

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto ¹

Prof. Dr. Carlos Loch ²

Prof. Dr. Hans-Peter Bähr ³

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Doutorando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Área de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial
Cx. Postal 476 - Campus Universitário
88040-900 Florianópolis SC - Brasil
✉ sanlotto@hotmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento
Cx. Postal 476 - Campus Universitário
88040-900 Florianópolis (SC), Brasil
✉ loch@ecv.ufsc.br

³ Universität Karlsruhe
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe, Deutschland
✉ baehr@pf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Objetivo
	3 Material
	4 Método
	5 Resultados
	6 Considerações Finais
	7 Figuras
	8 Bibliografia

Resumo : A programação de uma utilidade para detecção automática de sinais e feições em imagens de estruturas, fachadas e fotografias aéreas, foi realizada utilizando o método de correlação bivariada. O programa aplica o método "moving window", deslocando iterativamente uma matriz de exploração ou "kernel" definida pelo usuário sobre uma matriz de busca ou imagem, e calculando o coeficiente de correlação bivariado em cada posição. As coordenadas do ponto de maior correlação são armazenadas num arquivo ASCII para aproveitamento por outros programas. Para controlar a eficiência computacional da aplicação, foram utilizadas imagens padrão desenhadas por computador, com coordenadas dos sinais e parâmetros conhecidos, e imagens reais, obtidas tanto por câmaras analógicas quanto digitais. Foram realizadas determinações de correlação para testar visualmente a qualidade geométrica dos resultados, e determinações numéricas para verificar objetivamente o comportamento estatístico do coeficiente de correlação independentemente, e em função do tamanho da matriz de exploração.

Palavras chave : detecção automática - correlação - sinais - feições - matriz

Abstract : It was carried out the programming of an utility dedicated to automatic detection of marks and features in images of structures, facades and aerial photographs, using bidimensional correlated statistical methods. The program applies the "moving window" method, displacing an user defined exploration matrix or "kernel" over a search matrix or image, calculating the correlation coefficient at each position. Coordinates of the point with a maximum correlation are stored in an ASCII file that can be used by other softwares. In order to control the application computational efficiency, a computer-designed pattern image was used, with well-known marks coordinates and parameters. On the other hand, real images, obtained by analogic and digital devices were also used. Finally, correlation determinations were carried out to visually verify results of program running. Numeric determinations were also made in order to objectively verify the change of correlation coefficient related to exploration matrix size.

Keywords : automatic detection - correlation - marks - features - matrix

Resumen : Se realizó la programación de una utilidad destinada a la detección automática de señales y formas en imágenes de estructuras, fachadas y fotografías aéreas, utilizando el método de correlación bivariada. El programa aplica el método "moving window", desplazando iterativamente una matriz de exploración o "kernel" definida por el usuario sobre una matriz de búsqueda o imagen, calculando el coeficiente de correlación bivariado en cada posición. Las coordenadas del punto de mayor correlación son almacenadas en un archivo ASCII para aprovechamiento por otros programas. Para controlar la eficiencia computacional de la aplicación, se utilizaron imágenes patrón diseñadas por computadora, con coordenadas de las señales y parámetros conocidos, e imágenes reales, obtenidas tanto por cámaras analógicas como digitales. Se realizaron determinaciones de correlación para verificar visualmente la calidad geométrica de los resultados, y determinaciones numéricas para verificar objetivamente el comportamiento estadístico del coeficiente de correlación independentemente, y en función del tamaño de la matriz de exploración.

Palabras clave : detección automática - correlación - señales - formas - matriz

1 Introdução

A detecção automática de sinais e feições vem se desenvolvendo com sucesso desde o início da era digital.

Múltiplas disciplinas, como a cartografia, fotogrametria e fotointerpretação, sensoriamento remoto, física, matemática, estatística, climatologia, medicina, e outras muito variadas estão interessadas nestas atividades pelo potencial implícito no reconhecimento automático, visando especialmente duas características: celeridade e objetividade.

A programação de uma utilidade simples mas efetiva orientada especialmente as imagens de estruturas metálicas e veículos para atividades de perícia, imagens de fachadas, para preservação do patrimônio comunitário e imagens de fotografias aéreas, como apoio às técnicas de medição automática de paralaxe, criação de modelos digitais do terreno e fotointerpretação assistida por computador, são os principais tópicos que pretende-se atingir.

Como ferramenta de programação para desenvolver as atividades, foi elegido Visual Basic versão 4 em espanhol, pelas vantagens da interface gráfica do usuário (Graphic User Interface -GUI-) do sistema Windows 98, sobre plataforma de 32 bits.

A versão do programa desenvolvido responde às características experimentais ou "beta", ficando pelo tanto abertas as possibilidades de introduzir reformas ou melhoras.

Os resultados obtidos na etapa de controle de qualidade do programa foram aceitáveis segundo padrões técnicos, esperando-se que outros usuários podam aproveitar e corrigir o programa desenvolvido.

As atividades foram desenvolvidas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Cadastro Técnico Multifinalitário, disciplina Tópicos Especiais: Qualidade Geométrica de Câmaras de Fotogrametria a curta distância, a qual foi ministrada pelo Professor Dr. Hans-Peter Bähr, da Universität Karlsruhe, Alemanha.

2 Objetivo

Programar uma utilidade para detecção automática de sinais e feições em imagens de estruturas, fachadas e fotografias aéreas, utilizando o método de correlação bivariada entre as matrizes de exploração e busca, armazenando as coordenadas dos pontos de maiores correlações num arquivo ASCII para aproveitamento por outros programas.

3 Material

MATERIAL INFORMÁTICO

No desenvolvimento do trabalho foram utilizadas ferramentas informáticas para programação (software) e processamento (hardware).

Ferramentas de programação (software)

No que diz respeito aos programas de processamento, podem se detalhar três ferramentas utilizadas no análise do problema: programação específica, processamento numérico e processamento de imagens.

Programação

Para desenvolver a aplicação solicitada, foi utilizada uma linguagem de alto nível (Microsoft Visual Basic Version 4.0 em espanhol), com características de programação utilizando e aproveitando as capacidades da interface gráfica do usuário (Graphic User Interface -GUI-) do sistema Windows 98, sobre plataforma de 32 bits.

Processamento numérico

Para os cálculos e análise estatístico primário e distribuições, foi utilizado um programa standard tipo planilha de cálculo. Os dados foram importados dos arquivos de texto gerados pelo programa desenvolvido.

Processamento de imagens

Na conversão analógica para digital das fotografias a curta distância e fotografias aéreas, mediante o uso do scanner, foram utilizadas ferramentas fornecidas pelos fabricantes, e instaladas no computador. Este foi operado desde um programa standard de processamento de imagens com capacidade de reconhecer periféricos scanner.

Outra capacidade dos programas que foi utilizada é o ajustamento das características cromáticas dos arquivos digitalizados, para obter a melhor visualização dos mesmos no monitor. As marcas digitais foram elaboradas a partir destes programas. No caso das fotografias digitais utilizadas, a transmissão via cabo desde a câmara ao computador foi controlada mediante o programa específico fornecido pelo fabricante. Inicialmente, o programa gera arquivos compactados em formato jpg.

Ferramentas de processamento (hardware)

Para executar o programa desenvolvido e testar os resultados obtidos, foram utilizados os seguintes equipamentos informáticos:

- Computador com processador de 166Mhz, 64 Megabytes de memória RAM, 4,5 Gigabytes em disco rígido, leitor CD de 40x, leitor de diskettes de 3 1/2 polegadas y placa de vídeo de 4 Megabytes.
- Monitor colorido de 14 polegadas com ponto de 0.28mm.
- Leitor zip externo de 100 Megabytes de capacidade.
- Scanner para originais coloridos, resolução real de 42micrômetros por 21micrômetros, interpoláveis até 1.3micrômetros.
- Impressora cor, com resolução máxima de 35micrômetros.

MATERIAL FOTOGRÁFICO

Foram utilizadas três câmaras, das quais duas eram analógicas e uma, digital. As fotografias utilizadas foram copias sobre papel no primeiro caso, e arquivadas em suporte magnético, no segundo. Não foram contempladas as posições dos pontos de tomada das fotografias, fato a contemplar na fotogrametria terrestre (ALBERTZ, 1980), mas fora dos objetivos do presente trabalho.

Câmaras analógicas

Utilizaram-se duas câmaras analógicas amadoras para obter fotografias de interesse. Os dispositivos não apresentam marcas fiduciais e são desconhecidas as distâncias focais precisas.

Câmara Voigtländer VSL 1

Trata-se de uma câmara analógica manual de 35mm, com lente Color-Ultron 1.8/50. Deslocamento do filme manual. Fotômetro elétrico incorporado. Visor reflex. Utilizada na tomada da fotografia da torre para realizar determinações estatísticas das diferenças de correlação entre matrizes de exploração e busca.

Câmara Yashica T4

Câmara analógica automática de 35mm, com lente Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35. Deslocamento do filme motorizado. Sensor de exposição incorporado. Visor direto. Sistema autofocus. Utilizada na tomada das fotografias das fachadas para realizar detecção automática de feições.

Câmara digital

Utilizou-se uma câmara digital amadora para obter fotografias de interesse.

Câmara Olympus C-820L

Câmara com sistema de registro digital, 2Mb de memória para armazenamento de imagens. Elemento sensível composto por matriz CCD de estado sólido de 8,5mm (1/3 de polegada), 810000 pixels. Registra em 1024 X 768 pixels, modo alta qualidade. Balance de brancos automático. Lente Olympus de 5mm, F2.8, com 5 elementos em 4 grupos, equivalente a 36mm, cristal esférico. Sistema fotométrico TTL. Controle automático de exposição. Obtenção 1/4 até 1/500 seg. Visor direto. Sistema autofocus. Utilizada na tomada das fotografias do veículo para realizar detecção automática de sinais.

4 Método

PROGRAMAÇÃO

Para atingir os objetivos solicitados, foi programada uma utilidade em Microsoft Visual Basic Versión 4 em espanhol. A programação estruturou-se em módulos, gerando finalmente um programa executável para o sistema operacional de 32 bits.

Basicamente, trata-se de um programa que aplica o método de "moving window", deslocando iterativamente a matriz de exploração ou "kernel" (LILLESAND & KIEFER, 1987) definida pelo usuário sobre a matriz de busca, e calculando o coeficiente de correlação bivariado em cada posição.

Com a maior correlação (ou um intervalo de correlações) entre matrizes, calcula-se o ponto central das mesmas, escrevendo-se as coordenadas X, Y e o coeficiente de correlação num arquivo ASCII para ser aproveitado por outras aplicações como AutoCad ou PhotoModeller.

O fluxo das atividades que podem ser realizadas com o programa (Diagrama 1) contemplam três etapas: entrada de dados (input); processamento; e saída de dados (output). As utilidades são apresentadas ao usuário numa tela única para facilitar a operação (Figura 1).

Entrada de dados (input)

A entrada pode ser feita de três formas diferentes: a primeira, mediante a rotina de Correlação Digital por arquivos (Figura 2), na qual o usuário indica mediante as janelas de navegação, qual será a matriz de exploração ou "kernel" (setor inferior esquerdo da tela), contida num arquivo raster de até 20 X 20 pixels, e a matriz de busca ou imagem propriamente (setor superior esquerdo da tela), armazenada num arquivo raster. Deve ser fornecido ao programa o umbral (threshold) de correlação (Figura 3) a partir do qual e até o valor 1.00, identificar-se-ão os pontos.

A segunda forma consiste na definição da matriz de exploração por seus componentes numéricos ou elementos (Figura 4). A restrição nos dados é de 400 elementos (20 filas X 20 colunas), e os valores digitais ingressados (Dn) devem estar compreendidos entre 0 e 255.

A terceira forma de entrada de dados consiste na definição de uma janela sobre a matriz de busca mediante o ponteiro do mouse (Figura 5). Isto permite estabelecer uma matriz retangular de exploração independentemente, e facilitar o reconhecimento de feições no modelo.

Processamento

Qualquer dos três processos de entrada de dados mencionados conduzem à rotina principal de processamento, a qual precisa sempre uma matriz de exploração e outra de busca.

Determinando iterativamente os números digitais da matriz de busca, são executados os algoritmos que calculam os estatísticos de correlação digital bivariada.

Utilizou-se o método de cálculo centrado à média (PIECHEL, 1991) para determinar a variância, desvio, covariância e fator de correlação, segundo as seguintes expressões:

$$A_e = \sum \forall Dn_e$$

$$n_e = Dn_{ie} * Dn_{je}$$

$$M_e = A_e / n_e$$

$$V_e = \sum \forall (Dn_e - M_e)^2 / (n-1)$$

$$S_e = \sqrt{V_e}$$

$$A_b = \sum \forall Dn_b$$

$$n_b = Dn_{ib} * Dn_{jb}$$

$$M_b = A_b / n_b$$

$$V_b = \sum \forall (Dn_b - M_b)^2 / (n-1)$$

$$S_b = \sqrt{V_b}$$

$$Cv = \sum \forall \{(Dn_e - M_e) * (Dn_b - M_b)\} / (n-1)$$

$$r = Cv / \sqrt{V_e * V_b}$$

Sendo nestas expressões:

- e : sub-índices da matriz de exploração
- b : sub-índices da matriz de busca
- A : a soma dos elementos da matriz
- Dn : os números digitais contidos na matriz
- i : os sub-índices em sentido X
- j : os sub-índices em sentido Y
- n : o número de elementos da matriz
- M : média aritmética
- V : variância
- S : desvio padrão
- Cv : covariância
- r : fator de correlação

Os pontos que cumprem a condição de correlação entre as matrizes são assinalados com dois círculos vermelhos concêntricos e um ponto branco no centro dos mesmos (Figura 6).

Saída de dados (output)

Os resultados da correlação são armazenados em arquivos texto com dados das coordenadas X, Y dos pontos e a correlação calculada para os mesmos respeito à matriz de exploração (Figura 7).

Outros resultados auxiliares tais como os estatísticos da matriz de exploração, podem ser armazenados em arquivos texto com a extensão .pat (pattern) (Figura 8).

Paralelamente, os resultados podem ser visualizados pelas diferentes utilidades do ambiente operativo, ou ser importados aos programas específicos (AutoCad ou PhotoModeller) para seu aproveitamento (Figura 9).

O modo Coordenadas habilita na setor inferior central uma janela onde são indicadas as coordenadas X, Y, em pixels, e o valor do número digital (Dn ou Z) do pixel explorado com o ponteiro do mouse (Figura 10).

É possível imprimir a imagem ativa à impressora selecionada no ambiente operacional. A realização de atividades não permitidas estão indicadas por mensagens ao usuário no centro da tela (Figura 11). Os erros de operação são indicados com mensagens próprias do ambiente operativo (Figura 12).

OBTENÇÃO DAS IMAGENS PADRÃO E RECONHECIMENTO

A obtenção de imagens padrão foi necessária para realizar o reconhecimento de sinais e verificar o funcionamento do programa.

Com o programa editor foi criada uma imagem composta de uma base branca (Dn=255), inserindo em posições conhecidas 21 figuras que representavam sinais teóricas em matrizes de 9 X 9 pixels, unidas por linhas. Esta imagem utilizou-se como matriz de busca, com a característica que tanto as posições quanto os números digitais de todos os pixels da mesma eram conhecidas. As dimensões do arquivo foram estabelecidas em 267 filas e 395 colunas.

A imagem padrão, por sua natureza, apresenta também a característica de não possuir elementos alheios com correlações similares a aqueles de interesse, situação que não acontece na realidade.

Para testar o funcionamento em situações reais de reconhecimento, foram fotografadas fachadas, monumentos e estruturas com sinais coladas. A sua incorporação ao sistema computacional, quando estivesse em suporte analógico, foi feita mediante um sistema híbrido de processamento. Utilizando o scanner já descrito, foi realizada a conversão analógica-digital, adequando os produtos aos requerimentos mínimos do programa. Este sistema híbrido não é de alta precisão métrica, como os descritos em BÄHR & VÖGTLE (1999), mas serviram para testar o funcionamento do programa desenvolvido.

5 Resultados

CONTROLE DE QUALIDADE DO PROGRAMA

A resposta adequada do algoritmo sobre as imagens utilizadas como matriz de busca foi testada mediante dois procedimentos de controle: o geométrico e o numérico.

Controle geométrico

Consistiu no reconhecimento e conferência visual dos resultados obtidos a partir da execução do programa para localizar sinais padrão, artificiais e reais, e reconhecer feições e elementos tanto em fotografias analógicas scannerizadas quanto em digitais.

Reconhecimento na imagem padrão

Utilizada a imagem padrão descrita no ponto 2.2., executou-se o programa utilizando a mesma como matriz de busca. A matriz de exploração de 11 X 11 pixels, maior que o sinal de 9 X 9 na imagem padrão para melhorar o reconhecimento, foi definida numericamente segundo os seguintes elementos:

Matriz de exploração 11 X 11

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	■	31	■	0	0	0	0
0	0	0	43	145	153	145	43	0	0	0
0	0	■	145	153	153	153	145	■	0	0
0	0	31	153	153	153	153	153	31	0	0
0	0	■	145	153	153	153	145	■	0	0
0	0	0	43	145	153	145	43	0	0	0
0	0	0	0	■	31	■	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

O programa detectou e assinalou o 100% (21 em total) dos sinais na matriz de busca ou imagem padrão (Figura 13). Devido ao fato que os sinais na imagem padrão (9 X 9 pixels) apresentavam linhas de união entre si, a correlação com a matriz 11 X 11 não foi 1.00, mas os pontos de máxima coincidência apresentaram valores entre 0.89 e 0.99 (Figura 14).

Reconhecimento de sinais digitais artificiais em fachada

Para testar o funcionamento do programa sobre imagens com variância segundo as condições que apresentam-se na realidade, foram desenhados digitalmente 45 sinais em 5 padrões sobre uma fotografia de fachada de igreja, obtida mediante o sistema híbrido utilizado (câmara Voigtländer VSL 1 e scanner Genius ColorPage Vivid Pro II a 85micrômetros). Os sinais são apresentados a seguir (tamanho ampliado):

Sinais digitais desenhadas



5X5 9X9 9X9 9X9 5X5

O programa de correlação detectou na primeira execução, os pontos de interesse e assinalou os mesmos determinando as suas coordenadas com 95% a 100% de acerto (Figura 15).

Cálculos de erros e sua distribuição não poderem ser feitos pelo fato de não dispor-se coordenadas absolutas da fachada.

Um estudo adequado do reconhecimento de sinais sobre imagens que foram obtidas por sistemas híbridos deveria ser feito a partir da localização e fotografado com câmaras analógicas de sinais reais sobre fachadas ou outras estruturas.

Reconhecimento de sinais reais coladas em veículo

A situação descrita no ponto 2.3.1.2. é uma situação teórica, mas próxima à realidade. Para verificar uma situação real de reconhecimento dos sinais pelo programa de correlação digital, foram coladas 12 marcas de 55mm por 55mm sobre um veículo e fotografado com a câmara digital Olympus C-820L. Os arquivos obtidos têm 1024 X 768 pixels e 16Mcores. Utilizaram-se três fotografias tiradas em diferentes posições para testar o funcionamento do programa.

O sinal utilizado, já desenhado anteriormente para outras experiências de fotogrametria a curta distância, apresenta-se a seguir:

Sinal fotografada colada
sobre veículo (55mm X 55mm)



Pelo fato que o sinal aparece deformado pela perspectiva das fotos, foi utilizado no programa o método de correlação mediante matriz de exploração definida pelo usuário mediante uma janela marcada pelo ponteiro do mouse. Elegeu-se o sinal com escala média, já que a variação de tamanho do mesmo na fotografia foi importante.

Na fotografia digital lateral do veículo, foram detectadas pelo programa na primeira execução só as marcas menores à marca padrão definida (Figura 16). Identificaram-se 10 das 12 marcas (85% de acerto). Outros setores da foto apresentaram os mesmos padrões, fato pelo qual foram identificados pontos que não interessam, mas cumprem as condições estatísticas de correlação digital de imagens.

Na fotografia digital frontal do veículo, foram detectadas pelo programa na primeira execução só as marcas iguais em dimensões à marca padrão definida (Figura 17). Identificaram-se 4 das 12 marcas (35% de acerto). Outros setores da foto não apresentaram os mesmos padrões.

Na fotografia digital posterior do veículo, igualmente foram detectadas pelo programa na primeira execução só as marcas iguais em dimensões à marca padrão definida (Figura 18). Identificaram-se 4 das 12 marcas (35% de acerto). Outros setores da foto apresentaram os mesmos padrões estatísticos de correlação, sendo pelo tanto, reconhecidos pelo programa.

Reconhecimento de feições em monumentos e fachadas

Aplicações interessantes no reconhecimento de feições na fotointerpretação e medição automática de paralaxes e construção de modelos digitais do terreno em fotogrametria (GÜLCH, 1991) são algumas das orientações que pode ter esta utilidade.

Para analisar o funcionamento do programa neste sentido, foram utilizadas duas fotografias de monumentos e fachadas tiradas com a câmara Yashica T4 e processadas com o scanner Genius ColorPage Vivid Pro II a 85µ m.

Tanto o monumento quanto a fachada apresentam estruturas repetidas, as quais foram aproveitadas para testar o reconhecimento automático de feições por correlação digital.

Foi utilizado o método de correlação mediante matriz de exploração definida pelo usuário mediante uma janela marcada pelo ponteiro do mouse. Elegeu-se a feição com escala média na foto. No caso do monumento, a feição selecionada (Figura 19), foi reconhecida por correlação na primeira execução do programa em 6 pontos sobre 8 reais (75%) (Figura 20).

Na fachada (Figura 21), aplicou-se o mesmo procedimento de correlação por janela, e obteve-se a identificação de 4 pontos sobre 12 presentes (35%) (Figura 22).

Reconhecimento de elementos em fotografias aéreas

A realização de testes em fotografias aéreas para analisar os resultados de correlação foram similares ao reconhecimento de feições em monumentos e fachadas. A mudança da base fotográfica, os padrões presentes e sua resolução cromática restrita a 256 tonalidade de cinza, são a principal diferença com o ponto anterior.

A fotografia aérea utilizada foi tirada com uma câmara Carl Zeiss RMK A 15/23 de 153mm distância focal, escala original 1:40.000. A mesma é parte do voo fotogramétrico feito pelo Grupo I Aerofotográfico da 2ª Brigada Aérea, Paraná, Argentina, em 1994. Foi processada com o scanner Genius ColorPage Vivid Pro II a 85micrômetros.

Utilizando uma janela de 10 x 10 pixels como matriz de exploração (Figura 23), foi testado o reconhecimento automático por correlação digital de cruzamentos de caminhos principais observáveis na fotografia aérea. Foram identificados na primeira execução 8 dos 12 cruzamentos (67%), além de outros pontos com as mesmas características de correlação estatística entre matrizes.

Controle numérico

O controle numérico dos resultados obtidos a partir do funcionamento do programa de correlação digital é fundamental para permitir a objetividade da análise.

Foram feitas duas análises numéricas, as quais compreendem uma análise básica e uma análise de distribuição estatística.

Análise das coordenadas verdadeiras e observadas na imagem padrão

Na imagem padrão foram determinadas as coordenadas X, Y do centro dos 21 sinais utilizados, mediante um programa de processamento de imagens, e os métodos de correlação digital por arquivo e janela de 11 X 11 pixels definida pelo usuário do programa desenvolvido. Os pontos determinados mediante o programa de processamento de imagens foram considerados como magnitudes verdadeiras a fim de compará-los com as coordenadas obtidas pelo programa de correlação digital de imagens, com os seguintes resultados:

Tabela 1 : Resultados da exploração da imagem padrão

Sinal	imagem	padrão	correlação	por	correlação	por	11 x 11	pixels	Erro relativo
	X padrão	Y padrão	X calculado	Y calculado	X calculado	Y calculado	Correlação	Erro absoluto	
1	27	30	27	30	27	30	0.964	-0.036	3.64
2	98	30	98	30	98	30	0.944	-0.056	5.64
3	176	30	176	30	176	30	0.944	-0.056	5.64
4	244	30	244	30	244	30	0.944	-0.056	5.64
5	348	30	348	30	348	30	0.908	-0.092	9.16
6	27	91	27	91	27	91	0.999	-0.001	0.12
7	98	91	98	91	98	91	0.944	-0.056	5.62
8	176	91	176	91	176	91	0.944	-0.056	5.62
9	244	91	244	91	244	91	0.944	-0.056	5.62
10	348	91	348	91	348	91	0.906	-0.094	9.43
11	27	167	27	167	27	167	0.982	-0.018	1.84
12	63	167	63	167	63	167	0.888	-0.112	11.16
13	139	167	139	167	139	167	0.888	-0.112	11.16
14	216	167	216	167	216	167	0.888	-0.112	11.16
15	298	167	298	167	298	167	0.888	-0.112	11.16
16	348	167	348	167	348	167	0.926	-0.074	7.44
17	27	234	27	234	27	234	0.944	-0.056	5.64
18	98	234	98	234	98	234	0.885	-0.115	11.50
19	176	234	176	234	176	234	0.885	-0.115	11.50
20	244	234	244	234	244	234	0.885	-0.115	11.50
21	348	234	348	234	348	234	0.888	-0.112	11.23

Não existem diferenças nas coordenadas X, Y verdadeiras (imagem padrão) e observadas (calculadas pelo programa de correlação digital nos dois métodos).

Análise de distribuição estatística dos resultados das correlações

Analisou-se a distribuição estatística de cada série de correlações calculadas, efeitos de realizar posteriormente comparações de variáveis geradas a partir de diferenças de correlação para diversas dimensões de janelas de exploração.

Mediante testes χ^2 de comprovação de hipóteses de ajustamento estatístico, foram analisadas as distribuições Normal, log-Normal e t-Student, pela sua associação ao fenômeno estudado, segundo as seguintes hipóteses:

Correlações com kernel (7 X 8) pixels:

- $H_0: X_{7x8} \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: X_{7x8} \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- $H_0: \log(X_{7x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: \log(X_{7x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- $H_0: (X_{7x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: (X_{7x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.

Correlações com kernel (9 X 8) pixels:

- $H_0: W_{9x8} \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: W_{9x8} \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- $H_0: \log(W_{9x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: \log(W_{9x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- $H_0: (W_{9x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: (W_{9x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.

Os resultados indicaram o rejeito de H_0 em todos os casos. Não foi possível estabelecer a distribuição estatística das correlações entre as mais prováveis.

Análise estatístico da variação na correlação digital em função das dimensões da matriz de exploração

Considerando que normalmente nas fotografias o sinal terá variação de escala devido às condições perspectivas, ou os elementos da matriz de exploração terão variância estatística, foi analisada através de testes a variação numérica do fator de correlação com diferentes dimensões de matrizes, janelas ou "kernels" de exploração definidos pelo usuário na tela mediante o ponteiro do mouse.

Esto permitiu testar o funcionamento do programa em condições variadas de operação, com a possibilidade de ajudar na determinação do tamanho ótimo de janela a utilizar nos reconhecimentos automáticos de feições. Os resultados são apresentados só para esta situação de trabalho, com validade restrita à imagem utilizada. Testes adicionais deveram ser feitos para estabelecer a generalidade da situação.

Utilizou-se uma fotografia tirada com a câmara Voigtländer VSL 1 e processada com o scanner Genius ColorPage Vivid Pro II a 85micrômetros.

Sobre a fotografia foram coladas 42 sinais digitais de 5 X 5 pixels (Figura 25) para reconhecimento. Executou-se o programa de correlação digital para reconhecer e determinar as coordenadas e coeficiente de correlação dos 42 pontos com matrizes de exploração de 5 X 5 pixels na primeira execução (Figura 26), coincidente com a marca a reconhecer; 7 X 8 pixels na segunda, e 9 X 8 pixels na terceira execução. A segunda e terceira dimensões da matriz foram estabelecidas arbitrariamente, com o ponto central do sinal a reconhecer centrado na matriz de exploração. Os resultados na primeira execução do reconhecimento dos sinais foram os seguintes:

Tabela 2 : Reconhecimento de pontos na imagem analisada

Sinais desenhadas	Matriz 5 X 5	Matriz 7 X 8	Matriz 9 X 8
42 pontos	41 pontos reconhecidos (98%)	35 pontos reconhecidos (83%)	32 pontos reconhecidos (76%)

Estabelecendo os resultados de correlação da exploração com a janela de 5 X 5 pixels como verdadeiros, tentou-se analisar a variação da correlação obtida para os mesmos pontos modificando as dimensões do "kernel".

Foram calculadas as diferenças de correlação entre os casos de exploração para "kernel" 5 X 5 pixels com 7 X 8 pixels, e 5 X 5 pixels com 9 X 8 pixels. Mediante testes χ^2 de comprovação de hipóteses de ajustamento estatístico, foi analisada a distribuição das diferenças de correlação com janela 7 X 8 pixels respeito à 5 X 5 pixels (variável X) e janela 9 X 8 pixels respeito à 5 X 5 pixels (variável W), segundo as seguintes hipóteses:

Kernel (7 X 8) - Kernel (5 X 5) pixels:

- 1) $H_0: X_{7x8} \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: X_{7x8} \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- 2) $H_0: \log(X_{7x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: \log(X_{7x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- 3) $H_0: (X_{7x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8})$ $H_1: (X_{7x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{7x8}, \sigma_{7x8}) (1-\alpha) = 90\%$.

Kernel (9 X 8) - Kernel(5 X 5) pixels:

- 4) $H_0: W_{9x8} \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: W_{9x8} \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- 5) $H_0: \log(W_{9x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: \log(W_{9x8}) \sim \text{Normal}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.
- 6) $H_0: (W_{9x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8})$ $H_1: (W_{9x8}) \sim t\text{-Student}(\mu_{9x8}, \sigma_{9x8}) (1-\alpha) = 90\%$.

Os resultados indicaram o rejeito de H_0 (ou aceitação de H_1) em todos os casos. Não foi possível estabelecer a distribuição estatística da diferença de correlações.

6 Considerações Finais

Dos sinais utilizados

A eleição adequada do sinal foi fundamental para atingir com sucesso os objetivos de reconhecimento. Tiveram-se que contemplar três aspectos fundamentais: forma, tamanho e contraste.

A forma do sinal deve ser discordante com a geometria dominante da imagem na escala da matriz de exploração para evitar determinações errôneas pelo programa de correlação. Segundo os resultados obtidos neste trabalho, se a geometria dominante fosse linhas horizontais e verticais, será adequado utilizar sinais circulares. No caso de geometria dominante com linhas curvas, o sinal adequado serão cruces com os seus braços dispostos vertical e horizontalmente. Sinais circulares sobre marco quadrado são adequadas quando a imagem tem heterogeneidade de formas.

O tamanho adequado do sinal está em função da resolução do sistema sensor de captura, e portanto, de acordo à distancia do ponto de toma. Não pode estabelecer-se o tamanho real ideal do sinal pela variedade de situações que podem apresentar-se na prática. Mas podem ser esboçadas as dimensões digitais do sinais que atinjam uma eficiência computacional ótima ante os algoritmos de correlação digital bivariada. Neste trabalho, sinais desde 5 X 5 pixels e maiores foram detectados sem problemas.

Utilizando sinais maiores com janelas de exploração também maiores, podem ser detectadas os sinais com alta percentagem de acerto, mas o tempo de cálculo acrescenta-se consideravelmente.

O contraste do sinal respeito às cores dominantes nas fotografias é de importância extrema no reconhecimento por correlação. Devido que o programa opera segundo os conceitos de 256 tonalidades de cinza, ter-se-á especial cuidado no desenho das cores do sinal, atendendo o contraste no domínio adequado (0-255) dos números digitais que serão utilizados para analisar tanto os sinais quanto a imagem completa.

Dos algoritmos utilizados

A programação do algoritmo não apresentou problemas que não pudessem ser salváveis com estruturas prolixas nas rotinas.

Operativamente, apresentou-se o problema de indeterminação matemática no cálculo do coeficiente de correlação na imagem padrão. No caso que a matriz de exploração examina a matriz de busca cujos elementos são iguais, a variância da segunda é zero, e portanto, o seu desvio será também zero. O momento de primeira ordem centrado à média será neste caso também zero, ficando pelo tanto o cálculo do coeficiente de correlação como um quociente indeterminado do tipo 0 / 0. Na prática, optou-se pela solução de capturar o erro na rotina do programa e atribuir forçosamente o coeficiente de correlação zero.

Esta situação não apresentou-se nas fotografias de objetos reais, pelo fato de possuir variância estatística cada pixel em relação ao outro.

Do reconhecimento automático de feições

A eleição das feições adequadas é o principal ponto a ser considerado neste processo. Os fatores de forma, tamanho e contraste são determinantes para atingir os objetivos de reconhecimento, operando as feições como sinais próprias da estrutura e/ou fotografia aérea analisada.

Do equipamento e material fotográfico

As câmaras fotográficas analógicas utilizadas (Voigtländer VSL 1 e Yashica T4) possibilitaram obter produtos de alta resolução, proporcionado pelas lentes de qualidade que dispunha-se: Color-Ultron 1.8/50 e Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35.

A resolução de 1024 X 768 pixels das fotografias digitais não foi limitante para reconhecer os sinais mediante o programa de correlação digital. A principal fonte de limitações está nas dimensões aparentes do sinal na fotografia pelo fato que os algoritmos utilizados não contemplam a forma dos elementos a reconhecer.

Das ferramentas de programação (software)

Para atingir os objetivos do trabalho, a linguagem Visual Basic serviu para desenvolver uma ferramenta simples de correlação digital bivariada, aproveitando as características gráficas da Interface Gráfica do Usuário (GUI), fornecida pelo sistema operacional Windows 98.

As rotinas orientadas à visualização das imagens foram feitas sem complicações, enquanto o manejo numérico das matrizes apresenta tarefas mais complexas, fora do alcance do programador sem experiência em linguagens da família Basic.

A geração do programa executável independente (.exe) para ambiente operacional de 32 bits, facilitou a distribuição e instalação do mesmo em outros computadores.

Das ferramentas de processamento (hardware)

Os resultados obtidos na correlação digital através do programa elaborado foram atingidos sem inconvenientes com um computador pessoal de performance corrente.

7 Figuras

Figura 1 : Tela inicial do programa desenvolvido para Correlação Digital. À esquerda o setor de arquivos. Posteriormente, à direita, as utilidades; à direita da tela, o setor para as imagens.

Figura 2: Tela de Correlação Digital por arquivos que indicam a matriz de exploração ou Kernel (setor inferior esquerdo) e a matriz de busca ou imagem propriamente (setor superior esquerda).

Figura 3: Tela de entrada do valor umbral (threshold) paraestabelecer intervalo de Correlação Digital (Umbral < Correlação < 1).

Figura 4: Tela de Correlação Digital por matriz numérica definida pelo usuário até 20 filas por 20 colonas. Observa-se a restrição nos números digitais ingressados 0 < Dn < 255.

Figura 5: Tela de Correlação Digital por matriz de exploração definida por uma janela de até 20 pixels no monitor utilizando o mouse. Como matriz de busca usam-se arquivos raster.

Figura 6: Tela de reconhecimento das feições com a correlação digital solicitada. Os pontos que satisfazem as condições são assinalados por dois círculos vermelhos e um ponto branco na posição determinada.

Figura 7: Os resultados da correlação são armazenados em arquivos .txt com dados das coordenadas X, Y dos pontos e a correlação calculada para os mesmos respeito à matriz de exploração.

Figura 8: Resultados auxiliares tais como os estatísticos da matriz de exploração podem ser armazenados em arquivos tipo texto com a extensão .pat (pattern).

Figura 9: Os resultados podem ser visualizados pelas diferentes utilidades do ambiente operativo, ou ser importados aos programas específicos (AutoCad ou PhotoModeller®) para seu aproveitamento.

Figura 10: O modo Coordenadas habilita no setor inferior central uma janela onde são indicadas as coordenadas X, Y em pixels, e o valor do número digital (Dn ou Z) do pixel explorado com o ponteiro do mouse.

Figura 11: A realização de atividades não permitidas estão indicadas por mensagens ao usuário no centro da tela.

Figura 12: Os erros de operação são indicados aos usuários com mensagens próprios do ambiente operativo.

Figura 13: Reconhecimento de sinais padrão em situação teórica. Todos os sinais foram reconhecidos pelo algoritmo do programa.

Figura 14: Coeficientes de correlação bivariado no reconhecimento dos sinais padrão segundo matriz de exploração definida.

Figura 15: Reconhecimento de sinais padrão sobre fachadas. Os sinais foram desenhados digitalmente para testar a eficiência computacional do algoritmo no programa elaborado.

Figura 16: Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. Os 4 últimos sinais não foram reconhecidos pela diferença de dimensões entre a matriz de exploração e matriz de busca.

Figura 17: Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. As limitações no reconhecimento pela mudança de escala dos sinais não permitiu computar a posição das marcas superiores.

Figura 18: Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. A importância da forma do sinal é evidente para evitar a detecção de padrões similares que não interessam.

Figura 19: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos Equipamento: Yashica T4 Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (85 µm).

Figura 20: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. A mesma feição foi reconhecida sobre o monumento a partir da matriz de exploração definida pelo usuário.

Figura 21: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Equipamento: Yashica T4 Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (85 µm).

Figura 22: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Só as feições de interesse foram detectadas na fachada da estação.

Figura 23: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Equipamento: Carl Zeiss RMK A 15/23. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (64 µm).

Figura 24: Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. As aplicações em fotografias aéreas podem orientar-se às atividades de fotointerpretação e fotogrametria (medição automática de paralaxes).

Figura 25: Modelo utilizado para estudar a variação do coeficiente bivariado na correlação digital de imagens.

Figura 26: Os resultados do reconhecimento dos sinais sobre a estrutura metálica fotografada.

Planilhas 1 e 2: Test χ^2 de Normalidade e Log-Normalidade para as diferenças de correlação entre matrizes de exploração.

8 Bibliografia

ALBERTZ, J. **Photogrammetrisches Taschenbuch**. Karlsruhe, Deutschland : HERBERT WICHMANN, 1980. 280p.

BÄHR, H.; VÖGTLE, T. (Ed.) **GIS for environmental monitoring**. Chapter III.8 Digitizing imagery. Stuttgart, Germany : SCHWEIZERBART, 1999. 357p.

GÜLCH, E. Automatic extraction of geometric features from digital imagery. In: EBNER, H.; FRITSCH, D.; HEIPKE, **Digital photogrammetric systems**. Karlsruhe, Deutschland : WICHMANN, 1991. p.74-85.

LILLESAND, T; KIEFER, R. **Remote sensing and image interpretation**. 2nd Edition. New York, United States of America : JOHN WILEY & SONS, 1987. 721p.

PIEHEL, J. Procedimientos para la correlación de imágenes estereoscópicas. Capítulo 9. In: BÄHR, **HProcesamiento digital de imágenes**. Eschborn, Alemania : DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ), 1991. 428p.

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

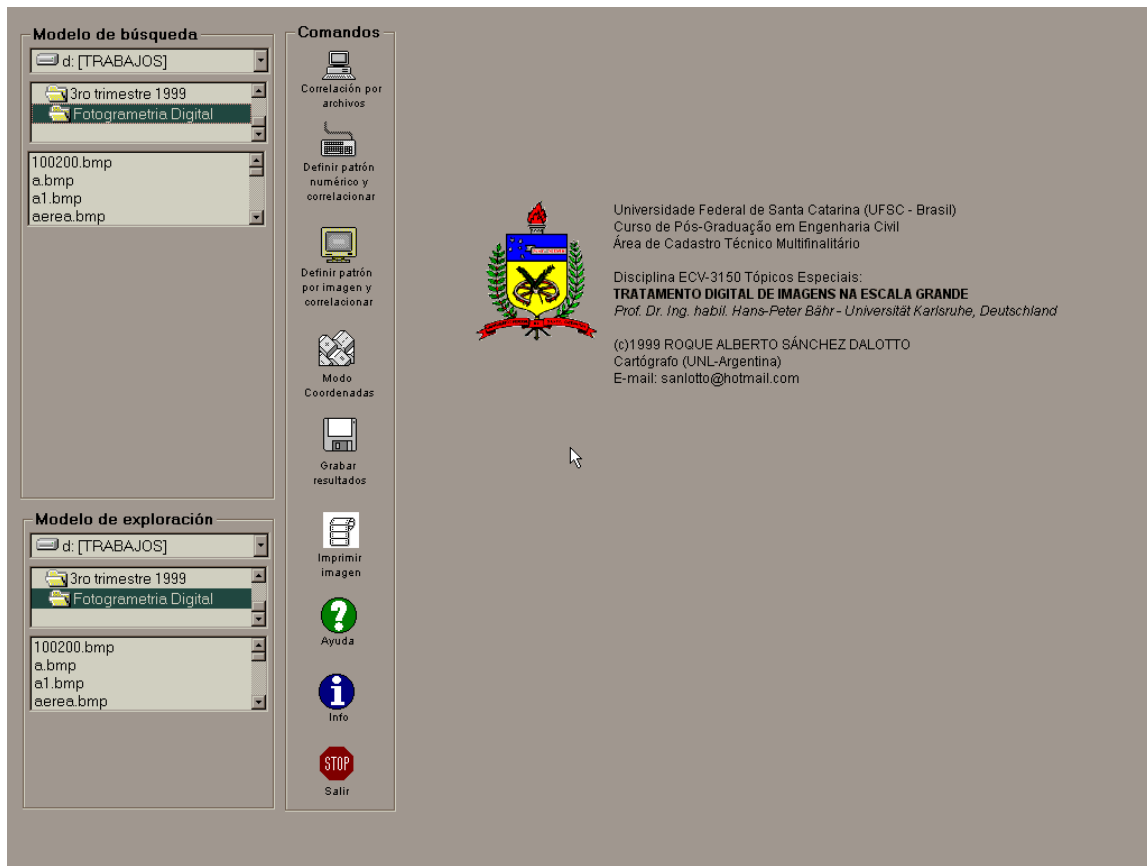


Fig. 1 : Tela inicial do programa desenvolvido para Correlação Digital. À esquerda o setor de arquivos. Posteriormente, à direita, as utilidades; à direita da tela, o setor para as imagens

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

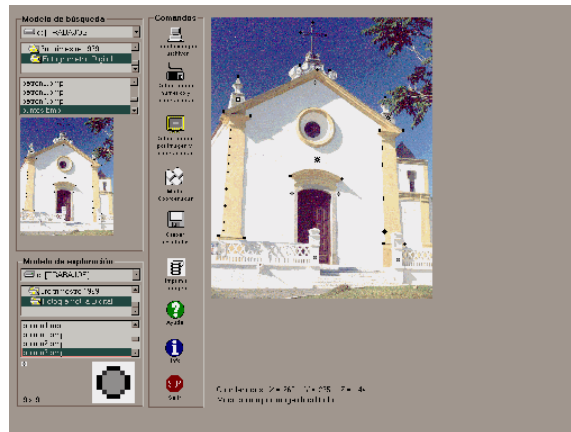


Fig. 10 : O modo Coordenadas habilita no setor inferior central uma janela onde são indicadas as coordenadas X, Y em pixels, e o valor do número digital (Dn ou Z) do pixel explorado com o ponteiro do mouse

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

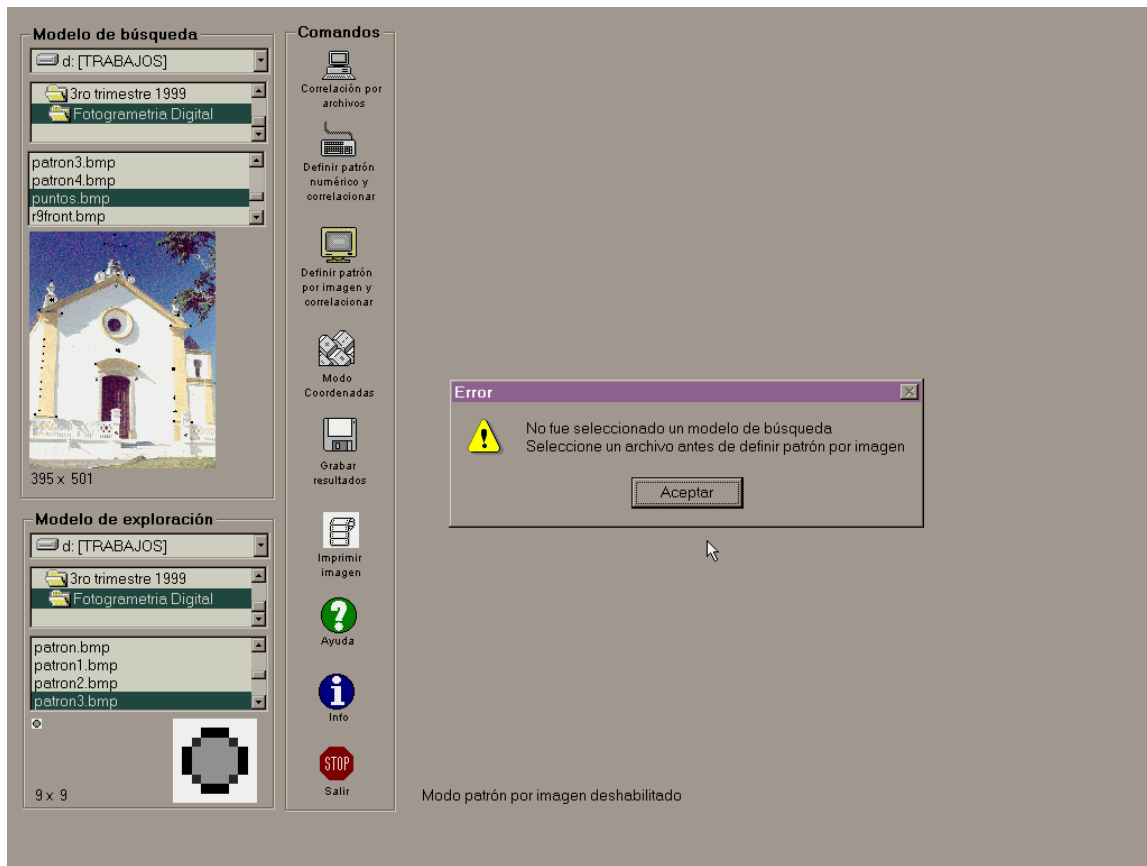


Fig. 11 : A realização de atividades não permitidas estão indicadas por mensagens ao usuário no centro da tela

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

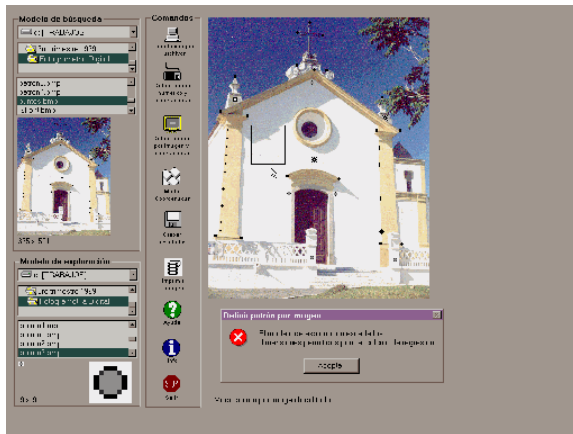


Fig. 12 : Os erros de operação são indicados aos usuários com mensagens próprias do ambiente operativo

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

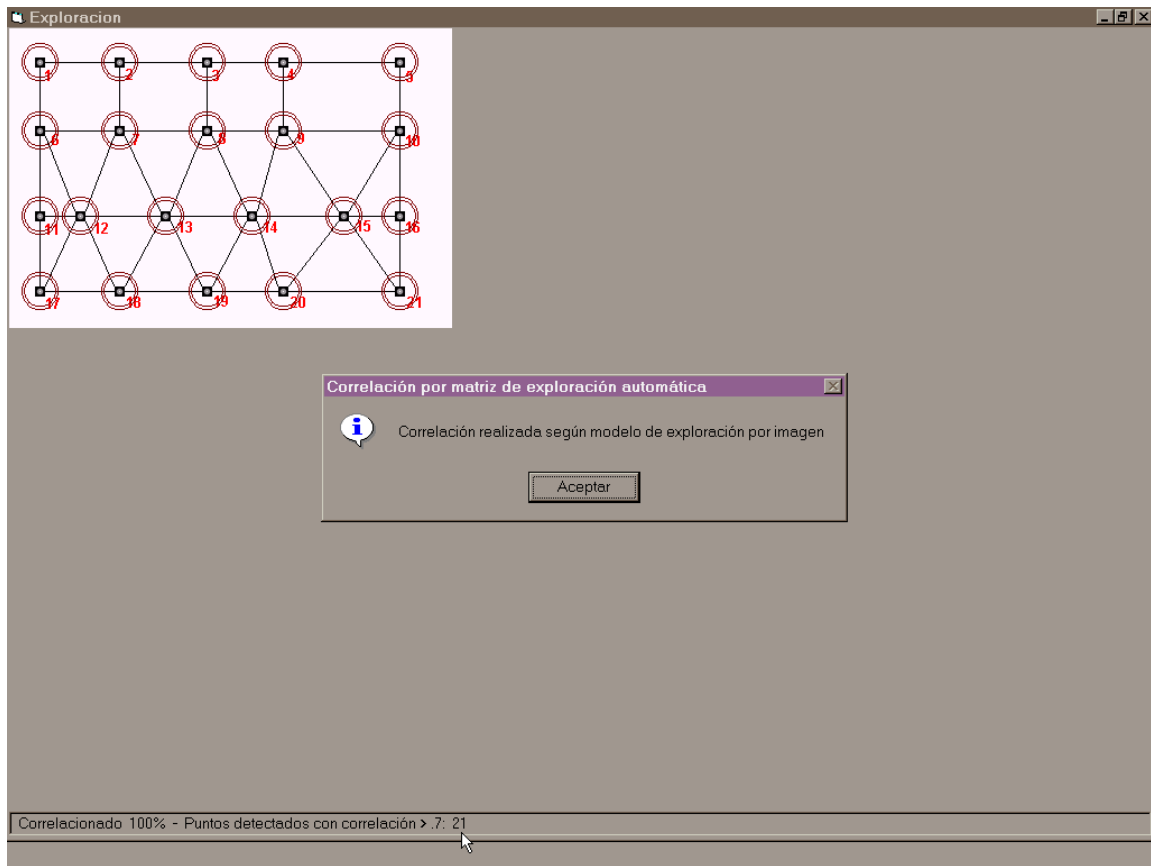


Fig. 13 : Reconhecimento de sinais padrão em situação teórica. Todos os sinais foram reconhecidos pelo algoritmo do programa

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

Punto	X	Y	r
Punto 1 :	22	25	0.963575064289053
Punto 2 :	93	25	0.943621028806251
Punto 3 :	171	25	0.943621028806251
Punto 4 :	239	25	0.943621028806251
Punto 5 :	343	25	0.908369580246051
Punto 6 :	22	86	0.998826512849253
Punto 7 :	93	86	0.943835731842872
Punto 8 :	171	86	0.943835731842872
Punto 9 :	239	86	0.943835731842872
Punto 10 :	343	86	0.905676558641924
Punto 11 :	22	162	0.981565498970579
Punto 12 :	58	162	0.888431235481106
Punto 13 :	134	162	0.888431235481106
Punto 14 :	211	162	0.888431235481106
Punto 15 :	293	162	0.888431235481106
Punto 16 :	343	162	0.925630594124726
Punto 17 :	22	229	0.943621028806251
Punto 18 :	93	229	0.884993102356271
Punto 19 :	171	229	0.884993102356271
Punto 20 :	239	229	0.884993102356271
Punto 21 :	343	229	0.887686123960398

Fig. 14 : Coeficientes de correlação bivariado no reconhecimento dos sinais padrão segundo matriz de exploração definida

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

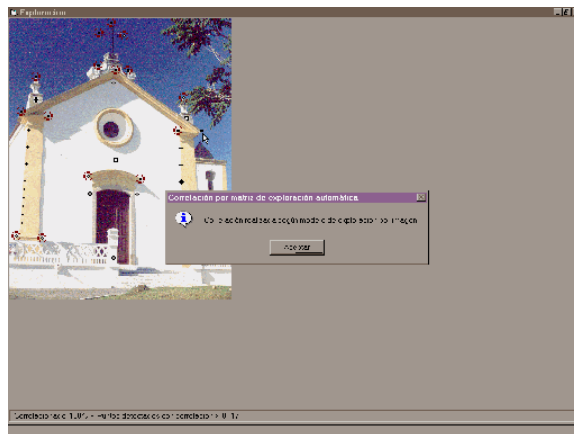


Fig. 15 : Reconhecimento de sinais padrão sobre fachadas. Os sinais foram desenhados digitalmente para testar a eficiência computacional do algoritmo no programa elaborado

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

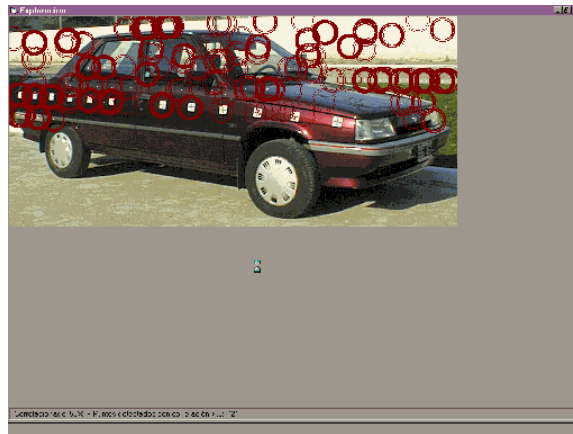


Fig. 16 : Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. Os 4 últimos sinais não foram reconhecidos pela diferença de dimensões entre a matriz de exploração e matriz de busca

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr



Fig. 17 : Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. As limitações no reconhecimento pela mudança de escala dos sinais não permitiu computar a posição das marcas superiores

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

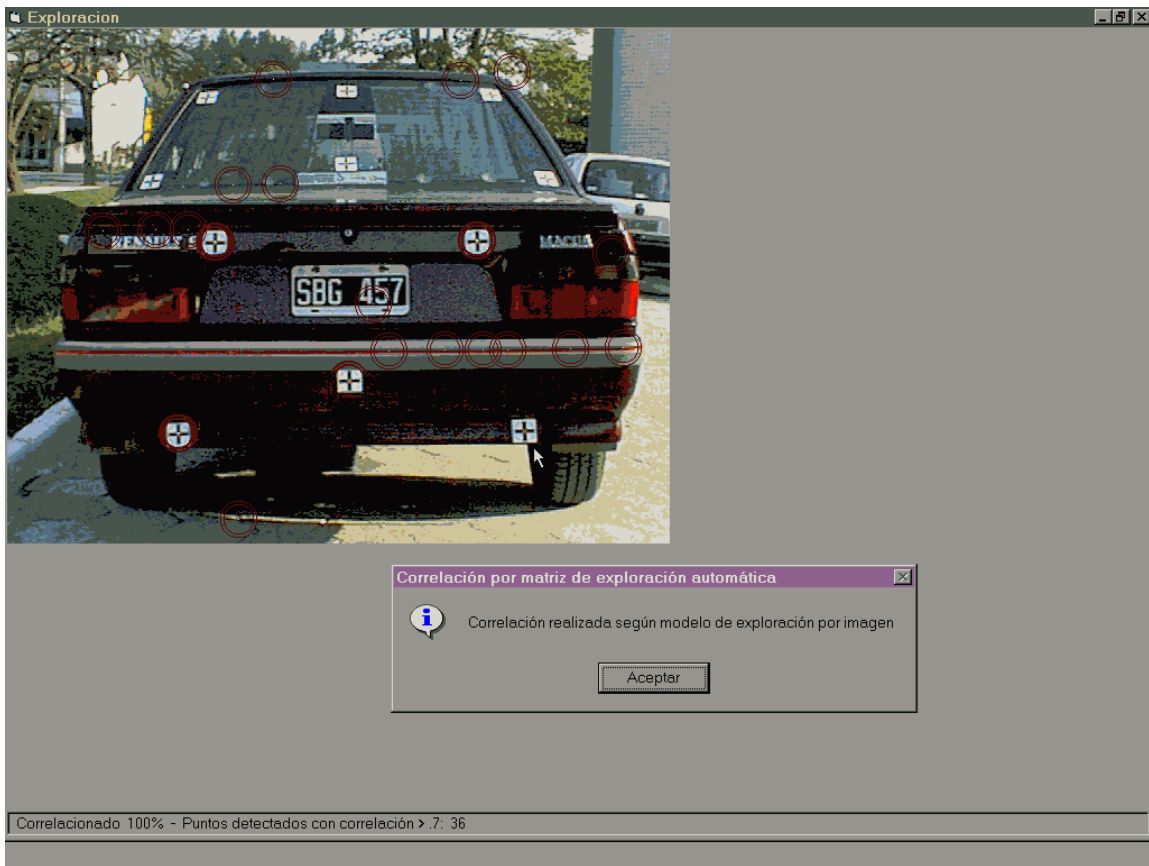


Fig. 18 : Reconhecimento em fotografia digital de sinais coladas em estruturas. A importância da forma do sinal é evidente para evitar a detecção de padrões similares que não interessam

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

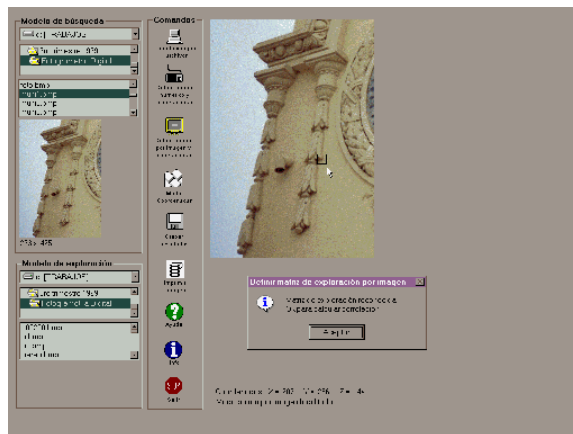


Fig. 19 : Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos Equipamento: Yashica T4 Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (85 µm)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

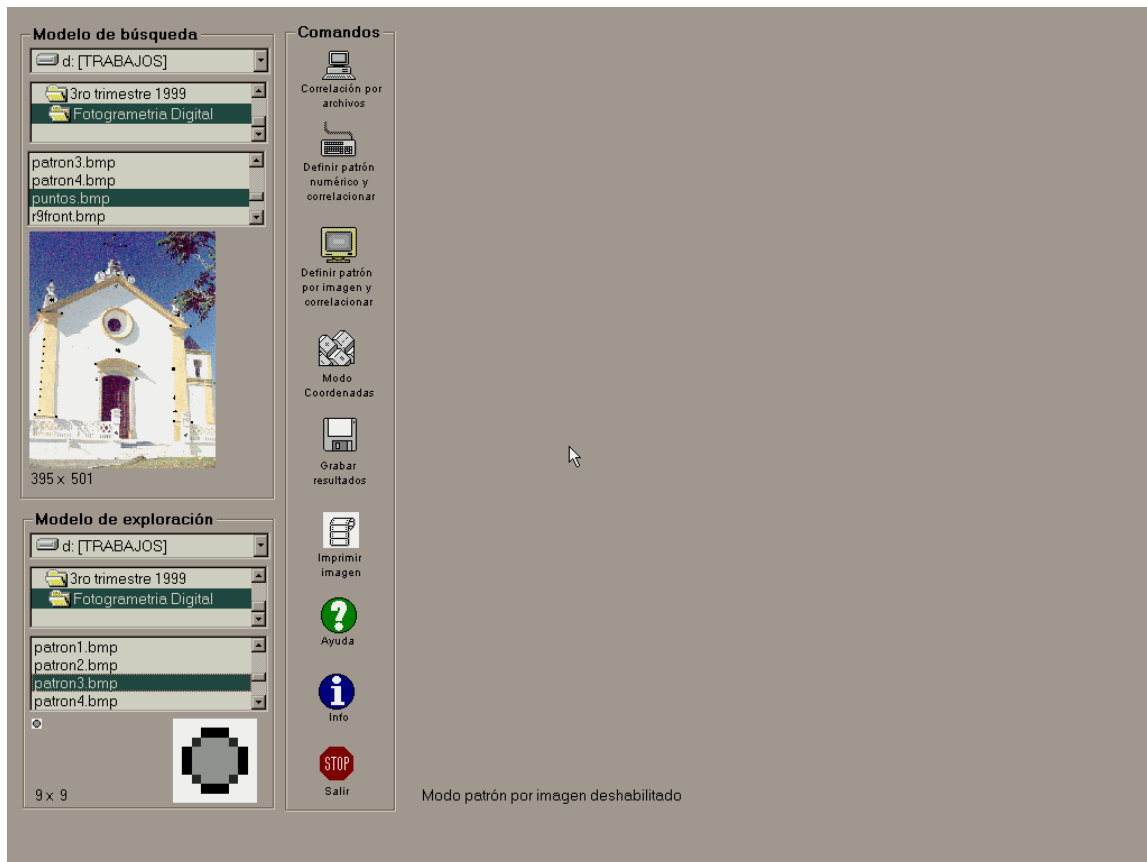


Fig. 2 : Tela de Correlação Digital por arquivos que indicam a matriz de exploração ou Kernel (setor inferior esquerdo) e a matriz de busca ou imagem propriamente (setor superior esquerda)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

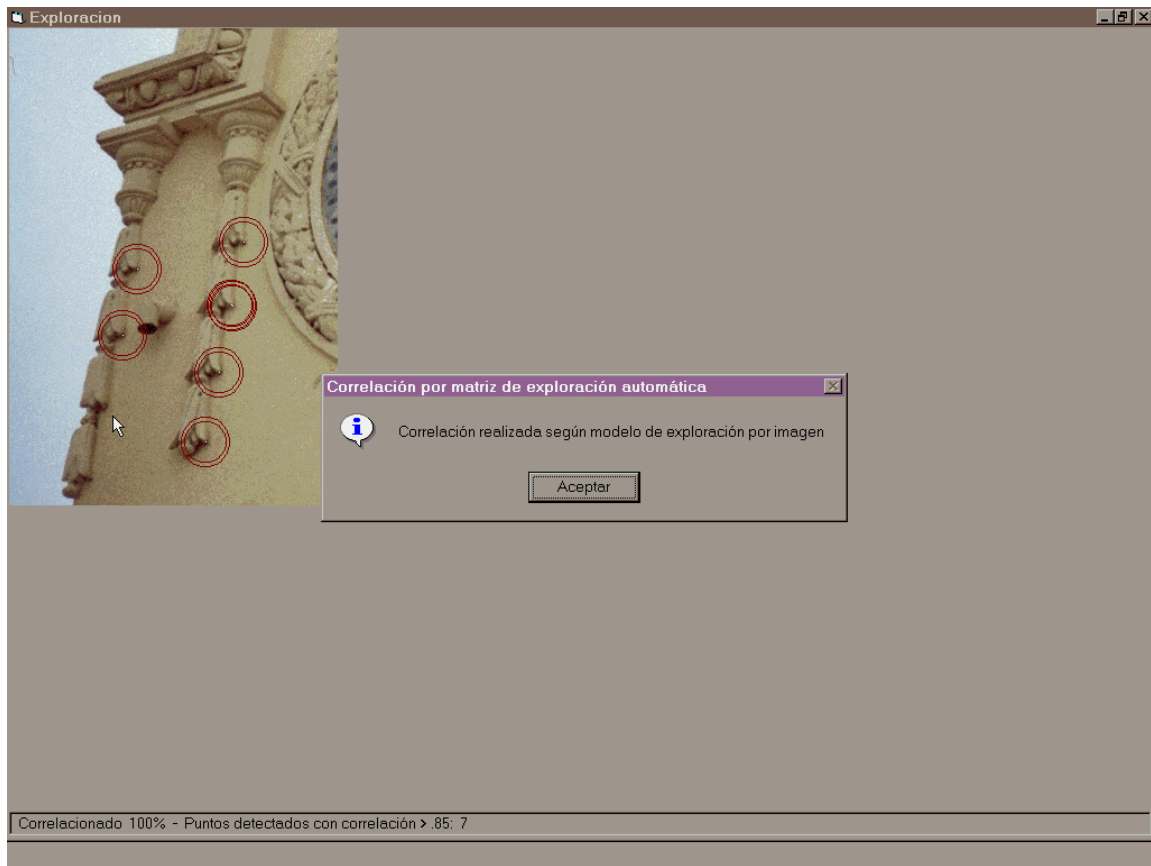


Fig. 20 : Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. A mesma feição foi reconhecida sobre o monumento a partir da matriz de exploração definida pelo usuário

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

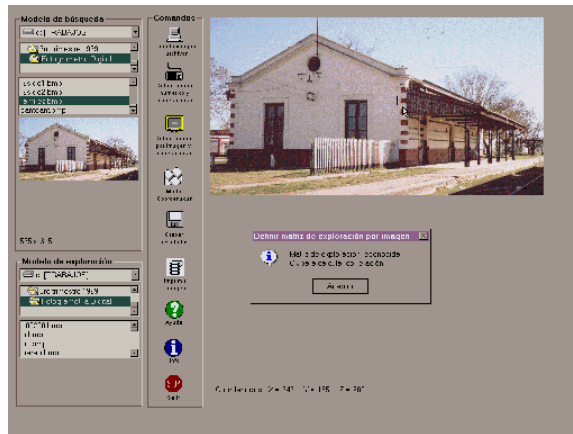


Fig. 21 : Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Equipamento: Yashica T4 Carl Zeiss T* Tessar 3.5/35. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (85 µm)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

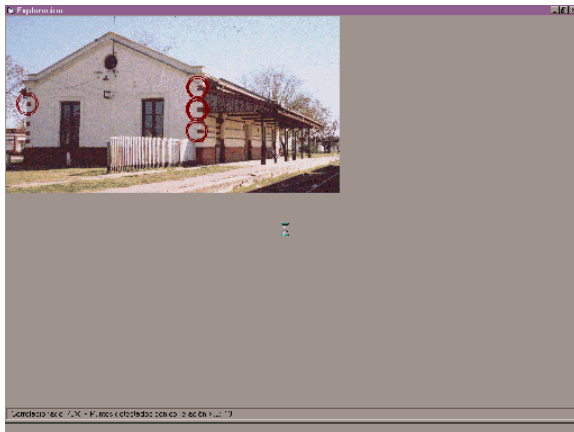


Fig. 22 : Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Só as feições de interesse foram detectadas na fachada da estação

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

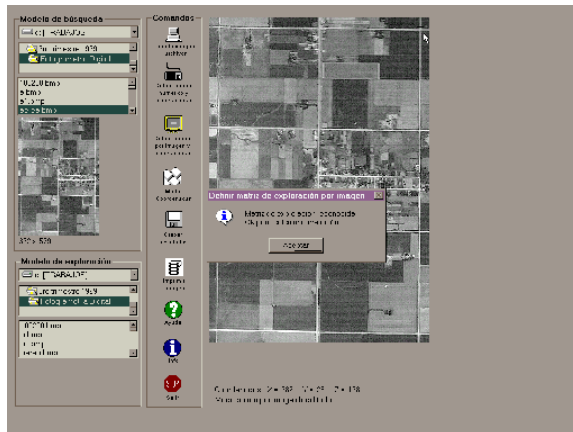


Fig. 23 : Reconhecimento automático de feições em sistemas híbridos. Equipamento: Carl Zeiss RMK A 15/23. Scanner Genius ColorPage-Vivid Pro II (64 µm)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr



Fig. 25 : Modelo utilizado para estudar a variação do coeficiente bivariado na correlação digital de imagens

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

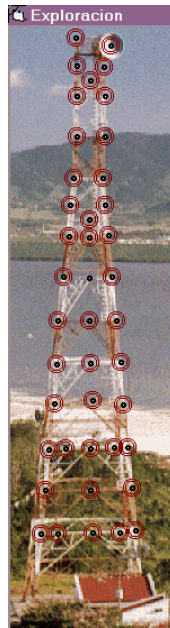


Fig. 26 : Os resultados do reconhecimento dos sinais sobre a estrutura metálica fotografada

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

TEST χ^2 DE NORMALIDADE - DIFERENÇA DE CORRELAÇÃO MATRIZ 5x5 E 5x7													
Intervalos	f acum	f parc	F	f	z	Fz	Delta P	f esp	f obs	f esp	Chi2	Classes:	
55	-0.187	1	1	0.029	0.029	-3.256	0.00	0.00	11	1.54	58.17	Estatísticos calculados:	2
56	-0.164	1	0	0.029	0.000	-2.643	0.00	0.00	13	3.11	31.41	Graus de liberdade:	1
57	-0.141	2	1	0.057	0.029	-2.029	0.02	0.02	11	1.79	47.50	Confiança:	0.9
58	-0.119	2	0	0.057	0.000	-1.415	0.08	0.06			Σ Chi2	Chi2 tabela:	2.706
59	-0.096	7	5	0.200	0.143	-0.801	0.21	0.13				Chi2 calculado:	137.09
60	-0.073	11	4	0.314	0.114	-0.188	0.43	0.21					
61	-0.051	24	13	0.696	0.371	0.426	0.66	0.24				Chi2 tabela << Chi2 calculado	
62	-0.028	32	8	0.914	0.229	1.040	0.85	0.19				A amostra não está normalizada	
63	-0.006	35	3	1.000	0.086	1.653	0.95	0.10					
64													
65													
TEST χ^2 DE NORMALIDADE - DIFERENÇA DE CORRELAÇÃO MATRIZ 5x5 E 9x3													
Intervalos	f acum	f parc	F	f	z	Fz	Delta P	f esp	f obs	f esp	Chi2	Classes:	
67	-0.154	1	1	0.031	0.031	-2.31	0.01	0.01	13	1.81	69.40	Estatísticos calculados (média y desvi	3
68	-0.136	1	0	0.031	0.000	-1.73	0.04	0.03	11	2.41	30.71	Graus de liberdade:	2
69	-0.118	4	3	0.125	0.094	-1.16	0.12	0.08	8	0.91	55.62	Confiança:	0.9
70	-0.100	11	7	0.344	0.219	-0.58	0.28	0.16			Σ Chi2	Chi2 tabela:	2.706
71	-0.082	13	2	0.406	0.063	0.004	0.50	0.22				Chi2 calculado:	155.73
72	-0.064	24	11	0.750	0.344	0.584	0.72	0.22					
73	-0.046	28	4	0.875	0.125	1.163	0.88	0.16				Chi2 tabela << Chi2 calculado	
74	-0.028	31	3	0.969	0.094	1.743	0.96	0.08				A amostra não está normalizada	
75	-0.009	32	1	1.000	0.031	2.322	0.99	0.03					
76													
65													
TEST χ^2 DE LOG-NORMALIDADE - DIFERENÇA DE CORRELAÇÃO MATRIZ 5x5 E 5x7													
Intervalos	log f ac	f parc	F	f	z	Fz	Delta P	f esp	f obs	f esp	Chi2	Classes:	
55	-0.187	0.00	0.00	0.000	0.000	-3.256	0.00	0.00	0	3.01	2.97	Estatísticos calculados:	2
56	-0.164	0.00	0.00	0.000	0.000	-2.643	0.00	0.00	0	3.28	2.52	Graus de liberdade:	1
57	-0.141	0.30	0.30	0.195	0.195	-2.029	0.02	0.02	1	3.27	2.30	Confiança:	0.995
58	-0.119	0.30	0.00	0.195	0.000	-1.415	0.08	0.06			Σ Chi2	Chi2 tabela:	7.879
59	-0.096	0.85	0.54	0.547	0.352	-0.801	0.21	0.13				Chi2 calculado:	7.80
60	-0.073	1.04	0.20	0.674	0.127	-0.188	0.43	0.21					
61	-0.051	1.38	0.34	0.894	0.219	0.426	0.66	0.24				Chi2 tabela > Chi2 calculado	
62	-0.028	1.51	0.12	0.975	0.081	1.040	0.85	0.19				A amostra está log-normalizada	
63	-0.006	1.54	0.04	1.000	0.025	1.653	0.95	0.10					
64													
65													
TEST χ^2 DE LOG-NORMALIDADE - DIFERENÇA DE CORRELAÇÃO MATRIZ 5x5 E 9x3													
Intervalos	log f ac	f parc	F	f	z	Fz	Delta P	f esp	f obs	f esp	Chi2	Classes:	
67	-0.154	0.00	0.00	0.000	0.000	-2.31	0.01	0.01	0	3.12	2.88	Estatísticos calculados (média y desvi	3
68	-0.136	0.00	0.00	0.000	0.000	-1.73	0.04	0.03	1	3.35	2.27	Graus de liberdade:	1
69	-0.118	0.60	0.60	0.400	0.400	-1.16	0.12	0.08	0	3.03	2.52	Confiança:	0.995
70	-0.100	1.04	0.44	0.692	0.292	-0.58	0.28	0.16			Σ Chi2	Chi2 tabela:	7.879
71	-0.082	1.11	0.07	0.740	0.048	0.004	0.50	0.22				Chi2 calculado:	7.66
72	-0.064	1.38	0.27	0.917	0.177	0.584	0.72	0.22					
73	-0.046	1.45	0.07	0.961	0.044	1.163	0.88	0.16				Chi2 tabela > Chi2 calculado	
74	-0.028	1.49	0.04	0.991	0.029	1.743	0.96	0.08				A amostra está log-normalizada	
75	-0.009	1.51	0.01	1.000	0.009	2.322	0.99	0.03					
76													

Planilhas 1 e 2 : Test χ^2 de Normalidade e Log-Normalidade para as diferenças de correlação entre matrizes de exploração

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

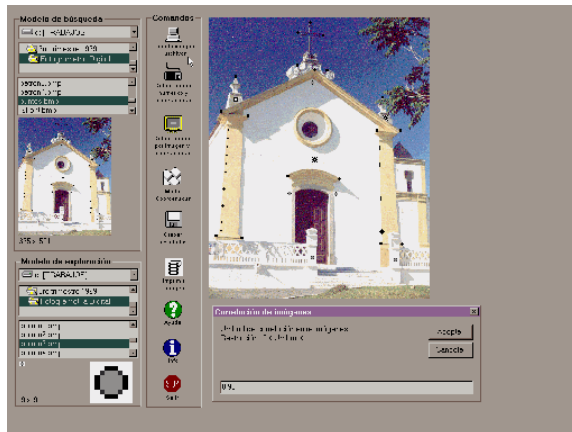


Fig. 3 : Tela de entrada do valor umbral (threshold) para estabelecer intervalo de Correlação Digital (Umbral < Correlação < 1)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

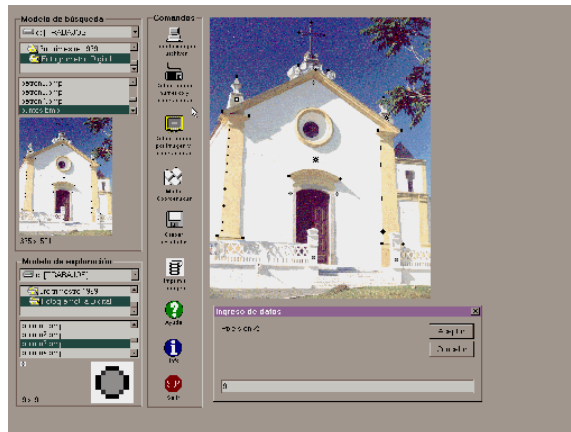


Fig. 4 : Tela de Correlação Digital por matriz numérica definida pelo usuário até 20 filas por 20 colunas. Observa-se a restrição nos números digitais ingressados $0 < Dn < 255$

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

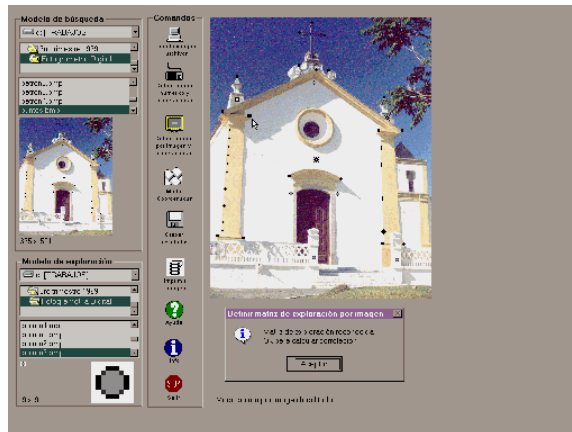


Fig. 5 : Tela de Correlação Digital por matriz de exploração definida por uma janela de até 20 pixels no monitor utilizando o mouse. Como matriz de busca usam-se arquivos raster

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

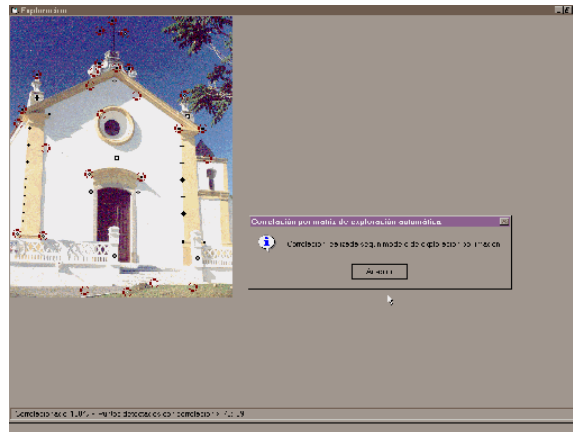


Fig. 6 : Tela de reconhecimento das feições com a correlação digital solicitada. Os pontos que satisfazem as condições são assinalados por dois círculos vermelhos e um ponto branco na posição determinada

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

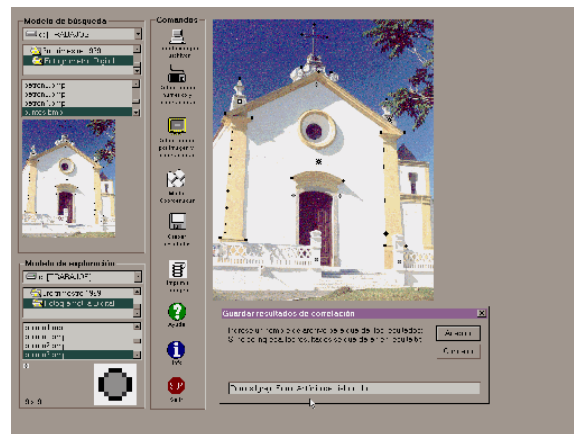


Fig. 7 : Os resultados da correlação são armazenados em arquivos .txt com dados das coordenadas X, Y dos pontos e a correlação calculada para os mesmos respeito à matriz de exploração

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

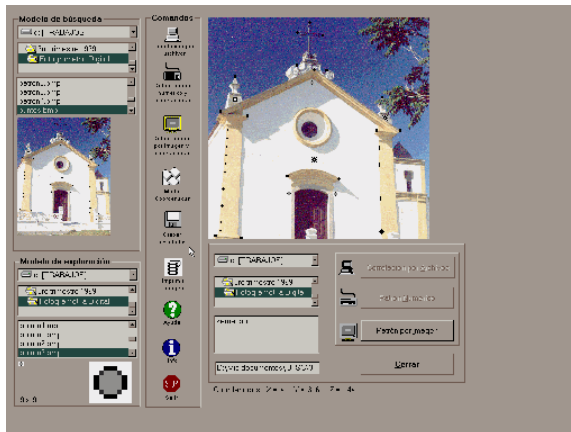


Fig. 8 : Resultados auxiliares tais como os estatísticos da matriz de exploração podem ser armazenados em arquivos tipo texto com a extensão .pat (pattern)

Experiências na Detecção Automática de Feições em Fotogrametria a Curta Distância

Prof. M.Eng. Roque A. Sánchez Dalotto - Prof. Dr. Carlos Loch - Prof. Dr. Hans-Peter Bähr

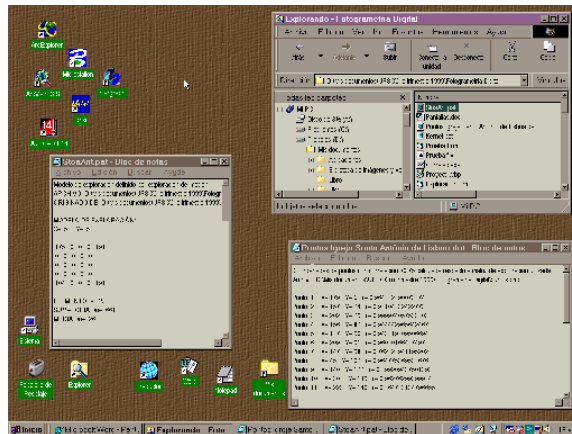


Fig. 9 : Os resultados podem ser visualizados pelas diferentes utilidades do ambiente operativo, ou ser importados aos programas específicos (AutoCad ou PhotoModeller®) para seu aproveitamento