

**USP - ICMC - SSC – Pós-Grad. CCMC
SSC 5888 (RMA) - 1o. Semestre 2009**

**Disciplina de
Robôs Móveis Autônomos
SSC-5888**

Prof. Fernando Santos Osório
Email: fosorio [at] { icmc. usp. br , gmail. com }
Web: <http://www.icmc.usp.br/~fosorio/>

Aula 04: Visão Computacional

Agenda:

Visão Computacional e Robótica Móvel:

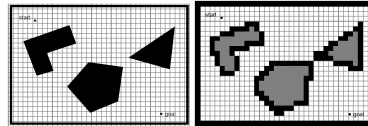
- 1. *Introdução ao Processamento de Imagens***
Mapa de Pixels, Amostragem, Quantização, Iluminação,
Histograma, Espaço de Cores, Ferramentas de P.I.
- 2. *Segmentação de Imagens por Cor***
Detecção de Cores e Segmentação por Cor
Navegação baseada em Marcas Visuais: Aplicações
- 3. *Classificação de Imagens***
Reconhecimento de Gestos, Reconhecimento de Objetos
- 4. *Registro de Imagens***
Baseado em Correlação de Pixels (NCC)
Baseado em Atributos e Pontos de Referência (SIFT)

1. Processamento de Imagens

Mapa de Pixels = Bitmap

RED 80%	RED 36%	RED 93%
GREEN 80%	GREEN 36%	GREEN 91%
BLUE 77%	BLUE 13%	BLUE 0%

Imagine the smiley face in the top left corner as an RGB bitmap image.



Amostragem:
Resolução X-Y

Quantização:
Bits por Pixel

B&W = 1 bit/pixel

Gray Scale (níveis de cinza) = 8 bits/pixel

Palette (falsas cores) = 8 bits/pixel

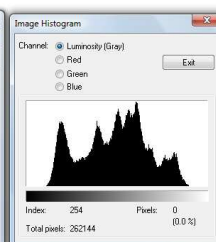
TrueColor RGB = 24 bits/pixel

RGB + Alfa (Transparência) = 32 bits/pixel

Multi-espectral = N Canais de cor

1. Processamento de Imagens

Imagens em Tons de Cinza



- Histograma
- Brilho
- Contraste
- Formato das Imagens:
 BMP, GIF, JPG,
 PBM, PGM, PPM,
 PNG, ...

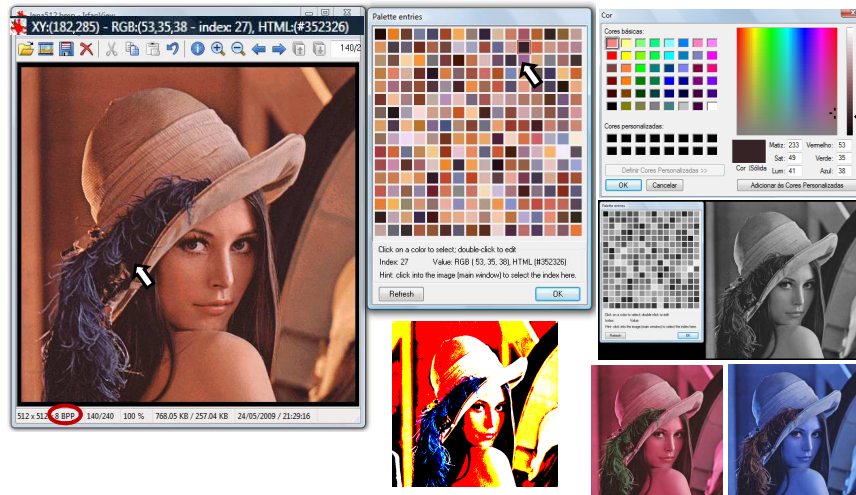
Brightness: 115 Contrast: 100
 Gamma correction: 1.00
 Color balance: R: 0 G: 0 B: 0 Saturation: 0

Apply to original Save values on exit Set default values

- Compactação:**
- LossLess
 - Lossy

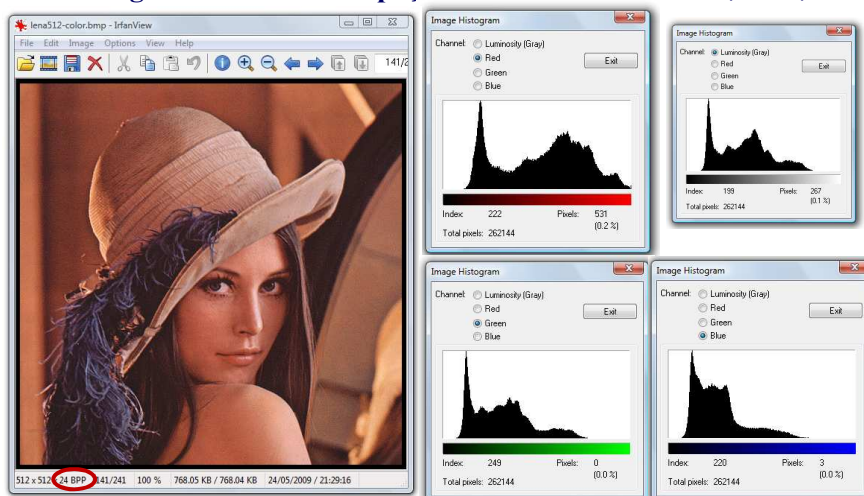
1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Falsas Cores (Palette)



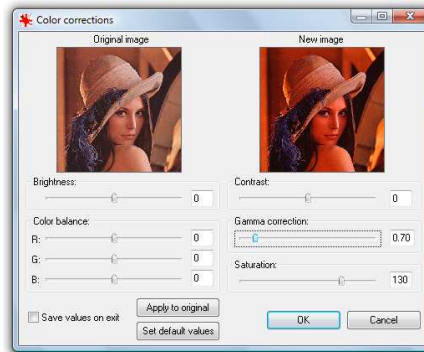
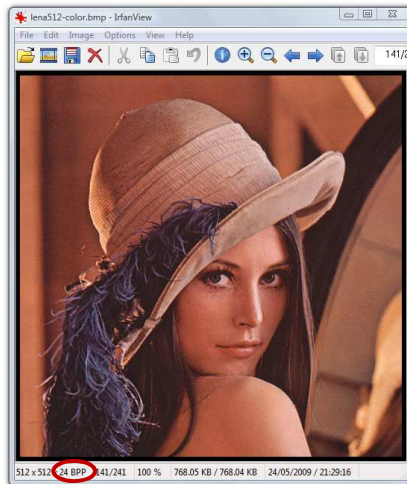
1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Espaço de Cores – RGB, YCM, HSV, ...

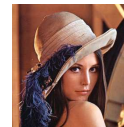


1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Espaço de Cores – RGB, YCM, HSV, ...

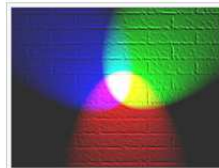
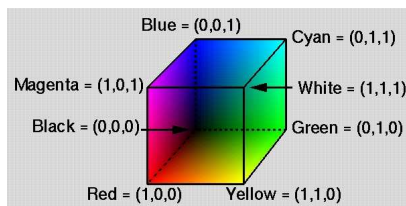


Brightness, Contrast
 Gamma Correction, Saturation
 Filters, Convolution,
 Equalization, ...

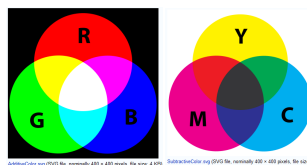
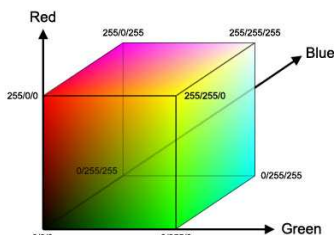


1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Espaço de Cores – RGB

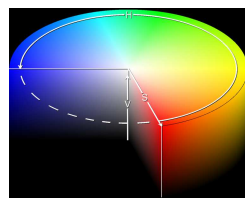
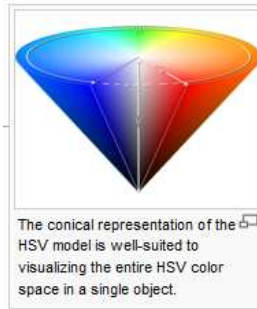
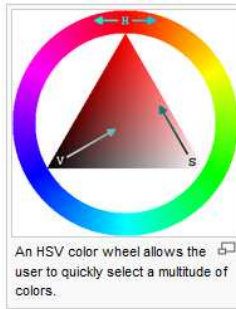
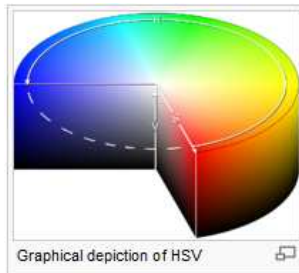


A representation of additive color mixing. Projection of primary color lights on a screen shows secondary colors where two overlap; the combination of all three of red, green, and blue in appropriate intensities makes white.



1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Espaço de Cores - HSV



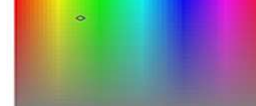
H = HUE = MATIZ
S = SATURATION
V = VALUE

RGB = Red, Green, Blue

H: 64 S: 169 L: 192

R: 197 G: 240 B: 168

#EE9F4 #C5F0A8



1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Espaço de Cores - HSV, HSL, Lab, ...



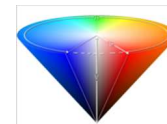
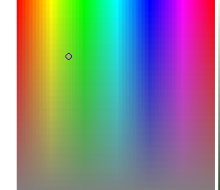
jQuery Color Picker - jqCP Demonstration 1

You can add more than one text boxes and use the same color picker. Click on the text box and the color picker will re-position into its hex code.

H: 64 S: 169 L: 192

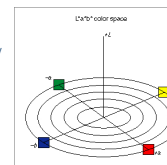
R: 197 G: 240 B: 168

#EE9F4 #C5F0A8



HSV

L a* b*

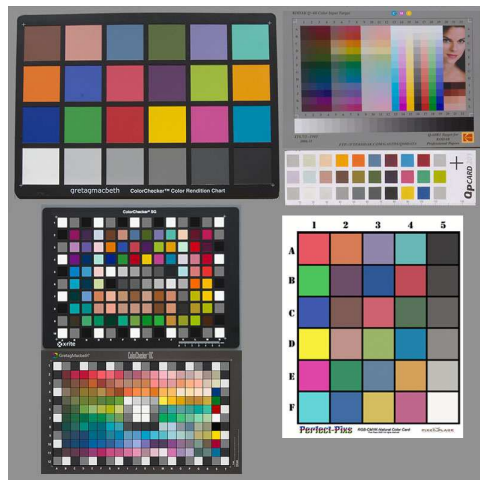


<http://jqframework.com/jqcp/>

1. Processamento de Imagens

Imagens Coloridas: Calibrando as Cores

What you see is not always
what you really want to see!



Gretag Macbeth Color Checker Chart

Your price: \$ 89.00

The GretagMacbeth Color Chart™ is a checkerboard array of 24 scientifically prepared colored squares in a wide range of colors. Many of these squares represent natural objects of special interest, such as human skin, foliage and blue sky. These squares are not only the same color as their counterparts, but also reflect light the same way in all parts of the visible spectrum. Because of this unique feature, the squares will match the colors of natural objects under any illumination and with any color reproduction process.



GRETAG MACBETH PATTERN => US\$ 90,- !!!



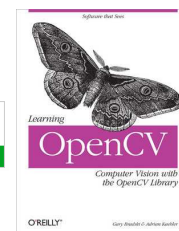
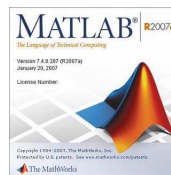
CALIBRAGEM DE CORES...

1. Processamento de Imagens

Ferramentas para o processamentos de Imagens:

Apenas alguns exemplos...

- * **IrfanView**: Simples, rápido, limitado [Windows, Free]
- * **Gimp**: Completo, Inúmeras Opções [Linux, Windows, Open Source]
- * **MatLab**: Ferramenta Profissional [Linux, Windows, Proprietary]
- * **OpenCV**: Ferramenta Profissional [Linux, Windows, Open Source]



2. Segmentação de Imagens por Cor

Identificando uma cor alvo em uma imagem...



13

Maio 2010

2. Segmentação de Imagens por Cor

Identificando uma cor alvo em uma imagem...

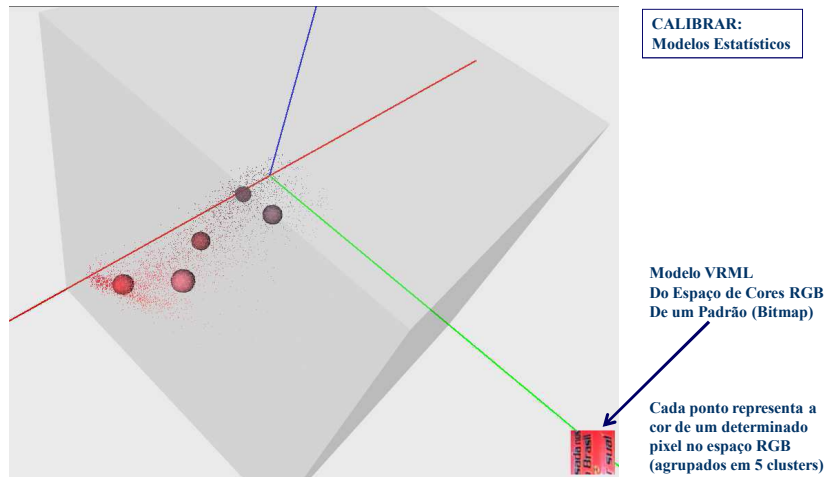


14

Maio 2010

2. Segmentação de Imagens por Cor

Identificando uma cor alvo em uma imagem...



15

Maio 2010

[Bender, Túlho 2003]

2. Segmentação de Imagens por Cor

Identificando uma cor alvo em uma imagem...



16

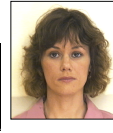
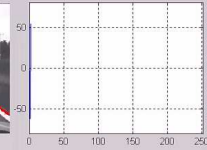
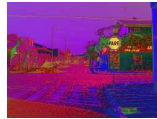
Maio 2010

2. Segmentação de Imagens por Cor

Identificando uma cor alvo em uma imagem...

Aplicações:

- Auto-Localização
- Visual Servoing
- Follow-me (Comboio)
- Lane Follow (Seguir marcação)
- Target Tracking
- Robot Soccer
- HCI (Interação Humano-Maq.)



3. Classificação de Imagens

Reconhecimento de Elementos na Imagem

- Reconhecimento de Padrões (Sinalização)
- Reconhecimento de Gestos (Interface)
- Reconhecimento e Tratamento de Imagens

Uso de Técnicas de Reconhecimento de Padrões

- Técnicas estatísticas
- Redes Neurais Artificiais

Segmentação de Imagens,
Classificação de Padrões

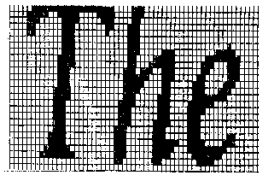
- Placas de Carro
- Objetos (cor: assinatura)
- Detecção de cor-de-pele
- Imagens de Satélite...

3. Classificação de Imagens - Redes Neurais Artificiais:

Reconhecimento de Padrões

*The Quick Brown Fox Jumps Over The Lazy Dog.
Its Crackers to Slip a Rozzer the Dropsy in Shine* ← Texto Original

The ← Texto Digitalizado



OCR
Optical
Character
Recognition

Aplicações de Redes Neurais Artificiais:

Reconhecimento de Padrões / Classificação / Aproximação Fçs



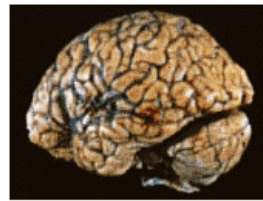
Original



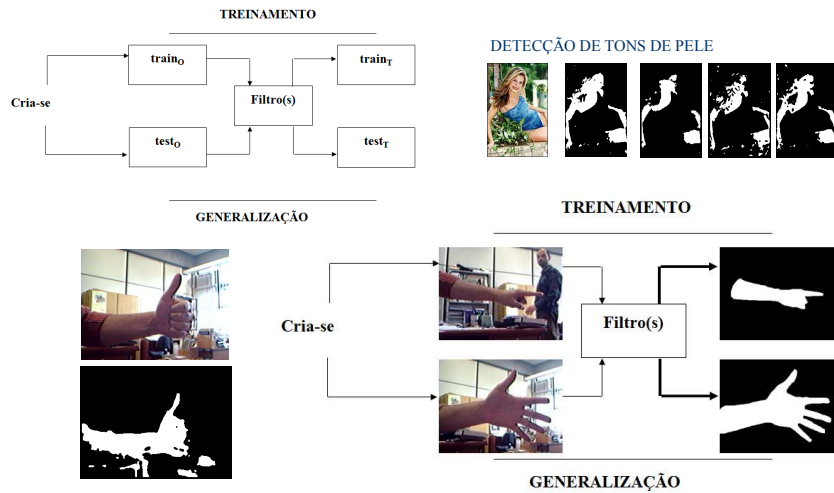
Filtro Convencional



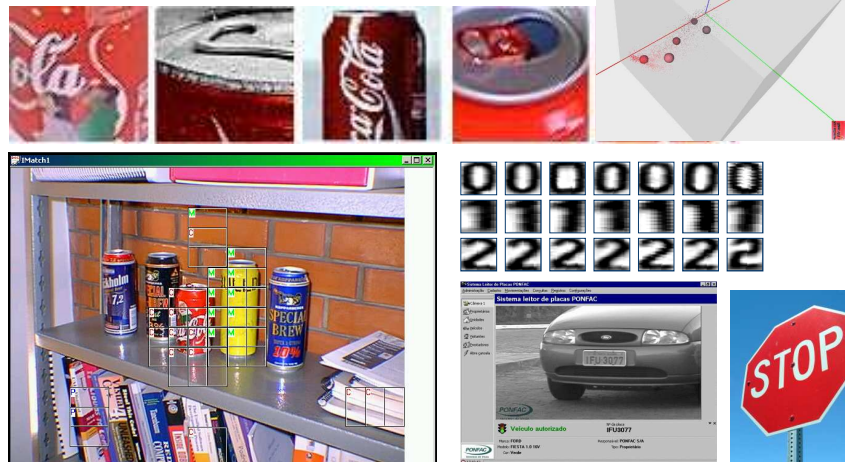
Filtro Neural



Aplicações de Redes Neurais Artificiais:
Reconhecimento de Padrões / Classificação / Aproximação Fçs



Aplicações de Redes Neurais Artificiais:
Reconhecimento de Padrões

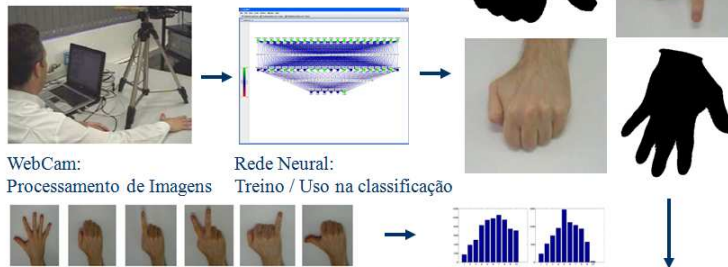


Bender/Osório 2003, Bittencourt/Osório 2002
 Ponfác Sistemas de Visão

Reconhecimento em Tempo Real: Imagens - Postura das Mãos

Objetivos - Visão Geral do Projeto

Visão Computacional



Simulação com Humanos Virtuais

Ações:
 Grupos de Humanos Virtuais

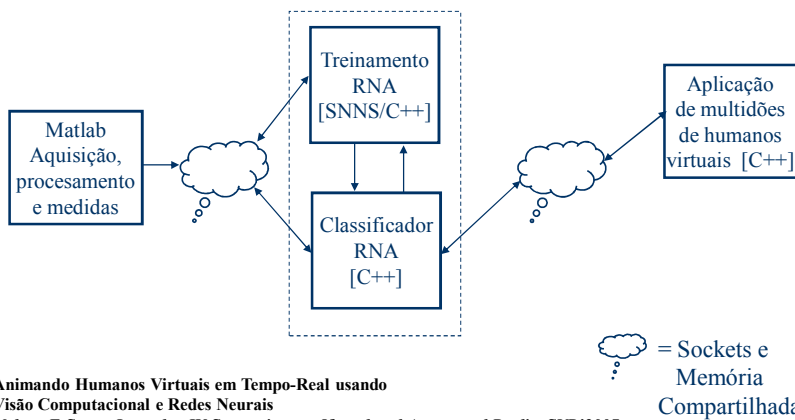


23

Abr. 2009

Reconhecimento em Tempo Real: Imagens - Postura das Mãos

Integração: Aquisição das Imagens, Classificação, Ações



Animando Humanos Virtuais em Tempo-Real usando
 Visão Computacional e Redes Neurais
 Nelson F. Souza Jr. et al. - IX Symposium on Virtual and Augmented Reality SVR'2007

24

Abr. 2009

Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural



Posturas escolhidas para utilização no experimento

- 5 dedos (mão aberta)
- 0 dedos (mão fechada)
- 1 dedo (indicador)
- 1 dedo (polegar)
- 2 dedos (v – vitória)
- 1 dedo (mínimo)

Aquisição das imagens:

- Aquisição das imagens a partir da Webcam
- Pré-processamento das imagens no MATLAB
- A limiarização e segmentação das imagens
- Extração das referências (métricas/atributos)

25

Abr. 2009

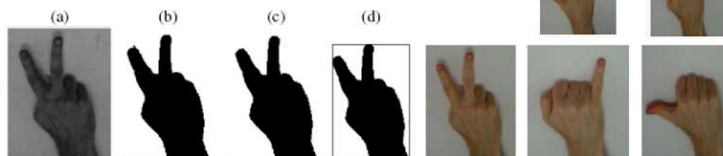
Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural



Exemplo de extração de atributos:

- Intensidade do canal azul.
- Resultado da binarização.
- Resultado do fechamento morfológico.
- Imagem binária final restrita ou *bounding box*.

Aquisição das imagens:

- Aquisição das imagens a partir da Webcam
- Pré-processamento das imagens no MATLAB
- A limiarização e segmentação das imagens
- Extração das referências (métricas/atributos)

26

Abr. 2009

Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural



Extração de Atributos (feições):

Procedimentos que, aplicados a uma imagem retornam um valor numérico capaz de diferenciar os tipos de imagens

- Histograma Vertical
- Histograma Horizontal
- Densidade de P/B
- Alternância de P/B
- Bounding Box

Aquisição das imagens:

- Aquisição das imagens a partir da Webcam
- Pré-processamento das imagens no MATLAB
- A limiarização e segmentação das imagens
- Extração das referências (métricas/atributos)

27

Abr. 2009

Reconhecimento em Tempo Real: Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural



Extração de Atributos (feições):

Procedimentos que, aplicados a uma imagem retornam um valor numérico capaz de diferenciar os tipos de imagens

- Histograma Vertical
- Histograma Horizontal
- Densidade de P/B
- Alternância de P/B
- Bounding Box

Aquisição das imagens:

- Aquisição das imagens a partir da Webcam
- Pré-processamento das imagens no MATLAB
- A limiarização e segmentação das imagens
- Extração das referências (métricas/atributos)

28

Abr. 2009

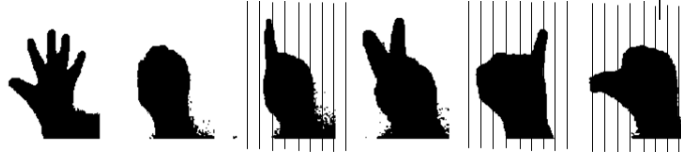
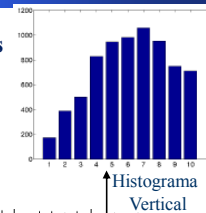
Reconhecimento em Tempo Real: Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural



Extração de Atributos (feições):

Procedimentos que, aplicados a uma imagem retornam um valor numérico capaz de diferenciar os tipos de imagens

- Histograma Vertical
- Histograma Horizontal
- Densidade de P/B
- Alternância de P/B
- Bounding Box

Aquisição das imagens:

- Aquisição das imagens a partir da Webcam
- Pré-processamento das imagens no MATLAB
- A limiarização e segmentação das imagens
- Extração das referências (métricas/atributos)

29

Abr. 2009

Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

1 Reconhecimento de Posturas

2 Extração de Atributos

3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)

4 Resultados: Rede Neural

Entradas adotadas: **Atributos das imagens**

- 10 projeções verticais
- 10 projeções horizontais
- Dimensões da largura e altura do bounding box

Base de treinamento e teste/validação do classificador:

- 22 entradas e 1 saída (a sua respectiva classe (1 dentre as 6 posturas))
- 600 exemplos (imagens) - 420 de treino (70%) e 180 de validação (30%)
- 70 exemplos de cada classe = $70 \times 6 = 420$ exemplos na base de treino

Rede Neural: 22-22-6 (22 Input, 22 Hidden, 6 Output)

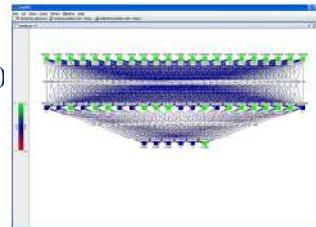
Aprendizado: RProp (Resilient Propagation ~ BackProp acelerado)

30

Abr. 2009

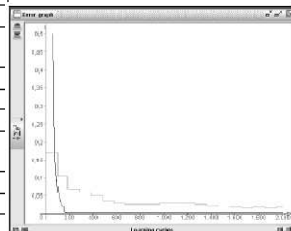
Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

- 1 Reconhecimento de Posturas
- 2 Extração de Atributos
- 3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)
- 4 Resultados: Rede Neural



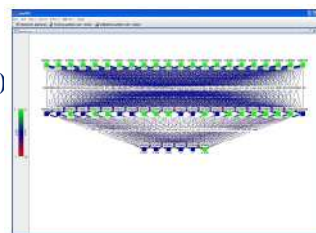
Taxa média de acertos - aprendizado : 99,95%
 Taxa média de erro - abaixo de 0,05%.
Taxa de acertos (treino/teste):
 muito próxima a 100%

Base dados de treino - 420 padrões			
Execução	Percentual de aprendizado	Padrão não reconhecido	Erro
1	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.837033
2	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.084951
3	99.76 % (419 pattern(s))	0.24 % (1 pattern(s))	1.231246
4	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.137363
5	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.185359
6	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.009551
7	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.017347
8	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.035172
9	100.00 % (420 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.507792
10	99.76 % (419 pattern(s))	0.24 % (1 pattern(s))	1.302725



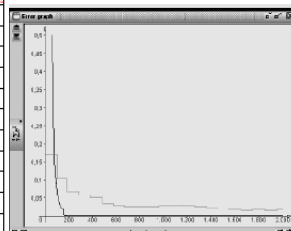
Reconhecimento em Tempo Real: Imagens – Postura das Mãos

- 1 Reconhecimento de Posturas
- 2 Extração de Atributos
- 3 Aprendizado e Classificação Neural (ANN)
- 4 Resultados: Rede Neural



Taxa média de acertos - aprendizado : 99,95%
 Taxa média de erro - abaixo de 0,05%.
Taxa de acertos (treino/teste):
 muito próxima a 100%

Base dados de teste/validação - 180 padrões			
Execução	Percentual de aprendizado	Padrão não reconhecido	Erro
1	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.008386
2	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.004745
3	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.004978
4	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.005603
5	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.005603
6	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.004536
7	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.004528
8	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.019297
9	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.005882
10	100.00 % (180 pattern(s))	0.00 % (0 pattern(s))	0.005242



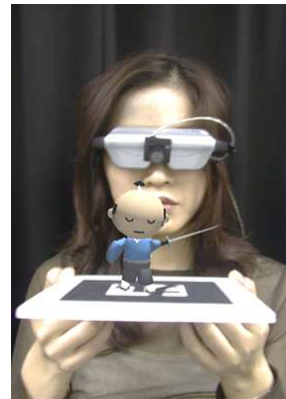
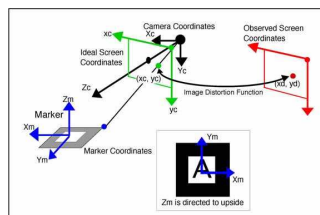
Visão Computacional e Robótica Móvel



Visão Computacional e Robótica Móvel

ARToolKit:

Reconhecimento de Padrões – Marcas Fiduciais

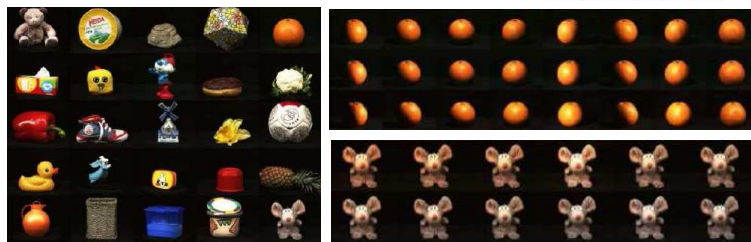


3. Classificação de Imagens

Reconhecimento de Imagem / CBIR

Bases de Dados <http://www.cs.cmu.edu/~cil/v-images.html>

> COIL - Columbia Object Image Library



> ALOI - Amsterdam Library of Object Images

35

Maio 2010

4. Registro de Imagens

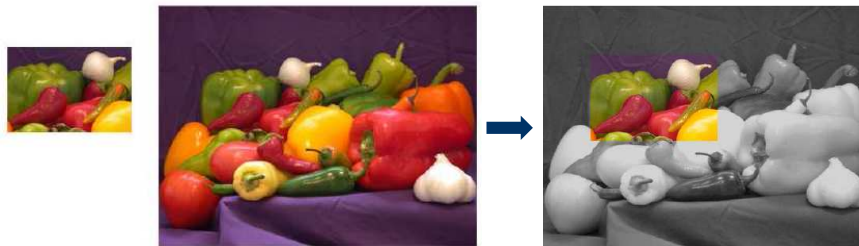
Comparação Pixel-a-Pixel

Correlação de Imagens

> NCC: Normalized Cross-Correlation => MATLAB

Extração de Atributos (Features)

> SIFT Features: Scale Invariant Feature Transform

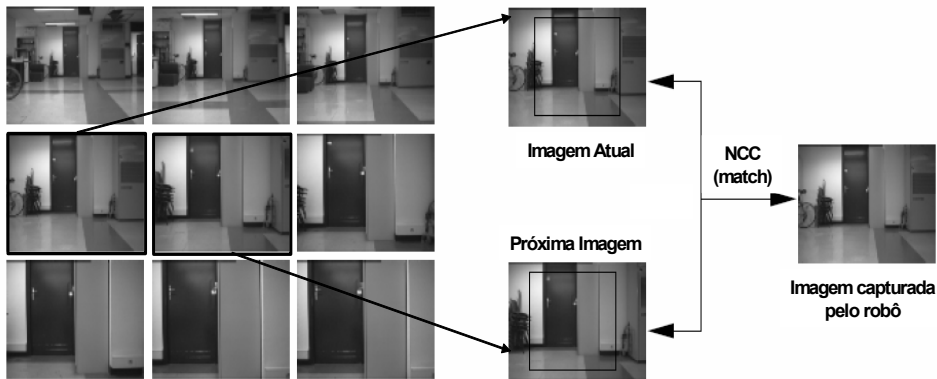


36

Maio 2010

Navegação Visual Autônoma (Visual Navigation)

Base de Imagens: Sequência de Deslocamentos



Navegação baseada em Imagens Monocromáticas [Jones et al. 1997]

Algoritmo: **NCC** – Normalized Cross-Correlation

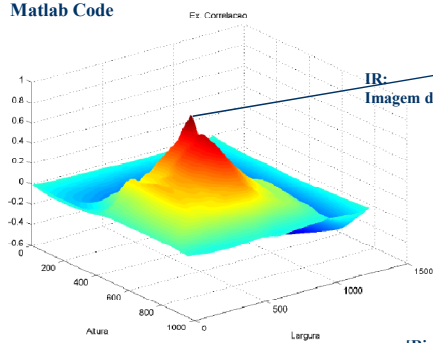
37

Maio 2010

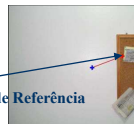
Navegação Visual: NCC – Normalized Cross-Correlation

```
>> img1 = imread('ir\b021r08.jpg');
>> img2 = imread('icr\b021cr08.jpg');
>> ncc = normxcorr2( img2(:,:,1), img1(:,:,1) );
>> figure,surf(ncc),shading interp,axis ij,view(3);
>> title('Ex. Correlacao'),ylabel('Altura'),xlabel('Largura');
```

Matlab Code



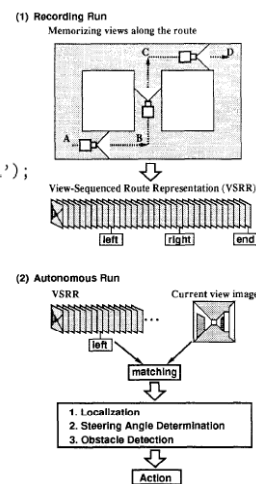
IR:
 Imagem de Referência



ICR:
 Imagem Captur:
 Pelo Robô

[Righes 2004, 2005]

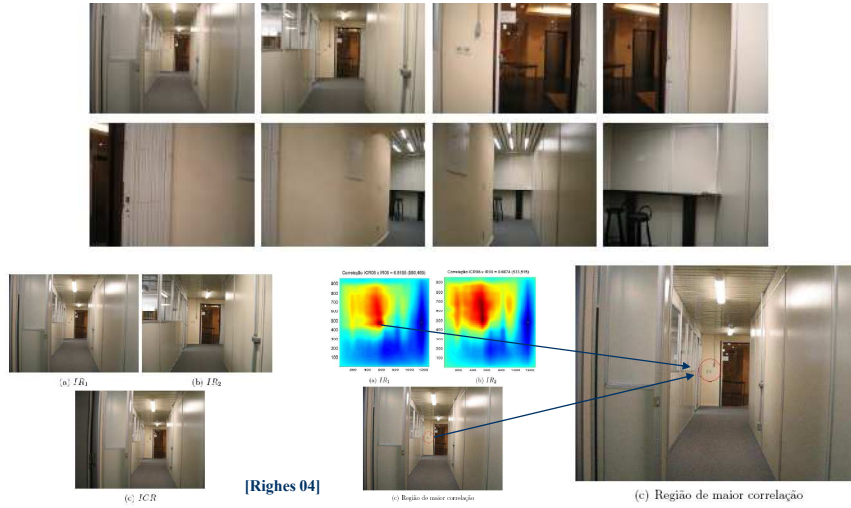
[Matsumoto et al. 1996]



38

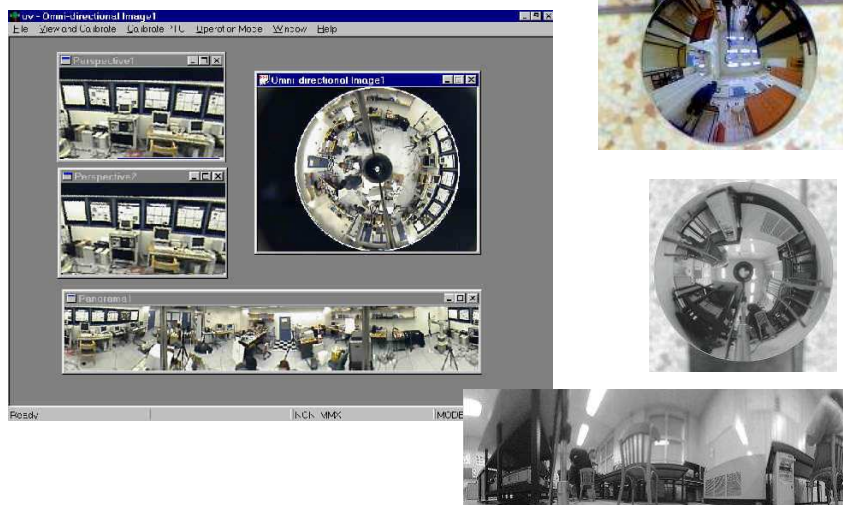
Maio 2010

Navegação Visual: NCC - Normalized Cross-Correlation

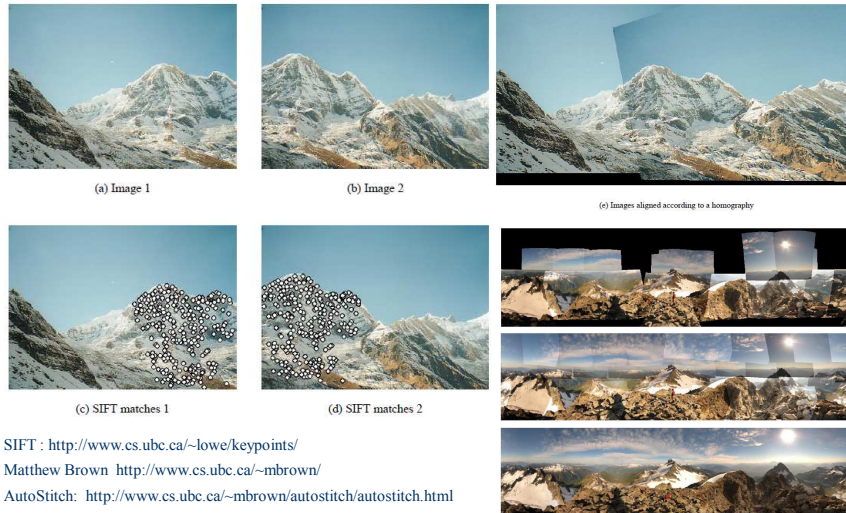


Navegação Visual: NCC - Normalized Cross-Correlation

Using Omnidirectional Cameras



Navegação Visual: SIFT – Scale Invariant Feature Transform



Navegação Visual: SIFT – Scale Invariant Feature Transform

Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant Visual Landmarks

Stephen Se,
 David Lowe,
 Jim Little
 (UBC, CA)

OpenCV

Algoritmo:
 SIFT

Reference
 Int. Journal of Robotics Research
 Vol. 21, No. 8, August 2002,
 pp. 735-758,

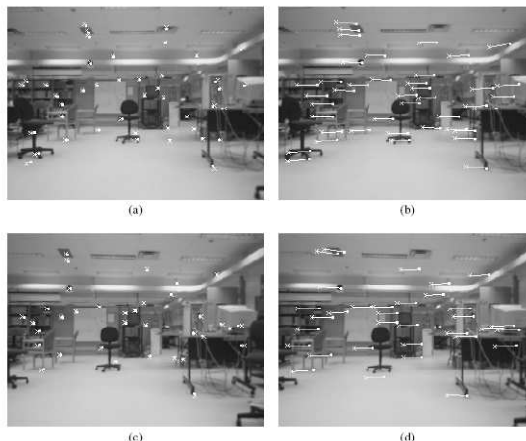
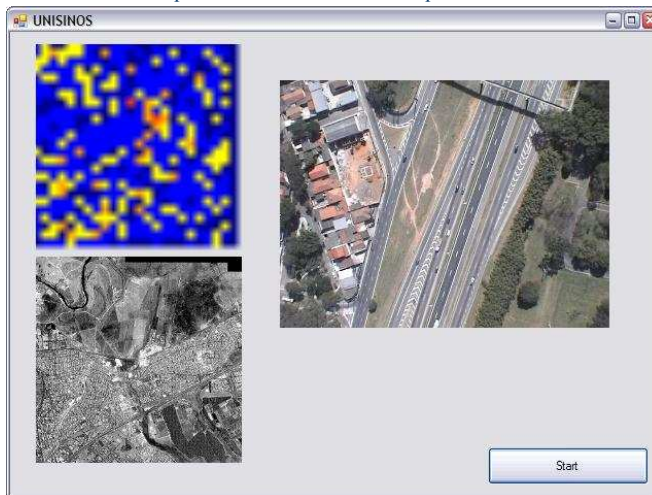


Fig. 3. The SIFT feature matches between consecutive frames: (a) between Figures 2(a) and (b) for a 10-cm forward movement; (b) between Figures 2(b) and (c) for a 5° clockwise rotation; (c) between Figures 2(c) and (d) for a 10-cm forward movement; (d) between Figures 2(d) and (e) for a 5° clockwise rotation.

Visão Computacional e Robótica Móvel

Navegação Visual: SIFT - Scale Invariant Feature Transform

Sistema de Visão para Veículos Aéreos Não Tripulados



Correlação entre
imagem de satélite
e imagem aérea
(helicóptero)

Resultados
não foram bons !

Mas...

43

Maio 2010

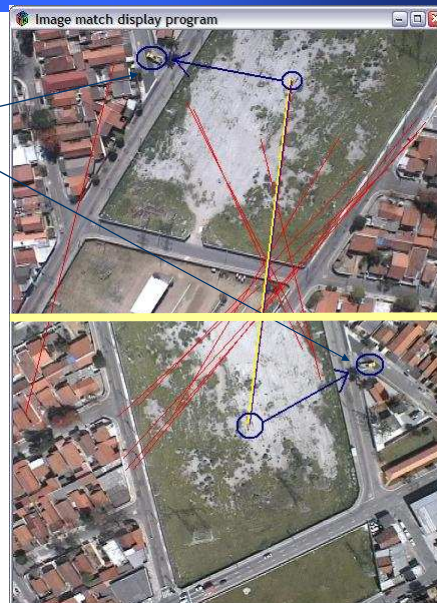
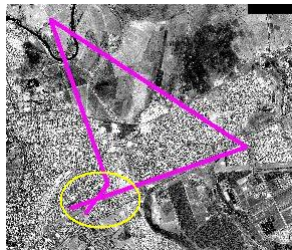
Visão Computacional e Robótica Móvel

Navegação Visual: SIFT

Referencial

Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)



44

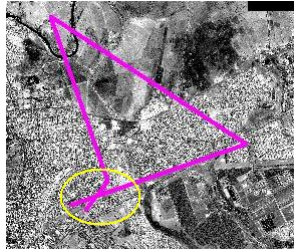
Maio 2010

Navegação Visual: SIFT

Referencial e Deslocamento

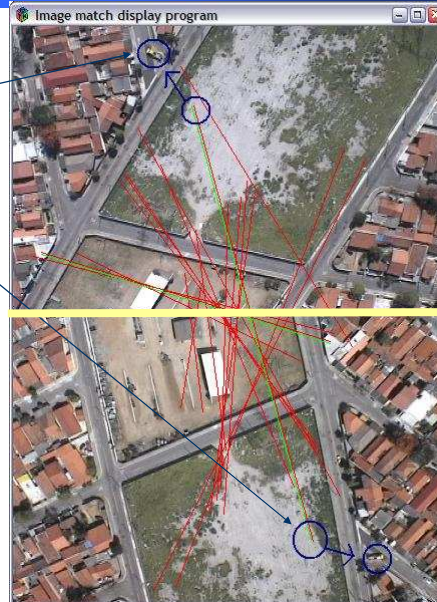
Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)



45

Maio 2010

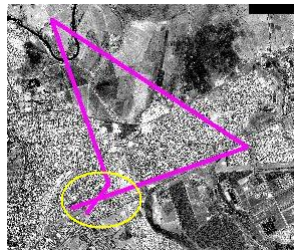


Navegação Visual: SIFT

Referencial e Deslocamento

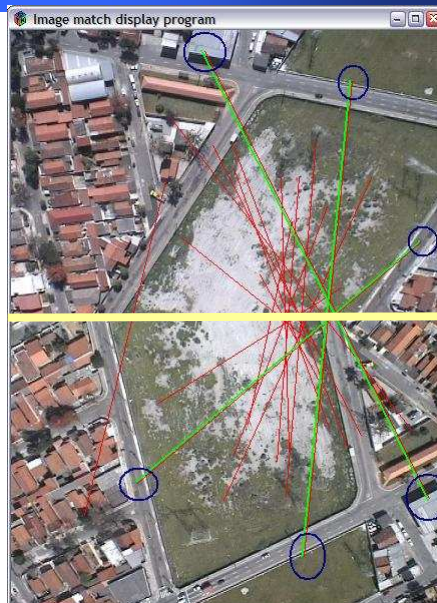
Sistema de Visão
para Veículos Aéreos
Não Tripulados

Correlação entre imagens
do helicóptero
(cruzamento da rota)



46

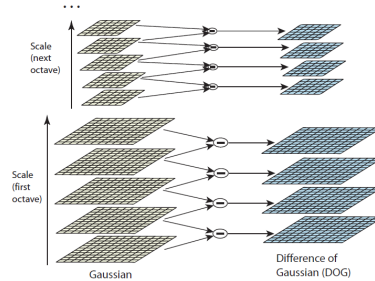
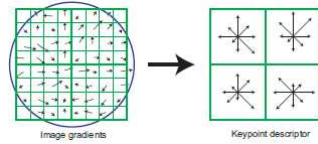
Maio 2010



SIFT: Qual é o truque?

Abordagem Multi-Escala

Descritor Local = Assinatura do pixel!



5. Processamento de Imagens: Aplicação em Robótica

- Segmentação por Cor
- Reconhecimento e Classificação de Padrões
- Registro de Imagens:
 - > Correlação
 - > Pontos de Interesse



Referências – Processamento de Imagens:

- >> Ferramentas
 - * OpenCV
 - * MATLAB
 - * ARToolKit

- >> Algoritmos
 - * Segmentação por Cor
 - * Reconhecimento de Padrões: RNA
 - * NCC
 - * SIFT

- >> Bases de Imagens
 - * COIL
 - * ALOI



INFORMAÇÕES SOBRE A DISCIPLINA

USP - Universidade de São Paulo - São Carlos, SP
ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
SSC - Departamento de Sistemas de Computação

Prof. Fernando Santos OSÓRIO

PAE Maurício Acconcia Dias

Web institucional: [Http://www.icmc.usp.br/ssc/](http://www.icmc.usp.br/ssc/)

Página pessoal: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

E-mail: [fosorio\[at\]{ icmc.usp.br, gmail.com }](mailto:fosorio@icmc.usp.br) # [maccdias\[at\]gmail.com](mailto:maccdias@gmail.com)

Disciplina de Robôs Móveis Autônomos

Web Disciplinas: [Http://www.icmc.usp.br/~fosorio/](http://www.icmc.usp.br/~fosorio/)

Wiki ICMC: <http://wiki.icmc.usp.br/index.php/SSC-714>

> Programa, Material de Aulas, Critérios de Avaliação,

> Material de Apoio, Trabalhos Práticos