



Posudek oponenta diplomové práce

Student: Bc. Tomáš Jakubec

Název práce: Numerical Simulation of Multiphase Flow on 3D Unstructured Meshes with an Arbitrary Topology

Předložená práce se zabývá vývojem a implementací nové knihovny pro práci s obecnou trojrozměrnou nestrukturovanou sítí v C++. Pro ověření funkcionality knihovny jsou vytvořeny unit testy a do knihovny je také implementováno načítání a ukládání sítě a výpočetních dat ve standardním formátu (VTK, FPMA). Knihovna je následně použita pro simulaci vícefázového proudění řešeného pomocí metody konečných objemů.

Práce je rozdělena na sedm kapitol, úvod a závěr. Úvod je věnován přehledu současného stavu problematiky výpočtu na nestrukturovaných sítích a také existujícím softwarovým projektům, které jsou schopny řešit multifyzikální problémy na nestrukturovaných sítích. Dále je v úvodu popsáno rozvržení kapitol diplomové práce a jejich stručný obsah. V první kapitole je popsána struktura výpočtu sítě. Nejprve je stručně zmíněna strukturovaná síť včetně jejích výhod a nevýhod. Zbývá část první kapitoly je věnována popisu obecné nestrukturované sítě. Je zde vysvětlená datová struktura sítě ve 3D a pomocí teorie grafů taktéž konektivita mezi jednotlivými elementy, přičemž je diskutováno několik možností jak konektivitu zajistit. Z předložených možností je jedna zvolena a v práci dále rozpracována. Druhá kapitola se zabývá detailní implementací struktury pro ukládání dat nestrukturované sítě ve vyvíjené knihovně, která je nazvaná GTMesh. V této kapitole je představena implementace základních algoritmů vztahujících se k síti (určení konektivity mezi elementy sítě, zjištění sousedních elementů) spolu s mapováním přidružených dat k síti (výpočet středů elementů a jejich rozměrů: střed hrany, plocha stěny, objem buňky...). Implementace knihovny GTMesh využívá moderních technik v C++ a šablonové metaprogramování, takže knihovnu je možné použít zadáním pouhého jednoho parametru jak pro 2D tak pro 3D úlohy. Konec druhé kapitoly je věnován importu a exportu sítě a dat do standardních formátů (VTK, FPMA). Třetí kapitola představuje systém anotací tříd a struktur v C++ z hlediska poskytnutí standardizovaného rozhraní přístupu k datům uložených v attributech tříd a struktur. Tento systém anotací je dále rozpracován ve čtvrté kapitole, kde je použitý v několika aplikacích. První z aplikací je vytvoření obecného debugovacího nástroje, další aplikací je automatické generování aritmetických operací tříd a struktur, které mají definovány dané anotace. Na konci čtvrté kapitoly je uvedena Runge-Kutta-Merson metoda čtvrtého řádu. Pátá kapitola je věnována dvoufázovému proudění ve 2D a 3D. Nejprve jsou

zde uvedeny rovnice popisující dvoufázové proudění a následně jejich diskretizace pomocí metody konečných objemů. Časová diskretizace je provedena již zmíněnou Runge-Kutta-Merson metodou čtvrtého řádu, numerický tok v prostorové diskretizaci je vyjádřen pomocí upwind shématu. V závěru páté kapitoly je vysvětleno řešení tohoto problému v rámci knihovny GTMesh. Šestá kapitola stručně pojednává o možnosti adaptace knihovny GTMesh na grafické karty za použití kontejnerů z TNL projektu. V sedmé kapitole jsou prezentovány výsledky numerických simulací obdržných pomocí projektu GTMesh. Nejprve jsou uvedeny výsledky simulace dvouzměrného jednofázového proudění plynného média, následují výsledky simulace dvorozměrného dvoufázového proudění a nakonec jsou zde výsledky simulace dvoufázového proudění ve 3D. V závěru jsou shrnuty dosažené cíle a výsledky práce.

Z předložené práce je zřejmé velké množství práce, kterou student odvedl. Od návrhu, vývoje až po realizaci nové knihovny v C++ za použití moderních technik a šablonového metaprogramování. Tuto knihovnu dále použil pro řešení vícefázového proudění ve 2D a 3D.

V práci se vyskytuje několik pravopisných chyb vzniklých povětšinou překlepem. Obrázek 1.5 by mohl mít jiný popis (nevystihuje to, co zobrazuje), navíc není nikde v textu citovaný. Diplomová práce je velmi obsáhlá, ale vzhledem k množství práce, která byla odvedená, by její zredukování nebylo ani možné. Občas je použita velmi malá velikost písma, viz např. Code listing 2.33 na straně 53. V části věnované numerickým simulacím vícefázového proudění by neškodilo porovnání výsledků s výsledky odbrženými jiným softwarem nebo experimentem, aby bylo možné provést verifikaci.

I přes výše uvedené připomínky jsem přesvědčen, že student zadání své diplomové práce splnil a předloženou práci navrhuji hodnotit známkou **A** (výborně).

Případné dotazy k obhajobě:

- Na straně 79 je zmíněno, že pro výpočet velikosti (plochy) trojúhelníkové stěny ve 3D neexistuje jednoduchý vzorec. Nebylo by možné použít $m(P_{c,e}) = \frac{1}{2} |\vec{v}_a \vec{x}_f \times \vec{v}_a \vec{v}_b|$?
- U aproximace rovnic popisujících vícefázové proudění aproximujete gradient rychlosti na základní buňce sítě. Neuvažoval jste zda by nebylo vhodné aproximovat gradient rychlosti na pomocné buňce (např. diamond cell)?
- Pro numerické řešení vícefázového proudění používáte metodu čtvrtého řádu v čase a prvního řádu v prostoru. Není v takovém případě zbytečné časovou derivaci aproximovat tak vysokým řádem, když přesnost metody sníží aproximace prostorové derivace?

V Praze dne 15.7.2020

Ing. Jan Karel, Ph.D.