

Efeito do Δt sobre variáveis locais e globais no código Mach2D-5.8.2.1.

Guilherme Bertoldo

17 de Setembro de 2012

Conteúdo

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Parâmetros numéricos | 1 |
| 3 | Efeito do Δt sobre C_{df} e u, v, T, p sobre a superfície do cone | 2 |

1 Introdução

O código Mach2D-5.8.2.1 foi desenvolvido para calcular o escoamento externo de gases sobre a parte frontal de um corpo de simetria plana ou axial. Neste código são considerados apenas escoamentos invíscidos, modelados pela equação de Euler. A seguir são apresentados resultados e algumas análises do efeito do incremento de tempo Δt sobre os resultados de variáveis locais e globais. As simulações foram feitas com a revisão 68 do código, versionado com o SVN, considerando um escoamento de ar ($\gamma = 1.4$) sobre um cone de semi-ângulo de 10° com número de Mach de corrente livre igual a 4.

2 Parâmetros numéricos

Os parâmetros numéricos de entrada do código Mach2D-5.8.2.1 são dados na Tab. 1. Na terceira coluna desta tabela são indicados os parâmetros comuns a todas as simulações.

Tabela 1: Parâmetros numéricos de entrada do código Mach2D-5.8.2.1-r68

| | | |
|--|---------|----------------------|
| Simulation identification (up to 100 characters) | sim_id | |
| Number of real volumes in the csi direction | nx-2 | |
| Number of real volumes in the eta direction | ny-2 | |
| length of the elliptical x semi-axis (m) | la | 2.83564090980890E+00 |
| length of the elliptical y semi-axis (m) | lb | 2.00000000000000E+00 |
| length of the body (m) | lr | 2.83564090980890E+00 |
| base radius/semi-height of the body (m) | rb | 5.00000000000000E-01 |
| Kind of grid (1=uniform, 2=geometric progression, 3=power law) | kg | 1 |
| Kind of centroid mean (1=simple mean, 2=weighted mean) | kcm | 1 |
| Kind of coord. system (1=cylindrical, 0 = cartesian) | coord | 1 |
| width of the volume closer to the wall (m) | a1 | 1.00000000000000E-03 |
| Exponent of the power law for the north boundary | akn | 2.00000000000000E+00 |
| Exponent of the power law for the south boundary | aks | 1.00000000000000E+00 |
| Maximum number of interactions for time cycle | itmax | 200000 |
| Maximum number of interactions for mass cycle | imax | 1 |
| Number of interactions up to which dt = dt1 | it1 | 100 |
| Number of interactions from which dt = dt2 | it2 | 300 |
| Initial time step (s) | dt1 | |
| Final time step (s) | dt2 | |
| Maximum number of iterations for solving the linear systems for u, v and T | nitm_u | 5 |
| Maximum number of iterations for solving the linear system for p | nitm_p | 5 |
| Number of iterations to calculate the mean of the residuals | nit_res | 500 |
| Tolerance in the MSI for solving the linear systems for u, v and T | tol_u | 1.00000000000000E-02 |
| Tolerance in the MSI for solving the linear system for p | tol_p | 1.00000000000000E-02 |
| Tolerance for the sum of residuals | tol_res | 1.00000000000000E-18 |
| Frequency of printing in the listing file | wlf | 1 |
| 1 = do not open result files, 0 = open | sem_a | 1 |
| 0 = visualize the plot, 1 = do not visualize | sem_g | 1 |
| Frequency of writing data for graphics | w_g | 1 |
| 1 = write the fields, 0 = do not | w_cam | 0 |
| Number of interactions up to which beta = beta1 | itb1 | 300 |
| Number of interactions from which beta = beta2 | itb2 | 1000 |
| Initial beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS)) | beta1 | 0.00000000000000E+00 |
| Final beta (UDS/CDS mixing constant (0=UDS, 1=CDS)) | beta2 | 0.00000000000000E+00 |
| GF = gamma = Cp / Cv (for the free stream) | GF | 1.40000000000000E+00 |
| Perfect gas constant (J/kg.K) | Rg | 2.87000000000000E+02 |
| Free stream pressure (Pa) | PF | 1.00000000000000E+05 |
| Free stream temperature (K) | TF | 3.00000000000000E+02 |
| Free stream Mach number | MF | 4.00000000000000E+00 |

3 Efeito do dt sobre Cdfi e u, v, T, p sobre a superfície do cone

A Tab. 2 mostra o coeficiente de arrasto de pressão frontal Cdfi sobre o cone para diversas malhas e valores de dt. Além disso, a tabela também mostra a soma dos resíduos res dos sistemas lineares na última iteração it. No código Mach2D-5.8.2.1-r68, o resíduo dos sistemas lineares são calculados através da fórmula

$$R^\phi = \frac{\|A^\phi \phi - b^\phi\|_1}{\|b^\phi\|_1}, \quad (1)$$

exceto para a equação da correção da pressão, pois $b^{p'}$ tende a zero. Neste caso não é feita a divisão indicada na equação acima.

É possível observar na Tab. 2 que existe um intervalo de dt ($1E-4 < dt < 5E-6$) para o qual Cdfi é praticamente constante. Para valores de dt acima deste intervalo, porém menores que $1E-7$, a variação de Cdfi ocorre até o 12º algarismo. Para valores de dt abaixo deste intervalo, porém acima de $1E-3$, a variação de Cdfi ocorre até o 6º algarismo.

Ao se reduzir dt, é natural esperar que o erro aumente em função do erro de arredondamento. Entretanto, é estranho que o erro aumente ao se aumentar dt.

Tabela 2: Resultados principais do conjunto de simulações S0076 para a variável global Cdfi.

| Simulation | nx-2 | ny-2 | dt1 | dt2 | RAM | it | tcpu | res | Cdfi |
|------------|------|------|----------|----------|------|--------|----------|----------|-----------------------|
| S01 | 30 | 30 | 5.00E-03 | 5.00E-03 | 15.4 | 200001 | 3.97E+02 | 2.63E-13 | 7.860632616468913E-02 |
| S02 | 30 | 30 | 1.00E-03 | 1.00E-03 | 15.4 | 200001 | 4.00E+02 | 2.03E-14 | 7.860652486710192E-02 |
| S03 | 30 | 30 | 5.00E-04 | 5.00E-04 | 15.4 | 200001 | 4.05E+02 | 8.22E-15 | 7.860652506868759E-02 |
| S04 | 30 | 30 | 1.00E-04 | 1.00E-04 | 15.4 | 200001 | 3.96E+02 | 1.55E-15 | 7.860652506878746E-02 |
| S05 | 30 | 30 | 5.00E-05 | 5.00E-05 | 15.4 | 200001 | 3.91E+02 | 1.30E-15 | 7.860652506878746E-02 |
| S06 | 30 | 30 | 1.00E-05 | 1.00E-05 | 15.4 | 200001 | 3.81E+02 | 1.69E-16 | 7.860652506878733E-02 |
| S07 | 30 | 30 | 5.00E-06 | 5.00E-06 | 15.4 | 200001 | 3.74E+02 | 1.14E-15 | 7.860652506878472E-02 |
| S08 | 30 | 30 | 1.00E-06 | 1.00E-06 | 15.4 | 200001 | 3.70E+02 | 7.21E-17 | 7.860652506876506E-02 |
| S09 | 30 | 30 | 5.00E-07 | 5.00E-07 | 15.4 | 200001 | 3.22E+02 | 5.32E-17 | 7.860652506873683E-02 |
| S10 | 30 | 30 | 1.00E-07 | 1.00E-07 | 15.4 | 200001 | 1.86E+02 | 4.95E-17 | 7.860652506852883E-02 |

A Tab. 3 mostra a distribuição de u, v, T e p sobre alguns pontos da superfície do cone obtidos da simulação S05. A Tab. 4, mostra a máxima diferença absoluta e a máxima diferença relativa entre as simulações de S01 a S10 comparadas com a simulação S05. Observa-se para as variáveis locais o mesmo comportamento do erro para a variável global.

Tabela 3: Resultados principais do conjunto de simulações S0076. Variáveis locais u, v, T e p em alguns pontos sobre a superfície do cone.

| | x | u | v | p | T | ro |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| 7.089102274522250E-02 | 1.329779358317130E+03 | 2.301185599074430E+02 | 1.879510692627020E+05 | 3.530113504230970E+02 | 1.855129539211020E+00 | |
| 2.126730682356670E-01 | 1.329754583378780E+03 | 2.123366929215530E+02 | 1.878256784825460E+05 | 3.531197933547130E+02 | 1.853322545350200E+00 | |
| 3.544551137261120E-01 | 1.329711377063470E+03 | 2.123484260203690E+02 | 1.877767275413590E+05 | 3.532237573550450E+02 | 1.852294183011590E+00 | |
| 4.962371592165570E-01 | 1.329648811955410E+03 | 2.124337433715520E+02 | 1.877642733170460E+05 | 3.533369900759260E+02 | 1.85157774825710E+00 | |
| 6.380192047070020E-01 | 1.329571907751840E+03 | 2.125714962795670E+02 | 1.877706589584710E+05 | 3.534582246757920E+02 | 1.851005638624060E+00 | |
| 7.798012501974470E-01 | 1.329483675264610E+03 | 2.127488439958320E+02 | 1.877882426252890E+05 | 3.535864531320200E+02 | 1.850507643720750E+00 | |
| 9.215832956878920E-01 | 1.329386563406040E+03 | 2.129555996764240E+02 | 1.878116330814840E+05 | 3.537206759730710E+02 | 1.850035857648030E+00 | |
| 1.063365341178340E+00 | 1.329281905399840E+03 | 2.131867050995270E+02 | 1.878381722977330E+05 | 3.538601416496450E+02 | 1.849568030014000E+00 | |
| 1.205147386668780E+00 | 1.329170678492200E+03 | 2.134393850875280E+02 | 1.878659301626600E+05 | 3.540039551855430E+02 | 1.849089856382520E+00 | |
| 1.346929432159230E+00 | 1.329053222390700E+03 | 2.137139425140940E+02 | 1.878940984683400E+05 | 3.541513541567040E+02 | 1.848597392450850E+00 | |
| 1.48871147749670E+00 | 1.328929367803200E+03 | 2.140140483189340E+02 | 1.879225008406370E+05 | 3.543013757016260E+02 | 1.848093961390430E+00 | |
| 1.630493523140120E+00 | 1.328798455548790E+03 | 2.143457799293420E+02 | 1.879516175856380E+05 | 3.544531687176620E+02 | 1.847588744736720E+00 | |
| 1.772275568630560E+00 | 1.328659017331110E+03 | 2.147205952889230E+02 | 1.879827298356140E+05 | 3.546055956270710E+02 | 1.847100265503960E+00 | |
| 1.914057614121010E+00 | 1.328509287419170E+03 | 2.151516900534770E+02 | 1.880173883412090E+05 | 3.547575366709780E+02 | 1.846649567808340E+00 | |
| 2.055839659611450E+00 | 1.328346714493680E+03 | 2.156591775742310E+02 | 1.880576403901240E+05 | 3.549071470525290E+02 | 1.846266290596470E+00 | |
| 2.197621705101900E+00 | 1.328169254664400E+03 | 2.162623945224890E+02 | 1.881047424712860E+05 | 3.550520845347490E+02 | 1.845974859248750E+00 | |
| 2.339403750592340E+00 | 1.327976010531290E+03 | 2.169845488577000E+02 | 1.881578306209750E+05 | 3.551872663626240E+02 | 1.845793075423290E+00 | |
| 2.481185796082790E+00 | 1.327769532430660E+03 | 2.178410164852880E+02 | 1.882117902302790E+05 | 3.553047487048620E+02 | 1.845711920120520E+00 | |
| 2.622967841573230E+00 | 1.327562573934020E+03 | 2.188397089995630E+02 | 1.882469752415460E+05 | 3.553841423172410E+02 | 1.845644550963490E+00 | |
| 2.764749887063680E+00 | 1.327346877610310E+03 | 2.200969867655030E+02 | 1.882155923028200E+05 | 3.554093866515390E+02 | 1.845205789622940E+00 | |

Tabela 4: Resultados principais do conjunto de simulações S0076. Comparação dos resultados obtidos das simulações S01-S10 com a simulação S05.

| Máx. diferença absoluta | | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | u | v | p | T | ro | |
| S01-S05 | 8.73E-05 | 2.88E-05 | 5.24E-01 | 1.19E-04 | 5.51E-06 | |
| S02-S05 | 8.77E-07 | 2.72E-07 | 3.06E-03 | 1.21E-06 | 3.56E-08 | |
| S03-S05 | 1.88E-09 | 5.81E-10 | 5.62E-06 | 2.58E-09 | 6.79E-11 | |
| S04-S05 | 1.00E-11 | 9.95E-13 | 1.05E-09 | 0.00E+00 | 9.99E-15 | |
| S06-S05 | 9.78E-12 | 1.02E-12 | 1.02E-09 | 0.00E+00 | 1.02E-14 | |
| S07-S05 | 1.00E-11 | 1.99E-12 | 5.01E-09 | 5.06E-12 | 2.00E-14 | |
| S08-S05 | 5.00E-11 | 9.01E-12 | 3.40E-08 | 6.10E-11 | 5.02E-14 | |
| S09-S05 | 1.00E-10 | 1.80E-11 | 7.70E-08 | 1.23E-10 | 1.30E-13 | |
| S10-S05 | 8.00E-10 | 1.15E-10 | 4.06E-07 | 5.92E-10 | 1.00E-12 | |
| Máx. diferença relativa | | | | | | |
| | u | v | p | T | ro | |
| S01-S05 | 6.57E-08 | 1.25E-07 | 2.78E-06 | 3.35E-07 | 2.97E-06 | |
| S02-S05 | 6.60E-10 | 1.18E-09 | 1.62E-08 | 3.40E-09 | 1.92E-08 | |
| S03-S05 | 1.41E-12 | 2.52E-12 | 2.99E-11 | 7.25E-12 | 3.66E-11 | |
| S04-S05 | 7.52E-15 | 4.32E-15 | 5.57E-15 | 0.00E+00 | 5.39E-15 | |
| S06-S05 | 7.35E-15 | 4.45E-15 | 5.41E-15 | 0.00E+00 | 5.51E-15 | |
| S07-S05 | 7.52E-15 | 8.65E-15 | 2.66E-14 | 1.42E-14 | 1.08E-14 | |
| S08-S05 | 3.76E-14 | 3.92E-14 | 1.81E-13 | 1.72E-13 | 2.71E-14 | |
| S09-S05 | 7.52E-14 | 7.82E-14 | 4.09E-13 | 3.46E-13 | 7.00E-14 | |
| S10-S05 | 6.02E-13 | 5.00E-13 | 2.16E-12 | 1.67E-12 | 5.39E-13 | |