

程序说明

1 程序结构

data_in 文件夹放置输入文件RHO,U,P；其中config文件中依次为气体常数，时间步长，网格宽度，可识别的最小非0正数，时间步数。

plot 文件夹输出RHO,U,P变化图。

data_out 文件夹输出计算过程中RHO,U,P和拉式坐标的变化。

file_io 为文件处理程序。

finite_difference_solver 为算法格式文件。

Riemann_solver 为精确Riemann解法器。

LAG_source.c 是主程序。

make.sh 为编译和运行程序的脚本。

在终端下运行make.sh即可，gcc编译，gnuplot画图。

2 格式

精确Riemann解法器根据[1]所写， u^*, p^* 为Riemann问题*区域的解。

格式为向前Euler：(GRP/Gdounov_solver_source.c)

$$m_i(1/\rho_i^{n+1} - 1/\rho_i^n) - \Delta t(u_{i+1/2}^n - u_{i-1/2}^n) = 0 ,$$

$$m_i(u_i^{n+1} - u_i^n) + \Delta t(p_{i+1/2}^n - p_{i-1/2}^n) = 0 ,$$

$$m_i(e_i^{n+1} - e_i^n) + \Delta t(p_{i+1/2}^n u_{i+1/2}^n - p_{i-1/2}^n u_{i-1/2}^n) = 0。$$

接触间断的位置计算：

$$x_{i+1/2}^{n+1} = x_{i+1/2}^n + \Delta t u_{i+1/2}^{n+1/2}。$$

节点 $j + 1/2$ 时平均数值通量：

$$u_{i+1/2}^{n+1/2} = u_{i+1/2}^{*n} + \frac{\Delta t}{2} (\frac{Du}{Dt})_{i+1/2}^n ,$$

$$p_{i+1/2}^{n+1/2} = p_{i+1/2}^{*n} + \frac{\Delta t}{2} (\frac{Dp}{Dt})_{i+1/2}^n。$$

拉式Gdounov格式 $(\frac{Du}{Dt})_{i+1/2}^n$ ， $(\frac{Dp}{Dt})_{i+1/2}^n$ 取0。

拉式GRP格式由斜率求接触间断处的物质导数(GRP_solver_source.c)，由GRP格式算出时间导数(linear_GRP_solver_LAG.c)，向前Euler,再通过斜率限制器得到斜率(GRP_solver_source.c)。

3 算例

6.1 sod激波管，

6.2.1 Shock-Contact Interaction。

画的图为转换到欧拉坐标下的 ρ , u , p 以及拉式坐标的图。

References

[1] E. F. Toro. A Fast Riemann Solver with Constant Covolume Applied to the Random Choice Method. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 9:1145–1164, 1989.

程序实现Maire的书上76-120页的内容，结果见plot文件夹。

4 程序结构

data_in 文件夹放置输入文件 ρ , u , v , p 值及config，其中config文件中的数依次为多方气体指数，时间步长，x轴网格宽度，y轴网格宽度，精度范围内的最小非0正数，时间步数。

data_out 文件夹放置输出的最终结果，包括网格节点坐标，网格拓扑结构以及网格上的 ρ , u , p 值。

file_io 为读入写出文件的处理程序的文件夹。

meshing 文件夹包含生成网格数据的函数。

cell_centered_scheme 文件夹包含整个网格中心算法的程序。

Riemann_solver 文件夹包含求表示子网格力的角矩阵 M_{pc} 的函数。

plot 文件夹存储图示结果。

LAG_source.c 是加载输入文件，实施算法，输出结果的运行主程序。

make.sh 为编译和运行程序的脚本。

在终端下运行make.sh (gcc编译)。

使用paraview软件打开 data_out 中的.vtk文件查看结果。

5 细节说明

data_in 文件夹中 u , v 分别代表速度的x轴分量和y轴分量。初始数据的第 n 行为规则方形网格从下往上数的第 n 行。

meshing 文件夹为根据不同问题生成不同网格数据的程序。将所有网格和网格节点依次编号为0,1,2,..., 数组 CELL_POINT[i] 中按逆时针顺序存储第i个网格上所有节点的编号, 且其中第1个数为该网格上的节点个数; BOUNDARY_POINT[0] 中逆时针存储网格边界上的节点编号; X[i][j], Y[i][j]上分别存储第i步第j个节点的横纵坐标值; NORMAL_VELOCITY 中存储给定的边界节点两边的法向速度(初始边界条件); gamma 中存储每个网格上的多方气体指数 γ 。

如果对于不规则的多边形网格, 只要按照上面数组的方式输入网格拓扑结构, 按编号顺序输入初始RHO, U, V, P值, 并且给出合适的边界条件即可。

一阶程序运行的前5个参数分别为RHO, U, V, P及config文件的地址, 第6个为输出文件的标识符, 第7个选择生成网格的meshing程序, 第8个为选用的格式中求解子网格力的方法(GLACE或者EUCCLHYD), 第9个为选择输出第几步得到的结果(0代表输出最后一步的结果)。

高阶程序运行的前5个参数分别为RHO, U, V, P及config文件的地址, 第6个为输出文件的标识符, 第7个选择生成网格的meshing程序, 第8个为选用的格式中求解子网格力的方法(linear-线性的EUCCLHYD或者nonlinear-非线性的EUCCLHYD), 第9个为选用的斜率限制器(BJ-Barth Jespersen或者Ven-Venkatakrisman), 第10个为选择输出第几步得到的结果(0代表输出最后一步的结果)。

cell_centered_scheme 文件夹中的 initialize_memory.c 文件为解法器调用的一些函数。高阶程序中 Riemann_solver 文件夹中还包含计算 $\frac{d}{dt} M_{pc}$ 的函数。

高阶程序中只处理边界节点两边的法向速度不随时间变化, 也就是没有关于时间的导数项的情况; 对于速度的两个分量分别进行了分片线性重构。

6 算例

6.1 CB–Checkerboard problem

$[0,1] \times [0,1]$ 区间上 10×10 的网格。 $\gamma = 5/3, \rho^0 = P^0 = 1, \mathbf{U}_{i,j}^0 = [(-1)^{i+j}, 0], t_{fin} = 1, \Delta t = 10^{-2}$ 。

plot : (书上的图取的 $\mathbf{U}_{i,j}^0$ 值应该不一样)

u_CB_GLA – GLACE格式运行5步后的网格和速度的x轴分量

u_CB_EUC – EUCCLHYD格式运行90步后的网格和速度的x轴分量

6.2 Sedov–Sedov problem

$[0,1.2] \times [0,1.2]$ 区间上 30×30 的网格。 $\gamma = 7/5$, $\rho^0 = 1$, $P^0 = 10^{-6}$, $\mathbf{U}^0 = \mathbf{0}$, $t_{fin} = 1$, $\Delta t = 10^{-3}$, 第一个网格上 $P^0 = 61.204$ 。

高阶格式为非线性的EUCCLHYD以及使用Ven斜率限制器。

plot :

rho_Sedov_GLA – GLACE格式在停止时间 $t=1$ 时的网格和密度

rho_Sedov_EUC – EUCCLHYD格式在停止时间 $t=1$ 时的网格和密度

rho_Sedov – 高阶非线性EUCCLHYD格式在停止时间 $t=1$ 时的网格和密度

6.3 Sod–Sod problem

$[0,0.1] \times [0,1]$ 区间上 2×100 的网格。 $\gamma_{left} = 7/5$, $\gamma_{right} = 5/3$, $\rho_l^0 = P_l^0 = 1$, $\mathbf{U}_l^0 = \mathbf{0}$, $\rho_r^0 = 0.125$, $P_r^0 = 0.1$, $\mathbf{U}_r^0 = \mathbf{0}$, $t_{fin} = 0.2$, $\Delta t = 10^{-2}$ 。

高阶格式为线性的EUCCLHYD以及使用BJ斜率限制器。

plot : (只计算了数值解)

rho_Sod – 在停止时间 $t=0.2$ 时密度的数值解

u_Sod – 在停止时间 $t=0.2$ 时速度的数值解

p_Sod – 在停止时间 $t=0.2$ 时压力的数值解

6.4 Saltzman–Saltzman problem

$[0,1] \times [0,0.1]$ 区间上 100×10 的网格, 对网格作如下坐标变换

$$\begin{cases} x_{sk} = x + (0.1 - y) * \sin(\pi * x), \\ y_{sk} = y \end{cases} \quad (1)$$

$\gamma = 5/3$, $\rho^0 = 1$, $P^0 = 10^{-6}$, $\mathbf{U}^0 = \mathbf{0}$, $t_{fin} = 1$, $\Delta t = 10^{-3}$, 左边界有方向向右大小为1的法向速度。

高阶格式为线性的EUCCLHYD以及使用Ven斜率限制器。

plot :

rho_Saltzman_0.75 – 在时间 $t=0.75$ 时的网格和密度

rho_Saltzman_0.95 – 在时间 $t=0.95$ 时的网格和密度

rho_Saltzman_0.99 – 在时间 $t=0.99$ 时的网格和密度