

INSTRUKCJA 3

Obróbka wyników symulacji LES

Wprowadzenie

Celem dzisiejszego laboratorium jest zapoznanie się z metodami obróbki wyników pochodzących z symulacji LES oraz sposobów oceny jej poprawności.

Ćwiczenia

Plik `flow4points.dat` zawiera zebrane w czterech punktach przebiegi czasowe dwóch składowych prędkości u i v rozwiniętego przepływu w kanale przy liczbie Reynoldsa równej 500 (opartej na prędkości tarcia i połowie szerokości kanału). Położenia poszczególnych punktów to $y/\delta = 0.0039$, $y/\delta = .0176$, $y/\delta = 0.107$, $y/\delta = 0.47$. Wszystkie wartości prędkości zostały ubezwymiarowane wartością prędkości tarcia u_τ i gęstością ρ . Lepkość molekularna wynosi $\nu = 1/Re = 1/500$. Krok czasowy między dwoma kolejnymi pomiarami wynosi $\Delta t = 0.0033$.

Zadanie 1

1. Wczytaj plik do Matlaba i wykonaj wykres przebiegu składowej prędkości u dla węzła y_2 . Wczytaj plik i odpowiednie składowe z wykorzystaniem poniższego kodu:

```
load flow4points.dat
u1 = flow4points(:,1);
v1 = flow4points(:,2);
u2 = flow4points(:,3);
.
.
.
v4 = flow4points(:,8);
```

2. Wykonaj podobny wykres dla obu składowych prędkości we wszystkich pozostałych punktach. Jakie są wnioski?
3. Oblicz średnią wartość prędkości dla każdego z czterech punktów. Czy musisz używać całego przebiegu, aby uzyskać poprawny wynik? Jak długi sygnał należy wziąć, aby otrzymać sensowne wyniki? Fragment wektora można w Matlabie wyekstrahować z użyciem polecenia `x(5:70)` - utworzy ono wektor składający się z danych zawartych w wektorze `x` na indeksach od 5-tego do 70-tego.
4. Wybierz jeden z węzłów, dla których został zebrany przebieg czasowy. Zrób wykres samych fluktuacji turbulentnych zgodnie z dekompozycją Reynoldsa oraz oblicz wartość intensywności turbulencji w tym punkcie wg poniższej definicji:

$$t_i = \frac{\langle u'^2 \rangle}{\langle u \rangle}$$

$$u = \langle u \rangle + u'$$

Oblicz energię turbulencji dla tego punktu.

Zadanie 2

1. Dla punktu y_4 stwórz przebieg czasowy energii kinetycznej turbulencji, po czym wygeneruj spektrum tego sygnału. W tym celu użyj funkcji matlabowej `fft(x)`, która wygeneruje współczynnik transformaty Fouriera sygnału zawartego w x . Współczynniki są zespolone. Oblicz ich moduł, wybierz jedynie pierwszą połowę z nich (są symetryczne w przypadku FFT) i przedstaw je na wykresie podwójnie logarymicznym (`loglog(x)`).
2. Na wykresie narysuj linię o nachyleniu $-5/3$. Do rysowania linii w Matlabie służy polecenie `line(WektorX-ow, WektorY-kow)`.

Teraz zajmijmy się dalszą obróbką wyników. Będziemy pracować na trójwymiarowym zbiorze danych z jednej chwili czasowej. Wartości poszczególnych składowych prędkości zebrano na kartezjańskiej siatce punktów. Wyniki, podobnie jak poprzednio, dotyczą symulacji DNS tego samego przepływu w kanale. Dane są zapisane w plikach `u1.mat`, `v1.mat` oraz `w1.mat`. Podziałka punktów w kierunku równoległym i poprzecznym do przepływu jest stała i wynosi odpowiednio $\Delta x = 0.0654$ i $\Delta z = 0.0164$. Położenia węzłów w kierunku normalnym do ścianki są zapisane w wektorze y przechowywanym w pliku `y.dat`.

Na początku uczynimy jeszcze jedno spostrzeżenie. Wyprowadzając równania LES używaliśmy dekompozycji $u = \bar{u} + u''$. u oznaczało rzeczywistą prędkość, \bar{u} jej przefiltrowane pole, zaś u'' fluktuacje podsiatkowe. Oczywiście w wyniku symulacji uzyskujemy jedynie \bar{u} . Zawiera ono fluktuacje turbulentne (rozwiązywane, naturalnie nie podsiatkowe). W większości przypadków przepływ symulowany z użyciem techniki LES jest makroskopowo ustalony. Jesteśmy więc zainteresowani statystykami (np. średnią - średnią w czasie). Objawia nam się wobec tego następująca dekompozycja:

$$u = \langle \bar{u} \rangle + u' + u''$$

Symbol $\langle \bar{u} \rangle$ oznacza średnią czasową rozwiązanego pola prędkości, symbol u' rozwiązane fluktuacje turbulentne, zaś u'' jak poprzednio podsiatkowe fluktuacje turbulentne.

Zadanie 3

1. Wczytaj wszystkie potrzebne pliki do Matlabu i wyświetl dowolne z pól. Pomoże Ci w tym następujący kod:

```
load y.dat
yplus = 500*y;

% Kierunek x to indeks i (pierwszy indeks)
% Kierunek y to indeks j (drugi indeks)
% Kierunek z to indeks k (trzeci indeks)
nu = 1/500;
dx = 6.542e-2;
```

```

dz = 1.635e-2;
ni = 96;
nj = 49;
nk = 96;

load u1.mat
u3d = reshape(u1, ni, nj, nk);
load v1.mat
v3d = reshape(v1, ni, nj, nk);
load w1.mat
w3d = reshape(w1, ni, nj, nk);

U = u3d(:,25,:);
pcolor(U');

```

2. Oblicz profil prędkości średniej $u(y)$ (zauważ, że uśrednianie powinno odbyć się względem czasu - jednak kierunki x i z są homogeniczne (o okresowych warunkach brzegowych) - możemy więc uśredniać w tych kierunkach zamiast uśredniania w czasie). Stwórz wykres $u(y)$.
3. Stwórz również wykresy profilu dwóch pozostałych składowych prędkości v i w względem zmiennej y .
4. Dla dowolnej linii o stałej współrzędnej x i z zrób wykres prędkości chwilowej oraz samych fluktuacji.
5. Stwórz wykres prędkości średniej $\langle u \rangle$ na wykresie, w którym oś odciętych będzie przedstawiać wartość prędkości (w skali logarytmicznej), a oś rzędnych współrzędną y^+ w skali liniowej. Wrysuj w ten wykres również linie o wzorach $\bar{u} = (\ln y^+)/0.41 + 5.2$ oraz $\bar{u} = y^+$.
6. Oblicz i narysuj na wykresie profile naprężeń turbulentnych Reynoldsa liczonych wg wzoru $\tau_{ij} = \langle v'_i v'_j \rangle$
7. Umieść na tym samym wykresie profil energii kinetycznej turbulencji w funkcji odległości od ścianki.
8. Stwórz wykres profilu lepkości podsiatkowej ν_{sgs} w funkcji odległości od ścianki i porównaj z wartością lepkości molekularnej $\nu = 1/500$. Do obliczenia lepkości podsiatkowej, przyjmij, że w symulacji został użyty model Smagorińskiego i tym samym:

$$\nu_{sgs} = (C_S \Delta)^2 \sqrt{2 \bar{s}_{ij} \bar{s}_{ij}}$$

$$\bar{s}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\Delta = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3}.$$

Co możesz powiedzieć o otrzymanym wyniku? Jak to się ma do symulacji DNS oraz LES oraz wartości lepkości molekularnej? Do policzenia gradientów prędkości względem kolejnych współrzędnych użyj wbudowanej funkcji Matlaba. Poprawna składnia jest następująca:
`[dudy dudx dudz] = gradient(u3d, y, dx, dz);`

9. Dla dowolnie wybranej wartości y stwórz wykres korelacji dwupunktowych zdefiniowanych jako

$$B_{uu}(\hat{x}) = \langle u'(x)u'(x - \hat{x}) \rangle.$$

Stwórz tę korelację w kierunku głównym przepływu oraz kierunku poprzecznym do przepływu głównego. Pamiętaj, że dwa kierunki są kierunkami homogenicznymi. Względem nich uśredniamy, zastępując tym samym uśrednianie w czasie. Ponadto trzeba pamiętać, aby „zawinąć” domenę - gdy \hat{x} jest na tyle duże, że wyszlibyśmy poza domenę, należy brać wartości z jej początku - przypadek ma przecież okresowe warunki brzegowe!

Spis przydatnych komend Matlaba

- `plot(x,y)` - rysuje wykres wartości umieszczonych w wektorze y w funkcji x
- `hold` - pozwala z wykorzystaniem polecenia `plot` rysować kolejne wykresy w tym samym oknie
- `subplot(2,2,1)` - tworzy macierz okienek o wymiarze 2 na 2 i wybiera pierwsze z nich
- Składnia pętli `for`:

```
for i = 1:10
    % operacje w pętli
end
```