



**زیربرنامه:**

راهنمای نحوه‌ی تبدیل دقت از مرتبه یک به مرتبه دو در زیربرنامه‌های مختلف مربوط به محاسبه‌ی شار جابجایی

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور | |
| **تاییدکنندگان** | مرتضی نامور | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 31/05/1395 | |
| **شناسه سند** | **MC2F008F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

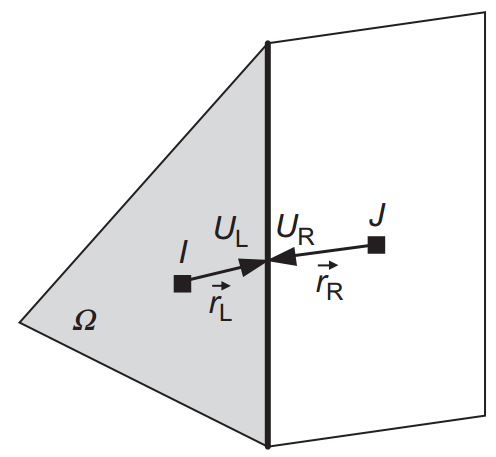
1. وظایف

در این راهنما، نحوه‌ی تبدیل دقت روش‌های مختلف مربوط به محاسبه‌ی شار جابجایی از مرتبه‌ی اول به مرتبه‌ی دوم شرح داده خواهد شد. در اینجا لازم است توجه شود که گزارش حاضر مربوط به سابروتین خاصی نمی باشد و برای آگاهی از نحوه پیاده سازی روش های مرتبه دوم گسسته سازی بخش جابجایی باید ابتدا به گزارش مربوط به گسسته سازی مرتبه اول آن مراجعه شود.

1. توضیحات و تئوری­ها

به‌طور کلی می‌توان گفت که بیشتر روش‌های ارائه شده به منظور محاسبه‌ی شار جابجایی در معادلات اویلر، دقتی از مرتبه‌ی یک دارند که این خود موجب می‌گردد تا در جریان‌های آیرودینامیکی که شامل جدایش جریان و یا پدیده‌ی موج شوک[[1]](#footnote-1) می‌باشند، دقت کافی را نداشته و فیزیک مسئله به خوبی مدل نشود[1]. بدین منظور باید از روش‌های با دقت بالاتر نظیر مرتبه‌ی دوم استفاده نمود که ما، در این پژوهش از روش‌های بازسازی حل[[2]](#footnote-2) که شامل تقریب گرین-گاوس[[3]](#footnote-3) و حداقل مربعات[[4]](#footnote-4) می‌باشد و در زیربرنامه‌های FirstOrd\_Gradient و LSQ\_Gradient شرح داده شده‌اند استفاده خواهیم نمود.

در روش‌های بازسازی حل، معادله‌ی مربوط به محاسبه‌ی مقدار شار جابجایی عبوری از هر وجه حجم کنترل همانند معادله‌ی مربوط به دقت مرتبه اول (معادله‏(1)) می‌باشند، تنها با این تفاوت که مقدار چپ و راست متغیرهای اولیه‌ی[[5]](#footnote-5) جریان () بر روی هر وجه حجم کنترل با استفاده از دقت مرتبه‌ی دوم و به فرم معادله‏(2) محاسبه می‌شوند[2]. به عنوان مثال، در ‏شکل (1) مقدار چپ و راست متغیرهای اولیه بر روی وجه حجم کنترل () نمایش داده شده است.



1. بازسازی حل بر روی وجه حجم کنترل[2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | |
|  | |  |

بنابراین برای تبدیل دقت از مرتبه‌ی اول به مرتبه‌ی دوم در زیربرنامه‌های محاسبه‌ی شار جابجایی، باید مقادیر متغیرهای اولیه‌ی جریان را بر روی هر وجه حجم کنترل با در دست داشتن مقدار مربوط به گرادیان () و محدودکننده‌ی () مربوط به آن و طبق رابطه ‏(2) محاسبه نماییم که در ادامه نحوه‌ی اعمال این تغییرات در زیربرنامه‌های مختلف را شرح می‌دهیم. نحوه‌ی انجام کار برای تمامی روش‌های محاسبه‌ی شار جابجایی شامل AUSM,AUSMP,AUSMP-UP, ROE, HLL, HLLC, CUSP, … مشابه هم بوده و به راحتی قابل اعمال است.

در ابتدا باید مقادیر مربوط به گرادیان(GWNP1)، محدودکننده(Limit)، مختصات مربوط به نقاط(X,Y) هر ضلع و مرکز (Xc,Yc) هر سلول به عنوان ورودی به آرگومان هر زیربرنامه اضافه گردد. بنابراین خواهیم داشت:

|  |
| --- |
| Subroutine CONV\_METHOD(Dim,NC,NF1,NF2,NF,IDS,NX,NY,DA,GM,WNP1,WB,P,Con)  Subroutine CONV\_METHOD(Dim,NC,NF1,NF2,NF,IDS,NX,NY,DA,GM,WNP1,WB,P,Con,GWNP1,Limit,X,Y,Xc,Yc) |

در ادامه باید این متغیرهای جدید نیز در هر زیربرنامه به عنوان ورودی تعریف گردند:

|  |
| --- |
| Intent(In )::Dim,NC,NF1,NF2,NF,IDS,NX,NY,DA,GM,WNP1,WB,P  Intent(In )::Dim,NC,NF1,NF2,NF,IDS,NX,NY,DA,GM,WNP1,WB,P,GWNP1,Limit,X,Y,Xc,Yc  Real(8),Dimension(1:2,1:4,1:Dim)::GWNP1  Real(8),Dimension(1:4,1:Dim)::Limit  Real(8),Dimension(1:Dim)::X,Y  Real(8),Dimension(1:Dim)::Xc,Yc |

هم‌چنین باید یک سری متغیرهای جدید که برای استفاده در معادله ‏(2) لازم داریم نیز معرفی گردند:

|  |
| --- |
| INTEGER::P1,P2  REAL(8)::X\_P1,Y\_P1,X\_P2,Y\_P2,XM\_EDG,YM\_EDG  REAL(8)::RHO\_L,RHO\_R  REAL(8)::PR,PHI,DX,DY |

در تعاریف بالا P1,P2 به ترتیب شماره‌ی مربوط به نقطه‌ی آغاز و پایان هر ضلع بوده و متغیرهای X\_P1,Y\_P1,X\_P2,Y\_P2 نیز مختصات افقی و عمودی این نقاط می‌باشند. مختصات وسط هر ضلع نیز که از میانگین مختصات نقاط ابتدا و انتهای آن به‌دست می‌آید با XM\_EDG,YM\_EDG معرفی شده‌اند.

حال باید در حلقه‌ی DO مربوط به ضلع‌های غیرمرزی تغییرات زیر را اعمال کنیم که در آن نحوه‌ی محاسبه‌ی متغیرهای اولیه جریان با دقت مرتبه دوم و با استفاده از رابطه ‏(2) جایگزین دقت مرتبه اول می‌گردد :

|  |
| --- |
| DO I=NF1+1,NF2  !Part 9:  L = IDS(1,I)  R = IDS(2,I)  !Part 10:  DAA = DA(I)  NXX = NX(I)/DAA  NYY = NY(I)/DAA  !Part 11:  R\_L = WNP1(1,L)  U\_L = WNP1(2,L)/WNP1(1,L)  V\_L = WNP1(3,L)/WNP1(1,L)  P\_L = P(L)  E\_L = WNP1(4,L)/WNP1(1,L)    R\_R = WNP1(1,R)  U\_R = WNP1(2,R)/WNP1(1,R)  V\_R = WNP1(3,R)/WNP1(1,R)  P\_R = P(R)  E\_R = WNP1(4,R)/WNP1(1,R)  !Part 12:  H\_L = (WNP1(4,L)+P(L))/WNP1(1,L)  H\_R = (WNP1(4,R)+P(R))/WNP1(1,R)  A\_L = DSQRT(GM\*P(L)/WNP1(1,L))  A\_R = DSQRT(GM\*P(R)/WNP1(1,R))  !Part 13:  UC\_L = U\_L\*NXX+V\_L\*NYY  UC\_R = U\_R\*NXX+V\_R\*NYY  .  .  .  END DO |

|  |
| --- |
| DO I=NF1+1,NF2  !Part 9:  L = IDS(1,I)  R = IDS(2,I)  !Part 10:  DAA = DA(I)  NXX = NX(I)/DAA  NYY = NY(I)/DAA  !Part 11:  P1=IDS(3,I)  P2=IDS(4,I)  X\_P1=X(P1)  Y\_P1=Y(P1)  X\_P2=X(P2)  Y\_P2=Y(P2)  XM\_EDG=0.5\*(X\_P1+X\_P2)  YM\_EDG=0.5\*(Y\_P1+Y\_P2)  !Part 12:  Ro = WNP1(1,L)  U = WNP1(2,L) / Ro  V = WNP1(3,L) / Ro  Pr = P(L)  !Part 13:  DX = XM\_EDG - XC(L)  DY = YM\_EDG - YC(L)  !Part 14:  Phi=Limit(1,L)  Call Recons2Ord(Dim,1,L,Ro,GWNP1,Phi,DX,DY,Ro)  Phi=Limit(2,L)  Call Recons2Ord(Dim,2,L,U,GWNP1,Phi,DX,DY,U)  Phi=Limit(3,L)  Call Recons2Ord(Dim,3,L,V,GWNP1,Phi,DX,DY,V)  Phi=Limit(4,L)  Call Recons2Ord(Dim,4,L,Pr,GWNP1,Phi,DX,DY,Pr)  !Part 15:  Rho\_L = Ro  U\_L = U  V\_L = V  P\_L = Pr  E\_L = P\_L/(Rho\_L\*(GM-1.0)) + 0.5\*(U\_L\*U\_L + V\_L\*V\_L)  R\_L = Rho\_L  H\_L = (R\_L\*E\_L+P\_L)/R\_L  A\_L = DSQRT(GM\*P\_L/R\_L)  !Part 16:  Ro = WNP1(1,R)  U = WNP1(2,R) / Ro  V = WNP1(3,R) / Ro  Pr = P(R)  !Part 17:  DX = XM\_EDG - XC(R)  DY = YM\_EDG - YC(R)  !Part 18:  Phi=Limit(1,R)  Call Recons2Ord(Dim,1,R,Ro,GWNP1,Phi,DX,DY,Ro)  Phi=Limit(2,R)  Call Recons2Ord(Dim,2,R,U,GWNP1,Phi,DX,DY,U)  Phi=Limit(3,R)  Call Recons2Ord(Dim,3,R,V,GWNP1,Phi,DX,DY,V)  Phi=Limit(4,R)  Call Recons2Ord(Dim,4,R,Pr,GWNP1,Phi,DX,DY,Pr)  !Part 19:  Rho\_R = Ro  U\_R = U  V\_R = V  P\_R = Pr  E\_R = P\_R/(Rho\_R\*(GM-1.0)) + 0.5\*(U\_R\*U\_R + V\_R\*V\_R)  R\_R = Rho\_R  H\_R = (R\_R\*E\_R+P\_R)/R\_R  A\_R = DSQRT(GM\*P\_R/R\_R)  !Part 20:  UC\_L = U\_L\*NXX+V\_L\*NYY  UC\_R = U\_R\*NXX+V\_R\*NYY  .  .  .  END DO |

در بخش 11 از این زیربرنامه، مختصات‌های مربوط به نقاط ابتدا، پایان و وسط هر ضلع تعیین می‌گردد. در بخش 12 مقدار متغیرهای اولیه سمت چپ هر ضلع ()، همانند دقت مرتبه‌ی اول در متغیرهای محلی ذخیره می‌گردد. در بخش 13 فاصله‌ی مرکز سلول سمت چپ تا مرکز ضلع () محاسبه می‌شود. در بخش 14، مقدار محدودکننده () برای هر متغیر اولیه جریان که از قبل و توسط زیربرنامه Limiter تعیین شده است در یک متغیر محلی ذخیره می‌گردد تا در نهایت با فراخوانی زیربرنامه Recons2Ord که در واقع معادله ‏(2) را محاسبه می‌کند مقادیر جدید متغیرهای اولیه جریان با دقت مرتبه دوم بدست آیند. در بخش 15 این مقادیر جدید در متغیرهای محلی ذخیره شده تا در محاسبه‌ی شار مورد استفاده قرار گیرند. در بخش‌های 16 تا 19 نیز همین عملیات‌ها برای متغیرهای اولیه سمت راست هر ضلع () انجام می‌گیرد.

1. مراجع

[1] Fletcher, C., Computational Techniques for Fluid Dynamics 1.Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2nd Edition, 1998.

[2] Blazek, J., Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. United Kingdom, Elsevier Science, 2nd Edition, 2005.

1. Shock Wave [↑](#footnote-ref-1)
2. Solution Reconstruction [↑](#footnote-ref-2)
3. Green-Gauss Approach [↑](#footnote-ref-3)
4. Least-Square Approach [↑](#footnote-ref-4)
5. Primitive Variables [↑](#footnote-ref-5)