

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Reconstrução de curvas por meio de características robustas extraídas de imagens

Relatório científico final de iniciação científica referente ao processo FAPESP nº 2020/07224-5 para o período entre 01/03/2021 e 30/09/2021.

Bolsista: André Luís Mendes Fakhoury

Orientador: João do Espírito Santo Batista Neto

Brasil

2021

Sumário

1	Introdução	3
1.1	O projeto e plano de trabalho	3
2	Atividades realizadas	4
2.1	Extração dos pontos importantes	4
2.2	Combinação dos algoritmos	6
2.3	Avaliação e testes	6
2.3.1	Imagens de folhas do repositório ImageCLEF (2011)	6
2.3.2	Curvas abertas e em \mathbb{R}^3	6
2.3.3	Malhas poligonais	7
3	Considerações finais	7
	Referências	8

1 Introdução

Este documento tem como objetivo apresentar as atividades realizadas pelo bolsista André Luís Mendes Fakhoury no período de março de 2021 a setembro de 2021, referente ao projeto de Iniciação Científica com processo FAPESP de nº 2020/07224-5. O trabalho, intitulado “Reconstrução de curvas por meio de características robustas extraídas de imagens”, é parte de umas das linhas de pesquisa do projeto temático FAPESP de nº 2019/07316-0, que visa a reconstrução de faces humanas a partir de informações reduzidas do domínio.

1.1 O projeto e plano de trabalho

O projeto de Iniciação Científica em questão está situado sob o contexto do mapeamento de características robustas entre espaços bidimensionais e tridimensionais. Este processo pode ser simplificado com a redução de informações a serem analisadas, como a representação de curvas a partir de um conjunto reduzido de pontos.

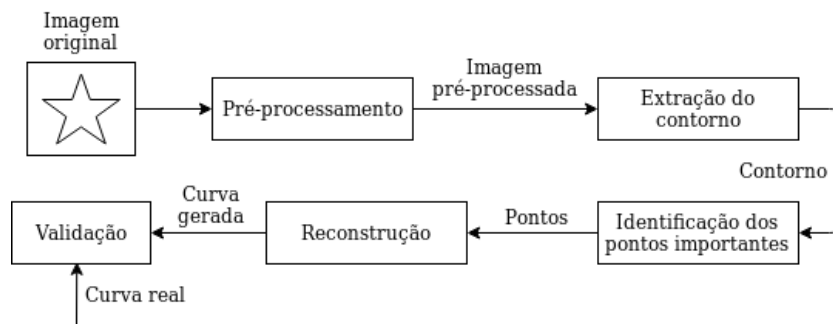
Para isso, serão analisadas principalmente curvas discretas extraídas de imagens. A partir destas curvas, pode-se analisar suas respectivas características robustas (também denominadas pontos importantes), que serão posteriormente responsáveis por reconstruir a curva original. Com isso, os seguintes objetivos específicos foram definidos para o projeto:

- Pré-processar as imagens com eliminação de ruídos, binarização e consequente segmentação;
- Extrair atributos de formas das imagens (contorno e cálculo da curvatura);
- Extrair características robustas em \mathbb{R}^2 para reconstrução de curvas com alta precisão a partir de imagens;
- Reconstruir as formas a partir das características robustas, por meio de curvas poligonais e operadores Laplacianos como sugerido por Sorkine (2006);
- Aferir a qualidade da reconstrução a partir da curva original.

Para atingí-los, as seguintes atividades foram desenvolvidas: estudo das técnicas de reconstrução de curvas; pré-processamento de imagens; extração dos pontos importantes; implementação da reconstrução de curvas; avaliação e testes; combinação dos algoritmos.

O diagrama visto na figura 1 descreve as principais etapas de desenvolvimento do projeto, e estas atividades foram dispostas no seguinte cronograma da tabela 1 (atualizado conforme descrito no último relatório).

Figura 1 – Diagrama de bloco das etapas de desenvolvimento



Fonte: Elaborada pelo autor.

Atividades	Meses de trabalho					
	1º e 2º	3º e 4º	5º e 6º	7º e 8º	9º e 10º	11º e 12º
Estudo das técnicas de reconstrução de curvas	•	•				
Pré-processamento		•	•			
Implementação da reconstrução de curvas		•	•			
Redação do relatório parcial			•			
Extração dos pontos importantes			•	•		
Combinação dos algoritmos				•		
Avaliação e testes					•	•
Desenvolvimento do relatório final						•

Tabela 1 – Cronograma de atividades para os 12 meses de trabalho.

As seguintes seções deste relatório descrevem com mais detalhes as atividades realizadas no projeto e outras considerações finais do aluno bolsista.

2 Atividades realizadas

O objetivo desta seção é relatar as atividades desenvolvidas pelo aluno bolsista no período a que se refere este relatório. A seção 2.1 descreve o processo de extração dos pontos importantes da curva discreta obtida da imagem. A seção 2.2 contém o que foi desenvolvido na etapa de combinação dos algoritmos, com a respectiva fonte para os códigos desenvolvidos. Por último, a etapa 2.3 ilustra os resultados obtidos, nos diferentes tipos de imagens e malhas utilizados para testes.

2.1 Extração dos pontos importantes

Nesta etapa, recebe-se um conjunto finito de n pontos, que representa uma curva discreta, e objetiva-se retornar os índices dos pontos âncora que serão utilizados pelo algoritmo de reconstrução. A quantidade de pontos a serem escolhidos também é enviada

por parâmetro.

Alguns métodos foram considerados para a seleção dos pontos importantes. Foram eles:

- **Pontos linearmente espaçados:** os pontos são escolhidos de modo que os índices sejam igualmente espaçados entre si.
- **Escolha aleatória de pontos:** os pontos são escolhidos de modo aleatório, apenas tomando cuidado para que não sejam muito próximos um do outro.
- **Escolha de pontos pela curvatura:** inicialmente é calculada a curvatura discreta da curva em cada ponto, e aqueles com maior valor absoluto são escolhidos.

Destes, serão analisados resultados encontrados utilizando pontos linearmente espaçados e pela curvatura. A escolha de pontos igualmente espaçados pode ser realizada facilmente utilizando a função `linspace` em linguagens como Python e MATLAB. Já para a escolha de pontos pela curvatura é previamente necessária a análise da curva discreta. Para isso, será revisada a teoria da análise de curvatura discreta.

A curvatura de uma curva regular parametrizada por uma aplicação $t \rightarrow (x(t), y(t))$, onde $x(t)$ e $y(t)$ são funções de classe C^2 , é dada por (OLIVEIRA; MARROQUIM, 2016):

$$\kappa(t) = \frac{x'(t)y''(t) - y'(t)x''(t)}{(x'(t)^2 + y'(t)^2)^{3/2}}. \quad (2.1)$$

No projeto, as curvas não são contínuas, mas sim representadas por um conjunto discreto de pontos (x, y) - que representam a posição de cada pixel. Por isso, as derivadas mostradas na equação acima devem ser calculadas de maneira discreta. Uma das maneiras de se calcular isto é partir de métodos espectrais de Fourier (BRETHERTON, 2019).

Seja u_j uma aproximação discreta da função $u(x)$, com n pontos de amostra $x_j \in h, 2h, \dots, ih, \dots, 2\pi - h, 2\pi$, onde $h = 2\pi/n$. Para o caso discreto, pode-se aplicar a versão computacionalmente otimizada da transformada de Fourier (FFT) em u_j , tal que $FFT(u_j) \equiv \hat{u}_k$, em que $k \in \frac{-n}{2} + 1, \dots, \frac{n}{2}$. Sabe-se que:

$$FFT\left(\frac{\partial u_j}{\partial x}\right) \equiv ik\hat{u}_k$$

Assim, para obter o valor da derivada, basta calcular a transformada rápida inversa IFFT. O código calcula a derivada de uma função discreta y no domínio x e emprega um filtro Gaussiano com fator de suavização σ . A aplicação de um filtro Gaussiano no cálculo da derivada tem por objetivo evitar a amplificação do efeito de serrilhamento (*aliasing*), quando houver, causado pela transformada de Fourier (LI, 1987). O filtro Gaussiano

cumprir este objetivo ao eliminar altas frequências presentes no sinal com a propriedade de preservar a localização de pontos importantes da mudança da curvatura (TOMASI, 2007).

Com a curvatura de cada ponto calculada, é necessário escolher os pontos que serão utilizados como âncoras para representar a curva.

Colocar um pseudocódigo ou algo assim para como pegar os pontos

2.2 Combinação dos algoritmos

Nesta etapa, foi desenvolvido um notebook em Python que organiza todas as etapas. Está disponibilizado no GitHub (colocar link aqui).

Colocar o link do github e dar uma explicada geral no código e tais

2.3 Avaliação e testes

Na etapa final do projeto foram realizados testes com diversas imagens, curvas e malhas. Primeiramente serão descritas as análises utilizando as imagens de folhas do repositório ImageCLEF (2011) - inicialmente descrito no projeto como o banco de dados a ser testado - e, posteriormente, testes em curvas abertas e fechadas em \mathbb{R}^2 e \mathbb{R}^3 . Também foram desenvolvidos testes em malhas poligonais, que serão descritos no último tópico desta seção.

O erro será calculado calculando a distância entre cada ponto da curva original e da curva reconstruída. Para isso, será utilizada a distância euclidiana: para cada índice de vértice i , o erro dos pontos obtidos \mathbf{v}' em relação aos pontos originais \mathbf{v} é:

$$E_i(\mathbf{v}, \mathbf{v}') = \sqrt{(\mathbf{v}_i^{(x)} - \mathbf{v}'^{(x)})^2 + (\mathbf{v}_i^{(y)} - \mathbf{v}'^{(y)})^2}$$

e o erro total da reconstrução é calculado como a soma do erro para cada ponto:

$$E(\mathbf{v}, \mathbf{v}') = \sum_{i=1}^{|V|} E_i(\mathbf{v}, \mathbf{v}')$$

2.3.1 Imagens de folhas do repositório ImageCLEF (2011)

Colocar as imagens utilizadas e resultados obtidos

2.3.2 Curvas abertas e em \mathbb{R}^3

Colocar as imagens utilizadas e resultados obtidos

2.3.3 Malhas poligonais

Colocar as imagens utilizadas e resultados obtidos

3 Considerações finais

Nesta seção serão descritas algumas atividades adicionais realizadas pelo bolsista ao decorrer do projeto.

Durante todo o período referente ao projeto foram realizadas reuniões semanais com o grupo de professores e alunos do projeto temático em que esta iniciação científica está inserida. Nestas, foram preparados e apresentados alguns seminários, que serviram para que todos pudessem acompanhar o andamento do projeto de todos, dar *feedbacks* e planejar os próximos passos a serem executados.

Outro tópico relacionado com o projeto (e que também foi apontado no relatório parcial) foi que, durante o segundo semestre de 2020, o professor Dr. Antônio Castelo Filho, pesquisador principal do projeto temático, lecionou a disciplina “Modelagem Geométrica” para alunos de graduação e com espelho em “Tópicos em Análise Numérica II (Variedades Computacionais)” para a pós-graduação. Nela, foram abordados diversos tópicos referentes a variedades computacionais. No caso particular deste projeto, a atividade diretamente relacionada referiu-se à representação de curvas em coordenadas diferenciais pelo método descrito em Sorkine (2006). Nesta disciplina, cada estudante participou ativamente no desenvolvimento de um capítulo de um livro, que ainda será publicado.

Além disso, também foram realizados dois *workshops* relacionados ao projeto temático, em que o bolsista participou como ouvinte. O último tópico a ser mencionado é a participação deste projeto no Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP (SIICUSP) de 2021, que será realizado em outubro de 2021.

Este relatório teve como objetivo listar as atividades realizadas no período de março a setembro de 2021 e exibir um panorama geral de desenvolvimento do projeto. Apesar de algumas dificuldades encontradas na pandemia de COVID-19 e de alterações sobre o cronograma original, pode-se finalizar o projeto no tempo previsto e foi possível promover conhecimento entre os membros do grupo de pesquisa do projeto temático em que este está inserido.

Referências

BRETHERTON, C. *The Fourier spectral method*. 2019. Disponível em: <https://atmos.washington.edu/~breth/classes/AM585/lect/DFT_FS_585_notes.pdf>. Acesso em: 1 mar 2021.

IMAGECLEF. 2011. Disponível em: <<https://www.imageclef.org/2011/Plants>>. Acesso em: 01 may 2020.

LI, J. *Shape Recognition by Curvature Changing Points and Fourier Transform*. Dissertação (Mestrado) — Western Michigan University, 1987.

OLIVEIRA, A.; MARROQUIM, R. *Processamento de Imagens*: aula 09 - curvatura. 2016. Disponível em: <<https://www.lcg.ufrj.br/marroquim/courses/cos756/lessons/09-curvature.pdf>>. Acesso em: 7 mar 2020.

SORKINE, O. Differential representations for mesh processing. *Computer Graphics Forum*, European Association for Computer Graphics, v. 25, n. 4, p. 789–807, 2006.

TOMASI, C. *Convolution, Smoothing, and Image Derivatives*. 2007. Disponível em: <<https://www2.cs.duke.edu/courses/fall07/cps296.1/convolution.pdf>>. Acesso em: 1 mar 2021.