

## Dispositivo eletrônico de baixo custo para georreferenciamento automático de imagens digitais obtidas em tempo real

Daniel Mário Adamis<sup>1</sup>  
Felipe Leonardo Lobo Medeiros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudos Avançados - IEAv  
Caixa Postal 6044 – 12.228-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
daniel\_adamis@hotmail.com, felipe@ieav.cta.br

**Abstract.** Embedded real-time systems based on computer vision techniques have been used as an aid to the autonomous navigation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Some of these systems estimate the location of a UAV through automatic recognition of georeferenced landmarks on images obtained during the flight. These systems are composed of an electronic platform that allows performing experiments with algorithms for estimating position based on computer vision. Thus, the aim of this work was the development of a low cost electronic device for georeferencing of images acquired in real time. The device also automatically estimates the attitude of the camera at the time of image acquisition. The attitude of the camera is defined by the roll angle, pitch angle and azimuth angle. The device is composed of a mini computer, a board with a microcontroller, a digital camera, a receiver of the Global Positioning System (GPS), a gyroscope, an accelerometer, a magnetometer and a battery. One of the promising applications of the device is the possibility of comparing, in real time, the geographical position of the UAV estimated through computer vision with the geographical position estimated through the GPS receiver. This comparison allows the validation of position estimation systems based on computer vision techniques. The device can also be used for the creation of georeferenced mosaics with images taken by nadir line-of-sight.

**Palavras-chave:** sistemas embarcados, tempo real, dispositivo eletrônico, georreferenciamento automático, imagens digitais, veículos aéreos não tripulados.

### 1. Introdução

Sistemas embarcados de tempo real baseados em técnicas de visão computacional vêm sendo usados como auxílio à navegação autônoma de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Em Sanchez-Lopez et al. (2014) e em Lee et al. (2014), sistemas embarcados de visão computacional são utilizados para orientar o pouso autônomo de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) do tipo *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL), em helipontos conectados a plataformas móveis como, por exemplo, barcos de pequeno porte. Em Michaelsen et al. (2011) é proposto um sistema computacional que estima a localização de um VANT através do reconhecimento automático de pontos de referência georreferenciados em imagens obtidas durante o voo. Em Jayatilleke e Zhang (2013) é proposto um sistema similar ao proposto em Michaelsen et al. (2011). A diferença é que o sistema proposto em Michaelsen et al. (2011) usa coordenadas geográficas para descrever a posição de um VANT e o sistema proposto em Jayatilleke e Zhang (2013) utiliza coordenadas cartesianas.

A análise da acurácia da posição estimada é essencial para a avaliação das técnicas de visão computacional utilizadas para a estimação de posição nos trabalhos mencionados. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico de baixo custo que permite a comparação entre a posição geográfica estimada por um sistema de visão computacional com a posição estimada por um receptor de *Global Positioning System* (GPS). O dispositivo faz o georreferenciamento automático e a estimação da atitude de cada imagem obtida em tempo real. A atitude da câmera é uma orientação espacial definida pelo ângulo de rolamento, pelo ângulo de arfagem e pelo azimuth da câmera. O dispositivo pode ser programado computacionalmente, permitindo a realização de experimentos com técnicas relacionadas com visão computacional: processamento de imagens, reconhecimento de padrões, entre outras.

A metodologia empregada para o desenvolvimento do dispositivo eletrônico é descrita na Seção 2 deste trabalho. Na Seção 3 são apresentados alguns resultados obtidos com o dispositivo eletrônico e uma análise destes resultados. Considerações finais sobre o trabalho são descritas na Seção 4.

## 2. Metodologia de Trabalho

O dispositivo eletrônico desenvolvido neste trabalho é composto por um mini computador, uma câmera, um receptor de *Global Positioning System* (GPS), um giroscópio, um acelerômetro, um magnetômetro, uma placa com um microcontrolador, dois servomotores e uma bateria. As dimensões do dispositivo são de aproximadamente 22 centímetros (cm) de comprimento, 14 cm de altura e 10 cm de largura. A massa do dispositivo é de 870 gramas (g). O dispositivo é apresentado na Figura 1.

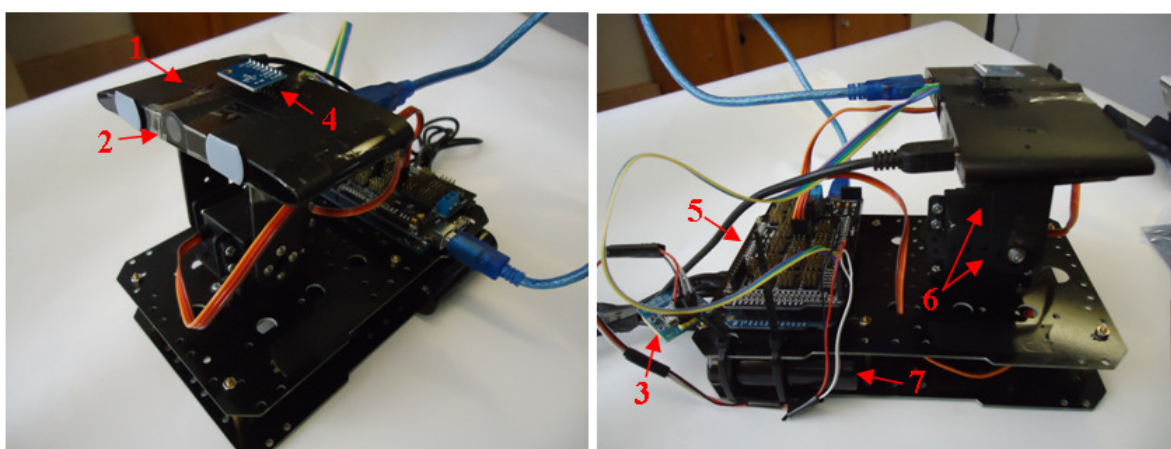


Figura 1. Componentes do dispositivo eletrônico: (1) mini computador; (2) câmera digital; (3) receptor de GPS; (4) giroscópio, acelerômetro e magnetômetro; (5) placa com microcontrolador; (6) servomotores; e (7) bateria.

A placa com microcontrolador faz a leitura de dados dos sensores inerciais, de dados do magnetômetro e de dados obtidos pelo receptor de GPS. Através destes dados, o microcontrolador estima a atitude e a posição geográfica da câmera. Logo após, o microcontrolador envia a atitude e a posição geográfica para o mini computador. O mini computador recebe os dados enviados pelo microcontrolador, obtém uma imagem, e associa tal imagem com os dados recebidos. O mini computador pode enviar dados de controle para os dois servomotores visando à movimentação de arfagem ou guinada da câmera, como apresentado no esquema da Figura 2.

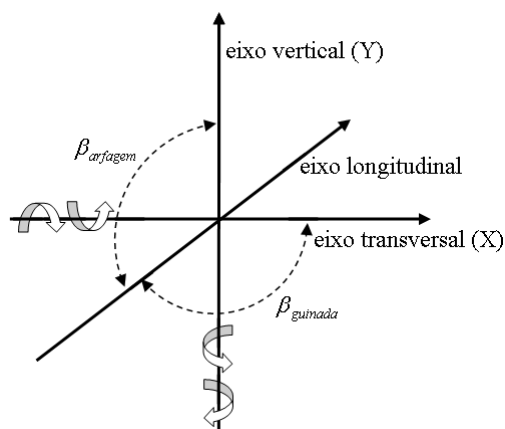


Figura 2. Esquema de movimento de guinada e de arfagem de uma câmera.

Um esquema mais detalhado do funcionamento do dispositivo é apresentado na Figura 3. Neste esquema, os ângulos  $\theta_Y$  e  $\theta_X$  são comandos enviados para os servomotores, visando à movimentação da câmera.  $\theta_Y$  é o ângulo de guinada desejado e enviado como controle para o servomotor  $Y$ , e  $\theta_X$  é o ângulo de guinada desejado enviado como controle para o servomotor  $X$ .

O ângulo de arfagem ( $\beta_{arfagem}$ ) e o ângulo de rolamento ( $\beta_{rolamento}$ ) são estimados através dos sensores inerciais. Já o azimute  $\beta_{azimute}$  é estimado através do magnetômetro, dos ângulos  $\beta_{arfagem}$  e  $\beta_{rolamento}$ , e da declinação magnética do local de utilização do dispositivo.

O sinal  $s_i$  indica que uma solicitação de aquisição de imagem está sendo enviada do mini computador para a câmera.  $I$  é uma imagem digital RGB obtida pelo mini computador. O sinal  $s_s$  indica que uma mensagem está sendo enviada do mini computador para o microcontrolador.

$c_{lat}$ ,  $c_{long}$  e  $c_{alt}$  são, respectivamente, as coordenadas latitude, longitude e altitude da câmera no momento de aquisição da imagem  $I$ .  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$  são as projeções da aceleração da câmera obtidas pelo acelerômetro no momento de aquisição da imagem  $I$ .  $g_x$ ,  $g_y$  e  $g_z$  são as projeções da velocidade angular da câmera obtidas pelo giroscópio no momento de aquisição da imagem  $I$ .  $m_x$ ,  $m_y$  e  $m_z$  são as projeções do azimute magnético da câmera obtidas pelo magnetômetro no momento de aquisição da imagem  $I$ .  $d_{NMEA}$  é o conjunto de dados no protocolo NMEA obtidos pelo receptor de GPS no momento de aquisição da imagem  $I$ .

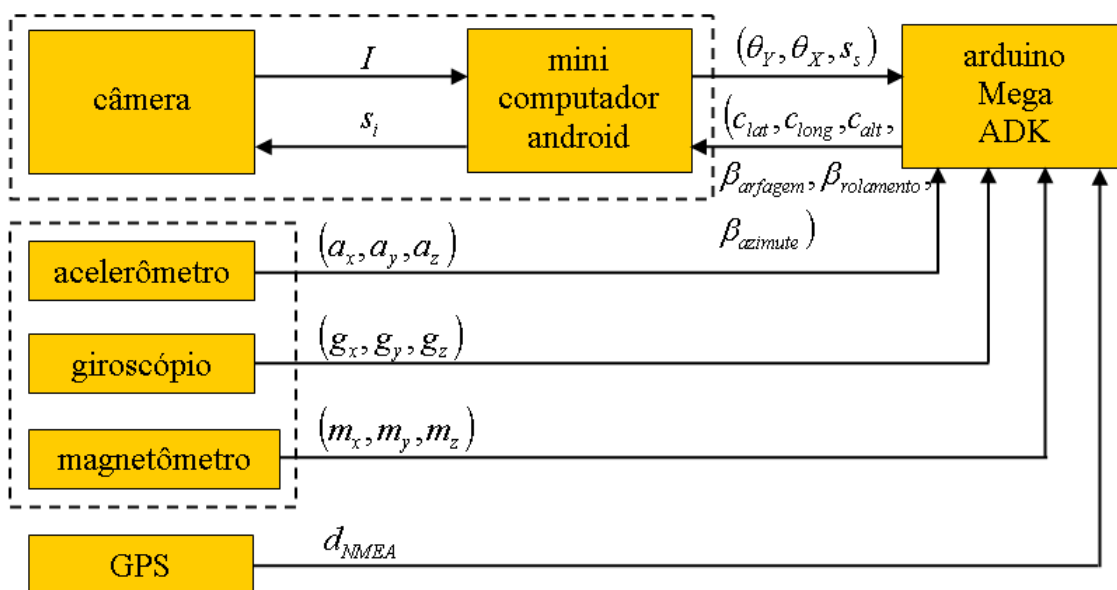


Figura 3. Esquema do funcionamento do dispositivo desenvolvido neste trabalho.

O mini computador utilizado neste trabalho possui as seguintes especificações: sistema operacional android 4.1; processador ARM cortex A9 dual-core com 1.6 gigahertz; 1 gigabyte de memória DDR3; 8 gigabytes de memória ROM; uma *Graphics Processing Unit* (GPU) Mali-400 quad-core com 500 megahertz; e uma câmera para aquisição de imagens com resolução de 5 megapixels.

Como mencionando anteriormente, o mini computador pode ser usado para a realização de experimentos com técnicas relacionadas com a linha de pesquisa denominada visão

computacional: processamento de imagens, reconhecimento de padrões, rastreamento de objetos, entre outras.

### 3. Resultados e Discussão

Os primeiros experimentos com o sistema foram relacionados com o controle de movimento da câmera através do envio de comandos de guinada e de arfagem para os servomotores. Através destes experimentos, observou-se a necessidade de calibrar tais servomotores, devido à diferença entre o ângulo enviado para o servomotor, também denominado ângulo de entrada e o ângulo real apresentado pelo servomotor. O processo de calibração consistiu na associação entre o ângulo de entrada e o ângulo real, considerando valores inteiros pertencentes ao intervalo de 0 a 180 graus. Este intervalo foi especificado pelo fabricante dos servomotores.

Como visto na Figura 4, verifica-se que os ângulos de entrada de 0 a 137 graus correspondem, nesta ordem, aos ângulos reais de 21 a 180 graus no servomotor X, e de 9 a 176 graus no servomotor Y. É importante ser mencionado que o ângulo de 137 graus corresponde ao maior ângulo possível no servomotor X. Assim, valores superiores a 137 graus corresponderam ao mesmo valor de 180 graus no servomotor X. Do mesmo modo, o ângulo de 9 graus e o ângulo de 176 graus correspondem, respectivamente, ao menor ângulo e ao maior ângulo possíveis no servomotor Y. Portanto, valores inferiores a 9 graus corresponderam ao mesmo valor de 0 grau no servomotor Y, e valores superiores a 176 graus corresponderam ao mesmo valor de 180 graus no mesmo servomotor.

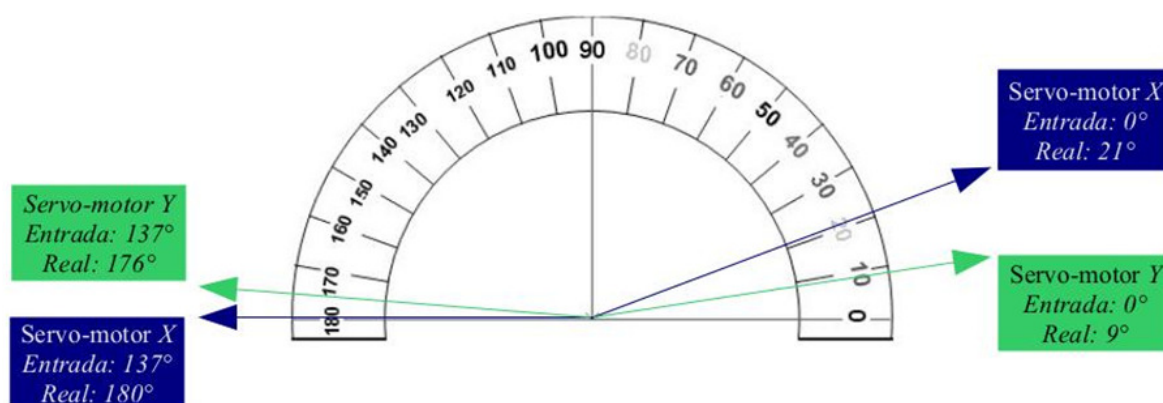


Figura 4. Ângulos reais dos servomotores.

Após a calibração dos servomotores, foram realizados experimentos, separadamente, com o receptor de GPS e com os demais sensores. Muitos destes experimentos foram destinados também à calibração dos sensores inerciais do dispositivo. Finalmente, foram feitos experimentos com todos os sensores funcionando ao mesmo tempo. Estes experimentos são apresentados na Figura 5.

Na Figura 5, pode-se observar a atitude da câmera definida pelo ângulo de arfagem, pelo ângulo de guinada e pelo azimute. Através do receptor de GPS são obtidos os seguintes dados: a posição geográfica da câmera, definida pelas coordenadas geográficas latitude e longitude; a altitude em que o dispositivo se encontra; e o número de satélites detectados pelo receptor de GPS para a estimação dos dados descritos anteriormente. Na Figura 5 também são descritas as projeções  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$  da aceleração, as projeções  $g_x$ ,  $g_y$  e  $g_z$  da velocidade angular, e as projeções  $m_x$ ,  $m_y$  e  $m_z$  do azimute magnético da câmera.

```

COM5
(LATITUDE, LONGITUDE) = (-23.2523880004, -45.8555030822)
ALTITUDE: 668.50
NUMERO DE SATELITES: 4
ACCELEROMETRO (X, Y, Z) = (0.06, 0.08, 1.00)      GIROSCOPIO (X, Y, Z) = (0.03, 0.03, 0.04)      MAGNETOMETRO (X, Y, Z) = (-194.98, -42.26, -117.30)
ARFAGEM (PITCH) = 3.24 ROLAMENTO (ROLL) = -175.59 AZIMUTE (HEADING) = 187.58

GPS.fix = 1
(LATITUDE, LONGITUDE) = (-23.2523880004, -45.8555030822)
ALTITUDE: 668.50
NUMERO DE SATELITES: 4
ACCELEROMETRO (X, Y, Z) = (0.06, 0.08, 1.00)      GIROSCOPIO (X, Y, Z) = (0.36, -0.02, -0.02)      MAGNETOMETRO (X, Y, Z) = (-196.85, -43.21, -123.51)
ARFAGEM (PITCH) = 3.50 ROLAMENTO (ROLL) = -175.63 AZIMUTE (HEADING) = 187.62

GPS.fix = 1
(LATITUDE, LONGITUDE) = (-23.2524013519, -45.8555030822)
ALTITUDE: 668.50
NUMERO DE SATELITES: 4
ACCELEROMETRO (X, Y, Z) = (0.07, 0.08, 1.00)      GIROSCOPIO (X, Y, Z) = (0.15, -0.15, -0.15)      MAGNETOMETRO (X, Y, Z) = (-195.95, -44.61, -130.30)
ARFAGEM (PITCH) = 3.86 ROLAMENTO (ROLL) = -175.53 AZIMUTE (HEADING) = 187.82

GPS.fix = 1
(LATITUDE, LONGITUDE) = (-23.2523880004, -45.8555183410)
ALTITUDE: 668.50
NUMERO DE SATELITES: 4
ACCELEROMETRO (X, Y, Z) = (0.06, 0.08, 1.00)      GIROSCOPIO (X, Y, Z) = (0.11, -0.07, -0.04)      MAGNETOMETRO (X, Y, Z) = (-196.41, -43.92, -129.55)
Autoscroll
No line ending
9600 baud

```

Figura 5. Atitude e posição geográfica estimadas e integradas com uma imagem capturada pelo dispositivo.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo eletrônico composto por uma câmera, um mini computador, uma estrutura eletromecânica que permite movimentos de guinada e de arfagem com a câmera, uma placa eletrônica com um microcontrolador, um receptor de GPS, sensores inerciais, um magnetômetro, e uma bateria.

Através dos experimentos realizados com o sistema robótico, verifica-se que o sistema permite, em tempo real, a estimação da atitude e da posição geográfica da câmera no momento de aquisição de uma imagem.

Uma das aplicações promissoras do dispositivo é a possibilidade de comparação, em tempo real, da posição geográfica do VANT estimada através de visão computacional com a posição estimada pelo receptor de GPS. Esta comparação pode ser usada para validar sistemas de estimação de posição baseados em técnicas de visão computacional. O dispositivo também pode ser usado para a criação de mosaicos georreferenciados através de imagens obtidas por visada nadir.

Este trabalho terá continuidade com a utilização de técnicas de processamento de imagens embarcadas no dispositivo desenvolvido. Os experimentos com estas técnicas serão realizados, à priori, em laboratório. Posteriormente, o dispositivo será embarcado em um VANT do tipo VTOL e em um Veículo Terrestre Não Tripulado (VTNT) para experimentos com técnicas de visão computacional.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de Iniciação Científica concedida para a realização deste trabalho.

#### Citações e Referências

Sanchez-Lopez, J. L.; Pestana, J.; Saripalli, S.; Campoy, P. An approach toward visual autonomous ship board landing of a VTOL UAV. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, v. 74, n. 1-2, p. 113-127, 2014.

Lee, D.; Ryan, T.; Kim, H. J. Autonomous landing of a VTOL UAV on a moving platform using image-based visual servoing. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Saint Paul, Minnesota, USA, p. 971-976, 2014.

Michaelsen, E.; Jäger, K.; Roschkowski, D.; Doktorski, L.; Arens, M. Object oriented landmark recognition for UAV navigation. **Pattern Recognition and Image Analysis**, v. 21, n. 2, p. 152-155, 2011.

Jayatileke, L.; Zhang, N. Landmark-based localization for unmanned aerial vehicles. In: IEEE International Systems Conference (SysCon), 7., 2013, . **Proceedings...** Orlando, FL, USA: IEEE, 2013. Papers, p. 448-451. CD-ROM, On-line. ISBN 978-1-4673-3107-4. Available in:

<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6542295>>. Acesso em 10 nov. 2014.