



7. září 2020

Posudek oponenta diplomové práce

Název práce: Application of spectral element method in computations of incompressible turbulent flow

Autor: David Jiříček

Práce se zabývá modelováním turbulentního proudění nestlačitelné tekutiny pomocí metody spektrálních elementů, přesněji p -varianty metody konečných prvků. Cílem práce pak byla implementace dvou modelů turbulence (Wilcox a Kolmogorov) do softwaru Nektar++ a provést numerické experimenty a srovnání s implementovanými metodami.

Vývoj, návrh a implementace modelů turbulence představuje vysoce atraktivní a současně velmi náročnou téma. Jakoukoliv práci s pozitivními výsledky v této oblasti je třeba ocenit. Z tohoto pohledu lze práci hodnotit jako úspěšnou, neboť zmiňované modely turbulence byly implementovány do softwaru Nektar++ a prezentované numerické experimenty demonstrují funkčnost této implementace.

Na druhou stranu, k práci mám řadu připomínek. Největší výhrada se týká stylu prezentace, která místy připomíná spíše technický manuál než-li diplomovou práci. Některé očekávané části v práci chybí, v práci postrádám jasnou výkladovou linii. Z textu je zřejmé, že autor dané problematice rozumí, ale čtenáři, který se v této problematice příliš neorientuje, přijde výklad patrně zmatečný. Práci byla pravděpodobně psána ve spěchu, ale jsem přesvědčen o tom, že při dostatku času by autor dokázal práci přepracovat do výrazně kvalitnější podoby.

Nyní podrobněji k jednotlivým částem práce. V první kapitole jsou popsány oba dva uvažované modely turbulence. Sekce 1.1 a 1.2 však v podstatě představují seznam vztahů kterými jsou modely popsány, není jasná fyzikální motivace, odkud se vztahy berou, čím jsou dány hodnoty materiálových vztahů.

Druhá kapitola popisuje metodu spektrálních elementů pro obecnou úlohu (2.1). Je zde řada vzorců a odvození základních funkcí, výpočty derivací, ale např. definici přibližného řešení ať pro úlohu (2.1) nebo pro uvažované modely turbulence jsem nenašel. Dále v kapitole 3, kde se popisuje časové diskretizace modelů pomocí IMEX metody, jsou uvedeny jednotlivé algoritmické kroky, ale myšlenka metody není vůbec vysvětlena. Nejsou zde žádné informace o stabilitě metody, volbě časového kroku apod. Stejně tak jsem v práci nenarazil na zmínku o způsobu řešení vzniklých soustav algebraických rovnic. Diskretizace vede často na indefinitní soustavu a jejich efektivní řešení nebývá zpravidla jednoduché.

Kapitola 4 je věnována implementaci metod spektrálních elementů pro modely turbulence. Jedná se o mix popisu prostředí Nektar++ a odvození dalších vztahů, které autor použil k vlastní implementaci. Orientace v této (nejrozsáhlejší) části práce není snadná.

Pátá kapitola obsahuje numerické experimenty. Jednak pro úlohu s nastavenou pravou stranou se ověřuje řád konvergence metody. Obrázky 5.1 – 5.3 potvrzují očekávání, kdy metoda konverguje exponenciálně vzhledem k polynomiálnímu stupni aproximace a řádu $O(\tau^J)$ vzhledem k času, $J = 1, 2$. Zde bych však očekával podrobnější komentář.

Druhým příkladem je pak proudění v obdélníkovém kanálu a srovnání implementovaného modelu Wilcoxe s DNS (direct numerical simulation) metodou z Nektar++. Srovnání je pouze kvalitativní, ukazuje však některé rozdíly zejména v tlaku. Obrázky 5.6, 5.7 a 5.9 neobsahují křivky pro DNS, takže nelze dobře porovnat. Opět chybí podrobnější komentář, např. z popisů není patrný rozdíl mezi Obrázky 5.10 a 5.11. Přítomnost nějakého složitějšího příkladu by jistě zvýšila úroveň práce.

K práci mám následující dotazy:

- Ve vztahu (1.2) symbol b představuje turbulentní energii. Pokud je proudění laminární tak pak $b = 0$ a celý vazký člen zmizí. Což neodpovídá standardním modelům, viz vztah (1.6). Nebo význam členu b je jiný?
- Na začátku kapitoly 5 je uvedeno, že prezentované numerické experimenty se týkají pouze Wilcoxova modelu. Byly provedeny numerické experimenty i s modelem Kolmogorova?
- V Sekci 5.2 je uvedeno, že přesné řešení se vzalo jako počáteční podmínka. Jak se zajistilo, že spočtené výsledky odpovídaly dané aproximaci stacionárního problému?
- V Sekci 5.3 je uvedeno, že tlak má nižší řád konvergence než-li ostatní veličiny. Je pro to nějaké vysvětlení?

Navrhuji uznat předloženou práci jako diplomovou.

Prof. RNDr. Vít Dolejší, Ph.D., DSc.

Charles University

Faculty of Mathematics and Physics

Sokolovská 83, 186 75 Prague 8, Czech Republic

tel.: (+420) 221 913 373

e-mail: dolejsi@karlin.mff.cuni.cz