

## Controle e navegação de VANTs através de utilização de template matching

Adriano Lages dos Santos<sup>1</sup>, Luiz Carlos Bambirra Torres<sup>1</sup>, Haroldo Fraga de Campos Velho<sup>2</sup>, Elcio Hideiti Shiguemori<sup>3</sup>, Antônio de Pádua Braga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos/SP - Brasil.

<sup>3</sup>Instituto de Estudos Avançados (IEAv) – Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) - São José dos Campos/SP - Brasil.

{adrianolages, luiztorres, apbraga}@ufmg.br, haroldo@lac.inpe.br, elcio@ieav.cta.br

**Abstract.** *This paper describes the use of a computer vision technique called template matching in order to verify the efficiency of the same on a task that is to assist in the navigation of a UAV. Will detail the work methodology used to carry out the experiments, and then the results will be shown and factors of improvements in the technique of template matching and finally present the conclusions of the work.*

**Keywords:** UAV, Template matching, image processing, computer vision.

**Resumo.** *Este artigo descreve sobre a utilização de uma técnica de visão computacional chamada template matching com intuito de verificar a eficiência da mesma em uma tarefa que consiste em auxiliar a navegação de um VANT. Detalharemos a metodologia de trabalho utilizada para realização dos experimentos, em seguida serão mostrados os resultados e fatores de melhorias na técnica de template matching e por fim apresentaremos as conclusões do trabalho.*

**Palavras-chave:** VANT, Template matching, processamento de imagens, visão computacional.

### 1. Introdução

Vários estudos têm sido desenvolvidos para aprimorar o reconhecimento de padrões para diversos tipos de sistemas autônomos, tentando fazer com que esses sistemas tenham uma capacidade de reconhecimento de imagens ou de padrões diversos, similar ao ser humano. Esses estudos despertam o interesse de órgãos militares e governos, para fins de guerra e segurança, a fim de evitar a exposição de seres humanos em tarefas que colocam a vida em risco. A iniciativa privada também tem interesse nessa área, utilizando sistemas que reconhecem características únicas em cada ser humano, como

impressão digital, retina, voz, etc. Esses sistemas são utilizados para garantir segurança a informações sigilosas e estão sempre em evolução. Da mesma forma, diversos tipos de técnicas computacionais são aplicadas para que veículos autônomos não necessitem de interação com o ser humano para realizar sua navegação sobre um trajeto determinado. O nosso objeto de estudo nesse artigo será avaliar imagens captadas por um VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado e através de técnicas de processamento de imagens, [Campoy 2008], [Nygards 2003] identificar as fotos captadas pelo VANT em uma imagem de satélite, sendo que esta imagem de satélite é uma imagem que contém toda a extensão territorial de uma determinada cidade. O VANT apenas navegou em alguns pontos dessa cidade. As imagens captadas pelo VANT durante o seu voo são feitas através de uma câmera fotográfica anexada ao mesmo. Dessa forma o objetivo do algoritmo é processar a foto tirada pelo VANT em tempo real, e buscar correlacioná-la na imagem de satélite, ou seja, buscar aquele local que o VANT está na imagem de satélite e dessa forma a navegação pode ser feita, pois saberemos onde o VANT se encontra dentro da cidade e podemos guiá-lo então para qualquer caminho desejado. Atualmente a maioria dos VANTs navegam através de GPS – Global Positioning System (sistema de posicionamento global), que atualmente é o método mais utilizado em escala mundial [Bachmann 1996], [Mascarenhas 2011], mas mesmo assim existe a necessidade de soluções alternativas ao GPS, pois essa tecnologia pode não estar disponível para todos aqueles que desejam utilizá-la e também existe o risco do sinal GPS ser bloqueado por interesses comerciais e militares, assim como podem receber interferência e conter erro [Zhou 2010].

Diversos estudos para aplicar técnicas de processamento de imagens para navegação dos VANTs têm sido utilizados. Existem técnicas que são sensíveis a variação das imagens, ou seja, as imagens a serem casadas necessitam ter a mesma escala e mesma posição, o template matching [Sarvaiya 2009] [Brunelli 2009], que foi o método utilizado nesse trabalho, precisa de ajustes de escala e rotação das imagens que serão casadas. Há também os métodos invariantes, que não dependem tanto do ajuste da imagem, para que ocorra o casamento entre elas. Como exemplo existe o método SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [Cong 2009] e o método SURF (Speeded Up Robust Features) [Bay 2008].

Junto com as técnicas de processamento de imagens, existe a necessidade de tratamento de imagens, como transformar as imagens para escala de cinza, filtragem para reduzir efeitos de ruído, extração de bordas das imagens, a fim de melhorar o desempenho da técnica de reconhecimento que está sendo utilizada, pois trabalhar com as imagens em escala RGB, por exemplo, torna qualquer método de processamento digital de imagens muito lento [Gonzalez 2008], [Shapiro 2008].

Neste artigo iremos usar o método de template matching para realizar o casamento das imagens. É importante ressaltar, que o objetivo nesse artigo, é o funcionamento da técnica, visando o menor tempo de processamento possível para realizar o casamento da imagem obtida pelo VANT durante um período de voo com a imagem base retirada por um satélite. O tempo de processamento da técnica é importante, pois há a preocupação, de obtenção da rota, o mais rápido possível para guiar o veículo aéreo não tripulado. O restante deste artigo está dividido da seguinte maneira: a seção 2 descreve brevemente a abordagem do template matching para realização do trabalho de reconhecimento de imagens, a seção 3 mostra os experimentos

realizados e os resultados do trabalho; finalizando, a seção 4 apresenta as conclusões obtidas e o que pode ser feito em trabalhos futuros.

## **2. O método Template Matching**

Template matching é o processo que busca encontrar a posição de uma sub-imagem dentro de uma imagem maior.

A imagem maior que neste artigo é a imagem de satélite, é chamada de template. O processo de template matching envolve o deslocamento da sub-imagem por toda a área do template e computar as similaridades entre elas através de uma medida simples de correlação entre a sub-imagem e o template. [Brunelli 2009], [Duda e Hart, 2001].

### **2.1. Coeficiente de Correlação**

Podemos entender o coeficiente de correlação como uma medida do grau de relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. Portanto, o coeficiente de correlação tem ênfase na predição do grau de dependência de duas variáveis aleatórias. O cálculo da correlação é realizado através da divisão da covariância entre duas variáveis  $x$  e  $y$  pelo produto do desvio padrão de  $x$  pelo desvio padrão de  $y$ . [Szekely, 2007].

Pode-se esperar do coeficiente de correlação valores positivos e negativos. O sinal do coeficiente de correlação (+, -) vai indicar a direção da relação entre as duas variáveis (positiva ou negativa). Uma correlação positiva indica que, enquanto os valores das componentes de uma variável aumentam, os valores das componentes da outra variável aumentam e vice-versa. Para uma correlação negativa, acontece o oposto: enquanto uns aumentam, os outros diminuem e vice-versa.

## **3. Seção experimental**

Para nossos testes estão sendo utilizadas imagens de satélite georeferenciadas, além de imagens tiradas durante o voo do VANT. O Objetivo é encontrar as imagens fotografadas pelo VANT durante o voo no conjunto de imagens de satélite, que foram reduzidas para garantir que o experimento possa ser feito com maior velocidade. Essas imagens de satélite reduzidas (chamadas de folha) são divisões do que chamamos de mosaico (imagem completa de satélite), a fim de garantir maior velocidade ao processo de casamento de imagens, haja vista que a imagem do mosaico possui aproximadamente 212 MB com dimensões de 13724 x 16198 pixels, com os recursos computacionais disponíveis para o experimento, torna-se inviável trabalhar com a imagem mosaica completa. As imagens que usaremos no experimento são escolhidas manualmente visando conter pontos de destaque como estádios ou construções de destaque.

Inicialmente foram inspecionadas as imagens obtidas pelo VANT em seu voo, para casamento com as imagens de satélite. Foram fornecidas em torno de 88 imagens tiradas pelo VANT e 7 folhas (pedaços da imagem de satélite). Cada folha possui tamanho aproximado de 44 MB com dimensões de 8030 x 5813 pixels e as fotos do VANT possuem tamanho de 1 MB com dimensões de 720 x 480 pixels.

Para realização do trabalho foram utilizadas 4 imagens do voo do VANT, afim de traçar uma rota de voo do mesmo. Os 4 pontos escolhidos foram pontos de interesse

mais diferenciáveis no mapa, como estádios, viadutos, estradas que estão bem destacadas na imagem, etc, pois existem vários pontos parecidos como casas, prédios, e avenidas.

Antes de fazer o casamento das imagens é necessário que elas sejam tratadas, para que ruídos sejam extraídos, bem como também converter as imagens para escala de cinza, já que as imagens que estamos trabalhando são coloridas e convertendo as mesmas para escala de cinza, estamos contribuindo para um melhor tempo de processamento já que o tamanho físico da imagem diminui. A imagem do VANT precisa ser rotacionada e ter sua escala corrigida. Logo após este passo são extraídas as bordas das imagens através do filtro de convolução de Canny [Canny, 1986]. Vale lembrar que a rotação da imagem é necessária, pois o método do template matching é invariante, então a sub-imagem deve ser rotacionada e escalada para que fique semelhante à imagem de satélite (template).

Um ponto importante a ser destacado é que existem diferenças entre algumas imagens de satélite e as fotos tiradas pelo VANT em seu voo, no caso as imagens de satélite estavam desatualizadas. Esse fator influencia somente no tempo de casamento de algumas imagens em relação a outras.

Para realizar o processo de tratamento das imagens e extração de bordas foi utilizado o pacote da ferramenta computacional Matlab para tratamento de imagens. Segue abaixo os passos computacionais para tratamento da imagem:

- Realiza a leitura da imagem.
- Rotacionar a imagem.
- Converter a imagem para escala de cinza.
- Aplicar filtro da mediana para tirar ruído das imagens tiradas pelo VANT.
- Aplicar o extrator de bordas Canny na imagem tratada.

A fase de tratamento da imagem é rápida não levando mais que 2 segundos. Depois de concluído esse processo as imagens são salvas e o processo de casamento das mesmas pode ser realizado.

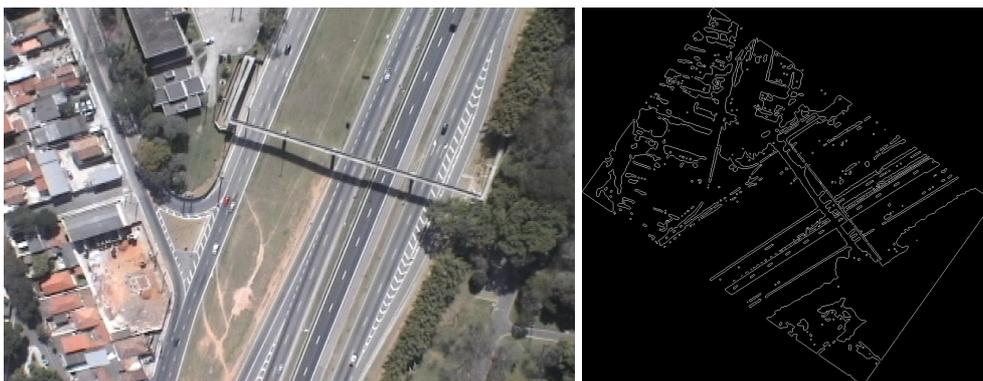
Para realizar os experimentos foi utilizado um computador com processador core 2 Duo 2.95 GHz, com 4 GB de memória RAM em uma plataforma 32 bits. O casamento das imagens também foi realizado no ambiente computacional Matlab.

Por fim antes de detalhar o experimento é interessante dizer que atualmente uma linha de pesquisa que busca utilizar o poder de processamento de placas de vídeo de alto desempenho, cresce cada vez mais. As placas de vídeo atuais possuem uma arquitetura de processamento chamada CUDA – Computer Unified Device Architecture [Tetyana, 2011]. Com essa tecnologia é possível aumentar o poder de processamento dos computadores consideravelmente fazendo com que tarefas que consumiam muito tempo de máquina para serem executadas, sejam executadas em instantes, pois o processamento das tarefas será feito em conjunto com o processador gráfico da placa de vídeo que possui a arquitetura CUDA. Este é um exemplo, podemos programar técnicas de visão computacional em VANTs através de diversos PLCs (Controladores Lógicos Programáveis), e CUDA é uma interface para programar um controlador lógico, no caso

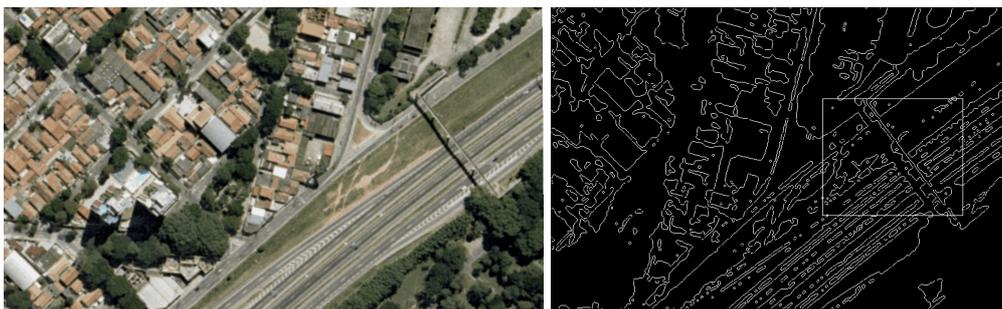
uma placa de vídeo e é possível termos um dispositivo que suporte esta tecnologia em um VANT.

### 3.1. Resultados

Nesta seção será mostrado o resultado da técnica de template matching aplicada nas imagens selecionadas para o experimento. A região que é delimitada pelo quadrado é a região onde a correlação entre as imagens foi realizada.



**Figura 1. Esquerda: Imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem fotografada pelo VANT já rotacionada e com bordas extraídas.**



**Figura 2. Esquerda: Imagem de satélite onde a imagem fotografada pelo VANT se encontra. Direita: Imagem de satélite com bordas extraídas e casamento realizado.**

O tempo de realização do casamento entre a imagem da figura 1 com a imagem da figura 2 foi de 43.52 segundos. A área delimitada pelo quadrado foram os pontos correlacionados entre as duas imagens.

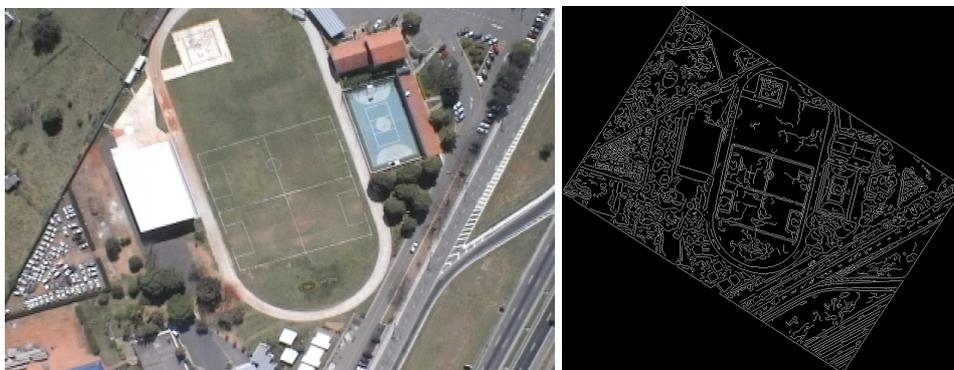


**Figura 3. Esquerda: Imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem fotografada pelo VANT já rotacionada e com bordas extraídas.**

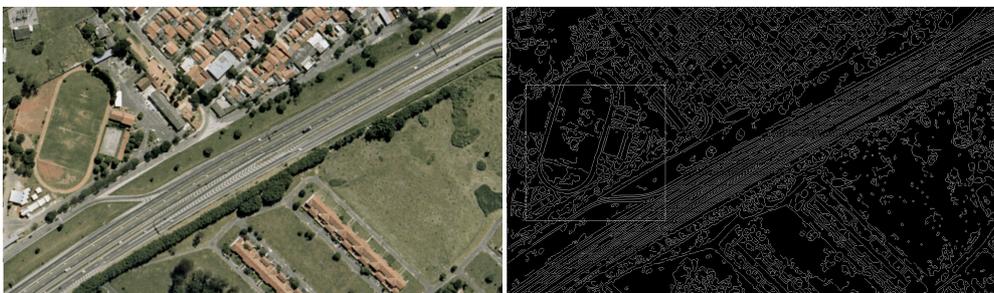


**Figura 4. Esquerda: Imagem de satélite onde se encontra o estádio. Direita: Imagem que mostra o casamento já realizado.**

O tempo de realização do segundo casamento entre a figura 3 e a figura 4 foi de 39.35 segundos.

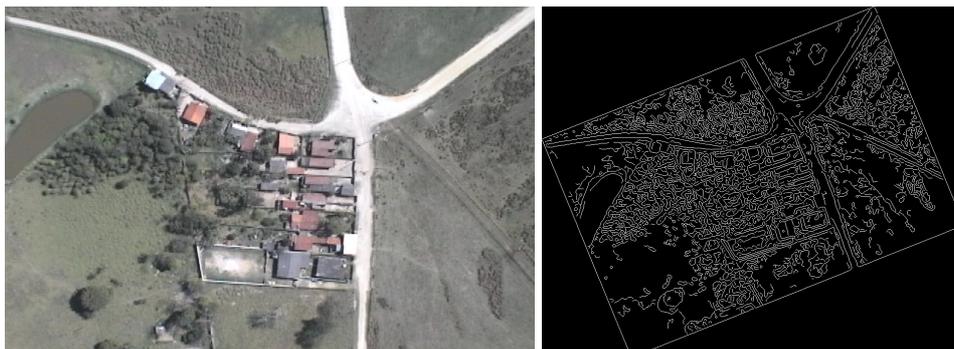


**Figura 5. Esquerda: Imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem fotografada pelo VANT já rotacionada e com as bordas extraídas.**



**Figura 6. Esquerda: Imagem de satélite onde se encontra a imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem que mostra o casamento já realizado.**

O tempo do casamento no terceiro experimento entre a figura 5 e a figura 6 foi de 45.42 segundos.

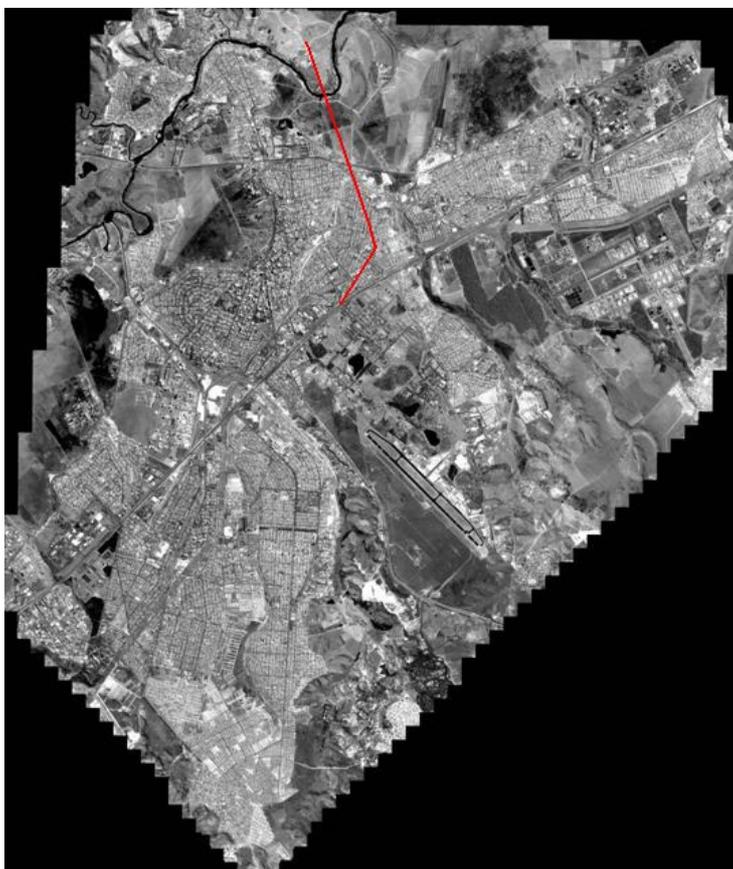


**Figura 7. Esquerda: Imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem fotografada pelo VANT já rotacionada e com bordas extraídas.**



**Figura 8. Esquerda: Imagem de satélite onde se encontra a imagem fotografada pelo VANT. Direita: Imagem que mostra o casamento já realizado.**

O tempo de casamento desse quarto experimento entre a figura 7 e a figura 8 foi de 63.11 segundos.



**Figura 9. Rota onde encontram-se os pontos por onde o VANT passou. São as 4 imagens usadas nesse trabalho.**

#### **4. Conclusões e trabalhos futuros**

O objetivo deste trabalho foi apresentar os resultados preliminares do uso da técnica de template matching aplicado à navegação de um VANT. Como argumentado nas sessões anteriores, as imagens precisaram passar por um processamento para que o método

pudesse ser aplicado com eficiência. Apesar de o Matlab ser um ambiente robusto para processamento de imagens, o cenário ideal é que a metodologia apresentada seja transformada em um software embarcado no VANT em um PLC como o arduíno, por exemplo, e o processamento ocorra em tempo quase real.

O tempo de matching das imagens foi considerado satisfatório, devido ao recurso computacional utilizado e pelo tamanho das imagens. Em um ambiente com recursos computacionais de alto desempenho, provavelmente teremos um desempenho melhor. Se considerarmos uma suíte PLCs específica para VANTs é possível baixar os resultados deste artigo em no mínimo 30 segundos.

Outra estratégia para melhorar o desempenho da navegação do VANT é a utilização de métodos invariantes a rotação e escala, bem como implementar essas técnicas de matching de imagens em outras linguagens de programação como C ou linguagens específicas para PLCs, onde o controle de memória e acesso a recursos de processamento podem ser controlados.

A técnica de template matching com simples correlação entre duas imagens supriu as necessidades do trabalho, e mostrou nos testes com um computador com custo computacional baixo e utilizando um ambiente de testes não-otimizado como o Matlab que é possível auxiliar a navegação de um VANT utilizando um método de visão computacional simples.

O próximo objetivo é realizar os testes com o software sendo executado em um controlador lógico programável e embarcar esse aparato em um VANT, além de otimizar os algoritmos desenvolvidos.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da CAPES – Brasil.

## **Referências**

- BACHMANN, E. R.; MCGHEE, R. B.; WHALEN, R. H.; STEVEN, R.; WALKER, R. G.; CLYNCH, J. R.; HEALEY, A. J.; YUN, X. P. Evaluation of an integrated gps/ins system for shallow-water AUV navigation (sans). *Autonomous Underwater Vehicle Technology*, p. 268-275, 1996. 10.
- BAY, H.; ESS, A.; TUYTELAARS, T.; GOOL, L. V. SURF: Speeded Up Robust Features, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, No. 3, pp. 346--359, 2008.
- BRUNELLI, R. *Template matching techniques in computer vision : theory and practice*, 2009. ISBN: 9780470517062.
- CAMPOY, P.; CORREA, J.; MONDRAGON, I.; MARTINEZ, C.; OLIVARES, M.; MEJIAS, L.; ARTIEDA, J. Computer Vision Onboard UAVs for Civilian Tasks. *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 2009-03-01. Springer Netherlands. Issn: 0921-0296. pg 105-135, Volume: 54, Issue: 1.
- CANNY, J., A computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8:679-714, 1986.

- CONG G.; XUDONG J., Image recognition using SIFT features. Image Processing (ICIP), 2009, 16th IEEE International conference. IEEE – 11/2009.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (2008) Digital image processing. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall.
- HART, P. E.; DUDA. R. O.; STORK, G.; Pattern Classification. Wiley-Interscience Publication, 2001. Second Edition.
- MASCARENHAS, G. A. Redes neurais artificiais em imagens para estimação da posição de um VANT. São José dos Campos: INPE – 2011, pp.1-2.
- NYGARDS, J.; SKOGLAR, P.; ULVKLO, M.; HOGSTROM, T. Navigation Aided Image Processing in UAV Surveillance: Preliminary Results and Design of an Airborne Experimental System. Journal of Robotic Systems [serial online]. February 2004; 21(2):63-72. Available from: Computers & Applied Sciences Complete, Ipswich, MA.
- SARVAIYA, J.N.; PATNAIK, S.; BOMBAYWALA, S. Image registration by template matching using normalized cross correlation. Advances in Computing, Control, & Telecommunication Technologies, 2009. ACT '09. International Conference. IEEE – 12/2009.
- SHAPIRO, L. G.; STOCKMAN, G. C. Computer Vision, 2008. [S.l.]: Prentice Hall.
- SZEKELY, J. G. RIZZO, M. L. BAKIROV, N. K. - Measuring and testing dependence by correlation of distances. The annals of statistics 2007, Vol 35, N° 6, pg 2769-2794. Institute of mathematical statistics, 2007.
- TETYANA, I.; LINSEN, L.; HAHN, H.; VOLZKE, H. GPU implementations of a relaxation scheme for image partitioning: GLSL versus CUDA. Computing and Visualization in Science, 2011-06-01. Springer Berlin / Heidelberg. Issn: 1432-9360, Mathematics and Statistics, pg 217-226 Volume: 14 Issue: 5.
- ZHOU, G.; Geo-Referencing of Video Flow From Small Low-Cost Civilian UAV, Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on , vol.7, no.1, pp.156-166,Jan.