Análise de Métodos para Processamento de Imagens

Pedro Pillon Vanzella

18 de junho de 2015

1 Introdução

Dentre as muitas aplicações dos métodos numéricos, uma das mais populares é o processamento de imagens [1]. Estes métodos são empregados em um número de meios, como fotografia digital, tratamento de imagens, produção de vídeo e jogos.

Os problemas de redimensionamento e rotação de imagens são alguns dos mais simples e ao mesmo tempo mais comuns. Analisemos o problema de um jogo: imagens são utilizadas como texturas em praticamente todos os polígonos e um jogo. É possível que elas devam ser redimensionadas ou rotacionadas a cada quadro, e potencialmente milhares delas serão exibidas ao mesmo tempo. É interessante, então, que se faça uso de algoritmos de custo computacional mais baixo possível, de modo a tornar a experiência do jogo mais fluida e agradável.

Para este fim, utilizaremos o ambiente GNU Octave, que é um software livre para a computação numérica e científica [2].

Para os métodos de redimensionamento analisaremos as interpolações *Nearest Neighbor* (Seção 2.1), Bicúbica (Seção 2.3) e Bilinear (Seção 2.2). Para os métodos de rotação, analisaremos os métodos de Rotação por *Nearest Neighbor* (Seção 3.1), por Interpolação Bilinear (Seção 3.2) e por Interpolação Bicúbica (Seção 3.3).

Utilizaremos sempre a mesma imagem como base, de modo a podermos comparar os resultados. Podemos vê-la na Figura 1.

Será feita uma comparação do tempo de execução de cada algoritmo, bem como da qualidade da imagem gerada, de modo a tomar uma decisão quanto à melhor técnica para o caso hipotético de texturas em um jogo 3D.

Figura 1: Uma simpática vaquinha

2 Redimensionamento de Imagens

Redimensionamento de imagens é um processo não trivial, que envolve um balanço entre eficiência e qualidade de resultado [5].

Dentre os vários algoritmos existentes para esta tarefa, vamos abordar os três mais comuns [3]: Interpolação por *Nearest Neighbor*, Interpolação Bilinear e Interpolação Bicúbica.

É importante analisarmos exatamente este balanço de qualidade e performance. Uma solução que gere resultados perfeitos, mas demore muito não seria útil, pois deve ser executada milhares de vezes a cada quadro, e isto reduziria a performance do jogo. De mesmo modo, uma solução mais rápida não é útil caso gere resultados muito ruins, ou introduza artefatos que causem discontinuidades nas texturas, pois isso quebraria a ilusão de 3D no jogo.

Desta forma, a escolha de melhor método é, possivelmente, uma combinação de avaliações objetivas e subjetivas. Descarta-se as soluções que geram resultados pouco visualmente agradáveis[1], e elege-se como melhor o que, dentre os que sobraram, traz resultados mais rápidos[2].

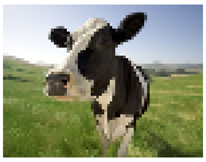
2.1 Interpolação por *Nearest Neighbor*

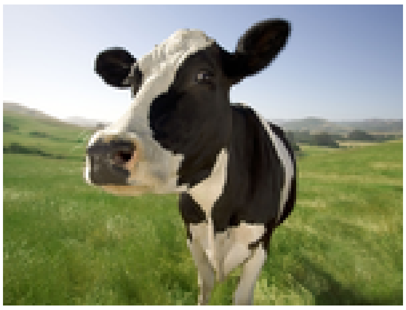
Interpolação por *Nearest Neighbor* é o método mais simples de se implementar, bem como o mais rápido [3].

A idéia do algoritmo de *Nearest Neighbor* é simples - simplesmente copiar os pixels mais próximos para o lugar dos que estão sendo adicionados ao se ampliar a imagem. Isto gera resultados rápidos, porém de baixa qualidade, como podemos ver na Figura 2.c. Há um claro serrilhado que é introduzido ao se ampliar a imagem.

Reduzir uma imagem com este algoritmo também gera resultados pouco satisfatórios: novamente serrilhado é introduzido e detalhes são perdidos. Podemos ver isto na Figura 2.a.

[1] uma avaliação completamente subjetiva
[2] uma avaliação objetiva


(a) 50%


(b) Original


(c) 150%

Figura 2: Redução e Ampliação com algoritmo de *Nearest Neighbor*

A Tabela 1 mostra o tempo de execução para redução e ampliação em 50% da imagem da Figura 2.b. Estes dados não nos dizem muito por enquanto, mas serão úteis quando compararmos aos resultados das Seções 2.2 e 2.3. Podemos apenas ver que reduzir uma imagem demora menos que ampliar a mesma. Isto se dá pelo fato de haver menos pixels a serem calculados na imagem reduzida, e é esperado.

Tabela 1: Tempo de execução

Redução	Ampliação
0.17s	0.21s

O código em Octave que faz esta interpolação pode ser visto na Figura 3.

```
1 pkg load image;
2
3 I = imread("cow_very_small.png");
4
5 nI = imresize(I, 0.5, "nearest");
6 imwrite(nI, "cow_nearest_smallest.png");
```

Figura 3: Código-Fonte para interpolação *Nearest Neighbor* no Octave

O importante na listagem da Figura 3 é a linha 5, onde uma chamada para imresize() é feita. Esta função encapsula a chamada para a função interp2(), apenas adicionando algumas garantias de que o primeiro parâmetro é uma imagem válida e verificando se há múltiplos canais[3] e, se houver, executando a interpolação para cada um dos canais individualmente.

A função interp2(), por sua vez, recebe um parâmetro (passado pela imresize()) que diz qual tipo de interpolação deve ser feita. Neste caso, escolheu-se *nearest*.

O segundo parâmetro da função imresize() é o fator de escala. Um fator menor que 1 resultará em uma imagem reduzida. De mesmo modo, um valor superior a 1 resultará em uma ampliação da imagem original.

[3] *i.e.* a imagem está em RGB

2.2 Interpolação Bilinear

A idéia da Interpolação Bilinear é executar uma interpolação linear em uma direção e, em seguida, uma interpolação linear na outra direção.

Conforme [3], podemos calcular a interpolação da seguinte maneira:

Considere quatro pontos, A, B, C e D. Suas coordenadas são, respectivamente, (i, j), $(i, j+1)$, $(i+1, j)$, $(i+1, j+1)$. Para calcular o ponto $P(u, v)$, primeiro vamos calcular um ponto E, que é a interpolação linear de A e B.

$$f(i, j+v) = [f(i, j+1) - f(i, j)]v + f(i, j)$$

Agora vamos calcular um ponto F, que é a interpolação linear de C e D.

$$f(i+1, j+v) = [f(i+1, j+1) - f(i+1, j)]v + f(i+1, j)$$

Finalmente, basta calcular a interpolação linear de E e F para obter P.

$$f(i+u, j+v) = (1-u)(1-v)f(i, j) - (1-u)vf(i, j+1) + u(1-v)f(i+1, j) + uvf(i+1, j+1)$$

Isto deve ser feito, no caso de uma imagem colorida, para cada canal da imagem.

Podemos ver na Figura 4 os resultados de uma redução em 50% (Figura 4.a) e uma ampliação em 50% (Figura 4.c).

A imagem ampliada apresenta um serrilhado em todas as bordas, e a definição da grama é claramente perdida.

O maior problema se encontra na imagem reduzida: uma borda preta foi gerada na imagem, devido ao processo de interpolação. Isto torna este método inútil para a redução de texturas em um jogo.

(a) 50%

(b) Original

(c) 150%

Figura 4: Redução e Ampliação com algoritmo de Interpolação Bilinear

Na Tabela 2 vemos o tempo de execução para a redução e a ampliação utilizando interpolação bilinear. Novamente, a redução é mais rápida que a ampliação, por haver menos pixels a serem calculados.

O tempo de execução da redução consta na Tabela 2 somente para referência, já que o resultado da mesma não é útil para o problema proposto.

Tabela 2: Tempo de execução

Redução	Ampliação
0.15s	0.23s

Vemos na listagem da Figura 5 o código para fazer uma interpolação bilinear em uma imagem com o Octave.

```
pkg load image;

I = imread("cow_very_small.png");

nI = imresize(I, 0.5, "linear");
imwrite(nI, "cow_bilinear_smallest.png");
```

Figura 5: Código-Fonte para interpolação bilinear no Octave

O código é praticamente igual ao da Figura 3, mudando apenas a o parâmetro do método de interpolação.

A função imresize() novamente chamará a função interp2(), passando desta vez o parâmetro *linear*.

2.3 Interpolação Bicúbica

A interpolação bicúbica é, das três testadas neste artigo, a mais complexa – tanto em implementação quanto computacionalmente. [3]

De acordo com [4], podemos calcular a interpolação bicúbica com uma convolução. Entretanto, o Octave implementa uma Interpolação de Lagrange de grau 3 [2] para este fim.

O Polinômio de Lagrange pode ser calculado da seguinte maneira [2]:

$$P(x) = \sum_{j=1}^{n} P_j(x)$$

Onde

$$P_j(x) = y_j \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{n} \frac{x - x_k}{x_j - x_k}$$

Podemos ver na Figura 6 os resultados da interpolação bicúbica.

A Figura 6.a é uma redução em 50%. Notamos nela uma borda preta introduzida pela interpolação. Este resultado não nos serve, pois geraria discontinuidades nas texturas[4].

A Figura 6.c é uma ampliação em 50%. O resultado é bastante satisfatório, com pouco serrilhado. O nível de detalhe da grama e das montanhas ao fundo também é bom.

[4]Texturas são muito frequentemente replicadas lado-a-lado em superfícies de jogos, e qualquer discontinuidade estraga a ilusão da superfície

(a) 50%

(b) Original

(c) 150%

Figura 6: Redução e Ampliação com algoritmo de Interpolação Bicúbica

Na Tabela 3 vemos os tempos de execução deste algoritmo. Novamente o resultado da redução consta somente como referência, pois a imagem gerada não atende os requisitos do problema.

Tabela 3: Tempo de execução

Redução	Ampliação
0.19s	0.29s

A Figura 7 mostra o código em Octave para realizar a interpolação bicúbica em uma imagem.

```
pkg load image;

I = imread("cow_very_small.png");

nI = imresize(I, 0.5, "cubic");
imwrite(nI, "cow_cubic_smallest.png");
```

Figura 7: Código-Fonte para interpolação bicúbica no Octave

Este código é, novamente, muito similar ao da Figura 5 e da Figura 3. A única diferença é na chamada para imresize(), onde se passa o parâmetro *cubic*, que indica que é necessário chamar interp2() com o mesmo parâmetro.

2.4 Comparação de Resultados

Podemos ver na Tabela 4 uma comparação do tempo de execução dos três algoritmos.

Dada a avaliação subjetiva do resultado da imagem, já descartamos as reduções por Interpolação Bilinear (Seção 2.2) e por Interpolação Bicúbica (Seção 2.3), que podem ser vistas nas Figuras 4.a e 6.a, respectivamente.

Isto nos deixa a clara escolha do método de *Nearest Neighbor* para a redução de imagens, no nosso hipotético jogo.

	Nearest Neighbor	Bilinear	Bicúbica
Redução	0.17s	0.15s	0.19s
Ampliação	0.21s	0.23s	0.29s

Tabela 4: Resultados consolidados

A Tabela 4 nos mostra que este método não é necessariamente o mais rápido, mas esta diferença é negligenciável e pode muito bem se dar por alguma peculiaridade do momento de execução dos testes.

Para a ampliação, no entanto, a escolha não é tão trivial. Claramente o resultado da Interpolação Bilinear (Figura 4.c) é melhor que o obtido pelo método de *Nearest Neighbor* (Figura 2.c). Como a diferença de tempo de execução entre ambos é negligenciável, se a escolha devesse ser feita somente entre eles, a vitória seria da Interpolação Bilinear.

Entretanto, comparando o resultado da Interpolação Bilinear com a Interpolação Bicúbica (Figuras 4.c e 6, respectivamente), notamos que o resultado da segunda é claramente melhor que o da primeira – arestas são melhor definidas, principalmente. O problema se encontra no tempo de execução: o algoritmo de Interpolação Bicúbica é consideravelmente mais lento que o de Interpolação Linear.

Não há, então, uma escolha que atenda todos os casos. Num jogo onde menos texturas são utilizadas, ou há um *cache* das mesmas, resultando em poucos redimensionamentos, o custo maior do algoritmo de Interpolação Bicúbica pode compensar a qualidade inferior da Interpolação Bilinear. Caso muitas texturas diferentes sejam utilizadas, é possível que utilizar a Interpolação Bicúbica crie um gargalo na aplicação, causando lentidões e prejudicando a performance do jogo.

3 Rotação

Novamente temos um problema não trivial, com um balanço entre qualidade e eficiência [5].

3.1 Rotação por *Nearest Neighbor*

Podemos ver o resultado na Figura 11.b.

```
pkg load image;

I = imread("cow_very_small.png");

nI = imrotate(I, 45, "nearest");
imwrite(nI, "cow_nearest_rotated.png");
```

Figura 8: Código-Fonte para rotação por *Nearest Neighbor* no Octave

3.2 Rotação por Interpolação Bilinear

```
pkg load image;

I = imread("cow_very_small.png");

nI = imrotate(I, 45, "linear");
imwrite(nI, "cow_bilinear_rotated.png");
```

Figura 9: Código-Fonte para rotação por interpolação bilinear no Octave

3.3 Rotação por Interpolação Bicúbica

```
pkg load image;

I = imread("cow_very_small.png");

nI = imrotate(I, 45, "cubic");
imwrite(nI, "cow_cubic_rotated.png");
```

Figura 10: Código-Fonte para rotação por interpolação bicúbica no Octave

3.4 Comparação de Resultados

(a) Original

(b) *Nearest Neighbor*

(c) Bilinear

(d) Bicúbica

Figura 11: Rotação em 45° por diferentes métodos

Nearest Neighbor	Bilinear	Bicúbica
0.62	0.63	2.11

Tabela 5: Tempo de execução para rotações (em segundos)

4 Considerações Finais

Referências

[1] Tinku Acharya e Ajoy K. Ray. *Image Processing - Principles and Application*. 1st. Wiley, 2005.

[2] John W Eaton, David Bateman e Soren Hauberg. *GNU Octave Manual Version 3*. Network Theory Ltd., 2008. ISBN: 095461206X, 9780954612061.

[3] Dianyuan Han. “Comparison of Commonly Used Image Interpolation Methods”. Em: *ICCSEE, Hangzhou, China* (2013).

[4] R. Keys. “Cubic convolution interpolation for digital image processing”. Em: *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on* 29.6 (dez. de 1981), pp. 1153–1160. ISSN: 0096-3518. DOI: 10.1109/TASSP.1981.1163711.

[5] Johannes Kopf e Dani Lischinski. “Depixelizing Pixel Art”. Em: *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2011)* 30.4 (2011), 99:1–99:8.