-se assim afirmar que o método de processamento digital de imagem aqui abordado, poderá ser utilizado em aplicações semelhantes.

No entanto, esta ferramenta só está completa após a obtenção da localização dos objetos no espaço tridimensional (georreferenciação). Encontram-se na tabela abaixo as coordenadas obtidas para cada sinal:

Tabela 1: Coordenadas obtidas

| Ponto | M (m) | P (m) | H (m) |
|------------------------------|------------|------------|------------|
| Curva perigosa a direita | -46774.114 | 172301.038 | -607.453 |
| Via com entroncamento | -46815.037 | 172466.339 | 6338.702 |
| Cedência de prioridade | -46838.749 | 172549.153 | 896.439 |
| Obrigatório seguir em frente | -46814.145 | 172461.861 | 3689.712 |
| Proibido virar a esquerda | -46835.150 | 172537.253 | -43896.094 |
| Proibido ultrapassar | -46786.440 | 172360.136 | -641.012 |
| Proibido circular a > 40km/h | -46785.811 | 172355.753 | -10637.720 |
| Proibido circular a > 60km/h | -46773.532 | 172296.443 | -1832.105 |
| Proibido circular a > 80km/h | -46762.885 | 172236.166 | -492.549 |

À primeira vista, podemos constatar que as coordenadas altimétricas apresentam um erro bastante grande. Analisemos então as coordenadas planimétricas de sinais que se encontram sobrepostos:

Tabela 2: Diferença de coordenadas entre objetos sobrepostos

| | M (m) | P (m) |
|------------------------------|------------|------------|
| Proibido virar a esquerda | -46835.150 | 172537.253 |
| Cedência de prioridade | -46838.749 | 172549.153 |
| Diferença | 3.599 | 11.9 |
| Proibido ultrapassar | -46786.440 | 172360.136 |
| Proibido circular a > 40km/h | -46785.811 | 172355.753 |
| Diferença | 0.629 | 4.383 |
| Via com entroncamento | -46815.037 | 172466.339 |
| Obrigatório seguir em frente | -46814.145 | 172461.861 |
| Diferença | 0.892 | 4.478 |
| Curva perigosa a direita | -46774.114 | 172301.038 |
| Proibido circular a > 60km/h | -46773.532 | 172296.443 |
| Diferença | 0.582 | 4.595 |

As coordenadas planimétricas encontram-se mais próximas, apresentando diferenças razoáveis em M. Em P as diferenças são muito significativas.

Assim, a abordagem tomada para este problema poderá não ter sido a mais correta. Hipoteses de melhoria do algoritmo:

- Poderia ser refinado o algoritmo utilizado através da medição de mais pontos por sinal, aumentando assim a redundância;
- Poderiam ser utilizados outros métodos de reconhecimento de padrões referidos na literatura, por exemplo algoritmos genéticos ou redes neuronais.

Apesar dos resultados finais pouco satisfatórios, os objectivos deste trabalho foram cumpridos.

5. Referências bibliográficas

- Smith, A., R., “Colour Gamut Transform Pairs”, Computer Graphics Lab New York Institute of Technology, 1978;
- Soares, F., Apontamentos das aulas teóricas de Processamento Digital de Imagem, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2012;
- Redweik, P., Apontamentos das aulas teóricas de Fotogrametria Analítica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2011;
- Redweik, P., Apontamentos das aulas teóricas de Produção Cartográfica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2012;
- Ford, A., Roberts, A., “Colour Space Conversions”, British Broadcasting Corporation & University of Westminster, 1998;
- Bahlmann, C, Zhu, Y., Ramesh, V., Pellkofer, M., Koehler, T., “A System for Traffic Sign Detection, Tracking, and Recognition Using Color, Shape, and Motion Information”, Siemens Corporate Research, Inc. (USA) & Siemens VDO Automotive AG (Germany), 2003;
- Arturo de la Escalera, A., Moreno, L., E., Salichs, M., A., Armingol, J., M., “Road Traffic Sign Detection and Classification”, IEEE, 1997.