

Visualização de Vórtices em Dinâmica de Fluidos Computacional

GILSON A. GIRALDI¹

ANTONIO ALBERTO FERNANDES DE OLIVEIRA¹

¹LCG-Laboratório de Computação Gráfica, COPPE-Sistemas, UFRJ
21945-970, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Caixa postal 68511
{giraldi,oliveira}@cos.ufrj.br

Abstract. This work discusses the problems of vortex identification and visualization in Computational Fluid Dynamics. A predictor-corrector technique for determining the core of the vortex is described. Having that core, planar cross-sections of the vortex are obtained and from them the vortex border. Finally, possible improvements in some steps of that approach are suggested.

Keywords: Fluid Dynamics, Visualization, Vortex.

1 Introdução

Com o advento dos supercomputadores tornou-se possível efetuar simulações numéricas em Dinâmica de Fluidos Computacional(CFD) empregando malhas 3D com um nível de refinamento considerável(256³ pontos para cada instante de tempo).

Para analisar tal volume de dados os fluidicistas vêm utilizando softwares gráficos que empregam técnicas de visualização científica apropriadas a esta área[Lane(1995)]. Basicamente, estas técnicas visam capturar o movimento do fluido ou identificar e realçar regiões de interesse no interior do mesmo.

No primeiro caso, destacam-se técnicas como LIC, (Line Integral Convolution)[Cabral—Leedom(1993)] e rastreamento de partículas[Lane(1995)]. Estes métodos são empregados para visualização de campos vetoriais e dos fluxos associados sendo particularmente interessantes para a análise de resultados em escoamento não-turbulento.

No segundo caso o objetivo é identificar e visualizar regiões que formam estruturas importantes para o estudo das propriedades básicas do escoamento. Um exemplo de uma tal estrutura, que constitui o objeto de interesse deste trabalho, são os vórtices.

Embora os fluidicistas não tenham um consenso quanto à definição (matemática) precisa de um vórtice, o padrão de interesse neste caso corresponde a regiões em rotação. Os ciclones são exemplos clássicos de vórtices.

O que se espera neste caso é identificar em cada instante uma curva (o chamado “core” do vórtice) e uma região em torno dela onde as linhas de corrente (curvas tangentes ao campo de velocidades num instante fixo)

exibem um padrão aproximadamente circular ou espiral[Banks—Singer(1995)].

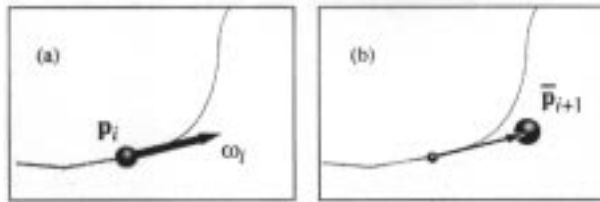
As técnicas para identificação de vórtices no volume de dados gerado pela simulação são baseadas em heurísticas fundamentadas em conceitos da dinâmica de fluidos. Em [Banks—Singer(1995)], encontra-se uma discussão a respeito. Nesta mesma referência (básica para este trabalho) considera-se que um vórtice é formado por pontos com baixa pressão e alta vorticidade (módulo do rotacional do vetor velocidade) e usa-se estas propriedades para propor uma metodologia interessante do ponto de vista da formulação matemática e que tem apresentado bons resultados.

A idéia básica deste método é partir-se de um ponto semente e adicionar a ele, pontos da vizinhança que tenham pressão e vorticidade fora de limites pré-estabelecidos. Quando se chega a um ponto em que um destes limites é violado se interrompe localmente o crescimento da região.

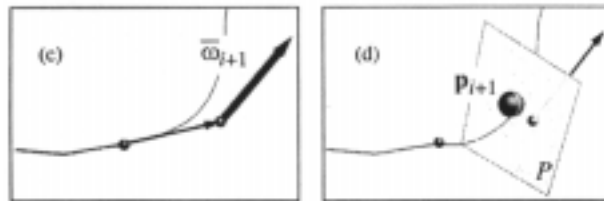
Nesta etapa, identificamos na literatura duas abordagens. A primeira é essencialmente morfológica[Samtaney—at all(1994)] e consiste em se determinar o vórtice via crescimento e união de regiões. Na outra, inicialmente se constrói o core do vórtice (seu esqueleto) e em seguida se busca, em planos normais a este, os pontos que constituem a fronteira do vórtice, seguindo agora a metodologia da primeira abordagem. Neste caso, a construção do core do vórtice é a etapa mais crítica na qual usa-se um método de predição/correção descrito a seguir[Banks—Singer(1995)].

2 Algoritmo Básico

Nesta última referência o core é determinado pelo procedimento a seguir.



(a) Vorticidade ω_i em p_i . (b) Ponto *predito* \bar{p}_{i+1} .



(c) Vorticidade em \bar{p}_{i+1} . (d) Ponto corrigido p_{i+1} .

Partindo-se de um ponto p_i obtem-se o ponto \bar{p}_{i+1} (ponto *predito*) integrando-se ao longo do vetor vorticidade ω_i (rotacional do vetor velocidade) calculado em p_i . Seja P o plano por \bar{p}_{i+1} que é normal à vorticidade ($\bar{\omega}_{i+1}$) neste ponto. \bar{p}_{i+1} é então *corrigido* para o ponto p_{i+1} que corresponde a um mínimo local da pressão restrita ao plano P (obtido pelo método steepest descent) (fig. 1d)

A partir do ponto p_{i+1} faz-se uma varredura radial, em direções paralelas ao plano P , até encontrar-se um ponto que viole o limiar da vorticidade ou da pressão previamente estabelecidos. Aos pontos extremos dos segmentos radiais obtidos nesta etapa será ajustada uma curva que representará uma secção transversal da fronteira do vórtice. Ao final deste passo, tem-se uma sequência de secções transversais que são conectadas por uma malha quadrilateral para em seguida efetuar-se o rendering.

Durante a etapa de minimização da pressão, será necessário o conhecimento desta em pontos não pertencentes à malha original o que exigirá muitas interpolações. A interpolação de Lagrange de terceira ordem usada em [Banks—Singer(1995)] é interessante do ponto de vista numérico, mas cara do ponto de vista computacional. De fato, esta é a parte mais cara na execução do método segundo seus próprios autores e será um ponto que pretendemos explorar.

3. Metodologia de Trabalho

Nossa idéia básica é substituir interpolações por rasterizações de retas na malha 3D original. Desta forma, o ponto \bar{p}_{i+1} será o primeiro ponto obtido rasterizando a reta com origem em p_i e direção ω_i .

Obtido este ponto calcula-se o gradiente da pressão no mesmo (via diferenças finitas) e rasteriza-se na direção da projeção desse gradiente sobre o plano P até se encontrar um novo ponto. Se este for um ponto de mínimo local da pressão então se terá o ponto corrigido p_{i+1} . Caso contrário, calcula-se o novo gradiente e repete-se este processo.

Tal procedimento certamente reduzirá o custo do passo de correção e acreditamos que terá bons resultados em casos onde a malha é bem refinada (que são exatamente os que exigem mais interpolações).

Num segundo momento, pretendemos explorar a aplicação de resultados referentes à equivalência e estabilidade estrutural de sistemas dinâmicos na tentativa de prever o comportamento de um vórtice em um instante t_{i+1} , conhecido seu comportamento num instante anterior t_i . Certamente, tal pesquisa só terá sentido se a discretização no tempo for suficientemente refinada e as características caóticas e de bifurcação não constituírem o comportamento predominante da dinâmica do sistema no instante t_i .

Referências

- D. A. Lane, "Visualization of Numerical Unsteady Fluid Flows", *NAS Technical Report*, 1995.
- B. Cabral, L. Leedom, "Imaging Vector Fields using Line Integral Convolution", S. Incerti, *Proceedings SIGGRAPH '93*, Anaheim, California, August(1993), 263--272.
- D.C. Banks, B.A. Singer, "A Predictor-Corrector Technique for Visualizing Unsteady Flow", *IEEE Trans. on Visualization and Comp. Graphics Numerical 1*, NO.2, June(1995).
- R. Samtaney, D. Silver, N. Zabusky, J. Cao, "Visualizing Features and Tracking their Evolution", *IEEE Computer 27*, NO. 7, pp. 20-27, July 1994.