

Oponentský posudek habilitační práce Ing. Tomáše Oberhubera, PhD.

Numerical solution of nonlinear PDEs and massively parallel numerical algorithms

Obsah práce

Habilitační práce se zabývá vývojem numerických metod pro řešení PDR se zaměřením na zpracování obrazu a na řešení rovnic hydrodynamiky. Pozornost věnována především efektivní implementaci numerických algoritmů na moderních paralelních počítačích vybavených grafickým akcelerátorem (GPU). Práce je psaná v anglickém jazyce a skládá se z úvodního textu a z kopií šesti nejvýznamnějších článků autora.

V úvodní kapitole podává autor velmi obecný přehled vývoje paralelních počítačů vybavených GPU akcelerátory a uvádí čtyři hlavní témata, kterým se v habilitační práci věnuje. Jmenovitě se jedná o matematické metody pro popis pohybu křivek a ploch, o metody zpracování obrazu založené na řešení nelineárních PDR, o efektivní řešení systému Navierových-Stokesových rovnic pro případ proudění nestlačitelné tekutiny a konečně o efektivní implementaci numerických algoritmů na GPU architekturách. V posledním z bodů je přitom zmíněna volně dostupná knihovna TNL vyvíjená pod vedením autora na FJFI.

Následující čtyři kapitoly jsou po řadě věnovány úvodu ke dříve uvedeným tématům.

V kapitole 2 autor podává základní přehled metod používaných pro popis pohybu křivek a ploch. Zmiňuje metody založené na popisu pomocí grafu funkce, pomocí parametrického popisu a pomocí vrstevnicové (tzv. *level-set*) metody. Formuluje zde úlohu s anizotropním Willmorovým tokem. Přitom odkazuje na příložený článek s podrobnějším popisem včetně důkazu energetické rovnosti (viz str. 16). Na konci kapitoly autor shrnuje vlastní přínos k tématu.

Kapitola 3 je věnována metodám pro zpracování obrazu. V první části se autor zabývá metodou segmentace obrazu založenou na řešení variačních nerovností. V textu uvádí sérii jednoduchých příkladů vysvětlujících princip variačních nerovností. Pro numerické řešení finální úlohy pak autor navrhuje numerické schéma založené na metodě konečných objemů kombinované projekční SOR metodou. Na vybraném příkladě jsou pak názorně demonstrovány vlastnosti této metody. V další části autor navrhuje novou metodu pro nalezení transformace mezi dvojicí obrázků. Kapitola je opět zakončena stručným shrnutím vlastního přínosu.

Kapitola 4 se zabývá řešením rovnic mechaniky tekutin. Autor vychází ze systému Navierových-Stokesových rovnic pro nestlačitelnou tekutinu, formuluje úlohu pro 2D obtékání terénu a popisuje numerickou metodu založenou na aplikaci konečných prvků. Podobně je tomu i ve druhé části kapitoly, kde se autor věnuje proudění nestlačitelné tekutiny porézním médiem. V obou případech se autor zaměřuje především na efektivní implementaci numerických algoritmů na GPU architektuře. Stejně jako v předchozích kapitolách autor na závěr shrnuje vlastní přínosy.

V kapitole 5 autor stručně popisuje C++ knihovnu TNL vyvíjenou pod jeho vedením na FJFI. Zmiňuje její aplikace na řešení dříve uvedených problémů a srovnává vlastnosti knihovny s několika dalšími volně dostupnými knihovnami. Na závěr autor zmiňuje dvě úlohy na kterých bylo dosaženo při použití TNL a GPU významného urychlení oproti paralelnímu výpočtu na vícejádrovém CPU.

Kapitola 6 pak obsahuje stručný závěr shrnující hlavní výsledky práce a kapitola 7 je souhrnem šesti vybraných článků podrobněji se zabývajících zvolenými tématy.

Připomínky

Zvolený formát práce klade obecně na autora velmi vysoké nároky při nalezení rovnováhy mezi stručností a úplností úvodních kapitol. To se dle mého názoru v některých pasážích autorovi nepodařilo. Jako příklady těchto míst uvádím:

- Zavedení vnější normály na str. 8. Co když $\Omega_1^* = \{ (x,y) \mid x < 0 \}$ a $\Omega_2^* = \{ (x,y) \mid x > 0 \}$. Pak Γ je přímka $x=0$. Co je pak vnější normála?
- Vztah (2.9) na str. 9 je zřejmě platný pouze pro „horizontální“ konfiguraci. Těžko pomocí něj popíšeme např. kružnici.
- Vztah (2.31) dimenze parametru s má zřejmě být $n-1$, viz 2D případ níže v textu.
- Nejasný rozdíl mezi p a P v definici 2.1. Funkce γ je jednou funkcí n parametrů, podruhé $n-1$ parametrů. Výpočet L_γ není jasný (v posledním integrálu přebývá Q ?).
- Příklad 4 na str. 24. není jasné, proč $u=v$ na hranici.
- V názvu kapitoly 4.1 je zmíněno turbulentní proudění ve 2D. V dalším textu a ani v příloženém článku však není zmínka o žádném modelu turbulence. Přímá numerická simulace turbulentního proudění (DNS) však ve 2D nedává smysl.

Dále se v textu vyskytuje několik drobných chyb, pravděpodobně překlepů:

- Str. 7 „expansive“ má asi být „expensive“.
- Str. 9 vzorec 2.6 zřejmě chybí závorky kolem integrandu.
- Str. 14. definice 2.2 zde zřejmě chybí ve větě sloveso
- Str. 29. Transformace je v textu označená jako F , ve vzorci pod textem pak jako T .

Jak jsem již uvedl výše, zmíněné nedostatky přičítám hlavně autorově snaze o stručnost úvodních kapitol. V žádném případě významně nesnižují kvalitu předložené práce.

Závěr

Předložená práce jednoznačně dokazuje kvality autora a jeho předpoklady pro další vědecký i pedagogický růst. I přes výše uvedené nedostatky hodnotím práci jako velmi kvalitní. Autor prokazuje velmi široký rozhled v oboru vývoje numerických metod pro řešení PDR a jejich implementace na moderních paralelních počítačích.

Hlavní přínos práce spatřuji v autorem navržených metodách pro zpracování obrazu a to především v medicíně. Dalším nesporným přínosem je volně dostupná knihovna TNL vyvíjena pod vedením autora. Knihovna výrazně usnadňuje vývoj paralelních algoritmů.

Předložená habilitační práce Ing. Tomáše Oberhubera, PhD. splňuje požadavky zákona o vysokých školách č. 111/98 Sb. a proto **doporučuji** tuto práci k obhajobě.