

O USO DE IMAGENS COLORIDAS NO PROCESSO DE CORRESPONDENCIA POR CORRELAÇÃO.

Paulo Henrique Amorim da Silva, Antonio Maria Garcia Tommaselli, Mauricio Galo. Engenharia Cartográfica – Departamento de Cartografia – Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente.

A Fotogrametria digital tem suas raízes por volta de 1950 com trabalhos sobre correlação de imagens, mas foi somente na década de 1980, devido aos avanços eletrônicos e computacionais, que os processos fotogramétricos tornaram-se mais ágeis, iniciando sua evolução para os meios digitais (SCHENK, 1999). A correlação de imagens digitais mostra-se como uma etapa relevante, uma vez que o sucesso desta etapa é primordial para se obter resultados confiáveis nos processos fotogramétricos posteriores, como a fototriangulação e a geração de Modelos Digitais de Terreno.

Na grande maioria dos softwares comerciais em uso, os algoritmos de correlação automática operam basicamente com a informação de intensidade (ou tons de cinza), desprezando as informações relativas à cor, que podem ser úteis, se utilizadas de modo adequado no aumento do desempenho das técnicas de correspondência. Diante disso, nota-se a importância de se desenvolver e estudar métodos de correspondência automática de imagens que explorem a informação das cores, na tentativa de obter melhores resultados nos processos fotogramétricos.

Paradoxalmente, este tema é pouco abordado na literatura fotogramétrica e alguns poucos trabalhos utilizam as informações extraídas dos canais de cores, principalmente no contexto de correspondência por feições (BROCKELBANK e YANG, 1989; HUNG et al, 1998; PARK e ZINMMERMANN, 2000; CHAMBON e CROUZIU, 2004, 2005).

Segundo Andrade (1998), a detecção de pontos homólogos em imagens estereoscópicas consiste em fazer com que uma matriz de amostra de uma das imagens percorra toda a região de uma janela (matriz de busca) na imagem homóloga, identificando a região mais propícia a ser a região correspondente. Uma das funções mais utilizadas para se medir o grau de similaridade é através do coeficiente de correlação, dado por:

$$\rho = \frac{\sigma_{RB}}{\sigma_R \sigma_B} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((x_{(i,j)} - \bar{g}_R)(y_{(i,j)} - \bar{g}_B))}{\sqrt{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (x_{(i,j)} - \bar{g}_R)^2 * \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (y_{(i,j)} - \bar{g}_B)^2}} \quad (1)$$

onde σ_{RB} é a covariância entre as janelas de referência e de busca; σ_R é o desvio-padrão da janela de referência; σ_B é o desvio padrão da janela de busca; n e m são as dimensões das janelas de referência; $x_{(i,j)}$ é o nível de cinza da posição na janela de referência; $y_{(i,j)}$ é o nível de cinza da posição (i,j) na janela de busca; \bar{g}_R é a média dos níveis de cinza da janela de referência; e \bar{g}_B é a média dos níveis de cinza da janela de busca.

Segundo Lillesand e Kiefer (2000) as cores podem ser compostas pela combinação das cores vermelho (R), verde (G), e azul (B) (modelo RGB). Outra forma de decompor as cores é pelo modelo HSI, onde as cores são separadas nas componentes: Matiz (*Hue*), Saturação (*Saturation*) e Intensidade (*Intensity*).

A qualidade da correlação pode ser estimada antes mesmo de realizá-la, calculando-se a Matriz Variância-Covariância das translações entre as janelas de referência e pesquisa, como descrito por Costa et al (2005). Em síntese, este processo pode ser realizado considerando as seguintes etapas (COSTA et al, 2005; HARALICK e SHAPIRO, 1993): Primeiramente calcula-se a variância do ruído em função da variância da janela de referência e do máximo coeficiente de correlação; a seguir, calcula-se a matriz de equações normais em função dos gradientes nas linhas e colunas da janela de referência e finalmente calcula-se a precisão dos parâmetros de translação entre as imagens em função da variância do ruído e da matriz de equações normais.

A MVC das translações permite que se tenha uma estimativa da qualidade da correlação, baseado apenas nas informações de intensidade da janela de referência. Por exemplo, uma borda horizontal perfeita não permite a determinação da translação em x, ao passo que um canto permite boa qualidade, tanto ao longo das linhas quanto colunas. O traço da MVC das translações, obtido pela

soma dos elementos de sua diagonal principal, pode variar no intervalo 0 até $+\infty$, sendo que uma imagem boa para a correlação apresenta o traço da MVC das translações muito próximo de 0. Assim, valores maiores que 0,09 podem ser rejeitados, pois se mostram deficientes para a correlação, como no caso de regiões homogêneas ou bordas horizontais (COSTA et al, 2005).

As imagens utilizadas nos testes correspondem a um estereopar de imagens aéreas digitais coloridas, capturadas por uma câmara digital Hasselblad Imacon H1D (22 Mpixels). Nos experimentos foram utilizadas janelas de referência de dimensões 9x9 e 7x7 pixels, pois sabe-se que ocorrem distorções na geometria das imagens que prejudicam o processo de correspondência para janelas de referência de grandes dimensões. Já para as janelas de busca, foram utilizadas janelas de lados variando de 69 a 97 pixels.

Neste trabalho foi desenvolvida uma estratégia para o estabelecimento da correspondência por correlação usando imagens aéreas digitais coloridas, visando minimizar eventuais problemas de falsas correlações que ocorrem nas imagens em tons de cinza. Para isto, foi desenvolvido um programa em linguagem C++, cuja finalidade é fazer a leitura dos canais primários de cor de cada pixel das imagens aéreas digitais, que são posteriormente processadas com os algoritmos desenvolvidos. Com o objetivo de estudar a influência das cores no processo de correspondência, o programa realiza tanto a correlação em tons de cinza, como também nas imagens decompostas nos modelos RGB e HSI.

Para realizar a correlação utilizando a informação das cores, é necessário, primeiramente, decompor as imagens de busca e de referência nos três canais (R, G, B), para depois aplicar o processo de correlação, gerando-se três matrizes (ou imagens) de correlação (uma para cada canal) e, finalmente, calcular uma imagem de correlação média, através da média aritmética ou da média ponderada, na qual atribui-se pesos proporcionais à qualidade esperada para a correlação.

Primeiramente foram realizados testes calculando-se o coeficiente médio de correlação, usando a média aritmética das imagens de correlação dos três canais para o modelo RGB e para o modelo HSI. Nota-se que utilizando este método os resultados obtidos foram melhores que utilizando somente a intensidade ou tons de cinza. No entanto, alguns experimentos ainda apresentaram falsas correlações, o que motivou o desenvolvimento de um método de ponderação adaptativa.

A idéia central é que um canal adequado para a correlação tenha traço da MVC pequeno, ao qual se associaria um peso alto e, inversamente, a uma área inadequada se associaria um peso próximo de zero. Na prática, entretanto, observa-se que a variação do traço de um canal bom para correlação e de um canal ruim é muito pequena. Assim, deve-se usar uma função de similaridade que permita esta discriminação, associando um valor de similaridade alto quando os traços são pequenos.

Observando este comportamento, pode-se notar que ele tem o comportamento das funções usadas por Faugeras (1993) e Galo (2003) para o estabelecimento da correspondência, usando o método de rotulação por relaxação. Estas funções podem ser escritas por:

$$P_{\{R,G,B\}} = \frac{1}{1 + \alpha \text{tr}_{\{R,G,B\}}} \quad \text{e} \quad P_{\{R,G,B\}} = e^{-0.5 \left(\frac{\text{tr}_{\{R,G,B\}}}{\sigma} \right)^2} \quad (2)$$

sendo α e σ uma constante relacionada com a influência da medida de distância, ou traço ($\text{tr}_{\{R,G,B\}}$), neste caso.

Após realizar vários testes, foi determinado um valor empírico para σ e α . Para se chegar a tais valores foram realizados testes com 50% das imagens disponíveis para testes, variando-se o valor de σ e α até atingir o melhor resultado. Aplicou-se, então, o valor obtido de $\sigma=0,005$ e $\alpha=40$ para os experimentos restantes, nos quais se pôde observar o bom desempenho destas funções, as quais apresentaram os mesmos resultados nos experimentos realizados.

Como as características das cores variam de imagem para imagem, desenvolveu-se uma metodologia de atribuição automática de pesos para o modelo HSI, assim como no modelo RGB ponderado. Este método baseia-se no canal S (Saturação) da imagem, que pode receber valores no intervalo de 0 a 1. Logo, quanto maior for o valor médio de S, mais nítidas serão as cores da imagem. Assim, maior deverá ser o peso atribuído aos canais H e S e menor ao canal I.

Apesar dos bons resultados obtidos no modelo RGB, o traço da MVC não foi usado como argumento para o cálculo do peso no modelo HSI, devido às suas características, como foi visto

acima, e ao fato da componente H (matiz) ser um ângulo. Por esta razão, aplicou-se a determinação automática dos pesos dos canais H, S e I em função apenas da saturação.

A partir desta hipótese foi formulada empiricamente uma função matemática que descreve o comportamento do peso em função da saturação média, função esta que foi posteriormente testada. A função utilizada para descrever tal comportamento pode ser dada por:

$$P_{\{H,S\}} = (S_{\text{média}})^{1/n} \quad \text{e} \quad P_{\{I\}} = 1 - (S_{\text{média}})^{1/n} \quad (3)$$

Nota-se que quando a saturação média tende a 1, o peso das imagens de correlação dos canais H e S tendem a 1, enquanto o peso da imagem de correlação de I tende a 0. Quando a saturação média tende a 0, o peso das imagens de correlação H e S também tendem a zero, enquanto o peso de I tende a 1.

Após realizar vários testes, foi determinado um valor empírico para n. Para se chegar ao valor de n, foram realizados testes com 50% das imagens disponíveis para testes, variando-se o valor de n até atingir o melhor resultado. Aplicou-se, então, o valor obtido de n=2 para os experimentos restantes, nos quais se pôde observar o bom desempenho desta função.

Para se calcular a MVC das translações de uma imagem é necessário estimar uma variância do ruído a priori. A partir dos experimentos realizados com as imagens aéreas da câmara Hasselblad, Costa et al (2005) recomenda utilizar uma variância a priori de 0,9. Como as imagens usadas nos experimentos deste trabalho são as mesmas usadas por Costa et al. (2005), foi adotado este mesmo valor.

A Figura 1 apresenta três gráficos. O gráfico (a) ilustra o erro médio em cada experimento, utilizando correlação nas imagens em tons de cinza e o método de média aritmética nos coeficientes de correlação nos modelos de cor RGB e HSI. O gráfico (b) apresenta uma comparação entre a correlação utilizando imagens em tons de cinza e a correlação utilizando a técnica de ponderação adaptativa para os modelos RGB e HSI.

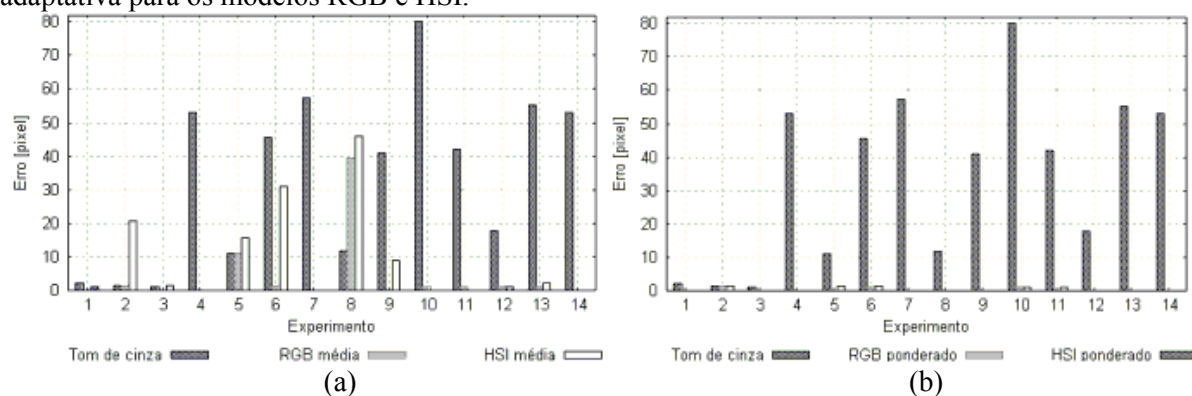


Figura 1 – Gráficos dos erros da correlação em cada experimento.

É possível notar por estes gráficos uma diminuição significativa das falsas correlações ao usar as técnicas desenvolvidas, em relação aos experimentos realizados utilizando as imagens em tons de cinza. Além disso, pode-se perceber que a correlação utilizando tons de cinza não apresentou resultados satisfatórios e, em alguns casos, podendo-se observar erros que chegaram até 80 pixels.

Assim, pode-se concluir que é melhor usar os vários canais de cores do que somente a intensidade (ou tons de cinza) no processo de estabelecimento da correspondência de áreas a partir de imagens digitas, pois somente a intensidade exclui informações necessárias para resolver ambigüidades que podem causar falsas correspondências.

O uso da informação das cores dos modelos RGB e HSI, através da média aritmética dos coeficientes de correlação de cada um desses canais melhorou estes resultados, para a maior parte dos experimentos, mas, no entanto, alguns erros de grande magnitude ainda permaneceram. A utilização da média ponderada ou adaptativa dos coeficientes de correlação dos modelos de cores RGB e HSI, tornou o processo mais robusto, ou seja, menos vulnerável a falsas correlações, obtendo-se um erro médio de 0,2 pixels em ambos os modelos, sendo o erro máximo, nos experimentos realizados, de 1,4 pixels.

Os resultados obtidos se mostram promissores, pois nota-se a possibilidade de aumentar a qualidade e eficiência do processo de correspondência automática de imagens utilizando a ponderação adaptativa dos coeficientes de correlação de cada componente do espaço de cores RGB, onde o peso utilizado é calculado em função do traço da MVC das translações da janela de referência.

Recomenda-se para trabalhos futuros estudar esta abordagem de ponderação adaptativa, procurando avaliar se a variância do ruído é a mesma para todos os canais, tornando o processo de cálculo menos dependente de informações a priori. Adicionalmente, sugere-se a realização de um número maior de experimentos, com diferentes tipos de alvos e imagens, visando uma análise estatística mais rigorosa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. de B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 246 p. 1998.

BROCKELBANK, D. C.; YANG, Y. H. An Experimental Investigation in the Use of Color in Computational Stereopsis. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.19, n. 6, p.1365-1383, 1989.

CHAMBON, S.; CROUZIL, A. Colour correlation-based matching. In: **International Journal of Robotics and Automation**, Iasted, v. 20, n. 2, p. 78-85, 2005.

CHAMBON, S.; CROUZIL, A. Colour stereo matching using correlation measures. In: **Complex Systems Intelligence and Modern Technological Applications** – CSIMTA 2004, p. 520-525, Chesbourg, France, 2004.

COSTA, E. R. ; TOMMASELLI, A. M. G ; GALO, M. Técnicas de pré-análise do processo de correlação visando a geração de modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 3, p. 252-262, 2005.

FAUGERAS, O. **Three-Dimensional Computer Vision - A geometric Viewpoint**. Cambridge, England: The MIT Press, 663 p. 1993.

GALO, M. **Automação dos processos de correspondência e orientação relativa em visão estéreo**. 2003. 262 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - FEEC, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2003.

HARALICK, R.; SHAPIRO, L. G. **Computer and robot vision - vol. II**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 630p., 1993.

HUNG, Y. P.; **Chen, C. S.; Hung, K. C.; Chen, Y. S.; Fuh, C.S.** Multipass Hierarchical Stereo Matching for Generation of Digital Terrain Models from Aerial Images. **Machine Vision and Applications**, v. 10. p. 280-291, 1998.

PARK, H.J.; ZINMMERMANN, P. Colour image matching for DTM generation and house extraction. In: ISPRS Congress, 2000, Amsterdam. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam. v. XXXIII, p. 697-704, 2000.

SCHENK, T. **Digital Photogrammetry – Volume I**. Laurelville: TerraScience, 428 p., 1999.

Bolsa: FAPESP